

ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Επιτροπή Μελέτης
Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής



ΙΟΥΝΙΟΣ 2011



ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΕΥΡΩΣΥΣΤΗΜΑ

ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Επιτροπή Μελέτης
Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής



ΙΟΥΝΙΟΣ 2011



ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΕΥΡΩΣΥΣΤΗΜΑ

ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ελευθ. Βενιζέλου 21
102 50 Αθήνα

www.bankofgreece.gr

Διεύθυνση Οικονομικών Μελετών - Γραμματεία

Τηλ. ++30 210 320 2393

Fax ++30 210 323 3025

Επιμέλεια έκδοσης, σελιδοποίηση, εκτύπωση και βιβλιοδεσία:
Ίδρυμα Εκτύπωσης Τραπεζογραμματίων και Αξιών
της Τράπεζας της Ελλάδος

ISBN 978-960-7032-49-2

Πρόλογος

Γεώργιος Προβόπουλος

Διοικητής της Τράπεζας της Ελλάδος

Πριν από δύο χρόνια, όταν ανακοινώσαμε τη φιλόδοξη πρωτοβουλία σύστασης της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ) και εκπόνησης της μελέτης, η ανάγκη δράσης κατά των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής ήταν ήδη επιτακτική. Όχι όμως τόσο όσο σήμερα. Μέσα στα δύο αυτά χρόνια γίναμε μάρτυρες της εξελισσόμενης κλιματικής αλλαγής και των σημαντικών επιπτώσεών της σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και μιας οικονομικής κρίσης που τείνει να αποπροσανατολίσει από το μακροπρόθεσμο όφελος των επενδύσεων σε ενέργειες προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Με την έκδοση του τόμου αυτού, η Τράπεζα της Ελλάδος, ανταποκρινόμενη στον ευρύτερο θεσμικό ρόλο της και την παράδοση ενασχόλησης με τα διαρθρωτικά προβλήματα της ελληνικής οικονομίας, συμβάλλει προκειμένου να καλυφθεί και στη χώρα μας το κενό τεκμηριωμένης επιστημονικής ανάλυσης και πληροφόρησης για το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής, των επιπτώσεών της και των τρόπων αντιμετώπισής της.

Από το Μάρτιο του 2009 ξεκίνησε η εκπόνηση της παρούσας μελέτης, σχεδιασμένης αποκλειστικά για την Ελλάδα, η οποία παρουσιάζει εμπεριστατωμένα τις προβλεπόμενες κλιματικές και περιβαλλοντικές μεταβολές, αποτιμά το κόστος των μεταβολών αυτών για την ελληνική οικονομία και εκτιμά το κόστος των μέτρων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, στο πλαίσιο και της συναφούς πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προσφέροντας τη δυνατότητα η γνώση αυτή να συμβάλει στο σχεδιασμό πολιτικής για την προσαρμογή της ελληνικής οικονομίας.

Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν όχι μόνο την ανάγκη δράσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής αλλά και την ανάγκη για συνέχιση της εμπεριστατωμένης έρευνας, που θα βοηθήσει και θα προσφέρει την κατάλληλη κατεύθυνση τις επόμενες δεκαετίες στο έργο της προσαρμογής. Σ' αυτό το πλαίσιο, ως Τράπεζα της Ελλάδος, σκοπεύουμε να συνεχίσουμε την προσπάθεια ενημέρωσης και ουσιαστικής συμβολής στο εν λόγω πεδίο.

Μεγάλο παράλληλο επίτευγμα της πρωτοβουλίας αυτής παραμένει η συνεργασία ειδικών από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους, οι οποίοι για πρώτη φορά συνέπραξαν για τη μελέτη του προβλήματος. Αυτό αποτελεί σημαντική παρακαταθήκη για το επιστημονικό δυναμικό της χώρας και ελπίζουμε οι ερευνητές να συνεχίσουν έτσι και πέρα από το πλαίσιο της

Επιτροπής, ώστε να συμβάλουν με το επιστημονικό τους κύρος στη δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βάθους όλους τους εκλεκτούς επιστήμονες που συμμετείχαν ενεργά σε μια τόσο φιλόδοξη συλλογική προσπάθεια, και μάλιστα χωρίς αμοιβή, αλλά με μεγάλο περίσσειμα ψυχής και αγάπης για το έργο που εκλήθησαν να υλοποιήσουν.

Προηγόμενα και σύνοψη των ευρημάτων της Έκθεσης

Οι μελέτες που περιέχονται στην παρούσα έκδοση της Τράπεζας της Ελλάδος εκπονήθηκαν από μια πλειάδα ερευνητών διαφόρων επιστημονικών ειδικοτήτων. Όταν ο Διοικητής και το Γενικό Συμβούλιο (Γ.Σ.) της Τράπεζας απευθύνθηκαν στο συνάδελφο στην Ακαδημία Αθηνών καθηγητή Κωνσταντίνο Δρακάτο και σε μένα για τη συγκρότηση της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), ήταν ήδη αντιληπτό ότι η κατάρτιση μιας ολοκληρωμένης έκθεσης σχετικά με τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, εστιασμένης στη χώρα μας, θα ήταν ένα ιδιαίτερα απαιτητικό έργο, που θα κάλυπτε ένα σημαντικό κενό τόσο στην ελληνική όσο και στη διεθνή βιβλιογραφία. Πράγματι, κατά την εκπόνηση των επιμέρους μελετών διαπιστώσαμε όλοι πόσα πολλά έπρεπε να γίνουν και πόσα πολλά θα πρέπει να γίνουν και στο μέλλον σ' αυτόν τον τομέα.

Οι επιμέρους μελέτες ανέδειξαν τον πλούτο των φυσικών πόρων που διαθέτει η χώρα μας αλλά και τους κινδύνους που απειλούν το φυσικό και το ανθρώπινο περιβάλλον της. Πρόκειται για μια χώρα με εξαιρετικά μεγάλο μήκος ακτογραμμής, περίπου 16.300 χλμ. (όσο περίπου το 1/3 της περιφέρειας του πλανήτη), εκ των οποίων περίπου τα 1.000 χλμ. αποτελούν περιοχές υψηλής ευπάθειας στην κλιματική αλλαγή. Η ευπάθεια έγκειται στον κίνδυνο *ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας* στη χώρα μας, η οποία εκτιμάται ότι θα κυμανθεί μέχρι το 2100 μεταξύ 0,2 και 2 μέτρων. Βεβαίως, η ευπάθεια των ακτών δεν καθορίζεται μόνον από τον κίνδυνο ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας και τις ακραίες κυματικές καταστάσεις, αλλά και από άλλους τοπικούς παράγοντες, τεκτονικούς, γεωμορφολογικούς κ.λπ. Από το σύνολο της ακτογραμμής της Ελλάδος, περίπου το 20% αποτελεί ακτές με μέτρια έως υψηλή ευπάθεια στις αναμενόμενες, βάσει των εκτιμήσεων, εξελίξεις. Οι συνέπειες τόσο των μακροχρόνιων μεταβολών της στάθμης της θάλασσας όσο και των παροδικών ακραίων καταστάσεων αφορούν πολλούς κλάδους της οικονομίας, μεταξύ των οποίων τον τουρισμό, τις χρήσεις γης και τις μεταφορές. Το συνολικό κόστος εξαιτίας των ανθρωπογενών μεταβολών της στάθμης της θάλασσας ανέρχεται σε πολλές δεκάδες εκατομμύρια ευρώ κατ' έτος, όπως αναλύεται διεξοδικά στα επιμέρους κεφάλαια.

Το περιβάλλον της Ελλάδος, εκτός από το εντελώς ιδιαίτερο στοιχείο της πολύ εκτεταμένης ακτογραμμής, διαθέτει μεγάλη βιοποικιλότητα και διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά, που οφείλονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ αφενός των καιρικών συστημάτων και αφετέρου της

πολύπλοκης τοπογραφίας και της εκατοστιαίας κατανομής ξηράς και θάλασσας από τη δύση προς την ανατολή και από το βορρά προς το νότο. Έτσι, μέσα σε λίγες δεκάδες χιλιόμετρων, τα κλιματικά χαρακτηριστικά μπορούν να μεταβληθούν από παράκτιου μεσογειακού τύπου σε χαρακτηριστικά ακόμη και αλπικού τύπου στις κεντρικές και βόρειες περιοχές της χώρας. Ο συνδυασμός της πολυσχιδούς τοπογραφίας με τις τροχιές των διερχόμενων καιρικών συστημάτων διαχωρίζει τον κορμό της Ελλάδος στη δυτική ομβροπλευρά και στην ανατολική ομβροσκιά. Η χώρα διαθέτει *όμβρια ύδατα* αρκετά για όλες τις ανάγκες της, αλλά δυστυχώς δεν γίνεται σωστή διαχείριση αυτών των υδάτων. Ο συνολικός όγκος του ύδατος που δέχεται η χώρα κατ' έτος ανέρχεται κατά μέσον όρο σε 115 δισεκ. κυβικά μέτρα, όγκος ο οποίος δεν υστερεί από εκείνον σε πολλές άλλες χώρες της Ευρώπης. Ωστόσο, σε περιοχές της Ελλάδος υπάρχει υδατικό έλλειμμα, ιδίως στην ομβροσκιά της χώρας, όπου η μείωση της διαθεσιμότητας υδάτων γίνεται εντονότερη, όχι μόνο λόγω της ακατάλληλης διαχείρισης των υδάτινων πόρων αλλά και εξαιτίας ακραίων κλιματικών καταστάσεων, όπως εκείνη του 1989-90, κατά την οποία οι βροχές μειώθηκαν κατά περίπου 40%. Σε αντιστάθμιση όμως, σε πολλές περιοχές της χώρας που χαρακτηρίζονται από υδατικό έλλειμμα είναι ισχυρότερες οι βιογενείς εκπομπές αρωματικών ενώσεων, χάρη στις οποίες εκλύονται στην ατμόσφαιρα οι χαρακτηριστικές ευχάριστες οσμές τις οποίες πάντοτε εκθειάζουν οι επισκέπτες της Ελλάδος.

Διαχρονικά, όπως προκύπτει από τις υπάρχουσες μετρήσεις, κατά τον περασμένο αιώνα οι *βροχοπτώσεις* μειώθηκαν κατά περίπου 20% στη Δυτική Ελλάδα και 10% στην Ανατολική Ελλάδα. Οι μειώσεις αυτές αποδίδονται κυρίως σε φυσικά αίτια, επειδή ναι μεν υπάρχει και η ανθρώπινη παρέμβαση, αλλά αυτή κατέστη δυνατόν να εκτιμηθεί ποσοτικά μόνον κατά τις τελευταίες δεκαετίες χάρη στην ανάπτυξη, με τη συνδρομή της εξέλιξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, κλιματικών υποδειγμάτων υψηλών προδιαγραφών. Με βάση τα υποδείγματα υπολογισμού της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο κλίμα υπό τα δύο ακραία σενάρια κλιματικής μεταβολής (B2 και A2) που αναλύονται στα συναφή τμήματα της μελέτης, αναμένεται ότι κατά το τέλος του 21ου αιώνα, λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης, η βροχή θα μειωθεί μεταξύ 5% και περίπου 19%, αντίστοιχα, σε επίπεδο επικράτειας. Επίσης, προκύπτει ότι κατά το τέλος του 21ου αιώνα η *θερμοκρασία του αέρα* θα αυξηθεί μεταξύ περίπου 3,0 °C και 4,5 °C, αντίστοιχα. Γενικά, οι προσομοιώσεις προβλέπουν σημαντικές μεταβολές πολλών κλιματικών παραμέτρων, όπως η *υγρασία*, η *νεφοκάλυψη* κ.ά. Ενδιαφέρον, όσον αφορά τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), παρουσιάζουν η αναμενόμενη *αύξηση της μέσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας* (μεταξύ 2,3 W/τετρ. μ. και 4,5 W/τετρ. μ.) στο σύνολο της επικράτειας, καθώς και η *αύξηση της έντασης των Ετησίων ανέμων* κατά 10% προς το τέλος του 21ου αιώνα.

Από την οικεία μελέτη στην παρούσα Έκθεση προέκυψε ότι, ακόμη και στην περίπτωση του ενδιάμεσου Σεναρίου A1B, αναμένεται ότι στα ηπειρωτικά ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η *μέγιστη θερμοκρασία θα υπερβαίνει τους 35 °C* θα είναι μεγαλύτερος κατά 35-40 ημέρες την περίοδο 2071-2100 σε σύγκριση με το παρόν. Ακόμη μεγαλύτερη αύξηση (περίπου 50

ημέρες στην επικράτεια) θα σημειωθεί ως προς τον αριθμό των ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία άνω των 20 °C (τροπικές νύκτες). Σε αντιδιαστολή, ο αριθμός των ημερών με νυκτερινό παγετό αναμένεται να μειωθεί σημαντικά, ιδίως στη Βόρεια Ελλάδα (μείωση έως και κατά 40 ημέρες). Εξάλλου, η άνοδος της θερμοκρασίας θα έχει ως συνέπεια την *αύξηση της χρονικής διάρκειας της βλαστητικής περιόδου* κατά 15-35 ημέρες.

Μια σημαντική επίπτωση της ανόδου της θερμοκρασίας είναι η *αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη* το καλοκαίρι. Ειδικότερα, στα πεδινά ηπειρωτικά της Ελλάδος θα υπάρξει αυξημένη ανάγκη ψύξης έως και 40 επιπλέον ημέρες το χρόνο κατά την περίοδο 2071-2010, ενώ στις νησιωτικές και ορεινές περιοχές οι αυξήσεις θα είναι μικρότερες. Μια θετική πτυχή της αλλαγής του κλίματος αποτελεί η *μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση* που προβλέπεται για τη χειμερινή περίοδο.

Μεταβολές αναμένονται επίσης ως προς τις *ακραίες τιμές της βροχόπτωσης*. Στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα και τη ΒΔ Μακεδονία η μέγιστη ποσότητα του νερού που κατακρημνίζεται σε διάστημα έως 3 ημέρες αναμένεται να αυξηθεί σε ποσοστό έως 30%, ενώ στη Δυτική Ελλάδα αναμένεται να μειωθεί σε ποσοστό έως 20%. Σε αντιδιαστολή με τις πλημμυρικές περιόδους, οι μεγαλύτερες αυξήσεις της διάρκειας των ξηρών περιόδων θα σημειωθούν στην ανατολική ηπειρωτική χώρα και στη Βόρεια Κρήτη, όπου αναμένονται 20 επιπλέον ημέρες *ξηρασίας* μέχρι το 2021-2050 και μέχρι 40 επιπλέον ημέρες το 2071-2100. Αναμένεται ότι η μεταβολή των κλιματικών συνθηκών θα αυξήσει σημαντικά τον αριθμό των ημερών με εξαιρετικά αυξημένο *κίνδυνο πυρκαγιάς*, κατά 40 ημέρες το 2071-2100 σε όλη την Ανατολική Ελλάδα από τη Θράκη ως την Πελοπόννησο, ενώ μικρότερες αυξήσεις αναμένονται στη Δυτική Ελλάδα.

Γενικότερα, οι επιπτώσεις για όλους τους τομείς της εθνικής οικονομίας που εξετάστηκαν είναι αρνητικές και, σε πολλές περιπτώσεις, εξαιρετικά αρνητικές. Οι επιπτώσεις π.χ. στα *δάση* ελάτης, οξιάς και πεύκης είναι σημαντικές, ενώ και η διόγκωση του κόστους λόγω της αύξησης του αριθμού και της έκτασης των *δασικών πυρκαγιών* είναι ουσιώδης. Επιπλέον, αναμένεται μείωση της αφθονίας των ειδών και της *βιοποικιλότητας* γενικότερα. Εκτιμάται επίσης ότι η κλιματική αλλαγή, με βάση την επίδρασή της στην εξέλιξη του δείκτη “τουριστικής ευφορίας” ως το τέλος του αιώνα, θα έχει σημαντικές επιπτώσεις για τον *ελληνικό τουρισμό*, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στη χρονική και περιφερειακή ανακατανομή των αφίξεων τουριστών στη χώρα μας, επομένως και των τουριστικών εισπράξεων. Τα έσοδα από τον τομέα του τουρισμού αποτελούν σημαντικό οικονομικό πόρο της χώρας, γι’ αυτό και στην παρούσα Έκθεση παρατίθενται προτάσεις για την ανάγκη μακροχρόνιου στρατηγικού σχεδιασμού με στόχο την αναβάθμιση του τουριστικού προϊόντος της χώρας στο πλαίσιο μιας εξελισσόμενης ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Οι συνέπειες της κλιματικής μεταβολής στο *δομημένο περιβάλλον*, στις *μεταφορές*, στην *υγεία*, στην *εξορυκτική βιομηχανία* και σε άλλους κλάδους είναι σημαντικές και αναλύονται στην παρούσα έκδοση. Από τις μελέτες που ακολουθούν προκύπτει ότι είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί συγκεκριμένη πολιτική προσαρμογής για όλους τους

τομείς. Σ' αυτήν θα πρέπει να ενταχθεί και μια εξωτερική πολιτική αναθεωρημένη ως προς τις κατευθύνσεις που ενδιαφέρουν τη χώρα μας.

Όσον αφορά στις *εκτιμήσεις των οικονομικών επιπτώσεων*, εκπονήθηκαν εξειδικευμένες μελέτες για τρία σενάρια: Το δυσμενέστερο σενάριο από πλευράς έντασης της ανθρωπογενούς κλιματικής μεταβολής αντιστοιχεί σε ανυπαρξία κάθε δράσης για μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων που το προκαλούν και χαρακτηρίστηκε στην Έκθεση ως **Σενάριο Μη Δράσης**. Στην περίπτωση του σεναρίου αυτού υπολογίζεται ότι το ΑΕΠ της Ελλάδος θα μειωθεί, σε ετήσια βάση, κατά 2% το 2050 και κατά 6% το 2100. Το συνολικό σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης για την ελληνική οικονομία, για το χρονικό διάστημα έως το 2100, εκφρασμένο ως μείωση του ΑΕΠ του έτους βάσης, ανέρχεται στα €701 δισεκ. (σε σταθερές τιμές του 2008). Το επόμενο σενάριο στην παρούσα Έκθεση καθορίστηκε ως **Σενάριο Μετριασμού**, σύμφωνα με το οποίο η Ελλάδα μειώνει συνεχώς και δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στο πλαίσιο αντίστοιχης παγκόσμιας προσπάθειας, με αποτέλεσμα η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας να περιοριστεί στους 2 °C. Το συνολικό σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Μετριασμού, για το χρονικό διάστημα έως το 2100, εκφρασμένο ως απώλεια ΑΕΠ, προκύπτει ίσο με €436 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008). Δηλαδή, το συνολικό κόστος στην περίπτωση του Σεναρίου Μετριασμού είναι κατά €265 δισεκ. μικρότερο από αυτό του Σεναρίου Μη Δράσης και επομένως η πολιτική μετριασμού μειώνει κατά 40% το κόστος της μη δράσης. Τέλος, προκειμένου να μετριαστούν οι ζημιές εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, είναι αναγκαίο να ασκηθεί και πολιτική προσαρμογής, η οποία προβλέπεται από το **Σενάριο Προσαρμογής**. Σ' αυτήν την περίπτωση, το ΑΕΠ της Ελλάδος θα παρουσιάσει μείωση κατά 2,3% και 3,7% τα έτη 2050 και 2100, αντίστοιχα, και το κόστος προσαρμογής εκτιμάται ίσο με €67 δισεκατομμύρια. Ωστόσο, όπως αναλύεται στα οικεία τμήματα της Έκθεσης, τα μέτρα προσαρμογής δεν εξαλείφουν το σύνολο των ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής, απλώς τις περιορίζουν. Το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία από τις εναπομένουσες ζημιές λόγω της κλιματικής αλλαγής εκτιμήθηκε ίσο με €510 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008), σωρευτικά μέχρι το 2100. Το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία βάσει του Σεναρίου Προσαρμογής είναι το άθροισμα του κόστους που συνεπάγονται για την οικονομία τα μέτρα προσαρμογής και του κόστους που οφείλεται στις (περιορισμένες) ζημιές εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, το συνολικό κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής εκτιμήθηκε ίσο με €577 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008), σωρευτικά μέχρι το 2100.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι οι οικονομικές εκτιμήσεις που έχουν γίνει στα επιμέρους στάδια της μελέτης αποτελούν το κατώτατο όριο του αναμενόμενου κόστους για την εθνική οικονομία εξαιτίας της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο περιβάλλον. Επομένως, οι εν λόγω εκτιμήσεις πρέπει να θεωρηθούν απλώς ενδεικτικές. Ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν το στρατηγικό σχεδιασμό και την πολιτική προσαρμογής της χώρας είναι το πρόβλημα της *φτώχειας* και, γενικότερα, τα *κοινωνικά προβλήματα* τα οποία οξύνει η ανθρω-

πογενής κλιματική μεταβολή. Είναι προφανές ότι, για την κατανόηση και αντιμετώπιση μιας πλειάδας ζητημάτων όπως αυτά, απαιτείται βελτίωση των υπολογισμών, συσσώρευση περισσότερων δεδομένων, αλλά και χάραξη μιας εσωτερικής και εξωτερικής πολιτικής, η οποία, έχοντας ως γνώμονα τα ενδεικτικά συμπεράσματα της παρούσας Έκθεσης, θα θωρακίσει τη χώρα έναντι όσων πρόκειται να συμβούν. Άλλωστε, στη Σχολή του Ιπποκράτους είχε καθιερωθεί η ρήση “*Κάλλιον ἐστί προλαμβάνειν ἢ θεραπεύειν*”, της οποίας νοηματική παράφραση αποτελεί ο αγγλικός όρος “*Precautionary principle*”, που καθιερώθηκε από την τ. Πρωθυπουργό της Νορβηγίας κ. Brundtland.

Εκ μέρους της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής, ο υπογράφων ζητεί την κατανόηση του αναγνώστη αυτής της Έκθεσης ως προς τυχόν σφάλματα ή παραδρομές που παρεισέφρησαν, οι οποίες ασφαλώς και θα διορθωθούν σε προσεχή έκδοση. Επίσης, η Επιτροπή θέλει να ευχαριστήσει ιδιαίτερα τον Διοικητή της Τράπεζας της Ελλάδος κ. Γεώργιο Προβόπουλο, τα μέλη του Γενικού Συμβουλίου της Τράπεζας και όλους εκείνους οι οποίοι συνέβαλαν στην επιτυχία μιας πρώτης αλλά μεγάλης προσπάθειας, που αποσκοπεί στην καλύτερη προετοιμασία της χώρας μας ενόψει των μελλοντικών περιβαλλοντικών προκλήσεων.

Ο Συντονιστής της ΕΜΕΚΑ

Χρήστος Ζερεφός
Μέλος της Ακαδημίας Αθηνών

ΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ της Έκθεσης

Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ)

Δρακάτος Κωνσταντίνος, Ομότιμος Καθηγητής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), Μέλος της Ακαδημίας Αθηνών

Πρόεδρος

Ζερεφός Χρήστος, Ακαδημαϊκός, Ομότιμος Καθηγητής ΕΚΠΑ, Μέλος της Ακαδημίας Αθηνών

Συντονιστής

Ασημακόπουλος Δημοσθένης, Καθηγητής, Πρώην Πρύτανης, ΕΚΠΑ

Γιαννακόπουλος Χρήστος, Κύριος Ερευνητής, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Γιαννόπουλος Γεώργιος, Διευθυντής Ινστιτούτου Μεταφορών Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)

Δονάτος Γεώργιος, Καθηγητής Οικονομικών, ΕΚΠΑ

Θωμόπουλος Παναγιώτης, τ. Υποδιοικητής της Τράπεζας της Ελλάδος

Κάπρος Παντελής, Καθηγητής Ενεργειακής Οικονομίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Καραμάνος Ανδρέας, Καθηγητής Γεωργίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Κοκκώσης Χάρης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Πρόεδρος Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου

Μπαλατζής Εμμανουήλ, Καθηγητής Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ

Νάσσης Αναστάσιος, Ομότιμος Καθηγητής Δασολογίας, ΑΠΘ

Ξεπαπαδέας Αναστάσιος, Καθηγητής Οικονομικής Θεωρίας και Πολιτικής, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Παπανδρέου Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Οικονομικών, ΕΚΠΑ

Παπανικολάου Δημήτριος, Καθηγητής Γεωλογίας, ΕΚΠΑ

Παπουτσόγλου Σωφρόνιος, Καθηγητής Εφαρμοσμένης Υδροβιολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Ρεπαπής Χρήστος, τ. Διευθυντής του Κέντρου Ερεύνες Φυσικής της Ατμοσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών

Σαμπεθαί Ισαάκ, Οικονομολόγος, Διευθυντής της Διεύθυνσης Οικονομικών Μελετών, Τράπεζα της Ελλάδος

Σαρτζετάκης Ευτύχιος, Αναπληρωτής Καθηγητής Οικονομικών του Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Σεφερλής Μιλτιάδης, Υδροβιολόγος, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων

Σκούρτος Μιχαήλ, Καθηγητής Οικονομικών του Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Στουρνάρας Γεώργιος, Καθηγητής Υδρογεωλογίας, ΕΚΠΑ
Τσελιούδης Γεώργιος, Διευθυντής του Κέντρου Ερεύνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών
Υφαντόπουλος Ιωάννης, Καθηγητής Οικονομικών της Υγείας και της Κοινωνικής Πολιτικής, ΕΚΠΑ
Χατζηνικολάου Παναγιώτης, Associate Research Scientist, EEWRC, The Cyprus Institute

Εξωτερικοί συνεργάτες

Κοντογιάννη Αρετή, Επίκουρος Καθηγήτρια Οικονομικών του Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Παπακωνσταντίνου Κωνσταντίνος, Διευθυντής Ινστιτούτου Θαλασσίων Βιολογικών Πόρων, ΕΛΚΕΘΕ
Σανταμούρης Ματθαίος, Καθηγητής ΕΚΠΑ, Πρόεδρος Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
Τσιαούση Βασιλική, Βιολόγος, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων

Συγγραφείς

Κεφάλαιο 1

Ζερεφός Χρήστος, Ρεπαπής Χρήστος, Γιαννακόπουλος Χρήστος, Καψωμενάκης Ιωάννης, Παπανικολάου Δημήτριος, Παπανικολάου Μαρία, Πούλος Σεραφείμ, Βρεκούσης Μιχάλης, Φιλάνδρας Κωνσταντίνος, Τσελιούδης Γεώργιος, Γερασόπουλος Ευάγγελος, Δουβής Κωνσταντίνος, Διακάκης Μιχαήλ, Νάστος Παναγιώτης, Χατζηνικολάου Παναγιώτης, Ξοπλάκη Έλενα, Luterbacher Juerg, Ζάνης Πρόδρομος, Τζεδάκης Χρόνης, Φουντά Δήμητρα, Ελευθεράτος Κωνσταντίνος, Ρεπαπής Κωνσταντίνος

Κεφάλαιο 2

2.1 Στουρνάρας Γεώργιος, Σκούρτος Μιχαήλ, Κοντογιάννη Αρετή, Γιόζας Γεράσιμος, Μαχλέρας Αθανάσιος, Νάστος Παναγιώτης

2.2 Κοντογιάννη Αρετή, Τουρκολιάς Χρήστος, Σκούρτος Μιχαήλ, Παπανικολάου Δημήτριος, Παπανικολάου Μαρία, Πούλος Σεραφείμ

2.3 Παπουτσόγλου Σωφρόνιος, Παπακωνσταντίνου Κωνσταντίνος, Κουντούρη Φοίβη, Ρεμούνδου Κυριακή, Καββαδάς Στέφανος, Κοντογιάννη Αρετή, Ελευθεράτος Κωνσταντίνος, Καψωμενάκης Ιωάννης

2.4 Καραμάνος Ανδρέας, Σκούρτος Μιχαήλ, Βολουδάκης Δημήτριος, Κοντογιάννη Αρετή, Μαχλέρας Αθανάσιος

2.5 Νάσσης Αναστάσιος, Καρμίρης Ηλίας, Σαρτζετάκης Ευτύχιος, Νάσσης Στέφανος

2.6 Βέλλα Ευγενία, Κυριακοπούλου Ευθυμία, Τσιαούση Βασιλική, Δουλγέρης Χαράλαμπος, Κεμιτζόγλου Δήμητρα, Ξεπαπαδέας Αναστάσιος, Παπαδήμος Δημήτριος, Σεφερλής Μιλτιάδης, Χρυσοπολίτου Βασιλική

2.7 Σαρτζετάκης Ευτύχιος, Καρατζόγλου Βενιαμίν

2.8 Ασημακόπουλος Δημοσθένης, Σανταμούρης Ματθαίος, Παπανδρέου Ανδρέας, Φάρρου Ιφιγένεια, Λάσκαρη Μαρίνα, Σαλιάρη Μαρία, Ζαννής Γεώργιος, Τίγγας Κωνσταντίνος, Γιαννακίδης Γεώργιος, Αντωνάκη Θεοδώρα, Βρεττός Κωνσταντίνος, Ζερεφός Στυλιανός, Καψωμενάκης Ιωάννης

2.9 Γιαννόπουλος Γεώργιος, Γαγάτση Ελίζα, Μητσάκης Ευάγγελος, Salanova Josep

2.10 Υφαντόπουλος Ιωάννης, Παπανδρέου Ανδρέας, Πατόκος Αναστάσιος, Νάστος Παναγιώτης, Καλαμπόκας Παύλος, Βρεκούσης Μιχαήλ, Καψωμενάκης Ιωάννης, Παναγιωτάκος Δημοσθένης, Ζερεφός Χρήστος, Ψαρριανού Βιλελμίνη

2.11 Οικονομόπουλος Ιωάννης, Δαμίγος Δημήτριος, Σταματάκης Μιχαήλ, Μπαλτατζής Εμμανουήλ

Κεφάλαιο 3

3.1 Παπανδρέου Ανδρέας

3.2 Παπανδρέου Ανδρέας, Κάπρος Παντελής

3.3 Κάπρος Παντελής, Ζαμπάρα Μαριλένα, Παρούσος Λεωνίδας, Βροντίση Ζωή, Τσάνη Στέλλα, Παπαϊωάννου Μαρία

3.4 Κάπρος Παντελής, Ζαμπάρα Μαριλένα, Παρούσος Λεωνίδας, Βροντίση Ζωή, Τσάνη Στέλλα, Παπαϊωάννου Μαρία, Ξεπαπαδέας Αναστάσιος

Κεφάλαιο 4

Κάπρος Παντελής, Τασιός Νικόλαος, Χανιώτη Ξένια, Κουβαριτάκης Νικόλαος

Κεφάλαιο 5

5.1 Ζερεφός Χρήστος, Καψωμενάκης Ιωάννης, Δουβής Κωνσταντίνος

5.2 Ζερεφός Χρήστος, Ξεπαπαδέας Αναστάσιος, Σκούρτος Μιχαήλ, Στουρνάρας Γεώργιος, Κοντογιάννη Αρετή, Παπουτσόγλου Σωφρόνιος, Κουντούρη Φοίβη, Παπακωνσταντίνου Κωνσταντίνος, Καραμάνος Ανδρέας, Νάστης Αναστάσιος, Τσιαούση Βασιλική, Σαρτζετάκης Ευτύχιος, Καρατζόγλου Βενιαμίν, Σανταμούρης Ματθαίος, Ασημακόπουλος Δημοσθένης, Γιαννόπουλος Γεώργιος, Υφαντόπουλος Ιωάννης, Οικονομόπουλος Ιωάννης, Δαμίγος Δημήτριος, Καψωμενάκης Ιωάννης

5.3 Κάπρος Παντελής, Ζαμπάρα Μαριλένα, Παρούσος Λεωνίδας, Τασιός Νικόλαος

5.4 Υφαντόπουλος Ιωάννης Σαμπεθαί Ισαάκ, Κάπρος Παντελής

Κριτές

Αβραμίδης Σταύρος
Βώκου Δέσποινα
Δαλέζιος Νικόλαος
Ζάνης Πρόδρομος
Κοσμάς Κωνσταντίνος
Μέργος Γεώργιος
Μπάρδης Νικόλαος
Μπεχράκης Παναγιώτης
Μποϊλέ Μαρία
Μυλωνάς Μωυσής
Νάστος Παναγιώτης
Ξοπλάκη Έλενα
Ραδόγλου Καλλιόπη
Σκούλλος Μιχαήλ
Σούλιος Γεώργιος
Τζεδάκης Χρόνης
Τσελέντης Βασίλειος
Τσιουβάρας Κωνσταντίνος
Luterbacher Juerg
Murlis John

Άλλοι συνεργάτες-ερευνητές

Αθανασοπούλου Μαρία
Ανδρεάδη Ελένη
Βασιλάκης Εμμανουήλ
Βιδάλης Ευθύμιος
Δουκάκης Ευστράτιος
Ευελπίδου Νικολέττα
Ηλιόπουλος Βασίλειος
Καμπάς Αθανάσιος
Καραγιάννης Αθανάσιος
Κρητικού Περσεφόνη
Λάππα Ελένη
Μητράκος Θεόδωρος
Νικολαΐδου Κυριακή
Παρτσινέβελου Σοφία
Χάλκος Γεώργιος
Χατζηνικολάου Αριστείδης

Συντακτική ομάδα ΕΜΕΚΑ

Ζερεφός Χρήστος
Κάπρος Παντελής
Νάσσης Αναστάσιος
Παπανδρέου Ανδρέας
Σαμπεθαί Ισαάκ
Υφαντόπουλος Ιωάννης

Επιστημονική γραμματεία

Αντωνάκη Θεοδώρα
Ρούσσου Βασιλική

Επιμέλεια κειμένου

Νικολαΐδης Γεώργιος

Συντονισμός έκδοσης

Αντωνάκη Θεοδώρα
Ρούσσου Βασιλική
Γαζεριάν Σέτα

Επιμέλεια έκδοσης

Ίδρυμα Εκτύπωσης Τραπεζογραμματίων
και Αξιών

Σιγάλας Δημήτριος

Συντονιστής

Τικέλλης Στέφανος
Καλυβάκη Ειρήνη
Ματθαίου Ασημένια
Χρυσανθόπουλος Νικόλαος
Καπάντας Σπυρίδων
Αποστολίδης Βασίλειος
Παντελιάς Μιχαήλ
Σαούλης Νικόλαος
Καρανάσης Ιωάννης
Σιδηρόπουλος Ζώης
Θεοδωρίδης Χρήστος
Βαφέας Θεόδωρος
Σταματιάδης Στυλιανός

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδος: παρελθόν, παρόν και μέλλον

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Παθαιокλιματικές μεταβολές	3
1.3	Κλιματικές μεταβολές κατά την εποχή του Ολοκαίνου	8
1.4	Ρυθμοί ανόδου της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κατά το παρελθόν και η σημασία του διοξειδίου του άνθρακα	10
1.5	Παθαιокλιματικές αλλαγές στην Ανατολική Μεσόγειο κατά την εποχή του Ολοκαίνου	14
1.6	Η περίοδος της τελευταίας χιλιετίας	23
1.7	Σύγκριση της αναμενόμενης κλιματικής αλλαγής σε σχέση με παθαιокλιματικά δεδομένα των μεταβολών της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας της Μεσογείου	27
1.8	Το παρόν κλίμα της Ελλάδος	30
1.8.1	Κλιματικοί τύποι	30
1.8.2	Κλιματικά χαρακτηριστικά των εποχών του έτους	31
1.9	Κλιματικές παράμετροι στον ελληνικό χώρο	33
1.9.1	Ηλιακή ακτινοβολία	33
1.9.2	Νέφωση και ηλιοφάνεια	34
1.9.3	Θερμοκρασία του αέρα	34
1.9.4	Υγρασία του αέρα	36
1.9.5	Βροχή	37
1.9.6	Άνεμοι	39
1.9.7	Εξάτμιση – δρόσος – πάχνη – ομίχλη – χιόνι – χαλάζι	40
1.10	Κλιματικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων περιοχών της Ελλάδος	42
1.11	Αστικό κλίμα και βιοκλιματικοί δείκτες	43
1.12	Πηγές και εκπομπές των αέριων ρύπων στον ελληνικό χώρο την περίοδο 1990-2008	46
1.13	Η εξελλισσόμενη κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα	51
1.14	Οι κλιματικές τάσεις στην περιοχή της Αθήνας	56

1.15 Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών στον 21ο αιώνα σε 13 κλιματικές περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η Ελλάδα	64
1.15.1 Επιλογή των κλιματικών περιοχών	64
1.15.2 Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών για τις 13 κλιματικές περιοχές της Ελλάδος με βάση τέσσερα σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	64
1.16 Εκτίμηση ακραίων καιρικών φαινομένων και των επιπτώσεών τους στον ελληνικό χώρο	85
1.17 Μεταβολές της έντασης και της κατανομής των κατολισθήσεων και των πλημμυρών στην Ελλάδα	99
1.18 Μεταβολή της μέσης στάθμης της θάλασσας και οι επιπτώσεις της στην παράκτια χερσαία ζώνη της Ελλάδος	103
1.18.1 Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας παγκόσμια στο γεωλογικό παρελθόν	103
1.18.2 Η μέση στάθμη της θάλασσας σήμερα και στο μέλλον	106
1.18.3 Σύγκριση της αναμενόμενης μεταβολής της στάθμης της θάλασσας με παλιαιοκλιματικά δεδομένα	107
1.18.4 Διάκριση των ακτών σε γεωμορφολογικές-γεωδυναμικές κατηγορίες και αποτύπωση σε χάρτες	108
1.18.5 Εκτιμήσεις υποχώρησης της ακτογραμμής λόγω της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας	110
Βιβλιογραφία	112

Κεφάλαιο 2

Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής κατά τομέα	137
2.1 Κλιματικές αλλαγές και επιπτώσεις στα ελλαδικά υδατικά συστήματα	137
2.1.1 Εισαγωγή	137
2.1.2 Υπάρχουσα κατάσταση υδατικών αποθεμάτων στον ελληνικό χώρο	138
2.1.3 Σύγκρουση μεταξύ υδατικών απαιτήσεων και υδατικών πόρων	140
2.1.4 Γενικά για τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων στην Ελλάδα	142
2.1.5 Φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στον τομέα των υδάτων στην Ελλάδα	144
2.1.5.1 Παρατηρήσεις και παραδοχές για την εκτίμηση των μεταβολών των υδάτων στην Ελλάδα εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών	147
2.1.5.2 Διαγράμματα συσχέτισης του όγκου του νερού της βροχής προς τον όγκο του νερού κατείσδυσης και επιφανειακής απορροής	154
2.1.6 Οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα υδατικά αποθέματα	154
2.1.6.1 Μια τυπολογία των οικονομικών επιπτώσεων από τη χρήση νερού	156

2.1.6.2 Το γενικό πλαίσιο αξιολόγησης των κλιματικών ζημιών	156
2.1.6.3 Υδατικά αποθέματα, κλιματική αλλαγή και οικονομικό κόστος μη δράσης στην Ελλάδα	157
2.1.7 Δυνατότητες προσαρμογής και αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής	160
2.1.8 Συμπεράσματα	163
2.2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας (ΑΣΘ)	165
2.2.1 Εισαγωγικά	165
2.2.2 Υφιστάμενη κατάσταση της ελληνικής παράκτιας ζώνης	166
2.2.3 Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας και γεωμορφολογικές-γεωδυναμικές μεταβολές	169
2.2.4 Οι θυελλογενείς μετεωρολογικές παλίρροιες – κυματικές καταιγίδες	174
2.2.5 Οι κοινωνικές αντιλήψεις για την κλιματική αλλαγή, την ΑΣΘ και τη θυελλογενή μετεωρολογική παλίρροια	174
2.2.6 Οικονομικές επιπτώσεις της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας στην Ελλάδα	176
2.2.6.1 Σχεδιασμός και υποθέσεις της παρούσας έρευνας	176
2.2.6.2 Αποτελέσματα	179
2.2.6.3 Πολιτικές προσαρμογής	182
2.2.7 Συμπεράσματα	185
2.2.8 Προτάσεις	188
2.3 Αλιεία και υδατοκαλλιέργειες	189
2.3.1 Εισαγωγή	189
2.3.2 Οι τρέχουσες παραγωγικές δυνατότητες των υδατοσυλλογών στην ελληνική επικράτεια	190
2.3.2.1 Αλιευτική παραγωγή	190
2.3.2.2 Παραγωγή υδατοκαλλιεργειών	194
2.3.3 Φυσικές επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στην αλιευτική παραγωγή της Ελλάδος	195
2.3.4 Φυσικές επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στις υδατοκαλλιέργειες της Ελλάδος	196
2.3.5 Μελέτη των μεταβολών των αλιευμάτων στην Ελλάδα και μελλοντικές εκτιμήσεις	197
2.3.6 Μέτρα και στρατηγικές μετριασμού των επιπτώσεων από τις κλιματικές μεταβολές	199
2.3.7 Οικονομικές επιπτώσεις	201
2.3.8 Συμπεράσματα	203

2.4 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία	204
2.4.1 Εισαγωγή	204
2.4.2 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργική παραγωγή	205
2.4.3 Οικονομικές επιπτώσεις	210
2.4.4 Προσαρμογή διαχείρισης	214
2.4.5 Μετριασμός επιπτώσεων	215
2.4.6 Προκλήσεις για το μέλλον	216
2.5 Επιπτώσεις κλιματικής μεταβολής στα δασικά οικοσυστήματα κατά τον 21ο αιώνα	216
2.5.1 Εισαγωγή	216
2.5.2 Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στα δασικά οικοσυστήματα	218
2.5.3 Εκτιμήσεις οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής	220
2.5.4 Προσαρμογή διαχείρισης για το μετριασμό των επιπτώσεων	224
2.5.5 Συμπεράσματα	226
2.6 Βιοποικιλότητα και οικοσυστήματα	227
2.7 Οικονομικές και φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό	236
2.7.1 Εισαγωγή	236
2.7.2 Μεθοδολογία και δεδομένα	240
2.7.3 Υπάρχουσα κατάσταση υποδομών σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο	241
2.7.4 Οικονομικά στοιχεία	242
2.7.5 Μελέτη των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην τουριστική δραστηριότητα της Ελλάδος	244
2.7.6 Συμπεράσματα και περιορισμοί της μελέτης	262
2.8 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στο δομημένο περιβάλλον	264
2.8.1 Εισαγωγή και ανασκόπηση	264
2.8.2 Ο κτηριακός τομέας στην Ελλάδα	265
2.8.3 Υπάρχουσα κατάσταση	268
2.8.4 Φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στο αντικείμενο	269
2.8.5 Οικονομικές επιπτώσεις στο αντικείμενο και δυνατότητες προσαρμογής και αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής	281
2.8.6 Συμπεράσματα	284
2.8.7 Προτάσεις και πολιτικές προσαρμογής στον κτηριακό τομέα	286
2.9 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των μεταφορών	287
2.9.1 Εισαγωγή	287
2.9.2 Μεθοδολογία και βασικά στάδια της μελέτης	288
2.9.3 Βασικά αποτελέσματα κατά στάδιο μελέτης	289
2.9.3.1 Βασικά αποτελέσματα Σταδίου 1: Καταγραφή του δικτύου μεταφορικών υποδομών της Ελλάδος και αξιολόγηση “επάθειας”	289

2.9.3.2 Βασικά αποτελέσματα Σταδίου 2: Εκτίμηση μεταφορικού έργου	291
2.9.3.3 Βασικά αποτελέσματα Σταδίου 3: Αποτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής για τις μεταφορές στην Ελλάδα	293
2.9.4 Προτεινόμενα μέτρα και πολιτικές διαχείρισης	295
2.10 Κλιματική αλλαγή και υγεία	296
2.10.1 Εισαγωγή	296
2.10.2 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην υγεία	296
2.10.3 Κλιματική αλλαγή και υγεία στην Ευρώπη	299
2.10.4 Οικονομικές επιπτώσεις	302
2.10.5 Φυσικές καταστροφές και θνησιμότητα στην Ελλάδα	303
2.10.6 Κλιματική αλλαγή και θνησιμότητα στη περιοχή της Πρωτεύουσας	303
2.10.7 Μεταβολές του επιπέδου των αέριων ρύπων και επιπτώσεις στη θνησιμότητα στην περιοχή της πρωτεύουσας	307
2.10.8 Πολιτικές προσαρμογής στον τομέα της υγείας	308
2.11 Επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία	310
2.11.1 Εισαγωγή	310
2.11.2 Ελληνική εξορυκτική βιομηχανία	311
2.11.3 Κλιματική αλλαγή και ελληνική εξορυκτική βιομηχανία	313
2.11.3.1 Μεθοδολογική προσέγγιση	313
2.11.3.2 Εκτιμώμενες επιπτώσεις	313
2.11.3.2.1 Άμεσες επιπτώσεις	314
2.11.3.2.2 Έμμεσες επιπτώσεις	319
2.11.3.3 Αποτίμηση επιπτώσεων	320
2.11.4 Προσαρμογή και μετριασμός επιπτώσεων	324
Βιβλιογραφία	327

Κεφάλαιο 3

Τα οικονομικά της κλιματικής μεταβολής στην Ελλάδα

3.1 Περί του κόστους της κλιματικής μεταβολής	349
3.1.1 Γιατί οι αγορές αποτυγχάνουν να προστατεύσουν το περιβάλλον	349
3.1.2 Ιδιαιτερότητες των οικονομικών της κλιματικής αλλαγής	350
3.1.3 Υπολογίζοντας το κόστος και το όφελος	352
3.1.4 Το νέο αντικείμενο συζήτησης: η επιχειρηματολογία υπέρ της ανάληψης δράσης	354
3.1.5 Σταθμίζοντας το κόστος και το όφελος διαχρονικά	356
3.1.6 Λαμβάνοντας υπόψη τη Φύση	359

3.1.7	Δικαιοσύνη σχετικά με τη χωρική διάσταση	360
3.1.8	Συναρτήσεις ζημιών, μη αναστρεψιμότητα και σημεία καμπής	361
3.1.9	Η αβεβαιότητα και τα οικονομικά μιας ακραίας κλιματικής αλλαγής	363
3.1.10	Τα επιχειρήματα υπέρ της λήψης μέτρων	368
3.2	Μαθηματικά πρότυπα για τις αλληλεπιδράσεις κλίματος και οικονομίας	370
3.2.1	Τα μαθηματικά πρότυπα ολοκληρωμένης αξιολόγησης	370
3.2.2	Τα μαθηματικά πρότυπα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας	372
3.2.3	Πρότυπα μερικής ισορροπίας και “εκ των κάτω” εκτιμήσεις	373
3.2.4	Εισαγωγή των στοιχείων των τομεακών αναλύσεων ως είσοδος των προτύπων γενικής ισορροπίας	375
3.3	Εκτίμηση του συνολικού οικονομικού κόστους της κλιματικής αλλαγής με υπόδειγμα γενικής ισορροπίας	376
3.3.1	Εισαγωγή	376
3.3.2	Το πρότυπο γενικής οικονομικής ισορροπίας GEM-E3	378
3.3.3	Μεθοδολογία χρήσης του προτύπου γενικής οικονομικής ισορροπίας	379
3.3.4	Επισκόπηση των σεναρίων εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής στη μελέτη	381
3.3.5	Επισκόπηση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους τομείς της ελληνικής οικονομίας	382
3.3.6	Περαιτέρω επεξεργασία των εκτιμήσεων των τομεακών αναλύσεων και σύνδεσή τους με παραμέτρους του υποδείγματος GEM-E3	384
3.3.7	Το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής κατά κλιματικό σενάριο	397
3.3.8	Το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής κατά τομέα επιπτώσεων	403
3.3.9	Το συνολικό κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης	405
3.4	Πολιτικές και κόστος προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή	409
3.4.1	Εισαγωγή	409
3.4.2	Κατηγορίες και μέτρα προσαρμογής	410
3.4.3	Μελέτη του κόστους της προσαρμογής με το πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3	416
3.4.4	Εκτίμηση συνολικού κόστους της προσαρμογής	422
	Βιβλιογραφία	427

Κεφάλαιο 4

Προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών

4.1	Στόχοι για τη μείωση των εκπομπών σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο	433
4.1.1	Το διεθνές και το ευρωπαϊκό πλαίσιο – κλιματική αλλαγή	433

4.1.2	Τάσεις στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά υδρογονανθράκων	434
4.1.3	Η μελλοντική εξέλιξη της ελληνικής οικονομίας	436
4.1.4	Το ευρωπαϊκό πλαίσιο για την ενέργεια	439
	<i>Πλαίσιο Η δέσμη μέτρων της ΕΕ “Κλίμα και Ενέργεια”</i>	439
4.1.5	Αποτίμηση τρέχουσας κατάστασης στην Ελλάδα	440
4.1.6	Οι προκλήσεις για την ελληνική ενεργειακή πολιτική	440
4.2	Πολιτική μείωσης των εκπομπών κατά τομέα	441
	<i>Πλαίσιο Πολιτική της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές</i>	443
4.3	Οδικός χάρτης προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών	446
4.3.1	Υποθέσεις και περιορισμοί για τη μελλοντική πορεία του ελληνικού ενεργειακού συστήματος	446
	<i>Πλαίσιο Σενάρια που αναπτύχθηκαν με βάση το πρότυπο PRIMES για την περίοδο 2010-2050</i>	450
4.3.2	Σενάρια εξέλιξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος στο πλαίσιο των στόχων μετριασμού	451
4.4	Το κόστος του Σεναρίου Μετριασμού	481
	<i>Βιβλιογραφικές αναφορές για το μαθηματικό πρότυπο PRIMES</i>	489

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και στρατηγική για την αντιμετώπιση της κλιματικής μεταβολής στην Ελλάδα

5.1	Συμπεράσματα του 1ου Κεφαλαίου	491
5.2	Συμπεράσματα του 2ου Κεφαλαίου	493
5.3	Ανάλυση κόστους-οφέλους σχετικά με την πολιτική για το κλίμα στην Ελλάδα	503
5.3.1	Κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης	504
5.3.2	Κόστος του Σεναρίου Μετριασμού	505
5.3.3	Κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής	507
5.3.4	Σύγκριση κόστους σεναρίων	508
5.4	Κοινωνικές επιπτώσεις	513

Επίλογος και μελλοντικές κατευθύνσεις	517

Κεφάλαιο 1

Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδος: παρελθόν, παρόν και μέλλον*

1.1 Εισαγωγή

Στα τεσσεράμισι δισεκατομμύρια χρόνια της ιστορίας του πλανήτη μας, οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν το κλίμα της γης έχουν υποστεί σημαντικές διακυμάνσεις. Όταν η σύσταση της ατμόσφαιρας του πλανήτη άρχισε να πλησιάζει προς τα σημερινά χαρακτηριστικά της, πράγμα που συνέβη πριν από περίπου τρία δισεκατομμύρια χρόνια, άρχισαν να εμφανίζονται οι θερμές και οι ψυχρές παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις κλιματικές περιόδους της γης. Η τελευταία γεωλογική περίοδος, η οποία συνεχίζεται μέχρι σήμερα, ονομάζεται “εποχή του Ολοκαίνου” και άρχισε πριν από 11.500 χρόνια, δηλ. μετά το τέλος της τελευταίας έξαρσης των παγετώνων (18.000 έτη πριν από σήμερα). Κατά τη μεσοπαγετώδη περίοδο που διανύουμε, ο αέρας άρχισε να θερμαίνεται, φθάνοντας σε θερμοκρασίες σχεδόν ίσες με τις σημερινές κατά τον 11ο μ.Χ. αιώνα (Luterbacher et al., 2011). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της τελευταίας περιόδου είναι και η ονομαζόμενη “Μικρή Παγετώδη Εποχή”, η οποία διήρκεσε από το 15ο έως το 19ο αιώνα και κατά την οποία επικρατούσαν σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις σημερινές, τόσο στα μέσα γεωγραφικά πλάτη όσο και στην Ελλάδα, στην οποία μάλιστα έχει εκτιμηθεί ότι οι θερμοκρασίες ήταν χαμηλότερες κατά 1,5 °C από τις σημερινές (Repapis et al., 1989, Zerefos et al., 2010, Ζερεφός, 2007, Ζερεφός, 2009, Luterbacher et al., 2006, 2010, 2011).

Από το τέλος του 19ου αιώνα αρχίζει η άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, η οποία με διακυμάνσεις συνεχίζεται μέχρι τις ημέρες μας. Ο μέσος ρυθμός θέρμανσης της ατμόσφαιρας του πλανήτη κατά τον 20ό αιώνα ήταν 0,7 °C ανά 100 χρόνια (IPCC, 2007). Ένα σημαντικό μέρος αυτής της θέρμανσης, όπως είναι γνωστό, έχει αποδοθεί στην αλλαγή της σύστασης της ατμόσφαιρας λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας και έχει επικρατήσει να λέγεται “ανθρωπογενής συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής” ή απλά “ανθρωπογενής υπερθέρμανση του πλανήτη”. Η τελευταία αυτή περίοδος εύστοχα χαρακτηρίστηκε από τον καθηγητή Paul

* Για τη συγγραφή του Κεφαλαίου 1 συνεργάστηκαν οι: Χρήστος Ζερεφός, Χρήστος Ρεπαπής, Χρήστος Γιαννακόπουλος, Ιωάννης Καψωμενάκης, Δημήτριος Παπανικολάου, Μαρία Παπανικολάου, Σεραφείμ Πούλος, Μιχάλης Βρεκούσης, Κωνσταντίνος Φιλάνδρας, Γεώργιος Τσελιούδης, Ευάγγελος Γερασόπουλος, Κωνσταντίνος Δουβής, Μιχαήλ Διακάκης, Παναγιώτης Νάστος, Παναγιώτης Χατζηνικολάου, Έλενα Ξοπλάκη, Juerg Luterbacher, Πρόδρομος Ζάνης, Χρόνης Τζεδάκης, Δήμητρα Φουντά, Κωνσταντίνος Ελευθεράτος και Κωνσταντίνος Ρεπαπής.

Crutzen ως “ανθρωπόκαινος περίοδος”. Οι Jones and Moberg (2003) υπολόγισαν την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας των ηπειρωτικών περιοχών του πλανήτη κατά τον 20ό αιώνα στους 0,78 °C ανά 100 χρόνια. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η αύξηση αυτή δεν ήταν σταθερή καθ’ όλη τη διάρκεια του 20ού αιώνα, αλλά εμφανίστηκε κυρίως στις περιόδους 1920-1945 και από το 1975 μέχρι σήμερα, ενώ από το 1945 μέχρι το 1975 πολλές εργασίες προσπάθησαν να ερμηνεύσουν την παρατηρηθείσα τότε ψύξη εξαιτίας της σκίασης του ηλίου από τα ανθρωπογενή ατμοσφαιρικά αιωρήματα. Πάντως, η τελευταία ανοδική τάση της θερμοκρασίας είναι στατιστικά σημαντική στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95% σχεδόν σε όλες τις κατοικημένες περιοχές του πλανήτη και, κατά τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό, η δεκαετία 1995-2005 ήταν η θερμότερη των τελευταίων 500 ετών (WMO, 2006).

Οι προβλέψεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2007) δείχνουν ότι η ανοδική τάση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας θα συνεχιστεί στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη και κατά τον 21ο αιώνα. Ειδικότερα, βάσει του μέσου όρου ενός συνόλου κλιματικών προσομοιώσεων, η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αναμένεται να αυξηθεί, ανάλογα με την εξέλιξη των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, κατά 1,8-4 °C κατά τον τρέχοντα αιώνα. Η άνοδος της θερμοκρασίας εκτιμάται ότι θα είναι σημαντικότερη στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και εντονότερη στις ηπειρωτικές περιοχές σε σύγκριση με τους ωκεανούς (IPCC, 2007). Η θέρμανση του πλανήτη θα έχει ως συνέπεια τη μείωση των θαλάσσιων και των χερσαίων εκτάσεων που καλύπτονται από πάγο, καθώς και την αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας. Μάλιστα, η παρατηρούμενη και αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας συνοδεύεται σε πολλές περιοχές και από μια τάση αύξησης της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως προκύπτει και από την υπό δημοσίευση αναφορά της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) που είναι αφιερωμένη στα ακραία καιρικά φαινόμενα (IPCC, 2013). Οι εκτιμήσεις σχετικά με το ύψος του υετού είναι περισσότερο περίπλοκες λόγω και των τοπικών παραγόντων αλλά και του γεωλογικού αναγλύφου, το οποίο επηρεάζει το ύψος της βροχής. Στον 20ό αιώνα το ύψος της βροχής στις ηπειρωτικές περιοχές εμφάνισε κατά μέσον όρο αυξητικές τάσεις σε ένα μεγάλο τμήμα των μέσων και μεγαλύτερων γεωγραφικών πλατών, ενώ, αντίθετα, στις τροπικές περιοχές επικράτησαν πτωτικές τάσεις. Παρόμοια εικόνα αναμένεται ότι θα παρουσιάσει το ύψος της βροχής και κατά τον 21ο αιώνα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων. Εν γένει αναμένεται αύξηση του υετού στα μέσα και τα ανώτερα γεωγραφικά πλάτη, καθώς και στη ζώνη της Ισημερινής Σύγκλισης, και μείωσή του στους τροπικούς (IPCC, 2007).

Η Νότια Ευρώπη, καθώς και η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, έχουν αναγνωριστεί ως ευάλωτες περιοχές σε ό,τι αφορά στις επιπτώσεις της ανθρωπογενούς συνιστώσας της κλιματικής αλλαγής (Hulme et al., 1999, Giorgi, 2006, IPCC, 2007). Τούτο συμβαίνει επειδή οι περιοχές αυτές βρίσκονται στα όρια της ζώνης στην οποία επικρατούν ημερημικές συνθήκες, με αποτέλεσμα μια πιθανή μετατόπιση προς βορρά της βαροκλιτικής ζώνης αστάθειας, λόγω της

κλιματικής μεταβολής, να επιφέρει δραστηκότετες μεταβολές, ιδίως στο ισοζύγιο του ύδατος στη Μεσόγειο. Πιο συγκεκριμένα, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα μιας σειράς κλιματικών προσομοιώσεων που διεξήχθησαν υπό διάφορα σενάρια εκπομπών για την περιοχή της Μεσογείου, προβλέπεται ότι μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα η θερμοκρασία θα σημειώσει σημαντική άνοδο, ενώ παράλληλα το ύψος του νετού που αναμένεται στην περιοχή θα μειωθεί (Gibelin and Déqué, 2003, Pal et al., 2004, Giorgi and Bi, 2005, Giorgi and Lionello, 2008, Zanis et al. 2009, Καψωμενάκης, 2009, Δουβής, 2009). Πρόσφατες μελέτες των Gao et al. (2006) Hertig and Jacobeit (2007), Zerefos et al. (2010), χρησιμοποιώντας μεθόδους στατιστικής υποκλιμάκωσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το ύψος του νετού θα μειωθεί σημαντικά στα ανατολικά και στα νότια τμήματα της Μεσογείου, κυρίως από τον Οκτώβριο μέχρι και το Μάιο. Άλλες εργασίες, που επικεντρώνονται στη μεταβολή των ακραίων τιμών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, έδειξαν ότι στο μέλλον, στην περιοχή της Μεσογείου, θα αυξηθούν δραστηκότετα η ένταση των θερμών εισβολών (Diffenbough et al., 2007, Kuglitsch et al., 2010) και η διάρκεια των περιόδων ξηρασίας (Goubanova and Li, 2007), με συνέπεια, μεταξύ άλλων, τη σημαντική αύξηση του κινδύνου εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών (Giannakopoulos, 2009a). Οι μεταβολές αυτές εκτιμάται ότι θα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα της περιοχής, αλλά και σε μια σειρά από τομείς και αποτελέσματα της ανθρώπινης δραστηριότητας (υγεία, γεωργία, τουρισμός, ζήτηση ενέργειας, φυσικές καταστροφές, περιορισμός της βιοποικιλότητας κ.ά.). Στις ακόλουθες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι κλιματικές μεταβολές στην Ανατολική Μεσόγειο και σε διάφορες περιοχές της Ελλάδος σε διαφορετικές κλίμακες χρόνου στο παρελθόν, στο παρόν και στο μέλλον.

1.2 Παλαιοκλιματικές μεταβολές

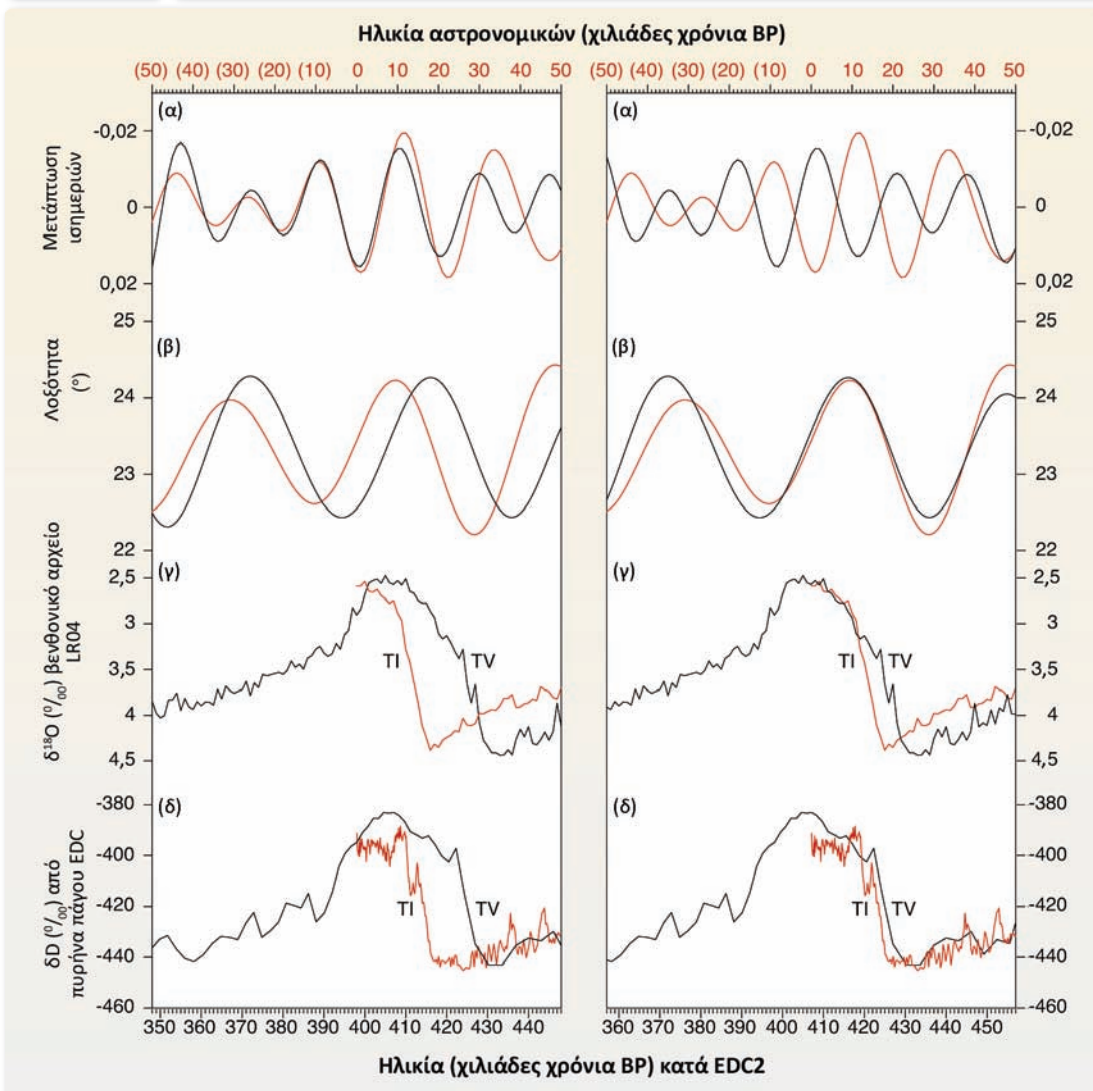
Το κλίμα της Γης πριν από 55 εκατομμύρια έτη (αρχή της εποχής του Ηωκαίνου) υπήρξε θερμότερο από σήμερα (The Geological Society, 2010), όπου εκτιμήσεις παλαιοθερμοκρασίας βαθέων υδάτων προερχόμενες από ισότοπα οξυγόνου βενθονικών τρηματοφόρων (Zachos et al., 2001, Miller et al., 2005) υποδεικνύουν περίπου 6 °C υψηλότερες θερμοκρασίες από τις σημερινές. Ακολούθως, τα τελευταία 50 εκατομμύρια έτη υπάρχουν ενδείξεις για μια μακροχρόνια τάση μείωσης της θερμοκρασίας (Zachos et al., 2001). Πριν από 34 εκατομμύρια έτη δημιουργήθηκαν οι παγετώνες της Ανταρκτικής (Barrett, 1996), ενώ πριν από 2,6 εκατομμύρια έτη αναπτύχθηκαν και οι παγετώνες του βορείου ημισφαιρίου (Maslin et al., 1998). Από τότε αρχίζει και η τελευταία γεωλογική περίοδος της εποχής του Τεταρτογενούς, η οποία χαρακτηρίζεται από εναλλαγές σχετικά σύντομων (10-30 χιλιάδες χρόνια) μεσοπαγετωδών περιόδων και παρατεταμένων παγετωδών περιόδων, οι οποίες εναλλαγές απέκτησαν αισθητά μεγαλύτερη ένταση και μικρότερη συχνότητα κατά το τελευταίο ένα εκατομμύριο χρόνια.

Συνοπτικά, το κλίμα διαμορφώνεται από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες (Bradley, 1999, Alverson et al., 2003). Στους εξωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται οι τροχιακές παράμετροι Γης-Ήλιου, δηλαδή η εκκεντρότητα της τροχιάς (eccentricity), η κλίση του άξονα περιστροφής της γης (obliquity) και η μετάπτωση των ισημεριών (precession), καθώς και η ηλιακή δραστηριότητα. Στους εσωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι διεργασίες ανάδρασης του συστήματος υδρόσφαιρα – ατμόσφαιρα – λιθόσφαιρα – βιόσφαιρα – κρυόσφαιρα (π.χ. albedo, νεφοκάλυψη κ.λπ.), οι διακυμάνσεις του όγκου των παγετώνων, οι μεταβολές της ταχύτητας και του τρόπου κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων, οι μεταβολές των αερίων του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας (π.χ. CO₂, CH₄) και η επίδρασή τους στην εισερχόμενη και εξερχόμενη θερμική ακτινοβολία, καθώς και οι διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Η σημασία των μεταβολών των τροχιακών παραμέτρων της γης για τις μακροχρόνιες κλιματικές μεταβολές αναπτύχθηκε αρχικά από τους Adhemar (1842), Croll (1875) και Milankovitch (1941) και έκτοτε πλήθος εργασιών πιστοποίησε την αποτύπωση των τριών τροχιακών παραμέτρων, που απαντούν σε περιοδικότητες των 400 και 100, 41 και 19-21 χιλιάδων ετών (ka), σε ποικίλους παλαιοκλιματικούς δείκτες. Η υπολογιστική απεικόνιση των μεταβολών των τριών τροχιακών παραμέτρων του παρελθόντος (Berger and Loutre, 1991) και του μέλλοντος (Berger et al., 1998) αποτελεί σημαντικό εργαλείο ποικίλων παλαιοκλιματικών μελετών. Για παράδειγμα, προσφέρει τη δυνατότητα σύγκρισης της σημερινής μεσοπαγετώδους περιόδου (έναρξη πριν από 11,5 χιλιάδες χρόνια) με αυτές του παρελθόντος που χαρακτηρίζονταν από παρόμοιες τροχιακές παραμέτρους και στη συνέχεια τη δυνατότητα εκτίμησης της παρούσας φάσης του κλιματικού κύκλου, καθώς και της μελλοντικής του εξέλιξης. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της 4ης έκθεσης αξιολόγησης (2007) της IPCC, για να δημιουργηθούν συνθήκες τροχιακής διάταξης της Γης κατάλληλες να προκαλέσουν πολύ ψυχρά καλοκαίρια στο βόρειο ημισφαίριο, παρόμοια με αυτά που καταγράφηκαν πριν από 116 χιλιάδες χρόνια (έναρξη τελευταίας παγετώδους περιόδου), θα πρέπει να περάσουν το λιγότερο 30 χιλιάδες χρόνια από σήμερα. Ωστόσο, η επιστημονική κοινότητα παραμένει μέχρι σήμερα επιφυλακτική τόσο ως προς την επιλογή εκείνης της μεσοπαγετώδους περιόδου του παρελθόντος με την οποία θα μπορούσε να συγκριθεί η σημερινή θερμή περίοδος όσο και ως προς τον τρόπο (analogue) με τον οποίο θα πρέπει να γίνει αυτή η σύγκριση. Για παράδειγμα, εάν η σημερινή μεσοπαγετώδης περίοδος (ισοτοπικό στάδιο 1 ή MIS 1) ταυτιστεί με αυτήν του MIS 11 (~ 400 ka), η οποία είναι χαρακτηριστική για τη μεγάλη της διάρκεια (28 ka), και με την οποία έχουν παρόμοιες τιμές προσπίπτουσας ακτινοβολίας και CO₂, και ευθυγραμμιστούν οι καμπύλες της μετάπτωσης των ισημεριών (precession) των δύο μεσοπαγετωδών περιόδων, προκύπτει ότι η σημερινή θερμή περίοδος πρέπει να βρίσκεται προς το τέλος της (Διάγραμμα 1.1) (Loutre and Berger, 2000, 2003, Ruddiman, 2007, Tzedakis, 2010). Εάν όμως ευθυγραμμιστούν οι καμπύλες της κλίσης του άξονα περιστροφής της γης (obliquity) μεταξύ των δύο θερμών περιόδων (Masson-Del-

Διάγραμμα 1.1

Σύγκριση δύο διαφορετικών τρόπων ευθυγράμμισης (analogue) μεταξύ παρόντος-παρελθόντος-μέλλοντος (50 ka από σήμερα, με κόκκινο χρώμα)

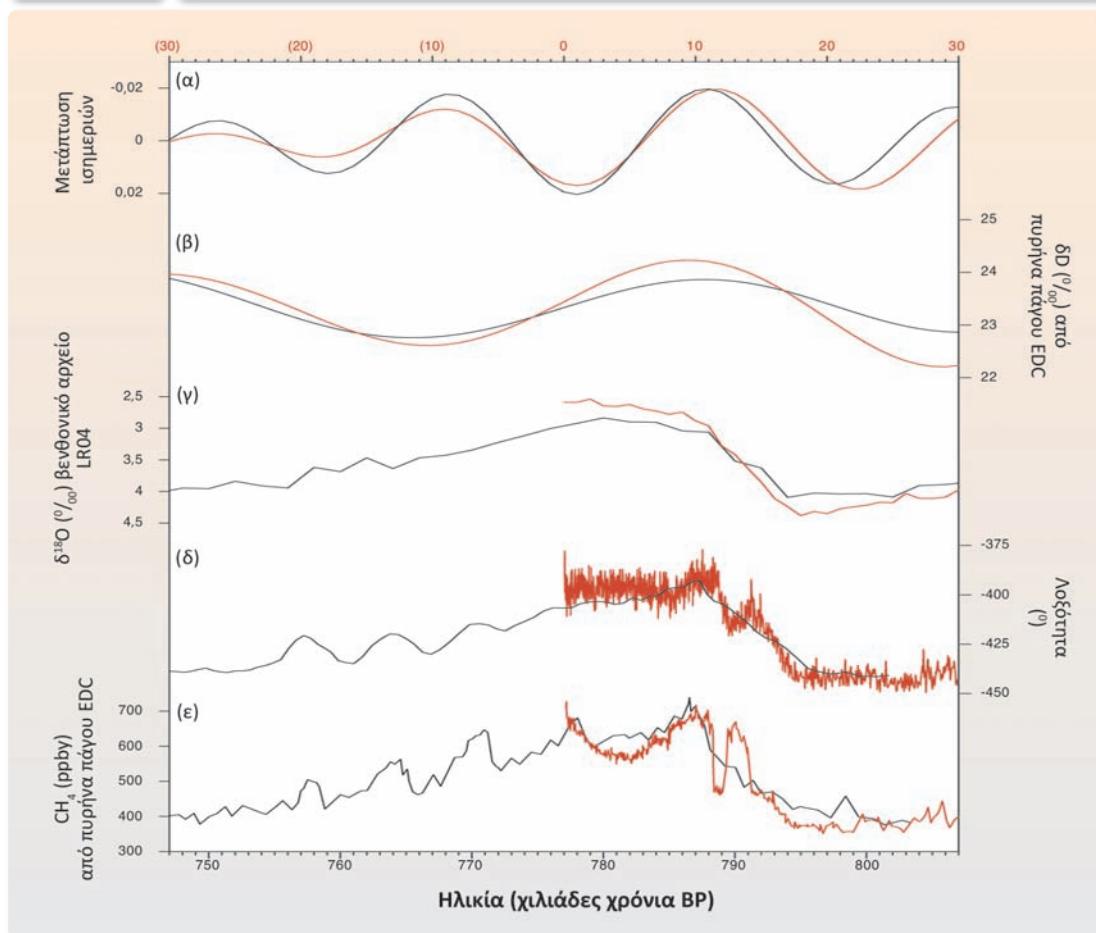


Το παρελθόν αναφέρεται σε ένα χρονικό διάστημα 100 ka κατά το MIS 11 (μαύρη γραμμή) (σύμφωνα με τους Masson-Delmotte et al., 2006). Στο αριστερό τμήμα του διαγράμματος συγχρονίζεται η παράμετρος της μετάπτωσης των ισημερινών μεταξύ των MIS 1 και 11, ενώ στο δεξί ο παράμετρος της λοξότητας. (α) Μετάπτωση των ισημερινών (Berger and Loutre, 1991), (β) λοξότητα (Berger and Loutre, 1991), (γ) $\delta^{18}\text{O}$ βενθονικό αρχείο του LR04 stack (Lisiecki and Raymo, 2005), (δ) ισότοπα δευτερίου από τον πυρήνα πάγου EDC Ανταρκτικής (EPICA Community Members, 2004). Οι ηλικίες σε παρένθεση αντιπροσωπεύουν χιλιάδες χρόνια στο μέλλον (ka AP; after present). Τα δεδομένα της EPICA στηρίζονται στο χρονολογικό πλαίσιο της EPICA Community Members (2004). Διάγραμμα από Tzedakis (2010).

motte et al., 2006, Broecker and Stocker, 2006), προκύπτει ότι η σημερινή θερμή περίοδος θα συνεχιστεί για περίπου 12 ka ακόμη, πριν διαμορφωθούν οι συνθήκες για την έναρξη της επόμενης παγετώδους περιόδου (Διάγραμμα 1.2). Εάν, από την άλλη πλευρά, το σημερινό MIS 1 ταυτιστεί με το MIS 19 (~770 ka), με το οποίο επίσης παρουσιάζει ομοιότητες ως προς τις τροχιακές παραμέτρους, τότε η σημερινή θερμή περίοδος θα έχει 9 ka ακόμη να διανύσει (βλ. Loutre and Berger, 2000, και Διάγραμμα 1.2).

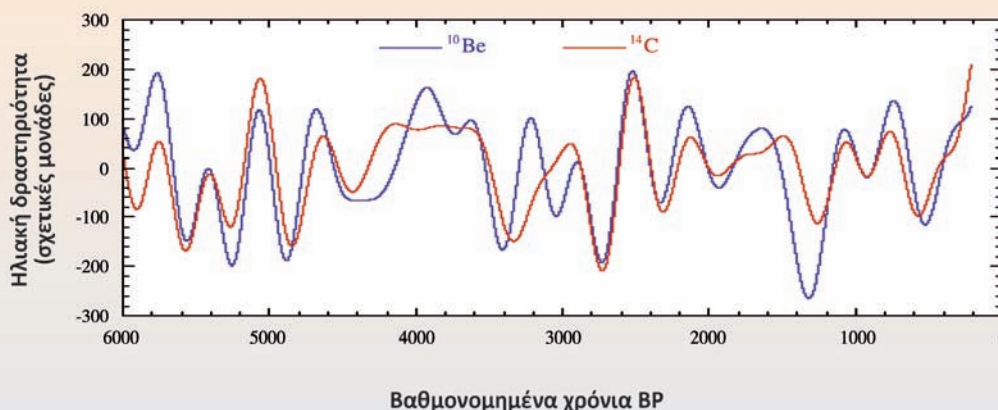
Διάγραμμα 1.2

Ευθυγράμμιση των παραμέτρων της μετάπτωσης των ισημερινών (και της ηοξότητας) του παρελθόντος με αυτές του παρόντος και του μέλλοντος για τα επόμενα 30 ka (κόκκινες γραμμές)



Το παρελθόν αντιστοιχεί σε ένα χρονικό διάστημα διάρκειας 60 ka πριν από 750–800 ka κατά το MIS 19 (μαύρες γραμμές). (α) Μετάπτωση των ισημερινών (Berger and Loutre, 1991), (β) ηοξότητα (Berger and Loutre, 1991), (γ) $\delta^{18}\text{O}$ βενθονικό αρχείο του LR04 stack (Lisiecki and Raymo, 2005), (δ) ισότοπα δευτερίου από τον πυρήνα πάγου EDC Ανταρκτικής (Jouzel et al., 2007), βασισζόμενα στο EDC3 χρονολογικό πλῆαισιο, ε) συγκέντρωση ατμοσφαιρικού μεθανίου CH_4 από τον πυρήνα πάγου EDC (Loulergue et al., 2008) βάσει του χρονολογικού πλῆαισίου EDC3. Οι ηηικίες σε παρένθεση δηλῶνουν χιηιάδες χρόνια από σήμερα προς το μέηηον (ka AP).

Η μεταβλητότητα του κλίματος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί, ανάλογα με τις εμφανιζόμενες περιοδικές συχνότητες, σε περιόδους που κυμαίνονται από 400 χιηιάδες έως και περίπου 20 χιηιάδες χρόνια και σχετίζονται με τις τροχιακές παραμέτρους ή ακόμα και σε περιόδους με μεταβλητότητα 1.500 ετών και πολλαπλάσιων αυτών (δηλ. 3.000, 5.000 έτη κ.λπ.), που σχετίζονται με τα παγκόσμιας σημασίας γεγονότα ψύχρανσης των υδάτων, τα αποκαλούμενα “Dansgaard-Oeschger events” και τα μη περιοδικά “Heinrich events”, και τέλος σε περιόδους με μεταβλητότητα σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, της τάξεως των ετών έως ολίγων δεκάδων ετών, που οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις ατμόσφαιρας – βιόσφαιρας – κρυόσφαιρας – υδρόσφαιρας, όπως π.χ. το φαινόμενο “El Niño”, η κύμανση του Βόρειου Ατλαντικού, η Αρκτική Κύμανση, η σχεδόν διετής κύμανση κ.ά.



Ο ρυθμός παραγωγής του ^{10}Be προέκυψε από τις συγκεντρώσεις ^{10}Be που μετρήθηκαν στον πυρήνα πάγου της Γροιλανδίας GRIP (Vonmoos et al., 2006). Ο ρυθμός παραγωγής του ^{14}C υπολογίστηκε με το Bern3D δυναμικό πρότυπο κύκλου του άνθρακα (Müller et al., 2006), ορίζοντας τα αρχεία δακτυλίων δέντρων και των δύο ημισφαιρίων (Reimer et al., 2004, McCormack et al., 2004). Διάγραμμα από Wanner et al. (2008).

Μετρήσεις της ηλιακής δραστηριότητας μέσω των παρατηρήσεων των ηλιακών κηλίδων υπάρχουν από το 17ο αιώνα μέχρι σήμερα και εμφανίζουν περιοδικές μεταβολές με περιοδικότητες 11, 22 και 75 ετών. Η αναπαράσταση της ηλιακής δραστηριότητας στο ιστορικό και γεωλογικό παρελθόν προκύπτει με έμμεσο τρόπο από τις μεταβολές των συγκεντρώσεων των κοσμικής προέλευσης ισοτόπων (^{10}Be σε πολικό πάγο και ^{14}C σε δακτυλίους δέντρων, όπου μεγαλύτερη παραγωγικότητα των ισοτόπων συνδέεται με μειωμένη ακτινοβολία). Μια τέτοια αναπαράσταση φαίνεται στο Διάγραμμα 1.3 για τα τελευταία έξι χιλιάδες χρόνια (Wanner et al., 2008) ή τα 10 χιλιάδες χρόνια πριν (Vonmoos et al., 2006), στην οποία όμως παρουσιάζονται ανακολουθίες μεταξύ των αρχείων του ^{10}Be και του ^{14}C μετά τα έξι χιλιάδες χρόνια.

Η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στη μεταβλητότητα του κλίματος υποστηρίζεται από τη συσχέτιση των μεταβολών των κοσμικών ισοτόπων με τις μεταβολές ποικίλων κλιματικών δεικτών, όπως ισότοπα οξυγόνου (Karlén and Kuylenskierna, 1996, Bond et al., 2001, Fleitmann et al., 2003, Wang et al., 2005). Οι Scafetta and West (2006) υπολόγισαν ότι το 75% της παγκόσμιας θέρμανσης της περιόδου 1900-1980 είχε προέλευση την ηλιακή δραστηριότητα, ενώ το ποσοστό μειώνεται στο 30% για την περίοδο 1980-2000. Κάποιοι άλλοι, όπως οι Wanner et al. (2008), είναι πιο επιφυλακτικοί τόσο ως προς τη φυσική ερμηνεία με βάση την οποία η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει το κλίμα όσο και ως προς την αισθητή επίδραση που μπορεί να έχουν οι μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας τόσο στις κλιματικές αλλαγές του Τεταρτογενούς (αυξομειώσεις παγετώνων) όσο και στη σημερινή παγκόσμια θέρμανση (Bard and Frank, 2006) και θεωρούν ότι ενδεχομένως η ηλιακή δραστηριότητα ασκεί απλώς δευτερεύουσα επίδραση. Είναι δηλαδή πιθανό η ηλιακή επίδραση να συμβάλλει σε μικρές διακυμάνσεις του κλίματος διάρκειας μερικών

αιώνων (Steinhilber et al., 2009), όπως, ενδεικτικά, οι περιπτώσεις κλιματικών διακυμάνσεων της τελευταίας χιλιετίας, π.χ. η μεσαιωνική κλιματική ανωμαλία (σχετικά θερμή περίοδος 900-1400 μ.Χ.) και βεβαίως η “Μικρή Παγετώδης Εποχή” (1500-1800 μ.Χ.). Συνολικά, η αβεβαιότητα που υπάρχει στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με την επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας σε μικρές χρονικές κλίμακες είναι μεγάλη και γι’ αυτό δεν θα συζητηθεί περαιτέρω εδώ.

1.3 Κλιματικές μεταβολές κατά την εποχή του Ολοκαίνου

Η παρακολούθηση της εξέλιξης του κλίματος τα τελευταία 11,5 χιλιάδες χρόνια (Ολόκαινος) σε υψηλή χρονική ανάλυση είναι σημαντική για την εκτίμηση τόσο της τάσης των αλλαγών των διαφόρων παραμέτρων του κλίματος όσο και του εύρους και της ταχύτητας διακύμανσης. Η περίοδος του Ολοκαίνου αποτελεί κλιματικό καθεστώς συγκρίσιμο με αυτό του παρόντος, ενώ παράλληλα διαθέτει παλαιοκλιματικά αρχεία ιζημάτων και άλλων βιοδεικτών υψηλής χρονικής ανάλυσης. Η χρονολόγηση των αρχείων αυτών μπορεί να επιτευχθεί με ικανοποιητική ακρίβεια, ανάλογα με την περίπτωση, είτε με απόλυτες χρονολογήσεις (π.χ. ραδιενεργά ισότοπα ^{14}C , ^{210}Pb) είτε με έμμεσες χρονολογήσεις (π.χ. χαρακτηριστικούς στρωματογραφικούς ορίζοντες ηφαιστειακής τέφρας, σαπροπηλών κ.λπ.). Η διαθεσιμότητα υψηλής ανάλυσης καταγραφών των παραμέτρων του κλίματος (π.χ. θερμοκρασία, αλατότητα, βροχόπτωση), τόσο από ενόργανες μετρήσεις (τους τελευταίους δύο αιώνες) όσο και από καταγραφές ιζημάτων (χιλιάδες, εκατοντάδες χρόνια) αποκαλύπτει μια μεγάλης έντασης μεταβλητότητα σε επίπεδο δεκαετιών και εκατονταετιών. Άλλωστε, επαρκής κάλυψη ενόργανων μετρήσεων υπάρχει μόνο για τα τελευταία 150 χρόνια, ενώ η σύνθεση δεδομένων διαφόρων παραμέτρων από δακτυλίους δέντρων, πυρήνες πάγου, σπηλαιοαποθέσεις, ιστορικές καταγραφές κ.λπ. είναι ζήτημα αν καλύπτει τα 2.000 χρόνια πριν για τη Μεσόγειο (π.χ. Luterbacher et al., 2011).

Σκοπός αυτού και των επόμενων δύο υποκεφαλαίων είναι η σύγκριση της διάρκειας, του εύρους και του ρυθμού των κλιματικών αλλαγών του παρελθόντος με αυτά του παρόντος κλίματος, με εστίαση κυρίως στην Ανατολική Μεσόγειο και στην Ελλάδα.

Η εποχή του Ολοκαίνου είναι γνωστή ως η τελευταία μεσοπαγετώδης θερμή περίοδος, τα τελευταία στάδια της οποίας διανύουμε σήμερα. Ωστόσο, σημαντικός αριθμός εργασιών αναδεικνύει μια κλιματική μεταβλητότητα, η οποία εκφράζεται με κάποια απότομα, ψυχρά, κλιματικά γεγονότα παγκόσμιας εμβέλειας, των οποίων τα χαρακτηριστικά (διάρκεια, ένταση, ρυθμός) και οι κινητήριες δυνάμεις είναι απολύτως απαραίτητο να καθοριστούν και να συγκριθούν με αυτά της κλιματικής αλλαγής της τελευταίας χιλιετίας έως εκατονταετίας. Σύμφωνα με μια συνθετική ανασκόπηση και επανεξέταση (Mayewski et al., 2004) της παγκόσμιας κλιματικής μεταβλητότητας κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου, προκύπτει η διάκριση τεσσάρων διαστημάτων απότομης κλιματικής αλλαγής, δηλαδή διαστημάτων ψύχρανσης μέσα στη γενικό-

τερα θεωρούμενη θερμή περίοδο. Η παλαιότερη αιφνίδια κλιματική αλλαγή του Ολοκαίνου είναι αυτή πριν από 9-8 χιλιάδες χρόνια (γνωστή ως “8.2 ka event”, π.χ. Alley et al., 1997), η οποία συντρέχει με:

- πιθανές απελευθερώσεις μεγάλης ποσότητας λιωμένου πάγου στο Βόρειο Ατλαντικό (Barber et al., 1999), που ενδεχομένως οδήγησαν στη δημιουργία θαλάσσιου πάγου, αποτελώντας θετική ανάδραση στην κλιματική ψύξη,
- μείωση της καλοκαιρινής ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας (summer insolation),
- απουσία ένδειξης μεταβολής της ηλιακής δραστηριότητας (διότι το ^{10}Be παραμένει αμετάβλητο στους πυρήνες πάγου, ενώ το $\Delta^{14}\text{C}$ σημειώνει μείωση, που μπορεί να οφείλεται σε αλλαγή της θερμόαλης κυκλοφορίας εξαιτίας της αυξημένης παραγωγής γλυκού νερού [melt-water]) και αυξημένα ποσοστά SO_4 , τα οποία υποδηλώνουν πιθανή συμβολή ηφαιστειακών εκρήξεων τόσο στην ψύχρανση όσο και στην ξηρότητα των χαμηλών γεωγραφικών πλατών (μέσω της μείωσης των αφροασιατικών μουσώνων).

Μετά τα 9-8 ka, ακολουθούν τα αιφνίδια κλιματικά γεγονότα των 6 έως 5 ka, των 3,5 έως 2,5 ka και τα μικρότερης εξάπλωσης 4,2 έως 3,8 και 1,2 έως 1 ka BP (Mayewski et al., 2004). Το κλιματικό καθεστώς και οι κινητήριες δυνάμεις που συνδέονται με τα παραπάνω κλιματικά γεγονότα είναι διαφορετικά από αυτά των 9-8 ka BP. Αυτό σημαίνει ότι για τα νεότερα κλιματικά γεγονότα δεν υπάρχουν ενδείξεις απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων γλυκού νερού ή έντονες μεταβολές των καλυμμάτων πάγου του βορείου ημισφαιρίου, ούτε συστηματικές αλλαγές στη συγκέντρωση ηφαιστειακών αερίων και ατμοσφαιρικού CO_2 . Ενώ λοιπόν στην αλλαγή των 9-8 ka BP οι παγετώνες του βορείου ημισφαιρίου διαδραμάτιζαν ακόμη σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των κλιματικών αλλαγών, κάποιες από τις νεότερες κλιματικές αλλαγές φαίνεται να καθορίζονται περισσότερο από τη μεταβλητότητα της ηλιακής δραστηριότητας. Αυτά τα ψυχρά διαστήματα των υψηλών γεωγραφικών πλατών του βορείου ημισφαιρίου εκφράζονται με συνθήκες ξηρότητας στα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη (Mayewski et al., 2004, Staubwasser and Weiss, 2006), όπως για παράδειγμα στη Μεσόγειο. Πιο συγκεκριμένα, τα διαστήματα των 6-5 και 3,5-2,5 χιλιάδων χρόνων πριν από σήμερα συνδέονται με:

- μειωμένες τιμές ηλιακής δραστηριότητας, που αντανakλώνται σε μέγιστες τιμές των ^{10}Be και $\Delta^{14}\text{C}$, και
- αύξηση του ατμοσφαιρικού μεθανίου μετά τα πέντε χιλιάδες χρόνια πριν από σήμερα.

Οι επόμενες νεότερες αιφνίδιες κλιματικές αλλαγές των διαστημάτων 4,2-3,5 ka BP και 1,2-1 ka BP είναι δύσκολο να αποδοθούν σε συγκεκριμένους μηχανισμούς, καθώς για παράδειγμα η περίοδος 4,2-3,5 ka BP σημειώνει μέγιστο στο ^{10}Be αλλά ανεπαίσθητη αλλαγή στο $\Delta^{14}\text{C}$, αποδυναμώνοντας το επιχείρημα περί της επίδρασης της ηλιακής δραστηριότητας. Από την άλλη πλευρά, η καταγεγραμμένη ξηρότητα στα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη πιθανόν να ερμηνεύεται με την οπισθοχώρηση προς το νότο της Ενδοτροπικής Ζώνης Σύγκλισης (ITCZ, Hodell et al., 2001), η οποία συνάδει με την ενδυνάμωση των δυτικών ανέμων (westerlies) στο Βόρειο Ατλαντικό.

Η ξηρότητα της περιόδου 4,2-3,5 ka BP φαίνεται να έχει συνδράμει στην κατάρρευση του ακκαδικού πολιτισμού (deMenocal et al., 2000a). Το διάστημα των 1,2-1 ka BP συμπίπτει με μικρή αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ και η ξηρασία αυτού του διαστήματος φαίνεται να συμπίπτει με την κατάρρευση του πολιτισμού των Μάγια (Hodell et al., 2001). Σε περίοδο χαμηλών θερμοκρασιών, η ξηρότητα στις τροπικές περιοχές μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως εξασθένηση των μουσωνικών συστημάτων, μείωση της εξάτμισης από τους κρύους ωκεανούς και μειωμένη θερμική μετάδοση πάνω από τις τροπικές ηπείρους (Mayewski et al., 2004).

Το πιο πρόσφατο ψυχρό γεγονός καταγράφεται 600 χρόνια πριν από σήμερα, όπου οι χαμηλές θερμοκρασίες των μεγάλων γεωγραφικών πλατών συνδυάζονται με αυξημένη υγρασία στα μικρά γεωγραφικά πλάτη. Κατά τη διάρκεια αυτής της απότομης αλλαγής παρατηρείται μείωση του CO₂ και αύξηση του CH₄, κάτι το οποίο καταδεικνύει συνθήκες αυξημένης υγρασίας. Υψηλές συγκεντρώσεις ηφαιστειακών αερίων κατά την έναρξη του γεγονότος πιθανόν να συνέβαλαν θετικά στην έναρξη της ψύχρανσης. Επίσης, η διακριτή αύξηση των ¹⁰Be και ^{Δ14}C (Beer, 2000, Stuiver and Braziunas, 1989, 1993) υποδηλώνει ότι αυτή την περίοδο η μεταβλητότητα της ηλιακής δραστηριότητας άσκησε σημαντική επίδραση (Bond et al., 2001, Denton and Karlsen, 1973, Mayewski et al., 1997, O'Brien et al., 1995) και πιθανόν να σχετίζεται με το ελάχιστο της ηλιακής δραστηριότητας (Spörer Minimum) του 15ου αιώνα μ.Χ. Μια ακολουθία ελάχιστων ηλιακών κηλίδων, όπως των Wolf (1280-1350 μ.Χ.), Spörer (1460-1550), Maunder (1645-1715) και Dalton (1790-1820), μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει την ψυχρή περίοδο γνωστή ως “Little Ice Age”, κατά τη διάρκεια της οποίας η ηφαιστειακή δραστηριότητα υπολογίζεται ότι συνέβαλε στην περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας (Gao et al., 2008). Μεταξύ του ελαχίστου των κηλίδων (Περίοδος Oort 1040-1080 και Wolf 1280-1350) μεσολαβεί μια περίοδος περίπου 200 ετών με αυξημένη ηλιακή δραστηριότητα, η οποία συμπίπτει με τη μεσαιωνική κλιματική ανωμαλία.

Συμπερασματικά, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι απότομες κλιματικές αλλαγές κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (πιο συχνές από το Μέσο Ολόκαινο μέχρι σήμερα) δεν παρατηρούνται ταυτόχρονα και με την ίδια ένταση σε όλες τις περιοχές της γης, αφού ουσιαστικά συνιστούν το αποτέλεσμα της επίδρασης ποικίλων μηχανισμών, ενώ παράλληλα γίνεται αντιληπτό ότι κάθε ψυχρό γεγονός μπορεί να αποτελεί έκφραση ενός ξεχωριστού και μη επαναλαμβανόμενου συνδυασμού κλιματικών μηχανισμών και κινητήριων δυνάμεων (Mayewski et al., 2004).

1.4 Ρυθμοί ανόδου της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κατά το παρελθόν και η σημασία του διοξειδίου του άνθρακα

Η σημερινή κλιματική αλλαγή εκτιμάται ότι ισοδυναμεί με αύξηση περίπου 1 °C (θερμοκρασία εδάφους) τα τελευταία 500 χρόνια (Pollack and Smerdon, 2004, Huang et al., 2000) και

Πίνακας 1.1

Παγκόσμιοι ρυθμοί θέρμανσης και μεταβολή θερμοκρασίας από την τελευταία παγετώδη περίοδο μέχρι σήμερα, συνοδευόμενα από την πηγή προέλευσης των θερμοκρασιακών δεδομένων

Χρονική περίοδος	ΔΤ (°C)	Ρυθμός ΔΤ (°C/έτη)	Προέλευση
100 a BP	+ 0,7		IPCC (2007)
500 a BP	+1		Pollack and Smerdon (2004)
18 ka* –11 ka BP		+ 1/100	Τρηματοφόρα Β. Ατλαντικού
18 ka –11 ka BP		+ 0,6–0,8/100	Γύρη Γαλλίας
18 ka –11 ka BP		+ 1,7–2/100	Κολεόπτρα Βρετανίας
6 ka BP		+ 0,4/100	
900–1350 μ.Χ. (Μεσαίωνας)	+1		Πάγοι Γροιλανδίας
Ψυχρές περιόδους του 19ου αιώνα	- 0,6-0,7		Dahl-Jensen et al. (1998)
Ψυχρές περιόδους του 17ου αιώνα (Little Ice Age)	- 0,5		Dahl-Jensen et al. (1998)
1980-1999 – 2090-2099	+ 1,8-4,0		IPCC (2007) (Meehl and Stocker, 2007) προβολές για το κλίμα

* ka: χιλιάδες χρόνια πριν από σήμερα, BP: πριν από σήμερα.

0,76 °C τα τελευταία 100 χρόνια (IPCC, 2007). Εκτιμάται μάλιστα ότι τα τελευταία 50 χρόνια εμφανίζονται πιθανότατα ως τα θερμότερα από οποιαδήποτε άλλη 50ετή περίοδο στα τελευταία 500 χρόνια αλλά πιθανόν ακόμα και στα τελευταία 1300 χρόνια (IPCC, 2007). Ωστόσο, η ακρίβεια των δεδομένων που έχουν προκύψει από τη συλλογή έμμεσων εκτιμήσεων για το παλαιοκλίμα από ιστορικές καταγραφές και άλλους παλαιοκλιματικούς δείκτες 400 και 500 χρόνια πριν από σήμερα, καθώς και η συνεκτικότητα των εν λόγω δεδομένων με αυτά των ενόργανων μετρήσεων του τελευταίου ενάμισι αιώνα, δεν είναι επαρκείς ώστε να μας οδηγήσουν στην εκτίμηση ότι τα τελευταία 100 χρόνια εμφανίζουν πιο ακραίες κλιματικές αλλαγές από ό,τι τα προηγούμενα 400 χρόνια (Xoplaki et al., 2005).

Παρόλο που οι μεταβολές και ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα είναι δύσκολο να προσδιοριστούν, δεδομένου ότι υπάρχουν τεράστιες διαφορές από περιοχή σε περιοχή, η επιστημονική κοινότητα έχει προβεί σε θερμοκρασιακές εκτιμήσεις για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα του γεωλογικού παρελθόντος, οι οποίες παρατίθενται πιο κάτω, με χρονολογική σειρά. Αυτές οι εκτιμήσεις συνοψίζονται και στον Πίνακα 1.1.

Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία (επιφάνειας) την προηγούμενη μεσοπαγετώδη περίοδο, 120-125 χιλιάδες χρόνια πριν, εκτιμάται στους 2 °C υψηλότερα από τη σημερινή (Otto-Bliensner et al., 2006). Η διακύμανση της θερμοκρασίας από το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου πριν από 21-18 χιλιάδες έτη μέχρι την έναρξη της σημερινής θερμής περιόδου πριν από 10-11 χιλιάδες έτη εκτιμάται στους 4° με 7 °C (Jansen et al., 2007). Κατά τη διάρκεια της τελευταίας και σημερινής θερμής περιόδου (τα τελευταία 11.500 έτη), εκτιμάται ότι

μεταξύ εννέα και τεσσάρων χιλιάδων ετών πριν (Μέση Ολόκαινος περίοδος) έλαβε χώρα η κορύφωση της θερμής περιόδου, η οποία εμφανίζεται να αντιστοιχεί σε επίπεδο 1-3 °C υψηλότερο από τις σημερινές τιμές (δεδομένα από επιφανειακά θαλάσσια ύδατα και από πυρήνες πάγου, Dahl-Jensen et al., 1998, Masson-Delmotte et al., 2005). Κατά τη σχετικά θερμή περίοδο του Μεσαίωνα (900-1350 μ.Χ.), σύμφωνα με δεδομένα από πυρήνες πάγου της Γροιλανδίας, προκύπτει ότι η θερμοκρασία ήταν κατά 1 °C υψηλότερη από εκείνη της εκατονταετίας 1880-1980 (Vinther et al., 2010). Όλες οι αναπαραστάσεις παρουσιάζουν την περίοδο του Μεσαίωνα ως θερμή, ενώ τους αιώνες της Αναγέννησης και του Διαφωτισμού ως ψυχρότερους και ο 20ός αιώνας εμφανίζεται να έχει ιδιαίτερα υψηλούς ρυθμούς ανόδου της θερμοκρασίας. Πάντως, θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά την περίοδο του Μεσαίωνα η μέγιστη θερμοκρασία, π.χ. στη Γροιλανδία, ήταν περίπου στα ίδια επίπεδα με εκείνα της δεκαετίας του 1950 (Kobashi et al., 2010).

Οι εκτιμήσεις όσον αφορά στους ρυθμούς ανόδου της θερμοκρασίας για την περίοδο της μετάβασης από την παγετώδη (18-21.000 χρόνια πριν) μέχρι την έναρξη της θερμής περιόδου του Ολοκαίνου (11.500 χρόνια πριν) είναι της τάξεως του 1 °C/100 χρόνια, σύμφωνα με δεδομένα από τρηματοφόρα βαθέων υδάτων του Βόρειου Ατλαντικού (Austin and Kroon, 1996), 0,6-0,8 °C/100 χρόνια σύμφωνα με αναλύσεις κόκκων γύρης από τη Γαλλία (Guiot, 1987) και 1,7-2 °C/100 χρόνια σύμφωνα με αναλύσεις κολεοπτέρων από το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία (Atkinson et al., 1987, Ponel and Coore, 1990). Ακόμη υψηλότεροι ρυθμοί ανόδου της θερμοκρασίας έχουν εκτιμηθεί γι' αυτήν την περίοδο με βάση το κάλυμμα πάγου της Γροιλανδίας, αφού προκύπτει άνοδος της θερμοκρασίας κατά 5-10 °C σε λιγότερο από 1.500 χρόνια (Severinghaus et al., 1998), ενώ, σύμφωνα με κάποιες ακραίες εκτιμήσεις, η άνοδος φθάνει μέχρι και τους 5-10 °C/100 χρόνια (Alley, 2000).

Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας κατά το Μέσο Ολόκαινο 6 χιλιάδες χρόνια πριν (ka) εκτιμάται ότι για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη δεν ξεπερνούσε τους 0,4 °C/100 χρόνια.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, υπολογίζεται ότι η ανθρωπογενής συνιστώσα στην τάση αύξησης της θερμοκρασίας για τα προσεχή 80 χρόνια κυμαίνεται μεταξύ 1,8 και 4,0 °C (IPCC, 2007).

Οι υψηλές θερμοκρασίες, η υποχώρηση των παγετώνων και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας σε τιμές μεγαλύτερες από τις σημερινές κατά τη διάρκεια του Κατώτερου-Μέσου Ολοκαίνου συνάδουν με τις υψηλές τιμές προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (insolation), οι οποίες έφθασαν στις μέγιστες τιμές κατά την έναρξη του Ολοκαίνου (~11 ka BP) και έκτοτε ακολούθησαν πτωτική πορεία. Τα σημερινά επίπεδα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι χαμηλά και γι' αυτό οι τιμές της θερμοκρασίας και ο όγκος των παγετώνων θα αναμενόταν να είναι σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό που παρατηρείται. Επιπλέον, ο ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας, 0,6-0,8 και 1 °C/100 χρόνια, που αναφέρθηκε παραπάνω αφορά τη μετάβαση από μια παγετώδη σε μια μεσοπαγετώδη περίοδο, κατά την οποία αναμένεται αυξημένος

ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας, ενώ η σημερινή αύξηση των 0,76 °C/100 χρόνια αφορά (πιθανότατα) τα τελευταία στάδια της σημερινής μεσοπαγετώδους περιόδου.

Η αύξηση της θερμοκρασίας των τελευταίων 150 χρόνων αποδίδεται κατά μεγάλο ποσοστό στην ανθρωπογενή αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Hegerl et al., 2011). Βεβαίως, οι φυσικές διεργασίες και άλλες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως π.χ. η αέρια ρύπανση καθώς και άλλες φυσικής προέλευσης μεταβολές του συστήματος ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας, ερμηνεύουν τις μεταβολές των τελευταίων δεκαετιών. Η πρόσφατη έκθεση του Geological Society of London (2010, Νοέμβριος) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι το γεωλογικό αρχείο προσφέρει αποδείξεις οι οποίες συμφωνούν με νόμους της φυσικής που δείχνουν ότι, όταν προστίθενται μεγάλες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα, προκαλείται αύξηση της θερμοκρασίας (σύμφωνα με το μηχανισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου), η οποία με τη σειρά της συμβάλλει στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας, σε τροποποιημένα πρότυπα βροχόπτωσης (Alverson et al., 2003), σε αύξηση της οξύτητας των ωκεανών (Barker and Elderfield, 2002, Caldeira and Wickett, 2003) και στην υποχώρηση του επιπέδου του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα (Keeling et al., 2010).

Οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι γνωστές για τα τελευταία 800 χιλιάδες χρόνια, χάρη στην παρατήρηση των φυσαλίδων αέρα που είναι εγκλωβισμένες στους πάγους της Ανταρκτικής. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του CO₂ βαίνουν παράλληλα κατά τη διάρκεια των παγετωδών-μεσοπαγετωδών εναλλαγών του Τεταρτογενούς, όπου το εύρος της συγκέντρωσης του CO₂ βρίσκεται μεταξύ 180 και 280 ppm αντίστοιχα. Εντούτοις, από το τέλος της προηγούμενης παγετώδους περιόδου η αύξηση του CO₂ παρουσιάζει καθυστέρηση μερικών αιώνων σε σχέση με την άνοδο της θερμοκρασίας, πράγμα το οποίο υποδηλώνει ότι η κλιματική αλλαγή σ' αυτό το διάστημα δεν υποκινείται μόνον από το CO₂. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι η σταθερή τάση μείωσης της θερμοκρασίας από το τέλος του Ηωκαίνου (34 εκατομμύρια χρόνια πριν) μέχρι και τον Ολόκαινο πιθανόν να σχετίζεται με τη μείωση του CO₂ από τιμές της τάξεως των 1000 ppm σε τιμές των 180 ppm μέσα στον Τεταρτογενή. Η σημερινή τιμή του CO₂ βρίσκεται στα 390 ppm και έχει αυξηθεί περίπου κατά 30% τα τελευταία 200 χρόνια, ενώ το ήμισυ αυτής της αύξησης πραγματοποιήθηκε στα τελευταία 30 χρόνια. Η έκθεση του Geological Society of London (2010) αναφέρει ότι τέτοιους ρυθμούς αύξησης του CO₂ μπορεί κανείς να συναντήσει 183 εκατ. χρόνια πριν (Κάτω Ιουρασικός) και 55 εκατ. χρόνια πριν (Παλαιόκαινος-Ηώκαινος), αλλά ο βαθμός αβεβαιότητας (χρονολόγηση ιζημάτων, ρυθμός ιζηματογένεσης, υπολογισμός ολικού CO₂) ως προς τον υπολογισμό του ρυθμού αύξησης του CO₂ είναι υψηλός. Παρόμοια υψηλά επίπεδα CO₂ στο παρελθόν εκτιμάται ότι υπήρξαν την περίοδο του Πλειοκαίνου (5,2-2,6 εκατ. χρόνια πριν) με συγκεντρώσεις 330-400 ppm, θερμοκρασίες 2-3 °C (Seki et al., 2010) υψηλότερες από σήμερα και μέση στάθμη της θάλασσας κατά 10-25 μέτρα υψηλότερη από σήμερα.

Στο γεωλογικό παρελθόν έχει καταγραφεί πληθώρα περιόδων παγκόσμιας ανόδου της θερ-

μοκρασίας. Σε κάθε περίπτωση όμως, η άνοδος αυτή μπορεί να ερμηνευθεί από ποικίλα γεωλογικά γεγονότα ή να συσχετιστεί με αυτά (π.χ. τροχιακές παράμετροι της Γης, κατάρρευση των υδριτών μεθανίου, μεταβολή της κυκλοφορίας των ωκεάνιων ρευμάτων, μεταβολές της ηφαιστειακής δραστηριότητας, μετακίνηση των ηπείρων και μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας). Η ανησυχία για τη σημερινή άνοδο της θερμοκρασίας, από το 1970 και μετά, οφείλεται στο ότι φαίνεται αδύνατη η αιτιολόγηση του φαινομένου και η συσχέτισή του με κάποια γεγονότα σαν αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για παράδειγμα, η άνοδος της θερμοκρασίας που θα μπορούσε να προκύψει από μια εσωτερική μεταβλητότητα του κλίματος, όπως αυτή του El Niño, θα προκαλούσε τοπικής και όχι παγκόσμιας κλίμακας θέρμανση (Hegerl et al., 2007). Η πρόσφατη άνοδος της θερμοκρασίας συμπίπτει με την ανθρωπογενούς προέλευσης απότομη αύξηση του CO₂, η οποία, σύμφωνα με τα γεωλογικά δεδομένα και τη θεωρία της φυσικής, αναμένεται να συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (Solomon et al., 2007). Έχει υπολογιστεί ότι ο διπλασιασμός της συγκέντρωσης του CO₂ ισοδυναμεί με αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 2-4,5 °C, με καλύτερη εκτίμηση αυτή των 3 °C (climate sensitivity).

1.5 Παλαιοκλιματικές αλλαγές στην Ανατολική Μεσόγειο κατά την εποχή του Ολοκαίνου

Το κλίμα της Μεσογείου επηρεάζεται από το υποτροπικό υψηλό της ξηρής ζώνης των ερήμων της Βόρειας Αφρικής, τους δυτικούς ανέμους της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης, τους αφροασιατικούς μουσώνες (Lionello and Galati, 2008), το υψηλό σύστημα πιέσεων της Σιβηρίας, την ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation–NAO) και τη νότια κύμανση (Southern Oscillation–SO). Το NAO, εκτός από την ατμοσφαιρική κυκλοφορία της Μεσογείου, επηρεάζει και τις ποτάμιες εισροές ύδατος και γενικά τη θερμόαλη κυκλοφορία της περιοχής (π.χ. Tsimplis et al., 2006). Συγκεκριμένα, κατά το σχήμα που καταγράφεται τουλάχιστον για τα τελευταία 500 χρόνια (Luterbacher et al., 2006), αρνητικός δείκτης NAO συσχετίζεται με υγρές (χαμηλής πίεσης ανωμαλίες) και συνήθως ψυχρές συνθήκες στη Μεσόγειο, ενώ θετικός δείκτης NAO συσχετίζεται με έντονους δυτικούς ανέμους στα υψηλά-μέσα γεωγραφικά πλάτη και ξηρές (αντικυκλωνικές) και συνήθως θερμές συνθήκες στη Μεσόγειο. Οι αφρικανικοί και ασιατικοί μουσώνες συμβάλλουν μέσω έντονων βροχοπτώσεων στην εισροή γλυκού νερού, κυρίως στην Ανατολική Μεσόγειο μέσω του Νείλου και άλλων ποτάμιων συστημάτων, ενώ στην μεταβλητότητα των κατακρημνίσεων συμβάλλει και το φαινόμενο El Niño Southern Oscillation (ENSO), Alpert et al. (2006), Brönnimann et al. (2007), Karabörk and Kahya (2009). Γι' αυτό, κατά την προσπάθεια ανασύστασης του παλαιοκλίματος της Μεσογείου και ερμηνείας των μεταβολών του, οι παλαιοκλιματικές μεταβολές συσχετίζονται με τη διακύμανση της έντασης της μουσωνικής δραστηριότητας, την περιοδικότητα των τροχιακών

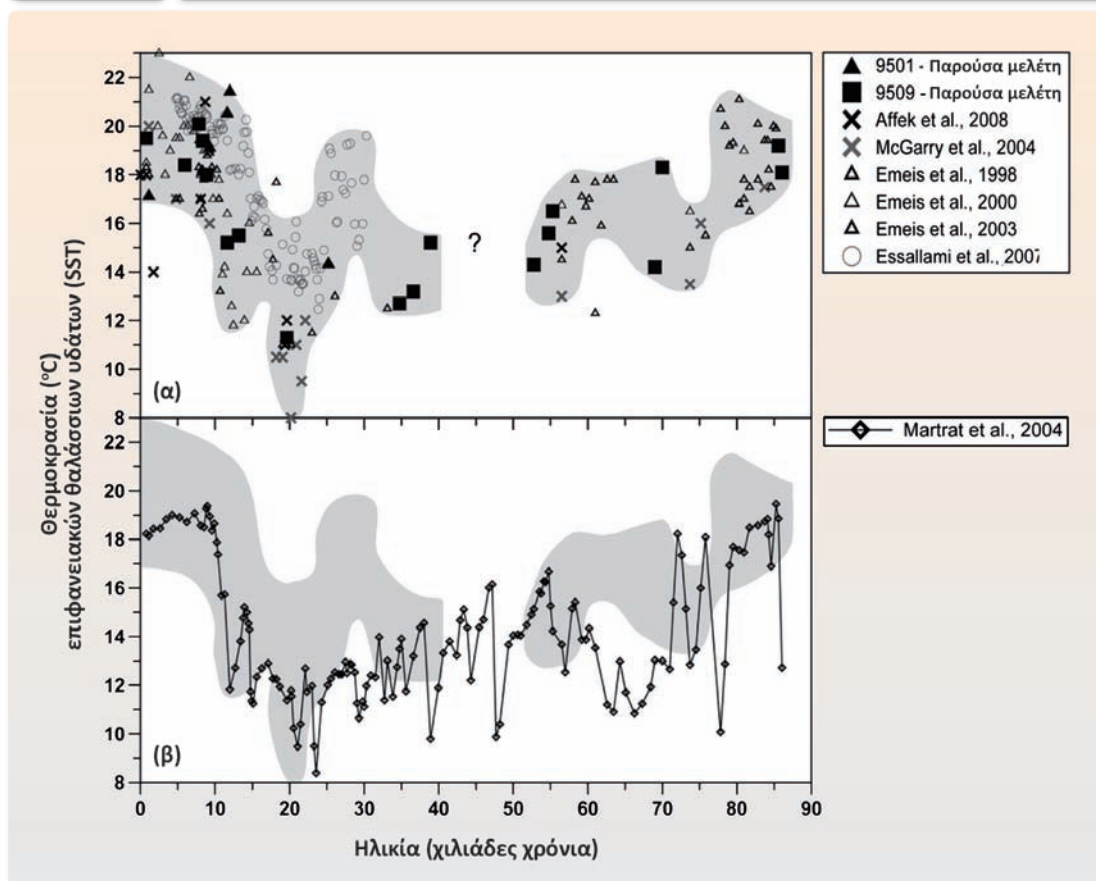
παραμέτρων της γης, την ηλιακή δραστηριότητα, καθώς και την ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (NAO).

Οι κύριοι φυσικογεωγραφικοί παράγοντες που καθορίζουν τη διαμόρφωση των κλιματικών συνθηκών της Μεσογείου είναι η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο/ανάγλυφο, οι θερμοκρασίες επιφανειακών υδάτων του Ατλαντικού και της Μεσογείου, οι αλληλεπιδράσεις θάλασσας-ξηράς (απόσταση από τη θάλασσα), καθώς και μικρότερης κλίμακας διεργασίες. Οι ωκεανοί ασκούν άμεση επίδραση στην ατμόσφαιρα εξαιτίας τόσο της συνεχούς ανταλλαγής θερμότητας και υδρατμών όσο και του σημαντικού ρόλου που διαδραματίζουν στη χημική ισορροπία του ατμοσφαιρικού συστήματος. Η θερμοκρασία των επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων (SST) αποτελεί σημαντικότερη παράμετρο του κλιματικού συστήματος, καθώς, με τους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης αέρα-θάλασσας, μπορεί να διαμορφώσει και τοπικά τον καιρό αλλά και μακροχρόνια το κλίμα (IPCC, 2007).

Τόσο τα γεωλογικά δεδομένα θαλάσσιων αρχείων (από παλαιοθερμοκρασιακούς βιοδείκτες π.χ. τριματοφόρων, κοκκολιθοφόρων, αλκενονών κ.λπ.) χιλιάδων και εκατοντάδων χρόνων πριν όσο και οι αναπαραστάσεις ατμοσφαιρικών παραμέτρων θερμοκρασίας, κατακρήμνισης και ατμοσφαιρικής πίεσης των τελευταίων 500 χρόνων δείχνουν ότι η Μεσόγειος χωρίζεται κλιματικά σε υποπεριοχές, με πιο διακριτή αυτήν της Ανατολικής Μεσογείου σε σύγκριση με τη Δυτική και Κεντρική Μεσόγειο (Luterbacher and Xoplaki, 2003). Έτσι, η χειμερινή θερμοκρασία αέρα στην Ανατολική Μεσόγειο φαίνεται να συσχετίζεται αρνητικά με το δείκτη NAO, ενώ στη Δυτική και Κεντρική Μεσόγειο εμφανίζει μικρή συσχέτιση. Αυτές οι διαφοροποιήσεις φαίνεται να καταγράφονται και στο γεωλογικό παρελθόν, όπου οι θερμοκρασίες των επιφανειακών υδάτων προέρχονται από δεδομένα (δείκτης $U_{K/37}$) μακράς αλυσίδας οργανικών ενώσεων που ονομάζονται αλκενόνες και παράγονται από ένα είδος κοκκολιθοφόρου (*Emiliania huxleyi*) που ευδοκimeί την άνοιξη. Έτσι, τα τελευταία 300 χιλιάδες χρόνια, οι θερμοκρασίες των επιφανειακών υδάτων εκτιμώνται μεταξύ 9 και 21 °C για τη Δυτική και μεταξύ 17 και 25 °C για την Ανατολική Μεσόγειο, σύμφωνα με τον Emeis et al. (2003). Στο Διάγραμμα 1.4 φαίνονται παρόμοιες αναλογίες για τα τελευταία 90 χιλιάδες χρόνια (Almogi-Labin et al., 2009).

Η συνδυαστική ανάλυση δεδομένων από απολιθωμένα κοράλλια της βορειοδυτικής Ερυθράς Θάλασσας και προσομοιώσεις με πρότυπα ατμόσφαιρας-ωκεανού (ECHO-G) έδειξαν επίδραση του NAO εντός του έτους αλλά και συνολικά στις μέσες τιμές κλίματος κατά τον Ανώτερο Ολόκαινο (2,9 ka BP) και κατά την προηγούμενη μεσοπαγετώδη περίοδο (122 ka) στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής (Felis et al., 2004).

Οι σημερινές κλιματικές συνθήκες στο Αιγαίο κατά τη διάρκεια του χειμώνα επηρεάζονται από βόρειους και ξηρούς πολικούς/ηπειρωτικούς ανέμους, οι οποίοι διοχετεύονται μέσα από τις κοιλάδες των ποταμών Αξιού, Στρυμόνα και Έβρου, συμβάλλοντας έτσι σε θερμοκρασίες επιφανειακών υδάτων 12-14 °C στο Βόρειο Αιγαίο και 16 °C στο Νότιο Αιγαίο (Theocharis and Georgopoulos, 1993, Poulos et al., 1997). Το θερμοκρασιακό εύρος των επιφανειακών υδάτων



(α) Στην Ανατολική Μεσόγειο, (β) στη Δυτική Μεσόγειο. Almogi-Labin et al. (2009).

στη Μεσόγειο είναι 3,6 °C (από 16,6 έως 20,2 °C) για την άνοιξη και 3,4 °C (από 13,9 °C έως 17,3 °C) για το χειμώνα (Brasseur et al., 1996). Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της Δυτικής και της Ανατολικής Μεσογείου είναι της τάξεως των 2-3 °C (Emeis et al., 2000).

Μια σειρά από παλαιοωκεανογραφικά αρχεία από την περιοχή του Αιγαίου υποδηλώνουν ότι, κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου, μικρής διάρκειας ψυχρά επεισόδια συνδέονται με την αύξηση της έντασης των βόρειων ανέμων, μιας δραστηριότητας που επισκιάζει την ούτως ή άλλως υπάρχουσα τροπική/υποτροπική επίδραση στην τοπική υδρογραφία και τα οικοσυστήματα (Rohling et al., 2002b, Casford et al., 2003, Gogou et al., 2007, Marino, 2008). Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι, κατά τη διάρκεια του τελευταίου κλιματικού κύκλου, το κλίμα στην περιοχή της ΒΑ Μεσογείου ήταν περισσότερο ασταθές από ό,τι γενικά θεωρείται.

Μετά το τέλος της κορύφωσης της τελευταίας παγετώδους περιόδου (21 ka BP, LGM) και μέχρι τα 13 ka BP οι θερμοκρασίες των επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων (SST) στη Μεσόγειο, με βάση το δείκτη $U_k/^{37}$ αλκενονών, είχαν μέσες τιμές 11-15 °C (Emeis et al., 2000) και η συνολική θερμοκρασιακή μεταβολή κατά τη μετάβαση στον Ολόκαινο (11,5 ka) εκτιμάται

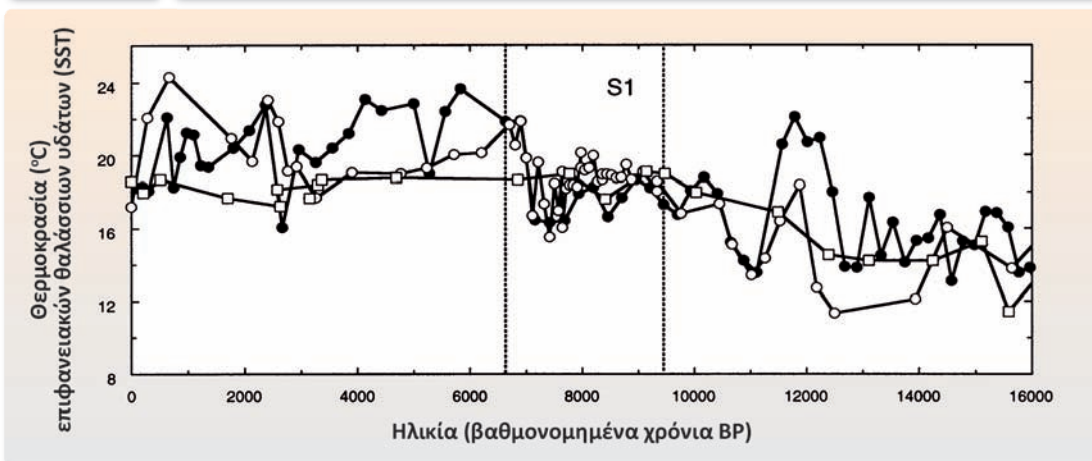
στους 10 °C (Emeis et al., 2003). Ιδιαίτερης σημασίας, στο διάστημα αυτό, είναι ένα μικρό επεισόδιο σχετικά υψηλής θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων, π.χ. 22,9 °C στο Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007) που σημειώνεται μεταξύ των 15 και 13 ka BP και αντιστοιχεί στο συμβάν Bølling-Allerød (Bar-Matthews et al., 1997, Geraga et al., 2000, Sbaffi et al., 2001). Ακολούθως, σημαντικά αιφνίδια κλιματικά γεγονότα ψύχρανσης, γνωστά ως Older και Younger Dryas, σημειώνονται κατά το διάστημα μεταξύ 14,7 και 11,7 χιλιάδων ετών από σήμερα, οπότε π.χ. καταγράφονται χαμηλές SST, 13-14 °C, στα 14 ka BP στην Ιόνια Λεκάνη (Emeis et al., 2000) και 14,5 °C στο Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007), καθώς και σε όλη τη Μεσόγειο (Vergnaud-Grazzini et al., 1986, Rossignol-Strick, 1995, Geraga et al., 2000, Sbaffi et al., 2001, Asioli et al., 2001, Aksu et al., 1995, Bar-Matthews et al., 1997, Zachariasse et al., 1997, De Rijk et al., 1999).

Η έναρξη του Ολοκαίνου στα 11-11,5 ka BP ακολουθήθηκε από ενίσχυση της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στον εποχικό κύκλο του βορείου ημισφαιρίου, προκαλώντας μετατόπιση των μουσώνων προς βορειότερες περιοχές (Jolly et al., 1998). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την περιοδική κορύφωση του αφρικανικού θερινού μουσώνα στη Μεσόγειο, με αύξηση των κατακρημνισμάτων πάνω από την Ισημερινή Αφρική και πιθανή αύξηση της εκροής του ποταμού Νείλου (Rossignol-Strick, 1985, Rohling et al., 2002). Παράλληλα, αύξηση των κατακρημνισμάτων ενδέχεται να υπήρξε και στο βόρειο τμήμα της Μεσογείου κατά τους φθινοπωρινούς/χειμερινούς μήνες (Tzedakis, 2007), ως συνέπεια αυξημένης δραστηριότητας των ατμοσφαιρικών πιέσεων πάνω από την περιοχή (Duplessy et al., 2005). Το προκαλούμενο αυξημένο απόθεμα γλυκού ύδατος στη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου επέφερε μεταβολές της θαλάσσιας κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα μια έντονη στασιμότητα των βαθέων υδάτων, η οποία, σε συνδυασμό με την αυξημένη παραγωγικότητα και εναπόθεση οργανικού υλικού στους πυθμένες, συνέβαλε ουσιαστικά στην απόθεση και διατήρηση του πλέον πρόσφατου σαπροπηλού (σκουρόχρωμου ιζήματος υψηλής περιεκτικότητας σε οργανικό υλικό) S1 (Rohling and Hilgen, 1991, Rohling, 1994). Στην περιοχή του Αιγαίου η έναρξη της απόθεσης αυτού του σαπροπηλικού στρώματος καταγράφεται περίπου στα 9,6-10 ka BP (Perissoratis and Piper, 1992, Aksu et al., 1995, Zachariasse et al., 1997, De Rijk et al., 1999, De Lange et al., 2008) και η απόθεση διαρκεί μέχρι και τα 6,5 ka BP περίπου, με ένα διάστημα διακοπής μεταξύ των 7,3 και 7,9 ka BP (βλ. π.χ. Διάγραμμα 1.7 πιο κάτω).

Κατά το χρονικό διάστημα που προηγείται της απόθεσης του σαπροπηλού S1 σημειώνονται χαμηλές SST. Συγκεκριμένα, στα 11 ka BP καταγράφεται θερμοκρασία 13-14 °C στην Ιόνια Λεκάνη (Emeis et al., 2000), στα 10,8 ka και 9,7 ka BP θερμοκρασία 17 °C στο ΝΑ Αιγαίο (Triantaphyllou et al., 2009 a, b) και στα 10,5 ka BP περίπου 16 °C στο Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007) (Διάγραμμα 1.7). Οι θερμοκρασίες κατά την απόθεση του σαπροπηλού S1 (9,5-6,6 ka BP) ανέρχονται στους 16-19 °C σε τρεις θέσεις της Μεσογείου (Δυτική, Κεντρική και Ανατολική) (Emeis et al., 2000, Διαγράμματα 1.5 και 1.6 στη σελ. 18) και 17,5 °C-22,9 °C στο

Διάγραμμα 1.5

Εκτιμήσεις θερμοκρασίας επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων προερχόμενες από αλκενόνες



Η γραμμή με τετράγωνο σύμβολο αντιπροσωπεύει τον πυρήνα KS80 (θάλασσα Αιγαίου), εκείνη με μαύρο κύκλο τον πυρήνα RL11 (Ιόνιο Πέλαγος) και εκείνη με άσπρο κύκλο τον πυρήνα 967 (θάλασσα Λεβαντίνης). Emeis et al. (2000).

Διάγραμμα 1.6

Θερμοκρασίες επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων προερχόμενες από αλκενόνες στους πυρήνες ODP 967 στη θάλασσα της Λεβαντίνης και KC01 στην Ιόνια Λεκάνη



Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται σε χιλιάδες χρόνια πριν από σήμερα. Emeis et al. (1998).

Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007, Διάγραμμα 1.7). Η διακοπή της απόθεσης του σαπροπηλού S1 σηματοδοτείται από το παγκόσμιο ψυχρό γεγονός των 8,2 ka BP, το οποίο χαρακτηρίζεται από σημαντική πτώση της θερμοκρασίας των θαλάσσιων επιφανειακών υδάτων (Geraga et al., 2008) στην Ανατολική Μεσόγειο (de Rijk et al., 1999, Geraga et al., 2000, 2005) και την επικράτηση ξηρών συνθηκών σύμφωνα με δεδομένα από τη θάλασσα του Αιγαίου (π.χ. Rohling et al., 2002, Triantaphyllou et al., 2009a, b). Το ψυχρό και ξηρό αυτό γεγονός αποτυπώνεται και σε αρχαιολογικές θέσεις, όπως π.χ. στην περιοχή της Κρήτης, όπου ενώ κεραμικά της Νεολιθικής Περιόδου στην Κνωσό δηλώνουν εποικισμό της περιοχής κατά τα 9,8-8 ka BP, για το χρο-

Πίνακας 1.2

Θερμοκρασία επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων (SST)* και ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας για διάφορα χρονικά διαστήματα (ka)** στην Ελλάδα.

Χρονική περίοδος	Ρυθμός μεταβολής SST (°C/έτη)	SST (°C)	Περιοχή
13 ka	+ 8/1000	από 14 σε 22	Ιόνιο (Emeis et al., 2000)
9,8 ka	- 1,6/91		NA Αιγαίο (Triantaphyllou et al., 2009)
9,7 ka	- 2-3/70		NA Αιγαίο (Triantaphyllou et al., 2009)
9,7 ka	+ 3/92		NA Αιγαίο (Triantaphyllou et al., 2009)
8,2 ka	- 2/50		Νότιο Αιγαίο (Rohling et al., 2007)
2,8 ka	+ 6/~250	από 16 σε 22	Ιόνιο (Emeis et al., 2000)
2,9 ka	- 4/~250	από 20 σε 16	Ιόνιο (Emeis et al., 2000)
2,9 ka		από 21 σε 24	
1500-1850 μ.Χ.	- 2		Σικελία (Silenzi et al., 2004)
1860-2000, με επίπεδο αναφοράς 1961-1990	0,9/90		IPCC (2001)

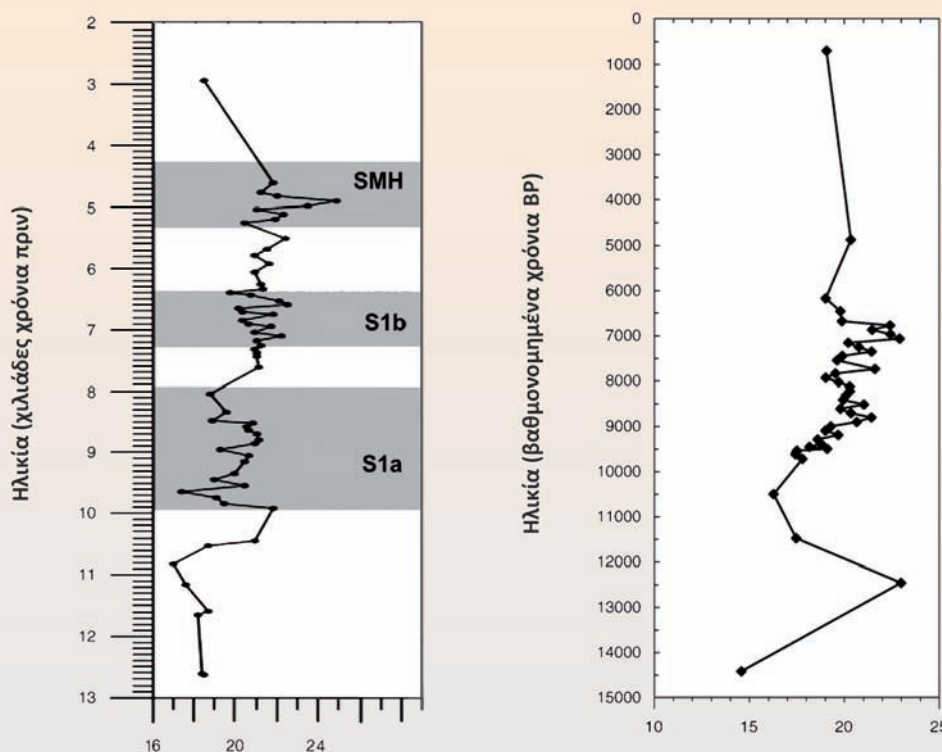
* Βασίζεται σε αθκενόνες (εκτός της εργασίας του Silenzi et al., 2004, που στηρίζεται σε κελύφη Vermetidae).

** ka: χιλιάδες χρόνια πριν από σήμερα.

νικό διάστημα μεταξύ 9 και 7,5 ka BP υπάρχουν ενδείξεις ότι ο οικισμός είχε μερικώς εγκαταλειφθεί (Efstratiou et al., 2004). Επιπλέον, απώλεια ανθρώπινων υλικών καταλοίπων γι' αυτό το χρονικό διάστημα έχει παρατηρηθεί και σε μια σειρά άλλων θέσεων, όπως στη σπηλιά του Κύκλωπα στις Σποράδες, στη σπηλιά της Θεοπέτρας, στα κεραμικά ευρήματα στο Σιδάρι Κέρκυρας (Berger and Guilaine, 2009) και σε άλλες θέσεις της Μεσογείου.

Μετά την απόθεση του S1 (λιγότερο από 6,6 ka BP) η θερμοκρασία των υδάτων αυξήθηκε και κυμάνθηκε γύρω στους 20 °C στις λεκάνες του Ιονίου και της Λεβαντίνης, με μέγιστη τους 24 °C (Emeis et al., 2000) στα 6 ka και μέση τιμή τους 19 °C στο Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007), όμοια με την σημερινή ετήσια θερμοκρασία επιφανειακών υδάτων (Worley et al., 2005) στην ίδια θέση. Κατά το Μέσο Ολόκαινο (4,9 ka BP) σημειώνεται η ανώτατη θερμοκρασία SST για το NA Αιγαίο στους 25 °C (Triantaphyllou et al., 2009).

Στον Πίνακα 1.2 συνοψίζονται οι απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας των επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων (SST) της Ανατολικής Μεσογείου κατά την περίοδο του Ολοκαίνου. Στον πυρήνα της Ιόνιας Λεκάνης RL11 (Emeis et al., 2000) παρατηρείται μια απότομη θέρμανση των επιφανειακών υδάτων (άνοδος του δείκτη $U_k/^{37}$ αλκενονών) από τους 14 στους 22 °C σε λιγότερο από 1.000 χρόνια κατά την περίοδο του Alleröd (~13 ka BP), με ακόλουθη μείωση της θερμοκρασίας στα επόμενα 1.000 χρόνια κατά το φαινόμενο Younger Dryas (Διάγραμμα 1.5). Αυτή η διακύμανση μπορεί να σχετίζεται με μια αλλαγή της δομής των θαλάσσιων υδάτινων μαζών με μεταφορά της δημιουργίας ενδιάμεσων και βαθέων υδάτων κατά το Younger Dryas στην Ιόνια Λεκάνη. Στον πυρήνα NS-14 του NA Αιγαίου (Διάγραμμα 1.7 πιο κάτω) παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων (μείωση του δείκτη $U_k/^{37}$ αλκε-

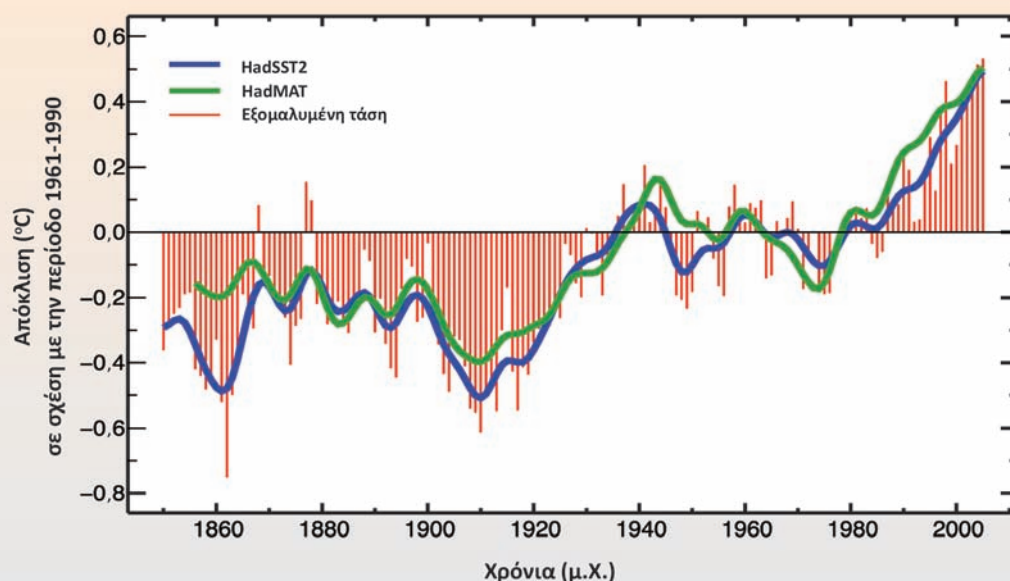


Προερχόμενες από τον δείκτη $U_k/^{37}$ αλκενονών, (α) στον πυρήνα NS-14, νότια της Νισύρου (Triantaphyllou et al., 2009), αριστερό τμήμα, και (β) στον πυρήνα MNB3 από το Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007), δεξιό τμήμα του διαγράμματος.

νονών) της τάξεως των $1,6^{\circ}\text{C}$ μέσα σε 91 χρόνια (στα 9,8 ka BP) και ακολούθως άνοδος 3°C μέσα σε 92 χρόνια (9,7 ka BP). Αυτές οι μεγάλης έντασης και απότομες αλλαγές δεν παρατηρούνται σε όλο το Αιγαίο, κάτι που φανερώνει τη σημασία των τοπικών υδρολογικών και βαθυμετρικών συνθηκών κάθε περιοχής. Ακολούθως, κατά το ψυχρό και ξηρό “8.2 ka event” εκτιμάται με έμμεσες μεθόδους (ισότοπα οξυγόνου και συγκεντρώσεις τρηματοφόρων) ότι υπήρξε πτώση της θερμοκρασίας κατά 2°C μέσα σε περίπου 50 χρόνια στον πυρήνα LC21 (Rohling et al., 2002 a, b) στο Νότιο Αιγαίο, γεγονός που συνδέεται με την επικράτηση σφοδρών πολικών βορειοδυτικών ανέμων. Σύμφωνα με τα δεδομένα του συγκεκριμένου πυρήνα, η πτώση της θερμοκρασίας διατηρείται για περίπου 150-250 χρόνια, ενώ μεσολαβούν αρκετοί αιώνες μέχρις ότου επέλθει σταδιακή άνοδος της θερμοκρασίας. Οι Rohling and Pälike (2005) σημείωσαν ότι, σε πολλά δεδομένα από την Ασία, το 8,2 ka BP ψυχρό γεγονός ήταν μέρος μιας μεγάλης ανωμαλίας που διήρκεσε 400-600 χρόνια, ενώ στη Γροιλανδία καταγράφηκε ως ένα απότομο συμβάν διάρκειας 150 χρόνων.

Διάγραμμα 1.8

Ετήσιες αποκλίσεις θερμοκρασίας επιφανειακών υδάτων από την περίοδο αναφοράς 1961-1990 για το βόρειο ημισφαίριο



Πηγή: IPCC, 2001a.

Περίπου 2900-2800 χρόνια πριν καταγράφεται στον πυρήνα της Ιονίου RL11 (Emeis et al., 2000) απότομη μείωση των SST από τους 20 στους 16 °C και ακολούθως θέρμανση των επιφανειακών υδάτων από τους 16 στους 22 °C σε λιγότερο από 500 χρόνια. Πτώση της θερμοκρασίας των SST (από 21-24 σε 18,5 °C) καταγράφουν και οι αλκενόνες στον πυρήνα του Νότιου Αιγαίου (Triantaphyllou et al., 2009a, b) την ίδια χρονική περίοδο.

Επομένως, σύμφωνα με το Διάγραμμα 1.8 σχετικά με τις ετήσιες αποκλίσεις των μέσων τιμών SST του βορείου ημισφαιρίου από το επίπεδο αναφοράς της περιόδου 1961-1990, η εξομαλυσμένη καμπύλη τάσης των ετήσιων τιμών καταγράφει μια συνολική μεταβολή της απόκλισης της θερμοκρασίας της τάξεως των 0,9 °C μέσα σε 90 χρόνια. Αυτός ο ρυθμός μεταβολής φαίνεται να μην υπερβαίνει τις εκτιμήσεις για τις παλαιοθερμοκρασιακές μεταβολές SST (πτώση 2-3 °C σε 70 χρόνια, πριν από 9,7 ka BP, ή άνοδος από 21 σε 23,4 °C μέσα σε 72 χρόνια πριν από 5 ka BP, Triantaphyllou et al., 2009a, b), οι οποίες προέρχονται από την παρατήρηση του δείκτη αλκενονών στην περιοχή του Αιγαίου για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Συνοπτικά (Πίνακας 1.3), οι κλιματικές μεταβολές κατά την περίοδο του Ολοκαίνου καταγράφονται με μεταβολές της θαλάσσιας επιφανειακής θερμοκρασίας της τάξεως των 2-6 °C στην Ανατολική Μεσόγειο (Emeis et al., 2000, 2003, Triantaphyllou et al., 2009a, b), έως 8 °C στο Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007), 4-12 °C στη Νοτιοανατολική Μεσόγειο βόρεια του Νείλου (Castañeda et al., 2010), 4 °C στη Δυτική Μεσόγειο (Cacho et al., 2001, Διάγραμμα 1.9) και περίπου 5 °C (Sbaffi et al., 2001) στο Τυρρηνίο Πέλαγος.

Πίνακας 1.3

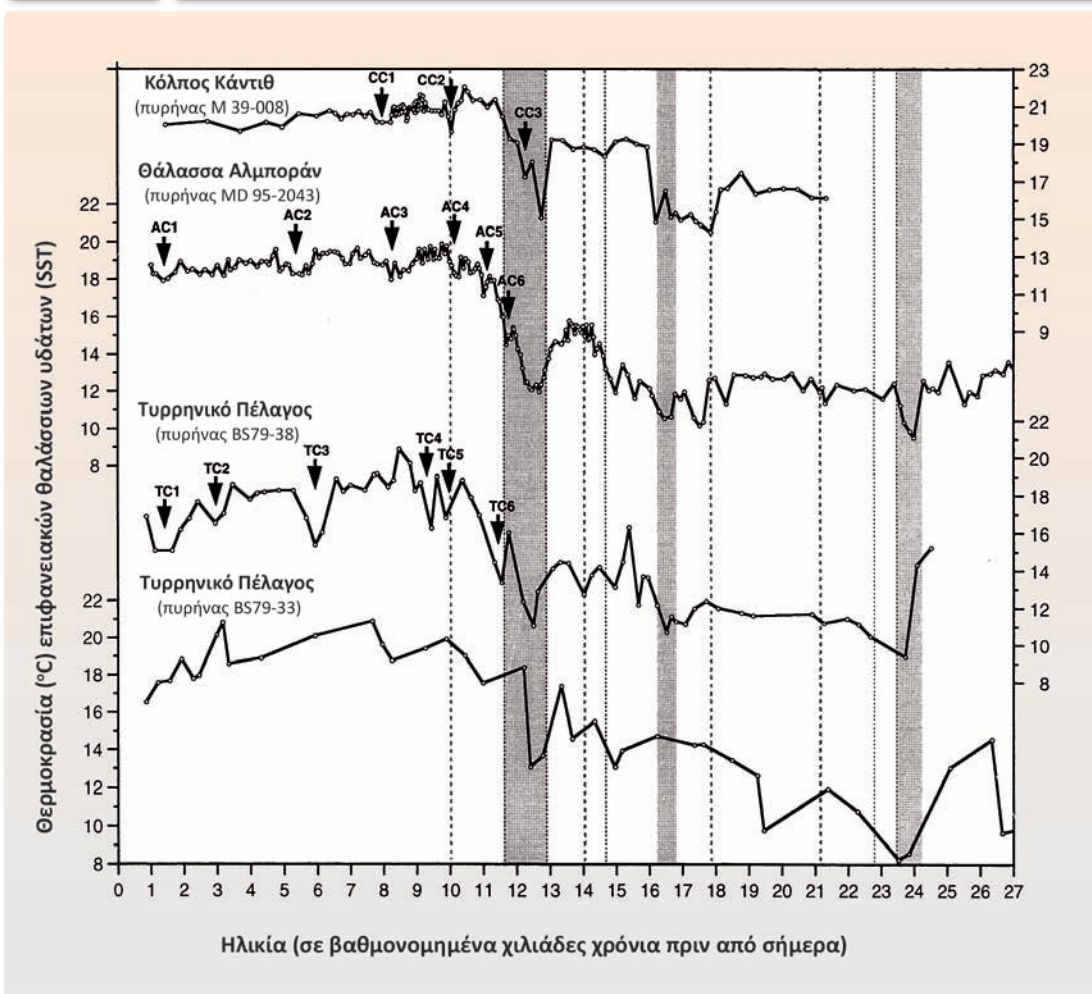
Συνολικές μεταβολές θερμοκρασίας επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων κατά τον Ολόκαινο
(Τελευταία 11,5 χιλιάδες χρόνια, και πριν από τη βιομηχανική επανάσταση)

Συνολική μεταβολή SST στη Μεσόγειο κατά τον Ολόκαινο (11,5 ka μέχρι σήμερα)

Μεταβολή SST (°C)	Περιοχή	Αναφορές
2-6	Ανατολική Μεσόγειος	Emeis et al. (2000, 2003), Triantaphyllou et al. (2009)
8	Βόρειο Αιγαίο	Gogou et al. (2007)
4-12	NA Μεσόγειος, βορείως Νείλου	Castaneda et al. (2010)
4	Δυτική Μεσόγειος	Cacho et al. (2001)
5	Τυρρηνίο Πέλαγος	Sbaffi et al. (2001)

Διάγραμμα 1.9

Θερμοκρασίες επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων στη Δυτική και Κεντρική Μεσόγειο



Πηγή: Cacho et al., 2001.

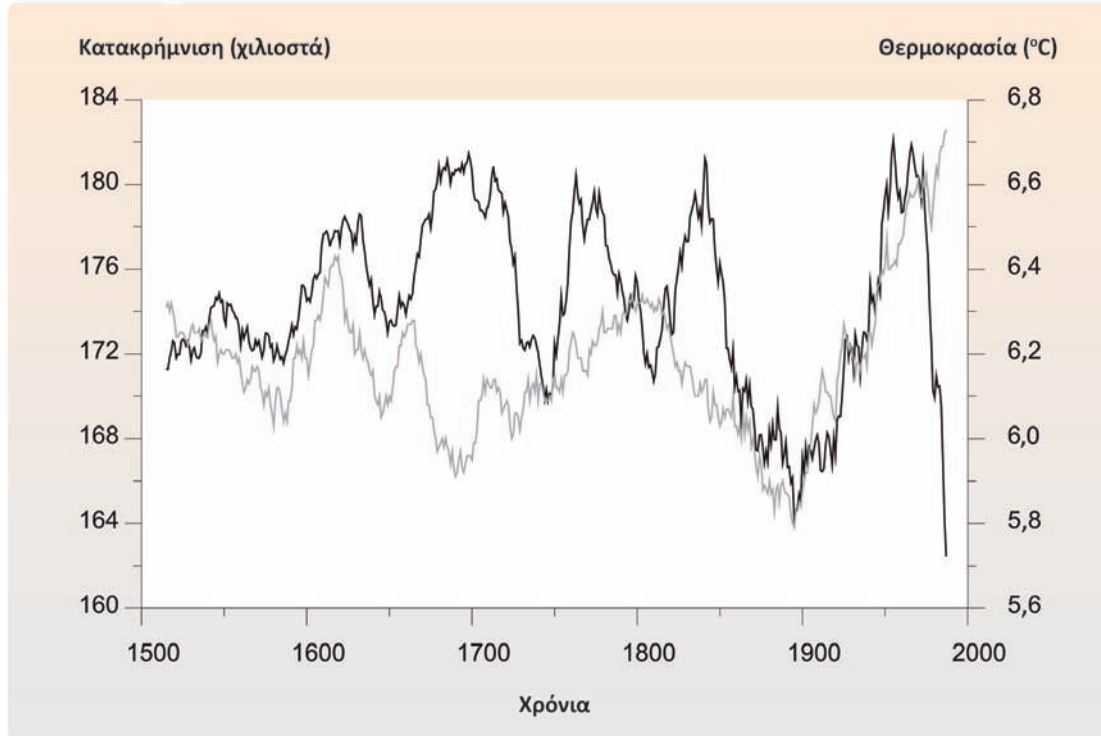
Υπάρχουν ενδείξεις ότι η περιοδικότητα των μεταβολών αυτών ήταν 2300 χρόνια για το Αιγαίο (Rohling et al., 2002a, b) και περίπου 730 χρόνια για τη Δυτική Μεσόγειο (Cacho et al., 2001).

Εκτιμήσεις των μεταβολών της θερμοκρασίας και της ποσότητας των βροχοπτώσεων κατά τον Ολόκαινο έχουν προκύψει από την κατασκευή σταθερών ισοτόπων οξυγόνου $\delta^{18}\text{O}$ και άνθρακα $\delta^{13}\text{C}$ προερχομένων από αναλύσεις ασβεστίτη των καρστικών σπηλαίων της Ανατολικής Μεσογείου. Το καρστικό σπήλαιο Soreq Cave στο κεντρικό Ισραήλ (40-50μ. κάτω από την επιφάνεια στα 400μ. υψόμετρο) συγκεντρώνει το έντονο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας με σημαντικές μελέτες όπως των Bar-Matthews et al. (2003) και Bar-Matthews and Ayalon (2005). Η μελέτη των εν λόγω ισοτόπων έδειξε ότι υπάρχει ομοιότητα μεταξύ των θερμοκρασιακών μεταβολών των επιφανειακών υδάτων (Emeis et al., 2000, McGarry et al., 2004) και του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ μια εκτίμηση παλαιοβροχοπτώσεων τα τελευταία 10.000 χρόνια έδειξε ότι υπήρχε τουλάχιστον 50% περισσότερη βροχόπτωση στις αρχές του Ολοκαίνου από ό,τι σήμερα. Το ψυχρό γεγονός των 8,2 χιλιάδων χρόνων πριν ισοδυναμεί, για τις περιοχές χαμηλών γεωγραφικών πλατών, με περίοδο ξηρότητας σε μια, παραταύτα, υγρή περίοδο (African humid period 15-5 ka BP, deMenocal et al., 2000a, b). Μέγιστες τιμές επικρατούν μέχρι τα 7 ka BP, ενώ από τα 5-6 ka BP σηματοδοτείται το τέλος της υγρής περιόδου στην τροπική Αφρική (African humid period, Gasse 2000, 2001), με καταγραφή σταδιακής μείωσης της κατακρήμνισης στην Ανατολική Μεσόγειο κατά τα 6,2 με 5,8 ka BP (Bar-Matthews et al., 1997, 2003, Frisia et al., 2006) και αύξηση της ξηρότητας στο Αιγαίο (Rohling et al., 2002a, b). Ακολουθεί ένα διάστημα αυξημένων κατακρημνίσεων μεταξύ των 5 και 4 ka BP, αποτυπωμένο σε έναν πιθανά νεότερο σαπροπηλό του S1, τον επονομαζόμενο SMH (sapropel mid Holocene), εντοπισμένο στο Νότιο Αιγαίο (Triantaphyllou et al., 2009a, b).

Ακολούθως, μεταξύ 4.600 και 4.200 χρόνων BP παρατηρείται στη Βόρεια Ιταλία (Drysedale et al., 2006), στη Λεβαντίνη (Bar-Matthews et al., 1997, Enzel et al., 2003) και στη βόρεια Ερυθρά Θάλασσα (Arz et al., 2006) σημαντική μείωση της βροχόπτωσης από τα 600 στα 400 χιλιοστά, η οποία διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα από τα σημερινά για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατά τον ανώτερο Ολόκαινο (4 ka BP μέχρι σήμερα) εμφανίζεται μια γενική, ελαφρά τάση ψύχρανσης με προοδευτική ξήρανση (Cacho et al., 2001, Saffi et al., 2001, Marchal et al., 2002, Rohling et al., 2002a, b). Αυτή η περίοδος ξηρότητας συμφωνεί με μια γενική τάση ξηρότητας (όπως προτείνει η θεωρία) στη Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή, πιθανόν σχετιζόμενη με αλλαγές των παραμέτρων της τροχιάς της γης (deMenocal et al., 2000a).

1.6 Η περίοδος της τελευταίας χιλιετίας

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας χιλιετίας έχουν παρατηρηθεί κλιματικές περίοδοι στη Μεσόγειο με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως η μεσαιωνική θερμότερη περίοδος (Medieval

Διάγραμμα 1.10**Αναπαράσταση των χαμηλής συχνότητας διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και κατακρήμνισης για το χειμώνα**

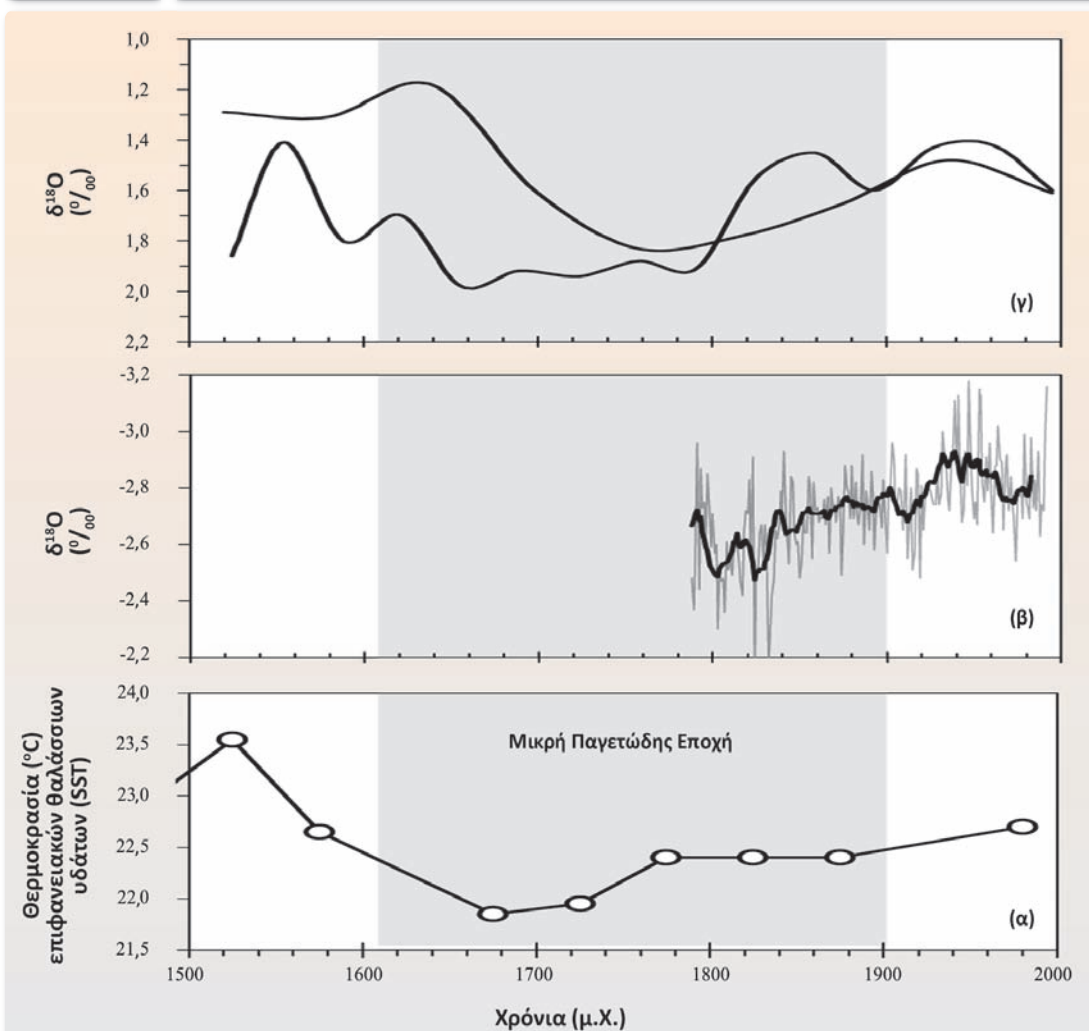
Μέσες τιμές (ανά 31 χρόνια) θερμοκρασίας χειμώνα (γκρι γραμμή) και κατακρημνίσεων (μαύρη γραμμή) στη Μεσόγειο για την περίοδο 1500-2002 (Luterbacher et al., 2006).

Climate Anomaly, 900-1350 μ.Χ.), η ψυχρή μικρή παγετώδης περίοδος (Little Ice Age, 1500-1850 μ.Χ.), όπως και τα μικρότερης διάρκειας ψυχρά γεγονότα Late Maunder Minimum (LMM, γύρω στο 1675-1715 μ.Χ.) και Spörer Minimum (SM γύρω στο 1460-1550 μ.Χ.), τα οποία πιθανότατα, αν και η θεωρία είναι έντονα επιφυλακτική (Jansen et al., 2007 κ.λπ.), σχετίζονται με ελάχιστα της ηλιακής δραστηριότητας. Συγκεκριμένα, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία κατά τη διάρκεια του LMM συνδυάζεται επιπλέον με ηφαιστειακή δραστηριότητα, εσωτερικές διακυμάνσεις και τις κλιματικές μεταβολές στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό (Luterbacher et al., 2001, Luterbacher and Xoplaki, 2003).

Στην Ελλάδα υπάρχουν ενδείξεις από ιστορικές και μοναστηριακές πηγές σχετικά με την ύπαρξη ακραία ψυχρών χειμώνων το διάστημα 1200-1900 (Repapis et al., 1989). Στη μελέτη αυτή προέκυψε ότι οι ψυχρότερες περιόδους καταγράφηκαν στο πρώτο ήμισυ του 15ου αιώνα (συμπίπτει με την ψυχρή περίοδο κατά Mayewski et al., 2004), το δεύτερο ήμισυ του 17ου αιώνα και τα μέσα του 19ου αιώνα. Για το διάστημα 1675-1830 υπάρχουν καταγραφές από Ελλάδα και Κύπρο σε μηνιαία μη συνεχή βάση για θερμοκρασία, κατακρημνίσματα, ξηρασία και πλημμύρες (Xoplaki et al., 2001). Συγκεκριμένα, το πιο υγρό κλίμα κατά τη μικρή παγετώδη εποχή σημειώθηκε μεταξύ του 1650 και του 1710 και στην περίοδο 1750-1820 (Διά-

Διάγραμμα 1.11

Σύγκριση μεταξύ παλαιοθερμοκρασιακών δεικτών



(α) Δεδομένων δ¹⁸O βερμυτών της Σικελίας (Silenzi et al., 2004), (β) δεδομένων δ¹⁸O της Ερυθράς Θάλασσας (Heiss, 1994) και (γ) θερμοκρασίας επιφανειακών υδάτων στην περιοχή των Βερμούδων, Θάλασσα Σαργασσών (Keigwin, 1996).

γραμμα 1.10). Η θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων (SST) της μικρής παγετώδους εποχής με βάση την ανάλυση δ¹⁸O σε ασβεστολιθικά κελύφη *Vermetidae* (θερμόφιλα γαστροπόδα) στη Βορειοδυτική Σικελία (Silenzi et al., 2004) εκτιμήθηκε ότι ήταν $1,99 \pm 0,37$ °C χαμηλότερη από τη σημερινή. Η αναπαράσταση της SST δείχνει ότι στις αρχές του 1500 οι θερμοκρασίες ήταν υψηλότερες από τις σημερινές (Silenzi et al., 2004, Διάγραμμα 1.11), σύμφωνα με τα δεδομένα δ¹⁸O *vermetids* της Σικελίας, συμβαδίζοντας με τις θερμοκρασίες των επιφανειακών υδάτων της θάλασσας των Σαργασσών (Keigwin, 1996).

Καταγραφές για τη μεσαιωνική περίοδο και την αρχή της Μικρής Παγετώδους Εποχής για την Ανατολική Μεσόγειο έχουν συλλεχθεί από τα Πανεπιστήμια της Θεσσαλονίκης, το Πατερικό Ίδρυμα Μελετών και το Πανεπιστήμιο της Ουτρέχτης (Repapis et al., 1989).

Πίνακας 1.4

Δημοσιευμένες εργασίες που αφορούν παλαιοανακατασκευή θερμοκρασίας επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων (SST) (Κυρίως μέσω της ανάλυσης του δείκτη Uk/'37 αλκενονών στη Μεσόγειο –ιδίως Ανατολική– κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς)

Πυρήνας/θέση	Αναφορά	Τοποθεσία	Δείκτης παλαιοθερμοκρασίας	Ηλικιακό εύρος χιλιάδες χρόνια πριν (ka)
NS-14	Triantaphyllou et al. (2009)	Νίσυρος (Ν.Α. Αιγαίο)	αλκενόνες	(3) 4,5-12,7 ka
MNB-3	Gogou et al. (2007)	Σκύρος (Β. Αιγαίο)	αλκενόνες	(1,5) 6-10,5(14,5) ka
ODP967D ODP964 KC01/01B	Emeis et al. (1998)	Λεκάνες Λεβαντίνης και Ιονίου Πελάγους	αλκενόνες	7,69 ka-3 ma
KS8230,967,RL11	Emeis et al. (2000)	Λεκάνες Αλμποράν, Ιονίου και Λεβαντίνης	αλκενόνες, ισότοπα οξυγόνου (πλαγκτονικά)	16 ka
M40/87, RL11, 964, M40/71, 969, M40/67, 967	Emeis et al. (2003)	Λεκάνες Αλμποράν, Ιονίου, Ν. Αιγαίου και Λεβαντίνης	αλκενόνες	340 ka
BS7933, BS7938, MD952043, M39008	Cacho et al. (2001)	Τυρρηνικό Πέλαγος, Θάλασσα Αλμποράν, Κόλπος Κάντιθ	αλκενόνες	25 ka
9509, 9501	Almogi-Labin et al. (2009)	Βόρεια και Νότια Λεκάνη Λεβαντίνης	αλκενόνες	0,240-86 ka
	McGarry et al. (2004)	Σπήλαιο Πικέν, Ισραήλ	σπηλαιοαποθέσεις	0-140 ka
GeoB 7702-3	Castaneda et al. (2010)	Ανατολική Μεσόγειο, βορείως του Νείλου	αλκενόνες και TEX86	27 ka
BS79 38/33/22, MD 95-2043, GISP2, GRIP	Sbaffi et al. (2001)	Βορείως της Σικελίας, Θάλασσα Αλμποράν, Γροιλανδία	τρηματοφόρα, πτερόποδα, d ¹⁸ O, αλκενόνες	0-34 ka

Σημειώνεται ότι μεταξύ του 1500 και του 1900 υπήρξε έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Μεσόγειο αλλά και στην Ευρώπη γενικότερα.

Τους τελευταίους αιώνες δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα SST υψηλής ανάλυσης (ετήσια, εποχικά) για την περιοχή της Μεσογείου εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων δεικτών, όπως π.χ. των κοραλλίων σε τροπικές-υποτροπικές θάλασσες. Τα υφαλογενή κοράλλια (με ετήσιες ζωνώσεις) της Ερυθράς Θάλασσας αποτελούν εξαίρεση (Felis and Rimbu, 2010). Νέοι δείκτες αναζητούνται από υφάλους vermetids (τελευταία 500-600 χρόνια, με ανάλυση 30-50 χρόνια, Silenzi et al., 2004, Montagna et al., 2008, 2009, Sisma-Ventura et al., 2009), μη τροπικά κοράλλια (τελευταία 100-150 χρόνια, με ανάλυση εποχική έως εβδομαδιαία, Montagna et al., 2009) και κοράλλια βαθιάς θάλασσας (όμοια με τα μη τροπικά, Montagna et al., 2006, McCulloch et al., 2010). Ο στόχος είναι αυτά τα νέα αρχεία να συμπληρώσουν τις πληροφορίες που προέρχονται από τους βασικούς κλιματικούς δείκτες, όπως π.χ. των τρηματοφόρων, αλκενονών, δινωμαστιγμάτων, ναννοαπολιθωμάτων, καθώς και ανάπτυξη σερπουλιτών σε βυθισμένες σπηλαιοαποθέσεις (Antonioli et al., 2001). Οι παραπάνω θαλάσσιοι δείκτες προσφέρουν χρονική ανάλυση χαμηλότερη των 100-200 χρόνων, με εξαίρεση περιοχές υψηλού ρυθμού ιζηματογένεσης (>80

εκ./ka), όπως είναι για παράδειγμα η θαλάσσια περιοχή της Νότιας Λεβαντίνης, όπου η χρονική ανάλυση για την τελευταία χιλιετία φθάνει τα 40-50 χρόνια (Schilman et al., 2001). Σε αυτό το υψηλής ανάλυσης ιζηματογενές αρχείο η σύσταση των σταθερών ισοτόπων τρηματοφόρων υποδεικνύει με σαφήνεια ποια ήταν η θερμή περίοδος του Μεσαίωνα και η Μικρή Παγετώδης Εποχή. Οι Kuniholm and Striker (1987) έχουν προβεί σε μεγάλο αριθμό δενδροχρονολογήσεων, κυρίως στην Ελλάδα και την Τουρκία, με σκοπό τη χρονολόγηση αρχαιολογικών θέσεων. Οι διάφορες μελέτες από δεδομένα δακτυλίων δέντρων της Τουρκίας έδειξαν ότι η διάρκεια των ξηρών χρόνων εκτείνεται σε ένα με δύο χρόνια και σπάνια σε περισσότερα από τρία. Τα ξηρότερα έτη, από συνδυασμό μελετών, φαίνεται να υπήρξαν τα 1693, 1735, 1819, 1868, 1878, 1887 και 1893 στη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου (Akkemik and Aras, 2005, Büntgen et al., 2008, 2010, Till and Guiot, 1990, Serre-Bachet et al., 1992, Glueck and Stockton, 2001, Esper et al., 2007, Touchan et al., 2008, 2010, Touchan et al., 2003, 2005, 2007).

Στον Πίνακα 1.4 παρατίθεται το μεγαλύτερο τμήμα δημοσιευμένων εργασιών που παρουσιάζουν απόλυτες τιμές παλαιοθερμοκρασίας της Μεσογείου, κυρίως SST επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων, βασιζόμενες σε αναλύσεις αλκενονών, για τα τελευταία 340 χιλιάδες χρόνια.

1.7 Σύγκριση της αναμενόμενης κλιματικής αλλαγής σε σχέση με παλαιοκλιματικά δεδομένα των μεταβολών της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας της Μεσογείου

Από τη σύγκριση σχετικών και απόλυτων μεταβολών των θερμοκρασιών των επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων (SST) της Μεσογείου των τελευταίων 21 χιλιάδων χρόνων με τις σημερινές και θεωρώντας ότι η σημερινή μέση τιμή SST της Μεσογείου είναι 19,4 °C (με εύρος τιμών από 18,4 έως 20,5 °C), συμπεραίνεται, σύμφωνα με το κείμενο του προηγούμενου υποκεφαλαίου, ότι έχουν καταγραφεί υψηλότερες θερμοκρασίες στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν σύμφωνα με τη μέθοδο προσδιορισμού παλαιοθερμοκρασίας του δείκτη $U_k/^{37}$ αλκενονών, ο οποίος μάλιστα θεωρείται ότι αναπαριστά θερμοκρασίες επιφανειακών υδάτων κατά την περίοδο της άνοιξης. Επομένως, εκτιμήσεις για υψηλότερες θερμοκρασίες αφορούν π.χ. τιμές SST 25 °C στα 4,9 ka πριν στο ΝΑ Αιγαίο (Triantaphyllou et al., 2009a, b), όταν οι αντίστοιχες συγκρίσιμες σημερινές εαρινές τιμές για το Νότιο Αιγαίο είναι <19 °C (Skliris et al., 2010). Αντιστοίχως, έχουν εκτιμηθεί 24 °C στα 6 ka BP στην Ιόνια Λεκάνη (Emeis et al., 2000), όταν οι σημερινές μέσες τιμές SST για το Ιόνιο είναι <18 °C (Malanotte-Rizzoli et al., 1997), 22,9 °C στα 13 ka BP στο Βόρειο Αιγαίο (Gogou et al., 2007), όταν οι σημερινές εαρινές τιμές για το Βόρειο Αιγαίο είναι <18 °C (Skliris et al., 2010), 22 °C στην Ιόνια Λεκάνη στα 1000 μ.Χ. (Emeis et al., 2000), ενώ εκτιμάται ότι οι SST ήταν υψηλότερες από τις σημερινές στις αρχές του 1500 μ.Χ. (Silenzi et al., 2004), σύμφωνα με δεδομένα ισοτόπων οξυγόνου σε κελύφη vermetids.

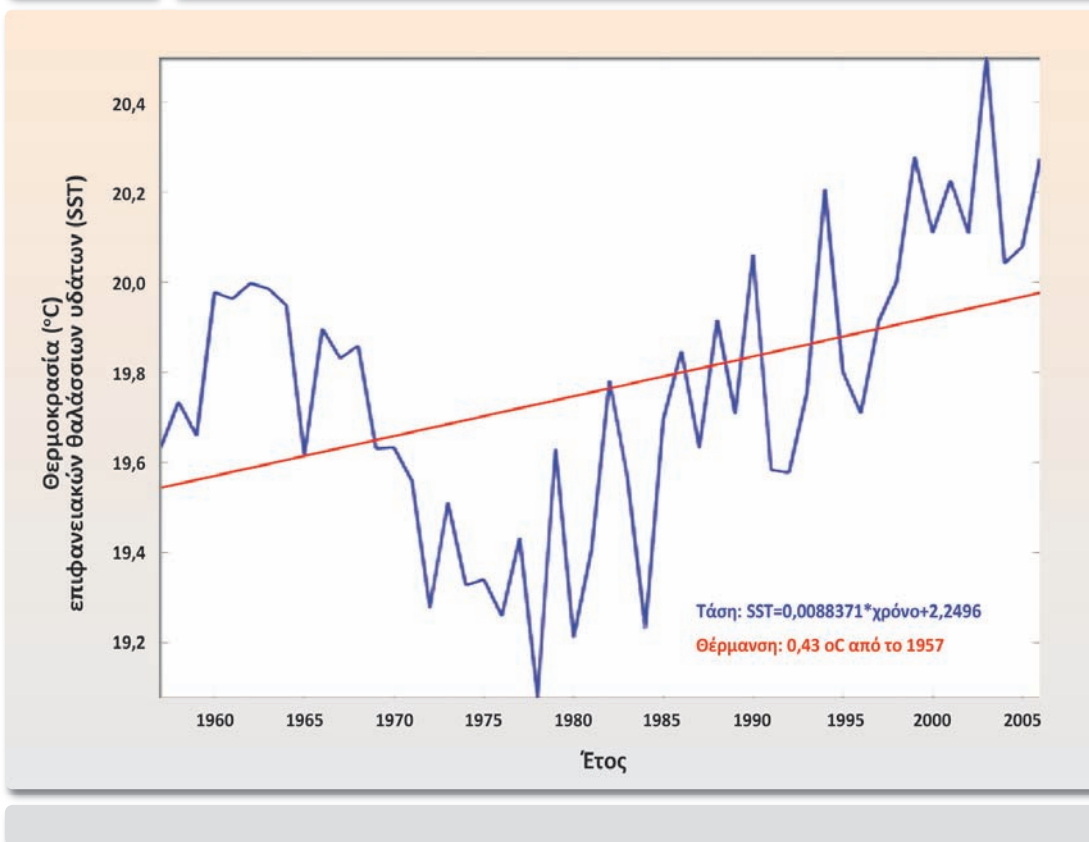
Οι ρυθμοί μεταβολής των επιφανειακών θαλάσσιων θερμοκρασιών (SST) της Μεσογείου από τις αρχές του 19ου αιώνα μέχρι το 2008 είναι $+0,04$ °C/δεκαετία, ενώ του Αιγαίου είναι κατά πολύ χαμηλότεροι, της τάξεως των $0,01$ °C/δεκαετία (Achaopoulos and Sofianos, 2009). Όμως, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, το Αιγαίο εμφανίζει πολύ υψηλότερο ρυθμό αύξησης, της τάξεως των $0,024$ °C/δεκαετία (Achaopoulos and Sofianos, 2009). Οι ενδεικτικοί ρυθμοί μεταβολής των SST της Μεσογείου κατά τον Ολόκαινο ($11,5$ ka BP), οι οποίοι βασίζονται στον παλαιοθερμοκρασιακό δείκτη των αλκενονών και έχουν αναλυθεί εκτενώς στο Υποκεφάλαιο 1.5, είναι οι εξής: μείωση $1,6$ °C μέσα σε περίπου 90 χρόνια (στα $9,8$ ka BP), ακολουθούμενη από αύξηση 3 °C μέσα σε 92 χρόνια ($9,7$ ka) (Triantaphyllou et al., 2009a, b) στο Νοτιοανατολικό Αιγαίο, μείωση 2 °C μέσα σε 50 χρόνια στο Νότιο Αιγαίο στα $8,2$ ka BP (Rohling et al., 2002a, b), αύξηση $2,4$ °C (από 21 σε $23,4$ °C) μέσα σε 72 χρόνια στα 5 ka BP στο Νοτιοανατολικό Αιγαίο (Triantaphyllou et al., 2009) και άνοδος από τους 16 °C στους 22 °C στα $2,8$ ka BP στο Ιόνιο (Emeis et al., 2000, βλ. Διάγραμμα 1.5 πιο πάνω).

Όπως σχολιάστηκε και στο Υποκεφάλαιο 1.5, όσον αφορά το βόρειο ημισφαίριο οι διαθέσιμες ετήσιες αποκλίσεις των μέσων τιμών SST (Διάγραμμα 1.8), από το επίπεδο αναφοράς της περιόδου 1961-1990 για το χρονικό διάστημα 1860 έως 2000 καταγράφουν μια συνολική μεταβολή στην απόκλιση θερμοκρασίας της τάξεως των $0,9$ °C μέσα σε 90 χρόνια, η οποία είναι μικρότερη από αυτές που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία 21 χιλιάδες χρόνια. Όμως, σε μια νεότερη καταγραφή (1957-2006) των μέσων ετήσιων SST της Μεσογείου προκύπτει μεγαλύτερη μεταβολή της θερμοκρασίας, δηλαδή $1,2$ °C μέσα σε 28 χρόνια (Διάγραμμα 1.12), η οποία είναι συμβατή με το ρυθμό αύξησης $0,067$ °C/έτος με βάση δορυφορικά δεδομένα για την περίοδο 1990-2006 (Del Rio Vera et al., 2006). Δυστυχώς, η αναπόφευκτα χαμηλή χρονική ανάλυση των παλαιοκλιματικών δεδομένων (τα τελευταία 21 ka) και η μη επαρκής χωρική κατανομή τους δεν επιτρέπουν την επιθυμητή σύγκριση των ρυθμών μεταβολής των σημερινών τιμών με τις παλαιές τιμές SST της Μεσογείου. Με βάση υψηλής ανάλυσης ωκεάνια πρότυπα, εκτιμάται ότι θα υπάρξει αύξηση των SST κατά 3 °C μέχρι το 2100 (Somot et al., 2006), ρυθμός ο οποίος έχει παρατηρηθεί στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν, όπως π.χ. πριν από $9,7$ ka BP στο Νοτιοανατολικό Αιγαίο.

Από τη σύγκριση του σημερινού παγκόσμιου ρυθμού θέρμανσης $0,7$ °C/100 έτη (IPCC, 2007) με τους αντίστοιχους ρυθμούς θέρμανσης των τελευταίων 21 χιλιάδων χρόνων συμπεραίνεται ότι ανάλογες ή και μεγαλύτερες μεταβολές έχουν καταγραφεί στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν. Ωστόσο, οι περιπτώσεις ανόδου της θερμοκρασίας στο παρελθόν αντιστοιχούσαν σε περιόδους μετάβασης από μια παγετώδη προς μια μεσοπαγετώδη περίοδο, κατά την οποία είναι αναμενόμενο να παρατηρούνται υψηλότεροι ρυθμοί ανόδου της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας κατά το Μέσο Ολόκαινο ($6-4$ ka BP) μειώνεται στους $0,4$ °C/100 έτη, διότι τότε η ουσιαστικότερη κλιματική μετάβαση είχε ήδη ολοκληρωθεί και επομένως ο ρυθμός αυτός αντικατοπτρίζει μια κλιματικά πιο σταθερή περίοδο. Έτσι, ο σημερινός

Διάγραμμα 1.12

Ετήσιες μέσες τιμές θερμοκρασίας επιφανειακών υδάτων (SST) για τη Μεσόγειο το χρονικό διάστημα 1957-2006 (Βάσει της κλιματολογίας Hadley, Belkin, 2009)



ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας (0,7 °C/100 έτη) υπερβαίνει αυτόν του Μέσου Ολοκαίνου, παρά το ότι οι εκτιμώμενες απόλυτες τιμές της θερμοκρασίας του παρελθόντος είναι υψηλότερες από τις σημερινές κατά 1-3 °C.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η αποκλίνουσα παράμετρος της σημερινής κλιματικής αλλαγής σε σχέση με αυτήν του παρελθόντος φαίνεται να είναι ο υψηλός ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας αν ληφθεί υπόψη η θέση στην οποία βρισκόμαστε στο σημερινό κλιματικό κύκλο. Ας σημειωθεί εδώ ότι οι εκτιμήσεις που αφορούν στη μελλοντική τάση αύξησης της θερμοκρασίας αναφέρουν ένα εύρος της τάξεως των 1,8-4,0 °C για τα επόμενα 80-90 χρόνια (Meehl and Stocker, 2007, IPCC), το οποίο υπερβαίνει τις μέσες τιμές των ρυθμών ανόδου της θερμοκρασίας που καταγράφονται στα γεωλογικά δεδομένα. Ο ανώτατος ρυθμός θέρμανσης που έχει εκτιμηθεί για την αρχική περίοδο της μεσοπαγετώδους φάσης που διανύουμε αγγίζει τις ακραίες τιμές των 5-10 °C/100 έτη, προερχόμενος όμως από μετρήσεις στους πάγους της Αρκτικής κατά τη μεταβατική περίοδο από τα 18 ka BP στα 11,5 ka BP, και επομένως η σημασία του είναι χωρικά περιορισμένη. Η ανομοιογένεια και η μη συνεκτικότητα των παλαιοκλιματικών δεδομένων της Μεσογείου των τελευταίων 500 χρόνων, τα οποία στηρίζονται σε ενόργανες μετρήσεις

των τελευταίων 150 χρόνων και σε έμμεσα δεδομένα μεταξύ των 300 και 500 χρόνων πριν, δεν επιτρέπουν ασφαλείς διαπιστώσεις ως προς τη συχνότητα εμφάνισης των ακραίων κλιματικών φαινομένων τα τελευταία 100 χρόνια σε σύγκριση με τα προηγούμενα 400 χρόνια.

Η παλαιοκλιματική ανασκόπηση των τελευταίων 21 ka για τη Μεσόγειο δείχνει ότι, ενώ οι τάσεις (θέρμανση/ψύξη) των κλιματικών μεταβολών είναι συνήθως όμοιες για όλες τις περιοχές, δεν ισχύει το ίδιο για το εύρος των θερμοκρασιακών μεταβολών (Πίνακας 1.3 πιο πάνω) ή τους ρυθμούς θερμοκρασιακής μεταβολής (Πίνακας 1.2). Ίδια κατάσταση πιστοποιείται και στις πρόσφατες ενόργανες μετρήσεις των SST, όπου κατά την περίοδο ανόδου της θερμοκρασίας από το 1975 έως το 1990 η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν 0,8 °C στη Δυτική Μεσόγειο, 0,6 °C στο Ιόνιο Πέλαγος και σχεδόν μηδενική στη Θάλασσα της Λεβαντίνης (Belkin, 2009). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι η αναμενόμενη αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, ανάλογα με τα υιοθετούμενα σενάρια, αναμένεται να εκφραστεί με διαφορετική ένταση και διάρκεια στις υπολεκάνες της Μεσογείου, καθώς κάθε υπολεκάνη έχει διαφορετικά υδρολογικά, κλιματικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, η λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου παρουσιάζει μεγαλύτερο εποχικό θερμοκρασιακό εύρος των επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων, πιθανότατα εξαιτίας της σταθερά χαμηλότερης θερμοκρασίας των βαθύν υδάτων της σε σχέση με τις άλλες υπολεκάνες (Berman et al., 2003) της Μεσογείου, ενώ παράλληλα επηρεάζεται περισσότερο από τους μουςώνες του Ινδικού, σε αντίθεση με αυτήν της Δυτικής Μεσογείου, η οποία επηρεάζεται περισσότερο από τις κλιματικές συνθήκες του Βόρειου Ατλαντικού.

Καταληκτικά, συμπεραίνεται ότι τα χαρακτηριστικά της σημερινής ανόδου της θερμοκρασίας παρουσιάζουν μεν υψηλό ρυθμό ανόδου, δεδομένης της φάσης του κλιματικού κύκλου τον οποίο διανύουμε, χωρίς όμως να βρίσκονται εκτός του παρατηρούμενου εύρους, σε σύγκριση με αντίστοιχες τιμές εύρους των τελευταίων 21 χιλιάδων χρόνων. Η επίδραση του CO₂ στη σημερινή θέρμανση φαίνεται να αποτελεί σημαντικό παράγοντα, καθώς αυτός ο υψηλός ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας δεν μπορεί να ερμηνευθεί ή άμεσα να συσχετιστεί με συγκεκριμένα γεγονότα, π.χ. τροχιακές μεταβολές της Γης, κατάρρευση των υδριτών μεθανίου, μεταβολή της κυκλοφορίας των ωκεάνιων ρευμάτων, ηφαιστειακή δραστηριότητα, μετακίνηση ηπείρων, μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας, τα οποία αποτελούσαν αιτίες ανόδου της θερμοκρασίας παγκοσμίως και κλιματικών μεταβολών στο γεωλογικό παρελθόν.

1.8 Το παρόν κλίμα της Ελλάδος

1.8.1 Κλιματικοί τύποι

Οι περιοχές που περιβάλλουν τη Μεσόγειο παρουσιάζουν ιδιαίτερο τύπο κλίματος, το λεγόμενο “μεσογειακό τύπο”, ο οποίος σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζεται από συνήθως ήπιους και βροχερούς χειμώνες και θερμά έως πολύ θερμά και ξηρά καλοκαίρια.

Η Ελλάδα, ευρισκόμενη στο άκρο της Χερσονήσου του Αίμου, χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία, η οποία, σε συνδυασμό με τα επικρατούντα καιρικά συστήματα, δημιουργεί έντονες κλιματικές αντιθέσεις, έτσι ώστε σε μικρές αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων το κλίμα να μεταβάλλεται από μεσογειακό μέχρι και αλπικό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της χώρας αποτελεί η μεγάλη της ακτογραμμή, η οποία μαζί με την τοπογραφία διαμορφώνει μια ποικιλία τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών που μπορούν να διαφοροποιηθούν από το συνήθη μεσογειακό τύπο. Σημειώνεται ότι το μέσο υψόμετρο της ηπειρωτικής ενδοχώρας είναι περίπου 600 μ., οι τυπικές βαθμίδες του αναγλύφου είναι 100-200 μ. ανά χλμ. και η συνολική ακτογραμμή της χώρας είναι περίπου 16.300 χλμ., δηλαδή όσο περίπου είναι το 1/3 του μήκους της περιφέρειας της γης στον Ισημερινό! Σε γενικές γραμμές στον ελληνικό χώρο διαμορφώνονται τέσσερις κλιματικοί τύποι (Μαριολόπουλος, 1938, 1982):

α) ο Θαλάσσιος Μεσογειακός Τύπος, με ευχάριστα χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος, στα δυτικά παράλια της Ελλάδας και στα Ιόνια Νησιά,

β) ο Χερσαίος Μεσογειακός Τύπος, που περιλαμβάνει τη ΝΑ Ελλάδα, μέρος της Στερεάς, τμήματα της Ανατ. Πελοποννήσου, τα νησιά και τα παράλια του Κεντρικού Αιγαίου και της Κρήτης, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες από τα αντίστοιχα γεωγραφικά πλάτη του Ιονίου,

γ) ο Ηπειρωτικός Τύπος, στο μεγαλύτερο τμήμα της Θράκης, της Μακεδονίας και της Ηπείρου και σε μέρος της Θεσσαλίας, ο οποίος παρουσιάζει χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος των βορειότερων βαλκανικών περιοχών, και

δ) ο Ορεινός Τύπος, που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους που διασχίζουν την Ελλάδα. Στους ορεινούς αυτούς όγκους υπάρχουν δασώδεις περιοχές με κλίμα δάσους, καθώς και μικρές περιοχές μεγάλου υψομέτρου με αλπικό κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Τα νησιά του Β. Αιγαίου παρουσιάζουν μεταβατικό τύπο ηπειρωτικού κλίματος προς χερσαίο και τα Δωδεκάνησα εύκρατο θαλάσσιο τύπο.

1.8.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά των εποχών του έτους

Τα κέντρα δράσης που επηρεάζουν τον καιρό της Νότιας Βαλκανικής και της Ανατολικής Μεσογείου αποτελούνται από αντικυκλώνες και υφέσεις που καθορίζουν τις κινήσεις των αερίων μαζών. Τέτοια κέντρα δράσης, που είναι είτε μόνιμα είτε παροδικά-εποχικά, διαμορφώνονται από τοπικούς παράγοντες και αποκτούν έτσι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, της οποίας και διαμορφώνουν τα κλιματικά χαρακτηριστικά.

Τα επικρατούντα στην ευρύτερη περιοχή συστήματα κυκλοφορίας/κέντρα δράσης που άμεσα επηρεάζουν τον καιρό κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι ο αντικυκλώνας των Αζορών, ο σιβηρικός αντικυκλώνας και οι πρωτογενείς και δευτερογενείς υφέσεις της Μεσογείου. Η μετατόπιση του ατλαντικού αντικυκλώνα προς νότο επιτρέπει τη διέλευση των υφέσεων του Ατλαντικού πάνω από τη Μεσόγειο, ενώ υφέσεις δημιουργούνται και στην περιοχή της Μεσο-

γείου ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του αυλώνα χαμηλών πιέσεων (trough) στην ανώτερη ατμόσφαιρα και της τοπογραφίας. Οι υφέσεις οδηγούνται από τους ανέμους της ανώτερης ατμόσφαιρας και τον πολικό αεροχείμαρρο, σε τροχιές που αντιστοιχούν γενικά στο πολικό μέτωπο. Με τη μετατόπιση του πολικού μετώπου προς τα νοτιοανατολικά το χειμώνα, οι τροχιές των υφέσεων μετατοπίζονται επίσης προς τα νοτιοανατολικά και η Ανατολική Μεσόγειος γίνεται κέντρο υφεσιακής δραστηριότητας. Η εν λόγω δραστηριότητα έχει ως αποτέλεσμα να διέρχονται πάνω από την Ελλάδα υποτροπικές αέριες μάζες, με συνέπεια την επικράτηση ήπιων θερμοκρασιών και την εμφάνιση βροχοπτώσεων.

Η επίδραση την οποία ασκούν στον καιρό και στο κλίμα οι υφέσεις που διέρχονται από την Ελλάδα εξαρτάται και από την τροχιά τους και από την τοπογραφία. Οι υφέσεις που εισέρχονται στην περιοχή από τα δυτικά λόγω των ορεινών όγκων της Δυτικής Ελλάδος, αποδίδουν μεγάλα ποσά βροχόπτωσης στις προσήνεμες περιοχές της ομβροπλευράς και κινούνται εξασθενημένες πάνω από την περιοχή του Αιγαίου, όπου, σε συνδυασμό με τη θερμή θάλασσα και τον εμπλουτισμό τους σε υδρατμούς, ενισχύονται και πάλι, με αποτέλεσμα την επανεμφάνιση βροχοπτώσεων στο ανατολικό νησιωτικό σύμπλεγμα και στα παράλια της Μικράς Ασίας. Η επίδραση του σιβηρικού αντικυκλώνα έχει ως αποτέλεσμα τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και το δριμύ ψύχος εξαιτίας της μεταφοράς πολικών ηπειρωτικών αερίων μαζών πάνω από την περιοχή. Η μετακίνηση των αντικυκλώνων με πηγές σχηματισμού τις περιοχές του Βόρειου Ατλαντικού και της Βόρειας Ευρώπης προς τα νότια και η παραμονή τους, η οποία ενδέχεται να είναι και μεγάλης διάρκειας, προκαλούν πολύ ψυχρές αλλά ενίοτε και ηλιόλουστες ημέρες.

Η άνοιξη στην Ελλάδα είναι συνήθως μικρής διάρκειας, όπου ο χειμώνας διατηρείται έως και το Μάρτιο με συχνές ψυχρές εισβολές, μικρής όμως διάρκειας. Τις χειμερινές ημέρες διαδέχονται ημέρες με χαρακτηριστικά του θέρους, ενώ οι βροχοπτώσεις μειώνονται με την ταυτόχρονη αύξηση της ατμοσφαιρικής ευστάθειας, ιδίως προς τα τέλη Μαρτίου. Από τον Απρίλιο, η μέση θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται αισθητά σε ολόκληρη τη χώρα και έτσι προετοιμάζεται η είσοδος σε ένα γενικά θερμότερο Μάιο, που αποτελεί και το προοίμιο του θέρους.

Το καλοκαιρινό κλίμα αρχίζει γενικά τον Ιούνιο και ο καιρός είναι κατά κανόνα σταθερός, αίθριος, με μεγάλη ηλιοφάνεια και ανομβρία, η οποία διατηρείται με διαλείμματα βροχοπτώσεων από θερμικές καταιγίδες. Βεβαίως, οι υφέσεις δεν απουσιάζουν κατά τη διάρκεια του θέρους, είναι όμως γενικά ασθενείς. Τόσο η Βαλκανική Χερσόνησος όσο και η Ανατολία αποτελούν περιοχές δημιουργίας θερμικών χαμηλών. Γενικά, η θάλασσα που περιβάλλει την ξηρά είναι ψυχρότερη από τον αέρα αυτή την εποχή και έτσι δεν ευνοούνται ανοδικές κινήσεις του αέρα λόγω υπερθέρμανσης, που θα συνέτειναν σε θερινή βροχόπτωση. Η ζέστη το καλοκαίρι στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα έντονη, με εμφάνιση περιόδων καύσωνα, των γνωστών από τους αρχαίους “κυνικών καυμάτων”, σε ολόκληρη τη χώρα, κυρίως με την εμφάνιση ατμοσφαιρικής ευστάθειας και άπνοιας.

Σε πολλές περιοχές της Ελλάδος η ζέστη μετριάζεται από την ξηρότητα του αέρα και την επίδραση της θαλάσσιας και απόγειας αύρας. Ιδιαίτερα στην Ανατολική Ελλάδα και στην περιοχή του Αιγαίου, οι εποχικοί άνεμοι (Ετησίες) μετριάζουν τη ζέστη της ημέρας όταν πνέουν. Στη Δυτική Ελλάδα, όπου η υγρασία είναι υψηλότερη και στα πεδινά του εσωτερικού της περιοχής δεν φθάνουν οι θαλάσσιες αύρες, ενώ και οι Ετησίες είναι σπάνιοι, η ζέστη μπορεί να γίνει αφόρητη. Η θερμοκρασία του αέρα στις ορεινές περιοχές της Ελλάδος είναι πολύ ικανοποιητική. Οι καλοκαιρινές νύκτες είναι ευχάριστες, ιδίως στην Ανατολική Ελλάδα, λόγω της προαναφερθείσας ξηρότητας της ατμόσφαιρας, της ελαφράς απόγειας αύρας και του περιορισμού των ισχυρών Ετησίων. Η διάρκεια του θέρους πολλές φορές παρατείνεται μέχρι και το Σεπτέμβριο, με υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές και στα νησιά.

Το φθινόπωρο είναι ίσως η πλέον ευχάριστη εποχή του έτους στην Ελλάδα και στις νότιες περιοχές της χώρας, ενώ στα νησιά πολλές φορές η διάρκειά του παρατείνεται μέχρι τα μέσα Δεκεμβρίου. Η μέση θερμοκρασία του φθινοπώρου είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη της άνοιξης. Οι πρώτες φθινοπωρινές βροχές παρατηρούνται από τα μέσα Σεπτεμβρίου με αρχές Οκτωβρίου, οπότε και η προς τα ανατολικά επέκταση του υποτροπικού αντικυκλώνα των Αζορών διαλύεται σχετικά απότομα και η μετακίνηση της ζώνης υψηλών πιέσεων προς τα νότια σχετίζεται με τις πρώτες εισβολές ψυχρότερων αερίων μαζών. Συχνά στην Ανατολική Ευρώπη η δημιουργία αντικυκλώνα αρχίζει από τα μέσα του φθινοπώρου και προκαλεί στη Νοτιοανατολική Ευρώπη και στην Ελλάδα ημέρες με αίθριο καιρό και ηλιόλουστα, τις παρατηρούμενες στην περιοχή μας ωραίες και σχετικά θερμές ημέρες, το αποκαλούμενο “καλοκαιράκι του Αγίου Δημητρίου” (π.χ., Μαριολόπουλος, 1982, Κοτίνη-Ζαμπάκα, 1983).

1.9 Κλιματικές παράμετροι στον ελληνικό χώρο

1.9.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του εδάφους σε ένα τόπο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την εποχή του έτους, καθώς και από κλιματικούς και τοπογραφικούς παράγοντες.

Θεωρητικά η ηλιακή ακτινοβολία σε έναν τόπο ακολουθεί την ετήσια πορεία της απόκλισης του ήλιου. Γι' αυτό άλλωστε και ο όρος “κλίμα” προέρχεται από το ρήμα κλίνω, υποδηλώνοντας τη σχέση της θερμοκρασίας του αέρα με την κλίση των ακτίνων του ηλίου. Στο βόρειο ημισφαίριο η μέγιστη τιμή της κλίσης παρατηρείται την ημέρα του θερινού ηλιοστασίου (21 Ιουνίου) και η ελάχιστη τιμή της κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου).

Παρατηρείται όμως εδώ ότι η απόλυτη υγρασία της ατμόσφαιρας, η νέφωση, τα αιωρούμενα σωματίδια κ.ά. προκαλούν μεγάλες αποκλίσεις από τη θεωρητική τιμή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος των διαφόρων περιοχών. Για την Αθήνα, για παρά-

δειγμα, η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή το ποσό της ενέργειας του ηλίου που φθάνει απευθείας στην επιφάνεια της γης, είναι μεγαλύτερη την άνοιξη από ό,τι το καλοκαίρι. Και τούτο διότι, ενώ το ύψος του ηλίου είναι μέγιστο το καλοκαίρι, η ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, καθώς και του κονιορτού λόγω των Ετησίων, που είναι παράγοντες οι οποίοι απορροφούν και σκεδάζουν την ηλιακή ακτινοβολία, είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή από ό,τι κατά την εαρινή περίοδο. Η μέση ετήσια πορεία της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή του αθροίσματος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και της διάχυτης ακτινοβολίας του ουράνιου θόλου σε ένα τόπο, ακολουθεί σε γενικές γραμμές τη μέση ετήσια πορεία του ύψους του ηλίου, με μέγιστες τιμές το καλοκαίρι και ελάχιστες το χειμώνα. Ενδεικτικές μέσες τιμές ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για την Αθήνα κατά τη χειμερινή περίοδο είναι 200-250 W/τετρ. μ. και 800-850 W/τετρ. μ. κατά τη θερινή περίοδο, ενώ οι μέσες τιμές της διάχυτης ακτινοβολίας κυμαίνονται από 90-100 W/τετρ. μ. το χειμώνα, έως 190-200 W/τετρ. μ. το καλοκαίρι.

1.9.2 Νέφωση και ηλιοφάνεια

Η μέση ετήσια νέφωση είναι μέγιστη στο εσωτερικό της χώρας, όπου οι ατμοσφαιρικές αέριες μάζες αναγκάζονται σε ανοδικές κινήσεις από τους ορεινούς όγκους, όπου και λαμβάνει χώρα σύγκλιση και συμπύκνωση των υδρατμών. Κατά μέσον όρο οι μέγιστες τιμές της νέφωσης ξεπερνούν το 50% της νεφοκάλυψης του ουράνιου θόλου. Η νέφωση ελαττώνεται καθώς κινούμαστε προς τα παράλια, όπου η μέγιστη νεφοκάλυψη ελαττώνεται σε λιγότερο από 40%. Η ετήσια πορεία της νέφωσης είναι γενικά παράλληλη με εκείνη της βροχής, με μέγιστο ύψος το χειμώνα και ελάχιστο το καλοκαίρι, ενώ η νέφωση σχεδόν μηδενίζεται στη Νοτιοανατολική Ελλάδα.

Στην Ελλάδα ο αριθμός των αίθριων ημερών (ημέρες με λιγότερο από 20% νεφοκάλυψη) είναι σχετικά μεγάλος σε όλες τις εποχές, ενώ αντίθετα οι νεφοσκεπείς ημέρες (ημέρες με νεφοκάλυψη μεγαλύτερη από 80%) είναι λίγες.

Το μέγιστο των συνολικών ωρών ηλιοφάνειας κατ' έτος, με περισσότερες από 2.800 ώρες, παρατηρείται στο Νότιο Ιόνιο, στις νότιες ακτές της Πελοποννήσου, στην Αργολίδα, στο Σαρωνικό και στο Κεντρικό Αιγαίο. Το μέγιστο αυτό αυξάνεται στο Νότιο Αιγαίο, στα νότια παράλια της Κρήτης και στα Νότια Δωδεκάνησα, όπου ο ετήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας φθάνει περίπου τις 3.000 ώρες. Ο αριθμός των ετήσιων ωρών ηλιοφάνειας ελαττώνεται καθώς κινούμαστε από τα παράλια προς τον ορεινό εσωτερικό όγκο της χώρας, με ελάχιστες τιμές (λιγότερες από 2.300 ώρες) στα βορειοδυτικά της χώρας. Η ετήσια πορεία της ηλιοφάνειας είναι φυσικά αντίθετη από εκείνη της νέφωσης, με μέγιστο αριθμό ωρών ηλιοφάνειας, περίπου 300-400, κατά τον μήνα Ιούλιο και ελάχιστο αριθμό ωρών, περίπου 90-100, κατά τους χειμερινούς μήνες.

1.9.3 Θερμοκρασία του αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα στην Ελλάδα, εκτός από τη μεταβολή της παράλληλα με το γεωγραφικό πλάτος, παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από τόπο σε τόπο και λόγω του ανα-

γλύφου. Σε περιοχές όπου η διάταξη των ορεινών όγκων τροποποιεί τη ροή των ψυχρών βόρειων ανέμων παρατηρούνται ηπιότεροι χειμώνες, ενώ αντίθετα σε άλλες περιοχές, στις οποίες το ανάγλυφο επιτρέπει την είσοδο ψυχρών αερίων μαζών, παρατηρούνται δριμύτεροι χειμώνες. Η θάλασσα συντελεί στο να είναι ηπιότερο το κλίμα στις παράκτιες και στις νησιωτικές περιοχές από εκείνο της γειτονικής ενδοχώρας, με ηπιότερους χειμώνες και πιο δροσερά καλοκαίρια. Οι ετήσιες ισόθερμες καμπύλες (καμπύλες που διέρχονται από τόπους με την ίδια μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα) διατάσσονται σχεδόν παράλληλα με το γεωγραφικό πλάτος, όπου η ισόθερμος των 19 °C παρακολουθεί τα δυτικά παράλια της Πελοποννήσου και αυτή των 20 °C τα νοτιοανατολικά παράλια της Κρήτης και η ετήσια ισόθερμος των 15 °C παρακολουθεί τα πεδινά της Μακεδονίας και της Θράκης. Στους ορεινούς όγκους της Πελοποννήσου η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 10 °C και της Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδος περίπου 5 °C. Οι ακτές του Ιονίου Πελάγους, όπως και τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, εμφανίζουν ηπιότερο κλίμα από τις περιοχές της Ανατολικής Ελλάδος με αντίστοιχα γεωγραφικά πλάτη, με διαφορές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας περίπου 0,5-1,0° C, ενώ το χειμώνα τα δυτικά παράλια είναι θερμότερα κατά περίπου 3° C. Οι ισόθερμοι κατά την ψυχρή περίοδο του έτους είναι σχεδόν παράλληλοι του γεωγραφικού πλάτους, με μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές στους διάφορους τόπους από ό,τι το καλοκαίρι, κατά το οποίο η διανομή ξηράς-θάλασσας είναι αυτή που ελέγχει την θερμοκρασία του αέρα.

Η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία του αέρα κατά τους κυρίως θερινούς μήνες, Ιούλιο-Αύγουστο, κυμαίνεται μεταξύ 32 °C και 36 °C, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να ξεπεράσει και τους 40 °C, ιδίως στις πεδιάδες της Κεντρικής Ελλάδος. Η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα σε όλη σχεδόν την Ελλάδα εμφανίζει ελάχιστο κατά τα τέλη Ιανουαρίου με Φεβρουάριο, ένδειξη επικράτησης χερσαίου κλίματος, πράγμα που συμβαίνει νωρίτερα στο εσωτερικό της χώρας από ό,τι στις παράκτιες περιοχές. Απόλυτα ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κάτω των -20 °C έχουν παρατηρηθεί σε ορισμένες τοποθεσίες της Βόρειας Μακεδονίας και της Βόρειας Θράκης, αλλά και σε μεγάλου υψομέτρου περιοχές της Κεντρικής Ελλάδος. Από το Μάρτιο η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται και φθάνει στο μέγιστο κατά τα τέλη Ιουλίου με Αύγουστο, επίσης αργότερα στις παράκτιες περιοχές από ό,τι στην ενδοχώρα. Οι Ετησίες, όπως και οι θαλάσσιες αύρες που πνέουν τη θερινή περίοδο, δημιουργούν ήπιο κλίμα στο Αιγαίο. Απόλυτα μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες άνω των 45 °C έχουν σημειωθεί σε ορισμένα μέρη της Κεντρικής και της Νότιας Ελλάδος. Ήδη από το τέλος Σεπτεμβρίου αρχίζει με βραδείς ρυθμούς η πτώση της θερμοκρασίας σε όλη τη χώρα, νωρίτερα στα βόρεια και αργότερα στα νότια της χώρας.

Το μέσο ετήσιο θερμομετρικό εύρος (η διαφορά μεταξύ της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του Ιουλίου ή Αυγούστου από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του Ιανουαρίου ή Φεβρουαρίου) στη Βόρεια Ελλάδα είναι μεγαλύτερο των 20 °C, χαρακτηριστικό ύπαρξης ηπειρωτικού κλίματος, ενώ στις νότιες περιοχές είναι μικρότερο και ιδίως στα νότια νησιά είναι μικρότερο από 15 °C. Η μέση

ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα σε σχεδόν ολόκληρη τη χώρα εμφανίζει μέγιστο νωρίς το απόγευμα, περίπου στις 14:00, και το καλοκαίρι αργότερα, κατά τις 15:00, και ελάχιστο στις 7:00 το χειμώνα και στις 5:00 το καλοκαίρι. Το μέσο ημερήσιο εύρος της θερμοκρασίας του αέρα (διαφορά μεταξύ της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας) κυμαίνεται μεταξύ 8°C και 4°C το καλοκαίρι και το χειμώνα, αντίστοιχα.

Στη Βόρεια Ελλάδα παρατηρούνται επίσης ημέρες ολικού παγετού, δηλαδή ημέρες κατά τις οποίες η θερμοκρασία είναι κάτω από ή ίση με 0°C κατά τη διάρκεια ολόκληρου του 24ώρου, ενώ στη Νότια Ελλάδα, ιδίως στα παράλια και στα νησιά του Νότιου Αιγαίου, είναι σπανιότατο φαινόμενο και στα πεδινά της Κρήτης δεν έχει σημειωθεί ολικός παγετός κατά ολόκληρη την περίοδο των ενόργανων παρατηρήσεων. Ημέρες μερικού παγετού, δηλαδή να παρατηρηθεί σε κάποια χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια του 24ώρου θερμοκρασία ίση ή χαμηλότερη του μηδενός, είναι φαινόμενο που παρατηρείται συχνά τους χειμώνες και νωρίς την άνοιξη. Η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται με το ύψος κατά 0,6 -0,8°C ανά 100 μέτρα. Η θερμοκρασία του εδάφους παρουσιάζει ετήσια και ημερήσια κύμανση όπως αυτή του αέρα αλλά πολύ μεγαλύτερου εύρους, διότι το έδαφος θερμαίνεται το καλοκαίρι και ψύχεται το χειμώνα εντονότερα από τον αέρα. Εντός του εδάφους οι κυμάνσεις εξασθενούν και σε βάθη μεγαλύτερα του 1μ. η ημερήσια κύμανση παύει να υπάρχει.

1.9.4 Υγρασία του αέρα

Η ετήσια πορεία της απόλυτης υγρασίας του αέρα (δηλαδή, το πηλίκο της μάζας των υδρατμών προς τον όγκο του αέρα στον οποίο περιέχονται, το οποίο και εκφράζεται με τη μερική τάση των υδρατμών στον αέρα) ακολουθεί την αντίστοιχη πορεία της θερμοκρασίας με μέγιστο το θέρος και ελάχιστο το χειμώνα. Στα μεσογειακά θαλάσσια κλίματα η απόλυτη υγρασία εμφανίζει, όπως και η θερμοκρασία της θάλασσας, το μέγιστο και το ελάχιστο λίγο αργότερα από το αντίστοιχο μέγιστο και ελάχιστο της θερμοκρασίας του αέρα. Η μέση ετήσια απόλυτη υγρασία είναι μέγιστη στις ακτές της Δυτικής Ελλάδος, με τιμές 11-12 χλστ. Hg, και βαίνει ελαττούμενη προς το εσωτερικό με τιμές ελάχιστου 8-9 χλστ. Hg, ενώ αυξάνεται και πάλι στις ακτές της Ανατολικής Ελλάδος και στα νησιά του Αιγαίου, αν και με τιμές μικρότερες από ό,τι της Δυτικής Ελλάδος. Η ημερήσια πορεία της απόλυτης υγρασίας του αέρα εμφανίζει καθ' όλο το έτος διπλή κύμανση, όπως και η παρατηρούμενη πορεία των χειρσαίων κλιμάτων.

Η σχετική υγρασία εκφράζεται ως ποσοστό % της μάζας των υδρατμών του αέρα προς τη μάζα των υδρατμών του κορεσμένου αέρα (της μέγιστης μάζας υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας στη δεδομένη θερμοκρασία του) ή αλλιώς ως ποσοστό % της μερικής τάσης των υδρατμών του αέρα (απόλυτη υγρασία) προς τη μέγιστη τάση των υδρατμών του αέρα (του κορεσμένου αέρα). Η σχετική υγρασία είναι εκείνη η έκφραση της υγρασίας που έχει μεγάλο βιοκλιματικό ενδιαφέρον, διότι με μικρή σχετική υγρασία το θέρος ο καύσωνας είναι λιγότερο αισθητός και, αντιθέτως, με μεγάλη σχετική υγρασία το χειμώνα το κρύο είναι λιγό-

τερο αισθητό. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία σε ολόκληρη τη χώρα κυμαίνεται μεταξύ περίπου 60% στην Αττική-Βοιωτία και Αργολίδα και σχεδόν 75% στα παράλια της Δυτικής Ελλάδος και στα νησιά. Γενικά, η Δυτική Ελλάδα έχει υγρότερο κλίμα από τη Νοτιοανατολική. Η σχετική υγρασία ακολουθεί πορεία αντίθετη από τη θερμοκρασία του αέρα τόσο κατά την ετήσια όσο και κατά την ημερήσια μεταβολή της, διότι εξ ορισμού είναι αντιστρόφως ανάλογη της μέγιστης τάσης των υδρατμών, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα. Η μέση σχετική υγρασία παρουσιάζει σε όλη την Ελλάδα απλή ετήσια κύμανση με μέγιστο κατά το Δεκέμβριο και ελάχιστο κατά τον Ιούλιο-Αύγουστο. Το ετήσιο υγρομετρικό εύρος στο εσωτερικό της ηπειρωτικής Ελλάδος και της Κρήτης είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των εύκρατων κλιμάτων, πλησιάζοντας πολύ το αντίστοιχο των χερσαίων κλιμάτων, της Δυτικής Ελλάδος είναι μεταξύ χερσαίου και θαλάσσιου κλίματος, ενώ των ακτών της Πελοποννήσου και της Κρήτης καθώς και των νήσων πλησιάζει προς το υγρομετρικό εύρος των θαλάσσιων κλιμάτων. Ομοίως η μέση σχετική υγρασία του αέρα παρουσιάζει απλή ημερήσια κύμανση, αντίθετη της κύμανσης της θερμοκρασίας, με μέγιστο γύρω στην ανατολή του ηλίου περίπου μεταξύ 4:00 (κατά το θέρος) και 7:00 (το χειμώνα) και ελάχιστο περίπου στις 14:00 σχεδόν πάντοτε.

1.9.5 Βροχή

Η βροχή και η θερμοκρασία του αέρα αποτελούν τα πιο σημαντικά κλιματικά στοιχεία ενός τόπου. Όπως προαναφέρθηκε, η τοπογραφία της Ελλάδος παίζει σημαντικό ρόλο στο κλίμα της χώρας, με ιδιαίτερη έμφαση στην ποσότητα της βροχής. Η γεωγραφική θέση της χώρας, το γεγονός ότι περιβρέχεται από θάλασσα και η ύπαρξη υψηλών ορέων και οροσειρών διαφόρων διευθύνσεων προσδίδουν μεγάλη ανομοιογένεια στη διανομή αλλά και στο ύψος της βροχής στις διάφορες περιοχές της Ελλάδος. Βέβαια σε γενικές γραμμές διατηρείται ο χαρακτηριστικός τύπος βροχής των μεσογειακών παράλιων τόπων με την ξηρότητα κατά το θέρος και με βροχερή περίοδο από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης. Στην Βόρεια Ελλάδα η βροχή τείνει να κατανέμεται ομαλότερα μέσα στο έτος. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για ολόκληρη τη χώρα υπολογίζεται σε περίπου 800 χλστ., όμως η γεωγραφική διανομή του ετήσιου ύψους βροχής, αλλά και αυτού της βροχερής περιόδου του έτους, ακολουθεί σε γενικές γραμμές το ανάγλυφο της Ελλάδος. Στην Ελλάδα, όπως και στην Ιβηρική και την Ιταλική Χερσόνησο, το ετήσιο ύψος βροχής γενικά βαίνει ελαττούμενο καθώς κινούμαστε από τη δύση προς την ανατολή και από το βορρά προς το νότο. Οι βροχοφόρες θερμές και υγρές αέριες μάζες των κινούμενων από τα δυτικά προς τα ανατολικά υφέσεων και γενικά οι θερμές και υγρές αέριες μάζες του νότιου τομέα προσκρούουν στις οροσειρές που έχουν κατεύθυνση σχεδόν από Β προς Ν κάθετα προς τη ροή των ανέμων. Αυτές οι αέριες μάζες, όταν ανυψώνονται στην ομβροπλευρά των ορέων, ψύχονται και απελευθερώνουν τα μεγαλύτερα ποσά βροχής στις προσήνεμες περιοχές των ορέων, ενώ μετά τις κορυφογραμμές παύει η ανύψωση των αερίων μαζών, οι οποίες καταλισθαίνουν και θερμαίνονται, δίδοντας λίγες βροχές στα υπήνεμα μέρη (ομβροσκιά).

Το μέσο ετήσιο ύψος της βροχής που δέχονται οι οροσειρές οι οποίες διασχίζουν τη χώρα υπερβαίνει τα 2.200 χλστ. στην Πίνδο, τα 1.800 χλστ. στα Λευκά Όρη της Κρήτης και τα 1.600 χλστ. στα όρη της Πελοποννήσου. Στο Σαρωνικό, στην Αργολίδα και στα νησιά του Νότιου Αιγαίου παρατηρείται το ελάχιστο μέσο ετήσιο ύψος βροχής, λιγότερο από 400 χιλιοστά. Στα νησιά του Ιονίου το μέσο ετήσιο ύψος της βροχής είναι 1.000-1.400 χλστ., στα δυτικά παράλια της Ηπείρου βρίσκεται μεταξύ των 1.000 και των 1.200 χλστ. και αυξάνεται προς τους ορεινούς όγκους μέχρι περίπου το ύψος των 2.000 μ., ενώ ελαττώνεται απότομα στις ανατολικές υπήνεμες κλιτύες των οροσειρών και της ανατολικής πλευράς της ελληνικής χερσονήσου. Οι ανατολικές περιοχές της Εύβοιας και τα νησιά των Βόρειων Σποράδων παρουσιάζουν αύξηση του ύψους της βροχής, όπως και τα όρη της Μακεδονίας και της Θεσσαλίας, με νέα μείωση επί των ακτών του Αιγαίου και τέλος εκ νέου αύξηση στα νησιά και τα παράλια της Μικράς Ασίας. Στις βορειοανατολικές περιοχές της χώρας, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, το ετήσιο ύψος της βροχής αυξάνεται από τα παράλια προς το εσωτερικό με μέγιστο στα βόρεια όρη των περιοχών αυτών. Ομοίως στην Κρήτη το ετήσιο ύψος της βροχής μειώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά με ετήσιο ύψος βροχής στη Δυτική Κρήτη περίπου 800 χλστ. και στη Νοτιοανατολική κάτω των 500 χιλιοστών.

Η διανομή του ετήσιου ύψους της βροχής σε γενικές γραμμές ισχύει για όλους τους μήνες της ψυχρής περιόδου του έτους, με τη διαφορά ότι η ποσότητα της βροχής αυξάνεται από το φθινόπωρο προς το χειμώνα και ελαττώνεται προς την άνοιξη. Το θέρος οι σπάνιες βροχές που διακόπτουν τη θερινή ανομβρία οφείλονται κυρίως σε τοπικές θερμικές καταιγίδες μικρής διάρκειας χωρίς μεγάλες διαφορές μεταξύ δυτικού και ανατολικού τμήματος της χώρας και οι οποίες πολλές φορές σε λίγες μόνον ώρες δίδουν μεγάλες ποσότητες βροχής. Η θερινή ξηρασία αρχίζει στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας περίπου από το Μάιο, όταν οι υφέσεις αρχίζουν να σπανίζουν στην Ανατολική Μεσόγειο, και η διάρκεια της ξηρασίας αυξάνεται από βορρά προς νότο με διάρκεια περίπου 2 μηνών, Ιούλιο-Αύγουστο, στη Βόρεια Ήπειρο, τη Μακεδονία και τη Θράκη και 4-5 μηνών σε νοτιοανατολικές περιοχές της χώρας. Η ετήσια πορεία της βροχής παρουσιάζει ιδιαιτερότητες ως προς τα μέγιστα και ελάχιστα ανάλογα με τη γειτνίαση με τη θάλασσα, το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος κ.λπ., χωρίς όμως να παρεκκλίνει από το βασικό χαρακτήρα του μεσογειακού κλίματος της βροχερής ψυχρής περιόδου και της θερινής ανομβρίας. Οι μήνες Ιούλιος-Αύγουστος θεωρούνται οι μήνες με την ελάχιστη βροχή, ενώ σε πολλούς τόπους της χώρας το Σεπτέμβριο παρατηρούνται οι πρώτες βροχές, αρχικά στα υψηλά και κατά τον Οκτώβριο στα πεδινά και τα νησιά του Αιγαίου. Κατά το Νοέμβριο και ιδίως το Δεκέμβριο παρατηρείται κατά μέσο όρο το μέγιστο μηνιαίο ύψος της βροχής. Το ετήσιο ύψος της βροχής στην Ελλάδα μεταβάλλεται σημαντικά από έτος σε έτος αλλά και από σειρά σε άλλη σειρά ετών άλλοτε πολυομβρίας και άλλοτε ανομβρίας. Στην Αθήνα παρατηρήθηκε ελάχιστο ετήσιο ύψος βροχής π.χ. 115,7 χλστ. το 1898, 150,6 χλστ. το 1989, 199,3 χλστ. το 1990, 206,2 χλστ. το 1891 και μέγιστο ετήσιο ύψος της βροχής π.χ. 987,3 χλστ. το 2002, 846,4 χλστ.

το 1883, 713,0 χλστ. το 1885, 612,0 χλστ. το 1955 και 601,9 χλστ. το 1910. Σημειωτέον ότι το μέσο ετήσιο ύψος της βροχής στην Αθήνα για την περίοδο παρατηρήσεων 1891-2010 από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών είναι σχεδόν 400 χιλιοστά.

Η διανομή του αριθμού των ετήσιων ημερών βροχής είναι όμοια με τη διανομή του ύψους της βροχής, με αύξηση από τα δυτικά παράλια της χώρας (άνω των 110 ημερών) προς το εσωτερικό με μέγιστο στις κεντρικές οροσειρές, ελάττωση προς τα παράλια του Αιγαίου και κατόπιν νέα αύξηση του αριθμού των ημερών βροχής στα μικρασιατικά παράλια. Ο ελάχιστος ετήσιος αριθμός ημερών βροχής (κάτω των 80 ημερών ετησίως) παρατηρείται στην περιοχή του ελάχιστου ετήσιου ύψους της βροχής, δηλαδή σε νησιά των Κυκλάδων και στην περιοχή του Αργοσαρωνικού.

Το ύψος της βροχής 24ώρου καθώς και η ένταση της βροχής, δηλαδή το πηλίκο της ποσότητας της βροχής προς τη διάρκειά της, είναι σημαντικά στοιχεία, ιδίως για την εκτέλεση πολλών δημόσιων έργων. Ύψος βροχής 24 ωρών με τιμές άνω των 150 χλστ. έχει σημειωθεί σε πολλούς βροχομετρικούς σταθμούς, ακόμη και σε περιοχές με ετήσιο ελάχιστο όπως είναι η Αθήνα, στην οποία παρατηρήθηκε μεγάλο ημερήσιο ύψος π.χ. 150,8 χλστ. στις 16.11.1899 και 160 χλστ. στις 2.11.1977, δεδομένου ότι το μέσο ημερήσιο ύψος βροχής στην Αθήνα το Νοέμβριο είναι 1,9 χλστ. και το ολικό ετήσιο ύψος περίπου 400 χιλιοστά. Η ραγδαιότητα της βροχής, μεγάλα ύψη βροχής 24ώρου και ισχυρή ένταση βροχής ακολουθούν την ίδια γεωγραφική και εποχική διανομή με τη διανομή της ετήσιας βροχόπτωσης. Η μέση ετήσια ραγδαιότητα ελαττώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από το βορρά προς το νότο. Η ραγδαιότητα της βροχής στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας είναι εντονότερη κατά τους φθινοπωρινούς μήνες Οκτώβριο-Νοέμβριο.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες υπό τις οποίες δημιουργούνται οι καταιγίδες είναι όμοιες με αυτές των βροχών, αλλά απαιτείται να σημειώνεται μεγάλος βαθμός ατμοσφαιρικής αστάθειας. Στη Μεσόγειο γενικά οι καταιγίδες εμφανίζονται ως αποτέλεσμα εισβολών πολικών ψυχρών αερίων μαζών σε ψυχρά μέτωπα, ιδίως το φθινόπωρο, οπότε η θάλασσα είναι σχετικά θερμή, καθώς και σε περιοχές σύγκλισης τροπικών υγρών και θερμών αερίων μαζών σε θερμά μέτωπα. Η ορειογραφία παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς υποχρεώνει τις αέριες μάζες να υψωθούν και έτσι να ψυχθούν κατά την εκτόνωση και να συμπυκνώσουν τους υδρατμούς τους. Οι καταιγίδες γενικά στην περιοχή της Ελλάδος είναι συνηθέστερες κυρίως στις παραθαλάσσιες περιοχές το φθινόπωρο και το χειμώνα, οπότε οι θάλασσες είναι θερμότερες του αέρα. Το θέρος παρατηρούνται στα ηπειρωτικά μέρη οι λεγόμενες θερμικές καταιγίδες, όταν υπερθερμαίνεται το έδαφος και υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες για αστάθεια στην ελεύθερη ατμόσφαιρα ενώ στα παραθαλάσσια μέρη είναι αμελητέα η αστάθεια, δεδομένου ότι η θάλασσα είναι ψυχρότερη από τη ξηρά.

1.9.6 Άνεμοι

Όπως προαναφέρθηκε, το χειμώνα η Μεσόγειος βρίσκεται ανάμεσα στα επικρατούντα συστήματα υψηλών πιέσεων του ευρασιατικού αντικυκλώνα και του Βόρειου Ατλαντικού. Τα

συστήματα αυτά κατευθύνουν προς τη Μεσόγειο γενικά ψυχρές-ξηρές και αντίστοιχα θερμές-υγρές αέριες μάζες και έτσι στη θάλασσα της Μεσογείου δημιουργούνται κέντρα κυκλογένεσης ή αναζωογόνησης διερχόμενων υφέσεων και ως εκ τούτου το χειμώνα η διεύθυνση και η ένταση των ανέμων συνεχώς μεταβάλλονται. Περίπου οι ίδιες συνθήκες επικρατούν το φθινόπωρο και την άνοιξη. Χαρακτηριστικός άνεμος της περιόδου αυτής, από το φθινόπωρο έως την άνοιξη, είναι ο νότιος-νοτιοδυτικός άνεμος, ο καλούμενος Σιρόκος και κατά τους αρχαίους Λιψ. Ο άνεμος αυτός προκαλείται από το σύστημα των υψηλών πιέσεων του Ατλαντικού και της Βόρειας Αφρικής, μεταφέρει υγρές-θερμές αέριες μάζες και συνδέεται με τα συστήματα των υφέσεων της Μεσογείου. Όταν λόγω τοπογραφίας ο άνεμος αυτός υποχρεωθεί να διέλθει από οροσειρά, τότε στην υπήνεμη πλευρά καθίσταται καθοδικός, θερμαίνεται περισσότερο και απομακρύνεται από το σημείο κόρου και δημιουργούνται ξηροί και θερμοί άνεμοι, με χαρακτηριστικά ανέμων Foehn, οι οποίοι το θέρος είναι ιδιαίτερα ξηροί και θερμοί, οι γνωστοί Λίβες. Επίσης στην κοιλάδα του Αξίου πνέει ο γνωστός βόρειος ψυχρός άνεμος Βαρδάρης όταν επικρατούν υψηλές πιέσεις στα Βαλκάνια και χαμηλές πιέσεις στο Αιγαίο. Όπως προαναφέρθηκε, κατά τη χειμερινή περίοδο ενίοτε παρατηρούνται εισβολές βόρειων ιδιαίτερα ψυχρών αερίων μαζών.

Ενώ κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους τα συστήματα των ανέμων εμφανίζονται πολύπλοκα και μεταβαλλόμενα, κατά το θέρος επικρατούν κυρίως άνεμοι του βόρειου τομέα, οι γνωστοί Ετησίες (μελέμια). Οι Ετησίες στο Ιόνιο Πέλαγος και τις δυτικές ακτές της χώρας είναι βορειο-δυτικής διεύθυνσης (Μαΐστρος), ενώ στο Β. Αιγαίο είναι βορειοανατολικής, καθιστάμενοι βόρειοι στο Κεντρικό και Νότιο Αιγαίο. Η ένταση των Ετησίων στο στρώμα της ατμόσφαιρας μέχρι του ύψους των 800-1.000μ. (οριακό στρώμα) είναι μέγιστη συνήθως τις μεσημβρινές ώρες, οπότε συμβαίνει και η μεγαλύτερη ανάμειξη των ανώτερων με τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, και η ένταση των Ετησίων ελαττώνεται μέχρι σχεδόν μηδενισμού τις νυκτερινές ώρες. Στη θάλασσα οι άνεμοι γενικά είναι ισχυρότεροι λόγω της πολύ μικρής τριβής. Οι Ετησίες είναι συνήθως μέτριας έντασης άνεμοι (4-5B, 8-9 μ./δευτ.), καθιστάμενοι στα ανοικτά πελάγη, όχι σπανίως, ισχυροί (6-7B, 10-15 μ./δευτ.) και μέχρι σφοδροί και ενίοτε θυελλώδεις (άνω των 9B, 20 μ./δευτερόλεπτο). Η μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα των Ετησίων παρατηρείται τον Ιούλιο-Αύγουστο και οι εν λόγω άνεμοι εμφανίζονται ιδιαίτερα ισχυροί σε τοπογραφικούς διαύλους του Αιγαίου, όπως π.χ. μεταξύ Νάξου και Πάρου (Reparis et al., 1977). Το θέρος κατά τις ημέρες που δεν πνέουν Ετησίες στο εσωτερικό της χώρας επικρατεί μάλλον νηνεμία με ελαφρές αύρες ορέων και αύρες πεδιάδων, ενώ στις ακτές και στα νησιά πνέουν την ημέρα θαλάσσιες αύρες, οι οποίες εναλλάσσονται τη νύκτα με απόγειες αύρες. Η ταχύτητα των ανέμων στις θαλάσσιες αύρες είναι της τάξεως μέχρι 5-6 μ./δευτ., ενώ στις απόγειες είναι πολύ μικρότερης τάξεως.

1.9.7 Εξάτμιση – δρόσος – πάχνη – ομίχλη – χιόνι – χαλάζι

Η *εξάτμιση*, δηλαδή η ποσότητα του ύδατος μιας υδάτινης επιφάνειας που μετατρέπεται σε υδρατμούς, εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του ύδατος, αλλά και από τη θερμοκρασία

και την υγρασία του αέρα, καθώς και από τον άνεμο. Η εξάτμιση σε γενικές γραμμές ακολουθεί την ετήσια και ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα και είναι μικρότερη στις δυτικές και βόρειες περιοχές της χώρας από ό,τι στις νότιες και ανατολικές.

Στην Αθήνα το μέσο ετήσιο ύψος του εξατμιζόμενου ύδατος ανέρχεται σε περίπου 1.650 χλστ., ενώ στη Θεσσαλονίκη σε περίπου 1.350 χιλιοστά.

Δρόσος είναι η συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα σε υδροστανογίδια στις επιφάνειες στο έδαφος. Δρόσος παρατηρείται σχεδόν σε ολόκληρη τη χώρα περίπου όλο το έτος, με μέγιστη εμφάνιση του φαινομένου το χειμώνα και ελάχιστη το θέρος.

Πάχνη είναι η συμπύκνωση των υδρατμών σε μορφή πάγου στις επιφάνειες στο έδαφος. Η πάχνη είναι σπανιότερο φαινόμενο από ό,τι η δρόσος και παρατηρείται μόνο την ψυχρή περίοδο του έτους, οπότε η θερμοκρασία των επιφανειακών στρωμάτων είναι κάτω από το μηδέν.

Ομίχλη προκαλείται από την ψύξη και συμπύκνωση των υδρατμών του στρώματος του αέρα που εφάπτεται στην επιφάνεια του εδάφους μιας υγρής και θερμότερης από το έδαφος αέριας μάζας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέφους που επικάθεται στο έδαφος. Ομίχλες προκαλούνται με τη μεταφορά θερμής και υγρής αέριας μάζας υπεράνω ψυχρού εδάφους ή και με την ψύξη του εδάφους μέσω της ακτινοβολίας κατά τις ψυχρές και αίθριες νύκτες, με αποτέλεσμα ο αέρας που εφάπτεται του εδάφους να ψύχεται και να συμπυκνώνει τους υδρατμούς του. Ομίχλες παρατηρούνται σε μεγαλύτερο αριθμό ημερών στη Βόρεια Ελλάδα από ό,τι στη νότια χώρα.

Οι *χιονοπτώσεις* αυξάνονται από τα νότια της χώρας προς τα βόρεια, από τα παράλια προς το εσωτερικό και από τις πεδινές προς τις ορεινές περιοχές. Επίσης, οι βορειοανατολικές ψυχρές αέριες μάζες του σιβηρικού αντικυκλώνα που πνέουν κατά διαστήματα το χειμώνα προκαλούν χιονοπτώσεις, κυρίως στην Ανατολική Ελλάδα.

Οι χιονοπτώσεις κατά μέσο όρο διαρκούν από τα τέλη Σεπτεμβρίου μέχρι τα τέλη Μαΐου στους ορεινούς όγκους της Βορείου Ελλάδος, ενώ η περίοδος των χιονοπτώσεων περιορίζεται, και κατά την έναρξή της και κατά την εμφάνιση των τελευταίων χιονιών, στις νοτιότερες περιοχές και στα παράλια της χώρας. Στην Ελλάδα το νερό που πέφτει υπό μορφή χιονιού ως ποσοστό του βρόχινου ύδατος κυμαίνεται από 0 έως 20%.

Το *χαλάζι* που δημιουργείται στις καταιγίδες είναι σημαντικό κλιματικό στοιχείο λόγω των ζημιών που προκαλεί στη γεωργία. Ο ετήσιος αριθμός ημερών χαλαζιού ελαττώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά της χώρας και αυξάνεται και πάλι στα παράλια της Μικράς Ασίας. Την ψυχρή περίοδο του έτους το χαλάζι είναι συχνότερο στα παράλια από ό,τι στο εσωτερικό της χώρας, οφειλόμενο κυρίως στις μετωπικές καταιγίδες, ενώ κατά τη θερμή περίοδο συμβαίνει το αντίθετο, με αύξηση της εμφάνισης χαλαζιού στο εσωτερικό, την οποία προκαλούν οι θερμικές καταιγίδες.

1.10 Κλιματικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων περιοχών της Ελλάδος

Το θερμό θαλάσσιο ρεύμα που παραπλέει τα παράλια της Ανατολικής Μεσογείου εισέρχεται στο Αιγαίο από τα ανατολικά παράλια, ενώ από τον Εύξεινο Πόντο εισέρχεται ψυχρότερο ρεύμα, το οποίο παραπλέει τα δυτικά παράλια του Αιγαίου διαμορφώνοντας θερμοκρασίες επιφάνειας της θάλασσας κατά τι χαμηλότερες στις δυτικές από ό,τι στις ανατολικές ακτές του Αιγαίου (Metaxas, 1973). Σε γενικές γραμμές η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας παρουσιάζει μέγιστο τον Αύγουστο και ελάχιστο το Φεβρουάριο, εμφανίζοντας ως γνωστόν μια υστέρηση ως προς τη θερμοκρασία του αέρα λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας της θάλασσας, και η μέση ετήσια θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη του υπερκείμενου αέρα. Από το Σεπτέμβριο μέχρι το Μάρτιο η μέση μηνιαία θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι υψηλότερη από ό,τι του υπερκείμενου αέρα και φθάνει τον Ιανουάριο-Φεβρουάριο στο Βόρειο και Κεντρικό Αιγαίο μέχρι σχεδόν 3 °C υψηλότερα από τον αέρα, ενώ από τον Απρίλιο μέχρι τον Αύγουστο η θάλασσα εμφανίζεται ψυχρότερη από το υπερκείμενο αέριο στρώμα και η θερμοκρασία της φθάνει τον Ιούλιο στο Κεντρικό Αιγαίο σχεδόν τους 2 °C χαμηλότερα. Στο Βόρειο Αιγαίο η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας έχει μέγιστο τον Αύγουστο με περίπου 24 °C και ελάχιστο το Φεβρουάριο με 12,5 °C, ενώ οι αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου στρώματος αέρα είναι περίπου 24,5 °C και 9,5 °C αντίστοιχα. Στο Κεντρικό Αιγαίο οι αντίστοιχες τιμές της θάλασσας είναι τον Αύγουστο 25,0 °C και το Φεβρουάριο 14,5 °C, ενώ του αέρα είναι 26,0 °C τον Ιούλιο και 12,0 °C τον Ιανουάριο. Στο Νότιο Αιγαίο η μέγιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι 25,0 °C τον Αύγουστο και η ελάχιστη 15,5 °C το Φεβρουάριο, ενώ οι αντίστοιχες τιμές του υπερκείμενου της θάλασσας αέρα είναι τον Αύγουστο 26,0 °C και το Φεβρουάριο 14,0 °C. Στο Ιόνιο Πέλαγος οι αντίστοιχες τιμές για τη θάλασσα είναι 25,5 °C και 15,0 °C, ενώ για τον αέρα είναι 26,0 °C και 13,5 °C. Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στο Ν. Αιγαίο κατά την ψυχρή περίοδο του έτους είναι λίγο υψηλότερη της αντίστοιχης του Ιονίου Πελάγους, ενώ κατά το θέρος συμβαίνει το αντίθετο. Κατά τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, που επικρατούν οι Ετησίες, δημιουργείται στο Ανατολικό Αιγαίο ανοδικό θαλάσσιο ρεύμα, που ψύχει τα επιφανειακά ύδατα αυτής της περιοχής. Η μεγαλύτερη μέση ετήσια θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας παρουσιάζεται στην περιοχή της Ρόδου, περίπου 20 °C, ενώ η μικρότερη στη ευρύτερη περιοχή της Αλεξανδρούπολης, περίπου 15,5 °C. Η ψυχρότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία της επιφάνειας των ελληνικών θαλασσών είναι η περιοχή του ΒΑ Αιγαίου, έξω από τον Ελλήσποντο, όπου το Φεβρουάριο είναι περίπου 11 °C, ενώ στο Ν. Ιόνιο Πέλαγος τον Αύγουστο η μέση αντίστοιχη μηνιαία θερμοκρασία φθάνει περίπου τους 26 °C.

Το μέσο ετήσιο ύψος του εξατμιζόμενου ύδατος από την επιφάνεια της θάλασσας στα ανατολικά παράλια του Αιγαίου Πελάγους υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε περίπου 2.000 χλστ., ενώ στο Νότιο Αιγαίο σε περίπου 1.800 χιλιοστά. Κατά μήκος των παραλίων του Ιονίου Πελάγους

και νότια της Κρήτης η ετήσια εξάτμιση υπολογίζεται σε 1.600 χλστ. περίπου. Γενικά η εξάτμιση στις βόρειες περιοχές του Αιγαίου και του Ιονίου είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στις νότιες περιοχές λόγω των επικρατούντων βόρειων ανέμων. Οι ισοϋψείς της εξάτμισης ολόκληρο το έτος είναι σχεδόν παράλληλες του άξονα του Αιγαίου και οι μεγαλύτερες υπολογισμένες ημερήσιες τιμές, περίπου 7 χλστ./ημέρα, καταγράφονται στα ανατολικά παράλια, όπου τον Ιανουάριο επικρατούν βόρειοι άνεμοι και η διαφορά θερμοκρασίας θάλασσας-αέρα είναι μεγαλύτερη κατά μήκος των ακτών του Ανατολικού Κεντρικού Αιγαίου, καθώς και τον Ιούλιο-Αύγουστο, οπότε πνέουν έντονοι Ετησίες. Το Μάιο η εξάτμιση στα πελάγη λόγω των ασθενών ανέμων εμφανίζει ελάχιστο με ημερήσιες τιμές μικρότερες των 3 χλστ./ημέρα (Metaxas and Repapis, 1977).

1.11 Αστικό κλίμα και βιοκλιματικοί δείκτες

Η εγκατάσταση του ανθρώπου σε έναν τόπο επιφέρει αλλοιώσεις στο περιβάλλον. Οι δραστηριότητές του μεταβάλλουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τρεις τρόπους: α) με τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης και την αλλαγή των χρήσεων γης (αστικοποίηση, αποψίλωση δασών, αποξήρανση υδάτινων επιφανειών κ.λπ.). β) με την έκλυση ενέργειας στην ατμόσφαιρα (βιομηχανίες, θέρμανση, ηλεκτροφωτισμός κ.λπ.) και γ) με τον εμπλουτισμό του αέρα με διάφορα αέρια (ρύπους) και σωματίδια. Η επίδραση του ανθρώπου στην ατμόσφαιρα είναι πιο ορατή στις μεγάλες πόλεις. Το φαινόμενο ονομάζεται “αστικοποίηση” και έχει ως συνέπεια τη σημαντική τροποποίηση των κλιματικών παραμέτρων του αστικού περιβάλλοντος. Επίσης, οι διάφοροι ρύποι υποβαθμίζουν την ποιότητα του αέρα των πόλεων σε σχέση με την ύπαιθρο. Οι αέριοι ρύποι και τα αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα, εκτός των άλλων δυσμενών επιδράσεών τους στην υγεία, περιορίζουν και την ορατότητα. Το “μικροκλίμα” που δημιουργείται στην περιοχή μιας πόλης καλείται “αστικό κλίμα”. Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στα κλιματικά στοιχεία και ιδίως στην ποιότητα του αέρα της πόλης μπορεί να είναι μεγάλες ανάλογα με την έκτασή της, τον πληθυσμό, τη διανομή του δομημένου χώρου, τα δομικά υλικά, τους χώρους πρασίνου, τις διαστάσεις των δρόμων, τις πηγές ενέργειας και φυσικά τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Η επίδραση όλων αυτών των παραγόντων, που επιγραμματικά καλούνται “φαινόμενο αστικοποίησης”, είναι ιδιαίτερα αισθητή στη θερμοκρασία του αέρα. Η εκλύομενη ενέργεια από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στις πόλεις συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Η δόμηση και οι δρόμοι μεταβάλλουν επίσης το ισοζύγιο των ακτινοβολιών, διότι απορροφούν και επανεκπέμπουν θερμότητα κατά διαφορετικό τρόπο από ό,τι σε μια μη αστικοποιημένη περιοχή. Έτσι, ο αέρας των πόλεων είναι κατά μέσον όρο θερμότερος από τον αέρα στο μη αστικοποιημένο περιβάλλον και η αύξηση αυτή είναι ανάλογη κυρίως με τον πληθυσμό της πόλης. Το φαινόμενο αυτό καλείται “αστική θερμική νησίδα”.

Η Αθήνα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγάλου αστικού κέντρου, με πυκνά δομημένες περιοχές στο κέντρο της πόλης και αραιότερη δόμηση στα προάστια. Σύμφωνα με δεδομένα της EUROSTAT, η ευρύτερη αστική ζώνη της Αθήνας συγκαταλέγεται ανάμεσα στις οκτώ πιο πολυπληθείς περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με πληθυσμό που αριθμεί περίπου 4.000.000 κατοίκους το 2004, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 1/3 του πληθυσμού όλης της χώρας. Ο αριθμός αυτός είναι μεγαλύτερος αν υπολογιστούν οι παράνομοι μετανάστες που κατοικούν στην πόλη. Παρά τις προσπάθειες αποκέντρωσης που έγιναν κατά τη δεκαετία 1980-1990, η Αθήνα συγκεντρώνει σήμερα το μεγαλύτερο κομμάτι των διοικητικών, εμπορικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτιστικών δραστηριοτήτων της χώρας. Η αύξηση του πληθυσμού της πόλης, αλλά και η αναζήτηση καλύτερης ποιότητας ζωής από τους κατοίκους, έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή επέκταση του αστικού ιστού της πόλης, κυρίως σε περιοχές με περισσότερο πράσινο, σε σύνδεση με το δείκτη ποιότητας ζωής (Stathopoulou and Cartalis, 2006). Μόνο τη δεκαετία 1990-2000, η αστικοποίηση στην Αθήνα αυξήθηκε κατά 4,6% (Stathopoulou et al., 2009). Το φαινόμενο αυτό δεν είναι μόνο ελληνικό. Σύμφωνα με έρευνα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, οι ευρωπαϊκές πόλεις έχουν την τελευταία δεκαετία επεκταθεί σε έκταση ίση με την Κρήτη. Μέσα στην επόμενη δεκαετία, το 80% των Ευρωπαίων θα κατοικεί σε πόλεις, ενώ σε ορισμένες χώρες το ποσοστό εκτοξεύεται στο 90%. Η Ελλάδα ακολουθεί ένα στρεβλό πρότυπο υπερσυγκέντρωσης του πληθυσμού και των δραστηριοτήτων σε πέντε πόλεις: Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο και στο δίπολο Λάρισα-Βόλου.¹ Για την Αθήνα ειδικότερα, η μεταφορά του αεροδρομίου στα Σπάτα και η κατασκευή μεγάλων οδικών αρτηριών επιτάχυναν τα τελευταία χρόνια τη μετακίνηση των Αθηναίων περιφερικά, κυρίως βορειοανατολικά και νοτιοανατολικά του κέντρου της πόλης. Έτσι, πρώην παραθεριστικές περιοχές έγιναν περιοχές κύριας κατοικίας, με αντίστοιχη αύξηση των αστικών δραστηριοτήτων. Η κυρίαρχη τάση στην πρωτεύουσα σήμερα είναι οι οικονομικοί μετανάστες να “καταλαμβάνουν” σταδιακά τις υποβαθμισμένες γειτονιές της Αθήνας και του Πειραιά, ενώ οι γηγενείς να αναζητούν καλύτερο περιβάλλον ζωής στα βόρεια και ανατολικά του νομού, περιοχές που αναπτύσσονται ραγδαία. Επίσης, σημαντική είναι και η συμβολή της παράνομης δόμησης, φαινομένου που αγγίζει ανεξαιρέτως όλες τις κοινωνικές τάξεις, στη διεύρυνση του αστικού περιβάλλοντος. Με τη συνεχιζόμενη επέκταση του αστικού ιστού και τη διεύρυνση των οδικών αρτηριών και ασφαλοστρώσεων, το αστικό περιβάλλον υπερτερεί ολοένα και περισσότερο του φυσικού, ενισχύοντας το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας και αναδιαμορφώνοντας συνεχώς τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας οφείλεται κυρίως στα διαφορετικά θερμικά χαρακτηριστικά των υλικών στην πόλη σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος (Park, 1986). Τα υλικά που κυριαρχούν στην πόλη, όπως η ασφαλ-

¹ Πηγή: www.mesogeiosnews.gr

τος και το τσιμέντο, έχουν διαφορετικές θερμικές και ανακλαστικές ιδιότητες σε σύγκριση με το φυσικό περιβάλλον. Τα υλικά αυτά μεταβάλλουν το ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς απορροφούν μάλλον παρά αντανακλούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας. Η έλλειψη πρασίνου στις αστικές περιοχές επηρεάζει επίσης το ενεργειακό ισοζύγιο, λόγω περιορισμού του φαινομένου της εξατμισιοδιαπνοής και της ψύξης την οποία προκαλεί το φαινόμενο αυτό. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο ελλιπής αερισμός, η ανθρωπογενής θερμότητα και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πόλης συντελούν στην περαιτέρω ανάπτυξη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Hassid et al., 2000, Santamouris et al., 2001, Livada et al., 2002, Mihalakakou et al., 2004). Έχει διαπιστωθεί ότι το φαινόμενο αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της θερμής και της ψυχρής περιόδου του έτους (Santamouris et al., 2001), αλλά η έντασή του (εκφρασμένη ως η διαφορά της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα σε αστικές και αγροτικές περιοχές) είναι πολύ μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, προσεγγίζοντας τους 10 °C την ημέρα και τους 5 °C τη νύκτα. Η ανεπάρκεια αστικού πρασίνου φαίνεται να παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στην Αθήνα, ενώ το φαινόμενο σχεδόν εξαλείφεται στα σημεία της πόλης με πυκνή και υψηλή βλάστηση, όπως ο Εθνικός Κήπος, (Livada et al., 2002). Η ευεργετική επίδραση του Εθνικού Κήπου στη θερμοκρασία σχεδόν εξανεμίζεται σε απόσταση μόλις λίγων μέτρων από αυτόν, στους δρόμους έντονης αστικής κυκλοφορίας (Zoulia et al., 2008).

Ως αποτέλεσμα της αστικής διάταξης, του κυκλοφοριακού φόρτου, της ανθρωπογενούς θερμότητας και της συνολικής ισορροπίας κάθε συγκεκριμένης περιοχής, οι διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στον Εθνικό Κήπο και άλλα σημεία της πόλης κυμαίνονται από 0 °C έως και 13 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και η μέση διαφορά θερμοκρασίας κυμαίνεται περί τους 7-8 °C. Ο Εθνικός Κήπος παρουσιάζει τις χαμηλότερες διαφορές θερμοκρασίας με τον κεντρικό πεζόδρομο της Ερμού, σε σχέση με άλλα σημεία της πόλης, όπως π.χ. η οδός Ιπποκράτους. Γενικά, το κέντρο της πόλης κατά τη διάρκεια της ημέρας χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από την προαστιακή περιοχή. Το κέντρο της Αθήνας είναι περίπου 7-8 °C θερμότερο από τα προάστια, ενώ στον υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου σταθμό της Ιπποκράτους η διαφορά αγγίζει τους 12-13 °C. Η θερμοκρασία στην περιοχή της Αθήνας αυξάνεται ασύμμετρα στις διάφορες περιοχές της πόλης ανάλογα με το θερμικό φόρτο.

Η υγεία και η ευεξία του ανθρώπου εξαρτώνται άμεσα από τον καιρό και το κλίμα και ειδικότερα από τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, την ηλιοφάνεια, τον άνεμο και την ατμοσφαιρική πίεση. Κατά πολλούς κλιματολόγους, ευνοϊκή και άνετη για τον άνθρωπο θερμοκρασία αέρα είναι μεταξύ 18 °C και 22 °C, σε συνδυασμό με σχετική υγρασία από 30% έως 60% και ασθενή άνεμο, μέχρι 2 μ./δευτερόλεπτο. Οι διάφοροι βιοκλιματικοί δείκτες παρέχουν τους κατάλληλους συνδυασμούς των κλιματικών παραμέτρων που επηρεάζουν γενικά τις συνθήκες διαβίωσης και τη βιολογική ευεξία του ανθρώπου. Έχουν προταθεί πολλοί δείκτες, από τον πλέον απλό, το λεγόμενο “Δείκτη Δυσφορίας” (Discomfort Index) του κλιματολόγου

Thom, που συνδυάζει τη θερμοκρασία του αέρα με τη σχετική υγρασία, μέχρι πλέον σύνθετους, όπως είναι η “Φυσιολογικά Ισοδύναμη Θερμοκρασία” (Physiologically Equivalent Temperature), η οποία προσδιορίζει τη θερμική άνεση και βασίζεται, εκτός από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, και στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπινου οργανισμού. Η μελέτη του δείκτη αυτού για την Ελλάδα έδειξε ότι το χειμώνα, κατά τις μεσημβρινές ώρες, οι πεδινές περιοχές και τα νησιά παρουσιάζουν βιοκλιματικές συνθήκες μάλλον θερμικής ουδετερότητας (18-23 °C), ενώ οι ορεινές περιοχές της χώρας εμφανίζουν δυσμενείς συνθήκες ψύχους (4-8 °C). Αντιθέτως, τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, παρατηρείται κατά τις μεσημβρινές ώρες μεγάλη θερμική επιβάρυνση (35-41 °C) σε όλες τις πεδινές περιοχές και σχετικά ευχάριστες συνθήκες με λιγότερη θερμική επιβάρυνση (23-29 °C) στα νησιά και σε περιοχές με υψόμετρο. Με βάση τις προβλέψεις κλιματικών υποδειγμάτων, οι βιοκλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα αναμένεται να μεταβληθούν σημαντικά. Ιδίως για το θέρος, είναι πολύ πιθανό η Φυσιολογικά Ισοδύναμη Θερμοκρασία (για τη μελλοντική περίοδο 2071-2100 σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990) να μετατοπιστεί πάνω από τρία επίπεδα θερμικής επιβάρυνσης στις νότιες περιοχές και κατά δύο επίπεδα στις βόρειες περιοχές. Για τις υπόλοιπες εποχές, είναι πολύ πιθανή μια αύξηση της Φυσιολογικά Ισοδύναμης Θερμοκρασίας από ένα έως δύο επίπεδα θερμικής επιβάρυνσης (Matzarakis and Nastos, 2011). Επιπρόσθετα η μελέτη των μεταβολών του δείκτη δυσφορίας “humidex” κατέδειξε σημαντική αύξηση του αριθμού των ημερών με τιμές του δείκτη μεγαλύτερες των 38 °C στο μέλλον (Διάγραμμα 1.39 στο Υποκεφάλαιο 1.16).

1.12 Πηγές και εκπομπές των αέριων ρύπων στον ελλαδικό χώρο την περίοδο 1990-2008

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αλλοίωση της ποιότητας του αέρα μέσα στην πόλη από τις δραστηριότητες του ανθρώπου. Η αλλοίωση της κανονικής, φυσικής, σύστασης της ατμόσφαιρας με αύξηση των συγκεντρώσεων ορισμένων στοιχείων της ή με εμπλουτισμό με ξένα στοιχεία καλείται ρύπανση της ατμόσφαιρας. Σε σχεδόν όλες τις μεγαλουπόλεις παρατηρείται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό ρύπανση της ατμόσφαιρας λόγω των δραστηριοτήτων που ασκεί ο πληθυσμός τους (βιομηχανίες, κυκλοφορία αυτοκινήτων, παραγωγή ενέργειας και θέρμανσης κ.λπ., Gurjar et al., 2007). Πρωτογενείς αέριοι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις διάφορες πηγές ρύπανσης είναι η αιθάλη, το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου, διάφοροι υδρογονάνθρακες και άλλα οργανικά αέρια, οξείδια του μολύβδου και διάφορα αιωρούμενα σωματίδια οργανικών και ανόργανων ενώσεων ανθρωπογενούς και φυσικής προέλευσης. Δευτερογενείς αέριοι ρύποι είναι οι ουσίες που παράγονται από τους πρωτογενείς ρύπους μετά από φυσικοχημικό μετασχηματισμό των πρωτογενών

Πίνακας 1.5

Εκπομπές σε κιλοτόνους (κτν.) για τους σημαντικότερους πρωτογενείς ρύπους πάνω από τον ελλαδικό χώρο και στατιστικά δεδομένα σε σχέση με το ποσοστό % της συμμετοχής της Ελλάδας στο σύνολο των ευρωπαϊκών εκπομπών, καθώς και η κατά κεφαλήν αναλογία των εκπομπών σε κιλά ανά έτος στην Ελλάδα

Ρύπος	Εκπομπές 1990 (κτν.)	Εκπομπές 2008 (κτν.)	Εκατοστιαία μεταβολή	Θέση στην ΕΕ-27 το 2008	Εκατοστιαία συμμετοχή στις συνολικές εκπομπές της ΕΕ-27	Χλγρ./ κάτοικο (2000-2008)	Πηγή
NO _x	296,0	356,9	20,6	7	3,5	31,8	ΕΕΑ
SO ₂	493,0	447,6	-9,2	7	7,6	39,9	ΕΕΑ
NM _{NO} C	255,0	218,0	-14,3	8	2,6	19,5	ΕΕΑ
CO	1.281,3	685,0	-46,5	8	3,0	61,0	ΕΜΕΡ, ΕΕΑ
NH ₃	79,0	63,1	-20,1	14	1,7	5,6	ΕΕΑ
PM _{2,5}	49,3*	62,81	22,0	-	-	-	ΕΜΕΡ
PM ₁₀	26,1*	37,2	31,0	-	-	-	ΕΜΕΡ

ΕΕΑ: European Environmental Agency, <http://www.eea.europa.eu/>

ΕΜΕΡ: European Monitoring and Evaluation Programme, <http://www.emep.int/>

* Εκπομπές από το 2000.

ρύπων, κυρίως σε τόπους και εποχές μεγάλης ηλιοφάνειας. Ένας τέτοιος ρύπος είναι το τροποσφαιρικό όζον. Παρακάτω γίνεται αναφορά στους σημαντικότερους πρωτογενείς αστικούς ρύπους (βλ. και Πίνακα 1.5).

Οξείδια του αζώτου – NO_x

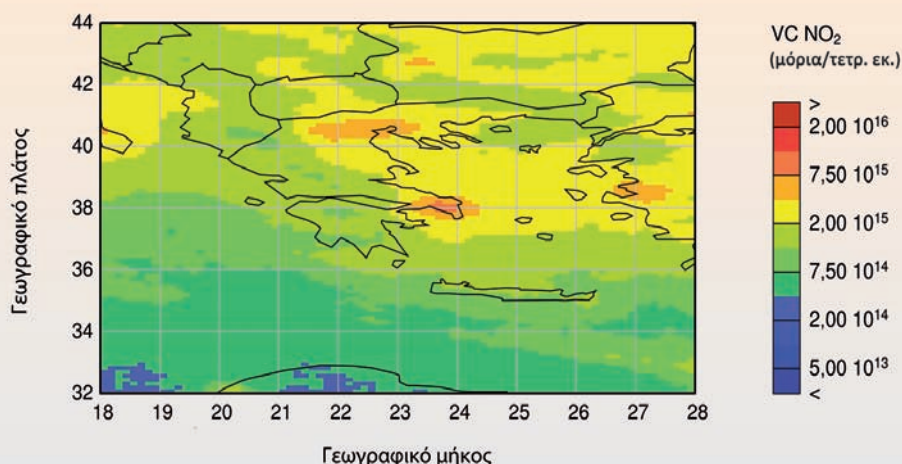
Τα οξείδια του αζώτου αποτελούν μια ομάδα ενώσεων η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία της ατμόσφαιρας, κυρίως στην παραγωγή και την καταστροφή του τροποσφαιρικού όζοντος. Οι δύο κυριότερες ενώσεις της ομάδας αυτής είναι το οξείδιο του αζώτου, NO, και το διοξείδιο του αζώτου, NO₂. Δημιουργούνται κυρίως από τη διάσπαση του αζώτου και την αντίδρασή του με το οξυγόνο κατά τη διαδικασία των καύσεων.

Συγκριμένες ενώσεις της ομάδας αυτής, όπως π.χ. το NO₂, είναι ιδιαίτερα τοξικές. Βραχεία έκθεση σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 3 ppm προκαλεί ερεθισμό των πνευμόνων, ενώ συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 3 ppm μπορεί να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία των πνευμόνων. Αντίστοιχα μακρά έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να επιδράσει στον ιστό των πνευμόνων, προκαλώντας εμφύσημα. Επιμέρους ομάδες του πληθυσμού, όπως οι ασθματικοί και τα παιδιά, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις επιδράσεις των οξειδίων του αζώτου. Τα οξείδια του αζώτου συνεισφέρουν επίσης στο σχηματισμό λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων και την παραγωγή όζοντος, με κόστος αρκετών δισεκ. δολαρίων σε παγκόσμια κλίμακα λόγω ασθενειών και θανάτων.

Στον ελλαδικό χώρο οι κυριότερες εκπομπές σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας (καύση ορυκτών πόρων) σε ποσοστό 59%, τις οδικές μετακινήσεις (29%) και τις διάφορες άλλες μορ-

Διάγραμμα 1.13

Τροποσφαιρικές κατακόρυφες κορώνες του διοξειδίου του αζώτου πάνω από την Ελλάδα για την περίοδο 2003-2009, βάσει δορυφορικών παρατηρήσεων από το φασματοφωτόμετρο SCIAMACHY



Στη χρωματική κλίμακα, με μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι χαμηλότερες τιμές του NO₂ και με κόκκινο οι υψηλότερες.

φές μετακίνησης (11%).² Στο Διάγραμμα 1.13³ διακρίνονται οι μεγαλύτερες τιμές του NO₂ πάνω από το λεκανοπέδιο της Αττικής και την Κεντρική/Δυτική Μακεδονία (Θεσσαλονίκη/Πτολεμαΐδα), περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες.⁴

Συνολικά, από το 1990 έως και το 2008, οι εκπομπές των NO_x αυξήθηκαν σε ποσοστό 21%, κατατάσσοντας την Ελλάδα 7η στο σύνολο των 27 ευρωπαϊκών χωρών (ΕΕ-27)⁵ για τις οποίες υπάρχουν αναφορές. Πρέπει να τονιστεί ότι η Ελλάδα είναι από τις λίγες χώρες στις οποίες παρατηρείται αύξηση των εκπομπών των NO_x, καθώς συνολικά στις χώρες της ΕΕ-27 παρατηρήθηκε μείωση ίση με 31%.⁶ Τέλος, για την περίοδο 2000-2008 οι κατά κεφαλήν εκπομπές των NO_x αυξήθηκαν κατά 0,9 χλγρ./κάτοικο, φθάνοντας στα 31,8 χλγρ./κάτοικο.

Διοξείδιο του θείου – SO₂

Το διοξείδιο του θείου είναι μια χημική ένωση η οποία ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα τόσο ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων όσο και από φυσικές πηγές (κατά το 1/4), όπως π.χ. από ηφαιστειογενείς δραστηριότητες. Η σπουδαιότητα του SO₂ στην ατμόσφαιρα σχετίζεται κυρίως με τη μεγάλη του διαλυτότητα στα νέφη και στα αιωρούμενα σωματίδια,

² Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>

³ Πηγή: <http://www.doas-bremen.de/>

⁴ Πηγή: <http://prtr.ec.europa.eu/>

⁵ ΕΕ-27: Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Ελλάδα, Εσθονία, Ην. Βασίλειο, Ιρλανδία, Ισπανία, Ιταλία, Κύπρος, Λεττονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία, Τσεχία, Φινλανδία.

⁶ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

όπου και μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4). Το τελευταίο είναι από τις βασικότερες ενώσεις που προκαλούν την όξινη βροχή, η εναπόθεση της οποίας έχει αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Το διοξείδιο του θείου είναι οξειδωτικό αέριο που προκαλεί πνευμονική δυσλειτουργία, κυρίως σε άτομα με άσθμα, ενώ η δράση του επιτείνεται σε συνδυασμό με αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων και άλλων αέριων ρύπων.

Στην Ελλάδα οι εκπομπές του SO_2 οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στην παραγωγή ενέργειας, κυρίως μέσω της καύσης των ορυκτών πόρων (93%), ενώ το υπόλοιπο ποσοστό κατανέμεται σε εκπομπές που αφορούν τις μη οδικές μετακινήσεις και τις βιομηχανικές δραστηριότητες.⁷ Συνολικά από το 1990 έως και το 2008, παρατηρήθηκε στην Ελλάδα μείωση των εκπομπών SO_2 κατά 9%, η οποία όμως ήταν πολύ μικρότερη σε σχέση με τη μέση μείωση (66%) που παρουσίασαν οι 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ετήσια εκπομπή των 448 κιλοτόνων το 2008 κατατάσσει την Ελλάδα 7η στη ζώνη της ΕΕ-27.⁸ Αξίζει να αναφερθεί ότι η Ελλάδα συγκεντρώνει περίπου το 8% των συνολικών εκπομπών στη ζώνη της ΕΕ-27. Τέλος, οι κατά κεφαλήν εκπομπές SO_2 για την περίοδο 2000-2008 προσδιορίστηκαν στα 39,9 χλγρ./κάτοικο.

Πτητικοί υδρογονάνθρακες πηλη του μεθανίου, NMVOC

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις μαζί με τα οξείδια του αζώτου αποτελούν τις πρόδρομες ενώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος. Το τελευταίο, σε μεγάλες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα, δημιουργεί συνθήκες τοξικής φωτοχημικής ρύπανσης και έχει αρνητικές επιπτώσεις στη βιωσιμότητα των φυτών και στην ανθρώπινη υγεία (Williams, 2004). Επιπλέον, οι πτητικοί υδρογονάνθρακες επηρεάζουν σημαντικά την οξειδωτική ικανότητα της ατμόσφαιρας (Vrekoussis et al., 2004, Monks, 2005), δηλαδή την προσπάθεια της ατμόσφαιρας να μετασχηματίζει τις διάφορες αέριες ενώσεις με απώτερο σκοπό τον αυτοκαθαρισμό της. Τέλος, οι ενώσεις VOC αποτελούν πρόδρομες ενώσεις σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα αλλά και πυρήνων συμπύκνωσης νεφών (Roberts et al., 2002).

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκλύονται στην ατμόσφαιρα μέσω ανθρωπογενών και φυσικών διαδικασιών (Vrekoussis et al., 2009, 2010). Η εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων, οι βιομηχανικοί διαλύτες και η καύση βιομάζας αποτελούν τις κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές, ενώ η πιο σημαντική πηγή βιογενών VOC είναι το ισοπρένιο, που απελευθερώνεται από τα φυτά. Στην Ελλάδα οι πηγές των NMVOC είναι καταμερισμένες σε τέσσερις κατηγορίες: παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας (26%), οδικές μεταφορές (23%), βιομηχανικές δραστηριότητες (25%), ενώ το υπόλοιπο (25%) προέρχεται από ένα πλήθος άλλων εκπομπών, όπως π.χ. από τις καλλιέργειες, από τη χρήση διαλυτών και από τη διαχείριση αποβλήτων.⁹

⁷ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

⁸ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

⁹ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

Στη ζώνη της EE-27 παρουσιάστηκε σημαντική μείωση των εκπομπών NMVOC από το 1990 έως το 2008, ίση με 41%. Στην Ελλάδα, η οποία συμβάλλει συνολικά με ποσοστό 2,6% στην εκπομπή των NMVOC στη ζώνη της EE-27, το ποσοστό της μείωσης ήταν μικρότερο (14%). Οι 218 κιλοτόνοι NMVOC που εκπέμπονται από την Ελλάδα αναλογούν σε κατά κεφαλήν παραγωγή ίση με 19,5 χλγρ./κάτοικο.¹⁰

Μονοξείδιο του άνθρακα, CO

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα τοξικό και δηλητηριώδες αέριο για τον άνθρωπο, καθώς δρά ανταγωνιστικά με την αιμοσφαιρίνη, δηλαδή την πρωτεΐνη που μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες στο αίμα. Είναι προϊόν ατελούς καύσης και παράγεται αντί του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Στο περιβάλλον βρίσκεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, της τάξεως των 100 ppbv (100 μέρη CO σε ένα δισεκατομμύριο μόρια αέρα). Οι εκπομπές του από φυσικές πηγές, όπως π.χ. τα ηφαίστεια και οι πυρκαγιές, είναι χαμηλές σε σχέση με αυτές στα αστικά κέντρα. Στις πόλεις, οι τυπικές συγκεντρώσεις του CO είναι 10 ppmv, 100 φορές πιο υψηλές από τις αντίστοιχες σε μη αστικές περιοχές.

Στην Ελλάδα, το μεγαλύτερο ποσοστό του εκπεμπόμενου CO προέρχεται από τις οδικές μετακινήσεις (64%), ακολουθούμενο από τις οικιακές και βιομηχανικές δραστηριότητες.¹¹ Από το 1990 έως το 2008 παρατηρήθηκε στην Ελλάδα μια ραγδαία πτώση των εκπομπών CO από τους 1.281 κιλοτόνους στους 685 κιλοτόνους (46%), ενώ οι κατά κεφαλήν εκπομπές υπολογίζονται στα 61 χλγρ./κάτοικο. Περίπου το 3% των συνολικών εκπομπών του CO προέρχεται από την Ελλάδα.¹²

Αμμωνία, NH₃

Η αμμωνία είναι μια χημική ένωση η οποία τελευταία βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος, καθώς συνδέεται με την ατμοσφαιρική εναπόθεση αζώτου στα οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα τον ευτροφισμό και την αύξηση της οξύτητάς τους. Συνδέεται επίσης με το σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων τα οποία επιδρούν στην ανθρώπινη υγεία και στο κλίμα. Στην Ελλάδα, οι εκπομπές της προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από τη γεωργία (96%), ενώ ένα επιπλέον μικρό ποσοστό (4%) συνδέεται με τις οδικές μεταφορές. Από το 1990 έως το 2008, παρατηρείται στην Ελλάδα μείωση των εκπομπών αμμωνίας κατά 20%, ενώ οι κατά κεφαλήν εκπομπές προσδιορίζονται στα 5,6 χλγρ./κάτοικο. Συνολικά η Ελλάδα συνεισφέρει το 1,7% των συνολικών εκπομπών NH₃ στη ζώνη της EE-27.¹³

¹⁰ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

¹¹ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

¹² Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

¹³ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

Αιωρούμενα σωματίδια, ΑΣ

Πληθώρα σωματιδίων αιωρούνται στον ατμοσφαιρικό αέρα, όπως π.χ. σκόνη, γύρη, αιθάλη, καπνός, σταγονίδια. Τα αιωρούμενα αυτά σωματίδια συνήθως χωρίζονται σε αδρά, δηλαδή αυτά των οποίων η διάμετρος είναι μεγαλύτερη από 2,5 μm (ΑΣ10), και σε λεπτά, με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm (ΑΣ2.5), συμπεριλαμβανομένων των πολύ λεπτών σωματιδίων (ΑΣ1), με διάμετρο μικρότερη του 1,0μm. Η μακράς διάρκειας έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων, κυρίως λεπτών σωματιδίων, μπορεί να προκαλέσει σοβαρά αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα.¹⁴

Τα πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η γεωργία, η βιομηχανία, οι καύσεις ορυκτών πόρων, και από φυσικές διεργασίες, όπως η μεταφορά σκόνης, οι πυρκαγιές και τα ηφαίστεια. Τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από την οξείδωση πρόδρομων αέριων ενώσεων, όπως π.χ. τα οξείδια του αζώτου, το οξείδιο του θείου, η αμμωνία και οι πτητικές οργανικές ενώσεις. Ειδικότερα για την περιοχή της ελληνικής επικράτειας, τα δευτερογενώς παραγόμενα σωματίδια, που προέρχονται κυρίως από τα NO_x και το SO₂, αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης.¹⁵ Οι κυριότερες πηγές τους για το έτος 2007 ήταν οι βιομηχανικές εκπομπές, οι οδικές μετακινήσεις και η βιομηχανία που συνδέεται με την παραγωγή ενέργειας.

Στην Ελλάδα, κατά την περίοδο 2000 έως 2008, εμφανίζεται αύξηση τόσο των λεπτών σωματιδίων (ΑΣ2.5) όσο και των μεγαλύτερων (ΑΣ10), ίση με 22% και 31% αντίστοιχα.¹⁶ Συγκριτικά στη ζώνη της ΕΕ-27 και για την ίδια περίοδο παρατηρήθηκε μείωση 10% και στις δύο κατηγορίες των σωματιδίων.¹⁷

1.13 Η εξελισσόμενη κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα

Στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας, κατά τη χρονική περίοδο από τα τέλη του 19ου αιώνα μέχρι τη δεκαετία του 1970 οι χρονοσειρές της μέσης θερμοκρασίας του αέρα ακολουθούν την ανοδική θερμοκρασιακή τάση που καταγράφεται και για το Βόρειο Ημισφαίριο–Β.Η. (Repapis and Philandras, 1988, βλ. και Διαγράμματα 1.14 και 1.15). Η ψύξη που παρατηρείται στο Β.Η. κατά τις δεκαετίες του 1960 και του 1970 εμφανίζεται εντονότερη στην Αν. Μεσόγειο και, ενώ στο Β.Η. η θερμοκρασία γρήγορα ανακάμπτει και από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 υπερβαίνει τα επίπεδα στα οποία κυμαινόταν τα προηγούμενα 100 έτη, στην Αν. Μεσόγειο παρατηρείται υστέρηση, με αποτέλεσμα η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας

¹⁴ Πηγή: <http://www.who.int/en/>.

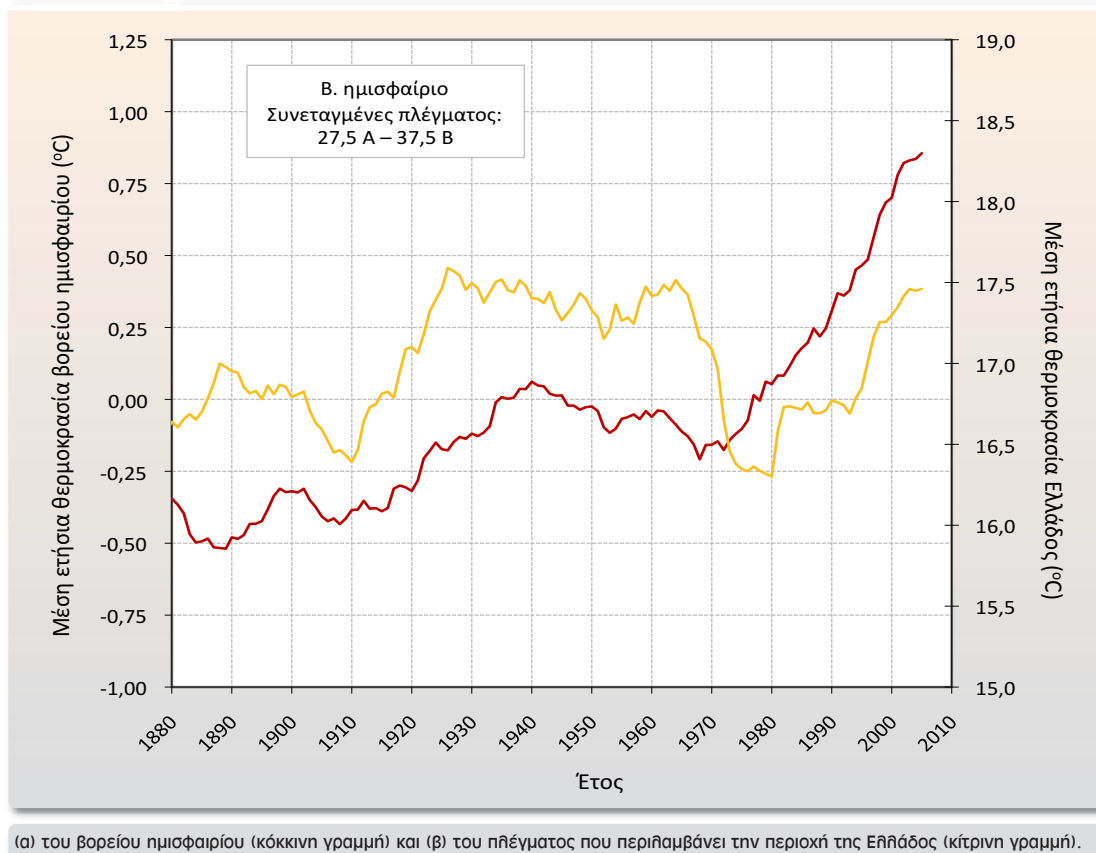
¹⁵ Πηγή: <http://www.ekpaa.greekregistry.eu/>.

¹⁶ Πηγή: <http://www.emep.int/>.

¹⁷ Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/>.

Διάγραμμα 1.14

**Χρονοσειρές των μέσων ετήσιων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα
(Λείανση των τιμών με κινούμενο μέσο όρο 10 ετών, 1880-2000)**



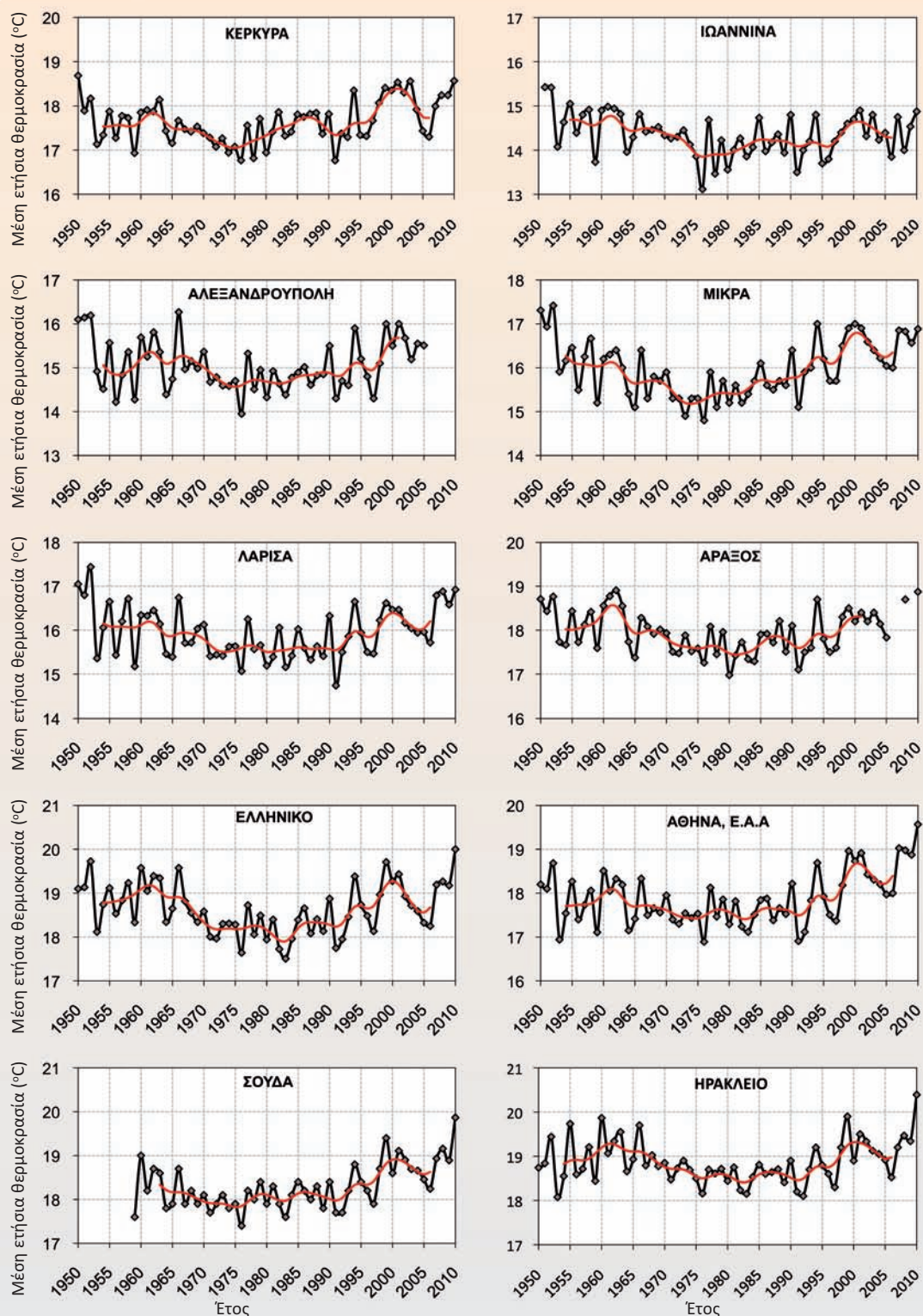
να αρχίσει από τη δεκαετία του 1990 (Ρεπαπής κ.ά., 2002, Saaroni et al., 2003, Feidas et al., 2004, Repapis et al., 2007).

Ως προς το ύψος του νετού, παρατηρείται σαφής τάση ανόδου του ετήσιου επιπέδου του στη Βόρεια Ευρώπη, με εξαίρεση τη Φινλανδία, και σαφής τάση υποχώρησης στη Νότια Ευρώπη και στη Μεσόγειο (ECSN, 1995, IPCC, 1996, 2001). Ειδικότερα, οι βροχοπτώσεις στην Αν. Μεσόγειο παρουσιάζουν μεγάλη βαθμίδα ελάττωσης από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από βορρά προς νότο αλλά και μεγάλη διαφοροποίηση από περιοχή σε περιοχή, καθώς και έντονη μεταβλητότητα από έτος σε έτος, εξαρτώμενη από την τοπογραφία και τις τροχιές των υφέσεων που διέρχονται από την Αν. Μεσόγειο. Στην πλειονότητα των περιοχών καταγράφεται τάση ελάττωσης των βροχοπτώσεων κατά το δεύτερο ήμισυ του 20ού αιώνα και σε ορισμένες περιοχές η μείωση της βροχόπτωσης είναι στατιστικά σημαντική (Kandyliis et al., 1989, Mantis et al., 1997, Hatzioannou et al., 1998, Paz et al., 1998, Maheras et al., 2004, Xoplaki et al., 2004, Feidas et al., 2007, Zanis et al., 2009).

Στην Ελλάδα η τάση μείωσης των ετήσιων τιμών της βροχής κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα κυμαίνεται μεταξύ 20% στη Δ. Ελλάδα και 10% στην Α. Ελλάδα, τάση η οποία εν μέρει

Διάγραμμα 1.15

Χρονοσειρές των μέσων ετήσιων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα σε σταθμούς της Ελλάδος (1950-2010)

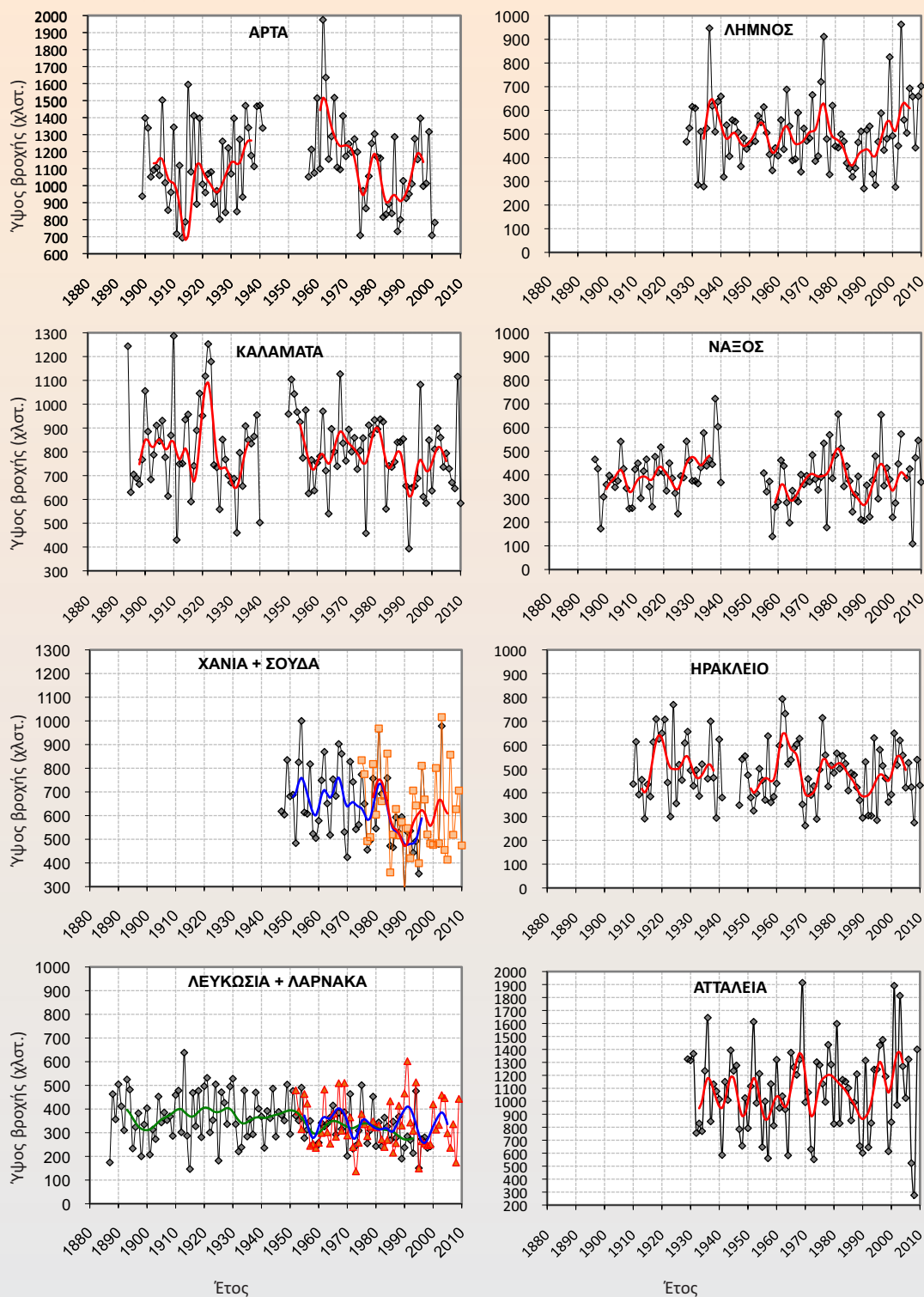


Με κόκκινη γραμμή η ρείανση των τιμών με Gaussian 9.

Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας: παραδόν, παρόν και μέλλον

Διάγραμμα 1.16

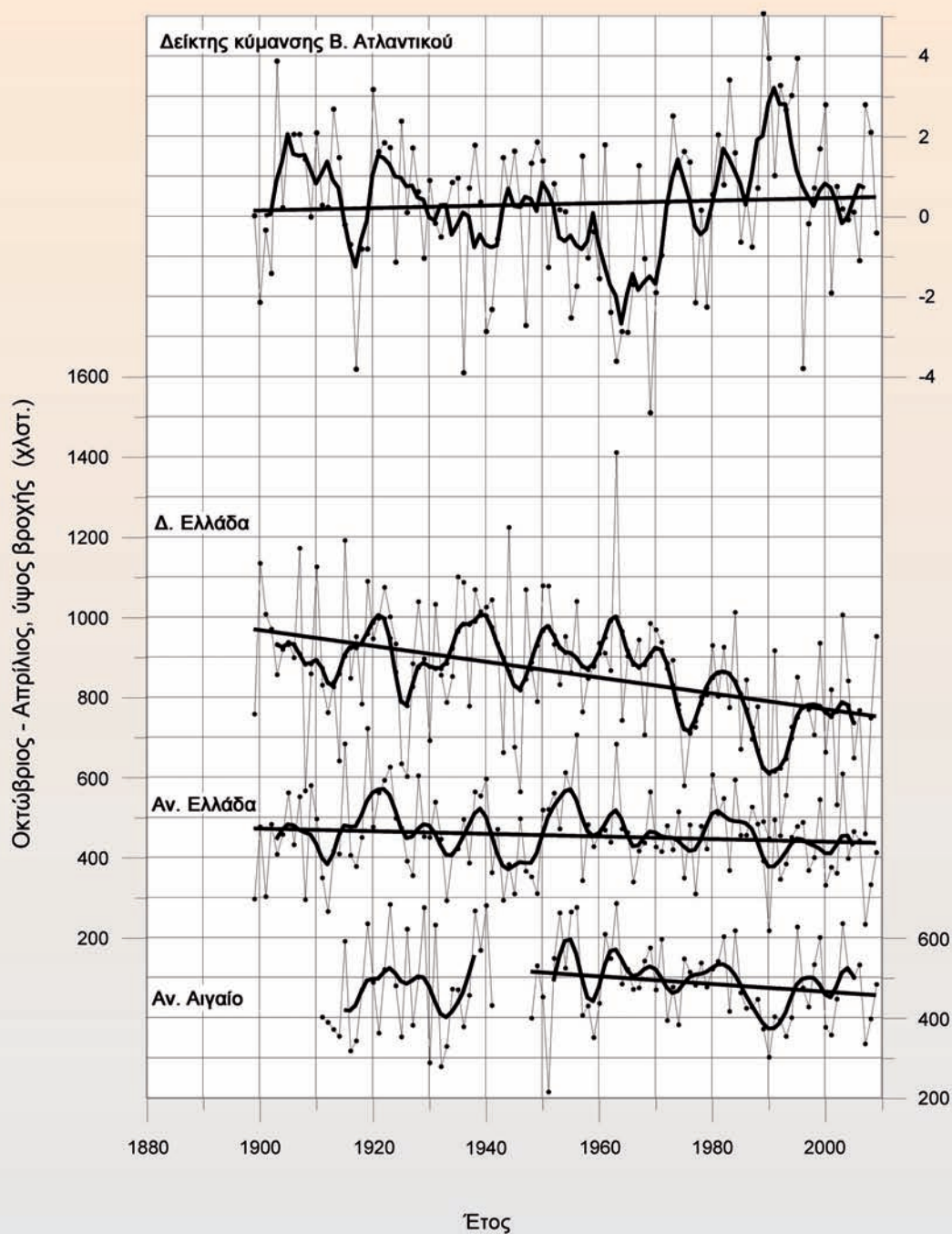
Χρονοσειρές των ετήσιων τιμών του ύψους της βροχής στην Ελλάδα, την Αττάλεια και τη Λευκωσία



Με κόκκινη γραμμή η συμπλήρωση από διπλανούς σταθμούς στα Χανιά και τη Λευκωσία και με γραμμές χωρίς ρόμβους, τρίγωνα ή τετράγωνα η βίαιση των τιμών με Gaussian 9.

Διάγραμμα 1.17

Χρονοσειρές των μέσων τιμών του ύψους της βροχής κατά τη βροχερή περίοδο (Οκτώβριος-Απρίλιος) στη Δυτική Ελλάδα, την Ανατολική Ελλάδα και τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου



Με έντονη καμπύλη γραμμή η ρείανση των τιμών με Gaussian 9. Οι ευθείες γραμμές δείχνουν τις παθινδρομίες.

μπορεί να ερμηνευθεί από την αντίστοιχη κλιματική τάση που έχει παρατηρηθεί στην κύμανση του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού (βλ. Διαγράμματα 1.16 και 1.17, Zerefos et al., 2010).

1.14 Οι κλιματικές τάσεις στην περιοχή της Αθήνας

Οι μεταβολές του κλίματος της Αθήνας τις τελευταίες δεκαετίες είναι ιδιαίτερα έντονες ως αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης διαφόρων παραγόντων, κυρίως ανθρωπογενών, όπως:

- εντεινόμενη αστικοποίηση (αύξηση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας),
- παγκόσμια κλιματική μεταβολή λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου,
- καταστροφή περιαστικού πρασίνου από δασικές πυρκαγιές και
- φυσική μεταβλητότητα του κλίματος.

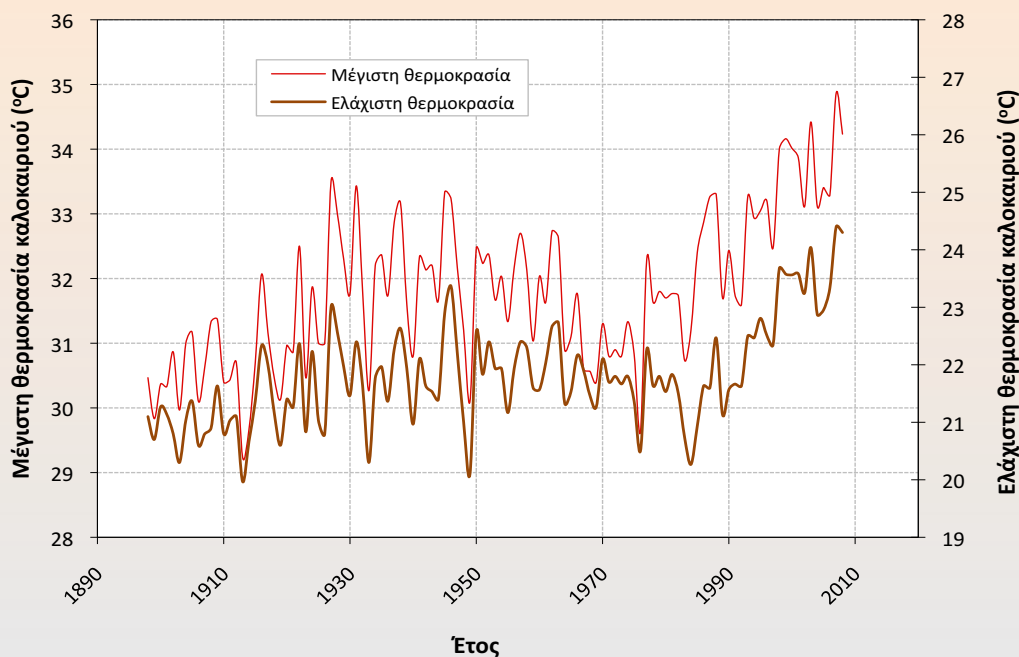
Η μελέτη της επίδρασης των παραπάνω παραγόντων στο κλίμα προϋποθέτει την ύπαρξη μακροχρόνιων, αξιόπιστων και κυρίως ομοιογενών χρονοσειρών μετεωρολογικών δεδομένων στην περιοχή. Ο ιστορικός σταθμός του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στην περιοχή του Θησείου θεωρείται ιδανικός για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών στην Αθήνα, καθώς παρέχει συνεχείς χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων διάρκειας μεγαλύτερης του ενός αιώνα, στην ίδια περιοχή του κέντρου της πόλης και με αναλλοίωτο το άμεσο περιβάλλον σε ακτίνα μερικών εκατοντάδων μέτρων (Founda et al., 2004). Η περιοχή του σταθμού του ΕΑΑ χαρακτηρίζεται από μηδενική αστική κυκλοφορία, ύπαρξη πρασίνου και χαμηλή αραϊή δόμηση, χαρακτηριστικά που του προσδίδουν ιδιότητες μάλλον περιαστικού σταθμού (Livada et al., 2002). Η διαχρονική μεταβολή της θερμοκρασίας στο ΕΑΑ είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής (από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια) και της εντεινόμενης αστικοποίησης της ευρύτερης περιοχής (Philandras et al., 1999, Founda et al., 2004).

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΕΑΑ, η πορεία της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα στην Αθήνα από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα μέχρι σήμερα ακολουθεί ποιοτικά αυτή του βορείου ημισφαιρίου, με εναλλαγή θερμών και ψυχρότερων περιόδων, αλλά με συνολική αυξητική τάση της τάξεως του 0,5 °C για την περίοδο 1900-2008. Πάντως, η μέση ετήσια θερμοκρασία βρίσκεται σε συνεχή ανοδική τροχιά από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 έως σήμερα (1,3 °C από το 1976 έως το 2008). Ανάλογη συμπεριφορά παρουσιάζει και η μέση μέγιστη ετήσια θερμοκρασία, η οποία αυξάνεται ανάλογα από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, ενώ η μέση ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία (νυκτερινή θερμοκρασία) αρχίζει να αυξάνεται συστηματικά με καθυστέρηση ορισμένων ετών αλλά με γρηγορότερο ρυθμό (1,8 °C από το 1984 έως το 2008, Founda, 2011).

Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό των τάσεων της θερμοκρασίας είναι η διαφοροποίησή τους ανάμεσα στη θερμή και την ψυχρή περίοδο του έτους, όπου η τάση της θερμοκρασίας το καλοκαίρι είναι ιδιαίτερα σημαντική και είναι αυτή η οποία ευθύνεται κυρίως για την αυξητική τάση σε ετήσια βάση (Founda et al., 2004, Founda, 2011). Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του καλοκαιριού (Ιούνιος-Αύγουστος) στην Αθήνα βρίσκεται σε συνεχή άνοδο τις τελευταίες δεκαετίες (μέσα δεκαετίας του 1970), με μέση αύξηση που πλησιάζει τον 1 °C ανά

Διάγραμμα 1.18

Πορεία της μέσης μέγιστης και μέσης ελάχιστης καλοκαιρινής θερμοκρασίας στην Αθήνα (1900-2008/Σταθμός Θησείου, ΕΑΑ)



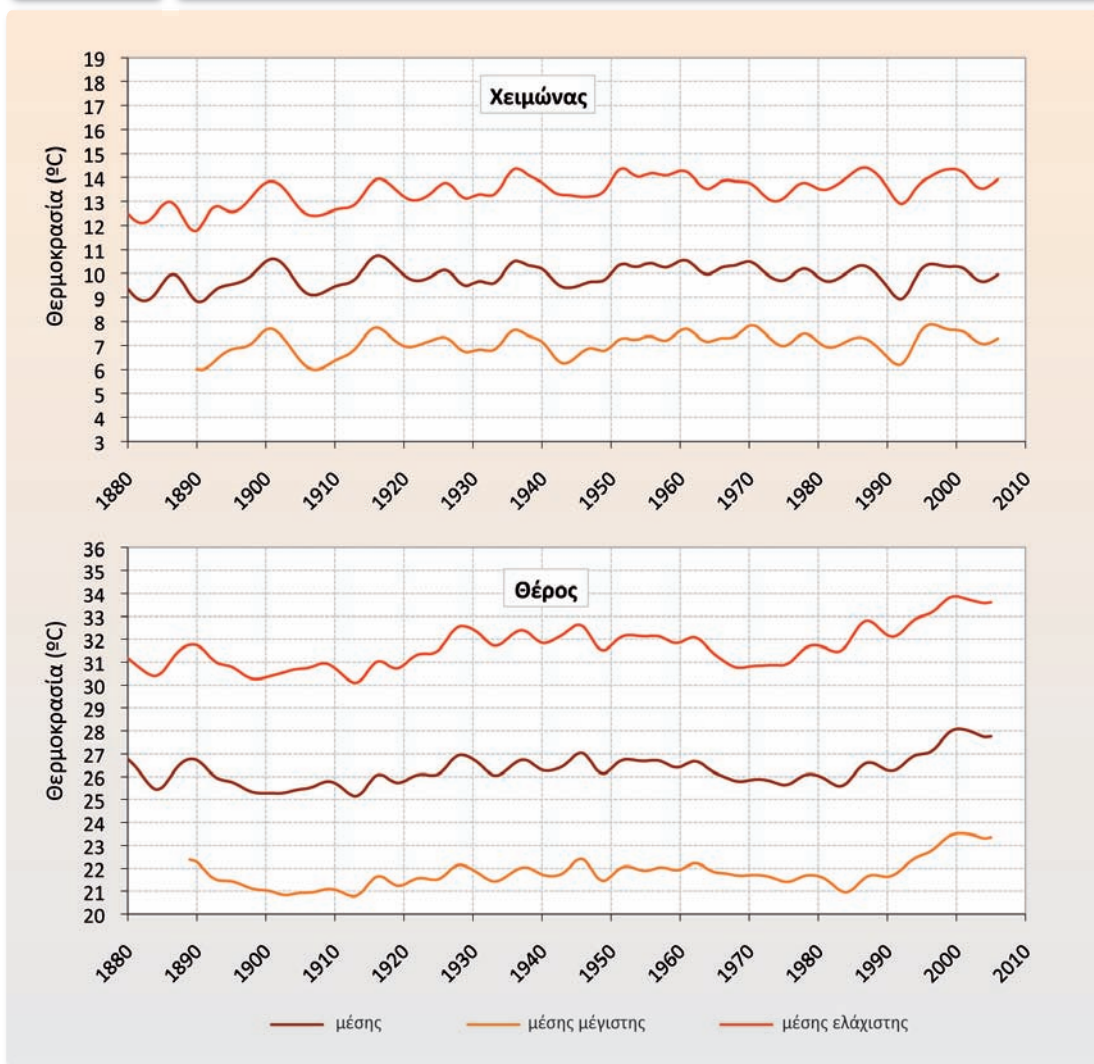
δεκαετία. Αντίστοιχα αυξάνεται η μέση μέγιστη θερμοκρασία (3,2 °C/1976-2008), ενώ η μέση ελάχιστη (νυκτερινή) θερμοκρασία το καλοκαίρι παρουσιάζει συνεχή αυξητική τάση —με καθυστέρηση λίγων ετών επίσης— αλλά με γρηγορότερο ρυθμό (3,3 °C/1984-2008), γεγονός που συνδέεται και με το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Διαγράμματα 1.18 και 1.19). Αν και πολλοί ερευνητές συνδέουν την αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο της Αθήνας κατά τους θερινούς μήνες με την εξασθένηση και θέρμανση της θαλάσσιας αύρας λόγω της έντονης δόμησης (Metaxas et al., 1991, Philandras et al., 1999), είναι χαρακτηριστικό ότι παρόμοιοι ρυθμοί αύξησης της θερμοκρασίας καταγράφονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και σε παράκτιους σταθμούς, όπως είναι ο σταθμός, του Ελληνικού (Founda, 2011).

Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη (Founda and Giannakopoulos, 2009), η δεκαετία 1998-2007 ήταν η θερμότερη δεκαετία που έχει καταγραφεί ποτέ στην Αθήνα ως προς τις μέγιστες θερμοκρασίες του καλοκαιριού (με δεύτερη τη δεκαετία 1937-1946). Αντίθετα, καμία σημαντική τάση της θερμοκρασίας (θετική ή αρνητική) δεν έχει παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Με βάση πιο πρόσφατες μετρήσεις,¹⁸ η δεκαετία 2001-2010 ήταν η θερμότερη δεκαετία

¹⁸ Πηγή: Κλιματολογικά δελτία Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Διάγραμμα 1.19

Χρονοσειρές της μέσης, της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας στην Αθήνα το χειμώνα και το θέρος (1880-2010, Σταθμός Θησείου, ΕΑΑ, ΝΟΑ)



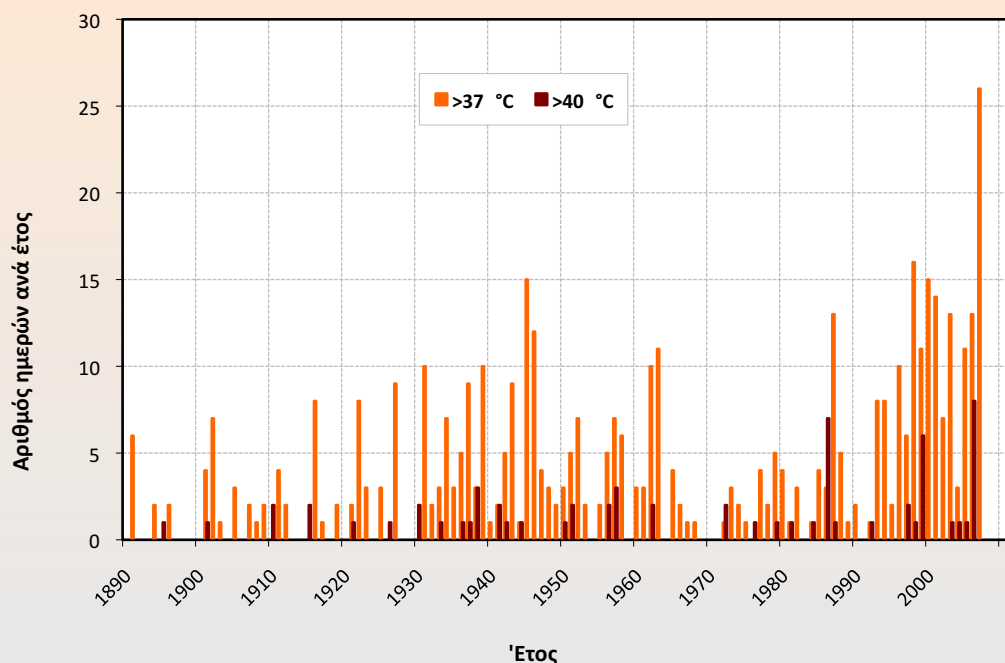
Λείανση των τιμών με Gaussian 9.

που έχει καταγραφεί στην Αθήνα ως προς τις ετήσιες τιμές θερμοκρασίας (μέση, μέγιστη και ελάχιστη), πάντοτε σύμφωνα με το ιστορικό αρχείο του ΕΑΑ. Έξι απο τα θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί ποτέ ανήκουν στη δεκαετία αυτή, ενώ το έτος 2010 ήταν το θερμότερο έτος όλων των εποχών με μέση θερμοκρασία ίση με 19,6 °C, και απόκλιση απο τη μέση κλιματική τιμή σχεδόν 2 °C. Η ιδιαίτερα υψηλή αυτή τιμή οφείλεται κυρίως στους μήνες Αύγουστο και Νοέμβριο του 2010, οι οποίοι ήταν θερμότεροι κατά 3,8 °C και 3,5 °C, αντίστοιχα, απο τις μέσες κλιματικές τους τιμές.

Εκτός όμως από τις μακροχρόνιες τάσεις των μέσων τιμών της θερμοκρασίας, ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του κλίματος της Αθήνας τα τελευταία χρόνια αποτελεί η μετα-

Διάγραμμα 1.20

Αριθμός ημερών/έτος με μέγιστη θερμοκρασία >37°C και >40°C (1900-2007/Σταθμός Θησείου, ΕΑΑ)



Κατά τη διάρκεια του 2007 ο αριθμός των ημερών με μέγιστη θερμοκρασία >37 °C ξεπέρασε τις 25.

βολή ως προς την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών) κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Η μεταβολή αυτή συνίσταται στην:

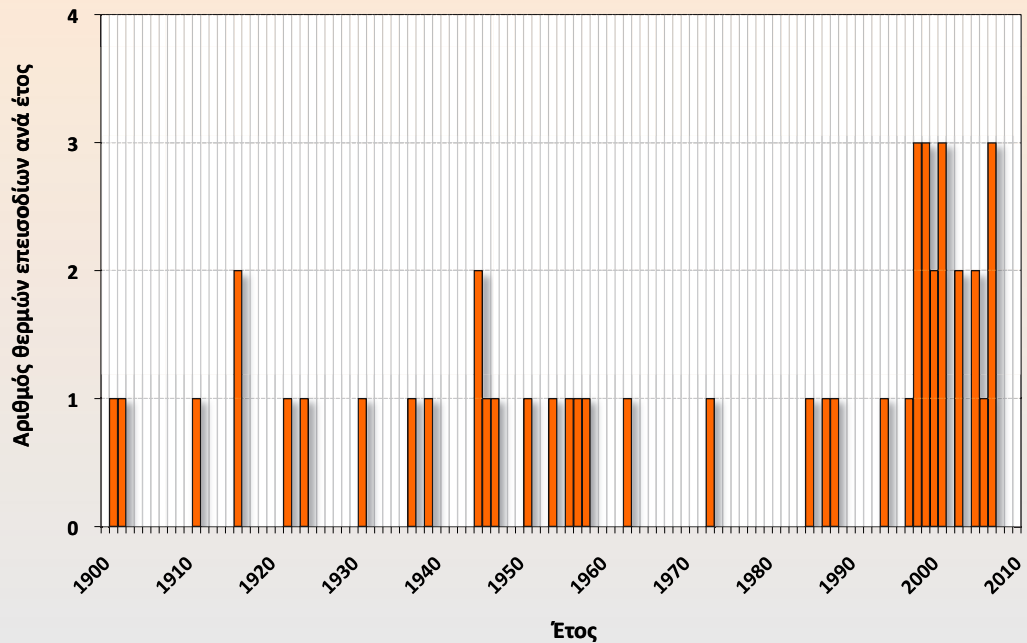
- αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών (μεμονωμένων θερμών ημερών αλλά και θερμών επεισοδίων διάρκειας τουλάχιστον τριών ημερών, Διαγράμματα 1.20 και 1.21, Founda and Giannakopoulos, 2009),
- αύξηση της έντασης των φαινομένων (απόλυτα μέγιστων θερμοκρασιών),
- αύξηση της διάρκειας (εμμονής) των φαινομένων (Διάγραμμα 1.22 αριστερά, Φουντά, 2009) και
- χρονική μετατόπιση της εμφάνισης των φαινομένων, ημερολογιακά νωρίτερα (Διάγραμμα 1.22 δεξιά, Φουντά, 2009).

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 1.20, ο αριθμός των ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 37 °C/40 °C έχει αυξηθεί σημαντικά μετά τα μέσα της δεκαετίας του '90, αντιπροσωπεύοντας ποσοστό μεγαλύτερο του 35% του συνόλου της χρονοσειράς. Αντίστοιχο είναι και το ποσοστό στη συχνότητα εμφάνισης καυσώνων, δηλαδή ακολουθίας τριών τουλάχιστον συνεχόμενων ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 37 °C (Διάγραμμα 1.21).

Σύμφωνα με τους Founda and Giannakopoulos (2009), το καλοκαίρι του 2007 ήταν, από πλευράς θερμοκρασίας του αέρα, το πιο ακραίο καλοκαίρι όλων των εποχών στην Αθήνα.

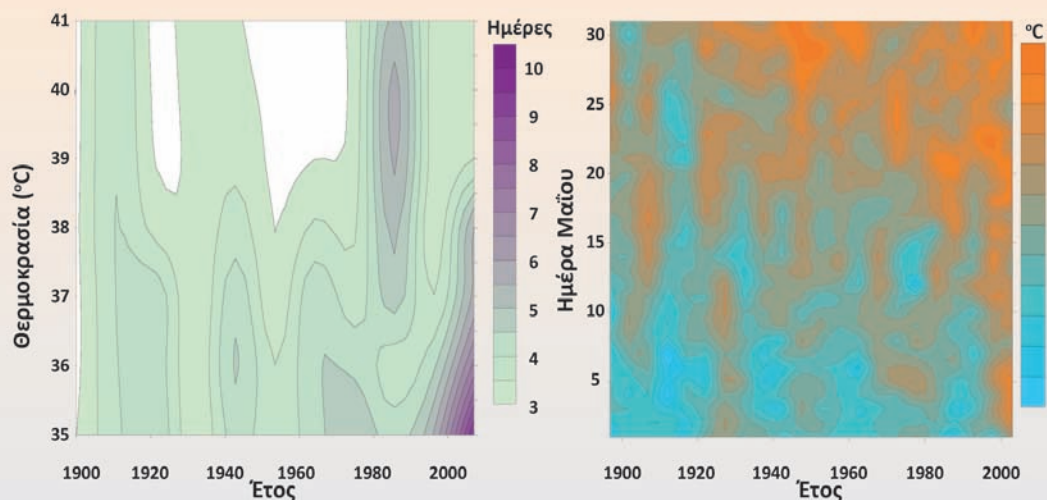
Διάγραμμα 1.21

Αριθμός θερμών επεισοδίων (τουλάχιστον 3 συνεχείς ημέρες με θερμοκρασία $>37^{\circ}\text{C}$) ανά έτος (1900-2007/Σταθμός Θησείου, ΕΑΑ)



Διάγραμμα 1.22

Μέση διάρκεια θερμών επεισοδίων/έτος για διάφορα κατώφλια θερμοκρασίας (1900-2005/Σταθμός Θησείου, ΕΑΑ, αριστερό τμήμα, και μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά το μήνα Μάιο στο ΕΑΑ, 1900-2005, δεξιό τμήμα)



Παρατηρείται σταδιακή μετατόπιση της εμφάνισης υψηλών θερμοκρασιών ημερολογιακά νωρίτερα.

Η τιμή των 44,8 °C που σημειώθηκε στις 24.6.2007 στο ΕΑΑ (> 46 °C σε γειτονικούς σταθμούς) αποτέλεσε ρεκόρ θερμοκρασίας όλων των εποχών στο ΕΑΑ, σύμφωνα με καταγραφές 150 ετών, ενώ ο καύσωνας του Ιουνίου του 2007 ήταν ο πιο 'πρώιμος' καύσωνας που έχει καταγραφεί (αν και τον Ιούνιο του 2010 σημειώθηκε ένας ακόμα πιο 'πρώιμος' αλλά όχι ακραίος καύσωνας). Καθώς η θερμοκρασία υπερέβαινε το 90ό εκατοστημόριο της κανονικής τιμής της περιόδου αναφοράς (1961-1990) σχεδόν τις μισές ημέρες του θέρους, το καλοκαίρι του 2007 έμοιαζε με ένα διαρκή καύσωνα. Σύμφωνα μάλιστα με εκτιμήσεις για το μέλλον (Founda and Giannakopoulos, 2009, και Tolika et al. 2009), οι θερμοκρασιακές συνθήκες του θέρους του 2007 προσομοιάζαν σε εκείνες που εκτιμάται ότι θα επικρατούν πολύ συχνά στο τέλος του 21ου αιώνα. Ο δείκτης καύσωνα αυξήθηκε γενικά σε όλη τη χώρα κατά την περίοδο 1958-2000, ενώ η συχνότητα των ψυχρών νυκτών του θέρους και του χειμώνα μειώθηκε (Kostopoulou and Jones, 2005).

Αν και η εμφάνιση υψηλών θερμοκρασιών στην Ελλάδα συνδέεται κυρίως με αντικυκλωνικές καταστάσεις και ανωμαλίες στην κυκλοφορία της ανώτερης ατμόσφαιρας (Xorlaki et al., 2003), τα αποτελέσματά τους ενισχύονται στα μεγάλα αστικά κέντρα λόγω της συνδυασμένης επίδρασης της αστικής θερμικής νησίδας. Οι αντικυκλωνικές καταστάσεις ενισχύουν γενικά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα το φαινόμενο παρουσιάζεται εξασθενημένο λόγω της κυκλωνικής κυκλοφορίας και των ανεμολογικών συνθηκών που επικρατούν (Livada et al., 2002, Mihalakakou et al., 2002).

Ως προς τις εκτιμήσεις για το μέλλον του κλίματος της Αθήνας για τις επόμενες δεκαετίες, οι προβλέψεις είναι ιδιαίτερα δυσόιωνες. Η Αθήνα ανήκει στην περιοχή της Αν. Μεσογείου, η οποία θεωρείται από τις πλέον ευάλωτες περιοχές στην ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής (Giorgi and Lionello, 2008). Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ τα αποτελέσματα των κλιματικών προτύπων που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς από διάφορα ερευνητικά ιδρύματα παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους, οι αποκλίσεις αυτές ελαχιστοποιούνται στην περιοχή της Μεσογείου, γεγονός που αυξάνει σημαντικά τις πιθανότητες επαλήθευσής τους. Μελετητές που ασχολήθηκαν με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα ακραία κλιματικά φαινόμενα κατέληξαν στο ότι η λεκάνη της Μεσογείου θα περάσει σε σημαντικά θερμότερο κλίμα με παρατεταμένα κύματα καύσωνα, λιγότερη βροχόπτωση αλλά εντονότερα ακραία επεισόδια βροχής (Diffenbough et al., 2007, Goubanova and Li, 2007, Tolika et al., 2008).

Ύστερα από συνδυασμό των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τρία περιφερειακά κλιματικά πρότυπα (Regional Climate Models – RCMs) για την περιοχή της Αθήνας, προέκυψε αύξηση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας το καλοκαίρι κατά 2 °C για την περίοδο 2021-2050 και 4 °C για την περίοδο 2071-2100 (Founda and Giannakopoulos, 2009). Ταυτόχρονα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, τα πρότυπα προβλέπουν και αύξηση της διασποράς της θερμοκρασίας γύρω από τη μέση τιμή της, με συνέπεια την αύξηση των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών. Σύμ-

φωνα με πρόσφατη μελέτη της WWF Ελλάς και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (WWF Ελλάς, 2009), στο άμεσο μέλλον (2021-2050) η Αθήνα προβλέπεται να βιώνει έως και 15 περισσότερες ημέρες το χρόνο με μέγιστη θερμοκρασία $>35^{\circ}\text{C}$ (σε σχέση με την περίοδο 1961-1990) και έως και ένα μήνα περισσότερο το χρόνο με νυκτερινές θερμοκρασίες $> 20^{\circ}\text{C}$.

Σε μια προσπάθεια προβολής των συνθηκών του ακραίου καλοκαιριού του 2007 στο μέλλον, υπολογίστηκε ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των προβλεπόμενων μέγιστων θερμοκρασιών τους καλοκαιρινούς μήνες για την περίοδο 2070-2100 σχεδόν συμπίπτει με την αντίστοιχη του καλοκαιριού του 2007 στην Αθήνα, ενώ ανάλογα ήταν τα αποτελέσματα και για τις ελάχιστες (νυκτερινές) θερμοκρασίες (Founda and Giannakopoulos, 2009). Με άλλα λόγια, το καλοκαίρι του 2007 ήταν μια ‘πρόγευση’ για τις συνθήκες που θα επικρατούν στην πόλη μελλοντικά, και αυτό που θεωρείται ιδιαίτερα ακραίο καλοκαίρι σήμερα θα αποτελεί ένα συνηθισμένο καλοκαίρι στην Αθήνα στο δεύτερο ήμισυ του αιώνα που διανύουμε. Η ίδια προσέγγιση, όταν ακολουθήθηκε για λιγότερο αστικοποιημένες περιοχές κοντά στην Αθήνα, οδήγησε σε παρόμοια αποτελέσματα ως προς τις μέγιστες θερμοκρασίες. Τα αποτελέσματα όμως διαφοροποιήθηκαν ως προς τις ελάχιστες θερμοκρασίες, αναδεικνύοντας την αθροιστική επίδραση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας σε περίπτωση ακραίων φαινομένων, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύκτας.

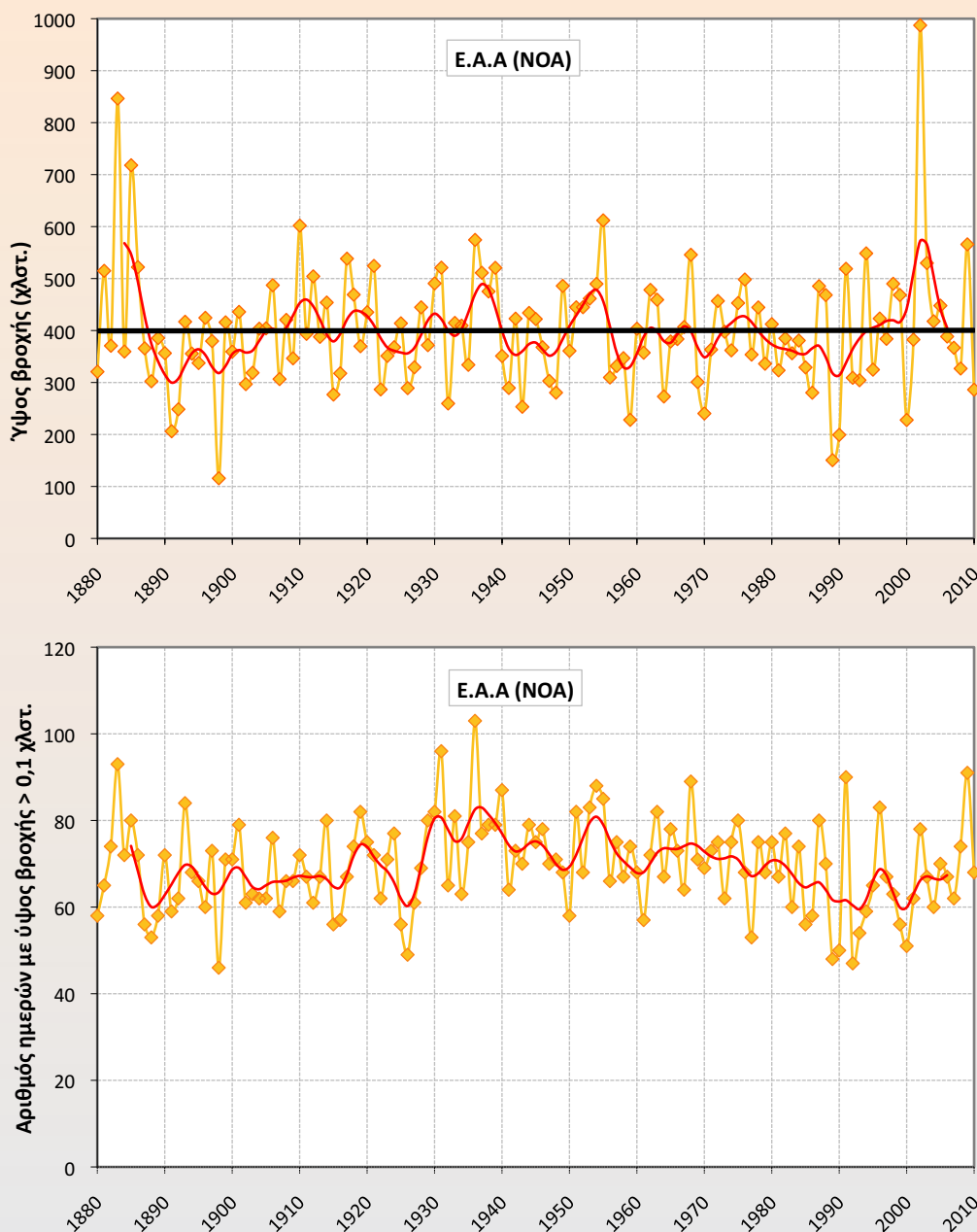
Στα παραπάνω πρέπει να προστεθεί και η προβλεπόμενη επέκταση του αστικού ιστού τις επόμενες δεκαετίες, με αντίστοιχη εξάπλωση και ενίσχυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Όσον αφορά στα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης, οι Nastos and Zerefos (2007) επεξεργάστηκαν τα δεδομένα της ημερήσιας βροχόπτωσης για τα έτη 1891-2004 του Αστεροσκοπείου Αθηνών και βρήκαν μια σαφή αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων. Επίσης οι Maheras et al. (2004) παρέχουν ενδείξεις ότι τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης αυξάνονται παρά τη μείωση της συνολικής βροχόπτωσης (βλ. και Διάγραμμα 1.23).

Μάλιστα, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη (Founda et al., 2009), κατά τις προσεχείς δεκαετίες προβλέπεται μείωση του συνολικού ποσού βροχόπτωσης στην Αθήνα, με ταυτόχρονη αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων. Η μείωση των βροχοπτώσεων ασφαλώς θα επιβαρύνει και την ποιότητα των υπόγειων υδάτων και αναμένεται ότι θα αποτελέσει έναν ακόμα επιβαρυντικό παράγοντα για τις αναμενόμενες μεταβολές του κλίματος (Fischer et al., 2007). Η πολιτεία θα πρέπει να είναι έτοιμη να αντιμετωπίζει την παρατηρούμενη μεταβλητότητα, διότι οι επιπτώσεις στην περιοχή μας, όπως φάνηκε πρόσφατα με τις πλημμύρες ή και τις περιόδους λειψυδρίας, ίσως να είναι πολύ σοβαρές. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν μεριμνήσει στον τομέα αυτό, όπως φαίνεται από τα σχετικά κείμενα, με κατασκευές κατάλληλων τάφρων και φραγμάτων στα γύρω όρη αλλά και με κατασκευές δεξαμενών εντός των πόλεων για τη συλλογή των ομβρίων (Αιγινήτης, 1908, 1926). Ο Πλάτων (Νόμοι, Βιβλ. 6) αναφέρει τα εξής “Και των εκ Διός υδάτων, ίνα την χώραν μη κακουργή, μάλλον δ’ ωφελή, ρέο-

Διάγραμμα 1.23

Χρονοσειρές των ετήσιων τιμών της βροχόπτωσης (άνω τμήμα) και του αριθμού των ημερών βροχής (με ύψος ίσο και άνω του 0,1 χλστ., κάτω τμήμα) (Σταθμός Θησείου, ΕΑΑ, ΝΟΑ)



Λείανση των τιμών με Gaussian 9 (κόκκινη γραμμή). Η ευθεία γραμμή δείχνει τις παλινδρομήσεις.

ντα εκ των υψηλών εἰς τὰς ἐν τοῖς ὅρεσι νάπας, ὅσαι κοῖλαι, τας ἐκροάς αὐτῶν εἰργονται, οἰκοδομήμασί τε καὶ ταφρεύμασιν, ὅπως ἀν τὰ παρὰ τοῦ Διὸς ὕδατα καταδεχόμεναι καὶ πίνουσαι, τοῖς ὑποκάτωθεν ἀγροῖς τε καὶ τόποις πᾶσι νάματα καὶ κρήνας ποιοῦσαι καὶ τοὺς αὐχμηροτά-

τους τόπους πολυάνδρους και ενύδρους απεργάζονται τα τε πηγαία ύδατα εάν τε τις ποταμός εάν τε και κρήνη ή, κοσμούνται φυτεύμασι και οικοδομήμασιν ευπρεπέστερα και συνάγοντες μεταλλείας,νάματα πάντα άφθονα ποιούσι, υδρείαι καθ' εκάστην τας ώρας είτε που άλσος ή τέμενος περί ταύτα ανείμενον ή, τα ρεύματα αφιέντες είς αυτά τα των θεών ιερά κοσμούσι.” Επίσης ο Αριστοτέλης (Πολιτικά, 1330) αναφέρει τα εξής. “Υδάτων τε και ναμάτων μάλιστα μεν υπάρχειν πλήθος οικείον, εί δε μη, τούτο γ' εύρηται διά του κατασκευάζειν υποδοχάς ομβρίοις ύδασιν αφθόνους και μεγάλας, ώστε μηδέποτε υπολείπειν...”

1.15 Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών στον 21ο αιώνα σε 13 κλιματικές περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η Ελλάδα

1.15.1 Επιλογή των κλιματικών περιοχών

Η διαίρεση της Ελλάδος σε κλιματικές περιοχές έγινε βάσει κλιματικών και γεωγραφικών κριτηρίων, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι τα ακόλουθα: (α) Η από βορρά προς νότο διατρέχουσα την Ελλάδα οροσειρά, η οποία χωρίζει την ηπειρωτική Ελλάδα στη δυτική ομβροπλευρά της χώρας και στην ξηρότερη ανατολική. (β) Η ύπαρξη των νήσων του Ανατολικού Αιγαίου και των Δωδεκανήσων, όπου το ύψος του νετού αυξάνεται εκ νέου μετά το ελάχιστο στις Κυκλάδες. (γ) Οι βαθμίδες της θερμοκρασίας από βορρά προς νότο, καθώς και οι διαφορές μεταξύ νησιωτικών και ηπειρωτικών περιοχών. (δ) Η τοπογραφία και η ομοιογένεια ως προς την κλιματική ταξινόμηση. Οι 13 κλιματικές περιοχές που επελέγησαν με βάση τα κλιματικά και γεωγραφικά κριτήρια φαίνονται στο Διάγραμμα 1.24 και είναι οι εξής: 1. Δυτική Ελλάδα (WG), 2. Κεντρική και Ανατολική Ελλάδα (CEG), 3. Δυτική και Κεντρική Μακεδονία (WCM), 4. Ανατολική Μακεδονία-Θράκη (EMT), 5. Δυτική Πελοπόννησος (WP), 6. Ανατολική Πελοπόννησος (EP), 7. Αττική (AT), 8. Κρήτη (C), 9. Δωδεκάνησα (D), 10. Κυκλάδες (CY), 11. Ανατολικό Αιγαίο (EA), 12. Βόρειο Αιγαίο (NA) και 13. Ιόνιο (I).

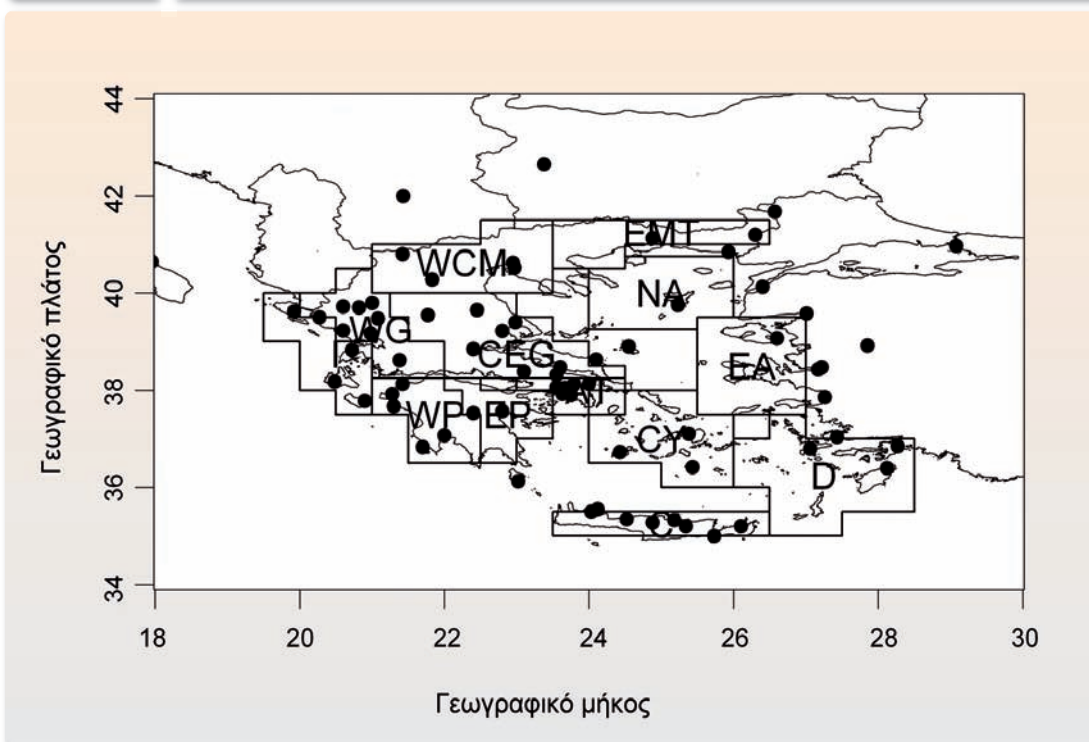
1.15.2 Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών για τις 13 κλιματικές περιοχές της Ελλάδος με βάση τέσσερα σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Στο Κέντρο Ερεύνης Φυσικής της Ατμοσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών (ΚΕΦΑΚ) έχουν αναπτυχθεί βάσεις δεδομένων και προσομοιώσεων προτύπων με βάση τα Σενάρια Εκπομπών A2, A1B, B2 και B1. Στον Πίνακα 1.6 αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων σεναρίων, τα οποία αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της τρίτης έκθεσης του Ο.Η.Ε για την κλιματική αλλαγή, IPCC (Nakićenović et al., 2000).

Για κάθε μία από τις 13 κλιματικές περιοχές στις οποίες χωρίστηκε η Ελλάδα, καθώς και για την επικράτεια, υπολογίστηκαν οι αναμενόμενες μεταβολές των μέσων εποχικών και μέσων ετήσιων τιμών έξι κλιματικών παραμέτρων για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100, σε

Διάγραμμα 1.24

Ο διαχωρισμός της Ελλάδος σε 13 κλιματικές περιοχές



Επεξήγηση των αρχικών των περιοχών βλ. στη σελ 64 (1.15.1).

Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας: παρόν, παρόν και μέλλον

Πίνακας 1.6

Σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη*

Σενάριο A2	Μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη και μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 850 ppm το 2100.
Σενάριο A1B	Ραγδαία οικονομική ανάπτυξη. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας, αλλά παράλληλα διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών. Χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Μικρές αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 720 ppm το 2100.
Σενάριο B2	Ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας με μέτριους ρυθμούς. Ηπιότερες τεχνολογικές αλλαγές σε σύγκριση με τα Σενάρια Εκπομπών A1 και B1. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα με μέτριους αλλά σταθερούς ρυθμούς , η οποία θα φθάσει το 2100 τα 620 ppm .
Σενάριο B1	Μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μείωση της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας και στροφή στη χρήση τεχνολογιών που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα με σχετικά ήπιους ρυθμούς , ιδίως από το 2050 και μετά, η οποία θα φθάσει το 2100 τα 550 ppm .

* IPCC, 2007, ενώ αναλυτικότερες πληροφορίες για τα σενάρια εκπομπών αναφέρονται στο πλήρες κείμενο για το Κλίμα, στη σχετική σελίδα της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αληθιάς (ΕΜΕΚΑ), στον ιστοχώρο της Τράπεζας της Ελλάδος (www.bankofgreece.gr).

σύγκριση με την περίοδο αναφοράς (1961-1990). Οι κλιματικές παράμετροι που μελετήθηκαν είναι οι εξής:

- μέση θερμοκρασία του αέρα (°C),
- βροχόπτωση (χλστ./έτος),
- σχετική υγρασία (%),
- κλάσμα νεφοκάλυψης (%),
- εισερχόμενη ολική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (W/τετρ. μ) και
- ταχύτητα ανέμου στα 10μ. από την επιφάνεια (μ./δευτερόλεπτο).

Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι οι μεταβολές όλων των κλιματικών παραμέτρων υπολογίστηκαν με βάση τα Σενάρια Εκπομπών A2, B2 και A1B. Δυστυχώς, στην περίπτωση του Σεναρίου Εκπομπών B1 οι υπολογισμοί περιορίστηκαν μόνο στις μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας του αέρα, λόγω της έλλειψης διαθέσιμων δεδομένων από προσομοιώσεις υψηλής χωρικής ανάλυσης με Περιοχικά Κλιματικά Πρότυπα Προσομοίωσης (RCMs).

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη των μεταβολών των έξι κλιματικών παραμέτρων για τα Σενάρια Εκπομπών A2 και B2 βασίστηκε στα αποτελέσματα ενός συνόλου κλιματικών προσομοιώσεων με RCMs που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του κοινοτικού προγράμματος PRUDENCE.¹⁹ Πρόσφατη μελέτη (Zanis et al., 2009) παρουσίασε αναλυτικά την απόδοση εννέα περιοχικών κλιματικών προτύπων από το πρόγραμμα PRUDENCE για την περιοχή της Ελλάδας, καθώς και τις εκτιμήσεις για το μέλλον βάσει αυτών των προτύπων κατά την περίοδο 2071-2100, χρησιμοποιώντας το Σενάριο A2.

Για την περίπτωση του Σεναρίου A2 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 13 προσομοιώσεων, ενώ για την περίπτωση του Σεναρίου B2 δεδομένα 8 προσομοιώσεων. Οι υπολογισμοί καλύπτουν περίοδο 30 ετών για το κλίμα αναφοράς (1961-1990) και μια μελλοντική περίοδο 30 ετών (2071-2100). Η διακριτική ικανότητα των RCMs του προγράμματος PRUDENCE είναι 0,5x0,5 μοίρες (50x50 τετρ. χλμ. περίπου). Για την περίπτωση του Σεναρίου A1B, η μελέτη των κλιματικών μεταβολών βασίστηκε σε σύνολο 12 προσομοιώσεων, που διεξήχθησαν στο πλαίσιο του προγράμματος ENSEMBLES.²⁰ Τα δεδομένα για την περίπτωση του Σεναρίου A1B καλύπτουν περίοδο 30 ετών για το κλίμα αναφοράς (1961-1990) και δύο μελλοντικές χρονικές περιόδους, 2021-2050 και 2071-2100. Η διακριτική ικανότητα των RCMs του προγράμματος ENSEMBLES είναι 0,25x0,25 μοίρες (25x25 τετρ. χλμ. περίπου). Τέλος, ο υπολογισμός των μεταβολών της μέσης θερμοκρασίας του αέρα για την περίπτωση του Σεναρίου B1 έγινε με τη χρήση μεθοδολογίας στατιστικής υποκλιμάκωσης του μέσου όρου ενός συνόλου 10 προσομοιώσεων με AOGCMs που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της 4ης έκθεσης του O.H.E για την κλιματική αλλαγή (AR4). Οι μεταβολές των υπό μελέτη κλιματικών παραμέτρων για την περίπτωση των Σεναρίων A2, A1B και B2 βασίζονται στη μέση τιμή του συνόλου (ensemble mean) των 13, 12 και 8 προσομοιώσεων αντίστοιχα. Αναλυτικές πληροφορίες για τις προσομοιώσεις που

¹⁹ Πηγή: <http://prudence.dmi.dk/>.

²⁰ Πηγή: <http://ensemblesrt3.dmi.dk/>.

χρησιμοποιήθηκαν για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών και για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για των υπολογισμό των μεταβολών των 6 κλιματικών παραμέτρων για τις 13 κλιματικές περιοχές στις οποίες χωρίστηκε η Ελλάδα μπορούν να αναζητηθούν στο πλήρες κείμενο για το Κλίμα, στη σχετική σελίδα της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), στον ιστοχώρο της ΤτΕ (www.bankofgreece.gr).

Στους Πίνακες 1.7.1α, β, γ και 1.7.2α, β, γ έχουν καταχωρηθεί οι μέσες ετήσιες τιμές των 6 κλιματικών παραμέτρων για την τριακονταετία 1961-1990 και τις δεκαετίες 2071-2080, 2081-2090 και 2091-2100, καθώς και οι μεταβολές τους για την περίπτωση των Σεναρίων Εκπομπών A2 και B2 μεταξύ των περιόδων 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100 και της περιόδου ελέγχου 1961-1990 για τις 13 κλιματικές περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η Ελλάδα. Τα αντίστοιχα μεγέθη για τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100 για την περίπτωση του Σεναρίου A1B έχουν καταχωρηθεί στον Πίνακα 1.8.α, β, γ (σελ. 74-76). Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης ξεχωριστά για τις έξι κλιματικές παραμέτρους.

Μέση θερμοκρασία του αέρα

Οι κλιματικές προσομοιώσεις με βάση και τα τέσσερα υπό μελέτη σενάρια ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Πίνακες 1.7.1α, β, γ, 1.7.2α, β, γ και 1.8.α, β, γ) δείχνουν ως γενικό αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασία του αέρα στην Ελλάδα για τις προσεχείς δεκαετίες σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Η άνοδος της θερμοκρασίας προβλέπεται ότι θα είναι εντονότερη στην περίπτωση του Σεναρίου A2 και ηπιότερη στην περίπτωση του Σεναρίου B1. Επίσης, η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερη στις ηπειρωτικές σε σύγκριση με τις νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας. Επιπρόσθετα, θα είναι μεγαλύτερη κατά το θέρος και το φθινόπωρο και μικρότερη κατά το χειμώνα και την άνοιξη.

Στην περίπτωση του πλέον ακραίου υπό μελέτη Σεναρίου A2, η μέση θερμοκρασία του αέρα για την επικράτεια αναμένεται κατά τη δεκαετία 2091-2100 να είναι υψηλότερη κατά 3,9 °C το χειμώνα και την άνοιξη, κατά 5,4 °C το θέρος, κατά 4,7 °C το φθινόπωρο και κατά 4,5 °C για το σύνολο του έτους. Η άνοδος της θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο προβλέπεται ότι θα κυμανθεί μεταξύ 4 °C και 4,5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ στις νησιωτικές περιοχές θα είναι μικρότερη και δεν θα ξεπεράσει τους 3,5 °C, με εξαίρεση το Βόρειο Αιγαίο, όπου θα φθάσει τους 4 °C. Κατά την άνοιξη η θερμοκρασία προβλέπεται ότι θα αυξηθεί κατά 4,5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και κατά 3,5 °C στα νησιά. Κατά το θέρος η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται ότι θα είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τις υπόλοιπες εποχές. Πιο συγκεκριμένα, κατά το θέρος προβλέπεται άνοδος της θερμοκρασίας μεταξύ 6 °C και 7 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και μεταξύ 4,5 °C και 5 °C στις νησιωτικές περιοχές. Τέλος, κατά το φθινόπωρο η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι πιο ομοιόμορφη στις διάφορες κλιματικές περιοχές της Ελλάδας και θα κυμανθεί μεταξύ 4,3 °C και 5,2 °C.

Πίνακας 1.7.1.α

Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα στα 2μ. από την επιφάνεια (T, °C), της βροχόπτωσης (B, χλστ./έτος) και της σχετικής υγρασίας (Υ, %) στα 2 μ. από την επιφάνεια, για τις χρονικές περιόδους 1961-1990*, 2071-2080, 2081-2090 και 2091-2100, καθώς και οι μεταβολές των παραμέτρων αυτών μεταξύ των περιόδων 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100 και της περιόδου αναφοράς 1961-1990

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	T (°C)		ΔT		(%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	11,85±1,13	11,91±0,95				
	2071-2080	15,85±1,50	14,89±1,14	4,00±1,05	2,98±0,41	34,1±10,0	25,1±3,4
	2081-2090	16,40±1,54	15,11±1,23	4,56±1,07	3,20±0,51	38,8±10,3	26,9±4,0
	2091-2100	17,08±1,56	15,31±1,26	5,24±1,02	3,40±0,58	44,6±9,8	28,6±4,7
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	12,24±1,39	12,36±1,06				
	2071-2080	16,29±1,74	15,42±1,15	4,05±1,06	3,05±0,41	33,5±9,8	24,8±4,0
	2081-2090	16,84±1,80	15,63±1,29	4,60±1,11	3,27±0,56	38,0±10,3	26,5±4,7
	2091-2100	17,52±1,81	15,79±1,26	5,28±1,08	3,42±0,62	43,6±10,1	27,8±5,6
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	16,37±0,65	16,19±0,66				
	2071-2080	19,63±0,76	18,82±0,73	3,26±0,19	2,63±0,11	19,9±1,0	16,3±0,7
	2081-2090	19,85±0,63	18,87±0,54	3,48±0,22	2,68±0,23	21,3±1,8	16,2±2,0
	2091-2100	20,56±0,69	19,23±0,65	4,19±0,25	3,04±0,31	25,6±1,9	18,8±2,2
Κυκλάδες	1961-1990	17,98±0,35	17,94±0,36				
	2071-2080	20,97±0,44	20,43±0,41	3,00±0,18	2,49±0,13	16,7±1,0	13,9±0,7
	2081-2090	21,20±0,40	20,49±0,42	3,22±0,26	2,55±0,27	17,9±1,6	14,2±1,6
	2091-2100	21,91±0,45	20,86±0,36	3,93±0,33	2,92±0,34	21,9±2,0	16,3±2,1
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	16,76±0,81	16,79±0,56				
	2071-2080	20,18±0,92	19,45±0,61	3,42±0,48	2,67±0,09	20,4±3,1	15,9±0,6
	2081-2090	20,46±0,92	19,54±0,59	3,70±0,55	2,75±0,29	22,1±3,6	16,4±1,9
	2091-2100	21,15±0,89	19,86±0,61	4,39±0,42	3,07±0,31	26,3±2,9	18,3±2,1
Δωδεκάνησα	1961-1990	18,62±0,41	18,57±0,38				
	2071-2080	21,75±0,52	21,13±0,46	3,12±0,20	2,56±0,17	16,8±1,0	13,8±0,9
	2081-2090	21,99±0,46	21,24±0,45	3,37±0,24	2,67±0,24	18,1±1,4	14,4±1,4
	2091-2100	22,65±0,57	21,57±0,57	4,03±0,34	3,00±0,40	21,6±1,8	16,2±2,2
Κρήτη	1961-1990	17,50±0,62	17,53±0,54				
	2071-2080	20,81±0,96	20,03±0,65	3,31±0,92	2,50±0,18	19,0±5,7	14,3±0,8
	2081-2090	21,13±1,00	20,16±0,67	3,63±0,98	2,63±0,29	20,8±6,1	15,0±1,6
	2091-2100	21,86±0,86	20,51±0,70	4,36±0,82	2,98±0,32	25,0±5,2	17,0±1,8
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	15,02±0,95	14,96±0,96				
	2071-2080	18,81±1,18	17,77±1,07	3,79±1,02	2,81±0,29	25,5±8,1	18,8±2,0
	2081-2090	19,26±1,25	17,97±1,21	4,24±1,09	3,01±0,45	28,5±8,6	20,1±2,8
	2091-2100	19,90±1,22	18,21±1,22	4,88±0,97	3,25±0,50	32,7±7,7	21,8±3,2
Αττική	1961-1990	15,94±0,98	15,94±0,95				
	2071-2080	19,83±1,49	18,78±1,00	3,89±1,35	2,84±0,27	24,6±9,5	17,9±2,0
	2081-2090	20,29±1,55	19,02±1,15	4,35±1,42	3,08±0,46	27,5±10,0	19,3±2,9
	2091-2100	20,94±1,47	19,25±1,13	5,00±1,28	3,31±0,50	31,6±9,1	20,8±3,4
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	15,41±0,85	15,36±0,75				
	2071-2080	19,17±1,26	18,11±0,94	3,76±1,14	2,75±0,29	24,6±8,4	17,9±1,6
	2081-2090	19,64±1,28	18,33±1,04	4,23±1,15	2,97±0,45	27,6±8,5	19,3±2,6
	2091-2100	20,31±1,24	18,59±1,04	4,91±1,05	3,22±0,45	32,0±7,7	21,0±2,6
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	12,94±1,52	13,10±1,16				
	2071-2080	16,92±1,76	16,06±1,39	3,98±1,07	2,96±0,45	31,3±10,2	22,7±3,3
	2081-2090	17,52±1,82	16,30±1,48	4,58±1,06	3,21±0,56	35,9±10,1	24,5±3,9
	2091-2100	18,24±1,87	16,54±1,53	5,30±1,01	3,45±0,65	41,4±9,6	26,4±4,7
Ιόνιο	1961-1990	17,11±0,73	17,10±0,58				
	2071-2080	20,24±0,81	19,61±0,71	3,13±0,35	2,50±0,38	18,3±2,2	14,7±2,3
	2081-2090	20,51±0,80	19,72±0,66	3,40±0,41	2,62±0,50	19,9±2,6	15,3±3,1
	2091-2100	21,29±0,83	20,13±0,64	4,18±0,41	3,03±0,47	24,5±2,6	17,7±2,9
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	15,69±1,14	15,81±0,77				
	2071-2080	19,26±1,40	18,53±0,96	3,57±0,60	2,72±0,34	22,8±3,8	17,2±1,9
	2081-2090	19,72±1,42	18,74±0,99	4,03±0,61	2,93±0,45	25,8±3,8	18,5±2,7
	2091-2100	20,44±1,42	19,03±0,99	4,75±0,55	3,22±0,51	30,4±3,4	20,4±3,2
Επικράτεια	1961-1990	16,17±0,68	16,14±0,56				
	2071-2080	19,58±0,80	18,81±0,67	3,41±0,42	2,66±0,19	21,1±2,8	16,5±1,0
	2081-2090	19,93±0,82	18,94±0,71	3,76±0,49	2,80±0,34	23,3±3,2	17,3±2,1
	2091-2100	20,64±0,80	19,25±0,72	4,46±0,38	3,11±0,39	27,6±2,6	19,3±2,5

Τα αποτελέσματα δίδονται ως μέση τιμή και τυπική απόκλιση 13 προσομοιώσεων για το Σενάριο Εκπομπών A2 και 8 προσομοιώσεων για το Σενάριο Εκπομπών B2, αντίστοιχα, και στηρίζονται στο πρόγραμμα PRUDENCE.

* Οι μικρές διαφορές ως προς τις εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων στην περίοδο αναφοράς 1961-1990 για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών οφείλονται στο ότι οι κλιματικές παράμετροι υπολογίζονται από διαφορετικά σύνολα κλιματικών προσομοιώσεων για τα διαφορετικά σενάρια.

Πίνακας 1.7.1.β

Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα στα 2μ. από την επιφάνεια (T, °C), της βροχόπτωσης (B, χλστ./έτος) και της σχετικής υγρασίας (Υ, %) στα 2 μ. από την επιφάνεια, για τις χρονικές περιόδους 1961-1990*, 2071-2080, 2081-2090 και 2091-2100, καθώς και οι μεταβολές των παραμέτρων αυτών μεταξύ των περιόδων 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100 και της περιόδου αναφοράς 1961-1990

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	B (χλστ./έτος)		ΔB		(%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	532,6±108,7	561,3±101,3				
	2071-2080	475,3±130,8	530,6±124,5	-57,3±51,2	-30,7±67,8	-11,4±10,2	-5,4±12,4
	2081-2090	422,9±103,0	521,4±110,3	-109,6±39,7	-39,9±50,7	-20,9±7,2	-7,1±9,8
	2091-2100	444,0±116,5	555,8±144,8	-88,5±53,5	-5,5±72,6	-17,1±10,1	-1,5±13,0
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	608,3±132,4	663,6±115,4				
	2071-2080	526,8±131,1	625,6±137,2	-81,5±56,6	-38,0±92,3	-13,4±8,6	-5,3±14,4
	2081-2090	465,1±102,8	599,9±116,7	-143,2±64,0	-63,7±64,7	-23,3±8,5	-9,3±9,9
	2091-2100	487,6±126,1	652,1±159,1	-120,7±57,5	-11,5±93,8	-20,1±8,6	-1,8±14,6
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	481,8±104,4	500,7±118,7				
	2071-2080	445,5±124,8	496,1±135,5	-36,3±60,7	-4,6±84,2	-8,3±13,4	-0,4±17,1
	2081-2090	397,4±105,3	470,7±117,8	-84,4±56,8	-30,0±50,5	-17,8±10,9	-7,5±11,4
	2091-2100	451,3±134,9	532,2±151,6	-30,6±87,3	31,5±80,2	-6,9±18,1	6,2±16,3
Κυκλάδες	1961-1990	400,6±106,0	411,7±125,2				
	2071-2080	334,3±89,6	400,6±110,1	-66,3±32,3	-11,1±27,6	-16,4±5,5	-1,7±6,1
	2081-2090	313,4±95,8	379,4±122,2	-87,3±27,0	-32,3±36,5	-22,4±6,3	-8,0±12,1
	2091-2100	361,9±106,7	436,8±138,1	-38,7±36,9	25,1±36,9	-10,3±10,1	5,6±11,1
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	544,1±127,2	546,9±133,6				
	2071-2080	479,2±133,6	526,0±129,3	-65,0±43,4	-20,9±60,3	-12,4±8,0	-3,4±11,1
	2081-2090	431,6±125,5	500,5±127,6	-112,5±38,6	-46,4±33,7	-21,4±7,2	-8,5±6,8
	2091-2100	485,1±149,5	582,6±160,7	-59,0±63,9	35,7±65,3	-11,5±11,1	6,3±12,7
Δωδεκάνησα	1961-1990	433,2±160,8	428,4±188,0				
	2071-2080	369,7±130,7	416,8±183,1	-63,5±40,5	-11,6±37,2	-13,6±6,0	-2,7±7,8
	2081-2090	340,3±133,1	401,2±174,9	-92,9±40,8	-27,2±22,2	-22,0±5,5	-6,4±4,8
	2091-2100	376,7±152,9	450,0±207,3	-56,5±49,5	21,6±65,6	-14,8±12,3	3,8±15,3
Κρήτη	1961-1990	351,6±187,2	315,5±144,4				
	2071-2080	280,3±151,4	287,5±127,9	-71,3±47,0	-28,1±29,8	-18,9±7,6	-7,4±9,1
	2081-2090	264,9±151,4	268,1±115,2	-86,6±47,5	-47,5±36,3	-24,7±8,1	-14,1±7,2
	2091-2100	300,2±179,6	297,9±130,9	-51,4±50,6	-17,6±34,1	-15,6±12,2	-5,1±10,1
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	473,5±102,5	490,6±100,1				
	2071-2080	408,2±125,4	461,3±110,0	-65,2±43,3	-29,4±39,1	-14,8±9,3	-6,1±8,3
	2081-2090	378,3±103,6	449,3±114,3	-95,2±40,3	-41,3±45,8	-20,6±8,3	-8,8±10,7
	2091-2100	420,8±133,5	483,6±132,2	-52,6±72,6	-7,0±51,6	-11,9±15,4	-2,2±10,2
Αττική	1961-1990	375,1±108,6	388,2±84,2				
	2071-2080	311,6±121,9	363,6±97,3	-63,5±36,7	-24,5±27,8	-18,1±9,1	-6,8±7,2
	2081-2090	293,9±107,7	342,8±100,0	-81,2±39,8	-45,3±41,3	-22,6±11,0	-12,3±11,9
	2091-2100	333,7±139,0	381,1±108,8	-41,4±60,2	-7,1±37,6	-12,7±15,8	-2,6±8,9
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	479,9±166,6	517,4±171,5				
	2071-2080	395,4±164,1	469,4±176,7	-84,5±41,4	-48±33,9	-18,7±8,1	-9,8±7,2
	2081-2090	352,2±134,5	440,4±149,2	-127,8±53,6	-77±49,8	-27,2±7,6	-14,8±8,9
	2091-2100	392,0±166,7	483,4±177,0	-87,9±70,1	-34±32,2	-19,1±13,7	-7,1±7,4
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	861,1±174,2	912,4±102,0				
	2071-2080	744,0±187,8	842,2±148,0	-117,1±86,3	-70,2±126,1	-13,8±8,9	-7,5±13,8
	2081-2090	641,0±139,1	804,8±97,0	-220,1±85,0	-107,6±92,2	-25,3±8,1	-11,4±9,7
	2091-2100	654,0±164,6	842,5±165,8	-207,1±94,4	-69,9±116,8	-23,8±10,0	-7,8±12,5
Ιόνιο	1961-1990	789,6±225,4	775,7±242,9				
	2071-2080	725,6±241,4	740,8±242,7	-64,0±83,1	-35,0±97,3	-9,2±11,5	-4,2±11,7
	2081-2090	598,6±195,9	711,3±233,0	-191±75,7	-64,5±69,7	-25,0±7,7	-8,4±9,0
	2091-2100	652,4±225,2	767,1±287,0	-137,3±89,9	-8,6±67,7	-18,6±11,9	-2,9±10,3
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	613,5±159,6	629,4±120,8				
	2071-2080	510,2±164,9	568,6±112,4	-103,2±49,2	-60,8±66,0	-17,6±8,3	-9,4±9,9
	2081-2090	442±131,6	540,0±114,7	-171,4±52,6	-89,4±47,4	-28,4±6,4	-14,4±8,1
	2091-2100	475,6±175,7	584,5±146,0	-137,9±73,9	-44,9±46,9	-23,5±11,9	-7,9±9,0
Επικράτεια	1961-1990	510,1±108,0	524,1±113,8				
	2071-2080	442,7±112,9	497,4±108,6	-67,4±34,6	-26,7±50,2	-13,8±7,6	-4,6±9,8
	2081-2090	397,1±99,6	475,7±109,0	-113,0±29,5	-48,4±36,4	-22,6±5,5	-9,2±8,2
	2091-2100	437,7±126,6	525,2±138,0	-72,4±51,1	1,1±54,5	-15,2±10,9	-0,4±11,2

Τα αποτελέσματα δίδονται ως μέση τιμή και τυπική απόκλιση 13 προσομοιώσεων για το Σενάριο Εκπομπών A2 και 8 προσομοιώσεων για το Σενάριο Εκπομπών B2, αντίστοιχα, και στηρίζονται στο πρόγραμμα PRUDENCE.

* Οι μικρές διαφορές ως προς τις εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων στην περίοδο αναφοράς 1961-1990 για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών οφείλονται στο ότι οι κλιματικές παράμετροι υπολογίζονται από διαφορετικά σύνολα κλιματικών προσομοιώσεων για τα διαφορετικά σενάρια.

Πίνακας 1.7.1.γ

Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα στα 2μ. από την επιφάνεια (T, °C), της βροχόπτωσης (B, κλστ./έτος) και της σχετικής υγρασίας (Υ, %) στα 2 μ. από την επιφάνεια, για τις χρονικές περιόδους 1961-1990*, 2071-2080, 2081-2090 και 2091-2100, καθώς και οι μεταβολές των παραμέτρων αυτών μεταξύ των περιόδων 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100 και της περιόδου αναφοράς 1961-1990

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	Υ		ΔΥ		(%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	61,58±9,41	61,82±11,51				
	2071-2080	57,27±7,22	59,83±12,43	-4,31±5,12	-1,99±2,85	-6,5±6,2	-3,4±4,2
	2081-2090	55,11±6,83	59,14±12,47	-6,46±4,80	-2,68±2,73	-10,0±5,5	-4,6±4,0
	2091-2100	54,73±6,90	60,21±12,23	-6,84±4,88	-1,62±2,44	-10,7±5,6	-2,8±3,6
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	60,25±9,79	60,32±11,43				
	2071-2080	55,61±7,52	58,07±11,70	-4,64±5,12	-2,25±2,80	-7,2±6,3	-3,8±4,3
	2081-2090	53,59±6,99	57,12±12,28	-6,66±5,21	-3,21±2,92	-10,5±6,2	-5,6±4,3
	2091-2100	52,83±7,03	58,45±11,97	-7,42±5,21	-1,87±2,71	-11,8±6,0	-3,2±4,2
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	71,35±4,95	73,52±4,68				
	2071-2080	69,91±4,65	72,39±4,99	-1,44±0,96	-1,13±0,75	-2,0±1,3	-1,6±1,1
	2081-2090	69,34±4,87	72,38±4,82	-2,00±1,09	-1,14±0,51	-2,8±1,5	-1,8±1,0
	2091-2100	68,94±4,97	72,73±4,68	-2,41±0,86	-0,79±0,69	-3,4±1,2	-1,1±1,0
Κυκλάδες	1961-1990	73,78±3,70	75,21±3,40				
	2071-2080	73,22±3,52	74,54±3,57	-0,56±0,48	-0,67±0,38	-0,7±0,6	-0,9±0,5
	2081-2090	73,02±3,57	74,60±3,26	-0,76±0,56	-0,60±0,30	-1,0±0,7	-0,8±0,4
	2091-2100	72,83±3,70	74,87±3,34	-0,95±0,57	-0,34±0,22	-1,3±0,7	-0,5±0,3
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	68,92±5,16	69,97±5,22				
	2071-2080	66,74±4,68	68,86±5,43	-2,18±2,48	-1,11±0,64	-3,1±3,2	-1,6±1,0
	2081-2090	66,03±4,88	68,72±5,73	-2,89±2,57	-1,25±0,58	-4,1±3,3	-1,8±1,0
	2091-2100	65,70±4,94	69,39±5,43	-3,22±2,33	-0,58±0,73	-4,6±3,0	-0,8±1,1
Δωδεκάνησα	1961-1990	72,44±3,94	74,04±3,14				
	2071-2080	71,87±3,95	73,70±2,91	-0,57±0,74	-0,34±0,80	-0,8±1,1	-0,4±1,1
	2081-2090	71,61±3,92	73,62±3,02	-0,83±0,92	-0,42±0,70	-1,1±1,3	-0,6±1,0
	2091-2100	71,48±4,23	73,97±3,03	-0,95±0,86	-0,06±0,50	-1,3±1,2	-0,1±0,7
Κρήτη	1961-1990	69,38±6,41	68,66±7,71				
	2071-2080	67,66±6,82	67,71±7,68	-1,72±4,10	-0,94±1,18	-2,4±5,4	-1,4±1,6
	2081-2090	67,15±6,97	67,42±7,75	-2,23±4,28	-1,24±0,94	-3,1±5,6	-1,8±1,3
	2091-2100	67,08±6,88	67,97±7,83	-2,30±4,15	-0,69±0,83	-3,3±5,5	-1,0±1,2
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	62,16±6,57	62,52±7,93				
	2071-2080	58,57±4,86	61,03±8,36	-3,59±4,65	-1,49±1,57	-5,4±6,0	-2,5±2,4
	2081-2090	57,04±4,69	60,37±8,36	-5,11±4,33	-2,15±1,43	-7,9±5,3	-3,5±2,2
	2091-2100	57,11±4,78	61,29±8,16	-5,04±4,52	-1,23±1,20	-7,8±5,7	-2,0±1,9
Αττική	1961-1990	59,17±8,85	58,29±10,00				
	2071-2080	55,10±8,19	56,41±9,66	-4,07±5,59	-1,89±1,65	-6,5±7,7	-3,2±2,5
	2081-2090	53,73±8,12	55,36±9,54	-5,44±5,36	-2,94±1,73	-8,9±7,2	-5,0±2,7
	2091-2100	53,90±8,42	56,62±9,59	-5,27±5,53	-1,68±1,25	-8,7±7,5	-2,8±2,0
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	61,53±7,24	61,65±8,00				
	2071-2080	57,87±6,24	60,12±8,06	-3,66±4,96	-1,53±0,99	-5,6±6,6	-2,5±1,7
	2081-2090	56,35±6,13	59,26±8,36	-5,18±4,59	-2,40±1,29	-8,1±5,9	-4,0±2,2
	2091-2100	56,41±6,21	60,35±8,19	-5,12±4,86	-1,30±1,23	-8,0±6,4	-2,1±2,0
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	63,13±10,03	62,86±12,61				
	2071-2080	58,67±8,24	60,58±13,20	-4,46±5,29	-2,28±2,83	-6,6±6,5	-3,8±4,2
	2081-2090	56,37±7,89	60,00±13,50	-6,76±4,84	-2,86±2,90	-10,3±5,5	-4,8±4,1
	2091-2100	55,71±7,84	60,61±13,11	-7,42±4,91	-2,25±2,54	-11,4±5,7	-3,7±3,7
Ιόνιο	1961-1990	72,07±4,83	73,67±4,18				
	2071-2080	71,77±4,20	73,40±2,84	-0,29±1,86	-0,27±1,55	-0,3±2,8	-0,3±2,4
	2081-2090	71,17±4,67	73,53±2,91	-0,90±1,90	-0,14±1,47	-1,2±2,8	-0,1±2,2
	2091-2100	70,67±5,08	73,39±2,47	-1,39±1,97	-0,27±1,96	-1,9±2,9	-0,2±3,0
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	64,82±6,05	65,35±7,49				
	2071-2080	62,03±4,72	63,81±7,88	-2,79±3,10	-1,54±1,35	-4,1±4,0	-2,4±2,1
	2081-2090	60,51±4,81	63,22±8,09	-4,31±2,88	-2,13±1,63	-6,5±3,7	-3,4±2,6
	2091-2100	60,31±4,68	63,90±7,75	-4,51±3,02	-1,44±1,40	-6,8±3,9	-2,2±2,2
Επικράτεια	1961-1990	68,47±4,27	69,49±4,63				
	2071-2080	66,45±2,99	68,42±5,02	-2,02±2,28	-1,07±0,79	-2,8±2,9	-1,6±1,2
	2081-2090	65,50±3,04	68,14±5,03	-2,97±2,20	-1,35±0,72	-4,2±2,7	-2,0±1,0
	2091-2100	65,23±2,99	68,68±4,80	-3,24±2,09	-0,81±0,76	-4,6±2,6	-1,2±1,1

Τα αποτελέσματα δίδονται ως μέση τιμή και τυπική απόκλιση 13 προσομοιώσεων για το Σενάριο Εκπομπών A2 και 8 προσομοιώσεων για το Σενάριο Εκπομπών B2, αντίστοιχα, και στηρίζονται στο πρόγραμμα PRUDENCE.

* Οι μικρές διαφορές ως προς τις εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων στην περίοδο αναφοράς 1961-1990 για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών οφείλονται στο ότι οι κλιματικές παράμετροι υπολογίζονται από διαφορετικά σύνολα κλιματικών προσομοιώσεων για τα διαφορετικά σενάρια.

Πίνακας 1.7.2.α

Εισερχόμενη οδική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (S, W/τ.μ.), ταχύτητα ανέμου (V, μ./δευτ.) και κλάσμα νεφοκάλυψης (C, %)

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	S		ΔS		(%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	183,4±19,4	188,4±21,4				
	2071-2080	186,7±17,9	192,1±17,7	3,2±4,9	3,7±5,6	1,9±3,2	2,3±3,7
	2081-2090	189,4±17,3	193,2±17,3	6,0±5,6	4,8±5,5	3,5±3,9	2,9±3,8
	2091-2100	189,7±18,0	191,6±17,2	6,3±6,6	3,2±6,3	3,6±4,4	2,0±4,1
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	181,3±18,8	185,4±20,7				
	2071-2080	185,0±17,2	189,4±16,6	3,7±4,7	4±5,7	2,2±3,2	2,4±3,8
	2081-2090	187,6±16,7	190,6±16,7	6,3±5,6	5,2±5,3	3,7±3,9	3,1±3,7
	2091-2100	187,8±17,0	188,8±16,6	6,5±6,6	3,4±5,9	3,8±4,5	2,2±3,9
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	192,3±20,9	199,3±22,3				
	2071-2080	194,6±20,2	202,3±18,5	2,3±4,2	3,0±5,5	1,3±2,5	1,8±3,4
	2081-2090	196,1±19,8	203,1±18,4	3,8±4,9	3,8±5,3	2,1±3,1	2,2±3,3
	2091-2100	195,8±20,4	201,3±18,1	3,5±5,4	2,1±6,0	1,9±3,3	1,3±3,6
Κυκλάδες	1961-1990	204,1±22,4	212,7±22,6				
	2071-2080	206,5±21,6	214,9±18,7	2,4±3,9	2,2±5,4	1,2±2,2	1,3±3,1
	2081-2090	208,0±21,2	216,3±19,2	3,8±5,0	3,7±4,9	2,0±2,9	1,9±2,9
	2091-2100	207,0±21,6	214,2±18,8	2,8±4,7	1,5±5,5	1,5±2,7	0,9±3,1
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	200,6±21,6	207,7±21,8				
	2071-2080	203,3±20,8	210,5±17,9	2,7±4,1	2,8±5,4	1,4±2,4	1,6±3,1
	2081-2090	205,0±20,4	211,5±18,5	4,4±4,8	3,8±4,6	2,3±2,9	2±2,8
	2091-2100	204,6±20,8	209,6±18,0	4,0±5,4	1,9±5,4	2,1±3,2	1,1±3
Δωδεκάνησα	1961-1990	209,9±22,5	218,8±22,2				
	2071-2080	212,2±21,6	220,6±18,8	2,3±4	1,8±4,4	1,2±2,2	1,0±2,3
	2081-2090	213,6±21,4	221,5±19,4	3,7±4,9	2,7±4,1	1,9±2,7	1,4±2,2
	2091-2100	213,1±21,4	219,8±19,5	3,1±5,1	1,0±3,8	1,6±2,8	0,6±2,0
Κρήτη	1961-1990	207,7±23,0	215,2±25,4				
	2071-2080	210,7±21,7	217,5±21,5	3,0±4,1	2,3±4,7	1,5±2,4	1,3±2,7
	2081-2090	212,2±21,4	219,0±21,5	4,5±4,9	3,8±5,0	2,3±2,9	2,0±3,0
	2091-2100	210,9±21,7	216,9±21,9	3,2±4,7	1,7±4,4	1,6±2,8	1,0±2,5
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	192,5±20,6	199,1±21,2				
	2071-2080	195,7±19,9	202,2±17,6	3,3±4,2	3,1±5,3	1,8±2,6	1,8±3,3
	2081-2090	197,6±19,5	203,6±17,4	5,2±5,1	4,5±4,9	2,8±3,2	2,5±3,1
	2091-2100	197,1±20,4	201,6±17,3	4,7±5,4	2,5±5,5	2,5±3,3	1,5±3,4
Αττική	1961-1990	198,3±21,8	205,6±21,2				
	2071-2080	201,7±21,3	208,5±17,7	3,4±3,8	2,9±5,1	1,8±2,3	1,6±3
	2081-2090	203,2±21,2	210,1±17,8	4,8±4,8	4,5±4,4	2,5±2,9	2,4±2,7
	2091-2100	202,3±21,9	208,0±17,2	4,0±4,9	2,3±5,3	2,1±2,9	1,4±3,1
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	198,0±20,5	204,4±20,8				
	2071-2080	202,0±19,8	207,9±17,4	4,0±4,0	3,5±5,2	2,1±2,4	1,9±3,1
	2081-2090	204,1±19,8	209,3±17,9	6,0±4,9	5,0±4,0	3,1±3,0	2,6±2,5
	2091-2100	203,3±20,2	207,1±17,7	5,3±5,3	2,7±4,7	2,7±3,1	1,5±2,7
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	182,9±20,6	186,7±22,6				
	2071-2080	187,4±19,1	191,3±18,5	4,4±4,7	4,6±6,3	2,6±3,2	2,8±4,1
	2081-2090	190,7±18,5	193,0±18,5	7,8±5,6	6,3±5,4	4,5±4,0	3,7±3,9
	2091-2100	191,7±18,5	191,2±19,1	8,8±7,2	4,5±5,4	5,1±5,0	2,7±3,5
Ιόνιο	1961-1990	188,8±19,6	195,0±22,0				
	2071-2080	191,7±19,2	198,9±18,6	2,9±4,4	3,9±5,7	1,6±2,7	2,3±3,6
	2081-2090	194,5±19,0	200,0±18,8	5,6±4,8	5,0±5,0	3,1±3,1	2,8±3,3
	2091-2100	194,7±18,8	198,1±18,8	5,9±6,3	3,1±5,4	3,3±4,0	1,8±3,3
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	195,4±19,7	200,5±21,8				
	2071-2080	199,2±18,5	204,4±17,9	3,8±4,6	3,9±5,8	2,1±2,9	2,2±3,5
	2081-2090	201,9±18,5	205,8±18,5	6,6±5,4	5,3±4,6	3,5±3,4	2,8±2,9
	2091-2100	201,7±18,5	203,8±18,8	6,3±6,5	3,3±5,0	3,4±4,0	1,9±3,0
Επικράτεια	1961-1990	196,1±20,8	203,0±21,9				
	2071-2080	199,0±19,9	206,0±18,3	2,9±4,2	3,0±5,3	1,6±2,5	1,7±3,2
	2081-2090	201,0±19,6	207,2±18,5	4,9±4,9	4,2±4,8	2,6±3,1	2,3±3,0
	2091-2100	200,5±20,0	205,2±18,4	4,5±5,4	2,3±5,2	2,4±3,3	1,4±3,1

Κατά τα λοιπά ισχύουν όλα όσα αναφέρονται στην αντίστοιχη θέση του Πίνακα 1.7.1α, β, γ.

1 Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας: παραδόν, παρόν και μέλλον

Πίνακας 1.7.2.β

Εισερχόμενη οδική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (S, W/τ.μ.), ταχύτητα ανέμου (V, μ./δευτ.) και κλάσμα νεφοκάλυψης (C, %)

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	V		ΔV		(%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	2,53±0,88	2,71±1,00				
	2071-2080	2,42±0,79	2,66±0,91	-0,10±0,11	-0,04±0,13	-3,4±3,0	-0,9±4,2
	2081-2090	2,44±0,83	2,64±0,90	-0,08±0,09	-0,07±0,14	-3,1±2,8	-1,8±4,6
	2091-2100	2,45±0,83	2,65±0,94	-0,08±0,09	-0,05±0,11	-2,9±2,8	-1,6±4,2
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	2,80±0,72	2,89±0,87				
	2071-2080	2,77±0,70	2,97±0,83	-0,03±0,05	0,08±0,15	-1,0±1,6	3,4±6,8
	2081-2090	2,82±0,75	2,95±0,83	0,02±0,06	0,07±0,16	0,6±2,1	3,0±7,2
	2091-2100	2,85±0,78	2,95±0,87	0,05±0,10	0,07±0,15	1,7±3,0	2,8±6,9
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	5,59±0,65	5,60±0,72				
	2071-2080	5,55±0,62	5,60±0,64	-0,04±0,12	0,01±0,22	-0,6±2,0	0,3±4,0
	2081-2090	5,62±0,65	5,56±0,67	0,03±0,10	-0,03±0,16	0,6±1,7	-0,5±3,1
	2091-2100	5,68±0,68	5,65±0,69	0,09±0,17	0,05±0,16	1,6±3,0	1,0±3,0
Κυκλάδες	1961-1990	6,64±0,92	6,67±0,81				
	2071-2080	6,73±0,94	6,74±0,87	0,10±0,12	0,07±0,24	1,5±1,8	1,0±3,7
	2081-2090	6,83±1,00	6,75±0,82	0,20±0,12	0,08±0,20	2,8±1,7	1,2±3,1
	2091-2100	6,87±1,00	6,82±0,82	0,23±0,17	0,16±0,11	3,4±2,3	2,4±1,7
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	5,56±0,80	5,64±0,93				
	2071-2080	5,62±0,71	5,74±0,82	0,07±0,11	0,10±0,14	1,4±1,9	2,1±2,4
	2081-2090	5,71±0,76	5,76±0,82	0,15±0,10	0,12±0,16	2,9±1,9	2,4±3,0
	2091-2100	5,75±0,75	5,82±0,81	0,19±0,12	0,19±0,18	3,7±2,3	3,6±3,5
Δωδεκάνησα	1961-1990	5,96±0,85	6,04±0,88				
	2071-2080	5,92±0,84	5,98±0,90	-0,04±0,07	-0,06±0,17	-0,7±1,1	-1,0±2,8
	2081-2090	5,91±0,86	5,99±0,87	-0,06±0,05	-0,05±0,14	-1,0±0,9	-0,9±2,3
	2091-2100	5,92±0,84	6,03±0,85	-0,05±0,12	-0,01±0,13	-0,8±1,9	-0,1±2,2
Κρήτη	1961-1990	4,99±0,84	4,68±1,35				
	2071-2080	4,96±0,72	4,67±1,20	-0,02±0,16	-0,02±0,21	-0,2±2,5	0,3±3,6
	2081-2090	5,00±0,73	4,68±1,20	0,01±0,15	0,00±0,21	0,6±2,5	0,8±3,6
	2091-2100	5,03±0,75	4,71±1,17	0,04±0,17	0,02±0,22	1,1±3,0	1,5±4,4
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	3,22±1,03	3,29±1,17				
	2071-2080	3,17±0,97	3,34±1,10	-0,05±0,08	0,05±0,14	-1,2±1,8	2,4±5,4
	2081-2090	3,22±1,01	3,31±1,07	0,00±0,06	0,01±0,16	0,1±1,7	1,5±6,2
	2091-2100	3,23±1,02	3,34±1,11	0,01±0,08	0,04±0,16	0,3±2,2	2,2±6,6
Αττική	1961-1990	3,30±1,18	3,27±1,38				
	2071-2080	3,31±1,19	3,42±1,34	0,01±0,04	0,14±0,20	0,5±1,0	6,1±10,5
	2081-2090	3,38±1,23	3,39±1,31	0,08±0,07	0,12±0,22	2,4±1,5	5,6±11,5
	2091-2100	3,41±1,26	3,43±1,34	0,11±0,10	0,15±0,23	2,9±2,2	6,4±12,5
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	3,42±1,31	3,44±1,55				
	2071-2080	3,35±1,21	3,42±1,39	-0,07±0,17	-0,02±0,21	-1,6±2,9	1,2±6,0
	2081-2090	3,39±1,25	3,40±1,37	-0,03±0,15	-0,04±0,25	-0,6±2,9	0,7±6,8
	2091-2100	3,41±1,27	3,43±1,42	-0,01±0,15	-0,01±0,20	-0,2±3,4	1,0±6,5
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	2,38±1,05	2,53±1,21				
	2071-2080	2,31±1,02	2,55±1,17	-0,07±0,09	0,02±0,14	-2,7±2,9	1,7±7,3
	2081-2090	2,32±1,04	2,52±1,16	-0,05±0,08	-0,01±0,14	-2,3±2,9	0,8±7,6
	2091-2100	2,32±1,05	2,54±1,18	-0,06±0,10	0,01±0,15	-2,7±3,5	1,2±8,2
Ιόνιο	1961-1990	4,51±0,75	4,63±0,88				
	2071-2080	4,32±0,68	4,45±0,76	-0,20±0,28	-0,18±0,34	-4,2±5,5	-3,5±6,3
	2081-2090	4,29±0,67	4,42±0,80	-0,22±0,24	-0,21±0,31	-4,7±4,5	-4,3±5,6
	2091-2100	4,27±0,69	4,47±0,80	-0,24±0,24	-0,16±0,31	-5,2±4,9	-3,3±6,0
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	3,62±0,76	3,88±0,74				
	2071-2080	3,52±0,70	3,87±0,67	-0,11±0,12	-0,01±0,20	-2,8±2,8	0,1±5,5
	2081-2090	3,51±0,73	3,84±0,65	-0,12±0,09	-0,03±0,22	-3,1±2,3	-0,4±5,9
	2091-2100	3,51±0,74	3,86±0,69	-0,11±0,11	-0,01±0,21	-3,1±2,8	-0,1±5,7
Επικράτεια	1961-1990	4,72±0,66	4,79±0,74				
	2071-2080	4,68±0,60	4,78±0,67	-0,04±0,09	-0,01±0,13	-0,8±1,6	0,1±2,7
	2081-2090	4,72±0,64	4,77±0,66	-0,01±0,07	-0,02±0,11	-0,1±1,2	-0,2±2,3
	2091-2100	4,74±0,65	4,81±0,68	0,01±0,11	0,02±0,11	0,3±2,2	0,7±2,5

Κατά τα λοιπά ισχύουν όσα αναφέρονται στην αντίστοιχη θέση του Πίνακα 1.7.1α, β, γ.

Πίνακας 1.7.2.γ

Εισερχόμενη οδική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (S, W/τ.μ.), ταχύτητα ανέμου (V, μ./δευτ.) και κλάσμα νεφοκάλυψης (C, %)

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	C		ΔC		(%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	41,0±7,7	41,6±5,2				
	2071-2080	37,2±7,4	38,4±6,0	-3,8±1,8	-3,2±1,6	-9,4±4,6	-8,1±4,5
	2081-2090	35,3±6,8	37,8±5,5	-5,7±2,0	-3,8±1,3	-13,9±4,3	-9,3±3,9
	2091-2100	34,5±6,7	38,5±6,3	-6,5±2,4	-3,1±2,0	-15,8±5,2	-7,9±5,5
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	41,3±7,7	42,0±5,7				
	2071-2080	37,1±7,4	38,6±6,4	-4,2±1,9	-3,3±1,8	-10,1±4,6	-8,2±4,9
	2081-2090	35,3±6,7	37,8±5,8	-6,0±2,2	-4,2±1,3	-14,4±4,5	-10,1±3,6
	2091-2100	34,6±6,5	38,6±6,5	-6,7±2,6	-3,4±2,2	-16,1±5,5	-8,2±5,6
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	36,0±5,5	35,9±3,1				
	2071-2080	32,1±5,6	32,9±4,1	-3,9±1,7	-3,0±1,4	-11,0±4,9	-8,8±4,7
	2081-2090	30,8±5,1	32,3±3,8	-5,2±1,7	-3,6±1,2	-14,7±4,3	-10,3±4,0
	2091-2100	30,4±5,2	33,0±4,3	-5,6±2,0	-2,9±2	-15,6±5,4	-8,3±5,9
Κυκλάδες	1961-1990	32,6±4,3	33,2±3,9				
	2071-2080	28,5±4,4	30,3±4,4	-4,1±1,5	-2,9±1,4	-12,9±4,9	-9,0±4,7
	2081-2090	27,4±4,5	29,5±4,0	-5,2±1,6	-3,6±1	-16,3±5,5	-11,1±3,2
	2091-2100	27,7±4,5	30,6±3,8	-4,9±1,6	-2,5±1,8	-15,3±5,3	-7,6±5,1
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	33,3±4,3	34,0±2,1				
	2071-2080	29,0±3,9	30,8±3,1	-4,2±1,6	-3,2±1,5	-12,7±4,6	-9,5±4,8
	2081-2090	27,7±3,7	30,3±2,4	-5,6±1,6	-3,8±1,2	-16,9±4,2	-11,2±3,5
	2091-2100	27,5±3,6	31,2±2,9	-5,8±2,0	-2,9±2,1	-17,2±5,0	-8,4±6,1
Δωδεκάνησα	1961-1990	29,0±4,8	29,6±4,9				
	2071-2080	25,1±5,1	27,1±4,7	-3,8±1,4	-2,5±1,2	-13,6±5,2	-8,5±4,2
	2081-2090	23,9±5,1	26,4±5,1	-5,1±1,5	-3,3±1,0	-17,9±5,7	-11,3±4,2
	2091-2100	23,9±4,9	27,3±4,8	-5,1±1,5	-2,4±1,5	-18,1±5,7	-8,0±5,3
Κρήτη	1961-1990	31,2±6,1	32,4±6,9				
	2071-2080	27,4±6,1	29,6±6,2	-3,9±1,4	-2,8±1,4	-12,8±4,8	-8,5±4,0
	2081-2090	26,0±6,2	28,9±6,2	-5,2±1,6	-3,5±1,1	-17,1±5,8	-10,7±2,4
	2091-2100	26,6±5,9	30,0±6,2	-4,7±1,3	-2,4±1,2	-15,3±4,6	-7,3±3,3
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	37,2±5,7	37,5±3,6				
	2071-2080	33,1±5,2	34,4±4,4	-4,1±1,6	-3,1±1,4	-11,1±3,9	-8,5±4,2
	2081-2090	31,7±4,8	33,8±3,9	-5,5±1,9	-3,7±0,9	-14,8±4,0	-10,0±2,8
	2091-2100	31,5±4,9	34,7±4,4	-5,7±2,3	-2,9±1,6	-15,3±5,4	-7,8±4,7
Αττική	1961-1990	34,2±5,5	34,3±3,8				
	2071-2080	29,8±4,8	31,3±4,4	-4,3±1,5	-3,0±1,4	-12,6±3,8	-9,0±4,3
	2081-2090	28,8±4,8	30,6±3,9	-5,3±1,9	-3,7±0,7	-15,6±4,5	-11,0±2,4
	2091-2100	28,9±5,1	31,6±4,4	-5,2±2,3	-2,7±1,6	-15,3±6,0	-8,0±5,0
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	35,7±5,4	36,5±3,6				
	2071-2080	31,1±4,6	33,1±4,5	-4,6±1,6	-3,5±1,4	-12,8±3,8	-9,7±4,2
	2081-2090	29,7±4,5	32,4±3,6	-6,0±1,9	-4,1±0,7	-16,9±4,2	-11,4±2,3
	2091-2100	29,7±4,5	33,4±4,0	-6,1±2,3	-3,1±1,6	-16,8±5,3	-8,6±4,5
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	43,6±6,7	45,0±4,8				
	2071-2080	39,1±5,9	41,1±5,4	-4,4±2,1	-3,8±2,0	-10±4,1	-8,7±4,8
	2081-2090	36,9±5,5	40,3±4,5	-6,6±2,1	-4,6±1,4	-15,1±3,5	-10,3±3,0
	2091-2100	35,7±5,2	41,2±5,0	-7,9±2,8	-3,8±2,0	-17,8±4,9	-8,5±4,5
Ιόνιο	1961-1990	38,6±6,0	39,8±4,1				
	2071-2080	34,9±6,4	36,2±4,5	-3,7±2,0	-3,6±1,4	-9,7±5,3	-9,1±4,0
	2081-2090	33,0±6,0	35,8±4,5	-5,6±1,7	-3,9±0,8	-14,7±4,6	-10,1±2,8
	2091-2100	32,1±6,3	36,6±4,8	-6,5±2,1	-3,2±1,6	-17,1±5,8	-8,3±4,5
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	37,6±5,3	39,7±2,2				
	2071-2080	33,2±4,8	36,0±3,3	-4,4±2,0	-3,8±1,8	-11,6±4,7	-9,6±4,7
	2081-2090	31,3±4,7	35,4±2,5	-6,4±2,1	-4,4±1,2	-16,9±4,7	-11,0±3,0
	2091-2100	30,8±4,5	36,3±3,0	-6,8±2,5	-3,5±1,8	-17,8±5,6	-8,8±4,5
Επικράτεια	1961-1990	35,8±4,4	36,4±2,1				
	2071-2080	31,7±4,3	33,3±3,1	-4,0±1,6	-3,1±1,4	-11,3±4,3	-8,8±4,2
	2081-2090	30,2±4,2	32,7±2,6	-5,5±1,7	-3,8±1,0	-15,5±4,3	-10,4±2,9
	2091-2100	30,0±4,1	33,6±3,1	-5,7±1,8	-2,9±1,7	-16,1±4,8	-8,0±4,8

Κατά τα λοιπά ισχύουν όλα όσα αναφέρονται στην αντίστοιχη θέση του Πίνακα 1.7.1α, β, γ.

Πίνακας 1.8.α

Μέσες τιμές για τις τριακονταετίες 1961-1990*, 2021-2050 και 2071-2100 και η τυπική απόκλιση 12 RCMs από το πρόγραμμα ENSEMBLES. SRES A1B των κλιματικών παραμέτρων: μέση θερμοκρασία αέρα στα 2μ. από την επιφάνεια (T, °C), βροχόπτωση (B, χλστ./έτος), σχετική υγρασία στα 2 μ. από την επιφάνεια (Υ, %), κλάσμα νεφοκάλυψης (C, %), εισερχόμενη ολική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (S, W/τετρ. μ.), ταχύτητα ανέμου (V, μ./δευτ.) και μεταβολές των παραμέτρων αυτών μεταξύ των περιόδων 2071-2100 και 1961-1990 και μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	T	ΔT	(%)	B	ΔB	(%)
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	12,33±1,52			658,9±143,7		
	2021-2050	13,94±1,56	1,61±0,44	13,3±4,2	605,8±126,3	-53,0±33,9	-7,8±4,1
	2071-2100	15,90±1,71	3,57±0,84	29,4±7,6	539±114,5	-119,8±47,8	-18±4,9
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	12,91±1,35			709,8±184,7		
	2021-2050	14,51±1,36	1,60±0,44	12,6±4,0	651,2±169,4	-58,6±26,3	-8,2±2,9
	2071-2100	16,39±1,53	3,49±0,85	27,3±7,4	580,4±155,6	-129,4±49,2	-18,3±4,7
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	15,82±1,22			509,7±205,6		
	2021-2050	17,33±1,15	1,51±0,53	9,7±3,8	501,4±198,8	-8,3±30,3	-1,1±5,6
	2071-2100	19,04±1,25	3,23±1,00	20,7±7,1	450,8±189,1	-59,0±39,9	-11,9±7,0
Κυκλάδες	1961-1990	17,58±0,81			449,5±169,2		
	2021-2050	18,91±0,94	1,33±0,30	7,6±1,6	426,9±158,4	-22,6±33,1	-4,4±6,7
	2071-2100	20,51±1,00	2,92±0,59	16,7±3,4	371,4±166,3	-78,2±26,8	-19±8,0
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	16,83±0,91			585,3±230,6		
	2021-2050	18,27±1,04	1,44±0,38	8,5±2,2	558,1±219,6	-27,3±49,9	-4,2±7,7
	2071-2100	19,97±1,17	3,14±0,75	18,7±4,5	491,3±215,3	-94,1±32,9	-17,1±6,0
Δωδεκάνησα	1961-1990	18,26±0,70			479,4±216,8		
	2021-2050	19,58±0,81	1,32±0,32	7,2±1,7	445,0±197,8	-34,3±39,9	-6,4±7,9
	2071-2100	21,22±0,90	2,96±0,65	16,2±3,6	385,1±196,9	-94,3±29,1	-21,2±7,3
Κρήτη	1961-1990	16,35±0,91			567,8±224,3		
	2021-2050	17,73±1,01	1,38±0,35	8,5±2,2	504,7±183,3	-63,1±50,7	-9,8±6,3
	2071-2100	19,47±1,21	3,12±0,67	19,1±4,1	407±164,4	-160,8±79,6	-28,1±8,0
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	14,48±1,37			507,4±111,8		
	2021-2050	16,02±1,41	1,54±0,42	10,8±3,2	480,5±97,9	-26,9±29,6	-5,0±4,9
	2071-2100	17,88±1,58	3,41±0,80	23,7±5,9	421,8±102,4	-85,6±33,7	-17,2±6,5
Αττική	1961-1990	15,32±1,19			379,2±108,3		
	2021-2050	16,86±1,24	1,54±0,42	10,1±3,0	353,6±97,9	-25,5±26,7	-6,6±6,3
	2071-2100	18,69±1,44	3,37±0,80	22,1±5,4	302,5±94,8	-76,7±28,4	-20,8±6,8
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	15,72±1,13			479,6±81,1		
	2021-2050	17,19±1,21	1,46±0,36	9,3±2,4	442,1±79,4	-37,6±20,7	-7,9±4,6
	2071-2100	19,00±1,38	3,27±0,70	20,9±4,6	371,8±82,0	-107,9±27,0	-23,0±7,0
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	12,28±1,25			1185,4±302,9		
	2021-2050	13,8±1,40	1,52±0,43	12,4±3,5	1084,5±304,0	-100,9±41,1	-9,0±4,3
	2071-2100	15,76±1,63	3,48±0,78	28,4±6,3	932,4±264,7	-253,0±87,4	-21,8±5,8
Ιόνιο	1961-1990	17,31±0,90			786,6±247,8		
	2021-2050	18,59±1,01	1,28±0,37	7,4±2,1	738,6±250,4	-48,0±35,9	-6,6±5,3
	2071-2100	20,28±1,08	2,97±0,63	17,2±3,8	652,0±246,2	-134,6±44,3	-18,2±6,8
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	14,41±1,16			881,1±229,7		
	2021-2050	15,89±1,30	1,48±0,40	10,3±2,7	786,5±218,6	-94,7±48,1	-10,9±5,7
	2071-2100	17,79±1,51	3,39±0,74	23,6±5,1	655,2±202,6	-225,9±59,7	-26,2±6,0
Επικράτεια	1961-1990	15,97±0,94			585,2±165,0		
	2021-2050	17,39±1,03	1,42±0,38	8,9±2,4	546,9±154,2	-38,3±27,4	-6,4±4,2
	2071-2100	19,14±1,16	3,17±0,72	19,9±4,7	476,5±155,3	-108,7±26	-19,3±5,5

* Οι μικρές διαφορές ως προς τις εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων στην περίοδο αναφοράς 1961-1990 για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών οφείλονται στο ότι οι κλιματικές παράμετροι υπολογίζονται από διαφορετικά σύνολα κλιματικών προσομοιώσεων για τα διαφορετικά σενάρια.

Πίνακας 1.8.β

Μέσες τιμές για τις τριακονταετίες 1961-1990*, 2021-2050 και 2071-2100 και η τυπική απόκλιση 12 RCMs από το πρόγραμμα ENSEMBLES. SRES A1B των κλιματικών παραμέτρων: μέση θερμοκρασία αέρα στα 2μ. από την επιφάνεια (T, °C), βροχόπτωση (B, χλστ./έτος), σχετική υγρασία στα 2 μ. από την επιφάνεια (Υ, %), κλάσμα νεφοκάλυψης (C, %), εισερχόμενη ολική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (S, W/τετρ. μ.), ταχύτητα ανέμου (V, μ./δευτ.) και μεταβολές των παραμέτρων αυτών μεταξύ των περιόδων 2071-2100 και 1961-1990 και μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	Υ	ΔΥ	(%)	C	ΔC	(%)
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	67,01±7,21			180,7±17,3		
	2021-2050	65,27±7,06	-1,74±0,63	-2,6±1,0	182,5±16,8	1,8±1,5	1,0±0,8
	2071-2100	63,53±6,59	-3,48±1,51	-5,1±2,3	184,3±15,3	3,6±2,8	2,1±1,6
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	68,57±6,25			178,6±16,9		
	2021-2050	66,93±6,24	-1,64±0,46	-2,4±0,7	180,3±16,4	1,8±1,4	1,0±0,8
	2071-2100	65,25±5,80	-3,32±1,21	-4,8±1,8	182,2±15,1	3,6±2,8	2,1±1,6
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	74,20±3,85			186,5±18,6		
	2021-2050	73,26±3,86	-0,94±0,61	-1,3±0,8	187,3±18,4	0,9±1,3	0,5±0,7
	2071-2100	72,52±3,88	-1,68±1,32	-2,3±1,8	188,2±18,5	1,8±2,2	1,0±1,1
Κυκλάδες	1961-1990	73,93±3,08			196,0±20,8		
	2021-2050	73,64±2,96	-0,29±0,41	-0,4±0,6	197,0±20,9	1,0±1,0	0,5±0,5
	2071-2100	73,48±2,66	-0,45±0,6	-0,6±0,8	198,1±21,5	2,1±1,9	1,1±0,9
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	71,75±3,82			194,3±19,2		
	2021-2050	71,01±3,91	-0,75±0,27	-1,0±0,4	195,3±19,3	1,1±1,1	0,6±0,6
	2071-2100	70,14±3,68	-1,62±0,81	-2,2±1,1	196,7±19,3	2,4±2,0	1,2±0,9
Δωδεκάνησα	1961-1990	72,75±2,79			201,0±22,0		
	2021-2050	72,50±2,75	-0,25±0,32	-0,3±0,4	202,1±22,0	1,1±0,8	0,5±0,4
	2071-2100	72,32±2,41	-0,42±0,76	-0,6±1,0	203,4±22,8	2,4±1,7	1,2±0,8
Κρήτη	1961-1990	71,56±3,69			200,6±19,0		
	2021-2050	70,79±3,68	-0,77±0,38	-1,1±0,5	202,2±19,0	1,6±1,3	0,8±0,6
	2071-2100	69,95±3,85	-1,61±1,05	-2,3±1,5	203,9±19,1	3,3±2,5	1,7±1,2
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	66,68±5,93			188,3±17,7		
	2021-2050	65,43±5,85	-1,25±0,58	-1,9±0,9	189,7±17,3	1,4±1,5	0,8±0,8
	2071-2100	64,06±5,54	-2,63±1,46	-3,9±2,3	191,2±16,0	2,9±2,6	1,6±1,4
Αττική	1961-1990	66,51±4,32			192,4±17,3		
	2021-2050	65,28±4,26	-1,23±0,64	-1,9±1,0	193,7±17,0	1,3±1,6	0,7±0,8
	2071-2100	63,98±4,04	-2,53±1,59	-3,8±2,5	195,2±16,6	2,8±2,9	1,5±1,5
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	67,50±5,48			195,3±18,5		
	2021-2050	66,50±5,59	-1,01±0,49	-1,5±0,8	196,7±18,3	1,5±1,3	0,8±0,7
	2071-2100	65,31±5,45	-2,20±1,23	-3,3±1,9	198,4±17,5	3,1±2,4	1,6±1,2
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	71,38±6,17			179,1±18,7		
	2021-2050	69,92±6,23	-1,46±0,46	-2,1±0,7	181,6±18,3	2,5±1,6	1,4±0,9
	2071-2100	67,96±6,18	-3,41±0,98	-4,8±1,4	184,1±16,8	5,0±2,5	2,9±1,4
Ιόνιο	1961-1990	73,16±3,56			186,9±19,7		
	2021-2050	72,84±3,72	-0,32±0,44	-0,5±0,6	188,3±19,6	1,4±0,9	0,7±0,5
	2071-2100	72,47±3,72	-0,69±0,72	-1,0±1,0	189,6±19,5	2,7±2,0	1,5±1,0
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	70,55±5,2			189,9±19,3		
	2021-2050	69,25±5,27	-1,29±0,35	-1,9±0,5	192,2±19,0	2,2±1,3	1,2±0,7
	2071-2100	67,45±5,26	-3,09±0,94	-4,4±1,4	194,5±18,0	4,5±2,2	2,5±1,2
Επικράτεια	1961-1990	71,40±3,71			191,1±18,8		
	2021-2050	70,61±3,70	-0,79±0,25	-1,1±0,4	192,4±18,8	1,3±1,0	0,7±0,5
	2071-2100	69,78±3,42	-1,62±0,73	-2,3±1,0	193,8±18,7	2,7±2,1	1,5±1,0

* Οι μικρές διαφορές ως προς τις εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων στην περίοδο αναφοράς 1961-1990 για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών οφείλονται στο ότι οι κλιματικές παράμετροι υπολογίζονται από διαφορετικά σύνολα κλιματικών προσομοιώσεων για τα διαφορετικά σενάρια.

Πίνακας 1.8.γ

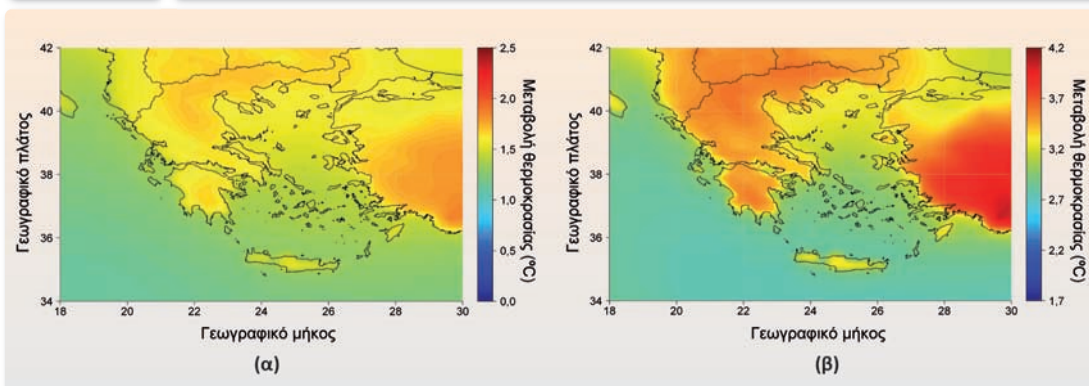
Μέσες τιμές για τις τριακονταετίες 1961-1990*, 2021-2050 και 2071-2100 και η τυπική απόκλιση 12 RCMs από το πρόγραμμα ENSEMBLES. SRES A1B των κλιματικών παραμέτρων: μέση θερμοκρασία αέρα στα 2μ. από την επιφάνεια (T, °C), βροχόπτωση (B, χλστ./έτος), σχετική υγρασία στα 2 μ. από την επιφάνεια (Υ, %), κλάσμα νεφοκάλυψης (C, %), εισερχόμενη ολική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία στην επιφάνεια (S, W/τετρ. μ.), ταχύτητα ανέμου (V, μ./δευτ.) και μεταβολές των παραμέτρων αυτών μεταξύ των περιόδων 2071-2100 και 1961-1990 και μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990

Κλιματικές περιοχές	Περίοδοι	S	ΔS	(%)	V	ΔV	(%)
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	2,90±0,83			41,4±8,3		
	2021-2050	2,88±0,81	-0,01±0,04	-0,4±1,2	39,2±8,0	-2,2±0,6	-5,3±1,3
	2071-2100	2,82±0,77	-0,07±0,09	-2,1±2,7	36,7±7,8	-4,7±1,2	-11,4±3,0
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	3,54±0,86			41,7±7,5		
	2021-2050	3,56±0,86	0,02±0,03	0,5±0,9	39,4±7,3	-2,2±0,5	-5,4±1,3
	2071-2100	3,57±0,82	0,02±0,08	0,9±2,0	36,9±7,1	-4,8±1,1	-11,6±3,0
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	6,21±0,96			39,2±5,9		
	2021-2050	6,26±0,95	0,05±0,08	0,8±1,4	37,0±5,7	-2,1±0,6	-5,5±1,7
	2071-2100	6,38±0,96	0,18±0,18	2,9±2,9	34,7±5,7	-4,5±1,1	-11,7±3,1
Κυκλάδες	1961-1990	6,51±1,24			36,5±6,3		
	2021-2050	6,51±1,24	0,01±0,06	0,1±0,9	34,2±6,4	-2,3±0,6	-6,4±2,0
	2071-2100	6,64±1,28	0,13±0,12	2,0±1,8	31,8±6,4	-4,7±1,0	-13,2±3,8
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	5,74±1,13			35,6±5,5		
	2021-2050	5,75±1,11	0,01±0,05	0,3±1,1	33,3±5,4	-2,3±0,5	-6,5±1,5
	2071-2100	5,87±1,13	0,13±0,12	2,4±2,0	30,8±5,3	-4,8±1,1	-13,7±3,7
Δωδεκάνησα	1961-1990	6,08±0,69			34,6±7,4		
	2021-2050	6,03±0,65	-0,05±0,11	-0,8±1,8	32,2±7,4	-2,4±0,5	-7,2±2,0
	2071-2100	6,01±0,62	-0,07±0,18	-1,1±2,9	29,7±7,5	-4,9±1,1	-14,7±5,0
Κρήτη	1961-1990	4,61±1,25			36,6±5,9		
	2021-2050	4,59±1,24	-0,02±0,04	-0,3±0,9	34,1±5,5	-2,5±0,7	-6,8±1,6
	2071-2100	4,64±1,23	0,04±0,08	0,9±1,7	31,4±5,2	-5,2±1,4	-14,2±3,2
Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	3,47±1,08			37,9±7,5		
	2021-2050	3,47±1,07	0,00±0,03	0,1±0,8	35,8±7,1	-2,1±0,6	-5,6±1,5
	2071-2100	3,46±1,04	-0,01±0,06	0,2±1,8	33,5±6,8	-4,4±1,2	-11,6±3,1
Αττική	1961-1990	3,73±1,15			36,9±7,0		
	2021-2050	3,75±1,14	0,02±0,03	0,5±0,8	34,7±6,6	-2,2±0,7	-6,0±1,8
	2071-2100	3,80±1,14	0,07±0,07	2,2±1,9	32,5±6,3	-4,4±1,3	-12,0±3,4
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	4,16±1,27			35,3±6,7		
	2021-2050	4,15±1,27	0,00±0,04	-0,1±0,9	33,1±6,3	-2,2±0,7	-6,2±1,9
	2071-2100	4,18±1,27	0,02±0,11	0,6±2,2	30,9±6,1	-4,4±1,3	-12,6±3,7
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	3,09±1,11			44,9±7,9		
	2021-2050	3,06±1,10	-0,04±0,04	-1,1±1,3	42,4±7,6	-2,5±0,8	-5,7±1,6
	2071-2100	3,01±1,07	-0,09±0,07	-2,5±1,7	39,4±7,6	-5,5±1,1	-12,4±2,9
Ιόνιο	1961-1990	4,95±0,86			40,6±6,0		
	2021-2050	4,88±0,84	-0,07±0,06	-1,3±1,1	38,3±6,0	-2,3±0,7	-5,8±1,8
	2071-2100	4,78±0,80	-0,17±0,09	-3,4±1,4	35,5±5,9	-5,1±1,0	-12,9±2,9
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	3,60±1,09			40,8±7,0		
	2021-2050	3,57±1,08	-0,03±0,04	-0,8±1,1	38,3±6,7	-2,5±0,8	-6,2±1,9
	2071-2100	3,53±1,06	-0,07±0,07	-2,0±1,6	35,4±6,6	-5,5±1,1	-13,6±3,1
Επικράτεια	1961-1990	5,02±0,87			38,0±5,8		
	2021-2050	5,00±0,86	-0,01±0,04	-0,3±0,9	35,8±5,7	-2,3±0,5	-6±1,4
	2071-2100	5,01±0,84	0,00±0,07	0,1±1,4	33,3±5,6	-4,8±1,0	-12,7±3,1

* Οι μικρές διαφορές ως προς τις εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων στην περίοδο αναφοράς 1961-1990 για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών οφείλονται στο ότι οι κλιματικές παράμετροι υπολογίζονται από διαφορετικά σύνολα κλιματικών προσομοιώσεων για τα διαφορετικά σενάρια.

Διάγραμμα 1.25

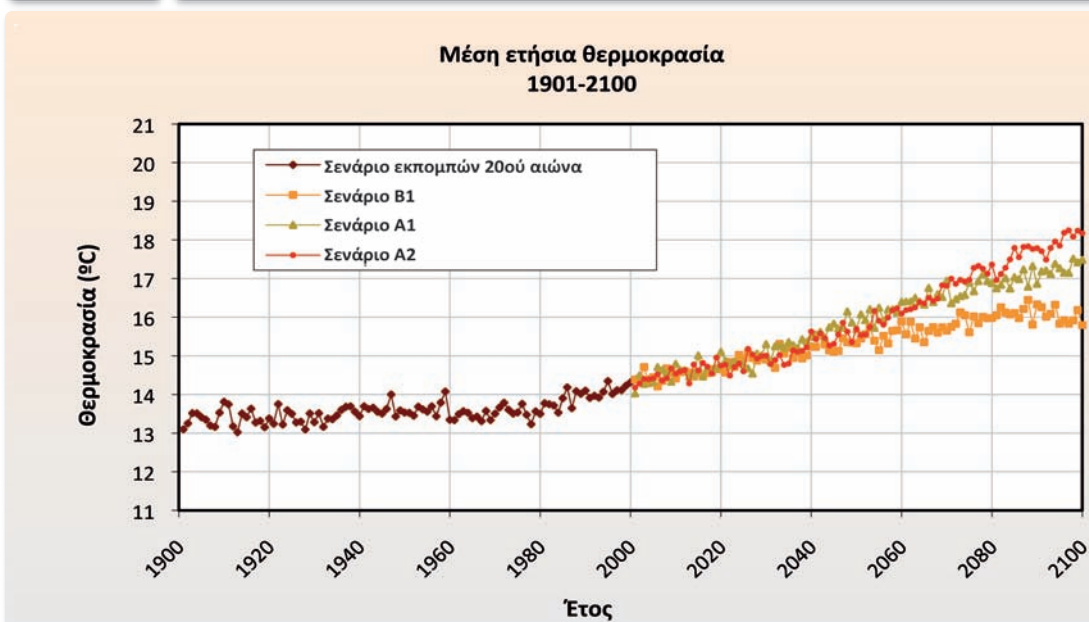
Μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ των περιόδων (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



Μέση τιμή των 12 RCMs του προγράμματος ENSEMBLES. Σενάριο A1B.

Διάγραμμα 1.26

Χρονική εξέλιξη της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά τη χρονική περίοδο 2000-2100 για την ελληνική επικράτεια με βάση τα Σενάρια Εκπομπών B1, A1B και A2



Μέσος όρος 10 προσομοιώσεων με AOGCMs.

Στο Διάγραμμα 1.25 απεικονίζονται οι μεταβολές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα των περιόδων 2021-2050 και 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, 1961-1990, για το αμέσως ηπιότερο Σενάριο A1B. Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 1.25, τμήμα (α), όλες οι περιοχές της Ελλάδας αναμένεται το 2021-2050 να έχουν περίπου κατά 1,5 °C υψηλότερες μέσες ετήσιες θερμοκρασίες. Η άνοδος της θερμοκρασίας, όπως προαναφέρθηκε, θα είναι σχετικά μεγαλύτερη κατά το θέρος και σχετικά μικρότερη κατά το χειμώνα. Τονίζεται ότι στο εγγύς μέλλον οι διαφορές ως

προς τις εκτιμήσεις για τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων εκπομπών θα είναι μικρές (Διάγραμμα 1.26, Καψωμενάκης, 2009). Κατά τη δεκαετία 2091-2100, βάσει του Σεναρίου Εκπομπών A1B, η μέση θερμοκρασία για την επικράτεια προβλέπεται ότι θα είναι υψηλότερη της αντίστοιχης την περίοδο αναφοράς κατά 3,2 °C το χειμώνα, κατά 4,2 °C το θέρος και κατά περίπου 3,5 °C την άνοιξη, το φθινόπωρο και για το σύνολο του έτους. Η άνοδος της θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο για τις διάφορες κλιματικές περιοχές της Ελλάδος κυμαίνεται μεταξύ 3 °C και 3,5 °C, όπου οι μεγαλύτερες τιμές προβλέπονται για τη Βόρεια Ελλάδα και οι μικρότερες για τα νησιά. Κατά το θέρος η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται ότι θα προσεγγίσει τους 4,5-5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ αντίθετα στα νησιά δεν θα ξεπεράσει τους 4 °C.

Η προβλεπόμενη άνοδος της μέσης θερμοκρασίας κατά το τέλος του 21ου αιώνα για την περίπτωση του Σεναρίου Εκπομπών B2 είναι μικρότερη περίπου κατά 1,3 °C σε σύγκριση με την αντίστοιχη άνοδο για το Σενάριο Εκπομπών A2. Η διαφορά αυτή είναι μικρότερη το χειμώνα και την άνοιξη (1 °C) και μεγαλύτερη το φθινόπωρο (1,5 °C) και το θέρος (1,7 °C).

Τέλος, η άνοδος της θερμοκρασίας βάσει του Σεναρίου B1 προβλέπεται να είναι πιο ήπια σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σενάρια που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του αέρα για την επικράτεια κατά τη δεκαετία 2091-2100 προβλέπεται ότι θα είναι υψηλότερη της αντίστοιχης της περιόδου αναφοράς κατά 2 °C το χειμώνα, κατά 2,2 °C την άνοιξη, κατά 3 °C το θέρος και κατά 2,4 °C το φθινόπωρο και κατά το σύνολο του έτους. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι διαφορές της μεταβολής της θερμοκρασίας μεταξύ των διαφορετικών κλιματικών περιοχών είναι μικρότερες για την περίπτωση του Σεναρίου B1 συγκριτικά με τα υπόλοιπα υπό μελέτη σενάρια εκπομπών.

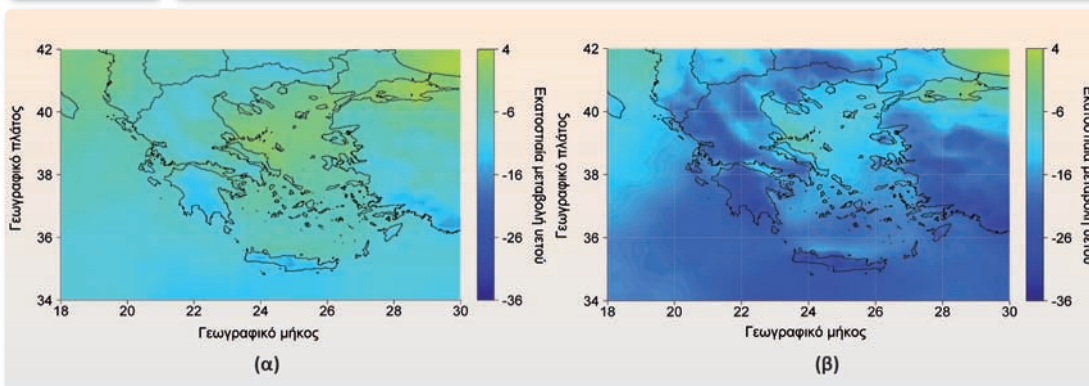
Τονίζεται ότι η τάση της θερμοκρασίας και για τα τέσσερα υπό μελέτη σενάρια εκπομπών είναι ανοδική σε ολόκληρο τον 21ο αιώνα. Ειδικότερα για την περίοδο 2071-2100 η τάση αυτή είναι εντονότερη για τη περίπτωση των Σεναρίων A2 (0,5 °C/δεκαετία) και A1B (0,4 °C/δεκαετία), πιο ήπια για την περίπτωση του Σεναρίου B2 (0,25 °C/δεκαετία) και ακόμα ηπιότερη για την περίπτωση του Σεναρίου B1, το οποίο είναι και το μοναδικό σενάριο βάσει του οποίου η τάση αύξησης της θερμοκρασίας προς το τέλος του 21ου αιώνα επιβραδύνεται (0,1 °C/δεκαετία). Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια η διαφορά ως προς την προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ των τεσσάρων σεναρίων να λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή της στα τελευταία χρόνια του 21ου αιώνα, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1.26.

Βροχόπτωση

Με βάση τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων, ο υετός που κατακρημνίζεται κατά τη διάρκεια του έτους θα μειωθεί στο μέλλον στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας για την περίπτωση και των τριών σεναρίων εκπομπών για τα οποία έγιναν εκτιμήσεις της μεταβολής του. Η μείωση του υετού εκτιμάται ότι θα είναι ιδιαίτερα σημαντική για την περίπτωση των Σεναρίων A2 και A1B και πιο ήπια για την περίπτωση του Σεναρίου B2.

Διάγραμμα 1.27

Εκατοστιαίες μεταβολές του μέσου ετήσιου ύψους του νετού μεταξύ των περιόδων (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



Μέση τιμή των 12 RCMs του προγράμματος ENSEMBLES. Σενάριο A1B.

Στην περίπτωση του Σεναρίου A2, το ύψος του νετού ανά την επικράτεια αναμένεται ότι κατά την περίοδο 2071-2100 θα μειωθεί σε σχέση με την περίοδο αναφοράς κατά 16% το χειμώνα, κατά 19% την άνοιξη, κατά 47% το θέρος, κατά 10% το φθινόπωρο και κατά 17% για το έτος συνολικά. Η εκατοστιαία μείωση του μέσου ετήσιου νετού εκτιμάται ότι θα είναι μεγαλύτερη στα δυτικά ηπειρωτικά και την Ανατολική Πελοπόννησο, όπου θα ξεπεράσει το 20%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος εκτός του Βόρειου Αιγαίου η μείωσή του θα κυμανθεί μεταξύ 15% και 20% και στο Βόρειο Αιγαίο δεν αναμένεται να ξεπεράσει το 10%. Κατά το χειμώνα, εποχή κατά την οποία καταγράφεται το μεγαλύτερο ύψος νετού στην Ελλάδα, η μεγαλύτερη εκατοστιαία μείωση του νετού αναμένεται να σημειωθεί στα ανατολικά ηπειρωτικά τμήματα, τη Δυτική Πελοπόννησο και το Νότιο Αιγαίο και να ξεπεράσει το 18%. Αντίθετα, στο Βόρειο Αιγαίο η μείωση της βροχόπτωσης θα είναι μικρότερη από 8%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η μείωσή της θα κυμανθεί μεταξύ 9% και 12%. Η εκατοστιαία μείωση της βροχόπτωσης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της κατά το θέρος, και στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδος ξεπερνά το 40%. Ωστόσο, σε απόλυτους αριθμούς η μείωση του νετού κατά το θέρος θα είναι μικρή, με εξαίρεση τη Βόρεια Ελλάδα, επειδή και σήμερα το ύψος της βροχής κατά το θέρος στην Ελλάδα (με εξαίρεση τα βόρεια ηπειρωτικά) είναι μικρό έως ελάχιστο. Κατά την άνοιξη στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδος το ύψος του νετού θα μειωθεί σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20%, ενώ και στην υπόλοιπες περιοχές η μείωσή του θα προσεγγίσει το 15%. Τέλος κατά το φθινόπωρο σημαντική μείωση του νετού, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 18%, αναμένεται στη Δυτική Ελλάδα, τη Δυτική Πελοπόννησο και την Ανατολική Μακεδονία-Θράκη.

Στο Διάγραμμα 1.27 απεικονίζονται οι εκατοστιαίες μεταβολές του μέσου ετήσιου ύψους του νετού των περιόδων 2021-2050 και 2071-2100 σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς για την περίπτωση του Σεναρίου A1B. Το ύψος του νετού στην επικράτεια κατά την περίοδο 2021-2050 θα μειωθεί σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς περίπου κατά 5% (Πίνακας 1.8α πιο

πάνω). Η εκατοστιαία μείωση του μέσου ετήσιου υετού κατά την περίοδο 2021-2050 προβλέπεται ότι θα είναι μεγαλύτερη στην Κρήτη και στην Πελοπόννησο, όπου θα προσεγγίσει το 15%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος θα κυμανθεί μεταξύ 5% και 10% και στο Βόρειο Αιγαίο θα παρουσιάσει μικρή αύξηση (Διάγραμμα 1.27, τμήμα α). Μεγαλύτερη θα είναι η μείωση του υετού που κατακρημνίζεται ανά την επικράτεια κατά το τέλος του 21ου αιώνα. Πιο συγκεκριμένα, για την Ελλάδα ως σύνολο το μέσο ύψος του υετού κατά την περίοδο 2071-2100 (για την περίπτωση του Σεναρίου Εκπομπών A1B) προβλέπεται ότι θα μειωθεί κατά 16% το χειμώνα, κατά 26,5% την άνοιξη, κατά 37% το θέρος, κατά 12,5% το φθινόπωρο και κατά 19% για το σύνολο του έτους. Η εκατοστιαία μείωση του μέσου ετήσιου υετού προβλέπεται ότι θα είναι μεγαλύτερη στην Κρήτη και στην Πελοπόννησο, όπου θα προσεγγίσει το 25%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος θα είναι ίση με περίπου 20% και στο Βόρειο Αιγαίο θα είναι μικρότερη από 15% (Διάγραμμα 1.27, τμήμα β). Κατά το χειμώνα η μεγαλύτερη εκατοστιαία μείωση του υετού αναμένεται στην νότια νησιωτική Ελλάδα και την Πελοπόννησο και θα ξεπεράσει το 20%. Στη Δυτική Ελλάδα, το Ιόνιο και τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου ο υετός αναμένεται ότι θα μειωθεί περίπου κατά 15%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η εκατοστιαία μείωσή του ισούται περίπου με 10%. Κατά το θέρος η εκατοστιαία μείωση του υετού θα προσεγγίσει ή και θα ξεπεράσει το 40% στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδος, ενώ ακόμα και στο Βόρειο Αιγαίο, για το οποίο προβλέπεται η μικρότερη εκατοστιαία μείωση του υετού, το ύψος του θα μειωθεί σε ποσοστό μεγαλύτερο από 20%. Κατά την άνοιξη στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδος η βροχόπτωση θα μειωθεί σε ποσοστό άνω του 20%. Τέλος κατά το φθινόπωρο η σημαντικότερη εκατοστιαία μείωση της βροχόπτωσης προβλέπεται για την Κρήτη και τη Δυτική Πελοπόννησο, όπου θα φθάσει το 20%, ενώ στον αντίποδα, στην Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα και το Βόρειο Αιγαίο, η μείωσή της δεν θα ξεπεράσει το 7%.

Στην περίπτωση του Σεναρίου B2 η μείωση της βροχόπτωσης κατά την περίοδο 2071-2100, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς, θα είναι μικρότερη. Το χειμώνα και την άνοιξη, σημαντική μείωση του υετού, περίπου κατά 10%, προβλέπεται μόνο για τη Νότια Ελλάδα. Κατά το φθινόπωρο το ύψος του υετού θα μειωθεί σημαντικά μόνο στη Δυτική Ελλάδα (περίπου κατά 8%), ενώ αντίθετα στη νησιωτική Ελλάδα η βροχόπτωση προβλέπεται ότι θα αυξηθεί μέχρι και κατά 10%. Τέλος, κατά το θέρος η βροχόπτωση θα μειωθεί σημαντικά σε όλη την Ελλάδα. Πάντως, σε απόλυτους αριθμούς, η μείωση του υετού το θέρος θα είναι αξιόλογη μόνο στη Βόρεια Ελλάδα.

Σχετική υγρασία στα 2 μέτρα από την επιφάνεια

Η μέση ετήσια τιμή της σχετικής υγρασίας αναμένεται ότι θα μειωθεί στην Ελλάδα στην περίπτωση των Σεναρίων Εκπομπών A2, A1B και B2. Οι εκτιμώμενες μεταβολές βάσει του Σεναρίου B2 είναι πολύ ηπιότερες σε σύγκριση με το Σενάριο A2, ενώ οι μεταβολές της σχετικής υγρασίας για την περίπτωση του Σεναρίου A1B λαμβάνουν τιμές μεταξύ εκείνων που προ-

βλέπονται για τα Σενάρια A2 και B2. Επιπρόσθετα, από τις προσομοιώσεις προκύπτει ότι και για τα τρία σενάρια εκπομπών οι μεταβολές της σχετικής υγρασίας είναι πολύ ηπιότερες στις νησιωτικές σε σχέση με τις ηπειρωτικές κλιματικές περιοχές. Επίσης είναι κατά πολύ ηπιότερες στο εγγύς μέλλον σε σύγκριση με το τέλος του 21ου αιώνα.

Πιο συγκεκριμένα, προβλέπεται, βάσει του πλέον ακραίου υπό μελέτη Σεναρίου Εκπομπών A2, ότι η μέση ετήσια τιμή της σχετικής υγρασίας θα μειωθεί την περίοδο 2091-2100 κατά 4,5% σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990, στην Ελλάδα ως σύνολο. Η εκατοστιαία μείωση της μέσης ετήσιας τιμής της σχετικής υγρασίας στα δυτικά και βόρεια ηπειρωτικά τμήματα της Ελλάδος θα προσεγγίσει το 10%, στα υπόλοιπα ηπειρωτικά θα κυμανθεί μεταξύ 6% και 8%, ενώ στα νησιά θα είναι μικρότερη και δεν θα ξεπεράσει το 4%. Το χειμώνα η σχετική υγρασία εκτιμάται ότι θα ελαττωθεί κατά 6% έως 8% στις ηπειρωτικές περιοχές, με εξαίρεση τη Δυτική Πελοπόννησο, για την οποία προβλέπεται μικρότερη μείωση (3,5%), ενώ ακόμα μικρότερη μείωση προβλέπεται στις νησιωτικές περιοχές. Η μεγαλύτερη εκατοστιαία μείωση της σχετικής υγρασίας προβλέπεται κατά το θέρος. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση στα δυτικά και βόρεια ηπειρωτικά θα ξεπεράσει το 20%, στα υπόλοιπα ηπειρωτικά θα προσεγγίσει το 15%, ενώ στον αντίποδα, στις νησιωτικές περιοχές, θα κυμανθεί μεταξύ 3% και 7%. Και κατά την άνοιξη η μείωση της σχετικής υγρασίας θα είναι μεγαλύτερη στη Δυτική και Βόρεια Ελλάδα, όπου θα προσεγγίσει το 10%, στις υπόλοιπες ηπειρωτικές περιοχές θα είναι περίπου ίση με 8%, ενώ στα νησιά θα είναι μικρότερη του 5%. Τέλος, για το φθινόπωρο οι εκτιμώμενες μεταβολές της σχετικής υγρασίας είναι παρόμοιες με αυτές για το χειμώνα.

Η μεγαλύτερη εκατοστιαία μείωση της σχετικής υγρασίας και για την περίπτωση του Σεναρίου A1B προβλέπεται κατά το θέρος. Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή θέρους της σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 2091-2100 προβλέπεται ότι θα μειωθεί κατά 12% στα δυτικά και βόρεια ηπειρωτικά τμήματα της Ελλάδος, κατά 6% έως 8% στα υπόλοιπα ηπειρωτικά και κατά 3% έως 5% στις νησιωτικές περιοχές. Το χειμώνα αντίθετα, η σχετική υγρασία εκτιμάται ότι δεν θα μεταβληθεί σημαντικά στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδος. Κατά την άνοιξη η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας προβλέπεται ότι θα ελαττωθεί κατά 6% στις ηπειρωτικές περιοχές, κατά 4% στα νησιά του Βόρειου και του Ανατολικού Αιγαίου και την Κρήτη και σε ποσοστό μικρότερο του 2% στις υπόλοιπες νησιωτικές περιοχές. Τέλος, το φθινόπωρο η σχετική υγρασία θα παρουσιάσει μικρή μείωση στα δυτικά και βόρεια ηπειρωτικά, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές δεν θα μεταβληθεί σημαντικά.

Στην περίπτωση του Σεναρίου B2, οι μεταβολές της σχετικής υγρασίας σε εποχική και ετήσια βάση είναι μικρές, με μοναδική εξαίρεση τη θερινή περίοδο, κατά την οποία προβλέπεται σημαντική μείωση της σχετικής υγρασίας στην ηπειρωτική Ελλάδα (έως και 10%).

Η μείωση της σχετικής υγρασίας οφείλεται εν μέρει στην αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ειδικής υγρασίας κορεσμού. Έτσι, στην περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να αυξηθεί το περιεχόμενο της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς, κάτι το

οποίο συμβαίνει στις ηπειρωτικές περιοχές, ιδίως κατά το θέρος, η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας μειώνεται.

Νεφοκάλυψη

Οι κλιματικές προσομοιώσεις με βάση και τα τρία υπό μελέτη σενάρια εκπομπών δείχνουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της νεφοκάλυψης στην Ελλάδα για τις προσεχείς δεκαετίες σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Η μείωση της νεφοκάλυψης προβλέπεται ότι θα είναι εντονότερη στην περίπτωση του Σεναρίου A2 και ηπιότερη στην περίπτωση του Σεναρίου B2.

Εκτιμάται ότι η εκατοστιαία μείωση της μέσης ετήσιας νεφοκάλυψης μεταξύ της δεκαετίας 2091-2100 και της περιόδου αναφοράς για την επικράτεια θα είναι ίση με 16% και 8% για τα Σενάρια A2 και B2, αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι η χωρική κατανομή της μεταβολής της μέσης ετήσιας τιμής της νεφοκάλυψης προβλέπεται ότι θα είναι ομοιόμορφη και για τα δύο σενάρια εκπομπών. Η εκατοστιαία μείωση της νεφοκάλυψης κατά το χειμώνα για τις διάφορες κλιματικές περιοχές της Ελλάδος κυμαίνεται μεταξύ 10% και 14% για το Σενάριο A2 και μεταξύ 4% και 8% για το Σενάριο B2. Παρόμοια αποτελέσματα με το χειμώνα προκύπτουν για την άνοιξη. Η εκατοστιαία μείωση της νεφοκάλυψης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της κατά το θέρος και είναι ίση με 36% και 20%, αντίστοιχα, για τα Σενάρια A2 και B2 για το σύνολο της Ελλάδος. Ωστόσο, σε απόλυτους αριθμούς η μεταβολή της νεφοκάλυψης κατά το θέρος είναι μικρή, με εξαίρεση τις δυτικές και βόρειες περιοχές της Ελλάδος, επειδή και σήμερα η νεφοκάλυψη είναι μικρή κατά το θέρος. Τέλος, κατά το φθινόπωρο το κλάσμα νεφοκάλυψης για το σύνολο της Ελλάδος αναμένεται να μειωθεί σε ποσοστό 14% και 7% για τα Σενάρια A2 και B2 αντίστοιχα.

Η νεφοκάλυψη αναμένεται ότι θα ελαττωθεί στο μέλλον και στην περίπτωση του Σεναρίου Εκπομπών A1B. Εν γένει η εκατοστιαία μείωση του μέσου κλάσματος νεφοκάλυψης στις διάφορες κλιματικές περιοχές λαμβάνει τιμές μεταξύ εκείνων που προβλέπονται για τα Σενάρια A2 και B2.

Εισερχόμενη στην επιφάνεια της γης ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπό μελέτη προσομοιώσεων, η εισερχόμενη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος που φθάνει στην επιφάνεια θα παρουσιάσει μικρή αύξηση στην Ελλάδα βάσει των Σεναρίων Εκπομπών A2, A1B και B2. Σημειώνεται ότι η αύξηση αυτή σχετίζεται έως ένα βαθμό με την εκτιμώμενη μείωση την νεφοκάλυψης.

Στην περίπτωση του Σεναρίου Εκπομπών A2, προβλέπεται ότι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του έτους για την επικράτεια θα αυξηθεί κατά 4,5 W/τετρ. μ. την περίοδο 2091-2100 σε σύγκριση με την περίοδο ελέγχου. Στη Βόρεια Ελλάδα αναμένεται αύξηση μεγαλύτερη των 6 W/τετρ. μ., ενώ στον αντίποδα, στις νότιες νησιωτικές περιοχές, η

αύξηση δεν θα ξεπεράσει τα 3 W/τετρ. μέτρο. Επίσης η αύξηση εν γένει θα είναι μεγαλύτερη στη Δυτική σε σύγκριση με την Ανατολική Ελλάδα. Κατά τη χειμερινή περίοδο η εκτιμώμενη αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι μεγαλύτερη στις νοτιότερες περιοχές και σε ορισμένες περιπτώσεις θα φθάσει τα 5 W/τετρ. μ., ενώ στις βόρειες περιοχές θα είναι μικρότερη και δεν θα ξεπεράσει τα 3 W/τετρ. μέτρο. Το θέρος η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προβλέπεται ότι για την Ελλάδα ως σύνολο θα αυξηθεί κατά 3,5 W/τετρ. μέτρο. Η σημαντικότερη αύξηση κατά το θέρος προβλέπεται στη Δυτική και τη Βόρεια Ελλάδα (8-10 W/τετρ. μ.), ενώ στον αντίποδα, στις νότιες νησιωτικές περιοχές, η εν λόγω ακτινοβολία δεν θα μεταβληθεί σημαντικά. Η εντονότερη αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας για την Ελλάδα ως σύνολο προβλέπεται κατά την άνοιξη και θα είναι ίση με 9 W/τετρ. μέτρο. Η αύξηση κατά την άνοιξη εκτιμάται ότι θα είναι μεγαλύτερη στη Δυτική Ελλάδα (15 W/τετρ. μ.), ενώ και στις υπόλοιπες δυτικές και βόρειες περιοχές της χώρας η αύξηση θα ξεπεράσει τα 10 W/τετρ. μέτρο. Στην υπόλοιπη Ελλάδα η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας θα κυμανθεί μεταξύ 6,5 W/τετρ. μ. και 9 W/τετρ. μέτρο. Τέλος, κατά το φθινόπωρο προβλέπεται η συγκριτικά μικρότερη αύξηση της εισερχόμενης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας (2 W/τετρ. μ. για την Ελλάδα ως σύνολο).

Για την περίπτωση του Σεναρίου Εκπομπών A1B, η μέση ετήσια τιμή της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια για την Ελλάδα ως σύνολο προβλέπεται ότι την περίοδο 2091-2100 θα αυξηθεί κατά 2,4 W/τετρ. μέτρο. Η αύξηση θα κυμανθεί στις διάφορες περιοχές της Ελλάδος μεταξύ 2 W/τετρ. μ. και 4,5 W/τετρ. μ., όπου οι μεγαλύτερες τιμές θα αντιστοιχούν στη Δυτική Ελλάδα και οι μικρότερες στις Κυκλάδες, το Ανατολικό Αιγαίο και τα Δωδεκάνησα. Κατά τη χειμερινή περίοδο η αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδος θα κυμανθεί μεταξύ 3 W/τετρ. μ. και 5 W/τετρ. μ., εκτός της Βορείου Ελλάδος, όπου δεν αναμένεται να ξεπεράσει τα 2,5 W/τετρ. μέτρο. Το θέρος η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια δεν αναμένεται να μεταβληθεί σημαντικά για την Ελλάδα ως σύνολο. Η μεγαλύτερη αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας για τη χώρα ως σύνολο προβλέπεται κατά την άνοιξη και θα είναι ίση με 10 W/τετρ. μέτρο. Η αύξηση θα είναι εντονότερη στα δυτικά ηπειρωτικά τμήματα, όπου θα ξεπεράσει τα 13 W/τετρ. μ., ενώ και στην υπόλοιπη Ελλάδα η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι μεγάλη και θα κυμανθεί μεταξύ 8 W/τετρ. μ. και 11 W/τετρ. μέτρο. Τέλος κατά το φθινόπωρο η εισερχόμενη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία προβλέπεται ότι θα μειωθεί. Η μείωση θα είναι ομοιόμορφη ανά την Ελλάδα και θα ισούται με 3 W/τετρ. μέτρο.

Στην περίπτωση του Σεναρίου Εκπομπών B2 η αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανά την Ελλάδα είναι μικρότερη σε σύγκριση με το Σενάριο A2. Ειδικότερα, βάσει των προσομοιώσεων, προκύπτει ότι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία για την Ελλάδα ως σύνολο κατά τη διάρκεια του έτους στο τέλος του 21ου αιώνα θα είναι μεγαλύτερη κατά 2,3 W/τετρ. μ. σε σύγκριση με την περίοδο ελέγχου. Και στην περίπτωση του Σεναρίου B2, η μέγιστη αύξηση

της προσπίπτουσας στην επιφάνεια ηλιακής ακτινοβολίας προβλέπεται την άνοιξη και η ελάχιστη το φθινόπωρο. Επίσης, η μέγιστη αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας προβλέπεται στη Δυτική και τη Βόρεια Ελλάδα και η μικρότερη στις νότιες νησιωτικές περιοχές.

Ταχύτητα ανέμου

Η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου για την Ελλάδα ως σύνολο δεν αναμένεται να μεταβληθεί μεταξύ του μελλοντικού και του παρόντος κλίματος βάσει και των τριών Σεναρίων Εκπομπών (A2, A1B και B2). Εντούτοις σε συγκεκριμένες περιοχές, προς τα τέλη του 21ου αιώνα αναμένονται σημαντικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου σε εποχική και ετήσια βάση.

Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση του πιο ακραίου υπό μελέτη Σεναρίου A2, η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου προβλέπεται ότι θα αυξηθεί στην Ανατολική Ελλάδα, με εξαίρεση τα Δωδεκάνησα, όπου θα μείνει αμετάβλητη, ενώ, στον αντίποδα, θα μειωθεί στα δυτικά. Κατά το χειμώνα η μέση ταχύτητα του ανέμου θα μειωθεί ανά την Ελλάδα. Η μείωσή της θα είναι μεγαλύτερη στα δυτικά, όπου θα φθάσει το 7%, ενώ στις Κυκλάδες και τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου δεν θα ξεπεράσει το 2%. Αντίθετα, η ταχύτητα του ανέμου για την Ελλάδα ως σύνολο εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά το θέρος περίπου κατά 5%. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην προβλεπόμενη από τα πρότυπα ενίσχυση των Ετησίων ανέμων στο Αιγαίο. Ειδικότερα, η μέση ταχύτητα του ανέμου στις Κυκλάδες και τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου θα αυξηθεί κατά το θέρος σε ποσοστό άνω του 10%, ενώ στις υπόλοιπες ανατολικές περιοχές εκτός των Δωδεκανήσων η αύξηση θα φθάσει περίπου το 5%. Στη Δυτική Ελλάδα και τα Δωδεκάνησα η ταχύτητα δεν θα μεταβληθεί σημαντικά. Κατά τις ενδιάμεσες εποχές, η ταχύτητα του ανέμου για την Ελλάδα ως σύνολο προβλέπεται ότι δεν θα μεταβληθεί ουσιαστικά. Ωστόσο, τόσο κατά την άνοιξη όσο και κατά το φθινόπωρο στις Κυκλάδες και τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου προβλέπεται αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, η οποία πιθανώς θα οφείλεται στην αύξηση της έντασης και της συχνότητας των πρόδρομων και των μεταπόρων Ετησίων, αντίστοιχα. Στις υπόλοιπες ανατολικές περιοχές η ταχύτητα του ανέμου θα παρουσιάσει μικρή αύξηση κατά το φθινόπωρο, ενώ κατά την άνοιξη δεν θα μεταβληθεί σημαντικά. Αντίθετα, στη Δυτική Ελλάδα η ένταση των ανέμων θα μειωθεί, ιδίως κατά την άνοιξη.

Στην περίπτωση του ηπιότερου Σεναρίου B2 προβλέπεται ότι οι μεταβολές των μέσων εποχικών και της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου στις διάφορες περιοχές της Ελλάδος θα έχουν το ίδιο πρόσημο με την περίπτωση του Σεναρίου A2 αλλά μικρότερη απόλυτη τιμή. Εξαίρεση αποτελεί η περιοχή του Αιγαίου κατά το θέρος, όπου οι μεταβολές της έντασης των Ετησίων είναι για τα δύο Σενάρια περίπου ίσες.

Τέλος, παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και στην περίπτωση του ενδιάμεσου Σεναρίου A1B. Σε εποχική βάση η ταχύτητα του ανέμου για την Ελλάδα ως σύνολο θα αυξηθεί κατά το

θέρος, εξαιτίας της ενίσχυσης των Ετησίων στο Αιγαίο, περίπου κατά 4%. Τονίζεται ότι, ενώ τα πρότυπα του PRUDENCE (Σενάρια A2 και B2) προβλέπουν ότι η μέγιστη ενίσχυση των Ετησίων θα παρατηρηθεί στο Κεντρικό Αιγαίο, τα πρότυπα του ENSEMBLE (Σενάριο A1B) προβλέπουν ότι η μέγιστη ενίσχυση του ανέμου κατά το θέρος, σε ποσοστό άνω του 10%, αναμένεται στο Βόρειο Αιγαίο. Κατά το χειμώνα αντίθετα προβλέπεται ελάττωση της έντασης του ανέμου σε όλες της περιοχές της Ελλάδος, η οποία θα είναι σημαντικότερη στο Ιόνιο και τη Δυτική Ελλάδα (5%) και ασθενέστερη στην ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα και τα νησιά του Αιγαίου (3%). Κατά τις ενδιάμεσες εποχές οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι αντίστοιχες αυτών που εκτιμώνται για τα Σενάρια A2 και B2. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τάση της έντασης των Ετησίων κατά την περίοδο 2071-2100 είναι ανοδική στην περίπτωση και των τριών σεναρίων εκπομπών.

1.16 Εκτίμηση ακραίων καιρικών φαινομένων και των επιπτώσεών τους στον ελληνικό χώρο

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να είναι πιο σοβαρές εξαιτίας της αλλαγής της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων παρά εξαιτίας μιας μακροχρόνιας αλλαγής στο “μέσο” κλίμα. Αυτό συμβαίνει διότι μια αλλαγή στη μέση τιμή μπορεί να επιφέρει μια δυσανάλογη και μη γραμμική επίπτωση σε περιπτώσεις ακραίων γεγονότων που ξεπερνούν κάποια στατιστικά κατώφλια αναφοράς.

Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των φυσικών και κοινωνικών συστημάτων και του κλιματικού συστήματος, οι επιπτώσεις από μια κλιματική αλλαγή δεν είναι εύκολο να εκτιμηθούν και να περιγραφούν πλήρως και άμεσα. Αντ’ αυτού, χρησιμοποιούνται ως δείκτες οι παρατηρούμενες μεταβολές σε εμφανή και μετρήσιμα χαρακτηριστικά των φυσικών συστημάτων και των ανθρώπινων κοινωνιών τα οποία παρουσιάζουν σημαντική εξάρτηση από την κλιματική αλλαγή και μπορούν να υποδηλώσουν αλλαγές στο σύνολο του συστήματος. Για παράδειγμα, η αλλαγή στη βλαστητική περίοδο των καλλιεργειών μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον αγροτικό τομέα.

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του περιοχικού κλιματικού προτύπου RACMO2, που αναπτύχθηκε στο Βασιλικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας (KNMI), με διακριτική ικανότητα 0,25 μοιρών (25 χλμ. περίπου). Τα δεδομένα του προτύπου δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο του κοινοτικού προγράμματος ENSEMBLES (www.ensembles-eu.org), όπου συμμετέχει και το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Το πρόγραμμα έχει ως αντικείμενο την κατασκευή προτύπων ακραίων κλιματικών φαινομένων και τη μελέτη της αβεβαιότητάς τους. Η επιλογή του συγκεκριμένου προτύπου έγινε επειδή, κατά τον έλεγχο της αξιοπιστίας των κλιματικών προτύπων με τα οποία έγιναν προσομοιώσεις στο πλαίσιο του προγράμματος

ENSEMBLES, βρέθηκε ότι το RACMO2 προσομοιώνει με μεγαλύτερη ακρίβεια τα ακραία της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Τα δεδομένα καλύπτουν μια χρονική περίοδο 30 ετών, 1961-1990, για το παρόν κλίμα και δύο μελλοντικές χρονικές περιόδους, 2021-2050 και 2071-2100, για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής βάσει του Σεναρίου A1B της IPCC. Σε καθεμία από τις 13 επιλεγμένες κλιματικές περιοχές, υπολογίζονται οι αλλαγές σε σχετικούς κλιματικούς δείκτες μεταξύ κάθε μελλοντικής περιόδου (2021-2050 και 2071-2100) και της περιόδου αναφοράς (1961-1990). Το Σενάριο A1B είναι μετριοπαθές όσον αφορά στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και στο ρυθμό της οικονομικής ανάπτυξης (Alcamo et al., 2007). Η πρώτη μελλοντική περίοδος, 2021-2050, επιλέχθηκε ειδικά για τις ανάγκες των φορέων χάραξης πολιτικής, έτσι ώστε να βοηθήσει στον προγραμματισμό τους στο εγγύς μέλλον, και η δεύτερη, 2071-2100, για να αναδείξει το εύρος των μεταβολών στο τέλος του 21ου αιώνα. Με τη χρήση δεδομένων από το πρότυπο αυτό, είναι δυνατή η μελέτη των αλλαγών των κλιματικών παραμέτρων και των δεικτών μεταξύ της παρούσας και καθεμιάς μελλοντικής περιόδου, για τον προσδιορισμό των κλιματικών αλλαγών στις 13 κλιματικές περιοχές στις οποίες χωρίστηκε η Ελλάδα.

Μέγιστη καλοκαιρινή και ελάχιστη χειμερινή θερμοκρασία

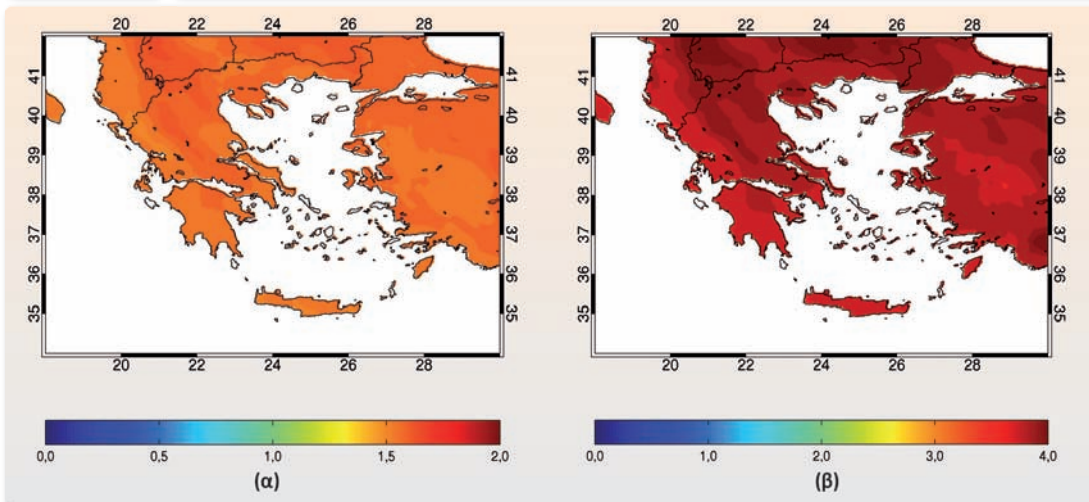
Στο Διάγραμμα 1.28 απεικονίζονται οι αλλαγές στη μέση ελάχιστη χειμερινή θερμοκρασία. Όλες οι περιοχές της Ελλάδος αναμένεται να έχουν περίπου κατά 1,5 °C το 2021-2050 και κατά 3,5 °C το 2071-2100 υψηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες το χειμώνα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με ευρήματα σε μεγάλη κλίμακα, σύμφωνα με τα οποία κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί σημαντική τάση αύξησης των ελάχιστων θερμοκρασιών. Αυτή η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερη στις πιο ορεινές περιοχές, κυρίως στις οροσειρές της Πίνδου και της Βορείου Ελλάδος. Εκεί η αύξηση θα φθάσει τους 2 °C το 2021-2050 και τους 4 °C το 2071-2100.

Η άνοδος αυτής της παραμέτρου μπορεί να επηρεάσει τα δάση, που είναι συνηθισμένα σε ψυχρότερες συνθήκες. Αν οι συνθήκες γίνουν απαγορευτικές για ορισμένες κατηγορίες δασών (π.χ. δάση ελάτης), ενδέχεται αυτά να αρχίσουν να προτιμούν να αναπτύσσονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Το Διάγραμμα 1.29 δείχνει τις μεταβολές της μέσης μέγιστης θερινής θερμοκρασίας. Οι μέσες μέγιστες θερινές θερμοκρασίες αυξάνονται περισσότερο από τις αντίστοιχες ελάχιστες χειμερινές. Αυτή η αύξηση ξεπερνά τον 1,5 °C, φθάνοντας σε μερικές περιπτώσεις τους 2,5 °C για το 2021-2050. Για την περίοδο 2071-2100 η αντίστοιχη αύξηση φθάνει και τους 5 °C. Οι περιοχές που επηρεάζονται περισσότερο είναι οι ηπειρωτικές, που βρίσκονται στο εσωτερικό της χώρας, μακριά από την επίδραση της θάλασσας. Αντίθετα, περιοχές που επηρεάζονται από τη θαλάσσια αύρα παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερες μεταβολές των αντίστοιχων θερμοκρασιών (Κρήτη, νησιά Αιγαίου).

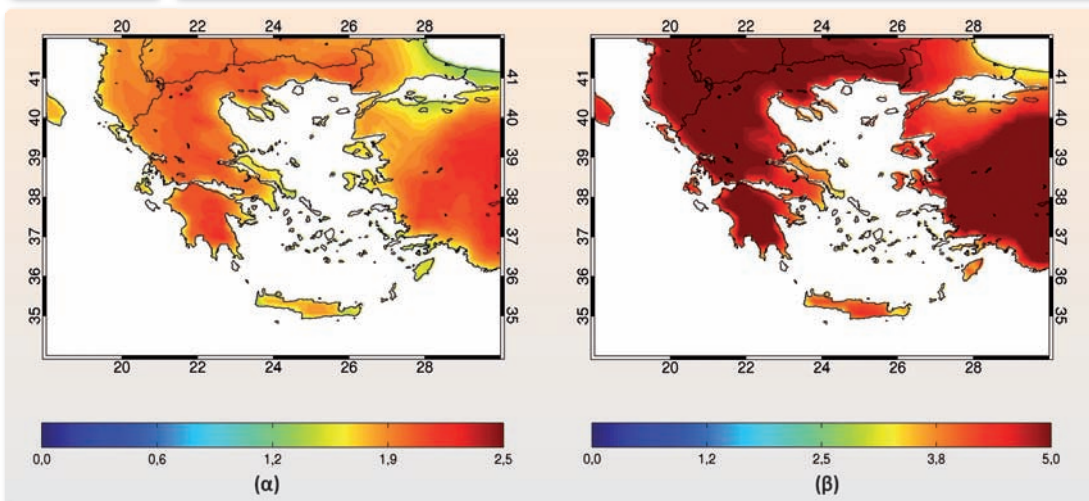
Διάγραμμα 1.28

Μεταβολές της μέσης ελάχιστης χειμερινής θερμοκρασίας μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990 (Χρωματική κλίμακα σε °C)



Διάγραμμα 1.29

Μεταβολές της μέσης μέγιστης θερινής θερμοκρασίας μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990 (Χρωματική κλίμακα σε °C)

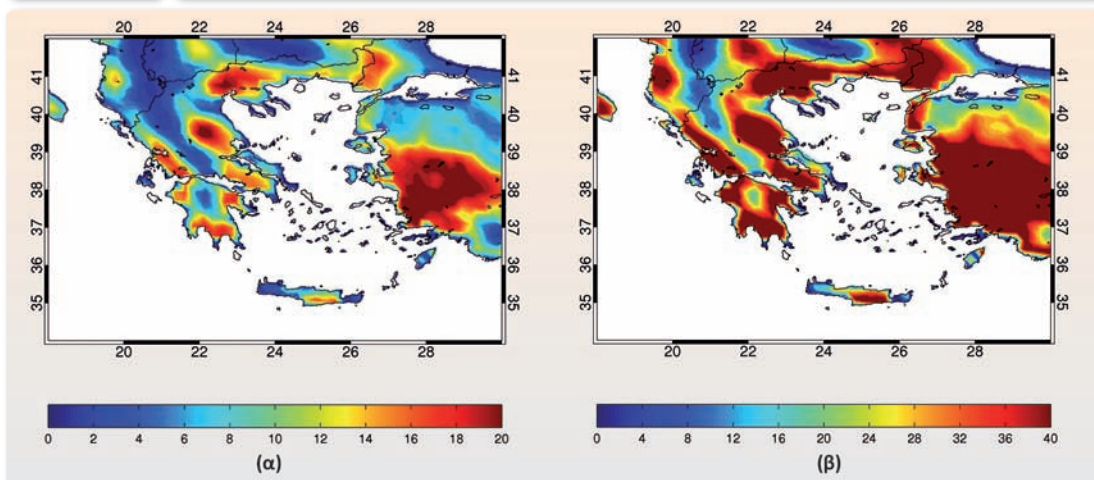


Θερμές ημέρες και νύκτες

Στο Διάγραμμα 1.30 αποτυπώνονται οι αλλαγές στον αριθμό των ημερών, κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπερνά τους 35 °C. Οι αλλαγές αυτές αναμένεται να ασκήσουν σημαντική επίδραση στη δυσφορία του πληθυσμού, ιδίως στις αστικές περιοχές. Είναι εμφανές ότι σε όλη την ελληνική επικράτεια ο αριθμός των ημερών όπου η θερμοκρασία ξεπερνά τους 35 °C αυξάνε-

Διάγραμμα 1.30

Μεταβολές του αριθμού ημερών με μέγιστη θερμοκρασία $> 35^{\circ}\text{C}$ μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990

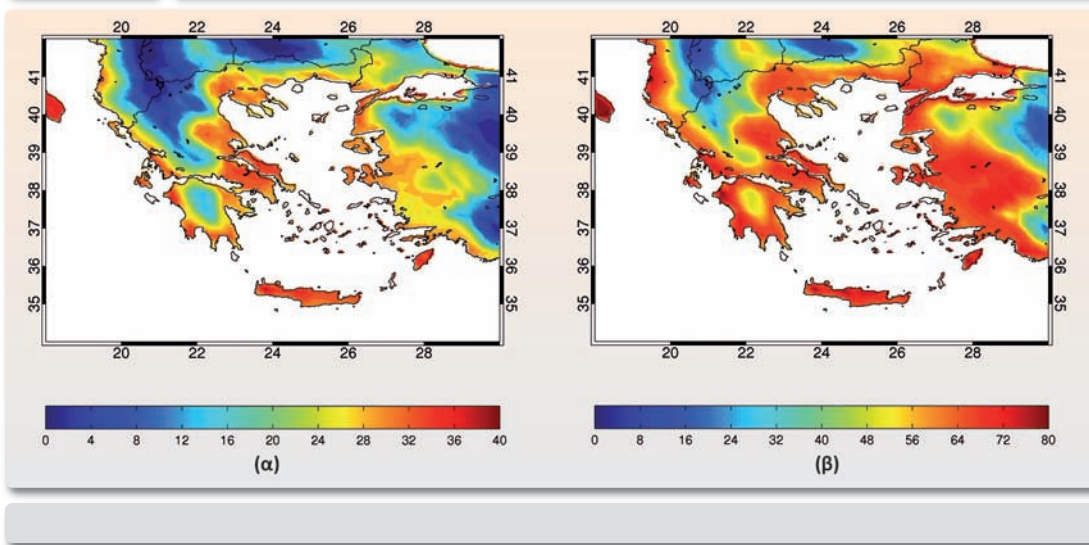


ται. Οι μεγαλύτερες αλλαγές παρατηρούνται στα πεδινά ηπειρωτικά της Στερεάς Ελλάδος, της Θεσσαλίας, της Νότιας Πελοποννήσου και της Κεντρικής Μακεδονίας, όπου αναμένονται μέχρι και 20 το 2021-2050 και μέχρι 40 το 2071-2100 επιπλέον “πολύ θερμές” ημέρες σε ετήσια βάση (σε σχέση με τις “πολύ θερμές” ημέρες της περιόδου 1961-1990). Κάπως μικρότερες αλλαγές θα παρατηρηθούν στην Κρήτη και την Αττική, όπου η αύξηση του αριθμού των “πολύ θερμών” ημερών δεν θα υπερβαίνει τις 15 επιπλέον ημέρες το 2021-2050 και τις 30 επιπλέον ημέρες το 2071-2100. Στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου η αύξηση των αναμενόμενων “πολύ θερμών” ημερών προβλέπεται να είναι μικρότερη, με 10 περισσότερες ημέρες το 2021-2050 και 15 επιπλέον ημέρες το 2071-2100. Αυτό είναι φυσικό λόγω της επίδρασης της παρακείμενης θάλασσας, η οποία παίζει κυρίαρχο ρόλο στο μετριασμό της έντονης ζέστης το καλοκαίρι, κυρίως εξαιτίας της ευεργετικής επίδρασης της θαλάσσιας αύρας.

Μια επίσης σημαντική παράμετρος είναι η αλλαγή του αριθμού των θερμών νυκτών κάθε χρόνο. Ορίζονται ως θερμές (ή τροπικές) νύκτες εκείνες κατά τις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 20°C . Η παράμετρος αυτή συνδέεται στενά με την υγεία του πληθυσμού, δεδομένου ότι μια “θερμή νύκτα” μετά από μια ημέρα καύσωνα μπορεί να οδηγήσει σε άνοδο του επιπέδου δυσφορίας των ανθρώπων. Το Διάγραμμα 1.31 εμφανίζει τις αλλαγές αυτής της παραμέτρου για την Ελλάδα. Οι θερμές νύκτες αυξάνονται σχεδόν παντού, αλλά οι παράκτιες και νησιωτικές περιοχές πλήττονται περισσότερο από ό,τι περιοχές στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας. Η Κρήτη, οι παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Ελλάδος και τα νησιά του Αιγαίου υπολογίζεται ότι θα βιώσουν, ανά έτος, 40 επιπλέον ημέρες το 2021-2050 και 80 επιπλέον ημέρες το 2071-2100 με υψηλές νυκτερινές θερμοκρασίες. Πάντως, στη Δυτική Ελλάδα και στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη η αύξηση θα είναι μικρότερη από 30 ημέρες το 2021-2050 και

Διάγραμμα 1.31

Μεταβολές του αριθμού ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία $> 20^{\circ}\text{C}$ μεταξύ
(α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



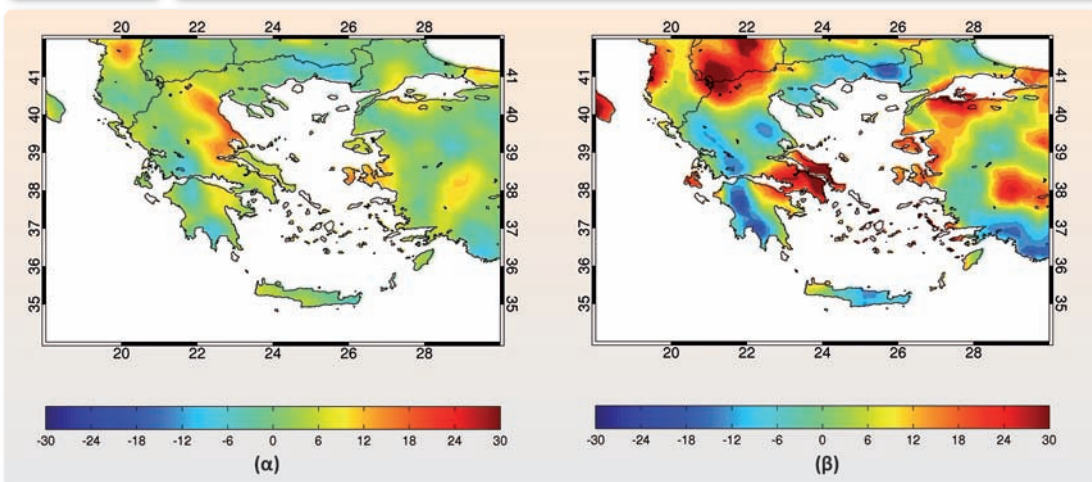
από 70 ημέρες το 2071-2100. Στη Δυτική Μακεδονία, θα σημειωθούν οι μικρότερες αυξήσεις, έως 15 ημέρες το 2021-2050 και έως 30 ημέρες το 2071-2100.

Ημέρες με βροχόπτωση και ημέρες με ξηρασία

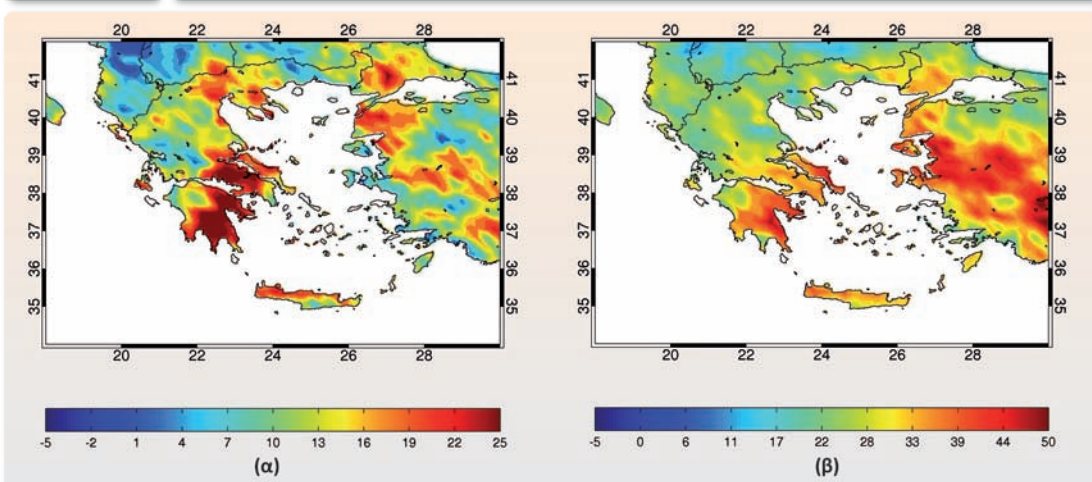
Εκτός από τις υψηλές θερμοκρασίες που προκαλούν δυσφορία, οι αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods) αποτελούν ένα ανησυχητικό φαινόμενο, ιδίως εάν μεταβληθεί η συχνότητά τους με την κλιματική αλλαγή. Γι' αυτό το λόγο, στο Διάγραμμα 1.32 αποτυπώνονται οι εκατοστιαίες μεταβολές της μέγιστης ποσότητας του νερού που κατακρημνίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα (εντός τριών συνεχών ημερών) κατά τη διάρκεια του έτους. Η αυξητική τάση αυτής της παραμέτρου, που συνδυάζεται με παράλληλη μείωση της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης, συνεπάγεται ότι περισσότερες και πιο ραγδαίες βροχές θα σημειώνονται σε σύντομα χρονικά διαστήματα, αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμυρικών φαινομένων. Το Διάγραμμα 1.32 παρουσιάζει ποικίλα αποτελέσματα για τις αλλαγές στη μελλοντική περίοδο 2021-2050. Ορισμένες περιοχές της Ελλάδος δεν εμφανίζουν καμία ουσιαστική μεταβολή αυτής της παραμέτρου για το 2021-2050, όπως π.χ η Δυτική Ελλάδα, η Ανατολική Μακεδονία-Θράκη και η Κρήτη. Αντίθετα, άλλες περιοχές παρουσιάζουν σημαντικές αυξήσεις της έντασης των ακραίων βροχοπτώσεων. Ειδικότερα στην ανατολική ηπειρωτική χώρα, η συνολική ποσότητα βροχής που καταγράφεται σε διάστημα τριών ημερών αυξάνεται κατά 20% το 2021-2050. Η κατάσταση φαίνεται ότι θα αλλάξει σημαντικά μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα. Σε περιοχές της Δυτικής Ελλάδος και της Θράκης η ποσότητα των ραγδαίων βροχοπτώσεων μειώνεται κατά 10-20%, ενώ αντίθετα στην Ανατολική Στερεά και τη Βορειοδυτική Μακεδονία η παράμετρος αυτή αυξάνεται κατά 30%. Στις υπόλοιπες περιοχές υπάρχουν μικρές αυξομειώσεις.

Διάγραμμα 1.32

Εκατοστιαία μεταβολή της συνολικής βροχόπτωσης σε διάστημα τριών συνεχών ημερών μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990

**Διάγραμμα 1.33**

Μεταβολές της μέγιστης διάρκειας της ξηρής περιόδου (σε ημέρες) μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται οι αλλαγές στη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας, δηλαδή οι αλλαγές στη διάρκεια των συνεχών ημερών όπου οι βροχοπτώσεις είναι λιγότερες από 1 χλστ. την ημέρα. Από το Διάγραμμα 1.33 γίνεται φανερό ότι η διάρκεια των ξηρών περιόδων αυξάνεται. Η μικρότερη διακύμανση, λιγότερο από 10 ημέρες αύξησης, παρατηρείται στη δυτική χώρα για την περίοδο 2021-2050. Για την περίοδο 2071-2100, η Δυτική και η Βόρεια Ελλάδα θα έχουν αυξήσεις λιγότερο από 20 ημέρες. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρούνται στην ανατολική ηπειρωτική χώρα (Ανατολική Στερεά, Ανατολική Πελοπόννησο και Εύβοια) και τη Βόρεια

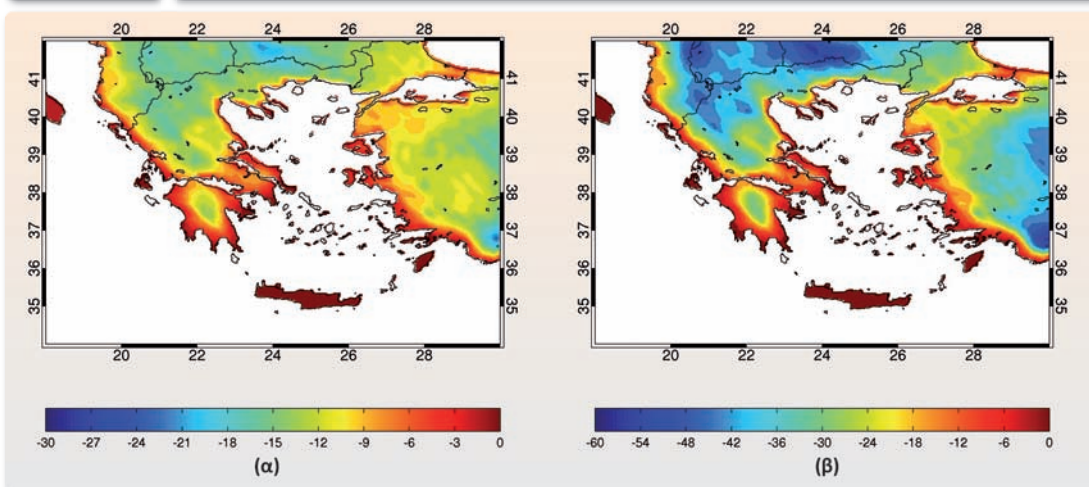
Κρήτη, όπου αναμένονται περισσότερες από 20 επιπλέον ημέρες ξηρασίας μέχρι το 2021-2050 και μέχρι 40 ημέρες το 2071-2100.

Αριθμός ημερών με παγετό και βλαστητική περίοδος

Στο Διάγραμμα 1.34 παρουσιάζονται οι αλλαγές του αριθμού των νυκτερινών παγετών ανά έτος. Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική για τις αγροτικές περιοχές, ιδίως γι' αυτές όπου υπάρχουν ευαίσθητες καλλιέργειες, όπως είναι τα εσπεριδοειδή. Μειώσεις της

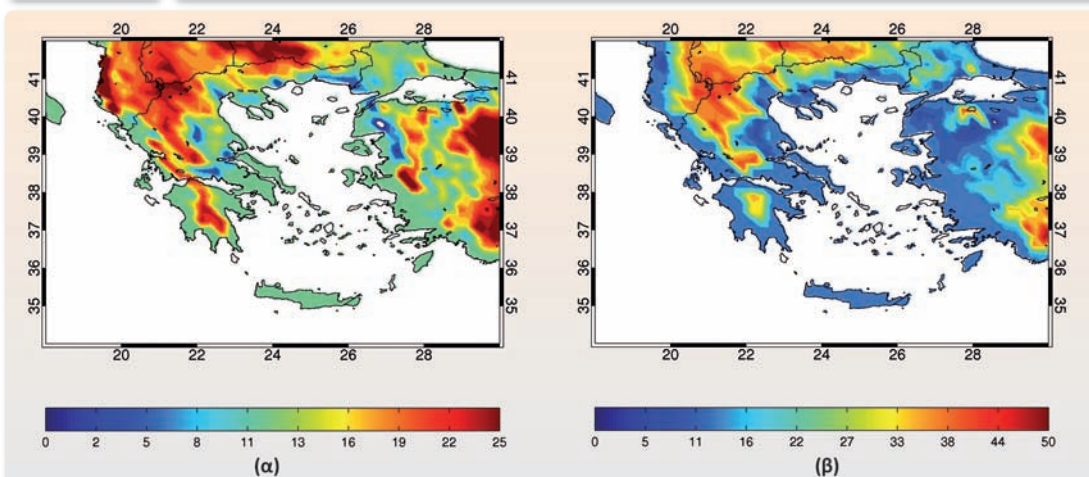
Διάγραμμα 1.34

Μεταβολές του αριθμού των νυκτερινών παγετών μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



Διάγραμμα 1.35

Μεταβολές της διάρκειας της βλαστητικής περιόδου (σε ημέρες) μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



τάξεως των 15 ημερών για το 2021-2050 και των 40 ημερών για το 2071-2100 είναι εμφανείς στη Μακεδονία και τη Θράκη. Μειώσεις κατά 10-15 ημέρες το 2021-2050 και κατά 25 ημέρες το 2071-2100 είναι εμφανείς στα ηπειρωτικά της Θεσσαλίας και της Πελοποννήσου. Στις υπόλοιπες περιοχές του ελλαδικού χώρου, παρατηρήθηκαν μικρότερες μειώσεις, κυρίως γιατί οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται και σήμερα από μικρό αριθμό ημερών με νυκτερινό παγετό.

Επιπλέον του αριθμού των ημερών με παγετό, εξετάστηκε και η παράμετρος της βλαστητικής περιόδου, η οποία ορίζεται ως η περίοδος με ευνοϊκές συνθήκες για ανάπτυξη φυτών και καλλιεργειών και περιλαμβάνει τον αριθμό των ημερών που μεσολαβούν μεταξύ του τελευταίου ανοιξιάτικου παγετού και του πρώτου φθινοπωρινού παγετού. Στο Διάγραμμα 1.35 παρουσιάζονται οι αλλαγές στη διάρκεια της βλαστητικής περιόδου, η οποία παρουσιάζει αυξητικές τάσεις ως αποτέλεσμα της ενωρίτερης λήξης και βραδύτερης έναρξης των ανοιξιάτικων και φθινοπωρινών παγετών αντίστοιχα. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις, της τάξεως των 25 ημερών για το 2021-2050 και των 45 ημερών για το 2071-2100, παρατηρούνται στον ορεινό ηπειρωτικό κορμό της χώρας μας. Στις υπόλοιπες περιοχές υπάρχουν αυξήσεις 10-15 ημερών το 2021-2050 και 15-25 ημερών το 2071-2100.

Ζήτηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη

Σχετικά με τη ζήτηση ενέργειας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των βαθμοημερών, που ορίζεται ως η διαφορά (σε °C) της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας από μια θερμοκρασία βάσης. Ως θερμοκρασία βάσης μπορεί να οριστεί η θερμοκρασία για την οποία η κατανάλωση ενέργειας γίνεται ελάχιστη. Εάν επιλεγεί η παραπάνω θερμοκρασία, ο δείκτης των βαθμοημερών λαμβάνει θετικές τιμές για την καλοκαιρινή περίοδο και αρνητικές για τη χειμερινή. Για την αποφυγή χρήσης, συγχρόνως, θετικών και αρνητικών τιμών του δείκτη, ορίζονται και χρησιμοποιούνται δύο δείκτες: (α) οι βαθμοημέρες θέρμανσης (HDD) και (β) οι βαθμοημέρες ψύξης (CDD). Παρακάτω δίνονται οι μαθηματικοί τύποι υπολογισμού των δεικτών HDD και CDD:

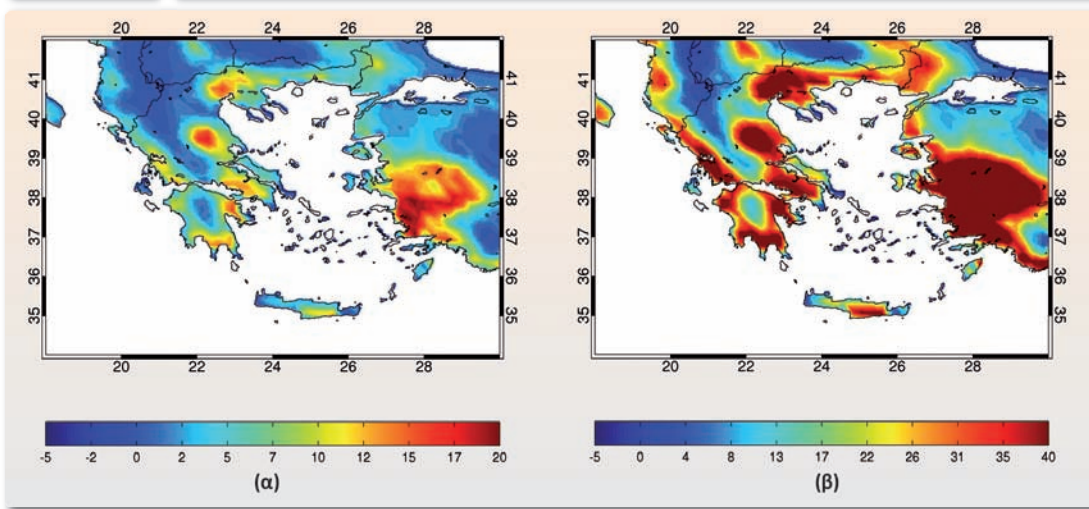
$$\text{HDD} = \max (T^* - T, 0)$$

$$\text{CDD} = \max (T - T^{**}, 0)$$

όπου T^* και T^{**} είναι οι θερμοκρασίες βάσης για HDD και CDD αντίστοιχα, οι οποίες μπορούν να είναι είτε ίδιες είτε διαφορετικές, και T είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία, όπως αυτή υπολογίζεται από τις ημερήσιες θερμοκρασίες των περιοχικών κλιματικών προτύπων για την περίοδο αναφοράς και για τις μελλοντικές περιόδους. Ο δείκτης HDD (CDD) είναι ένα μέτρο της δριμύτητας των χειμερινών (θερινών) συνθηκών από την άποψη της υπαίθριας θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου, ένδειξη των λογικών απαιτήσεων θέρμανσης (ψύξης) για τη συγκεκριμένη περιοχή. Οι ημερήσιες τιμές των HDDi (CDDi) συνήθως αθροίζονται για μια συγκεκριμένη περίοδο (ετήσια ή εποχική), παρέχοντας έτσι μια ένδειξη της δριμύτητας των χειμερινών (καλοκαιρινών) συνθηκών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, σε

Διάγραμμα 1.36

Μεταβολές του αριθμού ημερών με ισχυρές ανάγκες για ψύξη μεταξύ
(α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



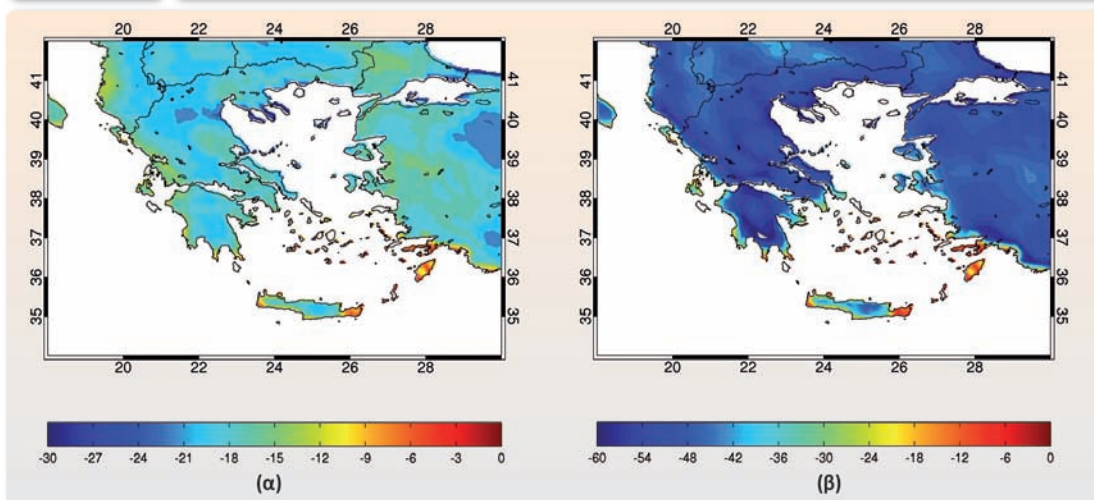
σύγκριση με τη θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του εξωτερικού αέρα, που με τη σειρά της αποτελεί ένα μέτρο της πιθανής συνολικής ενεργειακής ζήτησης για αισθητή θέρμανση (ψύξη) κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Στην μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι 15 °C για τον υπολογισμό των HDD και οι 25 °C για τις CDD, με βάση τη μελέτη των Giannakopoulos et al. (2009a, 2009b).

Μια σημαντική επίπτωση της κλιματικής θέρμανσης είναι η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη το καλοκαίρι. Η αυξανόμενη ζήτηση μπορεί να προκαλέσει διακοπές ρεύματος και υπερφόρτωση στο δίκτυο ηλεκτρισμού της χώρας, σε βαθμό που να μην μπορεί να καλύψει τα επίπεδα ζήτησης. Στο Διάγραμμα 1.36 αποτυπώνονται οι αλλαγές στον αριθμό των ημερών ανά έτος κατά τις οποίες υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις ψύξης. Αυτές οι ημέρες ορίζονται ως εκείνες κατά τις οποίες η ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει κατά 5 °C τη θερμοκρασία βάσης που χρησιμοποιήθηκε για τις βαθμομέρες ψύξης. Πιο συγκεκριμένα, στα πεδινά ηπειρωτικά της Ελλάδος θα υπάρξουν 10-20 επιπλέον ημέρες το έτος τη χρονική περίοδο 2021-2050 και 30-40 επιπλέον ημέρες το έτος κατά τη χρονική περίοδο 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, 1961-1990, όπου θα υπάρχει αυξημένη ανάγκη ψύξης. Στις νησιωτικές και ορεινές περιοχές οι αυξήσεις θα είναι μικρότερες.

Μια θετική πτυχή της αλλαγής του κλίματος αποτελεί η μείωση των απαιτήσεων για θέρμανση που προβλέπεται για τη χειμερινή περίοδο. Στο Διάγραμμα 1.37 παρουσιάζονται οι αλλαγές στον αριθμό ημερών με αυξημένες απαιτήσεις θέρμανσης. Από το ποσοστό αυτό καθίσταται προφανές ότι σχεδόν στο σύνολο της Ελλάδος παρατηρείται μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης τη χειμερινή περίοδο. Η μείωση αυτή φθάνει τις 20 ημέρες κατ' έτος το 2021-2050 και τις 45 ημέρες το 2071-2100.

Διάγραμμα 1.37

Μεταβολές του αριθμού ημερών με ισχυρές ανάγκες για θέρμανση μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



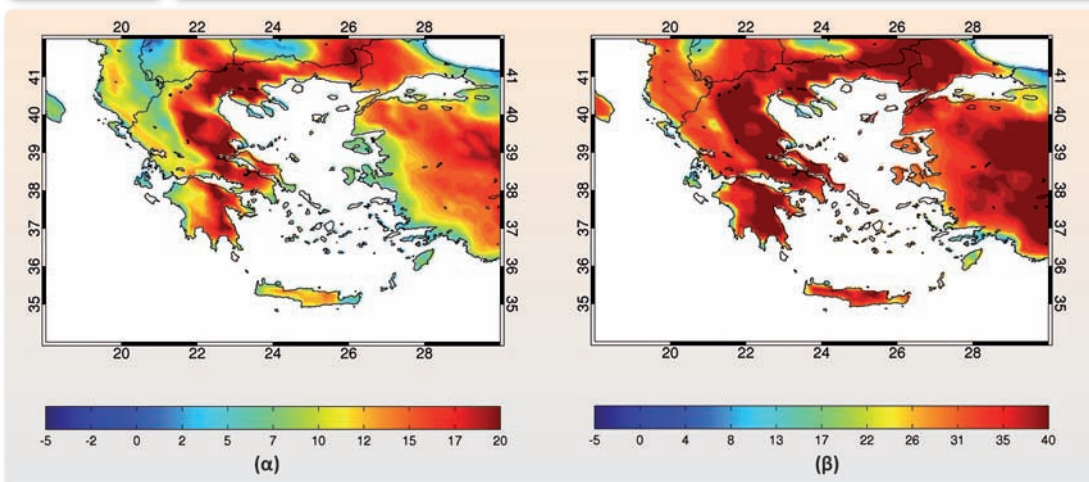
Δασικές πυρκαγιές

Οι δασικές πυρκαγιές, όπως και κάθε άλλη φυσική διαδικασία ενός οικοσυστήματος, επηρεάζονται πολύ εύκολα από την κλιματική αλλαγή, καθώς η συμπεριφορά της φωτιάς συναρτάται άμεσα με την υγρασία της καύσιμης ύλης, που με τη σειρά της καθορίζεται από τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου. Έτσι, η προβλεπόμενη άνοδος της μέσης θερμοκρασίας εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής θα αυξήσει την ξηρότητα της καύσιμης ύλης, ελαττώνοντας τη σχετική υγρασία, και το φαινόμενο αυτό θα γίνεται πιο έντονο στις περιοχές όπου μειώνεται η βροχόπτωση. Παράλληλα, η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών συνθηκών αναμένεται να έχει σημαντική επίπτωση στην τρωτότητα των δασών σε πυρκαγιές.

Ο δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς (FWI) είναι ένας ημερήσιος δείκτης βασισμένος σε μετεωρολογικές παραμέτρους ο οποίος κατασκευάστηκε στον Καναδά και χρησιμοποιείται παγκόσμια για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς σε ένα γενικευμένο τύπο καυσίμου. Ο συγκεκριμένος δείκτης FWI αποτελείται από έξι τυποποιημένα συστατικά, όπου με κάθε ένα υπολογίζεται μια διαφορετική πτυχή του κινδύνου πυρκαγιάς. Τα πρώτα τρία συστατικά είναι κώδικες υγρασίας δασικών καυσίμων, οι οποίοι προσομοιώνουν τις ημερήσιες αλλαγές του περιεχομένου υγρασίας σε τρεις κατηγορίες δασικών καυσίμων με διαφορετικά ποσοστά ξήρανσης. Τα άλλα τρία συστατικά σχετίζονται με τη συμπεριφορά πυρκαγιάς ως προς το ποσοστό διάδοσης, το βάρος των καταναλωμένων δασικών καυσίμων και την ένταση της πυρκαγιάς. Ο δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς (FWI) είναι η αριθμητική εκτίμηση της έντασης μιας πυρκαγιάς και χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η δυσκολία ελέγχου πυρκαγιάς. Το

Διάγραμμα 1.38

Μεταβολές του αριθμού ημερών με εξαιρετικά αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



Το κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας: παρόν, παρόν και μέλλον

σύστημα εξαρτάται μόνο από καιρικές μεταβλητές η λήψη των τιμών των οποίων πραγματοποιείται κάθε ημέρα το μεσημέρι. Αυτές είναι: η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και οι βροχοπτώσεις. Σε αυτήν την εργασία, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα από το περιοχικό κλιματικό πρότυπο, όπως η μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}), η σχετική υγρασία (RH), η ταχύτητα του ανέμου στα 10μ. επάνω από το έδαφος και η συνολική βροχόπτωση, ως μεταβλητές εισαγωγής στο σύστημα FWI. Το σύστημα FWI αναπτύχθηκε για τα καναδικά δάση, αλλά βρήκε ευρεία εφαρμογή και σε άλλες χώρες και περιβάλλοντα, όπως το Μεξικό, τη Νοτιοανατολική Ασία, τη Φλόριντα, την Αργεντινή κ.λπ. Για τη λεκάνη της Μεσογείου, διάφορες μελέτες έδειξαν ότι το σύστημα FWI και τα συστατικά του ήταν κατάλληλα για την εκτίμηση του κινδύνου της πυρκαγιάς στην περιοχή (Moriondo et al., 2006). Βρέθηκε (Good et al., 2008) ότι τιμές του FWI μεγαλύτερες του 15 σχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς, ενώ, όταν $FWI > 30$, ο κίνδυνος είναι εξαιρετικά αυξημένος.

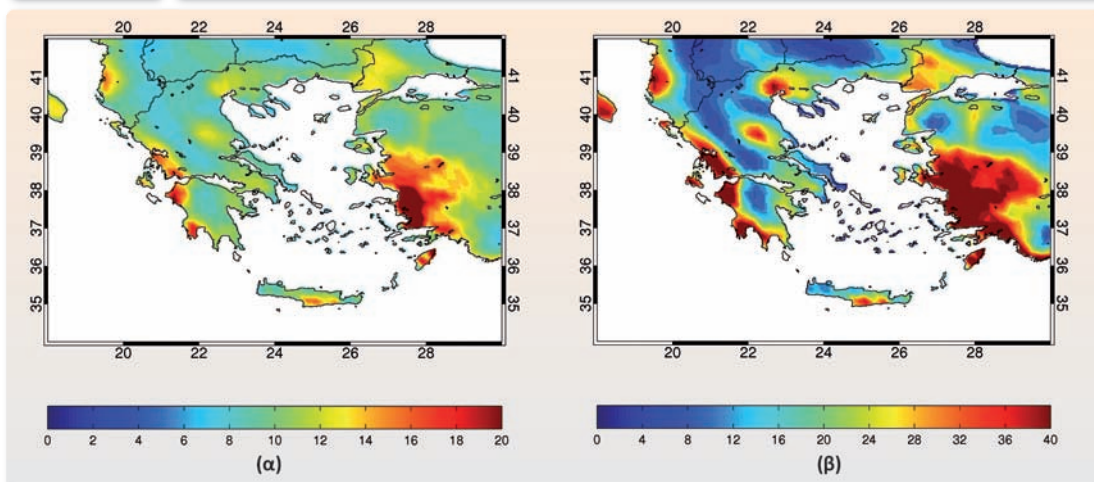
Το Διάγραμμα 1.38 παρουσιάζει τις αλλαγές στον αριθμό των ημερών με εξαιρετικά αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς, μια παράμετρος που είναι εξίσου σημαντική για δασικές, γεωργικές και τουριστικές περιοχές. Ο εξαιρετικά αυξημένος κίνδυνος για πυρκαγιά αυξάνεται κατά 20 ημέρες το 2021-2050 και κατά 40 ημέρες το 2071-2100 σε όλη την Ανατολική Ελλάδα από τη Θράκη έως την Πελοπόννησο. Μικρότερες αυξήσεις αναμένονται στη Δυτική Ελλάδα, κυρίως λόγω του υγρότερου κλίματος της περιοχής.

Ημέρες με δυσφορία του πληθυσμού

Η επίδραση της θερμότητας στην άνεση (ή τη δυσφορία) που αισθάνεται κάποιος άνθρωπος καθορίζεται με τον υπολογισμό του humidex (Masterton and Richardson, 1979), μιας παραμέ-

Διάγραμμα 1.39

Μεταβολές του αριθμού ημερών με έντονη δυσφορία (humidex >38 °C) μεταξύ (α) 2021-2050 και 1961-1990, (β) 2071-2100 και 1961-1990



τρον που εκφράζει τη θερμοκρασία όπως την αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Ο humidex εφαρμόζεται σε καλοκαιρινές και γενικά θερμές περιόδους και περιγράφει την αισθητή θερμότητα κατά την έκθεση σε ζέστη και υγρασία. Ο humidex (σε °C) μπορεί να υπολογιστεί με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$T(h) = T_{\max} + 5/9 * (e - 10)$$

όπου e η πίεση των υδρατμών ($6,112 * 10^{(7,5 * T_{\max} / (237,7 + T_{\max}))} * h / 100$), $T_{\max}$ η μέγιστη θερμοκρασία (°C) του αέρα στα 2μ. και h η υγρασία (%).

Επιπροσθέτως, έχουν καθιερωθεί έξι κατηγορίες του humidex, για την ενημέρωση του κοινού για συνθήκες δυσφορίας (http://www.eurometeo.com/english/read/doc_heat):

- < 29 °C : καθόλου δυσφορία
- 30-34 °C : ελαφρά αίσθηση δυσφορίας
- 35-39 °C : έντονη αίσθηση δυσφορίας, να αποφεύγεται η έντονη κόπωση
- 40-45 °C : υψηλή αίσθηση δυσφορίας, να αποφεύγεται η κόπωση
- 46-53 °C : σημαντικός κίνδυνος, να αποφεύγεται κάθε δραστηριότητα
- > 54 °C : μεγάλος κίνδυνος για την υγεία, πιθανή καρδιακή προσβολή

Το Διάγραμμα 1.39 παρουσιάζει τις μεταβολές του αριθμού των ημερών στη μεγαλύτερη περίοδο κατ' έτος που ο δείκτης humidex ξεπερνά τους 38 °C. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί, ότι, αντίθετα με την περίπτωση των καυσάνων, όπου τα ηπειρωτικά διαμερίσματα εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αλλαγές, εδώ τα παράκτια και νησιωτικά συμπλέγματα της χώρας μας επηρεάζονται περισσότερο. Ειδικά για τα παράκτια μέρη του Ιονίου και τα Δωδεκάνησα η διάρκεια της περιόδου με humidex > 38 °C θα αυξηθεί κατά 20 ημέρες το 2021-2050 και κατά 40 ημέρες το 2071-2100. Αυτό θα έχει φυσικά αντίκτυπο στη δυσφορία και κατ' επέκταση στην υγεία του

Πίνακας 1.9

Μεταβολές των υπό εξέταση δεικτών για τις 13 κλιματικές περιοχές της Ελλάδας

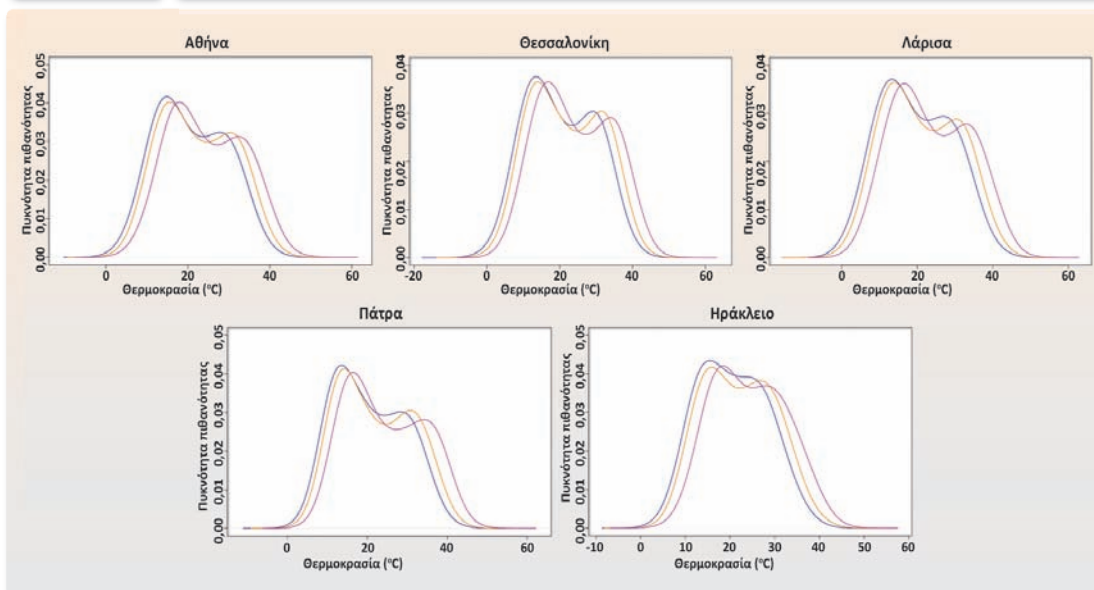
	WG	CEG	ATT	WCM	EMT	WP	EP	C	D	CY	EA	NA	I
Ελάχιστη χειμερινή θερμοκρασία (°C)	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Μέγιστη καλοκαιρινή θερμοκρασία (°C)	2	2	1,7	2	2	2	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	4	4,5	4	4	4	4	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
T _{max} >35 °C (ημέρες)	20	20	15	20	15	20	20	15	10	10	10	10	10
	40	40	35	40	40	40	40	35	15	15	15	15	15
T _{min} >20 °C (ημέρες)	20	35	40	15	20	25	25	40	40	30	30	25	25
	50	65	70	20	50	60	60	70	70	60	60	50	50
Μέγιστη βροχόπτωση σε 3 ημέρες (%)	0	20	10	10	0	0	15	0	0	0	15	0	0
	-10	0	25	20	0	-15	10	0	0	0	15	10	20
Διάρκεια ξηρής περιόδου (ημέρες)	10	15	20	10	10	15	20	20	10	10	10	10	15
	20	25	35	20	25	30	45	40	30	30	40	30	30
Αριθμός παγετών (ημέρες)	0	-10	-5	-15	-15	-5	-10	0	0	0	0	0	0
	0	-25	-5	-40	-30	0	-15	0	0	0	0	0	0
Βλαστητική περίοδος (ημέρες)	20	10	10	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	35	20	15	35	20	15	15	15	15	15	15	15	15
Ανάγκες για ισχυρή ψύξη (ημέρες)	10	15	10	0	10	10	10	10	5	5	5	5	5
	35	40	35	10	30	35	35	30	25	20	25	20	20
Ανάγκες για ισχυρή θέρμανση (ημέρες)	-10	-15	-15	-15	-15	-10	-15	-10	-5	-5	-10	-15	-10
	-35	-40	-35	-35	-40	-30	-40	-25	-20	-20	-25	-30	-25
Ακραίος κίνδυνος πυρκαγιάς (ημέρες)	10	20	15	20	20	15	20	15	10	10	10	10	10
	30	40	35	40	40	30	40	35	25	25	30	30	25
Έντονη δυσφορία (ημέρες)	20	15	15	5	10	20	10	15	20	10	10	10	20
	40	30	25	10	20	40	25	30	40	20	25	20	40

Κλιματικές περιοχές: Δυτική Ελλάδα (WG), Κεντρική και Ανατολική Ελλάδα (CEG), Αττική (ATT), Δυτική και Κεντρική Μακεδονία (WCM), Ανατολική Μακεδονία-Θράκη (EMT), Δυτική Πελοπόννησος (WP), Ανατολική Πελοπόννησος (EP), Κρήτη (C), Δωδεκάνησα (D), Κυκλάδες (CY), Ανατολικό Αιγαίο (EA), Βόρειο Αιγαίο (NA) και Ιόνιο (I).

Μεταβολές με αρνητικό πρόσημο σημαίνουν μειώσεις, ενώ χωρίς πρόσημο σημαίνουν αυξήσεις. Η πρώτη τιμή σε κάθε κελί του πίνακα αντιστοιχεί στην περίοδο 2021-2050 και η δεύτερη τιμή στην περίοδο 2071-2100.

πληθυσμού. Αυξήσεις της τάξεως των 15 ημερών για την περίοδο 2021-2050 και των 25 ημερών για την περίοδο 2071-2100 εκτιμώνται για τα πεδινά ηπειρωτικά και την Κρήτη, ενώ οι ορεινές περιοχές φαίνεται ότι δεν εμφανίζουν σημαντικές μεταβολές αυτής της παραμέτρου, δηλαδή διατηρούν το δροσερό καλοκαιρινό κλίμα τους.

Ως σύνοψη, παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (1.9) που περιέχει τις μεταβολές των υπό εξέταση δεικτών για καθεμιά από τις 13 κλιματικές περιοχές στις οποίες χωρίστηκε η Ελλάδα.

Διάγραμμα 1.40**Πυρήνες πυκνότητας της μέγιστης θερμοκρασίας για καθεμιά από τις πέντε μεγάλες πόλεις της χώρας**

Kernel densities, μη παραμετρικό ισοδύναμο της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.
 Γαλάζια γραμμή: 1961-1990, πορτοκαλί: 2021-2050, ιώδης: 2071-2100.

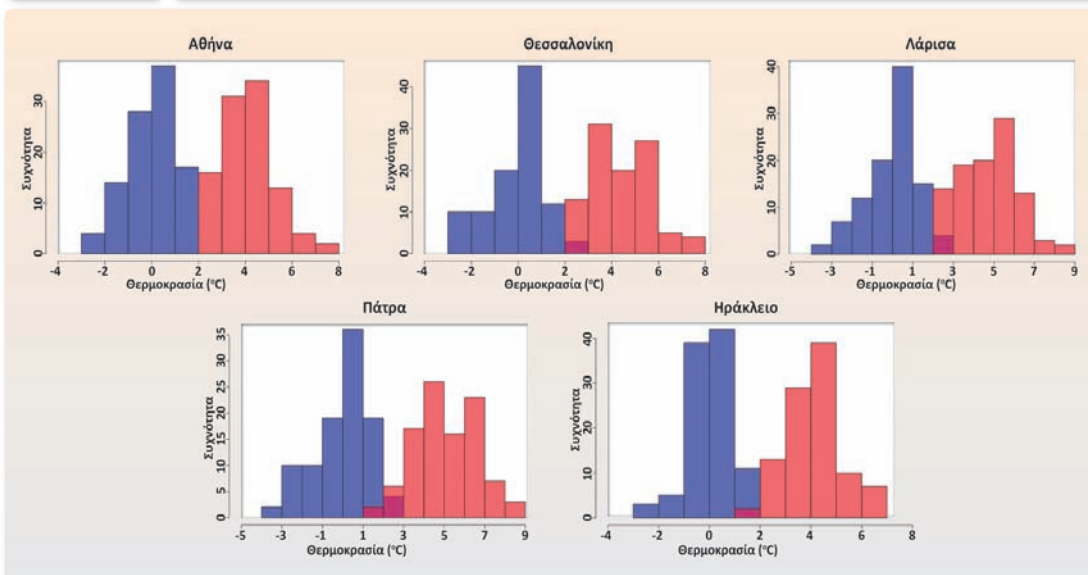
Στατιστικές κατανομές για πέντε μεγάλες ελληνικές πόλεις

Στο τμήμα αυτό αναλύονται περαιτέρω οι προβλέψεις του προτύπου KNMI με επικέντρωση στη στατιστική κατανομή της μέγιστης θερμοκρασίας και έμφαση στα θερινά ακραία για τα μεγάλα αστικά κέντρα. Το Διάγραμμα 1.40 δείχνει τους πυρήνες πυκνότητας (Kernel densities, μη παραμετρικό ισοδύναμο της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας) της μέγιστης θερμοκρασίας για κάθε μία από τις μεγάλες πόλεις της χώρας. Η καμπύλη της κατανομής της θερμοκρασίας σε όλες τις πόλεις κατά την περίοδο 1961-1990 (γαλάζια γραμμή) παρουσιάζει δύο μέγιστα που αντιπροσωπεύουν την επικράτηση της ψυχρής (αριστερό μέγιστο) και της θερμής (δεξιό μέγιστο) περιόδου του έτους. Στις δύο μελλοντικές περιόδους (2021-2050 με πορτοκαλί και 2071-2100 με ιώδες χρώμα) παρατηρείται σταδιακή μετατόπιση της κατανομής προς τα δεξιά, ως αποτέλεσμα της μέσης θέρμανσης του κλίματος. Αν παρατηρηθούν τα ακρότατα τμήματα των κατανομών (βλ. Διάγραμμα 1.40), συνάγεται ότι η θερμοκρασία των ακραία θερμών καταστάσεων (δεξιά ακρότατα τμήματα) θα αυξηθεί κατά 1-2 °C.

Εστιάζοντας στην εμφάνιση των ανώμαλα ζεστών καλοκαιριών, το Διάγραμμα 1.41 δείχνει τη συχνότητα των αποκλίσεων της θερινής μέσης μέγιστης θερμοκρασίας (μέσος όρος από Ιούνιο έως Αύγουστο) από το μέσο καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, για κάθε έτος (συνολικά 30 έτη) των περιόδων 1961-1990 (ιστοί χρώματος γαλάζιου) και 2071-2100 (ιστοί χρώματος ροζ). Στις περισσότερες πόλεις τα ιστογράμματα για το 2071-2100 και το 1961-1990 παρουσιάζουν μικρή μόνο επικάλυψη, υποδηλώνοντας ότι τα “ψυχρά” καλοκαίρια στο τέλος του

Διάγραμμα 1.41

Συχνότητα των αποκλίσεων της θερινής μέγιστης θερμοκρασίας για κάθε μία από τις πέντε μεγάλες πόλεις της χώρας



Μέσος όρος, από Ιούνιο έως Αύγουστο, από το καλοκαίρι του 1961 έως το 1990, για τις περιόδους 1961-1990 (γαλάζιο) και 2071-2100 (ροζ).

αιώνα θα είναι όσο ζεστά ήταν τα θερμότερα του πρόσφατου παρελθόντος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Αθήνας, όπου το πιο θερμό καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, αυτό του 1987 (με τον περίφημο καύσωνα του Ιουλίου με την υψηλή θνησιμότητα), το οποίο ήταν κατά 1,7 °C θερμότερο από την κλιματολογία του 1961-1990, θα θεωρείται πολύ κρύο (και εκτός πιθανής κατανομής) στο τέλος του αιώνα.

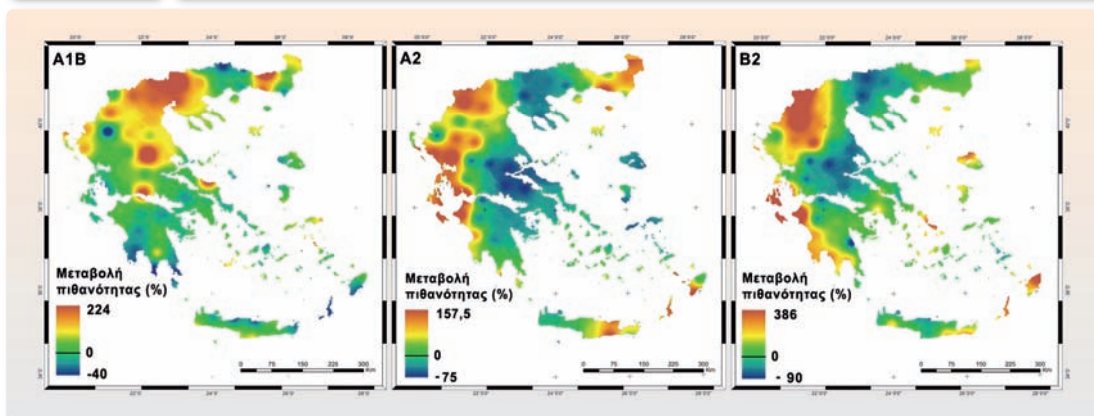
1.17 Μεταβολές της έντασης και της κατανομής των κατολισθήσεων και των πλημμυρών στην Ελλάδα

Στην παρούσα ενότητα διερευνάται η μεταβολή των κλιματικών παραμέτρων και του πιθανού καθεστώτος τους και η σύνδεσή της με το καθεστώς επικινδυνότητας των πλημμυρών και των κατολισθήσεων. Για το σκοπό αυτό αναλύθηκαν δεδομένα για τα κλιματικά Σενάρια A1B (υπόδειγμα ECHAM5), A2 και B2 (υπόδειγμα HadCM3).

Στην περίπτωση των κατολισθήσεων εξετάστηκε η επίδραση των μεταβολών στην ένταση της βροχόπτωσης, παράγοντας ο οποίος έχει διαπιστωθεί ως κρίσιμος για το καθεστώς εκδήλωσης των κατολισθήσεων (Caine, 1980, Κούκης και Ζιούρκας, 1989). Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε η πιθανότητα υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης (“thresholds”) πέρα από τα οποία καθίσταται πιθανή η εκδήλωση κατολισθήσεων (Caine, 1980), καθώς και η πιθανή μεταβολή της. Η μεταβολή αυτή χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο έκφρασης της αλλαγής ως προς την

Διάγραμμα 1.42

Εκατοστιαία μεταβολή πιθανότητας υπέρβασης του ορίου έντασης βροχόπτωσης (threshold) που οδηγεί σε κατολισθήσεις



Μεταξύ της περιόδου ελέγχου (1960-1990) και της περιόδου 2070-2100 για τα Σενάρια A2, B2 ή της περιόδου 2090-2099 για το Σενάριο A1B.

Πίνακας 1.10

Μεταβολές της μέσης πιθανότητας υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης που οδηγούν σε κατολισθήσεις βάσει των τιμών που προκύπτουν από την ανάλυση του υποδείγματος HadCM3 για τα Σενάρια A2 και B2 και του υποδείγματος ECHAM5 για το Σενάριο A1B

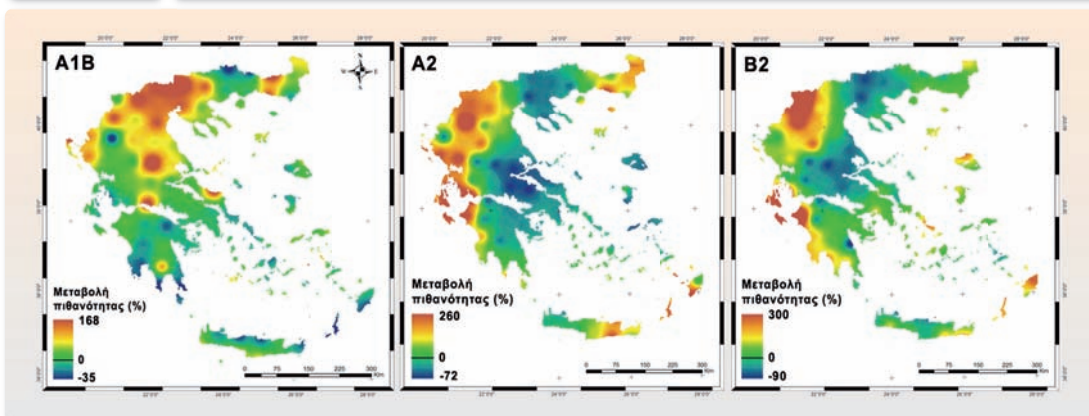
	Τιμή πιθανότητας υπέρβασης ορίου	Μέση εκατοστιαία μεταβολή πιθανότητας		
Περίοδος	1960-1990	2070-2100		2090-2099
Σενάριο		A2	B2	A1B
Παγκόσμιο όριο	0,011	+38,4	+10,6	+ 29,3
Τοπικό όριο	0,007	+44,6	+11,9	+ 33,7

πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων και επομένως ως προς το καθεστώς κατολισθητικής επικινδυνότητας. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα όρια των Caine (1980) (παγκόσμιο όριο – global threshold) και Calcaterra et al. (2000) (όριο στην περιοχή της Μεσογείου – local threshold).

Τα τελικά αποτελέσματα προέκυψαν από τον υπολογισμό της εκατοστιαίας διαφοράς ως προς την πιθανότητα υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης μεταξύ της περιόδου ελέγχου (1960-1990) και των περιόδων 2071-2100 (για τα Σενάρια A2 και B2) και 2090-2099 (για το Σενάριο A1B). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζουν παρόμοιες χωρικές κατανομές σε ό,τι αφορά τα δύο όρια που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης παρουσιάζουν σημαντικές αυξήσεις αλλά και μειώσεις της πιθανότητας κατολισθήσεων κατά τόπους στον ελληνικό χώρο (Διάγραμμα 1.42). Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τα Σενάρια A2 και B2, παρουσιάζεται αύξηση της πιθανότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων κατά 1,5 (A2) έως και 3 φορές (B2) στη Δυτική Μακε-

Διάγραμμα 1.43

Εκατοστιαία μεταβολή πιθανότητας υπέρβασης του ορίου έντασης βροχόπτωσης (threshold) πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας



Μεταξύ της περιόδου ελέγχου (1960-1990) και της περιόδου 2070-2100 για τα Σενάρια A2, B2 και της περιόδου 2090-2099 για το Σενάριο A1B.

Πίνακας 1.11

Μέση εκατοστιαία μεταβολή πιθανότητας υπέρβασης ορίου βροχόπτωσης (σε σχέση με την περίοδο ελέγχου) πέρα από το οποίο παρουσιάζεται αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας

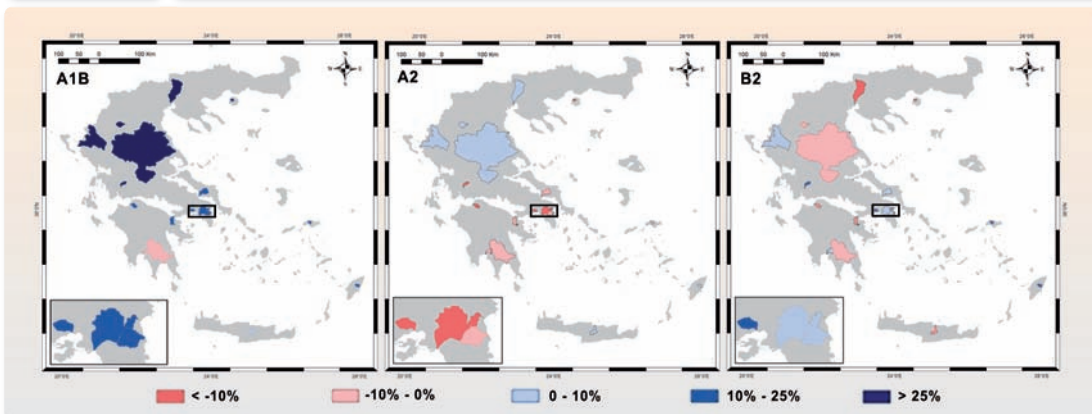
Σενάριο	Περίοδοι	Μέση εκατοστιαία μεταβολή πιθανότητας υπέρβασης
A1B	2090-2099	+ 30,15
A2	2070-2100	+ 24,7
B2	2070-2100	+ 6,45

δονία, τη Δυτική Ελλάδα και τη Δυτική Πελοπόννησο. Μικρότερες αυξήσεις, κατά 1,4 (A2) έως 2 (B2) φορές, καταγράφονται για την Ανατολική Κρήτη, τα Δωδεκάνησα και τον Έβρο. Αντίθετα, μειώσεις της πιθανότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων παρουσιάζονται για την Κεντρική Ελλάδα, την Κεντρική Μακεδονία και την Πελοπόννησο κατά 50% (A2) έως και 90% (B2). Σύμφωνα με το Σενάριο A1B, παρουσιάζεται αύξηση έως και κατά 2 φορές στο μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού χώρου, με σημαντικότερες αυξήσεις στην Κεντρική Μακεδονία και τη Θεσσαλία (100-224%). Μειώσεις παρατηρούνται στη Νότια Πελοπόννησο και σε τμήματα των Δωδεκανήσων. Σε ό,τι αφορά τις μέσες μεταβολές, παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές, της τάξεως του 10-45%, ως προς τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων (Πίνακας 1.10), όπου το Σενάριο B2 παρουσιάζει τις μικρότερες μεταβολές, ενώ το Σενάριο A2 τις μεγαλύτερες.

Σε ό,τι αφορά στις πλημμύρες, μελετήθηκε η πιθανή μεταβολή της ραγδιαιότητας της βροχόπτωσης και οι επιδράσεις που θα είχε στο πιθανό καθεστώς εκδήλωσης πλημμυρών. Το μέγεθος αυτό επιλέχθηκε λόγω της διαπιστωμένης συσχέτισής του με το φαινόμενο των πλημμυρών

Διάγραμμα 1.44

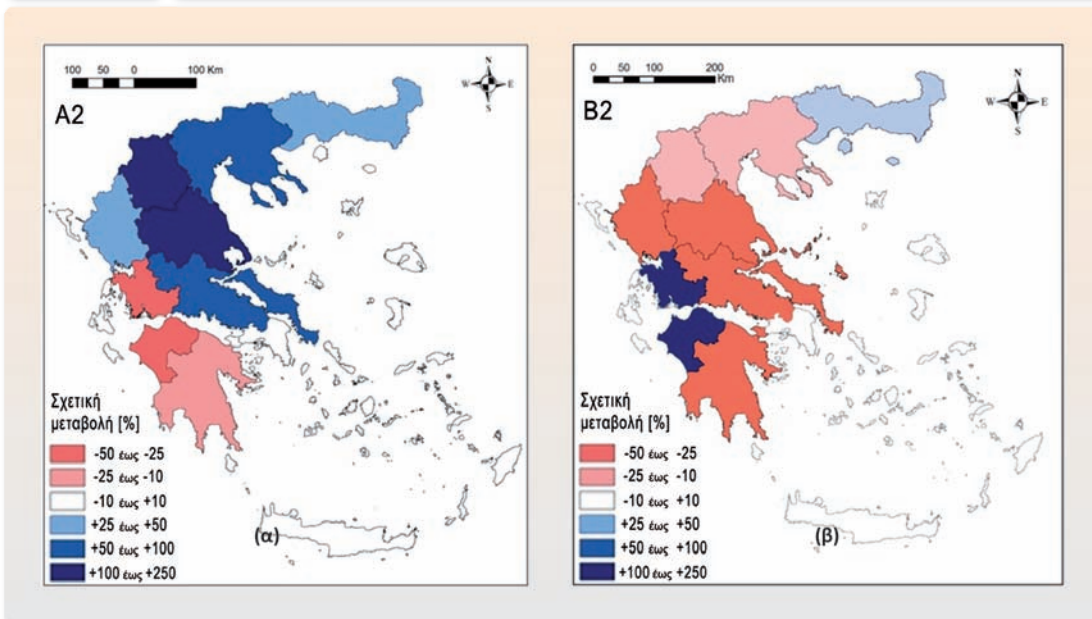
Σχετική εκατοστιαία μεταβολή της παροχής αιχμής της απορροής με περίοδο επαναφοράς 5 ετών στις 19 υπό μελέτη υδρολογικές λεκάνες



Υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Sutcliffe (1978). Οι τιμές αναφέρονται στις διαφορές μεταξύ των περιόδων 1960-1990 και 2070-2100 για τα Σενάρια A2 και B2 (HadCM3) και στις διαφορές μεταξύ 1990-1999 και 2090-2099 για το Σενάριο A1B (ECHAM5).

Διάγραμμα 1.45

Σχετική εκατοστιαία μεταβολή του εκτιμώμενου ετήσιου κόστους άμεσων ζημιών από πλημμύρες



Σύμφωνα με τα Σενάρια A2 και B2 (HadCM3) μεταξύ των περιόδων 1960-1990 και 2070-2100 (Ciscar et al., 2009, τροποποιημένο).

(Loukas et al., 2002, Lehner et al., 2006, Georgakakos, 2006, Norbiato et al., 2008). Για το σκοπό αυτό, αναλύθηκε η μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων έντασης της βροχόπτωσης πέρα από τα οποία προκύπτουν πλημμυρικά φαινόμενα (Cannon and Gartner, 2005, Diakakis, 2011). Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές αυξομειώσεις της πιθανότητας πλημμυρών κατά τόπους ανάλογα με το κλιματικό σενάριο (Διάγρ. 1.43) και αυξήσεις των μέσων τιμών για τις

περιόδους 2071-2100 και 2090-2099 για όλα τα σενάρια (Πίν. 1.11). Αναλυτικότερα, υπό τα Σενάρια A2 και B2 παρουσιάζονται αυξήσεις της πιθανότητας εκδήλωσης πλημμυρών κατά 2,6 (A2) και 3 (B2) φορές στη Δ. Πελοπόννησο, Ήπειρο και Δ. Μακεδονία. Αντίθετα μειώσεις παρουσιάζονται στην Κ. Ελλάδα και την Κ. Μακεδονία, κατά 50% (A2) έως 90% (B2). Υπό το Σενάριο A1B, σχεδόν σε όλη την επικράτεια προκύπτει αύξηση της πιθανότητας έως και 168%, όπου η Κ. Μακεδονία και η Θεσσαλία παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές. Αντίθετα μειώσεις προκύπτουν στη Ν. Πελοπόννησο, τη Β. Κρήτη και τα Δωδεκάνησα, έως και 35%.

Για να διερευνηθεί η αλλαγή του καθεστώτος της πλημμυρικής επικινδυνότητας, εξετάστηκε η αλλαγή του πιθανού καθεστώτος των απορροών 19 επιλεγμένων υδρολογικών λεκανών ποικίλων μεγεθών και γεωμορφολογίας. Η επιλογή έγινε έτσι ώστε να υπάρχει αντιπροσωπευτική γεωγραφική εξάπλωση σε όλη την επικράτεια. Με αυτή τη μέθοδο εκτιμήθηκε το πρόσημο και η έκταση των μεταβολών. Για τις λεκάνες αυτές εκτιμήθηκε με τη μέθοδο του Sutcliffe (1978) η μεταβολή της παροχής αιχμής με περίοδο επαναφοράς 5 ετών (Διάγραμμα 1.44). Η μεταβολή του ύψους των ζημιών από τις πλημμύρες εκτιμήθηκε με βάση την κατασκευή προτύπων ως προς τις επιπτώσεις κατά διοικητική περιφέρεια (Ciscar et al., 2009) και την υπολογιζόμενη μεταβολή της παροχής των κύριων υδατορρευμάτων (Διάγραμμα 1.45).

Άρα, με βάση τα στοιχεία που προέρχονται από τα κλιματικά πρότυπα και τις αναλύσεις που ακολούθησαν, διαπιστώνονται κατά μέσο όρο αυξητικές τάσεις της μεταβολής του καθεστώτος επικινδυνότητας των πλημμυρών και των κατολισθήσεων. Όμως, κατά τόπους παρουσιάζονται μειώσεις της πιθανότητας εκδήλωσης των ανωτέρω καταστροφών. Οι τιμές των μεταβολών που προκύπτουν είναι παρόμοιες με αυτές στις οποίες καταλήγουν ερευνητές όπως οι Frei et al. (2006). Το φάσμα των τιμών τόσο στην παρούσα μελέτη όσο και σε άλλες από τις οποίες προκύπτουν τιμές αντίστοιχου εύρους (Huntingford et al., 2003, Barnett et al., 2006, Frei et al., 2006) δείχνει την αβεβαιότητα που υπάρχει στην πρόβλεψη ακραίων τιμών. Τα αποτελέσματα πρέπει να αντιμετωπιστούν με επιφύλαξη λόγω της εξάρτησης των κινδύνων αυτών από παράγοντες όπως η διαφοροποίηση της βλάστησης, η αλλαγή των χρήσεων γης και η ανθρωπογενής παρέμβαση (Alcamo et al., 2007), παράμετροι που δεν έχει καταστεί δυνατόν να αξιολογηθούν πλήρως, ενώ αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των καταστροφών.

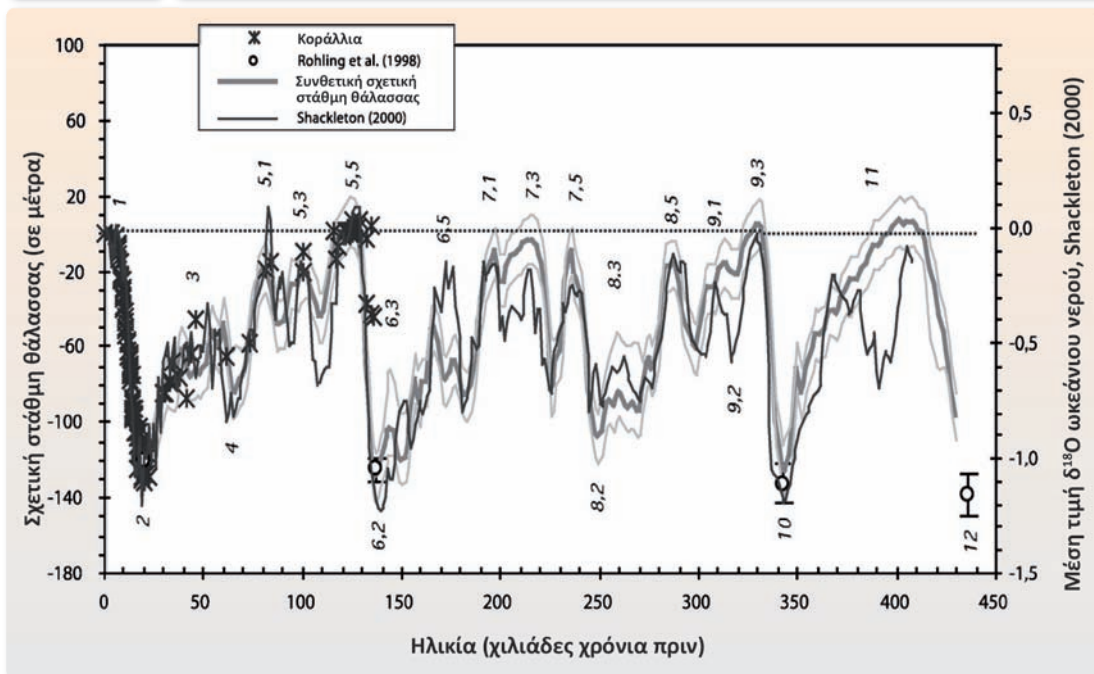
1.18 Μεταβολή της μέσης στάθμης της θάλασσας και οι επιπτώσεις της στην παράκτια χερσαία ζώνη της Ελλάδας

1.18.1 Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας παγκόσμια στο γεωλογικό παρελθόν

Παρατηρώντας την εξέλιξη της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας κατά τα τελευταία 500 χιλ. χρόνια (ka), για τα οποία και διατίθενται ακριβέστερα παλαιοκλιματικά δεδομένα, εκτιμά-

Διάγραμμα 1.46

Συνθετική σχετική στάθμη της θάλασσας για τα τελευταία 450 χιλιάδες χρόνια



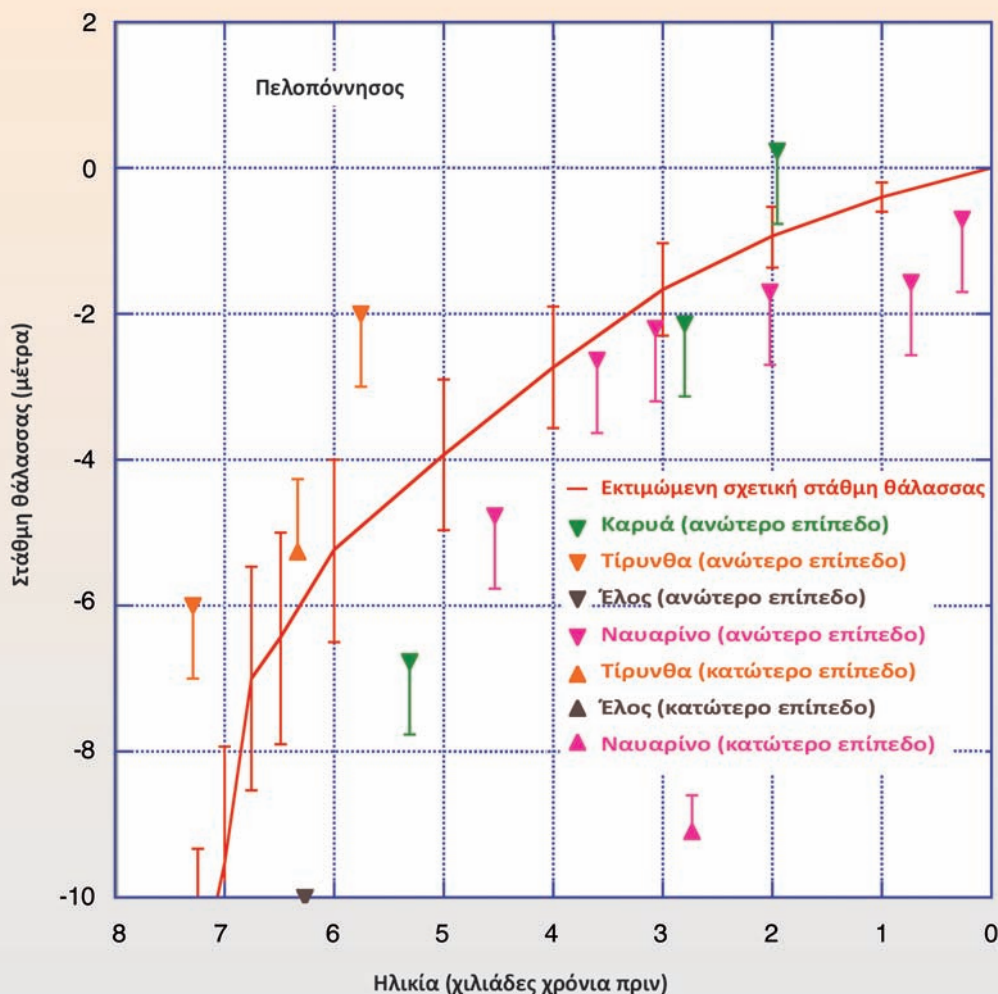
Οι σταυροί αποτελούν δεδομένα σχετικής στάθμης της θάλασσας από κοράλλια. Οι άσπροι κύκλοι αφορούν κατώτατα επίπεδα στάθμης θάλασσας (lowstands) σύμφωνα με τους Rohling et al. (1998). Ο δεξιός άξονας αντιπροσωπεύει διακυμάνσεις μέσης τιμής ωκεάνιου νερού $\delta^{18}\text{O}$ προερχόμενες κατά Shackleton (2000) από ατμοσφαιρικό $\delta^{18}\text{O}$. Οι αριθμοί πάνω από τις καμπύλες της στάθμης της θάλασσας αντιπροσωπεύουν ισότοπικά στάδια (MIS). Διάγραμμα από Waelbroeck et al. (2002).

ται ότι κατά τη μεσοπαγετώδη περίοδο των 400 ka BP (Marine Isotope Substage – MIS – 11, π.χ. Bowen, 2009, Rohling et al., 2010), των 320 ka BP (MIS 9c), των 237 ka BP και των 197 ka BP (MIS 7e και MIS 7a αντίστοιχα, π.χ. Siddall et al., 2003, Rabineau et al., 2006) η στάθμη της θάλασσας είχε ενδεχομένως φθάσει τα σημερινά επίπεδα (Διάγραμμα 1.46). Κατά την πιο πρόσφατη μεσοπαγετώδη περίοδο (MIS 5), 120-125 ka BP, εκτιμάται ότι η στάθμη έφθασε 4-9 μ. υψηλότερα (Διάγραμμα 1.46) από τη σημερινή (π.χ. Stirling et al., 1998, McCulloch and Esat, 2000, Kopp et al., 2009) με μέγιστο ρυθμό ανόδου της στάθμης στα 10-16 χλστ./έτος (Rohling et al., 2008). Η τιμή αυτή είναι παρόμοια με εκείνη που αφορά στη μακρά μεσοπαγετώδη περίοδο του MIS 11 (400 ka), 10-20 χλστ./έτος, όπως και στις τέσσερεις ‘θερμές’ διακυμάνσεις του MIS 3 (60-25 ka, Siddall et al., 2008). Η τελευταία άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (20-6 ka BP) είναι της τάξεως των 10 χλστ./έτος (Rohling et al., 2010).

Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας θεωρείται ότι έχει ανέλθει κατά 120-130 μέτρα από την ελάχιστη στάθμη της κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο (περίπου 21 ka) μέχρι σήμερα (π.χ. Shackleton, 2000, Waelbroeck et al., 2002, Siddall et al., 2003, Peltier and Fairbanks, 2006). Ο ρυθμός ανόδου της στάθμης κατά τη μεσοπαγετώδη περίοδο από τα 14 ka έως τα 7 ka BP εκτιμάται σε μια μέση τιμή των 11 χλστ./έτος (Bard et al., 1996), ενώ για τα τελευταία 6 ka η μέση τιμή ανόδου έπεσε στο 1 χλστ./έτος (Lambeck, 1995, Lambeck and Purcell,

Διάγραμμα 1.47

Εκτιμώμενη καμπύλη μεταβολής της στάθμης της θάλασσας στην Πελοπόννησο



Σύγκριση με παρατηρούμενα επίπεδα θαλάσσιας στάθμης επιβεβαιωμένων περιοχών. Στο διάγραμμα δείχνονται ανώτερα και κατώτερα επίπεδα εκτιμώμενης θαλάσσιας στάθμης. Τα δεδομένα πεδίου είναι από Kraft and Rapp (1975) και Kraft et al. (1977, 1980) και έχουν συνοψιστεί από τον Lambeck (1995b).

2005, Διάγραμμα 1.46). Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης συνεχίζεται μέχρι σήμερα (IPCC, 2007, Poulos et al., 2009a, Woodworth et al., 2009).

Η στάθμη της θάλασσας στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο 21-18 ka BP (τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου) βρισκόταν 105-120 μ. χαμηλότερα (π.χ. Pirazzoli and Pluett, 1991, Lambeck and Bard, 2000). Μάλιστα, σύμφωνα με τους Lambeck (1995, 1996) και Lambeck and Purcell (2005), από τα 11,5 ka μέχρι τα 6 ka η θαλάσσια στάθμη καταγράφει ταχεία άνοδο, οφειλόμενη σε παγετωνοευστατικούς παράγοντες, φθάνοντας από 2μ. (Βόρειο Αιγαίο) έως 6μ. (Νότιο Αιγαίο) χαμηλότερα από τα σημερινά της επίπεδα. Μάλιστα, σε διάφορες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας αναφέρονται ρυθμοί ανόδου της στάθμης της θάλασσας

Πίνακας 1.12

Θέση (βάθος) και ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (ΘΣ) για διάφορα χρονικά διαστήματα του παρελθόντος και τις περιοχές προέλευσης των δεδομένων που αναγράφονται

Χρονική περίοδος	Θέση ΘΣ	Ρυθμός ανόδου ΘΣ	Περιοχή προέλευσης δεδομένων	Βιβλιογραφικές αναφορές
18-21 ka	-120-105 μ.			
Από 8 ka μέχρι 6 ka		8,5 χλστ./έτος	Εύβοια	Kambouroglou et al. (1988)
Από 10 ka μέχρι 5 ka		4,0 χλστ./έτος	Θεσσαλονίκη	Vouvalidis et al. (2005)
8,3 ka	- 28 μ.		Θεσσαλονίκη	Chronis (1986)
Από 8 μέχρι 7 ka		12,3 χλστ./έτος	Ακαρνανία	Vött (2007)
Από 7,6 μέχρι 6,2 ka	- 11 μ.		Αργολικό πεδίο	Jacobsen and Farrand (1987), van Andel (1987)
Από 7 ka μέχρι 6,5 ka		6,0 χλστ./έτος	Πελοπόννησος	Lambeck and Purcell (2005)
Τελευταία 6 ka	- 2 μ.		Βόρειο Αιγαίο	Lambeck (1995), Lambeck and Purcell (2005)
Τελευταία 6 ka	- 6 μ.		Νότιο Αιγαίο	Lambeck (1995), Lambeck and Purcell (2005)
από 6 ka μέχρι 0 π.Χ.		2,5 χλστ./έτος	Κύπρος	Gifford 1980
Τελευταία 6 ka		1 μ./1000 έτη	Πελοπόννησος	Lambeck and Purcell (2005)
Από 6 μέχρι 2,5 ka		0,2-1,4 χλστ./έτος	Ακαρνανία	Vött (2007)
Τελευταία 4 ka		1,0 χλστ./έτος	Θεσσαλονίκη	Vouvalidis et al. (2005)
Από 5,5 ka μέχρι 1,3 ka		1,68 χλστ./έτος	Μαραθώνας	Pavlopoulos et al. (2006)

σας μεταξύ 8 ka και 6 ka BP με τιμές της τάξεως των 8,5 χλστ./έτος (Νότια Εύβοια, Kambouroglou et al., 1988), 12,3 χλστ./έτος (ΝΔ Ακαρνανία, Vött, 2007) και 6 χλστ./έτος (Πελοπόννησος, Lambeck and Purcell, 2005, Διάγραμμα 1.47). Κατά τα τελευταία 5-6 ka η στάθμη της θάλασσας εξακολουθεί να ανέρχεται με ρυθμό <1 χλστ./έτος, χωρίς να έχει ξεπεράσει ποτέ τα σημερινά επίπεδα και χωρίς να αποκλείονται μικρές αυξομειώσεις του ρυθμού ανόδου (Lambeck and Purcell, 2005, Pavlopoulos et al., 2007, Vött, 2007, Poulos et al., 2008a). Στον Πίνακα 1.12 δίνονται χαρακτηριστικές τιμές ρυθμού ανόδου της θαλάσσιας στάθμης σε παράκτιες θέσεις του ελληνικού χώρου.

1.18.2 Η μέση στάθμη της θάλασσας σήμερα και στο μέλλον

Από το τέλος του 19ου αιώνα μέχρι σήμερα, ενόργανες μετρήσεις (παλιρροιογράφοι και δορυφορική υψομετρία) δείχνουν άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας με ρυθμό της τάξεως των 1,8 χλστ./έτος, ενώ δορυφορικές μετρήσεις των τελευταίων 15 χρόνων δείχνουν επιτά-

χυνση αυτού του ρυθμού στα 3 χλστ./έτος (Bindoff et al., 2007). Όσον αφορά στην εκτίμηση της μελλοντικής ανόδου της στάθμης, σύμφωνα με το πιο συντηρητικό σενάριο (B1) του IPCC (2007) η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί από 1,1 °C έως και 2,9 °C μέχρι το 2100, ενώ, με βάση το δυσμενέστερο σενάριο (A1FI), η αύξηση πιθανόν να είναι 2,4-6,4 °C. Αντίστοιχα, η προβλεπόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης για το 2090-2099, σε σύγκριση με αυτήν της περιόδου 1980-1999, σύμφωνα με το Σενάριο B1 αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 0,18 μ. και 0,38 μ. και για το Σενάριο A1FI στα 0,26-0,59 μέτρα. Ωστόσο, μεταγενέστερες μελέτες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2007) αναφέρουν ακόμη μεγαλύτερη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης για το 2100. Σύμφωνα με την ημιεμπειρική σχέση μεταξύ της ανόδου της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης κατά Rahmstorf (2007), προκύπτει ότι για κάθε 1 °C ή άνοδος της θαλάσσιας στάθμης είναι της τάξεως των 10-30 εκατοστών. Έτσι, εάν υιοθετηθούν οι προβλέψεις των SRES Σεναρίων του IPCC (2007) για την ατμοσφαιρική θερμοκρασία (1,4-5,8 °C), η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης ανέρχεται σε 0,5-1,4 μέτρα. Η δυσμενέστερη εξέλιξη προβλέπεται από τη μελέτη των Pfeffer et al. (2008), στην οποία αναφέρεται πιθανή άνοδος μεταξύ 0,8 και 2 μέτρων. Μάλιστα, στη μελέτη αυτή υποστηρίζεται ότι στην τελευταία αναφορά του IPCC (2007) δεν έχει επιτυχώς προσομοιωθεί (modeled) η δυναμική εξέλιξη (η μείωση) των παγετώνων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, άποψη η οποία υποστηρίζεται πρόσφατα και από άλλους ερευνητές (π.χ. Rohling et al., 2009, Grinsted et al., 2010).

1.18.3 Σύγκριση της αναμενόμενης μεταβολής της στάθμης της θάλασσας με παλαιο-κλιματικά δεδομένα

Οι σημερινοί ρυθμοί ανόδου της στάθμης της θάλασσας είναι αισθητά μικρότεροι συγκρινόμενοι τόσο με αντίστοιχες μεσοπαγετώδεις περιόδους του παρελθόντος (π.χ. 120 ka) όσο και με κάποιες θερμές διακυμάνσεις της προηγούμενης παγετώδους περιόδου (40-41 ka BP), αλλά φυσικά και με την έναρξη της σημερινής μεσοπαγετώδους περιόδου (14-8 ka BP).

Επομένως, από την παρακολούθηση της πορείας της στάθμης της θάλασσας κατά τον Ολόκαινο φαίνεται ότι αυτή πρέπει να βρίσκεται πιθανότατα στις ανώτατες τιμές της εξέλιξής της, δεδομένων αφενός των υψηλών επιπέδων στάθμης (highstand) που έχει καταγράψει από την έναρξη της ‘θερμής’ περιόδου (όμοιες με άλλων παλαιότερων θερμών περιόδων) και αφετέρου της παρατηρούμενης επιβράδυνσης του ρυθμού ανόδου της τα τελευταία 5-6 χιλιάδες χρόνια. Παρόλα αυτά, η εξέλιξη της πορείας της στάθμης της θάλασσας είναι αβέβαιη, όπως φαίνεται και από τη σημαντική επιτάχυνση του ρυθμού ανόδου της (1-3 χλστ./έτος) τα τελευταία 15 χρόνια. Το γεγονός αυτό, που πιθανότατα σχετίζεται με την επιβαρυντική επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου στην αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, η οποία επιφέρει και μείωση των παγετώνων, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο αυξημένος σημερινός ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης είναι πολύ πιθανό να επιταχυνθεί περαιτέρω, φθάνοντας σε

τιμές που ούτως ή άλλως έχουν καταγραφεί στο γεωλογικό παρελθόν. Επίσης, θα πρέπει να συνεκτιμηθεί και ο ρόλος των αστρονομικών παραγόντων στην εξέλιξη του κλιματικού κύκλου που διανύουμε, οι οποίοι και έχουν άμεση σχέση με την έναρξη της επόμενης παγετώδους περιόδου.

1.18.4 Διάκριση των ακτών σε γεωμορφολογικές – γεωδυναμικές κατηγορίες και αποτύπωση σε χάρτες

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης τις τελευταίες δεκαετίες, σε συνδυασμό με τις προβλέψεις, που κυμαίνονται από 0,2 έως και 2 μέτρα ανόδου της στάθμης μέχρι το 2100, απεικονίζεται ενδεικτικά στο χάρτη της Ελλάδος (Διάγραμμα 1.48, με βάση χάρτες κλίμακας 1: 50.000), όπου με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι παράκτιες εκείνες περιοχές που θα πληγούν από μια υποθετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά ένα μέτρο.

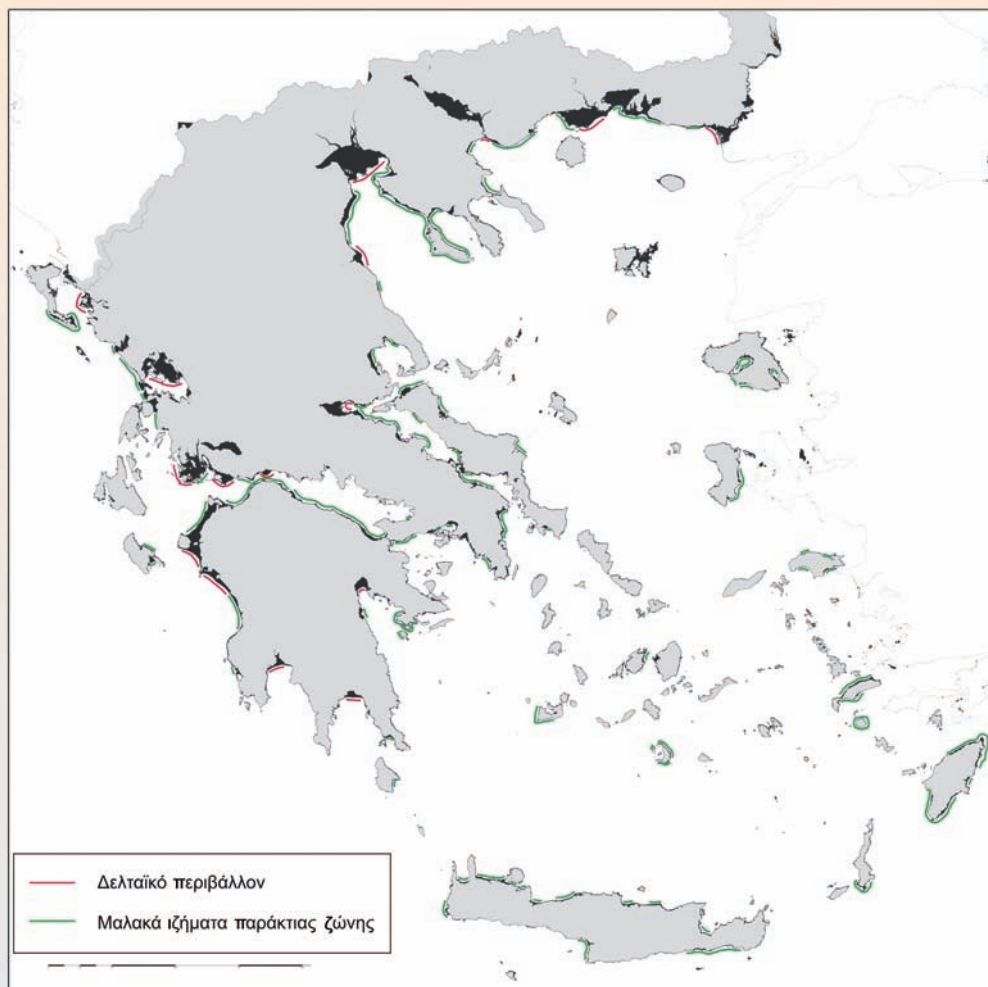
Όμως, η ασφαλής εκτίμηση της επικινδυνότητας μιας περιοχής λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας δεν καθορίζεται μόνο από το ρυθμό και το εύρος της ανόδου της στάθμης αλλά και από άλλους τοπικούς παράγοντες, όπως είναι ο τεκτονισμός, η προσφορά ιζήματος (από τη χέρσο) και η παράκτια γεωμορφολογία/λιθολογία.

Ο ρόλος του τεκτονισμού είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε τεκτονικά ενεργές ζώνες, καθώς μπορεί να εξουδετερώσει τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας, όταν αυτή αφορά ανερχόμενα τεμάχια ενεργών ρηγμάτων, ή, αντίθετα, να την ενισχύσει στην περίπτωση σχετικά κατερχόμενων τεμαχίων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η παράκτια ζώνη της Βόρειας Πελοποννήσου, με ρυθμούς ανύψωσης από 0,3 έως 1,5 χλστ./έτος, της Κρήτης με 0,7 έως 4 χλστ./έτος και της Ρόδου με 1,2-1,9 χλστ./έτος. Έτσι, για παράδειγμα, μια μέση τιμή ανόδου της στάθμης της θάλασσας της τάξεως των 4,3 χλστ./έτος θα μειωθεί στα 3,5 χλστ./έτος με την αφαιρετική δράση μιας μέσης τιμής τεκτονικής ανύψωσης της τάξεως των 0,8 χλστ./έτος.

Η μεταβολή των στερεοπαροχών σε περιοχές εκβολών μεγάλων ποταμών όπου δημιουργούνται Δέλτα μπορεί να αντισταθμίσει μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μέσω της προέλασης του Δέλτα λόγω αυξημένης παροχής σε ίζημα. Αντίθετα, σε περίπτωση μείωσης της ποτάμιας στερεοαπορροής, η θαλάσσια επίκλυση από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας θα ενισχυθεί.

Τέλος, σημαντικότατο ρόλο στην τρωτότητα μιας παράκτιας περιοχής στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας παίζει η παράκτια μορφολογία και ειδικότερα η κλίση και η λιθολογική της σύσταση, καθώς αυτά έχουν άμεση σχέση με τους ρυθμούς διάβρωσης. Οι τελευταίοι μπορεί να κυμαίνονται από πολύ υψηλούς (αρκετά μ./έτος) στην περίπτωση γεωμορφών χαμηλού αναγλύφου και ευκολοδιάβρωτης λιθολογίας έως χαμηλούς (της τάξεως χλστ./έτος) στην περίπτωση ασβεστολιθικών συμπαγών παράκτιων σχηματισμών (π.χ. κρημνοί).

Αφού ελήφθησαν οι παραπάνω παράγοντες, οι παράκτιες περιοχές της Ελλάδος (χάρτης κλίμακας 1: 50.000) κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις κύριες ζώνες (Διάγραμμα 1.48):



Υποδιαίρεση σε αυτές που χαρακτηρίζονται ως μέτριας τρωτότητας (πράσινο χρώμα) στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και αποτελούνται από μαλακά ιζήματα Νεογενούς-Τεταρτογενούς ηλικίας, συνήθως μικρού υψομέτρου, και σε αυτές που χαρακτηρίζονται ως υψηλής τρωτότητας (ερυθρό χρώμα) και αποτελούν δελταϊκές αποθέσεις μεγάλου υψομέτρου. Οι υπόλοιπες παράκτιες ζώνες χαρακτηρίζονται ως περιοχές χαμηλής τρωτότητας και αποτελούν συνήθως βραχώδεις και μεγάλου υψομέτρου παράκτιες περιοχές. Πάνω στο χερσαίο χώρο, με τις μαύρες περιοχές σημειώνονται τα υψόμετρα κάτω των 20 μέτρων, όπου κατά κανόνα απαντούν χαλαρές ιζηματογενείς αποθέσεις.

1) Δελταϊκές. Συμβολίζονται με κόκκινο χρώμα και αφορούν παράκτιες περιοχές απόθεσης με χαλαρά μη συνεκτικά ιζήματα, μικρού απόλυτου υψομέτρου και υψηλής τρωτότητας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

2) Νεογενών και Τεταρτογενών 'μαλακών' ιζημάτων. Συμβολίζονται με πράσινο χρώμα και αφορούν ζώνες οπισθοδρομούσας διάβρωσης των ακτών. Πρόκειται για παράκτιες περιοχές με συνήθως μικρό υψόμετρο και μέτρια τρωτότητα στην άνοδο της στάθμης, στις οποίες αναμένονται μέτριες επιπτώσεις.

3) Βραχώδεις (χωρίς ιδιαίτερη χρωματική διαγράμμιση). Αφορούν κυρίως αλπικά πετρώματα χαμηλής τρωτότητας στη διάβρωση και στην κατάκλυση από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και εκτείνονται στις υπόλοιπες ακτογραμμές.

Ο υπολογισμός του μήκους της ακτογραμμής των προαναφερόμενων τριών παράκτιων ζωνών, σύμφωνα με το χάρτη του Διαγράμματος 1.48, δείχνει ότι, από τα περίπου 16.300 χλμ. του συνολικού μήκους της ελληνικής ακτογραμμής, τα 960 χλμ. (6% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στις παράκτιες δελταϊκές περιοχές υψηλής τρωτότητας (κόκκινο χρώμα), τα 2.400 χλμ. (15% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στα νεογενή μαλακά ιζήματα μέτριας τρωτότητας (πράσινο χρώμα), ενώ τα υπόλοιπα 12.810 χλμ. (79% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στις βραχώδεις παράκτιες περιοχές χαμηλής τρωτότητας. Επομένως, το συνολικό μήκος ακτογραμμής που αντιστοιχεί σε παράκτιες περιοχές μέτριας έως υψηλής τρωτότητας στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι 3.360 χλμ., δηλαδή το 21% της συνολικής ελληνικής ακτογραμμής.

1.18.5 Εκτιμήσεις υποχώρησης της ακτογραμμής λόγω της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας

Στον Πίνακα 1.13 παρατίθενται ενδεικτικές προσεγγιστικές τιμές επιφάνειας κατάκλυσης παράκτιων ζωνών και υποχώρησης (σε μέτρα) της ακτογραμμής (απουσία όμως τεκτονικής και

Πίνακας 1.13

Υπολογισμοί της υποχώρησης της ακτογραμμής (σε μέτρα) και της επιφάνειας που θα κατακλυστεί σε ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 μ. και 1 μ., για διάφορες δελταϊκές περιοχές του Θερμαϊκού και του Κυπαρισσιακού Κόλπου (Poulos et al., 2008b)

Παράκτια περιοχή	Άνοδος στάθμης θάλασσας (μ.)	Υποχώρηση ακτογραμμής, υπόδειγμα Bruun's (μ.)	Υποχώρηση ακτογραμμής λόγω		Συνολική υποχώρηση ακτογραμμής (μ.)	Περιοχή υπό κατάκλυση (τετρ. χλμ.)
			ανόδου στάθμης θάλασσας (μ.)	διάβρωσης ακτής (μ.)		
Δέλτα Αλφειού (βόρειο τμήμα)	0,5	51,1	175	15	190	224
	1,0	102,2	810	-110	700	683
Δέλτα Αλφειού (νότιο τμήμα)	0,5	54,5	15-30	0-15	30	35
	1,0	109,0	10-100	400	400-450	344
Δέλτα Αξιού	0,5	52,7	250-2.000	0	250-2.000	10.825
	1,0	213,6	2.000-2.500	0	2.000-2.500	28.482
Δέλτα Αλιάκμονα	0,5	63,6	50-1.750	0	50-1.750	4.875
	1,0	195,4	250-2.500	0	250-2.500	8.950
Δελταϊκή πεδιάδα Λουδία-Αλιάκμονα	0,5		500-2.750	0	500-2.750	8.900
	1,0		5.000-6.500	0	5.000-6.500	25.575

γεωδυναμικής διόρθωσης) σε ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5μ. και 1μ. σε δελταϊκές περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, όπως είναι του Αξιού-Αλιάκμονα και του Αλφειού (Poulos et al., 2008b). Το εύρος της υποχώρησης της ακτογραμμής για υποθετική άνοδο 0,5 μ. κυμαίνεται μεταξύ 30 και 2.750 μ., ενώ το αντίστοιχο εύρος για υποθετική άνοδο 1 μ. κυμαίνεται μεταξύ 400 και 6.500 μέτρων.

Η εκτίμηση της σοβαρότητας των επιπτώσεων της άνοδου της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές εμπεριέχει βαθμό αβεβαιότητας, η οποία αφορά:

(α) Το εύρος άνοδου της στάθμης της θάλασσας, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2 μέτρων. Η εξέλιξη της πορείας της στάθμης της θάλασσας καθορίζεται από την αλληλεπίδραση πολλών φυσικών (αστρονομικοί παράμετροι) και ανθρωπογενών (αέρια θερμοκηπίου) παραγόντων. Η βαρύτητα καθενός από αυτούς θα καθορίσει και τη συνολική εξέλιξη του κλιματικού κύκλου που διανύουμε, ο οποίος φαίνεται να βρίσκεται στο απόγειο της σημερινής ‘θερμής’ μεσοπαγετώδους περιόδου.

(β) Τη σχέση της τεκτονικής ανύψωσης με την ευστατική άνοδο της στάθμης της θάλασσας, που για αρκετές περιοχές του ελλαδικού χώρου είναι σημαντική, τόσο ώστε να αντισταθμίζει ή και να υπερβαίνει τοπικά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

(γ) Τη στερεοπαροχή κλαστικών υλικών στις παράκτιες περιοχές, η οποία καθορίζεται από τις γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες, αλλά και από ανθρωπογενείς επεμβάσεις (π.χ. φράγματα, αμμοληψίες), οι οποίες στη περίπτωση π.χ. των ποτάμιων Δέλτα μπορούν να διαφοροποιήσουν την τρωτότητά τους στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Βιβλιογραφία

Α. Ελληνική

- Αιγινήτης, Δ. (1908), *Το Κλίμα της Ελλάδος*, τ. 2, *Το Κλίμα της Αττικής*, Αθήναι.
- Αιγινήτης, Δ. (1926), “Αι ανομβρίαί και τα αναγκαία έργα υδρεύσεως και αρδεύσεως εν Ελλάδι”, *Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών*, τ. Γ΄, 244-58.
- Αριστοτέλης, “Πολιτικά”, 1330.
- WWF Ελλάς (2009), “Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον”, Αθήνα, Σεπτέμβριος.
- Δουβής, Κ. (2009), “Μελέτη των ακραίων κλιματικών φαινομένων στην Ελλάδα με μεθόδους υποκλιμάκωσης”, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.
- Ζερεφός, Χ. (2007), “Η κλιματική αλλαγή στην Επιστήμη και στην Τέχνη”, *Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών*, τ. 82, τεύχος Α΄.
- Ζερεφός, Χ. (2009), “Εισαγωγικά Μαθήματα στη Φυσική της Ατμόσφαιρας”, Χ. Ζερεφός, Εκδόσεις Πατάκη.
- Κανδύλης, Φ., Χ. Ρεπαπής και Στ. Κοτίνη-Ζαμπάκα (1989), “Οι κλιματικές μεταβολές κατά τα τελευταία 100 έτη, όπως εκδηλώνονται στην Ανατολική Μεσόγειο”, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωγραφίας, Αθήνα, 147-54, Δεκέμβριος.
- Καψωμενάκης, Ι. (2009), “Εκτίμηση των προβλεπομένων από τα πρότυπα προσομοίωσης κλιματικών αλλαγών στην Ελλάδα με μεθόδους υποκλιμάκωσης”, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.
- Κοτίνη-Ζαμπάκα, Στ. (1983), “Συμβολή στην κατά μήνα μελέτη του κλίματος της Ελλάδος”, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Κούκης, Γ. και Κ. Ζιούρκας (1989), “Κατολισθητικές κινήσεις στον ελληνικό χώρο. Στατιστική Θεώρηση”, *Ορ. Πλούτος*, 58, 39-58.
- Μαριολόπουλος, Η.Γ. (1938), “Το Κλίμα της Ελλάδος”, Αθήναι.
- Μαριολόπουλος, Η.Γ. (1982), “Επιτομή του Κλίματος της Ελλάδος”, *ΚΕΦΑΚ Ακαδημίας Αθηνών, Δημοσίευμα*, 7.
- Πλάτων, “Νόμοι”, Βιβλ. 6.
- Ρεπαπής, Χ.Κ., Κ.Μ. Φιλάνδρας και Δ.Α. Μεταξάς (2002), “Μεταβλητότητα του κλίματος στην Ανατολική Μεσόγειο, στην Ελλάδα και ειδικότερα στην Αθήνα”, *ΚΕΦΑΚ Ακαδημίας Αθηνών, Δημοσίευμα*, 16.
- Φουντά, Δ. (2009), “Τάσεις ακραίων καιρικών φαινομένων στην Αθήνα τα τελευταία 150 χρόνια-Μελλοντικές εκτιμήσεις”, Διημερίδα ΕΚΔΔ-ΕΑΑ με θέμα ‘Φυσικές Καταστροφές και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Οικονομική και Περιβαλλοντική Σημασία για την Ελλάδα’, Αθήνα, 5-6 Φεβρουαρίου.

B. Ξενόγλωσσον

Adhémar, J. (1842), “Révolutions de la Mer: Déluges”, Carilian-Goeury et V. Dalmont, Paris, 184.

Akkemik, Ü. and A. Aras (2005), “Reconstruction (1689-1994 AD) of April-August precipitation in the southern part of central Turkey”, *International Journal of Climatology*, 25, 537.

Aksu, A.E., D. Yaşar, P.J. Mudie and H. Gillespie (1995), “Late Glacial–Holocene palaeoclimatic and paleoceanographic evolution of the Aegean Sea: micropaleontological and stable isotopic evidence”, *Marine Micropaleontology*, 25, 1-28.

Alcamo, J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen and A. Shvidenko (2007), “Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-80.

Alley, R.B., P.A. Mayewski, T. Sowers, M. Stuiver, K.C. Taylor and P.U. Clark (1997), “Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago”, *Geology*, 1997, 25, 6, 483-6.

Alley, R.B. (2000), “Ice-core evidence of abrupt climate changes”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 4, 1331-4.

Almogi-Labin, A., M. Bar-Matthews, D. Shriki, E. Kolosovsky, M. Paterne, B. Schilman, A. Ayalon, Z. Aizenshtat and A. Matthews (2009), “Climatic variability during the last 90 ka of the southern and northern Levantine Basin as evident from marine records and speleothems”, *Quaternary Science Reviews*, 28, 2882-96.

Alpert, P., M. Baldi, R. Ilani, S. Krichak, C. Price, X. Rodo, H. Saaroni, B. Ziv, P. Kishcha, J. Barkan, A. Mariotti and E. Xoplaki (2006), Chapter 2: “Relations between climate variability in the Mediterranean region and the tropics: ENSO, the Indian and the African monsoons, hurricanes and Saharan dust”, *Elsevier*, doi:10.1016/S1571-9197(06)80005-4.

Alverson, K.D., R.S. Bradley and T.F. Pedersen (eds) (2003), “Paleoclimate, Global Change and the Future”, The IGBP Series, *Springer-Verlag*, New York.

Antonioli, F., S. Silenzi and S. Frisia (2001), “Tyrrhenian holocene palaeoclimate trends from spelean serpulids”, *Quaternary Science Reviews*, 20, 1661.

Arz, H.W., F. Lamy and J. Pätzold (2006), “A pronounced dry event recorded around 4.2 kyr in brine sediments from the Northern Red Sea”, *Quaternary Research*, 66, 432-41.

Asioli, A., F. Trincardi, J.J. Lowe, D. Ariztegui, L. Langone and F. Oldfield (2001), “Sub-millennial scale climatic oscillations in the central Adriatic during the Lateglacial: palaeoceanographic implications”, *Quaternary Science Reviews*, 20, 11, 1201-21.

Atkinson, T.C., K.R. Briffa and G.R. Coope (1987), “Seasonal temperatures in Britain during the last 22,000 years, reconstructed using beetle remains”, *Nature*, 325, 587-92.

Austin, W.E.N. and D. Kroon (1996), "The Lateglacial palaeoceanographic evolution of the Hebridean Continental Shelf, N.W. Scotland", in Andrews, J.T., W.E.N. Austin and H.E. Bergsten (eds), "The Lateglacial Palaeoceanography of the North Atlantic Margins", *Geological Society Special Publication*, 111, 187-214.

Axaopoulos, P. and S. Sofianos (2009), "Long Term Variability of Sea Surface Temperature in Mediterranean Sea", 7th International Conference of the Balkan Physical Union, edited by A. Angelopoulos and T. Fildisis, American Institute of Physics.

Barber, D.C., A. Dyke, C. Hillaire-Marcel, A.E. Jennings, J.T. Andrews, M.W. Kerwin, G. Bilodeau, R. McNeely, J. Southon, M.D. Morehead and J.-M. Gagnon (1999), "Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes", *Nature*, 400, 344-8.

Bar-Matthews, M., A. Ayalon and A. Kaufman (1997), "Late Quaternary palaeoclimate in the eastern Mediterranean region from stable isotope analysis of speleothems at Soreq Cave, Israel", *Quaternary Research*, 47, 155-68.

Bar-Matthews, M., A. Ayalon, M. Gilmour, A. Matthews and C.J. Hawkesworth (2003), "Sea-land oxygen isotopic relationships from planktonic foraminifera and speleothems in the Eastern Mediterranean region and their implication for paleorainfall during interglacial intervals", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 3181-99.

Bar-Matthews, M. and A. Ayalon (2005), "Evidence from speleothem for abrupt climatic changes during the Holocene and their impact on human settlements in the Eastern Mediterranean region: Dating methods and stable isotope systematics", in Fouache, E. and K. Pavlopoulos (eds) "Sea level changes in Eastern Mediterranean during Holocene – indicators and human impacts", *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Supplement Volume 137, 45-59, Berlin-Stuttgart.

Bard, E., B. Hamelin, M. Arnold, L. Montaggioni, G. Cabioch, G. Faure and F. Rougerie (1996), "Sea level record from Tahiti corals and the timing of deglacial meltwater discharge", *Nature*, 382, 241-4.

Bard, E. and M. Frank (2006), "Climate change and solar variability: What's new under the sun? Frontiers", *Earth and Planetary Science Letters*, 248, 1-14.

Barker, S. and H. Elderfield (2002), "Foraminiferal calcification response to Glacial-Interglacial changes in atmospheric CO₂", *Science*, 297, 833-83.

Barnett, D.N. et al. (2006), "Quantifying uncertainty in changes in extreme event frequency in response to doubled CO₂ using a large ensemble of GCM simulations", *Clim. Dyn.*, 26, 489-511.

Barrett, P. J. (1996), "Antarctic paleoenvironment through Cenozoic times – a review", *Terra Antarctica*, 3, 103-19.

Beer, J. (2000), "Polar ice as an archive for solar cycles and the terrestrial climate. The Solar Cycle and Terrestrial Climate", Proc. 1st Solar and Space Weather Euroconference, SP-463, ESA, Santa Cruz de Tenerife, Spain, 671-6.

Belkin, I.M. (2009), “Rapid warming of Large Marine Ecosystems”, *Progress in Oceanography*, 81, 1-4, 207-13.

Berger, A.L. and M.F. Loutre (1991), “Insolation values for the climate of the last 10 million years”, *Quaternary Science Reviews*, 10, 297-317.

Berger, A., M.F. Loutre and J.L. Mélice (1998), “Instability of the astronomical periods from 1.5 Myr BP to 0.5 Myr AP”, *Paleoclimates*, 2, 239-80.

Berger, J-F. and J. Guilaine (2009), “The 8,200 cal BP abrupt environmental change and the Neolithic transition: A Mediterranean perspective”, *Quaternary International*, 200, 1-2, 31-49.

Berman, T., N. Paldor and S. Brenner (2003), “Annual SST cycle in the Eastern Mediterranean, Red Sea and Gulf of Elat”, *Geophysical Research Letters*, 30, 5, 1261, doi:10.1029/2002GL015860.

Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley and A. Unnikrishnan (2007), “Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level”, in: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds), “Climate Change 2007: The Physical Science Basis”, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

Bond, G., B. Kromer, J. Beer, R. Muscheler, M. Evans, W. Showers, S. Hoffmann, R. Lotti-Bond, I. Hajdas and G. Bonani (2001), “Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene”, *Science*, 294, 2130-6.

Bowen, D.Q. (2009), “Sea level 400,000 years ago (MIS 11): analogue for present and future sea-level”, *Climate of the Past Discussion*, 5, 1853-82.

Bradley, R.S. (1999), “Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary”, *International Geophysics*, Academic Press.

Brasseur, P., J.M. Beckers, J.M. Brankart and R. Schoenauen (1996), “Seasonal temperature and salinity fields in the Mediterranean Sea: climatological analyses of an historical dataset”, *Deep-Sea Research*, 43, 2, 159-92.

Broecker, W. S. and T.L. Stocker (2006), “The Holocene CO₂ rise: Anthropogenic or natural?”, *Eos Trans. AGU*, 87, 3, 27.

Brönnimann, S., E. Xoplaki, C. Casty, A. Pauling and J. Luterbacher (2007), “ENSO influence on Europe during the last centuries”, *Climate Dynamics*, 28, 181-97.

Büntgen, U., D. Frank, H. Grudd and J. Esper (2008), “Long-term summer temperature variations in the Pyrenees”, *Climate Dynamics*, 31, 6, 15-631.

Büntgen, U., D. Frank, V. Trouet and J. Esper (2010), “Diverse climate sensitivity of Mediterranean tree-ring width and density”, *Trees-Structures and Function*, 24, 2, 261-73.

Cacho, I., J. O. Grimalt, M. Canals, L. Sbaiffi, N. J. Shackleton, J. Schönfeld and R. Zahn (2001), "Variability of the western Mediterranean Sea surface temperature during the last 25,000 years and its connection with the Northern Hemisphere climatic changes", *Paleoceanography*, 16(1), 40-52, doi:10.1029/2000PA000502.

Caine, N. (1980), "Rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows", *Geograf. Ann.* 62A, 23-7.

Calcaterra, D., M. Parise, B. Palma and L. Pelella (2000), "The influence of meteoric events in triggering shallow landslides in pyroclastic deposits of Campania Italy", in Bromhead, E., N. Dixon and M.L. Ibsen (eds), *Proc. 8th Int Symp on Landslides*, vol. 1 Cardiff, AA Balkema, 209-14.

Caldeira, K. and M.E. Wickett (2003), "Anthropogenic carbon and ocean pH", *Nature*, 425, 365.

Cannon, S.H. and J.E. Gartner (2005), "Wildfire-related debris flow from a hazards perspective", in Jakob, M. and O. Hungr (eds), "Debris flow Hazards and Related Phenomena", Springer, Berlin-Heidelberg, 363-85.

Casford, J.S.L., E.J. Rohling, R.H. Abu-Zied, C. Fontanier, F.J. Jorissen, M.J. Leng, G. Schmiedl and J. Thomson (2003), "A dynamic concept for eastern Mediterranean circulation and oxygenation during sapropel formation", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 190, 103-19.

Castañeda, I.S., E. Schefuß, J. Pätzol, J.S.S. Damsté, S. Weldeab and S. Schouten (2010), "Millennial-scale sea surface temperature changes in the Eastern Mediterranean (Nile River Delta Region) over the last 27,000 years", *Paleoceanography*, in press.

Croll, J. (1875), "Climate and time in their geological relations. A theory of secular changes of the earth's climate", Dadly, Ibister & Co, London.

Dahl-Jensen, D., K. Mosegaard, N. Gundestrup, G. D. Clow, S. J. Johnsen, A. W. Hansen and N. Balling (1998), "Past temperature directly from the Greenland Ice Sheet", *Science*, 282, 268-71, doi:10.1126/science.282.5387.268.

De Lange, G.J., J. Thomson, A. Reitz, C.P. Slomp, M.S. Principato, E. Erba and C. Corselli (2008), "Synchronous basin-wide formation and redox-controlled preservation of a Mediterranean sapropel", *Nature Geosciences*, 1, 606-10.

De Rijk, S., A. Hayes and E.J. Rohling (1999), "Eastern Mediterranean sapropel S1 interruption: an expression of the onset of climatic deterioration around 7ka BP", *Marine Geology*, 153, (1-4), 337-43, doi:10.1016/S0025-3227(98)00075-9.

Del Rio Vera, J. et al. (2006), "Mediterranean Sea level analysis from 1992 to 2005", presented at ESA workshop, Venice, Italy (www.earth.esa.int/workshops/venice06/participants/838paper_838_delriovera.pdf).

deMenocal, P., J. Ortiz, T. Guilderson, J. Adkins, M. Sarnthein, L. Baker and M. Yarusinsky (2000a), “Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate responses to gradual insolation forcing”, *Quaternary Science Reviews*, 19, 1-5, 1, 347-61.

deMenocal, P., J. Ortiz, T. Guilderson and M. Sarnthein (2000b), “Low-Latitude Climate, Variability During the Holocene Warm Period”, *Science*, 288, 2198-202.

Denton, G.H. and W. Karlén (1973), “Holocene climatic variations: their pattern and possible cause”, *Quaternary Research*, 3, 155-205.

Diakakis, M. (in press), “Rainfall thresholds for flood triggering. The case of Marathonas in Greece”, *Natural Hazards*.

Diffenbough, N.S., J.S. Pal, F. Giorgi and X. Gao (2007), “Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot”, *Geophysical Research Letters*, 34, L11706, doi: 10.1029/2007GL030000.

Drysdale, R., G. Zanchetta, J. Hellstrom, R. Maas, A. Fallick, M. Pickett, I. Cartwright and L. Piccini (2006), “Late Holocene drought responsible for the collapse of Old World civilizations is recorded in an Italian cave flowstone”, *Geology*, 34, 101-4.

Duplessy, J.-C., E. Cortijo and N. Kallel (2005), “External Geophysics, Climate and Environment Marine records of Holocene climatic variations”, *Comptes Rendus Geoscience*, 337, 87-95.

ECSN (1995), “European Climate Support Network”, *KNMI*, De Bilt.

Efstratiou, N., A. Karetso, E. Banou and D. Margomenou (2004), “The Neolithic settlement of Knossos: new light on an old picture”, in Cadogan, G. (ed.), *Knossos: Palace, City, State*, vol. 12, British School at Athens Studies, London.

Emeis, K.-C., H.-M. Schulz, U. Struck, T. Sakamoto, H. Dose, H. Erlenkeuser, M. Howell, D. Kroon and M. Paterne (1998), “Stable isotope and alkenone temperature records of sapropels from sites 964 and 967: Constraining the physical environment of sapropel formation in the eastern Mediterranean sea”, in Robertson, A.H.F., K.-C. Emeis, C. Richter and A. Camerlenghi (eds), 1998 *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 160.

Emeis, K.-C., U. Struck, H.-M. Schulz, R. Rosenberg, S. Bernasconi, H. Erlenkeuser, T. Sakamoto and F. Martinez-Ruiz (2000), “Temperature and salinity variations of Mediterranean Sea surface waters over the last 16,000 years from records of planktonic stable oxygen isotopes and alkenone unsaturation ratios”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 158, 259-80.

Emeis, K.-C., H. Schulz, U. Struck, M. Rossignol-Strick, H. Erlenkeuser, M.W. Howell, D. Kroon, A. Mackensen, S. Ishizuka, T. Oba, T. Sakamoto and I. Koizumi (2003), “Eastern Mediterranean surface water temperatures and $\delta^{18}\text{O}$ composition during deposition of sapropels in the late Quaternary”, *Paleoceanography*, 18, 1, 1005.

Enzel, Y., R. Bookman, D. Sharon, H. Gvirtzman, U. Dayan, B. Ziv and M. Stein (2003), “Late Holocene climates of the Near East deduced from Dead Sea level variations and modern regional winter rainfall”, *Quaternary Research*, 60, 263-73.

EPICA community members (2004), “Eight glacial cycles from an Antarctic ice core”, *Nature*, 429, 623-8, doi:10.1038/nature02599, 2004.

Esper, J., D. Frank, U. Büntgen, A. Verstege, J. Luterbacher and E. Xoplaki (2007), “Long-term drought severity variations in Morocco”, *Geophysical Research Letters*, 34, L17702, doi:10.1029/2007GL030844.

Feidas, H., T. Makrogiannis and E. Bora-Senta (2004), “Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001”, *Theoretical and Applied Climatology*, 79, 185-208, doi: 01007/s00704-004-0064-5.

Feidas, H., Ch. Nouloupoulou T. Makrogiannis and E. Bora-Senta (2007), “Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001”, *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 155-77, doi:101007/s00704-006-0200-5.

Felis, T., G. Lohmann, H. Kuhnert, S. J. Lorenz, D. Scholz, J. Pätzold, S.A. Al-Rousan and S.M. Al-Moghrabi (2004), “Increased seasonality in Middle East temperatures during the last interglacial period”, *Nature*, 429, 164.

Felis, T. and N. Rimbu (2010), “Mediterranean climate variability documented in oxygen isotope records from northern Red Sea corals – A review”, *Global and Planetary Change*, 71, 3-4, 232-41.

Fischer, E. M., S. Seneviratne, I. Lüthi and D.C. Schär (2007), “Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves”, *Geophysical Research Letters*, 34, L06707.

Fleitmann, D. et al. (2003), “Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman”, *Science*, 300, 1737-40.

Founda, D., K.H. Papadopoulos, M. Petrakis, C. Giannakopoulos and P. Good (2004), “Analysis of mean, maximum and minimum temperature in Athens from 1897 to 2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events, and cold events” *Global and Planetary Change*, 44, 27-38.

Founda, D. and C. Giannakopoulos (2009), “The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece – A typical summer in the future climate?”, *Global and Planetary Change*, 67, 227-36.

Founda, D., C. Giannakopoulos, F. Pierros, M. Petrakis and C. Zerefos (2009), “Precipitation regime in Athens (Greece) in the past, recent and future climate”, *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-7616.

Founda, D. (2011), “Evolution of the air temperature in Athens and evidence of climatic change: A review”, *Advances in Building Energy Research* (in press).

Frei, C. et al. (2006), “Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models”, *J. Geophys. Res.*, 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.

Frisia, S., A. Borsato, A. Mangini, C. Spötl, G. Madonia and H. Sauro (2006), “Holocene climate variability in Sicily from a discontinuous stalagmite record and the Mesolithic to Neolithic transition”, *Quaternary Research*, 66, 388-400.

Gao, C., A. Robock and C. Ammann (2008), “Volcanic forcing of climate over the past 1500 years: An improved ice core-based index for climate models”, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 113(D23): D23111.

Gao, X., J.S. Pal and F. Giorgi (2006), “Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation”, *Geophysical Research Letters*, 33, L03706, doi: 10.1029/2005GL024954.

Gasse, F. (2000), “Hydrological changes in the African tropics since the last glacial maximum”, *Quaternary Science Reviews*, 19, 189-211.

Gasse, F. (2001), “Hydrological changes in Africa”, *Science*, 292, 2259-60.

Georgakakos, K.P. (2006), “Analytical results for operational flash flood guidance”, *J Hydrol*, 317, 81-103.

Geraga, M., G. Mylona, St. Tsaila-Monopoli, G. Papatheodorou and G. Ferentinos (2008), “Northeastern Ionian Sea: Palaeoceanographic variability over the last 22 ka”, *Journal of Marine Systems*, 74, 1-2, 623-38.

Geraga, M., St. Tsaila-Monopoli, Ch. Ioakim, G. Papatheodorou and G. Ferentinos (2000), “An evaluation of paleoenvironmental changes during the last 18,000 yr BP in the Myrtoon Basin, S.W. Aegean Sea”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 156, 1-17.

Geraga, M., St. Tsaila-Monopoli, Ch. Ioakim, G. Papatheodorou and G. Ferentinos (2005), “Short-term climate changes in the southern Aegean Sea over the last 48,000 years”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 311-32.

Giannakopoulos, C., P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou and C.M. Goodess (2009a), “Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming”, *Global and Planetary Change*, 68, 209-24.

Giannakopoulos, C., P. Hadjinicolaou, C. Zerefos and G. Demosthenous (2009b), “Changing energy requirements in the Mediterranean under changing climatic conditions”, *Energies*, 2(4), 805-15.

Gibelin, A.L. and M. Deque (2003), “Anthropogenic climate change over Mediterranean region simulated by a global variable resolution model”, *Climate Dynamics*, 20, 327-39.

Giorgi, F. and X. Bi (2005), “Regional changes in surface climate interannual variability for the 21st century from ensembles of global model simulations”, *Geophysical Research Letters*, 32, L13701, doi: 10.1029/2005GL023002.

Giorgi, F. (2006), "Climate change hot-spots", *Geophysical Research Letters*, 33, L08707, doi: 10.1029/2006GL025734.

Giorgi, F. and P. Lionello (2008), "Climate change projections for the Mediterranean region", *Global and Planetary Change*, 63, 90-104.

Glueck, M.F. and C.W. Stockton (2001), "Reconstruction of the North Atlantic Oscillation, 1429-1983", *International Journal of Climatology*, 21, 12, 1453-65.

Gogou, A., I. Bouloubassi, V. Lykousis, M. Arnaboldi, P. Gaitani and P.A. Meyers (2007), "Organic geochemical evidence of abrupt late Glacial-Holocene climate changes in the North Aegean Sea", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 256, 1-20.

Good, P., M. Moriondo, C. Giannakopoulos and M. Bindi (2008), "The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: Relevance to climate model studies", *International Journal of Wildland Fire*, 17, 155-65.

Goubanova, K. and L. Li (2007), "Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations", *Global and Planetary Change*, 57, 27-42, doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.11.012.

Grinsted, A., J.C. Moore and S. Jevrejeva (2010), "Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD", *Climate Dynamics*, 34, 461-72.

Guiot, J. (1987), "Late quaternary climatic change in France estimated from multivariate pollen time series", *Quaternary Research*, 28, 1, 100-18.

Gurjar, B.R., T.M. Butler, M.G. Lawrence and J. Lelieveld (2007), "Evaluation of emissions and air quality in megacities", *Atmos. Env.*, doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.048.

Hassid, S., M. Santamouris, N. Papanikolaou, A. Linardi, N. Klitsikas, C. Georgakis and D.N. Assimakopoulos (2000), "The Effect of the Athens Heat Island on Air Conditioning Load", *J. Energy and Buildings*, 32, 2, 131-41.

Hatzioannou L., D. Retalis, S. Pasiardis, D. Nikolakis, D. Asimakopoulos and N. Lourantos (1998), "Study of the Precipitation Time Series in SE Greece and Cyprus", Proceedings of the 4th Greek Scientific Conference in Meteorology-Climatology-Atmospheric Physics, Athens, 22-25 September.

Hegerl, G.C., F.W. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. Luo, J.A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E. Penner and P.A. Stott (2007), "Understanding and Attributing Climate Change", in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds), "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Hegerl, G., J. Luterbacher, F. González-Rouco, S. Tett, T. Crowley and E. Xoplaki (2011), "Influence of human and natural forcing on European seasonal temperatures", *Nature Geoscience*, 4, 99-103.

Heiss, G.A. (1994), “Coral reefs in the Red Sea: growth, production and stable isotopes”, *GEOMAR Report*, 32, 1-141.

Hertig, E. and J. Jacobeit (2007), “Assessments of Mediterranean precipitation changes for the 21st century using statistical downscaling techniques”, *International Journal of Climatology*, 28, 1025-45.

Hodell, D.A., M. Brenner, J.H. Curtis and T. Guilderson (2001), “Solar forcing of drought frequency in the Maya Lowlands” *Science*, 292, 1367-70.

Huang, S.P., H.N. Pollack and P.Y. Shen (2000), “Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures”, *Nature*, 403 (6771), 756-8.

Hulme, M., J. Mitchell, W. Ingram, J. Lowe, T. Johns, M. New and D. Viner (1999), “Climate change scenarios for global impacts studies”, *Global Environmental Change*, 9, S3-S19.

Huntingford, C. et al. (2003), “Regional climate-model predictions of extreme rainfall for a changing climate” Q. J. R.. *Meteorol. Soc.*, 129, 1607-21.

IPCC (1996), “Climate Change 1995: The Science of Climate Change”, in Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds), Contribution of Working Group I to the Second Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, and Melbourne, Australia, 572.

IPCC (2001), “Climate Change 2001: The Scientific Basis”, in Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson (eds), Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 881.

IPCC (2007), “Climate change 2007: The physical science basis”, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, New York, 996.

IPCC (2013), in press.

Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, J.-C. Duplessy, F. Joos, V. Masson-Delmotte, D. Olago, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, S. Rahmstorf, R. Ramesh, D. Raynaud, D. Rind, O. Solomina, R. Villalba and D. Zhang, (2007), “Palaeoclimate”, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds), “Climate Change 2007: The Physical Science Basis”, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.

Jolly, D., S.P. Harrison, B. Damnati and R. Bonnefille (1998), “Simulated climate and biomes of Africa during the Late Quaternary: comparison with pollen and lake status data”, *Quaternary Science Reviews*, 17, 629-57.

Jones, P.D. and A. Moberg (2003), “Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001”, *Journal of Climate*, 16, 206-23.

Jouzel, J., V. Masson-Demotte, O. Cattani, G. Dreyfus, S. Falourd, G. Hoffmann, B. Minster, J. Nouet, J.M. Barnola, J. Chappellaz, H. Fischer, J.C. Gallet, S. Johnsen, M. Leuenberger, L. Loulergue, D. Luethis, H. Oerter, F. Parrenin, G. Raisbeck, D. Raynaud, A. Schilt, J. Schwander, E. Selmo, R. Souchez, R. Spahni, B. Stauffer, J. P. Steffensen, B. Stenni, T.F. Stocker, J.L. Tison, M. Werner and E.W. Wolff (2007), “Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years” *Science*, 317, 793-6.

Kambouroglou E., H. Maroukian and A. Sampsos (1988), “Coastal evolution and archaeology north and south of Khalkis (Euboea) in the last 5000 years”, in Raban, A. (ed.), *Archaeology of Coastal Changes*, BAR Int. Ser., Oxford, 404, 71-9.

Karabörk, M. and E. Kahya (2009), “The links between the categorised Southern Oscillation indicators and climate and hydrologic variables in Turkey”, *Hydrological Processes*, 23, 13, 1927-36.

Karlén, W. and J. Kuylénstierna (1996), “On solar forcing of Holocene climate: evidence from Scandinavia”, *The Holocene*, 6, 359-65.

Keeling, R.F., A. Kortzinger and N. Gruber (2010), “Ocean Deoxygenation in a Warming World”, *Annual Review of Marine Science*, 2, 199-229.

Keigwin, L.D. (1996), “The Little Ice Age and Medieval Warm Period in the Sargasso Sea”, *Science*, 29, 274, 5292, 1503-8.

Kobashi T., J.P. Severinghaus, J.-M. Barnola, K. Kawamura, T. Carter, T. Nakaegawa (2010), “Persistent multi-decadal Greenland temperature fluctuation through the last millennium”, *Climatic Change*, Vol. 100, 3-4, 733-56.

Kopp, R.E., F.J. Simons, J.X. Mitrovica, A.C. Maloof and M. Oppenheimer (2009), “Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage”, *Nature*, 462, 863-7.

Kostopoulou, E. and P.D. Jones (2005), “Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean”, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85.

Kraft, J.C., S.E. Aschenbrenner and G.J. Rapp (1977), “Palaeogeographic reconstructions of coastal Aegean archaeological sites”, *Science* 195, 941-7.

Kraft, J.C., J.G.R. Rapp and S.E. Aschenbrenner (1980), “Late Holocene palaeogeomorphic reconstructions in the area of the Bay of Navarino: Sandy Pylos”, *Journal of Archaeological Science*, 7, 187-210.

Kuglitsch, F.G., A. Toreti, E. Xoplaki, P.M. Della-Marta, C.S. Zerefos, M. Türkeş and J. Luterbacher (2010), “Heat Wave Changes in the Eastern Mediterranean since 1960”, *Geophysical Research Letters*, 37, L04802.

Kuniholm, P. I. and C.L. Striker (1987), “Dendrochronological investigations in the Aegean and neighboring regions, 1983-1986”, *Journal of Field Archaeology*, 14, 385.

Lambeck, K. (1995), “Late Pleistocene and sea-level change in Greece and south-western Turkey: a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions”, *Geophysical Journal International*, 122, 1022-44.

Lambeck, K. (1996), “Sea-level changes and shoreline evolution in Aegean Greece since Upper Paleolithic time”, *Antiquity*, 70, 588-611.

Lambeck, K. and E. Bard (2000), “Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30,000 years”, *Earth and Planetary Science Letters*, 175, 203-22.

Lambeck, K. and A. Purcell (2005), “Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas”, *Quaternary Science Reviews*, 24, 1969-88.

Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, H. Henrichs and F. Kaspar (2006), “Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis”, *Climatic Change*, 75, 273-99.

Lionello, P. and M.B. Galati (2008), “Links of the significant wave height distribution in the Mediterranean sea with the Northern Hemisphere teleconnection patterns”, *Advances in Geoscience*, 17, 13-8.

Lisiecki, L.E. and M.E. Raymo (2005), “A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records”, *Paleoceanography*, 20, PA1003.

Livada, I., M. Santamouris, K. Niachou, N. Papanikolaou and G. Mihalakakou (2002), “Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed”, *Theor. Appl. Climatol.*, 71, 219-30.

Loukas, A., L. Vasiliades and N.R. Dalezios (2002), “Potential climate change impacts on flood-producing mechanisms in southern British Columbia, Canada, using the CGCMA1 simulation results”, *J. Hydrol.*, 259, 163-88.

Loulergue, L., A. Schilt, R. Spahni, V. Masson-Delmotte, T. Blunier, B. Lemieux, J.M. Barnola, D. Raynaud, T.F. Stocker and J. Chappellaz (2008), “Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH_4 over the past 800,000 years”, *Nature*, 435, 383-6.

Loutre, M.F. and A. Berger (2000), “Future climatic changes: are we entering an exceptionally long interglacial?”, *Climate Change*, 46, 61-90.

Loutre, M.F. and A. Berger (2003), “Marine Isotope Stage 11 as an analogue for the present interglacial”, *Global and Planetary Change*, 36, 209-17.

Luterbacher, J. and E. Xoplaki (2003), “500-Year Winter Temperature and Precipitation Variability over the Mediterranean Area and its Connection to the Large-Scale Atmospheric Circulation”, in Bolle, H.-J. (ed.), “Mediterranean Climate. Variability and Trends”, *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, 133-53.

Luterbacher, J. et al. (2006), “Mediterranean climate variability over the last centuries: a review”, in Lionello, P., P. Malanotte-Rizzoli and R. Boscolo (eds), “The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues”, *Elsevier*, Amsterdam, 27-148.

Luterbacher, J, S.J. Koenig, J. Franke, G. van der Schrier, E. Zorita, A. Moberg, J. Jacobeit, P.M. Della-Marta, M. Küttel, E. Xoplaki, D. Wheeler, T. Rutishauer, M. Stössel, H. Wanner, R. Brázdil, P. Dobrovolný, D. Camuffo, C. Bertolin, A. van Engelen, F.J. Gonzalez-Rouco, R. Wilson, C. Pfister, D. Limanówka, Ø. Nordli, L. Leijonhufvud, J. Söderberg, R. Allan, M. Barriendos, R. Glaser, D. Riemann, Z. Hao and C.S. Zerefos (2010), “Circulation dynamics and its influence on European and Mediterranean January-April climate over the past half millennium: results and insights from instrumental data, documentary evidence and coupled climate models”, *Climatic Change*, 101, 201-34.

Luterbacher, J., R. García-Herrera, A. R. Allan, M. C. Alvarez-Castro, G. Benito, J. Booth, U. Büntgen, D. Colombaroli, B. Davis, J. Esper, T. Felis, D. Fleitmann, D. Frank, D. Gallego, E. Garcia-Bustamante, J. F. González-Rouco, H. Goosse, T. Kiefer, M. G. Macklin, S. Manning, P. Montagna, L. Newman, M. J. Power, V. Rath, P. Ribera, N. Roberts, S. Silenzi, W. Tinner, B. Valero-Garces, G. van der Schrier, C. Tzedakis, B. Vannière, H. Wanner, J. P. Werner, G. Willeit, E. Xoplaki, C. S. Zerefos and E. Zorita (2011) “A review of 2000 years of paleoclimatic evidence in the Mediterranean”, in Lionello, P. et al. (eds), “The Mediterranean Climate: from past to future”, *Elsevier*, Amsterdam, The Netherlands, in press.

Maheras, P., K. Tolika, C. Anagnostopoulou, M. Vafiadis, I. Patrikas and H. Floca (2004), “On the relationship between circulation types and changes in rainfall variability in Greece”, *International Journal of Climatology*, 24, 1695-1712.

Malanotte-Rizzoli, P., B.B. Manca, M. Ribera d’Alcala, A. Theocharis, A. Bergamasco, D. Bregant, G. Budillon, G. Civitarese, D. Georgopoulos, A. Michelato, E. Sansone, P. Scarazato and E. Souvermezoglou (1997) “A synthesis of the Ionian Sea hydrography, circulation and water mass pathways during POEM-Phase I”, *Progress in Oceanography* 39, 153-204.

Mantis, H.T., C.C. Repapis, C.M. Philandras, A.G. Paliatsos and G.T. Amanatidis (1997), “The spatial and temporal structure of precipitation in the Eastern Mediterranean: Background for climate change”, *Proc. of the Eastern Europe and Global Change Symposium*, 3-10 October 1994, Kassandra, Halkidiki, Greece, 125-31.

Marchal, O., I. Cacho, T.S. Stocker, J.O. Grimalt, E. Calvo, B. Martrat, N. Shackleton, M. Vautravers, E. Cortijo, S. van Kreveld, C. Andersson, N. Koc, M. Chapman, L. Sbaifi, J.-C. Duplessy, M. Sarnthein, J.-L. Turon, J. Duprat and E. Jansen (2002), “Apparent long-term cooling of the sea surface in the northeast Atlantic and Mediterranean during the Holocene”, *Quaternary Science Reviews*, 21, 455-83.

Marino, G. (2008), “Palaeoceanography of the interglacial eastern Mediterranean Sea”, Thesis, Utrecht.

Maslin, M.A., X.S. Li, M.-F. Loutre and A. Berger (1998), “The contribution of orbital forcing to the progressive intensification of Northern Hemisphere glaciation”, *Quaternary Science Reviews*, 17, 411-26.

Masson-Delmotte, V., A. Landais, N. Combourieu-Nebout, U. v. Grafenstein, J. Jouzel, N. Cailion, J. Chappellaz, D. Dahl-Jensen, S.J. Johnsen and B. Stenni (2005), “Rapid climate variability during warm and cold periods in polar regions and Europe” *C. R. Geosciences*, 337, 935-46.

Masson-Delmotte, V., G. Dreyfus, P. Braconnot, S. Johnsen, J. Jouzel, M. Kageyama, A. Landais, M.-F. Loutre, J. Nouet, F. Parrenin, D. Raynaud, B. Stenni and E. Tüenter (2006), “Past temperature reconstructions from deep ice cores: relevance for future climate change”, *Climate of the Past*, 2, 145-65.

Masterton, J.M. and F.A. Richardson (1979), “Humidex. A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity”, Downsview, Ontario, Canada, AES, Environment Canada, CLI 1-79.

Matzarakis, A. and P.T. Nastos (2011), “Human-Biometeorological assessment of heat waves in Athens”, *Theoretical and Applied Climatology*, doi 10.1007/s00704-010-0379-3.

Mayewski, P.A., L.D. Meeker, M.S. Twickler, S. Whitlow, Q. Yang, W.B. Lyons and M. Prentice (1997), “Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year long glaciochemical series”, *Journal of Geophysical Research*, 102, 26345-66.

Mayewski, P.A., E. Rohling, J.C. Stager, W. Karlen, K.A. Maasch, L.D. Meeker, E.A. Meyerson, F. Gasse, S. van Kreveld, K. Holmgren, J. Lee-Thorp, G. Rosqvist, F. Rack, M. Staubwasser, R.R. Schneider and E.J. Steig (2004), “Holocene climate variability”, *Quaternary Research*, 62, 243-55.

McCormack, F.G., A.G. Hogg, P.G. Blackwell, C.E. Buck, P.J. Higham and P.J. Reimer (2004), “SHCAL04 Southern Hemisphere calibration. 0-11.0 cal kyr BP”, *Radiocarbon*, 48, 1087-92.

McCulloch, M.T. and T. Esat (2000), “The coral record of last interglacial sea levels and sea surface temperatures”, *Chemical Geology*, 169, 107-29.

McCulloch, M., M. Taviani, P. Montagna, M. López Correa, A. Remia and G. Mortimer (2010), “Proliferation and demise of deep-sea corals in the Mediterranean during the Younger Dryas”, *Earth and Planetary Science Letters*, 298, 143-52.

McGarry, S., M. Bar-Matthews, A. Matthews, A. Vaks, B. Schilman and A. Ayalon (2004), “Constraints on hydrological and paleotemperature variations in the Eastern Mediterranean region in the last 140 ka given by the δD values of speleothem fluid inclusions”, *Quaternary Science Reviews*, 23, 919-93.

Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. Collins, P. Friedlingstein, A. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I. Watterson, A. Weaver and Z.-C. Zhao (2007), “Global Climate Projections”, Chapter 10 of IPCC Fourth Assessment Report, IPCC, Cambridge, Cambridge University Press.

Metaxas, D.A. (1973), "Air-Sea interaction in the Greek seas and resulted Etesians wind characteristics", Univ. Ioannina, Greece, Tech. Report, 5.

Metaxas, D.A. and C.C. Repapis (1977), "Evaporation in the Mediterranean", *Riv. Meteor. Aeron.*, 37, 311-22.

Metaxas, D.A., A. Bartzokas and A. Vitsas (1991), "Temperature fluctuations in the Mediterranean Area during the last 100 years", *Int. J. Climatol.*, 11, 897-908.

Mihalakakou, G., H. Flokas, M. Santamouris and C. Helmis (2002), "Application of Neural Networks to the simulation of the heat island over Athens, Greece, using synoptic types as a predictor" *J Appl. Meteorol.*, 41, 519-27.

Mihalakakou, G., M. Santamouris, N. Papanikolaou and C. Cartalis (2004), "Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates", *Pure and applied Geophysics*, 161, 429-51.

Milankovitch, M. (1941), "Canon of Insolation and the Ice Age Problem", *Royal Serbian Sciences*, Special Publication 132, Section of Mathematical and Natural Sciences, 33, 633, Belgrade.

Miller, K.G., J.D. Wright and J.V. Browning (2005), "Visions of ice sheets in a greenhouse world", *Marine Geology*, 217, 215-31.

Monks, P. (2005), "Gas-phase radical chemistry in the troposphere", *Chem. Soc. Rev.*, 34, 376-95.

Montagna, P., M. McCulloch, M. Taviani, C. Mazzoli and B. Vendrell (2006), "Phosphorus in cold-water corals as a proxy for seawater nutrient chemistry", *Science*, 312, 1788-91.

Montagna, P., S. Silenzi, S. Devoti, C. Mazzoli, M. McCulloch, G. Scicchitano and M. Taviani (2008), "High-resolution natural archives provide new tools for climate reconstruction and monitoring in the Mediterranean Sea", *Rendiconti Lincei*, 19(b), 121-40.

Montagna, P., M. McCulloch, M. Taviani, J. Trotter, S. Silenzi and C. Mazzoli (2009), "An improved sampling method for coral P/Ca as a nutrient proxy", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 25, 1888-1947.

Moriondo, M., P. Good, R. Durao, M. Bindi, C. Giannakopoulos and J. Corte-Real (2006), "Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area", *Climate Research*, 13, 85-95.

Müller, S.A., F. Joos, N.R. Edwards and T.F. Stocker (2006), "Water mass distribution and ventilation time scales in a cost-efficient, three-dimensional ocean model", *Journal of Climate* 19, 5479-99.

Nakićenović, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor and Z. Dadi (2000), "IPCC Special Report on Emissions Scenarios", Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Nastos, P.T. and C.S. Zerefos (2007), “On extreme daily precipitation totals at Athens, Greece”, *Advances in Geosciences*, 10, 59-66.

Norbiato, D., M. Borga, S.D. Esposti, E. Gaume and S. Anquetin (2008), “Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: an assessment for gauged and ungauged basins”, *J Hydrology*, 362, 274-90.

O’Brien, S.R., P.A. Mayewski, L.D. Meeker, D.A. Meese, M.S. Twickler and S.I. Whitlow (1995), “Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core”, *Science*, 270, 1962-4.

Otto-Bliesner, B.L. et al. (2006), “Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation”, *Science*, 311, 1751-3.

Pal, J.S., F. Giorgi, X. Bi (2004), “Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections”, *Geophysical Research Letters*, 31, L13202, doi: 10.1029/2004GL019836.

Park, H.S. (1986), “Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities”, *Atmos. Environ.* 20, 1859-66.

Pavlopoulos, K., M. Triantaphyllou, E. Karymbalis, P. Karkanis, K. Kouli and T. Tsourou (2007), “Landscape evolution recorded in the embayment of Palamari (Skyros Island, Greece) from the beginning of the Bronze Age until recent times”, *Géomorphologie: relief, processus, environment*, 1, 37-48.

Paz, S., H. Kutiel and E. H. Steinberger (1998), “Variations in rainfall along the eastern Mediterranean coast”, *Proceedings of the 4th Pan-Hellenic Symposium on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Athens, Greece, Vol. 2, 299-304, September 22-25.

Peltier, W.R. and R.G. Fairbanks (2006), “Global glacial ice volume and last glacial maximum duration from an extended Barbados sea level record”, *Quaternary Science Reviews*, 25, 3322-37.

Perissoratis, C. and D.J.W. Piper (1992), “Age, regional variation and shallowest occurrence of S1 sapropel in the northern Aegean Sea”, *Geomarine Letters*, 12, 49-53.

Pfeffer, W.Y., J.T. Harper and S. O’Neel (2008), “Kinematic constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise”, *Science*, 321, 5894, 1340-3.

Philandras, C.M., D.A. Metaxas and P.T. Nastos (1999), “Climate variability and urbanization in Athens”, *Theor. Appl. Climatol.* 63, 65-72.

Pirazzoli, P.A. and J. Pluett (1991), “World atlas of Holocene sea-level changes”, *Elsevier Oceanography Series*, 58.

Pollack, H.N. and J.E. Smerdon (2004), “Borehole climate reconstructions: Spatial structure and hemispheric averages”, *J. Geophys. Res.*, 109 (D11), D11106, doi:10.1029/2003JD004163.

Ponel, P. and G.R. Coope (1990), “Lateglacial and Early Flandrian Coleoptera from La Taphanel, Massif Central, France: Climatic and Ecological Implications”, *Journal of Quaternary Science*, 5, 3, 235-49.

Poulos, S.E., P.G. Drakopoulos and M.B. Collins (1997), “Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (eastern Mediterranean): an overview”, *Journal of Marine Systems*, 13, 225-44.

Poulos, S.E., G. Ghionis and H. Maroukian (2009a), “The consequences of a future eustatic sea-level rise on the deltaic coasts of Inner Thermaikos Gulf (Aegean Sea) and Kyparissiakos Gulf (Ionian Sea), Greece”, *Geomorphology*, 107 (1-2), 1-17.

Poulos, S.E., G. Ghionis and H. Maroukian (2009b), “The consequences of a future eustatic sea-level rise on the deltaic coasts of Inner Thermaikos Gulf (Aegean Sea) and Kyparissiakos Gulf (Ionian Sea), Greece”, *Geomorphology*, 107 (1-2), 18-24.

Rabineau, M., S. Berné, J.-L. Olivet, D. Aslanian, F. Guillocheau and P. Joseph (2006), “Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr)”, *Earth and Planetary Science Letters*, 252, 119-37.

Rahmstorf, S. (2007), “Sea-Level Rise: A semi-Empirical Approach to Projecting Future”, *Science*, 315, 368-70.

Rayner, N.A. et al. (2006), “Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century”, the HadSST2 dataset, *J. Climate*, 19, 446-69.

Reimer, P.J., M.G.L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, C.J.H. Bertrand, P.G. Blackwell, C.E. Buck, G.S. Burr, K.B. Cutler, P.E. Damon, R.L. Edwards, R.G. Fairbanks, M. Friedrich, T.P. Guilderson, A.G. Hogg, K.A. Hughen, B. Kromer, G. McCormac, S. Manning, C.B. Ramsey, R.W. Reimer, S. Remmele, J.R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F.W. Taylor, J. van der Plicht and C.E. Weyhenmeyer (2004), “INTCAL04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP”, *Radiocarbon*, 48, 1029-58.

Repapis, C.C., C.S. Zerefos and V. Tritakis (1977), “On the Etesians over the Aegean”, *Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών*, τ. 52, 571-605.

Repapis, C.C. and C.M. Philandras (1988), “A note on the air temperature trends of the last 100 years as evidenced in the Eastern Mediterranean time series”, *Theor. Appl. Climatol.*, 39, 93-107.

Repapis, C.C., C.J.E. Schuurmans, C.S. Zerefos and J. Ziomas (1989), “A note on the frequency of occurrence of severe winters as evidenced in monastery and historical records from Greece, during the period 1200-1900 A.D” *Theor. Appl. Climatol.* 39, 213-7.

Repapis, C.C., C.M. Philandras, P.D. Kalabokas, P. Zanis and C.S. Zerefos (2007), “Is the last years abrupt warming in the National Observatory of Athens records a climate change manifestation?”, *Global Nest*, v. 9, No 2, 107-16.

Roberts, G., P. Artaxo, J. Zhou, E. Swietlicki and M.O. Andreae (2002), “Sensitivity of CCN spectra on chemical and physical properties of aerosol: A case study from the Amazon Basin”, *J. Geophys. Res.*, 107, 10.1029/2001JD000583.

Rohling, E.J. and F.J. Hilgen (1991), “The eastern Mediterranean climate at times of sapropel formation: a review”, *Geologie & Mijnbouw*, 70, 253-64.

Rohling, E.J. (1994), “Review and new aspects concerning the formation of Eastern Mediterranean sapropels”, *Marine Geology*, 122, 1-28.

Rohling, E., J. Casford, R. Abu-Zied, S. Cooke, D. Mercione, J. Thomson, I. Croudace, F. Jorissen, H. Brinkhuis, J. Kallmeyer et al. (2002), *Rapid Holocene climate changes in the Eastern Mediterranean*, 1, 35-46, doi: 10.1007/0-306-47547-2_3.

Rohling, E.J., P.A. Mayewski, R.H. Abu-Zied, J.S.L. Casford and A. Hayes (2002b), “Holocene atmosphere – ocean interactions: records from Greenland and The Aegean Sea”, *Climate Dynamics*, 18, 587-93.

Rohling, E.J. and H. Pälike (2005), “Centennial-scale climate cooling with a sudden cold event around 8,200 years ago”, *Nature*, 434, 975-9.

Rohling, E.J., K. Grant, Ch. Hemleben, M. Siddall, A. Hoogakker, M. Bolshaw and M. Kucera (2008), “High rates of sea-level rise during the last interglacial period”, *Nature Geoscience*, 1, 38-42.

Rohling, E.J., K. Grant, M. Bolshaw, A.P. Roberts, M. Siddall, Ch. Hemleben and M. Kucera (2009), “Antarctic temperature and global sea level closely coupled over the past five glacial cycles”, *Nature Geoscience*, 2, 500-4.

Rohling, E.J., K. Braun, K. Grant, M. Kucera, A.P. Roberts, M. Siddall and G. Trommer (2010), “Comparison between Holocene and Marine Isotope Stage-11 sea-level histories”, *Earth and Planetary Science Letters*, 291, 97-105.

Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin and P. Tryjanowski (2007), “Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.

Rosignol-Strick, M. (1985), “Mediterranean Quaternary sapropels, an immediate response of the African monsoon to variations of insolation”, *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 49, 237-63.

Rosignol-Strick, M. (1995), “Sea-land correlation of pollen records in the eastern Mediterranean for the glacial-interglacial transition: biostratigraphy versus radiometric time-scale”, *Quaternary Science Reviews*, 14, 893-915, Pergamon, Elsevier, Oxford.

Ruddiman, W. F. (2007), “The early anthropogenic hypothesis: Challenges and responses”, *Reviews of Geophysics*, 45, RG4001, doi:10.1029/2006RG000207.

Saaroni, H., B. Ziv, J. Edelson and P. Alpert (2003), "Long term variations in summer temperature over the Eastern Mediterranean" *Geophysics, Research Letters*, 30, No 18, 1946, doi:10.1029/2003GL017742.

Santamouris, M., N. Papanikolaou, I. Livada, I. Koronakis, C. Georgakis, A. Argiriou and D. N. Assimakopoulos (2001), "On the Impact of Urban Climate to the Energy Consumption of Buildings", *Solar Energy*, 70, 3, 201-16.

Sbaffi, L., F.C. Wezel, N. Kallel, M. Paterne, I. Cacho, P. Ziveri and N. Shackleton (2001), "Response of the pelagic environment to palaeoclimatic changes in the central Mediterranean Sea during Late Quaternary", *Marine Geology*, 178, 39-62.

Scafetta, N. and B.J. West (2006), "Phenomenological solar contribution to the 1900-2000 global surface warming", *Geophysical Research Letters*, 33 L05708, doi: 10.1029/2005GL025539.

Schilman, B., M. Bar-Matthews, A. Almogi-Labin and B. Luz (2001), "Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the late Holocene", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176, 157.

Seki, O., G.L. Foster, D.N. Schmidt, A. Mackensen, K. Kawamura and R.D. Pancost (2010), "Alkenone and boron-based Pliocene pCO₂ records", *Earth and Planetary Science Letters*, 292, 1-2, 201-11.

Serre-Bachet, F., J. Guiot and L. Tessier (1992), "Dendroclimatic evidence from southwestern Europe and northwestern Africa", in Bradley, R.S. and P.D. Jones (eds), *Climate Since A.D. 1550*, Routledge, London, 349-65.

Severinghaus, J.P., T. Sowers, E.J. Brook, R.B. Alley and M.L. Bender (1998), "Timing of abrupt climate change at the end of the Younger Dryas interval from thermally fractionated gases in polar ice", *Nature*, 391, 141-6.

Shackleton, N.J. (2000), "The 100,000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity", *Science*, 289, 1897-1902.

Siddall, M., E. J. Rohling, A. Almogi-Labin, Ch. Hemleben, D. Meischner, I. Schmelzer and D.A. Smeed (2003), "Sea-level fluctuations during the last glacial cycle", *Nature*, 423, 853-8.

Siddall, M., E.J. Rohling, W.G. Thompson and C. Waelbroeck (2008), "Marine isotope stage 3 sea level fluctuations: Data synthesis and new outlook", *Reviews of Geophysics*, 46, RG4003.

Silenzi, S., F. Antonioli and R. Chemello (2004), "A new marker for sea surface temperature trend during the last centuries in temperate areas: Vermetid reef", *Global and Planetary Change*, 40, 105.

Sisma-Ventura, G., B. Guzner, R. Yam, M. Fine, A. Shemesh (2009), "The reef builder gastropod *Dendropoma petreum* – A proxy of short and long term climatic events in the Eastern Mediterranean", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, 15, 4376-83.

Skliris, N., A. Mantziafou, S. Sofianos and A. Gkanasos (2010), "Satellite-derived variability of the Aegean Sea ecohydrodynamics", *Continental Shelf Research*, 30, 403-18.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning et al. (2007), “Climate change 2007: The physical science basis”, Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press.

Somot, S., F. Sevault and M. Déqué (2006), “Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the twenty-first century using a high-resolution ocean circulation model”, *Climate Dynamics*, 27, 7-8, 851-79.

Soria, A., C.M. Goodess, O.B. Christensen, A. Iglesias, L. Garrote, M. Moneo, M. Moreno, A. Pye, S. Quiroga and S. van Regemorter (2009), in Ciscar, J.-C. (ed.), “Climate change impacts in Europe: Final report of the PESETA research project, Joint Research Centre Scientific and Technical Report (EUR 24093 EN)”, European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, November.

Stathopoulou, M. and C. Cartalis (2006), “Mapping quality of life in Metropolitan Athens using satellite and census data”, 1st EARSel Workshop of the SIG Urban Remote Sensing, Humboldt-Universität zu Berlin, 2-3 March.

Stathopoulou, M., A. Synnefa, C. Cartalis, M. Santamouris, T. Karlessi and H. Akbari (2009), “A surface heat island study of Athens using high resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials”, *International Journal of Sustainable Energy*, 28, 1, 59-76.

Staubwasser, M. and H. Weiss (2006), “Holocene climate and cultural evolution in late pre-historic–early historic West Asia” *Quaternary Research*, 66, 372-87.

Steinhilber, F., J. Beer and C. Frohlich (2009), “Total solar irradiance during the Holocene”, *Geophysical Research Letters*, 36, L19704.

Stirling, C.H., T.M. Esat, K. Lambeck and M.T. McCulloch (1998), “Timing and duration of the Last Interglacial: Evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth”, *Earth and Planetary Science Letters*, 160, 745-62.

Stuiver, M. and T.F. Braziunas (1989), “Atmospheric ^{14}C and century-scale solar oscillations”, *Nature*, 338, 405-7.

Stuiver, M. and T.F. Braziunas (1993), “Sun, ocean, climate and atmospheric $^{14}\text{CO}_2$: an evaluation of causal and spectral relationships”, *The Holocene*, 3, 289-305.

Sutcliffe, J.V. (1978), “Methods of flood estimation: a guide to the Flood Studies Report”, Wallingford, *Institute of Hydrology*, 50.

The Geological Society (2010), “Climate change: evidence from the geological record”, A statement from the Geological Society of London, November.

Theocharis, A. and D. Georgopoulos (1993), “Dense water formation over the Samothraki and Limnos Plateaux in the north Aegean Sea (eastern Mediterranean Sea)”, *Continental Shelf Research*, 13, 919-39.

Till, C. and J. Guiot (1990), "Reconstruction of precipitation in Morocco since 1100 A.D. based on *Cedrus atlantica* tree-ring width", *Quaternary Research*, 33, 337-51.

Tolika, K., C. Anagnostopoulou, P. Maheras and M. Vafiadis (2008), "Simulation of future changes in extreme rainfall and temperature conditions over the Greek area: a comparison of two statistical downscaling approaches", *Global and Planetary Change*, 63, 132-51.

Tolika, K., P. Maheras and I. Tegoulis (2009), "Extreme temperatures in Greece during 2007: Could this be a 'return to the future'?", *Geophysical Research Letters*, 36, L10813, doi: 10.1029/2009GL038538.

Touchan, R., G.M. Garfin, D.M. Meko, G. Funkhouser, N. Erkan, M.K. Hughes and B.S. Wallin (2003), "Preliminary reconstructions of spring precipitation in southwestern Turkey from tree-ring width", *International Journal of Climatology*, 23, 157-71.

Touchan, R., E. Xoplaki, G. Funkhouser, J. Luterbacher, M.K. Hughes, N. Erkan, Ü. Akkemik and J. Stephan (2005), "Reconstructions of spring/summer precipitation for the Eastern Mediterranean from tree-ring widths and its connection to large-scale atmospheric circulation", *Climate Dynamics*, 25, 75-98.

Touchan, R., Ü. Akkemik, M.K. Hughes and N. Erkan (2007), "May-June precipitation reconstruction of southwestern Anatolia, Turkey, during the last 900 years from tree rings", *Quaternary Research*, 68, 196-202.

Touchan, R., K.J. Anchukaitis, D.M. Meko, S. Attalah, C. Baisan and A. Aloui (2008), "Long term context for recent drought in northwestern Africa", *Geophysical Research Letters*, 35, L13705, doi:10.1029/2008GL034264.

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai (2007), "Observations: Surface and Atmospheric Climate Change", in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds), "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Triantaphyllou, M.V., P. Ziveri, A. Gogou, G. Marino, V. Lykousis, I. Bouloubassi, K.-C. Emeis, K. Kouli, M. Dimiza, A. Rosell-Melé, M. Papanikolaou, G. Katsouras and N. Nunez (2009), "Late Glacial-Holocene climate variability at the south-eastern margin of the Aegean Sea", *Marine Geology*, 266, 182-97.

Triantaphyllou, M.V., A. Antonarakou, K. Kouli, M. Dimiza, G. Kontakiotis, M. Papanikolaou, P. Ziveri, P.G. Mortyn, V. Lianou, V. Lykousis and M.D. Dermitzakis (2009b), "Comparing Late Glacial-Holocene plankton ecozones and pollen assemblage zones: basis for a multi-proxy ecostratigraphy in the South-Eastern Aegean Sea (E. Mediterranean)", *Geomarine Letters*, 29, 4, 249-67.

Triantaphyllou, M.V., P. Ziveri, A. Gogou, G. Marino, V. Lykousis, I. Bouloubassi, K.-C. Emeis, K. Kouli, M. Dimiza, A. Rosell-Melé, M. Papanikolaou, G., Katsouras and N. Nunez (2009), “Late Glacial-Holocene climate variability at the south-eastern margin of the Aegean Sea”, *Marine Geology*, 266, 1-4, 182-97.

Tsimplis M., V. Zervakis, S. Josey, E. Peneva, M.V. Struglia, E. Stanev, P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli, V. Artale, A. Theocharis, E. Tragou and T. Oguz (2006), “Changes in the oceanography of the Mediterranean Sea and their link to climate variability” in Lionello, P. et al. (ed.), “Mediterranean climate variability”, *Elsevier*, 228-82.

Tzedakis, P.C. (2007), “Seven ambiguities in the Mediterranean palaeoenvironmental narrative”, *Quaternary Science Reviews*, 26, 2042-66.

Tzedakis, P. C. (2010), “The MIS 11 – MIS 1 analogy, southern European vegetation, atmospheric methane and the ‘early anthropogenic hypothesis’”, *Climate of the Past*, 6, 131-44.

Vergnaud-Grazzini, C., M. Devaux and J. Znaidi (1986), “Stable isotope anomalies in the Mediterranean Pleistocene records”, *Marine Micropaleontology*, 10, 35-69.

Vinther, B.M., P.D. Jones, K.R. Briffa, H.B. Clausen, K.K. Andersen, D. Dahl-Jensen and S.J. Johnsen (2010), “Climatic signals in multiple highly resolved stable isotope records from Greenland”, *Quaternary Science Reviews*, 29, 522-38.

Vonmoos, M., J. Beer and R. Muscheler (2006), “Large variations in Holocene solar activity – constraints from ^{10}Be in the GRIP ice core”, *Journal of Geophysical Research*, 111, A10105. doi:10.1029/2005JA011500.

Vött, A. (2007), “Relative sea level changes and regional tectonic evolution of seven coastal areas in NW Greece since the mid-Holocene”, *Quaternary Science Reviews*, 26, 7-8, 894-919.

Vrekoussis, M., M. Kanakidou, N. Mihalopoulos, P. J. Crutzen, J. Lelieveld, D. Perner, H. Berresheim and E. Baboukas (2004), “Role of the NO_3 radicals in oxidation processes in the eastern Mediterranean troposphere during the MINOS campaign”, *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 169-82.

Vrekoussis, M., F. Wittrock, A. Richter and J.P Burrows (2009), “Temporal and spatial variability of glyoxal as observed from space”, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 4485-504.

Vrekoussis, M., F. Wittrock, A. Richter and J.P Burrows (2010), “GOME-2 observations of oxygenated VOCs: What can we learn from the ratio glyoxal to formaldehyde on a global scale?”, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 10145-10160, doi:10.5194/acp-10-10145-2010.

Waelbroeck, C., L. Labeyrie, E. Michel, J.C. Duplessy, J.F. McManus, K. Lambeck, E. Balbon and M. Labracherie (2002), “Sea-level and deep-water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records”, *Quaternary Science Reviews*, 21, 295-305.

Wang, Y.M., J.L. Lean and N.R. Sheeley (2005), “Modeling the sun’s magnetic field and irradiance since 1713”, *The Astrophysical Journal*, 625, 522-38.

Wanner, H., J. Beer, J. Bütikofer, T.J. Crowley, U. Cubasch, J. Flückiger, H. Goosse, M. Grosjean, F. Joos, J.O. Kaplan, M. Küttel, S.A. Müller, I.C. Prentice, O. Solomina, T.F. Stocker, P. Tarasov, M. Wagner and M. Widmann (2008), “Mid- to Late Holocene climate change: an overview”, *Quaternary Science Reviews*, 27, 1791–1828, doi:10.1016/j.quascirev.2008.06.013.

Williams, J. (2004), “Organic trace gases in the atmosphere, an overview”, *Environ. Chem.* 2004, 1, 125-36, doi:10.1071/EN04057.

Woodworth, P.L., N. J. White, S. Jevrejeva, S.J. Holgate, J.A. Church and W.R. Gehrels (2009), “Evidence for the accelerations of sea level on multi-decade and century timescales”, *International Journal of Climatology*, 29, 777-89.

Worley, S.J., S.D. Woodruff, R.W. Reynolds, S.J. Lubker and N. Lott (2005), “ICADS Release 2.1 data and products”, *International Journal of Climatology* (CLIMAR-II Special Issue), 25, 823-42.

Xoplaki, E., P. Maheras and J. Luterbacher (2001), “Variability of climate in meridional Balkans during the periods 1675-1715 and 1780-1830 and its impact on human life”, *Climatic Change*, 48, 581.

Xoplaki, E., F.J. Gonzalez-Rouco, D. Gyalistras, J. Luterbacher, R. Rickli and H. Wanner (2003), “b. Interannual summer air temperature variability over Greece and its connection to the large-scale atmospheric circulation and Mediterranean SSTs 1950-1999”, *Climate Dynamics*, 20, 537-54.

Xoplaki, E., J.F. Gonzalez-Rouco, J. Luterbacher and H. Wanner (2004), “Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics”, *Climate Dynamics*, 23, 63-78.

Xoplaki, E., J. Luterbacher, H. Paeth, D. Dietrich, N. Steiner, M. Grosjean and H. Wanner (2005), “European spring & autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium”, *Geophysical Research Letters*, 32, L15713.

Zachariasse, W.J., F.J. Jorissen, C. Perissoratis, E.J. Rohling and V. Tsapralis (1997), “Late Quaternary foraminiferal changes and the nature of sapropel S1 in Skopelos basin”, *Proceedings of 5th Hellenic Symposium on Oceanography and Fisheries*, I, Greece, 391-4.

Zachos, J.C., M. Pagani, L. Sloan, E. Thomas and K. Billups (2001), “Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present”, *Science*, 292, 686-93.

Zanis, P., I. Kapsomenakis, C. Philandras, K. Douvis, D. Nikolakis, E. Kanellopoulou, C. Zerefos and C. Repapis (2009), “Analysis of an ensemble of present day and future regional climate simulations for Greece”, *International Journal of Climatology*, 29, 1614-33, doi: 10.1002/joc.1809.

Zerefos, C., K. Philandras, C. Douvis, I. Kapsomenakis, G. Tselioudis and K. Eleftheratos (2010), “Long term changes of precipitation in Greece”, 12th Plinius Conference on Mediterranean Storms, MedCLIVAR session, Corfu, September 3.

Zoulia, I., M. Santamouris and A. Dimoudi (2008), “Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens”, *Environ Monit Assess*, doi: 10.1007/s10661-008-0483-3.

WMO (2006), “Statement on the status of the global climate in 2005”, World Meteorological Organization, 998, Geneva.

Κεφάλαιο 2

ΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΜΕΑ*

2.1. Κλιματικές αλλαγές και επιπτώσεις στα ελλαδικά υδατικά συστήματα**

2.1.1 Εισαγωγή

Η έννοια των υδατικών πόρων προκύπτει από τη σχέση ανάμεσα στις υδατικές απαιτήσεις για τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες (υδατικές ανάγκες) και στην ύπαρξη ή ανεύρεση υδατικών πόρων (ροής και αποθεμάτων) μέσα στο φυσικό περιβάλλον, των οποίων να είναι σχετικά εύκολη η εκμετάλλευση για την ικανοποίηση αυτών των αναγκών.

Υπό μια άλλη έννοια, οι υδατικοί πόροι μπορούν να χαρακτηριστούν ως ένα δυναμικό υδατικής προσφοράς από το περιβάλλον. Η σχέση που προαναφέρθηκε μπορεί να διαμορφωθεί σε διαφορετικούς χωροχρόνους και οικονομικές σφαίρες. Η προσφορά (υδατικοί πόροι) και οι ανάγκες χαρακτηρίζονται αμοιβαία από:

- (α) τη θέση τους στο χώρο,
- (β) τη μεταβλητότητα, με την πάροδο του χρόνου, της ποσότητας νερού (ροής ή αποθέματος) και
- (γ) την ποιότητα των υδάτων.

Όσον αφορά στην ποιότητα, αυτή διακρίνεται σε:

- (α) *ποιότητα προσφερόμενη*, προσδιοριζόμενη από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού στο φυσικό του περιβάλλον, σε γενικές γραμμές μεταβαλλόμενη με τη ροή και εξαρτώμενη ως προς το χαρακτηρισμό της από τις χρήσεις (κριτήριο των αναγκών για το φυσικό περιβάλλον), και
- (β) *ποιότητα απαιτούμενη*, εκφρασμένη κάθε φορά από τις προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε υδατική χρήση και οι οποίες μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, σύμφωνα με τις ολοένα ανανεούμενες απόψεις της τοξικολογίας, της ιατρικής (ύδρευση), της βιοτεχνολογίας (άρδευση), της τεχνολογίας (βιομηχανική χρήση) και της οικολογίας.

* Η βιβλιογραφία για όλα τα υποκεφάλαια του παρόντος κεφαλαίου παρατίθεται από σελ. 327 και εξής.

** Για τη συγγραφή του Κεφαλαίου 2.1 συνεργάστηκαν οι: Γεώργιος Στουρνάρας, Μιχάλης Σκούρτος, Αρετή Κοντογιάννη, Γεράσιμος Γιόζας, Αθανάσιος Μαχλέρας και Παναγιώτης Νάστος.

Πίνακας 2.1

Ανθρωπογενείς επιδράσεις στο υδατικό ισοζύγιο

Κατεύθυνση επίδρασης	Επίδραση	
	Στις εισερχόμενες ροές (αφίξεις)	Στις εξερχόμενες ροές (απορροές)
Αύξηση	Εισαγωγή νερού (μεταβίβαση). Σύλληψη επιφανειακού ή υπόγειου νερού από ένα όμορο περιβάλλον.	Ελάττωση της πραγματικής εξατμισιοδιαπνοής, αποστράγγιση. Εξαγωγή νερού (μερικό φαινόμενο).
Μείωση	Ενίσχυση της πραγματικής εξατμισιοδιαπνοής. Μείωση των ενεργών κατακρημνισμάτων.	Καταναλώσεις.

Με οικονομικά κριτήρια, οι υδατικοί πόροι διακρίνονται σε συνθήκες υδατικής επάρκειας, υπερεπάρκειας ή έλλειψης, ενώ, με στόχο την καλύτερη επιλογή των υδατικών πόρων για κάθε χρήση, διακρίνονται ως προς:

- το κόστος *προσφοράς*, προσαρμοσμένο στην εκάστοτε σχέση προσφοράς και ζήτησης σε συνάρτηση με τις προηγούμενες παραμέτρους (τόπος, καθεστώς και ποιότητα) και
- το κόστος *αναγκών*, εκφρασμένο με διαφορετικές “αξίες νερού” (προστιθέμενη αξία, αξία χρήσης κ.λπ.).

Ένα σύστημα υδατικών πόρων συνθέτει το κατάλληλο περιβάλλον για τη διατύπωση και παρουσίαση του ποσοτικού υδατικού ισοζυγίου. Το ισοζύγιο αυτό ποσοτικοποιείται όταν αναφέρεται σε συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Η επίδραση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στους όρους του ισοζυγίου συνοψίζεται στον Πίνακα 2.1.

2.1.2 Υπάρχουσα κατάσταση υδατικών αποθεμάτων στον ελληνικό χώρο

Η κατάσταση των υδατικών αποθεμάτων και της υδατικής διαχείρισης στην Ελλάδα παρουσιάζει ειδικό ενδιαφέρον, με ορισμένες ιδιαιτερότητες ενδεικτικές του επιπέδου πραγματικής ανάπτυξης και οργάνωσης. Από πλευράς ιδιαιτεροτήτων, η Ελλάδα χαρακτηρίζεται ως χώρα με μεγάλη ποικιλία και συνθετότητα καταστάσεων, κυριότερες των οποίων είναι οι εξής:

- η ανομοιόμορφη χρονική κατανομή των κατακρημνισμάτων, δεδομένου ότι ποσοστό μεγαλύτερο του 85% αφορά τη χειμερινή (υγρή) περίοδο και το υπόλοιπο τη θερινή (ξηρή) περίοδο του υδρολογικού έτους,
- η έντονα ανομοιόμορφη χωρική κατανομή των κατακρημνισμάτων, δεδομένου ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά αναφέρονται στη Δυτική Ελλάδα (δυτικά της οροσειράς της Πίνδου) και τα λιγότερα στην Ανατολική Ελλάδα,
- το γεγονός ότι το βόρειο τμήμα της Ελλάδος επηρεάζεται (ποσοτικά και ποιοτικά) από διακρατικά νερά, δεδομένου ότι όλοι οι σημαντικοί ποταμοί της περιοχής αυτής πηγάζουν από τη Βουλγαρία (Εβρος, Νέστος, Στρυμόνας) και την πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Αξιός),

- η έντονη χρονική ανισοκατανομή της ζήτησης, δεδομένου ότι το καλοκαίρι, κατά τη διάρκεια του οποίου δεν υπάρχουν βροχοπτώσεις, η ζήτηση είναι πλέον έντονη λόγω των αρδεύσεων και του τουρισμού,

- η έντονη χωρική κατανομή της ζήτησης, λόγω της υπερκατανάλωσης από την υπέρμετρη συσσώρευση πληθυσμών στα αστικά κέντρα, την παράκτια ζώνη και άλλες περιοχές,

- η έντονη γεωλογική (διαμόρφωση υδροφόρων οριζόντων και επιφανειακής απορροής) και γεωμορφολογική (διαμόρφωση επιφανειακής απορροής) διάρθρωση της χώρας,

- το τεράστιο (για την επιφάνεια της Ελλάδος) μήκος της ακτογραμμής (περίπου 16.300 χλμ.), που ευνοεί την είσοδο του θαλάσσιου ύδατος στην ενδοχώρα, σε συνδυασμό με την υπεράντληση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων,

- οι ειδικές συνθήκες της πλειονότητας των πολυάριθμων νησιών του Αιγαίου Πελάγους (μικρό ύψος βροχοπτώσεων, μικρή έκταση, έντονο ανάγλυφο με επικρατούσα απορροή και μικρή κατείσδυση).

Από πλευράς υδατικών αποθεμάτων, η Ελλάδα χαρακτηρίζεται, πολύ εύστοχα, ως χώρα “πλούσια”, πάντοτε σε σχέση με το ευρύτερο πλαίσιο της περιοχής της Μεσογείου. Πλούσια χαρακτηρίζεται για μια σειρά από λόγους που σχετίζονται και ευθύνονται για το καθεστώς των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Το ύψος των κατακρημνισμάτων στον ελλαδικό χώρο εμφανίζει ένα μέσο όρο της τάξεως των περίπου 800 χλστ., ύψος που είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για τη λεκάνη της Μεσογείου. Αυτό οφείλεται στους γενικότερους παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα και τα καιρικά φαινόμενα της Ελλάδος αλλά και στο έντονο ανάγλυφο. Καθοριστικός παράγοντας στο θέμα αυτό είναι η οροσειρά της Πίνδου, η οποία δέχεται τους δυτικούς υγρούς ανέμους και για το λόγο αυτό οι βροχοπτώσεις δυτικά της Πίνδου είναι πολύ μεγαλύτερες από τις βροχοπτώσεις στις περιοχές ανατολικά της οροσειράς αυτής.

Το πολυσχιδές ανάγλυφο της Ελλάδος δημιουργεί το πλαίσιο για την εμφάνιση πυκνού δικτύου επιφανειακής απορροής, με υδρογραφικά δίκτυα μεγάλης πυκνότητας (γενικά) και τελικό αποδέκτη μια σειρά από μεγάλα (για τα δεδομένα της Ελλάδος) ποτάμια, που αποστραγγίζουν τα επιφανειακά και, εν μέρει, τα υπόγεια νερά, στο βαθμό στον οποίο νερά πηγαιών εκφορτίσεων προστίθενται στην επιφανειακή απορροή. Ειδική περίπτωση αποτελούν τα ποτάμια της Β. Ελλάδος, τα οποία, όπως αναφέρθηκε, ξεκινούν τη διαδρομή τους από γειτονικές χώρες: Έβρος, Νέστος, Στρυμόνας (Βουλγαρία), Αξιός (ΠΓΔΜ). Η μοναδική αντίθετη σε ροή περίπτωση είναι ο ποταμός Αώος, που ξεκινά από την Ελλάδα και καταλήγει στην Αλβανία. Αλλά και η υπόγεια υδροφορία στον ελλαδικό χώρο παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι μεγάλο μέρος της χώρας καλύπτεται από πετρώματα υδροπερατά, που δέχονται το νερό της πρωτογενούς ή δευτερογενούς κατείσδυσης και διαμορφώνουν τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Τέτοιες περιπτώσεις συνιστούν οι μεγάλες ηπειρωτικές και δελταϊκές προσχωσιγενείς λεκάνες και τα ανθρακικά πετρώματα των καρστικών υδροφοριών (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα, γύψοι).

Παρά το γεγονός ότι δεν παρουσιάζεται πρόβλημα άμεσης έλλειψης υδάτων σε καμία από τις 13 υδατικές περιφέρειες της χώρας, υπάρχουν ενδείξεις, σε συμφωνία με τις διαπιστώσεις του Κεφαλαίου 1 του παρόντος τόμου, ότι το υδατικό δυναμικό της χώρας μειώνεται. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας του προγράμματος ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>), στην Κεντρική και τη Βόρεια Ελλάδα παρατηρείται μείωση των κατακρημνισμάτων τις τελευταίες πέντε δεκαετίες. Η μείωση ξεκινά από 30 χλστ. ανά δεκαετία και τοπικά μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 150 χλστ. ανά δεκαετία. Παράλληλα, η σύγκριση της απορροής των ποταμών στο χρονικό διάστημα 1971-1998 σε σχέση με το χρονικό διάστημα 1900-1970 δείχνει μειωμένη απορροή σε πανελλαδικό επίπεδο σε ποσοστό 5-10%, εξαιρουμένης της Ηπείρου όπου η πτώση περιορίζεται στο 2-5% (Milly et al., 2005).

2.1.3 Σύγκρουση μεταξύ υδατικών απαιτήσεων και υδατικών πόρων

Η εννοιολογική σύγκρουση μεταξύ των υδατικών απαιτήσεων και της υδατικής προσφοράς (χαρακτηριστικά δεδομένων υδατικών πόρων) έχει την έννοια της σύγκρισης (ποιοτικά και ποσοτικά) των πραγματικών υδατικών απαιτήσεων των συγκεκριμένων υδατικών χρήσεων και του συστήματος των πόρων. Η σύγκρουση αυτή, για τους εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους, εξυπηρετεί κυρίως τον προσδιορισμό της επάρκειας των πόρων και συνεπώς την αποκάλυψη των προβλημάτων από μια ενδεχόμενη έλλειψη νερού.

Η χωρική θεώρηση του θέματος της επάρκειας, σε περιφερειακή ή εθνική κλίμακα, εισάγει την έννοια των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων. Τα αποθέματα αυτά, σε τοπική κλίμακα, αντιπροσωπεύουν τους πόρους μείον την υδροληψία και, σε εθνική ή κλίμακα λεκάνης απορροής, τους πόρους μείον τις καταναλώσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή, σύμφωνα με την επιλεγείσα διαδικασία υπολογισμού, οι πολλαπλές χρήσεις ή επαναχρησιμοποιήσεις ποσοτήτων νερού πρέπει ή να προστίθενται στους πόρους ή να επαναχαράζουν την πολιτική των υδροληψιών. Σε κάθε περίπτωση, στα διαχειριστικά προγράμματα είναι απαραίτητη η διάκριση ανάμεσα στην έννοια “μεταφορά νερού” (μεταφορά από λεκάνη ή υπολεκάνη σε άλλα, η οποία τροποποιεί την περιφερειακή κατανομή των φυσικών και κινητοποιήσιμων φυσικών πόρων), και την “προσθήκη νερού” (μεταφορά νερού από ένα χώρο υδροληψίας σε ένα προσδιορισμένο χώρο χρήσης).

Από χρονικής πλευράς, συγκρίνονται οι μέσες τιμές των υδροληψιών με τους εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους, μια διαδικασία η οποία καθιστά δυσδιάκριτες τις επιπτώσεις των διαχρονικών μεταβολών και των δύο μεγεθών. Οι μεταβολές αυτές προσδιορίζονται από τις προσωρινές ανεπάρκειες και τις συναφείς, ετήσιες ή εποχικές, προβληματικές συνθήκες, λόγω είτε της ανεπάρκειας της προσφοράς (ξηρασία) είτε των υπεραιτήσεων. Απαιτούνται επομένως ο προσδιορισμός των ελάχιστων τιμών των εκμεταλλεύσιμων πόρων για ένα δεδομένο και αποδεκτό χρονικό διάστημα και οι διευθετήσεις, στο επίπεδο αναρρύθμισης, του δείκτη τοπικής εκμετάλλευσης (σύνολο υδροληψιών ως ποσοστό % των φυσικών πόρων), του δείκτη περιφερειακής εκμετάλλευσης (σύνολο καταναλώσεων ως ποσοστό % των φυσικών πόρων), καθώς

και άλλων παραμέτρων, απαραίτητων για την κατάρτιση ενός κατάλληλου και βιώσιμου προγράμματος υδατικής διαχείρισης.

Κατά την εξέταση του νερού ως φυσικού πόρου στο πλαίσιο της υδατικής επάρκειας, είναι απαραίτητο να διαχωριστούν δύο έννοιες διαφορετικές μεταξύ τους, που όμως συγγέονται μερικές φορές και από επιστήμονες ή υπευθύνους για τη χάραξη και την εφαρμογή πολιτικής (τους διεθνώς επονομαζόμενους decision makers). Η πρώτη έννοια είναι αυτή της *ανομβρίας* ή *ξηρασίας*, δηλαδή της μειωμένης, προσφοράς νερού στο περιβάλλον, είτε της άμεσης (βροχοπτώσεις) είτε της έμμεσης (επιφανειακή και υπόγεια παροχή), σε σύγκριση με μετρήσεις χρονοσειρών του παρελθόντος. Η δεύτερη έννοια είναι αυτή της *λειψυδρίας*, που σχετίζεται με τη μείωση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού, σε σύγκριση με την υπάρχουσα ή προβλεπόμενη χρήση. Η λειψυδρία μπορεί να είναι αποτέλεσμα της ανομβρίας (περίπτωση κατά την οποία ταυτίζονται ποσοτικά οι δύο έννοιες). Μπορεί όμως να προκύπτει και σε εποχή κανονικής ή και μεγαλύτερης από το μέσο όρο προσφοράς νερού και να οφείλεται είτε σε κακή υδατική διαχείριση είτε σε εσφαλμένο προγραμματισμό χρήσεων, οι οποίες δεν μπορούν να καλυφθούν από το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό.

Σημαντική παράμετρος στα θέματα της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων είναι η τομεακή κατανάλωση. Ο μεγαλύτερος καταναλωτής σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ο γεωργικός τομέας. Η εξέλιξη της κατανάλωσης για την κάλυψη των αναγκών στη γεωργία ακολούθησε εκθετική αύξηση. Το έτος 2025 εκτιμάται ότι η κατανάλωση ύδατος στον τομέα της γεωργίας θα ξεπεράσει τα 3.000 εκατ. κ.μ., ποσότητα εξαπλάσια σε σχέση με το επίπεδο κατανάλωσης των αρχών του 20ού αιώνα. Ο τομέας της βιομηχανίας κατατάσσεται δεύτερος αναφορικά με τις ποσότητες κατανάλωσης και ακολουθεί σταθερό ρυθμό αύξησης. Οι εκτιμήσεις σχετικά με την κατανάλωση στο βιομηχανικό τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο το έτος 2025 είναι της τάξεως των 1.000 εκατ. κ.μ. νερού. Σημαντική αναμένεται να είναι και η αύξηση στην οικιακή χρήση, που διαχρονικά παραμένει ο μικρότερος τομεακός καταναλωτής.

Χαρακτηριστική περίπτωση λειψυδρίας αποτελεί το πρόβλημα των νησιών, ιδίως των μικρών, αλλά και του λεκανοπεδίου της Αττικής. Πολλά νησιά (π.χ. Κυκλάδες), παρά το γενικά μικρό ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τη μικρή έκταση (άρα και τις μικρές δυνατότητες υδατικών συγκεντρώσεων) και τη μεγάλη θερμοκρασία και ηλιοφάνεια (άρα και την υψηλή εξάτμιση), διέθεταν στο παρελθόν επαρκείς υδατικούς πόρους για τις ανάγκες τους. Για το λόγο αυτό, πολλά από τα πιο πάνω νησιά είχαν παλιά και την ονομασία “Υδρούσα”. Οι αλλαγές των χρήσεων γης από γεωργία, κτηνοτροφία, αλιεία σε τουριστική βιομηχανία, η εντυπωσιακή αύξηση του πληθυσμού τους καλοκαιρινούς μήνες, οι αλλαγές στον τρόπο ζωής (συχνό πλύσιμο σώματος και ρούχων κ.λπ.) και η επέκταση των υδατικών χρήσεων (πισίνες, πλύσιμο αυτοκινήτων, κήποι κ.λπ.) δημιουργούν αυξημένη ζήτηση σε νερό, την οποία το υπάρχον υδατικό δυναμικό αδυνατεί να καλύψει. Τα προβλήματα οξύνονται λόγω της ανισομερούς κατανομής των βροχοπτώσεων, τόσο διαχρονικά όσο και στο

χώρο. Ανάλογης προέλευσης πρόβλημα εμφανίζεται και στο λεκανοπέδιο της Αττικής, στη μείζονα αστική περιοχή Αθηνών-Πειραιώς και των υπόλοιπων δήμων. Εδώ υπάρχει μια κατάσταση συνεχώς διογκούμενης αστυφιλίας και οικιστικής, οικονομικής και διοικητικής συγκέντρωσης, με αποτέλεσμα, στο τέλος της δεύτερης χιλιετηρίδας, ο πληθυσμός του λεκανοπεδίου να έχει φθάσει ή και να ξεπερνά το 40% του συνολικού πληθυσμού της Ελλάδος¹ και οι οικονομικές δραστηριότητες στον ίδιο χώρο να φθάνουν το 70% της συνολικής οικονομικής δραστηριότητας.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η έλλειψη υδατικών πόρων επιδρά ήδη στο 1/3 της εδαφικής επικράτειας της ΕΕ και σε τουλάχιστον 100 εκατομμύρια κατοίκους της. Στην ετήσια έκθεση του European Environment Agency (2009) για τους υδατικούς πόρους υπογραμμίζεται ότι σε αρκετές περιοχές η υπερβολική κατανάλωση ύδατος από κάποιες χρήσεις προκαλεί κίνδυνο για την κάλυψη των αναγκών των υπόλοιπων χρήσεων (EEA, 2009). Το αποτέλεσμα είναι να πυκνώνουν οι αναφορές για μειωμένη στάθμη υδάτων σε λίμνες και υπόγεια νερά, όπως και για μειωμένη απορροή ποταμών, με επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπλέον, η έκθεση σημειώνει ότι αυξάνονται τα περιστατικά υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων στην ευρωπαϊκή επικράτεια, μειώνοντας έτσι τα υδατικά διαθέσιμα αποθέματα προς κατανάλωση.

2.1.4 Γενικά για τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων στην Ελλάδα

Τα υδατικά αποθέματα αναφέρονται σε συγκεκριμένη περιοχή και χρονική στιγμή ή, κατά μέσον όρο, σε μια συγκεκριμένη περίοδο του υδρολογικού έτους. Τα αποθέματα αυτά προσδιορίζονται είτε ως επιφανειακά (δίκτυο επιφανειακής απορροής-ποτάμια κ.λπ., λίμνες, παγετώνες, χιονοκάλυψη) είτε ως υποεπιφανειακά, δηλαδή εδαφικά (υγρασία ακόρεστης ζώνης), είτε ως υπεδαφικά (αποθέματα υδροφόρων οριζόντων). Τα υδατικά αποθέματα, κυρίως τα υπόγεια, μεταβάλλονται διαχρονικά, γεγονός που ενδιαφέρει άμεσα τη διαχείρισή τους (εκμετάλλευση, ποιοτική προστασία και ποσοτική ανανέωση). Οι μεταβολές αυτές προκύπτουν από τις διαφορές ανάμεσα στις εισροές και τις εκροές (αφίξεις και απώλειες ή τροφοδοσίες και καταναλώσεις). Η μεταβλητότητα των αποθεμάτων μπορεί να εκφραστεί με το ποσοστό του μεταβαλλόμενου τμήματός τους σε σχέση με το σταθερό τμήμα τους. Είναι το φαινόμενο που συχνά αναφέρεται ως “ρυθμιστικά και μόνιμα αποθέματα”, διατύπωση όχι πολύ σωστή από υδρογεωλογικής πλευράς, και η οποία είχε οδηγήσει παλαιότερα σε κατευθύνσεις ατυχούς χρήσης των υδατικών πόρων.

Η σχέση ανάμεσα στο απόθεμα μιας συγκεκριμένης — επιφανειακής ή υπόγειας — υδατικής δεξαμενής και στη μέση ροή που τη διασχίζει καθορίζει την ανανέωση των αποθεμά-

¹ Στο μόνιμο πληθυσμό του λεκανοπεδίου θα πρέπει να προστεθούν τα εκατομμύρια των ξένων τουριστών, λόγω του ιδιαίτερου αρχαιολογικού ενδιαφέροντος της Αθήνας και άλλων κοντινών περιοχών, αλλά και οι δεκάδες χιλιάδες των επιχειρηματιών, καθώς και τα εκατομμύρια των εσωτερικών επισκεπτών, για λόγους οικονομικούς, επιχειρηματικούς, διοικητικούς, υγείας κ.λπ. Εκτός από τα επιφανειακά νερά, η ΕΥΔΑΠ κρατά σε εφεδρεία, με γεωτρήσεις, και τα υπόγεια νερά περιοχών όπως του Καλάμου.

των. Το γεγονός ότι μια υδατική δεξαμενή ανανεώνεται λίγο-πολύ αστραπιαία δεν πρέπει να συγχέεται με την έννοια της ανανεωσιμότητας ενός υδατικού πόρου. Η περίπτωση των στατικών υδατικών δεξαμενών, πολύ λίγο ανανεώσιμων, αναφέρεται και αυτή ως υδατικό απόθεμα. Η ανανεωσιμότητα και ο βαθμός ή ρυθμός ανανέωσης ενός υδατικού πόρου πρέπει να αξιολογούνται σε συνδυασμό με το βαθμό ή ρυθμό αξιοποίησης του πόρου αυτού, στην κατεύθυνση τόσο της κάλυψης των υδατικών αναγκών για διάφορες χρήσεις νερού όσο και της διατήρησης της υδατικής πλευράς του περιβάλλοντος (ρόλος νερού στο οικοσύστημα). Πρέπει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τις νέες ισχύουσες αρχές υδατικής διαχείρισης, πρέπει να προσδιορίζεται μια ελάχιστη οικολογική παροχή ποταμού, μια ελάχιστη στάθμη λίμνης και μια ελάχιστη στάθμη υδροφόρου ορίζοντα, οι οποίες χαρακτηρίζονται και αντιμετωπίζονται ως χρήσεις νερού. Οι χρήσεις αυτές κρίνονται αναγκαίες για να εξασφαλιστούν οι οικολογικές ανάγκες των συστημάτων και οι λεγόμενες οικολογικές υπηρεσίες τους (ecological services).

Πίνακας 2.2

Γενικευμένο ετήσιο υδρολογικό ισοζύγιο, κατά υδατικό διαμέρισμα

Υδατικά διαμερίσματα	Έκταση (τ. χλμ.)	Όγκος βροχής ¹ (εκατ. κ.μ.)	Εξάτμιση ¹ (εκατ. κ.μ.)	Υδατικό δυναμικό (εκατ. κ.μ.)	Προσφορά ² (εκατ. κ.μ.)	Ζήτηση ² (εκατ. κ.μ.)	Παρατηρή- σεις ²
01 Δυτικής Πελοποννήσου	7.301	8.031	3.614	4.417	73	55	Πλεονασματικό
02 Βόρειας Πελοποννήσου	7.310	6.404	2.824	3.580	122	104	Πλεονασματικό
03 Ανατολικής Πελοποννήσου	8.477	6.563	3.290	3.273	56	67	Ελλειμματικό
04 Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	10.199	13.973	5.310	8.663	415	82	Πλεονασματικό
05 Ηπείρου	10.026	17.046	6.818	10.228	193	33	Πλεονασματικό
06 Αττικής	3.207	1.642	1.150	492	56	54	Οριακά πλεονασματικό ³
07 Ανατ. Στερεάς Ελλάδος	12.341	9.516	5.257	4.259	128	187	Ελλειμματικό ⁴
08 Θεσσαλίας	13.377	10.434	6.260	4.174	210	335	Ελλειμματικό
09 Δυτικής Μακεδονίας	13.440	10.470	5.654	4.816	159	136	Πλεονασματικό
10 Κεντρικής Μακεδονίας	10.389	6.068	3.034	3.034	137	130	Οριακά πλεονασματικό
11 Ανατολικής Μακεδονίας	7.280	4.917	2.722	2.195	354	132	Πλεονασματικό
12 Θράκης	11.177	8.574	5.325	3.249	424	253	Πλεονασματικό
13 Κρήτης	8.335	7.500	4.874	2.626	130	133	Οριακά ελλειμματικό ⁵
14 Νήσων Αιγαίου	9.103	5.192	3.104	2.088	7	25	Ελλειμματικό
Σύνολο χώρας	131.962	116.330	59.236	57.094	2.464	1.726	

Πηγή: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα: Περιβάλλον – Αειφόρος Ανάπτυξη, 2007.

1 Οι τιμές είναι σχετικά υπερεκτιμημένες.

2 Οι τιμές και τα χαρακτηριστικά τους αφορούν το μήνα Ιούλιο.

3 Οι υδατικοί πόροι είναι κατά βάση μεταφερόμενοι από γειτονικά διαμερίσματα.

4 Οι αρδευόμενες εκτάσεις κατά την ΕΣΥΕ φαίνονται υπερεκτιμημένες και, γι' αυτό, το διαμέρισμα, ενώ έχει σήμερα οριακά επαρκείς πόρους, εμφανίζεται ως έντονα ελλειμματικό.

5 Σήμερα η ζήτηση καλύπτεται πλημμελώς, κυρίως από πηγές και γεωτρήσεις.

Παρά τις επί σειρά ετών προσπάθειες δημόσιων φορέων και οργανισμών, δεν έχουν ακόμη συγκεντρωθεί τα απαραίτητα δεδομένα για μια πλήρη και αξιόπιστη εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της χώρας. Στον Πίνακα 2.2 (σελ. 143) παρουσιάζεται εκτίμηση ενός γενικού υδρολογικού ισοζυγίου της χώρας σε μέση ετήσια χρονική βάση. Για την εκτίμηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα, με όποια σχετική αξιοπιστία διαθέτουν, από την ανάλυση των υδατικών διαμερισμάτων. Τα δεδομένα αυτά έχουν αντληθεί από πληροφορίες επιμέρους μελετών, αλλά και μετρήσεων για συνιστώσες του υδρολογικού ισοζυγίου και, όπως αναφέρθηκε, διαθέτουν μόνο σχετική αξιοπιστία, η οποία μειώνεται όταν το μέγεθος ανάγεται στο σύνολο της χώρας (πρόσθεση των κατά διαμέρισμα ποσοτήτων).

2.1.5 Φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στον τομέα των υδάτων στην Ελλάδα

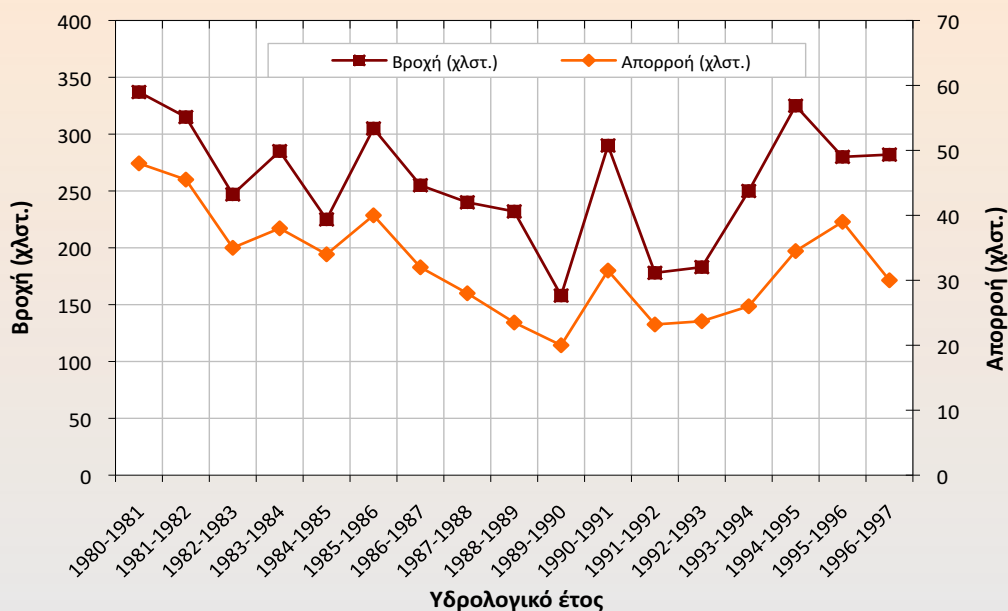
Η αρχή των φαινομένων του υδρολογικού κύκλου βρίσκεται στην εξάτμιση και στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση, χαλάζι κ.λπ.). Τα νερά των κατακρημνισμάτων, με την άφιξή τους στην επιφάνεια της γης, διαμοιράζονται πρωτογενώς στην εξάτμιση και διαπνοή (μέσω των φυτών), στην απορροή (μέσω των υδρογραφικών δικτύων) και στην κατείσδυση. Δευτερογενώς το σχήμα αυτό γίνεται πιο σύνθετο, καθώς νερό που απορρέει είτε εξατμίζεται στη διαδρομή του είτε κατεισδύει μερικά και, αντίθετα, νερό που έχει κατεισδύσει εξέρχεται στην επιφάνεια μέσω των πηγαιών εκφορτίσεων και συνεχίζει τη διαδρομή του με επιφανειακή απορροή και μερική εξάτμιση. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να επέλθουν αρκετές φορές. Επί πλέον, το νερό που κατεισδύει, πριν εμπλουτίσει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, καλύπτει κατά προτεραιότητα τις υδατικές ανάγκες της εδαφικής και υπεδαφικής ζώνης και του ριζικού συστήματος (νερό κατακράτησης, προσρόφησης, τριχοειδές), στην οποία επιτελείται η ανάπτυξη φυτικών και ζωικών οργανισμών. Γίνεται επομένως φανερό ότι κάθε διατάραξη του καθεστώτος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων συνεπάγεται σημαντικές μεταβολές του υδρολογικού κύκλου, του υδρολογικού ισοζυγίου (επιφανειακά ύδατα) και του υδρογεωλογικού ισοζυγίου (υπόγεια ύδατα).

Η επιφάνεια του ελλαδικού χώρου ανέρχεται στα 130.000 τετρ. χλμ. περίπου, εκ των οποίων το 20% αντιπροσωπεύει τα περίπου 3.000 νησιά. Η επιφάνεια αυτής είναι κατά τα 2/3 ορεινή και το πολύπλοκο ανάγλυφο της χώρας περικλείεται από τη μεγαλύτερη ακτογραμμή χώρας στην Ευρώπη, μήκους μεγαλύτερου των 16.000 χλμ., το 5% της οποίας αντιπροσωπεύει περιοχές μοναδικής οικολογικής αξίας.

Στην κατανομή των συνολικών κατακρημνισμάτων στην Ελλάδα, τα οποία αντιστοιχούν κατά μέσο όρο στα 800 χλστ. ύψους βροχής, καθοριστικός αναδεικνύεται ο ρόλος της οροσειράς της Πίνδου, δυτικά της οποίας υπάρχουν σημαντικώς διαφορετικά ποσά βροχόπτωσης σε σύγκριση με την Ανατολική Ελλάδα. Το υδατικό έλλειμμα είναι φυσιολογικό, δεδομένου ότι η

Διάγραμμα 2.1

Χρονοσειρές βροχόπτωσης και επιφανειακής απορροής σε υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας
(Προερχόμενες από μείγμα δοκιμαστικών προγραμμάτων και μετρήσεων, ΥΠΑΝ 2003)



κατανομή της επιφανειακής απορροής εμφανίζει ανάλογη εικόνα με την κατανομή των βροχοπτώσεων (Διάγραμμα 2.1).

Από το συγκεκριμένο διάγραμμα, που αφορά το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας κατά, μεταξύ άλλων, το κρίσιμο διάστημα των υδρολογικών ετών 1989-1990 και 1990-1991, κατά το οποίο παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων (-40%) σε όλη τη χώρα, προκύπτουν τα εξής ενδιαφέροντα συμπεράσματα: η μεταβολή των βροχοπτώσεων από 130 χλστ. (το 1989-90) σε 170 χλστ. το 1990-91 (αύξηση της τάξεως του 30%) είχε ως συνέπεια μια αντίστοιχη μεταβολή της απορροής από 26 χλστ. σε 50 χλστ. (αύξηση της τάξεως του 90%). Η μείωση των βροχοπτώσεων από 170 χλστ. σε 140 χλστ. (μείωση της τάξεως του 17%) επέφερε μείωση της απορροής από 50 χλστ. σε 33 χλστ. (μείωση της τάξεως του 70%). Αυτό σημαίνει τριπλασιασμό της απορροής ως προς την αύξηση των βροχοπτώσεων και περίπου την ίδια μείωση της απορροής σε σχέση με τη μείωση των βροχοπτώσεων.

Ο συνδυασμός της γεωγραφικής θέσης (ομβροπλευρά), της μορφολογίας και της γεωλογίας ευνοεί τη συγκέντρωση επιφανειακών (λίμνες) και υπόγειων (εκτεταμένα καρστικά πεδία) νερών. Ευνοείται όμως και η χειροτέρευση της ποιότητας των υδατικών συστημάτων λόγω της επιδεκτικότητας του “καρστ” σε ρυπάνσεις. Σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, αναμένεται αύξηση της εξάτμισης και της διαπνοής, αύξηση των αναγκών άρδευσης και, ενδεχομένως, των

τουριστικών αναγκών, καθώς και αύξηση του ρυπαντικού φορτίου, επειδή αυτό θα αυξάνεται σε περιορισμένο όγκο υδατικού σώματος (Στουρνάρας, 2007).

Η εξατμισοδιαπνοή είναι μια σοβαρή υδρολογική απώλεια, που επέρχεται τόσο στην επιφάνεια όσο και στα ανώτερα εδαφικά στρώματα. Το ποσοστό της είναι υψηλό, ειδικά στις ξηρές ανατολικές περιοχές της Ελλάδος. Ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης για το χαρακτηρισμό του κλίματος μιας περιοχής είναι ο δείκτης ξηρότητας της UNESCO (indicator of dryness), προσδιοριζόμενος ως η σχέση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης προς την αντίστοιχη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Η κατανομή του συγκεκριμένου δείκτη στην Ελλάδα υπογραμμίζει τη σοβαρότητα της ξηρασίας που εμφανίζουν οι νοτιοανατολικές περιοχές και τα νησιά του Αιγαίου (βλ. Κεφάλαιο 1).

Η διάκριση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων σε επιφανειακούς και υπόγειους έχει μόνο θεωρητική έννοια, διότι οι δύο συνιστώσες της συνολικής ροής συνδέονται μεταξύ τους (δευτερογενής κ.ο.κ. κατείσδυση και απορροή). Για κάθε συγκεκριμένη περιοχή, στο επίπεδο των αφίξεων λαμβάνεται υπόψη η επιφανειακή απορροή και η κατείσδυση, που τροφοδοτεί τον υδροφόρο ορίζοντα. Στο επίπεδο των απωλειών, λαμβάνεται υπόψη η επιφανειακή και η υπόγεια απορροή. Σε τοπικό ή υπερτοπικό επίπεδο, η χωριστή εκτίμηση επιφανειακών και υπόγειων πόρων ενέχει τον κίνδυνο αγνόησης των δευτερογενών κ.ο.κ. φαινομένων (κατείσδυση, απορροή) και λανθασμένης εκτίμησης των υδατικών αφίξεων προς χρήση ή προς έξοδο από την περιοχή αυτή. Στην πραγματικότητα, οι φυσικοί υδατικοί πόροι, προσδιορισμένοι από την επιφανειακή, μετρούμενη ή εκτιμώμενη, απορροή, και οι αντίστοιχοι υδατικοί πόροι, προσδιορισμένοι στη βάση της τροφοδοσίας των υδροφόρων οριζόντων, δεν πρέπει να θεωρούνται προστιθέμενοι παρά μόνο σε οριακές περιπτώσεις. Είναι, γενικά, εν μέρει προστιθέμενοι σε συνάρτηση με την κλίμακα θεώρησης και τις φυσικές, κλιματικές και, επικουρικά, γεωλογικές συνθήκες που επιδρούν στις σχέσεις ανάμεσα στους υδροφορείς και στην επιφανειακή απορροή μιας περιοχής.

Οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στα υδατικά, κυρίως τα υπόγεια υδατικά συστήματα μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

1. Γενική μείωση της τροφοδοσίας και ανανέωσης του νερού των υδροφόρων οριζόντων λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων και της αύξησης της εξατμισοδιαπνοής.
2. Αυξημένη υφαλμύρωση των παράκτιων και υποθαλάσσιων υδροφόρων οριζόντων, ιδιαίτερα των καρστικών, με προέλαση του μετώπου υφαλμύρωσης προς την ενδοχώρα λόγω του μειωμένου δυναμικού της χερσαίας υδατικής φάσης εξαιτίας της μειωμένης τροφοδοσίας και της υπεράντλησης.
3. Αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντικού φορτίου στα παράκτια υδατικά σώματα και στη θάλασσα λόγω μικρότερης αραιώσης.
4. Εντατικοποίηση της αποδόμησης των δελταϊκών περιοχών, που ήδη έχει ξεκινήσει λόγω της κατασκευής εγκαύσεων φραγμάτων στην ανάντη ζώνη (μείωση απορροής και στερεοπαροχής) και παράλληλων αναχωμάτων στην πεδινή ζώνη του Δέλτα (άφιξη μεταφερόμενου υλικού σε ένα και μοναδικό στόμιο).

5. Ρύπανση ή αποξήρανση των παράκτιων υγροτόπων.

6. Επιδείνωση του φαινομένου της ερημοποίησης λόγω υδατικού ελλείμματος και εδαφικών μεταβολών (συμπυκνώσεις στεγανοποιήσεις κ.λπ.).

2.1.5.1 Παρατηρήσεις και παραδοχές για την εκτίμηση των μεταβολών των υδάτων στην Ελλάδα εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών

Προκειμένου να διατυπωθούν οι ενδεχόμενες μεταβολές του υδατικού δυναμικού της χώρας μέχρι και το έτος 2100, πραγματοποιήθηκαν εκτιμήσεις υδρολογικού ισοζυγίου για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα με κωδικό A1B, A2 και B2, ενώ η εφαρμογή του προτύπου B1 δεν κατέστη δυνατή. Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν δύο εκτιμήσεις των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου, P (βροχόπτωση), Etr (εξατμισιδιαπνοή), I (κατείσδυση) και R (επιφανειακή απορροή), όπου στη μεν πρώτη περίπτωση δεν κατέστη δυνατός ο υπολογισμός της εξατμισιδιαπνοής και της επιφανειακής απορροής, εξαιτίας της μη παραδοχής των αποτελεσμάτων (υπέρμετρη εξατμισιδιαπνοή σε παραθαλάσσιες περιοχές), ενώ στη δεύτερη περίπτωση έγινε υπολογισμός όλων των αναγκαίων παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πρώτη περίπτωση η γεωγραφική οριοθέτηση των περιοχών περιλαμβάνει τόσο το ηπειρωτικό τμήμα όσο και ένα μέρος του νησιωτικού τμήματος (εκτός της περιοχής του Αιγαίου, που αφορά το Υδατικό Διαμέρισμα 14). Στη δεύτερη περίπτωση περιλαμβάνεται μόνο το ηπειρωτικό τμήμα. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε προκειμένου να διακριθεί η αντιπροσωπευτικότητα των αποτελεσμάτων.

Στο πλαίσιο της επεξεργασίας των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου γίνεται αναφορά στο συντελεστή κατείσδυσης των επιμέρους λιθολογικών σχηματισμών που απαντώνται στον ελλαδικό χώρο σύμφωνα με τα δεδομένα που υπάρχουν στις Διαχειριστικές Μελέτες (ΔXM) του ΥΠΑΝ (2003).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας για το ηπειρωτικό τμήμα έχουν καταχωρηθεί στους Πίνακες 2.3 έως 2.8. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων κάθε παραμέτρου του υδρολογικού ισοζυγίου για κάθε ενδεχόμενο σενάριο οδήγησε στα αποτελέσματα του Πίνακα 2.9.

Οι τιμές του Πίνακα 2.9 πιο κάτω οδηγούν στο συμπέρασμα της μείωσης των τιμών του ύψους της βροχής κατά 3% (Σενάριο B2) έως 8% (Σενάριο A2) και του συνολικού δυναμικού κατά 14% (Σενάριο B2) έως 22% (Σενάριο A2), για την περίοδο 2021-2050, και 7% (Σενάριο B2) έως 20% (Σενάριο A1B) επί της βροχόπτωσης και 30% (Σενάριο B2) έως 54% (Σενάριο A2) του υδατικού δυναμικού για την περίοδο 2071-2100, στο σύνολο της επικράτειας.

Από τα παραπάνω συμπεράσματα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το 75-80% περίπου του συνολικού υδατικού δυναμικού της χώρας αποτελεί μέρος της ζήτησης νερού προς άρδευση, γίνεται αντιληπτό ότι η μεταβολή αυτή θα έχει άμεσες συνέπειες στο είδος και την έκταση των καλλιεργειών, σε συνδυασμό με τις αλλαγές αγροτικών πρακτικών.

Πίνακας 2.3

Επεξεργασία δεδομένων κλιματικών αλλαγών
(Σενάριο A1B, περίοδος 2021-2050, πειρωτικό τμήμα)

WD	CZ	A (τ. χλμ.)	P (μ.)	P (χλστ.)	V (εκατ. κ.μ.)	Etr (μ.)	Etr (χλστ.)	Etr (εκατ. κ.μ.)	R (εκατ. κ.μ.)	Αδιατέρα- τοι σχημα- τισμοί	Ημπερατοί σχηματι- σμοί	Προσχω- ματικοί σχηματι- σμοί	Καρστικοί σχηματι- σμοί	I (εκατ. κ.μ.)	I+R (εκατ. κ.μ.)
1	WP	7.301	0,82	816,14	5.958,6	0,51	512,50	3741,8	1.231,04	2.331 τ. χλμ.	1.300 τ. χλμ.	1.230 τ. χλμ.	2.440 τ. χλμ.		
										3%	3%	10%	40%		
										57,1	31,8	100,4	796,6	985,8	2.216,9
3	EP	8.477	0,50	503,80	4.270,7	0,37	373,13	3.163,0	-121,06	1.634 τ. χλμ.	838 τ. χλμ.	1.012 τ. χλμ.	4.993 τ. χλμ.		
										3%	5%	10%	45%		
										24,7	21,1	51,0	1.132,0	1.228,8	1.107,7
4,5	WG	20.211	1,11	1.108,39	22.401,7	0,57	565,93	11.438,0	5.717,53	8.034 τ. χλμ.	1.138 τ. χλμ.	1.456 τ. χλμ.	9.583 τ. χλμ.		
										3%	3%	10%	45%		
										267,1	37,8	161,4	4.779,8	5.246,1	10.963,7
6,7,8	CEG	29.063	0,47	470,96	13.687,5	0,37	366,06	10.638,8	1.200,78	10.310 τ. χλμ.	3.500 τ. χλμ.	6.904 τ. χλμ.	8.349 τ. χλμ.		
										2%	3%	10%	35%		
										97,1	49,5	325,2	1376,2	1.847,9	3.048,7
9,10	WCM	23.832	0,58	575,50	13.715,3	0,40	400,13	9.535,9	2.673,47	8.139 τ. χλμ.	5.298 τ. χλμ.	7.343 τ. χλμ.	3.052 τ. χλμ.		
										3%	5%	10%	45%		
										140,5	152,4	422,6	790,4	1.506,0	4.179,4
11,12	EMT	18.457	0,66	659,17	12.166,3	0,46	460,48	8.499,1	2.523,84	10.377 τ. χλμ.		5.567 τ. χλμ.	2.513 τ. χλμ.		
										4%		7%	37%		
										273,6		256,9	612,9	1.143,4	3.667,2
Σύνολο					72.200			47.017	13.226					11.958	25.184

WD: υδατικό διαμέρισμα, CZ: κλιματική ζώνη, A: επιφάνεια, P: βροχοπτώση, V: όγκος νερού, Etr: πραγματική εξατμισιοδιαπονή, R: επιφανειακή απορροή, I: κατείσδυση, I+R: υδατικό δυναμικό.
 WP: Δυτ. Πελοπόννησος, I: Ιόνιο, EP: Ανατ. Πελοπόννησος, WG: Δυτ. Επύρδα, CEG: Κεντρ.-Ανατ. Επύρδα, WCM: Δυτ.-Κεντρ. Μακεδονία, EMT: Ανατ. Μακεδονία-Θράκη.
 Οι εκτάσεις των υδατικών διαμερισμάτων και των λιθογενικών σχηματισμών, καθώς και των συντελεστών κατείσδυσης, προέρχονται από τις Διαχειριστικές Μελέτες (ΔΧΜ) του ΥΠΑΝ.

Πίνακας 2.4

Επεξεργασία δεδομένων κλιματικών αλλαγών
(Σενάριο A1B, περίοδος 2071-2100, πειρωτικό τμήμα)

WD	CZ	A (τ. χλμ.)	P (μ.)	P (χλστ.)	V (εκατ. κ.μ.)	Etr (μ.)	Etr (χλστ.)	Etr (εκατ. κ.μ.)	R (εκατ. κ.μ.)	Αδιατέρα- τοι σχημα- τισμοί	Ημπερατοί σχηματι- σμοί	Προσχω- ματικοί σχηματι- σμοί	Καρστικοί σχηματι- σμοί	I (εκατ. κ.μ.)	I+R (εκατ. κ.μ.)
1	WP	7.301	0,67	672,10	4.907,0	0,45	453,84	3.313,5	781,67	2.331 τ. χλμ. 3% 47,0	1.300 τ. χλμ. 3% 26,2	1.230 τ. χλμ. 10% 82,7	2.440 τ. χλμ. 40% 656,0	811,8	1.593,5
3	EP	8.477	0,42	418,13	3.544,5	0,33	330,51	2.801,7	-277,05	1.634 τ. χλμ. 3% 20,5	838 τ. χλμ. 5% 17,5	1.012 τ. χλμ. 10% 42,3	4.993 τ. χλμ. 45% 939,5	1.019,8	742,8
4,5	WG	20.211	0,95	946,76	19.135,0	0,53	533,09	10.774,3	3.879,57	8.034 τ. χλμ. 3% 228,2	1.138 τ. χλμ. 3% 32,3	1.456 τ. χλμ. 10% 137,8	9.583 τ. χλμ. 45% 4082,8	4.481,1	8.360,7
6,7,8	CEG	29.063	0,41	413,39	12.014,4	0,34	339,06	9.854,1	538,21	10.310 τ. χλμ. 2% 85,2	3.500 τ. χλμ. 3% 43,4	6.904 τ. χλμ. 10% 285,4	8.349 τ. χλμ. 35% 1.208,0	1.622,0	2.160,3
9,10	WCM	23.832	0,51	510,63	12.169,3	0,37	369,08	8.795,9	2.037,22	8.139 τ. χλμ. 3% 124,7	5.298 τ. χλμ. 5% 135,3	7.343 τ. χλμ. 10% 375,0	3.052 τ. χλμ. 45% 701,3	1.336,2	3.373,4
11,12	EMT	18.457	0,58	584,39	10.786,1	0,43	426,41	7.870,2	1.902,17	10.377 τ. χλμ. 4% 242,6	5.567 τ. χλμ. 7% 227,7	5.567 τ. χλμ. 37% 543,4	2.513 τ. χλμ. 37% 543,4	1.013,7	2.915,8
Σύνολο					62.556		43.410	8.862						10.285	19.147

WD: υδατικό διαμέρισμα, CZ: κλιματική ζώνη, A: επιφάνεια, P: βροχόπτωση, V: όγκος νερού, Etr: πραγματική εξατμισιοδιαπονή, R: επιφανειακή απορροή, I: κατείσδυση, I+R: υδατικό δυναμικό.
WP: Δυτ. Πελοπόννησος, I: Ιόνιο, EP: Ανατ. Πελοπόννησος, WG: Δυτ. Επύρδα, CEG: Κεντρ.-Ανατ. Επύρδα, WCM: Δυτ.-Κεντρ. Μακεδονία, EMT: Ανατ. Μακεδονία-Θράκη.
Οι εκτάσεις των υδατικών διαμερισμάτων και των λιθολογικών σχηματισμών, καθώς και των συντελεστών κατείσδυσης, προέρχονται από τις Διαχειριστικές Μελέτες (ΔΧΜ) του ΥΠΑΝ.

Πίνακας 2.5

Επεξεργασία δεδομένων κλιματικών αλλαγών
(Σενάριο A2, περίοδος 2021-2050, πειραωτικό τμήμα)

WD	CZ	A (τ. χλμ.)	P (μ.)	P (χλστ.)	V (εκατ. κ.μ.)	Etr (μ.)	Etr (χλστ.)	Etr (εκατ. κ.μ.)	R (εκατ. κ.μ.)	Αδιατέρα- τοι σχημα- τισμοί	Ημπερατοί σχηματι- σμοί	Προσχω- ματικοί σχηματι- σμοί	Καρστικοί σχηματι- σμοί	I (εκατ. κ.μ.)	I+R (εκατ. κ.μ.)
1	WP	7.301	0,59	589,49	4.303,9	0,49	494,94	3.613,6	-21,75	2.331 τ. χλμ.	1.300 τ. χλμ.	1.230 τ. χλμ.	2.440 τ. χλμ.		
										3%	3%	10%	40%		
										41,2	23,0	72,5	575,3	712,1	690,3
3	EP	8.477	0,41	411,29	3.486,5	0,35	351,73	2.981,6	-498,23	1.634 τ. χλμ.	838 τ. χλμ.	1.012 τ. χλμ.	4.993 τ. χλμ.		
										3%	5%	10%	45%		
										20,2	17,2	41,6	924,1	1.003,1	504,9
										8.034 τ. χλμ.	1.138 τ. χλμ.	1.456 τ. χλμ.	9.583 τ. χλμ.		
4,5	WG	20.211	0,78	779,64	15.757,3	0,51	513,63	10.381,0	1.686,21	3%	3%	10%	45%		
										187,9	26,6	113,5	3.362,1	3.690,1	5.376,3
										10.310 τ. χλμ.	3.500 τ. χλμ.	6.904 τ. χλμ.	8.349 τ. χλμ.		
6,7,8	CEG	29.063	0,43	433,62	12.602,3	0,39	392,30	11.401,4	-500,53	2%	3%	10%	35%		
										89,4	45,5	299,4	1.267,1	1.701,4	1.200,9
										8.139 τ. χλμ.	5.298 τ. χλμ.	7.343 τ. χλμ.	3.052 τ. χλμ.		
9,10	WCM	23.832	0,50	496,39	11.830,0	0,40	404,52	9.640,5	890,51	3%	5%	10%	45%		
										121,2	131,5	364,5	681,7	1.298,9	2.189,4
										10.377 τ. χλμ.		5.567 τ. χλμ.	2.513 τ. χλμ.		
11,12	EMT	18.457	0,54	538,85	9.945,6	0,45	452,24	8.347,0	663,88	4%		7%	37%		
										223,7		210,0	501,0	934,7	1.598,6
Σύνολο					57.925,5			46.365,1	2.220,08					9.340	11.560

WD: υδατικό διαμέρισμα, CZ: κλιματική ζώνη, A: επιφάνεια, P: βροχόπτωση, V: όγκος νερού, Etr: πραγματική εξατμισιοδιαπονή, R: επιφανειακή απορροή, I: κατείσδυση, I+R: υδατικό δυναμικό.
 WP: Δυτ. Πελοπόννησος, I: Ιόνιο, EP: Ανατ. Πελοπόννησος, WG: Δυτ. Επάρδα, CEG: Κεντρ.-Ανατ. Επάρδα, WCM: Δυτ.-Κεντρ. Μακεδονία, EMT: Ανατ. Μακεδονία-Θράκη.
 Οι εκτάσεις των υδατικών διαμερισμάτων και των λιθολογικών σχηματισμών, καθώς και των συντελεστών κατείσδυσης, προέρχονται από τις Διαχειριστικές Μελέτες (ΔΧΜ) του ΥΠΑΝ.

Πίνακας 2.6

Επεξεργασία δεδομένων κλιματικών αλλαγών
(Σενάριο A2, περίοδος 2071-2100, πειρωτικό τμήμα)

WD	CZ	A (τ. χλμ.)	P (μ.)	P (χλστ.)	V (εκατ. κ.μ.)	Etr (μ.)	Etr (χλστ.)	Etr (εκατ. κ.μ.)	R (εκατ. κ.μ.)	Αδιατέρα- τοι σχημα- τισμοί	Ημπερατοί σχηματι- σμοί	Προσχω- ματικοί σχηματι- σμοί	Καρστικοί σχηματι- σμοί	I (εκατ. κ.μ.)	I+R (εκατ. κ.μ.)
1	WP	7.301	0,50	504,37	3.682,4	0,47	465,63	3.399,6	-326,40	2.331 τ. χλμ. 3%	1.300 τ. χλμ. 3%	1.230 τ. χλμ. 10%	2.440 τ. χλμ. 40%		
3	EP	8.477	0,35	349,46	2.962,4	0,33	326,86	2.770,8	-660,74	1.634 τ. χλμ. 3%	838 τ. χλμ. 5%	1.012 τ. χλμ. 10%	4.993 τ. χλμ. 45%	609,2	282,8
4,5	WG	20.211	0,68	682,58	13.795,6	0,49	490,99	9.923,4	641,50	8.034 τ. χλμ. 3%	1.138 τ. χλμ. 3%	1.456 τ. χλμ. 10%	9.583 τ. χλμ. 45%	852,3	191,6
6,7,8	CEG	29.063	0,39	392,09	11.395,3	0,39	390,28	11.342,7	-1.485,86	10.310 τ. χλμ. 2%	3.500 τ. χλμ. 3%	6.904 τ. χλμ. 10%	8.349 τ. χλμ. 35%	3.230,7	3.872,2
9,10	WCM	23.832	0,44	442,92	10.555,7	0,38	382,37	9.112,6	284,01	8.139 τ. χλμ. 3%	5.298 τ. χλμ. 5%	7.343 τ. χλμ. 10%	3.052 τ. χλμ. 45%	1.538,5	52,6
11,12	EMT	18.457	0,47	470,28	8.680,0	0,42	421,60	7.781,5	82,75	108,1 10.377 τ. χλμ.	117,3 4%	325,2 7%	608,3 37%	1.159,0	1.443,0
Σύνολο					51.071			44.331	-1.465	195,2		183,3	437,3	815,7	6.741

WD: υδατικό διαμέρισμα, CZ: κλιματική ζώνη, A: επιφάνεια, P: βροχόπτωση, V: όγκος νερού, Etr: πραγματική εξατμισιοδιαπονή, R: επιφανειακή απορροή, I: κατείσδυση, I+R: υδατικό δυναμικό.
WP: Δυτ. Πελοπόννησος, I: Ιόνιο, EP: Ανατ. Πελοπόννησος, WG: Δυτ. Επύρδα, CEG: Κεντρ.-Ανατ. Επύρδα, WCM: Ανατ. Μακεδονία-Θράκη.
Οι εκτάσεις των υδατικών διαμερισμάτων και των λιθογενών σχηματισμών, καθώς και των συντελεστών κατείσδυσης, προέρχονται από τις Διαχειριστικές Μελέτες (ΔΧΜ) του ΥΠΑΝ.

Πίνακας 2.7

Επεξεργασία δεδομένων κλιματικών αλλαγών
(Σενάριο B2, περίοδος 2021-2050, πειρωτικό τμήμα)

WD	CZ	A (τ. χλμ.)	P (μ.)	P (χλστ.)	V (εκατ. κ.μ.)	Etr (μ.)	Etr (χλστ.)	Etr (εκατ. κ.μ.)	R (εκατ. κ.μ.)	Αδιατέρα- τοι σχημα- τισμοί	Ημπερατοί σχηματι- σμοί	Προσχω- ματικοί σχηματι- σμοί	Καρστικοί σχηματι- σμοί	I (εκατ. κ.μ.)	I+R (εκατ. κ.μ.)
1	WP	7.301	0,61	614,97	4.489,9	0,54	543,20	3.965,9	-218,85	2.331 τ. χλμ.	1.300 τ. χλμ.	1.230 τ. χλμ.	2.440 τ. χλμ.		
										3%	3%	10%	40%		
										43,0	24,0	75,6	600,2	742,8	524,0
3	EP	8.477	0,47	471,15	3.993,9	0,41	405,50	3.437,4	-592,61	1.634 τ. χλμ.	838 τ. χλμ.	1.012 τ. χλμ.	4.993 τ. χλμ.		
										3%	5%	10%	45%		
										23,1	19,7	47,7	1.058,6	1.149,1	556,5
4,5	WG	20.211	0,88	876,55	17.716,0	0,51	513,37	10.375,7	3.191,42	8.034 τ. χλμ.	1.138 τ. χλμ.	1.456 τ. χλμ.	9.583 τ. χλμ.		
										3%	3%	10%	45%		
										211,3	29,9	127,6	3.780,0	4.148,8	7.340,2
6,7,8	CEG	29.063	0,47	467,55	13.588,4	0,40	396,47	11.522,6	231,25	10.310 τ. χλμ.	3.500 τ. χλμ.	6.904 τ. χλμ.	8.349 τ. χλμ.		
										2%	3%	10%	35%		
										96,4	49,1	322,8	1.366,3	1.834,5	2.065,8
9,10	WCM	23.832	0,55	550,10	13.110,0	0,43	430,02	10.248,2	1422,26	8.139 τ. χλμ.	5.298 τ. χλμ.	7.343 τ. χλμ.	3.052 τ. χλμ.		
										3%	5%	10%	45%		
										134,3	145,7	403,9	755,5	1.439,5	2.861,7
11,12	EMT	18.457	0,62	618,31	11.412,1	0,49	485,82	8.966,8	1.372,86	10.377 τ. χλμ.		5.567 τ. χλμ.	2.513 τ. χλμ.		
										4%		7%	37%		
										256,6		240,9	574,9	1.072,5	2.445,4
Σύνολο					64.310			48.517	5.406					10.387	15.794

WD: υδατικό διαμέρισμα, CZ: κλιματική ζώνη, A: επιφάνεια, P: βροχόπτωση, V: όγκος νερού, Etr: πραγματική εξατμισιοδιαπονή, R: επιφανειακή απορροή, I: κατέσδυση, I+R: υδατικό δυναμικό.
 WP: Δυτ. Πελοπόννησος, I: Ιόνιο, EP: Ανατ. Πελοπόννησος, WG: Δυτ. Επύρδα, CEG: Κεντρ.-Ανατ. Επύρδα, WCM: Δυτ.-Κεντρ. Μακεδονία, EMT: Ανατ. Μακεδονία-Θράκη.
 Οι εκτάσεις των υδατικών διαμερισμάτων και των λιθολογικών σχηματισμών, καθώς και των συντελεστών κατέσδυσης, προέρχονται από τις Διαχειριστικές Μελέτες (ΔΧΜ) του ΥΠΑΝ.

Πίνακας 2.8

Επεξεργασία δεδομένων κλιματικών αλλαγών.
(Σενάριο B2, περίοδος 2071-2100, πειρωτικό τμήμα)

WD	CZ	A (τ. χλμ.)	P (μ.)	P (χλστ.)	V (εκατ. κ.μ.)	Etr (μ.)	Etr (χλστ.)	Etr (εκατ. κ.μ.)	R (εκατ. κ.μ.)	Αδιατέρα- τοι σχημα- τισμοί	Ημπερατοί σχηματι- σμοί	Προσχω- ματικοί σχηματι- σμοί	Καρστικοί σχηματι- σμοί	I (εκατ. κ.μ.)	I+R (εκατ. κ.μ.)
1	WP	7.301	0,58	584,03	4.264,0	0,55	547,14	3.994,7	-436,13	2.331 τ. χλμ. 3% 40,8	1.300 τ. χλμ. 3% 22,8	1.230 τ. χλμ. 10% 71,8	2.440 τ. χλμ. 40% 570,0	705,5	269,3
3	EP	8.477	0,44	440,76	3.736,3	0,40	401,68	3.405,0	-743,72	1.634 τ. χλμ. 3% 21,6	838 τ. χλμ. 5% 18,5	1.012 τ. χλμ. 10% 44,6	4.993 τ. χλμ. 45% 990,3	1.075,0	331,3
4,5	WG	20.211	0,85	849,10	17.161,2	0,52	521,96	10.549,3	2.592,94	8.034 τ. χλμ. 3% 204,7	1.138 τ. χλμ. 3% 29,0	1.456 τ. χλμ. 10% 123,6	9.583 τ. χλμ. 45% 3.661,6	4.018,9	6.611,8
6,7,8	CEG	29.063	0,45	447,23	12.997,8	0,40	402,40	11.695,0	-451,92	10.310 τ. χλμ. 2% 92,2	3.500 τ. χλμ. 3% 47,0	6.904 τ. χλμ. 10% 308,8	8.349 τ. χλμ. 35% 1.306,9	1.754,8	1.302,9
9,10	WCM	23.832	0,53	531,73	12.672,2	0,43	430,79	10.266,6	1.014,19	8.139 τ. χλμ. 3% 129,8	5.298 τ. χλμ. 5% 140,9	7.343 τ. χλμ. 10% 390,4	3.052 τ. χλμ. 45% 730,3	1.391,4	2.405,6
11,12	EMT	18.457	0,59	593,21	10.948,9	0,49	487,41	8.996,1	923,78	10.377 τ. χλμ. 4% 246,2	3.500 τ. χλμ. 7% 231,2	5.567 τ. χλμ. 37% 551,6	2.513 τ. χλμ. 37% 551,6	1.029,0	1.952,8
Σύνολο					61.780			48.907	2.899					9.975	12.874

WD: υδατικό διαμέρισμα, CZ: κλιματική ζώνη, A: επιφάνεια, P: βροχόπτωση, V: όγκος νερού, Etr: πραγματική εξατμισιοδιαπονή, R: επιφανειακή απορροή, I: κατείσδυση, I+R: υδατικό δυναμικό.
WP: Δυτ. Πελοπόννησος, I: Ιόνιο, EP: Ανατ. Πελοπόννησος, WG: Δυτ. Επείδα, CEG: Κεντρ.-Ανατ. Επείδα, WCM: Δυτ.-Κεντρ. Μακεδονία, EMT: Ανατ. Μακεδονία-Θράκη.
Οι εκτάσεις των υδατικών διαμερισμάτων και των λιθογενών σχηματισμών, καθώς και των συντελεστών κατείσδυσης, προέρχονται από τις Διαχειριστικές Μελέτες (ΔΧΜ) του ΥΠΑΝ.

Πίνακας 2.9

Εκτίμηση της εκατοστιαίας μεταβολής των παραμέτρων V (όγκος βροχής) και I+R (υδατικό δυναμικό του γενικευμένου υδρολογικού ισοζυγίου κατά κλιματικό σενάριο και κατά χρονική περίοδο (Ποσοστά %)

	A1B		A2		B2	
	V	I+R	V	I+R	V	I+R
2021-2050	-8	-14	-8	-22	-3	-14
2071-2100	-20	-37	-19	-54	-7	-30

2.1.5.2 Διαγράμματα συσχέτισης του όγκου του νερού της βροχής προς τον όγκο του νερού κατεΐσδυσης και επιφανειακής απορροής

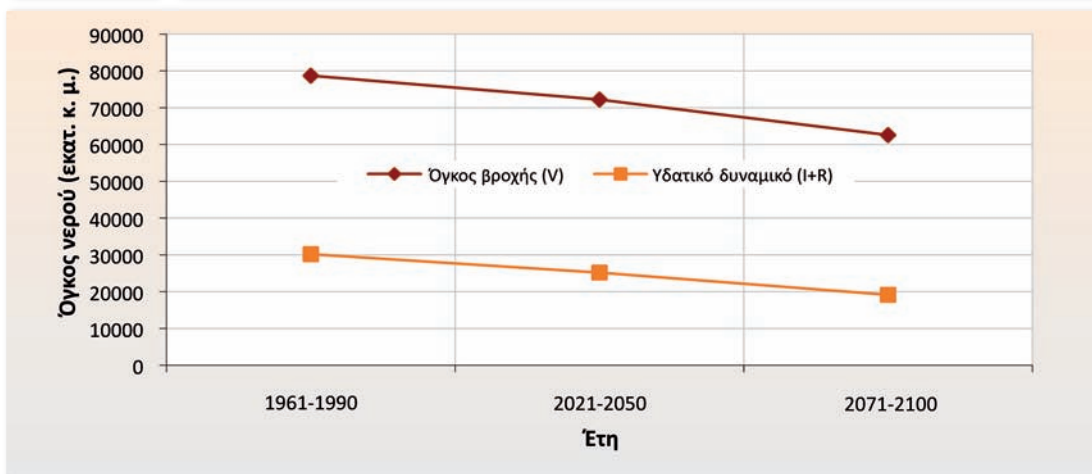
Προκειμένου να απεικονιστεί η συσχέτιση του όγκου του νερού της βροχής, V (εκατ. κ. μ.), με τον όγκο του νερού κατεΐσδυσης, I (εκατ. κ. μ.), και τον όγκο του νερού που ρέει επιφανειακά, R (εκατ. κ. μ.), κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα (2.2, 2.3 και 2.4) με βάση τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100, για κάθε σενάριο.

2.1.6 Οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα υδατικά αποθέματα

Έχοντας εκτιμήσει τις φυσικές επιπτώσεις των κλιματικών Σεναρίων A1B, A2 και B2 στον υδρολογικό κύκλο και στα υδατικά αποθέματα της Ελλάδος, οι συγγραφείς προχωρούν στην οικονομική εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Λόγω περιορισμών από πλευράς χρόνου και διαθεσιμότητας στοιχείων, γίνεται επικέντρωση στις επιπτώσεις της κλιματικής

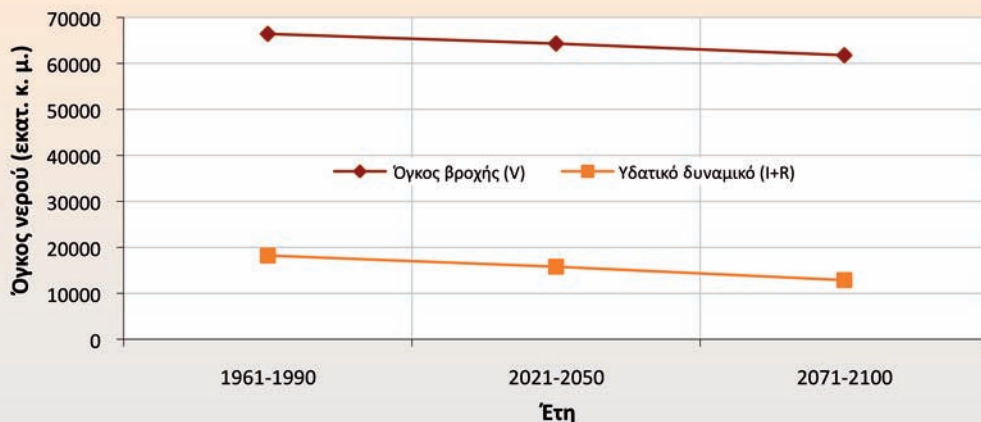
Διάγραμμα 2.2

Μεταβολή του όγκου βροχής (V) και του υδατικού δυναμικού (I+R), 1961-2100, Σενάριο A1B



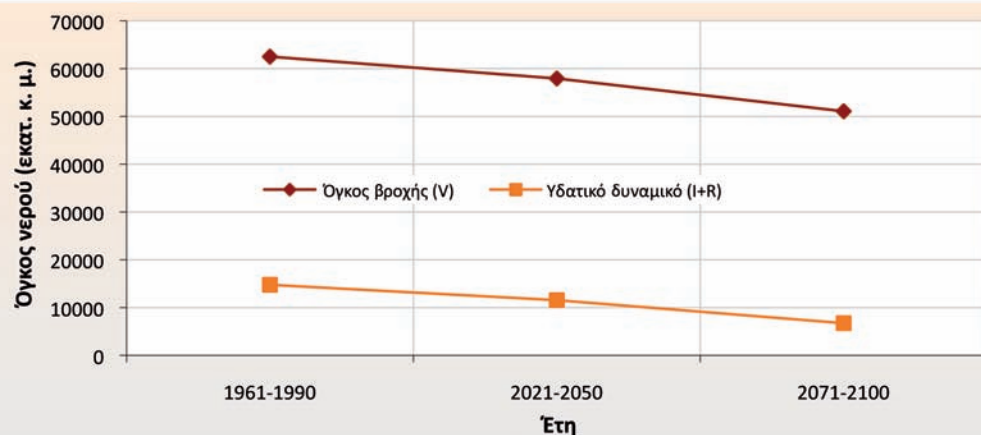
Διάγραμμα 2.3

Μεταβολή του όγκου βροχής (V) και του υδατικού δυναμικού (I+R), 1961-2100, Σενάριο B2



Διάγραμμα 2.4

Μεταβολή του όγκου βροχής (V) και του υδατικού δυναμικού (I+R), 1961-2100, Σενάριο A2



αλλαγής στην ύδρευση. Στη χρήση για ύδρευση συμπεριλαμβάνονται σε μεγάλο βαθμό η τουριστική και η βιομηχανική χρήση. Η ανάλυση δεν περιλαμβάνει τις χρήσεις για άρδευση και “οικολογική παροχή”. Ιδιαίτερα η τελευταία, νοούμενη ως το ελάχιστο ασφαλές (ποιοτικά και ποσοτικά) όριο υδατικών αποθεμάτων *in situ* για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας οικοσυστημάτων και ειδών, αποτελεί μια σημαντική οικοσυστημική υπηρεσία των υδατικών αποθεμάτων ενόψει των κλιματικών αλλαγών. Η χρήση για άρδευση συνυπολογίζεται έμμεσα στο Υποκεφάλαιο 2.4 πιο κάτω μέσω της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία.

2.1.6.1 Μια τυπολογία των οικονομικών επιπτώσεων από τη χρήση νερού

Οι υδατικοί πόροι παρέχουν αγαθά και υπηρεσίες, η διαχείριση των οποίων εμπεριέχει τόσο την οικονομική όσο την κοινωνική και την πολιτική διάσταση και αφορά αρκετούς τομείς της οικονομίας. Για το λόγο αυτό, οι πιθανές οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ύδατα είναι πιθανό να επιδράσουν σε ευρύ φάσμα πολύ σημαντικών για την κοινωνία δραστηριοτήτων, με επέκταση σε αρκετούς τομείς της οικονομίας. Ειδικότερα αναμένεται:

1. Μειωμένη παραγωγικότητα λόγω της έλλειψης υδατικών πόρων (και της, εξαιτίας αυτού, πιθανής χειροτέρευσης της ποιότητας των υδάτων) στην περίπτωση που αυτοί αποτελούν εισροή στην παραγωγική διαδικασία (γεωργικός τομέας, τομέας παραγωγής ενέργειας από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, βιομηχανικός τομέας, δασοκομία, ιχθυοκαλλιέργειες).

2. Αύξηση του κόστους απορρύπανσης και επεξεργασίας αποβλήτων.

3. Μείωση της ασφάλειας (πλημμυρικά φαινόμενα, πυρκαγιές).

4. Μείωση του οφέλους από δραστηριότητες αναψυχής.

5. Απώλεια οφέλους λόγω βλαβών σε υδατικά οικοσυστήματα.

6. Αύξηση του κόστους απολήψεων από υπόγεια ύδατα.

7. Αύξηση του κινδύνου περαιτέρω υφαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων.

8. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

9. Απώλεια ευημερίας λόγω πιθανών περιορισμών στη χρήση του νερού.

Η ένταση των παραπάνω οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής εξαρτάται από την ένταση των επιμέρους κλιματικών αλλαγών.

2.1.6.2 Το γενικό πλαίσιο αξιολόγησης των κλιματικών ζημιών

Η διαδικασία εκτίμησης του κόστους της κλιματικής αλλαγής για τους υδατικούς πόρους περιλαμβάνει διακριτά στάδια, που αποτελούν τη βάση για την οικονομική αξιολόγηση. Αρχικά προσδιορίζονται οι σημαντικότερες πιέσεις της κλιματικής αλλαγής οι οποίες επιδρούν στα υδατικά σώματα. Στη συνέχεια αξιολογείται ο αντίκτυπος των πιέσεων της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των υδατικών πόρων, σε ογκομετρικούς, χημικούς και οικολογικούς όρους. Έπεται ο προσδιορισμός και η ποσοτικοποίηση (όπου είναι εφικτό) της ζημίας που υφίστανται τα υδατικά οικοσυστήματα και οι χρήστες του ύδατος. Η ζημία προσδιορίζεται ως η διαφοροποίηση μεταξύ της κατάστασης αναφοράς (status quo) και της αναμενόμενης κατάστασης από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, αφού ληφθούν υπόψη τόσο η επίδραση στην παροχή και την ποιότητα των υπηρεσιών ύδατος όσο και η αύξηση του κινδύνου. Το ποσοστό αύξησης του κινδύνου αφορά μια σειρά παραμέτρων, όπως π.χ. η πιθανότητα εμφάνισης έντονων πλημμυρικών φαινομένων, η πιθανότητα υφαλμύρωσης των υδροφορέων, η πιθανότητα εμφάνισης περιστατικών υγειονομικού ενδιαφέροντος λόγω χειροτέρευσης της ποιότητας των υδατικών πόρων και η μείωση της δυνατότητας χρήσης των μέσων πυρόσβεσης. Στο τελευταίο στάδιο γίνεται η αποτίμηση της ζημίας σε χρηματικούς όρους. Η οικονομική αξιολόγηση της ζημίας βασίζεται σε μεθόδους απο-

τίμησης αγοραίων και μη αγαθών και επικεντρώνεται ειδικότερα στην απώλεια ευημερίας λόγω αλλαγών στο επίπεδο της παροχής και της ποιότητας αγαθών και υπηρεσιών.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ειδικότερα των κλιματικών επιπτώσεων (Παπανδρέου και Σκούρτος, 2000). Η οικονομική αξιολόγηση μη αγοραίων αγαθών και υπηρεσιών αναφέρεται στη διαδικασία χρηματικής αποτίμησης αγαθών και υπηρεσιών που δεν αποτελούν αντικείμενο συναλλαγής σε αγορές. Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο δείκτη ευημερίας (τιμή, κόστος ή αξία) σε τρεις κατηγορίες: *τιμολόγησης*, *κοστολόγησης* και *αξιολόγησης*. Στην πρώτη ομάδα εντάσσονται οι μεθοδολογίες αγοράς, όπου ως αξίες χρησιμοποιούνται οι αγοραίες τιμές. Οι μέθοδοι είναι κατάλληλες για την μέτρηση μόνο της άμεσης χρηστικής αξίας. Οι εκτιμηθείσες τιμές αποτελούν το κατώφλι αξιολόγησης, καθώς αντικατοπτρίζουν την τιμή και όχι την αξία (μέγιστη προθυμία για πληρωμή) των αγαθών. Τη δεύτερη ομάδα αποτελούν οι μέθοδοι κόστους. Οι μεθοδολογίες αυτές στηρίζονται στην ύπαρξη κάποιας σχέσης (“ασθενής συμπληρωματικότητα”) μεταξύ περιβαλλοντικής ποιότητας και ιδιωτικών, αγοραίων αγαθών. Στην τρίτη ομάδα εντάσσονται οι μέθοδοι οι οποίες στηρίζονται στις προτιμήσεις των καταναλωτών. Είναι σήμερα διαθέσιμες δύο βασικές ομάδες μεθόδων οικονομικής αξιολόγησης περιβαλλοντικών αγαθών: οι (έμμεσες) μέθοδοι αποκαλυμμένων προτιμήσεων (revealed preferences) και αυτές των (άμεσων) δηλωμένων προτιμήσεων (stated preferences). Λόγω περιορισμένων πόρων και χρόνου αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις, είναι συχνά ασύμφορη η χρηματοδότηση πρωτογενών μελετών οικονομικής αξιολόγησης περιβαλλοντικών αγαθών. Στις περιπτώσεις αυτές ενδείκνυται η εφαρμογή της μεθόδου “μεταφοράς του οφέλους” (benefit transfer). Η αξιολόγηση στην περίπτωση αυτή βασίζεται σε “μεταφορά” προϋπαρχόντων αποτελεσμάτων ερευνών οικονομικής αξιολόγησης από “περιοχές μελέτης” (study site) σε μια νέα, αλλά παρόμοια περίπτωση, την “περιοχή πολιτικής” (policy study), Navrud and Ready (2007). Δεν απαιτείται έτσι πρωτογενής έρευνα πεδίου. Η χρήση της μεταφοράς του οφέλους στην οικονομική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω, μεταξύ άλλων, της ύπαρξης μεγάλων, ανοικτών βάσεων δεδομένων μελετών αξιολόγησης.

2.1.6.3 Υδατικά αποθέματα, κλιματική αλλαγή και οικονομικό κόστος μη δράσης στην Ελλάδα

Οι δημοσιευμένες έρευνες οικονομικής αξιολόγησης για υδατικούς πόρους με περιοχή μελέτης την Ελλάδα καλύπτουν ευρύ φάσμα αγαθών και υπηρεσιών. Δυστυχώς, η ανομοιογένεια των μονάδων μέτρησης των επιπτώσεων καθιστά προβληματική στην περίπτωση που εξετάζεται η χρήση των αποτελεσμάτων για “μεταφορά οφέλους”. Επιπλέον, ούτε η επιδίωξη “συντηρητικών” εκτιμήσεων φαίνεται να υποβοηθείται από τη χρήση των χρηματικών αξιών που έχουν καταγραφεί στις ελληνικές μελέτες. Για τους λόγους αυτούς, η εκτίμηση των οικο-

νομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην παρούσα μελέτη για τον τομέα παροχής υπηρεσιών ύδρευσης γίνεται με την εφαρμογή μεθόδων κόστους. Από τις χρήσεις του ύδατος εξετάζεται μόνο η ύδρευση (συνυπολογίζεται η τουριστική χρήση).

Η οικονομική αποτίμηση των κλιματικών ζημιών για τα υδατικά αποθέματα ακολουθεί την εξής προσέγγιση: Αρχικά προσδιορίζεται η μελλοντική ζήτηση υδατικών πόρων ανά έτος και υδατικό διαμέρισμα. Στη συνέχεια, και με τη παραδοχή πως η τιμή του νερού αποτελεί ήδη μια υποεκτίμηση της πλήρους αξίας του, εκτιμάται σε αξιακούς όρους το κόστος ή όφελος λόγω της μεταβολής της ζήτησης νερού κατά τις χρονικές περιόδους 2041-2051 και 2091-2100. Στο επόμενο στάδιο εκτιμάται το μελλοντικό ετήσιο κόστος ή όφελος του τομέα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις προσφερόμενες ποσότητες υδατικών πόρων. Αφού έχουν υπολογιστεί οι αλλαγές στη ζήτηση και την προσφορά υδατικών αποθεμάτων, στο επόμενο στάδιο υπολογίζεται το καθαρό αποτέλεσμα, όπου η αξία της μεταβολής της προσφοράς λόγω κλιματικών συνθηκών αφαιρείται από την αξία της μεταβολής της ζήτησης. Οι υπολογισμοί ολοκληρώνονται με τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) της χρηματικής ζημίας.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, εξετάστηκαν τρία κλιματικά σενάρια (A1B, A2 και B2), με χρήση των τιμών πώλησης νερού ύδρευσης ως “κατωφλιών” της κοινωνικής αξίας του πόρου. Στην Ελλάδα, η Αττική και η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης εξυπηρετούνται από την ΕΥΔΑΠ και την ΕΥΑΘ αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες περιοχές υδροδοτούνται από Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης-Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) ή αντίστοιχες υπηρεσίες των δήμων, εφόσον δεν έχει συσταθεί τοπική ΔΕΥΑ. Συνήθως ανακτάται το λειτουργικό και το διοικητικό κόστος, καθώς και μέρος του κεφαλαιακού κόστους των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης, όπως και των δημοτικών γεωτρήσεων, όπου υπάρχουν (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008). Συμπερασματικά, οι χρεώσεις ύδρευσης παρουσιάζουν ανομοιογένεια τόσο ως προς το κόστος που εμπεριέχουν όσο και ως προς τον οργανισμό στον οποίο αποδίδονται. Η ανάκτηση του οικονομικού κόστους επιτυγχάνεται μόνο εν μέρει. Η τιμή αναφοράς (reference value) αντιπροσωπεύει την τιμή χρέωσης ενός κυβικού μέτρου (κ.μ.) νερού ανά υδατικό διαμέρισμα. Έτσι, είναι δυνατή η εκτίμηση μεγεθών σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος. Ως τιμές αναφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές χρέωσης του νερού από τις ΔΕΥΑ των υδατικών διαμερισμάτων (ΕΔΕΥΑ, 2007). Έτσι, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται οι εξής τιμές:

- €1,54 ανά κ.μ. νερού στα υδατικά διαμερίσματα της Δυτικής Πελοποννήσου, της Βόρειας Πελοποννήσου και της Ανατολικής Πελοποννήσου,
- €1,26 ανά κ.μ. νερού στα υδατικά διαμερίσματα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδος και της Ανατ. Στερεάς Ελλάδος,
- €1,90 ανά κ.μ. νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου,
- €1,08 ανά κ.μ. νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας,
- €0,73 ανά κ.μ. νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Αττικής,
- €1,67 ανά κ.μ. νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας,

Πίνακας 2.10

Κόστος κλιματικής αλλαγής για ύδρευση

Σενάριο	Αθροιστικό κόστος κλιματικής αλλαγής			
	2041-2050		2091-2100	
	€ (τιμές 2007)	% ΑΕΠ	€ (τιμές 2007)	% ΑΕΠ
A1B	2.077.099.481	0,89	1.189.116.259	0,51
A2	3.069.725.843	1,32	4.284.065.911	1,84
B2	2.191.388.771	0,94	1.383.394.988	0,59

Πηγή: Εκτιμήσεις των συγγραφέων.

- €1,20 ανά κ.μ. νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας,
- €1,09 ανά κ.μ. νερού στα υδατικά διαμερίσματα της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης,
- €1,77 ανά κ.μ. νερού στο υδατικό διαμέρισμα των Νήσων του Αιγαίου, και
- €1,29 ανά κ.μ. νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης.

Οι τιμές προέρχονται από δημοσιευμένα στοιχεία των ΔΕΥΑ και αφορούν το έτος 2007. Οι εκτιμήσεις ενσωματώνουν την αβεβαιότητα η οποία τυχόν προέκυψε σε όλα τα στάδια της μελέτης: αρχικά την αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση των κλιματικών δεδομένων, στη συνέχεια την αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση της μελλοντικής κατανομής των υδατικών αποθεμάτων και, τέλος, την αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού της Ελλάδος. Παράλληλα, το ύψος των εκτιμήσεων για το κόστος της κλιματικής αλλαγής εξαρτάται από τις ερευνητικές υποθέσεις: για την εκτίμηση της μελλοντικής ζήτησης, τα 200 λίτρα νερού ημερησίως θεωρήθηκαν ως η μέση προσδοκώμενη ατομική κατανάλωση για το μόνιμο πληθυσμό, ενώ αντίστοιχα υιοθετήθηκε η ποσότητα των 300 λίτρων νερού ανά διανυκτέρευση για τους τουρίστες. Ο μελλοντικός αριθμός διανυκτερεύσεων θεωρήθηκε σταθερός και ίσος με το σημερινό. Η τιμή του νερού θεωρήθηκε σταθερή, ενώ οι εκτιμήσεις παρουσιάζονται τόσο σε απόλυτες τιμές όσο και με χρήση επιτοκίων προεξόφλησης 1% και 3%.

Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων των συγγραφέων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.10. Ο εν λόγω πίνακας παρουσιάζει το αθροιστικό κόστος της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της ύδρευσης τις δεκαετίες 2041-2050 και 2091-2100 για τα τρία υπό μελέτη σενάρια. Το κόστος τη δεκαετία 2041-2050 αντικατοπτρίζει ποσοστό από 0,89% (Σενάριο A1B) έως 1,32% (Σενάριο A2) του ΑΕΠ. Κατά τη δεύτερη δεκαετία μελέτης, 2091-2100, η μείωση του ΑΕΠ ξεκινά στην καλύτερη περίπτωση (του Σεναρίου A1B) από το 0,51% του ΑΕΠ και φθάνει, στο Σενάριο A2, στο 1,84% του ΑΕΠ.

Οι υπολογισμοί ολοκληρώνονται με τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) της χρηματικής ζημίας (V). Χρησιμοποιούνται δύο επιτόκια προεξόφλησης, 1% και 3%, για να εξεταστεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων απέναντι σε εναλλακτικούς ρυθμούς προεξόφλησης μελλοντικών μεγεθών. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 2.11.

Πίνακας 2.11

Καθαρή παρούσα αξία (V) της συνολικής ζημίας στα αποθέματα ύδρευσης, κατά σενάριο και επιτόκιο προεξόφλησης

Σενάριο	i=0%		i=2%		i=5%	
	€ (τιμές 2010)	% ΑΕΠ	€ (τιμές 2010)	% ΑΕΠ	€ (τιμές 2010)	% ΑΕΠ
A1B	3.266.215.740	1,40	1.937.702.529	0,83	786.655.612	0,34
A2	7.353.791.754	3,16	3.926.853.946	1,69	1.355.659.735	0,58
B2	3.574.783.759	1,53	2.098.537.132	0,90	839.785.746	0,36

i=επιτόκιο προεξόφλησης

Πηγή: Εκτιμήσεις των συγγραφέων.

Για τις προεξοφλημένες αξίες, η μεγαλύτερη ζημία καταγράφεται στο Κλιματικό Σενάριο A2 και ανέρχεται στο 1,69% του ΑΕΠ (επιτόκιο προεξόφλησης 1%), ενώ η μικρότερη στο Κλιματικό Σενάριο A1B και ανέρχεται στο 0,34% του ΑΕΠ (επιτόκιο προεξόφλησης 3%). Οι πλέον τρωτές κλιματικές ζώνες από οικονομική άποψη είναι η Κεντρική Μακεδονία, η Κεντρική, η Ανατολική και η Δυτική Ελλάδα.

2.1.7 Δυνατότητες προσαρμογής και αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Η προσαρμογή είναι καθοριστική σε σχέση με τις αναπόφευκτες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, τις οποίες ο κόσμος ήδη υφίσταται. Αν ληφθεί πρωτίστως υπόψη ότι οι πολιτικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής απαιτούν συνδυασμένη δράση σε παγκόσμιο επίπεδο και, δευτερευόντως, ότι είναι πρακτικά μηδενικές οι δυνατότητες της ελληνικής οικονομίας να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου λόγω του μικρού της μεγέθους, η υλοποίηση στοχευμένων ενεργειών προσαρμογής αποτελεί μονόδρομο για τη μείωση του κόστους της κλιματικής αλλαγής.

Η προσαρμογή αναμένεται να έχει εξαιρετική σημασία για τις αναπτυσσόμενες χώρες, που θα πληγούν σκληρότερα και συντομότερα από την κλιματική αλλαγή. Για την Ελλάδα η έλλειψη μέτρων προσαρμογής θα δημιουργήσει μια κατάσταση ανάλογη εκείνης των αναπτυσσόμενων χωρών, λόγω της απουσίας έστω και στοιχειώδους εφαρμογής σχεδίου συνδυασμένης υδατικής διαχείρισης. Στην απουσία αυτή, εκτός των γενικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (μείωση βροχοπτώσεων, αύξηση θερμοκρασίας, εξάτμισης και αναγκών υδατικής κατανάλωσης) θα πρέπει να προστεθούν η αλόγιστη άρδευση το καλοκαίρι με “κανονάκια” και κατακλύσεις, η απώλεια νερού από τα πεπαλαιωμένα συστήματα των αστικών υδρευτικών δικτύων και η συνεχής αύξηση της υδατικής κατανάλωσης λόγω της αύξησης του πληθυσμού (τουριστικού και μόνιμου) και της συνεχούς βελτίωσης του επιπέδου ζωής (επέκταση εξοχικών κατοικιών, πάρκων, συνθηκών καθημερινότητας κ.ά.). Σε όλα αυτά θα πρέπει να προστεθούν και οι οξυμμένες επιπτώσεις, όπως π.χ. η αυξημένη εξατμι-

σιδιαπνοή, η αυξημένη άρδευση και η συνεχής αύξηση της υδατικής κατανάλωσης, τις οποίες επέφερε η αλλαγή των χρήσεων της γης, κυρίως η μετατροπή αγροτικών περιοχών σε τουριστικές.

Η ανάγκη για επαγρύπνηση και έγκαιρη αντιμετώπιση του όλου θέματος εμφανίζεται επιτακτική. Στο πεδίο των υδατικών συστημάτων, αυτό θα πρέπει να οδηγήσει στην εκπόνηση πλήρους σχεδίου συνδυασμένης υδατικής διαχείρισης και σε διορθωτικές παρεμβάσεις περιορισμού των μεγάλων υδατικών απωλειών (κατανάλωση ή εξάτμιση). Σημειώνεται επίσης η ειδική περίπτωση των ενεργειών μικρής εμβέλειας, που θα αποτελούν εξαίρεση στη γενική εφαρμογή των κανόνων της σχεδιασμένης προσαρμογής, ενεργειών που σε ορισμένες περιοχές (π.χ. νησιά) ή σε ορισμένους τομείς (π.χ. τουρισμός) μπορούν να ακυρώσουν τη γενική προσπάθεια της υδατικής διαχείρισης (ανεξέλεγκτη λειτουργία ιδιωτικών, νόμιμων ή παράνομων υδρογεωτρήσεων).

Η αυτόνομη και όχι γενικά σχεδιασμένη προσαρμογή αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για τα υδατικά συστήματα της Ελλάδος, μιας χώρας που (και) στο υδατικό περιβάλλον διακρίνεται για την ύπαρξη στρεβλής νομοθεσίας (έλλειψη ζωνών προστασίας υδροληψιών, ατελή περιοριστικά μέτρα στην περίπτωση των ιδιωτικών γεωτρήσεων) και για την παραβίαση ή καταχρηστική εφαρμογή της. Γενικά, λόγω της πλημμελούς ενασχόλησης του κράτους με την ικανοποίηση των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών στο πλαίσιο τεκμηριωμένων αποφάσεων, κυριαρχεί μια “υδατική αυτοδικία”, με αιχμές τις παράνομες γεωτρήσεις, τις παράνομες συνδέσεις, τις υπεραντλήσεις, τις ρυπάνσεις και το παράνομο εμπόριο νερού. Η πολιτικά καθοδηγούμενη προσαρμογή δεν μπορεί να είναι αξιόπιστη και μη επιζήμια εάν δεν βασίζεται σε πλήρες σχέδιο συνδυασμένης υδατικής διαχείρισης και σε διορθωτικές παρεμβάσεις περιορισμού των μεγάλων υδατικών απωλειών.

Ένα παρόμοιο διαχειριστικό σχέδιο μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής:

- εθνικό χωροταξικό σχέδιο, όπου η χρήση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών σωμάτων και οι χρήσεις γης θα οριοθετούνται και θα περιγράφονται,
- εφαρμογή του εθνικού σχεδίου υδατικής διαχείρισης, προσαρμοσμένη στις εκάστοτε συνθήκες, με συνεχή παρακολούθηση εφαρμογής,
- εκσυγχρονισμό των αρδευτικών συστημάτων,
- εκσυγχρονισμό των αστικών υδρευτικών συστημάτων,
- θεσμοθέτηση και προστασία του ελάχιστου, οικολογικά ασφαλούς, υδατικού αποθέματος,
- ρύθμιση υδατικών απολήψεων με τους περιορισμούς που επιβάλλει η κάθε περίπτωση,
- επαναχρησιμοποίηση νερού (π.χ. για άρδευση χώρων πρασίνου),
- τεχνητό εμπλουτισμό υδροφόρων οριζόντων και
- θεσμοθέτηση ζωνών προστασίας υδροληψιών, τουλάχιστον εκείνων που καλύπτουν υδρευτικές ανάγκες, με άμεσο (δίκτυα) ή έμμεσο (εμφιαλώσεις) τρόπο.

Το φάσμα των ενεργειών προσαρμογής χαρακτηρίζεται από ποικιλία και πολυπλοκότητα. Υπάρχουν δύο κύριες κατευθύνσεις, που συνοψίζονται αφενός στην προσπάθεια για πλήρη κάλυψη της ζήτησης και αφετέρου στην προσπάθεια περιορισμού της. Η κατασκευή υδραυλικών υποδομών αποτελεί το κύριο εργαλείο πολιτικής η οποία είναι προσανατολισμένη στην κάλυψη του συνόλου της ζήτησης. Οι υδραυλικές υποδομές περιλαμβάνουν φράγματα, έργα μεταφοράς υδάτων² εντός (ή και εκτός) των λεκανών απορροής, έργα εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα, και —όπου είναι τεχνικά εφικτό— την αφαλάτωση.

Στον αντίποδα, η πολιτική διαχείρισης της ζήτησης των υδάτων σχεδόν περιορίζεται στα στενά όρια της τιμολόγησης του πόρου. Η λογική που διέπει την πολιτική αυτή είναι η ορθολογική τιμολόγηση του νερού σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία για τους Υδατικούς Πόρους, 2000/60/EK, ώστε να αποτελεί κίνητρο για την αποδοτική του χρήση. Παράλληλα, η εφαρμογή πολιτικής για την τιμολόγηση εξασφαλίζει χρηματοοικονομικούς πόρους και, κατ' επέκταση, την οικονομική βιωσιμότητα των υποδομών ύδρευσης, αλλά και των φορέων παροχής υπηρεσιών ύδατος. Η πολυπλοκότητα του εγχειρήματος έγκειται στον αποδοτικό συνδυασμό των επιμέρους κατευθύνσεων πολιτικής.

Η οικονομική αποτελεσματικότητα της πολιτικής για την προσαρμογή προϋποθέτει σχεδιασμό που θα λαμβάνει υπόψη τις τεχνικές και οικονομικές δυνατότητες προσαρμογής αλλά και τις ιδιαιτερότητες κατά περίπτωση. Το καταλληλότερο οικονομικό εργαλείο για την επιλογή και την εφαρμογή του βέλτιστου μείγματος ενεργειών προσαρμογής είναι η ανάλυση κόστους-οφέλους. Η αξιολόγηση ως προς το κόστος αλλά και την αποτελεσματικότητα εναλλακτικών μορφών πολιτικής για την προσαρμογή προϋποθέτει τη γνώση εξειδικευμένων πληροφοριών διαχείρισης υδατικών πόρων.

Ως πρώτο χαρακτηριστικό παράδειγμα, η μελέτη των δεδομένων που αναφέρονται στην απώλεια υδάτων λόγω διαρροής δικτύων από μεγάλο δείγμα ΔΕΥΑ (καλύπτει πληθυσμιακά το 1/5 της ελληνικής επικράτειας) αναδεικνύει ότι η ποσότητα που χάθηκε ξεπερνά το 60% της ζήτησης. Εάν η εκτίμηση αυτή επαληθευθεί για το σύνολο των υπηρεσιών ύδρευσης και, με τις κατάλληλες βελτιώσεις, επιτευχθεί ο τεχνικά αποδεκτός στόχος απωλειών 10%, θα επιτευχθεί μέσο όφελος προσαρμογής, βάσει του κλιματικού σεναρίου, που προσεγγίζει τα €240 εκατ. ετησίως. Κρίσιμο περιοριστικό παράγοντα για την εφαρμογή μιας τέτοιας πολιτικής αποτελεί το κόστος υλοποίησής της.³

² Η μεταφορά νερού συνδέεται με επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως η μειωμένη απορροή ποταμών και η μείωση των φερτών υλικών στις εκβολές. Η ΕΕ έχει ρυθμίσει (COM414 τελικό, 2007) τις παραμέτρους μελέτης για τις περιπτώσεις μεταφοράς υδάτων μεταξύ διαφορετικών λεκανών απορροής. Έτσι, ιδιαίτερη σημασία δίδεται στην παρούσα αλλά και τη μελλοντική ζήτηση υδατικών πόρων στη λεκάνη απορροής που “δωρίζει” υδατικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένης της μειωμένης προσφοράς πόρων λόγω της κλιματικής αλλαγής. Ακόμη, η ΕΕ προτείνει τη μελέτη των κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων τόσο για τη λεκάνη απορροής που “δωρίζει” νερό όσο και για εκείνη που δέχεται τα ύδατα, ενώ, τέλος, πρέπει να προσμετράται το κόστος της μεταφοράς των πόρων.

³ Η αξιολόγηση του κόστους και της αποτελεσματικότητας της δράσης υπερβαίνει τα όρια του στόχου της παρούσας μελέτης.

Δεύτερο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελλοντική οικονομική αποτελεσματικότητα των απολήψεων, σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, από τις υπάρχουσες αλλά και τις δυνάμει πηγές υδροδοσίας. Εάν το κόστος απόληψης υδάτων για τις ΔΕΥΑ παραμείνει σταθερό και επενδύονται ποσά της τάξεως των €68,4 εκατ. ($\pm$ €7,8 εκατ.) ετησίως, το μέσο εκτιμώμενο όφελος ανά κλιματικό σενάριο προσδιορίζεται σε €380 εκατ. ($\pm$ €47 εκατ.) ετησίως. Και στην περίπτωση αυτή, κρίσιμο περιοριστικό παράγοντα αποτελεί το κόστος υλοποίησης της πολιτικής.⁴ Η μελέτη της οικονομικής αποτελεσματικότητας της πολιτικής για την προσαρμογή είναι ικανή να οδηγήσει σε εναλλακτικά σενάρια για την επιλογή του βέλτιστου μείγματος πολιτικής σε κάθε χρονική περίοδο.

Ενδεικτικά, ενέργειες προσαρμογής που μπορούν να αποφέρουν οφέλη αλλά έχουν επί του παρόντος απροσδιόριστο κόστος υλοποίησης είναι:

- η δυνατότητα μη χρήσης (προφύλαξη) υπόγειων υδατικών αποθεμάτων, κατάλληλων για υπηρεσίες ύδρευσης σε μελλοντικό χρόνο, με κριτήριο προτεραιότητας την εγγύτητα στις παρούσες καταναλώσεις,
- η δυνατότητα εξοικονόμησης νερού από τους χρήστες, π.χ. η χρήση οικιακών συσκευών με μικρότερες απαιτήσεις σε νερό, και
- τέλος, με ειδικό ενδιαφέρον λόγω του συγκριτικά χαμηλού κόστους, οι θεσμικές ενέργειες προσαρμογής, όπως η τιμολόγηση, η παροχή κινήτρων για μείωση της κατανάλωσης, η οργάνωση εκστρατειών ενημέρωσης/εκπαίδευσης/πληροφόρησης και η σταδιακή απαγόρευση ιδιαίτερα υδροβόρων αστικών χρήσεων.

2.1.8 Συμπεράσματα

Συμπεραίνεται ότι η κλιματική αλλαγή θα επιδράσει αρνητικά στον τομέα των υδατικών πόρων σε όλα τα υδατικά διαμερίσματα και με βάση όλα τα ενδεχόμενα σενάρια, ως εξής:

- γενική μειωμένη τροφοδοσία και ανανέωση του νερού των υδροφόρων οριζόντων λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων και της αύξησης της εξατμισιοδιαπνοής,
- αυξημένη υφαλμύρωση των παράκτιων και υποθαλάσσιων υδροφόρων οριζόντων, ιδιαίτερα των καρστικών, με προέλαση του μετώπου υφαλμύρωσης προς την ενδοχώρα, λόγω του μειωμένου δυναμικού της χερσαίας υδατικής φάσης εξαιτίας της μειωμένης τροφοδοσίας και της υπεράντλησης,
- αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντικού φορτίου στα παράκτια υδατικά σώματα και στη θάλασσα λόγω μικρότερης αραιώσης,
- ταχύτερη αποδόμηση των δελταϊκών περιοχών, που ήδη έχει ξεκινήσει λόγω της κατασκευής εγκαρσιων φραγμάτων στην ανάντη ζώνη (μείωση απορροής και στερεοπαροχής)

⁴ Η αξιολόγηση του κόστους και της αποτελεσματικότητας της δράσης υπερβαίνει τα όρια του στόχου της παρούσας μελέτης.

και παράλληλων αναχωμάτων στην πεδινή ζώνη του Δέλτα (άφιξη μεταφερόμενου υλικού σε ένα και μοναδικό στόμιο),

- ρύπανση ή αποξήρανση των παράκτιων υγροτόπων και
- επίταση του φαινομένου της ερημοποίησης λόγω υδατικού ελλείμματος και εδαφικών μεταβολών (συμπυκνώσεις, στεγανοποιήσεις κ.λπ.).

Οι τιμές του Πίνακα 2.9 (σελ. 154) οδηγούν στο συμπέρασμα της μείωσης των τιμών του ύψους της βροχής κατά 3% (Σενάριο B2) έως 8% (Σενάριο A2) και του συνολικού δυναμικού κατά 14% (Σενάριο B2) έως 22% (Σενάριο A2), για την περίοδο 2021-2050, και 7% (Σενάριο B2) έως 20% (Σενάριο A1B) επί της βροχόπτωσης και 30% (Σενάριο B2) έως 54% (Σενάριο A2) του υδατικού δυναμικού για την περίοδο 2071-2100, στο σύνολο της επικράτειας.

Από τα παραπάνω συμπεράσματα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το 75-80% του συνολικού υδατικού δυναμικού της χώρας αποτελεί μέρος της ζήτησης νερού προς άρδευση, γίνεται αντιληπτό ότι η μεταβολή αυτή του υδρολογικού ισοζυγίου θα έχει άμεσες συνέπειες στο είδος και έκταση των καλλιεργειών, σε συνδυασμό με τις αλλαγές αγροτικών πρακτικών.

Από οικονομική άποψη, η μεγαλύτερη ζημία καταγράφεται στο Κλιματικό Σενάριο A2 και φθάνει τα €4,4 δισεκ. ή 1,69% του ΑΕΠ (επιτόκιο προεξόφλησης 1%), ενώ η μικρότερη παρατηρείται στο Κλιματικό Σενάριο A1B και φθάνει τα €0,8 δισεκ. ή 0,34% του ΑΕΠ (επιτόκιο προεξόφλησης 3%). Σε ετήσια βάση, οι ζημίες κυμαίνονται από €81,1 εκατ. (Σενάριο A2) μέχρι €69,3 εκατ. (Σενάριο A1B) ετησίως (επιτόκιο προεξόφλησης 5%, Πίνακας 2.11).

Οι πλέον τρωτές κλιματικές ζώνες, στις οποίες και καταγράφεται το μεγαλύτερο κόστος, είναι η Κεντρική, η Ανατολική και η Δυτική Ελλάδα και, από την Β. Ελλάδα, ιδιαίτερα η Κεντρική Μακεδονία. Ωστόσο, φαίνεται πως υπάρχουν σημαντικά περιθώρια για την άσκηση ενεργειών προσαρμογής.

Οι οικονομικές εκτιμήσεις ενσωματώνουν την όποια αβεβαιότητα η οποία τυχόν προέκυψε σε όλα τα στάδια της μελέτης: αρχικά την αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση των κλιματικών δεδομένων, στη συνέχεια την αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση της μελλοντικής κατανομής των υδατικών αποθεμάτων και τέλος την αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού της Ελλάδος. Πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί ιδιαίτερα το γεγονός ότι με τη χρήση των τιμών ύδρευσης ως τιμών αναφοράς για την εκτίμηση της κλιματικής ζημίας υποεκτιμάται σε μεγάλο βαθμό το πραγματικό οικονομικό μέγεθος των κλιματικών επιπτώσεων. Και τούτο διότι, όπως καταδεικνύει και η εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60 στην Ελλάδα, ο βαθμός ανάκτησης του πλήρους κόστους των υδατικών χρήσεων είναι πολύ χαμηλός, με αποτέλεσμα οι τιμές χρέωσης του υδρευτικού νερού να μην αντανακλούν ούτε το χρηματοοικονομικό κόστος ούτε, κατά μείζονα λόγο, το πλήρες κόστος της χρήσης του νερού. Εκτιμάται, σε γενικές γραμμές, ότι, εάν αυτό το πλήρες κόστος των υδατικών πόρων στην Ελλάδα είχε εκτιμηθεί και χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη ως τιμή αναφοράς, οι εκτιμήσεις για τις κλιματικές ζημίες θα είχαν τριπλάσιο μέγεθος.

2.2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας*

2.2.1 Εισαγωγικά

Το παράκτιο στοιχείο ασκεί σταθερή γοητεία στους ανθρώπινους πληθυσμούς: καθόλη τη διάρκεια της σύγχρονης ιστορίας, ένας ολοένα και μεγαλύτερος αριθμός ανθρώπων συνεχίζει να εποικεί τα παράλια της Υδρογείου. Ο ρυθμός επαναχωροθέτησης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων από την ηπειρωτική στην παράκτια ζώνη ο οποίος παρατηρείται σήμερα έχει περιγραφεί ως “one of the greatest human migrations of modern times” (Tibbetts, 2002). Οι ακτές αποτελούν ως γνωστόν δυναμικά και περίπλοκα κοινωνικοοικολογικά συστήματα, περικλείοντας μια ποικιλία βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Η πολυπλοκότητα και η δυναμική τους αντικατοπτρίζονται στην πολλαπλότητα των μορφών τους. Η δυναμική τους φύση είναι υπεύθυνη για την υψηλή τους παραγωγικότητα, οδηγώντας τόσο σε περιοδικές αλλαγές όσο και σε προοδευτική μετάλλαξή τους.

Η σημασία των παράκτιων πόρων για την ευημερία των παράκτιων περιοχών έγκειται ακριβώς στις οικοσυστημικές υπηρεσίες και τα αγαθά που υποστηρίζουν την ανθρώπινη ζωή (Daily 1997, Turner et al., 2001). Η καταγραφή των παρεχόμενων θαλάσσιων υπηρεσιών και αγαθών δίνεται στον Πίνακα 2.12 (επόμενη σελίδα).

Ακολουθώντας όμως το κυρίαρχο πρότυπο της βιομηχανοποίησης και οικονομικής μεγέθυνσης, οι παράκτιες περιοχές έχουν σταδιακά εγκλωβιστεί σε μια κατάσταση έντονων πιέσεων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η κλιματική αλλαγή έρχεται να οξύνει τις μέχρι τώρα πιέσεις, στο βαθμό που μια από τις πλέον βέβαιες επιπτώσεις της είναι η μέση παγκόσμια άνοδος της στάθμης της θάλασσας – ΑΣΘ (Church et al., 2001). Παράλληλα, όπως είναι γνωστό εδώ και 20 έτη περίπου, η ΑΣΘ είναι σχετικά ανελαστική έναντι των μειώσεων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (OECD, 2006), φαινόμενο το οποίο είναι γνωστό ως “δέσμευση έναντι της ΑΣΘ”: ακόμα και αν δραστικές πολιτικές μετριασμού παγκοσμίως κατορθώσουν να σταθεροποιήσουν το κλίμα, η ΑΣΘ και τα συνοδά φαινόμενα παράκτιας διάβρωσης και θυελλογενών παλινροιών θα συνεχίσουν να υφίστανται για αιώνες (Meehl et al., 2005, Wigley, 2005).

Στο παρόν υποκεφάλαιο ερευνώνται οι επιπτώσεις της ΑΣΘ στην ελληνική παράκτια ζώνη και αποτιμάται η οικονομική τους διάσταση. Δύο σημαντικά ζητήματα τίθενται για τους ερευνητές του περιβάλλοντος οι οποίοι ασχολούνται με μελέτες όπως η παρούσα. Το πρώτο είναι η ποσοτικοποίηση των οικονομικών επιπτώσεων από τις οικοσυστημικές απώλειες που συνδέονται με την ΑΣΘ. Το δεύτερο είναι η οικονομική αξιολόγηση της μείωσης του κινδύνου από την ΑΣΘ, καθώς αυτό αποτελεί σημαντική εισροή στη λήψη απόφασης σχετικά με τα πολιτικά

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.2 συνεργάστηκαν οι: Αρετή Κοντογιάννη, Χρήστος Τουρκολιάς, Μιχάλης Σκούρτος, Δημήτρης Παπανικολάου, Μαρία Παπανικολάου και Σεραφείμ Πούλος.

Πίνακας 2.12

Ταξινόμηση οικοσυστημικών υπηρεσιών και αγαθών που παρέχονται από το παράκτιο/θαλάσσιο περιβάλλον

Υποστηρικτικές υπηρεσίες	1 Βιογεωχημικοί κύκλοι	Ρυθμιστικές υπηρεσίες	1 Ρύθμιση αερίων της ατμόσφαιρας
	2 Πρωτογενής παραγωγή		2 Ρύθμιση τοπικού κλίματος
	3 Δυναμική τροφικής αλυσίδας		3 Συγκράτηση ιζημάτων
	4 Βιοποικιλότητα		4 Ρύθμιση βιολογικών παραγόντων
	5 Βιότοποι		5 Ρύθμιση ρύπανσης
	6 Προσαρμοστικότητα-ισορροπία		6 Μετριασμός ευτροφισμού
Προμηθευτικές υπηρεσίες	1 Τροφή	Πολιτισμικές υπηρεσίες	1 Αναψυχή
	2 Μη βρώσιμοι πόροι		2 Αισθητικές αξίες
	3 Γενετικοί πόροι		3 Επιστήμη και εκπαίδευση
	4 Χημικοί πόροι		4 Πολιτισμική κληρονομιά
	5 Πόροι διακοσμητικού χαρακτήρα		5 Έμπνευση
	6 Ενεργειακοί πόροι		
	7 Θαλάσσιες οδοί		

Πηγή: Προσαρμοσμένος από Garpe (2008) και MEA (2005).

και τεχνικά μέτρα που πρέπει να ληφθούν (μέτρα μετριασμού και προσαρμογής). Η οικονομική αξιολόγηση χρησιμοποιείται ως εργαλείο πρόκρισης προτεραιοτήτων ανάμεσα σε διαφορετικούς στόχους πολιτικής. Επομένως, πρέπει να καταφέρει να συνδέσει μεθοδολογικά τα οικονομικά μεγέθη με εξειδικευμένα και επιστημονικώς μετρήσιμα φυσικά μεγέθη, ώστε να είναι κάθε φορά γνωστό τι ακριβώς αξιολογείται (Kontogianni et al., 2010a, Sonnderquist et al., 2008). Οι μεταβολές των μεγεθών αφορούν κυρίως μη εμπορεύσιμα – περιβαλλοντικά αγαθά (π.χ. ανθρώπινη υγεία, διατήρηση βιοποικιλότητας, ποιότητα οικοσυστημάτων, κ.λπ.), τα οποία, εξαιτίας της δυσκολίας να αποτιμηθούν οικονομικά, συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη στη διαδικασία λήψης απόφασης, με συνέπεια να συνιστούν εξωτερικό κόστος.

Η κλιματική αλλαγή δημιουργεί τρωτότητα στα φυσικά συστήματα (κλίμα, ακτές, ωκεανούς, δάση, παραγωγικότητα εδάφους κ.λπ.). Μια ολοκληρωμένη διεπιστημονική προσέγγιση ασχολείται με δύο ομάδες γήινων υποσυστημάτων: φυσικά συστήματα και κοινωνικοοικονομικά συστήματα, γνωστά ως κοινωνικοοικολογικά συστήματα (socio-ecological systems, Folke et al., 2002).

2.2.2 Υφιστάμενη κατάσταση της ελληνικής παράκτιας ζώνης⁵

Το συνολικό μήκος της ελληνικής παράκτιας ζώνης ισούται περίπου με 16.200 χλμ., αποτελώντας τη μεγαλύτερη παράκτια ζώνη ανάμεσα στις ευρωπαϊκές χώρες. Σχεδόν η μισή παρά-

⁵ Όσα ακολουθούν στηρίζονται στο Ministry of the Environment, Physical Planning and Public Works (2006).

κτια ζώνη καταγράφεται στην ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ η υπόλοιπη στα 3.000 νησιά (ή 9.800 αν συμπεριληφθούν οι βραχώδεις σχηματισμοί). Η ταξινόμηση των τεσσάρων κύριων κατηγοριών παράκτιων αγαθών και υπηρεσιών (Πίνακας 2.12) που προσφέρει σε αφθονία ο παράκτιος χώρος στην ελληνική επικράτεια περιγράφεται αμέσως παρακάτω.

Το 33% του ελληνικού πληθυσμού κατοικεί σε παράκτιες περιοχές που απέχουν 1-2 χλμ. από την ακτή, ενώ, εάν ως παράκτιος πληθυσμός θεωρηθεί αυτός που κατοικεί σε απόσταση έως και 50 χλμ. από την ακτή, τότε το ποσοστό του παράκτιου πληθυσμού εκτιμάται στο 85% του συνολικού.

Οι 12 από τις 13 περιφέρειες της ελληνικής επικράτειας καταγράφονται ως παράκτιες περιοχές. Τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Καβάλα, Βόλος) χωροθετούνται στην παράκτια ζώνη. Το 80% των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, το 90% του τουρισμού και των δραστηριοτήτων αναψυχής, το 35% της αγροτικής γης (συνήθως υψηλής παραγωγικότητας), η αλιεία και οι υδατοκαλλιέργειες, αλλά και ένα σημαντικό μέρος των υποδομών (λιμάνια, αεροδρόμια, δρόμοι, ηλεκτρικό και τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κ.ά.), ασκούνται στην παράκτια ζώνη. Κάποια ενδεικτικά μεγέθη τα οποία απεικονίζουν την προστιθέμενη αξία που παράγεται στην παράκτια ζώνη είναι:

- η λειτουργία 20 λιμανιών, από όπου διακινούνται ετησίως εμπορεύματα βάρους μεγαλύτερου του ενός εκατομμυρίου τόνων,
- η συνολική παραγωγή αλιείας, 96.000 τόνων,
- ο συνολικός στόλος στο τομέα της αλιείας, με 19.000 σκάφη (αποτελώντας το 20% του συνολικού στόλου των 25 χωρών-μελών της ΕΕ),
- η συνολική παραγωγή υδατοκαλλιεργειών, αξίας €258.000 (αντιπροσωπεύοντας το 10% της συνολικής υδατοκαλλιεργείας των 25 χωρών-μελών της ΕΕ) και
- η μεγάλη προσφορά διαθέσιμων ξενοδοχειακών κλινών στον τομέα του τουρισμού. Υπάρχουν ελληνικά νησιά στα οποία κατά τη διάρκεια της τουριστικής-θερινής περιόδου, ο πληθυσμός τους αυξάνεται 2 έως 10 φορές λόγω του εγχώριου και εισαγόμενου τουρισμού.

Σημαντική είναι η συνεισφορά των τομέων της αλιείας και των υδατοκαλλιεργειών, όχι τόσο ως μέγεθος συνεισφοράς στο ελληνικό ΑΕΠ όσο εξαιτίας της συμβολής τους στην κοινωνική και οικονομική συνοχή των παράκτιων περιοχών. Ο τομέας της αλιείας το 1999 απασχολούσε 40.000 εργαζομένους, με συνολική παραγωγή 231.000 τόνους, ενώ ο αριθμός των άμεσα απασχολούμενων στις υδατοκαλλιεργείες ισούται με 4.800 και των έμμεσα απασχολούμενων υπερβαίνει τους 7.500.

Η παράκτια ζώνη διαθέτει σημαντικούς οικοτόπους, συμβάλλοντας στην επιβίωση βιογενετικού αποθέματος χλωρίδας και πανίδας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην παράκτια ζώνη απαντώνται περισσότερα από 6.000 διαφορετικά είδη χλωρίδας, 670 είδη σπονδυλωτών και 436 είδη ορνιθοπανίδας.

Τα θαλάσσια οικοσυστήματα παίζουν επίσης μεγάλο ρόλο στη ρύθμιση του κλίματος, αποθηκεύοντας διοξείδιο του άνθρακα, ενώ διάφορες διεργασίες του φυτοπλαγκτονικού αποθέματος εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες οξυγόνου στην ατμόσφαιρα.

Οι παράκτιες περιοχές βοηθούν στη δημιουργία και διατήρηση μικροκλιμάτων. Η ύπαρξη παράκτιων δασών και υγροτόπων διασφαλίζει την ελαχιστοποίηση των πλημμυρών, της διάβρωσης και άλλων φυσικών καταστροφών, προσφέροντας πολύτιμες ρυθμιστικές και υποστηρικτικές οικοσυστημικές υπηρεσίες.

Τα τελευταία 20 χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση της κατασκευής δεύτερης κατοικίας σε παράκτιες περιοχές. Η συνολική αστικοποιημένη περιοχή της παράκτιας ζώνης εκτιμάται ότι ισούται με 1.315 τετρ. χλμ., αντιπροσωπεύοντας το 1,31% της συνολικής έκτασης της Ελλάδος.

Όλοι οι προαναφερθέντες παράκτιοι πόροι συντελούν στην παραγωγή πολιτισμικών υπηρεσιών, όπως η αναψυχή, οι αισθητικές αξίες, η δυνατότητα για άσκηση επιστημονικών και εκπαιδευτικών λειτουργιών και η δημιουργία πολιτισμικής κληρονομιάς και πολιτιστικού κεφαλαίου, καθώς και καλλιτεχνικής/φιλοσοφικής έμπνευσης. Οι παράκτιες οικοσυστημικές υπηρεσίες λοιπόν στηρίζουν και τροφοδοτούν, σε φυσικούς και πολιτιστικούς όρους, το ελληνικό κοινωνικό κεφάλαιο διαγενεακά, σε κλίμακα που ξεπερνά το τοπικό επίπεδο και ανάγεται ιστορικά σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο.

Από όλα τα προαναφερθέντα τεκμαίρεται ότι η παράκτια ζώνη αποτελεί σημαντικό φυσικό πόρο, που χρήζει σεβασμού και προστασίας.

Οι απειλές για το ελληνικό παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον προέρχονται είτε από φυσικούς κινδύνους (π.χ. διάβρωση) είτε, κυρίως, από ανθρωπογενείς επιδράσεις (π.χ. υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων, αστικοποίηση, ρύπανση, ευτροφισμός, εισβολή αλλόχθονων ειδών κ.ά.).

Το σημαντικότερο πρόβλημα της παράκτιας ζώνης είναι ο υψηλός ρυθμός διάβρωσης της ακτογραμμής. Πάνω από το 20% της συνολικής ακτογραμμής (EUROSION, 2004) απειλείται, κατατάσσοντας την Ελλάδα 4η χώρα ως προς την παράκτια τρωτότητα μεταξύ των 22 παράκτιων κρατών-μελών της ΕΕ. Οι σημαντικότερες αιτίες για την αυξημένη διάβρωση είναι οι ιδιαίτερα ισχυροί άνεμοι και οι θυελλογενείς κυματισμοί στο Αιγαίο Πέλαγος, η τρωτότητα που προκαλείται στις ακτές από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (π.χ. φράγματα που μειώνουν τη στερεοπαροχή (Llasat et al., 2010), αλλά και το γεωμορφολογικό υπόστρωμα της ακτογραμμής: τα 2.400 χλμ. (15% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στα νεογενή μαλακά ιζήματα, ενώ 960 χλμ. (6% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στις παράκτιες δελταϊκές περιοχές.

Η διάβρωση αναμένεται να ενταθεί στο προσεχές μέλλον (Βελεγράκης, 2010), λόγω (α) της προβλεπόμενης ανόδου της μέσης θαλάσσιας στάθμης, (β) της επιδείνωσης των ακραίων κυματικών φαινομένων και (γ) της περαιτέρω μείωσης των ποτάμιων ιζηματοπαροχών εξαιτίας αλλαγών στη βροχόπτωση και της κατασκευής ποτάμιων διαχειριστικών έργων.

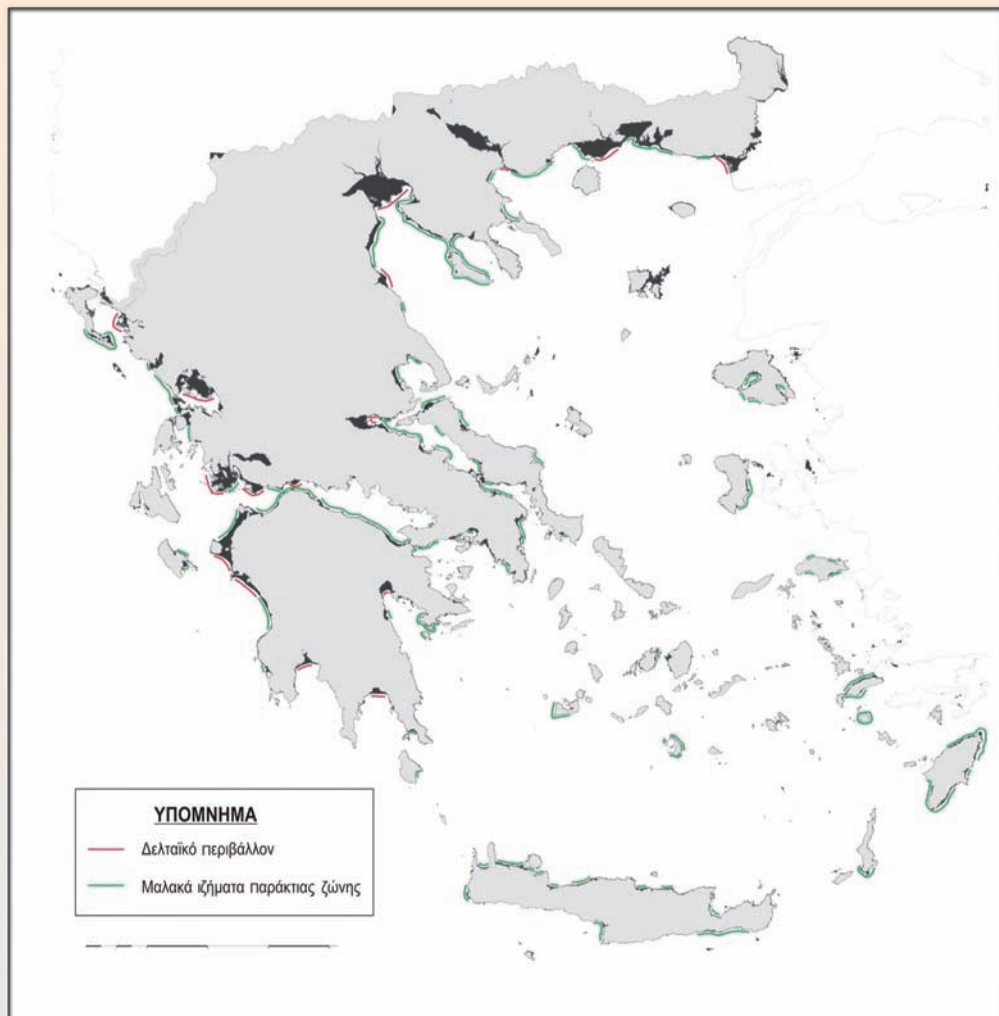
2.2.3 Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας και γεωμορφολογικές-γεωδυναμικές μεταβολές

Η ασφαλής εκτίμηση κατά πόσον αυξάνεται η επικινδυνότητα μιας περιοχής από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας δεν καθορίζεται μόνο από το ρυθμό και το εύρος ανόδου της στάθμης αλλά και από άλλους τοπικούς παράγοντες, όπως είναι ο τεκτονισμός, η προσφορά ιζήματος (από τη χέρσο) και η παράκτια γεωμορφολογία/λιθολογία. Ο **ρόλος του τεκτονισμού** είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε τεκτονικά ενεργές ζώνες (Vött, 2007), καθώς μπορεί να εξουδετερώσει τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας όταν αυτή αφορά ανερχόμενα τεμάχια ενεργών ρηγμάτων, ή, αντιθέτως, να την ενισχύσει στη περίπτωση σχετικά κατερχόμενων τεμαχίων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η παράκτια ζώνη της Βόρειας Πελοποννήσου, με ρυθμούς ανύψωσης από 0,3 έως 1,5 χλστ./έτος, της Κρήτης με 0,7 έως 4 χλστ./έτος και της Ρόδου με 1,2-1,9 χλστ./έτος. Έτσι, για παράδειγμα, μια μέση τιμή ανόδου της στάθμης της θάλασσας της τάξεως των 4,3 χλστ./έτος θα μειωθεί στα 3,5 χλστ./έτος με την αφαιρετική δράση μιας μέσης τιμής τεκτονικής ανύψωσης της τάξεως των 0,8 χλστ./έτος. Η **μεταβολή των στερεοπαροχών** σε περιοχές εκβολών μεγάλων ποταμών όπου δημιουργούνται Δέλτα μπορεί να αντισταθμίσει μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μέσω της προέλασης του Δέλτα λόγω αυξημένης παροχής σε ιζήμα (Poulos et al., 2002). Αντίθετα, σε περίπτωση μείωσης της ποτάμιας στερεοπαροχής, η θαλάσσια επίκλυση από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας θα ενισχυθεί.

Σημαντικότατο ρόλο στην τρωτότητα μιας παράκτιας περιοχής στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας παίζει η παράκτια μορφολογία και ειδικότερα η κλίση και η λιθολογική της σύσταση, καθώς αυτά έχουν άμεση σχέση με τους ρυθμούς διάβρωσης. Οι τελευταίοι μπορεί να κυμαίνονται από πολύ υψηλοί (αρκετά μ./έτος) στην περίπτωση γεωμορφών χαμηλού αναγλύφου και ευκολοδιάβρωτης λιθολογίας έως χαμηλοί (της τάξεως των χλστ./έτος) στην περίπτωση ασβεστολιθικών συμπαγών παράκτιων σχηματισμών (π.χ. κρημνοί).

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης τις τελευταίες δεκαετίες, σε συνδυασμό με τις προβλέψεις, που κυμαίνονται από 0,2 έως και 2 μέτρα ανόδου της στάθμης μέχρι το 2100, απεικονίζεται ενδεικτικά στο χάρτη της Ελλάδος (Εικόνα 2.1, κλίμακα 1: 50.000, σελ. 170), όπου με κόκκινο χρώμα φαίνονται εκείνες οι παράκτιες περιοχές που θα πληγούν από μια υποθετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 μέτρο. Στην Εικόνα 2.1, οι παράκτιες περιοχές της Ελλάδος κατηγοριοποιήθηκαν σε 3 κύριες ζώνες:

- 1) **Δελταϊκές.** Συμβολίζονται με χρώμα κόκκινο και αφορούν παράκτιες περιοχές απόθεσης με χαλαρά μη συνεκτικά ιζήματα, μικρού απόλυτου υψομέτρου και μεγάλης τρωτότητας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας.
- 2) **Νεογενών και Τεταρτογενών “μαλακών” ιζημάτων.** Συμβολίζονται με πράσινο χρώμα και αφορούν ζώνες οπισθοδρομούσας διάβρωσης των ακτών. Πρόκειται για παράκτιες περιοχές με συνήθως μικρό υψόμετρο, στις οποίες αναμένονται μέτριες επιπτώσεις, με χαρακτηρισμό μέτριας τρωτότητας.



Πηγή: Παπανικοηάου κ.ά. (2010). Οι ζώνες διακρίνονται σε: μέτριας (πράσινο χρώμα) και υψηλής τρωτότητας (ερυθρό χρώμα) και περιοχές χαθαρών ιζηματογενών αποθέσεων με υψόμετρο κάτω των 20 μέτρων (μαύρο χρώμα).

3) Βραχώδεις. Αφορούν κυρίως αλπικά πετρώματα χαμηλής τρωτότητας στη διάβρωση και στην κατάκλυση από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και εκτείνονται στις υπόλοιπες ακτογραμμές, χωρίς ιδιαίτερη χρωματική διαγράμμιση.

Στην Εικόνα 2.1 οι παράκτιες ζώνες υποδιαιρούνται α) σε αυτές που χαρακτηρίζονται ως μέτριας τρωτότητας (πράσινο χρώμα) στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και αποτελούνται από μαλακά ιζήματα Νεογενούς-Τεταρτογενούς ηλικίας, συνήθως μικρού υψομέτρου, και β) σε αυτές που χαρακτηρίζονται ως υψηλής τρωτότητας και αποτελούν δελταϊκές αποθέσεις μικρού υψομέτρου (ερυθρό χρώμα). Περιοχές υψηλής επικινδυνότητας είναι οι δελταϊκές περιοχές:

του Εύηνου στο Μεσολόγγι, του Καλαμά στην Ηγουμενίτσα, του Αχελώου, του Μόρνου στον Κορινθιακό (κοντά στην Ναύπακτο), του Πηνειού και του Αλφειού στην Ηλεία, του Αλιάκμονα και του Αξιού στο Θερμαϊκό, του Πηνειού στο ΒΔ Αιγαίο (κοντά στον Πλαταμώννα), του Στρυμόνα στην Αμφίπολη, του Νέστου (προς τα Άβδηρα), και του Έβρου, όπως και οι δελταϊκές περιοχές στο Μαλλιακό, τον Αμβρακικό, το Λακωνικό, το Μεσσηνιακό και τον Αργολικό Κόλπο. Οι υπόλοιπες παράκτιες ζώνες χαρακτηρίζονται ως περιοχές χαμηλής τρωτότητας και συνήθως είναι βραχώδεις και μεγάλου υψομέτρου παράκτιες περιοχές. Στο χερσαίο χώρο, με τις μαύρες περιοχές (Εικόνα 2.1) απεικονίζονται τα υψόμετρα κάτω των 20 μέτρων, όπου κατά κανόνα επικρατούν χαλαρές ιζηματογενείς αποθέσεις.

Η εκτίμηση της σοβαρότητας των επιπτώσεων της άνοδου της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές περιβάλλεται από αβεβαιότητα η οποία αφορά:

- (α) Το εύρος άνοδου της στάθμης της θάλασσας, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2 μέτρων. Η εξέλιξη της πορείας της στάθμης της θάλασσας καθορίζεται από την αλληλεπίδραση πολλών φυσικών (αστρονομικοί παράμετροι) και ανθρωπογενών (αέρια θερμοκηπίου) παραγόντων. Η βαρύτητα καθενός από αυτούς θα καθορίσει και τη συνολική εξέλιξη του κλιματικού κύκλου που διανύουμε, ο οποίος φαίνεται να βρίσκεται στο απόγειο της σημερινής “θερμής” μεσοπαγετώδους περιόδου.
- (β) Τη σχέση της τεκτονικής ανύψωσης με την ευστατική άνοδο της στάθμης της θάλασσας, που για αρκετές περιοχές του ελλαδικού χώρου είναι σημαντική, τόσο ώστε να αντισταθμίζει ή και να υπερβαίνει τοπικά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.
- (γ) Τη στερεοπαροχή κλαστικών υλικών στις παράκτιες περιοχές, η οποία καθορίζεται από τις γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες, αλλά και από ανθρωπογενείς επεμβάσεις (π.χ. φράγματα, αμμοληψίες), οι οποίες στη περίπτωση π.χ. των ποτάμιων Δέλτα μπορούν να διαφοροποιήσουν την τρωτότητά τους στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Velegarakis et al., 2008).

Ο υπολογισμός του μήκους της ακτογραμμής των προαναφερόμενων τριών παράκτιων ζωνών δείχνει ότι, από τα περίπου 16.200 χλμ. του συνολικού μήκους της ελληνικής ακτογραμμής, τα 960 χλμ. (6% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στις παράκτιες δελταϊκές περιοχές υψηλής τρωτότητας (κόκκινο χρώμα), τα 2.400 χλμ. (15% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στα Νεογενή μαλακά ιζήματα μέτριας τρωτότητας (πράσινο χρώμα), ενώ τα υπόλοιπα 12.810 χλμ. (79% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στις βραχώδεις παράκτιες περιοχές χαμηλής τρωτότητας. Επομένως, το συνολικό μήκος ακτογραμμής που αντιστοιχεί σε παράκτιες περιοχές μέτριας έως υψηλής τρωτότητας στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι 3.360 χλμ., δηλαδή το 21% της συνολικής ελληνικής ακτογραμμής.

Ενδεικτικές προσεγγιστικές τιμές της επιφάνειας κατάκλυσης των παράκτιων ζωνών και υποχώρησης (σε μέτρα) της ακτογραμμής (απουσία όμως τεκτονικής και γεωδυναμικής διόρθωσης) σε ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 και 1 μ. σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας δίνονται στον Πίνακα 2.13 (επόμενη σελίδα). Τα δεδομένα του Πίνακα 2.13

Πίνακας 2.13

Υποχώρηση της ακτογραμμής και κατάκλιση επιφάνειας σε ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 και 1 μέτρο
(Για τις μελέτες περίπτωσης που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη)

Παράκτια περιοχή	Άνοδος στάθμης θάλασσας (μ.)	Υποχώρηση ακτογραμμής		Υποχώρηση ακτογραμμής λόγω		Συνολική υποχώρηση ακτογραμμής (μ.)	Περιοχή υπό κατάκλιση (10 ³ τετρ. μ.)	Πηγή
		Υπόδειγμα Bruun (μ.)	Υπόδειγμα Ανόδου στάθμης θάλασσας (μ.)	Ανόδου στάθμης θάλασσας (μ.)	Διάβρωσης ακτής (μ.)			
Σκάλα Ερεσού Μυτιλήνης	0,3	-	-	-	-	-	28	Δουκάκης, 2008
Κόλπος Ναυπλίου	0,5	-	-	-	-	-	4.200	Δουκάκης, 2005α
	1	-	-	-	-	-	8.700	
Λιμνοθάλασσα Κοτυχίου	0,5	-	-	-	-	-	720	Doukakis, 2003
	1	-	-	-	-	-	1.760	
Χερσόνησος Κρήτης	0,5	-	-	-	-	290	4.700	Doukakis, 2004
	1	-	-	-	-	320	5.200	
Αίγιο Αχαΐας	0,5	-	-	-	-	5-900	1.070	Δουκάκης, 2005β
	1	-	-	-	-	30-1300	1.800	
Λάμπη Κω	0,5	-	-	-	-	114-153	35	
	1	-	-	-	-	179-223	52	
Καρδιάμεινα Κω	0,5	-	-	-	-	15-81	19	
	1	-	-	-	-	34-109	33	
Τηγάνι Κω	0,5	-	-	-	-	28-101	161	Παπαδοπούλου και Δουκάκης, 2003
	1	-	-	-	-	69-167	322	
Αφάντου Ανατολικής Ρόδου	0,5	-	-	-	-	74 - 275	375	
	1	-	-	-	-	20 - 296	439	
Βαρβολομιά Ηλείας	0,5	-	-	-	-	31-107	190	
	1	-	-	-	-	68-154	300	
Δέλτα Αχελώου	1	-	-	-	-	-	72	Δουκάκης, 2007
Πεδιάδα Θεσσαλονίκης	1	-	-	-	-	-	37.100	Κανελλάκης και Δουκάκης, 2004, και Δουκάκης, 2007
Άβδηρα Μακεδονίας	1	-	-	-	-	-	716	Δουκάκης, 2007
Λίμνη Αλυκή Λήμνου	1	-	-	-	-	-	2.041	Πλιάκος και Δουκάκης, 2004, και Δουκάκης, 2007
Αλυκές Κίτρους Πιερίας	0,5	-	-	-	-	-	9.450	Στεργίου και Δουκάκης, 2003
	1	-	-	-	-	-	11.800	

Πίνακας 2.13

Υποχώρηση της ακτογραμμής και κατάκλιση επιφάνειας σε ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 και 1 μέτρο (συνέχεια)
(Για τις μελέτες περίπτωσης που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη)

Παράκτια περιοχή	Άνοδος στάθμης θάλασσας (μ.)	Υποχώρηση ακτογραμμής	Υποχώρηση ακτογραμμής λόγω		Συνολική υποχώρηση ακτογραμμής (μ.)	Περιοχή υπό κατάκλιση (10*3 τετρ. μ.)	Πηγή
			Υπόδειγμα Bruun (μ.)	Ανόδου στάθμης θάλασσας (μ.)			
Πόρτο Χέλι, Αργολίδας	0,5	-	-	-	-	36	Σενή και Καρύμπαλης, 2007
	1	-	-	-	-	161	
Ερμιόνη Αργολίδας	0,5	-	-	-	-	19	
	1	-	-	-	-	278	
Δέλτα ποταμού Εύηνου	0,5	-	-	-	-	12.500	Καρύμπαλης και Γάκη-Παπαναστασίου, 2008
	1	-	-	-	-	21.300	
Δέλτα ποταμού Μόρνου	0,5	-	-	-	-	2.580	
	1	-	-	-	-	3.710	
Δέλτα ποταμού Καλαμά	0,5	-	-	-	-	7.020	
	1	-	-	-	-	10.060	
Δέλτα ποταμού Πηνειού	0,5	-	-	-	-	6.530	Ρούσσος και Καρύμπαλης, 2009
	1	-	-	-	-	14.780	
Δέλτα Αλφειού (βόρειο τμήμα)	0,5	51,1	175	15	190	224	
	1	102,2	810	-110	700	683	
Δέλτα Αλφειού (νότιο τμήμα)	0,5	54,5	15-30	0-15	30	35	
	1	109	10-100	400	400-450	344	
Δέλτα Αξιού	0,5	52,7	250-2000	0	250-2000	10.825	
	1	213,6	2000-2500	0	2000-2500	28.482	
Δέλτα Αλιάκμονα	0,5	63,6	50-1750	0	50-1750	4.875	
	1	195,4	250-2500	0	250-2500	8.950	
Δελταϊκή πεδιάδα Λουδία- Αλιάκμονα	0,5	-	500-2750	0	500-2750	8.900	
	1	-	5000-6500	0	5000-6500	25.575	
Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος	0,5	-	-	-	-	7.890	

περιγράφουν τις 27 μελέτες περίπτωσης που εντοπίστηκαν μετά από ανασκόπηση της ελληνικής και της διεθνούς βιβλιογραφίας για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, που αποβλέπει στην αποτίμηση των επιπτώσεων της ΑΣΘ στην ελληνική παράκτια ζώνη. Το εύρος της υποχώρησης της ακτογραμμής για υποθετική άνοδο 0,5 μ. κυμαίνεται μεταξύ 15 και 2.750 μ., ενώ το αντίστοιχο εύρος για υποθετική άνοδο 1 μ. κυμαίνεται μεταξύ 400 και 6.500 μέτρων.

2.2.4 Οι θυελλογενείς μετεωρολογικές παλίρροιες – κυματικές καταιγίδες

Εκτός της μακροπρόθεσμης ΑΣΘ, άλλα κλιματικά φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση των ακτών σχετίζονται με την προβλεπόμενη αύξηση του κυματικού ύψους (storminess) και της συχνότητας των φουσκοθαλασσιών (storm surges, IPCC, 2001, 2007). Οι ισχυροί παράκτιοι κυματισμοί που δημιουργούνται από τους θυελλώδεις ανέμους (και τα συνοδεύοντα κυματογενή ρεύματα) προκαλούν διάβρωση, ενώ αντίθετα οι κανονικοί, χαμηλής-μέσης ενέργειας κυματισμοί προκαλούν ιζηματική απόθεση (Komar, 1998). Οι θυελλογενείς μετεωρολογικές παλίρροιες (storm surges) και η ΑΣΘ αποτελούν ξεχωριστά φαινόμενα. Όμως η ΑΣΘ (που προκαλείται από τη θερμική διαστολή των θαλάσσιων μαζών και την τήξη των ηπειρωτικών πάγων) επηρεάζει την ένταση και τη συχνότητα των κυματικών καταιγίδων. Οι αλλαγές της μέσης στάθμης της θάλασσας και της μετεωρολογικής έντασης των κυματικών καταιγίδων (που επιτείνεται από τη κλιματική αλλαγή) μπορούν να προκαλέσουν ακραία κυματικά φαινόμενα και να έχουν αντίστοιχα σημαντικές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές. Αυτό συμβαίνει διότι οι ισχυροί άνεμοι συγκεντρώνουν μεγαλύτερη μάζα νερού και ενέργειας στις κυματικές καταιγίδες, ενώ το ύψος των κυμάτων που προκαλούνται αυξάνεται όσο αυξάνεται και η μέση στάθμη της θάλασσας, με αποτέλεσμα την αύξηση αναρρίχησης των κυμάτων στο χερσαίο παράκτιο χώρο και σημαντικές συνέπειες για την παραλιακή μορφοδυναμική (Krestenitis et al., 2010). Στις επιπτώσεις παλιρροϊκών φαινομένων συμπεριλαμβάνονται (Καραμπάς κ.ά., 2008):

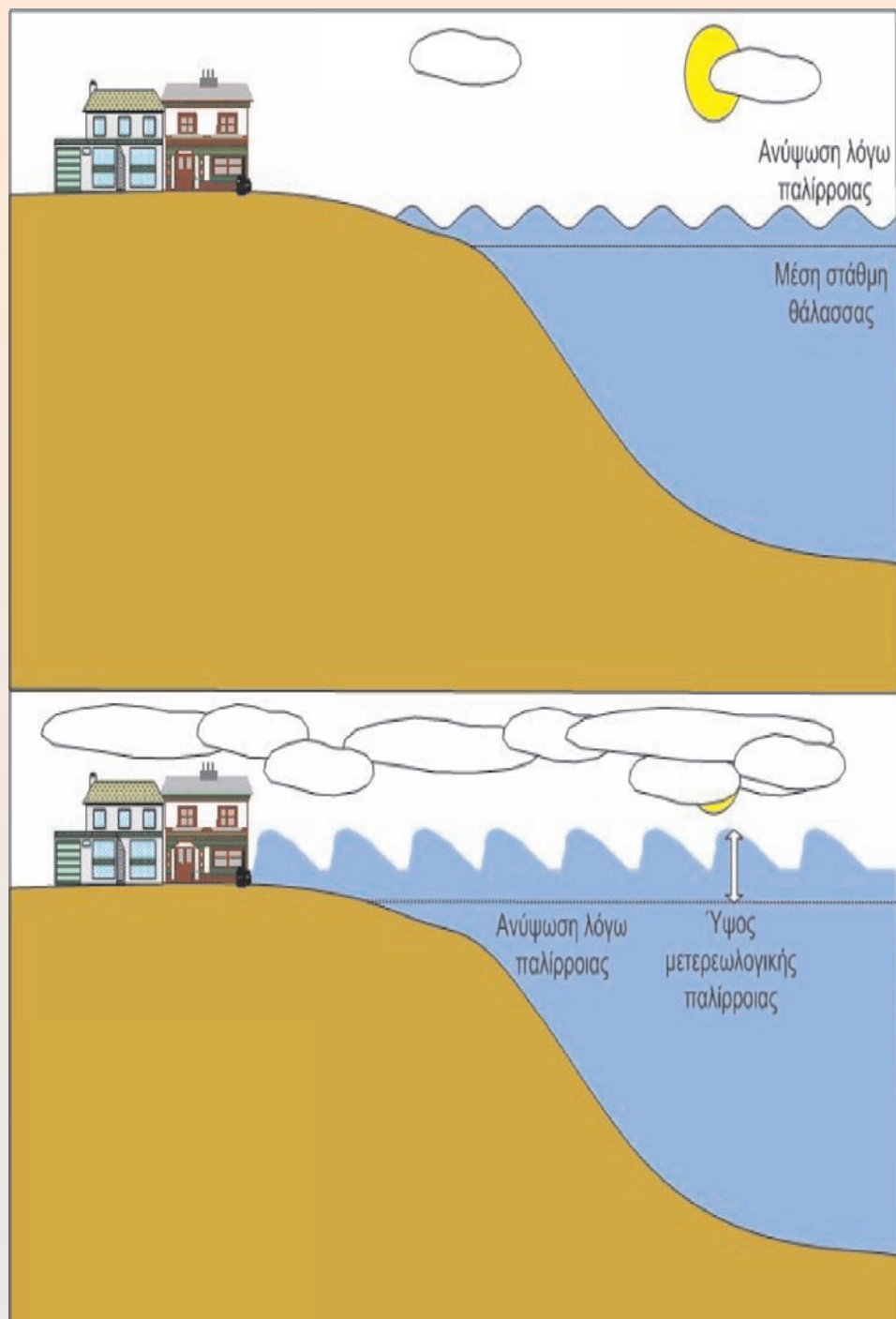
- οι πλημμύρες παράκτιων περιοχών,
- οι καταστροφές υποδομών (δρόμων, παράκτιων τεχνικών έργων κ.ά.), όταν υπάρχει συνέργεια με έντονο κυματισμό,
- η διάβρωση ακτών και
- η ανεπιθύμητη είσοδος αλμυρού νερού σε βιοτόπους λιμνοθαλασσών, εκβολών κ.λπ.

2.2.5 Οι κοινωνικές αντιλήψεις για την κλιματική αλλαγή, την ΑΣΘ και τη θυελλογενή μετεωρολογική παλίρροια

Σημαντική για το σχεδιασμό κατάλληλης πολιτικής αναδεικνύεται η γνώση για την τρωτότητα και την ικανότητα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή όχι μόνο των φυσικών συστημάτων, αλλά και του κοινωνικού συστήματος. Η προσαρμογή είναι στενά συνδεδεμένη με την έννοια της τρωτότητας, η οποία, σύμφωνα με το γλωσσάριο της τρίτης έκθεσης αξιολόγησης του IPCC, ορίζεται ως: “ο βαθμός ευαισθησίας και αδυναμίας ενός συστήματος να αντιμετωπίσει την κλιματική

Εικόνα 2.2

ΑΣΘ λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας



Πηγή: Κουρογένη και Καραμπάς (2010).

αλλαγή, συμπεριλαμβανομένης της μεταβλητότητας και των ακραίων συνθηκών”. Η τρωτότητα είναι συνάρτηση του χαρακτήρα, του εύρους και του ρυθμού μεταβολής του κλίματος στο οποίο το σύστημα εκτίθεται αλλά και της ευαισθησίας και της προσαρμοστικής ικανότητας του συστήματος. Συνεπώς, η μείωση της τρωτότητας αποτελεί στόχο της προληπτικής προσαρμογής. Η σύγχρονη βιβλιογραφία στά θέματα τρωτότητας και προσαρμογής τονίζει την ανάγκη να ληφθούν μέτρα και να ασκηθεί πολιτική σε δύο επίπεδα: πρώτον, τεχνολογικό και, δεύτερον, θεσμικό και συμπεριφορικό. Η αξιολόγηση της τρωτότητας και των κινδύνων (η οποία θα χρησιμοποιηθεί ως εισροή στη λήψη απόφασης σχετικά με τις πολιτικές) θα πρέπει να γίνεται επίσης σε δύο επίπεδα: αντικειμενικό και υποκειμενικό. Ως υποκειμενική αντίληψη του κινδύνου νοείται η κοινωνική αντίληψη γι’ αυτόν, η οποία δεν ταυτίζεται αναγκαστικά με την αντικειμενική (Kontogianni et al., 2008).

Για τη πληρέστερη κατανόηση της κοινωνικής αντίληψης του κινδύνου από τη κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα, δύο ερευνητικές διαδικασίες σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν, στη Λέσβο το 2010 και στην Κρήτη τον Ιανουάριο του 2011. Τα αποτελέσματά τους είναι συγκρίσιμα με παρόμοια έρευνα που διεξήχθη για πρώτη φορά στον ελληνικό χώρο από την ερευνητική ομάδα των συγγραφέων του παρόντος υποκεφαλαίου το 2003-04 στην Ν. Εύβοια και δείχνουν τη δυναμική εξέλιξη στις αντιλήψεις των ερωτωμένων (Kontogianni et al., 2010b, c, 2011). Διερευνήθηκαν μεταξύ άλλων τα εξής: εάν οι ερωτώμενοι έχουν γνώση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, εάν είναι ενήμεροι για τα αίτια της και τι πιστεύουν ότι την προκαλεί, ο βαθμός εμπιστοσύνης που έχουν στους θεσμούς, πώς αξιολογούν τις επιπτώσεις, εάν είναι προετοιμασμένοι για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων, καθώς και αν είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για να προστατευθούν από τις επιπτώσεις.

2.2.6 Οικονομικές επιπτώσεις της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας στην Ελλάδα⁶

2.2.6.1 Σχεδιασμός και υποθέσεις της παρούσας έρευνας

Χρονικοί και άλλοι περιορισμοί δεν επέτρεψαν στην παρούσα έρευνα την πλήρη καταγραφή και αποτίμηση των επιπτώσεων της ΑΣΘ στην ελληνική παράκτια ζώνη. Καταρχάς, από το σύνολο των οικοσυστημικών υπηρεσιών ποσοτικοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι εξής:

- η οικιστική,
- η τουριστική,
- η γεωργική,
- η υγροτοπική και
- η δασική.

⁶ Αναλυτικά στοιχεία και υπολογισμοί για κάθε περίπτωση που εξετάστηκε διατίθενται στα πλήρη κείμενα της μελέτης για τη Στάθμη της Θάλασσας (Κοντογιάννη κ.ά., 2010α, β, Παπανικολάου κ.ά., 2010) στη σχετική σελίδα της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), στον ιστοχώρο της Τράπεζας της Ελλάδος (www.bankofgreece.gr).

Η επιλογή στηρίχθηκε στη διαθεσιμότητα στοιχείων από 27 μελέτες περίπτωσης για τον ελληνικό παράκτιο χώρο (Πίνακας 2.13). Σε δεύτερο στάδιο υπολογίστηκαν επίσης οι εξίσου σημαντικές αισθητικές αξίες των περιοχών. Κάποιες άλλες υπηρεσίες (π.χ. παράκτια αλιεία) έχουν μελετηθεί σε άλλα κεφάλαια της παρούσας έρευνας. Η εκτιμηθείσα αξία του πόρου “παράκτιο σύστημα” υποδηλώνει και το (μελλοντικό) κόστος απώλειάς του λόγω ΑΣΘ. Βεβαίως, για τη σωστή αποτίμηση του πόρου “παράκτιο σύστημα” και τον υπολογισμό της συνολικής του αξίας θα έπρεπε να αθροιστούν οι οικοσυστημικές υπηρεσίες και τα αγαθά που περιγράφονται στον Πίνακα 2.12. Στην παρούσα έρευνα υπολογίστηκε η συνολική οικονομική αξία της παράκτιας ζώνης, με συνεκτίμηση μόνο των πέντε προαναφερόμενων χρήσεων (τουριστική, οικιστική, δασική γεωργική και υγροτοπική). Συνεπώς, η παρούσα αποτίμηση του πόρου “παράκτια ζώνη” αποτελεί ένα κατώτερο κατώφλι και υποεκτιμά την πραγματική αξία του. Εφόσον λοιπόν η (υποεκτιμημένη) αξία της παράκτιας ζώνης ταυτίζεται με τη μελλοντική απώλειά της λόγω της ΑΣΘ, κατ’επέκταση και η απώλεια αυτή είναι υποεκτιμημένη.

Για μια ενδελεχέστερη προσέγγιση του θέματος, υιοθετήθηκε η εκτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων υπό δύο διαφορετικά σενάρια: **μακροπρόθεσμης (2100) και βραχυπρόθεσμης (ετήσιας, έτος βάσης 2010)** ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Η μακροπρόθεσμη εκτίμηση απώλειας ακολουθεί την ΑΣΘ όπως υπαγορεύεται από τα “IPCC” σενάρια, ενώ η βραχυπρόθεσμη οικονομική εκτίμηση απωλειών λόγω της ΑΣΘ βασίζεται στην αύξηση συχνότητας της μετεωρολογικής παλίρροιας (θαλάσσιες καταιγίδες) ως επίπτωση της κλιματικής αλλαγής που επέρχεται παράλληλα με την ΑΣΘ. Η ζημία αυτή καταγράφεται εδώ ως ΑΣΘ εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, τόσο ακολουθώντας την “IPCC” μεθοδολογία όσο και διότι οι απόψεις των ειδικών (Καραμπάς Θ., Κρεστενίτης Ι., Βελεγράκης Α., Δουκάκης Ε., προσωπική επικοινωνία) συγκλίνουν στο ότι η κλιματική αλλαγή επιταχύνει και πολλαπλασιάζει τα φαινόμενα μετεωρολογικής παλίρροιας. Από την άποψη λοιπόν των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων, ένα επαναλαμβανόμενο φαινόμενο που προκαλεί βραχυπρόθεσμη ΑΣΘ και μεγάλες οικονομικές απώλειες έχει το ίδιο ενδιαφέρον όπως και η μακροπρόθεσμη (υπολογιζόμενη να ολοκληρωθεί σε 90 έτη) επιταχυνόμενη ΑΣΘ. Οι παρόμοιες (σε γνώση των συγγραφέων) μελέτες οικονομικών επιπτώσεων του φαινομένου της θυελλογενούς παλίρροιας στην Ελλάδα είναι περιορισμένες και δεν επιτρέπουν αναγωγή ζημιών στο σύνολο της παράκτιας ζώνης. Γι’ αυτό διενεργήθηκε πρόσθετη επιτόπια έρευνα οικονομικής αξιολόγησης της ζημίας εξαιτίας της βραχυπρόθεσμης ΑΣΘ (Κοντογιάννη, 2011).

Για τη μελέτη των επιπτώσεων από τη μακροπρόθεσμη ΑΣΘ –στη βάση των 27 μελετών περίπτωσης– εκτιμάται η συνολική απώλεια γης των πέντε υπό μελέτη χρήσεων και υπολογίζεται η συνολική απώλεια παράκτιας ζώνης. Στη συνέχεια, για τις χρήσεις “οικιστική”, “τουριστική” και “γεωργική” εφαρμόζεται η μέθοδος αγοραίας τιμολόγησης, κατά την οποία εκτιμώνται μοναδιαίες τιμές και υπολογίζεται η συνολική ζημία από την κατάκλυση λόγω ΑΣΘ. Για τις χρήσεις “υγροτοπική” και “δασική” εφαρμόζεται η μεθοδολογία της μεταφοράς αξιών.

Η ίδια μεθοδολογία υιοθετείται και για την εκτίμηση απώλειας των αισθητικών αξιών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν συνυπολογίστηκαν απώλειες δημόσιων υποδομών (αεροδρόμια, λιμάνια) και κεφαλαιακού εξοπλισμού.⁷ Ειδικότερα:

- **Γεωργική γη**

Ο προσδιορισμός του κόστους από την απώλεια γεωργικής γης πραγματοποιήθηκε με τον πολλαπλασιασμό της απολεσθείσας έκτασης επί την ειδική βασική αξία (EBA) της γεωργικής γης για κάθε εξεταζόμενη περιοχή. Η EBA είναι η ανά τετραγωνικό μέτρο αξία μη αρδευόμενης αγροτικής γης μονοετούς καλλιέργειας και λαμβάνεται υπόψη μόνο για εδαφικές εκτάσεις που έχουν “πρόσωπο” σε οδό ή απέχουν ως 800 μ. από τη θάλασσα

- **Υγρότοποι**

Το κόστος υπολογίστηκε με βάση την εκτιμώμενη αξία τους. Πιο συγκεκριμένα, η συνολική έκταση των υδροβιοτόπων η οποία αναμένεται να χαθεί από την ΑΣΘ πολλαπλασιάζεται επί τη μοναδιαία αξία τους. Ως μοναδιαία αξία υδροβιοτόπων επιλέχθηκε η τιμή που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία των Darwin and Tol (2001) για την αποτίμηση των επιπτώσεων της ΑΣΘ, η οποία ισούται με €4,8 εκατ. ανά τετρ. χιλιόμετρο.

- **Δασική γη**

Το κόστος από την απώλεια της δασικής γης υπολογίστηκε από τη συνολική απώλεια δασικής γης σε συνδυασμό με τη μοναδιαία συνολική αξία της (€89,25 ανά εκτάριο), έτσι όπως εκτιμήθηκε στη μελέτη των Merlo and Croitoru (2005) για την περίπτωση των ελληνικών δασών.

- **Οικιστική και τουριστική γη**

Ο προσδιορισμός του κόστους των επιπτώσεων —τόσο στις περιπτώσεις όπου υπήρχαν δεδομένα σχετικά με την υφιστάμενη αστική δόμηση όσο και για την ευρύτερη περιοχή του αιγιαλού— πραγματοποιήθηκε με πολλαπλασιασμό της συνολικής απώλειας έκτασης σε κάθε περίπτωση επί τη μέση τιμή αντικειμενικής αξίας των ακινήτων στη συγκεκριμένη περιοχή. Με τη συγκεκριμένη υπόθεση, για την περίπτωση του αιγιαλού προσδιορίζεται η συνολική τουριστική αξία. Λόγω της μη διαθεσιμότητας δεδομένων σχετικά με την ακριβή χωροθέτηση χρήσεων γης στη χερσαία ζώνη σε κάθε μελέτη περίπτωσης, αλλά και λόγω της μεγάλης διακύμανσης των αντικειμενικών αξιών, ως μέση τιμή εκτίμησης της αντικειμενικής αξίας ακινήτων επιλέχθηκε η τιμή €1.200 ανά τετρ. μ., η οποία αντιπροσωπεύει ρεαλιστικότερα μια μέση οικιστική αξία τουριστικής παράκτιας περιοχής.

Με βάση τις εκτιμήσεις για το κόστος των επιπτώσεων λόγω της απώλειας οικιστικής, τουριστικής, υγροτοπικής, δασικής και γεωργικής χρήσης γης, καθώς και με βάση το συνολικό μήκος και έκταση ακτογραμμής που εξετάστηκε σε κάθε μελέτη περίπτωσης, υπολογίζεται ένας δείκτης κόστους. Ο δείκτης αυτός εκτιμά το οικονομικό κόστος της ΑΣΘ ανά χλμ. ή τετρ.

⁷ Οι ζημιές στις υποδομές μεταφορών υπολογίζονται στο Υποκεφάλαιο 2.9, “Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των μεταφορών”, πιο κάτω.

χλμ. ακτογραμμής, ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα σε κάθε περίπτωση. Για τις τιμές αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν πραγματοποιήθηκε χωρική και χρονική τους μεταφορά από τη χώρα της μελέτης στην Ελλάδα και από το έτος μελέτης στο έτος 2010. Η προσαρμογή των δεδομένων υλοποιήθηκε με βάση το Δείκτη Ισοτιμίας Αγοραστικής Δύναμης Καταναλωτή (ΔΙΑΔΚ) (Purchasing Power Parity Index – PPPI) και το Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ) (Pattanayak et al., 2002).

Τελικά εκτιμήθηκαν οι καθαρές παρούσες αξίες των ζημιών μέσω της προεξόφλησης των απόλυτων μεγεθών με επιτόκια 1% και 3%. Η επιλογή του κατάλληλου (κοινωνικού) επιτοκίου προεξόφλησης αποτελεί κρίσιμη παράμετρο παρόμοιων εκτιμήσεων με πολύ μακρό χρονικό ορίζοντα. Η οικονομική θεωρία και πρακτική δεν είναι σε θέση να δώσει οριστική απάντηση, επειδή στην ουσία του το ζήτημα του επιτοκίου προεξόφλησης αποτελεί ένα ηθικό θέμα που άπτεται της διαγενεακής δικαιοσύνης. Έτσι, στις χώρες του ΟΟΣΑ τα προτεινόμενα επιτόκια προεξόφλησης κυμαίνονται από 3% έως 12% (OECD, 2007). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συνιστά επιτόκιο 4% για επενδύσεις μέσου και μακρού χρονικού ορίζοντα, αλλά δέχεται την εφαρμογή χαμηλότερων επιτοκίων για περιπτώσεις πολύ μακρών χρονικών οριζόντων, όπως αυτές που αφορούν την κλιματική αλλαγή (European Commission, 2005).

2.2.6.2 Αποτελέσματα

2.2.6.2.1 Οικονομικές επιπτώσεις της μακροχρόνιας ΑΣΘ

Η συνολική απώλεια χερσαίας ζώνης για σενάρια ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 μ. και 1 μ., όπως προσδιορίστηκε από τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις που εφαρμόστηκαν στις εξεταζόμενες μελέτες περίπτωσης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.13 πιο κάτω. Οι συνολικές ζημίες και οι συντελεστές κόστους προσδιορίστηκαν για ΑΣΘ 0,5 μ. και 1 μ. και για τις χρήσεις γης “οικιστική”, “τουριστική”, “υγροτοπική”, “δασική” και “γεωργική”. Οι συνολικές ζημίες αποτελούν το γινόμενο της υπό κατάκλυση έκτασης και της αντίστοιχης τιμής αναφοράς των χρήσεων γης. Οι συντελεστές κόστους υπολογίζονται ως το πηλίκον της διαίρεσης των συνολικών ζημιών με το μήκος της ακτογραμμής των μελετών περίπτωσης. Συνεπώς, οι συντελεστές αυτοί αποτελούν ποσοτικοποιημένες ενδείξεις της συνολικής ζημίας της χέρσου, η οποία “ενσωματώνεται” και εκφράζεται ανά χλμ. ακτογραμμής των πέντε υπό μελέτη χρήσεων γης. Οι εκτιμηθείσες οικονομικές ζημίες από τις μελέτες περίπτωσης ανάγονται στη συνέχεια στην ελληνική επικράτεια. Οι τιμές που τελικά επιλέχθηκαν ως μέσες τιμές των συντελεστών κόστους, καθώς και το μήκος και η έκταση της ακτογραμμής ανά χρήση γης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.14 (σελ. 180).

Το συνολικό κόστος των επιπτώσεων από την ΑΣΘ στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας το 2100 παρουσιάζεται ανά κατηγορία χρήσης γης στον Πίνακα 2.15.

Οι παρούσες αξίες των εκτιμήσεων του συνολικού κόστους το 2100 που προσδιορίστηκαν με επιτόκια προεξόφλησης 1% και 3% απεικονίζονται στους Πίνακες 2.16 και 2.17, αντίστοιχα.

Πίνακας 2.14

Μέσες τιμές δεικτών κόστους και σύνολο ακτογραμμής ανά χρήση γης

Χρήση γης	Μέση τιμή συντελεστή κόστους		Σύνολο ακτογραμμής
	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.	
Οικιστική & τουριστική	€144.891 χιλ./χλμ.	€262.851 χιλ./χλμ.	2.400 χλμ.
Υγροτοπική	€138 χιλ./τετρ. χλμ.	€247 χιλ./τετρ. χλμ.	1.000 τετρ. χλμ.
Δασική	€0,04 χιλ./τετρ. χλμ.	€0,13 χιλ./τετρ. χλμ.	4.000 τετρ. χλμ.
Γεωργική	€222 χιλ./τετρ. χλμ.	€514 χιλ./τετρ. χλμ.	35.511,5 τετρ. χλμ.

Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό ότι οι εκτιμηθείσες ζημιές που παρατίθενται στους Πίνακες 2.15, 2.16 και 2.17 αποτελούν στην πλειοψηφία τους εκφράσεις χρηστικών αξιών, με εξαίρεση τις υγροτοπικές εκτάσεις, για τις οποίες ο εκτιμώμενος συντελεστής κόστους συμπεριλαμβάνει εν μέρει και μη χρηστικές αξίες. Ωστόσο, οι μη χρηστικές αξίες (π.χ. πολιτιστικές και πνευματικές) σε ποικίλες περιπτώσεις παράκτιων οικοσυστημάτων αποτελούν ένα μη ευκαταφρόνητο τμήμα της συνολικής οικονομικής αξίας τους. Στο συμπέρασμα αυτό οδηγεί άμεσα και η ευρύτατα διαδεδομένη χρήση της “ηδονικής τιμολόγησης” ακινήτων (hedonic pricing), βάσει της οποίας μπορεί να υποτεθεί ότι, σε ανταγωνιστικές αγορές γης, οι τιμές των οικοπέδων ενσωματώνουν δομικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, όπως θέα, γειτνίαση με χώρους πολιτιστικής και πνευματικής σημασίας, κ.τ.λ.

Για την υποστήριξη της προαναφερθείσας θέσης, και προκειμένου να δοθεί μια έκφραση τάξεως μεγέθους των πιθανών ζημιών από την απώλεια των αξιών αυτών λόγω ΑΣΘ, επιχειρείται στη συνέχεια η ποσοτικοποίηση των αισθητικών/ψυχαγωγικών και πολιτιστικών/πνευματικών αξιών οικιστικής, τουριστικής και υγροτοπικής γης. Η εκτίμηση γίνεται στη βάση μεταφοράς αξιών από τους Brenner et al. (2010), στην εργασία των οποίων εκτιμάται σε οικο-

Πίνακας 2.15

Συνολικό κόστος επιπτώσεων ΑΣΘ το 2100 ανά κατηγορία χρήσης γης (Χιλιάδες ευρώ)

Χρήση γης	Συνολικό κόστος 2100	
	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.
Οικιστική & τουριστική	347.738.400	630.842.400
Υγροτοπική	138.000	247.000
Δασική	160	520
Γεωργική	7.883.553	18.252.911
Σύνολο	355.760.113	649.342.831

Πίνακας 2.16

Παρούσα αξία συνολικού κόστους επιπτώσεων ΑΣΘ ανά κατηγορία χρήσης γης (Επιτόκιο προεξόφλησης 1%, χιλιάδες ευρώ)

Χρήση γης	Συνολικό κόστος 2010	
	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.
Οικιστική & τουριστική	142.013.297	257.630.475
Υγροτοπική	56.358	100.873
Δασική	65	212
Γεωργική	3.219.574	7.454.328
Σύνολο	145.289.294	265.185.888

Πίνακας 2.17

Παρούσα αξία συνολικού κόστους επιπτώσεων ΑΣΘ ανά κατηγορία χρήσης γης (Επιτόκιο προεξόφλησης 3%, χιλιάδες ευρώ)

Χρήση γης	Συνολικό κόστος 2010	
	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.
Οικιστική & τουριστική	24.316.576	44.113.412
Υγροτοπική	9.650	17.272
Δασική	11	36
Γεωργική	551.279	1.276.386
Σύνολο	24.877.517	45.407.106

νομικούς όρους η αισθητική-ψυχαγωγική και πολιτιστική-πνευματική αξία στις αμμώδεις και υγροτοπικές παράκτιες περιοχές στην Καταλωνία της Ισπανίας. Για την αποφυγή σφάλματος διπλής μέτρησης, οι αξίες αυτές δεν συνυπολογίζονται στο τελικό υπολογισθέν μέγεθος της ζημίας λόγω ΑΣΘ. Παρατίθενται όμως στα συμπεράσματα, για να δοθεί η αίσθηση των διαστάσεων των πραγματικών αξιακών μεγεθών τα οποία διακυβεύονται στην παράκτια ζώνη.

2.2.6.2.2 Οικονομικές επιπτώσεις των θυελλογενών μετεωρολογικών παλινροιών και των κυματικών καταιγίδων: η βραχυχρόνια όψη της ΑΣΘ

Οι θυελλογενείς μετεωρολογικές παλίρροιες και οι κυματικές καταιγίδες αποτελούν τη βραχυχρόνια όψη του φαινομένου της ΑΣΘ, με σημαντικές, ετήσιες επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές. Θεωρήθηκε απαραίτητη η καταγραφή τους στη παρούσα μελέτη εξαιτίας του οικονομικού τους ενδιαφέροντος και της πιθανής ετήσιας επαναληψιμότητάς τους, που τους προσδίδει χαρακτήρα αύξησης της παράκτιας τρωτότητας. Επειδή όμως τα δεδομένα από επιτόπιες

έρευνες είναι περιορισμένα και δεν επιτρέπουν αναγωγή ζημιών στο σύνολο της παράκτιας ζώνης, διενεργήθηκε πρόσθετη επιτόπια έρευνα οικονομικής αξιολόγησης της ζημίας από τη βραχυπρόθεσμη ΑΣΘ (Κοντογιάννη, 2011). Από τους συμμετέχοντες στην έρευνα διερευνήθηκε η προθυμία τους να πληρώσουν (Willingness To Pay, WTP) για να χρηματοδοτήσουν κατασκευή έργων προστασίας στη περιοχή τους. Η μέση τιμή προθυμίας πληρωμής εκ μέρους των ερωτωμένων προσδιορίστηκε στα €200,7 ανά νοικοκυριό (τυπική απόκλιση : €286).

Σύμφωνα με την Έκθεση για την Παράκτια Διαχείριση του ΥΠΕΚΑ (Ministry of the Environment, Physical Planning and Public Works, 2006), ο παράκτιος πληθυσμός αντιπροσωπεύει το 85% του συνολικού πληθυσμού της Ελλάδος (10.934.097 κάτοικοι), δηλαδή 9.293.982 κατοίκους. Εάν θεωρηθεί ότι το μέσο νοικοκυριό αποτελείται από τρία άτομα, ο συνολικός αριθμός ανέρχεται σε 3.674.381 ελληνικά νοικοκυριά, από τα οποία 3.097.994 βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές. Με βάση τη μέση τιμή των €200,7 ανά νοικοκυριό και την προβολή της στον ελληνικό παράκτιο πληθυσμό, η συνολική αξία προστασίας από τη βραχυπρόθεσμη ΑΣΘ για τα ελληνικά νοικοκυριά ανέρχεται σε €621.767.426.

2.2.6.3 Πολιτικές προσαρμογής

Όπως δείχνουν οι μέχρι τώρα υπολογισμοί των συγγραφέων, οι επιπτώσεις της ΑΣΘ στις παράκτιες περιοχές, υπό την μορφή τόσο της σταδιακής ΑΣΘ όσο και των θυελλογενών μετεωρολογικών παλινροιών και των κυματικών καταιγίδων, αναμένεται να είναι ιδιαίτερα σημαντικές στις επόμενες δεκαετίες στην Ελλάδα. Επομένως, είναι αναγκαία η υλοποίηση μιας συντονισμένης πολιτικής προσαρμογής, η οποία θα προστατεύει συνολικά τα περίπου 16.200 χλμ. ακτογραμμής της ελληνικής επικράτειας. Καμία συντονισμένη προσπάθεια μακροχρόνιας αποτίμησης των επιπτώσεων της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (ΑΣΘ) και υιοθέτησης πολιτικών προσαρμογής δεν έχει αναληφθεί στην Ελλάδα, όπως επισημαίνεται στην τελευταία εθνική έκθεση που υποβάλλεται στην UNFCCC σχετικά με την κλιματική αλλαγή (Hellenic Republic, 2006). Η βασική πολιτική προσαρμογής που προτείνεται να ακολουθηθεί είναι η συνολική εκτίμηση της επικινδυνότητας των ελληνικών παράκτιων περιοχών λόγω της κλιματικής αλλαγής και της ΑΣΘ.

Αρκετές μελέτες παραθέτουν δεδομένα σχετικά με το κόστος εφαρμογής των πολιτικών προσαρμογής, οι οποίες αναλύονται εκτενώς στην ανεπτυγμένη μορφή της παρούσας μελέτης.⁸ Πιο συγκεκριμένα, στη μελέτη που εκπονήθηκε από τον κυβερνητικό φορέα Scottish Natural Heritage (SNH, 2000) προσδιορίστηκε το κόστος διαφόρων “σκληρών” και ήπιων τεχνικών για την αποτελεσματική διαχείριση των επιπτώσεων από τη διάβρωση. Στις ΗΠΑ ο οργανισμός MASGC (2007) προσδιόρισε το κόστος παρεμβάσεων για την προστασία της ακτογραμμής. Επίσης, εκτιμήσεις κόστους έργων για την προστασία της ακτογραμμής προέκυψαν από την

⁸ Όπ.π., υποσημ. 6.

εργασία των Sorensen et al. (1984), ενώ στην εργασία του Koch (2010) και στη μελέτη για την αποτίμηση των επιπτώσεων της ΑΣΘ στις ακτές της Καλιφόρνιας που χρηματοδοτήθηκε από το φορέα California Energy Commission (CEC, 2009) χρησιμοποιήθηκαν ίδιες εκτιμήσεις κόστους για επιλεγμένες πολιτικές προσαρμογής. Τέλος, στο ερευνητικό πρόγραμμα PESETA (Richards and Nicholls, 2009) οι πολιτικές προσαρμογής οι οποίες μελετήθηκαν ήταν η κατασκευή προχώματος και η τεχνητή τροφοδότηση παραλίας.

Ελληνικές μελέτες περίπτωσης για την προσαρμογή στην ΑΣΘ

Στη παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν τέσσερις μελέτες περίπτωσης για την ανάλυση κόστους-οφέλους επιλεγμένων πολιτικών προσαρμογής στις επιπτώσεις της ΑΣΘ. Οι περιοχές μελέτης και τα ερευνώμενα μέτρα προσαρμογής είναι:

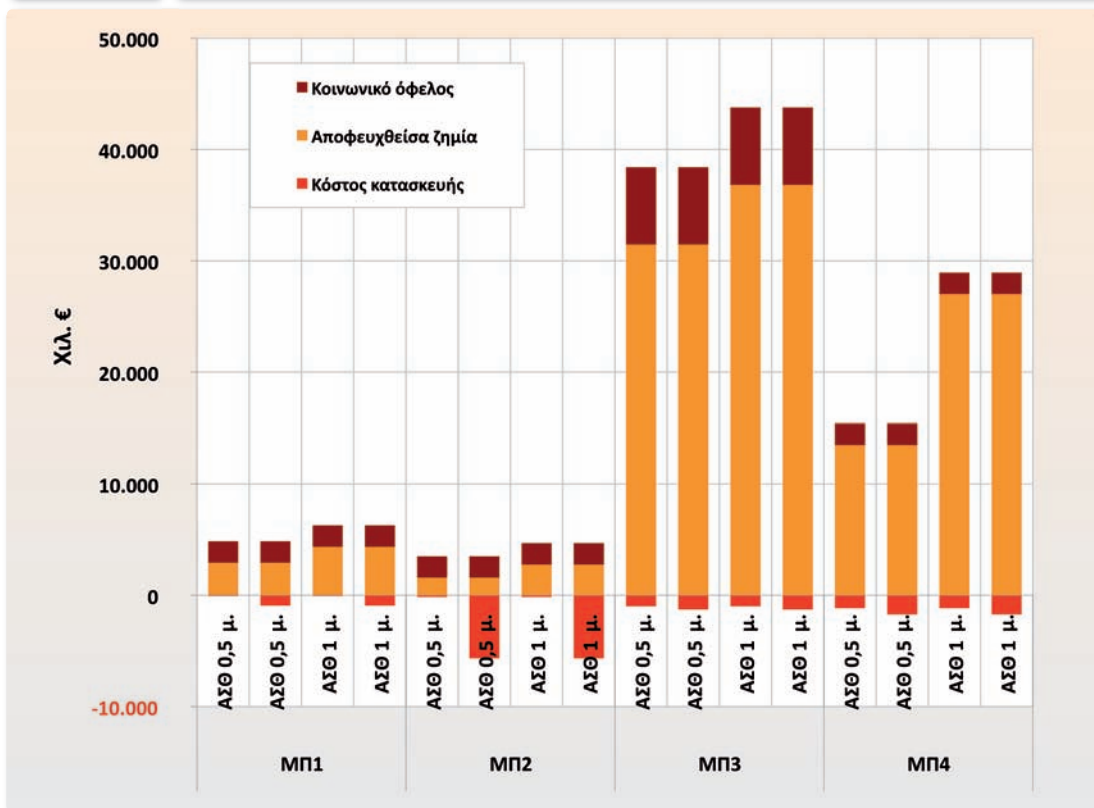
- Μελέτη Περίπτωσης 1 (ΜΠ1): Πρόβολοι στην περιοχή Λάμπη στην Κω.
- Μελέτη Περίπτωσης 2 (ΜΠ2): Τεχνητή θρέψη παραλίας στην περιοχή Καρδάμαινα στην Κω.
- Μελέτη Περίπτωσης 3 (ΜΠ3): Θωράκιση με λιθορριπή, φίλτρο και γεώφασμα στην περιοχή Αφάντου στη Ρόδο.
- Μελέτη Περίπτωσης 4 (ΜΠ4): Τοίχος αντιστήριξης από σκυρόδεμα στην περιοχή Τιγκάκι στην Κω.

Το Διάγραμμα 2.5 παρουσιάζει τη σαφέστατη οικονομική αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων μέτρων προσαρμογής (σε όλες τις περιπτώσεις **το καθαρό όφελος είναι θετικό**, εκτός από τη περίπτωση της τεχνητής θρέψης παραλίας στη περιοχή Καρδάμαινα-Κως, όπου το καθαρό όφελος γίνεται αρνητικό μόνο στα σενάρια με επιτόκιο προεξόφλησης 3%, το οποίο θεωρείται σχετικά υψηλό και μόνο για το ανώτερο εκτιμώμενο όριο της τάξης μεγέθους του κατασκευαζόμενου έργου). Στο Διάγραμμα 2.5 γίνεται μια προσπάθεια γραφικής απεικόνισης του κόστους-οφέλους με επιτόκιο προεξόφλησης 3%, όπου: ως κόστος κατασκευής νοείται το κόστος υλοποίησης του μέτρου προσαρμογής της παράκτιας προστασίας, η αποφευχθείσα ζημία από τη μακροπρόθεσμη ΑΣΘ ταυτίζεται με την υπολογισθείσα αξία της περιοχής, η οποία διασώζεται χάρη στη κατασκευή των έργων προστασίας, και ως κοινωνικό όφελος νοείται το όφελος του κοινωνικού συνόλου (WTP) που προκύπτει από τη λήψη μέτρων για την αποφυγή βραχυχρόνιων επιπτώσεων όπως η θυελλογενής μετεωρολογική καλίρροια.

Η οικονομική αποτελεσματικότητα των μέτρων προσαρμογής μπορεί εύκολα να τεκμηριωθεί και σε πανελλαδική κλίμακα. Λαμβάνεται ως υπόθεση εργασίας η κατασκευή έργων για την προσαρμογή στις κλιματικές επιπτώσεις (βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη ΑΣΘ) σε όλο το μήκος των παράκτιων περιοχών με νεογενή μαλακά ιζήματα μέτριας τρωτότητας (2.400 χλμ.) μέσω της κατασκευής κυματοθραυστών. Με δεδομένο ότι το κόστος κατασκευής κυματοθραυστών κυμαίνεται μεταξύ €558 και €1.394/μ. σύμφωνα με το SNH (2000) και μεταξύ €159 και €613/μ. σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του MASGC (2007) και με βάση την ελά-

Διάγραμμα 2.5

Κόστος και όφελος των μέτρων προσαρμογής στις μελέτες περιπτώσεων (Χιλιάδες ευρώ)



Πίνακας 2.18

Αποφευχθείσα ζημία λόγω κυματοθραυστών σε περιοχές μέτριας τρωτότητας (Επιτόκιο προεξόφλησης 1%, χιλιάδες ευρώ)

Χρήση γης	Αποφευχθείσα ζημία 2010	
	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.
Οικιστική & τουριστική	142.013.297	257.630.475

Πίνακας 2.19

Αποφευχθείσα ζημία λόγω κυματοθραυστών σε περιοχές μέτριας τρωτότητας (Επιτόκιο προεξόφλησης 3%, χιλιάδες ευρώ)

Χρήση γης	Αποφευχθείσα ζημία 2010	
	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.
Οικιστική & τουριστική	24.316.576	44.113.412

χιστη και τη μέγιστη τιμή κόστους κατασκευής των κυματοθραυστών (€159/μ. και €1.394/μ.), το συνολικό κόστος υλοποίησης του μέτρου κυμαίνεται μεταξύ €381.600 χιλ. και €3.345.600 χιλιάδων. Η αντίστοιχη αποφευχθείσα ζημία σε παρούσες αξίες δίνεται στους Πίνακες 2.18 και 2.19.

Οι Πίνακες 2.18 και 2.19 επιβεβαιώνουν την αίσθηση ότι τα οφέλη της προσαρμογής είναι σαφώς υψηλότερα του αντίστοιχου κόστους, ακόμα και αν τα οφέλη προεξοφληθούν με σχε- τικά υψηλό επιτόκιο (3%).

2.2.7 Συμπεράσματα

Η ελληνική ακτογραμμή αντιμετωπίζει ήδη σοβαρότατα προβλήματα διάβρωσης, τα οποία επιτείνονται από δύο σοβαρές απειλές προκαλούμενες από την κλιματική αλλαγή, δηλ. τη μακροπρόθεσμη και τη βραχυπρόθεσμη ΑΣΘ. Οι επιπτώσεις αφορούν τόσο το δομημένο περι-βάλλον και τους ανθρώπινους πληθυσμούς όσο και σημαντικά περιβαλλοντικά συστήματα. Δεδομένης της οικονομικής σημασίας των παράκτιων ζωνών για την Ελλάδα, χώρα με περίπου 16.300 χλμ. ακτογραμμής, όπου οι 12 από τις 13 περιφέρειές της είναι παράκτιες και ο παρά-κτιος τουρισμός συνεισφέρει 15-18% στο ΑΕΠ, η θεώρηση ως βιώσιμης επιλογής ενός busi-ness as usual σεναρίου είναι μάλλον ανορθολογική.

Στην παρούσα μελέτη επιχειρήθηκε η εκτίμηση του οικονομικού κόστους των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, για το σύνολο της ελληνικής παράκτιας ζώνης. Μετά από μια σύντομη παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών της ελληνικής παράκτιας ζώνης και των χρήσεών της, αναλύθηκαν οι βασικές αναμενόμενες επι-πτώσεις μακροχρόνιου και βραχυχρόνιου χαρακτήρα και, στην Εικόνα 2.1, παρουσιάστηκαν οι περιοχές χαμηλής, μέτριας και υψηλής τρωτότητας. Οι προβλέψεις ανόδου της στάθμης της θάλασσας κυμαίνονται από 0,2 έως και 2 μέτρα μέχρι το 2100.

Οι εκτιμηθείσες οικονομικές ζημιές από τις 27 μελέτες περίπτωσης που εξετάστηκαν (για τις χρήσεις γης “οικιστική”, “τουριστική”, “υδροτοπική”, “δασική” και “γεωργική”) ανάγονται στη συνέχεια στην ελληνική επικράτεια στη βάση των συντελεστών κόστους. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 2.20.

Πίνακας 2.20

Συνολικό κόστος μακροχρόνιας ΑΣΘ στην ελληνική παράκτια ζώνη (χιλιάδες ευρώ)

	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.
Συνολικό κόστος (2100)	355.760.113	649.342.831
Καθαρή παρούσα αξία (επιτόκιο 1%)	145.289.294	265.185.888
Καθαρή παρούσα αξία (επιτόκιο 3%)	24.877.517	45.407.106

Πίνακας 2.21

Συνολικό κόστος ΑΣΘ στην ελληνική παράκτια ζώνη λόγω μακροχρόνιας απώλειας αισθητικών/ψυχαγωγικών και πολιτιστικών/πνευματικών αξιών (Χιλιάδες ευρώ)

	ΑΣΘ 0,5 μ.	ΑΣΘ 1 μ.
Συνολικό κόστος (2100)	847.340	1.538.100
Καθαρή παρούσα αξία (επιτόκιο 1%)	346.046	628.146
Καθαρή παρούσα αξία (επιτόκιο 3%)	59.253	107.556

Το μέχρι τώρα εκτιμημένο κόστος περιλαμβάνει βασικά *χρηστικές* αξίες των παράκτιων οικοσυστημικών υπηρεσιών. Χάριν πληρότητας, εκτιμάται **χωριστά** και το κόστος απώλειας των αισθητικών/ψυχαγωγικών και πολιτιστικών/πνευματικών αξιών των παράκτιων περιοχών. Για την αποφυγή σφάλματος διπλής μέτρησης, επλέχθηκε **να μην αθροιστούν** οι εκτιμήσεις αυτές με τις εκτιμήσεις του Πίνακα 2.20. Ο Πίνακας 2.21 παρουσιάζει την ποσοτικοποίηση των αξιών αυτών για την ελληνική επικράτεια.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η οικονομική διάσταση των θυελλογενών μετεωρολογικών παλινροιών και των κυματικών καταιγίδων ως έκφραση της βραχυχρόνιας όψης του φαινομένου της ΑΣΘ. Με βάση τη μέση τιμή των €200,7 ανά νοικοκυριό και με προβολή της στον ελληνικό παράκτιο πληθυσμό, η συνολική **αξία προστασίας από τη βραχυχρόνια ΑΣΘ** για τα ελληνικά νοικοκυριά ανέρχεται σε €621.767.426 ετησίως.

Όπως δείχνουν οι μέχρι τώρα υπολογισμοί των συγγραφέων, οι επιπτώσεις της ΑΣΘ στις παράκτιες περιοχές, υπό τη μορφή τόσο της σταδιακής ΑΣΘ όσο και των θυελλογενών μετεωρολογικών παλινροιών και των κυματικών καταιγίδων, αναμένεται να είναι ιδιαίτερα σημαντικές στις επόμενες δεκαετίες στην Ελλάδα. Επομένως, είναι αναγκαία η υλοποίηση μιας συντονισμένης πολιτικής προσαρμογής, η οποία θα προστατεύει συνολικά τα περίπου 16.200 χλμ. ακτογραμμής της ελληνικής επικράτειας. Οι τέσσερις μελέτες περίπτωσης για τις οποίες εκτιμάται το κόστος και το όφελος της προσαρμογής δείχνουν τη σαφέστατη οικονομική αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων μέτρων προσαρμογής (σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις το καθαρό όφελος είναι θετικό). Εάν, ως υπόθεση εργασίας, τα μέτρα παράκτιας προστασίας αναχθούν σε πανελλαδική κλίμακα (συγκεκριμένα για τις παράκτιες περιοχές με νεογενή μαλακά ιζήματα μόνο μέτριας τρωτότητας, μήκους 2.400 χλμ., μη συμπεριλαμβανομένων των υψηλής τρωτότητας παράκτιων δελταϊκών περιοχών μήκους 960 χλμ.), πάλι οι ενδείξεις (Πίνακες 2.18 και 2.19) συνηγορούν υπέρ της οικονομικής αποτελεσματικότητας της υιοθέτησης άμεσων μέτρων παράκτιας προστασίας.

Η εκτιμηθείσα αξία του πόρου “παράκτια ζώνη” υποδηλώνει και το (μελλοντικό) κόστος απώλειάς του λόγω ΑΣΘ. Βεβαίως, για τη σωστή αποτίμηση του πόρου “παράκτιο σύστημα” και τον υπολογισμό της συνολικής του αξίας, θα έπρεπε να αθροιστούν οι οικοσυστημικές υπη-

ρεσίες και τα αγαθά που περιγράφονται στον Πίνακα 2.12. Στην παρούσα έρευνα, υπολογίστηκε η συνολική οικονομική αξία της παράκτιας ζώνης, με συνεκτίμηση μόνο των πέντε προαναφερόμενων χρήσεων (“τουριστική”, “οικιστική”, “δασική” “γεωργική”, και “υδροτοπική”). Συνεπώς, η αποτίμηση του πόρου αποτελεί ένα κατώτερο κατώφλι (υποεκτίμηση) της συνολικής αξίας του. Εφόσον η εκτιμηθείσα αξία της παράκτιας ζώνης ταυτίζεται με την αξία της μελλοντικής απώλειας εξαιτίας της ΑΣΘ, κατ’επέκταση και η απώλεια αυτή είναι υποεκτιμημένη.

Οι συγγραφείς της παρούσας μελέτης θεωρούν επιτακτική την ανάγκη να ερευνηθούν οι ελληνικές παράκτιες περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα κατακλυσμού. Η επιτακτική αυτή ανάγκη επεκτείνεται και στη λεπτομερή διάγνωση/πρόβλεψη της τρωτότητας της παράκτιας ζώνης και εξαιτίας των μεταβολών συχνότητας/έντασης των ακραίων φαινομένων (θύελλες και φουσκοθαλασσιές/μετεωρολογικές παλίρροιες). Σε ό,τι αφορά τη θεσμική πλευρά, τα κράτη-μέλη της ΕΕ πρέπει, σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/EC, να προβούν ως το 2011 σε μια αρχική εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας των λεκανών απορροής (συμπεριλαμβανομένης της παράκτιας ζώνης), με σκοπό τη διαπίστευση περιοχών πιθανής εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Επίσης, ως το 2013 τα κράτη-μέλη πρέπει να καταρτίσουν χάρτες επικινδυνότητας για τις περιοχές αυτές, ενώ έως το 2015 πρέπει να εκπονηθούν για τις ζώνες αυτές διαχειριστικά σχέδια πλημμυρικού κινδύνου.

Όσον αφορά την οικονομική αποτίμηση των επιπτώσεων, η αξιοπιστία της οικονομικής αποτίμησης βασίζεται πρώτιστα στην αξιοπιστία των φυσικών πρωτογενών δεδομένων. Υπό την οπτική αυτή, η παρούσα μελέτη συγκέντρωσε όλες τις διαθέσιμες μελέτες περίπτωσης σχετικά με την αποτίμηση των φυσικών επιπτώσεων της ΑΣΘ στην Ελλάδα, σε μια πρώτη προσπάθεια οικονομικής αποτίμησης του φαινομένου. Εάν, για παράδειγμα, οι φυσικές επιπτώσεις της μακροχρόνιας ΑΣΘ (περιοχές υπό κατάκλυση) είναι υπερεκτιμημένες, αυτό συνεπάγεται την υπερεκτίμηση και των οικονομικών επιπτώσεων. Για την αποφυγή παρόμοιου λάθους στην οικονομική εκτίμηση, τηρήθηκε κατά την έρευνα η στρατηγική της συντηρητικής εκτίμησης των οικονομικών μεγεθών. Καταβλήθηκε επίσης προσπάθεια να αποφευχθούν οι διπλομετρήσεις. Για παράδειγμα: θα ήταν δυνατή η αναφορά σε πρόσθετες οικονομικές απώλειες τις οποίες επισημαίνει το IPCC, ενώ δεν συνυπολογίστηκε στις εκτιμήσεις των συγγραφέων, εξαιτίας της ενυπάρχουσας αβεβαιότητας στα δεδομένα και τις προβλέψεις για την ΑΣΘ, η “αλλαγή οικονομικών αξιών στις περιπτώσεις όπου λόγω ατελούς γνώσης οι συνέπειες της ΑΣΘ είναι αβέβαιες”. Καθώς η οικιστική/τουριστική αξία της παράκτιας ζώνης αποτελεί ένα σημαντικό μετρήσιμο μέγεθος στους υπολογισμούς των συγγραφέων και η ανάλυση της κοινωνικής τρωτότητας δείχνει ότι η κοινωνική αντίληψη κινδύνου για το φαινόμενο της ΑΣΘ βαίνει αυξανόμενη, μπορεί να υποθεθεί με σχετική βεβαιότητα ότι, εάν η αγορά παράκτιων ακινήτων προεξοφλήσει και εσωτερικεύσει το μελλοντικό κίνδυνο παράκτιων καταστροφών, τότε οι αξίες γης στις παράκτιες περιοχές θα υποβαθμιστούν ως συνέπεια και μόνο της εκτίμησης κινδύνου. Καθίσταται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη άμεσης λήψης μέτρων προ-

σαρμογής όσο τα επιστημονικά δεδομένα επιβεβαιώνουν τους προαναφερθέντες βραχυχρόνιους και μακροχρόνιους κινδύνους λόγω ΑΣΘ.

2.2.8 Προτάσεις

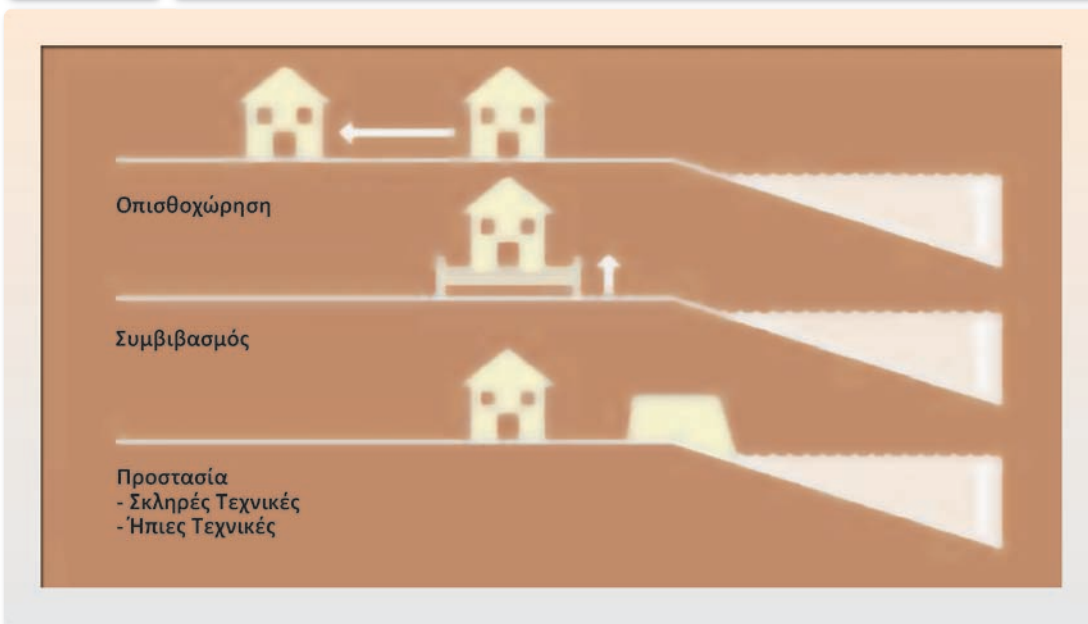
Ο σχεδιασμός των πολιτικών προσαρμογής στις προκαλούμενες επιπτώσεις της ΑΣΘ μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση τις τρεις ακόλουθες προσεγγίσεις (IPCC-CZMS, 1990, Bijlsma et al., 1996, και Klein et al., 2001, βλ. και Εικόνα 2.3):

- I. Οπισθοχώρηση (Retreat): Το φαινόμενο της ΑΣΘ υλοποιείται και οι επιπτώσεις στην κοινωνία ελαχιστοποιούνται με την προγραμματισμένη οπισθοχώρηση όλων των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και χρήσεων από τις παράκτιες περιοχές που πλήττονται.
- II. Συμβιβασμός (Accommodation): Το φαινόμενο της ΑΣΘ υλοποιείται και οι επιπτώσεις στην κοινωνία ελαχιστοποιούνται με ανάλογη τροποποίηση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και χρήσεων στις παράκτιες περιοχές που πλήττονται.
- III. Προστασία (Protection): Το φαινόμενο της ΑΣΘ υλοποιείται και οι επιπτώσεις αντιμετωπίζονται με την εφαρμογή σκληρών και ήπιων τεχνικών προστασίας, με τις οποίες ελαχιστοποιούνται οι κοινωνικές επιπτώσεις που θα επέρχονταν εάν δεν εφαρμόζονταν τα συγκεκριμένα μέτρα προστασίας.

Η προστασία μέσω κατασκευής παράκτιων τεχνικών έργων καλύφθηκε από την παρούσα μελέτη στα προηγούμενα κεφάλαια. Η προσέγγιση της σχεδιασμένης οπισθοχώρησης (managed retreat) αποτελεί μια από τις προτεινόμενες λύσεις για την αποτελεσματική προσαρμογή στους κινδύνους και τις ζημιές από την ΑΣΘ στις παράκτιες περιοχές, αλλά και για την αποφυγή των ενδεχόμενων επιπτώσεων στα οικοσυστήματα από τον περιορισμό της έκτασης των παράκτιων περιοχών (coastal squeeze). Μερικές από τις ενέργειες που περιλαμβάνονται στη σχεδιασμένη οπισθοχώρηση είναι:

- Σχεδιασμός και ανάπτυξη ζωνών προστασίας μεταξύ του αιγιαλού και της οικιστικής ζώνης ανάπτυξης.
- Αποθάρρυνση οικιστικής και επιχειρηματικής ανάπτυξης σε παράκτιες περιοχές που αντιμετωπίζουν σοβαρούς κινδύνους διάβρωσης, έως και απαγόρευση χρήσεων γης (όπου είναι απαραίτητο) σε συγκεκριμένες παράκτιες περιοχές που απειλούνται.
- Εγκατάλειψη παράκτιων περιοχών που κινδυνεύουν άμεσα.
- Μετεγκατάσταση κτηρίων και εγκαταστάσεων σε ασφαλέστερες και υψηλότερες τοποθεσίες. Οι νέες κατασκευές στις παράκτιες περιοχές πρέπει από την αρχική κατασκευή τους να ενσωματώνουν τη δυνατότητα μετεγκατάστασης.

Η άμεση υιοθέτηση και εφαρμογή εθνικού σχεδίου προσαρμογής είναι απαραίτητη για τη μείωση των επιπτώσεων της ΑΣΘ. Οι βασικοί πυλώνες ενός τέτοιου ολοκληρωμένου σχεδίου είναι αρχικά η κατάρτιση ακτολογίου, ο καθορισμός ζωνών επικινδυνότητας (υψηλού, μεσαίου και χαμηλού κινδύνου) ανάλογα με το χαρακτήρα κάθε παράκτιας περιοχής, για την υλοποίηση



Πηγή: Nicholls, 2009.

είτε σκληρών είτε ήπιων τεχνικών παρεμβάσεων, η επιλογή και επιτυχής εκτέλεση των απαραίτητων έργων, αλλά και η θέσπιση ενός μηχανισμού συνεχούς παρακολούθησης των παράκτιων περιοχών. Στο πλαίσιο αυτό, ο προσδιορισμός του κόστους εφαρμογής των διαφόρων πολιτικών προσαρμογής είναι απαραίτητος για την εκτίμηση της οικονομικής αποδοτικότητάς τους. Πέρα όμως από τις τεχνικές παρεμβάσεις, ένα εθνικό σχέδιο προσαρμογής οφείλει να αναγνωρίσει την ανάγκη, και να υποστηρίξει τις συναφείς δυνατότητες, για ήπιες, θεσμικές και συμπεριφορικές πολιτικές προσαρμογής, ενισχύοντας τις σχετικές αγορές στη κατεύθυνση εσωτερίκευσης των κινδύνων από τα φαινόμενα της ΑΣΘ και υποβοηθώντας κάθε προσπάθεια ενίσχυσης του κοινωνικού κεφαλαίου στη διακυβέρνηση (governance) των παράκτιων πόρων της χώρας μας.

2.3 Αλιεία και υδατοκαλλιέργειες*

2.3.1 Εισαγωγή

Οι κύριοι παράγοντες των κλιματικών μεταβολών που θα επηρεάσουν τη δυνατότητα άντλησης αγαθών και υπηρεσιών από τους αλιευτικούς και υδατοκαλλιεργητικούς πόρους

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.3 συνεργάστηκαν οι: Σωφρόνιος Παπουτσόγλου, Κωνσταντίνος Παπακωνσταντίνου, Φοίβη Κουντούρη, Κυριακή Ρεμούνδου, Στέφανος Καββαδάς, Αρετή Κοντογιάννη, Κωνσταντίνος Ελευθεράτος και Ιωάννης Καψωμενάκης.

στη χώρα μας προέρχονται από την αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα των υδάτων των διαφόρων υδατοσυλλογών, καθώς και, δευτερευόντως από την άνοδο της στάθμης των θαλάσσιων υδάτων. Η επίτευξη αξιόπιστης εκτίμησης των αλλαγών αυτών θα πρέπει, εκτός από τις άμεσες μετρήσεις, που επί του παρόντος είναι ελάχιστες παγκοσμίως, να συνυπολογίσει τις μεταβολές των οικολογικών και φυσικοχημικών παραμέτρων. Είναι τεκμηριωμένο ότι η αειφορική οικοσυστημική διαχείριση της αλιείας και των υδατοκαλλιεργειών εξαρτάται τόσο από τη διατήρηση των δομών του οικοσυστήματος και την ύπαρξη μιας βιώσιμης ανθρώπινης κοινότητας όσο και από τους φυσικούς παράγοντες, δηλ. τα θρεπτικά στοιχεία, τη βιοποικιλότητα των θρεπτικών επιπέδων (πρώτο, δεύτερο, τρίτο, κ.ο.κ.), την παραγωγή (φυτικών-ζωικών ειδών), τη θερμοκρασία, τις στρωματώσεις της υδάτινης μάζας, τη διαύγεια, τη συγκέντρωση οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, το pH, την αμμωνία και τις αλληλεπιδράσεις τους (Παπουτσόγλου, 1981, 1990).

Σήμερα η υπεραλίευση, η χρήση μη επιλεκτικών εργαλείων, καθώς και η ρύπανση και η διατάραξη του πυθμένα του υδατικού περιβάλλοντος, είναι οι βασικοί παράγοντες περιορισμού της αλιευτικής παραγωγής των διαφόρων υδατοσυλλογών. Πέραν αυτών, οι επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υδατοσυλλογών (ποτάμιες, λιμναίες, λιμνοθαλάσσιες, θαλάσσιες) αναμένεται να επηρεάσουν διαφορετικά τις παραγωγικές δυνατότητες κάθε υδατοσυλλογής, καθώς και τις διάφορες χρήσεις τους. Σκοπός των συγγραφέων του παρόντος υποκεφαλαίου είναι η εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών στους παραγωγικούς τομείς της αλιείας και των υδατοκαλλιεργειών.

2.3.2 Οι τρέχουσες παραγωγικές δυνατότητες των υδατοσυλλογών στην ελληνική επικράτεια

2.3.2.1 Αλιευτική παραγωγή

2.3.2.1.1 Εσωτερικά ύδατα

Η συνολική έκταση των λιμναίων υδατοσυλλογών ανέρχεται σε 910 τ. χλμ. περίπου (φυσικές λίμνες 580 τ. χλμ. και τεχνητές 330 τ. χιλιόμετρα). Οι επτά μεγαλύτερες φυσικές (Τριχωνίδα, Βόλβη, Βεγορίτιδα, Βιστωνίδα, Κορώνεια, Μικρή Πρέσπα, Μεγάλη Πρέσπα) βρίσκονται κυρίως σε πεδινές περιοχές της Β. Ελλάδος και οι πέντε μεγαλύτερες τεχνητές (Κρεμαστών, Πολυφύτου, Κερκίνη, Καστρακίου και Πλαστήρα) βρίσκονται σε ορεινές-ημιορεινές περιοχές των κεντρικών διαμερισμάτων της χώρας. Η παρούσα γενική οικολογική κατάσταση των περισσότερων λιμνών (30-32) δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί. Ο μέσος όρος του δυναμικού της αλιευτικής παραγωγής των ελληνικών λιμνών εκτιμάται σε 20-25 χλγρ./εκτάριο το έτος (Kagalou et al., 2008, Konstantinou et al., 2006, Markou et al., 2007, Mitraki et al., 2004, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1986-2005).

Από τους 26 ποταμούς της Ελλάδος, τρεις έχουν τις πηγές τους στη Βουλγαρία (Έβρος, Νέστος, Στρυμόνας), ένας στα Σκόπια (Αξιός) και ένας πηγάζει από τη Βόρεια Πίνδο και εκβάλλει στην Αλβανία (Αώος). Το συνολικό μήκος της ροής τους επί ελληνικού εδάφους είναι 2.780 χλμ., με μεγαλύτερο τον Αλιάκμονα (297 χιλιόμετρα). Η συνολική μέση ετήσια απορροή όλων των ποταμών υπολογίζεται σε 800 κ.μ./δευτ., με μεγαλύτερη παροχή από, κατά σειρά, τον Έβρο, τον Αχελώο, το Στρυμόνα και τον Αξιό. Η συνολική επιφάνεια της κοίτης των πέντε μεγαλύτερων είναι: του Έβρου ~54 τ. χλμ., του Αξιού ~25 τ. χλμ., του Στρυμόνα ~17 τ. χλμ., του Πηνειού ~11 τ. χλμ. και του Αλιάκμονα ~9 τ. χιλιόμετρα. Η γενική οικολογική κατάσταση των ελληνικών ποταμών μπορεί να χαρακτηριστεί ως ασταθής και απρόβλεπτη, κυρίως στις πεδινές περιοχές τις οποίες διασχίζουν. Στους περισσότερους ποταμούς υπάρχουν εκπρόσωποι των ανώτερων τροφικών επιπέδων, κυρίως είδη ιχθύων. Δεν είναι όμως δυστυχώς δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την αλιευτική τους παραγωγή με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία (Πιορουλίου-Georgoudaki et al., 2003, Konstantinou et al., 2006, Skoulikidis, 2009, Vieira et al., 2008, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1986-2005).

2.3.2.1.2 Λιμνοθάλασσες περιοχές

Στον ηπειρωτικό κορμό της Ελλάδος υπάρχουν 76 λιμνοθάλασσες με συνολική έκταση 350 τ. χλμ. περίπου (72% κλειστού τύπου). Η λιμνοθάλασσα του Μεσολογίου (86,5 τ. χλμ.) είναι η μεγαλύτερη, ακολουθούμενη από τη Βιστωνίδα (45 τ. χλμ.) και τη Λογαρού (35 τ. χιλιόμετρα). Η γενική οικολογική κατάσταση των πιο πάνω λιμνοθαλασσών μπορεί να χαρακτηριστεί ως ασταθής λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών τους και του επιπέδου ευτροφισμού τους. Γενικά υπερτερούν τα ευρύαλα είδη ιχθύων, ακολουθούμενα από ορισμένα στενόαλα (θαλάσσια), διάφορα ασπόνδυλα, χωρίς σε ορισμένες περιπτώσεις να αποκλείονται και είδη των γλυκών υδάτων. Οι λιμνοθάλασσες αποτελούν ή μπορεί να αποτελέσουν ιδιαίτερα σημαντικές πηγές αλιευτικής και υδατοκαλλιεργητικής παραγωγής. Επίσημα δεδομένα αλιευτικής παραγωγής με αλιευτικά εργαλεία εκτός των παγίδων δεν υπάρχουν (Dassenakis et al., 1994, Kagalou et al., 2008, Markou et al., 2007, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1986-2005).

2.3.2.1.3 Θαλάσσιες περιοχές

Η Ελλάδα διαθέτει τη μεγαλύτερη ακτογραμμή μεταξύ των κρατών της Μεσογείου, αλλά και της ΕΕ, η οποία συνολικά ανέρχεται σε περίπου 16.300 χιλιόμετρα. Το σύνολο των κόλπων και των όρμων ανέρχεται στους 1.354, ενώ οι θαλάσσιες περιοχές έχουν συνολικά έκταση 470.000 τ. χλμ., δηλ. 3,6 φορές μεγαλύτερη από τη στεριά. Η χώρα διαιρείται σε 13 περιφέρειες, από τις οποίες οι 12 είναι παράκτιες. Το μήκος των ακτών που δύναται να εμφανίσει πρόβλημα διάβρωσης ανέρχεται σε 3.945 χλμ. (28,6%). Ο πληθυσμός που κατοικεί σε απόσταση

Πίνακας 2.22

Ετήσια παραγωγή των αθιευθέντων ειδών ιχθύων, 1990-2009
(Σε τόνους, σκάφη με ιπποδύναμη >20 HP)

Έτος	SST*	Βενθικά	Μικρά πελαγικά	Μεσο- πελαγικά	Μεγάλα πελαγικά	Σύνολο
1990	19,22	70.397	25.812	13.508	2.726	112.442
1991	18,95	78.986	28.189	13.872	2.716	123.763
1992	18,93	88.215	32.887	17.749	2.473	141.324
1993	19,05	93.946	35.858	22.715	2.757	155.276
1994	19,87	109.834	38.864	29.749	3.572	182.019
1995	19,40	92.987	35.320	18.716	3.124	150.146
1996	19,03	92.203	35.237	18.638	2.637	148.714
1997	19,06	92.391	36.580	15.471	3.253	147.695
1998	19,61	57.304	38.005	8.807	2.826	106.942
1999	20,16	65.925	33.669	7.553	2.371	109.517
2000	19,72	49.299	27.434	8.406	2.925	88.063
2001	20,05	44.652	27.854	7.720	3.036	83.261
2002	20,06	45.482	29.206	8.981	2.242	85.910
2003	20,02	51.059	24.252	7.849	1.913	85.072
2004	19,69	53.160	25.220	8.030	1.526	87.936
2005	19,60	52.395	24.475	9.143	1.890	87.903
2006	19,36	52.905	28.312	9.316	1.886	92.419
2007	19,72	51.939	28.418	8.464	1.526	90.348
2008	19,47	47.480	29.843	7.187	991	85.501
2009	19,76	45.396	26.533	6.917	1.208	80.054
Μέση τιμή	19,53	66.798	30.598	12.439	2.380	112.215

* Θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας.
Πηγή: ΕΣΥΕ.

50 χλμ. από την ακτή υπερβαίνει το 85% του συνολικού πληθυσμού, ενώ στην αντίστοιχη ζώνη συγκεντρώνεται το 69% του ΑΕΠ (€140.268 εκατομμύρια).

Οι σχετικά μεγάλης έκτασης κόλποι (Θερμαϊκός, Παγασητικός, Σαρωνικός-Κορινθιακός, Ευβοϊκός, Αμβρακικός, κ.ά.) είναι οικολογικά περισσότερο υποβαθμισμένοι. Πράγματι, σε ορισμένους κλειστούς κόλπους, όπως ο Θερμαϊκός, παρατηρούνται εποχικές εξάρσεις από συγκεκριμένες τοξικών φυτοπλαγκτονικών οργανισμών. Γενικά, οι κύριες αιτίες της οικολογικής υποβάθμισης του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι η απόρριψη στερεών και υγρών αποβλήτων από την ξηρά, η ναυσιπλοΐα, ιδίως τα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν αργό πετρέλαιο, και η υπεραλίευση, ενώ ένας άλλος παράγοντας μικρότερης έντασης θα μπορούσε να θεωρηθεί η ανορθόδοξη χρήση πλωτών κλωβών εκτροφής ιχθύων σε παράκτιες περιοχές. Από την άλλη πλευρά, οι ανοικτές θάλασσες επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από τις ανθρωπογενείς δρα-

Πίνακας 2.23

Αλιευτική παραγωγή και ποσοστά % συμμετοχής των 10 κυριότερων -εμπορεύσιμων- ειδών ιχθύων των ελληνικών θαλάσσιων περιοχών ανά πενταετία (1987-2009) (Παραγωγή σε τόνους, σκάφη με ιπποδύναμη >20 HP)

Έτος	Βόρειο Αιγαίο		Κεντρικό Αιγαίο		Νότιο Αιγαίο		Ιόνιο Πέλαγος		Σύνολο	
	Παραγωγή	%	Παραγωγή	%	Παραγωγή	%	Παραγωγή	%	Παραγωγή	%
1987	56.178,0	42,60	18.960,1	54,32	26.165,9	41,87	5.022,6	51,67	106.326,6	46,78
1992	78.631,9	41,05	25.097,6	65,19	25.371,4	45,65	12.177,1	63,57	141.278,0	48,10
1997	74.624,3	38,06	20.213,6	52,49	38.192,7	50,80	14.658,0	48,97	147.688,6	44,41
2002	46.529,9	56,14	9.254,5	67,34	17.867,6	39,76	12.259,5	43,22	85.911,5	52,09
2007	47.483,5	52,70	17.355,7	63,33	14.828,2	45,67	10.682,7	49,13	90.350,1	53,17
2009	36.732,3	57,11	17.906,9	61,89	15.716,6	45,71	9.699,2	52,54	80.055,0	55,39

%. Ποσοστό συμμετοχής των 10 οικονομικά σημαντικότερων ειδών ιχθύων: σαρδέλλες, γαύροι, κοψιόι, μπακαλιάροι, γόπες, κουτσομούρες, σαφρίδια, σκουμπριά, τόνοι και πεσκανόριτσες.
Πηγή: ΕΣΥΕ.

στηριότητες και η γενική οικολογική τους κατάσταση μπορεί να χαρακτηριστεί ικανοποιητική έως πολύ καλή.

Οι υπάρχουσες μετρήσεις φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών είναι περιορισμένες και αφορούν σε σποραδικές μετρήσεις θερμοκρασίας, αλατότητας, συγκέντρωσης του οξυγόνου, θρεπτικών συστατικών, πρωτογενούς παραγωγής και βενθικών ειδών. Οι μετρήσεις βαρέων μετάλλων αφορούν στην περασμένη δεκαετία, στο πλαίσιο προγράμματος της UNEP. Το σύστημα POSEIDON παρέχει σε πραγματικό χρόνο μεγάλο αριθμό φυσικών παραμέτρων της στήλης του θαλάσσιου ύδατος, καθώς και το ύψος των κυμάτων στις ελληνικές θάλασσες. Η συντριπτική πλειοψηφία των ιχθύων που απαντούν στις ελληνικές θάλασσες είναι στενόαλα και σχετικά στενόθερμα είδη. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια στις ελληνικές θάλασσες έχει παρατηρηθεί σταδιακή αύξηση θερμόφιλων ειδών (κυρίως φυτοπλακτονικών οργανισμών και μεδουσών), αλλά και ιχθύων και άλλων υδρόβιων οργανισμών. Τα είδη αυτά πιθανότατα ανταγωνίζονται τα “ενδημικά” είδη που απαντούν στις ελληνικές θάλασσες. Το γεγονός όμως ότι τα τελευταία χρόνια η εμφάνισή τους και η προς τις βόρειες περιοχές του Αιγαίου Πελάγους εξάπλωσή τους είναι ταχύτερη πιθανώς σχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας των ελληνικών θαλασσών και τις κλιματικές μεταβολές που την προκαλούν (Pancucci-Papadopoulou et al., 2005). Ο αριθμός των ειδών των εισεληθόντων “λεσσεψιανών” μεταναστών στις ελληνικές θάλασσες υπολογίζεται μέχρι σήμερα στους 28 ιχθύες, 11 καρκινοειδή και 1 κεφαλόποδο, ενώ μεγαλύτερος, αλλά αδιευκρίνιστος είναι ο αριθμός των φυτοζωοπλακτονικών ειδών (ELNAIS, 2010).

Από τη μελέτη της διακύμανσης της συνολικής ετήσιας αλιευτικής παραγωγής ιχθύων της περιόδου 1990-2009 (Πίνακας 2.22) για αλιευτικά σκάφη >20 HP διαπιστώνεται ότι σχεδόν

όλες οι κατηγορίες αλιευμάτων παρουσίασαν μέγιστες τιμές τα έτη 1993-97. Έκτοτε υπάρχει μια τάση μείωσης της παραγωγής σε όλες τις κατηγορίες τους, εκτός των μικρών πελαγικών ειδών. Η παραγωγή των σημαντικότερων κατηγοριών αλιευμάτων το 2009 είναι μικρότερη του 50% της μέγιστης. Την ίδια περίοδο ο αλιευτικός στόλος μειώθηκε κατά 27% περίπου και η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας αυξήθηκε κατά 0,7 °C.

Η κατανομή της αφθονίας των 10 κυριότερων εμπορεύσιμων ειδών ιχθύων (Πίνακας 2.23) που αλιεύθηκαν με σκάφη >20 HP ανά 5ετία από το 1987 έως το 2009 είναι αρκετά δύσκολο να ερμηνευθεί, γεγονός που αποδίδεται κατά κύριο λόγο στον τρόπο συλλογής των στατιστικών δεδομένων. Για το λόγο αυτό τα κράτη-μέλη της ΕΕ υποχρεούνται από το 2002 να συλλέγουν αλιευτικά δεδομένα με συγκεκριμένη μεθοδολογία στο πλαίσιο των κανονισμών της ΕΕ 1453/2000 και 199/2008. Η χώρα μας δυστυχώς δεν είναι συνεπής στη συλλογή των στοιχείων και έτσι δεν υπάρχει πλήρης χρονοσειρά από το 2002 μέχρι σήμερα (Kavadas et al., 2007).

2.3.2.2 Παραγωγή υδατοκαθλιεργιών

2.3.2.2.1 Παραγωγή ιχθύων γλυκών υδάτων

Η συνολική παραγωγή ιχθύων σε ελεγχόμενες εντατικού συστήματος εγκαταστάσεις οι οποίοι διατρέφονται με τροφές εμπορίου είναι σχετικά περιορισμένη (Πίνακας 2.24), αλλά σταδιακά αυξανόμενη από 2.150 τόνους (1980) σε 2.950 τόνους (2006).

Κατά την εκτροφή της πέστροφας και του σολομού απαιτείται υψηλή διαύγεια υδάτων, αυξημένος κορεσμός οξυγόνου και θερμοκρασία από 13 °C έως 17 °C, ενώ για τον κυπρίνο και το χέλι οι απαιτήσεις σε διαύγεια και κορεσμό οξυγόνου είναι μικρότερες και η θερμοκρασία πρέπει να είναι από 6 °C έως 28 °C και υψηλότερη από 12 °C αντίστοιχα. Σε όλες τις περιπτώσεις, το βάθος των υδατοσυλλογών εκτροφής είναι περισσότερο από 1-1,5 μ., ενώ το χέλι αναπτύσσεται ακόμη και σε αβαθή ύδατα (~50 εκατ., D'Orbecastel et al., 2008, Παπουτσόγλου, 1997, Παπουτσόγλου, 2004, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1986-2005, Εταιρεία Ανάπτυξης Αλιείας, Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Πίνακας 2.24

**Παραγωγή ιχθύων γλυκών υδάτων το 2006
(Τόνοι/έτος)**

Είδος αλιεύματος	Αριθμός επιχειρήσεων	Ετήσια παραγωγή
Ιριδίζουσα πέστροφα	94	2.450
Ευρωπαϊκό χέλι	8	375
Κυπρίνος	9	110
Σολομός	5	5
Σύνολο	126	2.950

2.3.2.2.2 Παραγωγή ευρύαλων και στενόαλων ειδών

Η παραγωγή ιχθύων από εκτατικής μορφής εγκαταστάσεις (ελεγχόμενης εισόδου και εξόδου, ελεύθερα διαβιούντων ιχθύων σε παράκτιες θαλάσσιες περιοχές) είναι περιορισμένη (2.000 τόνοι/έτος). Αντίθετα η παραγωγή με το σύγχρονο εντατικό σύστημα είναι της τάξεως των 120.000 τόνων/έτος. Η παραγωγή αυτή (κυρίως τσιπούρα και λαβράκι) αντιπροσωπεύει το 48% της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής. Η εκτροφή πραγματοποιείται σε πλωτούς κλωβούς από περίπου 100 ιδιωτικές εταιρίες με 318 μονάδες. Είναι προφανές ότι η εφαρμογή του εκτατικού συστήματος εγκυμονεί μικρότερους κινδύνους από εκείνους του εντατικού, οι οποίοι όμως είναι τοπικής φύσεως (Anagnostou et al., 2005, Cochrane et al., 2009, Daw et al., 2009, Papoutsoglou, 1996, Papoutsoglou et al., 1996, Vieira et al., 2008, Παπουτσόγλου, 1992, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1986-2005, Εταιρεία Ανάπτυξης Αλιείας, Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Η ελεγχόμενη μαζική παραγωγή μυδιών (24.000-25.000 τόνοι/έτος) πραγματοποιείται σε έκταση 40 εκτ. περίπου, κυρίως σε παράκτιες περιοχές της Βορείου Ελλάδος (Θερμαϊκός Κόλπος-Πιερία), όπου παράγεται το 80-90% του συνόλου. Στην Ελλάδα υπάρχουν περισσότερες από 400 εταιρίες με πλωτές ή αναρτημένες κατάλληλες κατασκευές σε περιοχές με αυξημένη πρωτογενή παραγωγή (εύτροφες). Η οικολογική κατάσταση των περιοχών αυτών είναι εύθραυστη και γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα στη διαχείρισή τους, όπως χαρακτηριστικά παρατηρούν το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (1986-2005), η Εταιρεία Ανάπτυξης Αλιείας και η Ελληνική Στατιστική Αρχή.

2.3.3 Φυσικές επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στην αλιευτική παραγωγή της Ελλάδος

Η διαφαινόμενη αύξηση της θερμοκρασίας και η μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων μπορούν να συνδυαστούν με κινδύνους απρόσμενης αυξομείωσης της παροχής των ελληνικών ποταμών, καθώς και απρόβλεπτης έντασης οικολογικής αναταραχής στις υδατοσυλλογές των εκβολών τους. Είναι προφανές ότι στα εσωτερικά ύδατα θα επηρεαστεί πρωτίστως η διαθεσιμότητα των υδάτων, καθώς θα αυξηθεί ο ανταγωνισμός για άλλες χρήσεις. Παρόμοιας φύσεως κίνδυνοι αναμένονται και στις περιπτώσεις πολλών λιμνών, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους παρατεταμένης ανομβρίας. Αυτό θα έχει ως συνέπεια την υποβάθμιση του περιβάλλοντος για την ιχθυοπανίδα και πιθανή μείωση της παραγωγικής ικανότητας των εσωτερικών υδατοσυλλογών (Allison et al., 2009, Bobori and Economidis, 2006, FAO, 2008, Mavrakis et al., 2004).

Η αύξηση της θερμοκρασίας των θαλάσσιων υδάτων μπορεί να προκαλέσει επιτάχυνση του ρυθμού ανάπτυξης των ποικιλόθερμων υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Η θεώρηση αυτή δεν μπορεί να συσχετιστεί με πιθανή αναμενόμενη αύξηση της αλιευτικής παραγωγής, λαμβανομένου υπόψη ότι η παραπάνω σχέση θα μπορούσε να επαληθευθεί μόνο σε μια περιοχή που δεν

αλιεύεται, επειδή είναι γνωστό ότι επί του παρόντος η αλιευτική κατάσταση μιας περιοχής καθορίζεται περισσότερο από την υπεραλίευση και λιγότερο από τους φυσικούς παράγοντες. Την άποψη ενισχύει το γεγονός ότι τις τελευταίες δεκαετίες η θερμοκρασία των υδάτων του Αιγαίου Πελάγους αυξήθηκε κατά 1,5 °C χωρίς να διαπιστωθεί αύξηση των αλιευμάτων (αντιθέτως, παρατηρήθηκε μείωση). Για τις ελληνικές θάλασσες, από το 1990 μέχρι το 2008, εκτιμήθηκε ότι για κάθε 1 °C αύξηση της θερμοκρασίας διαπιστώνεται μείωση κατά 0,8% του μέσου όρου της παραγωγής σχεδόν όλων των κατηγοριών ιχθύων, συνεκτιμωμένης της μείωσης του αλιευτικού στόλου, ενώ οι λοιποί παράγοντες θεωρήθηκαν σταθεροί. Είναι πιθανό ότι η παρατηρούμενη μείωση της παραγωγής αυτής οφείλεται, πέραν της υπεραλίευσης, και στη διαφοροποίηση των τροφικών επιπέδων που καταγράφηκαν στις ελληνικές θάλασσες τη χρονική εκείνη περίοδο.

Η άνοδος της θερμοκρασίας θα επιφέρει και άνοδο της στάθμης της θάλασσας, μεταβολή της βιοποικιλότητας, της δομής των αλιευτικών πεδίων, με την έννοια των βιολογικών, φυσικών, χημικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών των θαλασσών, καθώς και του επιπέδου παρουσίας των εμπορικής αξίας αλιευμάτων. Με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας θα περιοριστούν οι υδροβιότοποι, όπου αναπαράγονται και διαβιούν κατά τα πρώτα τους στάδια πολλά είδη ιχθυδίων. Η άνοδος της θερμοκρασίας επηρεάζει τις μεταναστεύσεις των ιχθύων από και προς τις περιοχές αναπαραγωγής και διατροφής. Με τη γενικότερη μεταβολή της θερμοκρασίας των θαλάσσιων υδάτων, δεν αποκλείεται να προκληθούν αλλαγές στην κυκλοφορία των υδάτων (επιφανειακά, εσωτερικά, ανοδικά, καθοδικά, παράκτια ρεύματα), με ό,τι μπορεί αυτό να συνεπάγεται για την οικολογική-παραγωγική δυνατότητα των υδατοσυλλογών. Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να προστεθεί ενδεικτικά ότι οι μεταβολές του ύψους της βροχής επιδρούν μόνον στα κεφαλόποδα και τα μαλακόστρακα (για μείωση κατά 20 χλστ. παρατηρείται μείωση 2%).

2.3.4 Φυσικές επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στις υδατοκαλλιέργειες της Ελλάδος

Αναφορικά με τις υδατοκαλλιέργειες είναι προφανές ότι, εφόσον συνεχιστεί η εφαρμογή του υφιστάμενου εντατικού συστήματος εκτροφής, σύντομα θα προκληθούν οικολογικά-περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδίως στις περιπτώσεις χρήσης των παράκτιων πλωτών κλωβών, με συνέπεια τη μείωση της παραγωγής. Πέρα από τα παραπάνω, πρέπει να σημειωθεί ότι, εξαιτίας της αύξησης της συχνότητας εμφάνισης και της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι ανεμοστρόβιλοι, μπορεί να προκληθούν σημαντικές οικονομικές ζημιές, τόσο σε αλιευτικά σκάφη και σε πλωτούς κλωβούς όσο και σε παράκτιες εγκαταστάσεις εκτροφής ιχθύων και μυδιών (Anagnostou et al., 2005, Pagou, 2005, Papoutsoglou, 1991, Papoutsoglou and Tsiha, 1994, Papoutsoglou, 1996, Παπουτσόγλου, 1997, Παπουτσόγλου, 2004).

Τέλος η διαφαινόμενη άνοδος της στάθμης των υδάτων των θαλάσσιων και λιμνοθαλάσσιων περιοχών δεν αποκλείεται να προκαλέσει ανακατατάξεις στα συστήματα και στις μεθό-

δους της υδατοκαλλιεργητικής δραστηριότητας της χώρας (π.χ. αποφυγή κατασκευής εγκαταστάσεων εκτροφής στα ύδατα παράκτιων περιοχών). Επίσης, η άνοδος της στάθμης των υδάτων των θαλάσσιων παράκτιων περιοχών δεν αποκλείεται να προκαλέσει μεταβολές στην αναπαραγωγή διαφόρων ειδών ιχθύων, καθώς και στα διάφορα στάδια ανάπτυξης, αλλά και γενικότερα στο επίπεδο της αλιευτικής παραγωγικότητας (Doukakis and June, 2004, European Commission, 2008, FAO, 2008, Flemming and Woodworth, 1988).

2.3.5 Μελέτη των μεταβολών των αλιευμάτων στην Ελλάδα και μελλοντικές εκτιμήσεις

Για τον υπολογισμό της σχέσης μεταξύ των μεταβολών της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και της ποσότητας των αλιευμάτων, μελετήθηκαν τα στοιχεία παραγωγής αλιευθέντων ιχθύων από μεγάλο στατιστικό δείγμα, 2.244.304 τόνων, της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) για την περίοδο 1990-2009. Οι αλιευθέντες ιχθύες ήταν κατηγοριοποιημένοι σε βενθικούς, μικρού μεγέθους πελαγικούς, μέσου μεγέθους πελαγικούς και μεγάλου μεγέθους πελαγικούς (πρβλ. Πίνακα 2.22). Η συνολική παραγωγή των αλιευμάτων περιλαμβάνει βενθικούς ιχθύς σε ποσοστό 60% (1.335.953 τόνοι), μικρούς πελαγικούς ιχθύς σε ποσοστό 27% (611.967 τόνοι), μεσοπελαγικούς ιχθύς σε ποσοστό 11% (248.789 τόνοι) και τέλος, μεγάλους πελαγικούς ιχθύς σε ποσοστό 2% (47.595 τόνοι).

Τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. για τα αλιεύματα χρησιμοποιήθηκαν τόσο για τη μελέτη των μεταβολών των αλιευμάτων σε σχέση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST) όσο και για τη σύγκριση των μεταβολών ορισμένων αλιευμάτων με τις μεταβολές της βροχόπτωσης.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο χώρας για τη χρονική περίοδο 1990-2009 με βάση τις ετήσιες ποσότητες των αλιευθέντων ιχθύων όπως αναφέρονται στον Πίνακα 2.22, καθώς και τις μέσες μηνιαίες τιμές, απαλλαγμένες από την εποχική διακύμανσή τους. Στην ανάλυση αυτή αφαιρέθηκε μόνο η διαχρονική επίδραση της υπεραλίευσης, η οποία οφείλεται στη διακύμανση του στόλου και όχι στη μακροχρόνια μεταβολή των ιχθυοπληθυσμών. Τα κυριότερα αποτελέσματα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

(α) Μελέτη των μεταβολών των αλιευμάτων στον ελλαδικό χώρο σε σχέση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST) και μελλοντικές εκτιμήσεις

Μελετήθηκαν οι ετήσιες ποσότητες των αλιευμάτων από το 1990 έως το 2009 απαλλαγμένες από την τάση μείωσης του αλιευτικού στόλου, η οποία υπολογίστηκε σε 1,34% κατ' έτος. Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές τάσεις μείωσης της παραγωγής ορισμένων αλιευμάτων, οι οποίες αναλύονται ως εξής: Επί συνόλου 2.244.304 τόνων, οι βενθικοί ιχθύες εμφανίζουν τάση μείωσης κατά 1.854 τόνους κατ' έτος, ενώ οι αντίστοιχες μειώσεις είναι για τους μεσοπελαγικούς 571 τόνοι κατ' έτος και για τους μεγάλους πελαγικούς 66 τόνοι κατ' έτος. Αντι-

Πίνακας 2.25

Συνολική παραγωγή αθιευθέντων ιχθύων και αντίστοιχες μεταβολές σε τόνους, 1990-2009

Κατηγορίες ιχθύων	Σύνολο	Μεταβολή κατ' έτος	Μεταβολή στα 20 χρόνια
Βενθικοί	1.335.953	-1.854	-37.080
Μικροί πελαγικοί	611.967	+0,3	+6
Μεσοπελαγικοί	248.789	-571	-11.420
Μεγάλοι πελαγικοί	47.595	-66	-1.320
Σύνολο	2.244.304	-2.491	-49.814

θέτως, οι μικροί πελαγικοί ιχθύες παρουσιάζουν τάση αύξησης κατά 0,3 τόνους κατ' έτος. Οι μεταβολές της SST στην ίδια χρονική περίοδο ήταν 0,035 βαθμοί Κελσίου κατ' έτος ή 0,7 βαθμοί στα 20 χρόνια. Τα αποτελέσματα των μεταβολών των αλιευμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.25.

Οι μηνιαίες χρονοσειρές των αλιευμάτων, απαλλαγμένες από την τάση του αλιευτικού στόλου και από την εποχική διακύμανση, χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί η επίδραση της SST στις μεταβολές των αλιευμάτων για κάθε βαθμό Κελσίου ανόδου της SST. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.26, από τον οποίο προκύπτει ότι για κάθε βαθμό Κελσίου ανόδου της SST οι βενθικοί ιχθύες μειώνονται κατά 724 τόνους (1,1% της μέσης ποσότητας) και τα μεσοπελαγικά είδη ιχθύων κατά 160 τόνους (1,3% της μέσης ποσότητας).

Εάν μέχρι το 2100 η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας αυξηθεί κατά 3,3 βαθμούς Κελσίου (σύμφωνα με τις προσομοιώσεις των κλιματικών υποδειγμάτων του Κεφαλαίου 1), τότε, σύμφωνα με την προηγούμενη ανάλυση, τα βενθικά αλιεύματα της Ελλάδος θα μειωθούν κατά 3,6% της μέσης τιμής και τα μεσοπελαγικά κατά 4,2% της μέσης τιμής. Οι μεγάλοι και οι μικροί πελαγικοί ιχθύες θα αυξηθούν κατά 40 τόνους αντίστοιχα, δηλαδή κατά 1,7% και 0,13% της μέσης ποσότητάς τους. Τα συνολικά αλιεύματα εκτιμάται ότι θα μειωθούν περίπου κατά 2,5% της μέσης τιμής.

(β) Σύγκριση των μεταβολών των αλιευμάτων με τις μεταβολές της βροχόπτωσης

Μελετήθηκαν οι συσχετίσεις των διαφόρων κατηγοριών αλιευμάτων με τη βροχόπτωση για τον ελλαδικό χώρο. Όπως προέκυψε, οι ιχθύες και τα οστρακοειδή δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τη βροχόπτωση. Αντιθέτως, τα κεφαλόποδα και τα μαλακόστρακα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με τη βροχόπτωση (περίπου 0,15) με υστέρηση 11 και 17 μήνες αντίστοιχα. Από την ανάλυση των τάσεων των παραπάνω αλιευμάτων σε σχέση με τη βροχόπτωση εκτιμάται ότι, με μείωση της βροχόπτωσης κατά 20% (εκτίμηση με

Πίνακας 2.26

Μεταβολές σε τόνους από την άνοδο της SST κατά ένα βαθμό Κελσίου

Κατηγορίες ιχθύων	Μεταβολές σε τόνους
Βενθικοί	-724 *
Μικροί πελαγικοί	+12
Μεσοπελαγικοί	-160 *
Μεγάλοι πελαγικοί	+12
Σύνολο	-859 *

* Στατιστικά σημαντικές μεταβολές, στάθμη σημαντικότητας 99%.

βάση τις κλιματικές προσομοιώσεις του Σεναρίου A1B, Κεφ. 1), η παραγωγή των κεφαλόποδων και των μαλακόστρακων θα παρουσιάσει μικρή μείωση, της τάξεως του 2%. Στα υπόλοιπα είδη, η μείωση της βροχόπτωσης δεν φαίνεται να έχει καμία επίπτωση στην παραγωγή τους.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις της ανθρωπογενούς μεταβολής του κλίματος στην αλιευτική παραγωγή, έτσι όπως τις προδιέγραψε σε πλανητική κλίμακα η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Αναμένονται αλλαγές και τοπικές διακυμάνσεις της αλιευτικής παραγωγής των θαλασσών και των εσωτερικών υδάτων, καθώς και ανάμειξη των διαφόρων ειδών.
2. Αναμένεται μείωση των θαλάσσιων ιχθυοαποθεμάτων που αναπαράγονται στα εσωτερικά ύδατα (π.χ. χέλια) ή εκείνων τα οποία έχουν ανάγκη από υγροτόπους περιορισμένης αλατότητας.

2.3.6 Μέτρα και στρατηγικές μετριασμού των επιπτώσεων από τις κλιματικές μεταβολές

Ήδη υπάρχει η εμπειρία των επιπτώσεων από την άνοδο της θερμοκρασίας στη δομή των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και στους ιχθυοπληθυσμούς, με βάση το φαινόμενο “El Niño” στα ανοικτά των ακτών του Περού. Επίσης, στις αρχές της δεκαετίας του 1960 η αλιεία του Ισραήλ άλλαξε στόχους και τεχνικές εξαιτίας της εισβολής των “λεσσεψιανών” μεταναστών, οι οποίοι κατ’ αρχάς εγκαταστάθηκαν σε περιοχές διαβίωσης των υπαρχόντων ειδών και τα εκτόπισαν. Παρόμοια, η εμφάνιση του *Mnemiopsis leidyi* στον Εύξεινο Πόντο, στην Κασπία και στη λίμνη Αράλ η είχε ως συνέπεια το δραστικό περιορισμό του γαύρου, διότι ο εισβολέας τρεφόταν με τα αυγά και τις προνύμφες του. Ο πληθυσμός του γαύρου επανήλθε τα τελευταία χρόνια, προφανώς διότι είτε εμφανίστηκε κάποιος εχθρός του *Mnemiopsis leidyi* είτε ο εν λόγω ιχθύς βρέθηκε σε αδυναμία εξεύρεσης τροφής λόγω της σχεδόν εξαφάνισης του γαύρου. Είναι προφανές ότι οι αναμενόμενες αλλαγές στους ιχθυοπληθυσμούς θα καθορίσουν τον αριθμό των απασχολούμενων στην αλιεία, αλλά και τις προτιμήσεις των καταναλωτών.

Για τους λόγους αυτούς, είναι σκόπιμο να μελετηθούν έγκαιρα οι απαραίτητες στρατηγικές και τα μέσα για περιορισμό των οικολογικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Ειδικότερα απαιτούνται τα εξής:

1. Η καταγραφή των παραμέτρων που καθορίζουν την αλιεία και τον αριθμό των δυναμένων να απασχοληθούν στο επάγγελμα. Ενεργός συμμετοχή των απασχολούμενων στην αλιεία, με συνεχή διάλογο και συνεργασία, για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ενημέρωση.
2. Η δημιουργία θεσμικών μηχανισμών και σύναψη διμερών διακρατικών συμφωνιών που να ενεργοποιούν ή να ενισχύουν την επέκταση των αλιευτικών συμφερόντων εκτός των εθνικών συνόρων, με στόχο τη διασπορά της αλιευτικής ισχύος και την αξιοποίηση περισσότερων πόρων.
3. Η προετοιμασία σχεδίων έκτακτης ανάγκης για τους αλιευτικούς τομείς που δεν θα είναι σε θέση να μετακινηθούν από τις περιοχές στις οποίες βρίσκονται και θα πληγούν από τις κλιματικές μεταβολές περισσότερο, όπως π.χ. οι μικρής κλίμακας αλιείες, που έχουν εξ ορισμού περιορισμένη δραστηριότητα.
4. Η σύζευξη της αλιευτικής διαχείρισης με την εκμετάλλευση των παράκτιων ζωνών ώστε, όταν λαμβάνονται μέτρα για την προστασία των ακτών, να εξασφαλίζονται οι περιοχές αναπαραγωγής και συγκέντρωσης νεαρών ιχθύων.
5. Η διενέργεια προβλέψεων για τη θωράκιση των ακτών και τη διατήρηση της παραγωγικότητας, της αντοχής και της βιωσιμότητας των υδατοκαλλιεργειών στο πλαίσιο μιας οικολογικής περιφερειακής ανάπτυξης. Επίσης, απαιτούνται προβλέψεις για αλλαγές στα συστήματα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της πιθανής μετεγκατάστασής τους, αλλά και πιθανές αλλαγές στα ίδια τα εκτρεφόμενα είδη.
6. Η ανακατανομή των κονδυλίων έρευνας με στόχο τη μελέτη και ανάλυση των τοπικών και περιφερειακών προβλημάτων, των προσαρμογών που απαιτούνται, καθώς και του μεγέθους και της σύνθεσης των αλιευτικών εργαλείων. Προώθηση της διεπιστημονικής έρευνας.
7. Πρόβλεψη και σχεδιασμός υποδομών προσαρμογής για νέα είδη ή ιχθυοπληθυσμούς. Αντικατάσταση των αλιευτικών σκαφών με μεγαλύτερα και ενίσχυση των εγκαταστάσεων μεταποίησης αλιευμάτων στα σκάφη, προκειμένου να καταστεί ευχερέστερη και αποτελεσματικότερη η διαχείριση των αλιευμάτων.
8. Σαφής οριοθέτηση και διαχωρισμός παράκτιων θαλάσσιων περιοχών υδατοκαλλιεργητικής δραστηριότητας από εκείνες άλλων δραστηριοτήτων (π.χ. τουριστικών).
9. Κίνητρα για τη μετεγκατάσταση των ποικίλων αλιευτικών δραστηριοτήτων.
10. Κίνητρα εφαρμογής υπερεντατικών συστημάτων εκτροφής κυρίως θαλάσσιων ιχθύων και ευρύαλων ειδών σε χερσαίες-παράκτιες εγκαταστάσεις κλειστών και ημίκλειστων συστημάτων ύδατος.

11. Καθορισμός κανόνων και εφαρμογή τους, ώστε να αποτραπεί η κακοποίηση των πάσης φύσεως υδατοσυλλογών και να εμπεδωθεί η οικολογική συνείδηση στις παρούσες και στις μελλοντικές γενεές των Ελλήνων.

2.3.7 Οικονομικές επιπτώσεις

Η παρούσα μελέτη υιοθετεί την προσέγγιση της μεταφοράς οφέλους για να αποτιμήσει το οικονομικό κόστος των κλιματικών μεταβολών στην αλιεία και τις υδατοκαλλιέργειες της Ελλάδος. Η μελέτη αποτιμά τη μείωση της εγχώριας βιοποικιλότητας ως αποτέλεσμα της εισόδου ξενικών θερμόφιλων ειδών και τη μείωση του εισοδήματος των πληθυσμών που δραστηριοποιούνται στην αλιεία λόγω μείωσης των αλιευτικών πόρων (EKBY, 2010). Ωστόσο, η εγκατάσταση αλιευμάτων υψηλότερης οικονομικής αξίας, που σχετίζεται με την άνοδο της θερμοκρασίας των υδάτων, πιθανώς θα συμβάλει στην αύξηση του εισοδήματος των αλιέων ή τουλάχιστον θα περιορίσει τις απώλειές του.

Σχετικά με την οικονομική αποτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής στην (επαγγελματική) αλιεία, ο μέσος ετήσιος όγκος των αλιευθέντων ιχθύων από το 1990 έως το 2009 ανέρχεται σε 112.215 τόνους (Πίνακας 2.22). Χρησιμοποιείται η υπόθεση ότι αυτή η μέση ετήσια ποσότητα ιχθύων ισχύει και για τα επόμενα έτη μέχρι το 2100. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας κατά 3,3 °C το 2100 αναμένεται να μειώσει τα συνολικά αλιεύματα κατά 2,5% ή 2.805,37 τόνους μέχρι το 2100. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ (2009), οι τιμές των αλιευμάτων το 2007 κυμάνθηκαν από €0,6 έως €25,1, με μέση τιμή €5,3 και διάμεσο €4,2. Συνεπώς, η απώλεια εισοδήματος σε τιμές 2007 για το 2100 ανέρχεται σε €14.868.461 (στη βάση της μέσης τιμής) ή €11.782.554 (στη βάση της διαμέσου). Η παρούσα αξία των μεγεθών αυτών στη βάση της μέσης τιμής και της διαμέσου και με επιτόκια προεξόφλησης 1% και 3%, καθώς και τα αντίστοιχα ετήσια ισοδύναμα (annuities), δίνονται στον Πίνακα 2.27 (σελ. 202).

Μεταξύ των εναλλακτικών μεθόδων μεταφοράς οφέλους, υιοθετήθηκε η σημειακή μεταφορά, όπου οι τιμές από τις περιοχές όπου πραγματοποιήθηκε η πρωτογενής μελέτη μεταφέρονται στην περιοχή ενδιαφέροντος, αφού διορθωθούν κατάλληλα (Navrud and Ready, 2007, Ready and Navrud, 2006, Brouwer, 2000). Η μέθοδος αυτή είναι εύχρηστη και επιτρέπει τα λιγότερα σφάλματα στην μέτρηση, όταν δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία που να περιγράφουν την ποιότητα και την ποσότητα του αποτιμώμενου αγαθού στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η αναζήτηση μελετών για τη μεταφορά οφέλους περιορίστηκε σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για την Ευρώπη (Ευρωπαϊκή Τουρκία, Σουηδία, Ουκρανία), όπου τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά διαφέρουν, αλλά όχι έντονα, από εκείνα της Ελλάδος, με μοναδική εξαίρεση την Ευρωπαϊκή Τουρκία.

Η απώλεια ευημερίας λόγω της επίδρασης των κλιματικών μεταβολών στη βιοποικιλότητα ανέρχεται, σύμφωνα με τους Remoundou et al. (2010), σε €37,91/άτομο, ενώ σύμφωνα με τους

Πίνακας 2.27

Παρούσα αξία (ΠΑ) και ετήσια ισοδύναμα (ΕΙ) της απώλειας εισοδήματος της αλιείας λόγω κλιματικής αλλαγής (Ευρώ, τιμές 2007)

Επιτόκιο προεξόφλησης	Μέσος		Διάμεσος	
	ΠΑ	Μέσος	ΠΑ	ΕΙ
0%	14.868.461		11.782.554	
1%	6.072.148	102.638	4.811.891	81.336
3%	1.039.719	33.537	823.928	26.576

Πηγή: GEM-E3.

Egger and Olsson (2009) ανέρχεται σε €602/νοικοκυριό. Η διαφορά ως προς τις εκτιμήσεις οφείλεται στο γεγονός ότι η μελέτη των Remoundou et al. (2010) χρησιμοποιεί ως όχημα πληρωμής στο σενάριο της μελέτης αποτίμησης την ανακατανομή της υπάρχουσας φορολογίας. Από τη σχετική βιβλιογραφία προκύπτει ότι, στην περίπτωση αυτή, οι εκτιμήσεις είναι υψηλότερες από εκείνες που προβλέπονται στο προαναφερθέν σενάριο. Συνεπώς για την εκπόνηση της μελέτης κόστους-οφέλους συνιστάται η χρήση των περισσότερο συντηρητικών εκτιμήσεων της μελέτης Egger and Olsson (2009). Ως πληθυσμός που πλήττεται από τις επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στη βιοποικιλότητα των θαλάσσιων ειδών θεωρήθηκε ο πληθυσμός που ζει σε απόσταση ως και 50 χλμ. από την ακτογραμμή. Από την άθροιση του σχετικού πληθυσμού προκύπτει ότι το συνολικό οικονομικό κόστος λόγω της μείωσης της βιοποικιλότητας κυμαίνεται από €287.457.124 (Egger and Olsson, 2009) έως €1.895.654.656 (Remoundou et al., 2010).

Δεδομένης της έλλειψης συγκεκριμένων ποσοτικών εκτιμήσεων για τις επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στην αλιεία στην Ελλάδα κάτω από διαφορετικά κλιματικά σενάρια, οι εκτιμήσεις βασίστηκαν σε τιμές από τη βιβλιογραφία, οι οποίες ωστόσο μόνο προσεγγιστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί η δυσκολία απομόνωσης και αποτίμησης των επιδράσεων που σχετίζονται αποκλειστικά με τις κλιματικές μεταβολές, καθώς οι μεταβολές της αφθονίας των αλιευτικών πόρων είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ενός μεγάλου αριθμού ανθρωπογενών και φυσικών παραγόντων που διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στα διάφορα υδατικά οικοσυστήματα. Σε κάθε περίπτωση απαιτούνται πρωτογενείς μελέτες αποτίμησης για να προσεγγιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια το κόστος των κλιματικών μεταβολών στην Ελλάδα τόσο για τους αλιείς όσο και για το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο. Επιπλέον, για την εκπόνηση αυτών των πρωτογενών μελετών θα πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο η γεωγραφική όσο και η τοπογραφική ποικιλομορφία της Ελλάδος.

Παρά την αδυναμία, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας στοιχείων, να μετρηθεί όλο το εύρος των πιθανών επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών στην αλιεία και στις υδατοκαλλιέργειες της Ελλάδος με εκτατικά συστήματα, η μελέτη κατέδειξε ότι οι κλιματικές μεταβολές

αναμένεται να επηρεάσουν αρνητικά τη δυνατότητα άντλησης αγαθών και υπηρεσιών από τους αλιευτικούς πόρους. Η μείωση αυτή σαφώς συνεπάγεται απώλεια κοινωνικής ευημερίας, μεγάλο μέρος της οποίας συνδέεται με την απώλεια αξιών μη χρήσης (οι οποίες περιλαμβάνουν την αξία ύπαρξης του φυσικού πόρου, την αξία κληροδότησής του στις επόμενες γενεές, την αλτρουιστική αξία, δηλαδή την αξία παροχής του πόρου στην κοινωνία, και την αξία της διατήρησης της βιοποικιλίας και σταθερότητας του συγκεκριμένου οικοσυστήματος που μας ενδιαφέρει), οι οποίες θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη χάραξη πολιτικής μετριασμού των επιπτώσεων ή προσαρμογής στις κλιματικές μεταβολές.

2.3.8 Συμπεράσματα

- Μελετήθηκαν τα στοιχεία παραγωγής αλιευμάτων ιχθύων από μεγάλο στατιστικό δείγμα, 2.244.304 τόνων, της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) για την περίοδο 1990-2009. Μελετήθηκαν οι ετήσιες τιμές των αλιευμάτων, απαλλαγμένες από την τάση μείωσης του αλιευτικού στόλου, η οποία υπολογίστηκε σε 1,34% κατ' έτος. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας στη θάλασσα κατά 0,7 °C.
- Όπως προκύπτει από το δείγμα το οποίο μελετήθηκε, για άνοδο της SST κατά ένα βαθμό Κελσίου οι βενθικοί ιχθύες μειώνονται κατά 724 τόνους (1,1% της μέσης τιμής), οι μεσοπελαγικοί μειώνονται κατά 160 τόνους (1,3%), ενώ οι μεγάλοι και οι μικροί πελαγικοί ιχθύες αυξάνονται κατά 12 τόνους, δηλαδή, αντίστοιχα, κατά 0,5% και 0,04% της μέσης παραγωγής τους. Το σύνολο των αλιευμάτων υπολογίζεται ότι μειώνεται κατά 859 τόνους ή κατά 0,8% της μέσης τιμής λόγω άνοδου της SST κατά ένα βαθμό Κελσίου.
- Εάν μέχρι το 2100 η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας αυξηθεί κατά 3,3 βαθμούς Κελσίου (σύμφωνα με τις προσομοιώσεις των κλιματικών υποδειγμάτων του Κεφαλαίου 1), τότε, με τα σημερινά δεδομένα, εκτιμάται ότι τα βενθικά αλιεύματα της Ελλάδος θα μειωθούν περίπου κατά 3,6% της μέσης τιμής και τα μεσοπελαγικά κατά 4,2% της μέσης τιμής. Οι μεγάλοι και οι μικροί πελαγικοί ιχθύες εκτιμάται ότι θα αυξηθούν κατά 1,7% και 0,13% της μέσης τιμής τους αντίστοιχα, ενώ τα συνολικά αλιεύματα εκτιμάται ότι θα μειωθούν περίπου κατά 2,5% της μέσης τιμής. Είναι προφανές ότι σε αυτή την προκαταρκτική εκτίμηση δεν συμπεριλαμβάνονται αποτελέσματα επιπτώσεων στην αλιεία από παράγοντες που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, διότι δεν υπάρχουν δεδομένα.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται ότι θα ωφελήσει τα θερμόφιλα είδη και ενδεχομένως η συνολική παραγωγή δεν θα μειωθεί, ή η μείωση της δεν θα είναι σημαντική. Αυτό σημαίνει ότι πιθανότατα θα προκύψει ανακατανομή των ποσοτήτων των ειδών που αλιεύονται. Επιπλέον αναμένεται ότι, με την αύξηση της θερμοκρασίας, στο αλίευμα θα προστεθούν είδη-“μετανάστες”.
- Οι βροχοπτώσεις και οι εκροές των ποταμών στη θάλασσα κατά κανόνα αυξάνουν την παραγωγικότητα μιας περιοχής λόγω των μεταφερόμενων θρεπτικών υλών (με υστέρηση

ενός ή δύο ετών). Από την ανάλυση των τάσεων των αλιευμάτων σε συσχέτιση με τη βροχόπτωση προέκυψε ότι, για μείωση της βροχόπτωσης κατά 20% (εκτίμηση με βάση τις κλιματικές προσομοιώσεις του Σεναρίου A1B, Κεφάλαιο 1), η παραγωγή των κεφαλόποδων και των μαλακόστρακων εκτιμάται ότι θα παρουσιάσει μικρή μείωση, της τάξεως του 2%, ενώ η μείωση της βροχόπτωσης δεν φαίνεται να έχει καμία επίπτωση στην παραγωγή των υπόλοιπων ειδών.

- Η παρούσα αξία της απώλειας εισοδήματος για την (επαγγελματική) αλιεία θα κυμανθεί από €823.928 έως €6.072.148, ανάλογα με το επιτόκιο προεξόφλησης και τη χρήση μέσου ή διαμέσου.
- Εκτιμήθηκε ότι το κόστος από τη μείωση της βιοποικιλότητας θα κυμανθεί από €287 εκατ. έως €1.896 εκατομμύρια.
- Θα υπάρξει ανάγκη μετεγκατάστασης των παράκτιων κλωβών εντατικής εκτροφής ιχθύων, λόγω πιθανής υπερβολικής ρύπανσης και μεταβολής της κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων σε παράκτιες περιοχές. Το κόστος μετεγκατάστασης θεωρείται σημαντικό, μολονότι δεν μπορεί να εκτιμηθεί επακριβώς επί του παρόντος.

2.4 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία*

2.4.1 Εισαγωγή

Η παγκόσμια εγρήγορση σχετικά με την κλιματική αλλαγή εντείνεται χρόνο με το χρόνο, καθώς οι ενδείξεις για τη σοβαρότητα των επιπτώσεων της γίνονται όλο και πιο ανησυχητικές, ιδιαίτερα για τη γεωργία των αναπτυσσόμενων χωρών (Parry et al., 2001, FAO, 2009). Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, μόνο στην Αφρική 220 εκατομμύρια άνθρωποι κάθε χρόνο υποφέρουν από την έλλειψη πόσιμου νερού λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η αγροτική παραγωγή κινδυνεύει λόγω της απώλειας καλλιεργήσιμης γης, της σμίκρυνσης των καλλιεργητικών περιόδων και της αβεβαιότητας σχετικά με το είδος και το χρόνο εγκατάστασης συγκεκριμένων καλλιεργειών. Εκτιμάται ότι μέχρι το 2100 (UNFCCC, 2007) στην Αφρική τα έσοδα από τη γεωργία μπορεί να μειωθούν έως και 90%, στην Ασία κινδυνεύουν πολλά εκατομμύρια ανθρώπων από ασιτία, ενώ για την Ευρώπη προκύπτει από ανεξάρτητες έρευνες ότι η μεταβολή του κλίματος θα εντείνει τις οικονομικές ανισότητες στις διάφορες περιφέρειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης –ΕΕ (EEA, 2008, Stern, 2007).

Η ανάγκη προσδιορισμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (αύξηση του CO₂, άνοδος της θερμοκρασίας, διαφοροποίηση των κατακρημνισμάτων, αύξηση της έντασης και

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.4 συνεργάστηκαν οι: Ανδρέας Καραμάνος, Μιχάλης Σκούρτος, Δημήτρης Βολουδάκης, Αρετή Κοντογιάννη και Αθανάσιος Μαχλέρας.

συχρότητας των ακραίων καιρικών φαινομένων, μεταβολή της διασποράς των εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών, Tubiello et al., 2007) στη γεωργία οφείλεται στο γεγονός ότι η εν λόγω αλλαγή αναμένεται να έχει επιπτώσεις στα αποθέματα ειδών διατροφής σε παγκόσμιο επίπεδο και να προκύψουν ανεξέλεγκτα επισιτιστικά προβλήματα. Επιπλέον, η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση των τιμών και σε αλλαγές του εμπορικού ισοζυγίου μεταξύ των διαφόρων χωρών (Lobell et al., 2008).

Η Διακυβερνητική Επιτροπή της Κλιματικής Αλλαγής (IPCC, 2007a) αναφέρει ότι μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας κατά το πρώτο ήμισυ του αιώνα που διανύουμε πιθανόν θα αυξήσει τις αποδόσεις των καλλιεργειών στην εύκρατη ζώνη, ενώ θα τις μειώσει στην υποτροπική και τροπική ζώνη. Για την Ευρωπαϊκή Ένωση το ερευνητικό πρόγραμμα PESETA προβλέπει, ανάλογα με το σενάριο, για μεν τη Ν. Ευρώπη από μηδενικές μεταβολές έως 27% μείωση της παραγωγής, για δε την Κεντρική και Β. Ευρώπη αύξηση έως και 40%. Το πρότυπο HadCM3 (Giannakopoulos et al., 2009) για τα Σενάρια A2 και B2 (αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 °C, περίοδος 2031-2060) για τη Β. Μεσόγειο όπου βρίσκεται και η Ελλάδα, προβλέπει μείωση 9,33% για τις βολβώδεις καλλιέργειες (A2) και αύξηση έως και 12,49% για τα σιτηρά (B2). Οι Karpetanaki and Rosenzweig (1997) προέβλεψαν για τον αραβόσιτο μείωση των αποδόσεων στη Θεσσαλία έως και 20%, ενώ μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος (1997) για την περίοδο 2071-2100 προέβλεψε ότι η παραγωγή αραβοσίτου θα μειωθεί έως και 55% και η παραγωγή σκληρού σίτου θα παρουσιάσει μεγάλη διαφοροποίηση, από -67% έως +15%, ανάλογα με το σενάριο. Η ίδια μελέτη προέβλεψε για μεν το βαμβάκι ότι στις περιοχές της Μακεδονίας και της Θεσσαλίας θα υπάρξει μείωση έως και 29% και για τη Θράκη αύξηση έως και 21%, για δε τα αμπελουργικά προϊόντα ότι θα υπάρξει διαφοροποίηση της παραγωγής από -59% έως +55%, ανάλογα με το σενάριο και την περιοχή. Οι επιπτώσεις στις δενδρώδεις καλλιέργειες αναμένεται να είναι αρνητικές, ιδιαίτερα στη Νότια Ελλάδα και την Κρήτη. Όλες οι μελέτες συγκλίνουν ότι, τα επόμενα χρόνια η περιοχή της Νότιας Ευρώπης και ειδικότερα της Μεσογείου θα είναι ευάλωτη αναφορικά με τη φυτική παραγωγή, γεγονός με εξαιρετική σημασία για την Ελλάδα.

2.4.2 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργική παραγωγή

Μεθοδολογία

Η προσπάθεια εκτίμησης της επίδρασης την οποία ασκεί η αλλαγή των κλιματικών παραγόντων στη φυσιολογία του φυτού είναι μια σύνθετη διαδικασία που περιβάλλεται από σημαντική αβεβαιότητα. Η κυριότερη είναι ότι ουσιαστικά πρόκειται για μια “μελλοντολογική” εκτίμηση, γεγονός που σημαίνει ότι κάποιος από τους παράγοντες στο μέλλον μπορεί να αλλάξουν με βραδύτερο ή ταχύτερο ρυθμό από ό,τι έχει αρχικά εκτιμηθεί.

Για την εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική γεωργία χρησιμοποιήθηκαν τόσο πρόσφατες ερευνητικές εργασίες και δημοσιεύσεις όσο και πρότυπα τα οποία αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την πρόβλεψη της αντίδρασης των καλλιεργειών στη

μεταβολή του κλίματος (Geerts and Raes, 2009). Τα πρότυπα ανάπτυξης καλλιεργειών συνδυάζουν κλιματικά, μετεωρολογικά, εδαφολογικά, φαινολογικά και καλλιεργητικά δεδομένα, για περιορισμό του σφάλματος πρόβλεψης (Soussana et al., 2010). Αυτά τα πρότυπα μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες ομάδες, τα στατιστικά (Lobell et al., 2008, Paeth et al., 2008) και τα πρότυπα προσομοίωσης καλλιεργειών ή μηχανιστικά πρότυπα (CropSyst, AquaCrop, CERES κ.λπ.).

Επιλέχθηκε το πρότυπο AquaCrop (version 3.1, 2010), το οποίο προέκυψε από την αναθεωρημένη έκθεση του FAO (Doorenbos and Kassam, 1979), καθώς συνδυάζει την επίδραση του νερού στην ανάπτυξη των φυτών και στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών, απαιτεί, συγκριτικά με άλλα πρότυπα, μικρότερο αριθμό παραμέτρων, είναι πιο απλό στη χρήση και έχει μεγαλύτερη ακρίβεια και μικρότερες πιθανότητες σφάλματος (Raes et al., 2009). Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ερευνητικές εργασίες για το σίτο (Karamanos et al., 2008), το βαμβάκι (Κωτούλας, 2010) και τον αραβόσιτο (Βολουδάκης κ.ά., αδημοσίευτα στοιχεία), ενώ για τη ρύθμιση των παραμέτρων του προτύπου στα διαφορετικά επίπεδα CO₂ αξιοποιήθηκαν δεδομένα των Alexandrov and Hoogenboom (2000), Li et al. (2000), Pleijel et al. (2000), Bindi et al. (2001), Kimball et al. (2002), Kimball et al. (2007) και Taub (2010). Για τις περιπτώσεις όπου δεν εφαρμόστηκε το πρότυπο (κηπευτικά, δενδρώδεις καλλιέργειες κ.λπ.), χρησιμοποιήθηκαν προηγούμενα ερευνητικά αποτελέσματα (Mortensen, 1994, Rosenzweig et al., 1996, Kimball and Idso, 2001, Olesen and Bindi, 2002, Chantzoulakis and Psarras, 2005, Kimball et al., 2007, Garnaut, 2008, Moriondo et al., 2008, Ventrella et al., 2008, Gutierrez et al., 2009, Moretti et al., 2010, Orduna et al., 2010).

Τα αποτελέσματα της δεκαετίας 1991-2000 (περίοδος αναφοράς) συγκρίθηκαν με εκείνα των Σεναρίων A1B, A2 και B2 των περιόδων 2041-2050 και 2091-2100 (βλ. Πίνακα 2.28). Τα αναλυτικά κλιματικά και μετεωρολογικά δεδομένα (ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, ημερήσια βροχόπτωση, ημερήσια εξατμισιδιαπνοή) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση αντλήθηκαν από το Κέντρο Φυσικής της Ατμοσφαιράς της Ακαδημίας Αθηνών (Ζερεφός κ.ά., αδημοσίευτα στοιχεία). Η εκτίμηση της πιθανής επίδρασης των κλιματικών μεταβολών έγινε με την παραδοχή ότι οι διάφοροι καλλιεργητικοί χειρισμοί (σπορά, χρόνος συγκομιδής κ.λπ.), καθώς και η ποσότητα και η συχνότητα αρδεύσεων και λιπάνσεων θα παραμείνουν οι ίδιες συγκριτικά με τα σημερινά επίπεδα. Πέραν αυτών, δεν εκτιμήθηκε η πιθανή μεταβολή της επίπτωσης στη γεωργική παραγωγή από τον ανταγωνισμό των ζιζανίων και των ασθενειών. Ωστόσο, στη μελέτη ελήφθη υπόψη η επίπτωση της ερημοποίησης στην απόδοση των καλλιεργειών. Η εκτίμηση της ερημοποίησης έγινε με βάση τα στοιχεία ειδικής μελέτης (Γιάσογλου και Κοσμάς, 2004), χάρη στα οποία εκτιμήθηκε ο ετήσιος ρυθμός απώλειας εδαφών κατά κλιματική ζώνη (Καλύβας, αδημοσίευτα στοιχεία). Συνολικά εκτιμήθηκε η επίπτωση τόσο των κλιματικών μεταβολών όσο και της ερημοποίησης στην παραγωγή των προϊόντων που μελετήθηκαν. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στα δεδομένα των παραπάνω

Πίνακας 2.28

Μεταβολές συγκέντρωσης CO₂ και θερμοκρασίας κατά κλιματικό σενάριο σε σύγκριση με τα επίπεδα της δεκαετίας 1991-2000

Κλιματικά σενάρια	A1B		A2		B2	
Χρον. περίοδοι	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100
Συγκέντρωση CO ₂	+40%	+89%	+40%	+125%	+26%	+63%
Θερμοκρασία	+1,95 °C	+3,5 °C	+2 °C	+4,5 °C	+1,98 °C	+3,1 °C

μελετών, επειδή δεν υπάρχουν σενάρια προβλέψεων της πορείας ερημοποίησης σε σχέση με την κλιματική αλλαγή. Εν τούτοις, τόσο η αναμενόμενη μείωση των βροχοπτώσεων όσο και η ένταση των ακραίων φαινομένων θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην υπόθεση ότι οι υφιστάμενες προβλέψεις θα επιβαρυνθούν κατά 5-10% επιπλέον.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων ο ελλαδικός χώρος διαχωρίστηκε σε έντεκα κλιματικές ζώνες: της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης, της Δυτικής-Κεντρικής Μακεδονίας, της Κεντρικής-Ανατολικής Ελλάδος, της Δυτικής Ελλάδος, του Ιονίου, της Δυτικής Πελοποννήσου, της Ανατολικής Πελοποννήσου, των Κυκλάδων, του Βόρειου-Ανατολικού Αιγαίου, των Δωδεκανήσων και της Κρήτης. Για καθαρά πρακτικούς λόγους, που αφορούν τη γεωργία, οι ζώνες του Βόρειου Αιγαίου και του Ανατολικού Αιγαίου ενοποιήθηκαν.

Από την εφαρμογή του προτύπου AquaCrop και από ερευνητικά δεδομένα της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας προέκυψε (Πίνακας 2.29) ότι, από τα τρία σενάρια, το B2 φαίνεται να είναι το πλέον ευνοϊκό για τη φυτική παραγωγή. Οι λιγότερο αρνητικές έως θετικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται πιο έντονες όσο μετακινούμαστε βορειότερα και ανατολικά, με αποτέλεσμα οι ζώνες της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης και της Δυτικής-Κεντρικής Μακεδονίας να θεωρούνται περισσότερο ευνοημένες ή λιγότερο ζημιωμένες ανάλογα με την περίπτωση. Η πλέον ευαίσθητη αροτραία καλλιέργεια είναι το σιτάρι, ενώ η παραγωγή βαμβακιού θα υποστεί τις μεγαλύτερες μειώσεις τόσο στο Σενάριο A1B όσο και στο Σενάριο A2 στην περιοχή της Κεντρικής και Ανατολικής Ελλάδος. Η επίπτωση των κλιματικών μεταβολών στην παραγωγή των δενδρωδών καλλιεργειών μέχρι τα μέσα του αιώνα που διανύουμε αναμένεται να είναι από ουδέτερη έως θετική. Ωστόσο, η εικόνα αυτή μεταβάλλεται άρδην προς το αρνητικό στο τέλος του αιώνα, ιδίως στη νότια και τη νησιωτική Ελλάδα. Η καλλιέργεια κηπευτικών θα μετατοπιστεί βορειότερα και η καλλιεργητική περίοδος θα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με σήμερα λόγω των ηπιότερων-θερμότερων χειμώνων, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής.

Επιπλέον, όσον αφορά την επίδραση εχθρών, ασθενειών και ζιζανίων στη φυτική παραγωγή, σε γενικές γραμμές η εκτίμηση που κυριαρχεί είναι ότι θερμότερες κλιματικές συνθήκες είναι περισσότερο κατάλληλες για την ανάπτυξη εχθρών, αφού τα έντομα-εχθροί μπορούν να συμπλη-

Πίνακας 2.29

Εκτίμηση πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις διάφορες κλιματικές ζώνες της Ελλάδος

Κλιματικές περιοχές	Σενάρια	A1B		A2		B2	
	Περίοδοι	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Κεντρική- Ανατολική Ελλάδα	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Δυτική Ελλάδα	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Ιόνιο	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Δυτική Πελοπόννησος	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						

Πίνακας 2.29

Εκτίμηση πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις διάφορες κλιματικές ζώνες της ΕΛΛΑΔΟΣ (συνέχεια)

Κλιματικές περιοχές	Σενάρια	A1B		A2		B2	
	Περίοδοι	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100
Ανατολική Πελοπόννησος	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Κυκλάδες	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Βορειοανατολικό Αιγαίο	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Δωδεκάνησα	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Κρήτη	Βαμβάκι						
	Σιτάρι						
	Αραβόσιτος						
	Ακρόδρυα & φρούτα						
	Ελιές						
	Αμπέλια						
	Κηπευτικά						
Υπόμνημα		αύξηση>10%					
		αύξηση<10%					
		περίπου ίδιο					
		μείωση<10%					
		μείωση>10%					
		δεν καλλιεργείται					

ρώσουν μεγαλύτερο αριθμό βιολογικών κύκλων κατά τη διάρκεια του έτους. Επίσης, θερμότεροι χειμώνες επιτρέπουν σε απειλητικά προς τις καλλιέργειες έντομα να διαχειμάσουν σε περιοχές που σήμερα λόγω ψύχους δεν είναι κατάλληλες, με αποτέλεσμα την επίσπευση της προσβολής σε καλλιέργειες κατά την επόμενη καλλιεργητική περίοδο (Gutierrez et al., 2009). Κατ' αντιστοιχία, και στην περίπτωση των ζιζανίων αναμένεται επέκταση της εμφάνισης των θερμοφίλων ζιζανίων (*Cassia*, *Amaranthus*, *Sesbania*, *Crotalaria*, *Rottboellia*, *Imperata*, *Panicum*, *Striga*, κ.ά.) σε ψυχρότερες ζώνες και σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο (Karamanos, 2009).

2.4.3 Οικονομικές επιπτώσεις

Ο γεωργικός τομέας, παρά τη συνεχή συρρίκνωσή του τις τελευταίες δεκαετίες, αποτελεί ακόμα σημαντικό τμήμα της ελληνικής οικονομίας. Ειδικότερα, το γεωργικό προϊόν καλύπτει το 5-6% του ΑΕΠ, ενώ η απασχόληση στον τομέα φθάνει το 17% της συνολικής απασχόλησης (Πέζαρος, 2004). Επιπλέον, η γεωργία στηρίζει τις γεωργικές βιομηχανίες, που αντιπροσωπεύουν το 1/4 των ελληνικών βιομηχανιών και συνεισφέρουν στο 1/3 του βιομηχανικού προϊόντος και στο 1/3 της απασχόλησης στο βιομηχανικό τομέα (Παπαναγιώτου, 2005). Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική γεωργική παραγωγή αναλύεται στη βάση υποκλιμάκωσης των Σεναρίων A1B (3,5 °C), A2 (4,5 °C), και B2 (3,1 °C) του IPCC (2007a) στις κλιματικές ζώνες της ελληνικής επικράτειας. Λόγω περιορισμών από πλευράς χρόνου και διαθεσιμότητας στοιχείων, η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται σε αροτραίες και δενδρώδεις καλλιέργειες, ειδικότερα στις καλλιέργειες του σίτου, του βαμβακιού, του αραβόσιτου, της ελιάς και της αμπέλου. Η ανάλυση των επιπτώσεων γίνεται με συνυπολογισμό ή μη της επίδρασης της ερημοποίησης των εδαφών.

Η αγροτική παραγωγή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το κλίμα, καθώς το είδος και η ποσότητα και ποιότητα των παραγόμενων γεωργικών προϊόντων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από αυτό. Οι κλιματικές μεταβλητές που κυρίως επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών είναι η θερμοκρασία, τα κατακρημνίσματα, η ηλιακή ακτινοβολία (ένταση και διάρκεια έκθεσης) και η σύσταση της ατμόσφαιρας (IPCC, 2007b, Tubiello et al., 2007, Mendelsohn and Dinar, 2009). Οι επιπτώσεις στην παραγωγικότητα επηρεάζουν το αγροτικό εισόδημα και την απασχόληση. Το σύγχρονο οπλοστάσιο των οικονομικών του περιβάλλοντος διαθέτει σήμερα μια πλειάδα προσεγγίσεων για την οικονομική αξιολόγηση των κλιματικών επιπτώσεων. Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να διακριθούν, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο δείκτη ευημερίας (τιμή, κόστος ή αξία), σε τρεις κατηγορίες: τιμολόγησης, κοστολόγησης και αξιολόγησης. Οι πλέον κατάλληλες μεθοδολογίες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της γεωργίας είναι οι μέθοδοι αγοράς στη βάση της μεταβολής των εκροών των γεωργικών προϊόντων στις αγορές. Εάν, για παράδειγμα, η κλιματική αλλαγή έχει αρνητική επίπτωση 20% στην παραγωγή βαμβακιού, τότε μειώνεται αντίστοιχα το γεωργικό εισόδημα. Η μεταβολή αυτή αντικατοπτρίζει το κόστος μη δράσης στην κλιματική αλλαγή

το οποίο επιβαρύνει τον παραγωγό για την καλλιέργεια βαμβακιού. Αν ο παραγωγός χρησιμοποιήσει περισσότερα λιπάσματα για να εξισορροπήσει την απώλεια παραγωγής ώστε να παράγει την ποσότητα που παρήγε και πριν από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, τότε υφίσταται μεγαλύτερο κόστος παραγωγής. Το κόστος αυτό είναι το κόστος προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης υιοθετήθηκε η προσέγγιση της εκτίμησης της οικονομικής επίδρασης της κλιματικής αλλαγής (V) ως το γινόμενο της μεταβολής της αγροτικής παραγωγής λόγω κλιματικής αλλαγής επί την τιμή του αγροτικού προϊόντος. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να εκφραστεί με τον τύπο:

$$V = \sum_a^b [(Q^b - Q^c) \times P^b]$$

όπου:

V = το κόστος της κλιματικής αλλαγής,

Q^b = η αναμενόμενη παραγόμενη ποσότητα προϊόντος το έτος b,⁹

Q^c = η μέση παραγόμενη ποσότητα προϊόντος την περίοδο ελέγχου 1990-2000 και

P^b = η αναμενόμενη τιμή παραγωγού του προϊόντος το έτος b.

Η παράμετρος a λαμβάνει τις τιμές 2041 και 2091, η παράμετρος b=a+x, το x έχει πεδίο τιμών [0,9] ώστε να επιτυγχάνονται εκτιμήσεις για όλα τα έτη των δεκαετιών μελέτης 2041-2050 και 2091-2100 αντίστοιχα.

Ως μέση παραγόμενη ποσότητα προϊόντος την περίοδο ελέγχου 1990-2000 για τις καλλιέργειες σίτου, βαμβακιού και αραβοσίτου χρησιμοποιούνται οι εκτιμήσεις από το λογισμικό AquaCrop, ενώ για ελαιοποιήσιμη ελιά, επιτραπέζια ελιά, επιτραπέζιο σταφύλι, κορινθιακή σταφίδα, σουλτανίνα και αμπελώνες για την παραγωγή μούστου η μέση παραγόμενη ποσότητα προϊόντος υπολογίζεται από επεξεργασία δεδομένων του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠΑΑΤ).¹⁰ Τέλος, η αναμενόμενη τιμή παραγωγού ανά έτος και προϊόν εκτιμάται με χρήση δεδομένων που διατίθενται από την ιστοσελίδα του ΥΠΑΑΤ.¹¹

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων των Σεναρίων κλιματικής μεταβολής A1B, B2 και A2 στο γεωργικό εισόδημα που προέρχεται από τις προαναφερθείσες καλλιέργειες, χρησιμοποιήθηκαν τιμές παραγωγού προσαρμοσμένες στο 2009 από την ιστοσελίδα του ΥΠΑΑΤ και προεξοφλητικό επιτόκιο 1%. Στα Διαγράμματα 2.6, 2.7 και 2.8 η σκούρα γραμμή αναφέρεται στην επίδραση μόνο της κλιματικής μεταβολής, με την παραδοχή ότι τα κλιματικά φαινόμενα θα εξελιχθούν ομαλά μέχρι το 2100, ενώ η πορτοκαλί γραμμή αναφέρεται στην περίπτωση της επίδρασης της ερημοποίησης.

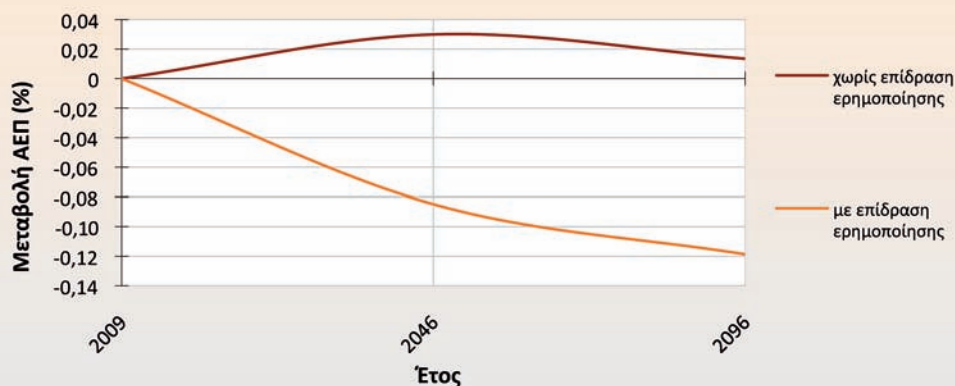
⁹ Οι εκτιμήσεις της μεταβολής της παραγωγικότητας με χρήση του λογισμικού AquaCrop χρησιμοποιούν και τις αντίστοιχες τιμές, ενώ στις εκτιμήσεις 'πρόβλεψη παραγωγής' χρησιμοποιείται η μέση παραγωγή των ετών από το 1990 ως το 2000.

¹⁰ http://www.minagric.gr/greek/agro_pol/3.htm.

¹¹ http://www.minagric.gr/greek/agro_pol/3.htm.

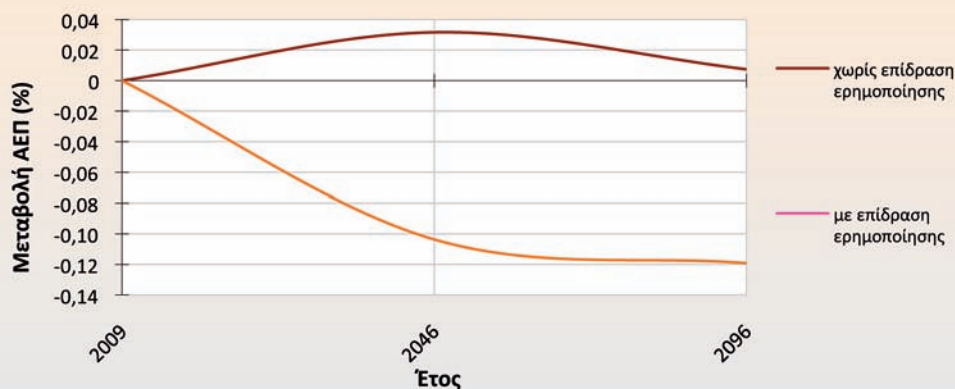
Διάγραμμα 2.6

Οικονομικές επιπτώσεις Σεναρίου Α1Β στο γεωργικό εισόδημα (Ποσοστά % του ΑΕΠ)



Διάγραμμα 2.7

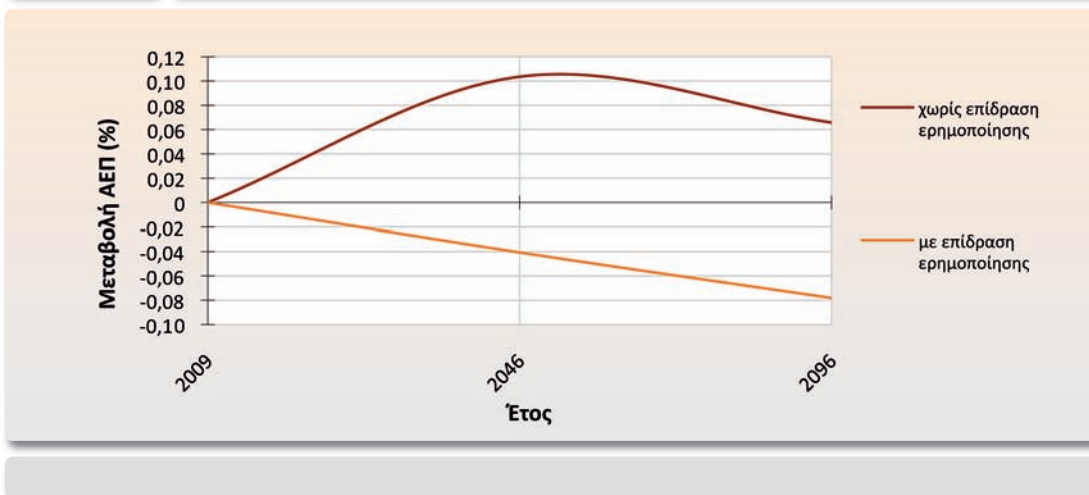
Οικονομικές επιπτώσεις Σεναρίου Α2 στο γεωργικό εισόδημα (Ποσοστά % του ΑΕΠ)



Το γεωργικό εισόδημα (Διαγράμματα 2.6, 2.7 και 2.8) μεταβάλλεται άμεσα υπό την επίδραση των φαινομένων της κλιματικής μεταβολής χωρίς να μεσολαβεί κάποιο χρονικό διάστημα υστέρησης μεταξύ τους. Η περίοδος 2041-2050 προσομοιάζει με σημείο καμπής: οι οικονομικές επιπτώσεις την περίοδο 2051-2100 επιδεινώνονται σε σχέση με την περίοδο 2041-2050. Οι οικονομικές επιπτώσεις στο γεωργικό εισόδημα για τα τρία σενάρια (Πίνακας 2.30) που εξετάστηκαν ήταν θετικές την περίοδο 2010-2100. Αντίθετα, η επίπτωση της ερημοποίησης που αναμένεται να προέλθει από την κλιματική μεταβολή ήταν αρνητική. Είναι τεκμηριωμένο ότι η ερημοποίηση έχει αρνητική επίπτωση στη γεωργική παραγωγή και συνεπώς στο γεωργικό εισόδημα, λόγω απώλειας γόνιμου γεωργικού εδάφους και μείωσης των διαθέσιμων

Διάγραμμα 2.8

Οικονομικές επιπτώσεις Σεναρίου B2 στο γεωργικό εισόδημα
(Ποσοστά % του ΑΕΠ)



για καλλιέργεια εκτάσεων. Η συνολική επίπτωση της κλιματικής μεταβολής στο γεωργικό εισόδημα, συνυπολογιζομένης της ερημοποίησης (Πίνακας 2.30), ήταν αρνητική για τα Σενάρια A1B και A2, ενώ ήταν θετική για το Σενάριο B2. Είναι προφανές ότι, εάν δεν ληφθούν μέτρα αναχαίτισης της ερημοποίησης, η κλιματική αλλαγή θα επιδράσει αρνητικά στο γεωργικό εισόδημα. Οι εκτιμήσεις των συγγραφέων, αξιολογώντας τις επιπτώσεις των κλιματικών σεναρίων, καταδεικνύουν την ανάγκη για άμεσες δραστηριότητες παρεμβάσεις ώστε να περιοριστεί το φαινόμενο της ερημοποίησης για να επιτευχθεί αύξηση του γεωργικού εισοδήματος.

Οι καλλιέργειες που μελετήθηκαν δίνουν μια αξιόπιστη αντιπροσωπευτική-πρωταρχική εικόνα των αναμενόμενων επιπτώσεων στο γεωργικό τομέα της Ελλάδος.

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι δεν συνεκτιμήθηκαν οι μεταβολές άλλων παραγόντων που επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγή και σχετίζονται άμεσα με τις κλιματικές μεταβολές, όπως η επίδραση των ζιζανίων και των επιβλαβών εντόμων (ακόμα και των χωροκατακτητικών ειδών), καθώς και η ενδεχόμενη μεταβολή της αποδοτικότητας των επικονιαστών. Πέραν

Πίνακας 2.30

Μεταβολή γεωργικού εισοδήματος εξαιτίας της κλιματικής μεταβολής μέχρι το 2100
(Ποσοστά % του ΑΕΠ)

Σενάριο	Επίπτωση κλιματικής μεταβολής χωρίς ερημοποίηση	Επίπτωση κλιματικής μεταβολής με ερημοποίηση	Συνολική επίπτωση
A1B	+ 3,26	- 16,91	- 13,63
B2	+ 2,92	- 17,81	- 14,89
A2	+ 13,37	- 10,05	+ 3,31

αυτών, οι οικονομικές εκτιμήσεις της παρούσας μελέτης ενσωματώνουν *a priori* τις αβεβαιότητες σε προηγούμενα στάδια ανάλυσης, όπως σχετικά με την πρόγνωση των κλιματικών δεδομένων, δεν βασίστηκαν σε μελλοντικές τιμές των προϊόντων αλλά σε δεδομένα παρελθόντων ετών, ενώ εξαρτώνται από μια σειρά εγγενών αβεβαιοτήτων στην οικονομική ανάλυση, όπως η μακροχρόνια διακύμανση των τιμών των αγροτικών προϊόντων, οι εξελίξεις στις διεθνείς αγορές τροφίμων, η επιλογή του επιτοκίου προεξόφλησης, κ.ά. Για παράδειγμα, δεν λήφθηκαν υπόψη απρόβλεπτοι παράγοντες που σχετίζονται με το ύψος της παγκόσμιας παραγωγής και το εμπόριο των αγροτικών προϊόντων, καθώς δεν διερευνήθηκαν περιπτώσεις υπερεπάρκειας ή ανεπάρκειας των αγροτικών προϊόντων σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι, δεν έχει αποκλειστεί η περίπτωση η μείωση της παραγωγής και του προσδοκώμενου αγροτικού εισοδήματος στην Ελλάδα να εξουδετερώνεται από μια πολύ μεγαλύτερη μείωση της παγκόσμιας παραγωγής, με ταυτόχρονη εκτόξευση της τιμής του προϊόντος σε επίπεδα που θα καταστήσουν την αντίστοιχη γεωργική καλλιέργεια στην Ελλάδα οικονομικά επωφελή. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι το επιλεγθέν επιτόκιο προεξόφλησης (1%), στο οποίο βασίστηκαν οι υπολογισμοί των συγγραφέων, απέχει από το επιτόκιο 1,4% που χρησιμοποιεί η έκθεση Stern. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, για κάθε μεταβολή του ΑΕΠ ύψους 0,1% με χρήση του επιτοκίου της έκθεσης Stern, οι εκτιμήσεις των συγγραφέων θα προσέγγιζαν το 0,15% (αύξηση 50%) για τη δεκαετία 2041-2050, ενώ θα ξεπερνούσαν το 0,25% (αύξηση 250%) για τη δεκαετία 2091-2100.

2.4.4 Προσαρμογή διαχείρισης

Ο όρος “προσαρμογή” αναφέρεται σε όλες εκείνες τις ενέργειες και παρεμβάσεις στα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα ως αντίδραση στις επιπτώσεις που επέρχονται ή πρόκειται να επέλθουν λόγω της μεταβολής του κλίματος (IPCC, 2007a). Οι επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή αναμένεται να είναι σημαντικές. Για το λόγο αυτό η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ξεκινήσει συζητήσεις για τη λήψη μέτρων και την προσαρμογή της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, καθώς όλες οι έρευνες μέχρι στιγμής συγκλίνουν στο γεγονός ότι ακόμα και μια παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας μόνο κατά 2 °C θα έχει σημαντικές επιδράσεις στη γεωργική παραγωγή, γεγονός που επιβάλλει τη λήψη μέτρων προσαρμογής και αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής (Copenhagen Diagnosis, 2009).

Ο γενικός στόχος θα πρέπει (Tsiros et al., 2009) να είναι η επίτευξη αειφορικής διαχείρισης των φυσικών πόρων για μεγιστοποίηση της βιώσιμης παραγωγής τροφίμων. Αυτό θα επιτευχθεί με την ορθολογική οργάνωση και με την πρόληψη και αντιμετώπιση των επικείμενων ζημιών από ξηρασία, από ακραία καιρικά φαινόμενα, από πλημμύρες κ.λπ. Βραχυπρόθεσμα θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην προσαρμογή του χρονοδιαγράμματος των γεωργικών εργασιών και των γεωργικών πρακτικών όπως: πυκνότητα σποράς, χρόνος καλλιεργητικών παρεμβάσεων, χρόνος συγκομιδής, κ.λπ. (Orlardini et al., 2009). Παράλληλα, θα πρέπει να επιδιωχθεί η διατήρηση και βελτίωση της παραγωγικότητας των εδαφών, η αποτελεσματικότερη αξιοποίηση του ύδατος και η ορθολογική

χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Μακροπρόθεσμα θα πρέπει να δημιουργηθούν νέες ποικιλίες προσαρμοσμένες στο μελλοντικό κλίμα και να δοθεί έμφαση στην αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών όπως θερμοκήπια, αντιπαγετική προστασία, προσαρμογή επικονιαστών κ.λπ.

Επειδή αναμένεται να υπάρξουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των διαφόρων αγροκλιματικών ζωνών στον ελλαδικό χώρο (πλέον ευάλωτες περιοχές είναι η Ν. Ελλάδα, η Κρήτη και τα νησιά του Αιγαίου) και εντός αυτών υπάρχουν γεωγραφικές ιδιαιτερότητες (ύπαρξη ποταμών, εδάφη στη διάβρωση ή την αλάτωση εδάφη κ.λπ.), προϋπόθεση για την επιτυχία των προτεινόμενων πρακτικών είναι αυτές να χαρακτηρίζονται από ευελιξία ή εξειδίκευση για εφαρμογή σε τοπικό επίπεδο από το γεωργό. Τυχόν άγνοια μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες πρακτικές, όπως υπερβολικά βαθιές γεωτρήσεις (McKeon and Hall, 2000) ή αλάτωση εδαφών, με καταστροφικές συνέπειες για το μέλλον των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Για τους λόγους αυτούς, η έρευνα σε θέματα συγκρότησης, οργάνωσης και διάρθρωσης γεωργικών εκμεταλλεύσεων πρέπει να λάβει υπόψη της την ποικιλομορφία του ελλαδικού χώρου. Είναι σκόπιμο να δοθεί έμφαση στη διαχείριση και την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση του νερού, τη βελτίωση της παραγωγικότητας των εδαφικών πόρων, τη θερμοκηπιακή τεχνολογία, την εξεύρεση των καταλληλότερων καλλιεργειών κατά αγροκλιματική περιοχή, καθώς και τη δημιουργία νέων βελτιωμένων-προσαρμοσμένων ποικιλιών.

2.4.5 Μετριασμός επιπτώσεων

Με τον όρο “μετριασμός των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής” νοείται το σύνολο των δράσεων οι οποίες στοχεύουν στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων είτε μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είτε μέσω της αύξησης των δυνατοτήτων απορρόφησης και αποθήκευσης αυτών των αερίων, που είναι υπεύθυνα για την κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007b). Η γεωργία, εκτός από τη σημαντική συμβολή στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, είναι και μεγάλη “δέξαμενή” αποθήκευσης τέτοιων αερίων, μέσω της δέσμευσής τους στα φυτά και στο έδαφος (OECD, 2010). Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση (E.C., 2009), στην ευρωπαϊκή γεωργία υπάρχει αναξιοποίητο δυναμικό για οικονομικά αποδοτικές ενέργειες μετριασμού. Η βιωσιμότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι η απαραίτητη βάση για να διαδοθούν κλιματικά φιλικές δράσεις και να υιοθετηθούν τεχνικές μετριασμού από τους γεωργούς.

Για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να δοθούν κίνητρα ώστε: να επεκταθεί η βιολογική γεωργία και κτηνοτροφία, που συμβάλλει στην αύξηση της οργανικής ουσίας των εδαφών, να εγκατασταθούν σύγχρονα συστήματα διαχείρισης ζωικών αποβλήτων, να γίνει ορθολογική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (μείωση μέχρι και 30% των σημερινών), να προωθηθούν γεωργικές πρακτικές ολοκληρωμένης διαχείρισης για τη μείωση της νιτρορύπανσης, να προωθηθεί η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο για κάλυψη αγροτικών αναγκών όσο και για διάθεση σε άλλες παραγωγικές διαδικασίες, και να δασωθούν οριακές γεωργικές γαίες και να αποκατασταθεί το παραγωγικό δυναμικό.

2.4.6 Προκλήσεις για το μέλλον

Η διαδικασία πρόβλεψης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία εμπεριέχει δυσκολίες και βαθμό αβεβαιότητας τα οποία, από τη φύση της έρευνας, μπορούν να προέλθουν από πολλές πηγές (Hansen et al., 2006). Η “μελλοντολογική” διάσταση προβλέψεων στηρίζεται κυρίως στην ακρίβεια των κλιματικών προτύπων είτε σε παγκόσμιο (GCM) είτε σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο (RCM). Η εξέλιξη της επιστήμης αυξάνει συνεχώς τις γνώσεις για το πολύπλοκο σύστημα αλληλεπιδράσεων φυσικών και ανθρωπογενών δυνάμεων που επηρεάζουν την παραγωγή των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Ο τομέας της αγροκλιματολογίας εξελίσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια και δημιουργεί περισσότερο αξιόπιστα πρότυπα ανάπτυξης καλλιεργειών (AquaCrop, νέα πειράματα FACE-Free Air CO₂ Enrichment), εμπλουτίζοντας διαρκώς τις πληροφορίες και βελτιώνοντας την ακρίβεια προβλέψεων για τις μελλοντικές αποδόσεις των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Η περαιτέρω έρευνα σε εγχώριο επίπεδο όσον αφορά τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής για καλλιεργείες ελληνικού ενδιαφέροντος και η δημιουργία μεγαλύτερης βάσης αξιοποιήσιμων δεδομένων πρέπει να συνεχιστούν με εντονότερο ρυθμό, καθώς αυτό θα επιταχύνει την εξέλιξη των γνώσεων σ’ αυτό το αντικείμενο, είτε ενισχύοντας την εικόνα που έχουμε σήμερα είτε αλλάζοντάς την.

Σχετικά με την έρευνα των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον ελληνικό γεωργικό τομέα, η παρούσα εργασία έχει επιχειρήσει μια πρώτη εκτίμηση ενός πολύ σύνθετου και απαιτητικού από άποψη δεδομένων προβλήματος. Προτείνεται η περαιτέρω έρευνα των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής με κύρια κατεύθυνση τη διερεύνηση ενεργειών προσαρμογής, ώστε να ανατροφοδοτηθεί ο κύκλος της έρευνας με ανίχνευση των οικονομικά αποδοτικότερων ενεργειών προσαρμογής, σε κατάλληλο χωρικό επίπεδο. Η έγκαιρη διάγνωση θα βοηθήσει στη χάραξη νέας πολιτικής για την κλιματική αλλαγή και θα επιτρέψει στην ελληνική οικονομία να μεγιστοποιήσει τα οφέλη αλλά και να μειώσει τις απώλειες από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της γεωργίας.

2.5 Επιπτώσεις κλιματικής μεταβολής στα δασικά οικοσυστήματα κατά τον 21ο αιώνα*

2.5.1 Εισαγωγή

Η γνώση της επίδρασης των κλιματικών αλλαγών στα δασικά οικοσυστήματα είναι ουσιώδους σημασίας, καθώς αυτά συμβάλλουν οικονομικά και περιβαλλοντικά στην ποιότητα της ζωής του ανθρώπου. Τα δασικά οικοσυστήματα καταλαμβάνουν το 65% περίπου της χερσαίας

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.5 συνεργάστηκαν οι: Αναστάσιος Σ. Νάσσης, Ηλίας Ε. Καρμύρης, Ευτύχιος Σαρτζετάκης και Στέφανος Α. Νάσσης.

επιφάνειας της Ελλάδος (δάση 25%, λιβάδια 40%). Αυτά είναι ιδιαιτέρως υποβαθμισμένα, λόγω κυρίως της αλόγιστης χρήσης τους στο πρόσφατο παρελθόν, με συνέπεια να παράγουν πολύ λιγότερο από το δυναμικό τους. Τα δασικά οικοσυστήματα παρέχουν ποικιλία υλικών αγαθών, όπως βιομάζα ξύλου, βοσκήσιμης ύλης, καρπούς, μανιτάρια, μέλι, βότανα, συμβάλλουν στην παραγωγή και ποιότητα του νερού, την ποιότητα του αέρα και τη δέσμευση και αποθήκευση του CO₂, προσφέρουν ποικίλες άυλες υπηρεσίες, όπως προστασία εδαφικών πόρων, βιοποικιλότητα, παρέχουν ενδιαίτημα και τροφή σε πληθώρα έμβιων όντων κ.ά. Πέραν αυτών, έχουν σημαντική πολιτιστική και αισθητική αξία. Επίσης προσφέρουν ευκαιρίες για ποικίλες δραστηριότητες αναψυχής (πεζοπορία, κατασκήνωση, θήρα, κ.ά.), στοιχεία απαραίτητα για την ευζωία του ανθρώπου. Η αφθονία των αγαθών και η ποιότητα των υπηρεσιών εξαρτώνται πρωτίστως από τη σταθερότητα των οικοσυστημάτων, η οποία είναι συνάρτηση της βιοποικιλότητας και των φυσιολογικών λειτουργιών τους.

Η υγεία και η δυναμική αύξησης των δασικών ειδών εξαρτώνται άμεσα από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, το διαθέσιμο νερό και τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους, ενώ επηρεάζονται και από συνολοκοιολογικούς παράγοντες, όπως ο ανταγωνισμός, οι επιδράσεις της ζωοκοινοότητας των μικροοργανισμών και οι πυρκαγιές (Johnsen et al., 2001). Τον 20ό αιώνα διαπιστώθηκε μικρή αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση του ύψους των κατακρημνισμάτων. Η τάση αυτή εκτιμάται ότι θα συνεχιστεί τον 21ο αιώνα (Ζερεφός, 2009): Σενάριο B2 (-35 χλστ.), Σενάριο A2 (-84 χιλιοστά).

Ωστόσο, η συνολική μείωση των κατακρημνισμάτων το έτος 2100 δεν θα είναι ομοιόμορφη σε όλη την ελληνική επικράτεια, καθώς αναμένεται μείωσή τους στην ηπειρωτική χώρα (όπου βρίσκονται τα παραγωγικά δάση της Ελλάδος) και αύξηση στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους (εκτός της Κρήτης). Τα δασικά οικοσυστήματα θα ζημιωθούν κατά κύριο λόγο από τα μειωμένα κατακρημνίσματα και τις υψηλές θερμοκρασίες που θα επικρατήσουν κατά την ξηροθερμική περίοδο, ενώ διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο καταστροφικών πυρκαγιών (Giannakopoulos et al., 2009). Το ερώτημα που τίθεται είναι σε ποιο βαθμό τα δασικά είδη είναι ικανά να προσαρμοστούν στο ταχέως διαφοροποιούμενο περιβάλλον. Εάν δεν προσαρμοστούν σε σύντομο χρόνο, τα δασικά οικοσυστήματα διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο αποσταθεροποίησής τους και, σε ακραίες περιπτώσεις, κατάρρευσής τους. Οι επιπτώσεις αυτές θα μπορούσαν να μετριαστούν σημαντικά, εάν υιοθετηθούν έγκαιρα κατάλληλες διαχειριστικές στρατηγικές, όπως ειδική καλλιεργητική φροντίδα (FAO, 2003). Γι' αυτό είναι ανάγκη η δασική πολιτική και η στρατηγική διαχείρισης να προσαρμοστούν άμεσα για να μετριαστούν και να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικότερα οι αρνητικές επιπτώσεις των επικείμενων κλιματικών μεταβολών. Σκοπός του παρόντος τμήματος του κεφαλαίου είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής με ιδιαίτερη έμφαση στην παραγωγή ξυλείας και βοσκήσιμης ύλης και τη διερεύνηση των ενδεδειγμένων παρεμβάσεων για περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων.

2.5.2 Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στα δασικά οικοσυστήματα

Με την εφαρμοζόμενη (σημερινή) στρατηγική διαχείρισης και χωρίς να ληφθούν πρόσθετα μέτρα, εκτιμάται ότι, εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών έως το έτος 2100, θα υπάρξει χωρική ανακατανομή των δασών της χώρας και η συγκόμωση των δασών συνολικά θα μειωθεί. Τα δάση των θερμόβιων κωνοφόρων και των αείφυλλων πλατύφυλλων (de Dios et al., 2007) θα επεκταθούν κατά 2% (B2) έως 4% (A2) και τα δάση ερυθρελάτης, ελάτης, οξυάς και μαύρης πεύκης θα συρρικνωθούν κατά 4% (B2) έως 8% (A2). Επίσης, ορισμένα από τα παράκτια δασικά οικοσυστήματα κινδυνεύουν να μετατραπούν σε λιβάδι ή να ερημοποιηθούν (Le Houérou 1996), (B2: 1%, A2: 2%) . Από τη χωρική ανακατανομή και μείωση της έκτασης των παραγωγικών δασών κατά μέσο όρο από 160 (B2) έως 320 (A2) χιλ. εκτ. αναμένεται μείωση της παραγωγής βιομάζας ξύλου κατά 0,5 κ. μ./εκτ./έτος και συνολικά 80 χιλ. και 160 χιλ. κ. μ. για τα αντίστοιχα σενάρια.

Με την αναμενόμενη αύξηση του CO₂ και της θερμοκρασίας θα επεκταθεί η αυξητική περίοδος των φυτών κατά 10-15 ημέρες ανάλογα με το σενάριο (Chmielewski and Rötzer, 2001), γεγονός που θα έχει θετική συμβολή στην παραγωγή των δασών και των λιβαδιών, καθώς τη χειμερινή περίοδο υπάρχει επάρκεια εδαφικής υγρασίας. Η αυξημένη παραγωγικότητα όμως είναι πολύ πιθανό να μετριαστεί από τη μείωση των κατακρημνισμάτων και τη συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως καύσωνες, πλημμύρες, κ.ά. Σύμφωνα με το υπόδειγμα BIOME3, εκτιμάται ότι ο ρυθμός δέσμευσης του άνθρακα από τα δάση για τα Σενάρια B2 και A2 θα μειωθεί περίπου κατά 25% και 30% αντίστοιχα έως το έτος 2050 και κατά 7% και 15% επιπλέον έως το 2100.¹² Συνολικά στην Ελλάδα αναμένεται να υπάρξει μείωση της παραγωγής ξυλείας κατά μέσο όρο περίπου 27% (B2) έως 35% (A2) έως το 2100. Δηλαδή η αναμενόμενη μείωση της παραγωγής βιομάζας ξύλου με το μέσο όρο των τελευταίων 21 ετών (1960 χιλ. κ.μ., ΥΠΕΚΑ 2010) για τα Σενάρια B2 και A2 υπολογίζεται σε 529,2 χιλ. κ.μ. έως 686 χιλ. κ.μ. το 2100 (Sohngen and Sedjo, 2005). Ταυτόχρονα θα υπάρξει μείωση της λιβαδικής παραγωγής λόγω της μείωσης των κατακρημνισμάτων (Παπαναστάσης, 1982) κατά 10% (B2), που όμως, με βάση το Σενάριο A2, ενδέχεται να είναι έως και 25%. Η μείωση της λιβαδικής παραγωγής εκτιμάται σε 120 χλγρ./εκτ. (B2) και 300 χλγρ./εκτ. (A2) το 2100. Δεδομένου ότι στην Ελλάδα υπάρχουν σήμερα περίπου 5,2 εκατ. εκτ. λιβαδιών, η βιοσκήσιμη ύλη για το σύνολο της χώρας θα μειωθεί κατά 312 χιλ. τόνους (B2) έως 780 χιλ. τόνους (A2) το 2100.

Με την άνοδο της θερμοκρασίας θα αυξηθούν ο αριθμός των πυρκαγιών τη θερινή περίοδο και η συνολική καμένη έκταση, ενώ θα μειωθεί ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών πυρκαγιών (Mouillot et al., 2002). Τα δάση της νότιας ηπειρωτικής χώρας και της Κρήτης αναμένεται να ζημιωθούν περισσότερο (Giannakopoulos et al., 2009, Carvalho et al., 2010). Τη

¹² <http://aede.osu.edu/people/sohngen.1/forests/GTM/index.htm>.

δεκαετία 2000-2010 εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα πάνω από 100 χιλ. πυρκαγιές, καταστρέφοντας κατά μέσο όρο 62 χιλ. εκτ. αγροδασικών εκτάσεων ετησίως (Γκουρμπάτσης, 2010). Εκτιμάται ότι η καμένη έκταση και αναλογικά το συνολικό κόστος καταστολής των πυρκαγιών, των ζημιών και των δαπανών αποκατάστασης θα αυξηθεί περίπου κατά 10% (Σενάριο B2) έως 20% (Σενάριο A2) ετησίως πλέον του σημερινού (Torn et al., 1999, Flannigan et al., 2000, Moriondo et al., 2006, Giannakopoulos et al., 2009, Carvalho et al., 2010, Schelhaas et al., 2010). Το συνολικό κόστος κατάσβεσης και ζημιών από πυρκαγιές, όπως έχει εκτιμηθεί, σήμερα ανέρχεται σε περισσότερο από €400 εκατ. ετησίως. Με την αναμενόμενη κλιματική μεταβολή θα αυξηθεί κατά €40 εκατ. (B2) έως €80 εκατ. (A2).

Με τις δομικές αλλαγές των δασών, όπως τη μείωση της συγκόμωσης, και τα αναμενόμενα εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, εκτιμάται ότι θα αυξηθεί η επιφανειακή απορροή και η διάβρωση κατά 16% (B2) έως 30% (A2). Συνέπεια αυτών θα είναι ο περιορισμός της βαθιάς διήθησης και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων. Αυτό, σε συνδυασμό με την αναμενόμενη αύξηση της εξατμισοδιαπνοής, θα έχει ως συνέπεια τη μείωση της ποσότητας του διαθέσιμου χρησιμοποιήσιμου ύδατος (Arora and Boer 2001) κατά 25% (B2) έως 40% (A2) δηλ. 5 δισεκατ. (B2) έως 8 δισεκατ. (A2) κ.μ./έτος. Επίσης, αναμένεται να μειωθεί η αξία των άυλων αγαθών και λοιπών περιβαλλοντικών υπηρεσιών κατά 5%-10% (de Dios et al., 2007, Founda and Giannakopoulos, 2007).

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας εκτιμάται ότι θα συνεχιστεί με ταχύτερους ρυθμούς από τους σημερινούς και θα φθάσει από 0,25 (B2) έως και 1 μ. (A2) έως το έτος 2100, διαφοροποιώντας τη χωροκατανομή των υπαρχουσών χρήσεων γης στις παράκτιες περιοχές (Nicholls, 2004, Nicholls and Klein, 2005, Bindoff et al., 2007, Rahmstorf, 2007). Σύμφωνα με τον Πούλο (2011, προσωπική επικοινωνία) προβλέπεται να κατακλυσθεί το 15% της σημερινής συνολικής έκτασης των παράκτιων υγροτόπων της Ελλάδος (1.000 τ. χλμ.) εάν σημειωθεί άνοδος της στάθμης κατά 0,5 μ. έως το 2100. Από την άνοδο αυτή, η παραγωγή των παράκτιων δασών δεν αναμένεται να μεταβληθεί σημαντικά, ενώ αυτή των λιβαδιών θα μειωθεί από 26 χιλ. τόνους (B2) έως 52 χιλ. τόνους (A2). Οι παράκτιοι υγρότοποι που αναμένεται να πληγούν περισσότερο είναι τα Δέλτα του Έβρου, του Νέστου, του Αξιού, του Λουδία, του Αλιάκμονα και του Αχελώου, οι λιμνοθάλασσες του Μεσολογίου και της Κυλλήνης και οι κόλποι του Αμβρακικού και του Παγασητικού. Στη νησιωτική Ελλάδα τα σημαντικότερα προβλήματα αναμένεται να εμφανιστούν στη Λήμνο, τη Σάμο, τη Ρόδο, την Κρήτη και την Κέρκυρα (Nicholls and Klein, 2005).

Λόγω των παραπάνω μεταβολών, θα υπάρξουν αρνητικές επιπτώσεις στον τουρισμό και την αναψυχή, κυρίως τον Ιούλιο-Αύγουστο, καθώς η μέση θερμοκρασία του αέρα και η συχνότητα, ένταση και διάρκεια των καυσώνων θα αυξηθούν. Η επέκταση όμως της τουριστικής περιόδου, κυρίως τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο, αναμένεται να αντισταθμίσει τις αρνητικές αυτές συνέπειες, με αποτέλεσμα η συνολική τουριστική κίνηση να μη μεταβληθεί σημαντικά έως το

τέλος του 21ου αιώνα (Rutty, 2009). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό παρουσιάζονται αναλυτικά στο Υποκεφάλαιο 2.7 πιο κάτω. Αν και η ποσοτικοποιημένη πρόβλεψη της επίπτωσης στην υγεία των ανθρώπων και της αύξησης του κόστους υγειονομικής περίθαλψης και αντιμετώπισης των ασθενειών είναι εξαιρετικά αβέβαιη, με την υποβάθμιση των δασικών οικοσυστημάτων αναμένεται να χειροτερεύσει η ποιότητα ζωής στα μεγάλα αστικά κέντρα και να αυξηθούν τα κρούσματα ασθενειών που συνδέονται με την υποβάθμιση του αστικού και περιαστικού περιβάλλοντος (αλλεργίες, καρδιακά επεισόδια, κ.ά.).

2.5.3 Εκτιμήσεις οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής

Ο μέσος όρος της εγχώριας παραγωγής προϊόντων ξύλου (Πίνακας 2.31) για τα έτη 1988-2008 ανέρχεται σε 1.960 χιλ. κ. μέτρα. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Απολογισμού Δραστηριοτήτων Δασικών Υπηρεσιών Έτους 2008,¹³ το 28% του παραγόμενου ξύλου είναι τεχνική ξυλεία και, σύμφωνα με την ΕΣΥΕ (2007), η εγχώρια παραγωγή ξυλείας καλύπτει μόλις το 1/3 των ετήσιων αναγκών σε τεχνική ξυλεία, ενώ η ζήτηση σε καυσόξυλα καλύπτεται πλήρως.

Η τεχνική ξυλεία, η οποία χρησιμοποιείται για παραγωγή προϊόντων όπως πριστή ξυλεία οικοδομών, έπιπλα, κουφώματα, παρκέτα, κορνίζες κ.λπ., μειώθηκε. Το ίδιο χρονικό διάστημα η παραγωγή βιομηχανικού ξύλου, που χρησιμοποιείται για μοριοσανίδες, νοβοπάν, MDF, ξύλινα κιβώτια κ.λπ., αυξήθηκε. Η τεχνική ξυλεία και το βιομηχανικό ξύλο αποτελούν την πρώτη ύλη για τη βιομηχανία παραγωγής μεταποιημένων προϊόντων ξύλου. Η παραγωγή ξυλείας γενικά στην Ελλάδα κατά την τελευταία 20ετία θεωρείται ότι υπολείπεται κατά πολύ της δυναμικής των δασών και αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος παραγωγής, τις φθηνές εισαγωγές ξυλείας και την αποδιοργάνωση της δασικής υπηρεσίας. Η ετήσια παραγωγή τεχνικού ξύλου (Διάγραμμα 2.9) έφθασε στο υψηλότερο επίπεδο παραγωγής το 1999 (812.000 κ.μ.), ποσότητα διπλάσια από τη σημερινή.

Η αξία των πωλήσεων μεταποιημένων προϊόντων ξύλου το 2007 ανήλθε σε €326 εκατ., γεγονός που αναδεικνύει τον κλάδο σε μέγεθος ανάλογης οικονομικής βαρύτητας με το δημοφιλή κλάδο της βιομηχανίας γιαουρτιών, ο οποίος έχει κύκλο εργασιών €353 εκατ. (ΕΣΥΕ, 2007). Τα ατελώς συλλεγόμενα καυσόξυλα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για θέρμανση.

Βάσει των υπαρχόντων δεδομένων για την Ελλάδα, ο οικονομικός πολλαπλασιαστής της επίπτωσης της παραγόμενης ξυλείας στο δευτερογενή τομέα είναι 4,65, δηλαδή €1 παραγόμενου ξύλου από τον παραγωγό αποκτά προστιθέμενη αξία €4,65 από τη βιομηχανία μεταποίησης ξύλου. Η τιμή του πολλαπλασιαστή βρίσκεται μεταξύ 3 και 6,5 που αναφέρεται στη βιβλιογραφία για τη Νέα Ζηλανδία (Griffiths, 2002, Thorpe, 1998), αλλά είναι υψηλότερη από εκείνη (2,68) που έχει βρεθεί για το Ην. Βασίλειο (Forestry Commission, 2000) και πολύ κοντά στον οικονομικό πολλαπλασιαστή απολαβών, 4,89, που εκτιμήθηκε για τα δάση της Καλιφόρνιας στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (California Economic Strategy Panel, 2002).

¹³ <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=588&language=en-US>

Πίνακας 2.31

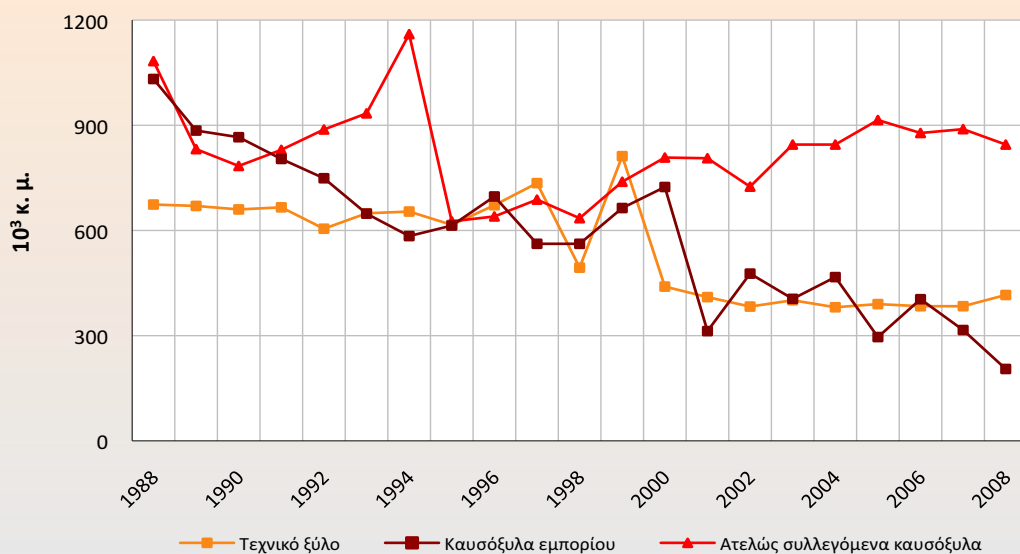
Μέσος όρος ετήσιας παραγωγής ξύλου, 1988-2008

Είδος ξυλείας	10 ³ κ.μ.	% ε/συνόλου
Στρογγύλη ξυλεία (τεχνική ξυλεία)	547,43	27,9
Καυσόξυλα εμπορίου	828,33	42,3
Ατελώς συλλεγόμενα καυσόξυλα	584,48	29,8
Σύνολο	1.960,24	100,0

Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2010.

Για την εκτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή στα δασικά οικοσυστήματα είναι απαραίτητη η πρόβλεψη των τιμών στο μέλλον. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για μια τέτοια πρόβλεψη και πρέπει συνεπώς να αρκεστούμε στις υπάρχουσες τιμές. Οι τιμές τεχνικής ξυλείας και καυσόξυλων που απολαμβάνουν οι παραγωγοί διαμορφωνονταν μέχρι το 1987 βάσει πλειοδοτικών διαγωνισμών που διενεργούσε η Δασική Υπηρεσία. Από το 1987 και μετά, βάσει του Π.Δ. 126/1986, οι Αγροτικοί Δασικοί Συνεταιρισμοί είναι οι δικαιούχοι της ξυλείας που υλοτομούν στα δημόσια δάση και έχουν τη δυνατότητα πώλησής της στο ελεύθερο εμπόριο (Τορορής, 1994). Για το 2010, οι τιμές διαμορφώθηκαν στα €22,3/κ.μ. για τα καυσόξυλα και στα €60,3/κ.μ. για τη στρογγύλη ξυλεία οξυάς (Διεύθυνση Δασών Πέλλας, 2010), ένα από τα σημαντικότερα δασοπονικά είδη της χώρας στην παραγωγή τεχνικής ξυλείας

Διάγραμμα 2.9

Ετήσια παραγωγή ξύλου 1988-2008
(10³ κ.μ.)

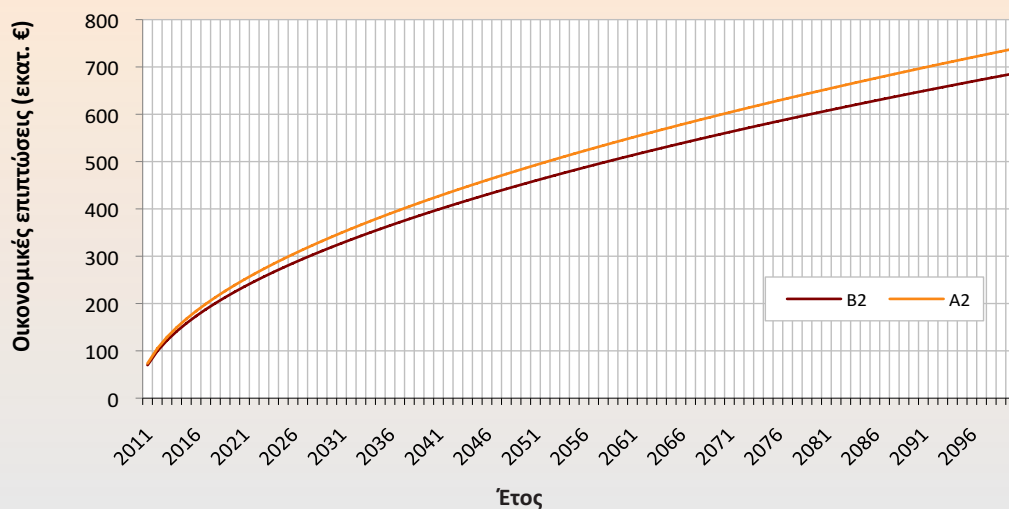
Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2010.

(Ζαφειρίου κ.ά., 2007). Δεδομένου ότι το 27,9% της συνολικής παραγωγής ξυλείας αφορά τεχνικό ξύλο και το υπόλοιπο αφορά καυσόξυλα, η μέση ισοσταθμισμένη τιμή του ξύλου εκτιμάται σε: $(0,279 \times 60,3) + (0,721 \times 22,3) = 32,90$ €/κ. μέτρο. Συνεπώς, η οικονομική επίπτωση από τη χωρική ανακατανομή των δασών θα είναι €2,6 εκατ. (B2) και 10,6 εκατ. (A2) το έτος, ενώ από την αναμενόμενη μείωση παραγωγής ξύλου η επίπτωση θα ανέλθει σε €17,4 εκατ. (B2) και €22,6 εκατ. (A2) το 2100, αντίστοιχα. Εάν χρησιμοποιηθεί ο οικονομικός πολλαπλασιαστής 4,65, η συνολική οικονομική επίπτωση θα είναι μεταξύ €80,9 εκατ. και €105,1 εκατ. το 2100. Δεν υπάρχουν καθορισμένες τιμές για τη βοσκήσιμη ύλη. Δεδομένου όμως ότι 10 χλγρ. βοσκήσιμης ύλης ισοδυναμούν περίπου με 1 χλγρ. αξιοποιήσιμου κρέατος και με σημερινή μέση τιμή κρέατος €5/χλγρ., η ετήσια οικονομική απώλεια από τη μείωση της παραγωγικότητας των λιβαδιών εκτιμάται σε €156 εκατ. (B2) και σε €390 εκατ. (A2) το έτος 2100. Ομοίως, από τη μείωση της έκτασης των υδροτόπων λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και με τις παραπάνω παραδοχές για τη βοσκήσιμη ύλη, η ετήσια οικονομική απώλεια εκτιμάται, σε παρούσα αξία, σε €13 εκατ. (B2) έως €26 εκατ. (A2) το έτος 2100. Η επίπτωση στη δασική παραγωγή από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας εκτιμάται ότι θα είναι ασήμαντη.

Είναι αδύνατον να γίνουν ακριβείς προβλέψεις για την αύξηση του αριθμού και της έντασης των δασικών πυρκαγιών που θα προκληθούν από την κλιματική αλλαγή, αλλά είναι βέβαιο ότι θα υπάρχουν σημαντικές αυξήσεις τόσο του αριθμού όσο και της καταστροφής που προκαλεί κάθε πυρκαγιά. Προβλέπεται ότι η καμένη έκταση δασών θα αυξηθεί κατά 10% (Σενάριο B2) έως 20% (Σενάριο A2), δηλ. κατά 20 χιλ. εκτ. έως 40 χιλ. εκτ. επιπλέον το 2100. Λόγω αύξησης του φαινομένου των πυρκαγιών, με μέσο ξυλαπόθεμα 61 κ.μ./εκτ. εκτιμώνται πρόσθετες οικονομικές επιπτώσεις €40 εκατ. (B2) και €80 εκατ. (A2) το 2100. Με την παραδοχή ότι η αξία κατά κ.μ. αποτιμάται σε τουλάχιστον 25% της κατώτερης τιμής του νερού άρδευσης στη Βουλγαρία (Öko Inc., 2001) δηλ. €0,0026/κ.μ., εκτιμάται ότι η αναμενόμενη ετήσια ζημία από τον περιορισμό του αξιοποιήσιμου υδατικού δυναμικού των 20 δισεκ. κ.μ. (Σούλιος προσωπική επικοινωνία) θα ανέλθει σε €13 εκατ. (B2) και σε €20,8 εκατ. (A2).

Για την εκτίμηση της παρούσας αξίας των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι απαραίτητη η χρήση ενός προεξοφλητικού επιτοκίου και του ρυθμού της ετήσιας μεταβολής των οικονομικών επιπτώσεων από το 2010 έως το 2100. Η χρήση κατάλληλου προεξοφλητικού επιτοκίου για την οικονομική αποτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι ένα σημαντικό θέμα, που έχει απασχολήσει τους οικονομολόγους (Newell and Pizer, 2003, Stern et al., 2006, Dasgupta, 2007, Nordhaus, 2007a, b, Stern and Treasury, 2007, Stern, 2008, Weitzmann, 2007). Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η οικονομική αποτίμηση με τη χρήση δύο προεξοφλητικών επιτοκίων (Nordhaus, 2007a, b), το 1%, μακροπρόθεσμο επιτόκιο, δηλ. περισσότερο από 300 χρόνια, και το 3%, επιτόκιο για τα πρώτα χρόνια της κλιματικής αλλαγής. Δεν υπάρχει σαφής απάντηση στο ερώτημα ποιο είναι το κοινωνικά άριστο προεξοφλητικό επιτόκιο, καθώς το ερώτημα είναι στην ουσία ηθικό και αφορά τη σύγκριση της κοι-

Διάγραμμα 2.10

Εκτιμήσεις οικονομικών επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής (2011-2100)
(Εκατ. ευρώ)

2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής κατά τομέα

νωνικής και οικονομικής ευημερίας της παρούσας γενεάς με εκείνη των μελλοντικών, στη συγκεκριμένη περίπτωση των γενεών που θα ζουν το 2050 και το 2100 (Varian, 2006).

Το υπόδειγμα BIOME3, με βάση το οποίο εκτιμήθηκαν οι φυσικές επιπτώσεις στα δασικά οικοσυστήματα, δεν παρέχει ετήσιες προβλέψεις αλλά μόνο για τα έτη 2050 και 2100. Με τα περιορισμένα δεδομένα που υπάρχουν, γίνεται εδώ η παραδοχή ότι η μεταβολή της βιομάζας ακολουθεί τη μορφή απλής εκθετικής συνάρτησης. Η συνάρτηση που αρμόζει καλύτερα και χρησιμοποιήθηκε στις παρατηρήσεις του Σεναρίου B2 για την εκτίμηση των ετήσιων οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι $y=69,91x^{0,507121}$, όπου y η μεταβολή της βιομάζας (10^3 κ.μ.) και x τα έτη ($x=1$: έτος 2011 έως $x=90$: έτος 2100). Η συνάρτηση που περιγράφει τις παρατηρήσεις του Σεναρίου A2 της κλιματικής αλλαγής είναι $y=73,423x^{0,512566}$. Οι εκτιμώμενες οικονομικές επιπτώσεις που προέκυψαν από τις παραπάνω συναρτήσεις για τα επόμενα 90 έτη (2011-2100) παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2.10.

Η παρούσα αξία των άμεσων οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Πίνακας 2.32) στα δασικά οικοσυστήματα, για τα δύο πιο πιθανά σενάρια κλιματικής αλλαγής, B2 και A2, και για δύο προεξοφλητικά επιτόκια, 1% και 3%, κυμαίνεται από €1,4 δισεκ. (B2) με προεξοφλητικό επιτόκιο 3% έως €9,5 δισεκ. (A2) με προεξοφλητικό επιτόκιο 1%. Οι επιπτώσεις των επιτοκίων είναι πολύ μεγαλύτερες από τις επιπτώσεις των δύο κλιματικών σεναρίων που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 2.32). Σε κάθε περίπτωση όμως, λόγω της πληθώρας των αβεβαιοτήτων μιας μελλοντικής πρόβλεψης και εκτίμησης αυτής της μορφής, οι συγγραφείς θεωρούν ότι οι εκτιμώμενες τιμές θα πρέπει να ληφθούν ως κατώτατο όριο (lower bound) των πραγμα-

Πίνακας 2.32

Εκτιμήσεις παρούσας αξίας οικονομικών επιπτώσεων στα δασικά οικοσυστήματα μέχρι το 2100 (Εκατ. ευρώ)

Επιτόκιο	1%		3%	
Παρούσα αξία	Σενάριο			
	B2	A2	B2	A2
Ανακατανομή δασών	46,7	94,8	14,9	30,4
Πυρκαγιές	721,2	1.462,1	231,0	470,9
Άνοδος στάθμης θάλασσας	116,8	237,4	37,4	76,2
Βιομάζα ξύλου και βοσκ. ύλης	3.154,2	7.300,9	1.014,0	2.320,2
Χρησιμοποίησιμο νερό	235,4	376,7	75,5	120,9
Σύνολο	4.274,4	9.471,9	1.372,8	3.018,6

τικών οικονομικών επιπτώσεων. Στην άποψη αυτή συνηγορεί επίσης το γεγονός ότι οι εκτιμήσεις βασίζονται μόνο στις άμεσες επιπτώσεις από τα δασικά οικοσυστήματα, χωρίς να ληφθούν υπόψη όλες οι έμμεσες επιπτώσεις στις περιβαλλοντικές υπηρεσίες που προσφέρουν τα δασικά οικοσυστήματα, επιπτώσεις που πιθανόν να είναι πολύ σημαντικότερες από τις άμεσες.

2.5.4 Προσαρμογή διαχείρισης για το μετριασμό των επιπτώσεων

Για το μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών στα δασικά οικοσυστήματα είναι απαραίτητο να ληφθούν εγκαίρως ειδικά διαχειριστικά μέτρα. Η προσαρμογή αυτή θα εστιαστεί στην εντατικοποίηση των καλλιεργητικών παρεμβάσεων για περιορισμό του ανταγωνισμού, των διαβρώσεων και των πλημμυρών, καθώς και για την εξομάλυνση του υδατικού ισοζυγίου με την αξιοποίηση των χειμερινών κατακρημνισμάτων και τη λήψη μέτρων για αποφυγή πιθανής ερημοποίησης περιοχών με χαμηλό υψόμετρο. Το κόστος προσαρμογής της διαχείρισης για την αντιστάθμιση των δυσμενών επιπτώσεων για τα Σενάρια B2 και A2 θα κυμαίνεται από 25% έως 40% αντίστοιχα (Bou-Zeid and El-Fadel, 2002) υψηλότερα από το συνολικό κόστος διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων που το 2008 ήταν €120 εκατομμύρια. Για τον περιορισμό των διαβρώσεων θα απαιτηθεί η κατασκευή από 1.000 (B2) έως και 2.000 (A2) φραγμάτων συγκράτησης φερτών υλικών και ορισμένων συνοδών έργων με συνολικό κόστος έκαστου φράγματος €0,5 εκατομμύριων. Για την εξομάλυνση του υδατικού ισοζυγίου, θα απαιτηθεί η κατασκευή 500 (B2) έως 1.000 (A2) υδατοφραγμάτων συγκράτησης των χειμερινών όμβριων υδάτων των €0,5 εκατ. κ.μ., κόστους €3,5 εκατ./φράγμα, και 200 (B2) έως 400 (A2) φραγμάτων εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων, κόστους €0,3 εκατ./φράγμα, με σκοπό την εξοικονόμηση ύδατος ύδρευσης και άρδευσης. Για τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων των αυξημένων πυρκαγιών θα απαιτηθεί εκσυγχρονισμός-αναδιοργάνωση των

μέσων και των μεθόδων πρόληψης και αντιμετώπισης πυρκαγιών, καθώς και αποκατάστασης των καμένων περιοχών. Για την αποφυγή κατάκλυσης παράκτιων περιοχών υψηλής οικολογικής και οικονομικής σημασίας (π.χ. Δέλτα ποταμών, λιμνοθάλασσες) θα απαιτηθεί η κατασκευή αναχωμάτων συνολικού μήκους 100 χλμ. (B2) και 200 χλμ. (A2). Τα έργα αυτά θα συμβάλουν στη διατήρηση και σταθεροποίηση των εν λόγω οικοσυστημάτων (Day et al., 1995). Με τις ενέργειες μετριασμού αναμένεται να περιοριστούν σημαντικά οι δυσμενείς επιπτώσεις, αλλά συνολικά θα υπάρξει μείωση των παραγόμενων υλικών και άυλων αγαθών και υπηρεσιών που προέρχονται από τα δασολιβαδικά οικοσυστήματα.

Πέραν των ανωτέρω, απαιτείται εφαρμογή και πρόσθετων, κυρίως θεσμικών μέτρων όπως: κατάρτιση δασολογίου, εκσυγχρονισμός του νομοθετικού πλαισίου ως προς τις προδιαγραφές σύνταξης και εφαρμογής μελετών για τα δασικά οικοσυστήματα, την πρόληψη-αντιμετώπιση των πυρκαγιών και την αναδιοργάνωση των δασικών υπηρεσιών. Εάν εφαρμοστούν και αυτά, αναμένεται να υπερκεραστούν οι δυσμενείς επιπτώσεις από την κλιματική μεταβολή και να υπάρξουν πρόσθετα θετικά αποτελέσματα από την αύξηση της παραγωγής των δασών και λιβαδιών. Εάν ληφθούν τα θεσμικά αυτά μέτρα, θα υπάρξει αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας των δασών σε CO₂, μείωση της διάβρωσης και απορροής, καθώς και περιορισμός τόσο του αριθμού και της συχνότητας των πυρκαγιών όσο και της καμένης έκτασης σε σύγκριση με τα σημερινά επίπεδα. Επιπρόσθετα, προβλέπεται ότι θα περιοριστεί και θα σταθεροποιηθεί το φαινόμενο της ερημοποίησης και, ταυτόχρονα, θα προστατευθούν αποτελεσματικότερα οι πληθυσμοί ευαίσθητων και σπάνιων ειδών και οι βιότοποί τους. Συμπερασματικά εκτιμάται ότι, εάν ληφθούν άμεσα και τα εξειδικευμένα πρόσθετα θεσμικά μέτρα και εφαρμοστούν οι κατάλληλες νομοθετικές ρυθμίσεις και πολιτικές, σχεδόν θα αντισταθμιστούν οι αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, κρίνεται απαραίτητη η εντατικοποίηση της έρευνας αναφορικά με τις διαχειριστικές παρεμβάσεις για τη διατήρηση και βελτίωση της αειφόρου παραγωγής των οικοσυστημάτων αυτών. Η αναστροφή της πορείας υποβάθμισης των δασικών οικοσυστημάτων της χώρας από την επερχόμενη κλιματική αλλαγή και η επαναφορά τους σε παραγωγικότερη φάση είναι ένα στοίχημα που πρέπει να κερδηθεί.

Το κόστος προσαρμογής για περιορισμό των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα, θα ανέλθει: (α) για τη διαχείριση (καλλιεργητικές παρεμβάσεις, συστήματα βόσκησης κ.λπ.) των δασικών οικοσυστημάτων σε €30 εκατ./έτος (B2) και €50 εκατ./έτος (A2), (β) για τη βελτίωση της δασοπυρόσβεσης σε €40 εκατ./έτος (B2) και €80 εκατ./έτος (A2), (γ) για την κατασκευή φραγμάτων συγκράτησης στερεών υλικών σε €0,50 δισεκ. (B2) και €1,00 δισεκ. (A2), εφάπαξ και περιοδικό κόστος συντήρησης και επισκευής, (δ) για την κατασκευή υδατοφραγμάτων αποθήκευσης ομβρίων σε €1,75 δισεκ. (B2) και €3,50 δισεκ. (A2), εφάπαξ και περιοδικό κόστος συντήρησης, (ε) για την κατασκευή αναχωμάτων συγκράτησης θαλάσσιων υδάτων σε €0,10 δισεκ. και €0,20 δισεκ., εφάπαξ και περιοδικό κόστος συντήρησης. Συνολικό κόστος προσαρμογής: €70 εκατ. (B2) έως €130 εκατ./έτος και εφάπαξ €2,35 δισεκ. (B2) και €4,70 δισεκ. (A2).

2.5.5 Συμπεράσματα

Ανάλογα με το σενάριο της κλιματικής μεταβολής, B2 ή A2, θα υπάρξει:

1. Χωρική ανακατανομή των δασών (αύξηση θερμόβιων ειδών 2%-4%, ερημοποίηση 1-2%, μείωση ψυχρόβιων ειδών 4-8% και μείωση της βιοποικιλότητας). Από την ανακατανομή θα προκύψει μείωση παραγωγής βιομάζας ξύλου κατά 80-160 χιλ. κ. μ. για το έτος 2100.
2. Μείωση της αποθηκευτικής ικανότητας των δασικών οικοσυστημάτων σε άνθρακα από 32% έως 45% σε σχέση με τη σημερινή, καθώς και μείωση της παραγωγής προϊόντων ξύλου κατά 27-35%, δηλ. από 529,2 έως 686 χιλ. κ. μ. για το έτος 2100.
3. Μείωση της παραγωγής βοσκήσιμης ύλης από τις δασικές εκτάσεις κατά 10-25%, δηλ. κατά 312-780 χιλ. τόνους το έτος 2100. Πέραν αυτής, θα υπάρξει μείωση της λιβαδικής παραγωγής κατά 26-52 χιλ. τόνους, λόγω της μείωσης της επιφάνειας των παράκτιων υγροτόπων εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στο τέλος του αιώνα.
4. Πρόσθετο κόστος, τόσο από την κατάσβεση όσο και από τις συνέπειες των πυρκαγιών, €40-80 εκατ. στο τέλος του 21ου αιώνα. Γι' αυτό, απαιτείται εκσυγχρονισμός των μέσων και μεθόδων πρόληψης και αντιμετώπισης των πυρκαγιών, καθώς και αποκατάστασης των καμένων περιοχών.
5. Επιτακτική ανάγκη να εντατικοποιηθούν οι καλλιεργητικές παρεμβάσεις και να εφαρμοστούν ειδικά συστήματα βόσκησης για τον περιορισμό του ανταγωνισμού και τη διατήρηση της παραγωγικότητας και της βιοποικιλότητας. Με τις παρεμβάσεις αυτές θα υπάρξει βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου και αποφυγή πλημμυρών και ερημοποίησης.
6. Ανάγκη κατασκευής υδατοφραγμάτων για συγκράτηση των χειμερινών κατακρημνισμάτων στην ορεινή ζώνη και κατασκευή αναχωμάτων για αποφυγή κατάκλυσης της παράκτιας χαμηλής ζώνης από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.
7. Επιτακτική ανάγκη να εφαρμοστούν άμεσα πρόσθετα θεσμικά μέτρα όπως:
α) Κατάρτιση δασολογίου κατ' επιταγήν του Συντάγματος και όχι δασικών χαρτών, για μείωση των πυρκαγιών και των συνεπειών τους κατά 50%. β) Εκσυγχρονισμός νομοθετικού πλαισίου και προδιαγραφών σύνταξης και εφαρμογής μελετών για τα δασικά οικοσυστήματα.
8. Ανάγκη δημιουργίας ξηρανθεκτικών δασικών ειδών με μικρό συντελεστή αποτελεσματικότητας εξατμισιδιαπνοής, για ικανοποιητική παραγωγή σε ξηροθερμικότερες συνθήκες.
9. Συνολικό κόστος για τις παντοειδείς υλικές επιπτώσεις από την κλιματική μεταβολή, μέχρι το τέλος του αιώνα, €4-9,5 δισεκ. με προεξοφλητικό επιτόκιο 1% και €1,5-3,3 δισεκ. με προεξοφλητικό επιτόκιο 3%.
10. Συνολικό κόστος προσαρμογής €70-130 εκατ./έτος και εφάπαξ €2,35-4,70 δισεκατομμύρια.

2.6 Βιοποικιλότητα και οικοσυστήματα*

Σύμφωνα με τη Σύμβαση για τη Βιολογική Ποικιλότητα (άρθρο 2, “Ορισμοί”), ως “Βιολογική Ποικιλότητα” νοείται η ποικιλία των ζώντων οργανισμών κάθε προέλευσης, περιλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, χερσαίων, θαλάσσιων και άλλων υδατικών οικοσυστημάτων και οικολογικών συμπλεγμάτων, των οποίων οι εν λόγω οργανισμοί αποτελούν μέρος. Επίσης, συμπεριλαμβάνεται η ποικιλότητα εντός των ειδών, μεταξύ ειδών και μεταξύ οικοσυστημάτων.

Η Ελλάδα διακρίνεται για τη βιολογική ποικιλότητά της, η οποία είναι από τις μεγαλύτερες στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Αυτό οφείλεται σε παράγοντες όπως η κλιματική ποικιλία της χώρας, η γεωγραφική θέση της στα όρια τριών ηπείρων, η σύνθετη γεωλογική ιστορία της και η μεγάλη τοπογραφική ποικιλότητά της (έντονο ανάγλυφο, εκτεταμένος κατακερματισμός χέρσου, μεγάλος αριθμός σπηλαίων, παρουσία θάλασσας, σχετικά ήπιες, μέχρι πρόσφατα, ανθρώπινες παρεμβάσεις), οι οποίοι έθεσαν τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη και στήριξη μεγάλης ποικιλίας φυτών, ζώων, οικοσυστημάτων και τοπίων (Ντάφης κ.ά., 1997). Από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της βιοποικιλότητας της Ελλάδος είναι ο υψηλός ενδημισμός για τις περισσότερες ζωικές και φυτικές ομάδες. Πολλά ενδημικά είδη έχουν πολύ περιορισμένη εξάπλωση (π.χ. σε μια μόνο νησίδα, ένα βουνό, κ.λπ.) και συνεπώς είναι πολύ ευαίσθητα σε διαταραχές.

Η κλιματική αλλαγή συγκαταλέγεται στα κυριότερα άμεσα αίτια απώλειας της βιοποικιλότητας, όπως και αλλαγών στις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο (Millennium Assessment, 2005). Σε πανευρωπαϊκή κλίμακα, σύμφωνα με την Τέταρτη Αξιολόγηση για το Περιβάλλον του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (2007), η κλιματική αλλαγή όλο και περισσότερο αναγνωρίζεται ως σοβαρή απειλή, ιδίως σε ό,τι αφορά τα παράκτια, αλπικά και αρκτικά είδη και ενδιαιτήματα.

Το Διακυβερνητικό Σώμα για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), στην τέταρτη έκθεσή του (Alcamo et al., 2007), συμπέρανε ότι η κλιματική αλλαγή θα έχει σημαντικές επιπτώσεις για πολλές από τις επιμέρους συνιστώσες της βιολογικής ποικιλότητας: τα οικοσυστήματα, τα είδη, τη γενετική ποικιλότητα εντός των ειδών, όπως και τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις.

Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στη βιοποικιλότητα είναι πολύπλευρες. Η βιοποικιλότητα μπορεί να επηρεάζεται από έναν συνδυασμό: (α) άμεσων επιπτώσεων στους οργανισμούς (για παράδειγμα, η θερμοκρασία επηρεάζει τα ποσοστά επιβίωσης, την αναπαραγωγική επιτυχία, τα πρότυπα διασποράς και συμπεριφοράς), (β) επιπτώσεων μέσω βιοτικών αλληλεπιδράσεων (π.χ. παραχώρηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος) και (γ) επιπτώσεων μέσω μεταβολής των αβιοτικών παραγόντων (π.χ. κατάκλυση με νερό, μεταβολές ωκεάνιων ρευμάτων).

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.6 συνεργάστηκαν οι: Ευγενία Βέλλα, Ευθυμία Κυριακοπούλου, Βασιλική Τσιαούση, Χαράλαμπος Δουλγέρης, Δήμητρα Κεμιτζόγλου, Αναστάσιος Ξεπαπαδέας, Δημήτριος Παπαδήμος, Μιλτιάδης Σεφερλής και Βασιλική Χρυσοπολίτου.

Ωστόσο, η κλιματική αλλαγή δεν είναι η μόνη πίεση που επιδρά στη βιοποικιλότητα, ενώ τα αποτελέσματά της εξαρτώνται και από τις αλληλεπιδράσεις με άλλες πιέσεις, όπως η αλλαγή των χρήσεων γης και η απώλεια ενδιαιτημάτων (Millennium Assessment, 2005), που μειώνουν την ικανότητα των οργανισμών να μετατοπίσουν την εξάπλωσή τους ως αντίδραση στην κλιματική αλλαγή (Campbell et al., 2009).

Επισημαίνεται ότι η Νότια Ευρώπη βιώνει ήδη εξαιρετικά ξηρές καιρικές συνθήκες, όπου οι βροχοπτώσεις έχουν μειωθεί έως και 20% κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα (EEA, 2010). Μάλιστα, τα μεσογειακά οικοσυστήματα συγκαταλέγονται μεταξύ των πλέον ευάλωτων στην Ευρώπη (EEA, 2005, Schröter et al., 2005, Berry et al., 2007), αφού βρίσκονται κοντά στα περιβαλλοντικά τους όρια. Αντίστοιχα, και η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις πλέον ευάλωτες περιοχές της Ευρώπης λόγω αφενός της αύξησης των θερμοκρασιών και αφετέρου της μείωσης των βροχοπτώσεων σε περιοχές στις οποίες ήδη παρατηρείται λειψυδρία, καθώς και λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά μήκος της μεγάλης παράκτιας ζώνης της (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007).

Σε ό,τι αφορά τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στα είδη, αναμένονται διαφορές ως προς τις αντιδράσεις τους και μεταβολή της εξάπλωσης πολλών από αυτά στην Ευρώπη (Harrison et al., 2006). Στο πλαίσιο ειδικής έρευνας, προσομοιώθηκε η εξάπλωση για 1.350 είδη φυτών της Ευρώπης κάτω από επτά διαφορετικά σενάρια αλλαγής του κλίματος (Thuiller, 2005). Περισσότερα από τα μισά είδη που μελετήθηκαν αναμένεται να περιέλθουν στην κατηγορία των τρωτών ή απειλούμενων το έτος 2080. Ωστόσο, οι εκτιμήσεις φαίνεται να διαφέρουν πολύ τόσο μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων αλλαγής του κλίματος όσο και μεταξύ των διαφορετικών περιοχών. Στη Νότια Ευρώπη, σε περιοχές της Ιβηρικής Χερσονήσου, στην Ιταλία και στην Ελλάδα αναμένονται μειώσεις της αφθονίας των ειδών, ενώ η εξάπλωσή τους θα εξαρτηθεί και από τη διαθεσιμότητα των κατάλληλων ενδιαιτημάτων.

Τα ενδημικά φυτά και σπονδυλωτά της Μεσογείου φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερος ευάλωτα στις κλιματικές αλλαγές (Malcolm et al., 2006). Κάτω από συνθήκες μηδενικής δυνατότητας μετανάστευσης, τα περισσότερα αμφίβια και ερπετά στη Νοτιοδυτική Ευρώπη αναμένεται να αντιμετωπίσουν σημαντική απώλεια του εύρους εξάπλωσής τους (Araújo et al., 2006).

Στο πλαίσιο της έρευνας των Harrison et al. (2006) για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βιοποικιλότητα, χρησιμοποιήθηκε το ομοίωμα SPECIES για την προσομοίωση του πιθανού κλιματικού χώρου 47 ειδών σε όλη την Ευρώπη. Από τους ελληνικούς οικοτόπους, επιλέχθηκε να μελετηθούν τα φρύγανα *Sarcopoterium spinosum* και είδη που χρησιμοποιούν αυτόν τον οικοτόπο. Από αυτά, το *Vulpes vulpes* δεν εμφανίζει καμία αλλαγή στον κλιματικό του χώρο σε όλα τα σενάρια μεταβολής του κλίματος, ενώ τα δύο φυτικά είδη *Genista acanthoclada* και *Sarcopoterium spinosum* δείχνουν μεγάλη αύξηση (386% και 198%, αντίστοιχα, σύμφωνα με ένα σενάριο), εξαπλούμενα από τη Νοτιοδυτική, μέσω της Κεντρικής, στη Βόρεια Ευρώπη και κατά μήκος της Δυτικής Γαλλίας και της Ισπανίας. Ειδικά

για το *Sarcopoterium spinosum*, η πρόβλεψη δείχνει εξάπλωση ακόμα πιο βόρεια, στη Σκανδιναβία. Από τα μεσογειακά είδη δρυός, το *Quercus macrolepis* ακολουθεί ένα παρόμοιο πρότυπο μετατόπισης της εξάπλωσής του, κυρίως διαμέσου των Βαλκανίων και της Γαλλίας, ενώ ο δρυοκολάπτης *Dendrocops medius* εμφανίζει μείωση της περιοχής εξάπλωσής του στον κεντρικό ευρωπαϊκό κλιματικό χώρο, συνοδευόμενη από μια αξιοσημείωτη βόρεια εξάπλωση προς τη Σκανδιναβία σύμφωνα με ένα από τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής. Το είδος *Olea europaea* κερδίζει τον περισσότερο χώρο από όλα τα είδη ελιάς, επεκτεινόμενο προς τα δυτικά και βορειοδυτικά της περιοχής εξάπλωσής του. Το είδος *Matricaria chamomilla*, από τα φυτά, και το είδος *Sciurus anomalus*, από τα ζώα, χάνουν επιφάνεια εξάπλωσης από τα δυτικά και νοτιοδυτικά, ενώ το *Matricaria chamomilla* κερδίζει χώρο ακόμη πιο βόρεια προς τη Σκανδιναβία. Εν συνόψει, τρία είδη αντιμετωπίζουν σημαντική μείωση στον προβλεπόμενο κλιματικό χώρο στην Ελλάδα: τα *Matricaria chamomilla*, *Sciurus anomalus* και *Quercus macrolepis*, χάνοντας 88%, 98% και 56%, αντίστοιχα, σύμφωνα με ένα από τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής.

Σύμφωνα με τους Schwartz et al. (2006), οι μεγαλύτερες μειώσεις της αφθονίας των ειδών αναμένεται να συμβούν στη Νότια Ευρώπη, σε περιοχές της Ιβηρικής Χερσονήσου, στην Ιταλία και στην Ελλάδα, όπου η πλειονότητα των νησιών της Μεσογείου προβλέπεται να χάσουν, κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις, έως και 100% της τρέχουσας αφθονίας των ειδών τους. Αναφορικά με ορισμένα θηλαστικά της Ελλάδος και σύμφωνα με τους Levinsky et al. (2007), το είδος *Acomys minous*¹⁴ και το κρητικό ενδημικό είδος *Crocidura zimmermanni* αναμένεται να εξαφανιστούν από τη χώρα, κάτω από σενάρια τόσο σοβαρής όσο και ήπιας κλιματικής αλλαγής, με την παραδοχή ότι δεν υπάρχει δυνατότητα μετανάστευσης. Το ίδιο ισχύει και για τα είδη *Myomimus roachi* και *Sciurus anomalus*. Τα ενδημικά είδη, εκπροσωπούμενα στο ομοίωμα από την ολότητα των κλιματικών θέσεών τους, εμφανίζονται πιο ευάλωτα στην κλιματική αλλαγή (με βάση την παραδοχή της μη μετανάστευσης) σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη, κυρίως εξαιτίας της πιο περιορισμένης εξάπλωσής τους (Schwartz et al., 2006).

Σε ό,τι αφορά τη χλωρίδα, στα Λευκά Όρη της Κρήτης οι Kazakis et al. (2007) συσχέτισαν τα αγγειόφυτα της περιοχής με κλιματικά δεδομένα. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας, προβλέπουν ότι περιοχές με νότια έκθεση είναι πιθανό να δεχθούν νωρίτερα εισβολή από θερμοφιλά είδη, ενώ οι εκθέσεις προς το βορρά είναι πιθανό να είναι περισσότερο ανθεκτικές στις αλλαγές. Η κατανομή των ειδών αναμένεται να εξαρτηθεί επίσης από τη διαθεσιμότητα των ενδειατημάτων και πολλά, ήδη απειλούμενα, στενόνοικα ενδημικά είδη αναμένεται να επηρεαστούν πρώτα από την αναμενόμενη αλλαγή του κλίματος.

Τέλος, αναφορικά με τα ψάρια των εσωτερικών υδάτων, από τον Κατάλογο των Ερυθρών Δεδομένων της Διεθνούς Ένωσης για την Προστασία της Φύσης (IUCN) προκύπτει ότι 60 από

¹⁴ Το είδος *Acomys minous* δεν θεωρείται πια διαφορετικό από το βορειοαφρικανικό είδος *Acomys cahirinus*.

τα 127 αυτόχθονα είδη (ποσοστό ~47%) που απαντούν στην Ελλάδα (Οικονομίδης, 2009) απειλούνται από την κλιματική αλλαγή. Από αυτά τα 60 είδη ψαριών: α) τα 31 είναι ενδημικά, δηλαδή απαντούν μόνο στα υδατικά συστήματα της χώρας μας και πουθενά αλλού στον πλανήτη, και β) τα 35 έχουν ταξινομηθεί (Οικονομίδης 2009) σε κάποια από τις τρεις κατηγορίες κινδύνου (10 Κρισίμως Κινδυνεύοντα, 11 Κινδυνεύοντα και 14 Τρωτά), σύμφωνα με τα κριτήρια της IUCN.

Σε ό,τι αφορά τα δασικά οικοσυστήματα στην Ελλάδα, τρία φαινόμενα μεταβολών θα μπορούσαν να αποδοθούν στην αλλαγή του κλίματος ή να συνδεθούν με αυτήν (Ντάφης, προσ. επικ. 2009): η ξήρανση της ελάτης, η εισβολή κωνοφόρων σε δάση φυλλοβόλων και η ξήρανση της δασικής πεύκης.

Ειδικότερα:

- Η νέκρωση δένδρων ελάτης εμφανίζεται, ιδιαίτερα στα ξηροόρια της, στην Πελοπόννησο αλλά και στην υπόλοιπη Ελλάδα. Το φαινόμενο πρωτοεμφανίστηκε σε μαζική μορφή το 1989, μετά τα δύο ξηρά και υπερβολικά θερμά καλοκαίρια του 1987 και του 1988. Στην αρχή αποδόθηκε σε επιδημία φλοιοφάγων εντόμων. Ωστόσο, τα φλοιοφάγα έντομα δρουν δευτερογενώς και ευνοούνται από την εξασθένηση των δένδρων. Η νέκρωση αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα, πιθανώς με μικρότερη ένταση.
- Η εισβολή κωνοφόρων, ιδιαίτερα της υβριδογενούς ελάτης και της μαύρης πεύκης, εμφανίζεται σε δάση πλατύφυλλων ειδών, ιδιαίτερα της πλατύφυλλης δρυός (*Quercus frainetto*), της ευθύφλοιης δρυός (*Quercus cerris*), της καστανιάς και λιγότερο της οξιάς.
- Η νέκρωση ατόμων της δασικής πεύκης παρουσιάζεται στα Πιέρια Όρη. Η νέκρωση οφείλεται στην προσβολή από μύκητες και έντομα, η οποία όμως μπορεί να είναι δευτερογενής.

Από τα υγροτοπικά συστήματα, πολλά εφήμερα αναμένεται να εξαφανιστούν και πολλά μόνιμα να συρρικνωθούν (Alvarez Cobelas et al., 2005). Σε ό,τι αφορά τους παράκτιους υγροτόπους της Μεσογείου, σε πολλές περιοχές φαίνεται ότι αυτοί απειλούνται με απώλεια ή σημαντικές μεταβολές της ιζηματοπόθεσης, καθώς η θέση τους συνδέεται στενά με τη στάθμη της θάλασσας. Ωστόσο, η ικανότητά τους να αντιδρούν δυναμικά στις μεταβολές αυτές θα πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά (French et al., 1995, από Nicholls and Hoozemans, 1996). Σύμφωνα με τα περιφερειακά ομοιώματα, η κλιματική αλλαγή ενδέχεται να επηρεάσει σημαντικά τις μεσογειακές λίμνες, από άποψη διαθεσιμότητας και ποιότητας νερού (Dimitriou and Moussoulis, 2010). Τυχόν σημαντική μείωση των υγροτοπικών εκτάσεων αναμένεται να επηρεάσει τις διαδρομές των μεταναστευτικών πτηνών, που εξαρτώνται κυρίως από τη διαθεσιμότητα κατάλληλων μεσογειακών ενδιαιτημάτων για διαχείμαση και ανάπαυση κατά την πορεία τους από το βορρά προς το νότο. Σε ό,τι αφορά συγκεκριμένους υγροτόπους της Ελλάδος, με βάση αδημοσίευτα δεδομένα του ΕΚΒΥ (βλ. Δουλγέρης και Παπαδήμος, 2010) και προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου των λιμνών Χειμαδίτιδας και Κερκίνης με ιστορικά κλιματικά δεδομένα και με τα κλιματικά Σενάρια Α1Β για την περίοδο

2020-2050 και A1B και A2 για την περίοδο 2070-2100, αναμένεται μείωση της επιφάνειας του νερού της Χειμαδίτιδας από 20% έως 37% και μείωση της επιφάνειας της λίμνης Κερκίνης από 5% έως 14%. Ταυτοχρόνως, στην Τριχωνίδα, τη μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδος, αναμένεται μείωση της στάθμης της και αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου (Dimitriou and Moussoulis, 2010).

Σε ό,τι αφορά τους παράκτιους λειμώνες του ενδημικού μεσογειακού αγγειόσπερμου *Posidonia oceanica*, φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στις φυσικές και χημικές μεταβολές που προκαλούνται από ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα (π.χ. καταιγίδες και πλημμύρες, Orr et al., 1992, Bombace, 2001), καθώς αυτά τα φαινόμενα προκαλούν τη διάθεση μεγάλων ποσοτήτων χερσαίων αιωρούμενων στερεών και ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επειδή αυτοί οι λειμώνες αποτελούν τόπο φωτοκίας και αναπαραγωγής για πολυάριθμα θαλάσσια είδη και διαδραματίζουν σημαντικό οικολογικό ρόλο, τυχόν υποβάθμιση ή εξαφάνισή τους αναμένεται να έχει σοβαρές συνέπειες για τα παράκτια οικοσυστήματα (Francour, 1997, από Gambaianni et al., 2009).

Σε σύγκριση με τα χερσαία οικοσυστήματα, η θάλασσα έχει μελετηθεί πολύ λιγότερο και τα ιστορικά δεδομένα που την αφορούν είναι σύγχρονα (Roberts and Hawkins, 1999, από Bianchi and Morri, 2000). Στη Μεσόγειο Θάλασσα αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση των απορροών (από EEA-JRC-WHO, 2008). Οι μεταβολές των βιοχημικών και φυσικών ιδιοτήτων του θαλασσινού νερού που προκύπτουν από την υπερθέρμανση του πλανήτη είναι πιθανό να έχουν επιπτώσεις στη θαλάσσια βιοποικιλότητα, την παραγωγικότητα και τα τροφικά πλέγματα, αλλά και να δώσουν ώθηση σε εξάπλωση ασθενειών, άνθιση τοξικών φυκών και διάδοση θερμόφιλων ειδών (από Gambaianni et al., 2009). Τα θαλάσσια χωροκατακτητικά ξενικά είδη προκαλούν απώλεια της βιοποικιλότητας, οδηγώντας αυτόχθονα είδη στην εξαφάνιση, μπορούν να μεταβάλουν σημαντικά τη δομή και τις λειτουργίες του θαλάσσιου οικοσυστήματος, όπως και να προκαλέσουν βλάβες στις οικονομικές δραστηριότητες (αλιεία, τουρισμός κ.ά.) και στην ανθρώπινη υγεία. Αυτό συμβαίνει ιδίως όταν τα εν λόγω είδη εισβάλλουν σε ένα οικοσύστημα που θεωρείται ήδη ευάλωτο εξαιτίας άλλων πιέσεων (από EEA, 2010). Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στη Μεσόγειο (Salat and Pasqual, 2002) διευκόλυνε την είσοδο, τον εγκλιματισμό και την εγκατάσταση τροπικών θαλάσσιων μικροφυκών και άλλων οργανισμών (μακροφύκη, μαλάκια, ψάρια, Occhipinti-Ambrogi, 2007). Στις ελληνικές θάλασσες, μια πολυετής ανάλυση τάσεων που βασίζεται σε πρόσφατη απογραφή των ξενικών ειδών αποκάλυψε αύξησή τους κατά τα τελευταία έτη (Pancucci-Papadopoulou et al., 2005). Το αυξημένο ποσοστό των εισβολών στις ελληνικές θάλασσες θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα μιας συνέργειας διαφορετικών αιτιών, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται η υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την εισαγωγή ή και εξάπλωση μιας σειράς ξενικών ειδών, ιδιαίτερα ορισμένων θερμόφιλων λεσσεψιανών μεταναστών.

Εκτός από τις φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στη βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα, έγινε μια προσπάθεια να εκτιμηθούν και οι οικονομικές επιπτώσεις της. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η απώλεια βιοποικιλότητας συνεπάγεται υποβάθμιση των υπηρεσιών που παρέχουν τα οικοσυστήματα (ecosystem services). Γι' αυτό, η προσέγγιση που ακολούθησαν οι συγγραφείς για την οικονομική αξιολόγηση των συνεπειών της απώλειας βιοποικιλότητας επικεντρώνεται στις υπηρεσίες οικοσυστήματος. Η πιο πρόσφατη εξέλιξη στην προσπάθεια προσδιορισμού της οικονομικής αξίας των υπηρεσιών που προσφέρουν τα οικοσυστήματα και ανάπτυξης οικονομικών εργαλείων ώστε αυτή να ληφθεί υπόψη προέρχεται από τη μελέτη με τίτλο *Οικονομικά των Οικοσυστημάτων και της Βιοποικιλότητας (The Economics of Ecosystems and Biodiversity – TEEB)*, που εκπονήθηκε υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Στην εν λόγω μελέτη δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων, όπου συγκεντρώθηκαν οι βασικότερες εκτιμήσεις της οικονομικής αξίας διαφόρων υπηρεσιών οικοσυστήματος, όπως υπηρεσίες παροχής, ρυθμιστικές υπηρεσίες, υπηρεσίες ενδιαιτήματος και πολιτιστικές υπηρεσίες.

Με χρήση στοιχείων του TEEB επιχειρήθηκε ο υπολογισμός του οικονομικού κόστους από την απώλεια των προσφερόμενων υπηρεσιών σε δασικά οικοσυστήματα και στις λίμνες Χειμαδίτιδα και Κερκίνη, κάτω από τα σενάρια κλιματικής μεταβολής που διαμορφώθηκαν για τον ελληνικό χώρο (A2, A1B, B2) για την περίοδο 2011-2100. Σύμφωνα με τον Brenner-Guillermo (2007), η ετήσια συνολική οικονομική αξία των υπηρεσιών οικοσυστήματος που προσφέρουν τα δάση ανέρχεται σε \$3.789/εκτάριο (έτος βάσης: 2004). Η αξία αυτή προκύπτει ως άθροισμα των παρακάτω υπηρεσιών οικοσυστήματος: προμήθεια νερού, διατήρηση γενετικών πόρων, ρύθμιση κλίματος, διαχείριση αποβλήτων/καθαρισμός υδάτων, αποτροπή διάβρωσης, διατήρηση κύκλου θρεπτικών στοιχείων και γονιμότητας εδάφους, εξασφάλιση επικοινωνίας, βιολογικός έλεγχος, προστασία “τράπεζας γονιδίων”, ευκαιρίες για αναψυχή και τουρισμό και, τέλος, διάφορες πολιτιστικές υπηρεσίες. Σε δεύτερο στάδιο, έγιναν οι ίδιοι υπολογισμοί για τη συνολική οικονομική αξία των δασών στις μεσογειακές χώρες από τους Croitoru and Merlo (2005), η οποία και υπολογίστηκε σε \$96/εκτάριο. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο εκτιμήσεων οφείλεται στο ότι είναι διαφορετικές οι υπηρεσίες που αποτιμώνται. Έτσι, η τελευταία εκτίμηση περιλαμβάνει τις υπηρεσίες που προσφέρουν προϊόντα ξύλου και μη, τη βοσκήσιμη ύλη, την αναψυχή, το κυνήγι, την προστασία υδροκριτών, τη δέσμευση άνθρακα, καθώς και μια εκτίμηση της αξίας ύπαρξης των δασών, όπως και της δυνατότητας μελλοντικών χρήσεων.

Με βάση τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, η παρούσα αξία (ΠΑ) του κόστους της απώλειας των εν λόγω υπηρεσιών υπολογίζεται ως εξής:

$$ΠΑ = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

όπου C_t είναι το χρηματικό κόστος από την απώλεια των υπηρεσιών οικοσυστήματος τη χρονική περίοδο t , T το σύνολο των υπό εξέταση ετών και r ένα κατάλληλα επιλεγμένο επιτόκιο

προεξόφλησης, το οποίο αντανακλά το κόστος κεφαλαίου. Το ύψος του επιτοκίου προεξόφλησης αντανακλά τη σχετική στάθμιση/βαρύτητα μεταξύ σημερινών και μελλοντικών ωφελειών. Όσο μεγαλύτερο είναι το επιτόκιο προεξόφλησης, τόσο μικρότερο είναι το ενδιαφέρον των σημερινών γενεών για τις μελλοντικές. Στην παρούσα μελέτη, επιλέχθηκαν δύο σχετικά χαμηλά επιτόκια προεξόφλησης (1% και 3%), προκειμένου να τονιστεί η σημασία που έχουν οι υπηρεσίες οικοσυστημάτων και η διατήρησή τους για τις μελλοντικές γενεές.

Οι παρούσες αξίες του κόστους απώλειας των δασικών οικοσυστημικών υπηρεσιών με βάση την αξία που εκτιμήθηκε στις δύο μελέτες καταγράφονται στον Πίνακα 2.33, για τα Σενάρια A2 και B2. Οι αξίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση και προώθηση ορισμένων μέτρων, των οποίων η εφαρμογή θα περιορίσει την απώλεια των δασικών εκτάσεων. Για παράδειγμα, εάν η εγκατάσταση αρτιότερων και πιο σύγχρονων συστημάτων πυρόσβεσης μπορεί να μειώσει τις εκτιμώμενες καμένες εκτάσεις και ταυτόχρονα το κόστος αυτής της εγκατάστασης είναι μικρότερο του οφέλους που χάνεται από την απώλεια των υπηρεσιών οικοσυστήματος που παρέχουν τα δάση, τότε η επένδυση σε συστήματα πυρόσβεσης κρίνεται ως αποδοτική σε οικονομικούς όρους. Αλγεβρικά, εάν συμβολιστεί με I το κόστος εγκατάστασης συστημάτων πυρόσβεσης και με O_t το λειτουργικό κόστος των εν λόγω συστημάτων τη χρονική περίοδο t , τότε η παρούσα αξία του κόστους θα είναι:

$$I + \sum_{t=0}^T \frac{O_t}{(1+r)^t}$$

Η επένδυση κρίνεται ως αποδοτική όταν ισχύει:

$$I + \sum_{t=0}^T \frac{O_t}{(1+r)^t} < \sum_{t=0}^T \frac{C_t^*}{(1+r)^t}$$

όπου ως C_t^* ορίζεται το κόστος της απώλειας δασικών οικοσυστημάτων λόγω πυρκαγιών τη χρονική περίοδο t , ενώ όλο το δεξιό σκέλος της ανίσωσης απεικονίζει το όφελος, σε όρους παρούσας αξίας, που προκύπτει επειδή μειώνονται οι καμένες εκτάσεις. Έτσι, όταν το προεξοφλημένο

Πίνακας 2.33

Προεξοφλημένο κόστος απώλειας δασικών υπηρεσιών οικοσυστήματος για την περίοδο 2011-2100

	Σενάριο A2	Σενάριο B2	Σενάριο A2	Σενάριο B2
Οικονομική αξία υπηρεσιών (\$/εκτάριο)	3.789		96	
Παρούσα αξία κόστους (1%) (εκατ. \$)	351.618	176.227	8.909	4.465
Παρούσα αξία κόστους (3%) (εκατ. \$)	130.790	65.614	3.314	1.663

Πίνακας 2.34

Προεξοφλημένο κόστος απώλειας υπηρεσιών οικοσυστήματος για τις λίμνες Χειμαδίτιδα και Κερκίνη κατά την περίοδο 2011-2100

	Σενάριο A1B	Σενάριο A2	Σενάριο A1B	Σενάριο A2
Οικονομική αξία υπηρεσιών (\$/εκτάριο)	3.789		96	
Λίμνη Χειμαδίτιδα				
Παρούσα αξία κόστους (1%) (εκατ. \$)	20.292	17.114	91.238	76.949
Παρούσα αξία κόστους (3%) (εκατ. \$)	8.540	6.868	38.397	30.881
Λίμνη Κερκίνη				
Παρούσα αξία κόστους (1%) (εκατ. \$)	35.593	39.592	160.034	178.016
Παρούσα αξία κόστους (3%) (εκατ. \$)	13.873	15.889	62.375	71.440

όφελος που θα προέκυπτε εάν αποτρέπονταν οι πυρκαγιές και δεν χάνονταν δασικές εκτάσεις υπερβαίνει το κόστος των συστημάτων πυρόσβεσης, τότε η επένδυση κρίνεται ως συμφέρουσα.

Ο Πίνακας 2.34 παρουσιάζει το προεξοφλημένο κόστος από την απώλεια των υπηρεσιών οικοσυστήματος που συνδέονται με τις φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις λίμνες Χειμαδίτιδα και Κερκίνη. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν δύο τιμές για την αξία ανά εκτάριο και έτος των υπηρεσιών που προσφέρουν τα ανοικτά οικοσυστήματα γλυκού νερού: Η πρώτη τιμή της ανά εκτάριο και έτος αξίας εκτιμήθηκε από τον Brenner-Guillermo (2007) και ανέρχεται στα \$1.890/εκτάριο (έτος βάσης: 2004). Η αξία αυτή προκύπτει ως το άθροισμα δύο κύριων υπηρεσιών: παροχής νερού (\$1.011/εκτάριο) και αισθητικής απόλαυσης/αναψυχής (\$880/εκτάριο). Η δεύτερη τιμή υπολογίστηκε από τους Costanza et al. (1997) ως ίση με \$8.498/εκτάριο. Η εν λόγω προσέγγιση περιλαμβάνει εκτιμήσεις για τη ρύθμιση των υδάτων, την προμήθεια νερού, τη διαχείριση αποβλήτων, την παραγωγή τροφής και την αναψυχή.

Όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση των δασικών οικοσυστημάτων, οι υπολογισμοί της παρούσας αξίας του κόστους που απορρέει από τη μείωση της επιφάνειας των λιμνών και τη συναφή απώλεια των υπηρεσιών που παρέχουν τα οικοσυστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εξέταση μέτρων που θα περιορίσουν ή και θα παρεμποδίσουν την εν λόγω μείωση της επιφάνειας. Συνεπώς, μέτρα των οποίων η εφαρμογή συνεπάγεται μικρότερο κόστος συγκρινόμενο με το όφελος που θα προκύψει εάν αποφευχθεί η απώλεια των υπηρεσιών οικοσυστημάτων (το κόστος της οποίας υπολογίζεται στην παρούσα μελέτη) κρίνονται ως αποδοτικά και θα έπρεπε να εφαρμόζονται. Βέβαια, όπως έχει γίνει φανερό ως τώρα, υπάρχουν μεγάλες διαφορές ως προς τα αριθμητικά αποτελέσματα, οι οποίες προκύπτουν από τις διαφορετικές υποθέσεις και σενάρια που υιοθετούνται κάθε φορά. Γι' αυτό το λόγο, τα αποτελέσματα θα πρέπει να ερμηνεύονται με μεγάλη προσοχή. Θα μπορούσε όμως να εξαχθεί σε κάθε περίπτωση

Πίνακας 2.35

Μέτρα αντιμετώπισης επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε επίπεδο οικοσυστήματος

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής	Μέτρα σε επίπεδο οικοσυστήματος
Αυξημένη ξηρασία	Χρήση κατάλληλων γεωργικών και δασικών πρακτικών για την αύξηση της ικανότητας κατακράτησης νερού και το μετριασμό της ξηρασίας
Ακραίες υψηλές θερμοκρασίες	Αύξηση χώρων πρασίνου στις πόλεις για τη βελτίωση του μικροκλίματος και της ποιότητας του αέρα
Υπερχείλιση ποταμών	Διατήρηση και αποκατάσταση υδροτόπων και κοιτών ποταμών που θα δρουν ως φυσικά αντιπλημμυρικά συστήματα
Αυξημένος κίνδυνος ανάφλεξης	Χρήση δασικών ειδών που είναι πιο ανθεκτικά στις επιθέσεις επιβλαβών οργανισμών και παρουσιάζουν μικρότερο κίνδυνο ανάφλεξης

Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2009).

ως πολύ γενικό συμπέρασμα ότι είναι δυνατόν να εφαρμοστούν μέτρα τα οποία θα περιορίσουν την απώλεια υπηρεσιών που προσφέρουν τα οικοσυστήματα και θα είναι οικονομικώς αποδοτικότερα σε σχέση με το κόστος που θα υπάρξει από την εκτιμώμενη απώλεια υπηρεσιών στην περίπτωση που δεν γίνει καμία παρέμβαση. Η παρούσα μεθοδολογία, καθώς και οι εκτιμώμενες τιμές για τα δάση της Ελλάδος και για τις δύο λίμνες που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την αξιολόγηση διαφόρων παρεμβατικών μέτρων που θα περιορίσουν τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα, οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής αναμένεται ότι θα είναι η πρωταρχική αιτία για την απώλεια της βιοποικιλότητας και των συναφών υπηρεσιών που προσφέρονται σε παγκόσμια κλίμακα (MEA, 2005, Thomas et al., 2004). Πιο συγκεκριμένα, τα χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του κλίματος, αφού απορροφούν περίπου τις μισές ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂. Μεταξύ των μέτρων για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου υπάρχουν πολλές επιλογές “χαμηλού κόστους με παράλληλα οφέλη” που συμβάλλουν ταυτόχρονα στην προστασία και αειφόρο χρήση της βιοποικιλότητας. Ορισμένα από τα μέτρα αυτά καταγράφονται στον Πίνακα 2.35.

Η αδράνεια ή και η καθυστέρηση υιοθέτησης των κατάλληλων μέτρων θα οδηγήσει στην υποβάθμιση ή ακόμα και στην απώλεια οικοσυστημάτων, γεγονός που θα μειώσει την ικανότητα του συνολικού οικοσυστήματος για δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα. Το κλιματικό σύστημα έχει σημεία ανατροπής, στα οποία τα οικοσυστήματα μπορεί να έχουν απρόβλεπτες αντιδράσεις. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, οι δεξαμενές αποθήκευσης άνθρακα μπορεί να μετατραπούν σε πηγές άνθρακα.

Η αδυναμία επίτευξης των στόχων σχετικά με τη διατήρηση της βιοποικιλότητας μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τις προσπάθειες για τη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αντίθετα, η εντατικοποίηση των προσπαθειών για την προστασία της φύσης και τη μείωση των περιβαλλοντικών πιέσεων που δέχονται η βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα μπορεί να συμβάλει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, παρέχοντας πολλαπλά οφέλη.

2.7 Οικονομικές και φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό*

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον ελληνικό τουρισμό, σε φυσικούς και οικονομικούς όρους. Επικεντρώνεται στην ανάλυση των άμεσων (direct) επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό, και εξετάζει κυρίως την επίδραση των μεταβολών του δείκτη Tourism Climate Index (TCI) στην τουριστική ζήτηση. Κατ' αρχάς η μελέτη αποδεικνύει ότι η χρήση δεδομένων σε ετήσια βάση και σε επίπεδο επικράτειας οδηγεί σε παραπλανητικά συμπεράσματα, καθώς συγχωνεύει περιφέρειες με πολύ διαφορετικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά. Στην συνέχεια, με τη χρήση ως παραδείγματος δύο περιφερειών, για τις οποίες υπήρχαν αξιόπιστα οικονομικά και κλιματικά δεδομένα, υπολογίστηκε η οικονομική επίπτωση της κλιματικής αλλαγής. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτουν τα εξής δύο κύρια συμπεράσματα-στόχοι του στρατηγικού σχεδιασμού του ελληνικού τουρισμού: μείωση της εποχικότητας και διασπορά του τουριστικού προϊόντος σε μεγαλύτερο μέρος της επικράτειας. Αυτοί οι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν εάν αναγνωριστούν και αναδειχθούν τα πλούσια φυσικά χαρακτηριστικά των διαφόρων περιοχών της χώρας, προωθηθούν ήπιες και εναλλακτικές μορφές τουρισμού, δοθεί έμφαση στην προσέλκυση νέων στοχευμένων ομάδων τουριστών και ληφθούν μέτρα περιορισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στη λειτουργία των τουριστικών μονάδων. Τέλος, η μελέτη εκτιμά την αύξηση του λειτουργικού κόστους των ξενοδοχειακών μονάδων, στο πλαίσιο της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, σε περίπου 5-7% ετησίως. Μια αύξηση τέτοιου μεγέθους, σε συνδυασμό με την προβλεπόμενη μείωση των διεθνών αφίξεων – και εισπράξεων – κατά τους μήνες αιχμής στις περιφέρειες τουριστικής έντασης, μπορεί να έχει σημαντικότερες αρνητικές επιπτώσεις στα καθαρά αποτελέσματα χρήσης πολλών τουριστικών μονάδων. Επομένως, είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας να αναπτυχθεί άμεσα μακροχρόνιος στρατηγικός σχεδιασμός για τον ελληνικό τουρισμό με τη συνεργασία της πολιτείας και των εκπροσώπων του κλάδου, στη βάση των δύο κύριων προαναφερθέντων στόχων.

2.7.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η οικονομική αποτύπωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον κλάδο του ελληνικού τουρισμού με βάση τις φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον κλάδο. Ο τουρισμός αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κλάδους της ελληνικής οικονομίας, σε όρους ΑΕΠ, απασχόλησης και κάλυψης μέρους του ελλείμματος του εμπορικού ισοζυγίου της χώρας. Παράλληλα όμως, ο ελληνικός τουρισμός παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα, με κυριότερα τον εποχικό και γεωγραφικό συγκεντρωτισμό του προσφερόμενου προϊόντος και την αργή προσαρμογή στις νέες διαμορφούμενες συνθήκες σε

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.7 συνεργάστηκαν οι: Ευτύχιος Σαρτζετάκης και Βενιαμίν Καρατζόγλου.

Πίνακας 2.36

Βασικά μεγέθη του ελληνικού τουρισμού και επιδόσεις σε σύγκριση με τους βασικούς ανταγωνιστές (2007)

Βασικά μεγέθη του ελληνικού τουρισμού, 2007						
Συμμετοχή στο ΑΕΠ	17,2% (World Travel and Tourism Council)					
Συμμετοχή στην απασχόληση	20,8% της συνολικής απασχόλησης (World Travel and Tourism Council)					
Απασχόληση (άμεση & έμμεση)	939.820 (World Travel and Tourism Council)					
Έσοδα	€11,3 δισεκ. (Τράπεζα της Ελλάδος)					
Αφίξεις αλλοδαπών	15,2 εκατ.					
Μέση κατά κεφαλήν δαπάνη	€743					
Μερίδιο αγοράς	1,68% παγκόσμια, 3,13% στην Ευρώπη					
Εποχικότητα	47,7% των αφίξεων αλλοδαπών πραγματοποιείται κατά το διάστημα από τον Ιούλιο έως το Σεπτέμβριο					
Συγκέντρωση προσφοράς	52% των ξενοδοχειακών κλινών συγκεντρώνονται σε 3 περιοχές της Ελλάδος (Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδος)					
Ξενοδοχειακή υποδομή	9.207 ξενοδοχεία/700.933 κλίνες (Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδος)					
Πέντε πρώτες κατά σειρά αγορές	Ην. Βασίλειο (2.618.542), Γερμανία (2.264.332), Ιταλία (1.157.081), Ολλανδία (828.185), Γαλλία (756.105) [ΕΣΥΕ]					
Επιδόσεις 2007 – Ελλάδα – ανταγωνιστές						
Δείκτες απόδοσης 2007	Ελλάδα	Ισπανία	Κύπρος	Τουρκία	Αίγυπτος	Κροατία
Κατάταξη - διεθνείς αφίξεις	16η	2η	κάτω από την 50ή	9η	22η	24η
Κατάταξη - έσοδα	12η	2η	κάτω από την 50ή	10η	25η	26η
Διεθνείς αφίξεις 2007 (εκατ.)	15,2	58,7	2,4	22,2	10,6	9,3
% μεταβολή αφίξεων 2000 - 2007	22,6	26,5	-11,1	131,3	107,8	60,3
Έσοδα, \$ δισεκ. 2007	15,5	57,6	2,7	18,5	9,3	9,3
% μεταβολή εσόδων 2000-2007	68,5	92,0	42,1	143,4	116,3	232,1
Μέση κατά κεφαλήν δαπάνη ανά ταξίδι σε \$	1.019,7	971,4	1.125,0	829,6	877,4	1.000,0
Μερίδιο αγοράς παγκόσμια σε αφίξεις (%)	1,68	6,49	0,27	2,46	1,17	1,03
Μερίδιο αγοράς παγκόσμια σε έσοδα (%)	1,81	6,72	0,32	2,16	1,09	1,09

Πηγή: Επεξεργασία δεδομένων από πολλαπλές πηγές.

όρους ζήτησης και περιφερειακού ανταγωνισμού. Τα βασικά κλαδικά χαρακτηριστικά και οικονομικά στοιχεία για τον ελληνικό τουρισμό παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.36.¹⁵

Οι κλιματικές συνθήκες αποτελούν τμήμα του πωλούμενου τουριστικού προϊόντος και, κατ' επέκταση, το καθιστούν ευάλωτο στην κλιματική αλλαγή. Υψηλές θερμοκρασίες, ακραία και-

¹⁵ Τα στοιχεία του Πίνακα 2.36 προέκυψαν από την αναλυτική περιγραφή του ελληνικού τουρισμού στο πλήρες κείμενο της μελέτης για τον τουρισμό, το οποίο έχει αναρτηθεί στη σχετική σελίδα της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ) στον ιστοχώρο της ΤτΕ (www.bankofgreece.gr).

Πίνακας 2.37

Φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό

Άμεσες επιπτώσεις	Έμμεσες επιπτώσεις
- Αύξηση της θερμοκρασίας - Άνοδος της στάθμης της θάλασσας - Αλλαγές στην υγρασία και την ποιότητα του αέρα - Αύξηση της ξηρασίας - Αύξηση της ρύπανσης - Αύξηση του δείκτη δυσφορίας των επισκεπτών - Μείωση βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων - Συχνότερη εμφάνιση φωτοχημικού νέφους - Αύξηση ακραίων γεγονότων (καταιγίδων, πλημμυρών, τυφώνων) - Αύξηση πυρκαγιών και ασθενειών - Καταστροφή ευαίσθητων οικοσυστημάτων	- Φθορές παράκτιων τουριστικών υποδομών - Απαξίωση τουριστικών υποδομών λόγω έλλειψης φυσικών προϋποθέσεων χρήσης τους (ενδεικτικά, έλλειψη χιονιού για τα χιονοδρομικά κέντρα) - Διείσδυση θαλάσσιου νερού στον υδροφόρο ορίζοντα και υφαλμύρωση του πόσιμου νερού - Μείωση διαθέσιμου νερού λόγω μείωσης βροχοπτώσεων - Μείωση ή και εξάλειψη οικοτουριστικών υποδομών και δραστηριοτήτων

Πηγή: Ο πίνακας κατασκευάστηκε από την ερευνητική ομάδα.

ρικά φαινόμενα και έλλειψη νερού είναι μόνο μερικές από τις επιπτώσεις που αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά τον κλάδο του τουρισμού. Για παράδειγμα, έρευνες της γερμανικής Κεντρικής Τράπεζας και του Παγκόσμιου Οργανισμού Τουρισμού (WTO) προβλέπουν ανακατανομή των τουριστικών αφίξεων υπέρ χωρών με χαμηλότερες μέσες εαρινές θερμοκρασίες, όπως οι χώρες της Βαλτικής, της Benelux και της Σκανδιναβίας, και σε βάρος των μεσογειακών χωρών (Deutsche Bank Research, 2008, και WTO, Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges, 2008).

Οι μελέτες αυτές αποτελούν παραδείγματα της πρόσφατης ραγδαία αναπτυσσόμενης βιβλιογραφίας που μελετά τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην οικονομία γενικά και στον τουρισμό ειδικότερα. Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι Πίνακες 2.37 και 2.38 παρουσιάζουν αντίστοιχα τις σημαντικότερες φυσικές και οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον κλάδο του τουρισμού.¹⁶

Με την εμπειρία των μελετών αυτών και με επίγνωση των μεθοδολογικών προβλημάτων και των μεγάλων περιορισμών που ενέχει κάθε προσπάθεια εκτίμησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, στην παρούσα μελέτη επιχειρείται να προσφερθούν όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι η πρώτη προσπάθεια διεθνώς με αναφορά σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, καθώς η βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν εντόπισε καμία ανάλογη δημοσιευμένη έρευνα. Επίσης, θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η παρούσα μελέτη ασχολείται μόνο με το κόστος προσαρμογής και όχι μετριασμού, λόγω του μεγέθους τόσο των τουριστικών μονάδων όσο και της χώρας γενικότερα.

¹⁶ Βλ. το πλήρες κείμενο της μελέτης για τον τουρισμό, όπ.π., υποσημ. 15.

• Πιθανή μείωση αριθμού αφικνούμενων τουριστών
• Πιθανή μείωση μέσου χρόνου παραμονής τους
• Μείωση εποχικότητας
• Μείωση διαθέσιμου εισοδήματος παγκοσμίως για τον τουρισμό λόγω της πτώσης του ΑΕΠ, οφειλόμενης στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος
• Αύξηση μέσου κόστους εξυπηρέτησης αφικνούμενων τουριστών
• Κόστος αναγκαστικής διακοπής προσφερόμενης τουριστικής υπηρεσίας λόγω ακραίων φυσικών φαινομένων (κόστος ευκαιρίας ή απο-λεσθέντα έσοδα)
• Έργα στην κατεύθυνση μείωσης ρύπανσης και αέριων εκπομπών
• Έργα αντιμετώπισης των φυσικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και αντιμετώπισης ακραίων γεγονότων (φράγματα, συστήματα ανακύκλησης νερού)
• Ανάγκη ανάπτυξης νέων καινοτόμων βιοκλιματικών υποδομών
• Αυξημένο κόστος συντήρησης των παλαιότερων υποδομών
• Έργα υποκατάστασης του φυσικού κεφαλαίου με ανθρωπογενές κεφάλαιο στην κατεύθυνση διατήρησης των θελγέτρων μιας περιοχής (π.χ. υποκατάσταση δάσους με θεματικό πάρκο, δραστηριοτήτων mountain bike με πίστα carting, αντιμετώπιση της έλλειψης χιονιού με δημιουργία πίστας αναρρίχησης)
• Υποβάθμιση πολιτιστικών και ιστορικών μνημείων (μελέτη UNESCO, 2007) και πιθανή καταστροφή αρχαιολογικών μνημείων
• Κόστος εκπαίδευσης και προσαρμογής του προσωπικού στα νέα μέσα και τρόπους λειτουργίας
• Επανατοποθέτηση του τουριστικού προϊόντος διεθνώς

Πηγή: Ο πίνακας κατασκευάστηκε από την ερευνητική ομάδα.

Οι σημαντικότεροι στόχοι της μελέτης είναι η καταγραφή και παρουσίαση του φυσικού τουριστικού-ξενοδοχειακού αποθέματος της χώρας, η εκτίμηση και ανάλυση των χρηματοοικονομικών επιδόσεων των τουριστικών επιχειρήσεων, η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις επιδόσεις αυτές, η εξαγωγή συμπερασμάτων και η κατάθεση προτάσεων για λήψη μέτρων προσαρμογής του τουριστικού προϊόντος στην κλιματική αλλαγή.

Συναφείς και υποστηρικτικές του τουρισμού δραστηριότητες, όπως ενδεικτικά αυτές της εστίασης, των μεταφορών και της ψυχαγωγίας, αγνοήθηκαν, καθώς είτε έχουν μελετηθεί στο πλαίσιο άλλων κλαδικών μελετών είτε οι παρεχόμενες υπηρεσίες είναι αδύνατον να διαχωριστούν μεταξύ τοπικών χρηστών και τουριστών είτε, τέλος, διότι η οικονομική βαρύτητά τους είναι περιορισμένη.

Για το λόγο αυτό, η παρούσα μελέτη θα περιοριστεί στις άμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τομέα του τουρισμού. Οι επιπτώσεις αυτές διακρίνονται στην παρούσα μελέτη ανάλογα με την επίδρασή τους στα αποτελέσματα εκμετάλλευσης των τουριστικών μονάδων από:

- τη σκοπιά της *ζήτησης*, επηρεάζοντας τα έσοδα των τουριστικών επιχειρήσεων και την ετήσια κατανομή τους, και
- τη σκοπιά της *προσφοράς*, επηρεάζοντας τη δομή του κόστους λειτουργίας των τουριστικών καταλυμάτων άμεσα (κόστος λειτουργίας ή συντήρησης των υποδομών), έμμεσα

(ανάγκη για νέες υποδομές, αυξημένο κόστος χρηματοδότησης, κόστος επανατοποθέτησης του τουριστικού προϊόντος στην εθνική και στη διεθνή αγορά) και δυνητικά, λόγω ακραίων γεγονότων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (αποξημιώσεις, κόστος ευκαιρίας, αυξημένο κόστος ασφάλισης).

Το μέγεθος και η έκταση των επιπτώσεων αυτών ποικίλλουν ανάλογα με:

- τα χαρακτηριστικά της τουριστικής επιχείρησης και των προσφερόμενων από αυτή υπηρεσιών (κατηγορία, τύπος πελατείας, πιστωτική πολιτική, βαθμός πιστότητας πελατείας, εξάρτηση από tour-operators),
- την υποδομή κάθε καταλύματος, το μέγεθος, την ηλικία του, τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού και το βαθμό συντήρησής του και, τέλος,
- τη γεωγραφική περιοχή της χώρας όπου είναι εγκατεστημένο το τουριστικό κατάλυμα.

2.7.2 Μεθοδολογία και δεδομένα

Η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία αποτελεί συνδυασμό της μεθοδολογίας και των υποδείξεων ευρέως αποδεκτών σχετικών μελετών, με κυριότερες τις Garnaut,¹⁷ Metroeconomica¹⁸ και PESETA,¹⁹ και της ανάγκης προσαρμογής της προσέγγισης και του βάθους της έρευνας στην ποσοτική και ποιοτική διαθεσιμότητα των απαιτούμενων από την ακολουθούμενη μεθοδολογική προσέγγιση στοιχείων. Τα σενάρια μελέτης που ελήφθησαν υπόψη στην παρούσα ανάλυση στηρίχθηκαν αρχικά στη μελέτη του IPCC. Οι αρχικές εκτιμήσεις με το υπόδειγμα κλιματικής αλλαγής HadCM2 και με το παλαιό σενάριο GCM – IS92a οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι θα υπάρξει αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ημερών με μέση θερμοκρασία υψηλότερη από δεδομένα “κατώφλια” κρίσιμων θερμοκρασιών, όπου η αύξηση αυτή συμμετέχει στη διαμόρφωση του δείκτη τουριστικής δυσφορίας που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη για την εκτίμηση της ζήτησης του ελληνικού τουριστικού προϊόντος.

Ειδικά για το ελληνικό τουριστικό προϊόν, κατέστη αναγκαία η διενέργεια προσομοιώσεων με κλιματικά υποδείγματα κατά περιοχή (RCMs) με υψηλότερη χωρική ανάλυση. Τα αποτελέσματα αυτών των υποδειγμάτων για την ελληνική επικράτεια, αλλά και για 12 κλιματικές περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η χώρα, παρασχέθηκαν από την ερευνητική ομάδα του Κέντρου Έρευνας Φυσικής της Ατμοσφαιράς και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών (ΚΕΦΑΚ). Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων περιορίστηκαν για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης στα Σενάρια A2 και B2, τα οποία ουσιαστικά αντιπροσωπεύουν τις δύο ακραίες εκτιμήσεις για τις ανθρωπογενείς εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου στις προσεχείς δεκαετίες. Λεπτομέ-

¹⁷ Garnaut, R. (2008), Garnaut Climate Change Review: final report, Garnaut Climate Change Review.

¹⁸ Climate Change Impacts and Adaptation Cross-regional Research Programme: Project E – Quantifying the cost of impacts and adaptation, Defra Metroeconomica Ltd, UK (2005-2006).

¹⁹ Ciscar, J.C. (ed., 2009), Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project. European Commission, JRC, IPTS and IES.

Πίνακας 2.39

Χαρακτηριστικά σεναρίων μελέτης (2050)

Χαρακτηριστικά	SRES A2		SRES B2	
	2050	2100	2050	2100
Αύξηση μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας (°C)	1,6	3,5	1,6	2,5
Αύξηση μέσης θερμοκρασίας στην Ελλάδα (°C)	2,0	4,5	2,0	3,1
Παγκόσμιος πληθυσμός (δισεκ.)	11,3	15,1	9,3	10,4
Παγκόσμιο ΑΕΠ (σε τρισεκ. \$)	82	243	110	235
CO ₂ (μέρη ανά εκατομμύριο)	532	856	478	621
Αύξηση στάθμης θάλασσας (εκ.)	12,0-16,0	23,0-51,0	12,0-16,0	20,0-43,0
Μεταβολή βροχόπτωσης ΝΑ Ευρώπης (%)	-7	-13	-5	-7

Πηγές: IPCC, 2007, Κεφάλαιο 1 παρόντος τόμου, και Ciscar (ed., 2009).

ρειες για τα σενάρια αναφέρονται στην παράγραφο 1.15.2 του Κεφαλαίου 1. Και για τα δύο Σενάρια, A2 και B2, οι υπολογισμοί έγιναν με βάση το μέσο όρο ενός συνόλου προσομοιώσεων κλιματικών υποδειγμάτων κατά περιοχή, όπως αυτά περιγράφονται στο Κεφάλαιο 1.

Ο Πίνακας 2.39 παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά-υποθέσεις των δύο σεναρίων. Οι διαφορές ως προς τις κλιματικές παραμέτρους υπολογίστηκαν με βάση την περίοδο αναφοράς 1960-1990.

2.7.3 Υπάρχουσα κατάσταση υποδομών σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο²⁰

Σε εθνικό επίπεδο τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική αύξηση του ξενοδοχειακού δυναμικού, καθώς και των ξενοδοχείων ανώτερης κατηγορίας (4 και 5 αστέρων) σε απόλυτους και ποσοστιαίους όρους. Ωστόσο, σε σύγκριση με τους κύριους ανταγωνιστές της, η Ελλάδα υστερεί σημαντικά όσον αφορά το μέσο μέγεθος σε κλίνες και το μερίδιο κλινών υψηλών κατηγοριών. Δηλαδή, υπάρχουν μικρές μονάδες, χαμηλών κατηγοριών, οι οποίες αδυνατούν να παρέχουν αναβαθμισμένες υπηρεσίες, ώστε να προσελκύσουν τουρίστες με υψηλά εισοδήματα.

Όσον αφορά τον ρόλο των camping, αυτός αποδεικνύεται ιδιαίτερα περιορισμένος, συνεισφέροντας μόλις το 0,1% των συνολικών τουριστικών εσόδων, όπου το 50% της ζήτησης προέρχεται από εσωτερικό τουρισμό. Επίσης, οι περισσότερες μονάδες camping είναι μικρές οικογενειακές μονάδες που έχουν τη μορφή ατομικών επιχειρήσεων. Για τους λόγους αυτούς η παρούσα μελέτη περιορίζεται στις ξενοδοχειακές μονάδες.

Σε όρους περιφερειακής ανάλυσης, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική συγκέντρωση των κλινών σε συγκεκριμένες περιφέρειες (Κρήτη 21%, Δωδεκάνησα 17%, Μακεδονία 14%, Στε-

²⁰ Όπ.π., υποσημ. 15.

ρεά Ελλάδα 13% και Ιόνια Νησιά 11%), οι οποίες χαρακτηρίζονται και από μεγάλη συγκέντρωση ξενοδοχειακών μονάδων υψηλών κατηγοριών. Επίσης, ο βαθμός αξιοποίησης του τουριστικού δυναμικού είναι χαμηλός για τις περισσότερες περιφέρειες, με εξαίρεση τα αστικά κέντρα, τα Δωδεκάνησα και την Κρήτη, καταδεικνύοντας ότι υπάρχει αναξιοποίητο τουριστικό κεφάλαιο που προήλθε από υπερεπένδυση ή από έλλειψη διαφήμισης και προώθησης των περιοχών αυτών.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η αυξημένη εποχικότητα, που περιορίζει χρονικά την αξιοποίηση των καταλυμάτων. Ενδεικτικά, η φέρουσα ικανότητα των ελληνικών ξενοδοχείων επιτρέπει την πραγματοποίηση 182 εκατ. διανυκτερεύσεων, ενώ οι πραγματοποιηθείσες το 2007, χρονιά αντιπροσωπευτική για τον ελληνικό τουρισμό, ανέρχονται σε 64 εκατομμύρια. Το ΙΤΕΠ έχει υπολογίσει ότι, σε εθνικό επίπεδο, υπάρχει μια πλεονάζουσα παραγωγική δυναμικότητα της τάξεως του 184,2% και εκτιμά ότι το υφιστάμενο ξενοδοχειακό δυναμικό μπορεί να καλύψει, ανάλογα με το εφαρμοζόμενο σενάριο, μελλοντικές αυξήσεις της ζήτησης για τα επόμενα 14 έως 35 χρόνια.

Τέλος, σημαντικές διαφορές παρουσιάζει η μέση διάρκεια λειτουργίας του ξενοδοχειακού δυναμικού της χώρας κατά περιφέρεια. Μόνο στην Αττική και τη Δυτική Μακεδονία παρατηρούνται υψηλά ποσοστά κλινών σε συνεχή λειτουργία, ενώ σε περιφέρειες με μεγάλο δυναμικό η λειτουργία είναι κυρίως εποχική (82% στην Κρήτη, 84% στα Ιόνια Νησιά και 90% στα Δωδεκάνησα).

2.7.4 Οικονομικά στοιχεία²¹

Όπως επισημάνθηκε στην εισαγωγή, η συμμετοχή του ελληνικού τουρισμού στην εθνική οικονομία είναι πολύ σημαντική. Η έκθεση του WTO για το 2010 εκτιμά ότι η συνολική συμμετοχή του κλάδου φθάνει το 15,5% του ΑΕΠ και το 10% της συνολικής απασχόλησης. Οι τουριστικές επενδύσεις σχεδόν τριπλασιάστηκαν την περίοδο 2002-2007 και βαίνουν αυξανόμενες. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της ΕΛΣΤΑΤ, τα παραπάνω μεγέθη υπερδιπλασιάζονται αν συνεκτιμηθούν οι επιδόσεις μονάδων που δραστηριοποιούνται στον ευρύτερο χώρο του τουρισμού, όπως μπαρ, εστιατόρια, καντίνες, υπηρεσίες τροφοδοσίας κ.λπ. Επισημαίνεται ωστόσο ότι ούτε η ΕΛΣΤΑΤ ούτε ο WTO αναφέρουν μεθοδολογία διαχωρισμού των αστικών από τις τουριστικές αναλώσεις αυτών των υπηρεσιών. Ελλείψει συγκεκριμένης μεθοδολογίας και δεδομένων για να προσδιοριστεί η έμμεση συμβολή του κλάδου, στην παρούσα μελέτη εξετάζονται μόνο οι καταλυματικές επιχειρήσεις.

Θεωρείται ότι αυξομειώσεις του αριθμού των αφίξεων, του μέσου χρόνου παραμονής των τουριστών και της μέσης ημερήσιας τουριστικής δαπάνης θα επηρεάσουν σημαντικά τις τουριστικές εισπράξεις και τα καθαρά έσοδα των ξενοδοχειακών μονάδων. Σύμφωνα με τα

²¹ Όπ.π., υποσημ. 15.

στοιχεία, παρότι οι δαπάνες κατά χώρα προέλευσης παρουσιάζουν διακυμάνσεις, στο σύνολό τους οι δαπάνες των τουριστών ανά ταξίδι μειώνονται σταθερά κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.

Όσον αφορά το κόστος λειτουργίας των ξενοδοχειακών μονάδων, υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ τους και εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος, η κατηγορία, η αγορά-στόχος, τα φυσικά και κλιματικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των εν λόγω μονάδων, η εποχικότητα και άλλα. Στον Πίνακα 2.40 που ακολουθεί παρατίθεται η ενδεικτική δομή κόστους λειτουργίας για ένα ξενοδοχείο μέσου μεγέθους με βάση διάφορες εκτιμήσεις. Στη δεύτερη στήλη παρουσιάζονται δεδομένα διαφόρων κατηγοριών κόστους ως ποσοστά του συνολικού κύκλου εργασιών, που συλλέχθηκαν πρωτογενώς σε δείγμα 55 μονάδων, ενώ στις επόμενες στήλες παρατίθενται δεδομένα από άλλες έρευνες.

Τέλος, σύμφωνα με μελέτη που αφορά τις Ηνωμένες Πολιτείες, η συνολικά καταναλούμενη ενέργεια για ένα μέσου μεγέθους ξενοδοχείο αναλύεται στις επιμέρους δραστηριότητες ως εξής: 33% για θέρμανση νερού, 24% για φωτισμό, 22% για θέρμανση χώρων, 5% για ψύξη χώρων, 3% για εξαερισμό, 3% για παρασκευή γευμάτων και το υπόλοιπο 10% για τις άλλες δραστηριότητες.

Πίνακας 2.40

Ενδεικτική δομή κόστους λειτουργίας αντιπροσωπευτικού ελληνικού ξενοδοχείου (Ανάλυση κοινού μεγέθους, ποσοστά %)

	Πρωτογενής έρευνα (n=55)	Έρευνα JBR 2002	Hotel on line USA Research	Μελέτη ICAP 2009 (για Β' κατ.)
Κύκλος εργασιών	100,00	100,00	100	100
Κόστος πωληθέντων	71,01	56,40		68,23
Αποσβέσεις	15,60	17,40		16,84
Μισθοί και εισφορές	32,00	39,40	43,70	33,12 (ΕΣΥΕ)
Μικτό κέρδος	28,99	44,60		31,77
Λοιπά λειτουργικά έξοδα (πλην χρημ/κών δαπανών)	18,66			
Ενέργεια	5,00	3,60	6,00	
Έξοδα προβολής-διαφήμισης	1,00	2,80	3,00	
Έξοδα συντήρησης	3,00	2,60	3,10	
Γενικά-διοικητικά έξοδα (ΓΔΕ)	4,00	8,00		
Χρημ/κές δαπάνες	3,84	Περιλαμβ. στα ΓΔΕ		6,18
Κέρδη προ φόρου εισοδήματος	4,69	26,70	27,50	-2,06
Καθαρό διαθέσιμο εισόδημα	2,59			

n: πλήθος δείγματος ξενοδοχείων.

Πηγή: Πρωτογενής έρευνα και σύνθεση πληροφοριών από διαφορετικές πηγές.

2.7.5 Μελέτη των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην τουριστική δραστηριότητα της Ελλάδας

Οι οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην τουριστική δραστηριότητα της Ελλάδας προέρχονται από τη μεταβολή των εσόδων και την αύξηση των οργανικών εξόδων λειτουργίας των τουριστικών επιχειρήσεων. Οι οικονομικές επιπτώσεις στα έσοδα είναι πολύ πιο σημαντικές από αυτές στο κόστος λειτουργίας. Για την εκτίμηση της μεταβολής των εσόδων σε εποχική και περιφερειακή ανάλυση επιλέχθηκε η χρήση του δείκτη TCI (Mieczkowski, 1985).

Ο TCI συνδυάζει κλιματικές μεταβλητές, καταγραφωμένες ή εκτιμώμενες από μετεωρολογικές μελέτες, σε έναν ενιαίο δείκτη, σχεδιασμένο ώστε να αποτιμά την καταλληλότητα των κλιματικών συνθηκών να υποστηρίζουν υπαίθριες τουριστικές δραστηριότητες σε μια περιοχή. Ο TCI έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα σε σχετικές μελέτες και πολλοί συγγραφείς έχουν προτείνει προσθήκες ή τροποποιήσεις στις χρησιμοποιούμενες από το δείκτη μεταβλητές, ή στη στάθμιση συμμετοχής τους (Morgan, 2000, Amelung and Viner, 2006, de Freitas et al., 2008). Ωστόσο, σε πείσμα των –υπαρκτών– περιορισμών του, ο TCI επιβιώνει λόγω της απλότητας υπολογισμού και της εύκολης κατανόησης του περιεχομένου του.

Οι παράμετροι που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του τελικού δείκτη TCI είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η ηλιοφάνεια, η ταχύτητα του ανέμου και η επίπτωσή του στη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, ο δείκτης TCI υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$TCI = 8CID + 2CIA + 4P + 4S + 2W,$$

όπου:

CID είναι η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία σε συνδυασμό με την ελάχιστη δυνατή υγρασία,

CIA είναι η μέση θερμοκρασία του 24ώρου,

P είναι το μέσο ύψος βροχόπτωσης (σε χλστ./μήνα),

S είναι οι συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα και

W η μέση ταχύτητα του ανέμου σε χλμ./ώρα.

Οι τιμές των παραμέτρων αυτών δεν εισέρχονται στη διαμόρφωση του δείκτη αυτούσιες αλλά αφού οι συνεχόμενες μεταβλητές μετατραπούν σε μια κλίμακα διακριτών τιμών με άριστα το 5 (για τιμές των παραμέτρων που αποτυπώνουν τις καλύτερες συνθήκες για τον τουρίστα) και ελάχιστο το -3. Για την Ελλάδα, καμία από τις παραμέτρους του TCI δεν λαμβάνει αρνητική τιμή σε κανένα από τα εξεταζόμενα χρονικά διαστήματα.

Τα κλιματικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση του δείκτη υπολογίστηκαν από την ερευνητική ομάδα κλιματικών δεδομένων του ΚΕΦΑΚ και αφορούν σε κλιματικά δεδομένα κατά δεκαετία για το χρονικό διάστημα 2010-2100, κατά εποχή και κατά γεωγραφική περιφέρεια για τις 12 γεωγραφικές περιφέρειες και για την επικράτεια, όπως περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 1. Με τα δεδομένα αυτά τροφοδοτήθηκε κατάλληλα

σχεδιασμένο λογιστικό φύλλο, αφού τα διαθέσιμα στοιχεία μετατράπηκαν σε τιμές της κλίμακας 5 έως -3.

Οι υπολογισμοί του δείκτη TCI έγιναν για τα Σενάρια A2 και B2 για την περίοδο 2070-2100. Για την περίοδο 2010-2070 οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τα αποτελέσματα του Σεναρίου A1B όσον αφορά στη βροχόπτωση, τη νεφοκάλυψη και την ταχύτητα του ανέμου. Ειδικά για τη θερμοκρασία, για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του Σεναρίου A2. Η χρήση αποτελεσμάτων από δύο διαφορετικά σενάρια δεν αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τις τιμές του TCI, δεδομένων των πολύ μικρών αποκλίσεων των αποτελεσμάτων από τα Σενάρια A1B και A2 (μέχρι το 2070), οι οποίες στην πλειονότητα των περιπτώσεων γίνονται ασήμαντες κατά τη μετάπτωση από τη συνεχή στη διακριτή κλίμακα.

Επίσης, λόγω έλλειψης δεδομένων όσον αφορά τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία σε συνδυασμό με την ελάχιστη δυνατή υγρασία (CID), καθώς και τη μέση θερμοκρασία του 24ώρου (CIA), στην παρούσα μελέτη συνενώθηκαν οι δύο θερμοκρασιακές μεταβλητές σε μία, με σταθμική βαρύτητα 50% στο σχηματισμό του τελικού δείκτη. Τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον Πίνακα 2.41 δεν είναι, βεβαίως, τελικά, διότι η έρευνα θα συνεχιστεί, έτσι ώστε να υπάρχουν αναλυτικές εκτιμήσεις βαθμονομημένες για όλα τα σενάρια και όλες τις περιπτώσεις. Ο Πίνακας 2.41 περιέχει το δείκτη TCI και τις μεταβολές του σε σχέση με την περίοδο βάσης (1961-1990) για το σύνολο της επικράτειας, καθώς και για κάθε μία από τις 12 περιφέρειες, ανά δεκαετία και ανά εποχή, για την περίοδο 2011-2070 (Σενάριο A2/A1B) και 2071-2100 (Σενάρια A2 και B2).

Στον Πίνακα 2.41 παρατηρείται ότι:

- Σε επίπεδο επικράτειας και σε ετήσια βάση, ο δείκτης TCI εμφανίζει ελαφρά μείωση τις πρώτες δύο δεκαετίες, αλλά προς το τέλος του αιώνα εμφανίζει μεγάλη βελτίωση.
- Σε επίπεδο επικράτειας αλλά σε εποχική βάση, ο δείκτης TCI αρχικά, και περίπου ως τα μέσα του αιώνα, δεν παρουσιάζει μεταβολή, ενώ στο δεύτερο ήμισυ εμφανίζει βελτίωση (αύξηση) το χειμώνα και την άνοιξη και πολύ μεγάλη βελτίωση το φθινόπωρο. Αντίθετα το καλοκαίρι παρουσιάζει σημαντική επιδείνωση (μείωση).
- Σε επίπεδο περιφερειών, η γενική εικόνα της επικράτειας που παρουσιάστηκε παραπάνω παραμένει, με σημαντικές όμως διακυμάνσεις κατά περιφέρεια. Δηλαδή, περίπου έως τα μέσα του αιώνα δεν παρουσιάζονται σημαντικές μεταβολές, ενώ στο δεύτερο ήμισυ ο δείκτης TCI για κάποιες περιφέρειες εμφανίζει βελτίωση το χειμώνα και την άνοιξη, πολύ μεγάλη βελτίωση το φθινόπωρο και σημαντική μείωση το καλοκαίρι.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεταβολές του δείκτη κατά εποχή και χρονική περίοδο παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ περιφερειών και επικράτειας. Αυτό συμβαίνει επειδή ο TCI για την επικράτεια υπολογίζεται με βάση ανεξάρτητα κλιματικά δεδομένα μικρότερης γεωγραφικής ανάλυσης και όχι ως σταθμισμένος μέσος όρος των TCI των περιφερειών.

Πίνακας 2.41

Περιφερειακός υπολογισμός του δείκτη TCI για το σύνολο της επικράτειας και τις περιφέρειες, σε επίπεδο έτους και ανά εποχή
(2011-2070 για Σενάριο A2 και 2071-2100 για Σενάρια A2 και B2)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	TCI ετήσιος			TCI χειμώνας			TCI άνοιξη			TCI καλοκαίρι			TCI φθινόπωρο		
		Δείκτης TCI			Δείκτης TCI			Δείκτης TCI			Δείκτης TCI			Δείκτης TCI		
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. B2
		Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI	Δείκτης TCI
Ελλάδα	1961-1990	61	61	0	0	44	44	0	0	58	58	89	89	0	0	61
	2011-2020	60		-1		44		0		58		89		0		66
	2021-2030	60		-1		44		0		58		89		0		65
	2031-2040	61		0		44		0		58		89		0		71
	2041-2050	66		5		49		5		63		89		0		71
	2051-2060	66		5		49		5		63		89		0		71
	2061-2070	71		10		49		5		63		89		0		76
	2071-2080	71	71	10	10	52	49	8	5	63	63	84	83	-5	-6	81
	2081-2090	76	71	15	10	52	49	8	5	63	63	84	83	-5	-6	83
	2091-2100	76	71	15	10	52	49	8	5	68	63	79	83	-10	-6	81

Κατηγορίες του TCI και χρωματική αντιστοίχιση στον πίνακα

80≤TCI≤100 ιδανικό,

60≤TCI≤79 εξαιρετικό,

50≤TCI≤59 πολύ καλό,

40≤TCI≤49 αποδεκτό,

TCI≤39 μη αποδεκτό

Πίνακας 2.41

Περιφερειακός υπολογισμός του δείκτη TCI για το σύνολο της επικράτειας και τις περιφέρειες, σε επίπεδο έτους και ανά εποχή (2011-2070 για Σενάριο A2 και 2071-2100 για Σενάρια A2 και B2) (συνέχεια)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	TCI ετήσιος			TCI χειμώνας						TCI άνοιξη						TCI καλοκαίρι						TCI φθινόπωρο			
		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI	Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI			
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2		
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2		
Δυτική-Κεντρική Μακεδονία	1961-1990	55	54	0	0	41	40	0	0	57	57	0	0	88	88	0	0	55	55	0	0	0	0			
	2011-2020	53		-2		39	-2			56		-1		88		0		55		0		0				
	2021-2030	53		-2		39	-2			56		-1		88		0		55		0		0				
	2031-2040	54		-1		39	-2			56		-1		88		0		55		0		0				
	2041-2050	54		-1		44	3			56		-1		88		0		55		0		0				
	2051-2060	54		-1		45	4			58		1		88		0		55		0		0				
	2061-2070	59		4		44	3			58		1		88		0		60		5		5				
	2071-2080	60	60	5	6	46	45	5	5	57	57	0	0	83	88	-5	0	60	60	5	5	5	5			
	2081-2090	60	60	5	6	46	45	5	5	59	57	2	0	80	88	-8	0	65	60	10	10	5	5			
	2091-2100	65	59	10	5	46	45	5	5	64	57	7	0	75	88	-13	0	65	60	10	10	5	5			
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	1961-1990	54	53	0	0	41	41	0	0	56	55	0	0	88	88	0	0	57	57	0	0	0	0			
	2011-2020	53		-1		46	5			56		0		87		-1		56		-1		0	0			
	2021-2030	53		-1		46	5			56		0		87		-1		55		-2		0	0			
	2031-2040	53		-1		46	5			56		0		87		-1		56		-1		0	0			
	2041-2050	53		-1		46	5			56		0		87		-1		61		4		4	4			
	2051-2060	58		4		46	5			56		0		87		-1		61		4		4	4			
	2061-2070	58		4		46	5			56		0		87		-1		61		4		4	4			
	2071-2080	60	58	6	5	47	46	6	5	57	55	1	0	85	90	-3	2	67	61	10	10	4	4			
	2081-2090	65	58	11	5	47	46	6	5	62	55	6	0	80	84	-8	-4	67	61	10	10	4	4			
	2091-2100	70	58	16	5	47	46	6	5	62	55	6	0	75	90	-13	2	71	61	14	14	4	4			

2 Οι κίνδυνος και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής κατά τομέα

Πίνακας 2.41

Περιφερειακός υπολογισμός του δείκτη TCI για το σύνολο της επικράτειας και τις περιφέρειες, σε επίπεδο έτους και ανά εποχή (2011-2070 για Σενάριο A2 και 2071-2100 για Σενάρια A2 και B2) (συνέχεια)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	TCI ετήσιος				TCI χειμώνας				TCI άνοιξη				TCI καλοκαίρι				TCI φθινόπωρο			
		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI	
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2
		61	0	0	43	43	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	65	65	0	0	
Βόρειο Αιγαίο	1961-1990	61			48		5		57		-1		88		-1		70		5		
	2011-2020	60		-1	48		5		57		-1		89		0		70		5		
	2021-2030	60		-1	48		5		57		-1		89		0		70		5		
	2031-2040	65		4	48		5		57		-1		88		-1		70		5		
	2041-2050	65		4	48		5		62		4		88		-1		75		10		
	2051-2060	70		9	48		5		62		4		88		-1		75		10		
	2061-2070	70		9	48		5		62		4		88		-1		80		15		
	2071-2080	76	71	15	10	48	48	5	5	63	63	5	5	89	89	0	0	80	80	15	15
	2081-2090	76	71	15	10	49	48	6	5	63	63	5	5	84	89	-5	0	80	80	15	15
	2091-2100	81	71	20	10	48	48	5	5	63	63	5	5	84	89	-5	0	80	80	15	15
Κυκλάδες	1961-1990	65	65	0	0	50	50	0	0	64	64	0	0	88	88	0	0	77	77	0	0
	2011-2020	72		7	50		0		64		0		88		0		82		5		
	2021-2030	72		7	50		0		64		0		88		0		82		5		
	2031-2040	72		7	50		0		64		0		88		0		82		5		
	2041-2050	77		12	50		0		64		0		88		0		82		5		
	2051-2060	77		12	51		1		69		5		88		0		82		5		
	2061-2070	82		17	56		6		69		5		88		0		82		5		
	2071-2080	83	82	18	17	56	55	6	5	69	69	5	5	88	88	0	0	82	82	5	5
	2081-2090	83	82	18	17	56	55	6	5	69	69	5	5	88	88	0	0	82	82	5	5
	2091-2100	82	82	17	17	56	55	6	5	74	69	10	5	83	88	-5	0	82	82	5	5

Πίνακας 2.41

Περιφερειακός υπολογισμός του δείκτη TCI για το σύνολο της επικράτειας και τις περιφέρειες, σε επίπεδο έτους και ανά εποχή (2011-2070 για Σενάριο A2 και 2071-2100 για Σενάρια A2 και B2) (συνέχεια)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	TCI ετήσιος				TCI χειμώνας				TCI άνοιξη				TCI καλοκαίρι				TCI φθινόπωρο			
		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI	
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2
		60	60	0	0	48	48	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	73	73	0	0
Ανατολικό Αιγαίο	1961-1990	60	60	0	0	48	48	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	73	73	0	0
	2011-2020	64	64	4	4	48	48	0	0	63	63	5	5	88	88	-1	-1	78	78	5	5
	2021-2030	65	65	5	5	48	48	0	0	63	63	5	5	89	89	0	0	75	75	2	2
	2031-2040	71	71	11	11	48	48	0	0	63	63	5	5	88	88	-1	-1	78	78	5	5
	2041-2050	69	69	9	9	48	48	0	0	63	63	5	5	88	88	-1	-1	83	83	10	10
	2051-2060	70	70	10	10	48	48	0	0	63	63	5	5	88	88	-1	-1	83	83	10	10
	2061-2070	75	75	15	15	48	48	0	0	63	63	5	5	88	88	-1	-1	82	82	9	9
	2071-2080	81	76	21	16	49	48	1	0	68	63	10	5	83	82	-6	-7	83	83	10	10
	2081-2090	81	75	21	15	51	48	3	0	68	63	10	5	83	82	-6	-7	82	83	9	10
	2091-2100	81	74	21	14	51	48	3	0	73	68	15	10	78	77	-11	-12	82	82	9	9
Δωδεκάνησα	1961-1990	72	72	0	0	50	50	0	0	64	64	0	0	88	88	0	0	85	83	0	0
	2011-2020	77	77	5	5	50	50	0	0	64	64	0	0	88	88	0	0	83	83	0	0
	2021-2030	77	77	5	5	50	50	0	0	65	65	1	1	88	88	0	0	83	83	0	0
	2031-2040	77	77	5	5	50	50	0	0	64	64	0	0	88	88	0	0	83	83	0	0
	2041-2050	77	77	5	5	50	50	0	0	69	69	5	5	88	88	0	0	83	83	0	0
	2051-2060	82	82	10	10	55	55	5	5	69	69	5	5	88	88	0	0	83	83	0	0
	2061-2070	82	82	10	10	55	55	5	5	70	70	6	6	88	88	0	0	83	83	0	0
	2071-2080	82	82	10	10	55	55	5	5	74	69	10	5	83	84	-5	-4	85	83	0	0
	2081-2090	83	82	11	10	56	55	6	5	74	69	10	5	83	84	-5	-4	85	83	2	0
	2091-2100	82	82	10	10	62	55	12	5	79	74	15	10	78	79	-10	-9	83	83	0	0

2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής κατά τομέα

Περιφερειακός υπολογισμός του δείκτη TCi για το σύνολο της επικράτειας και τις περιφέρειες, σε επίπεδο έτους και ανά εποχή (2011-2070 για Σενάριο A2 και 2071-2100 για Σενάρια A2 και B2) (συνέχεια)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	TCl επήρσιος				TCl χειμώνας				TCl άνοιξη				TCl καλοκαίρι				TCl φθινόπωρο				
		Δείκτης TCl		Δ δείκτη TCl		Δείκτης TCl		Δ δείκτη TCl		Δείκτης TCl		Δ δείκτη TCl		Δείκτης TCl		Δ δείκτη TCl		Δείκτης TCl		Δ δείκτη TCl		
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	
Κρήνη	1961-1990	62	0	0	52	52	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	68	68	0	0	0	0
	2011-2020	66	4		51		-1		60		2		89		0		73		5			
	2021-2030	66	4		51		-1		65		7		89		0		73		5			
	2031-2040	68	6		51		-1		65		7		89		0		73		5			
	2041-2050	73	11		51		-1		65		7		89		0		78		10			
	2051-2060	73	11		51		-1		65		7		89		0		78		10			
	2061-2070	73	11		51		-1		65		7		89		0		83		15			
	2071-2080	79	17	12	52	52	0	0	70	65	12	7	84	85	-5	-4	83	83	15	15		
	2081-2090	79	17	12	52	52	0	0	70	65	12	7	84	85	-5	-4	83	83	15	15		
	2091-2100	84	22	15	52	52	0	0	75	65	17	7	79	83	-10	-6	83	83	15	15		
Κεντρική- Ανατολική Ελλάδα	1961-1990	56	0	0	47	47	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	63	63	0	0	0	0
	2011-2020	61	5		47		0		58		0		89		0		63		0			
	2021-2030	61	5		47		0		58		0		89		0		63		0			
	2031-2040	61	5		47		0		58		0		89		0		63		0			
	2041-2050	61	5		47		0		58		0		89		0		63		0			
	2051-2060	61	5		47		0		58		0		89		0		68		5			
	2061-2070	66	10		47		0		63		5		84		-5		68		5			
	2071-2080	71	15	10	52	47	5	0	63	63	5	5	79	78	-10	-11	78	68	15	5		
	2081-2090	71	15	10	52	47	5	0	63	63	5	5	79	78	-10	-11	78	73	15	10		
	2091-2100	76	20	10	52	47	5	0	68	63	10	5	74	78	-15	-11	83	73	20	10		

Πίνακας 2.41

Περιφερειακός υπολογισμός του δείκτη TCI για το σύνολο της επικράτειας και τις περιφέρειες, σε επίπεδο έτους και ανά εποχή (2011-2070 για Σενάριο A2 και 2071-2100 για Σενάρια A2 και B2) (συνέχεια)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	TCI ετήσιος				TCI χειμώνας				TCI άνοιξη				TCI καλοκαίρι				TCI φθινόπωρο			
		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI	
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2
		61	0	0	0	45	44	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	61	63	0	0
Ανατολική Πελοπόννησος	1961-1990	61	0	0	0	45	44	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	61	63	0	0
	2011-2020	61	0	0	0	44		-1		58		0		89		0		66		5	
	2021-2030	61	0	0	0	46		1		58		0		89		0		66		5	
	2031-2040	66	5	5	5	44		-1		58		0		89		0		71		10	
	2041-2050	66	5	5	5	52		7		63		5		89		0		71		10	
	2051-2060	66	5	5	5	52		7		63		5		89		0		73		12	
	2061-2070	71	10	10	10	52		7		63		5		84		-5		78		17	
	2071-2080	76	15	15	15	52	52	7	8	63	63	5	5	79	78	-10	-11	83	78	22	15
	2081-2090	77	16	16	16	52	52	7	8	68	63	10	5	74	78	-15	-11	83	78	22	15
	2091-2100	81	20	20	20	52	52	7	8	73	63	15	5	74	78	-15	-11	83	76	22	13
Δυτική Ελλάδα	1961-1990	55	0	0	0	40	40	0	0	56	56	0	0	88	88	0	0	54	54	0	0
	2011-2020	50	-5	-5	-5	43		3		55		-1		88		0		53		-1	
	2021-2030	50	-5	-5	-5	43		3		55		-1		88		0		53		-1	
	2031-2040	51	-4	-4	-4	43		3		55		-1		88		0		53		-1	
	2041-2050	51	-4	-4	-4	43		3		55		-1		88		0		53		-1	
	2051-2060	51	-4	-4	-4	43		3		55		-1		88		0		58		4	
	2061-2070	56	1	1	1	43		3		55		-1		88		0		58		4	
	2071-2080	58	3	3	3	45	45	5	5	56	56	0	0	90	82	2	-6	64	59	10	5
	2081-2090	59	4	4	4	45	45	5	5	56	56	0	0	85	82	-3	-6	67	61	13	7
	2091-2100	64	9	9	9	45	45	5	5	62	56	6	0	80	82	-8	-6	71	59	17	5

2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής κατά τομέα

Πίνακας 2.41

Περιφερειακός υπορογιαμός του δείκτη TCI για το σύνολο της επικράτειας και τις περιφέρειες, σε επίπεδο έτους και ανά εποχή (2011-2070 για Σενάριο A2 και 2071-2100 για Σενάρια A2 και B2) (συνέχεια)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	TCI ετήσιος				TCI χειμώνας				TCI άνοιξη				TCI καλοκαίρι				TCI φθινόπωρο			
		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI		Δείκτης TCI		Δ δείκτη TCI	
		Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2	Σεν. A2	Σεν. B2
		64	0	0	0	51	51	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	75	75	0	0
Ιόνιο	1961-1990	64	0	0	0	51	51	0	0	58	58	0	0	89	89	0	0	75	75	0	0
	2011-2020	69	5			50		-1		63		5		89		0		80		5	
	2021-2030	69	5			50		-1		63		5		89		0		80		5	
	2031-2040	70	6			50		-1		63		5		89		0		80		5	
	2041-2050	69	5			50		-1		63		5		89		0		80		5	
	2051-2060	75	11			50		-1		63		5		89		0		80		5	
	2061-2070	75	11			50		-1		63		5		89		0		80		5	
	2071-2080	79	15	10	10	51	51	0	0	63	63	5	5	89	83	0	-6	80	80	5	5
	2081-2090	80	16	11	11	56	51	5	0	68	63	10	5	84	83	-5	-6	80	80	5	5
	2091-2100	80	16	15	15	56	51	5	0	73	68	15	10	79	78	-10	-11	80	80	5	5
Δυτική Πελοπόννησος	1961-1990	55	0	0	0	44	44	0	0	56	56	0	0	89	89	0	0	60	60	0	0
	2011-2020	57	2			44		0		58		2		89		0		60		0	
	2021-2030	57	2			43		-1		58		2		89		0		60		0	
	2031-2040	59	4			44		0		58		2		89		0		60		0	
	2041-2050	59	4			46		2		58		2		89		0		65		5	
	2051-2060	60	5			46		2		58		2		89		0		66		6	
	2061-2070	65	10			46		2		58		2		89		0		70		10	
	2071-2080	71	16	10	10	51	46	7	2	63	58	7	2	84	83	-5	-6	76	71	16	11
	2081-2090	71	16	10	10	52	46	8	2	63	58	7	2	84	83	-5	-6	76	71	16	11
	2091-2100	76	21	10	10	51	51	7	7	63	63	7	7	79	83	-10	-6	81	70	21	10

Επιπτώσεις σε αφίξεις, διανυκτερεύσεις και έσοδα

Η παραδοχή που χρησιμοποιείται ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία είναι ότι οι αυξομειώσεις του δείκτη TCI εμφανίζουν, *ceteris paribus*, γραμμική συσχέτιση με τον αριθμό των αφίξεων, των διανυκτερεύσεων και, κατ' επέκταση, των τουριστικών εισπράξεων σε μια περιοχή (Scott and Coyle, 2003, de Freitas et al., 2008) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υποδείγματα πρόβλεψης και διαχείρισης της τουριστικής ζήτησης (de Freitas et al., 2008). Οι συγγραφείς επιφυλάσσουν για το κατά πόσον ο συγκεκριμένος δείκτης είναι αυτοτελώς επαρκής να προβλέψει και να αποτυπώσει ένα τόσο σύνθετο φαινόμενο όπως οι τουριστικές ροές χωρίς τις κατάλληλες χωρικές και ποιοτικές προσαρμογές, συμμαρρίζοντας όμως την άποψη ότι έχει τη δυνατότητα θετικής συνεισφοράς στις σχετικές εκτιμήσεις.

Η οικονομική αποτύπωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική ξενοδοχεία, η οποία στη μελέτη αυτή χρησιμοποιείται ως οδηγός αλλά και ως ενδεικτικός εκπρόσωπος (*surrogate*) για τον ελληνικό τουρισμό, προφανώς δεν μπορεί να εξειδικευθεί σε εποχικό και περιφερειακό επίπεδο, καθώς θα απαιτούσε πλειάδα σχετικών αναφορών και μεγαλύτερη διαθεσιμότητα δεδομένων. Στο μέλλον, και με μεγαλύτερη ευχέρεια χρόνου και δεδομένων, θα μπορούσε να γίνει λεπτομερέστατη ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον ελληνικό τουρισμό.

Στον Πίνακα 2.42, τμήμα Α, παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις σχετικά με τις αφίξεις, διανυκτερεύσεις και εισπράξεις για ολόκληρο τον αιώνα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Για τον υπολογισμό των πιο πάνω μεγεθών θεωρείται ότι θα υπάρχει μια αύξηση 3,5% για την πρώτη δεκαετία (πρόβλεψη του WTTC για την Ελλάδα, 2010-2020) και ακολούθως ο ρυθμός αύξησης θα επιβραδύνεται σταδιακά ανά δύο δεκαετίες στο 3%, 2,5%, 2%, 1,5%, μέχρι να φθάσει στο 1% για τη δεκαετία 2090-2100. Οι ρυθμοί αύξησης του ελληνικού τουριστικού ρεύματος επιλέχθηκε να είναι εν μέρει επιβραδυνόμενοι, τόσο λόγω του ότι η Ελλάδα ήδη αποτελεί ώριμο τουριστικό προορισμό στη διεθνή αγορά όσο και, εν μέρει, ως απόρροια της βελτίωσης των κλιματικών συνθηκών στις χώρες-τροφοδότες του ελληνικού τουρισμού κατά την ίδια χρονική περίοδο. Επίσης χρησιμοποιείται επιτόκιο 1,4% (όπως και στην Έκθεση Stern) για να αναχθούν οι εισπράξεις σε παρούσα αξία. Πρέπει να επισημανθεί ότι τα στοιχεία κάθε γραμμής αφορούν το σύνολο της δεκαετίας στην οποία αναφέρονται και όχι ένα έτος.

Στον Πίνακα 2.42, τμήμα Β, εφαρμόστηκε ο ετήσιος δείκτης TCI στα μεγέθη του Πίνακα 2.42, τμήμα Α, για να υπάρξει μια πρώτη συνολική εκτίμηση της κλιματικής αλλαγής στα φυσικά και οικονομικά μεγέθη. Ο Πίνακας 2.42, τμήμα Γ, παρουσιάζει τις διαφορές των μεγεθών μεταξύ των Α και Β. Όπως ήταν αναμενόμενο από τις εκτιμήσεις για το δείκτη TCI (Πίνακας 2.41), σε ετήσια βάση και σε επίπεδο επικράτειας, η Ελλάδα φαίνεται να ωφελείται από την κλιματική αλλαγή. Οι επιπτώσεις είναι αρνητικές ή ουδέτερες για την περίοδο 2010-2040, αλλά μετατρέπονται σε σημαντικά θετικές στο διάστημα

Πίνακας 2.42

Προβρέψεις αφίξεων, διανυκτερεύσεων και εισπράξεων

(Για όλη την επικράτεια χωρίς και με αναγωγή σε παρούσα αξία, σε ετήσια βάση, καθώς και αναγωγή όλων των προβρέψεων λαμβανομένης υπόψη της επιπτώσεως του ΤCI τόσο σε ετήσια όσο και σε εποχική βάση)

Κλιματική ζώνη Ελλάδα	Χρονική περίοδος	Α. Μεταβολές με αυξήσεις από 3,5% έως 1% και i=1,4% Χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές του ΤCI				Β. Λαμβανομένων υπόψη των μεταβολών του ΤCI σε ετήσια βάση			
		Αφίξεις	Διαν/σεις	Εισπράξεις (σε χλ. ευρώ)	Εισπράξεις ανηγμένες σε παρούσα αξία (σε χλ. ευρώ)	Αφίξεις	Διαν/σεις	Εισπράξεις (σε χλ. ευρώ)	Εισπράξεις ανηγμένες σε παρούσα αξία (σε χλ. ευρώ)
	2007	16.037.592	65.420.236	11.319.200	11.319.200	16.037.592	65.420.236	11.319.200	11.319.200
	2011-2020	188.143.297	767.470.509	132.789.985	121.412.900	185.058.981	754.889.025	130.613.100	119.422.525
	2021-2030	215.685.205	879.818.929	152.228.837	137.264.579	212.149.382	865.395.668	149.733.282	135.014.340
	2031-2040	247.258.916	1.008.613.802	174.513.301	155.185.855	247.258.916	1.008.613.802	174.513.301	155.185.855
	2041-2050	277.013.603	1.129.988.548	195.513.914	171.460.195	299.719.636	1.222.610.560	211.539.644	185.514.310
	2051-2060	310.348.915	1.265.969.310	219.041.702	189.441.225	335.787.351	1.369.737.286	236.995.939	204.969.195
	2061-2070	339.823.403	1.386.201.074	239.844.552	204.568.892	395.532.158	1.613.447.151	279.163.331	238.104.776
	2071-2080	372.097.146	1.517.851.501	262.623.093	220.904.565	433.096.678	1.766.679.615	305.676.059	257.118.428
	2081-2090	398.245.218	1.624.514.214	281.078.187	233.163.716	496.174.370	2.023.984.923	350.195.773	290.499.056
	2091-2100	416.652.612	1.699.601.299	294.069.973	240.572.816	519.108.172	2.117.536.044	366.382.261	299.730.065
		Δ. Λαμβανομένων υπόψη των μεταβολών του ΤCI σε εποχική βάση				Γ. Διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων χωρίς και με ΤCI σε ετήσια βάση			
	2007	16.037.592	65.420.236		11.319.200	0	0	0	0
	2011-2020	192.024.909	783.304.306		123.917.788	-3.084.316	-12.581.484	-2.176.885	-1.990.375
	2021-2030	219.245.072	894.340.269		139.530.120	-3.535.823	-14.423.261	-2.495.555	-2.250.239
	2031-2040	257.461.386	1.050.231.522		161.589.180	0	0	0	0
	2041-2050	293.260.731	1.196.263.518		181.516.509	22.706.033	92.622.012	16.025.731	14.054.114
	2051-2060	328.551.192	1.340.219.688		200.552.145	25.438.436	103.767.976	17.954.238	15.527.969
	2061-2070	366.765.336	1.496.102.085		220.787.555	55.708.755	227.246.078	39.318.779	33.535.884
	2071-2080	398.702.063	1.626.377.767		236.699.225	60.999.532	248.828.115	43.052.966	36.213.863
	2081-2090	430.006.223	1.754.073.094		251.759.078	97.929.152	399.470.708	69.117.587	57.335.340
	2091-2100	438.395.357	1.788.293.885		253.126.951	102.455.560	417.934.746	72.312.288	59.157.250

2061-2100. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι, για οικονομία χώρου, τα στοιχεία που παρουσιάζονται αφορούν μόνο το Σενάριο A1B.

Για παράδειγμα, για τη δεκαετία 2091-2100, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι κλιματικές αλλαγές, προβλέπονται αφίξεις 41,6 εκατ. τουριστών κατά μέσον όρο ετησίως, οι οποίες αυξάνονται κατά 10,2 εκατ. εάν ληφθούν υπόψη οι κλιματικές αλλαγές, μια αύξηση σχεδόν 25%. Παρόμοιες, σημαντικότερες αυξήσεις παρατηρούνται και στα υπόλοιπα –παρεπόμενα– μεγέθη των διανυκτερεύσεων και των τουριστικών εισπράξεων.

Τα θετικά αυτά αποτελέσματα μειώνονται σημαντικά όταν προχωρήσουμε σε εποχική ανάλυση των δεδομένων. Στον Πίνακα 2.42, τμήμα Δ, παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των φυσικών και οικονομικών μεγεθών, αφού ληφθούν υπόψη οι εποχικές μεταβολές του δείκτη TCI. Κατ' αρχάς διαχωρίστηκαν τα ετήσια φυσικά και χρηματοοικονομικά μεγέθη του έτους βάσης (2007) σε εποχικά, με χρήση συντελεστών εποχικότητας οι οποίοι υπολογίστηκαν με βάση τη μηνιαία πραγματική κατανομή των εισπράξεων για το ίδιο έτος. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι εξής συντελεστές: 4,56% για το χειμώνα, 14,16% για την άνοιξη, 56,11% για το καλοκαίρι και 25,17% για το φθινόπωρο. Τέλος, με διαθέσιμα τα φυσικά και οικονομικά μεγέθη σε εποχική ανάλυση, εφαρμόστηκαν οι αντίστοιχοι εποχικοί δείκτες TCI.

Όπως είναι εμφανές από τον Πίνακα 2.42, τμήμα Δ, παρότι η κλιματική αλλαγή συνεχίζει να έχει θετική επίδραση σε όλα τα μεγέθη, οι παρατηρούμενες αυξήσεις είναι κατά πολύ χαμηλότερες από ό,τι παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.42, τμήμα Γ. Για παράδειγμα, η αύξηση των αφίξεων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής για τη δεκαετία 2091-2100 μειώνεται σε ετήσια βάση από το 25% που αναφέρθηκε παραπάνω στο 5,2%. Η αναγωγή σε εποχική βάση μετριάζει κατά πολύ τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, οι οποίες όμως σε επίπεδο επικράτειας παραμένουν θετικές.

Ο μετριασμός αυτός είναι αναμενόμενος με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 2.41. Εκεί γίνεται εμφανές ότι η βελτίωση σε ετήσια βάση επήλθε χάρη στην εντυπωσιακή άνοδο του δείκτη κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, άνοδο που φθάνει ή και υπερβαίνει τις 20 μονάδες (για το Σενάριο A2) κατά το διάστημα 2070-2100, και τη σημαντική άνοδο του δείκτη κατά 5 μονάδες κατά τη διάρκεια των μηνών του χειμώνα και της άνοιξης. Αντίθετα, ο δείκτης μειώνεται σημαντικά, κατά 5 (για το Σενάριο A2) έως και 10 (για το Σενάριο B2) μονάδες, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Οι εποχικές αυτές διαφορές ως προς τη μεταβολή του δείκτη έχουν πολύ μεγάλη σημασία, καθώς οι καλοκαιρινοί μήνες συνεισφέρουν κατά μέσο όρο το 55-60% των ετήσιων τουριστικών εισπράξεων.

Τα οικονομικά μεγέθη του Πίνακα 2.42 υπολογίστηκαν με βάση το επιτόκιο προεξόφλησης που χρησιμοποιήθηκε στην Έκθεση Stern (1,4%). Για λόγους πληρότητας της ανάλυσης και για να καταδειχθεί ο ρόλος του προεξοφλητικού επιτοκίου, στον Πίνακα 2.42α παρουσιάζεται η παρούσα αξία των εισπράξεων, λαμβανομένων υπόψη των μεταβολών του TCI σε ετήσια βάση, υπολογισμένη με επιτόκιο 0%, 1%, και 3%. Επίσης, για ευκολία σύγκρισης

Πίνακας 2.42α

Επίδραση προεξοφλητικού επιτοκίου στις εισπράξεις, ανηγμένες σε παρούσα αξία, λαμβανομένων υπόψη των μεταβολών του TCI σε ετήσια βάση (Σε χιλ. ευρώ)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	Προεξοφλητικό επιτόκιο i=0%	Προεξοφλητικό επιτόκιο i=1%	Προεξοφλητικό επιτόκιο i=1,4%	Προεξοφλητικό επιτόκιο i=3%
Ελλάδα	2007	11.319.200	11.319.200	11.319.200	11.319.200
	2011-2020	130.613.100	122.482.817	119.422.525	108.170.509
	2021-2030	149.733.282	139.022.597	135.014.340	120.393.559
	2031-2040	174.513.301	160.425.800	155.185.855	136.231.086
	2041-2050	211.539.644	192.537.831	185.514.310	160.325.362
	2051-2060	236.995.939	213.571.765	204.969.195	174.387.013
	2061-2070	279.163.331	249.080.615	238.104.776	199.431.787
	2071-2080	305.676.059	270.035.965	257.118.428	212.011.886
	2081-2090	350.195.773	306.301.914	290.499.056	235.815.561
	2091-2100	366.382.261	317.286.706	299.730.065	239.529.371

παρουσιάζεται και η παρούσα αξία των εισπράξεων υπολογισμένη με επιτόκιο 1,4%, που αντιστοιχεί στα στοιχεία της τελευταίας στήλης του Πίνακα 2.42, τμήμα Β. Όπως είναι αναμενόμενο, η αύξηση του προεξοφλητικού επιτοκίου οδηγεί σε σημαντική πτώση της παρούσας αξίας των εισπράξεων.

Παρότι οι παραπάνω εκτιμήσεις δείχνουν μια συνολικά θετική επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στα φυσικά και οικονομικά μεγέθη του τουρισμού, θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα στοιχεία τα οποία έχουν υπολογιστεί σε επίπεδο επικράτειας είναι ως επί το πλείστον παραπλανητικά, τουλάχιστον για κάποιες σημαντικές περιφέρειες. Ατυχώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ανάλυση σε επίπεδο περιφερειών υπερβαίνει τα όρια της παρούσας μελέτης λόγω έλλειψης διαθέσιμων δεδομένων. Καθώς όμως θεωρείται πολύ σημαντικό να επισημανθούν οι διαφορές που προκύπτουν κατά τη μετάβαση σε περιφερειακή ανάλυση, επιχειρείται να παρουσιαστεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε εποχική βάση για δύο τουριστικά σημαντικές περιφέρειες, αυτές των Δωδεκανήσων και της Κρήτης, στις οποίες αναλογεί περίπου το 40% της συνολικής τουριστικής κίνησης της χώρας.

Για να καταδειχθούν οι σημαντικές διαφορές, γίνεται επικέντρωση στα οικονομικά μεγέθη. Κατ' αρχάς υπολογίστηκαν οι συντελεστές εποχικότητας από τη μηνιαία κατανομή των εισπράξεων για το έτος 2007 (στοιχεία ΕΣΥΕ). Συγκεκριμένα για την Κρήτη χρησιμοποιήθηκαν οι εξής συντελεστές: 0,85% για το χειμώνα, 15,96% για την άνοιξη, 58,44% για

το καλοκαίρι και 24,75% για το φθινόπωρο και, αντίστοιχα, για τα Δωδεκάνησα οι συντελεστές: 0,58% για το χειμώνα, 13,40% για την άνοιξη, 61,71% για το καλοκαίρι και 24,31% για το φθινόπωρο. Αφού οι εισπράξεις ανήχθησαν σε εποχική βάση, εκτιμήθηκε η επίδραση των μεταβολών του δείκτη TCI. Ο Πίνακας 2.43 πιο κάτω παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, σε επίπεδο διαφορών.

Όσον αφορά την περιφέρεια της Κρήτης παρατηρούνται σημαντικότερες μειώσεις των εισπράξεων κατά τους θερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια των οποίων διενεργείται πάνω από το 50% των εισπράξεων και ο δείκτης TCI μειώνεται. Σε ετήσια βάση πάντως, και με την παραδοχή της πλήρους χρονικής ελαστικότητας των τουριστικών αφίξεων, οι εισπράξεις για την περιφέρεια της Κρήτης αυξάνονται, κυρίως λόγω της εξαιρετικά σημαντικής βελτίωσης του δείκτη TCI κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και της άνοιξης, που συγκεντρώνουν περίπου το 40% των εισπράξεων. Στην περίπτωση όμως της περιφέρειας των Δωδεκανήσων, η σημαντική πτώση των εισπράξεων κατά τους θερινούς μήνες δεν αντισταθμίζεται από τις αυξήσεις κατά τους ανοιξιάτικους και φθινοπωρινούς μήνες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι θερινοί μήνες συγκεντρώνουν περίπου 60% των συνολικών τουριστικών εισπράξεων.

Η παραπάνω ανάλυση, παρά τις απλουστεύσεις και τις γενικευμένες υποθέσεις που εμπεριέχει, αποδεικνύει ότι συμπεράσματα βασισμένα σε δεδομένα για το σύνολο της επικράτειας και σε ετήσιο επίπεδο μπορεί να είναι παραπλανητικά. Για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εποχική και περιφερειακή διάσταση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα περιφερειακά δεδομένα εποχικότητας ώστε να μπορεί να επιχειρηθεί η ανάλυση των επιπτώσεων επί των εισπράξεων σε εποχική βάση για όλες τις περιφέρειες, δεν είναι εφικτή η εκτίμηση των συνολικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα φυσικά και οικονομικά μεγέθη για το σύνολο της επικράτειας. Επισημαίνεται ότι μια τέτοια προσπάθεια, για να είναι ολοκληρωμένη, θα απαιτούσε δεδομένα με μεγαλύτερη γεωγραφική λεπτομέρεια και πιο βραχυχρόνια βάση καταγραφής κλιματολογικών μεταβλητών, προκειμένου έτσι να υποστηριχθεί η χάραξη ορθής μακροχρόνιας τουριστικής στρατηγικής της χώρας μας. Πάντως, σε γενικές γραμμές και με βάση τις εκτιμήσεις για το δείκτη TCI στον Πίνακα 2.41, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα τουριστικά μεγέθη αναμένονται πολύ μικρές και ίσως οριακά αρνητικές για το σύνολο της επικράτειας.

Επομένως, η χώρα μπορεί να έχει ωφέλειες από την κλιματική αλλαγή σε οικονομικούς όρους μόνον εφόσον μπορέσει να υπερβεί τους θεσμικούς παράγοντες οι οποίοι περιορίζουν το χρόνο άφιξης των τουριστών, κατά κύριο λόγο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (σχολικές διακοπές, άδειες εργαζομένων), και συνδιαμορφώνουν, από κοινού με το κατάλληλο κλίμα, τα μεγέθη και την εποχικότητα των αφίξεων. Η απεμπλοκή αυτή προϋποθέτει τον εντοπισμό νέων στοχευμένων τουριστικών αγορών (συνταξιούχοι, weekend breaks, επαγγελματικός και συνεδριακός τουρισμός), οι οποίες να μην υπόκεινται στους ανωτέρω περιορισμούς, και,

Πίνακας 2.43

Διαφορές εισπράξεων μεταξύ των περιπτώσεων χωρίς και με εποχικό ΤCI
(Σε παρούσα αξία, χιλ. ευρώ, για τις περιφέρειες Κρήτης και Δωδεκανήσων)

Κλιματική ζώνη	Χρονική περίοδος	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Σύνολα σε ετήσια βάση
Κρήτη	2007	0	0	0	0	0
	2011-2020	-4.649	156.526	0	517.592	669.469
	2021-2030	-5.256	619.367	0	585.169	1.199.280
	2031-2040	-5.942	700.231	0	661.569	1.355.858
	2041-2050	-6.565	773.665	0	1.461.895	2.228.994
	2051-2060	-7.254	854.799	0	1.615.204	2.462.749
	2061-2070	-7.833	923.058	0	2.616.277	3.531.502
	2071-2080	0	1.708.746	-1.698.953	2.825.197	2.834.990
	2081-2090	0	1.803.573	-1.793.237	2.981.982	2.992.318
	2091-2100	0	2.636.252	-3.700.440	3.076.739	2.012.552
Δωδεκάνησα	2007	0	0	0	0	0
	2011-2020	0	0	0	0	0
	2021-2030	0	48.753	0	0	48.753
	2031-2040	0	0	0	0	0
	2041-2050	0	304.495	0	0	304.495
	2051-2060	18.639	336.427	0	0	355.066
	2061-2070	20.127	435.951	0	0	456.078
	2071-2080	21.735	784.606	-1.313.922	0	-507.581
	2081-2090	27.529	828.148	-1.386.838	231.697	-299.465
	2091-2100	56.808	1.281.695	-2.861.814	0	-1.523.311

βέβαια, την επαναξιολόγηση του ελληνικού τουριστικού προϊόντος στην αντίληψη των καταναλωτών-τουριστών και, το κυριότερο, των διεθνών τουριστικών πρακτόρων.

Με την επάνοδο στα στοιχεία του Πίνακα 2.43 επιχειρείται να δοθεί μια αίσθηση της τάξεως μεγέθους των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Παρατηρείται ότι τις τρεις τελευταίες δεκαετίες του 21ου αιώνα οι καλοκαιρινές εισπράξεις θα μειωθούν κατά €7 δισεκ. και €5,5 δισεκ. για την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα αντίστοιχα. Αν οι προορισμοί αυτοί δεν επιτύχουν την αναπλήρωση των εν λόγω απωλειών με ανάλογη αύξηση

των αφίξεων σε άλλες εποχές του έτους κατά τις οποίες ο δείκτης TCI βελτιώνεται, οι απώλειες που θα υποστούν σε ετήσια βάση οι τουριστικές εισπράξεις θα ανέρχονται περίπου στα €240 εκατ. και €185 εκατ., αντίστοιχα. Τα ποσά αυτά είναι σχετικώς μικρά, εκφραζόμενα ως ποσοστά επί των εκτιμώμενων ετήσιων τουριστικών εισπράξεων της χώρας για το έτος βάσης 2007 (περίπου 5%). Όμως, το μέγεθός τους μπορεί να αποδειχθεί καταστροφικό για τη μακροχρόνια επιβίωση και κερδοφορία των ελληνικών ξενοδοχειακών επιχειρήσεων, όταν αυτά εκφραστούν ως ποσοστό των κερδών των επιχειρήσεων αυτών. Ενδεικτικά, για το έτος 2007, ο κύκλος εργασιών του συνόλου των ελληνικών ξενοδοχείων ανήλθε σε €9,93 δισεκ. με περιθώριο μικτού κέρδους 33,8%, περιθώριο προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων (EBITDA) 24,5% και περιθώριο καθαρού κέρδους 0,98%.²² Πρακτικά τα παραπάνω σημαίνουν ότι τα μικτά αποτελέσματα χρήσης ανέρχονταν για το έτος 2008 στα €3,35 δισεκ., τα αποτελέσματα προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων στα €2,43 δισεκ. και τα καθαρά (διαθέσιμα) κέρδη στα €973 εκατομμύρια. Επομένως, μια μείωση των αφίξεων λόγω της κλιματικής αλλαγής με βάση τις προβλέψεις των σεναρίων, άρα και μια μείωση των εσόδων κατά €430 εκατ. περίπου για δύο μόνο περιφέρειες, θα αρκούσε για να μειώσει τα καθαρά αποτελέσματα χρήσης των ξενοδοχειακών επιχειρήσεων σε εθνικό επίπεδο κατά τα 2/3 περίπου!

Η σημαντική αρνητική επίπτωση της περιορισμένης μείωσης των εισπράξεων στα καθαρά αποτελέσματα χρήσης προέρχεται από το γεγονός ότι η λειτουργική μόχλευση των ξενοδοχειακών μονάδων είναι πολύ υψηλή. Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατέθηκαν παραπάνω, η μόχλευση προσεγγίζει το 80%, οδηγώντας σε υψηλό νεκρό σημείο, περιορισμένο περιθώριο ασφαλείας και έντονο μετασχηματισμό των αυξομειώσεων των τουριστικών εισπράξεων και δαπανών σε ανάλογες αυξομειώσεις των αποτελεσμάτων χρήσης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο πολλαπλασιαστής για τον τουριστικό κλάδο είναι πολύ υψηλός, με αποτέλεσμα οι μεταβολές της κερδοφορίας του κλάδου να έχουν περαιτέρω σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις για άλλους συνεργαζόμενους ή και, πολλές φορές, εξαρτώμενους κλάδους. Μάλιστα, το γεγονός ότι πρόκειται για κλάδο παροχής υπηρεσιών μεταφράζεται σε αυξημένη απασχόληση σημαντικού αριθμού — κυρίως εποχικών — εργαζομένων και, κατ' επέκταση, σε απώλεια ανάλογα σημαντικού αριθμού θέσεων εργασίας σε περίπτωση μείωσης των τουριστικών αφίξεων ή της μέσης κατά κεφαλήν τουριστικής δαπάνης.

Οι παρατηρήσεις αυτές παρέχουν μια μάλλον αισιόδοξη εκτίμηση της πραγματικότητας, καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη τους την παράλληλη βελτίωση των ίδιων κλιματικών παραμέ-

²² Αναλυτικά για τα στοιχεία αυτά, βλ. το πλήρες κείμενο για τον τουρισμό, στη σχετική σελίδα της Επιτροπής Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (EMEKA) που έχει αναρτηθεί στον ιστοχώρο της Τράπεζας της Ελλάδος (www.bankofgreece.gr).

τρων στις χώρες-τροφοδότες του ελληνικού τουρισμού. Εάν οι κλιματικές συνθήκες στις χώρες αυτές μεταβάλλονταν με τρόπο ώστε να βελτιωθεί ο τοπικός δείκτης TCI, τότε πιθανόν οι πιο πάνω εκτιμήσεις να ήταν πολύ πιο αρνητικές. Για παράδειγμα, η τελική Έκθεση της PESETA προβλέπει βελτίωση του TCI για την Κεντρική και τη Βόρεια Ευρώπη κατά τη διάρκεια της άνοιξης, του καλοκαιριού και του φθινοπώρου. Με βάση αυτές τις εκτιμήσεις συμπεραίνει ότι θα υπάρξει μετακίνηση της τουριστικής ζήτησης από τη Νότια προς την Κεντρική και τη Βόρεια Ευρώπη.

Πέρα από τις εποχικές διακυμάνσεις των μεταβολών του TCI, ουσιώδεις είναι οι διακυμάνσεις μεταξύ των περιφερειών, που, όπως αποδείχθηκε πιο πάνω, μπορεί να έχουν σημαντικότερες οικονομικές επιπτώσεις. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω για τις περιφέρειες της Κρήτης και των Δωδεκανήσων βασίστηκε σε εποχική ανάλυση των διανυκτερεύσεων. Δεν ελήφθη όμως καθόλου υπόψη η εποχικότητα λειτουργίας των κλινών αυτών, η οποία ωστόσο ανέρχεται στο 88,91% για τα Δωδεκάνησα και 81,85% για την Κρήτη. Οι παρατηρήσεις αυτές αναδεικνύουν τις τεράστιες αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις που η κλιματική αλλαγή (μέσω και μόνον της επιδείνωσης του τοπικού TCI) μπορεί να έχει στις εισπράξεις και στην κερδοφορία των ελληνικών ξενοδοχειακών επιχειρήσεων. Οι επιπτώσεις αυτές “κρύβονται” πίσω από τη μη επιδείνωση, ή βελτίωση του δείκτη TCI σε άλλες εποχές (κατά τις οποίες η πλειονότητα των τουριστικών κλινών αδρανεί) και σε άλλες περιοχές της χώρας, που όμως χαρακτηρίζονται από περιορισμένη συνεισφορά στις τουριστικές εισπράξεις.

Κόστος προσαρμογής των τουριστικών μονάδων

Από την άποψη των εξόδων που απαιτούνται για την αντιμετώπιση και το μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, οι οικονομικές επιπτώσεις εκτιμώνται ως περιορισμένες.

Οι επιπτώσεις αυτές περιορίζονται σε πιθανή αύξηση της καταναλούμενης ενέργειας, κυρίως για εξαερισμό και ψύξη κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Με δεδομένο ότι η ενέργεια αποτελεί το 5% των λειτουργικών εξόδων των καταλυματικών επιχειρήσεων (Πίνακας 2.40) και μόλις το 10% αυτής σχετίζεται με εξαερισμό και ψύξη, η αναμενόμενη αύξηση του κόστους της ενέργειας δεν θα υπερβεί το 0,5% των λειτουργικών εξόδων στην περίπτωση διπλασιασμού της.

Σοβαρότερη θα είναι η επίπτωση της αύξησης των αποσβέσεων που σχετίζονται με την απόκτηση νέων συστημάτων και την επέκταση-βελτίωση των υπαρχουσών υποδομών (συστήματα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, καινοτόμα υλικά θερμομόνωσης, διπλοί υαλοπίνακες, συστήματα ανακύκλησης νερού, συλλογής και ανακύκλωσης στερεών υπολειμμάτων, κ.ά.). Οι αποσβέσεις αποτελούν το 18,60% του συνόλου των οργανικών εξόδων λειτουργίας των ξενοδοχείων και εκτιμάται ότι, με την ανάληψη μιας οργανωμένης προσπάθειας αναβάθμισης της ενεργειακής απόδοσης και της φιλικής προς το περιβάλλον λειτουργίας, μπορεί να αυξηθούν

κατά 10-20%, επιβαρύνοντας περαιτέρω το κόστος λειτουργίας των ξενοδοχειακών επιχειρήσεων κατά 2-4%.

Η πιστοποίηση των προσπαθειών αυτών με απόκτηση σχετικού πιστοποιητικού τύπου ISO, EMAS, ή κάποιου κλαδικού οικολογικού σήματος, θα μπορούσε να προσθέσει άλλο ένα 0,2-0,3% στο κόστος λειτουργίας. Θα πρέπει επιπλέον να υπολογιστούν η αύξηση των εξόδων συντήρησης του νεοαποκτηθέντος εξοπλισμού, οι δαπάνες εκπαίδευσης του προσωπικού στην αποτελεσματική χρήση και αξιοποίηση του εν λόγω εξοπλισμού και, βέβαια, οι χρηματοοικονομικές δαπάνες που σχετίζονται με την απόκτησή του, στην έκταση που η τελευταία θα επιδιωχθεί με ξένα κεφάλαια. Τα παραπάνω θα μπορούσαν να επιφέρουν πρόσθετη αύξηση της τάξεως του 1%.

Επίσης, η διεθνής εμπειρία έχει επισημάνει τη βαθμιαία αύξηση των ασφαλιστρών των ξενοδοχειακών μονάδων για κάλυψη έναντι έκτακτων γεγονότων τα οποία μπορεί να υπονομεύσουν τη δυνατότητα λειτουργίας των ξενοδοχείων για κάποια περίοδο. Ενδεικτικά, τα ασφάλιστρα των ξενοδοχείων στις ΗΠΑ τριπλασιάστηκαν τη δεκαετία 2000-2010. Βεβαίως, τα ακραία καιρικά γεγονότα που προκάλεσαν αυτή την αύξηση, όπως οι τυφώνες και οι ανεμοστρόβιλοι στις νότιες ΗΠΑ, δεν έχουν κάνει ακόμη την εμφάνισή τους στην χώρα μας, τουλάχιστον με αυτή την ένταση και συχνότητα. Θα μπορούσαν όμως να συνεκτιμηθούν οι επιδράσεις των δασικών πυρκαγιών των τελευταίων ετών ως, τουλάχιστον μερικώς, αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής. Ενδεχόμενη επιδείνωση των καιρικών συνθηκών και των επιπτώσεών τους, όπως οι εκτεταμένες πυρκαγιές, θα οδηγήσει αδιαμφισβήτητα σε ανάλογες ταχείες προσαρμογές και την ελληνική ασφαλιστική αγορά.

Τέλος, δεν θα πρέπει να υποτιμηθούν οι δαπάνες επανατοποθέτησης του ελληνικού τουριστικού προϊόντος στη διεθνή τουριστική “σκακιέρα”. Πρόκειται για μια μακροχρόνια και επίπονη διαδικασία, που θα πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά και ολοκληρωμένα σε κεντρικό (στρατηγικό) επίπεδο, με κατάλληλες προσαρμογές της στα περιφερειακά και κλιματικά χαρακτηριστικά κάθε προορισμού. Το Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδος, το ΙΤΕΠ και ο ΣΕΤΕ, καθώς και οι τοπικές ενώσεις ξενοδόχων, θα πρέπει να αναλάβουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό, προσαρμογή και υλοποίηση της προσπάθειας αυτής, διαθέτοντας την εμπειρία και κάποιους πόρους τους, αλλά η οικονομική επιβάρυνση ανά καταλυματική μονάδα θα πρέπει, κατά την κρίση των συγγραφέων, να είναι πολύ περιορισμένη.

Η αρνητική εντύπωση που δημιουργούν οι παραπάνω παρατηρήσεις μετριάζεται σημαντικά αν συνεκτιμηθεί μια σειρά οικονομικά ενθαρρυντικών παραγόντων, που περιλαμβάνουν:

- το ότι ήδη ασκούνται σχετικές πρωτοβουλίες από πολλές επιχειρήσεις του κλάδου στο πλαίσιο της ποιοτικής αναβάθμισής τους ή κατόπιν σχετικής απαίτησης των πελατών τους,
- το ότι είναι μικρός ο χρόνος αποπληρωμής πολλών από τις σχετικές επενδυτικές πρωτοβουλίες, ο οποίος κυμαίνεται από 6 μήνες έως 3 χρόνια, επιτρέποντας την επίτευξη πρόσθετου οικονομικού οφέλους από εκεί και ύστερα,

- το ότι υπάρχει η δυνατότητα από κοινού ανάληψης σχετικών προσπαθειών από γειτονικές ομοειδείς επιχειρήσεις με επιμερισμό του σχετικού σταθερού κόστους υλοποίησης (εκπαίδευση προσωπικού, συστήματα συλλογής και ανακύκλωσης αποβλήτων κ.ά.) και
- το ότι υπάρχει η δυνατότητα ένταξης των ξενοδοχειακών μονάδων στον εκάστοτε ισχύοντα αναπτυξιακό νόμο ή σε ειδικά κλαδικά χρηματοδοτικά σχήματα, όπως ο “πράσινος τουρισμός”, τα οποία παρέχουν σημαντικά οικονομικά κίνητρα με τη μορφή επιχορηγήσεων, επιταχυνόμενων αποσβέσεων, επιδότησης έναντι του κόστους εργασίας κ.λπ.

2.7.6 Συμπεράσματα και περιορισμοί της μελέτης

Η παραπάνω ανάλυση απέδειξε ότι η κλιματική αλλαγή θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στον ελληνικό τουρισμό. Και αυτό παρότι η παρούσα μελέτη περιορίστηκε στο να εξετάσει την επίδραση μόνο του δείκτη τουριστικής ευφορίας, παραλείποντας τις επιπτώσεις άλλων σημαντικών παραγόντων όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η αύξηση ακραίων φαινομένων (καταιγίδων, πλημμυρών, τυφώνων), η αύξηση πυρκαγιών και ασθενειών και η καταστροφή ευαίσθητων οικοσυστημάτων.

Με την παραδοχή ότι οι κλιματικές μεταβλητές αποτελούν σημαντικά κριτήρια επιλογής του τόπου και χρόνου διακοπών των διεθνών τουριστών, θα πρέπει να αναμένεται χρονική και περιφερειακή ανακατανομή των αφίξεων, άρα και των εισπράξεων, από το διεθνή τουρισμό στην χώρα μας. Ατυχώς, ενώ σε εθνικό επίπεδο και σε ετήσια βάση η Ελλάδα φαίνεται να ωφελείται κλιματικά όσον αφορά τις τιμές του δείκτη τουριστικής ευφορίας, η εποχική και περιφερειακή ανάλυση των τιμών του δείκτη επισημαίνει σημαντική επιδείνωση των κλιματικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις τουριστικές ροές σε κρίσιμους τουριστικούς προορισμούς και μάλιστα κατά την περίοδο κορύφωσης της ζήτησης του τουριστικού προϊόντος.

Οι τουριστικές επιχειρήσεις, υπό τη στρατηγική συντονιστική παρέμβαση του κράτους, θα πρέπει να προχωρήσουν άμεσα στην ανάληψη σειράς πρωτοβουλιών με σκοπό τη μείωση της εποχικότητας και τη διασπορά του τουριστικού προϊόντος σε μεγαλύτερο μέρος της επικράτειας. Αυτοί οι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν εάν αναγνωριστούν και αναδειχθούν τα πλούσια φυσικά χαρακτηριστικά των διαφόρων περιοχών της χώρας, που παραμένουν ανεκμετάλλευτα, προωθηθούν ήπιες και εναλλακτικές μορφές τουρισμού, δοθεί έμφαση στην προσέλκυση νέων στοχευμένων ομάδων πελατών και ληφθούν μέτρα περιορισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στη λειτουργία των τουριστικών μονάδων.

Η ταυτόχρονη μείωση των αφίξεων και των συνακόλουθων εσόδων, παράλληλα με την αύξηση των δαπανών λειτουργίας των τουριστικών μονάδων λόγω των μέτρων αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, θα επιβαρύνει εξαιρετικά τα καθαρά αποτελέσματα χρήσης και

τη χρηματοοικονομική κατάσταση πολλών τουριστικών επιχειρήσεων. Ενδεικτικά, για τις περιφέρειες της Κρήτης και της Δωδεκανήσου η μείωση των εισπράξεων κατά €430 εκατ., ταυτόχρονα με την αύξηση του κόστους λειτουργίας των καταλυματικών επιχειρήσεων κατά €70-90 εκατ. (5-7% του κόστους λειτουργίας των καταλυματικών μονάδων, που ανήλθε στο €1,4 δισεκ. για το 2007, βλ. το πλήρες κείμενο της μελέτης για τον τουρισμό, στη σελίδα της ΕΜΕΚΑ στον ιστοχώρο της ΤτΕ – www.bankofgreece.gr), θα μπορούσε να εξαλείψει το σύνολο των ετήσιων κερδών των τοπικών επιχειρήσεων ενός κλάδου που ήδη το 2008 εμφανίζεται στο σύνολό του ως ζημιογόνος, χωρίς μάλιστα να λαμβάνονται υπόψη οι αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Η εξειδίκευση των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μπορεί – και πρέπει – να επιδιωχθεί μόνο σε ad hoc βάση. Η αξιοποίηση του πλέον αξιόπιστου σεναρίου σε περιορισμένη γεωγραφική ανάλυση, παράλληλα με άλλα κρίσιμα χαρακτηριστικά του τόπου, όπως το υψόμετρο ή η σκιάσή του από ορεινούς όγκους, και σε συνδυασμό με τα ειδικά χαρακτηριστικά των τουριστικών μονάδων του τόπου αυτού (ηλικία, μέγεθος, υποδομές), θα επιτρέψει την εξειδίκευση των πλέον κατάλληλων μέτρων περιορισμού και διαχείρισης των φυσικών και οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής για το συγκεκριμένο προορισμό.

Περιορισμοί της μελέτης

Οι συγγραφείς πιστεύουν ότι η μελέτη αυτή θα πρέπει να επαναληφθεί σε υψηλότερο βαθμό ανάλυσης και εντοπισμένης έμφασης. Απαιτούνται πληρέστερα και ακριβέστερα κλιματικά στοιχεία διαμόρφωσης του TCI. Επιπλέον, η παράθεση εποχικών (τρίμηνων) στοιχείων θα πρέπει να αντικατασταθεί από στοιχεία προσαρμοζόμενα στο μέσο χρόνο διακοπών των διεθνών τουριστών στη χώρα μας. Επίσης, η περιφερειακή παράθεση δεδομένων θα πρέπει να αντικατασταθεί από μικρότερες γεωγραφικές ενότητες (ενδεικτικά, της τάξεως των 15x15χλμ., διαθέσιμες σήμερα) και η έμφαση της ανάλυσης να μετακινηθεί σε εκείνες τις γεωγραφικές ενότητες που χαρακτηρίζονται από σημαντικές τουριστικές δραστηριότητες ή εμφανίζουν, υπό τις επερχόμενες κλιματικές μεταβολές, δυναμική ανάδειξής τους σε νέους βιώσιμους και κερδοφόρους προορισμούς. Τα ακριβή κλιματολογικά στοιχεία τα οποία συνεισφέρουν στην άφιξη διεθνών τουριστών στην Ελλάδα, καθώς και η στάθμισή τους, θα πρέπει να μελετηθούν εμπειρικά προκειμένου να προσαρμοστεί το τουριστικό προϊόν και η προώθησή του στις επιθυμητές προδιαγραφές. Εναλλακτικοί δείκτες θερμικής δυσφορίας, όπως ο δείκτης της ASHRAE και ο δείκτης PET, μπορούν να αντικαταστήσουν την αυθαίρετη θερμική κλίμακα του Mieczkowski με μετρήσεις ευρύτερης αποδοχής. Τέλος, η ολοκλήρωση ανάλογων μελετών για τις χώρες προέλευσης των διεθνών τουριστών, καθώς και για τους κύριους ανταγωνιστικούς της Ελλάδος προορισμούς, θα επιτρέψει τη σφαιρική θεώρηση των μελλοντικών τάσεων και την άριστη διαχείριση των εξελίξεων.

2.8 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στο δομημένο περιβάλλον*

2.8.1 Εισαγωγή και ανασκόπηση

Δομημένο περιβάλλον αποτελεί κάθε κατασκευή που είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης προσπάθειας. Ο όρος περιγράφει ευρύτερα όχι μόνο το περιβάλλον, φυσικό ή τεχνητό, στο οποίο ζουν οι άνθρωποι, αλλά και τις επιδράσεις των ενεργειών του ανθρώπου στην υποδομή που τον περιβάλλει.

Με βάση την ταξινόμηση που παρουσιάζεται στην έκθεση Garnaut (2008), τα στοιχεία του δομημένου περιβάλλοντος μπορούν να διαχωριστούν σε επτά γενικές κατηγορίες:

- Κτήρια: οικιστικής, εμπορικής και βιομηχανικής χρήσης.
- Παροχές: υποδομές διαχείρισης και επεξεργασίας ρεύματος και υδάτων.
- Μεταφορές: δίκτυα και μέσα μεταφοράς (δρόμοι, λιμάνια, αεροδρόμια, τρένο, μητροπολιτικός σιδηρόδρομος, κ.λπ.).
- Τηλεπικοινωνίες: δίκτυα διαχείρισης και μεταφοράς τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.
- Δημόσιοι χώροι: χώροι αναψυχής, πάρκα και γενικά εξωτερικοί χώροι που συνδυάζουν φυσικό και δομημένο περιβάλλον.
- Πολιτισμικές μονάδες: κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς και μνημεία.
- Λοιπά κτήρια: διάφοροι τύποι υποδομών.

Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται αρχικά μια ευρύτερη ανασκόπηση των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στο δομημένο περιβάλλον. Στη συνέχεια οι συγγραφείς επικεντρώνονται στις επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στον κτηριακό τομέα της Ελλάδος. Διερευνώνται οι ενεργειακές, οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες της κλιματικής μεταβολής με στόχο τον υπολογισμό της μεταβολής της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και της επίδρασής της στη θερμική άνεση και γενικότερα στην ποιότητα ζωής των κατοίκων. Επιπλέον επιχειρείται να διερευνηθούν, να προταθούν και να κοστολογηθούν οι απαραίτητες πολιτικές για την αντιστάθμιση των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής.

Οι μελέτες των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον επικεντρώνονται κυρίως στην περίπτωση των αστικών κέντρων. Ο λόγος είναι διττός. Πρώτον, γιατί ο κύριος όγκος των στοιχείων του δομημένου περιβάλλοντος συγκεντρώνεται στα αστικά κέντρα και η συγκέντρωση δύναται να αυξήσει εκθετικά τα προβλήματα, με αποτέλεσμα το φαινόμενο να είναι πιο έντονο στις μεγάλες πόλεις.²³ Δεύτερον, γιατί εκτιμάται ότι η πλειοψηφία του

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.8 συνεργάστηκαν οι: Δημοσθένης Ασημακόπουλος, Ματθαίος Σανταμούρης, Ανδρέας Παπανδρέου, Ιφιγένεια Φάρρου, Μαρίνα Λάσκαρη, Μαρία Σαλιάρη, Γεώργιος Ζαννής, Κωνσταντίνος Τίγγας, Γεώργιος Γιαννακίδης, Θεοδώρα Αντωνάκη, Κωνσταντίνος Βρεττός, Στυλιανός Ζερεφός και Ιωάννης Καψωμενάκης.

²³ Στην 4η Έκθεση Εκτίμησης του IPCC (IPCC 4th Assessment Report, 2007) σημειώνεται ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα είναι εμφανώς πιο έντονες σε περιοχές με υψηλούς ρυθμούς αστικοποίησης, καθώς και σε κάθε μορφή παράκτια περιοχή.

παγκόσμιου πληθυσμού θα συγκεντρωθεί σε αστικά κέντρα.²⁴ Αντίστοιχες μελέτες έχουν επιχειρηθεί τόσο σε τοπικό επίπεδο (LCCP, 2002, Kirshen et al., 2008, Jollands et al., 2007) όσο και σε εθνικό επίπεδο, με επιμέρους τομεακές αναλύσεις (PESETA, 2009, Garnaut Climate Change Review, 2008, Metroeconomica, 2006).

Η κλιματική αλλαγή θα αλλάξει δραστικά ένα σύνολο περιβαλλοντικών και κλιματικών παραγόντων, η αλλαγή των οποίων αναμένεται να έχει φυσικές επιπτώσεις σε ένα σύνολο στοιχείων που αφορούν στην ανθρώπινη διαβίωση (π.χ. καταστροφές στο δομημένο περιβάλλον, πρόσθετο λειτουργικό κόστος σε παραγωγικούς τομείς, απώλειες ως προς την επιχειρηματική δραστηριότητα, διακοπές παροχής υπηρεσιών, κ.ά.). Σε αρκετές περιπτώσεις, η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει και την ανθρώπινη ευημερία (π.χ. θερμική άνεση νοικοκυριών, χειροτέρευση παραγόντων υγείας και διαβίωσης, μείωση ανθρώπινης ευημερίας, κ.ά.).

Συνολικά, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον μπορούν να διακριθούν σε άμεσες και έμμεσες, καθώς και σε αγοραίες και μη αγοραίες.²⁵ Ο Πίνακας 2.44 (επόμενη σελίδα) συνοψίζει τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις, όπως αυτές αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Η μελέτη που παρουσιάζεται στο παρόν υποκεφάλαιο είναι βασισμένη στις κλιματολογικές εκτιμήσεις του Κέντρου Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών και επικεντρώνεται κυρίως στις επιπτώσεις που σχετίζονται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας και σημειώνονται στον παρακάτω πίνακα (2.44) με πράσινο.

2.8.2 Ο κτηριακός τομέας στην Ελλάδα

Ο κτηριακός τομέας στην Ελλάδα ευθύνεται για το 1/3 περίπου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και για το 36% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Στη χώρα μας, οι εκπομπές CO₂ από τον κτηριακό τομέα παρουσίαζαν πριν από την περίοδο της οικονομικής κρίσης ετήσιο ρυθμό αύξησης περί το 4%, ενώ παράλληλα διογκωνόταν συνεχώς η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων.

Τα ελληνικά κτήρια παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή κατανάλωση. Σύμφωνα με την Eurostat, τα ελληνικά νοικοκυριά παρουσιάζουν, με κλιματική αναγωγή, τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρώπη, περίπου 30% μεγαλύτερη από αυτή της Ισπανίας και περίπου διπλάσια από την κατανάλωση της Πορτογαλίας, ενώ είναι σημαντικά μεγαλύτερη από χώρες με ψυχρότερο κλίμα όπως το Βέλγιο και οι σκανδιναβικές χώρες.

Η πραγματικότητα αυτή έχει ιδιαίτερα δυσμενείς συνέπειες για το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, επιβαρύνει σημαντικά τον προϋπολογισμό κάθε πολίτη, ιδίως των οικογενειών χαμηλού εισοδήματος, εκτινάσσει το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής και υποχρεώνει στην κατασκευή νέων

²⁴ Μέχρι το 2050 υπολογίζεται (UN World Urbanization Prospects, 2010) ότι περισσότερο από τα 2/3 του πληθυσμού της γης –γύρω στο 68%– θα κατοικεί σε αστικές περιοχές μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας. Μάλιστα το ποσοστό αυτό στις ανεπτυγμένες χώρες θα πλησιάζει το 86%.

²⁵ Εναλλακτικά θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε αποτιμώμενες και μη αποτιμώμενες.

Πίνακας 2.44

Ανασκόπηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον, άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις

Κλιματικοί Παράγοντες	Άμεσες επιπτώσεις	Μελέτες	Έμμεσες επιπτώσεις	Μελέτες
Αύξηση μέσης θερμοκρασίας	Αύξηση ζήτησης για ενέργεια το καλοκαίρι (ψύξη) (M)	Franco and Sanstad (2008), Garnaut (2008), Miller et al. (2008), Giannakopoulos and Psiloglou (2006), Metroeconomica (2006), Hadley et al. (2006), Plessis et al. (2003), LCCP (2002)	Μείωση απόδοσης και παραγωγικότητας των εργαζομένων, λόγω αυξημένης θερμοκρασίας. (M) Η υπερβάλλουσα ζήτηση τα καλοκαίρια μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση του δικτύου και γενικευμένες διακοπές υπηρεσιών, το οποίο θα οδηγήσει σε γενικευμένες παραγωγικές απώλειες. (M)	WWF (2008) Garnaut (2008), Hanemann (2008)
	Φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας (Urban Heat Island) (M)	Souch and Grimmond (2006), Arnfield (2003), Shimoda (2003), Livada et al. (2002), Hassid et al. (2000), Katsoulis and Theoharatos (1985), Oke (1982)		
	Μείωση ζήτησης για ενέργεια το χειμώνα (θέρμανση) (M)	Garnaut (2008), Metroeconomica (2006), Plessis et al. (2003), LCCP (2002)		
Αύξηση συχνότητας καυσώνων	Αύξηση ενεργειακής ζήτησης για κλιματισμό. (M)	Psiloglou et al. (2009), Franco and Sanstad (2008), Miller (2008), Giannakopoulos and Psiloglou (2006), Plessis et al. (2003), LCCP (2002), Cartalis et al. (2001)	Πτώση της παραγωγικότητας της εργασίας, εξαιτίας της χειροτέρευσης των παραγόντων υγείας και διαβίωσης. (M)	WWF (2008)
	Μείωση θερμικής άνεσης (thermal comfort) στα αστικά κέντρα και στους εσωτερικούς χώρους. (NM)	Garnaut (2008), Younger et al. (2008), Metroeconomica (2006), Kirshen et al. (2004), Plessis et al. (2003), LCCP (2002)	Γενικευμένες οικονομικές απώλειες από τη διακοπή παροχής συγκεκριμένων υπηρεσιών (π.χ. νερό, επικοινωνία, ηλεκτρισμός, κ.α.), εξαιτίας της υπερφόρτωσης των δικτύων. (M)	Garnaut (2008), Franco and Sanstad (2008), Hanemann (2008), WWF (2008), Jollands et al. (2007a,b), Sailor and Pavlova (2003)
			Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την χειροτέρευση της θερμικής άνεσης των κτηρίων (π.χ. καρδιαγγειακά επεισόδια, κρίσεις άσθματος, κ.λπ.). Αυξημένες έκτακτες εισαγωγές σε νοσοκομεία. (M)	Garnaut (2008), Younger et al. (2008), Vandentorren (2004), LCCP (2002)
Άνοδος της στάθμης της θάλασσας	Αύξηση ζημιών σε κτήρια και λοιπές υποδομές σε παράκτιες περιοχές. (M)	Hunt and Watkiss (2011), PESETA (2009), Garnaut (2008), EEA (2007), IPCC (2007), Kirshen et al. (2007), Metroeconomica (2006), Kirshen et al. (2004), LCCP (2002)	Αύξηση εξόδων που συνδέονται με την επισκευή και συντήρηση του φυσικού κεφαλαίου που πλήττεται από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. (M)	PESETA (2009), Garnaut (2008), IPCC (2007), Metroeconomica (2006), Kirshen et al. (2004), Plessis et al. (2003), LCCP (2002)
	Αύξηση πλημμυρικών επεισοδίων. (M)	PESETA (2009), Garnaut (2008), EEA (2007), IPCC (2007), Kirshen et al. (2007), Metroeconomica (2006), Kirshen et al. (2004), LCCP (2002)		
	Αυξημένοι κίνδυνοι για την ανθρώπινη ασφάλεια. (M)	Garnaut (2008), IPCC (2007)	Μεταναστευτικά ρεύματα, τα οποία οφείλονται σε περιβαλλοντικούς λόγους. (NM)	IPCC (2007)

M=Market, NM=Non-Market.

Πίνακας 2.44

Ανασκόπηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο δομημένο περιβάλλον, άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις (συνέχεια)

Κλιματικοί Παράγοντες	Άμεσες επιπτώσεις	Μελέτες	Έμμεσες επιπτώσεις	Μελέτες
Αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων	Αύξηση ζημιών σε μορφές φυσικού κεφαλαίου. (M)	Garnaut (2008), IPCC (2007), Metroeconomica (2006), LCCP (2002)	Οικονομικές απώλειες σε παραγωγικούς τομείς που στηρίζονται στην ανάπτυξη των πόλεων (π.χ. τουρισμός). (M)	Garnaut (2008)
	Αυξημένοι κίνδυνοι για την ανθρώπινη ασφάλεια (απώλεια ανθρώπινης ζωής). (M)	Garnaut (2008), IPCC (2007),	Έξοδα μεταστέγασης των πληγέντων, σε περίπτωση ολικής καταστροφής του φυσικού κεφαλαίου. (M)	IPCC (2007)
	Ζημίες σε μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. (NM)	Metroeconomica (2006)	Αύξηση των εισαγωγών στα νοσοκομεία ως έκτακτων περιστατικών, εξαιτίας ακραίων καιρικών φαινομένων. (M)	Garnaut (2008), Vandentorren (2004)
			Οικονομικές απώλειες σε παραγωγικούς τομείς που στηρίζονται σε μνημεία πολιτιστικού ενδιαφέροντος (π.χ. τουρισμός). (M)	Metroeconomica (2006)
Αυξημένη συχνότητα καταιγίδων το χειμώνα	Αυξημένες ζημιές σε κτήρια και εξοπλισμό. (M)	Garnaut (2008), IPCC (2007), Metroeconomica (2006), Kirshen et al. (2004), Plessis et al. (2003)	Αύξηση οικονομικών εξόδων που σχετίζονται με την επισκευή κτηρίων που πλήττονται από πλημμυρικά επεισόδια. (M)	Garnaut (2008), Metroeconomica (2006), Kirshen et al. (2004), Plessis et al. (2003)
	Συμφόρηση των αποχετευτικών συστημάτων από έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες συντελούν στην επιδείνωση των πλημμυρικών επεισοδίων.	Wilby (2007), Metroeconomica (2006)		
	Αύξηση πλημμυρικών επεισοδίων. (M)	Garnaut (2008), IPCC (2007), Metroeconomica (2006), Kirshen et al. (2004), Plessis et al. (2003), LCCP (2002), Gonzalez-Rouco (2000)		
Μειωμένη συχνότητα βροχοπτώσεων το καλοκαίρι	Αυξημένα περιστατικά καθίζησης. (M)	Garnaut (2008), Hulme et al. (2002), LCCP (2002)		
	Έντονες περίοδοι ξηρασίας το καλοκαίρι, οι οποίες θα συντηρούν μια αυξημένη ζήτηση για πόσιμο νερό, το οποίο θα βρίσκεται σε σχετική έλλειψη. (M)	IPCC (2007), Arnell (2004)	Διαμάχες μεταξύ κρατών σε θέματα εκμετάλλευσης πόσιμων υδάτων, αλλά και διαχείρισης των 'κλιματικών' μεταναστευτικών ρευμάτων. (NM)	IPCC (2007)
Αύξηση συχνότητας πυρκαγιών το καλοκαίρι	Καταστροφές σε κτήρια και υποδομές από την εκδήλωση πυρκαγιών. (M)	Garnaut (2008)	Παραγωγικές απώλειες σε τομείς, εξαιτίας της διακοπής υπηρεσιών λόγω καταστροφής του δικτύου από πυρκαγιές (black-out) (M)	Garnaut (2008)
Μείωση υγρασίας εδάφους	Ζημίες σε μορφές φυσικού κεφαλαίου, λόγω καθίζησης του εδάφους. (M)	Garnaut (2008), Metroeconomica (2006), Hulme et al. (2002), LCCP (2002)		
Μείωση συχνότητας εμφάνισης παγετού	Μείωση των ζημιών που προκαλούνται από τον παγετό στα κτήρια και στο οδικό δίκτυο.	Garnaut (2008), Metroeconomica (2006), LCCP (2002)		

M=Market, NM=Non-Market.

σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ βυθίζει σε ενεργειακή φτώχεια εκατοντάδες χιλιάδες πολίτες.

Η ενεργειακά δυσμενής κατάσταση του κτηριακού περιβάλλοντος έχει σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές προεκτάσεις. Αναφέρεται ότι μόνο το 8% των Ελλήνων πολιτών χαμηλού εισοδήματος κατοικεί σήμερα σε κτήρια με μόνωση και διπλά υαλοστάσια, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στα υψηλά εισοδήματα αγγίζει το 70%. Έτσι, οι πολίτες χαμηλού εισοδήματος δαπανούν περίπου 120% επιπλέον για θέρμανση και 95% επιπλέον για κλιματισμό ανά άτομο και μονάδα επιφάνειας κατοικίας σε σχέση με τους πολίτες υψηλού εισοδήματος. Παράλληλα, το θερμικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα χαμηλά εισοδήματα κατά τη θερινή περίοδο μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα υγείας και επιβίωσης.

Δεδομένου ότι η ενεργειακή ζήτηση των κτηρίων είναι άμεση συνάρτηση του κλίματος κάθε περιοχής, είναι προφανές ότι η κλιματική μεταβολή θα έχει σημαντικές συνέπειες για το σύνολο του κτηριακού περιβάλλοντος. Έχει ήδη διαπιστωθεί ότι η αυξανόμενη θερμική υποβάθμιση των μεγάλων αστικών κέντρων της χώρας, η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σαν αποτέλεσμα τοπικών και παγκόσμιων μεταβολών, η εμμονή στη χρήση εμπειρικών και ξεπερασμένων τεχνικών σχεδιασμού του αστικού χώρου και των κτηρίων και η αποψίλωση του αστικού και περιαστικού πρασίνου δημιουργούν συνθήκες δυσφορίας σε όσους διαμένουν στον αστικό ιστό, μεγιστοποιούν τη χρήση ενεργοβόρων μηχανικών μέσων για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης και προκαλούν ουσιώδες πρόβλημα επιβιωσιμότητας σε σημαντικό τμήμα του πληθυσμού, που αδυνατεί να ανταποκριθεί οικονομικά στη νέα πραγματικότητα.

Το παρόν κείμενο διερευνά τις ενεργειακές, οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες της πιθανής κλιματικής μεταβολής στο δομημένο περιβάλλον. Η όλη ανάλυση στοχεύει αφενός να υπολογίσει την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων εξαιτίας της κλιματικής μεταβολής και την επίδραση της αύξησης αυτής στη θερμική άνεση και γενικότερα στην ποιότητα ζωής των κατοίκων και αφετέρου να διερευνήσει και να προτείνει τις απαραίτητες πολιτικές ώστε να αντισταθμιστούν οι παραπάνω συνέπειες, ενώ υπολογίζεται και το κόστος που απαιτείται για την εφαρμογή τους.

2.8.3 Υπάρχουσα κατάσταση

Η ελλιπής προστασία των υπαρχόντων κτηρίων από το εξωτερικό περιβάλλον, ο ανορθόδοξος σχεδιασμός των νέων κτηρίων σαν συνέπεια μιας αποκομμένης από το περιβάλλον αρχιτεκτονικής αντίληψης, που αγνοεί τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, η κλιματική μεταβολή στον αστικό χώρο, η παλαιότητα των κτιρίων και η παντελής έλλειψη σύγχρονης νομοθεσίας, για περίπου 40 χρόνια, για την ενεργειακή και περιβαλλοντική προστασία των κτηρίων είχαν σαν αποτέλεσμα:

- την ασφυκτική διόγκωση του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας,

- τη συμπίεση, οικονομικά και κοινωνικά, των χαμηλών εισοδηματικών τάξεων,
- την αύξηση της ενεργειακής ένδειας της χώρας και
- τη για μεγάλο χρονικό διάστημα μη τήρηση των διεθνών δεσμεύσεων της χώρας για το περιβάλλον, όπως η συμφωνία του Κιότο και η Οδηγία 2002/91/EK (EPBD, 2003) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Ενεργειακές Επιδόσεις των Κτηρίων (“Energy Performance of Buildings Directive”, EPBD).

Σχεδόν το 65% των κτηρίων που διαθέτει η χώρα είναι κατασκευασμένα πριν από το 1980 και δεν ενσωματώνουν σχεδόν κανένα σύστημα θερμοπροστασίας, όπως μόνωση, διπλά υαλοστάσια κ.λπ. Παράλληλα, παρατηρείται εξαιρετικά σημαντική αύξηση του χώρου διαβίωσης ανά άτομο στη χώρα, γεγονός που αυξάνει την ενεργειακή ζήτηση ανά άτομο. Τέλος, διαπιστώνεται έντονη διεύρυνση της χρήσης κλιματισμού κατά τα τελευταία χρόνια, που αυξάνει αφενός την απόλυτη κατανάλωση του κτηριακού τομέα και αφετέρου το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής στη χώρα.

2.8.4 Φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στο αντικείμενο

Οι πιθανές φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στον κτηριακό τομέα σχετίζονται αφενός με τη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων όπου επικρατεί θερμοστατικός έλεγχος και αφετέρου με τη μεταβολή των συνθηκών του εσωτερικού κλίματος στα κτήρια που λειτουργούν χωρίς προσθήκη ενέργειας.

Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι προφανές ότι μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση των θερμικών αναγκών των κτηρίων αλλά και, ταυτόχρονα, σημαντική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για κλιματισμό κατά τη θερινή περίοδο. Παράλληλα, στα μη κλιματιζόμενα κτήρια μπορεί να επιφέρει σοβαρή επιδείνωση των συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη θερινή περίοδο.

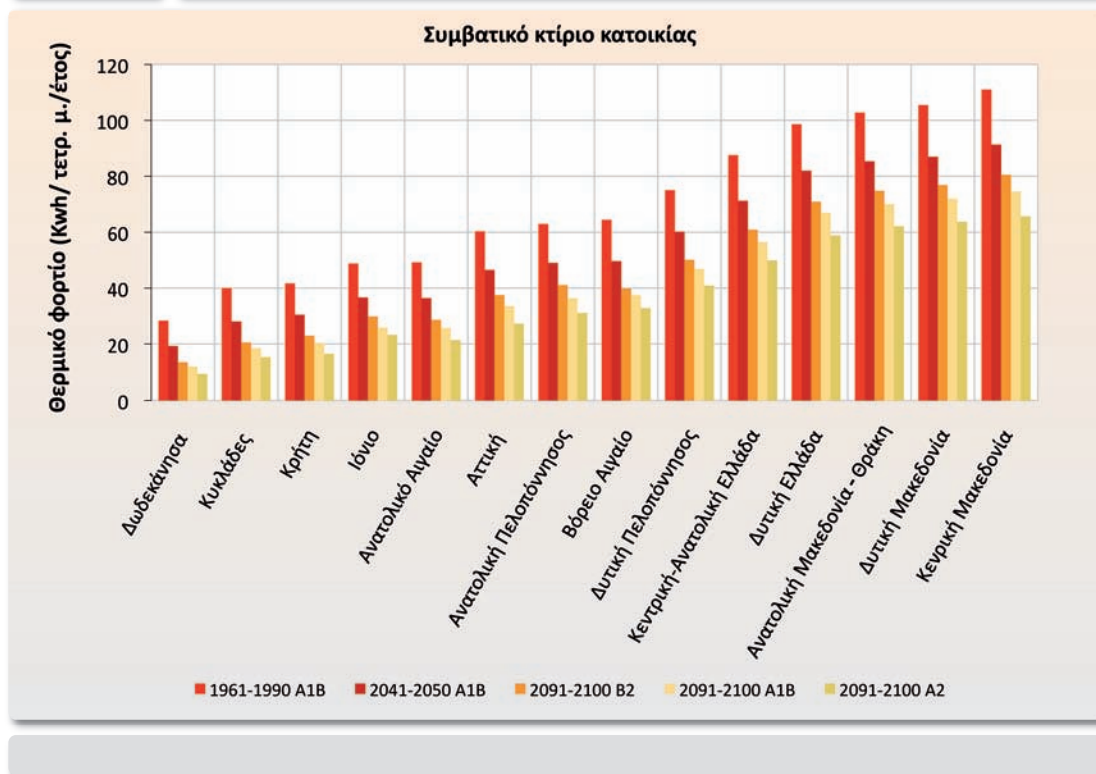
Για τη διερεύνηση των συνεπειών της κλιματικής μεταβολής τόσο για την ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων όσο και για τις εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

A) Με χρήση του λεπτομερούς προσομοιωτικού εργαλείου TRNSYS υπολογίστηκε το θερμικό και ψυκτικό φορτίο τριών τύπων κτηρίων για όλες τις κλιματικές ζώνες της χώρας και για τα πέντε κλιματικά σενάρια που είναι διαθέσιμα. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε το απαιτούμενο ενεργειακό φορτίο για κτήρια κατοικίας, γραφεία και εκπαιδευτικά κτήρια. Για όλες τις περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι διατηρούνται στο σύνολο του χρόνου συνθήκες θερμικής άνεσης εντός των κτηρίων, συγκεκριμένα 21 °C τη χειμερινή περίοδο και 26 °C τη θερινή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση εφεδρικού συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού.

Σε καθεμία περίπτωση κτηρίου προσομοιώθηκαν τρεις διαφορετικές κτηριακές δομές, με χαμηλή, μέση και υψηλή ενεργειακή ποιότητα, δηλαδή ένα κτήριο που κατασκευάστηκε μετά την εφαρμογή του κανονισμού θερμομόνωσης το 1979 (συμβατική κατασκευή), ένα κτήριο

Διάγραμμα 2.11

Μεταβολή του θερμικού φορτίου μιας τυπικής συμβατικής κατοικίας για όλες τις κλιματικές ζώνες και για τα πέντε εξεταζόμενα κλιματικά σενάρια



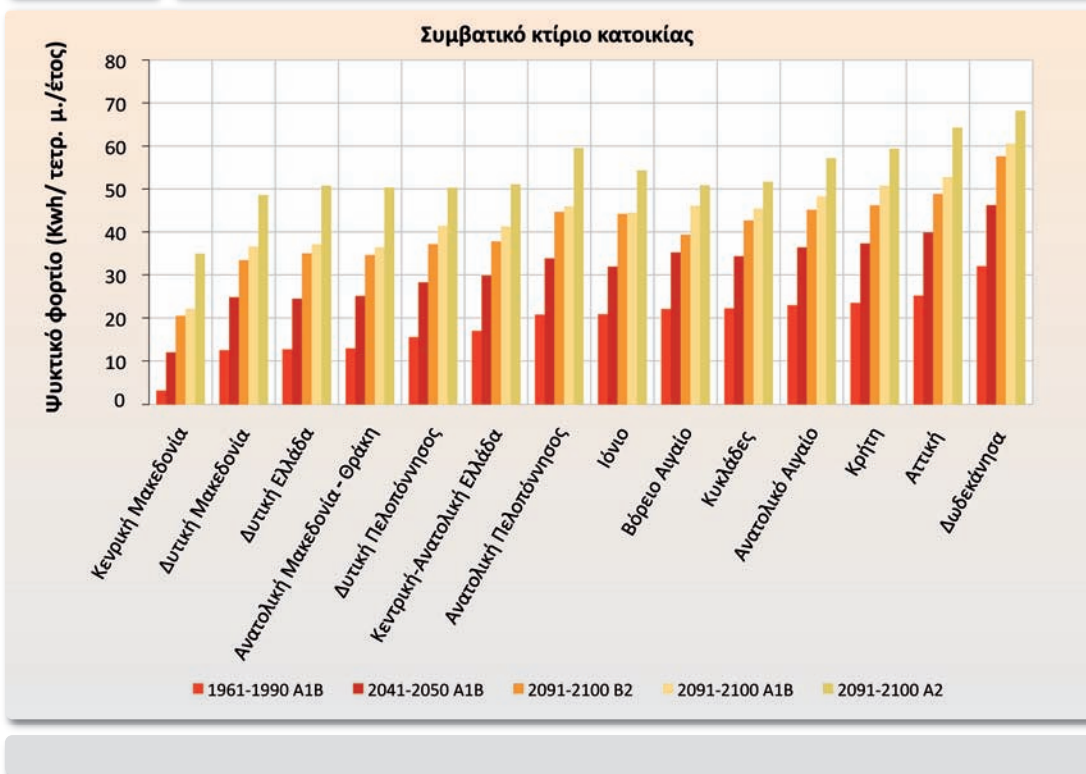
που κατασκευάστηκε σύμφωνα με την ενεργειακή τεχνολογία του 2010 και τις επιταγές του ΚΕΝΑΚ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων) (σύγχρονη κατασκευή) και ένα κτήριο όπου ενσωματώνεται στο μέγιστο δυνατόν η υπάρχουσα τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας (παθητικό κτίριο). Για κάθε κτήριο υπολογίστηκαν τα ετήσια φορτία θέρμανσης και ψύξης (κιλοβατώρες/τετρ. μ.) για τις τρεις χρονικές περιόδους (1961-1990, 2041-2050 και 2091-2100) και για τρία σενάρια εκπομπών (A1B, A2, B2). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν όσον αφορά τη μεταβολή του θερμικού και ψυκτικού φορτίου της τυπικής συμβατικής κατοικίας δίνονται παρακάτω στα Διαγράμματα 2.11 και 2.12 αντίστοιχα.

Όπως διαπιστώνεται, η προβλεπόμενη μείωση του θερμικού φορτίου των κτηρίων για τα τέσσερα μελλοντικά κλιματικά σενάρια είναι ιδιαίτερα μεγάλη σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση. Συγκεκριμένα, για το Σενάριο 2041-2050 A1B, η μέση μείωση υπολογίζεται περί το 22,4%, για το Σενάριο 2091-2100 A2 ίση με 50,1%, για το Σενάριο 2091-2100 B2 ίση με 36,4% και τέλος για το Σενάριο 2091-2100 A1B ίση με 42%.

Αντίστοιχα, η προβλεπόμενη αύξηση του κλιματιστικού φορτίου των κτηρίων σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση είναι 83% για το Σενάριο 2041-2050 A1B. Ταυτόχρονα, η μέση αύξηση υπολογίζεται περί το 248% για το Σενάριο 2091-2100 A2, ίση με 148% για το Σενάριο 2091-2100 B2 και τέλος ίση με 167% για το Σενάριο 2091-2100 A1B.

Διάγραμμα 2.12

Μεταβολή του ψυκτικού φορτίου μιας τυπικής συμβατικής κατοικίας για όλες τις κλιματικές ζώνες και για τα πέντε εξεταζόμενα κλιματικά σενάρια



Η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση του θερμικού φορτίου για το 2050 παρατηρείται στα Δωδεκάνησα και κατόπιν στις Κυκλάδες, ενώ η μικρότερη μείωση παρατηρείται στη Θεσσαλία και μετά στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη.

Η μεγαλύτερη αύξηση του κλιματιστικού φορτίου παρατηρείται στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας και κατόπιν στη Δυτική Μακεδονία, ενώ η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στην περιοχή των Δωδεκανήσων και ακολούθως στο Ιόνιο.

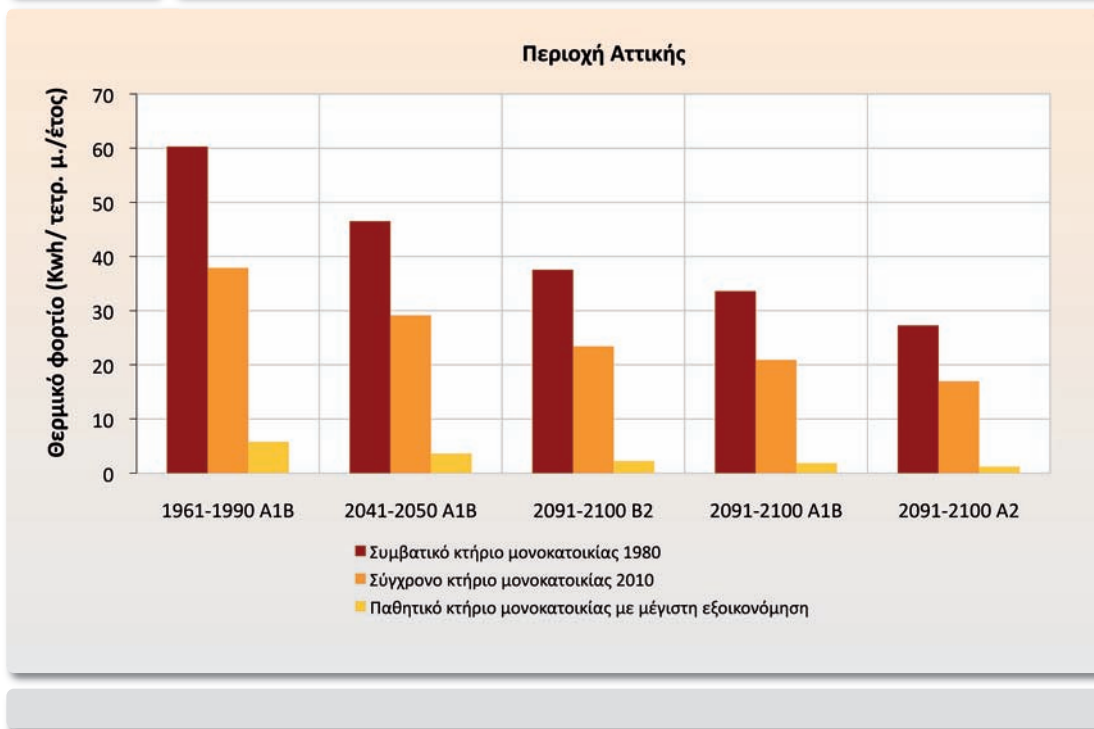
Αντίστοιχα αποτελέσματα και συμπεράσματα ελήφθησαν για τα γραφεία και τα εκπαιδευτικά κτήρια.

Β) Μελετήθηκε η μεταβλητότητα του θερμικού και ψυκτικού φορτίου ως συνάρτηση της ποιότητας της κατασκευής, συγκεκριμένα για τη συμβατική κατασκευή, τη σύγχρονη και την παθητική. Ενδεικτικά, στα Διαγράμματα 2.13 και 2.14 δίνεται η μεταβολή των θερμικών και κλιματιστικών φορτίων των τριών κατοικιών στην Αττική για τα πέντε κλιματικά σενάρια.

Όσον αφορά τη *σύγχρονη κατασκευή*, διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμός μείωσης του θερμικού φορτίου για τα τέσσερα κλιματικά σενάρια σε σχέση με τη σημερινή πραγματικότητα ακολουθεί πολύ παραπλήσιο ρυθμό με αυτόν της *συμβατικής κατασκευής*. Αντίθετα, η ποσοστιαία αύξηση του θερινού κλιματιστικού φορτίου είναι 4-6 φορές μεγαλύτερη από αυτήν που παρατηρείται στη συμβατική κατασκευή. Το γεγονός αυτό οφείλεται αφενός στο ότι η κύρια κλιμα-

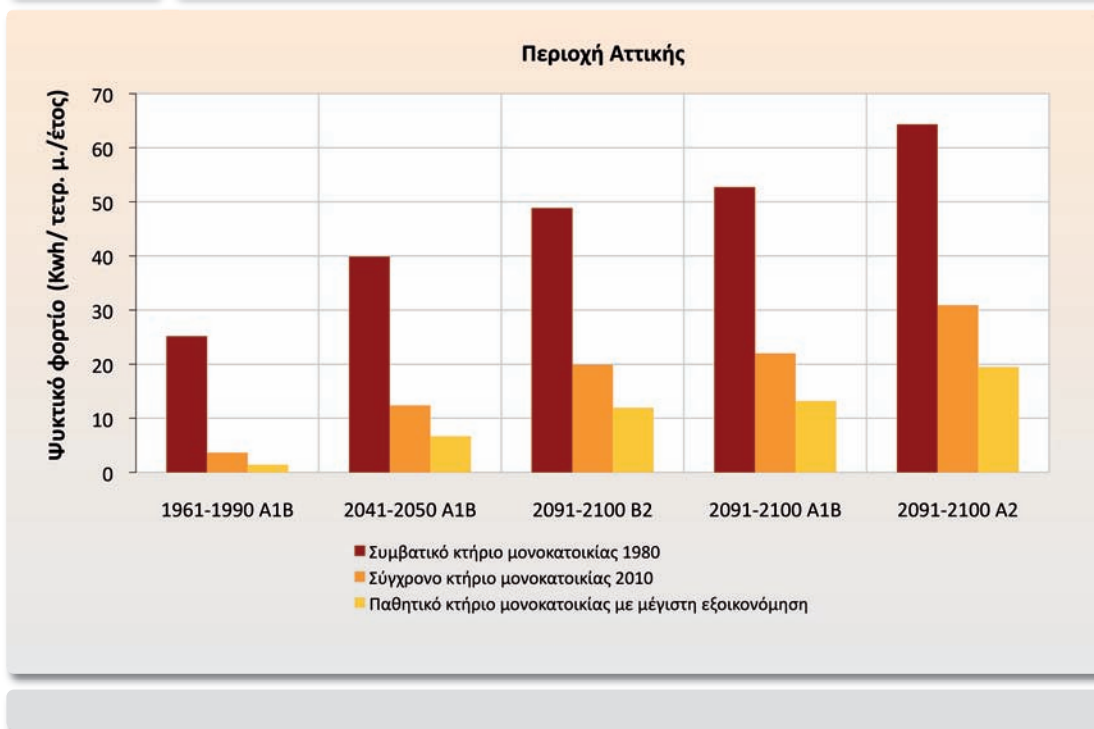
Διάγραμμα 2.13

Μεταβολή του θερμικού φορτίου μιας συμβατικής, σύγχρονης και παθητικής κατοικίας στην Αττική για τα πέντε κλιματικά σενάρια



Διάγραμμα 2.14

Μεταβολή του θερμικού φορτίου μιας συμβατικής, σύγχρονης και παθητικής κατοικίας στην Αττική για τα πέντε κλιματικά σενάρια



τική μεταβολή παρατηρείται τη θερινή περίοδο και αφετέρου στο ότι η βελτίωση του επιπέδου της κατασκευής μειώνει, λόγω καλύτερης ηλιοπροστασίας και διαχείρισης φορτίων, τα ψυκτικά φορτία κατά 50-70% σε σχέση με τη συμβατική κατασκευή, άρα καθιστά πολύ σημαντική πλέον την επίδραση της μεταβολής της εξωτερικής θερμοκρασίας, η οποία επέρχεται κυρίως εξαιτίας του αερισμού του κτηρίου.

Τέλος, η *παθητική κατοικία*, όπου έχουν ενσωματωθεί όλες οι σύγχρονες τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας, παρουσιάζει θερμικό φορτίο 10 έως 40 φορές μικρότερο από αυτό της συμβατικής κατοικίας και σχεδόν αμελητέο κλιματιστικό φορτίο για τη σημερινή περίοδο. Η παρατηρούμενη ποσοστιαία μείωση του θερμικού φορτίου εξαιτίας της κλιματικής μεταβολής είναι κατά 50% περίπου μεγαλύτερη από αυτή της συμβατικής κατασκευής, ενώ η αντίστοιχη ποσοστιαία αύξηση του κλιματιστικού φορτίου είναι 6-10 φορές μεγαλύτερη από αυτή της συμβατικής κατασκευής και 50-70% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αύξηση της σύγχρονης κατοικίας. Ο σημαντικότερος ρυθμός αύξησης και μείωσης του φορτίου οφείλεται αφενός στη δραστική μείωση του ενεργειακού φορτίου λόγω ενσωμάτωσης των σύγχρονων συστημάτων εξοικονόμησης, που συντελεί στη μεγάλη ποσοστιαία αύξηση (αύξηση μικρών αριθμών), και αφετέρου στη σημαντική πλέον επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας μέσω του αερισμού λόγω της δραστικής μείωσης των υπόλοιπων φορτίων.

Αντίστοιχα αποτελέσματα και συμπεράσματα ελήφθησαν για τα γραφεία και τα εκπαιδευτικά κτήρια.

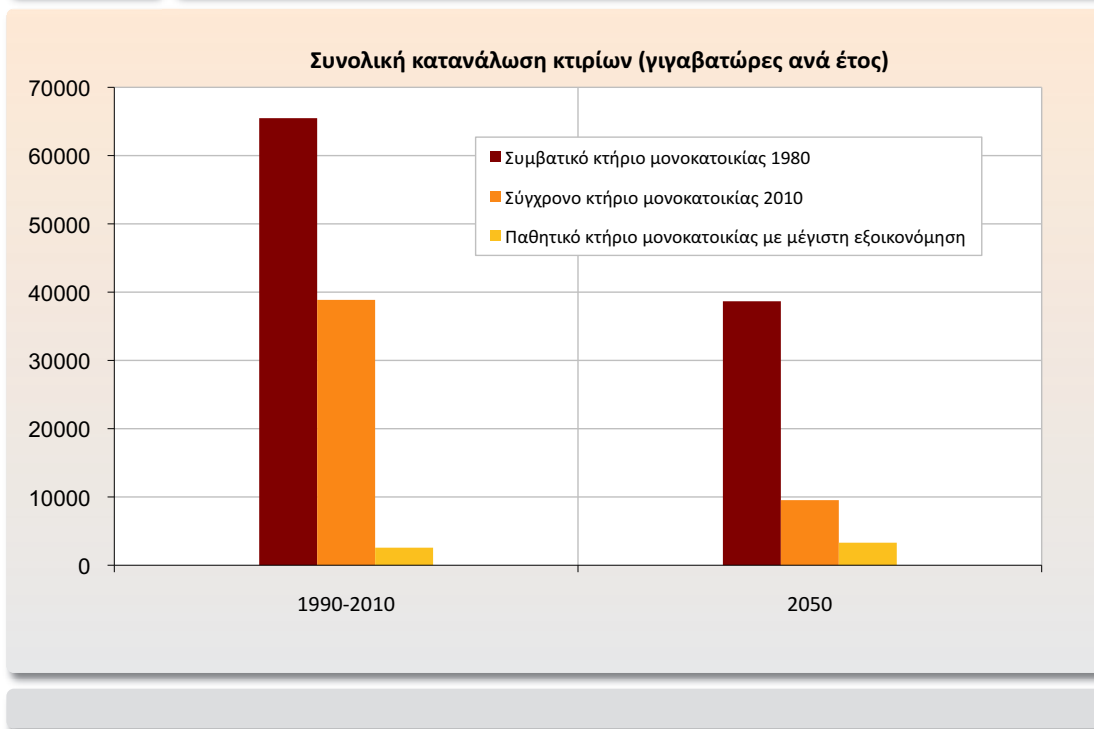
Γ) Στη συνέχεια με βάση τις προσομοιώσεις της ενεργειακής κατανάλωσης των διαφόρων τύπων κτηρίων για όλες τις κλιματικές περιοχές, υπολογίστηκε για το σύνολο των κτηρίων κάθε γεωγραφικής-κλιματικής περιοχής η ολική κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2010, καθώς και για το κλιματικό σενάριο του 2050. Χρησιμοποιήθηκαν βάσεις δεδομένων όσον αφορά τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των κτηρίων σε κάθε γεωγραφική περιοχή, ενώ υπολογίστηκε και η μεταβολή του αριθμού των κτηρίων έως το 2050.

Στόχος ήταν να υπολογιστεί πλέον η συνολική κατανάλωση ενέργειας στη χώρα και όχι απλώς το φορτίο, καθώς και η αντίστοιχη μεταβολή της λόγω της κλιματικής αλλαγής. Στην περίπτωση αυτή ο όλος υπολογισμός επηρεάζεται δραστικά από το συντελεστή απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού (COP, Coefficient of Performance).

Τα χαρακτηριστικά των κτηρίων διατηρήθηκαν ίδια και στις δύο ομάδες προσομοιώσεων που αφορούν τα κλιματικά σενάρια. Δεδομένου όμως ότι η απόδοση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού θα είναι κατά το 2050 πολύ μεγαλύτερη από ό,τι σήμερα, μεταβλήθηκε ο συντελεστής απόδοσης των συμβατικών συστημάτων ενεργειακής τροφοδοσίας. Συγκεκριμένα, για την τρέχουσα περίοδο θεωρήθηκε ότι ο συντελεστής απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας (COP) στη θέρμανση είναι ίσος με 3 και στον κλιματισμό ίσος με 2. Αντίστοιχα για την περίοδο του 2050 θεωρήθηκε ότι οι αντίστοιχοι συντελεστές στη θέρμανση και τον κλιματισμό θα είναι 5 και 4.

Διάγραμμα 2.15

Μεταβολή της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της χώρας για το 2010 και το 2050



Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν όσον αφορά το σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων στη χώρα για τα δύο κλιματικά σενάρια και για τους τρεις τύπους κατοικίας δίνονται παρακάτω στο Διάγραμμα 2.15.

Όπως διαπιστώνεται, η μελλοντική και σχεδόν βέβαιη βελτίωση της τεχνολογίας των συστημάτων παραγωγής ενέργειας και η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κτηρίων αντισταθμίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις συνέπειες της κλιματικής μεταβολής. Θα μπορούσαν να διατυπωθούν τα παρακάτω μελλοντικά σενάρια εξέλιξης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων.

Βέλτιστο σενάριο: Η σημερινή κατανάλωση του κτηριακού αποθέματος, που φθάνει τις 90.000 γιγαβατώρες, θα μπορούσε, παρά την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής, να μειωθεί μέχρι τις 5-10.000 γιγαβατώρες έως το 2050, εάν χρησιμοποιηθεί σύγχρονη ενεργειακή τεχνολογία παραγωγής ενέργειας σε όλα τα κτήρια, όπως αναλύθηκε παραπάνω, και βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα του συνόλου του κτηριακού αποθέματος σε επίπεδο παθητικής κατασκευής. Παράλληλα, όλα τα νέα κτήρια μετά το 2020 θα πρέπει να παρουσιάζουν χαρακτηριστικά σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Αισιόδοξο σενάριο: Σε περίπτωση όπου, μέχρι το 2050, όλα πλέον τα συστήματα παραγωγής ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια θα παρουσιάζουν υψηλή απόδοση, όπως αναλύθηκε παραπάνω, και θα έχει βελτιωθεί το κτηριακό απόθεμα που κατασκευάστηκε πριν από το 1980 σε

επίπεδο παθητικής κατασκευής, ενώ όλες οι νέες κατασκευές θα παρουσιάζουν χαρακτηριστικά σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, η συνολική ζήτηση ενέργειας θα περιοριστεί περί τις 22.000-25.000 γιγαβατώρες ανά έτος.

Ρεαλιστικό σενάριο: Σε περίπτωση όπου μέχρι το 2050 το 70% των συστημάτων παραγωγής ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια θα παρουσιάζει υψηλή απόδοση όπως αναλύθηκε παραπάνω, ενώ τα υπόλοιπα θα είναι συμβατικά, και θα έχει βελτιωθεί το 60 % του κτηριακού αποθέματος που κατασκευάστηκε πριν από το 1980 σε επίπεδο σύγχρονης κατασκευής, ενώ όλες οι νέες κατασκευές μετά το 2020 θα παρουσιάζουν χαρακτηριστικά σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, η συνολική ζήτηση ενέργειας θα περιοριστεί στις 50.000-55.000 γιγαβατώρες ανά έτος.

Σενάριο καταστροφής: Σε περίπτωση όπου μέχρι το 2050 μόνο το 10% των εγκατεστημένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια θα παρουσιάζει υψηλή απόδοση, όπως αναλύθηκε παραπάνω, ενώ τα υπόλοιπα θα είναι συμβατικά, και, παράλληλα, θα έχει βελτιωθεί το 20% του κτηριακού αποθέματος που κατασκευάστηκε πριν από το 1980 σε επίπεδο σύγχρονης κατασκευής, ενώ ταυτόχρονα όλες οι νέες κατασκευές μετά το 2020 θα παρουσιάζουν χαρακτηριστικά σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, η συνολική ζήτηση ενέργειας θα ξεπεράσει τις 120.000-130.000 γιγαβατώρες ανά έτος.

Δ) Στη συνέχεια, η όλη ανάλυση της επίδρασης της κλιματικής μεταβολής στο κτηριακό περιβάλλον εντοπίστηκε στην προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί η μεταβολή της ποιότητας ζωής εξαιτίας της αύξησης της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας στο εσωτερικό κτηρίων χαμηλής ποιότητας στάθμης χωρίς εφεδρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Επιλέχθηκαν δυο τυπικά κτήρια χαμηλής ποιότητας στάθμης του κτηριακού κελύφους και πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις του εσωτερικού κλίματος για όλη τη διάρκεια του έτους και για τα πέντε κλιματικά αρχεία A1B, A2 και B2 για τις περιόδους 1960-1990 (A1B), 2041-2050 (A1B) και 2091-2100 (A1B, A2, B2). Θεωρήθηκε ότι τα κτήρια λειτουργούν σε συνθήκες μη θερμοστατικού έλεγχου, δηλαδή δεν υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα κλιματισμού. Τα χαρακτηριστικά του κελύφους που θεωρήθηκαν είναι αυτά των κατοικιών που κατασκευάστηκαν πριν από το 1979, οπότε άρχισε να ισχύει ο κανονισμός θερμομόνωσης (συμβατικό κτήριο).

Υπολογίστηκαν τρεις παράμετροι που χαρακτηρίζουν και ποσοτικοποιούν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος:

- α) η μέγιστη και ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία για κάθε μήνα,
- β) το ποσοστό του θερινού χρόνου όπου η εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνά τους 26, 28, 30, 32 °C και
- γ) ο αριθμός των βαθμοωρών εσωτερικής θερμοκρασίας άνω των 26 °C.

Η όλη ανάλυση πραγματοποιήθηκε για όλες τις κλιματικές περιοχές της χώρας, όπως δόθηκαν από την Ακαδημία Αθηνών.

Ως βαθμοώρες ορίζεται το σύνολο των διαφορών της ωριαίας εσωτερικής θερμοκρασίας από τους 26 °C. Συγκεκριμένα :

$$DH(26) = \sum (T_{\text{εσ}}(i) - 26) +$$

όπου $T_{\text{εσ}}(i)$ είναι η εσωτερική θερμοκρασία την ώρα (i). Το πρόσημο (+) σημαίνει ότι μόνο οι θετικές τιμές της διαφοράς λαμβάνονται υπόψη.

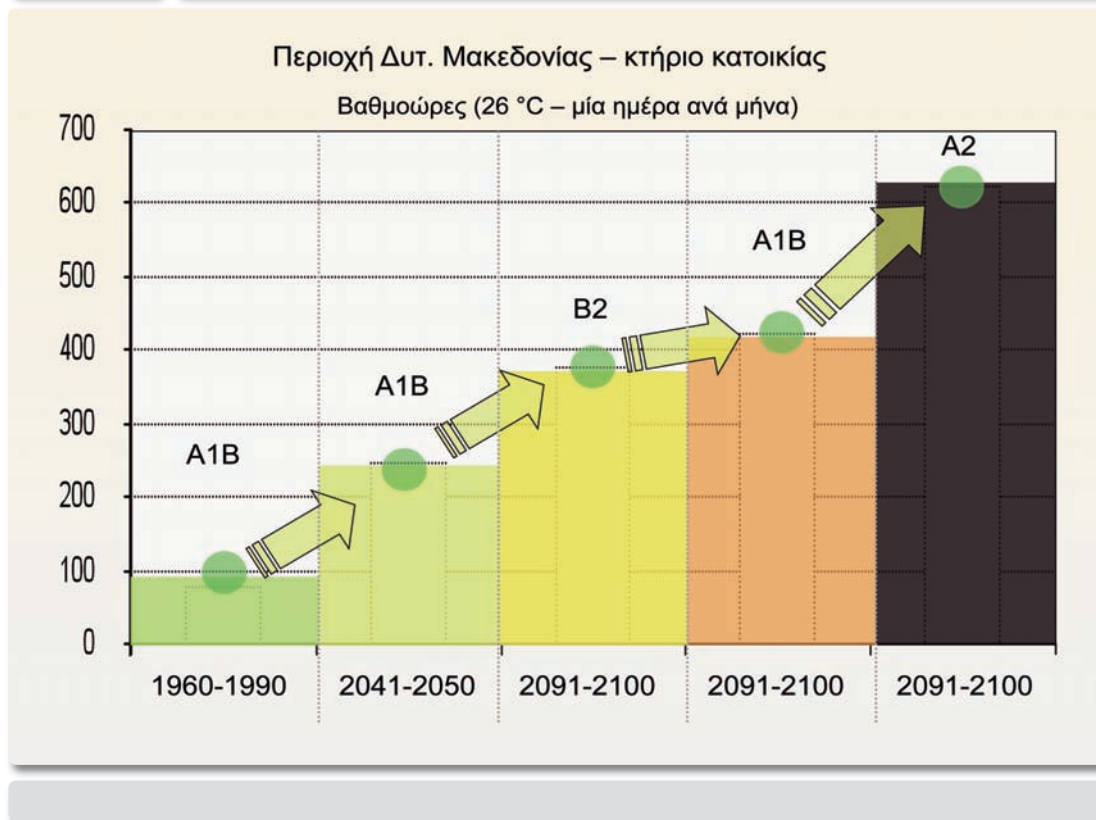
Δεδομένου ότι τα κλιματικά αρχεία περιέχουν μία ημέρα ανά μήνα, ο υπολογισμός αναφέρεται στο σύνολο των τυπικών ημερών του έτους.

Η μεταβολή των βαθμοωρών κλιματισμού που υπολογίστηκε για όλα τα κλιματικά σενάρια παρουσιάζεται ενδεικτικά στο Διάγραμμα 2.16 για την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Η αύξηση των βαθμοημερών κλιματισμού που υπολογίζεται για το Σενάριο A1B και για τα έτη 1990 και 2050 κυμαίνεται από 54% έως και 1000%. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται για την Κεντρική Μακεδονία και, στη συνέχεια, για τη Δυτική Μακεδονία. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται για τα Δωδεκάνησα. Η περιοχή της Αθήνας και τα υπόλοιπα νησιά παρουσιάζουν σχεδόν ομοιόμορφη αύξηση, της τάξεως του 90% . Παράλληλα, η αύξηση των βαθμοημερών κλιματισμού που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A2 του 2100 κυμαίνεται από 152% έως και 4200%. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατη-

Διάγραμμα 2.16

Μεταβολή των βαθμοημερών κλιματισμού βάσης 26 °C για την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας και για τα πέντε κλιματικά σενάρια



ρείται στην Κεντρική Μακεδονία και, στη συνέχεια, στη Δυτική Μακεδονία, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στα Δωδεκάνησα. Η περιοχή της Αθήνας και τα υπόλοιπα νησιά παρουσιάζουν σχεδόν ομοιόμορφη αύξηση, της τάξεως του 200-250%.

Η αύξηση των βαθμοημερών κλιματισμού που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο B2 του 2100 κυμαίνεται από 100% έως και 2100%. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην Κεντρική Μακεδονία και, στη συνέχεια, στη Δυτική Μακεδονία, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στα Δωδεκάνησα. Η περιοχή της Αθήνας και τα υπόλοιπα νησιά παρουσιάζουν σχεδόν ομοιόμορφη αύξηση, της τάξεως του 150%.

Τέλος, η αύξηση των βαθμοημερών κλιματισμού που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A1B του 2100 κυμαίνεται από 115% έως και 2400%. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην Κεντρική Μακεδονία και, στη συνέχεια, στη Δυτική Μακεδονία, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στα Δωδεκάνησα. Η περιοχή της Αθήνας και τα υπόλοιπα νησιά παρουσιάζουν σχεδόν ομοιόμορφη αύξηση, της τάξεως του 170%.

Διάγραμμα 2.17

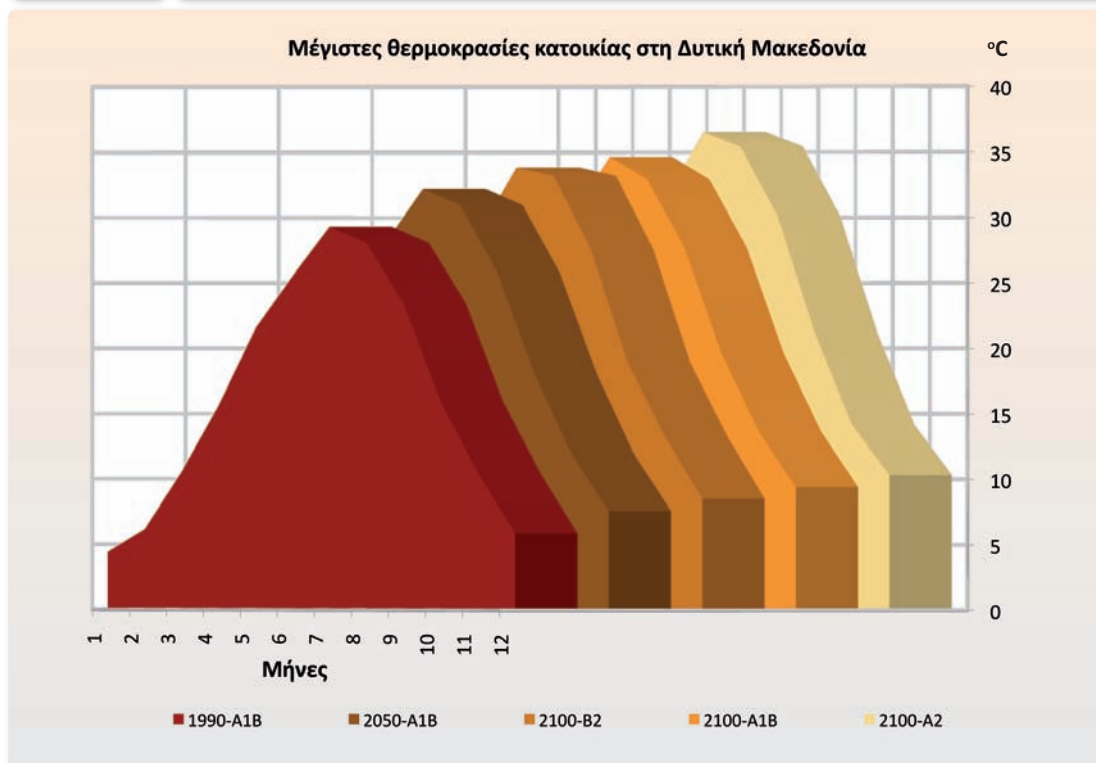
Βαθμός αύξησης των βαθμοημερών κλιματισμού σε μια συμβατική κατοικία το 2050 σε σχέση με το 2010

Επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην ποιότητα ζωής στο εσωτερικό κτηρίων χαμηλής ποιοτικής στάθμης



Διάγραμμα 2.18

Υπολογισμένες μέγιστες θερμοκρασίες συμβατικής κατοικίας στην Δυτική Μακεδονία για τα πέντε κλιματικά σενάρια



Ο βαθμός αύξησης των βαθμομερών κλιματισμού για το Σενάριο του 2050 και για όλες τις μελετώμενες περιοχές δίνεται στο Διάγραμμα 2.17.

Ταυτόχρονα με τον υπολογισμό της μεταβολής των βαθμομερών κλιματισμού, υπολογίστηκε για κάθε περιοχή και για κάθε κλιματικό υπόδειγμα η μέγιστη και η ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία εντός της τυπικής κατοικίας. Τα αποτελέσματα όσον αφορά τη μεταβολή της μέγιστης μηνιαίας εσωτερικής θερμοκρασίας για μια τυπική περιοχή, συγκεκριμένα τη Δυτική Μακεδονία, δίνονται στο Διάγραμμα 2.18.

Η αύξηση της μέγιστης εσωτερικής θερμοκρασίας που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A1B του 2050 κυμαίνεται από 2 έως 2,9 °C. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη Δυτική Μακεδονία και, στη συνέχεια, στην Κεντρική Μακεδονία, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στα Ιόνια Νησιά. Η αύξηση της μέγιστης εσωτερικής θερμοκρασίας που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A2 του 2100 κυμαίνεται από 4,5 έως 7,5 °C. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην Κεντρική Μακεδονία και, στη συνέχεια, στην Ανατολική Μακεδονία, τη Θράκη και τη Δυτική Μακεδονία.

Διάγραμμα 2.19

Υπολογισμένες μέγιστες θερμοκρασίες συμβατικής κατοικίας σε όλες τις κλιματικές ζώνες για το 2050 σε σχέση με το 2010

Επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην ποιότητα ζωής στο εσωτερικό κτηρίων χαμηλής ποιοτικής στάθμης

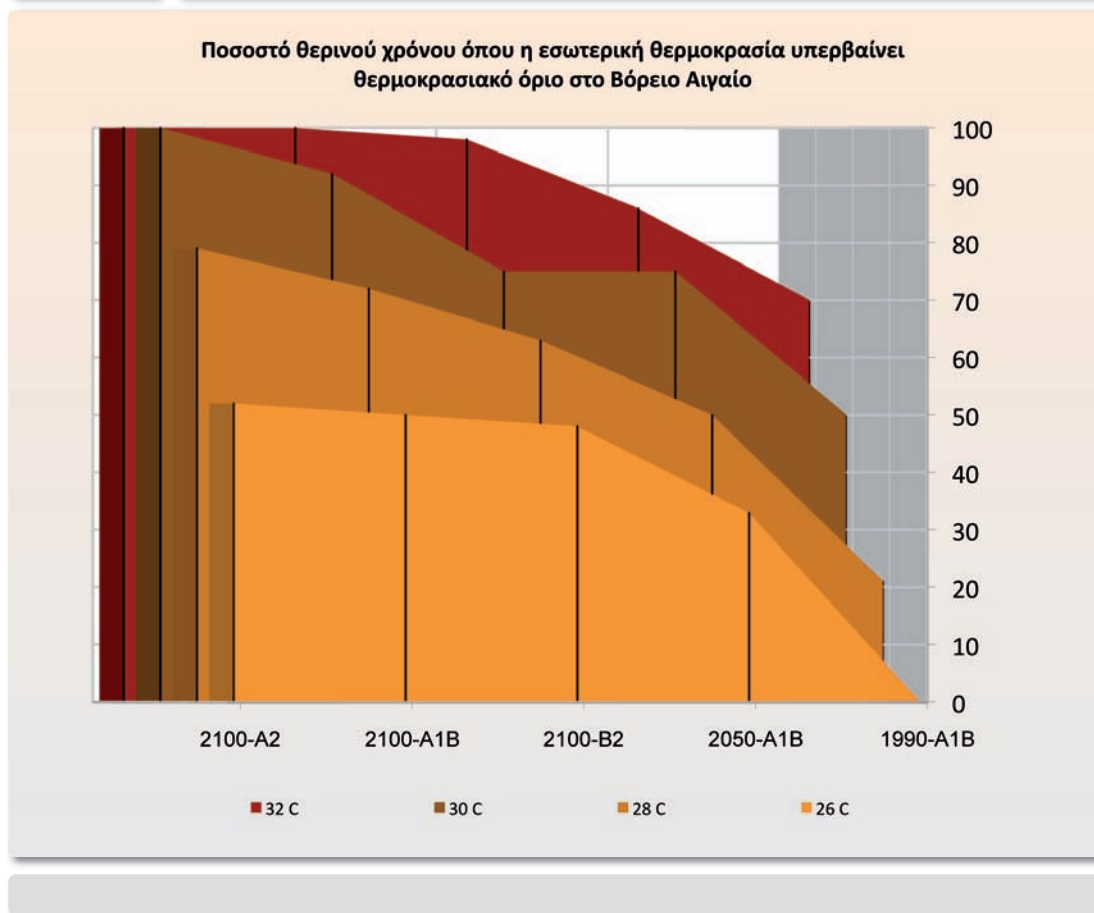
Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στις Κυκλάδες. Παράλληλα, η αύξηση της μέγιστης εσωτερικής θερμοκρασίας που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο B2 του 2100 κυμαίνεται από 3,4 έως 4,8 °C. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην Κεντρική Μακεδονία και, στη συνέχεια, στην Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, τη Θεσσαλία και τη Δυτική Μακεδονία. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στις Κυκλάδες. Τέλος, η αύξηση της μέγιστης εσωτερικής θερμοκρασίας που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A1B του 2100 κυμαίνεται από 3,5 έως 5,3 °C. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη Δυτική Μακεδονία και, στη συνέχεια, στην Κεντρική Μακεδονία, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, τη Δυτική Πελοπόννησο και τη Θεσσαλία. Η μικρότερη αύξηση παρατηρείται στις Κυκλάδες.

Η σχετική αύξηση της μέγιστης ετήσιας εσωτερικής θερμοκρασίας το 2050 σε σχέση με το 2010 για κάθε περιοχή δίνεται στο Διάγραμμα 2.19.

Ταυτόχρονα με τον υπολογισμό της μεταβολής των βαθμομερών κλιματισμού και της μέγιστης και ελάχιστης εσωτερικής θερμοκρασίας, υπολογίστηκε για κάθε περιοχή και για κάθε κλιματικό υπόδειγμα το ποσοστό των θερινών ωρών όπου η εσωτερική θερμοκρασία εντός της τυπικής κατοικίας υπερβαίνει τη θερμοκρασιακή βάση των 26, 28, 30 και 32 °C. Τα αποτελέ-

Διάγραμμα 2.20

Ποσοστό % της θερινής περιόδου (Ιούνιος- Σεπτέμβριος) όπου η εσωτερική θερμοκρασία υπερβαίνει τέσσερα ορισμένα θερμοκρασιακά όρια στο Βόρειο Αιγαίο



σματα όσον αφορά τη μεταβολή της μέγιστης μηνιαίας εσωτερικής θερμοκρασίας στην περιοχή του Βόρειου Αιγαίου δίνονται στο Διάγραμμα 2.20.

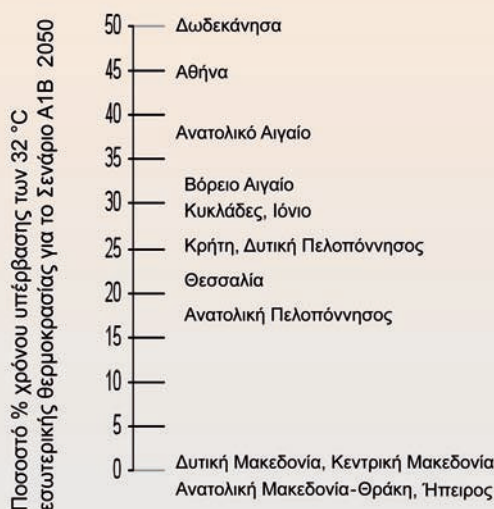
Για το κλιματικό Σενάριο A1B της τρέχουσας περιόδου, το ποσοστό υπέρβασης της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τους μήνες Ιούνιο-Σεπτέμβριο είναι πάντοτε μηδενικό. Αντίθετα, για το Σενάριο B2 2100 το ποσοστό αυξάνεται δραστικά και κυμαίνεται από 0 έως 65%. Η μεγαλύτερη τιμή υπέρβασης παρατηρείται στα Δωδεκάνησα, την Αθήνα και το Αιγαίο, ενώ η μικρότερη στην Κεντρική Μακεδονία. Για το Σενάριο A1B 2100 το ποσοστό αυξάνεται έντονα και κυμαίνεται από 0 έως 68%. Η μεγαλύτερη τιμή υπέρβασης παρατηρείται στην Αθήνα και τα Δωδεκάνησα, ενώ η μικρότερη στην Κεντρική Μακεδονία. Για το Σενάριο A2 2100 το ποσοστό αυξάνεται επίσης δραστικά και κυμαίνεται από 40 έως 98%. Η μεγαλύτερη τιμή υπέρβασης παρατηρείται στα Δωδεκάνησα και την Αθήνα, ενώ η μικρότερη στην Κεντρική και τη Δυτική Μακεδονία.

Το ποσοστό “χρόνου υπέρβασης” των 32 °C εσωτερικής θερμοκρασίας για το Σενάριο A1B του 2050 για όλες τις κλιματικές περιοχές δίνεται στο Διάγραμμα 2.21.

Διάγραμμα 2.21

Ποσοστό % της θερινής περιόδου (Ιούνιος- Σεπτέμβριος) όπου η εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνά τους 32 °C σε όλες τις κλιματικές ζώνες για το Σενάριο 2050

Επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην ποιότητα ζωής στο εσωτερικό κτηρίων χαμηλής ποιοτικής στάθμης



2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής κατά τομέα

2.8.5 Οικονομικές επιπτώσεις στο αντικείμενο και δυνατότητες προσαρμογής και αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της ζήτησης ωφέλιμης ενέργειας για την ψύξη και τη θέρμανση κτηρίων χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του πρόσθετου κόστους που θα επιφέρει η κλιματική μεταβολή για την προσαρμογή των κτηρίων στις νέες κλιματικές συνθήκες. Η τεχνολογική προσαρμογή που απαιτείται ώστε να αντιμετωπιστεί η κλιματική μεταβολή εντοπίστηκε πρώτα στην εφαρμογή προηγμένων συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια, καθώς και πρόσθετων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι προσομοιώσεις ανήχθησαν στο σύνολο των κτηρίων κατά περιφέρεια, με τη χρήση εκτιμήσεων σχετικά με τους ρυθμούς μεταβολής του αριθμού των κτηρίων κατά χρήση.

Για να μελετηθεί το κόστος των απαιτούμενων παρεμβάσεων στα κτήρια στον ορίζοντα μέχρι το 2050, θεωρήθηκε ότι στο σύνολο των κτηρίων θα έχουν εφαρμοστεί προηγμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και ΑΠΕ, ώστε αυτά να παρουσιάζουν σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση, όπως προβλέπεται από την αναθεωρημένη Κοινοτική Οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω παραδοχές:

- Όλα τα καινούργια κτήρια θα έχουν μόνωση 15 εκατοστών.
- Το 60% των υπαρχόντων κτηρίων που δεν έχουν μόνωση θα αναβαθμιστεί ενεργειακά με μόνωση 15 εκατοστών.
- Το υπόλοιπο 40% των υπαρχόντων κτηρίων που είναι μονωμένα σύμφωνα με τους σημερινούς υπάρχοντες κανονισμούς θα αναβαθμιστεί ενεργειακά με μόνωση 15 εκατοστών.
- Το σύνολο των υαλοπινάκων θα αντικατασταθεί από διπλούς, με χαμηλό συντελεστή εκπομπής και συντελεστή θερμοπερατότητας 0,4W/τετρ. μ. Κ.
- Οι εξωτερικές επιφάνειες θα καλυφθούν με βαφές υψηλής ανακλαστικότητας.
- Η θέρμανση και ψύξη όλων των κτηρίων θα επιτυγχάνεται με ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας με COP=5 για θέρμανση και 4 για ψύξη.
- Το σύνολο της πρόσθετης απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη θα καλύπτεται από φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- Οι υπολογισμοί έγιναν για κάθε κλιματική περιοχή με τη χρήση πλήρων βάσεων δεδομένων που περιέχουν ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των κτηρίων.
- Διευκρινίζεται ότι στην παρούσα ανάλυση μελετήθηκαν τα κτήρια κατοικίας, εκπαίδευσης, καθώς και κτήρια του τριτογενή τομέα, που, στο σύνολό τους, καλύπτουν το 90% του αριθμού των κτηρίων στη χώρα.

Σύμφωνα λοιπόν με τις παραδοχές αυτές, το σενάριο που εξετάζεται παρουσιάζει το απαιτούμενο κόστος έτσι ώστε όλα τα κτήρια το 2050 να είναι κτήρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, λαμβανομένης υπόψη της κλιματικής μεταβολής.

Όπως ήταν αναμενόμενο, το κόστος είναι σημαντικότερο στην αστική περιοχή της Αττικής (Διάγραμμα 2.22), όπου βρίσκεται και το μεγαλύτερο ποσοστό των κτηρίων της χώρας.

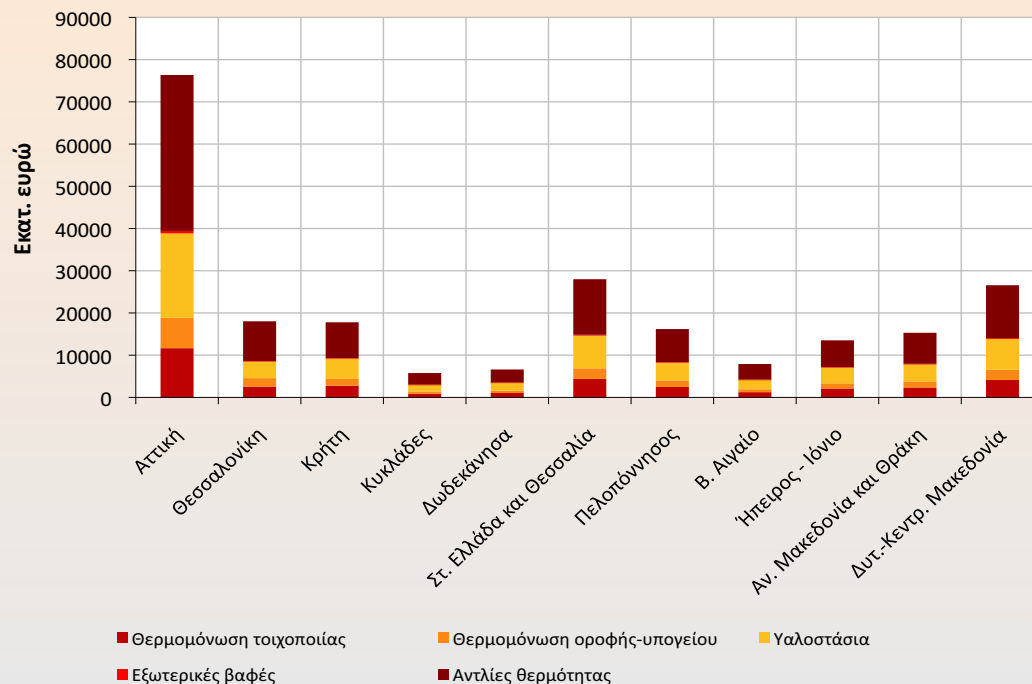
Το συνολικό ύψος των απαιτούμενων παρεμβάσεων για την προσαρμογή του υπάρχοντος και του αναμενόμενου κτηριακού αποθέματος στις τεχνολογικές επιταγές που θα ισχύουν το 2050 είναι της τάξεως των €230 δισεκατομμυρίων. Η ανάλυση του κόστους σε τεχνολογίες αναβάθμισης κτηριακού κελύφους, αναβάθμισης εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών δίνεται στο Διάγραμμα 2.23. Συνολικά, περίπου το 50% του απαιτούμενου κόστους αφορά στην αναβάθμιση του κτηριακού κελύφους. Το χαμηλό κόστος που απαιτείται για τα πρόσθετα φωτοβολταϊκά ώστε να εξασφαλίζεται ο μηδενισμός της ενεργειακής κατανάλωσης είναι άμεση συνέπεια της πολύ χαμηλής ζήτησης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, σαν αποτέλεσμα της πολύ καλής θερμικής ενίσχυσης του κτηριακού κελύφους και των χρησιμοποιούμενων συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας.

Από το συνολικό κόστος, περίπου το 65% αφορά κτήρια κατοικίας, τα οποία αποτελούν το 80% του συνολικού αριθμού κτηρίων. Το απόλυτο κόστος ανά είδος κτηρίου και ανά τεχνολογία παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.24 (μεθεπόμενη σελίδα).

Για να εκτιμηθεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη διαμόρφωση αυτού του κόστους, εξετάστηκε το εναλλακτικό σενάριο ζήτησης ενέργειας και θεωρήθηκε ότι τα κλι-

Διάγραμμα 2.22

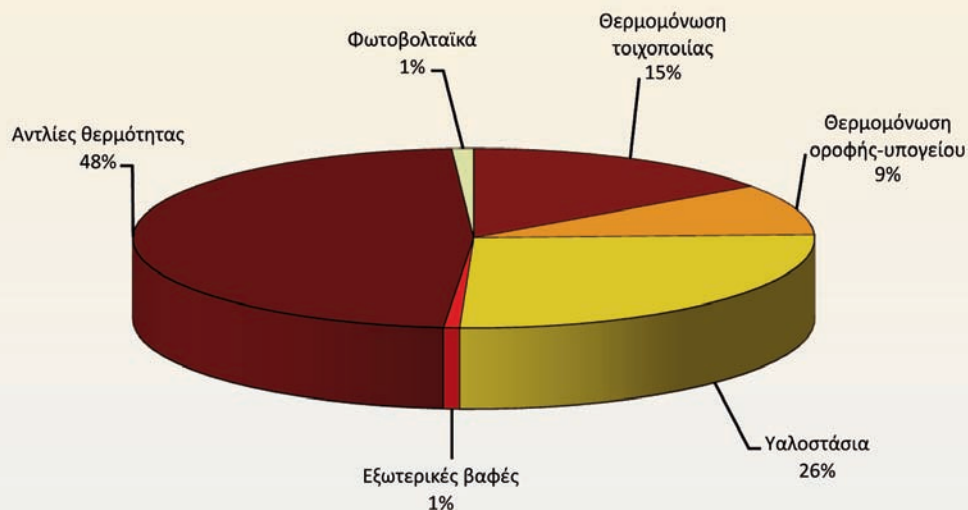
Κατανομή του κόστους ανά τεχνολογία και γεωγραφική περιοχή



2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής κατά τομέα

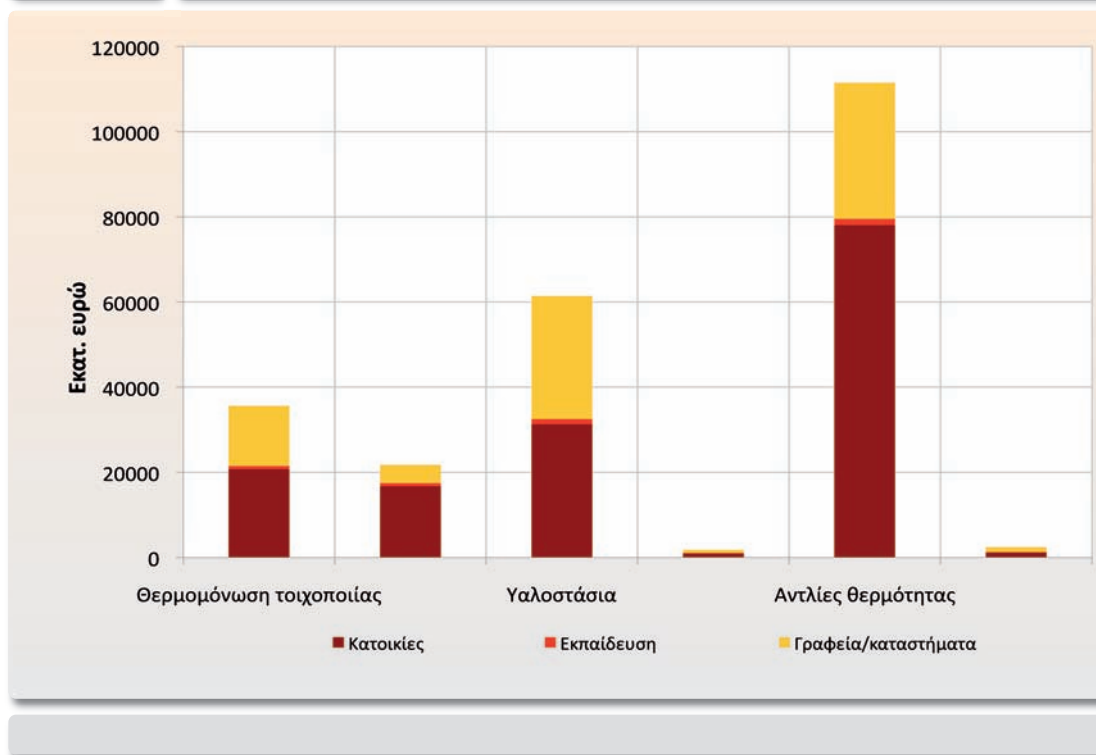
Διάγραμμα 2.23

Εκατοστιαία κατανομή κόστους παρεμβάσεων ανά τεχνολογία



Διάγραμμα 2.24

Κόστος κατά είδος κτηρίου και τεχνολογία



ματικά δεδομένα παραμένουν όμοια με το μέσο όρο της περιόδου 1960-1990. Το ποσοστό του επιπλέον κόστους λόγω της κλιματικής αλλαγής κυμαίνεται μεταξύ 7,6% και 10,3% του συνολικού κόστους, ανάλογα με τη γεωγραφική περιφέρεια. Ο μέσος όρος του επιπλέον κόστους για το σύνολο της χώρας είναι 9%, δηλαδή η πρόσθετη δαπάνη που θα προκαλέσει στον τομέα των κτηρίων η κλιματική μεταβολή έως το 2050 εκτιμάται περί τα €20-21 δισεκατομμύρια.

2.8.6 Συμπεράσματα

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στόχευε να διερευνήσει το τεχνικό και οικονομικό κόστος της κλιματικής μεταβολής στο κτηριακό περιβάλλον. Αρχικά υπολογίστηκε η αύξηση ή μείωση του ενεργειακού φορτίου των κτηρίων λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Όσον αφορά το φορτίο θέρμανσης, διαπιστώθηκε ότι, για το Σενάριο 2041-2050 A1B, η μέση μείωση υπολογίζεται περί το 22,4%, για το Σενάριο 2091-2100 A2 ίση με 50,1%, για το Σενάριο 2091-2100 B2 ίση με 36,4% και τέλος για το Σενάριο 2091-2100 A1B ίση με 42%. Παράλληλα, η προβλεπόμενη αύξηση του κλιματιστικού φορτίου των κτηρίων σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση είναι 83% για το Σενάριο 2041-2050 A1B. Ταυτόχρονα, η μέση αύξηση υπολογίζεται περί το 248% για το Σενάριο 2091-2100 A2, ίση με 148% για το Σενάριο 2091-2100 B2 και τέλος ίση με 167% για το Σενάριο 2091-2100 A1B.

Ταυτόχρονα με το θερμικό και ψυκτικό φορτίο, υπολογίστηκε η πιθανή ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων υπό το πρίσμα διαφόρων τεχνολογικών σεναρίων για το 2050.

Βέλτιστο σενάριο: Η σημερινή κατανάλωση του κτηριακού αποθέματος, που φθάνει τις 90.000 γιγαβατώρες, θα μπορούσε, παρά την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής, να μειωθεί μέχρι τις 5-10.000 γιγαβατώρες έως το 2050, εάν χρησιμοποιηθεί σύγχρονη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας σε όλα τα κτίρια και βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα του συνόλου του κτηριακού αποθέματος σε επίπεδο παθητικής κατασκευής.

Αισιόδοξο σενάριο: Σε περίπτωση όπου μέχρι το 2050 όλα πλέον τα συστήματα παραγωγής ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια θα παρουσιάζουν υψηλή απόδοση και θα έχει βελτιωθεί το κτηριακό απόθεμα που κατασκευάστηκε πριν από το 1980 σε επίπεδο παθητικής κατασκευής, η συνολική ζήτηση ενέργειας θα περιοριστεί περίπου στις 22.000-25.000 γιγαβατώρες το έτος.

Ρεαλιστικό σενάριο: Σε περίπτωση όπου μέχρι το 2050 το 70% των συστημάτων παραγωγής ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια θα παρουσιάζει υψηλή απόδοση, ενώ τα υπόλοιπα θα είναι συμβατικά και θα έχει βελτιωθεί το 60% του κτηριακού αποθέματος που κατασκευάστηκε πριν από το 1980 σε επίπεδο σύγχρονης κατασκευής, η συνολική ζήτηση ενέργειας θα περιοριστεί στις 50.000-55.000 γιγαβατώρες το έτος.

Σενάριο καταστροφής: Σε περίπτωση όπου μέχρι το 2050 μόνο το 10% των εγκατεστημένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας στα υπάρχοντα κτήρια θα παρουσιάζει υψηλή απόδοση, ενώ τα υπόλοιπα θα είναι συμβατικά και θα έχει βελτιωθεί το 20% του κτηριακού αποθέματος που κατασκευάστηκε πριν από το 1980 σε επίπεδο σύγχρονης κατασκευής, η συνολική ζήτηση ενέργειας θα ξεπεράσει τις 120.000-130.000 γιγαβατώρες το έτος.

Παράλληλα, για μη κλιματιζόμενα κτήρια υπολογίστηκε ότι η αύξηση των βαθμομερών κλιματισμού που υπολογίζεται για το Σενάριο A1B και για το 1990 και το 2050 κυμαίνεται από 54% έως και 1.000%. Η αύξηση των βαθμομερών κλιματισμού που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A2 του 2100 κυμαίνεται από 152% έως και 4.200%. Η αύξηση των βαθμομερών κλιματισμού που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο B2 του 2100 κυμαίνεται από 100% έως και 2.100%. Τέλος, η αύξηση των βαθμομερών κλιματισμού που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A1B του 2100 κυμαίνεται από 115% έως και 2.400%.

Η αύξηση της μέγιστης εσωτερικής θερμοκρασίας που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο A1B του 2050 κυμαίνεται από 2 έως 2,9 °C, ενώ για το Σενάριο A2 του 2100 κυμαίνεται από 4,5 έως 7,5 °C. Παράλληλα, η αύξηση της μέγιστης εσωτερικής θερμοκρασίας που υπολογίζεται ανάμεσα στο Σενάριο A1B του 1990 και το Σενάριο B2 του 2100 κυμαίνεται από 3,4 έως 4,8 °C και για το Σενάριο A1B του 2100 από 3,5 έως 5,3 °C.

Ταυτόχρονα με τον υπολογισμό της μεταβολής των βαθμομερών κλιματισμού και της μέγιστης και ελάχιστης εσωτερικής θερμοκρασίας, υπολογίστηκε το ποσοστό των θερινών ωρών όπου η εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνά τη θερμοκρασιακή βάση των 26, 28, 30 και 32 °C. Για

το Κλιματικό Σενάριο A1B της τρέχουσας περιόδου, το ποσοστό υπέρβασης της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τους μήνες Ιούνιο-Σεπτέμβριο είναι πάντοτε μηδενικό. Αντίθετα, για το Σενάριο B2 2100, το ποσοστό αυξάνεται δραστικά και κυμαίνεται από 0 έως 65%, ενώ για το Σενάριο A1B 2100 το ποσοστό επίσης αυξάνεται δραστικά και κυμαίνεται από 0 έως 68%. Τέλος, για το Σενάριο A2 2100 το ποσοστό αύξησης κυμαίνεται από 40 έως 98%.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της ζήτησης ωφέλιμης ενέργειας για την ψύξη και τη θέρμανση κτηρίων χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του πρόσθετου κόστους που θα επιφέρει η κλιματική μεταβολή για την προσαρμογή των κτηρίων στις νέες κλιματικές συνθήκες. Το ποσοστό του επιπλέον κόστους λόγω της κλιματικής αλλαγής κυμαίνεται μεταξύ 7,6% και 10,3% του συνολικού κόστους ανακαίνισης του κτηριακού αποθέματος, ανάλογα με τη γεωγραφική περιφέρεια. Ο μέσος όρος του πρόσθετου κόστους για το σύνολο της χώρας είναι 9%, δηλαδή η πρόσθετη δαπάνη που θα προκαλέσει στον τομέα των κτηρίων η κλιματική μεταβολή έως το 2050 εκτιμάται περί τα €20-21 δισεκατομμύρια.

2.8.7 Προτάσεις και πολιτικές προσαρμογής στον κτηριακό τομέα

Η κλιματική μεταβολή αυξάνει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας στον κτηριακό τομέα, ιδίως κατά τη θερινή περίοδο, ενώ παράλληλα επιβαρύνει το εσωτερικό περιβάλλον των κτηρίων και υποβαθμίζει τα επίπεδα της εσωτερικής θερμικής άνεσης.

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών προϋποθέτει το σχεδιασμό και την εφαρμογή πολιτικών προσαρμογής στους δυο παρακάτω άξονες:

- ενέργειες οι οποίες στοχεύουν στη βελτίωση των θερμικών χαρακτηριστικών κυρίως του αστικού περιβάλλοντος και
- ενέργειες οι οποίες στοχεύουν στη μείωση των θερμικών και ενεργειακών αναγκών των κτηρίων.

Βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος μπορεί να επιτευχθεί με ολοκληρωμένες ενέργειες, χάρη στις οποίες μεταβάλλεται το θερμικό ισοζύγιο του συγκεκριμένου αστικού χώρου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον αρχιτεκτονικό επανασχεδιασμό των χώρων, την αύξηση της κυκλοφορίας του αέρα, τη χρήση ψυχρών υλικών, τη χρήση πράσινου και νερού, κ.λπ. Οι τεχνολογίες αυτές είναι εξαιρετικά ώριμες πλέον και, όπου εφαρμόζονται, συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση του θερμικού καθεστώτος των χώρων.

Η μείωση ή και ο μηδενισμός της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων μπορεί να επιτευχθεί με τη συνδυασμένη χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι τεχνολογίες εξοικονόμησης είναι πλέον εξαιρετικά ώριμες και σημαντικά μειωμένου κόστους και μπορούν να περιορίσουν την ενεργειακή κατανάλωση ενός συμβατικού κτιρίου έως και κατά 90%. Παράλληλα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, δύνανται να συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων. Είναι εξαιρετικά σημαντικό ο συνδυασμός των τεχνο-

λογιών να μην επιφέρει σημαντική αύξηση του αρχικού κόστους των κτηρίων, ενώ παράλληλα δεν θα πρέπει να αυξάνεται η πολυπλοκότητα του κτηριακού χώρου.

Οι παραπάνω τεχνικές προσαρμογής, εκτός της προφανούς βελτίωσης που θα επιφέρουν ως προς το κλιματικό πρόβλημα, θα δημιουργήσουν μεγάλη οικονομική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των τοπικών και εθνικών οικονομιών, καθώς και τη δημιουργία χιλιάδων θέσεων εργασίας.

2.9 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των μεταφορών*

2.9.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο των αναλύσεων για τον τομέα των μεταφορών, η ομάδα μελέτης που απαρτίστηκε από στελέχη του *Ινστιτούτου Μεταφορών του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (IMET/EKETA)* εξέτασε τις ιδιαίτερες παραμέτρους του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με τη λειτουργία του συστήματος μεταφορών της χώρας, καταγράφοντας τα χαρακτηριστικά του φαινομένου και εκτιμώντας και ποσοτικοποιώντας, όπου αυτό ήταν δυνατόν, τις πιθανές επιπτώσεις του.

Η τομεακή μελέτη επιπτώσεων για τον τομέα των μεταφορών εξετάζει τις “άμεσες” (direct) επιπτώσεις στον τομέα, δηλαδή τις επιπτώσεις που επηρεάζουν άμεσα το σύστημα των μεταφορών και όχι έμμεσα μέσω των επιπτώσεων σε άλλα συστήματα (π.χ. στην οικονομία, τον τουρισμό, κ.λπ.).²⁶ Στο πλαίσιο της τομεακής μελέτης εξετάζονται επίσης και οι “φυσικές” (physical) επιπτώσεις, δηλαδή οι μετρήσιμες εκείνες επιπτώσεις που αφορούν τις φυσικές υποδομές ή εγκαταστάσεις και τη λειτουργία του συστήματος.

Οι άμεσες (direct) φυσικές επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής στις μεταφορές εντοπίζονται στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες:

1. επιπτώσεις στις υποδομές μεταφορών λόγω:
 - i. ανακατασκευών και επιδιορθώσεων των φθορών που προκλήθηκαν από τις φυσικές καταστροφές και
 - ii. υλοποίησης έργων προληπτικής προστασίας των υφιστάμενων υποδομών μεταφορών,
2. επιπτώσεις στη συντήρηση των υποδομών μεταφορών και

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.9 συνεργάστηκαν οι: Γεώργιος Γιαννόπουλος, Ελίζα Γαγάτση, Ευάγγελος Μητσάκης και Josep Salanova.

²⁶ Έμμεσες είναι και οι επιπτώσεις από τις αλληλεπιδράσεις των διαφόρων στοιχείων του συστήματος, όπως λόγω χάρη η προβληματική ή και αδύνατη (λόγω των φαινομένων κλιματικής αλλαγής) λειτουργία ενός τμήματος του δικτύου ή τομέα των μεταφορών από επιπτώσεις σε ένα άλλο. Π.χ. σε περίπτωση που ένα τμήμα του σιδηροδρομικού δικτύου της χώρας δεν λειτουργεί λόγω κατολισθήσεων που οφείλονται σε έντονες βροχοπτώσεις, θα επιβαρυνθεί αναπόφευκτα το οδικό δίκτυο που εναλλακτικά εξυπηρετεί τις ίδιες συνδέσεις.

3. επιπτώσεις από τις αλλαγές στη λειτουργία και αξιοπιστία του συστήματος λόγω π.χ. καθυστερήσεων και άλλων αλλαγών σε δρομολόγια και υπηρεσίες.

Απώτερος στόχος της τομεακής αυτής μελέτης είναι η αναγνώριση των ιδιαιτεροτήτων αλλά και της “ευπάθειας” του ελληνικού συστήματος μεταφορών σε σχέση με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και η αποτίμηση του κόστους αυτής στον τομέα των μεταφορών για μια σειρά συγκεκριμένων σεναρίων και παραμέτρων τα οποία διαμορφώθηκαν στο γενικότερο πλαίσιο της μελέτης. Πέραν της αποτίμησης του κόστους της κλιματικής αλλαγής στο σύστημα μεταφορών της χώρας, η μελέτη προχωρεί σε μια σειρά προτεινόμενων πολιτικών διαχείρισης, με στόχο τόσο την πρόληψη όσο και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του φαινομένου.

2.9.2 Μεθοδολογία και βασικά στάδια της μελέτης

Δεδομένης της ιδιαιτερότητας της μελέτης εξαιτίας τόσο της πολυπλοκότητας του χώρου των μεταφορών και της έλλειψης εξειδικευμένης εθνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας όσο και της συχνής ανεπάρκειας ή/και απουσίας ειδικών δεδομένων και μετρήσεων σε εθνικό αλλά και τοπικό επίπεδο, η ομάδα μελέτης προχώρησε στη διαμόρφωση μιας μεθοδολογίας προσαρμοσμένης στις παραπάνω ιδιαιτερότητες του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της ελληνικής πραγματικότητας.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε εφαρμόστηκε για τρία χωριστά σενάρια, τα οποία και ακολουθούν τα γενικά σενάρια της μελέτης. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν:

- *Σενάριο A2: Μη προσαρμογής* – no mitigation scenario (ή και σενάριο τάσεων – business as usual – BAU)
- *Σενάριο A1B: Μετριασμού, ήπια προσαρμογή* – mild mitigation scenario, και
- *Σενάριο B1: Μετριασμού, έντονης προσαρμογής* – strong mitigation scenario

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αποτελείται από τα ακόλουθα διακριτά στάδια:

Στάδιο 1: Συνοπτική καταγραφή του δικτύου υποδομών μεταφορών της Ελλάδας και ιεράρχηση-αξιολόγηση της “ευπάθειας” των στοιχείων λειτουργίας του (υποδομές και υπηρεσίες). Η εξέταση των επιμέρους στοιχείων του δικτύου μεταφορών της χώρας που διενεργήθηκε στο πλαίσιο του πρώτου σταδίου υλοποιήθηκε για τέσσερεις γεωγραφικές περιοχές-ζώνες στις οποίες χωρίζεται η χώρα για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης. Οι ζώνες αυτές είναι:

- Ζώνη I: Δυτική Ελλάδα
- Ζώνη II: Κεντρική Ελλάδα
- Ζώνη III: Ανατολική Ελλάδα
- Ζώνη IV: Νησιωτική Ελλάδα.

Στάδιο 2: Εκτίμηση μεταφορικού έργου. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την αποτίμηση του μεταφορικού έργου, αλλά και την εκτίμηση μελλοντικών τιμών της ζήτησης σε συγκεκριμένους χρονικούς ορίζοντες.

Στάδιο 3: Αποτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των μεταφορών για την Ελλάδα. Για κάθε ένα από τα τρία προαναφερθέντα σενάρια κλιματικής αλλαγής που έχουν οριστεί από το γενικό πλαίσιο της μελέτης, γίνεται αποτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής τόσο σε επίπεδο υποδομών μεταφορών όσο και σε επίπεδο παρεχόμενων μεταφορικών υπηρεσιών.

Στάδιο 4: Γενικά συμπεράσματα. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τα γενικά συμπεράσματα και “μηνύματα” που προκύπτουν από την ανάλυση και την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας όσον αφορά στον τρόπο με τον οποίο το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να επηρεάσει το σύστημα μεταφορών της Ελλάδος.

Στάδιο 5: Πολιτικές διαχείρισης. Η μελέτη ολοκληρώνεται με την αναφορά ενός συνόλου προτεινόμενων πολιτικών διαχείρισης που, σύμφωνα με την ομάδα μελέτης του Ινστιτούτου Μεταφορών, θα πρέπει να αναμένεται να ακολουθηθούν από σήμερα και για τα επόμενα 20 χρόνια περίπου, για την πρόληψη της κλιματικής αλλαγής και το μετριασμό των επιπτώσεων της στο δίκτυο μεταφορών της χώρας στο πλαίσιο και των βασικών υποθέσεων του Σεναρίου “Μετριασμού”.

2.9.3 Βασικά αποτελέσματα κατά στάδιο μελέτης

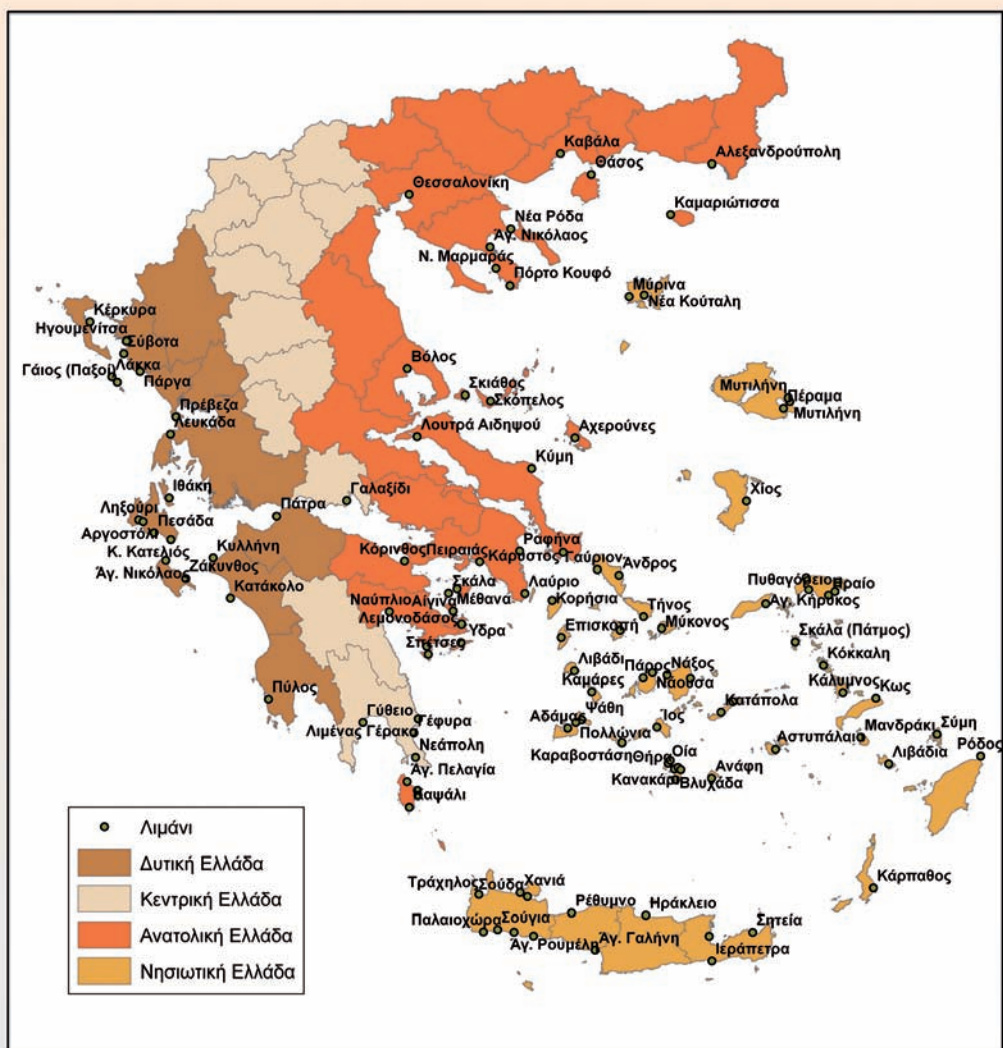
Στα επόμενα παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα για κάθε ένα από τα προαναφερθέντα στάδια της μελέτης.

2.9.3.1 Βασικά αποτελέσματα Σταδίου 1: Καταγραφή του δικτύου μεταφορικών υποδομών της Ελλάδος και αξιολόγηση “ευπάθειας”

Η καταγραφή του δικτύου μεταφορών, αλλά και η αξιολόγηση της ευπάθειας των επιμέρους χαρακτηριστικών αυτού σε συγκεκριμένες παραμέτρους της κλιματικής αλλαγής, πραγματοποιήθηκε για καθεμιά από τις τέσσερις ζώνες στις οποίες χωρίστηκε η χώρα, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.25 (σελ. 290).

Η ανάλυση έδειξε ότι, ως προς το σύστημα των μεταφορικών υποδομών της χώρας, η Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια από τις πιο “τρωτές” περιοχές της Ευρώπης, κυρίως λόγω του ότι είναι μια από τις χώρες με τη μεγαλύτερη ακτογραμμή, με 113 μέτρα ακτής σε κάθε τετρ. χλμ. επιφάνειας της χώρας (όταν ο παγκόσμιος μέσος όρος είναι μόλις 4,5 μέτρα). Έτσι, πολλές (κυρίως) αστικές περιοχές και δίκτυα μεταφορών είναι σε απόσταση επιρροής από τις ακτογραμμές αυτές. Αξιοσημείωτο είναι το ότι το 33% του ελληνικού πληθυσμού ζει σε παράκτιες πόλεις ή χωριά και σε απόσταση έως 2 χλμ. από τη θάλασσα,²⁷ ενώ 12 από τις 13 πρώην Διοικητικές Περιφέρειες της χώρας είναι παράκτιες. Επιπλέον, τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της χώρας, που προσελκύουν το σημαντικότερο αριθμό μετακινήσεων, όπως ο Πειραιάς, η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, το Ηράκλειο, ο Βόλος και η Καβάλα, βρίσκονται επίσης στις παράκτιες ζώνες της χώρας.

²⁷ Πηγή: Europa, maritime affairs (<http://ec.europa.eu/maritimeaffairs>), Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Αλιείας και Ναυτιλιακών Υποθέσεων



Με βάση τα παραπάνω και σε συνδυασμό με δεδομένα των εξεταζόμενων από τη μελέτη σεναρίων κλιματικής αλλαγής, όπου προβλέπεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 40 έως 50 εκατοστά περίπου, είναι σαφές ότι σημαντικό τμήμα των υποδομών μεταφορών της χώρας βρίσκεται στο πρώτο μέτωπο κινδύνου από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Ο παρακάτω πίνακας (2.45) παρουσιάζει ορισμένα συνοπτικά στοιχεία της “επάθειας” του δικτύου μεταφορών για καθεμία από τις εξεταζόμενες ζώνες. Η ανάλυση που διενεργήθηκε αποσκοπούσε στην αναγνώριση του τμήματος του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της

Πίνακας 2.45

Ποσοτικά στοιχεία ευπάθειας δικτύου μεταφορών κατά εξεταζόμενη ζώνη

Ζώνη I: Δυτική Ελλάδα	Ποσοστό (%) οδικού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	Εθνικό: 1,41	Επαρχιακό: 1,93
	Ποσοστό (%) σιδ/κού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	2,65	
	Αριθμός αερολιμένων σε επίπεδο θάλασσας	1 (Κρατικός αερολιμένας Κέρκυρας “Ι. Καποδίστριας”).	
Ζώνη II: Κεντρική Ελλάδα	Ποσοστό (%) οδικού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	Εθνικό: -	Επαρχιακό: 0,76
	Ποσοστό (%) σιδ/κού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	0	
	Αριθμός αερολιμένων σε επίπεδο θάλασσας	0	
Ζώνη III: Ανατολική Ελλάδα	Ποσοστό (%) οδικού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	Εθνικό: 1,53	Επαρχιακό: 1,92
	Ποσοστό (%) σιδ/κού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	0,61	
	Αριθμός αερολιμένων σε επίπεδο θάλασσας	2 (Διεθνής Αερολιμένας Μακεδονίας, Αερολιμένας Σκιάθου)	
Ζώνη IV: Νησιωτική Ελλάδα	Ποσοστό (%) οδικού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	6,64	
	Ποσοστό (%) σιδ/κού δικτύου σε απόσταση 50 μέτρων από θάλασσα	0	
	Αριθμός αερολιμένων σε επίπεδο θάλασσας	1 (Διεθνής Αερολιμένας Ηρακλείου)	

Πηγή: Υπολογισμοί ομάδας μελέτης με βάση το ψηφιοποιημένο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο χώρας στο υπόδειγμα TRANSTOOLS.

Ελλάδος που βρίσκεται μέσα σε μια ζώνη “επικινδυνότητας”, σε απόσταση μικρότερη των 50 μέτρων από την ακτογραμμή.

Επιπλέον, όπως υπογραμμίστηκε και στα προηγούμενα, η λειτουργία σημαντικότερου αριθμού λιμένων της χώρας επηρεάζεται άμεσα από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, γεγονός που έχει άμεση επίδραση στη λειτουργία του συστήματος θαλάσσιων μεταφορών της χώρας, η ύπαρξη και η εύρυθμη λειτουργία του οποίου αποτελούν ουσιοδέστατο παράγοντα διασφάλισης της συνέχειας και συνοχής του μεταφορικού δικτύου της χώρας.

Η τομεακή μελέτη χρησιμοποίησε την εμπειρία από συγκεκριμένα παραδείγματα εκδήλωσης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα (πυρκαγιές της Πελοποννήσου το 2007, αύξηση της στάθμης της θάλασσας στο Ανατολικό Αιγαίο τον Ιανουάριο του 2010, πλημμύρες που έπληξαν τη Μαγνησία το 2009) για την ποιοτική περιγραφή των επιπτώσεων του φαινομένου στο σύστημα μεταφορών της Ελλάδος, καταδεικνύοντας και πάλι την “ευπάθεια” του συστήματος.

2.9.3.2 Βασικά αποτελέσματα Σταδίου 2: Εκτίμηση μεταφορικού έργου

Το επόμενο στάδιο της ακολουθούμενης μεθοδολογίας αφορά στην εκτίμηση του μεταφορικού έργου το οποίο καλείται να εξυπηρετήσει το υφιστάμενο δίκτυο μεταφορών και το

σύνολο υποδομών μεταφοράς της χώρας. Το μεταφορικό έργο στα οδικά, σιδηροδρομικά, θαλάσσια και εναέρια δίκτυα της χώρας (επιβάτες και εμπορεύματα) εκτιμήθηκε μέχρι το έτος 2050 με βάση στοιχεία του Ελληνικού Ινστιτούτου Μεταφορών στο πλαίσιο του *Παρατηρητηρίου Μεταφορών* που συντηρεί στον ΚΟΜΒΟ του ΙΜΕΤ και σε μέσα ετήσια ποσοστά αύξησης, που προέκυψαν από βιβλιογραφική ανασκόπηση υφιστάμενων μελετών και έργων στο εξωτερικό, μέχρι το 2100.

Οι παρακάτω πίνακες (2.46 και 2.47) παρουσιάζουν συνοπτικά την εκτίμηση της μεταφορικής ζήτησης για επιβατικές και εμπορευματικές μεταφορές που προέκυψε από την ανάλυση του Ινστιτούτου Μεταφορών για συγκεκριμένους χρονικούς ορίζοντες και με βάση τα προαναφερθέντα εκτιμώμενα από υφιστάμενες μελέτες ποσοστά αύξησης.

Πίνακας 2.46

Εκτίμηση της "ζήτησης" κατά μεταφορικό μέσο και είδος μεταφοράς στην Ελλάδα (Επιβατικές μεταφορές)

	Οδικές μεταφορές ¹ (δισεκ. οχηματο-χλμ./έτος)			Σιδηροδρομικές μεταφορές ² (δισεκ. επιβατο-χλμ./έτος)	Αεροπορικές μεταφορές (εκατ. επιβάτες/έτος) ³	Θαλάσσιες μεταφορές (εκατ. επιβάτες/έτος) ⁴
	Εθνικό δίκτυο	Επαρχιακό δίκτυο	Σύνολο σε επιβ-χλμ./έτος			
Έτος αναφοράς	12,9	8,7	38	1,9	38,7	86
2015	14,6	9,9	42	2,0	43,9	98
2030	16,0	10,5	46	2,3	53,0	107
2050	17,3	11,2	50	2,7	63,6	115
2100	20,0	12,9	58	3,3	85,2	132

Πηγές: 1 Ι.ΜΕΤ., *Παρατηρητήριο Μεταφορών*, στοιχεία 2007.

2 European Transport Report 2007/2008, στοιχεία 2007.

3 Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, στοιχεία 2006.

4 Ευρωπαϊκή Ένωση, ΓΔ Αθιείας και Ναυτιλιακών Υποθέσεων, στοιχεία 2005.

Πίνακας 2.47

Η "ζήτηση" για εμπορευματικές μεταφορές

	Οδικές μεταφορές ¹ (δισεκ. τόνο-χλμ./έτος)	Σιδηροδρομικές μεταφορές ² (δισεκ. τόνο-χλμ./έτος)	Αεροπορικές μεταφορές (χιλ. τόνοι/έτος) ³	Θαλάσσιες μεταφορές (εκατ. τόνοι/έτος) ⁴
Έτος αναφοράς	25,6	0,7	130	151
2015	29,5	0,8	151,3	189
2030	37,0	1,0	190,0	240
2050	46,5	1,4	239,5	302
2100	67,5	2,0	335,0	350

Πηγές: 1 European Transport Report 2007/2008, στοιχεία 2007.

2 European Transport Report 2007/2008, στοιχεία 2007.

3 Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, στοιχεία 2006.

4 Ευρωπαϊκή Ένωση, ΓΔ Αθιείας και Ναυτιλιακών Υποθέσεων, στοιχεία 2005.

Από τα παραπάνω είναι φανερές οι αυξητικές τάσεις της ζήτησης μεταφορικών υπηρεσιών (επιβατικές και εμπορευματικές) που καλείται να καλύψει το δίκτυο μεταφορών της χώρας. Ο υπολογισμός των εκτιμώμενων μελλοντικών τιμών της ζήτησης διενεργήθηκε στο πλαίσιο της αποτίμησης του κόστους της κλιματικής αλλαγής για το σύστημα μεταφορών σε μελλοντικούς χρονικούς ορίζοντες, όπως παρουσιάζονται στο επόμενο στάδιο της μελέτης.

2.9.3.3 Βασικά αποτελέσματα Σταδίου 3: Αποτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής για τις μεταφορές στην Ελλάδα

Με βάση τα στοιχεία που υπολογίστηκαν στα προηγούμενα στάδια (στοιχεία δικτύου μεταφορών, εκτίμηση ευπάθειας δικτύου και στοιχεία υφιστάμενης και εκτιμώμενης μεταφορικής ζήτησης) και τις αναλυτικές μεθοδολογίες εκτίμησης επιλεγμένων περιπτώσεων εκδήλωσης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής που αναμένονται στην χώρα μας (οι πιο χαρακτηριστικές εκ των οποίων είναι η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας αλλά και της συχνότητας εμφάνισης θερμών επεισοδίων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας που αναμένεται στην ευρύτερη λεκάνη της Μεσογείου, η αύξηση της συχνότητας και της έντασης πλημμυρικών επεισοδίων, καθώς και η μείωση των χιονοπτώσεων), στο 3ο στάδιο της μεθοδολογίας υπολογίστηκε το πιθανό πρόσθετο κόστος λόγω αποκατάστασης ζημιών/φθορών στις υποδομές, πρόληψης, αυξημένης συντήρησης και, τέλος, λόγω καθυστερήσεων που εκτιμήθηκε ότι θα προκύψουν από τη μέση ετήσια αύξηση της θερμοκρασίας με βάση τα τρία σενάρια που εξετάστηκαν (κατά 2°-4 °C).

Οι (οικονομικές) αυτές επιπτώσεις φαίνονται στους Πίνακες 2.48 και 2.49 που ακολουθούν.²⁸

Όπως δείχνουν τα στοιχεία των Πινάκων 2.48 και 2.49, το μεγαλύτερο κόστος προέρχεται από τις καθυστερήσεις/ακυρώσεις (δηλαδή το κόστος της αξίας του χρόνου των επιβατών) που θα προκύψει στις κάθε είδους υπηρεσίες μεταφορών λόγω της εκδήλωσης των επιμέρους φαινομένων της κλιματικής αλλαγής, χωρίς βεβαίως να υποτιμάται και το άλλο κόστος, δηλ. λόγω του ανασχεδιασμού και της επαναχάραξης των υποδομών μεταφοράς, αλλά και των αυξημένων δαπανών συντήρησής τους.

Πέρα από τις ποσοτικές εκτιμήσεις που αναφέρονται στους Πίνακες 2.48 και 2.49, η μελέτη προχώρησε και σε μια ποιοτική περιγραφή των κυριότερων επιπτώσεων που αναμένεται να εμφανιστούν, κυρίως αυτών που ήταν πολύ δύσκολο έως αδύνατον να υπολογιστούν και εκτιμηθούν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.²⁹

²⁸ Τα αναλυτικά στοιχεία και τους υπολογισμούς για κάθε περίπτωση που εξετάστηκε διατίθενται στο πλήρες κείμενο της μελέτης για τις μεταφορές, στη σχετική σελίδα της Επιτροπής Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), που έχει αναρτηθεί στον ιστοχώρο της Τράπεζας της Ελλάδος (www.bankofgreece.gr).

²⁹ Πίνακας Μ-16 στο πλήρες κείμενο της μελέτης για τις μεταφορές, όπ.π., υποσ. 28.

Πίνακας 2.48

Εκτιμήσεις κόστους συντήρησης και ανακατασκευής στο σύστημα των μεταφορών της Ελλάδος λόγω των σημειούμενων στη 1η στήλη επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Σε ευρώ)

Είδος επίπτωσης	Μεταφορές	Σενάρια					
		2050, Μη προσαρμογής	2050, Ήπιας προσαρμογής	2050, Έντονης προσαρμογής	2100, Μη προσαρμογής	2100, Ήπιας προσαρμογής	2100, Έντονης προσαρμογής
Άνοδος θερμοκρασίας	Οδικές	150 εκατ./έτος	100 εκατ./έτος	50 εκατ./έτος	300 εκατ./έτος	200 εκατ./έτος	100 εκατ./έτος
	Σιδηροδρομικές	37 εκατ./έτος	30 εκατ./έτος	20 εκατ./έτος	75 εκατ./έτος	55 εκατ./έτος	40 εκατ./έτος
Άνοδος στάθμης θάλασσας	Οδικές	3 δισεκ. άπαξ	3 δισεκ. άπαξ	3 δισεκ. άπαξ	-	-	-
	Σιδηροδρομικές	0,3 δισεκ. άπαξ	0,3 δισεκ. άπαξ	0,3 δισεκ. άπαξ	-	-	-
	Θαλάσσιες	0,6 δισεκ. άπαξ	0,6 δισεκ. άπαξ	0,6 δισεκ. άπαξ	-	-	-
Πλημμύρες	Οδικές	200 εκατ./έτος	120 εκατ./έτος	60 εκατ./έτος	300 εκατ./έτος	200 εκατ./έτος	85 εκατ./έτος
	Σιδηροδρομικές	-	-	-	-	-	-
Οφέλη από μείωση χιονοπτώσεων	Οδικές	-40 εκατ./έτος	-25 εκατ./έτος	-15 εκατ./έτος	-80 εκατ./έτος	-50 εκατ./έτος	-30 εκατ./έτος
	Σιδηροδρομικές	-0,1 εκατ./έτος	-0,07 εκατ./έτος	-0,05 εκατ./έτος	-0,2 εκατ./έτος	-0,15 εκατ./έτος	-0,1 εκατ./έτος
Σύνολο		346 εκατ./έτος & 4 δισεκ. άπαξ	225 εκατ./έτος & 4 δισεκ. άπαξ	115 εκατ./έτος & 4 δισεκ. άπαξ	594,8 εκατ./έτος	405 εκατ./έτος	195 εκατ./έτος

Πίνακας 2.49

Εκτιμήσεις κόστους καθυστερήσεων στο σύστημα των μεταφορών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής (ακραία καιρικά φαινόμενα, υπερθέρμανση μεταφορικών υποδομών, κ.λπ.)

Σενάρια	Οδικές μεταφορές (δισεκ. ευρώ/έτος)	Σιδηροδρομικές μεταφορές (δισεκ. ευρώ/έτος)	Σύνολο έτους (δισεκ. ευρώ)
2050, Μη προσαρμογής	9,9	0,010	9,91
2050, Ήπιας προσαρμογής	4,3	0,004	4,304
2050, Έντονης προσαρμογής	1,4	0,001	1,401
2100, Μη προσαρμογής	28	0,031	28,031
2100, Ήπιας προσαρμογής	9,3	0,011	9,311
2100, Έντονης προσαρμογής	4,2	0,004	4,204

2.9.4 Προτεινόμενα μέτρα και πολιτικές διαχείρισης

Πέρα από την εκτίμηση των επιπτώσεων, στη μελέτη παρουσιάζεται μια σειρά από προτεινόμενες πολιτικές αλλά και συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων για όλο το σύστημα μεταφορών και τα αντίστοιχα δίκτυα κατά μεταφορικό μέσο. Συνοπτικά προτείνονται:

1. Συνεργασία αρμόδιων φορέων με στόχο την ιεράρχηση και αξιολόγηση των υποδομών μεταφοράς της χώρας ως προς τη σημαντικότητα, την ευπάθεια και την τρέχουσα κατάσταση τους.
2. Ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης κρίσιμων υποδομών και χρήση έξυπνων τεχνολογιών για συστήματα λήψης αποφάσεων, διαχείρισης κινδύνου και κρίσιμων καταστάσεων, κ.λπ.
3. Τήρηση λεπτομερών στοιχείων σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος μεταφορών της χώρας σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων και δημιουργία δεικτών αποτίμησης των επιπτώσεων.
4. Αναθεώρηση των υφιστάμενων προδιαγραφών σχεδιασμού των μεταφορικών υποδομών, λαμβανομένων υπόψη των παραμέτρων της κλιματικής αλλαγής (π.χ. σχεδιασμός λιμενικών έργων με νέα δεδομένα όσον αφορά στο μέγεθος και τη συχνότητα εμφάνισης κυματισμών κ.ο.κ.).
5. Χρήση νέων υλικών, ανθεκτικότερων στις ακραίες καιρικές συνθήκες.
6. Στρατηγικός σχεδιασμός χρήσεων γης και υποδομών μεταφορών, λαμβανομένων υπόψη των εκδηλώσεων της κλιματικής αλλαγής στις ευάλωτες περιοχές της χώρας.
7. Μέτρα πολιτικής που αποσκοπούν στη μείωση της μεταφορικής ζήτησης, π.χ. τηλεεργασία (teleworking), “μοίρασμα” της διαδρομής με αυτοκίνητο (car pooling), διαχείριση κινητικότητα, μετακινήσεις μαθητών σε σχολεία, κ.ο.κ.
8. Ενίσχυση της οικολογικής οδήγησης (ecodriving).
9. Χρήση “έξυπνων” τεχνολογιών και συστημάτων με στόχο τη βελτιστοποίηση των εμπορευματικών μεταφορών και τη μέγιστη εκμετάλλευση της χωρητικότητας των μέσων μεταφοράς (στόχος: μηδενικά άδεια δρομολόγια).
10. Ενίσχυση συνδυασμένων εμπορευματικών μεταφορών και μείωση ποσοστού οδικών μεταφορών προς όφελος των θαλάσσιων και σιδηροδρομικών μεταφορών.
11. Προώθηση της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών οχημάτων (υβριδικά-ηλεκτρικά) με μέτρα οικονομικής ενίσχυσης και κατασκευή υποδομών (π.χ. σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων).

Τέλος, η μελέτη περιλαμβάνει και μια σειρά από μέτρα πολιτικής που θα μπορούσαν να διερευνηθούν και εφαρμοστούν σταδιακά σε βάθος χρόνου.³⁰

³⁰ Πίνακας M-17 στο πλήρες κείμενο της μελέτης για τις μεταφορές, όπ.π., υποσ. 28.

2.10 Κλιματική αλλαγή και υγεία*

2.10.1 Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι το κλίμα και οι καιρικές συνθήκες αποτελούν σημαντικές συνιστώσες που επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία. Αυτό σημαίνει ότι η κλιματική αλλαγή που παρατηρείται παγκοσμίως μεταβάλλει με τη σειρά της τα δεδομένα που σχετίζονται με την υγεία και την ευημερία των πληθυσμών. Πρόκειται για μια υπολογίσιμη επίδραση, στην οποία συχνά δεν αποδίδεται η δέουσα προσοχή, αφού οι περισσότεροι θεωρούν ότι η προσωπική τους υγεία εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη συμπεριφορά τους (π.χ. διατροφικές συνήθειες, άσκηση), την κληρονομικότητα και την ευκολία πρόσβασης σε υπηρεσίες υγείας.

Οι πρόσφατες κλιματικές αλλαγές πιστεύεται ότι έχουν ήδη καθορίσει ορισμένα επιδημιολογικά δεδομένα σε παγκόσμια κλίμακα. Για παράδειγμα, η ετήσια έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού Υγείας για το 2002 αναφέρει ότι η κλιματική αλλαγή ευθύνεται για περίπου το 2,4% των κρουσμάτων διάρροιας παγκοσμίως, καθώς και για το 6% των κρουσμάτων ελονοσίας σε κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες για το έτος 2000 (WHO, 2002). Ένα πρόβλημα σχετικά με την αξιολόγηση τέτοιου είδους αποτελεσμάτων είναι πως η υγεία επηρεάζεται από μια πληθώρα παραγόντων και, επομένως, είναι δύσκολο να μετρηθεί αποκλειστικά η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην υγεία και να απομονωθούν όλοι οι άλλοι παράγοντες. Παρά τη δυσκολία αυτή, και με δεδομένο ότι η κλιματική αλλαγή επιδρά σε πολλές συνιστώσες της ανθρώπινης υγείας, οι επιπτώσεις της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής στην υγεία έχουν ανακύψει ως ένα μείζον ζήτημα, που αφορά όχι μόνο θεωρητικά την ιατρική και την περιβαλλοντολογική επιστήμη, αλλά που έχει ως επί το πλείστον πρακτική σημασία, φανερώνοντας την ανάγκη για χάραξη κατάλληλης κοινωνικοοικονομικής πολιτικής.

Η έκθεση της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία των Ευρωπαίων πολιτών επισημαίνει ότι η άνοδος της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό αναμένεται να επιφέρει αύξηση της θνησιμότητας κατά 1% έως 4%. Αυτό σημαίνει ότι η θνησιμότητα που οφείλεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 30.000 θανάτους ετησίως έως τη δεκαετία του 2030 και κατά 50.000 έως 110.000 θανάτους ετησίως έως τη δεκαετία του 2080.

2.10.2 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην υγεία

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τον ανθρώπινο οργανισμό με άμεσο και έμμεσο τρόπο. Η άμεση έκθεση πραγματοποιείται λόγω των μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και τα συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα. Η έμμεση έκθεση οφείλεται στη χαμηλότερη ποιότητα του πόσιμου ύδατος

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.10 συνεργάστηκαν οι: Ιωάννης Υφαντόπουλος, Ανδρέας Παπανδρέου, Αναστάσιος Πατώκος, Παναγιώτης Νάστος, Παύλος Καλαμπόκας, Μιχαήλ Βρεκούσης, Ιωάννης Καψωμενάκης, Δημοσθένης Παναγιωτάκος, Χρήστος Ζερεφός και Βιλεμίνη Ψαρριανού.

και των μετεωρολογικών συνθηκών, καθώς και στις μεταβολές του οικοσυστήματος, της γεωργίας, της βιομηχανίας, των οικισμών και της οικονομίας. Κατά συνέπεια, η κλιματική αλλαγή συνδέεται παγκοσμίως και με ήδη υπάρχουσες ασθένειες, αλλά μπορεί να οδηγήσει και σε πρόσωρους θανάτους από συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία μπορούν ενδεικτικά να ενταχθούν στις εξής τρεις κατηγορίες (WHO, 2003):

- α) Άμεσες επιπτώσεις, που συνήθως προκαλούνται από ακραία καιρικά φαινόμενα (π.χ. θάνατοι από καύσωνες).
- β) Έμμεσες επιπτώσεις, οι οποίες προκαλούνται ως συνέπεια περιβαλλοντικών αλλαγών και οικολογικών διαταραχών που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή (π.χ. αυξανόμενη απειλή από ασθένειες που μεταφέρονται από τα κουνούπια ή τα τρωκτικά).
- γ) Διάφορες επιπτώσεις που προκαλούνται σε πληθυσμούς που πλήττονται από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και από οικονομικά προβλήματα λόγω της κλιματικής αλλαγής (π.χ. διατροφικά ή ακόμα και ψυχολογικά προβλήματα).

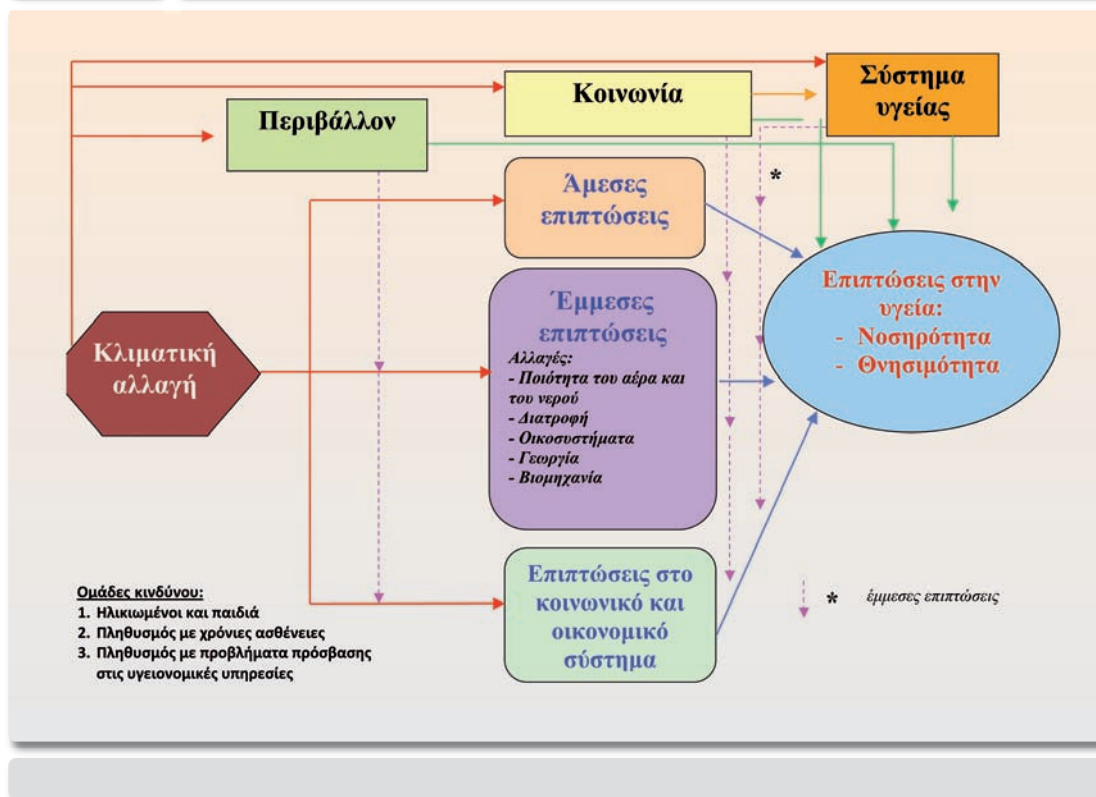
Στο Διάγραμμα 2.26 (σελ. 298) παρουσιάζεται συνοπτικά η σχέση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της υγείας.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, οι κλιματικές αλλαγές και η υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές θα προέλθουν από τις αυξανόμενες καταιγίδες, πλημμύρες, κύματα ξηρασίας και πυρκαγιές, που θα επηρεάσουν τα αποθέματα νερού, τη παραγωγή υγιεινών τροφών και τη γενικότερη διαχείριση των συστημάτων υγείας. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα συμβάλει στην αύξηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας που σχετίζονται με τη διατροφή και την ποιότητα του νερού και του αέρα. Η μεγαλύτερη συχνότητα των καυσώνων αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της θνησιμότητας από θερμοπληξίες και θερμικό στρες.

Το κεντρικό συμπέρασμα των μελετών που έχουν εκπονηθεί σχετικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη υγεία σε παγκόσμια κλίμακα είναι ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να προκαλέσει, μεταξύ άλλων (WHO, 2003):

- α) αυξημένη θνησιμότητα λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, αλλά και συγχρόνως μειωμένη θνησιμότητα στις λιγότερες θερμές χώρες για τον ίδιο λόγο,
- β) μεγαλύτερη συχνότητα επιδημιών μεταδοτικών ασθενειών λόγω πλημμυρών και ακραίων καιρικών φαινομένων,
- γ) υπολογίσιμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία λόγω της μετακίνησης πληθυσμών εξαιτίας της αύξησης της στάθμης των θαλασσών και της αυξημένης συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων.

Οι υγειονομικές αρχές στις Ηνωμένες Πολιτείες διακρίνουν επίσημα 11 κατηγορίες αυξημένων περιπτώσεων ασθενειών που μπορούν να συνδέσουν την ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής με την υγεία (CDC, 2009):



- α) άσθμα, αναπνευστικές αλλεργίες και ασθένειες από τον ατμοσφαιρικό αέρα,
- β) νεοπλάσματα,
- γ) καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και εμφράγματα,
- δ) τροφιμογενείς ασθένειες και λοιμώξεις,
- ε) νοσηρότητα και θνησιμότητα από τη ζέστη,
- στ) επιπλοκές στην ανθρώπινη ανάπτυξη,
- ζ) βλάβες της ψυχικής υγείας και διαταραχές άγχους,
- η) νευρολογικές διαταραχές,
- θ) ασθένειες που προκαλούνται από φορείς,
- ι) ασθένειες που προκαλούνται από το νερό και
- ια) νοσηρότητα και θνησιμότητα εξαιτίας των καιρικών συνθηκών (ακραία καιρικά φαινόμενα).

Οι πλέον ευάλωτες ομάδες λόγω της κλιματικής αλλαγής θα είναι:

- οι ηλικιωμένοι,
- τα παιδιά,
- τα άτομα που αντιμετωπίζουν χρόνια προβλήματα υγείας και βρίσκονται υπό συνεχή ιατρική παρακολούθηση,

- οι φτωχοί με προβληματική διατροφή ή και υποσιτισμό που κατοικούν σε περιοχές χαμηλού εισοδήματος με δύσκολη πρόσβαση στις υπηρεσίες υγείας,
- οι κάτοικοι νησιωτικών και ορεινών περιοχών όπου παρατηρείται λειψυδρία και δυσχέρεια εξεύρεσης υγιεινής τροφής και
- μετανάστες που βρίσκονται σε κοινωνικό αποκλεισμό από την αγορά εργασίας και τις κοινωνικές και υγειονομικές υπηρεσίες.

2.10.3 Κλιματική αλλαγή και υγεία στην Ευρώπη

Η εμπειρία από τον καύσωνα του 2003, που είχε δυσμενείς συνέπειες για πολλές χώρες της Δυτικής Ευρώπης, ανέδειξε και τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία. Δώδεκα χώρες της Δυτικής Ευρώπης με ανεπτυγμένα συστήματα υγείας ανέφεραν περισσότερους από 60.000 θανάτους λόγω του καύσωνα του καλοκαιριού του 2003. Τα επιδημιολογικά δεδομένα έδειξαν ότι οι ηλικιωμένοι αποτελούν τη σημαντικότερη ομάδα υψηλού κινδύνου, επειδή η γήρανση εξασθενίζει την ικανότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος.

Μια από τις μεγαλύτερες προσπάθειες που έχουν γίνει με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους τομείς –συμπεριλαμβανομένου του τομέα της υγείας– ήταν το σχέδιο PESETA (Projection of Economic Impacts of Climate Change in Sectors of the European Union based on Bottom-Up Analysis, Watkiss et al., 2009). Η μεθοδολογία του σχεδίου PESETA εφαρμόζεται σε δύο περιόδους, από το 2011 έως το 2040 και από το 2071 έως το 2100, για τα Κλιματικά Σενάρια A2 και B2 της IPCC. Το σχέδιο συνδυάζει υποδείγματα με ημερήσια κλιματικά δεδομένα και εμπειρικές σχέσεις κλιματικών συνθηκών-καταστάσεων υγείας, με στόχο την εκτίμηση των επιπλέον θανάτων που αποδίδονται στην αλλαγή της θερμοκρασίας στην Ευρώπη.

Για τις ανάγκες της ανάλυσης, η γεωγραφική περιοχή της Ευρώπης χωρίστηκε σε τετράγωνα πλέγματα 2.500 τετραγωνικών χιλιομέτρων το καθένα και τα ημερήσια δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν ώστε να προκύψει αθροιστικά η ετήσια εκατοστιαία μεταβολή της θνησιμότητας για κάθε πλέγμα. Οι αριθμοί κατ' έτος που προέκυψαν συνδυάστηκαν με τις σχετικές για κάθε πλέγμα κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους, καθώς και δεδομένα σχετικά με την ανθρωπογεωγραφία και τα ποσοστά θνησιμότητας σε κάθε περιοχή. Μέσω της σύγκρισης των ετήσιων αριθμών που προκύπτουν από την εφαρμογή των σεναρίων κλιματικής αλλαγής με τους αριθμούς που προκύπτουν από την πρόβλεψη που λαμβάνει υπόψη μόνο τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, είναι δυνατόν να απομονωθεί η επίπτωση της κλιματικής αλλαγής και να υπολογιστεί ο αριθμός των κρουσμάτων που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή και μόνο.

Τα ευρήματα του σχεδίου PESETA δείχνουν, μεταξύ άλλων, τα εξής (Watkiss et al., 2009):

- α) Έως το 2020, με βάση το Σενάριο A2, εκτιμάται ότι θα υπάρχει μικρή αύξηση των θανάτων στην Ευρώπη που θα οφείλονται στους καύσωνες. Ο αριθμός εκτιμάται στους 25.000

επιπλέον θανάτους ανά έτος. Η αύξηση αυτή θα είναι σημαντικά μεγαλύτερη έως το 2080, όπου η εκτίμηση ανέρχεται σε 105.000 επιπλέον θανάτους από καύσωνα ετησίως.

- β) Η προσαρμογή του πληθυσμού στα κλιματικά δεδομένα (είτε από πρακτικής πλευράς – π.χ. με χρήση κλιματιστικών, είτε από ψυχολογικής και από πλευράς καλύτερης ενημέρωσης) θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά τους αριθμούς αυτούς. Αν η προσαρμογή αναχθεί σε έναν βαθμό Κελσίου ανά τρεις δεκαετίες (δηλαδή, οι ενέργειες και η συμπεριφορά των πληθυσμών είναι τέτοια που να ενσωματώσει αύξηση της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό), τότε ο αριθμός των θανάτων εξαιτίας της αλλαγής του κλίματος θα μπορούσε να μειωθεί στους 4.000 ανά έτος για την περίοδο 2011-2040 και στους 20.000 ανά έτος για την περίοδο 2071-2100.
- γ) Από τη μελέτη προκύπτει επίσης ότι θα υπάρξει μικρή μείωση των θανάτων λόγω ψύχους. Αν και τα δεδομένα παρουσιάζουν αρκετή μεταβλητότητα, εκτιμάται ότι στην Ευρώπη, χάρη στην κλιματική αλλαγή, θα αποφευχθούν 50.000 έως 100.000 θάνατοι από ψύχος ετησίως για την περίοδο 2011-2040 και 86.000 έως 184.000 αντίστοιχοι θάνατοι ετησίως για την περίοδο 2071-2100. Αυτό σημαίνει, σε συνδυασμό και με το (α) πιο πάνω, ότι είναι πολύ πιθανό ο αριθμός των θανάτων λόγω ψύχους που θα αποφευχθούν να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των επιπλέον θανάτων λόγω ζέστης. Ωστόσο, το εύρημα αυτό εξαρτάται έντονα και από την προσαρμογή των πληθυσμών, καθώς και από τις παραμέτρους των υποδειγμάτων, στις οποίες υπεισέρχεται και αβεβαιότητα. Εξάλλου, η αύξηση της θερμοκρασίας ενδέχεται να καταστήσει τους πληθυσμούς πιο ευαίσθητους στο ψύχος. Αν αυτός ο παράγοντας περιληφθεί στα υποδείγματα, τότε παρατηρείται μεγάλη μείωση του αριθμού των θανάτων από ψύχος που αποφεύγονται λόγω της κλιματικής αλλαγής.
- δ) Τα παραπάνω συμπεράσματα αφορούν γενικά όλα τα κράτη-μέλη της ΕΕ, αν και, όπως είναι αναμενόμενο, οι σχετικά περισσότεροι θάνατοι από τη ζέστη προβλέπεται να καταγραφούν στις μεσογειακές χώρες και οι λιγότεροι στις βόρειες χώρες (π.χ. στη Σκανδιναβία). Οι χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αύξηση σε θανάτους λόγω της αλλαγής του κλίματος. Για την περίοδο 2071-2100, οι χώρες που εκτιμάται ότι θα επηρεαστούν περισσότερο είναι η Ιταλία, η Βουλγαρία, η Εσθονία, η Ελλάδα και η Ισπανία, ενώ λιγότερο η Νορβηγία, η Ιρλανδία, το Ην. Βασίλειο και η Σουηδία.
- ε) Σε ό,τι αφορά στην αποφυγή θανάτων λόγω ψύχους, τα περισσότερα οφέλη αναμένεται να καταγραφούν στις σκανδιναβικές χώρες και στις χώρες της Βαλτικής, ενώ τα μικρότερα οφέλη στην Ιρλανδία, στο Λουξεμβούργο, στο Ην. Βασίλειο και κάποιες μεσογειακές χώρες.
- στ) Από τη μελέτη προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των Σεναρίων Κλιματικής Αλλαγής Α2 και Β2. Υπό το Σενάριο Β2 σημειώνεται μείωση κατά 50% περί-

που των θανάτων από ζέστη ετησίως, κάτι που σημαίνει ότι υπάρχει όφελος κατά 49.000-56.000 θανάτους που αποφεύγονται ανά έτος για την περίοδο 2071-2100. Ωστόσο, με το Σενάριο B2 υπάρχει και μείωση των θανάτων από ψύχος που αποφεύγονται λόγω της κλιματικής αλλαγής, κατά περίπου 33-45% (μείωση αποφευχθέντων θανάτων από ψύχος κατά 28.000-83.000 θανάτους ετησίως, σε σχέση με το Σενάριο A2).

- ζ) Σχετικά με τα κρούσματα σαλμονέλας, το σχέδιο PESETA εκτιμά ότι ο μέσος ετήσιος αριθμός κρουσμάτων που θα οφείλονται στην κλιματική αλλαγή ανέρχεται για την περίπτωση του Σεναρίου A2 σε περίπου 20.000 για την περίοδο 2011-2040 και σε 40.000 για την περίοδο 2071-2100. Με χρήση του Σεναρίου B2 για την περίοδο 2071-2100, η εκτίμηση είναι: περίπου 25.000 κρούσματα ανά έτος. Την ίδια τάση φαίνεται να ακολουθούν και άλλες ασθένειες που προέρχονται από τα τρόφιμα, αν και πρέπει να σημειωθεί ότι τα πραγματικά περιστατικά ενδέχεται να είναι σαφώς λιγότερα, αφού οι πληθυσμοί ενδέχεται να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα υιοθετώντας καλύτερες πρακτικές στην παρασκευή και αποθήκευση της τροφής.
- η) Η ανάλυση που έγινε στο πλαίσιο του σχεδίου PESETA προέβη και σε εκτίμηση των περιπτώσεων ψυχολογικού στρες λόγω των πλημμυρών. Υπό το Σενάριο A2, για την περίοδο 2071-2100 τα επιπλέον κρούσματα θα μπορούσαν να ανέλθουν σε περίπου 5 εκατομμύρια ετησίως (περίπου 4 εκατομμύρια με βάση το Σενάριο B2), αν και θα μπορούσε να επιτευχθεί σημαντική μείωση του αριθμού αυτού με κατάλληλη προσαρμογή του πληθυσμού.
- θ) Σχετικά με τις ασθένειες που προκαλούνται από φορείς, η έκθεση PESETA επισημαίνει ότι, σε γενικές γραμμές, η εμφάνιση των ασθενειών αυτών στην Ευρώπη καθορίζεται κυρίως από άλλους παράγοντες εκτός από το κλίμα. Οι ασθένειες από τα κουνούπια δεν αποτελούν επιδημία στην Ευρώπη, ωστόσο υπάρχουν χιλιάδες περιπτώσεων μαλάριας από άτομα που ταξιδεύουν στην Ευρώπη και έχουν μολυνθεί σε κάποια μη ευρωπαϊκή χώρα. Παρομοίως, υπάρχει και ένας μικρός αριθμός περιπτώσεων ταξιδιωτών με κρούσματα δάγκειου ή κίτρινου πυρετού. Η συχνότητα των ασθενειών αυτών αυξάνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας, ενώ επηρεάζεται και από τις βροχοπτώσεις. Σε κάθε περίπτωση, η έκθεση επισημαίνει ότι η πιθανότητα υπολογίσιμης απειλής από τις ασθένειες αυτές εξαιτίας της αλλαγής του κλίματος είναι πολύ μικρή, καθώς μάλιστα οι πληθυσμοί αναμένεται να λάβουν τα κατάλληλα υγειονομικά μέτρα για την καταπολέμηση των εν λόγω ασθενειών.
- ι) Ασθένειες που μεταφέρονται από τρωκτικά και από τσιμπούρια είναι ασυνήθιστες στην Ευρώπη. Αν και δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία που να προσδιορίζουν πόσο επηρεάζει η αλλαγή του κλίματος τη συχνότητα των ασθενειών αυτών, δεν θεωρείται ότι υπάρχει λόγος ανησυχίας. Το ίδιο ισχύει και για την λεϊσμανίαση, της οποίας καταγράφονται λίγες εκατοντάδες κρούσματα ετησίως, ως επί το πλείστον σε ανοσοκατε-

σταλμένα άτομα (δηλ. σε άτομα με ασθενές ανοσοποιητικό σύστημα, όπως, για παράδειγμα, φορείς του HIV). Η πανώλης είναι ανύπαρκτη στην Ευρώπη και συναντάται σπάνια σε άτομα που ταξιδεύουν στην Ευρώπη από άλλες χώρες. Ενδεχόμενη απειλή μπορούν να αποτελέσουν η νόσος του Lyme και η εγκεφαλίτιδα που μεταφέρεται από τσιμπούρια, ασθένειες οι οποίες θεωρούνται ήδη ενδημικές στην Ευρώπη. Με την κλιματική αλλαγή, είναι πιθανό κρούσματα εγκεφαλίτιδας να αρχίσουν να εμφανίζονται και σε περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα και γεωγραφικά πλάτη. Η μεγαλύτερη συχνότητα των πλημμυρών λόγω της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να αυξήσει και τους κινδύνους από τις ασθένειες αυτές.

2.10.4 Οικονομικές επιπτώσεις

Σε ό,τι αφορά τον οικονομικό αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής ως προς την επίδρασή της στην υγεία, η έκθεση PESETA αναφέρει, μεταξύ άλλων, τα εξής:

- α) Για την περίοδο 2011-2040, χωρίς προσαρμογή, το κόστος της κλιματικής αλλαγής θα είναι €30 δισεκ. το χρόνο (με βάση την αξία της στατιστικής ζωής, η οποία αποτιμάται στα €1,11 εκατ.) ή €13 δισεκ. ετησίως (με βάση την αξία ενός χρόνου ζωής, η οποία αποτιμάται σε €59.000). Με βάση την υπόθεση ότι θα υπάρξουν ενέργειες προσαρμογής, το κόστος αυτό μειώνεται δραστικά σε €4,5 δισεκ. και €1,9 δισεκ. αντίστοιχα. Το όφελος από τη μείωση των θανάτων λόγω ψύχους ανέρχεται, αντίστοιχα, σε €55,8 δισεκ. και €23,7 δισεκ. (χωρίς προσαρμογή) και σε €21,5 δισεκ. και €9,2 δισεκ. (με προσαρμογή). Σημειώνεται ότι σε κάθε περίπτωση το ισοζύγιο είναι θετικό, δηλαδή, με μόνο κριτήριο το οικονομικό κόστος, η κλιματική αλλαγή εκτιμάται ότι θα αποφέρει οφέλη.
- β) Για την περίοδο 2071-2100, υπό το Σενάριο A2 χωρίς προσαρμογή, το κόστος της κλιματικής αλλαγής θα είναι €118 δισεκ. το χρόνο με βάση την αξία της στατιστικής ζωής ή 50 δισεκ. ετησίως με βάση την αξία ενός χρόνου ζωής. Εάν υιοθετηθεί το Σενάριο B2, το κόστος αυτό εκτιμάται σε €56 δισεκ. και €30 δισεκ. αντίστοιχα. Για την περίοδο αυτή, το οικονομικό όφελος από τη μείωση των θανάτων λόγω ψύχους εκτιμάται στα €95,8 δισεκ. (A2, χωρίς προσαρμογή) με βάση την αξία της στατιστικής ζωής και στα €40,7 δισεκ. (A2, χωρίς προσαρμογή). Για το Σενάριο B2, χωρίς ενέργειες προσαρμογής, τα ποσά αυτά εκτιμώνται σε €64,2 δισεκ. και €27,3 δισεκ. αντίστοιχα. Παρατηρείται εδώ ότι τα οικονομικά οφέλη από τη μείωση των θανάτων λόγω ψύχους δεν είναι πάντοτε μεγαλύτερα από το οικονομικό κόστος εξαιτίας των επιπλέον θανάτων λόγω ζέστης.

Μια αντίστοιχη αποτίμηση για τα κρούσματα κατάθλιψης λόγω πλημμυρών οδηγεί στην εκτίμηση οικονομικού κόστους €1-1,4 δισεκ. ετησίως (Σενάριο A2) και €0,8-1,1 δισεκ. ετησίως (Σενάριο B2). Η έκθεση PESETA δεν αποτιμά το οικονομικό κόστος της αύξησης των ασθενειών από φορείς λόγω της κλιματικής αλλαγής, προβαίνει όμως σε μια ποιοτική εκτίμηση, αναφέροντας ότι αυτό το κόστος προβλέπεται να είναι χαμηλό σε σχέση με τα προαναφερθέντα.

Με βάση όλα τα παραπάνω, η έκθεση PESETA καταλήγει θέτοντας μια σειρά από ζητήματα, η διερεύνηση των οποίων αποτελεί προτεραιότητα. Επισημαίνεται ότι χρειάζονται περισσότερες επιδημιολογικές μελέτες, οι οποίες να παρέχουν τη βάση για εγκυρότερη συσχέτιση θερμοκρασίας/θνησιμότητας, ώστε τα υποδείγματα να παρέχουν πιο αξιόπιστα και λιγότερο αβέβαια αποτελέσματα. Σ' αυτές τις συναρτήσεις θα πρέπει να υπεισέλθουν ως μεταβλητές και παράγοντες που σχετίζονται με ενέργειες του πληθυσμού για προσαρμογή. Στα θέματα προτεραιότητας για έρευνα, η έκθεση τονίζει, μεταξύ άλλων, ότι χρειάζεται τα υποδείγματα να γίνουν πιο λεπτομερή, ώστε να αντικατοπτρίζουν με περισσότερη ακρίβεια τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής – π.χ., λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, απρόβλεπτα γεγονότα, ή ασθένειες τις οποίες τα υπάρχοντα υποδείγματα αγνοούν.

2.10.5 Φυσικές καταστροφές και θνησιμότητα στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 2.50 φαίνονται κατά κατηγορία, για το σύνολο της ελληνικής επικράτειας για την περίοδο 1900-2010, ο αριθμός των καταγεγραμμένων φυσικών καταστροφών, ο αριθμός των συνδεδεμένων με τα συγκεκριμένα συμβάντα θανάτων, καθώς και οι οικονομικές επιπτώσεις τους.

Μεταξύ των ακραίων φυσικών φαινομένων που αναφέρονται στον Πίνακα 2.50 και έχουν επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού, εκτιμάται ότι στο μέλλον η συχνότητα εμφάνισης των ακραία χαμηλών και υψηλών θερμοκρασιών, των πλημμυρών, των έντονων καταιγίδων και των πυρκαγιών θα μεταβληθεί εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων κλιματικών υποδειγμάτων στο μέλλον, αναμένεται ραγδαία αύξηση της συχνότητας των κυμάτων καύσωνα και των δασικών πυρκαγιών. Στον αντίποδα, τα κύματα ψύχους θα μειωθούν μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα. Όσον αφορά τη συχνότητα των έντονων βροχοπτώσεων και των πλημμυρικών φαινομένων, αναμένεται ότι στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, συμπεριλαμβανομένης της Αθήνας, στην οποία κατοικεί ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του συνολικού πληθυσμού, η εν λόγω συχνότητα θα αυξηθεί. Από τα παραπάνω συνάγεται ότι ο αριθμός των θανάτων που οφείλονται σε ακραία φαινόμενα που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος κατά τον 21ο αιώνα θα σημειώσει σταδιακά αύξηση όχι μόνο στην Αθήνα αλλά και σε άλλες μεγάλες πόλεις. Στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί, για την περιοχή της Πρωτεύουσας, η μεταβολή των θανάτων που θα προκύψει ως αποτέλεσμα της μεταβολής των ακραίων θερμοκρασιών, οι οποίες, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2.50, ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των θανάτων από ακραία καιρικά φαινόμενα.

2.10.6 Κλιματική αλλαγή και θνησιμότητα στη περιοχή της Πρωτεύουσας

Σύμφωνα με τις επιδημιολογικές και κλιματολογικές αναλύσεις της βιβλιογραφίας, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μια σχέση τύπου “U” ανάμεσα στην ημερήσια θερμοκρασία και την ημε-

Πίνακας 2.50

Επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών στη θνησιμότητα του πληθυσμού και την οικονομία της Ελλάδος κατά τη χρονική περίοδο 1900-2010

Φυσικές καταστροφές	Φαινόμενο	Αριθμός	Θάνατοι	Πληθυσμός που επηρεάστηκε	Κόστος σε χιλιάδες δολ. ΗΠΑ
Ξηρασίες	Ξηρασίες	1	-	-	1.000.000
	μέσος όρος ανά γεγονός		-	-	1.000.000
Σεισμοί (σεισμική δραστηριότητα)	Σεισμοί	29	951	960.398	7.099.300
	μέσος όρος ανά γεγονός		33	33.117	244.803
Ακραίες θερμοκρασίες	Ψυχρά κύματα	1	5	-	-
	μέσος όρος ανά γεγονός		5	-	-
	Καύσωνες	5	1.119	176	3.000
	μέσος όρος ανά γεγονός		224	35	600
Πλημμύρες	Μη προσδιορισμένες	8	66	9.730	188.000
	μέσος όρος ανά γεγονός		8	1.216	23.500
	Γενικές πλημμύρες	12	18	6.100	1.043.359
	μέσος όρος ανά γεγονός		2	508	86.947
Καταιγίδες	Μη προσδιορισμένες	6	56	612	690.000
	μέσος όρος ανά γεγονός		9	102	115.000
	Τοπικές καταιγίδες	1	22	-	-
	μέσος όρος ανά γεγονός		22	-	-
Ηφαιστεια	Ηφαιστειακές εκρήξεις	1	48	-	-
	μέσος όρος ανά γεγονός		48	-	-
Πυρκαγιές	Δασικές πυρκαγιές	11	94	8.559	1.750.000
	μέσος όρος ανά γεγονός		9	778	159.091
	Χορτολιβαδικές πυρκαγιές	2	14	500	675.000
	μέσος όρος ανά γεγονός		7	250	337.500

Πηγή: EM-DAT, The OFDA/CRED International Disaster Database, www.emdat.be, Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium.

ρήσια θνησιμότητα. Στο Διάγραμμα 2.27 παρουσιάζεται η σχέση αυτή με διάκριση ανάμεσα στους θανάτους που προέρχονται από το κρύο και τους θανάτους που προέρχονται από τη ζέστη.

Σε μια προσπάθεια διερεύνησης της σχέσης αυτής για την Ελλάδα, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2.28 (σελ. 306) τα αποτελέσματα της έρευνας των Nastos et al. (2011). Από τη συσχέτιση της ημερήσιας θνησιμότητας με τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία στο λεκανοπέδιο της Αττικής ($T_{\text{Max}}^{\circ}\text{C}$), διαπιστώνεται μια σχέση τύπου “U” (βλ. Διάγραμμα 2.28).

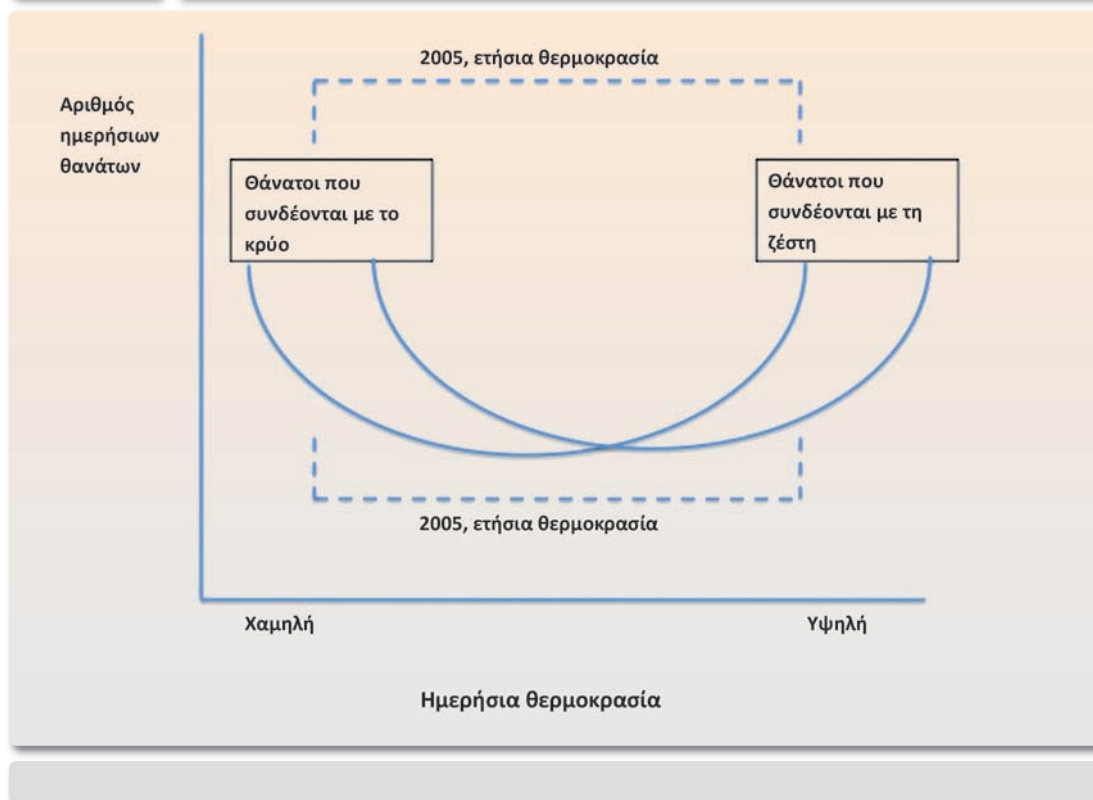
Σύμφωνα με τα στοιχεία της έρευνας των Nastos et al. (2011), ο αριθμός των θανάτων (N_{θ}) για τιμές της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, T_{max} , οι οποίες υπερβαίνουν τους 33°C (90ό εκατοστημόριο της κατανομής) περιγράφεται από την εξίσωση:

$$N_{\theta}=5,451509164 \cdot T_{\text{max}}-106,0651761 \quad (R^2=0,24399)$$

Με δοκιμαστική χρήση αυτής της εξίσωσης και με δεδομένο ότι μέχρι το 2100 η μέση μέγιστη θερμοκρασία τη θερινή περίοδο θα αυξηθεί στην Αττική κατά περίπου $4,4^{\circ}\text{C}$ (με βάση το

Διάγραμμα 2.27

Σχέση μεταξύ ημερήσιων θανάτων και θερμοκρασίας



Σενάριο Εκπομπών A1B), μπορεί να γίνει μια προκαταρκτική εκτίμηση ότι τότε ο αριθμός των οφειλόμενων στην ανθρωπογενή υπερθέρμανση θανάτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας μπορεί να αυξηθεί κατά περίπου 25%. Αντίθετα, κατά τη χειμερινή περίοδο η αύξηση της θερμοκρασίας στο μέλλον θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των θανάτων που συνδέονται με τις χαμηλές θερμοκρασίες κατά την ψυχρή περίοδο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση των αναμενόμενων από χαμηλές θερμοκρασίες θανάτων ανέρχεται το πολύ στο 3%. Η τελευταία αυτή εκτίμηση (Nastos et al., 2011) προέκυψε από την εφαρμογή της εξίσωσης (αριθμός των θανάτων, N_0 , για τιμές της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, T_{max} , οι οποίες είναι μικρότερες από $12,6^{\circ}\text{C}$, 10ο εκατοστημόριο της κατανομής):

$$N_0 = -0,8220675372 \cdot T_{max} + 100,2719899 \quad (R^2=0,0114113)$$

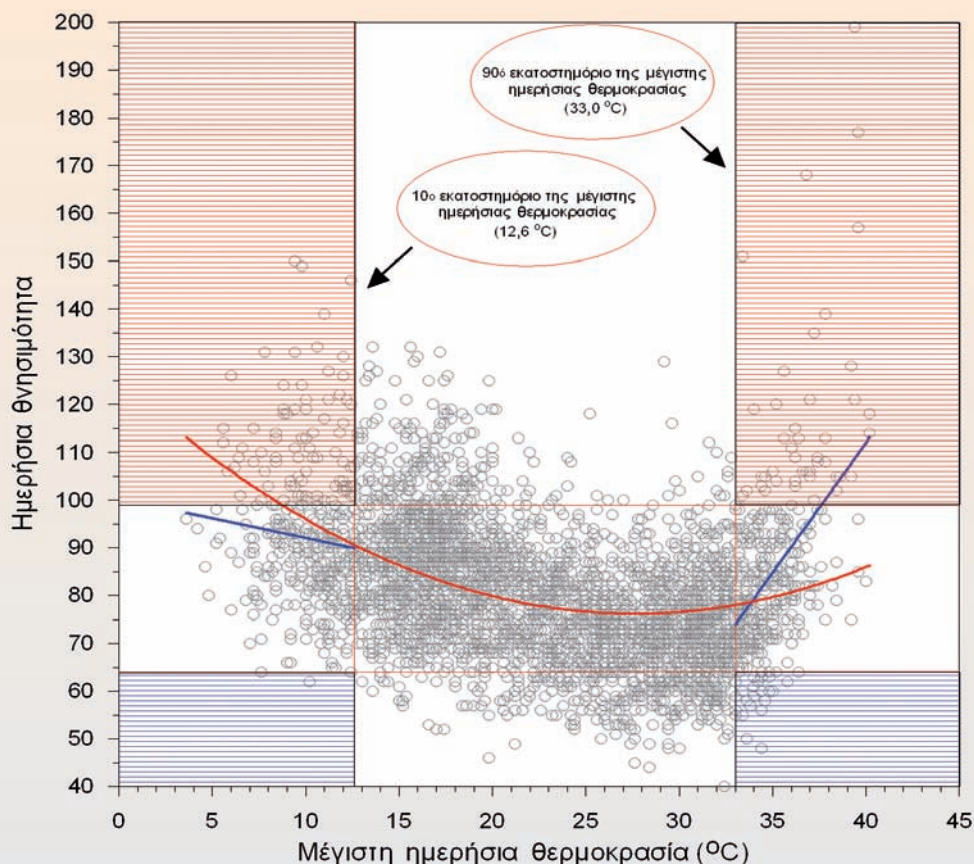
σαν συνέπεια της αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο κατά $3,5^{\circ}\text{C}$.

Με βάση τις παραπάνω εκτιμήσεις, υπολογίζονται οι επιπλέον θάνατοι ανά έτος:

- Για το θέρος οι επιπλέον θάνατοι ανά έτος θα είναι 21 ανά ημέρα ($25\% \times 85 \text{ θάνατοι} \approx 21$).
- Για το χειμώνα οι θάνατοι θα είναι λιγότεροι κατά 3 ανά ημέρα ($3\% \times 95 \text{ θάνατοι} \approx 3$).
- Κατά τις ενδιάμεσες εποχές (άνοιξη και φθινόπωρο), εκτιμάται ότι δεν θα υπάρχουν ουσιαστικές μεταβολές του αριθμού των θανάτων.
- Επομένως οι επιπλέον θάνατοι ανά έτος είναι $90 \times (21 - 3) = 1.620$.

Διάγραμμα 2.28

Ημερήσιος αριθμός θανάτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{max})



Βάσει των παραπάνω υπολογισμών η οικονομική επίπτωση για την Αττική θα είναι της τάξεως των €95 εκατομμυρίων.

Οι μεταβολές του αριθμού των θανάτων και οι οικονομικές επιπτώσεις εκτιμήθηκαν με επανάληψη των παραπάνω υπολογισμών και για την περίπτωση των Σεναρίων A2 και B2. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.51.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι εκτιμήσεις αυτές δεν συμπεριλαμβάνουν τη βελτίωση χάρη στην ενημέρωση και, κυρίως, τη λήψη μέτρων από τις πλέον ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού, ώστε να αποφευχθούν κατά το δυνατόν θάνατοι ατόμων που ανήκουν στις ευάλωτες ομάδες εξαιτίας ακραίων τιμών της θερμοκρασίας. Ένα κλασικό παράδειγμα αποτελεί η αποφυγή της τραγικής αύξησης των θανάτων που συνέβησαν στην Κεντρική Ευρώπη τα έτη που ακολούθησαν τον καύσωνα του 2003, στα οποία ο επιπλέον αριθμός θανάτων που θα μπορούσε να αποδοθεί στις ακραίες υψηλές τιμές της θερμοκρασίας ήταν κατά πολύ μικρότερος του αριθμού των θανάτων που συνέβησαν το 2003. Αυτό μπορεί να αποδοθεί μόνο στα μέτρα που έλα-

Πίνακας 2.51

Οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία για τα Σενάρια A2, A1B και B2

Σενάρια εκπομπών	Εποχές	Μεταβολή θερμοκρασίας (°C)	Μεταβολή αριθμού θανάτων ανά έτος	Κόστος σε ευρώ ανά έτος (εκατ.)
Σενάριο A2	Χειμώνας	4,2	-340	
	Θέρος	5,6	2.600	
	Σύνολο		2.260	135
Σενάριο A1B	Χειμώνας	3,5	-270	
	Θέρος	4,4	1.890	
	Σύνολο		1.620	95
Σενάριο B2	Χειμώνας	3,1	-215	
	Θέρος	3,8	1.760	
	Σύνολο		1.455	85

βαν οι ευαίσθητες ομάδες μετά από κατάλληλη ενημέρωση. Είναι προφανές ότι, σε περίπτωση που υπάρχει καλή ενημέρωση και ληφθούν τα δέοντα μέτρα, η προβλεπόμενη αύξηση θα είναι σημαντικά μικρότερη, ίσως μικρότερη και από το 10%.

2.10.7 Μεταβολές του επιπέδου των αέριων ρύπων και επιπτώσεις στη θνησιμότητα στην περιοχή της πρωτεύουσας

Η πρόγνωση των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων για τις επόμενες δεκαετίες είναι σημαντική για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών και των επιπτώσεων τις οποίες συνεπάγονται για την ανθρώπινη υγεία, την αγροτική παραγωγή και τα φυσικά οικοσυστήματα. Οι αλλαγές αυτές, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της θερμοκρασίας και της μεταβολής των μετεωρολογικών παραμέτρων και των διαφόρων εκπομπών, επιδρούν στα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Το τροποσφαιρικό όζον, O₃, ανήκει στην κατηγορία των ατμοσφαιρικών ρύπων που έχουν δυσμενείς επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία. Οι ανεξέλεγκτες εκπομπές ρύπων των πρόδρομων ενώσεων που παράγουν όζον, όπως π.χ. τα οξείδια του αζώτου, NO_x, και οι αέριοι πτητικοί υδρογονάνθρακες, VOC, σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες μεταβολές, αναμένεται να έχουν πολυδιάστατη επίδραση στα μελλοντικά επίπεδα του όζοντος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν διαπιστωθεί υψηλά επίπεδα επιφανειακού όζοντος στον ελληνικό χώρο, καθώς και στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, περιλαμβανομένων και μη αστικών περιοχών, ιδίως κατά τους θερινούς μήνες (Zerefos et al., 2002, Kourtidis et al., 2002, Kouvarakis et al., 2002, Lelieveld et al., 2002, Gerasopoulos et al., 2006, Kalabokas et al., 2007, Kalabokas et al., 2008).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του υπολογιστικού υποδείγματος CTM του Πανεπιστημίου του Όσλο της Νορβηγίας (CTM Oslo model) και βάσει των προσομοιώσεων που διεξήχθησαν υπό το Σενάριο A1 που αναλύεται στο Κεφάλαιο 1, το όζον αναμένεται να μειωθεί κατά 20% πάνω από τον ελλαδικό χώρο και κατά 16,5% πάνω από την Αθήνα το έτος 2100. Πρέπει να αναφερθεί πως το υπόδειγμα του Oslo δεν λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της θερμοκρασίας για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων.

Η συσχέτιση της μεταβολής της θνησιμότητας με τα επίπεδα του όζοντος μελετήθηκε από τους Gryparis et al. (2004) για την περιοχή της Αθήνας. Βρέθηκε πως η αύξηση της συγκεντρώσεως του όζοντος κατά 10 μικρογραμμ./κυβ. μ. οδηγεί στην αύξηση της θνησιμότητας κατά 0,5%.

Με βάση τις παραδοχές ότι: α) ο πληθυσμός της Αθήνας θα παραμείνει περίπου αμετάβλητος, β) ο συνολικός αριθμός των θανάτων που λαμβάνουν χώρα ανά έτος στην Αθήνα (30.000) θα παραμείνει περίπου αμετάβλητος και γ) ότι το ποσοστό (0,5%) που αναφέρεται στη συγκεκριμένη μελέτη είναι γραμμικό, εκτιμάται ότι: *η μεταβολή του όζοντος στην περιοχή της Αθήνας κατά 16 μικρογραμμ./κυβ. μ., που αντιστοιχεί σε μείωση των συγκεντρώσεών του από 97,5 μικρογραμμ./κυβ. μ. το 2000 σε 81,5 μικρογραμμ./κυβ. μ. το 2100, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των θανάτων κατά 0,8% ή, αλλιώς, μείωση κατά 245 θανάτους κατ' έτος.*

Η κατά περίπου 70% μείωση του NO₂ το 2100 που προβλέπει το CTM Oslo model θα έχει θετική επίπτωση (περαιτέρω μείωση της θνησιμότητας από τη ρύπανση), παρότι δεν μπορεί να δοθεί συγκεκριμένος αριθμός λόγω στατιστικών αβεβαιοτήτων (Analitis et al., 2006, Samoli et al., 2006). Ωστόσο, από τη σύνοψη των αποτελεσμάτων των παραγράφων 2.10.6 και 2.10.7 προκύπτει ότι, ειδικά για την Αττική, κατά τη δεκαετία 2091-2100 προβλέπονται ετησίως 1.620 θάνατοι επιπλέον λόγω της ανόδου των ακραίων θερμοκρασιών το θέρος και της αντίστοιχης πτώσης τους το χειμώνα (ενδιάμεσο Σενάριο A1B). Η οικονομική επίπτωση λόγω ακραίων θερμοκρασιών εκτιμάται στα €95 εκατ. ετησίως για την Αττική (ενδιάμεσο Σενάριο A1B). Επίσης, για την Αττική και για τα Σενάρια Εκπομπών A2 και B2 προβλέπεται αύξηση θανάτων κατά 2.260 και 1.455 ανά έτος, αντίστοιχα. Το ετήσιο οικονομικό κόστος προβλέπεται ότι θα ανέλθει σε €135 εκατ. (Σενάριο A2) και σε €85 εκατ. (Σενάριο B2). Οι προβλεπόμενες μεταβολές κρίσιμων για την υγεία αέριων ρύπων, όπως του όζοντος, στο τέλος του 21ου αιώνα αναμένεται να οδηγήσουν σε μειώσεις του αριθμού των θανάτων, της τάξεως του 10% εκείνων που προβλέπονται εξαιτίας των ακραίων θερμοκρασιών.

2.10.8 Πολιτικές προσαρμογής στον τομέα της υγείας

Η αντιμετώπιση ενός διεθνούς προβλήματος, όπως είναι η κλιματική αλλαγή, απαιτεί διεθνή παρέμβαση. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (Neira et al., 2008, WHO, 2008), ένας σημαντικός αριθμός θανάτων αποδίδεται ετησίως στην κλιματική αλλαγή δηλαδή:

- i. 800.000 θάνατοι λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του αστικού περιβάλλοντος,

- ii. 1,7 εκατομμύρια θάνατοι λόγω έλλειψης πρόσβασης σε καθαρό νερό και υγειονομικό περιβάλλον,
- iii. 3,5 εκατομμύρια θάνατοι από κακή διατροφή και
- iv. 60.000 θάνατοι λόγω ακραίων καιρικών συνθηκών και καταστροφών.

Διεθνείς Στρατηγικές Δράσεις και Πολιτικές για την Κλιματική Αλλαγή και την Υγεία έχουν αναληφθεί από την Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (ΠΟΥ) και άλλους διεθνείς οργανισμούς. Το 2008 στη Παγκόσμια Συνδιάσκεψη για την Υγεία, οι 193 χώρες-μέλη ομόφωνα υποστήριξαν τη λήψη μέτρων πρόληψης για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία. Πιο κάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι δράσεις πολιτικής που έχουν αναληφθεί σε διεθνές και εθνικό επίπεδο.

Σε διεθνές επίπεδο έχουν αναπτυχθεί μια σειρά μέτρων, τα οποία αποσκοπούν:

- 1) Στην επιστημονική τεκμηρίωση των υγειονομικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία. Έχουν αναπτυχθεί ερευνητικά δίκτυα που συγχρηματοδοτούνται από τους διεθνείς οργανισμούς και τις εθνικές κυβερνήσεις για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με την υγεία. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών έχουν συμβάλει ουσιαδώς στη χάραξη σχεδίων δράσεων σε διεθνές επίπεδο για καλύτερη αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.
- 2) Στην ενημέρωση του κοινού με προγράμματα πρόληψης και ειδικά σχεδιασμένων δράσεων για την έγκαιρη και αποτελεσματική αντιμετώπιση των υγειονομικών προβλημάτων που δημιουργούνται από την κλιματική αλλαγή. Οι προληπτικές δράσεις στον τομέα της υγείας αποφέρουν πολλαπλά οφέλη για την κοινωνία και έχουν αξιολογηθεί ως εξαιρετικά “cost- effective”.
- 3) Στην ανάληψη μεγάλων επενδυτικών έργων υποδομής (φράγματα κ.λπ.) με συγχρηματοδότηση από τους διεθνείς οργανισμούς, που θα συμβάλουν στη βελτίωση της υγείας και στην αποφυγή μελλοντικών καταστροφών λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Σε εθνικό επίπεδο οι κυβερνήσεις των ευρωπαϊκών χωρών έχουν αναπτύξει πολλές δράσεις για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής:

- 1) Σε επίπεδο Υπουργείων Υγείας έχουν αναληφθεί δράσεις για τη διασφάλιση της ίσης πρόσβασης και της κοινωνικής δικαιοσύνης για όλους τους ασθενείς που πλήττονται από τη κλιματική αλλαγή. Για τον λόγο αυτό απατούνται επενδύσεις σε ανάλογες υποδομές, όπως π.χ. θάλαμοι νοσηλείας με ρυθμιζόμενη θερμοκρασία, χειρουργεία, υγειονομικός εξοπλισμός, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα μερικής και επιλεκτικής ικανοποίησης των υγειονομικών αναγκών.
- 2) Επίσης σε επίπεδο Υπουργείου Υγείας θα πρέπει να υπάρχουν ειδικά σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση των υγειονομικών προβλημάτων λόγω κλιματικής αλλαγής και αιφνίδιων καταστροφών. Η διαχείριση αυξημένου αριθμού ασθενών απαιτεί ειδικές

παρεμβάσεις και πρωτοβουλίες, που θα πρέπει να αναληφθούν από εξειδικευμένα στελέχη με εκπαίδευση στη “διαχείριση καταστροφών”.

- 3) Οι υπηρεσίες πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας και εξωνοσοκομειακής περίθαλψης θα πρέπει να έχουν σχεδιαστεί με την ανάλογη υποδομή και να είναι στελεχωμένες με το απαραίτητο υγειονομικό προσωπικό για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργούνται από τις κλιματικές αλλαγές.
- 4) Τα νοσοκομεία θα πρέπει να έχουν επίσης την απαραίτητη υποδομή και τον ανάλογο τεχνικό εξοπλισμό για έγκαιρη διάγνωση και αποτελεσματική νοσηλεία των ασθενών που πλήττονται από την κλιματική αλλαγή.
- 5) Το υγειονομικό δυναμικό της χώρας θα πρέπει να έχει εκπαιδευθεί σε θέματα επιδημιολογίας του περιβάλλοντος και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία. Επίσης θα πρέπει να έχει την ανάλογη ετοιμότητα και εκπαίδευση για την κοινωνική οργάνωση και τη διαχείριση των οξέων περιστατικών λόγω των αιφνίδιων καταστροφών.

Τέλος, όπως επισήμανε και η Dr. M. Chan, Γενική Διευθύντρια της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, στη συνεδρία για την Κλιματική Αλλαγή (Chan, 2008): “Οι *Πραγματικοί Φονιάδες* (True Killers) της σημερινής κοινωνίας δεν είναι οι ασθένειες που δημιουργούνται λόγω κλιματικής αλλαγής αλλά η πολιτική απάθεια και αδιαφορία για την επιβαλλόμενη λύση των κοινωνικών μας προβλημάτων”.

2.11 Επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία*

2.11.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια επιστημονικές έρευνες αναδεικνύουν τις αλλαγές που συντελούνται στο κλίμα παγκοσμίως ως αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών αλλά και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Αυτές οι αλλαγές αναμένεται να έχουν, σε κάποιες περιπτώσεις, δραματικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις (IPCC, 2007). Ειδικά οι οικονομικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τους φυσικούς πόρους, λόγω της άμεσης εξάρτησής τους από το φυσικό περιβάλλον, θα έλθουν αντιμέτωπες με ένα φάσμα προκλήσεων και προβλημάτων (βλ. π.χ. Ford et al., 2010, 2011, Sauchyn and Kulshreshtha, 2008).

Μεταξύ των δραστηριοτήτων αυτών συμπεριλαμβάνεται η εξορυκτική βιομηχανία, καθώς μια αύξηση της έντασης και της συχνότητας ακραίων φαινομένων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, όπως π.χ. πλημμύρες, δασικές πυρκαγιές, ασυνήθιστα υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, κ.ά., θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα του εξορυκτικού κλάδου. Μάλι-

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 2.11 συνεργάστηκαν οι: Ιωάννης Οικονομόπουλος, Δημήτριος Δαμίγος, Μιχαήλ Σταματάκης και Εμμανουήλ Μπαλτατζής.

στα, πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι ήδη οι εξορυκτικές δραστηριότητες υφίστανται τις επιπτώσεις των αλλαγών του κλίματος, με σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο (Ford et al., 2010, 2011). Η μέχρι σήμερα ανταπόκριση της εξορυκτικής βιομηχανίας, σε διεθνές επίπεδο, δεν φαίνεται να είναι αντίστοιχη των δυνητικών επιπτώσεων, αν και αναγνωρίζεται η σημασία του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής για τον κλάδο.

Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να εκτιμηθούν και να αποτιμηθούν, με τις παραδοχές και τους περιορισμούς που περιγράφονται, οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην ελληνική εξορυκτική βιομηχανία.

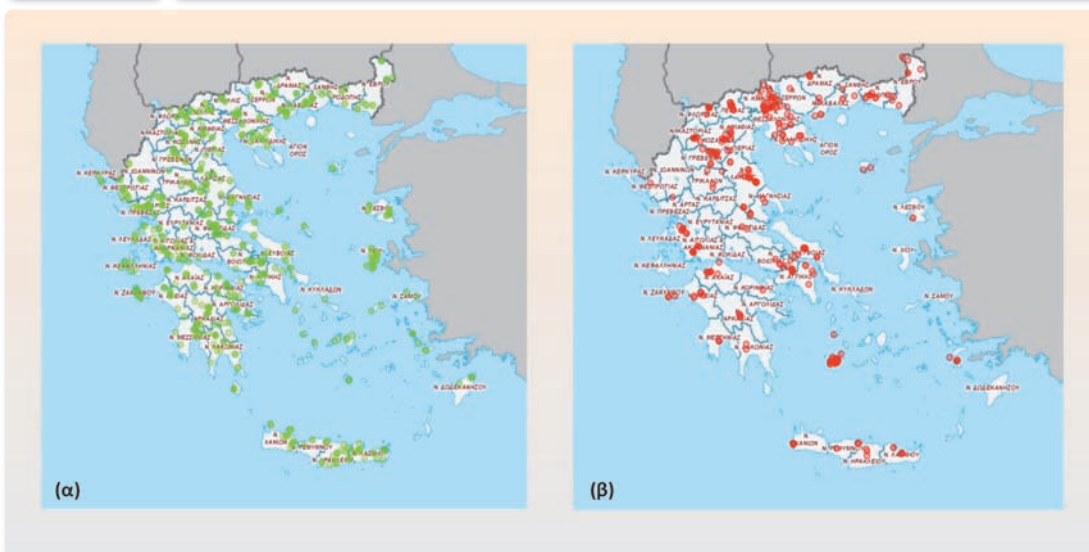
2.11.2 Ελληνική εξορυκτική βιομηχανία

Ο εξορυκτικός κλάδος θεωρείται εθνικής σημασίας, δεδομένου ότι συμβάλλει στην εξισορρόπηση του εμπορικού ισοζυγίου λόγω του έντονου εξαγωγικού χαρακτήρα του, στην ενεργειακή ασφάλεια και αυτοδυναμία της χώρας και στην απασχόληση. Πέραν αυτού, ο κλάδος αποτελεί και αναπτυξιακό μοχλό πολλών άλλων δραστηριοτήτων, αφού είναι αλληλένδετος με διάφορους κλάδους της οικονομίας.

Η συμβολή του κλάδου στο ΑΕΠ της χώρας έχει μειωθεί σημαντικά σε σχέση με το παρελθόν και ανέρχεται σε ποσοστό μεταξύ 3-5%, λαμβανομένου υπόψη και του μεταποιητικού τομέα των ορυκτών υλών (Τζεφέρης, 2009). Εντούτοις, η χώρα διαθέτει σημαντικό ορυκτό πλούτο και εμφανίζει, παρά τη μείωση των μεγεθών, αξιοσημείωτες επιδόσεις. Επιπλέον, υπάρχουν σοβαρές προοπτικές βελτίωσης, δεδομένου ότι ένας μεγάλος αριθμός κοιτασμάτων παραμένουν ανεκμετάλλευτα.

Διάγραμμα 2.29

Περιοχές εξόρυξης (α) αδρανών υλικών και (β) βιομηχανικών ορυκτών



Πηγή: www.latomet.gr – πρόσβαση: Απρίλιος 2011.

Πίνακας 2.52

Παραγωγή μεταλλευμάτων, βιομηχανικών ορυκτών, προϊόντων μηχανικής κατεργασίας-εμπλουτισμού-μεταλλουργίας και μαρμάρων (Χιλ. τόνοι)

Προϊόν	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1. Αλουμίνα ένυδρη	786	782	780	789	807,5	796
2. Αλουμίνιο	166	165	164,5	168	162,3	129
3. Ανθρακικό ασβέστιο-τάλκης- δολομίτης κατ.	181	200	250	350	500	600
4. Ασβεστολιθικά αδρανή	-	90.000	100.000	90.000	85.000	70.000
5. Άστριοι (τελικά προϊόντα)	79	99	56	38	35,7	27,12
6. Ατταπουλγίτης	4	7	7	7	25	28
7. Βωξίτης	2.444	2.495	2.194	2.128	2.174	1.935
8. Γύψος	912	915	900	940	900	580
9. Δίπυρος μαγνησία	46	67	51	42	46,7	22,37
10. Καολίνη	44	44	40	40	-	-
11. Καυστική μαγνησία	86	73	69	72	70,5	57,5
12. Κίσηρις	835	852	801	838	828	381
13. Λευκόλιθος	413	410	373	340	396,5	326,3
14. Λιγνίτης	71.900	69.064	64.100	66.100	65.000	64.000
15. Μάρμαρα, προϊόντα από εξόρυξη	1.738	1.500	1.790	1.690	1.500*	950*
16. Μάρμαρα, όγκοι	362	398	420	440	430	300*
17. Μικτά θειούχα μεταλλεύματα	-	-	180	214	272	231
18. Μικτά θειούχα συμπυκνώματα	-	-	69	144	82	60
19. Μπεντονίτης (ορυκτός)	1.100	1.125	1.166	1.342	1.580	750
20. Μπεντονίτης ενεργοποιημένος	856	880	962	1.113	1.262,8	850
21. Νικέλιο (περιεχ. σε κράμα)	18	19	18	18,67	16,6	8,3
22. Νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα	2.485	2.776	2.320	2.367	2.262	1.398
23. Ολιβίνης			35	40	40	33,3
24. Περγλίτης ορυκτός	1.067	1.075	1.049	1.100	1.000	700
25. Περγλίτης κατεργασμένος	630	600	700	650	600	450
26. Ποζολάνη	1.268	1.459	1.525	1.520	1.059	830
27. Πυρίμαχες μάζες	24	26	30	31	22,6	31,6
28. Πυριτικό	93	113	110	52	52,5	38
29. Χαλαζίας – χαλαζιακά προϊόντα	16	15	14	15	16,2	14,3
30. Χουντίτης – υδρομαγνησίτης	13	9	25,7	15	19,6	10

* Εκτίμηση.

Πηγή: ΣΜΕ, 2010.

Οι ενεργές και δυνάμει ενεργές περιοχές ανάπτυξης της εξορυκτικής δραστηριότητας αφορούν πρακτικά στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας, όπως αποτυπώνονται ενδεικτικά στο Διάγραμμα 2.29.

Στον Πίνακα 2.52 παρατίθεται η συνολική παραγωγή εξορυκτικών προϊόντων, σε ετήσια βάση για τα έτη 2004-2009, βάσει στοιχείων του Συνδέσμου Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων (ΣΜΕ, 2010).

2.11.3 Κλιματική αλλαγή και ελληνική εξορυκτική βιομηχανία

2.11.3.1 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην εξορυκτική βιομηχανία αποτελεί ένα σύνθετο εγχείρημα με αρκετές αβεβαιότητες, οι οποίες σχετίζονται με τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής και τις ιδιαιτερότητες κάθε εκμετάλλευσης. Ένας επιπλέον παράγοντας που δυσχεραίνει την εκτίμηση και αποτίμηση των επιπτώσεων στον εξορυκτικό κλάδο είναι η απουσία συναφών ερευνών, όχι μόνο στην ελληνική αλλά και στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι σχετικές έρευνες (π.χ. Ford et al., 2010, 2011, Pearce et al., 2011) αφορούν κυρίως στην ποιοτική διερεύνηση του προβλήματος μέσω ερευνών με ερωτηματολόγια σε επιχειρήσεις και εργαζομένους στον εξορυκτικό κλάδο.

Για τη διαμόρφωση της μεθοδολογικής προσέγγισης ελήφθησαν υπόψη η διαθεσιμότητα κρίσιμων δεδομένων, η διάρκεια ζωής των εκμεταλλεύσεων και η βαρύτητα των επιπτώσεων διαφόρων συνιστωσών της κλιματικής αλλαγής στο σύνολο της οικονομικής ζημίας.

Σε ό,τι αφορά στις προβλεπόμενες μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων, αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του Σεναρίου A1B, το οποίο καλύπτει τη χρονική περίοδο 2021-2050, δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής της μεγάλης πλειοψηφίας των γνωστών κοιτασμάτων (ακόμη και αυτών η αξιοποίηση των οποίων δεν έχει ξεκινήσει μέχρι σήμερα, όπως π.χ. οι εκμεταλλεύσεις χρυσού) θα έχει εξαντληθεί μέχρι το 2050. Αν και τα αποτελέσματα του Σεναρίου A1B ήταν διαθέσιμα για 12 γεωγραφικές περιοχές, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε συγκεντρωτικά σε επίπεδο επικράτειας. Η επιλογή αυτή κρίθηκε η πλέον κατάλληλη, λαμβανομένου υπόψη αφενός ότι οι εκμεταλλεύσεις είναι πρακτικά διασκορπισμένες στο σύνολο της επικράτειας και αφετέρου ότι στο χρονικό πλαίσιο του έργου δεν ήταν εφικτό να συγκεντρωθούν τα στοιχεία κατά περιοχή και τύπο εκμετάλλευσης. Προκειμένου να καταστεί εφικτή η εκτίμηση των επιπτώσεων και, ακολούθως, η αποτίμησή τους, τα αποτελέσματα του Σεναρίου A1B συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα της δεκαετίας 1991-2000 (περίοδος αναφοράς) σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας, τη μείωση των βροχοπτώσεων, κ.λπ.

Όσον αφορά στο είδος των επιπτώσεων που εξετάζονται, η ανάλυση έλαβε υπόψη τόσο άμεσες (π.χ. αύξηση ακραίων φαινομένων, κ.ά.) όσο και έμμεσες επιπτώσεις, λόγω της ανάγκης μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας). Η ποσοτικοποίηση και αποτίμηση των επιπτώσεων στο σύνολο του κλάδου δεν κατέστη εφικτή σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς ορισμένες επιπτώσεις εξαρτώνται άμεσα από πολύ εξειδικευμένες παραμέτρους κάθε εκμετάλλευσης.

2.11.3.2 Εκτιμώμενες επιπτώσεις

Για λόγους μεθοδολογίας, οι δυνητικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες. Οι άμεσες επιπτώσεις προσδιορίζουν το

κόστος προσαρμογής στην κλιματική μεταβολή, ενώ οι έμμεσες αφορούν σε ζητήματα μετριασμού των επιπτώσεων, δηλ. σε μέτρα που σχετίζονται με την προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

2.11.3.2.1 Άμεσες επιπτώσεις

i. Καταστροφές υποδομών

Οι καταστροφές των υποδομών της εξορυκτικής βιομηχανίας στον ελλαδικό χώρο μπορούν να προέλθουν από ακραία καιρικά φαινόμενα, π.χ. έντονες βροχοπτώσεις, τα οποία θα προκαλέσουν πλημμύρες και κατολισθήσεις και θα θέσουν σε κίνδυνο υποδομές και προσωπικό. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων για το Σενάριο A1B (βλ. Κεφ. 1 του παρόντος τόμου), η πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων παρουσιάζεται αυξημένη έως και κατά δύο φορές στο μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού χώρου και η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων αυξημένη, σχεδόν σε όλη την επικράτεια, έως και κατά 168%.

Η εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου είναι στενά συνδεδεμένη με την παρουσία και αντιμετώπιση της ροής των υδάτων και συνεπώς με το ύψος των βροχοπτώσεων, τη βαρύτητα των πλημμυρικών φαινομένων και την ύπαρξη των υδροφόρων οριζόντων. Εάν η ροή των υδάτων εντός των επιφανειακών και υπόγειων εξορυκτικών έργων είναι ομαλή, αντιμετωπίζεται με απάντληση και αποτελεί θέμα περιοριζόμενο σε καθαρώς οικονομικά πλαίσια. Αντιθέτως, η αιφνίδια εισροή μεγάλων ποσοτήτων ύδατος, όπως συμβαίνει και σε περιπτώσεις πλημμυρικών φαινομένων, δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί από τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις απάντλησης και είναι δυνατόν να θέσει σε κίνδυνο την ύπαρξη του έργου ή να προκαλέσει ανυπολόγιστες ζημιές (Οικονομόπουλος, 1971).

Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Κατά το έτος 1897 μια φοβερή πλημμύρα κατέστρεψε σχεδόν όλες τις επιφανειακές εγκαταστάσεις του λιγνιτωρυχείου Αλιβερίου Ευβοίας, ενώ οι υπόγειες στοές κατακλύστηκαν και αχρηστεύθηκαν.
- Οι εργασίες εκβάθυνσης του κεντρικού φρέατος (συνολικού βάθους 200 μ.) του μείζονος λιγνιτωρυχείου Αλιβερίου διακόπηκαν κατά το έτος 1954, έπειτα από εισροή μεγάλης παροχής υδάτων, και άρχισαν και πάλι μετά από αρκετές εβδομάδες.
- Οι εργασίες εκμετάλλευσης στο μεταλλείο χρωμίτη στο Δομοκό Φθιώτιδας διακόπηκαν περί τα μέσα της δεκαετίας του 1960 λόγω της υπερβολικής αύξησης του κόστους του εξορυσσόμενου χρωμίτη, γεγονός που προήλθε από την ανάγκη συνεχούς απάντλησης μεγάλων ποσοτήτων ύδατος από βάθος 200 μέτρων.

Ειδική περίπτωση αποτελεί η πλημμύρα στη μεταλλευτική περιοχή Στρατωνίου Χαλκιδικής (6-10.02.2010), όπου παρατηρήθηκε βροχόπτωση ύψους έως και 164 χλστ. εντός ολίγων ωρών, με ένταση 70 χλστ./ώρα. Λόγω της διάρκειας και της έντασης της βροχής, τα υδατορρέυματα της

περιοχής μετέφεραν ασυνήθιστα υψηλές παροχές υδάτων, συμπαρασύροντας μεγάλες ποσότητες στερεών υλικών, με αποτέλεσμα την εκτροπή της ροής διά μέσου των δρόμων του οικισμού και την πρόκληση σημαντικών καταστροφών. Κατά εξαιρετικά ευτυχή συγκυρία δεν προέκυψαν ανθρώπινα θύματα. Το κόστος αποκατάστασης των εν γένει ζημιών υπήρξε σημαντικό. Επίσης, οι πλημμύρες επηρεάζουν την απόληψη χαλαζιακών και γενικότερα πυριτικών άμμων από ποτάμια κοιτάσματα κυρίως της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδος. Τα πλημμυρικά φαινόμενα επιδρούν άμεσα και ενδεχομένως καταστροφικά επί των συναφών υποδομών, με αποτέλεσμα την προσωρινή ή και οριστική διακοπή της δραστηριότητας, με ό,τι αυτό συνεπάγεται.

Οι κατολισθήσεις παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο, ιδίως στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Αποτελούν εξαιρετικά μεγάλο κίνδυνο, δεδομένου ότι είναι δυνατόν όχι μόνο να ανατρέψουν τον εν γένει προγραμματισμό των εργασιών και να απειλήσουν την οικονομική ευστάθεια του έργου, αλλά και να θέσουν σε κίνδυνο τη ζωή των εργαζομένων. Ποικίλου μεγέθους κατολισθήσεις έχουν σημειωθεί κατά καιρούς στην Ελλάδα, κατά την επιφανειακή εκμετάλλευση διαφόρων κοιτασμάτων. Ενδεικτικά αναφέρονται κατολισθήσεις κατά την εκμετάλλευση λιγνιτοφόρων κοιτασμάτων στην περιοχή της Πτολεμαΐδας του Νομού Κοζάνης και στις περιοχές της Βεύης και της Βεγόρας-Αμυνταίου του Νομού Φλωρίνης, κατά την εκμετάλλευση βωξιτικών κοιτασμάτων στις περιοχές Ελικώνα-Παρνασσού-Γκιώνας, κ.ά.

Δεδομένου ότι τα φαινόμενα αυτά, πέραν των κατά περίπτωση ανθρωπογενών επεμβάσεων, συνδέονται και με ακραία καιρικά φαινόμενα, η εν γένει μελέτη τους σε συνάρτηση με τις κλιματικές αλλαγές μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετικώς ωφέλιμα συμπεράσματα. Ο σχεδόν διπλασιασμός της πιθανότητας εκδήλωσης καταστροφικών φαινομένων αναμένεται να μεταβάλει το σχεδιασμό των εξορυκτικών έργων. Γενικά, προβλέπονται αυξημένες δαπάνες λειτουργίας λόγω της ανάγκης συντήρησης των εσωτερικών δικτύων μεταφοράς για προστασία έναντι διαβρωτικών φαινομένων, αποκατάστασης εκ των κατολισθήσεων σε πρανή της εκμετάλλευσης ή αποθέσεων, υιοθέτησης πιο ασφαλών πρακτικών διάθεσης των απορριμμάτων της εξόρυξης και του εμπλουτισμού, κ.ά.

ii. Δασικές πυρκαγιές

Οι δασικές πυρκαγιές συναρτώνται άμεσα με την υγρασία της καύσιμης ύλης, που με τη σειρά της καθορίζεται από τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου (βλ. Κεφ. 1 του παρόντος τόμου), εκτιμήθηκε ότι ο εξαιρετικά υψηλός κίνδυνος για πυρκαγιά αυξάνεται κατά 20 ημέρες το διάστημα 2021-2050 σε όλη την Ανατολική Ελλάδα, από τη Θράκη έως την Πελοπόννησο. Μικρότερες αυξήσεις αναμένονται στη Δυτική Ελλάδα, κυρίως λόγω του υγρότερου κλίματος της περιοχής.

Οι πυρκαγιές επηρεάζουν αρνητικά τις εκμεταλλεύσεις, διότι είναι αδύνατη η έκδοση αδειών επέκτασης της μεταλλευτικής δραστηριότητας σε πυρόπληκτες περιοχές, καθώς οι τελευταίες κηρύσσονται αναδασωτέες. Σχετικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση αδυναμίας

ανάπτυξης ορυχείων ποζολανικών ορυκτών στη Μήλο, σε περιοχή όπου σημειώθηκε πυρκαγιά.

Λόγω της έλλειψης αναλυτικών δεδομένων αναφορικά με τον αριθμό και την έκταση των εκμεταλλεύσεων ανά τύπο ορυκτού που λειτουργούν εντός ή πλησίον εκτάσεων χαρακτηριζόμενων ως δασικών, δεν καθίσταται εφικτή η εκτίμηση των επιπτώσεων σε ποσοτικούς όρους.

iii. Μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων

Η μείωση των διαθέσιμων ποσοτήτων υδατικών πόρων, σε σχέση με την κλιματική μεταβολή, είναι αποτέλεσμα της διαταραχής του υδρολογικού κύκλου. Σύμφωνα με το υπόδειγμα του Σεναρίου A1B, για την περίοδο 2021-2050, στη δυτική ηπειρωτική χώρα αναμένονται λιγότερες από 10 ημέρες αύξησης ξηρασίας, ενώ στην ανατολική ηπειρωτική χώρα και τη Βόρεια Κρήτη αναμένονται περισσότερες από 20 επιπλέον ημέρες ξηρασίας. Η μείωση των τιμών του ύψους της βροχής και του όγκου του νερού που κατεισδύει είναι της τάξεως του 7-8% για την περίοδο 2021-2050 στο σύνολο της επικράτειας (Στουρνάρας, 2010).

Η μείωση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών αποθεμάτων μπορεί να έχει πολλαπλές επιπτώσεις στον εξορυκτικό κλάδο και, σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί να οδηγήσει στον περιορισμό ή και στη διακοπή των εξορυκτικών εργασιών ή τουλάχιστον σε αύξηση του κόστους εκμετάλλευσης.

Με βάση στοιχεία του ΣΜΕ (2010), η συνολική καθαρή κατανάλωση νερού από δίκτυα, υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και επιφανειακούς ταμιευτήρες ανήλθε το 2009 σε 17 εκατ. κυβ. μ. περίπου. Επιπλέον, καταναλώθηκαν περίπου 5 εκατ. κυβ. μ. από διαδικασίες ανακύκλωσης. Η μέση ανηγμένη καθαρή κατανάλωση νερού ανά τόνο εμπορεύσιμου προϊόντος εκτιμήθηκε σε 0,17 κυβ. μ., ενώ αξίζει να αναφερθεί ότι η κατανάλωση νερού για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος ήταν 908.000 κυβ. μ. περίπου.

Υπό την καταχρηστική παραδοχή του “μέσου μεταλλευτικού προϊόντος” λόγω έλλειψης στοιχείων αναφορικά με τη βαρύτητα του νερού στη συνάρτηση παραγωγής κάθε τύπου εκμετάλλευσης, η μείωση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού θα μπορούσε δυνητικά να οδηγήσει σε αντίστοιχης τάξεως απώλεια παραγόμενου προϊόντος. Λαμβανομένου υπόψη ότι η συνολική παραγωγή εμπορεύσιμου προϊόντος ήταν, το 2009, 97 εκατ. τόνοι περίπου, θα μπορούσε δυνητικά να υπάρξει απώλεια 7,5 εκατ. τόνων εμπορεύσιμου προϊόντος. Καθώς, σύμφωνα με το ΣΜΕ (2010), οι ώρες εργασίας ανά τόνο εμπορεύσιμου προϊόντος ήταν 0,31, οι χαμένες ώρες εργασίας λόγω περιορισμού της παραγωγής θα μπορούσαν να ανέλθουν σε 2.325.000 περίπου, οι οποίες αντιστοιχούν σε περίπου 1.200 χαμένες θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης.

iv. Αύξηση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων

Ο ρυθμός έκλυσης των αιωρούμενων σωματιδίων από την εξορυκτική βιομηχανία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αγόνων και του κοιτάσματος, από τη μέθοδο εξόρυξης, από τα χαρακτηριστικά του χώρου εργασίας, από το ρυθμό των εργασιών και από τις κλιματικές συνθήκες. Για την εκτίμηση της παραγόμενης αιωρούμενης σκόνης χρησιμοποιούνται συντελεστές εκπομπής, όπως π.χ. οι συντελεστές AP-42 της USEPA, σύμφωνα με τον ακόλουθο γενικό τύπο:

$$E_{\text{kpy}} = [A * OH] * EF * [(1 - CE) / 100]$$

όπου

E_{kpy} = συνολικές εκπομπές ρύπου σε χλγρ./έτος,

A = ετήσια παραγωγή μονάδας,

OH = ώρες λειτουργίας ανά έτος,

EF = συντελεστής εκπομπής ρύπου, χλγρ./τόνο, και

CE = αποτελεσματικότητα μέτρων περιορισμού ρύπου, %.

Ενδεικτικοί συντελεστές εκπομπής σκόνης παρατίθενται στον Πίνακα 2.53.

Σύμφωνα με τα υποδείγματα κλιματικής μεταβολής για το Σενάριο A1B (βλ. Κεφ. 1 του παρόντος τόμου), προβλέπεται μείωση κατά 1,2% της μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 2021-2050 στην επικράτεια. Το καλοκαίρι προβλέπεται μεγαλύτερη μείωση, που μπορεί να φθάσει το 12% στα δυτικά και βόρεια ηπειρωτικά τμήματα της Ελλάδος, το 6% έως 8% στα υπόλοιπα ηπειρωτικά και το 3% έως 5% στις νησιωτικές περιοχές. Εκτός από την υγρασία, θα σημειωθεί μείωση των βροχοπτώσεων και αύξηση των ημερών ξηρασίας. Οι μεταβολές αυτές θα επηρεάσουν την υγρασία η οποία περιέχεται στα υλικά που εξορύσσονται, στις επιφάνειες των οδών μεταφοράς, κ.λπ.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων από την κλιματική μεταβολή, υπολογίστηκε η αύξηση της εκπεμπόμενης ποσότητας σωματιδίων PM10, με τη βοήθεια των στοιχείων του Πίνακα 2.53 και σύμφωνα με τις ακόλουθες παραδοχές:

- δεν λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα περιορισμού της σκόνης από την εξορυκτική βιομηχανία,
- η συνολική ποσότητα παραγόμενων αγόνων είναι 543 εκατ. τόνοι περίπου και των προϊόντων 97 εκατ. τόνοι περίπου (ΣΜΕ, 2010),
- η έκταση που χρησιμοποιείται για εκμετάλλευση είναι 158.000 στρέμματα περίπου (ΣΜΕ, 2010),
- η υγρασία που περιέχεται μειώνεται από 15% σε 10% και οι συντελεστές εκπομπής διπλασιάζονται και
- η περίοδος μείωσης της υγρασίας θεωρείται ότι αφορά διάστημα 4 μηνών.

Στη βάση των παραπάνω, εκτιμάται ότι, λόγω της κλιματικής μεταβολής, υπάρχει μια αύξηση των εκπομπών σκόνης PM10 της τάξεως των 180.000 τόνων, σε ετήσια βάση.

Σημειώνεται ότι οι εκτιμήσεις είναι προσεγγιστικές, δεδομένου ότι οι συντελεστές εκπομπής περιβάλλονται από αρκετή αβεβαιότητα, οι εκμεταλλεύσεις λαμβάνουν χώρα με διαφορετικές μεθόδους, οι εκπομπές σκόνης εξαρτώνται σημαντικά από το μικροκλίμα της περιοχής, κ.λπ.

v. Απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων συνθηκών

Σύμφωνα με τα υποδείγματα κλιματικής μεταβολής (βλ. Κεφ. 1 του παρόντος τόμου), για την περίοδο 2021-2050 αναμένεται αύξηση του αριθμού των ημερών κατ' έτος κατά τις οποίες ο δείκτης humidex ξεπερνά τους 38 °C, με αντίκτυπο στη δυσφορία του γενικού πληθυσμού αλλά και των εργαζομένων. Στα παράκτια του Ιονίου και τα Δωδεκάνησα αναμένεται αύξηση

Πίνακας 2.53

Συντελεστές εκπομπής σκόνης

Πηγή	TSP	Μονάδες
Απομάκρυνση υπερκευμένων	1-3	Χλγρ./τόνο
Φόρτωση σε φορτηγά	0,4-0,7	Χλγρ./τόνο
Μεταφορά με φορτηγά	1,5-3	Χλγρ./χλμ.
Θραύση πρωτογενής	1,5-2,5	Χλγρ./τόνο
Κοσκίνιση	2,5-5	Χλγρ./τόνο
Απόθεση σε σωρούς	1,5-4	Χλγρ./τόνο
Αιολική διάβρωση	0,85	Mg/εκτάριο το έτος

Πηγές: Ghose (2004) και USEPA (1995).

της διάρκειας της περιόδου με $\text{humidex} > 38^\circ\text{C}$ κατά 20 ημέρες, στα πεδινά ηπειρωτικά και την Κρήτη κατά 15 ημέρες, ενώ οι ορεινές περιοχές φαίνεται ότι δεν εμφανίζουν σημαντικές μεταβολές αυτής της παραμέτρου.

Με βάση την υφιστάμενη νομοθεσία για την ασφάλεια και υγιεινή της εργασίας (π.χ. Εγκύκλιος 130427/26.6.90 του Υπουργείου Εργασίας), οι εργαζόμενοι πρέπει να προστατεύονται από τη θερμική καταπόνηση. Σ' αυτή την κατεύθυνση παρέχονται οδηγίες για τον προγραμματισμό διαλειμμάτων, ανάλογα με τη θερμοκρασία (ξηρού θερμομέτρου) και τη σχετική υγρασία. Προκειμένου να εκτιμηθούν ποσοτικά οι επιπτώσεις στην εξορυκτική βιομηχανία, ελήφθησαν υπόψη αφενός αύξηση 20 ημερών κατ' έτος κατά τις οποίες ο δείκτης humidex ξεπερνά τους 38°C και αφετέρου τα ακόλουθα δεδομένα και παραδοχές:

- σύνολο ωρών εργασίας ανά έτος: 29,9 εκατ. (ΣΜΕ, 2010),
- 250 ημέρες εργασίας ανά έτος,
- 10 ημέρες ανά έτος με συνθήκες που επιβάλλουν 25% χρόνο διαλειμμάτων,
- 3,24 τόνοι εμπορεύσιμου προϊόντος ανά ώρα εργασίας (ΣΜΕ, 2010) και
- επίδραση στο 10% των εκμεταλλεύσεων που αναπτύσσονται σε (μη ορεινές) περιοχές όπου αυξάνεται ο δείκτης humidex .

Σε αυτή τη βάση, υπολογίζεται ότι οι απώλειες εμπορεύσιμου προϊόντος μπορεί να ανέλθουν σε 97.000 τόνους περίπου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι υψηλές θερμοκρασίες, πέραν των απωλειών ωρών εργασίας, είναι δυνατόν να επιταχύνουν ή και να προκαλέσουν το φαινόμενο της αυτανάφλεξης λιγνιτικών σωρών, οι οποίοι έχουν αποθηκευθεί στις αυλές των ατμοηλεκτρικών σταθμών ή των λιγνιτωρυχείων. Σ' αυτή την περίπτωση θα σημειωθεί διάχυση αερίων (κυρίως CO και CO_2) στην ατμόσφαιρα της περιοχής, η οποία μπορεί, εκτός από την ενόχληση, να επηρεάσει και την υγεία των κατοίκων, πέραν της ενδεχόμενης απώλειας καύσιμης ύλης. Δεν καθίσταται εφικτή

ωστόσο, λόγω έλλειψης στοιχείων, η ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων ως προς τη συγκεκριμένη συνιστώσα.

vi. Ενίσχυση μέτρων και δράσεων προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος

Οι μεταβολές των κλιματικών συνθηκών αναμένεται να επηρεάσουν με διάφορους τρόπους την εξορυκτική βιομηχανία ως προς τα ζητήματα του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, η αύξηση των ξηρών ημερών και η μείωση της υγρασίας και των βροχοπτώσεων μπορεί να καταστήσουν απαραίτητη την αύξηση του αριθμού των αρδεύσεων στα έργα αποκατάστασης, η εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων μπορεί να αυξήσει τη διάβρωση του εδαφικού υλικού, η μείωση της επιφανειακής απορροής μπορεί να καταστήσει απαραίτητη την περαιτέρω επεξεργασία υγρών αποβλήτων ή ποσοτήτων νερού που αντλούνται από υπόγεια μεταλλευτικά έργα και διατίθενται σε επιφανειακούς αποδέκτες, κ.λπ. (Οικονομόπουλος, 1991, Menegaki and Damigos, 2009).

Η εκτίμηση των επιπτώσεων σε ποσοτικούς όρους (π.χ. απώλεια Χ τόνων εδαφικού υλικού ανά έτος, κ.λπ.) εμπεριέχει σημαντικές δυσκολίες, καθώς εξαρτάται από πολύ τοπικές παραμέτρους. Ωστόσο, σε επόμενη ενότητα, επιχειρείται η αποτίμηση του κόστους των επιπτώσεων σε συνάρτηση με τις υφιστάμενες δαπάνες προστασίας του περιβάλλοντος.

2.11.3.2.2 Έμμεσες επιπτώσεις

Η εξορυκτική βιομηχανία μπορεί να επηρεαστεί από περιορισμούς εκμετάλλευσης ορυκτών καυσίμων και δραστηριοτήτων για την παραγωγή ενέργειας, δομικών υλικών κ.ά. λόγω των περιορισμών των εκπομπών CO₂, καθώς και από αυξήσεις του κόστους παραγωγής λόγω ενσωμάτωσης του κόστους δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ μετά το 2013.

Η πλέον χαρακτηριστική περίπτωση επίδρασης των επιπτώσεων αυτών στην εξορυκτική βιομηχανία αφορά στις εκμεταλλεύσεις λιγνίτη, καθώς η ενσωμάτωση του κόστους δικαιωμάτων εκπομπής CO₂, η προσπάθεια της χώρας για την επίτευξη του ευρωπαϊκού στόχου “20-20-20”, αλλά και άλλες περιβαλλοντικές συνιστώσες, θα οδηγήσουν σταδιακά σε μείωση της ηλεκτροπαραγωγής από τον εν λόγω ενεργειακό πόρο. Σ’ αυτό το πλαίσιο προβλέπεται μείωση της εγκατεστημένης ισχύος των λιγνιτικών μονάδων από 4.826 μεγαβάτ το 2010 σε 3.362 μεγαβάτ (μείωση 30% περίπου) το 2020 και 2.295 μεγαβάτ (μείωση 52,5%) το 2030. Εάν θεωρηθεί ότι η διαθεσιμότητα των μονάδων, ο βαθμός απόδοσης και άλλες παράμετροι που επιδρούν στην παραγωγή παραμένουν σταθερές, το 2020 αναμένεται παραγωγή ηλεκτρισμού από λιγνίτη της τάξεως των 22,2 τεραβατώραν και το 2030 παραγωγή 15,1 τεραβατώραν.

Σύμφωνα με ερευνητική εργασία (Τουρκολιάς, 2010), μια λιγνιτική μονάδα νέας τεχνολογίας απαιτεί 1,38 τόνους λιγνίτη για την παραγωγή 1 τεραβατώρας ηλεκτρικής ενέργειας, δηλ. 1,38 εκατ. τόνους ανά τεραβάτώρα. Συνεπώς, η μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 12,7 τεραβατώρας και 19,8 τεραβατώρας τα έτη 2020 και 2030, αντίστοιχα, θα επιφέρει ανάλογη μείωση της εξορυκτικής δραστηριότητας, κατά 17,5 εκατ. τόνους και 27,3 εκατ. τόνους λιγνίτη, αντίστοιχα.

Σε ό,τι αφορά στις επιπτώσεις στην απασχόληση, σύμφωνα με την ίδια εργασία απαιτούνται στην εξορυκτική δραστηριότητα περίπου 119,5 ανθρωποέτη ανά τεραβάτώρα ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία μιας λιγνιτικής μονάδας νέας τεχνολογίας με καύσιμο. Συνεπώς, η μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 12,7 τεραβάτρες και 19,8 τεραβάτρες, τα έτη 2020 και 2030, αντίστοιχα, θα επιφέρει μείωση της απασχόλησης της τάξεως των 1.520 και 2.370 ανθρωποετών.

Τέλος, έμμεση επίπτωση της προσπάθειας για αναστροφή των αρνητικών επιπτώσεων των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί η αναμενόμενη αύξηση του λειτουργικού κόστους του κλάδου, στην προσπάθειά του να συμβάλει στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου μέσω αντικατάστασης εξοπλισμού και άλλων μέτρων. Στη διεθνή βιβλιογραφία η προσπάθεια αυτή εντοπίζεται κυρίως στη συλλογή του εκλυόμενου μεθανίου από υπόγεια ανθρακωρυχεία και, ακολούθως, στην αξιοποίησή του στην παραγωγή ενέργειας. Το θέμα αυτό, αν και εξαιρετικά ενδιαφέρον, δεν έχει πρακτικό αντίκρισμα στην ελληνική εξορυκτική βιομηχανία. Σε δεύτερο επίπεδο, καταβάλλεται προσπάθεια για την ανάπτυξη σύγχρονου εξοπλισμού με χαμηλότερες εκπομπές. Δεν υπάρχει ωστόσο κάποια ποσοτική ή οικονομική εκτίμηση των επιπέδων μείωσης και του σχετικού κόστους.

2.11.3.3 Αποτίμηση επιπτώσεων

Στην παρούσα ενότητα επιχειρείται η οικονομική αποτίμηση των αναμενόμενων επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία. Δεδομένου ότι ορισμένες επιπτώσεις εξαρτώνται άμεσα από τα χαρακτηριστικά της περιοχής και της εκμετάλλευσης, σε κάποιες περιπτώσεις δεν καθίσταται εφικτό να δοθούν αθροιστικές εκτιμήσεις σε επίπεδο κλάδου. Γίνεται ωστόσο αναφορά σε συγκεκριμένα περιστατικά, από τα οποία αναδεικνύεται η σημασία του προβλήματος.

2.11.3.3.1 Άμεσες επιπτώσεις

i. Καταστροφές υποδομών

Το κόστος από τις καταστροφές των υποδομών της εξορυκτικής βιομηχανίας που μπορούν να προέλθουν από ακραία καιρικά φαινόμενα, π.χ. έντονες βροχοπτώσεις, ποικίλλει σημαντικά, σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται περιπτώσεις ατυχημάτων που σχετίζονται με πλημμυρικά φαινόμενα με πολύ υψηλό κόστος αποκατάστασης της ζημίας. Οι Eriksson and Adamek (2000), για παράδειγμα, μελέτησαν τις επιπτώσεις της αστοχίας του φράγματος του μεταλλείου Aznalcóllar στην περιοχή Boliden Apirsa της Ισπανίας. Το συνολικό κόστος αποκατάστασης της ζημίας ανέρχεται σε περίπου €225.000.000 (2010). Οι Prommer and Skwarek (2001) υπολόγισαν το συνολικό κόστος της ζημίας από την αστοχία του φράγματος τελμάτων της AURUL στην περιοχή Baia Mare της Βορειοδυτικής Ρουμανίας σε €10.000.000-14.000.000 (2010).

ii. Δασικές πυρκαγιές

Όπως αναφέρθηκε, λόγω της έλλειψης δεδομένων, δεν κατέστη εφικτό να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις στο σύνολο του κλάδου και δεν παρέχεται σχετική εκτίμηση του κόστους.

iii. Μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα (Βαγιονά και Μυλόπουλος, 2005), η ελαστικότητα της ζήτησης για βιομηχανικό νερό εκτιμήθηκε σε -0,2 (άλλες έρευνες παρέχουν εκτιμήσεις -0,3 έως -0,4). Έτσι, μείωση της προσφερόμενης ποσότητας κατά 8% θα επέφερε αύξηση της τιμής κατά 40%. Αν και σημαντικό μέρος των ποσοτήτων του χρησιμοποιούμενου νερού προέρχεται από γεωτρήσεις ή επιφανειακούς υδατικούς πόρους και όχι από δίκτυο, για τους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη το κόστος χρέωσης βιομηχανικών καταναλωτών της ΕΥΔΑΠ για κατανάλωση άνω των 1.000 κυβ. μ. το μήνα, δηλ. €0,9866 ανά κυβ. μέτρο. Σ' αυτή τη βάση, θα υπήρχε μια επιβάρυνση περίπου €0,4 ανά κυβ. μ. και, για να καλύψει η εξορυκτική βιομηχανία το σύνολο των αναγκών της, θα έπρεπε να επιβαρυνθεί με ένα ποσό της τάξεως των €6,8 εκατ. (δεδομένου ότι χρησιμοποιεί περίπου 17 εκατ. κυβ. μ. νερού σε ετήσια βάση).

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε, η απώλεια αυτή θα μπορούσε να οδηγήσει σε περίπου 1.200 χαμένες θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης. Πρόσφατη έρευνα (Tourkolias et al., 2009) εκτίμησε την αξία μιας νέας θέσης εργασίας (στο πλαίσιο επιδοτούμενων προγραμμάτων) σε €6.400 (€4.000-12.000). Συνεπώς το ετήσιο κόστος για την κοινωνία από την απώλεια απασχόλησης εκτιμάται σε €7,7 εκατ. περίπου. Σημειώνεται ωστόσο ότι αυτό το οικονομικό μέγεθος δεν επιβαρύνει τον κλάδο παρά μόνο ως προς το τμήμα των αποζημιώσεων.

iv. Αύξηση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων

Υπό την παραδοχή ότι κατά την περίοδο αναφοράς η εξορυκτική βιομηχανία λαμβάνει όλα τα απαραίτητα μέτρα για να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις από τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, η εκτιμώμενη αύξηση των εκπομπών θα δημιουργήσει τουλάχιστον όχληση στις περιβάλλουσες τις εγκαταστάσεις περιοχές, ωθώντας τις επιχειρήσεις στη λήψη μέτρων περιορισμού (π.χ. κλειστές μεταφορικές ταινίες κ.ά.).

Το κόστος της διαβροχής δεν είναι σημαντικό, δεδομένου ότι η σημερινή πρακτική που ακολουθείται είναι 7-8 διαβροχές ανά βάρδια, και θα χρειαστεί να αυξηθεί σε 14 διαβροχές ανά βάρδια για τις ξηρές ημέρες. Ωστόσο, η κατασκευή κλειστών εγκαταστάσεων ενδέχεται να επιβαρύνει τις επιχειρήσεις, αν ληφθεί υπόψη ότι το κόστος αποσβέσεων κυμαίνεται μεταξύ 10% και 40% του συνολικού κόστους παραγωγής και, για παράδειγμα, το κόστος κατασκευής ενός σπαστηροτριβείου με χρήση κλειστών μεταφορικών ταινιών, συστημάτων καταιονισμού νερού, κ.λπ. για τον περιορισμό των εκπομπών σκόνης είναι περίπου 20%-30% υψηλότερο.

Προκειμένου να εκτιμηθεί προσεγγιστικά το κόστος αντιμετώπισης των αυξημένων εκπομπών του κλάδου, αξιοποιήθηκαν στοιχεία του ΣΜΕ (2010) αναφορικά με τον κύκλο εργασιών των επιχειρήσεων, οικονομικές καταστάσεις διάφορων επιχειρήσεων και δεδομένα από προσωπικές επαφές.

Το λειτουργικό περιθώριο κέρδους φαίνεται να κυμαίνεται από 12% έως 30%, λαμβάνοντας μια μέση τιμή 20%. Συνεπώς, το λειτουργικό κόστος ανέρχεται σε 80%. Σ' αυτή τη βάση, δεδομένου ότι ο συνολικός κύκλος εργασιών ανήλθε σε €1,8 δισεκ. περίπου το 2009, το λειτουργικό κόστος εκτιμάται προσεγγιστικά σε €1,44 δισεκατομμύρια. Υπό την παραδοχή ότι το κόστος αποσβέσεων ανέρχεται σε 20% του λειτουργικού κόστους και ότι οι επενδύσεις σε μέτρα περιορισμού των εκπομπών σκόνης ανέρχονται στο 5% περίπου της συνολικής επένδυσης και αυξάνονται κατά 25%, το πρόσθετο κόστος σε ετήσια βάση εκτιμάται σε €3,6 εκατ. περίπου.

v. Απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων συνθηκών

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, οι απώλειες εμπορεύσιμου προϊόντος μπορεί να ανέλθουν σε 97.000 τόνους περίπου, δηλ. περίπου σε 0,1% της συνολικής παραγωγής (ΣΜΕ, 2010). Αν ληφθεί μια μέση ανηγμένη εκτιμώμενη αξία ανά τόνο εμπορεύσιμου προϊόντος βάσει του συνολικού κύκλου εργασιών, το κόστος αυτό μπορεί να ανέλθει σε €1,8 εκατ. περίπου.

vi. Ενίσχυση μέτρων και δράσεων προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα αναμενόμενα προβλήματα στα ζητήματα προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος, λαμβάνονται υπόψη στοιχεία του ΣΜΕ (2010) αναφορικά με τις δαπάνες αποκατάστασης των ορυχείων και προστασίας του περιβάλλοντος. Για το 2009, το συνολικό κόστος ήταν €9,4 εκατ. περίπου, το οποίο αντιστοιχεί σε €0,1 ανά τόνο εμπορεύσιμου προϊόντος. Ως συντηρητική προσέγγιση θα μπορούσε να ληφθεί μια αύξηση των εν λόγω δαπανών κατά 50% για την αντιμετώπιση των προβλημάτων διάβρωσης, άρδευσης, διαχείρισης υγρών αποβλήτων, κ.λπ. Συνεπώς, το πρόσθετο κόστος εκτιμάται σε €4,7 εκατ. περίπου.

2.11.3.3.2 Έμμεσες επιπτώσεις

Η οικονομική ανάλυση για τη μείωση της παραγωγής περιορίστηκε στον κλάδο των ενεργειακών ορυκτών λόγω έλλειψης δεδομένων για τις υπόλοιπες συνιστώσες του εξορυκτικού κλάδου. Ωστόσο, πραγματοποιείται αποτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων για τον κλάδο συνολικά, σε σχέση με την αύξηση του κόστους της ενέργειας, με τη βοήθεια πινάκων εισροών-εκροών για την ελληνική οικονομία.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις (Λεονάρδος, άγνωστο), το λειτουργικό κόστος παραγωγής λιγνίτη ανέρχεται σε περίπου €12 ανά τόνο και η “τιμή πώλησης” (κόστος καυσίμου για λιγνιτικό ΑΗΣ) σε €16 ανά τόνο. Συνεπώς, μείωση της εξορυκτικής δραστηριότητας κατά 17,5 εκατ. τόνους και 27,3 εκατ. τόνους λιγνίτη, αντίστοιχα, για τα έτη 2020 και 2030 θα επιφέρει απώλεια κερδών (μικτών) της τάξεως των €70 εκατ. και €109,2 εκατ. αντίστοιχα, σε ετήσια βάση, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Δεδομένου όμως ότι μεταξύ 2019 και 2022 θα κλείσουν εννέα λιγνιτικές μονάδες λόγω προβλημάτων κυρίως με το θείο, ως οικονομική επίπτωση του περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λαμβάνεται το ποσό των €39,2 εκατ., το οποίο αντιστοιχεί στη μείωση της παραγωγής μεταξύ 2020 και 2030.

Η εξορυκτική βιομηχανία, σύμφωνα με στοιχεία του ΣΜΕ (2010), καταναλώνει ετησίως 20,16 δισεκ. μεγατζάουλ. Ωστόσο, δεν διαχωρίζεται τι ποσοστό αυτής της ενέργειας αφορά σε ηλεκτρισμό. Έτσι, για να εκτιμηθούν οι οικονομικές επιπτώσεις για το σύνολο του κλάδου από την αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία με βάση εκτιμήσεις θα ανέλθει σε 25%-30%, αξιοποιήθηκε ο πλέον πρόσφατος πίνακας εισροών-εκροών για την ελληνική οικονομία (έτος 2005), ο οποίος έχει εκδοθεί από τη Eurostat και περιλαμβάνει 59 κλάδους οικονομικής δραστηριότητας.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι δαπάνες της εξορυκτικής βιομηχανίας σε βασικές τιμές, για αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δαπάνες αυτές ανήλθαν σε €113 εκατ. για το έτος 2005. Η συνολική ποσότητα εμπορεύσιμων προϊόντων ήταν περίπου 110 εκατ. τόνοι και συνεπώς το ανηγμένο κόστος ηλεκτρισμού ήταν της τάξεως των €1,03 ανά τόνο. Υπό την παραδοχή ότι το κόστος αυτό θα αυξηθεί κατά 30% (δηλ. κατά €0,3 ανά τόνο περίπου) και με ετήσια παραγωγή 90 εκατ. τόνων, η επιβάρυνση για το σύνολο του κλάδου ανέρχεται σε €27 εκατ. ετησίως.

Το κόστος από την απώλεια θέσεων απασχόλησης λόγω της μείωσης της λιγνιτικής δραστηριότητας αποτελεί κόστος κυρίως για την κοινωνία και όχι για την εξορυκτική βιομηχανία (πλην των αποζημιώσεων) και εκτιμάται, σύμφωνα με τις παραδοχές που έχουν αναφερθεί, σε €9,8 εκατ. για το 2020 και €15,2 εκατ. για το 2030.

Το κόστος από την προσπάθεια συμβολής του κλάδου στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, βασικά με τη χρήση εξοπλισμού νέας τεχνολογίας, δεν έχει εκτιμηθεί. Παρά το γεγονός ότι θα υπάρξει κάποια επιβάρυνση, με τη σταδιακή βελτίωση και υιοθέτηση τεχνολογικών λύσεων το κόστος αυτό θα τείνει να μειωθεί.

2.11.3.3 Εκτίμηση της συνολικής οικονομικής ζημίας

Η συνολική οικονομική ζημία για το έτος 2010 υπολογίστηκε στη βάση της παρούσας αξίας των ετήσιων οικονομικών επιβαρύνσεων για την περίοδο 2021-2050. Οι υπολογισμοί έγιναν με τις ακόλουθες παραδοχές:

Άμεσες επιπτώσεις

- i. Καταστροφές υποδομών: παρούσα αξία ενός ατυχήματος κόστους €15 εκατομμύρια. Το κόστος αυτό στηρίζεται στην παραδοχή ότι θα υπάρξει ένα σοβαρό ατύχημα μέσα σ' αυτήν την περίοδο, όπως προσδιορίστηκε από συναφή περιστατικά.
- ii. Δασικές πυρκαγιές: δεν αποτιμήθηκαν.
- iii. Μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων: ετήσιο κόστος €6,8 εκατ. για την προμήθεια νερού σε υψηλότερη τιμή.
- iv. Αύξηση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων: ετήσιο κόστος €3,6 εκατ. για τη λήψη μέτρων περιορισμού των εκπομπών σκόνης.
- v. Απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων συνθηκών: ετήσιο κόστος €1,8 εκατ. λόγω μείωσης της παραγωγής.

vi. Ενίσχυση περιβαλλοντικών μέτρων και δράσεων: ετήσιο κόστος €4,7 εκατ. για τη λήψη πρόσθετων μέτρων που σχετίζονται με την περιβαλλοντική προστασία και αποκατάσταση.

Έμμεσες επιπτώσεις

Επιβάρυνση ηλεκτρικής ενέργειας: ετήσιο κόστος €27 εκατομμύρια.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στους υπολογισμούς δεν ελήφθησαν υπόψη οι απώλειες εσόδων λόγω μείωσης της παραγωγής λιγνίτη.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν δύο επιτόκια προεξόφλησης, $\varepsilon=1\%$ και $\varepsilon=3\%$, για να διερευνηθεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων συγκριτικά με εναλλακτικούς ρυθμούς προεξόφλησης μελλοντικών οικονομικών μεγεθών.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους παρακάτω Πίνακες 2.54 και 2.55.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η παρούσα αξία της εκτιμώμενης ζημιάς ανέρχεται σε €1 δισεκ. περίπου με επιτόκιο προεξόφλησης 1% και σε €620 εκατ. περίπου με επιτόκιο προεξόφλησης 3%.

2.11.4 Προσαρμογή και μετριασμός επιπτώσεων

Η συζήτηση για την προσαρμογή της εξορυκτικής βιομηχανίας στην κλιματική μεταβολή έχει ξεκινήσει σε διεθνές επίπεδο, αλλά τα μέχρι τώρα αποτελέσματα μπορούν να χαρακτηριστούν μάλλον πενιχρά. Ορισμένες επιχειρήσεις που υφίστανται ήδη τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος λαμβάνουν μέτρα σε βραχυπρόθεσμη βάση και χωρίς μακρόπνοο σχεδιασμό (Ford et al., 2010).

Πίνακας 2.54

Εκτίμηση παρούσας αξίας οικονομικών επιπτώσεων ($\varepsilon=1\%$)
(Σε ευρώ)

	2021	2010
Άμεσες επιπτώσεις		
i. Καταστροφές υποδομών	-15.000.000	-13.450.000
ii. Δασικές πυρκαγιές	0	0
iii. Μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων	-170.450.000	-152.780.000
iv. Αύξηση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων	-9.030.000	-8.090.000
v. Απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων συνθηκών	-90.240.000	-80.890.000
vi. Ενίσχυση περιβαλλοντικών μέτρων και δράσεων	-117.810.000	-105.600.000
Σύνολο άμεσων επιπτώσεων	-438.620.000	-393.170.000
Έμμεσες επιπτώσεις		
Επιβάρυνση ηλεκτρικής ενέργειας	-676.780.000	-606.620.000
Σύνολο	-1.115.400.000	-999.790.000

Πίνακας 2.55

Εκτίμηση παρούσας αξίας οικονομικών επιπτώσεων ($\varepsilon=3\%$)
(Σε ευρώ)

	2021	2010
Άμεσες επιπτώσεις		
i. Καταστροφές υποδομών	-15.000.000	-10.840.000
ii. Δασικές πυρκαγιές	0	0
iii. Μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων	-130.490.000	-94.270.000
iv. Αύξηση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων	-69.080.000	-49.910.000
v. Απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων συνθηκών	-34.540.000	-24.960.000
vi. Ενίσχυση περιβαλλοντικών μέτρων και δράσεων	-90.190.000	-65.160.000
Σύνολο άμεσων επιπτώσεων	-339.300.000	-245.140.000
Έμμεσες επιπτώσεις		
Επιβάρυνση ηλεκτρικής ενέργειας	-518.090.000	-374.280.000
Σύνολο	-857.390.000	-619.420.000

Όσον αφορά στο μετριασμό των επιπτώσεων, οι μέχρι σήμερα προσπάθειες της βιομηχανίας εξόρυξης επικεντρώνονται σχεδόν αποκλειστικά σε δεσμεύσεις και ενέργειες που σχετίζονται με τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Williamson et al., 2005, MAC, 2007, Ford et al., 2010). Αυτό δεν είναι τυχαίο, αφού σε πολλές περιπτώσεις οι εν λόγω προσπάθειες βελτιώνουν την εικόνα του εξορυκτικού κλάδου στην κοινωνία, διευκολύνουν την εφαρμογή συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης και προστατεύουν τις επιχειρήσεις από την έκθεσή τους στη σχετική με τα αέρια του θερμοκηπίου μεταβαλλόμενη νομοθεσία.

Η έμφαση στον περιορισμό των εκπομπών, όμως, δρα σε βάρος των μέτρων προσαρμογής. Η συμπεριφορά αυτή, σύμφωνα με τους Pearce et al. (2009) οφείλεται, σε κάποιο βαθμό, στην ελλιπή γνώση των εργαζομένων στη βιομηχανία γύρω από τα ζητήματα των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον εξορυκτικό κλάδο. Οφείλεται επίσης στο γεγονός ότι η ικανότητα προσαρμογής της βιομηχανίας στην κλιματική μεταβολή είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, τεχνολογικών και μη (Pearce et al., 2011).

Σε ό,τι αφορά στην ελληνική εξορυκτική δραστηριότητα, δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής της μεγάλης πλειοψηφίας των γνωστών κοιτασμάτων (ακόμη και αυτών που δεν έχουν υποστεί ακόμη εκμετάλλευση) θα έχει εξαντληθεί μέχρι το 2050, η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής βασίστηκε στα αποτελέσματα του Σεναρίου A1B, το οποίο καλύπτει τη χρονική περίοδο 2021-2050 (βλ. την Ενότητα 2.11.3.1).

Το κόστος προσαρμογής του εξορυκτικού κλάδου στην κλιματική μεταβολή, το οποίο καθορίζεται από τις αναμενόμενες άμεσες επιπτώσεις (βλ. Ενότητες 2.11.3.3.1 και 2.11.3.3.3), εκτιμάται μεταξύ €245 εκατ. (για $\varepsilon=3\%$) και €393 εκατ. (για $\varepsilon=1\%$) περίπου.

Το κόστος μετριασμού των επιπτώσεων από την προσπάθεια συμβολής του κλάδου στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. με τη χρήση εξοπλισμού νέας τεχνολογίας) δεν έχει εκτιμηθεί λόγω έλλειψης στοιχείων (βλ. Ενότητα 2.11.3.2.2). Ωστόσο, έχει εκτιμηθεί το κόστος μετριασμού των επιπτώσεων που θα βαρύνει έμμεσα την εξορυκτική βιομηχανία, λόγω της αύξησης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας (βλ. Ενότητες 2.11.3.3.2 και 2.11.3.3.3), το οποίο κυμαίνεται μεταξύ €374 εκατ. (για $\varepsilon=3\%$) και €607 εκατ. (για $\varepsilon=1\%$).

Βάσει των παραπάνω, το συνολικό κόστος των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής για όλη την περίοδο 2021-2050, εκφρασμένο σε παρούσα αξία σε τιμές έτους 2010, κυμαίνεται ως τάξη μεγέθους μεταξύ €0,6 και €1 δισεκ. (για $\varepsilon=3\%$ και $\varepsilon=1\%$, αντίστοιχα), δηλαδή μεταξύ 0,2% και 0,4% του ΑΕΠ.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 2

2.1 Κλιματικές αλλαγές και επιπτώσεις στα ελληνικά υδατικά συστήματα

COST action 620 (2004), “Vulnerability and risk mapping for the protection of the carbonate (karst) aquifers”, Final Report, EUR 20912.

COST action 621 (2004), “Groundwater management of coastal karstic aquifers”, Final Report, EUR 20911.

ΕΔΕΥΑ (2007), “Υλικό Οικονομικής Επιτροπής”, διαθέσιμο (1/2011) στο: <http://www.edeya.gr/material.php>.

Erhard-Cassegrain, A. and J. Margat, “L’ eau, matière première. Resources, Utilisations, Besoins et Demandes, Coût et Prix, Prelevements et Consommations, Aide-Memoire Terminologique”, B.R.G.M. 78 SGN 674 HYD, Orléans.

European Commission, “Environment”, Technical Report 2007/001.

European Environment Agency (2009), “Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought”, EEA Report, διαθέσιμο (1/2011): http://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe/at_download/file.

IPCC (2007), Report on Global Climatic Changes.

Marinos, P., G. Stournaras and Z. Karotsieris (1990), “Ensembles karstiques et dispersion des écoulements souterrains en Grèce du NW. Le cas des bassins de rivières Louros et Arakhthos”, Intern. Conf. Ground Water in Mountainous Regions, I.A.H., I.A.H.S., Symp. 5-8 Mémoires V. XXII Part 2, 872-82, Lausanne.

Mariotti, A., N. Zeng, J. H. Yoon, V. Artale, A. Navarra, P. Alpert and L. Z. X. Li (2008), “Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations”, Environment Research Letters, 3, 4.

Milly, P. C. D., K. A. Dunne and A. V. Vecchia (2005), “Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate”, *Nature* 438: 347-50.

Navrud, S. and R. Ready (eds) (2007), “Environmental Value Transfer: Issues and Methods”. Springer/Kluwer Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Παπανδρέου, Α. και Μ. Σκούρτος (2000), “Βασικές Αρχές Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης, στο: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (επιμ.), “Σχεδιασμός, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις και Μέθοδοι Εκτίμησής τους”. Τόμος Β1, Αθήνα.

Skoullou, M. (2009), “Climate change in the Mediterranean region: Possible threats and responses in Water Management, Water Security and Climate Change Adaptation: Early Impacts and Essential Responses”, C. Sadoff and M. Muller, GWP (TEC background papers) No. 14.

Stournaras, G. (1998), “Ground Water and Nitrates in Greece. An Overview”, *Journal of Environmental Hydrology*, V. 6, 4.

Stournaras, G. (1999), “Correlating morphometric parameters of Greek Rhone-type deltas. Hydrogeologic and environmental aspects”, *Environmental Geology*, V. 38/1, No. 1.

Stournaras, G. (2008), “Hydrogeology and vulnerability of limited extension fissured rocks islands”, *Ecohydrology & Hydrobiology*, Vol. 8, No. 2-4, 391-9.

Stournaras, G. (2010), “The water in Mediterranean”, in “Losing Paradise: The Water Crisis in the Mediterranean”, Ashgate Publishing Ltd, UK.

Stournaras, G., D. Leonidopoulou and G. Yoxas (2007), “Geoenvironmental approach of Tinos Wetlands (Aegean Sea, Hellas)”, 35th International Congress of IAH, Groundwater and Ecosystems, Lisbon, Portugal.

Stournaras, G., G. Migiros, G. Stamatis, N. Evelpidou, C. Botsialas, V. Antoniou and E. Vassilakis (2007), “The fractured rocks in Hellas”, *Groundwater Hydrology*, Special Volume.

Σούλιος, Γ. (2010), “Γενική Υδρογεωλογία”, τόμος 1ος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Στουρνάρας, Γ. (1998), “Η Υδρολογία της Ελλάδας”, Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος-Larousse, Τόμος: Ελλάδα.

Στουρνάρας, Γ. (2007), “Νερό. Περιβαλλοντική Διάσταση και Διαδρομή”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

ΥΠΑΝ (2003), Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης Των Υδατικών Πόρων Της Χώρας, Αθήνα.

ΥΠΕΧΩΔΕ (2008), “Εφαρμογή των οικονομικών πυλών του άρθρου 5 της Κοινοτικής Οδηγίας περί Υδάτων 2000/60/ΕΚ στην Ελλάδα”, Αθήνα.

2.2 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας

A. Ελληνική

Βελεγράκης, Α. (2010), “Ερευνητική Πρόταση ΘΑΛΗΣ: Επιπτώσεις της Ανόδου Στάθμης Θάλασσας στις νησιωτικές παραλίες του Αιγαίου Πελάγους”, ΕΣΠΑ 2007-2013, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας.

Δουκάκης, Ε. (2005α), “Οι Επιπτώσεις των Κλιματικών Αλλαγών στη Χερσαία Ζώνη του Κόλπου του Ναυπλίου”, 5ο Εθνικό Συνέδριο “Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων με βάση τη λεκάνη απορροής”, Ξάνθη.

Δουκάκης, Ε. (2005β), “Κίνδυνοι στην Παράκτια Ζώνη από τις Κλιματικές Αλλαγές και τα Τσουνάμι”, Εργασίες Ημερίδας “Εκτίμηση κινδύνων στον Κορινθιακό”, Δερβένι – Δήμος Ευρωστίνης.

Δουκάκης, Ε. (2007), “Φυσικές καταστροφές και παράκτια ζώνη, Πρόληψη – Διαχείριση των φυσικών καταστροφών”, Ο ρόλος του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού, ΤΕΕ, ΠΣΔΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα.

Δουκάκης, Ε. (2008), “Η προβληματική οριοθέτηση του αιγιαλού και παραλίας στη Σκάλα Ερεσού Μυτιλήνης”, Conference 4MMCZ: 307-13.

Κανελλάκης, Α. και Ε. Δουκάκης (2004), “Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις παράκτιες περιοχές της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας.

Καραμπάς, Θ., Ι. Κρεστενίτης, Δ. Σακελλαρίου, Θ. Χασιώτης και Δ. Μαλιαρός (2008), “Πρόληψη και διαχείριση θαλάσσιων κινδύνων στην παράκτια ζώνη (CORI-INTERREG III B/ARCHIMED): Κίνδυνοι από τσουνάμι και πλημμύρες”, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Μυτιλήνη 23-27 Σεπτεμβρίου, 597-606.

Καρύμπαλης, Ε. και Κ. Γάκη-Παπαναστασίου (2008), “Γεωμορφολογική μελέτη των δέλτα των ποταμών Πηνειού, Καλαμά, Εύηνου και Μόρνου”, Conference 4MMCZ: 85-94.

Κοντογιάννη, Α., Χ. Τουρκολιάς και Μ. Σκούρτος (2010α), “Το κόστος των Επιπτώσεων από την Άνοδο Στάθμης της Θάλασσας στην Ελληνική παράκτια Ζώνη”, Τελική Έκθεση, Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), Τράπεζα της Ελλάδος, διαθέσιμο στον ιστοχώρο www.bankofgreece.gr.

Κοντογιάννη, Α., Χ. Τουρκολιάς και Μ. Σκούρτος (2010β), “Το κόστος των Μέτρων Προσαρμογής της Ελληνικής Παράκτιας Ζώνης στην Άνοδο Στάθμης της Θάλασσας”, Τελική Έκθεση, Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), Τράπεζα της Ελλάδος, διαθέσιμο στον ιστοχώρο www.bankofgreece.gr.

Κοντογιάννη, Α. (2011), “Διερεύνηση κοινωνικής τρωτότητας και κόστος προσαρμογής από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας στην Ελλάδα”, Κείμενο Εργασίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Εφαρμοσμένων Οικονομικών του Περιβάλλοντος.

Κουρογένη, Α. και Θ. Καραμπάς (2010), “Προστασία ακτών της Λέσβου λόγω της μετεωρολογικής παλίνροιας”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: “Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών”.

Παπαδοπούλου, Γ. και Ε. Δουκάκης (2003), “Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στον αιγιαλό και την παραλία”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας.

Παπανικολάου, Δ., Μ. Παπανικολάου και Ε. Βασιλάκης (2010), “Μεταβολές Στάθμης Θάλασσας και Επιπτώσεων στις Ακτές”, Τελική Έκθεση, Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), Τράπεζα της Ελλάδος, διαθέσιμο στον ιστοχώρο www.bankofgreece.gr.

Πλιάκος, Γ. και Ε. Δουκάκης (2004), “Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις παράκτιες περιοχές της νήσου Λήμνου”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας.

Ρούσσος, Δ. και Ε. Καρύμπαλης (2009), “Παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση και εκτίμηση των επιπτώσεων στη παράκτια ζώνη από την πόλη της Ερέτριας έως και την περιοχή Μανίδες στο Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο από μια πιθανή μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης”, Διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.

Σενή, Α. και Ε. Καρύμπαλης (2007), “Προσδιορισμός επικινδυνότητας παράκτιων περιοχών από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Οι περιπτώσεις μελέτης του Πόρτο Χελίου και της Ερμιόνης (Πελοπόννησος)”, Διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: “Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου”.

Στεργίου, Ν. και Ε. Δουκάκης (2003), “Οι επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην παράκτια ζώνη των αλυκών Κίτρους Πιερίας”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας.

Β. Ξενόγλωσσον

Bijlsma, L., C.N. Ehler, R.J.T. Klein, S.M. Kulshrestha, R.F. McLean, N. Mimura, R.J. Nicholls, L.A. Nurse, H. Perez Nieto, R.K. Turner and R.A. Warrick (1996), “Coastal zones and small islands”, in *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, Watson, R.T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss (eds), (The Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group II), Cambridge University Press, Cambridge, 289-324.

Brenner, J., J. Jimenez, R. Sarda and A. Garola (2010), “An assessment of the non-market value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain”, *Ocean & Coastal Management*, 53, 27-38.

California Energy Commission (CEC) (2009), “The impacts of sea-level rise on the California coast – Final paper”, Paper from California Climate Change Center, prepared by: Heberger, M., H. Cooley, P. Herrera, P.H. Gleick and E. Moore, Pacific Institute.

Church J.A, J.M. Gregory, P. Huybrechts, M. Kuhn, K. Lambeck, M.T. Nhuan, D. Qin and P.L. Woodworth (2001), “Changes in Sea Level”, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Houghton, J.T. and Y. Ding, (eds), Cambridge University, Press, New York, 639-93.

Daily, G.C. (1997), “Nature’s services: Societal dependence on natural ecosystems”, Island Press, Washington, DC, 392.

Darwin, R. and R. Tol (2001), “Estimates of the Economic Effects of Sea Level Rise”, *Environmental and Resource Economics*, 19, 113-29.

Doukakis, E. (2003), “The potential consequences of climate change on Kotychi lagoon”, 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos island.

Doukakis, E. (2004), “Accelerated sea level rise and coastal vulnerability in the Hersonissos coastal region (Crete, Greece)”, *Mediterranean Marine Science*, 5, 1, 35-41.

European Commission (2005), “Impact Assessment Guidelines”, SEC(2005) 791.

EUROSION (2004), “Living with coastal erosion in Europe”, Final report of the project Coastal erosion – evaluation for the need for action, DG Environment, European Commission.

Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C.S. Holling and B. Walker (2002), “Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations”, *Ambio*, 31, 5.

Garpe, K. (2008), “Ecosystem services provisioned by the Baltic Sea and Skagerrak”, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Report 5873.

Hellenic Republic (2006), “4th National communication to the United Nations framework convention on climate change”, Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works, Athens.

IPCC (2001), “Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White (eds), Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2007), “Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC CZMS (1990), “Strategies for Adaptation to Sea Level Rise”, Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Hague.

Klein, R.J.T., R.J. Nicholls, S. Ragoonaden, M. Capobianco, J. Aston and E.N. Buckley (2001), “Technological options for adaptation to climate change in coastal zones”, *Journal of Coastal Research*, 17, 531-43.

Koch, J. (2010), “Costs of Defending Against Rising Sea Levels and Flooding in Mid-Atlantic Metropolitan Coastal Areas: The Basic Issues”, *JRAP*, 40, 1, 53-60.

Komar, P.D. (1998), “Beach processes and Sedimentation”, 2nd edition, Prentice Hall, N.J., USA, 544.

Kontogianni, A. and M. Skourtos (2008), “Social Perception of Risk informing Integrated Coastal Zone Management on accidental oil-spill pollution: the reason you pollute matters, not numbers”, in *Integrated Coastal Zone Management – The Global Challenge*, Krishnamurthy R., B. Glavovic, A. Kannen, D. Green, R. Alagappan, H. Zengcui, S. Tinti and T. Agardy (eds), Research Publishing, 207-25.

Kontogianni, A., G. Luck and M. Skourtos (2010a), “Valuing ecosystem services on the basis of service-providing units: A promising solution to the ‘endpoint problem’ in stated preference approaches”, *Ecological Economics*, 69, 7, 1479-87.

Kontogianni, A. and Ch. Tourkolias (2010b), “Individual preferences and social values towards renewable energy technologies in Lesvos, Greece”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (submitted).

Kontogianni, A., Ch. Tourkolias, E. Ritsataki and A. Machleras (2010c), “Local communities and wind energy. Quantitative and qualitative data exploration through social risk perception and cultural theory”, Working Paper, Laboratory of Applied Environmental Economics, University of Aegean.

Kontogianni, A., E. Papageorgiou, B. Zannou, D. Castilla, F. Adaman, V. Melikidze, L. Salomatina, E. Papathanassiou and M. Skourtos (2011), “Assessing perceptions of marine environmental futures through Fuzzy Cognitive Mapping – A case study with Mediterranean and Black Sea stakeholders”, *SESAME*, Final Conference, April.

Krestenitis, Y.N., Y.S. Androulidakis, Y.N. Kontos and G. Georgakopoulos (2010), “Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events”, *Journal of Coastal Conservation*, DOI 10.1007/s11852-010-0090-7.

Llasat, M.C., M. Llasat-Botija, M.A. Prat, F. Porc, C. Price, A. Mugnai, K. Lagouvardos, V. Kotroni, D. Katsanos, S. Michaelides, Y. Yair, K. Savvidou and K. Nicolaides (2010), “High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database”, *Adv. Geosci*, 23, 1-9.

Meehl, G.A., W.M. Washington, W.D. Collins, J.M. Arblaster, A. Hu, L.E. Buja, W.G. Strand and H. Teng (2005), “How much more global warming and sea-level rise?”, *Science*, 307, 1769-72.

Merlo, M. and L. Croitoru (2005), “Valuing Mediterranean Forests: Towards Total Economic Value”, CABI International, Wallingford UK/Cambridge MA, 406.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005), “Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis”, Island Press, Washington, 155.

Ministry of the Environment, Physical Planning and Public Works (2006), “Report of Greece on Coastal Zone Management”, submitted to the European Commission/DG Environment, in the context of the recommendation on integrated coastal zone management (2002/413/EC).

Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium (MASGC) (2007), “Shoreline Protection Products: Cost Estimates”, supported by the National Sea Grant College Program of the U.S. Department of Commerce’s National Oceanic and Atmospheric Administration under NOAA, Grant NA06OAR4170078.

Nicholls, R. (2009), “Adaptation costs for coasts and low-lying settlements”, in *Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*, Parry, M., N. Arnell, P. Berry, D. Dodman, S. Fankhauser, Ch. Hope, S. Kovats, R. Nicholls, D. Satterthwaite, R. Tiffin and T. Wheeler (eds), International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.

OECD (2006), “Metrics for assessing the economic benefits of climate change policies: Sea level rise”, ENV/EPOC/GSP(2006)3/FINAL, Paris.

OECD (2007), “Use of Discount Rates in the Estimation of the Costs of Inaction with Respect to Selected Environmental Concerns”, ENV/EPOC/WPNP(2006)13/FINAL.

Pattanayak, S.K., J.M. Wing, B.M. Depro, G. van Houtven, P. de Civita, D.M. Stieb and B. Hubbel (2002), “International Health Benefits Transfer Application Tool: The Use of PPP and inflation indices”, prepared for Economic Analysis and Evaluation Division Health, Canada.

Poulos, S., G. Ghionis and H. Maroukian (2009), “The consequences of a future eustatic sea-level rise on the deltaic coasts of Inner Thermaikos Gulf (Aegean Sea) and Kyparissiakos Gulf (Ionian Sea), Greece”, *Geomorphology*, 107, 18-24.

Poulos, S.E. and M.B. Collins (2002), “Fluvial sediment fluxes to the Mediterranean: A quantitative approach and the influence of dams”, *Geological Society of America Bulletin*, 191, 227-45.

Richards, J. and R. Nicholls (2009), “Impacts of climate change in coastal systems in Europe”, PESETA-Coastal Systems study, European Commission Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies, Scientific-Technical report.

Scottish Natural Heritage (SNH) (2000), “A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems”, Report prepared by H.R. Wallingford.

Sorensen, R., R. Weisman and G. Lennon (1984), “Chapter 6 Control of Erosion, Inundation, and Salinity Intrusion Caused by Sea Level Rise”, in *Greenhouse Effect and Sea Level Rise: A Challenge for This Generation*, Barth, M.C. and J.G. Titus (eds), Van Nostrand Reinhold Company, 179-214.

Sonderquist, T. and L. Hasselstrom (2008), “The economic value of ecosystem services provided by the Baltic Sea and Skagerrak. Existing information and gaps of knowledge”, Swedish Environmental Protection Agency.

Tibbetts, J. (2002), “Coastal Cities: Living on the Edge”, *Environ Health Perspect*, 110, 674-81.

Turner, R.K., I.J. Bateman and W.N. Adger (2001), “Economics of Coastal and Water Resources: Valuing Environmental Functions”, Dordrech: Kluwer Academic Publishers.

Velegrakis, A.F. (2010), “Coastal systems”, unpublished paper, Department of Marine Sciences, University of Aegean.

Velegrakis, A.F., M. Vousdoukas, O. Andreadis, E. Pasakalidou, G. Adamakis and R. Meligonitis (2008), “Impacts of dams on their downstream beaches: A case study from Eresos coastal basin, Island of Lesbos, Greece”, *Marine Georesources and Geotechnology*, 26, 350-71.

Vött, A. (2007), “Relative sea level changes and regional tectonic evolution of seven coastal areas in NW Greece since the mid-Holocene”, *Quaternary Science Reviews*, 26, 894-919.

Wigley, T.M.L. (1995), “Global-Mean Temperature and Sea Level Consequences of Greenhouse Gas Concentration Stabilization”, *Geophysical Research Letters*, 22, 45-8.

2.3 Αλιεία και υδατοκαλλιέργειες

A. Ελληνική

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (2009), “Θαλάσσια αλιεία με μηχανοκίνητα σκάφη. Στατιστικές πρωτογενούς τομέα”, Πειραιάς.

Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων, ΕΚΒΥ (2010), “Η βιοποικιλότητα της Ελλάδας: κατάσταση και τάσεις”, τελική έκθεση τομέα βιοποικιλότητας, Επιτροπή μελέτης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής.

Παπουτσόγλου, Σ. Ε. (1981, 1990), “Το υδάτινο περιβάλλον και οι οργανισμοί του”, Εκδόσεις Καραμπερόπουλος-Σταμούλης, Αθήνα.

Παπουτσόγλου, Σ. Ε. (1997), “Εισαγωγή στις Υδατοκαλλιέργειες”, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

Παπουτσόγλου, Σ. Ε. (2004), “Κατασκευές Υδατοκαλλιεργειών”, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Διεύθυνση Υδατοκαλλιεργειών και Εσωτερικών Υδάτων. Γενική Διεύθυνση Αλιείας. Στοιχεία Παραγωγής Υδατοκαλλιεργειών (περίοδου 1986-2005), Εσωτερικά νερά – πέστροφα, κυπρίνος, σολομός, χέλι-λοιπά είδη.

Β. Ξενόγλωσση

Allison, E. H., A. L. Perry, M-C. Badjeck, W.N. Adger, N.L. Andrew, K. Brown, D. A. Coway, G. M. Halls Pilling, J.D. Reynolds and N.K. Dulvy (2009), “Vulnerability of National Economies to Potential Impacts of Climate Change on Fisheries”, Fish and Fisheries, Climate Change: Research to Meet the Challenges Facing Fisheries and Aquaculture, World Fish Centre, Vol. 10, 173-96.

Anagnostou, Ch., G.Chronis, A. Sioulas, A. P. Karagiorgis and Ch.Tziavos (2005), “Morphodynamics and Changes of the Coastlines of Hellas”, State of the Hellenic Marine Environment, Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Oceanography.

Bobori, D. C. and P. S.Economidis (2006), “Freshwater Fishes of Greece: Their Biodiversity, Fisheries and Habitats”, Taylor & Francis, *Aquatic Ecosystem Health & Management* Vol. 9 (4), 407-18.

Brower, R. (2000), “Environmental value transfer: state of the art and future prospects”, *Ecological Economics*, 32,137-52.

Cochrane, K., C. De Young, D. Soto and T. Bahri (2009), “Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge”, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 530.

Dassenakis, M., E. Krasakopoulou and B. Matzara (1994), “Chemical Characteristics of Aetoliko Lagoon, Greece, After an Ecological Shock”, Pergamon, *Marine Pollution Bulletin*, No. 7, Vol. 28, 427-33.

Daw, T., N. Adger, K. Brown and M-C. Badjeck (2009), “Climate Change and Capture Fisheries”, in Cochrane, K., C. De Young, D. Soto and Bahri (eds) *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge*, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Vol. 530, 95-135. FAO: Rome.

D’Orbcastel, E. R., J. P. Blancheton and J. Aubin (2008), “Towards Environmentally Sustainable aquaculture: Comparison between Two Trout Farming Systems Using Life Cycle Assessment”, *Aquacultural Engineering*, Elsevier, Vol. 40, 113-9.

Doukakis, E. (2004), “Accelerated Sea Level Rise and Coastal Vulnerability in the Hersonisos Coastal Region (Crete, Greece)”, *Mediterranean Marine Science*, Hellenic Centre for Marine Research, No. 1, Vol. 5, June.

Egger and Olsson (2009), “Valuing multi-attribute marine water quality”, *Marine Policy*, 33, 201-6.

ELNAIS-Ellenic Network on Aquatic Invasive Species. version (10/2010) <https://services.ath.hcmr.gr>

European Commission (2008), “Protecting and Harnessing the Seas”, Environment for Europeans, Magazine of the Directorate-General for the Environment, Supplement 2008, No. 32.

FAO (1995), “Code of conduct for responsible fisheries”, Rome, 41 p.

FAO (2003-2011), “Fisheries and Aquaculture topics. Ecosystems. Topics Fact Sheets”, in FAO Fisheries and Aquaculture Department [on line]. Rome. Updated (cited 3 March 2011) <http://www.fao.org/fishery/topic/13789/en>

FAO (2008), “Report of the FAO Expert Workshop on Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture”, Rome, Italy, 7-9 April, FAO Fisheries Report No. 870.

Flemming, N.C. and P.L. Woodworth (1988), “Monthly Mean Sea Levels in Greece During 1969-1983 Compared to Relative Vertical Land Movements Measured over Different Timescales”, *Tectonophysics*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Vol. 148, 59-72.

Iliopoulou-Goergudaki, J., V. Kantzaris, P. Katharios, P. Kaspiris, Th. Georgiadis and B. Montesan-tou (2003), “An Application of Different Bioindicators for Assessing Water Quality: A Case Study in the Rivers Alfeios and Pineios (Peloponnesus, Greece)”, *Ecological Indicators*, Vol. 2, 345-60.

Kagalou, I., E. Papastergiadou and I. Leonardos (2008), “Long Term Changes in the Eutrophication Process in a Shallow Mediterranean Lake Ecosystem of W. Greece: Response After the Reduction of External Load”, *Journal of Environmental Management*, Vol. 87, 495-506.

Kavadas, S., G. Bazigos, K. Papaconstantinou and A. Economou (2007), “Fisheries Statistics in Hel-las: Data Collection and Processing”, State of the Hellenic Fisheries, Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Marine Biological Resources.

Konstantinou, I. K., D.G. Hela and T. A. Albanis (2006), “The Status of Pesticide Pollution Surface Waters (Rivers and Lakes) of Greece. Part I. Review on Occurrence and Levels”, *Environmental Pollu-tion*, Vol. 141, 555-70.

Markou, D. A., G. K. Sylaios, V. A. Tsihrintzis, G. D. Gikas and K. Haralambidou (2007), “Water Quality of Vistonis Lagoon, Northern Greece: Seasonal Variation and Impact of Bottom Sediments”, *Desalination*, Vol. 210, 83-97.

Mavrakis, A., S. Lykousis and G. Theoharatos (2004), “Delimitation of the Warm and Cold Period of the Year Based on the Variation of the Aegean Sea Surface Temperature”, *Mediterranean Marine Sci-ence*, Hellenic Centre For Marine Research, No. 1, Vol. 5, June.

Mitraki, C., T. L. Crisman and G. Zalidis (2004), “Lake Koronia, Greece: Shift from Autotrophy to Het-erotrophy with Cultural Eutrophication and Progressive Water-Level Reduction”, *Limnologica*, Vol. 34, 110-6.

Navrud, S. (2006), “International benefit transfer: Methods and validity tests”, *Ecological Econom-ics*, 60, 429-34.

Navrud, S. and R. Ready (eds) (2007), “Environmental Value Transfer: Issues and Methods”, Springer, The Netherlands.

Pagou, K. (2005), “Eutrophication in the Hellenic Coastal Areas”, State of the Hellenic Marine Envi-ronment, Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Oceanography.

Pancucci-Papadopoulou, M. A., K. Kevrekidis, M. Corsini-Foka and N. Simboura (2005), “Changes in Species: Invasion of Exotic Species”, State of the Hellenic Marine Environment, Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Oceanography.

Papoutsoglou, S.E. (1991), “Impact of Aquaculture on the Aquatic Environment in Relation to Applied Production Systems”, European Aquaculture Society Special Publication, No. 16 (Gent, Belgium).

Papoutsoglou, S.E. and G. Tsiha (1994), “Effects of Water Pollution Caused by Organic Material on Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) and European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Physiology”, *Animal Science Review*, Vol. 20, 56-64.

Papoutsoglou, S. E. (1996), “Role of Management in Achievement of Aquaculture’s Production Sys-tems Aims” (Heggberg, T. G., ed.), Proceeding of World Fisheries Congress, Theme 6, 116-20.

Papoutsoglou, S. E., M. J. Costello, E. Stamou and G. Tziha (1996), “Environmental Conditions at Sea-Cages, and Ectoparasites on Farmed European Sea Bass, *Dicentrarchus Labrax*, and Gilt-Head Sea Bream, *Sparus Aurata*, at Two Farms in Greece”, *Aquaculture Research*, Vol. 27, 25-34.

Ready, R. and S. Navrud (2006), “International benefit transfer: Methods and validity tests”, *Eco-logical Economics*, 60: 429-34.

Remoundou, K., F. Adaman, P. Koundouri and P. A. L. D. Nunes (2010), “Are Stated Preferences Sensitive to Funding Sources? A Tax Reallocation Scheme to Value Marine Restoration in the Black Sea”, Working Paper.

Skoulikidis, N. Th. (2009), “The Environmental State of Rivers in the Balkans – A Review within the DPSIR Framework”, *Science of the Total Environment*, Vol. 407, 2501-16.

Vieira, S., P. Newton and ABARE (2008), “Preparing Australian Fisheries and Aquaculture to Adapt to the Potential Impacts of Climate Change”, Gernaut Climate Change Review.

2.4 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία

A. Ελληνική

Βολουδάκης, Δ., Β. Κωτούλας, Γ. Οικονόμου και Α. Καραμάνος. “Πειραματικά δεδομένα ελλειμματικής άρδευσης σε καλλιέργεια αραβοσίτου”, αδημοσίευτα στοιχεία.

Γιάσoglou, Ν. και Κ. Κοσμάς (2004), “Η ερημοποίηση στην Ελλάδα”, Εθνική Επιτροπή κατά της Ερημοποίησης, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Καλύβας, Δ., “Επεξεργασία δεδομένων ερημοποίησης ανά κλιματική ζώνη με τη χρήση GIS”, αδημοσίευτα στοιχεία.

Κωτούλας, Β. (2010), “Μελέτη της επίδρασης της ελλειμματικής άρδευσης στην καλλιέργεια βαμβακιού *Gossypium hirsutum* L., cv Celia”, διδακτορική διατριβή, Αθήνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο.

Παπαναγιώτου, Ε. (2005), “Οικονομική Παραγωγής Γεωργικών Προϊόντων”, Β' Έκδοση, Εκδόσεις Γράφημα, Θεσσαλονίκη.

Πέζαρος, Π. (2004), “Σύντομη Επισκόπηση της Ελληνικής Γεωργίας”, Ιστοσελίδα: http://www.minagric.gr/greek/agro_pol/works.htm

ΥΠΕΧΩΔΕ (2007), “Εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην Ελλάδα από την κλιματική αλλαγή”.

ΥΠΑΑΤ (2010), “Διεύθυνση Αγροτικής Πολιτικής και Τεκμηρίωσης”, ιστοσελίδα: http://www.minagric.gr/greek/agro_pol/3.htm

Ζερεφός, Χ., Γ. Τσελιούδης και Κ. Δουβής, “Κλιματικά δεδομένα για τις δεκαετίες 1991-2000, 2041-2050, 2091-2100 ανά κλιματική ζώνη”, Κέντρο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, αδημοσίευτα στοιχεία για την Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος.

B. Ξενόγλωσσον

Alexandrov, V.A. and G. Hoogenboom (2000), “The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 104, 315-27.

Bindi, M., L. Fibbi, and F. Miglietta (2001), “Free Air CO₂ Enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO₂ concentrations”, *European Journal of Agronomy*, 14, 145-55.

Chartzoulakis, K. and G. Psarras (2005), “Global change effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case of Crete, Greece”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 147-57.

Copenhagen Diagnosis (2009), “Updating the World on the Latest Climate Science”, Allison, I., N. L. Bindoff, R.A. Bindshadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck and A.J. Weaver, The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp.

Doorenbos, J. and A.H. Kassam (1979), “Yield response to Water”, Irrigation & Drainage Paper No. 33, FAO Rome Italy, 193 pp.

European Environmental Agency (EEA) (2008), “Impacts of Europe’s Changing Climate – 2008 Indicator-based Assessment”, Joint EEA/JRC-WHO report, EEA Report No. 4/2008, JRC Reference Report No. JRC47756, European Environment Agency.

European Commission (EC) (2009), “The Role of European Agriculture in Climate Change Mitigation”, SEC 1093 final Commission Staff Working Document.

Food & Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (2009), “The State of Food Insecurity in the World: Economic Crises: Impacts & Lessons Learned”, Electronic Publishing Policy & Support Branch Communication Division, FAO.

Garnaut Climate Change Review (2008), “Viticulture, wine and climate change”, 5-12.

Geerts, S. and D. Raes (2009), “Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas”, *Agricultural Water Management*, 96, 1275-84.

Giannakopoulos, C., P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou and C.M. Goodess (2009), “Climatic changes & associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming”, *Global and Planetary Change*, 68, 209-24.

Gutierrez, A.P., L. Ponti and Q.A. Cossu (2009), “Effects of climate warming on olive and olive fly (*Bactrocera oleae* Gmelin) in California and Italy”, *Climatic Change*, 95, 195-217.

Hansen, J.W., A. Challinor, A.M. Ines, T. Wheeler, and V. Moron (2006), “Translating climate forecasts into agricultural terms: advances and challenges”, *Climate Research*, 33, 27-41.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007a), “Climate Change: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007b), “Summary for Policymakers in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis”, Cambridge University Press.

Kapetanaki, G. and C. Rosenzweig (1997), “Impact of climate change on maize yield in central and northern Greece: a simulation study with ceres-maize”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1, 251-71.

Karamanos, A. (2009), “Possible effects of climate change on crop-weed interactions”, 2nd International Conference on “Novel and sustainable weed management in arid and semi-arid agro-ecosystems”, Santorini, Greece, www.ewrs.org/arid/Santorini.asp

Karamanos, A., G. Economou, G. Livanos and A. Papastavrou (2008), “Evaluating Yield Responses to Water Stress and Drought Resistance Mechanisms of 20 Local Bread and Durum Wheat Landraces”, Agricultural University of Athens, 197.

Kimball, B. A., S. B. Idso, S. Johnson and M. C. Rillig (2007), “Seventeen years of carbon dioxide enrichment of sour orange trees: final results”, *Global Change Biology*, 13, 2171-83.

Kimball, B.A. and S.B. Idso (2001), “CO₂ enrichment of sour orange trees: 13 years and counting”, *Environmental and Experimental Botany*, 46, 147-53.

Kimball, B.A., K. Kobayashi and M. Bindi (2002), “Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment”, *Advances in Agronomy*, 77, 293-368.

Li, A.-G., Y.-S. Hou, G.W. Wall, A. Trent, B.A. Kimball and P.J. Pinter Jr. (2000), “Free-air CO₂ enrichment and drought stress effects on grain filling rate and duration in spring wheat”, *Crop Science*, 40, 1263-70.

Lobell, D.B., M.B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcon and R.L. Naylor (2008), “Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030”, *Science*, 319, 607-10.

McKeon, G. and W. Hall (2000), “Learning from history: preventing land and pasture degradation under climate change”, Final Report to the Australian Greenhouse Office. Queensland Department of Natural Resources and Mines, Brisbane, Australia. www.longpaddock.qld.gov.au/AboutUs/Publications/ByType/Reports/LearningFromHistory

Mendelsohn, R. (2007), “Handbook of Agricultural Economics Volume 3”, Agricultural Development: Farmers, Farm Production & Farm Markets.

Mendelsohn R. and A. Dinar (2009), “Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects”, Edward Elgar, Cheltenham, UK.

Moretti, C.L., L.M. Mattos, A.G. Calbo and S.A. Sargent (2010), “Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review”, *Food Research International*, 43, 1824-32.

Moriondo, M., F.M. Stefanini and M. Bindi (2008), “Reproduction of olive tree habitat suitability for global change impact assessment”, *Ecological Modelling*, 218, 95-109.

Mortensen, L.M. (1994) “Effects of elevated CO₂ concentrations on growth and yield of eight vegetable species in a cool climate”, *Scientia Horticulturae*, 58, 177-85.

OECD (2010), “Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation”, OECD publications.

Olesen, J. and M. Bindi (2002), “Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use & policy”, *European Journal of Agronomy*, 16, 239–262.

Orduna, R.M. (2010), “Climate change associated effects on grape and wine quality and production”. *Research International*, 43, 1844–55.

Orlandini, S., M. Bindi and M. Howden (2009), “Plant biometeorology & adaptation” (K.L. Ebi et al. (eds.) *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability & Change* 1, 107-29.

Paeth, H., A. Capo-Chichi and W. Endlicher, (2008), “Climate change & food security in tropical West-Africa: a dynamic-statistical modelling approach”, *Erdkunde* 62, 101-15.

Parry, M.L., N.W. Arnell, A.J. McMichael, R.J. Nicholls, P. Martens, R.S. Kovats, M.T.J. Livermore, C. Rosenzweig, A. Iglesias and G. Fischer (2001), “Millions at risk: defining critical climate change threats & targets”, *Global Environmental Change*, 11, 181–83.

Pleijel, H., J. Gelang, E. Sild, H. Danielsson, S. Younis, P.-E. Karlsson, G. Wallin, L. Skarby and G. Sellden (2000), “Effects of elevated carbon dioxide, ozone and water availability on spring wheat growth and yield”, *Physiologia Plantarum* 108, 61-70.

Raes, D., P. Steduto, T.C Hsiao and E. Fereres (2009) “AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water II: Main Algorithms & Software Description”, *Agronomy Journal*, 101, 438-47.

Soussana, J.S., A.I. Graux, and N.F. Tubiello (2010), “Improving the use of modeling for projections of climate change impacts on crop & pastures”, *Journal of Experimental Botany* 61, 2217-28.

Stern, N. (2007), “The Economics of Climate Change: The Stern Review”, Cambridge University Press, Cambridge.

Taub, D. (2010), “Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants”. *Nature Education Knowledge*, 1, 21.

Tsiros, E., C. Domenikiotis, and N. Dalezios (2009), “Sustainable production zoning for agroclimatic classification using GIS and remote sensing”, *Symposium on Climate Change and Variability - Agrometeorological Monitoring and Coping Strategies for Agriculture*, Oscarsborg, http://www.cost734.eu/reports-and-presentations/6th-management-committee-meeting-in-oscarsborg/abstract_oscarsborg.pdf.

Tubiello, F.N., Soussana, J.F., Howden, M., & Eaterling, W. (2007), “Fundamental advances in the understanding of crop and pasture response to climate change”. *Proceed. Nat. Acad. Sciences*, Accepted.

Tubiello, F.N., J.F. Soussana and M.S. Howden, (2007), “Crop and pasture response to climate change”. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 104, 19686–90.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2007), “Climate Change: Impacts, Vulnerabilities & Adaptation In Developing Countries”, <http://unfccc.int/resource/docs/publications/impacts.pdf>.

Ventrella, D., L. Giglio, M. Rinaldi, M. Moriondo and M. Bindi (2008), “Vulnerability of some herbaceous crops to climate change in Southern Italy”. *Italian Journal of Agronomy*, 3, 723-724.

2.5 Επιπτώσεις κλιματικής μεταβολής στα δασικά οικοσυστήματα κατά τον 21ο αιώνα

A. Ελληνική

Γκουρμπάτσης, Α. (2010), “Η γεωγραφία αγροτοδασικών πυρκαγιών”, (2000-2010). <http://olympia.gr/2010/08/05/>.

Διεύθυνση Δασών Πέλλας (2010), “Εγκριση πρακτικών δημοπρασίας απόληψης δασικών προϊόντων από τα συν/τα δάση κεδρόνας, λύκων & πατήματος”, Ελληνική Δημοκρατία, Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, Γενική Διεύθυνση Περιφέρειας, Διεύθυνση Δασών Πέλλας, Αρ. Πρωτ. 2919.

ΕΣΥΕ (2007), “Παραγωγή και πώληση βιομηχανικών προϊόντων (ετήσια έρευνα) - στατιστικές δευτερογενούς τομέα prodcom”, Αθήνα.

ΕΣΥΕ (2009), “Εξωτερικό εμπόριο της Ελλάδος”, τεύχος β', Αθήνα.

Ζαφειρίου, Ε., Θ. Κουτρομανίδης, Γ. Αραμπατζής και Σ. Σοφίος (2007), “Μηχανισμός μεταβίβασης τιμών στον τομέα του ξύλου: Μια εμπειρική προσέγγιση. Ελληνικό Στατιστικό Ινστιτούτο”, Πρακτικά 20ού Πανελληνίου Συνεδρίου Στατιστικής, 191-200.

Ζερεφός, Χ. (2009), “Αναφορά προόδου ομάδας κλίματος”, Επιτροπή μελέτης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής, Νοέμβριος.

Παπαναστάσης, Β.Π. (1982), “Παραγωγή των ποολίβαδων σε σχέση με τη θερμοκρασία αέρος και τη βροχή στη βόρεια Ελλάδα”, Διατριβή για Υψηγεία, Θεσσαλονίκη.

Τορορή, Α. (1994), “Προεδρικό Διάταγμα 126/1986”. Πρακτικά συνάντησης Ελληνικής Δασολογικής Εταιρείας, 29-43, Θεσσαλονίκη.

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2010), “Απολογισμός δραστηριοτήτων δασικών υπηρεσιών έτους 2008”, Αθήνα.

Β. Ξενόγλωσσον

Arora, V.K. and G.J. Boer (2001), “Effects of simulated climate change on the hydrology of major river basins”, *Journal of Geophysical Research*, 106, 3335-48.

Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley and A. Unnikrishnan (2007), “Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level”, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds) “Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Bou-Zeid and E. M. El-Fadel (2002), “Climate change and water resources in Lebanon and the Middle East”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128, 343-55.

California Economic Strategy Panel (2002), “Using multipliers to measure economic impacts”.

Carvalho, A., M.D. Flannigan, K.A. Logan, L.M. Gowman, A.I. Miranda and C. Borrego (2010), “The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal under climate change”, *Climate Change* 98, 177-97.

Chmielewski, F.-M. and T. Rötzer (2001), “Response of tree phenology to climate change across Europe”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 101-12.

Dasgupta, P. (2007), “The stern review’s economics of climate change”, *National Institute Economic Review*, 199, 4.

Day, J.W. Jr., D. Pont, P.E. Hensel and C. Ibañez (1995), “Impacts of sea-level rise on Deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: The importance of pulsing events to sustainability”, *Estuaries*, 18, 636-47.

De Dios, V. R., C. Fischer and C. Colinas (2007), “Climate change effects on Mediterranean forests and preventive measures”, *New Forests*, 33, 29-40.

Le Houérou H.L. 1996. “Climate change, drought and desertification”, *Journal of Arid Environments*, 34, 133-85.

FAO (2003), “State of the World’s Forests 2003”, United Nations Food and Agricultural Organization. Rome, Italy.

Flannigan, M.D., B.J. Stocks and B.M. Wotton (2000), “Climate change and forest fires”, *The Science of the Total Environment*, 262: 221-29.

Forestry Commission of Europe (2000), “English forestry contribution to rural economies”.

Founda, D. and C. Giannakopoulos (2007), “The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece – A typical summer in the future climate?”, *Global and Planetary Change*, 67, 227-36.

Giannakopoulos, C., M. Bindi, M. Moriondo, P. Lesager and T. Tin (2005), “Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global temperature rise”, WWF report, Gland Switzerland, Accessed, 1, 2006.

Giannakopoulos, C., D. Founda and C. Zerefos (2007), “Estimating present and future fire risk in Greece: Links with the destructive fires of summer 2007”, National Observatory of Athens, Athens, Greece.

Giannakopoulos, C., P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou and C. M. Goodes (2009), “Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming”, *Global and Planetary change* (in press), doi:10.1016/j.gloplacha.2009.06.001

Griffiths, A. (2002), “Indigenous forestry on private land: Present trends and future potential. MAF”, Technical Paper No 01/6, Prepared for the Indigenous Forestry Unit, Ministry of Agriculture and Forestry, New Zealand.

Johnsen, K., L. Samuelson, R. Teskey, S. MvNulty and T. Fox (2001), “Process models as tools in forestry research and management”, *Forest Science*, 47, 2-8.

Moriondo, M., P. Good, R. Durao, M. Bindi, C. Giannakopoulos and J. Corte-Real (2006), “Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area”, *Climate Research*, 31, 85-95.

Mouillot, F., S. Rambal and R. Joffre (2002), “Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem”, *Global Change Biology*, 8, 423-37.

Newell, R.G. and W.A. Pizer (2003), “Discounting the distant future: How much do uncertain rates increase valuations?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 46, 52-71.

Nicholls, R. (2004), “Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: Changes under the stress climate and socio-economic scenarios”, *Global Environmental Change*, 14, 69-86.

Nicholls, R., F. Hoozemans and M. Marchand (1999), “Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: Regional and global analyses”, *Global Environmental Change*, 9, S69-S87.

Nicholls, R.J. and R.J.T. Klein (2005), “Climate change and coastal management on Europe’s coast”, in Vermaat J.E. et al. (eds) *Managing European coasts: Past, present and Future*, Springer-Verlag Berlin, 199-225.

Nordhaus, W. (2007a), “Economics: Critical assumptions in the Stern review on climate change”, *Science*, 317, 5835: 201.

Nordhaus, W. (2007b), “A review of the Stern review on the economics of climate change”, *Journal of Economic Literature*, 45, 686-702.

oKo Inc. (2001), “Agricultural Water Management Policies in Bulgaria, Hungary, Romania and Slovakia”, Final Report, oKo Inc., Budapest, in Easter K. and Yang Liu (eds) *Cost Recovery and Water Pricing for Irrigation and Drainage Projects, Agriculture and Rural Development Discussion Paper 26* (2005), The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington, DC.

Rahmstorf, S. (2007), “Sea-Level Rise: A semi-Empirical Approach to Projecting Future”, *Science*, 315, 368-70.

Rutty, M.K. (2009), “Will the Mediterranean become “too hot” for tourists? A reassessment”, Ph.D. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.

Schelhaas, M.J., G. Hengeveld, M. Moriondo, G.J. Reinds, Z.W. Kundzewicz, H. ter Maat and M. Bindi (2010), “Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry” (in press), doi: 10.1007/s11027-010-9243-0.

Sohngen, B. and R. Sedjo (2005), “Impacts of climate change on forest product markets: Implications for North American producers”, *Forestry Chronicle*, 81, 669-74.

Stern, N. (2008), “The economics of climate change”, *American Economic Review*, 98, 1-37.

Stern, N., S. Peters, V. Bakhshi, A. Bowen, C. Cameron, S. Catovsky and D. Crane (2006), “Stern review: The economics of climate change”.

Stern, N. and G. Treasury (2007), “The economics of climate change: The Stern review”, Cambridge Univ. Pr.

Thorpe, T. (1998), “Investment in indigenous forestry”, *New Zealand Journal of Forestry*, 43, No 2.

Torn, M.S., E. Mills and J.S. Fried (1999), “Will climate change spark more wildfire damages”, California: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Varian, H. (2006), “Recalculating the costs of global climate change”, The New York Times.

Weitzman, M. (2007), “A review of the Stern review on the economics of climate change”, *Journal of Economic Literature*, 45, 703-24.

2.6 Βιοποικιλότητα και οικοσυστήματα

A. Ελληνική

Δουλγέρης, Χ. και Δ. Παπαδήμος (2010), “Επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής σε υγροτόπους της Ελλάδας”, Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων, αδημοσίευτα δεδομένα.

Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY) (2010), “Η βιοποικιλότητα της Ελλάδας: κατάσταση και τάσεις”.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2007), “Η προσαρμογή της Ευρώπης στην αλλαγή του κλίματος – επιλογές δράσης για την ΕΕ”, Πράσινη Βίβλος που υποβάλλεται από την Επιτροπή προς το Συμβούλιο, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών, COM (2007) 354 τελικό.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2009), “Φύση και βιοποικιλότητα: Ο ρόλος της φύσης στην κλιματική αλλαγή”.

Ντάφης, Σ., Ε. Παπαστεργιάδου, Κ. Γεωργίου, Δ. Μπαμπαλάνας, Θ. Γεωργιάδης, Μ. Παπαγεωργίου, Θ. Λαζαρίδου και Β. Τσιαούση (1997), “Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Το Έργο Οικοτόπων στην Ελλάδα: Δίκτυο ΦΥΣΗ 2000”, Συμβόλαιο αριθμός B4-3200/94/756, Γεν. Διεύθυνση XI, Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας – Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων.

Οικονομίδης, Π.Σ. (2009), “Ψάρια Εσωτερικών Υδάτων”, στο Λεγάκης, Α. και Π. Μαραγκού (επιμ.), *Το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας*, Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία, Αθήνα.

B. Ξενόγλωσση

Alcamo, J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen and A. Shvidenko (2007), “Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, in Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-80.

Alvarez Cobelas, M., J. Catalán and D. García de Jalon (2005), “Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. Evaluación Preliminar des los impactos en España por Efecto del Cambio Climático”, in Moreno, J. M. (ed.), Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 113-46.

Araújo, M.B., W. Thuiller and R.G. Pearson (2006), “Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe”, *Journal of Biogeography* 33, 1712-28.

Berry, P.M., A.P. Jones, R.J. Nicholls and C.C. Vos (eds) (2007), “Assessment of the vulnerability of terrestrial and coastal habitats and species in Europe to climate change, Annex 2 of Planning for biodiversity in a changing climate – BRANCH project Final Report”, Natural England, UK.

Bianchi, C.N. and C. Morri (2000), “Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research”, *Marine Pollution Bulletin*, 40, 5, 367-76.

Bombace, G. (2001), “Influence of climatic changes on stocks, fish species and marine ecosystems in the Mediterranean Sea”, *Archives of Oceanography and Limnology*, 22, 67-72.

Brenner-Guillermo, J. (2007), “Valuation of ecosystem services in the Catalan coastal zone”, Marine Sciences, Polytechnic University of Catalonia.

Campbell, A., V. Kapos, J. P.W. Scharlemann, P. Bubba, A. Chenery, L. Coad, B. Dickson, N. Doswald, M. S. I. Khan, F. Kershaw and M. Rashid (2009), “Review of the Literature on the Links between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation”, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series No. 42.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruel, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt (1997), "The value of the world's ecosystem service and natural capital", *Nature*, 387, 253-60.

Croitoru, L. and M. Merlo (2005), "Mediterranean forest values", in M. Merlo and L. Croitorou (eds) *Mediterranean forests and people: Towards a total economic value*, CABI Publishing, Wallingford, Chapter 3, 105-22.

Dimitriou, E. and E. Moussoulis (2010), "Hydrological and nitrogen distributed catchment modeling to assess the impact of future climate change at Trichonis Lake, western Greece", *Hydrogeology Journal*, 18, 441-54.

European Environment Agency, Joint Research Centre EC and World Health Organization Europe, EEA-JRC-WHO (2008), "Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment", EEA No. 4/2008, Copenhagen, Denmark.

European Environment Agency (EEA) (2005), "Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Europe", EEA Technical Report No. 7/2005, European Environment Agency, Copenhagen.

European Environment Agency (2007), "Europe's Environment – The Fourth Assessment", State of the Environment Report No. 1/2007, Copenhagen.

European Environment Agency (EEA) (2010), "10 messages for 2010. Climate Change and Biodiversity", Copenhagen.

European Environment Agency (EEA) (2010), "10 messages for 2010. Marine Ecosystems", Copenhagen.

Francour, P. (1997), "Fish assemblages of *Posidonia oceanica* beds at Port-Cros (France, NW Mediterranean): assessment of composition and long-term fluctuations by visual census", *Marine Ecology*, 18, 157-73.

French, J.R., T. Spencer and D.J. Reed (eds) (1995), "Geomorphic response to sea-level rise", *Earth Surface Processes and Landforms*, 20, 1-103.

Gambaiani, D.D., P. Mayol, S.J. Isaac and M.P. Simmonds (2009), "Potential impacts of climate change and greenhouse gas emissions on Mediterranean marine ecosystems and cetaceans", *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89, 1, 179-201.

Harrison, P.A., P.M. Berry, N. Butt and M. New (2006), "Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy", *Environmental Science and Policy*, 9, 116-28.

Kazakis, Z D., Z I. N. Ghosn, Z V. P. Vogiatzakis and V. Papanastasis (2007), "Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Lefka Ori, Crete", *Biodiversity and Conservation*, 16, 1603-15.

Levinsky, I., F. Skov, J. C. Svenning and C. Rahbek (2007), "Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals", *Biodiversity and Conservation*, 16, 3803-16.

Malcolm, J.R., C. Liu, R.P. Neilson, L. Hansen and L. Hannah (2006), "Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots", *Conservation Biology*, 20, 538-48.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005), "Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis", World Resource Institute, Washington, DC, USA.

Nicholls, R.J. and F.M.J. Hoozemans (1996), "The Mediterranean: vulnerability to coastal implications of climate change", *Ocean & Coastal Management*, 31, 2-3, 105-32.

Occhipinti-Ambrogi, A. (2007), "Global change and marine communities: alien species and climate change", *Mar. Pollut. Bull.*, 55, 342-52.

Orr, J.C., E. Maier-Reimer, U. Mikolajewicz, P. Monfray, G.C. Ray, B.P. Hayden, A.J. Bulger and M.G. McCormick-Ray (1992), "Effects of global warming on the biodiversity of coastal-marine zones", in Peters, R.L. and T.E. Lovejoy (eds) *Global warming and biological diversity*, New Haven, CT, Yale University Press.

Pancucci-Papadopoulou, M.A., A. Zenetos, M. Corsini-Foka and C.Y. Politou (2005), “Update of marine aliens in Hellenic waters”, *Mediterranean Marine Science*, 6, 147-58.

Roberts, C.M. and J.P. Hawkins (1999), “Extinction risk in the sea”, *Trends in Ecology and Evolution*, 14, 6, 241-45.

Salat, J. and J. Pasqual (2002), “The oceanographic and meteorological station at L’ Estartit (NW Mediterranean)”, in Briand F. (ed.) *Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea*, CIESM Workshop Monograph No. 16, Monaco.

Schröter, D., W. Cramer, R. Leemans, I. C. Prentice, M. B. Araújo, N. W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T. R. Carter, C. A. Gracia, ACdI Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendining, J. I. House, S. Kankaanpää, R. J. T. Klein, S. Lavorel, M. Lindner, M. J. Metzger, J. Meyer, T. D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabaté, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M. T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle and B. Zierl (2005), “Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe”, *Science*, 310, 1333-37.

Schwartz, M.W., L.R. Iverson, A.M. Prasad, S.N. Matthews and R.J. O’Connor (2006), “Predicting extinctions as a result of climate change”, *Ecology*, 87, 1611–15.

Thomas, C., D. Alison, A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M. Ferreira de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, O. L. Phillips and S. E. Williams (2004), “Extinction risk from climate change”, *Letters to Nature, Nature*, 427, 145-8.

Thuiller, W., S. Lavorel, M.B. Araújo, M.T. Sykes and I.C. Prentice (2005), “Climate change threats to plant diversity in Europe”, *PNAS* 102, 23.

2.7 Οικονομικές και φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό

Amelung, B. and A. Moreno. (2009), PESETA – Tourism study: Impacts of climate change in tourism in Europe. EUR Number: 24114, προσβάσιμο στο <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2919> [12/09]

Amelung, B. and D. Viner (2006), “Mediterranean tourism: exploring the future with the tourism climate index”, *Journal of Sustainable Tourism*, 14(4): 349-66.

Bigano, A., J.M. Hamilton and R.S.J. Tol (2006), “The impact of climate on holiday destination choice”, *Clim Change* 76(3-4), 389-406.

Ciscar, J.C. (ed.) (2009), Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project. European Commission, JRC, IPTS and IES.

(de) Freitas, C. R. et al. (2004), “A New Generation Climate Index for Tourism and Recreation”, in A. Matzarakis et al. (eds), *Advances in Tourism Climatology*, Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Freiburg, 19–27, προσβ. στο www.mif.uni-freiburg.de/isb/ws2/report/defreitasscottmcboyle.pdf [11/2010]

(de) Freitas C. R., D. Scott and G. Coyle. (2008), “A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification”. *Int J Biometeorol* 52, 399-407, doi 10.1007/s00484-007-0134-3.

Hamilton, J. M., D. J. Maddison, and R. S. J. Tol. (2008), “Effects of climate change on international tourism”, *CAB Abstracts*.

PKF Study Finds Premiums Doubled Since 1999” (2005), available at <http://www.pkfc.com/> [1/2010]

IPCC (2007a), Climate Change 2007: “Impacts, Adaptation and Vulnerability, Working Group II Contribution to the Fourth Assessment”, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, “Chapter 17: Assessment of Adaptation Practices, Options, Constraints and Capacity”, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC (2007b), Appendix I, Parry M.L. et al. (eds), “Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovern-

mental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, επίσης προσβάσιμο στο <http://www1.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter2.pdf> [11/09]

ICAP (2009), Κλαδική Μελέτη: Ξενοδοχειακές Επιχειρήσεις, Αθήνα.

ΙΤΕΠ (2008), “Η Εικόνα του Ξενοδοχειακού Δυναμικού της Ελλάδας. Ανάγκη Αλλαγής της Πολιτικής των Επενδυτικών Κινήτρων.”

Matzarakis, A. (2002), “Examples of climate and tourism research for tourism demands”, 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology. 27 October-1 November 2002, Kansas City, Missouri, 391-2, προσβάσιμο στο <http://www.mif.uni-freiburg.de/matzarakis/publication.htm> [11/10]

Ματζαράκης, Α. και Β. Κατσούλης (2005), “Διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας στον ελληνικό χώρο”, (εκδ.) Σ. Μιχαηλίδης, στο 7ο Πανελλήνιο (Διεθνές) Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Πρακτικά, Τόμοι Α' και Β', Μετεωρολογικός Σύνδεσμος Κύπρου.

Mieczkowski, Z. (1985), “The Tourism Climatic Index: A method of evaluating world climates for tourism,” *Canadian Geographer*, 29, 220-33.

Nordhaus, W. (2007), “The Stern Review on the Economics of Climate Change”, *Journal of Economic Literature*, American Economic Association, Vol. 45(3), 686-702.

Payet, A.P. (2007), “Impact of Climate Change on Tourism in Seychelles and Comoros”, A Final Report Submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), Project No. SIS90, published by The International START Secretariat, Washington, DC, USA, www.start.org [11/2010].

Scott, D. and G. Coyle (2001), “Using a ‘tourism climate index’ to examine the implications of climate change for climate as a tourism resource”, in Matzarakis, A. and C.R. de Freitas (eds), Proc 1st Int Workshop Climate, Tourism and Recreation, Porto Carras, Neos Marmaras, Halkidiki, Greece, 5 to 10 October 2001, International Society of Biometeorology (available at: www.mif.uni-freiburg.de/isb/ws/report.htm)

(The) PESETA research project (Final report) (2009), Juan-Carlos Ciscar (ed.), “Climate change impacts in Europe”, Spain, προσβάσιμο στο <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2879> [1/2010]

Viner, D. and M. Agnew (1999), Climate Change and Its Impacts on Tourism: Report Prepared for WWF-UK, CRU (Climatic Research Unit), University of East Anglia, Norwich, UK NR4 7TJ.

WTTC (2006) “Ελλάδα: Ο αντίκτυπος του Τουρισμού στην Απασχόληση και την Οικονομία”, London, UK, προσβάσιμο στο www.wttc.org [12/2010]

2.8 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στο δομημένο περιβάλλον

Arnell, N. (2004), “Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios”, *Global Environmental Change*, 14, 31-52.

Arnfield, J. (2003), “Two Decades of Urban Climate Research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island”, *International Journal of Climatology*, 23, 1-26.

Bartuska, T., G. Young and W. McClure (2007), “The Built Environment: A Collaborative Inquiry Into Design and Planning”, New Jersey: John Wiley and Sons.

Cartalis, C. et al. (2001), “Modifications in Energy Demand in Urban Areas as a Result of Climate Changes: An assessment for the Southeast Mediterranean”, *Energy Conversion and Management*, 42: 1647-56.

Du Plessis, C., D. Irurah and R. Scholes (2003), “The Built Environment and Climate Change in South Africa”, *Building Research and Information*, 31, 240-56.

EEA (2007), Climate Change: The cost of inaction and the cost of adaptation, European Environmental Agency Report, No. 13/2007.

EUROSTAT, “Regional Population projection EUROPOP2008” διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/publication?p_product_code=KS-SF-10-001

- Franco, G. and A. Sanstad (2008), “Climate Change and Electricity Demand in California”, *Climatic Change*, 87: S139-S151.
- Garnaut, R. (2008), *The Garnaut Climate Change Review*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Giannakopoulos, C. and B.E. Psiloglou (2006), “Trends in Energy Load Demand for Athens, Greece: Weather and non-weather related factors”, *Climate Research*, 31, 97-108.
- Gonzalez-Rouco, J.F. et al. (2000), “Agreement between Observed Rainfall Trends and Climate Change Simulations in the Southwest of Europe”, *Journal of Climate*, 13, 3057-65.
- Hadley, S. et al. (2006), “Responses of energy use to climate change: A climate modelling study”, *Geophysical Research Letters*, 33, L17703.
- Hanemann, M. (2008), “What is the Economic Cost of Climate Change?”, CUDARE Working Paper No. 1071, Department of Agricultural and Resource Economics, UC Berkeley, retrieved from: <http://www.escholarship.org/uc/item/9g11z5cc>
- Hassid, S. et al. (2000), “The effect of the Athens heat island on air conditioning load”, *Energy and Buildings*, 32, 131-41.
- Hulme, M., et al. (2002), *Climate Change Scenarios for the UK: The UKCIP02 Scientific Report*, Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Hunt, A. and P. Watkiss (2011), “Climate Change impacts and Adaptation in Cities: A Review of the Literature”, *Climatic Change*, 104(1), 13-49.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report to the Intergovernmental Panel of Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press.
- Jollands, N., M. Ruth, C. Bernier and N. Golubiewski (2007), “The climate’s long-term impact on New Zealand infrastructure (CLINZI) project – A case study of Hamilton City, New Zealand”, *Journal of Environmental Management*, 83, 460-77.
- International Energy Agency (2010), “Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy”, International Energy Agency, (2010), “Energy Technology Perspectives, Scenarios and Strategies for 2050”.
- Katsoulis, B. and G. Theoharatos (1985), “Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece”, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24, 1296-302.
- Kirshen, P., W. Anderson and M. Ruth (2008), “Interdependencies of urban climate change impacts and adaptation strategies: a case study of Metropolitan Boston USA”, *Climatic Change*, 86, 105-22.
- Kirshen, P., W. Anderson and M. Ruth (2004), “Climate’s Long-term Impacts on Metro Boston (CLIMB)”, Media Summary.
- Livada, I., et al. (2002), “Determination of Places in the Great Athens Area where the Heat Island is Observed”, *Theoretical and Applied Climatology*, 71, 219-30.
- LCCP (2002), *London’s Warming: London Climate Change Partnership, Final Technical Report*, London: Entec UK Ltd.
- Miller, N.L. (2008), “Climate, extreme heat, and electricity demand in California”, Lawrence Berkeley National Laboratory, retrieved from: <http://escholarship.org/uc/item/6t2922q7>
- Metroeconomica (2006), *Costing the Impacts of Climate Change in the UK: Overview of Guidelines*, UKCIP Technical Report, Oxford.
- Kamal-Chaoui, L. and A. Robert (eds) (2009), “Competitive Cities and Climate Change”, OECD Regional Development Working Papers No. 2.
- Oke, T. (1982), “The Energetic Basis of the Urban Heat Island”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24.
- PESETA (2009), “Climate change impacts in Europe: Final report of the PESETA research project”, Ciscar J.C. (ed.), JRC-IPTS, European Commission.
- Sailor, D., and A. Pavlova (2003), “Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change”, *Energy*, 28, 941-51.

Souch, C. and S. Grimmond (2006), “Applied Climatology: Urban Climate”, *Progress in Physical Geography*, 30, 270-9.

United Nations (2008), *World Urbanization Prospects: The 2007 Revision*, New York: United Nations.

Vandentorren, S., et al. (2004), “Mortality in 13 French Cities During the August 2003 Heat Wave”, *American Journal of Public Health*, 94, 1518-20.

Wilby, R. (2007), “A Review of Climate Change Impacts in the Built Environment”, *Built Environment*, 33, 31-45.

WWF Ελλάς (2008), Λύσεις για τη Κλιματική Αλλαγή: Όραμα Βιωσιμότητας για την Ελλάδα του 2050, Επιστημονική Έκθεση του WWF Ελλάς, Αθήνα, Οκτώβριος.

Younger, M., H. Morrow-Almeida, S. Vindigni and A. Dannenberg (2008), “The Built Environment, Climate Change and Health: Opportunities for Co-Benefits”, *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 517-26.

Founta, D. and J. Aber (2011), in press.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (2007), “Αποτελέσματα Απογραφής Οικοδομών-Κτιρίων”, Πειραιάς, διαθέσιμο από την ψηφιακή βιβλιοθήκη της ΕΛ.ΣΤΑΤ.: <http://dlib.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/>

Ελληνική Στατιστική Αρχή, “Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας”, 2000-2004, 2005-2006, 2007 και 2008, διαθ. από την ψηφιακή βιβλιοθήκη της ΕΛ.ΣΤΑΤ.: <http://dlib.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/>

2.9 Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των μεταφορών

Garnaut, R. (2008), *Garnaut Climate Change Review: final report*, Garnaut Climate Change Review. Available at: <http://apo.org.au/?q=node/3028> [Accessed September 2, 2010].

Ciscar, J.C. et al. (2009), *Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project*. EUR 24093 EN. JRC Scientific and Technical Reports.

Climate Change Impacts and Adaptation Cross-regional Research Programme (2005-2006): Project E – Quantifying the cost of impacts and adaptation, Defra Metroeconomica Ltd, UK.

Εθνική Λιμενική Πολιτική (2006), Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας.

European Energy and Transport, Trends to 2030 – Update 2007, European Commission, DG Energy and Transport, ISBN 978-92-79-07620-6.

Ερευνητικό Πρόγραμμα του 7ου Προγράμματος Πλαισίου (2009-2012): *Weather Extremes: Assessment of Impacts on Transport Systems and Hazards for European Regions*.

Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation (2008), Introductory chapter, Transport Research Board Special Edition 290, National Research Council of the National Academies.

Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation (2008), Chapter 3, Impacts of climate change on transportation, Transport Research Board Special Edition 290, National Research Council of the National Academies.

2.10 Κλιματική αλλαγή και υγεία

Analitis, A., K. Katsouyanni, K. Dimakopoulou, E. Samoli, A. Nikolouloupoulos, Y. Petasakis, G. Touloumi, J. Schwartz, H.R. Anderson, K. Cambra, F. Forastiere, D. Zmirou, J. Vonk, L. Clancy, B. Kriz, J. Bobvos and J. Pekkanen (2006), “Short-Term Effects of Ambient Particles on Cardiovascular and Respiratory Mortality”, *Epidemiology*, 2006, 17: 2, 230-3.

CDC (2009), “The Interagency Working Group on Climate Change and Health (IWGCCCH), A Human Health Perspective on Climate Change: A report outlining the research needs on the human health effects on climate change”, *Environmental Health Perspectives*, National Institute of Environmental Health Sciences.

- Chan, M. (2008), “Climate Change and health: preparing for unprecedented challenges”, WHO, Geneva.
- Gerasopoulos E., G. Kouvarakis, M. Vrekoussis, C. Donoussis, N. Mihalopoulos, and M. Kanakidou (2006), “Photochemical ozone production in the Eastern Mediterranean”, *Atmos. Environ.*, 40, 3057-69.
- Gryparis, A., B. Forsberg, K. Katsouyanni, A. Analitis, G. Touloumi, J. Schwartz, E. Samoli, S. Medina, H.R. Anderson, E.M. Niciu, H.E. Wichmann, B. Kriz, M. Kosnik, J. Skorkovsky, J.M. Vonk and Z. Dörtbudak (2004), “Acute effects of ozone on mortality from the Air Pollution and Health: A European Approach project”, *Am J Respir Crit Care Med.* 170: 1080-7.
- Kalabokas, P.D., A. Volz-Thomas, J. Brioude, V. Thouret, J.-P. Cammas and C.C. Repapis (2007), “Vertical ozone measurements in the troposphere over the Eastern Mediterranean and comparison with Central Europe”, *Atmos. Chem. Phys.* 7:3783-90.
- Kalabokas, P.D., N. Mihalopoulos R. Ellul, S. Kleanthous and C.C. Repapis (2008), “An investigation of the meteorological and photochemical factors influencing the background rural and marine surface ozone levels in the Central and Eastern Mediterranean”, *Atmospheric Environment*, 42: 7894-906.
- Katsouyanni, K., D. Trichopoulos, X. Zavitsanos and G. Touloumi (1988), “The 1987 Athens heat wave”, *Lancet*.
- Kourtidis, K., C. Zerefos, S. Rapsomanikis, V. Simeonov, D. Balis, P.E. Perros, A.M. Thomson, J. Witte, B. Calpini, W.M. Sharobiem, A. Papayannis, N. Mihalopoulos and R. Drakou (2002), “Regional levels of ozone in the troposphere over eastern Mediterranean”, *J. Geoph. Res.*, 107(D18), 8140, doi 10.1029/2000JD000140.
- Kouvarakis, G., K. Tsigaridis, M. Kanakidou and N. Mihalopoulos (2000), “Temporal variations of surface regional background ozone over Crete Island in the southeast Mediterranean”, *J. Geoph. Res.*, 105(D4), 4399-4407.
- Kouvarakis, G., M. Vrekoussis, N. Mihalopoulos, K. Kourtidis, B. Rappenglueck, E. Gerasopoulos and C. Zerefos (2002), “Spatial and temporal variability of tropospheric ozone in the boundary layer above the Aegean Sea (eastern Mediterranean)”, *J. Geoph. Res.*, 107(D18), 8137, doi: 10.1029/2000JD000081.
- Lelieveld, J., H. Berresheim, S. Borman, et al., (2002), “Global air pollution crossroads over the Mediterranean”, *Science*, 298, 794-9.
- Nastos, P.T., A. Matzarakis (2011), “The effect of air temperature and physiologically equivalent temperature on mortality in Athens, Greece”, *Int. J. Biometeorol.* (under review).
- Nastos, P.T., A.G. Paliatsos, M.B. Anthracopoulos. E.S. Roma and K.N. Priftis (2010), “Outdoor particulate matter and childhood asthma admissions in Athens, Greece: a time-series study”, *Environ. Health*, 9:45, doi:10.1186/1476-069X-9-45.
- Neira M et al. (2008) “T Year 2008. A Breakthrough year for Health Protection from Climate Change?” *American Journal of Preventive Medicine*, 2008; 5 (5)
- Samoli, E., E. Aga, G. Touloumi, K. Nisiotis, B. Forsberg, A. Lefranc, J. Pekkanen, B. Wojtyniak, C. Schindler, E. Niciu, R. Brunstein, M. Dodič Fikfak, J. Schwartz and K. Katsouyanni (2006), “Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project”, *Eur Respir J* 2006; 27: 1129-37, *Eur Respir J.* 2006 June;27(6):1129-38. Epub 2006 Mar 15.
- Samoli, E., P.T. Nastos, A.G. Paliatsos, K. Katsouyanni and K.N. Priftis (2011), “Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification”, *Environ. Res.*, 111, 418-424, doi:10.1016/j.envres.2011.01.014.
- Watkiss, P., L. Horrocks, S. Pye, A. S. Searl, and A. A. Hunt (2009), “Impacts of Climate Change in Human Health in Europe”, PESETA-Human health study, EUR 24135EN.
- World Health Organization (WHO) (2002), “World Health Report 2002: Reducing risks, promoting healthy life”, Geneva.
- World Health Organization (WHO) (2003), “Climate Change and Human Health: Risks and Responses”.

World Health Organization WHO (2008), “Protecting health from Climate change: World Health Day 2008”, Geneva.

Zerefos, C., K. Kourtidis, D. Melas, D.S. Balis, P. Zanis, L. Katsaros, H. T. Mantis, C. Repapis, I. Isaksen, J. Sundet, J. Herman, P.K. Bhartia and B. Calpini (2002), “Photochemical Activity and Solar Ultraviolet Radiation (PAUR) Modulation Factors: An overview of the project“, *J. Geophys. Res.*, 107, D18, 8134, doi: 10.1029/2000JD000134.

2.11 Επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία

A. Ελληνική

Βαγιωνά, Δ. και Γ. Μυλόπουλος (2005), “Ζήτηση του Νερού και Τιμολογιακή Πολιτική στο Βιομηχανικό Τομέα”, Heleco '05, TEE, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου, 1-9.

Λεονάρδος, Μ. (άγνωστο), “Λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ – Παράγοντας ενεργειακής ασφάλειας για τη χώρα και μοχλός οικονομικής ανάπτυξης στη Δυτική Μακεδονία – Προοπτικές”, διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://www.scribd.com/doc/33996525/%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%97%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3-CE%9B%CE%99%CE%93%CE%9D%CE%99%CE%A4%CE%97%CE%A3-%CE%9B%CE%95%CE%9F%CE%9D%CE%91%CE%A1%CE%94%CE%9F%CE%A3-%CE%9C%CE%91%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A3>

Οικονομόπουλος, Ι. Ν. (1971), “Τα υπόγεια ύδατα κατά την εκμετάλλευση των μεταλλείων. Αντιμετώπιση περιστατικού απειλητικής εισροής, Επιστημονική Επετηρίς SMIT, Τόμος Α’.

Οικονομόπουλος, Ι. Ν. (1971), “Εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου και επιπτώσεις στο περιβάλλον”, Δελτίο Νο. 5/1991 Συνδέσμου γεωλόγων-μεταλλειολόγων Κύπρου.

Στουρνάρας, Γ. (2010), “Παρατηρήσεις – Κλιματικές μεταβολές”, τελικό παραδοτέο, ΕΜΕΚΑ, ΤτΕ, Αθήνα.

Τζεφέρης, Π. (2009), “Η Εξορυκτική/Μεταλλουργική Δραστηριότητα στην Ελλάδα – Στατιστικά Δεδομένα 2007-2008”, *Ορυκτός Πλούτος*, 153, 1-16.

Τουρκολιάς, Χ. (2010), “Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την αποτίμηση περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων της ηλεκτροπαραγωγής”, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.

B. Ξενόγλωσση

Eriksson, N. and P. Adamek (2000), “The tailings pond failure at the Aznalcóllar mine, Spain”, Sixth International Symposium in Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Calgary, Alberta, Canada.

Ford, J., T. Pearce, J. Prno, F. Duerden, L. Berrang-Ford, T. Smith, and M. Beaumier (2011), “Canary in a coal mine: perceptions of climate change risks and response options among Canadian mine operations”, *Climatic Change*, 1-17, doi:10.1007/s10584-011-0029-5.

Ford, J., T. Pearce, J. Prno, F. Duerden, L. Berrang-Ford, M. Beaumier and T. Smith (2010), “Perceptions of climate change risks in primary resource use industries: a survey of the Canadian mining sector”, *Regional Environmental Change*, 10(1), 65-81, DOI: 10.1007/s10113-009-0094-8.

Ghose, M. (2004), “Emission factors for the quantification of dust in Indian coal mines”, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 63, 763-8.

IPCC (2007), “Climate change 2007: the physical science basis”, in: Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.

Menegaki, M. and D. Damigos (2009), “Designing surface mining rehabilitation works: A new approach towards cost-effective solutions”, Third AMIREG International Conference in Assessing the Footprint of Resource Utilization and Hazardous Waste Management, Athens, Greece, 291-6.

Mining Association of Canada (MAC) (2007), “Towards sustainable mining – progress report 2007”, available from: http://www.mining.ca/www/_news/news_502.php (πρόσβαση: Απρίλιος 2011).

Moriondo, M., P. Good, R. Durao, M. Bindi, C. Giannakopoulos, and J. Corte Real (2006), “Poten-

tial impact of climate change on forest fire risk in Mediterranean area”, *Climate Research*, Special issue 13, 31, 85-95.

Pearce, T., J. Ford, F. Duerden and J. Prno (2009), “Climate change impacts and adaptations in the Canadian mining sector”, Report for the David Suzuki Foundation.

Pearce, T., J. Ford, J. Prno, F. Duerden, J. Pittman, M. Beaumier, L. Berrang-Ford, and B. Smit (2011), “Climate change and mining in Canada”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(3), 347-68 (22).

Prommer, M. and K. Skwarek (2001), “Report on the Economic and Social Impacts of the Cyanide Spill and Heavy Metal Pollution on River Tisza”, Report prepared for the Center for Environmental Studies (KTK-CES) of the World Wide Fund for Nature in the year 2000.

Sauchyn, D. and S. Kulshreshtha (2008), “Prairies”, in Lemmen, D.S., F.J. Warren, J. Lacroix and E. Bush (eds) *From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007*, Government of Canada, Ottawa, ON, 275-328.

Tourkolias, C., S. Mirasgedis, D. Damigos and D. Diakoulaki (2009), “Employment benefits of electricity generation: A comparative assessment of lignite and natural gas power plants in Greece”, *Energy Policy*, 37(10), 4155-66.

US Environmental Protection Agency – USEPA (1995), “Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors”, available at: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/> (πρόσβαση: Απρίλιος 2011).

Williamson, T.B, J.R. Parkins and B.L. McFarlane (2005), “Perceptions of climate risk to forest ecosystems and forest-based communities”. *Forestry Chronicle*, 81(5), 710-16.

Κεφάλαιο 3

Τα οικονομικά της κλιματικής μεταβολής στην Ελλάδα

3.1 Περί του κόστους της κλιματικής μεταβολής*

3.1.1 Γιατί οι αγορές αποτυγχάνουν να προστατεύσουν το περιβάλλον

Η συμβατική οικονομική επιστήμη αποδίδει την κακοδιαχείριση του περιβάλλοντος στην ελαττωματική λειτουργία της οικονομίας της αγοράς, ιδίως στην περίπτωση κατά την οποία οι φυσικοί πόροι ή υπηρεσίες του περιβάλλοντος δεν προστατεύονται επαρκώς από δικαιώματα ιδιοκτησίας. Όταν π.χ. μια επιχείρηση εκλύει ρύπους σε ένα ποτάμι, κάνει χρήση των υπηρεσιών του ποταμού χωρίς να πληρώνει γι' αυτές. Με τον τρόπο αυτό όμως προκαλεί βλάβη σε άλλους που αξιοποιούν τις υπηρεσίες του ποταμού για αναψυχή, αλιεία, λήψη νερού, διαβίωση, κ.λπ. Αν ο ποταμός προστατευόταν από δικαιώματα ιδιοκτησίας, κανένας δεν θα μπορούσε να τον χρησιμοποιεί χωρίς τη συγκατάθεση του “ιδιοκτήτη”. Ουσιαστικά όλοι οι δυνητικοί χρήστες του ποταμού θα έπρεπε να ανταγωνιστούν μεταξύ τους για τη χρήση του και η αξία των υπηρεσιών του θα προστατευόταν, οπότε σε αυτές θα αποδιδόταν μια μη μηδενική τιμή. Στην περίπτωση που δεν υφίσταται κάποιας μορφής θεσμική προστασία, ο ποταμός θα υφίσταται υπερεκμετάλλευση από τη ρυπαίνουσα επιχείρηση, η οποία κατά τον τρόπο αυτό τον χρησιμοποιεί ως ένα δωρεάν πόρο με μηδενική τιμή. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό ως “εξωτερικότητα”, επειδή η επιχείρηση θεωρεί ότι οι βλάβες που προκαλεί σε άλλους είναι “εξωτερικές” και δεν απασχολούν την ίδια. Επειδή δεν καλείται να “πληρώσει” για τις βλάβες, έχει την τάση να ρυπαίνει σε βάρος άλλων σημαντικών υπηρεσιών από το ποτάμι. Για να λειτουργούν σωστά οι αγορές, όλοι οι πόροι, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών, πρέπει να προστατεύονται με δικαιώματα ιδιοκτησίας (ιδιωτικά ή δημόσια)¹ και να επιβάλλεται μια μη μηδενική τιμή για τη χρήση τους.

Ενώ πολλά συνήθη αγαθά και υπηρεσίες αντιμετωπίζονται λιγότερο ή περισσότερο αποτελεσματικά μέσω της αγοράς, για πολλές περιβαλλοντικές υπηρεσίες η διαχείρισή τους από την

* Το Υποκεφάλαιο 3.1 συνέγραψε ο Ανδρέας Παπανδρέου.

¹ Τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα δεν είναι απαραίτητο να είναι ιδιωτικού χαρακτήρα. Θα μπορούσαν να έχουν τη μορφή ιδιοκτησιακών δικαιωμάτων που κατέχει το Δημόσιο. Η κυβέρνηση θα μπορούσε να επιβάλει ένα τέλος χρήσης ή να χρεώνει μια τιμή στους χρήστες των πόρων αυτών, οι οποίοι έτσι αποκτούν αξία ή μια μη μηδενική τιμή. Είναι κρίσιμης σημασίας η ύπαρξη θεσμικού ελέγχου σχετικά με τη χρήση των πόρων αυτών.

αγορά είναι δύσκολη λόγω των ιδιαιτεροτήτων τους.² Το γεγονός ότι η ατμόσφαιρα αντιμετωπίζεται ως ένας δωρεάν, μη τιμολογημένος, πόρος εξηγεί γιατί δεν παρέχεται κίνητρο στην αγορά για να προστατεύσει τις πολύτιμες υπηρεσίες της ατμόσφαιρας. Επιπλέον, λόγω της περίπλοκης φύσης των διαφόρων περιβαλλοντικών υπηρεσιών, είναι πολύ πιο δύσκολος ο καθορισμός των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας προκειμένου να διασφαλιστεί η επαρκής προστασία τους. Συχνά οι περιβαλλοντικές υπηρεσίες συνάδουν με την παροχή δημόσιων αγαθών, επειδή η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος επηρεάζει πολλά άτομα ταυτόχρονα και επομένως τα άτομα δεν έχουν θέληση πληρωμής για ένα καθαρότερο περιβάλλον, καθώς προσδοκούν να αποκομίσουν οφέλη από άλλους οι οποίοι θα πληρώσουν.

Σε περίπτωση αποτυχίας της αγοράς λόγω των κακώς καθορισμένων δικαιωμάτων ιδιοκτησίας, συχνά η λύση έγκειται στον καλύτερο καθορισμό και στην καλύτερη προστασία των δικαιωμάτων επί του συναφούς πόρου. Για πολλές περιβαλλοντικές υπηρεσίες όμως, τα συνήθη δικαιώματα ιδιοκτησίας δεν μπορούν να καθοριστούν και, ακόμη και όταν αυτό είναι εφικτό, μπορεί να μην αποτελεί κατάλληλο τρόπο προστασίας τους. Οι λειτουργίες και οι χρήσεις της ατμόσφαιρας δεν μπορούν να εκχωρηθούν σε ιδιώτες προς πώληση και κατανάλωση ανάλογα με τις επιθυμίες τους. Η ατμόσφαιρα δεν διαθέτει φυσικά όρια που να δηλώνουν την εξάντληση των πόρων.

Ενώ υπάρχουν αυτά τα είδη αποτυχίας της αγοράς, τα οικονομικά του περιβάλλοντος επιδιώκουν να προσδιορίσουν ποια είναι η “σωστή χρήση” ή η “σωστή μέριμνα” για το περιβάλλον. Ποιες ουσίες επιτρέπεται να εκλύονται στην ατμόσφαιρα και σε ποιες ποσότητες; Ποιες είναι οι αποδεκτές χρήσεις της ατμόσφαιρας; Πώς αποφασίζεται ποιος πρέπει ή δεν πρέπει να χρησιμοποιεί την ατμόσφαιρα για να εκλύει ουσίες; Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, το ερώτημα λαμβάνει την εξής μορφή: ποιά ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου ή ποιας έντασης κλιματική αλλαγή πρέπει να επιτραπεί; Οι οικονομολόγοι επιχειρούν να απαντήσουν σε ανάλογα ερωτήματα προσπαθώντας να προσδιορίσουν τη ζημία ή το κόστος που θα προκύψει από την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και να τα συγκρίνουν με το κόστος μείωσης των εκπομπών. Αν οι οικονομολόγοι μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό του ορθού ή του αποδεκτού μεγέθους εκπομπών, το επόμενο ζήτημα είναι συνήθως να προσδιοριστεί η πιο αποτελεσματική ή η χαμηλότερου κόστους μέθοδος επίτευξης αυτού του μεγέθους.

3.1.2 Ιδιαιτερότητες των οικονομικών της κλιματικής αλλαγής

Τα αίτια και οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι παγκόσμια. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή ανεξάρτητα από την περιοχή και τη δρα-

² Π.χ., η άντληση και η διανομή πετρελαίου διέπεται από σαφώς καθορισμένα ιδιοκτησιακά δικαιώματα. Καθώς το πετρέλαιο γίνεται όλο και πιο σπάνιος πόρος, οι υψηλότερες τιμές αποτρέπουν την πολύ γρήγορη εξάντληση των αποθεμάτων ή τη σπατάλη στη χρήση του.

στηριότητα από την οποία προέρχονται. Παρόλο που κάθε χώρα και κάθε τομέας της οικονομίας μπορεί να εκλύει διαφορετικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου, η επίπτωση της έκλυσης ενός επιπλέον τόνου αερίων του θερμοκηπίου είναι ίδια ανεξάρτητα από την προέλευσή του. Μάλιστα, οι επιπτώσεις είναι παγκόσμιες και όχι επικεντρωμένες στη χώρα εκπομπής. Σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες και οι τομείς της οικονομίας συμβάλλουν άμεσα ή έμμεσα στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθιστώντας την κλιματική αλλαγή πρωτοφανή ως προς το εύρος των εμπλεκόμενων δραστηριοτήτων. Ομοίως, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι τόσο εκτεταμένες ώστε κανένας τομέας της οικονομίας και της κοινωνίας να μην παραμένει ανέπαφος.

Οι μεταβολές των τοπικών κλιματικών συνθηκών εξαιτίας της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους, όμως εξαρτώνται σε κάθε περίπτωση από το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα και τον τρόπο με τον οποίο αυτό επηρεάζεται από τη συσσώρευση εκπομπών σε παγκόσμια κλίμακα. Το ότι η κλιματική αλλαγή εξαρτάται από τη συσσώρευση εκπομπών διαχρονικά έχει μεγάλη σημασία για την οικονομική ανάλυση αλλά και για τη χρονική διαδοχή των επιθυμητών μειώσεων των εκπομπών.

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής εκτυλίσσονται επί μακρό χρόνο και επιμένουν για πολύ μεγάλες χρονικές περιόδους. Τα αέρια του θερμοκηπίου παραμένουν στην ατμόσφαιρα για εκατοντάδες χρόνια και το κλιματικό σύστημα αντιδρά αργά στις αυξημένες συγκεντρώσεις. Επίσης, οι χρονικές υστερήσεις και η αδράνεια καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο αντιδρούν το περιβάλλον, η οικονομία και η κοινωνία στην κλιματική αλλαγή. Απαιτείται γνώση αυτών των σύνθετων χρονικών προτύπων για την κατανόηση των επιπτώσεων και τη διαμόρφωση ορθής πολιτικής. Ένα ιδιαίτερα δύσκολο ζήτημα είναι η μορφή της διαχρονικής διασποράς του οφέλους και της ζημίας. Το μεγαλύτερο μέρος των πιθανών ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής θα επιβαρύνει τις μελλοντικές γενεές, ενώ το κόστος για την ανάληψη δράσης πρέπει να το επωμιστούν οι παρούσες γενεές.

Ο χαρακτήρας και το μέγεθος της αβεβαιότητας που είναι συνυφασμένη με την κλιματική αλλαγή, καθώς και οι επιπτώσεις της, επιβάλλουν χειρισμό του κινδύνου και της αβεβαιότητας, πράγμα που αποτελεί σημαντική πρόκληση και βασικό στοιχείο της ανάλυσης των οικονομικών της κλιματικής αλλαγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ πολλές πτυχές των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι αβέβαιες, υφίσταται συμφωνία σχεδόν όλων των επιστημόνων ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή όντως συμβαίνει, και ταυτόχρονα υπάρχει ομοφωνία και σχετικά με το εύρος των αναμενόμενων αυξήσεων της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτό δεν μειώνει τη μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με πολλές πτυχές της κλιματικής αλλαγής και τις επιπτώσεις της, όπως π.χ. σε πόσο υψηλά επίπεδα μπορεί να φθάσει η θερμοκρασία, ποια πιθανότητα αποδίδεται στο ενδεχόμενο καταστροφικής κλιματικής αλλαγής, πώς οι διάφορες χώρες θα προσαρμοστούν στην κλιματική αλλαγή, ποια η φύση και η έκταση των φυσικών και οικονομικών ζημιών, κ.λπ.

Η οικονομική ανάλυση των σχετικά μικρών ή οριακών έργων, επιπτώσεων και αποτυχιών της αγοράς έχει μακρά ιστορία και έχουν πραγματοποιηθεί αρκετά υψηλού επιπέδου έρευνες. Όμως, για τις μεγάλες, μη οριακές επιπτώσεις που επηρεάζουν μεγάλα τμήματα μιας οικονομίας ή περιφέρειας, αυτή η ανάλυση κόστους-οφέλους αντιμετωπίζει σοβαρές δυσκολίες. Το ασυνήθιστα μεγάλο πεδίο αιτίων και συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, με τις τόσο πολλές και περίπλοκες αλληλεξαρτήσεις και χρονική δυναμική, δοκιμάζει τα όρια αντοχής κάθε οικονομικής μεθοδολογίας. “Η ανάλυση πρέπει να καλύπτει ένα πολύ ευρύ φάσμα και να περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τα οικονομικά: της ανάπτυξης και μεγέθυνσης, των κλάδων, των καινοτομιών και των τεχνολογικών αλλαγών, των θεσμών, της διεθνούς οικονομίας, της δημογραφίας και της μετανάστευσης, των δημόσιων οικονομικών, της πληροφόρησης και της αβεβαιότητας, τα οικονομικά του κινδύνου και της περιουσίας, και, τέλος, τα οικονομικά του περιβάλλοντος σε όλα τα πεδία εφαρμογής τους” (Stern and Treasury, 2007).

Όλα αυτά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά καθιστούν την κλιματική αλλαγή τη σαφώς μεγαλύτερη και την πλέον περίπλοκη αποτυχία αντιμετώπισης εξωτερικού κόστους εκ μέρους των θεσμικών μηχανισμών της οικονομίας. Επίσης, παρόλο που αυξάνεται ο πλούτος των πληροφοριών χάρη στην οικονομική ανάλυση της κλιματικής αλλαγής, τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής εξακολουθούν να παραμένουν σε φάση επιστημονικής έρευνας η οποία απαιτείται να ενσωματώσει περαιτέρω θεωρητικές και εμπειρικές καινοτομίες.

3.1.3 Υπολογίζοντας το κόστος και το όφελος

Κάθε οικονομική ανάλυση που επιχειρεί να κατανοήσει πώς οι ανθρώπινες ενέργειες επηρεάζουν την ανθρώπινη ευημερία αναπόφευκτα περιλαμβάνει ηθικά ζητήματα (π.χ. σχετικά με τη διανομή πόρων μεταξύ κοινωνικών ομάδων, μεταξύ χωρών ή μεταξύ γενεών). Με δεδομένη την κλίμακα και το εύρος των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε πολλές διαστάσεις της ανθρώπινης ευημερίας, στο βαθμό κατά τον οποίο η προσέγγιση της ανάλυσης περιλαμβάνει ηθικές κρίσεις, πρέπει να διέπεται από επαρκή διαφάνεια σχετικά με τις υποθέσεις, οι οποίες είναι βέβαιο ότι διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην ανάλυση.

Μεγάλο μέρος της ανάλυσης που είναι προσανατολισμένη στη χάραξη πολιτικής και αφορά στα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής στηρίζεται σε ένα συγκεκριμένο ηθικό πλαίσιο που βασίζεται στη συνήθη Οικονομική της Ευημερίας. Συνήθως το εισόδημα ή η κατανάλωση χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ικανοποίησης ενός ατόμου. Δεδομένου ότι οι συνέπειες των διαφόρων μορφών πολιτικής συχνά διαφέρουν από άτομο σε άτομο και διαφοροποιούνται χρονικά και χωρικά, η ερευνητική προσπάθεια έγκειται στην εξεύρεση μιας κοινής μονάδας αποτίμησης του κόστους και του οφέλους, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει άθροιση και να προκύψει ένα μέτρο (δείκτης) επιτυχίας της πολιτικής. Μολονότι αυτό το ερευνητικό πλαίσιο είναι αρκετά ελαστικό και επιτρέπει τη θεώρηση των προβλημάτων από ένα πλήθος εναλλακτικών ηθικών οπτικών γωνιών, εξακολουθεί να πάσχει από σημαντικές ελλείψεις.

Π.χ., οι προσεγγίσεις αυτές λαμβάνουν τις ατομικές προτιμήσεις ως δεδομένες και δεν αφήνουν περιθώρια για το ενδεχόμενο θεμελιώδους αλλαγής των προτιμήσεων. Αν οι άνθρωποι προτιμούν ιδιαίτερα τα αυτοκίνητα έναντι άλλων αγαθών, τότε μια οικονομία που παράγει περισσότερα αυτοκίνητα είναι καλή. Το ενδεχόμενο να αλλάξουν σημαντικά οι προτιμήσεις μετά από συζήτηση ή αυτοεξέταση δεν προβλέπεται. Είναι όμως δυνατόν να εξεταστούν εναλλακτικά ηθικά πλαίσια, που δίνουν λιγότερη έμφαση στην ικανοποίηση των προτιμήσεων ή δίνουν σημασία στη διασφάλιση δικαιωμάτων και την τήρηση διαδικασιών. Αξίζει να διερευνηθούν εναλλακτικές ηθικές οπτικές ως προς τον προβληματισμό στον οποίο βασίζονται και τις συνέπειές τους, παρά το ότι αυτές δεν είναι εξοπλισμένες με τα αναλυτικά και πρακτικά εργαλεία των οικονομικών της ευημερίας. Υπάρχουν ενδιαφέρουσες εναλλακτικές θεωρίες σχετικά με τη λειτουργία της οικονομίας και τη σχέση της με το περιβάλλον.³ Πολλές από αυτές τηρούν έντονα κριτική στάση απέναντι στη συμβατική οικονομική επιστήμη και στα οικονομικά της ευημερίας. Παρόλο που οι θεωρίες αυτές έχουν πολλά θετικά να προσφέρουν, συχνά δεν διαθέτουν τα εργαλεία για αναλυτική υποστήριξη της άσκησης πολιτικής, αν και είναι σημαντικό να υπάρχουν κατά νου εναλλακτικές ηθικές οπτικές γωνίες και θεωρίες για την αλληλεπίδραση οικονομίας-περιβάλλοντος και τους συνακόλουθους περιορισμούς της οικονομικής της ευημερίας. Η ανάλυση που διεξάγεται στην παρούσα μελέτη εφαρμόζει τη συμβατική οικονομική της ευημερίας, κληρονομώντας τα θετικά και τα τρωτά σημεία της.

Όταν αποφασίζεται μια πορεία δράσης, σχεδόν ενστικτωδώς σταθμίζεται το πιθανό κόστος και όφελος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τρόπου σκέψης είναι η συχνή αμφιταλάντευση για το κατά πόσον αξίζει να χρησιμοποιηθεί η πυρηνική ενέργεια, να κατασκευαστεί ένα στάδιο ή ένας δρόμος ή να επιβληθούν ρυθμίσεις σχετικά με διάφορους ρύπους. Η ανάλυση κόστους-οφέλους ως διακριτή μέθοδος βασίζεται περισσότερο στη σαφή αξιολόγηση και στην πλήρη ερμηνεία των λόγων για τους οποίους λαμβάνεται η απόφαση, έτσι ώστε η εν λόγω απόφαση να μην αρκεί να στηρίζεται σε κάποιο έμμεσο επιχείρημα ή πεποίθηση. Μια άλλη κύρια αρχή της εν λόγω ανάλυσης είναι ότι το κόστος και το όφελος εκτιμώνται με βάση τις συνέπειες των υποψήφιων προς επιλογή δράσεων. Στις συνέπειες δεν χρειάζεται να περιλαμβάνονται μόνο συνιστώσες όπως η ευτυχία ή η ικανοποίηση των προτιμήσεων, στις οποίες τείνουν να εστιάζουν την προσοχή τους οι ωφελιμιστές, αλλά και το κατά πόσον παραβιάζονται δικαιώματα ή τηρούνται κάποιες διαδικασίες. Επίσης, η ανάλυση κόστους-οφέλους επιχειρεί να αθροίσει αλγεβρικά το κόστος με το όφελος, προκειμένου να προσδιορίσει αν το συνολικό αποτέλεσμα είναι θετικό ή αρνητικό. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μια κοινή μονάδα μέτρησης για όλες τις συνέπειες, πράγμα που εγείρει το ζήτημα του τρόπου στάθμισης διαφορετικών πραγμάτων, ώστε αυτά να εκφραστούν με κοινή μονάδα (Sen, 2004).

³ Η “οικολογική οικονομική” αμφισβητεί πολλές από τις παραδοχές της “περιβαλλοντικής οικονομικής”. Εναλλακτικές θεωρίες για τη λειτουργία της οικονομίας είναι ενδεικτικά η Θεσμική Οικονομική, η Εξελικτική Οικονομική και η Μαρξιστική Οικονομική.

Ένα θεμελιώδες ερώτημα για τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής είναι και κατά πόσον το κόστος δράσης για να περιοριστούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι μικρότερο από το όφελος της αποτροπής της κλιματικής αλλαγής ή το κατά πόσον πρέπει να ληφθούν γενναία μέτρα ή να ακολουθηθεί μια πιο σταδιακή προσέγγιση. Το κόστος δράσης πρέπει να συγκριθεί με το κόστος απραξίας, μέσα από μια περίπλοκη σύγκριση.

Υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με πολλά θέματα: την τεχνολογία που θα είναι διαθέσιμη στο μέλλον και το κόστος της, την ικανότητα των κοινωνιών και των οικοσυστημάτων να προσαρμόζονται, την έκταση των ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής, τις καιρικές συνθήκες, το ύψος της θερμοκρασίας, το κατά πόσον θα υπάρξουν σημεία καμπής ή κατώτατα σημεία πέραν των οποίων μπορούν να υπάρξουν καταστροφικές επιπτώσεις, κ.λπ. Ανακύπτουν θέματα αξιολογικών κρίσεων κατά τη σύγκριση των αναδιανεμητικών επιπτώσεων από χρονική και χωρική άποψη. Το κόστος μετριασμού που επωμίζεται μια γενεά συνεπάγεται οφέλη για τις μελλοντικές γενεές. Μερικές περιοχές θα ωφεληθούν περισσότερο από τη μείωση των εκπομπών, ενώ μερικές άλλες μπορεί να πληρώσουν περισσότερα για το μετριασμό. Οι επιπτώσεις σε αγαθά και υπηρεσίες που αποτελούν αντικείμενο συναλλαγής σε αγορές μπορούν πιο εύκολα να συγκριθούν, αλλά η ανάλυση δυσχεραίνεται όταν επιχειρείται να συγκριθούν οι επιπτώσεις σε αγαθά και υπηρεσίες που δεν έχουν τιμή στην αγορά, όπως συμβαίνει με την υγεία, την ποιότητα ζωής, τα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα.

3.1.4 Το νέο αντικείμενο συζήτησης: η επιχειρηματολογία υπέρ της ανάληψης δράσης

Ενώ υπάρχει ευρεία ομοφωνία μεταξύ των επιστημόνων σχετικά με το ότι πράγματι θα επέλθει κλιματική αλλαγή λόγω συσσώρευσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, υπάρχει πολύ λιγότερη συμφωνία μεταξύ των οικονομολόγων σχετικά με τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής και την επιλογή των κατάλληλων μέτρων. Ο κύριος τομέας διαφωνίας μεταξύ των οικονομολόγων αφορά στην εκτίμηση των οικονομικών ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η συζήτηση δεν γίνεται για το αν πρέπει να ληφθούν μέτρα, αλλά πόσο δραστικά και πόσο άμεσης εφαρμογής πρέπει να είναι. Η απάντηση εξαρτάται κυρίως από το αναμενόμενο μέγεθος των ζημιών. Τα περισσότερα μαθηματικά πρότυπα οικονομικών της κλιματικής αλλαγής, όταν αποτιμούν το κόστος σεναρίων που προβλέπουν αύξηση των εκπομπών χωρίς τη λήψη μέτρων (η συνήθης πρακτική), υπολογίζουν οικονομική απώλεια της τάξεως του 1% έως 2% του παγκόσμιου ΑΕΠ. Η Έκθεση Stern υποστήριξε ότι θα υπάρξει ένα εύρος ζημιών της τάξεως του 5-20% του παγκόσμιου εισοδήματος.⁴ Στην έκθεση αυτή ελήφθησαν ευρύτερα υπόψη οι επιπτώσεις αλλά και ένα μεγαλύτερο φάσμα πιθανών αβέβαιων ενδεχομένων. Έγινε χρήση ενός ασυνήθιστα χαμηλού προεξοφλητικού επιτοκίου.⁵ Ο συνυπολογι-

⁴ Βλ. Parry (2007), Κεφάλαιο 2, για μια πιο αναλυτική ανασκόπηση και σύγκριση των οικονομικών εκτιμήσεων του κόστους της κλιματικής αλλαγής.

⁵ Το θέμα του προεξοφλητικού επιτοκίου εξετάζεται στην Ενότητα 3.1.5. πιο κάτω.

σμός των άμεσων επιπτώσεων στο περιβάλλον και την υγεία (που συχνά είναι δύσκολο να μετρηθούν) αύξησε το μέγεθος των ζημιών από το 5% στο 11% του παγκόσμιου εισοδήματος. Λαμβανομένων υπόψη νέων δεδομένων, που δείχνουν ότι οι εκπομπές μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερες αυξήσεις θερμοκρασίας, οι εκτιμώμενες ζημιές φθάνουν στο 14%. Τέλος, η χρησιμοποίηση μεγαλύτερου συντελεστή βαρύτητας για τις ζημιές σε φτωχές περιοχές διόγκωσε την εκτίμηση της συνολικής ζημίας στο 20%.

Η εντυπωσιακή διαφορά μεταξύ των πιο παραδοσιακών οικονομικές εκτιμήσεων για τις ζημιές και των αποτελεσμάτων της Έκθεσης Stern έλαβε εκτεταμένη δημοσιότητα και πυροδότησε μια έντονη και συνεχιζόμενη συζήτηση⁶ σχετικά με τις υποθέσεις στις οποίες στηρίζονται τα μαθηματικά πρότυπα και το βαθμό στον οποίο επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Είναι σαφές ότι, αν αναμένεται οι ζημιές να ανέλθουν σε ποσοστό γύρω στο 1-2% του παγκόσμιου εισοδήματος και το κόστος δράσης να είναι μικρότερο από 1%, τότε αξίζει να ληφθούν μέτρα μείωσης των εκπομπών, αλλά τα μέτρα δεν χρειάζεται να είναι τόσο επιθετικά. Αν οι ζημιές όμως είναι της τάξεως του 5-20% και υπάρχει κίνδυνος, αν δεν υπάρξει ταχεία δράση, να προκύψουν καταστροφικά αποτελέσματα, τότε αποκτά ιδιαίτερη σπουδαιότητα η επιχειρηματολογία υπέρ της λήψης δραστηκών και ταχείας εφαρμογής μέτρων μείωσης των εκπομπών.⁷ Όσο οι οικονομολόγοι είναι διχασμένοι σχετικά με τις πιθανές βλάβες της κλιματικής αλλαγής και την άριστη πορεία δράσης, θα είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί ο βαθμός ομοφωνίας που απαιτείται για την ανάληψη παγκόσμιας δράσης εκ μέρους των πολιτικών αρχών.

Τα διεθνώς πιο αναγνωρισμένα μαθηματικά πρότυπα στηρίζουν την άποψη ότι η κλιματική αλλαγή θα έχει καταστροφικές συνέπειες για την οικονομία συγκριτικά με τις τρέχουσες τάσεις και ότι τα οφέλη από τη σταθεροποίηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα είναι μεγαλύτερα από το κόστος που θα επιφέρει η αύξηση της θερμοκρασίας πέραν του ορίου των 2,5 °C.⁸ Οι οικονομολόγοι τείνουν να συμφωνήσουν ότι το κόστος μετριασμού της κλιματικής αλλαγής είναι μικρότερο από το 1% του παγκόσμιου ΑΕΠ και κυμαίνεται μεταξύ 0,3% και 0,7% (Stern and Persson, 2008). Είναι πολύ λιγότερες οι μελέτες και οι εκτιμήσεις του κόστους προσαρμογής και αυτό παραμένει ένα σημαντικό αντικείμενο εστίασης του ενδιαφέροντος της τρέχουσας ερευνητικής προσπάθειας. Όσοι τάσσονται υπέρ μιας ήπιας και σταδιακής δράσης για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου διαπιστώνουν ότι κάλλιστα θα μπορούσε να επιτραπεί, ως άριστος στόχος των μέτρων πολιτικής, η άνοδος της θερμοκρασίας ακόμη και άνω των 3 °C, παρόλο που αναγνωρίζουν ότι το επιπλέον κόστος σε περίπτωση άνοδου το πολύ κατά 2 °C θα ήταν μικρότερο από το 0,5% του ΑΕΠ.⁹ Επομένως, ακόμη και αν οι

⁶ Υπάρχουν πάρα πολλά επιστημονικά άρθρα που παραπέμπουν στην Έκθεση Stern.

⁷ Η ανάγκη για τη λήψη μέτρων με πολύ πιο γρήγορο ρυθμό σχετίζεται και με το ότι, αν επιτραπεί να αυξηθούν οι εκπομπές στα πρώτα χρονικά στάδια, θα γίνει πιο δύσκολη η μείωση των επιπέδων συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου σε μεταγενέστερη φάση, ενώ υπάρχει πολύ μεγαλύτερος κίνδυνος να ξεπεραστούν κάποια όρια και έτσι να επιταχυνθεί η αύξηση της θερμοκρασίας.

⁸ Βλ. Nordhaus (2008).

⁹ Βλ. Swiss (2007).

οικονομολόγοι διαφωνούν για τον επείγοντα χαρακτήρα και την ένταση της αναγκαίας δράσης ή για το πόσο σημαντικό είναι να μην επιτραπεί η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας πέραν των 2 °C, υπάρχει συμφωνία ότι το επιπλέον κόστος του περιορισμού του στόχου για την άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας από τους 3 °C στους 2 °C δεν είναι τόσο μεγάλο.

Η διατήρηση της ανόδου της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τα επίπεδα των 2 °C προϋποθέτει ισχυρή και άμεση δράση για τη μείωση των εκπομπών κατά 50-80% μέχρι το έτος 2050 συγκριτικά με τα επίπεδα εκπομπών του παρελθόντος (του έτους 2005). Πρόσφατα, κάποιοι οικονομολόγοι εστιάζουν την προσοχή τους σε μια σειρά από κεντρικά ζητήματα και υποθέσεις που παρέχουν επιχειρήματα υπέρ της αποφασιστικής και πιο άμεσης πορείας δράσης για τη μείωση των εκπομπών. Ο τρόπος με τον οποίο σταθμίζονται και συγκρίνονται οι μελλοντικές ζημιές λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας σε σχέση με το κόστος λήψης μέτρων μείωσης των εκπομπών επανεξετάζεται έτσι ώστε να ενισχύει την επιχειρηματολογία υπέρ της δράσης. Οι συνέπειες της κατανομής των επιπτώσεων και του κόστους ανάμεσα σε πλούσιους και φτωχούς, σήμερα και στο μέλλον, είναι ένας επιπλέον κρίσιμος παράγοντας για τη λήψη απόφασης για δράση. Ο τρόπος με τον οποίο οι οικονομολόγοι υπολογίζουν τις μη αποτιμώμενες από την αγορά επιπτώσεις στις περιβαλλοντικές υπηρεσίες και την υγεία έχει επίσης μεγάλη σημασία. Αν δεν ληφθούν εγκαίρως μέτρα μείωσης των εκπομπών, υπάρχει κίνδυνος αύξησης του κόστους για τη μείωση των εκπομπών στο μέλλον, καθώς θα είναι δύσκολο να αντικατασταθεί μεγάλος όγκος πάγιου κεφαλαίου που έχει επενδυθεί και δεσμεύει την οικονομία σε υψηλά επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, αν στην ανάλυση ληφθεί υπόψη η μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με τις δυνητικά ασύλληπτες καταστροφικές επιπτώσεις, η μείωση των εκπομπών αποκτά επίσης τη διάσταση της ασφάλισης έναντι των μελλοντικών κινδύνων από τη μεταβολή του κλίματος. Η διάσταση αυτή είναι η καταλληλότερη προκειμένου να γίνει η πλέον αξιόπιστη αξιολόγηση της πολιτικής που πρέπει να χαραχθεί για το κλίμα.

3.1.5 Σταθμίζοντας το κόστος και το όφελος διαχρονικά

Η επιλογή μεθόδου διαχρονικής στάθμισης του κόστους και του οφέλους ανέκαθεν προκαλούσε συζήτηση και αντικρουόμενες απόψεις ανάμεσα στους οικονομολόγους. Για τη διαχρονική σύγκριση χρηματικών αξιών, οι οικονομολόγοι χρησιμοποιούν σύστημα στάθμισης που ονομάζεται προεξόφληση και αποσκοπεί στο να μετατρέπει μελλοντικές αξίες στις αντίστοιχες σημερινές. Η έννοια της προεξόφλησης μπορεί να κατανοηθεί αν σκεφθεί κάποιος με ποιον τρόπο μπορεί να συγκρίνει δύο διαφορετικά χρηματικά ποσά που πρόκειται να λάβει σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Αν έπρεπε να επιλέξει κάποιος μεταξύ της είσπραξης 100 ευρώ σήμερα και της είσπραξης 100 ευρώ σε ένα χρόνο, καθένας θα προτιμούσε να λάβει 100 ευρώ σήμερα. Αν όμως εφαρμοστεί ετήσιο επιτόκιο 5% επί του ποσού των 100 ευρώ που θα ληφθεί σε ένα χρόνο, τότε πρέπει να συγκριθούν τα 105 ευρώ σε σημερινή αξία με τα 100 ευρώ του σήμερα. Αν για κάποιον είναι αδιάφορο αν θα εισπράξει 105 ευρώ σε ένα χρόνο ή 100 ευρώ σήμερα,

τότε ουσιαστικά αυτός προεξοφλεί τα 100 ευρώ με επιτόκιο 5%. Αν τα χρηματικά ποσά που θα συγκριθούν απέχουν ακόμη περισσότερο χρονικά, η μετατροπή των μελλοντικών αξιών σε σημερινές αξίες απαιτεί ακόμη υψηλότερο ποσοστό προεξόφλησης. Η προεξόφληση μπορεί να έχει πολύ μεγάλο μέγεθος και αυτό να έχει δραματικές συνέπειες σχετικά με τις αποφάσεις πολιτικής για την κλιματική αλλαγή, επειδή, όπως διαπιστώνεται ειδικότερα όταν μελετάται η κλιματική αλλαγή, το όφελος (αποφυγή του κόστους από την κλιματική αλλαγή) και το κόστος (λόγω των μέτρων μείωσης των εκπομπών) κατανέμονται ανομοιόμορφα σε ασυνήθιστα μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αν και για την επίλυση του προβλήματος φαίνεται, εκ πρώτης όψεως να αρκεί μια απλή μαθηματική τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χρηματικές μετατροπές, το ζήτημα της στάθμισης διαχρονικά εγείρει σημαντικά φιλοσοφικά και ηθικά ζητήματα, που συχνά αποκρύπτονται στο πλαίσιο της τεχνικού επιπέδου συζήτησης.

Ποια είναι τα βασικά ζητήματα που αποκρύπτονται στο πλαίσιο της συζήτησης περί προεξόφλησης; Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για να αποδοθούν διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας σε αξίες οι οποίες είναι διαθέσιμες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Ένας τέτοιος λόγος ονομάζεται “το καθαρό ποσοστό των χρονικών προτιμήσεων”. Αυτό αποτυπώνει την τάση των ανθρώπων να προτιμούν την απόκτηση οικονομικών αξιών που βρίσκονται πιο κοντά στο παρόν από αυτές που βρίσκονται πιο μακριά στο μέλλον. Πρόκειται για την προτίμηση με βάση τη διάσταση του χρόνου και η εν λόγω προτίμηση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ανυπομονησία. Η αρχή της οικονομικής θεωρίας περί “της κυριαρχίας του καταναλωτή” υποδεικνύει ότι, αν τα άτομα προτιμούν τη σημερινή κατανάλωση περισσότερο από μια αντίστοιχη κατανάλωση στο μέλλον, αυτή η προτίμηση πρέπει να γίνει σεβαστή. Ωστόσο, η αποδοχή της αρχής αυτής αφήνει αναπάντητο το ερώτημα ποιο θα μπορούσε να είναι το ύψος του συναφούς ποσοστού προεξόφλησης. Στην περίπτωση όπου το κόστος και το όφελος κατανέμονται ανάμεσα σε διαφορετικές γενεές, πολλοί οικονομολόγοι και φιλόσοφοι υποστηρίζουν ότι είναι άδικο να σταθμίζεται το όφελος και το κόστος από την οπτική γωνία μίας μόνο γενεάς, δηλαδή αυτής που ζει σήμερα. Η ανυπομονησία των σύγχρονων καταναλωτών σχετικά με την κατανάλωση στη διάρκεια του βίου τους δεν πρέπει να επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο αξιολογείται η κατανάλωση που θα απολαμβάνουν οι μελλοντικές γενεές. Ανάλογα εσφαλμένο θα ήταν να προσδοθούν διαφορετικές αξίες σε πανομοιότυπα εισοδήματα ατόμων που ζουν σε διαφορετικές περιοχές. Για το λόγο αυτόν πολλοί οικονομολόγοι, όταν μελετούν ζητήματα προεξόφλησης οφέλους ή κόστους σε μεγάλο βάθος χρόνου, τάσσονται υπέρ ενός μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού καθαρού ποσοστού χρονικών προτιμήσεων.

Ένας άλλος λόγος που εξηγεί γιατί αποτιμώνται με διαφορετικό τρόπο τα εισοδήματα διαφορετικών ατόμων έχει σχέση με τη διανεμητική ηθική. Όταν 100 ευρώ δοθούν σε ένα πλούσιο, συχνά έχουν μικρότερη αξία από 100 ευρώ όταν δοθούν σε ένα φτωχό. Ανάλογα με τη διανεμητική ηθική ενός ατόμου, κάποιος μπορεί να προτιμά να δώσει 1 ευρώ σε κάποιον φτωχό αντί 100 ευρώ σε έναν πλούσιο. Το ποσό με το οποίο ένας οικονομολόγος “μετατρέπει” ή προ-

εξοφλεί 1 ευρώ που εισπράττει ένας πλούσιος σε 1 ευρώ που εισπράττει ένας φτωχός αναφέρεται ως “ελαστικότητα της οριακής χρησιμότητας”.¹⁰ Αν η οικονομία αναμένεται να αναπτυχθεί έτσι ώστε διαχρονικά τα άτομα να γίνονται πλουσιότερα, αυτή η διανεμητική ηθική παρέχει ένα επιχείρημα υπέρ του να δοθεί μικρότερη βαρύτητα στη μελλοντική σε σχέση με τη σημερινή κατανάλωση. Αν αναμένεται ότι μετά από 100 χρόνια οι άνθρωποι θα είναι δύο φορές πιο πλούσιοι από ό,τι σήμερα, τότε μπορεί οι άνθρωποι σήμερα να θεωρήσουν ότι είναι άδικο να θυσιάσουν ακόμη και 1% του εισοδήματός τους για να αποφύγουν μια βλάβη της τάξεως του 10% που θα υποστούν οι πλουσιότερες μελλοντικές γενεές.

Επειδή τα οφέλη από τη δράση για την κλιματική αλλαγή αφορούν κυρίως τις μελλοντικές γενεές, ενώ το κόστος δράσης το επωμίζεται η παρούσα γενεά, έχει κρίσιμη σημασία ο τρόπος με τον οποίο σταθμίζονται αυτές οι διαφορετικές αξίες. Η στάθμιση εξαρτάται και από τη διανεμητική ηθική που υιοθετείται (σε ποιο βαθμό είναι κάποιος υπέρ της ισότιμης μεταχείρισης) και από τις προσδοκίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα αναπτυχθεί η οικονομία. Αν κάποιος θεωρεί ότι το παγκόσμιο κατά κεφαλήν εισόδημα θα συνεχίσει να αυξάνεται με ρυθμό, π.χ. 2% το χρόνο, τότε κρίνει ότι οι άνθρωποι σε 100 χρόνια από σήμερα θα είναι πολύ πλουσιότεροι από τον ίδιο και έτσι είναι λιγότερο διατεθειμένος να προβεί σε θυσίες για εκείνους.

Με βάση αυτούς τους τρεις πιθανούς λόγους¹¹ για την ανάγκη προεξόφλησης των μελλοντικών αξιών, στον καθένα από τους οποίους δίδεται ένα σύμβολο, προκύπτει μια ευρύτατα γνωστή εξίσωση, που αποτυπώνει την επιρροή κάθε παράγοντα: το ρ για το καθαρό ποσοστό χρονικής προτίμησης, το η για την ελαστικότητα της οριακής χρησιμότητας της κατανάλωσης και το g για το μελλοντικό ρυθμό ανάπτυξης (ο οποίος είναι αβέβαιος).

Ο (συνολικός) συντελεστής προεξόφλησης της κατανάλωσης είναι $r = \rho + \eta g$. Η εξίσωση αυτή προκύπτει από ένα απλό μαθηματικό πρότυπο διαχρονικά άριστης οικονομικής ανάπτυξης. Η εξίσωση υποδεικνύει ότι, όσο υψηλότερο είναι το καθαρό ποσοστό χρονικής προτίμησης, όσο μεγαλύτερη είναι η ελαστικότητα της οριακής χρησιμότητας (δηλαδή, όσο πιο πολύ οι άνθρωποι διάκεινται υπέρ της ισότιμης μεταχείρισης) και όσο υψηλότερος είναι ο μελλοντικός ρυθμός οικονομικής ανάπτυξης, τόσο μικρότερος συντελεστής στάθμισης θα χρησιμοποιηθεί για το μελλοντικό εισόδημα ή την κατανάλωση σε σχέση με σήμερα. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής στάθμι-

¹⁰ Πιο αυστηρά, με την ελαστικότητα της οριακής χρησιμότητας ένα δεδομένο άτομο μετρεί την επιπλέον ευημερία ή ικανοποίηση προτίμησης από κάθε επιπλέον μονάδα κατανάλωσης. Η συνήθης υπόθεση είναι ότι, καθώς καταναλώνεται ποσότητα μεγαλύτερη από κάθε επιπλέον μονάδα, δεν δημιουργείται τόσο μεγάλη ικανοποίηση όσο από την προηγούμενη μονάδα. Δεδομένου ότι τα περισσότερα μαθηματικά πρότυπα χρησιμοποιούν ένα μόνο αντιπροσωπευτικό άτομο για να αποτυπώσουν τις προτιμήσεις της κοινωνίας, η αξία της πρόσθετης κατανάλωσης μειώνεται όταν το αντιπροσωπευτικό άτομο γίνεται πλουσιότερο, καθώς η οικονομία μεγεθύνεται διαχρονικά.

¹¹ Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το ύψος του προεξοφλητικού επιτοκίου είναι η αβεβαιότητα σχετικά με τις μελλοντικές κλιματικές αλλαγές, η οποία επιδρά συμπίεζοντας το προεξοφλητικό επιτόκιο. Όπως αναφέρει ο Heal (2008), υφίσταται μη μηδενική πιθανότητα οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές να είναι πολύ μεγαλύτερες από την εκτίμηση που γίνεται σήμερα. Μάλιστα, το ενδεχόμενο καταστροφικών συνεπειών δεν μπορεί να αποκλειστεί. Η διαχείριση της αβεβαιότητας αυτής επιβάλλει το συνυπολογισμό ασφαλίστρου έναντι κινδύνου (risk premium), πράγμα που οδηγεί σε μείωση του καθαρού προεξοφλητικού επιτοκίου. Επίσης, οι Gollier and M. L. Weitzman (2009) θεωρούν ότι, όταν υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την επιλογή του κατάλληλου μελλοντικού προεξοφλητικού επιτοκίου για μακρό χρονικό ορίζοντα, για τις μελλοντικές οικονομικές αξίες πρέπει να χρησιμοποιείται πτωτικό προεξοφλητικό επιτόκιο που να τείνει προς το χαμηλότερο από τα πιθανά εν λόγω επιτόκια.

σης που χρησιμοποιείται για τις μελλοντικές ζημιές σε σχέση με το σημερινό κόστος δράσης για μείωση των εκπομπών, τόσο λιγότερο φιλόδοξη γίνεται η πολιτική για την κλιματική αλλαγή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι δύο από τους παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό προεξόφλησης της κατανάλωσης εξαρτώνται και από ζητήματα περιβαλλοντικής ηθικής. Το θέμα κατά πόσον θα χρησιμοποιηθεί ένα καθαρό ποσοστό χρονικής προεξόφλησης για όλες τις γενεές ή σε ποιο βαθμό θα προεξοφληθεί το εισόδημα που καταλήγει στους πλουσιότερους ανάγεται σε ηθικής τάξεως ζήτημα. Ο άλλος κρίσιμος σημασίας παράγοντας είναι η αξιολόγηση του κινδύνου σχετικά με τον πλούτο των μελλοντικών γενεών σε σύγκριση με το σημερινό πλούτο, καθώς ο μελλοντικός πλούτος εξαρτάται από τον αναμενόμενο ρυθμό οικονομικής μεγέθυνσης, λαμβανομένων υπόψη και των κινδύνων από την κλιματική αλλαγή.¹²

3.1.6 Λαμβάνοντας υπόψη τη Φύση

Η αυξανόμενη σπανιότητα των υπηρεσιών που προσφέρουν τα οικοσυστήματα και η άγρια Φύση θα μπορούσαν να αυξήσουν σημαντικά τη σπουδαιότητά τους για τις μελλοντικές γενιές. Δυστυχώς, τα περισσότερα οικονομικά πρότυπα δεν μεταχειρίζονται το περιβαλλοντικό απόθεμα ως ένα ξεχωριστό αγαθό, διαφορετικό από τα παραγόμενα και εμπορεύσιμα αγαθά. Ακόμη και αν είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η αξία της βιοποικιλότητας και των υπηρεσιών ενός οικοσυστήματος, είναι γνωστό ότι η αξία τους θα αυξηθεί, καθώς αυτές γίνονται όλο και πιο σπάνιες τόσο σε σχετικό όσο και σε απόλυτο μέγεθος. Στην ουσία η μελλοντική ζημία λόγω της κλιματικής αλλαγής θα είναι πολύ μεγαλύτερη, επειδή μια ιδιαίτερα σπάνια (και συνεπώς) πολύτιμη υπηρεσία επιβαρύνεται. Η τροποποίηση ενός πολύ γνωστού μαθηματικού προτύπου έτσι ώστε να συμπεριληφθεί και το περιβαλλοντικό απόθεμα ως αγαθό (Gerlagh and Van der Zwaan 2002) αλλάζει ριζικά την άριστη χρονική διαδρομή μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό ανατρέπει πλήρως τα αποτελέσματα ανάλογων μαθηματικών προτύπων τα οποία δεν περιλαμβάνουν το περιβαλλοντικό απόθεμα ως αγαθό και υποδεικνύουν μετριοπαθέστερη πολιτική σχετικά με τη μείωση των εκπομπών. Ακόμη και όταν εφαρμόζεται υψηλό ποσοστό προεξόφλησης, η μειωμένη αξία των μελλοντικών ζημιών λόγω προεξόφλησης αντισταθμίζεται πλήρως από την αυξανόμενη ζημία που προκύπτει από την αυξανόμενη σπανιότητα των περιβαλλοντικών υπηρεσιών.¹³

¹² Σε πολλές περιπτώσεις, π.χ. στα ολοκληρωμένα μαθηματικά πρότυπα αριστοποίησης της ευημερίας ή στα δυναμικά πολυτομεακά πρότυπα γενικής ισορροπίας, το καθαρό ποσοστό χρονικής προτίμησης και η ελαστικότητα της οριακής χρησιμότητας καθορίζονται εξωγενώς, ενώ η μεγέθυνση της κατανάλωσης αλλά και το ποσοστό προεξόφλησης της κατανάλωσης αποτελούν συχνά τμήμα της λύσης του προτύπου. Σε μαθηματικά πρότυπα στα οποία η οικονομική ανάπτυξη καθορίζεται μέσω εναλλακτικών σεναρίων, ο αναλυτής που καταστρώνει το πρότυπο συνήθως επιλέγει και το ποσοστό προεξόφλησης της κατανάλωσης ώστε να υπολογίσει τις παρούσες αξίες.

¹³ Ένα παρόμοιο επιχείρημα πρότεινε ο Weitzman (2007), ο οποίος μελέτησε τις συνέπειες της θεώρησης των περιβαλλοντικών αγαθών ως υποκατάστατων ή ως συμπληρωματικών των αγαθών της μεταποίησης. Αν υποθεθεί ότι υπάρχει περιορισμένη υποκαταστασιμότητα, η αυξανόμενη σπανιότητα των περιβαλλοντικών αγαθών θα οδηγήσει σε αύξηση της αξίας τους. Αυτό επίσης μπορεί να θεωρηθεί και υπό το πρίσμα των πολλαπλών ποσοστών προεξόφλησης, όπου το ποσοστό προεξόφλησης του περιβαλλοντικού αποθέματος μπορεί στην ουσία να είναι αρνητικό.

3.1.7 Δικαιοσύνη¹⁴ σχετικά με τη χωρική διάσταση

Σε πολλά μαθηματικά πρότυπα ο τρόπος θεώρησης του ζητήματος της δικαιοσύνης εκφράζεται μέσω της ελαστικότητας της οριακής χρησιμότητας της κατανάλωσης, η οποία συμβολίζεται με το γράμμα (η). Στα ερωτήματα που τίθενται περιλαμβάνονται το αν οι μελλοντικές γενεές αναμένεται να είναι πλουσιότερες από τις σημερινές, αν οι φτωχότερες γενεές είναι διατεθειμένες να θυσιάσουν λιγότερα σήμερα για να αποφευχθούν οι ζημίες για τις μελλοντικές γενεές, κ.ο.κ. Ουσιαστικά, εφόσον αναμένεται ότι οι οικονομίες θα αναπτύσσονται περαιτέρω, όσο πιο πολύ η σημερινή γενεά τάσσεται υπέρ της δίκαιης μεταχείρισης, τόσο λιγότερο θα θέλει να δράσει σήμερα κατά της κλιματικής αλλαγής. Όμως, οι κλιματικές ζημίες, καθώς και το κόστος μετριασμού και προσαρμογής, κατανέμονται με ανομοιόμορφο τρόπο όχι μόνο διαχρονικά, αλλά και χωροταξικά. Συνεπώς πρέπει να ληφθεί υπόψη ο διαφορετικός βαθμός επηρεασμού ατόμων που ζουν σε διαφορετικές περιοχές, ώστε οι σχετικές υποθέσεις να είναι συνεπείς με την απόδοση δικαιοσύνης.

Το μεγαλύτερο μέρος των ήδη συσσωρευμένων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε εκπομπές κατά το παρελθόν στις πλούσιες χώρες. Η αναμενόμενη οικονομική μεγέθυνση των αναπτυσσόμενων χωρών θα αλλάξει την εικόνα αυτή στο μέλλον. Όμως, σε κάθε περίπτωση οι φτωχότερες περιοχές του κόσμου είναι εκείνες που θα υποστούν τις μεγαλύτερες απώλειες λόγω της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με αυτή τη γεωγραφική οπτική γωνία, όσο ισχυρότερο είναι το κριτήριο απόδοσης δικαιοσύνης, τόσο περισσότερο επιβάλλεται να υπάρξει δράση προκειμένου να αποτραπεί η κλιματική αλλαγή, που βλάπτει δυσανάλογα περισσότερο τους φτωχούς.

Η απόδοση της δικαιοσύνης μέσω του καθορισμού δράσεων πολιτικής είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Σε μια αναπτυσσόμενη οικονομία, η χρονική διάσταση θα απαιτεί λιγότερες θυσίες σήμερα, αφού τα άτομα στο μέλλον θα είναι πλουσιότερα, ενώ η χωροταξική διάσταση θα απαιτεί μεγαλύτερες θυσίες σήμερα ώστε να αποτραπούν οι ζημίες για τις φτωχές περιοχές. Ένα πρόβλημα των περισσότερων μαθηματικών οικονομικών προτύπων για την κλιματική αλλαγή είναι ότι οι παράμετροι που αναφέρονται στην απόδοση δικαιοσύνης μεταξύ των γενεών αντιστοιχούν μόνο σε συνολικά μεγέθη και δεν λαμβάνουν υπόψη το διαφορετικό ύψος ζημιών για διάφορα τμήματα του πληθυσμού και για διάφορες περιοχές του κόσμου. Αυτό συμβαίνει επειδή το μαθηματικό πρότυπο της οικονομίας βασίζεται στην υπόθεση ότι υπάρχει ένας μόνο αντιπροσωπευτικός καταναλωτής και δεν αναπαριστά τις διανεμητικές επιδράσεις. Για την απεικόνιση της διανεμητικής ηθικής με πληρέστερο τρόπο θα χρειαζόταν μαθηματικό πρότυπο με πολλές κατηγορίες καταναλωτών και με διαφορετική αντιπροσώ-

¹⁴ Με τον όρο δικαιοσύνη (equity) νοείται η επιδίωξη ίσης μεταχείρισης ή ίσων συνεπειών για διαφορετικές κοινωνικές ομάδες, διαφορετικές χώρες ή διαφορετικές γενεές.

πλευση πλουσίων και φτωχών.¹⁵ Επίσης θα χρειαζόταν μαθηματικό πρότυπο με αναπαράσταση περισσότερων του ενός αγαθών, δεδομένου ότι οι κλιματικές επιπτώσεις στις υπηρεσίες του περιβάλλοντος μπορεί να γίνουν αντιληπτές περισσότερο από τους φτωχούς, παρά από τους πλούσιους, επειδή οι τελευταίοι έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα να υποκαταστήσουν περιβαλλοντικές ζημιές με αγαθά που παράγονται μέσω εργατικής δύναμης. Για παράδειγμα, οι φτωχοί θα είναι λιγότερο σε θέση να αποφύγουν τις συνέπειες των πιο έντονων και συχνών κυμάτων καύσωνα, ενώ οι πλούσιοι θα τις αποφεύγουν με χρήση κλιματιστικών μηχανημάτων ή με ταξίδια σε περιοχές με πιο δροσερό κλίμα.

3.1.8 Συναρτήσεις ζημιών, μη αναστρεψιμότητα και σημεία καμψής

Οι περισσότερες από τις πιο γνωστές αναλύσεις κόστους-οφέλους χρησιμοποιούν συναρτήσεις ζημιών οι οποίες αποτιμούν τις ζημιές σε χρηματικές μονάδες. Στις αναλύσεις αυτές οι ζημιές συνήθως αυξάνονται ομαλά, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Για τη συγκεκριμένη μορφή συνάρτησης δεν υπάρχει κάποια επιστημονική βάση, ενώ συγκεντρώνονται όλο και πιο πολλά στοιχεία που αποδεικνύουν ότι τα φυσικά συστήματα μπορούν να αντιδρούν με απότομο και μη γραμμικό τρόπο στην κλιματική αλλαγή. Υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα με μηχανισμούς ανατροφοδότησης, η λειτουργία των οποίων ενισχύει την εγκυρότητα αυτής της διαπίστωσης. Η τήξη του μόνιμα παγωμένου υπεδάφους θα μπορούσε να οδηγήσει στην αποδέσμευση τεράστιων ποσοτήτων μεθανίου, επιταχύνοντας περαιτέρω την κλιματική αλλαγή. Με την τήξη του πάγου και του χιονιού θα μπορούσε να ξεπεραστεί το όριο πέραν του οποίου μπορεί να αλλάξει ο βαθμός αντανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας από τη Γη. Εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία θα αντανάκλαται λιγότερο, θα απορροφάται περισσότερη ενέργεια από την επιφάνεια της Γης, επιταχύνοντας ακόμη περισσότερο την τήξη των πάγων και την αύξηση της θερμοκρασίας. Η τήξη των πάγων της Γροιλανδίας θα μπορούσε να υπερβεί ένα όριο πέραν του οποίου η ποσότητα πάγου που τήκεται το καλοκαίρι να είναι μεγαλύτερη από αυτήν που παγώνει το χειμώνα, κατάσταση που ισοδυναμεί με κύκλο τήξης των πάγων, με τελική κατάληξη την αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά έξι μέτρα.

Ο τρόπος με τον οποίο οι χρηματικές ζημιές αυξάνονται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του πλανήτη δεν συνδέεται απλώς με τα φυσικά συστήματα, αλλά και με τη συμπεριφορά των κοινωνικοοικονομικών συστημάτων. Οι κατοικίες, τα κτήρια εμπορικής χρήσης και οι υποδομές σχεδιάζονται και κατασκευάζονται για να ανθίστανται μέχρι κάποιο όριο σε διακυμάνσεις των ακραίων

¹⁵ Τα μαθηματικά πρότυπα που μεγιστοποιούν την ευημερία για διαφορετικές περιοχές παρέχουν τη δυνατότητα να μελετηθεί το θέμα της δικαιοσύνης χωροταξικά, αλλά οι χρήστες τους αντιμετωπίζουν ένα δύσκολο πρόβλημα. Αν υιοθετήσουν τη συνήθη υπόθεση για τη δικαιοσύνη που χρησιμοποιεί μικρότερο συντελεστή στάθμισης για τις μελλοντικές γενεές, επειδή αυτές είναι πλουσιότερες τότε, προκειμένου τα πρότυπα να είναι συνεπή, πρέπει να υποδεικνύουν τεράστιες άμεσες μεταβιβάσεις πλούτου από τις πλούσιες προς τις φτωχές περιοχές. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιείται μια τεχνική που είναι γνωστή ως “συντελεστές στάθμισης του Negishi”, η οποία ουσιαστικά καταλήγει να αποδίδει μεγαλύτερη αξία στην ανθρώπινη ευημερία των πλουσιότερων περιοχών. Βλ. E.A. Stanton, 2010, για εκτενή πραγμάτευση αυτού του θέματος.

καιρικών συνθηκών. Αν η κλιματική αλλαγή δημιουργήσει επιπτώσεις πέραν ενός συγκεκριμένου ορίου, οι ζημιές για το κατασκευασμένο από τον άνθρωπο περιβάλλον μπορεί να αυξηθούν δραματικά. Οι άμεσες υλικές βλάβες στην υποδομή μιας οικονομίας θα αυξήσουν τις έμμεσες ζημιές, όπως είναι οι διακοπές της τροφοδοσίας και, κατ' ακολουθία, της λειτουργίας επιχειρήσεων, οι οποίες θα πυροδοτήσουν ιδιαίτερα αρνητικές μακροοικονομικές ανατροφοδοτήσεις.¹⁶ Η ύπαρξη φυσικών ή κοινωνικοοικονομικών κατώτατων ορίων ή σημείων καμπής με μη αναστρέψιμες συνέπειες ενισχύει περαιτέρω την επιχειρηματολογία υπέρ της έγκαιρης και ουσιαστικής δράσης.

Τα φυσικά και κοινωνικοοικονομικά συστήματα χαρακτηρίζονται από αδράνεια ή μη αναστρέψιμότητα. Οι ιδιότητες αυτές είναι πολύ σημαντικές και πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον καθορισμό του κατάλληλου ρυθμού δράσης για τη μείωση των εκπομπών. Οι επενδύσεις για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής μέσω των δράσεων αυτών επιφέρουν και ένα εφάπαξ ή μη αναστρέψιμο κόστος. Ορισμένοι έχουν υποστηρίξει¹⁷ ότι το μη αναστρέψιμο κόστος του μετριασμού πρέπει να σταθμίζεται και να συγκρίνεται με τις μη αναστρέψιμες ζημιές που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή. Όταν αυτή η σύγκριση συνδυαστεί με μια ομαλώς αύξουσα συνάρτηση ζημιών και με μη μηδενική προεξόφληση, η ανάλυση τείνει να υποδεικνύει ως άριστη μια πολιτική με μεγαλύτερη ευελιξία, δηλαδή μια πολιτική “βλέποντας και κάνοντας”, καθώς το υψηλό κόστος μετριασμού δεν μπορεί να αποφευχθεί, ενώ οι ζημιές λόγω της κλιματικής αλλαγής ούτως ή άλλως θα σημειωθούν στο μέλλον και ενδεχομένως δεν θα είναι πολύ μεγάλες.

Το πρόβλημα αυτής της συλλογιστικής, πέραν της υπόθεσης σχετικά με τη μορφή της συνάρτησης ζημιών, είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη ότι οι επενδύσεις που δεν παρουσιάζουν ευαισθησία στην κλιματική αλλαγή συνεπάγονται αδράνεια και παγιδεύουν την κοινωνία σε μακροχρόνιες δεσμεύσεις σε κεφάλαιο, με τεχνολογία στην οποία αντιστοιχούν υψηλά επίπεδα εκπομπών.¹⁸ Όταν λαμβάνονται αποφάσεις για επενδύσεις σε κλασικού τύπου εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με άνθρακα ή για επενδύσεις σε συμβατικά και υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης κτήρια (ουσιαστικά καθυστερώντας χρονικά το μετριασμό), η οικονομία δεσμεύεται σε μεγάλο βαθμό σε υψηλά επίπεδα εκπομπών για όλη τη διάρκεια ζωής των εργοστασίων ή των κτηρίων. Αν ήταν εύκολη η εκ των υστέρων “θωράκιση” ενός κτηρίου ή εργοστασίου (ή αν ήταν εύκολη η τοποθέτηση φθηνών συστημάτων παγίδευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα), τότε αυτή η μη εκ των προτέρων δέσμευση μπορεί να μην αποτελούσε πρόβλημα. Όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις η εκ των υστέρων “θωράκιση” των εργοστασίων και των κτηρίων έχει πολύ υψηλότερο κόστος συγκριτικά με το κόστος που αντιστοιχεί στον εξ αρχής σχεδιασμό τους έτσι ώστε να έχουν χαμηλά επίπεδα εκπομπών σε όλη τη διάρκεια ζωής τους.

¹⁶ Οι άμεσες ζημιές εξαιτίας του τυφώνα Katrina εκτιμήθηκαν στα 107 δισεκ. δολ., ενώ άλλα 42 δισεκ. δολ. αντιστοιχούν σε έμμεσες ζημιές (R.S. Pindyck, 2000).

¹⁷ Kolstad (1996), Fisher and Narain (2003) και Shalizi and Lecocq (2009).

¹⁸ Βλ. E. A. Stanton (2010) για τις επιπτώσεις των μακροχρόνιων επενδύσεων κεφαλαίου στην πολιτική για το κλίμα.

3.1.9 Η αβεβαιότητα και τα οικονομικά μιας ακραίας κλιματικής αλλαγής

Η αβεβαιότητα είναι ένα ζήτημα κεντρικής σημασίας στο πλαίσιο της ανάλυσης για την κατανόηση της κλιματικής αλλαγής και των οικονομικών της. Παρόλο που οι μηχανισμοί που οδηγούν στην αύξηση της θερμοκρασίας της Γης είναι απλοί, υφίσταται αβεβαιότητα σχετικά με θεμελιώδη ζητήματα, όπως π.χ. ο τρόπος με τον οποίο η αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει τα καιρικά συστήματα και ο τρόπος με τον οποίο οι διάφορες κλιματικές επιπτώσεις θα επηρεάσουν την οικονομία και την ευημερία.

Οι οικονομολόγοι συχνά ασχολούνται με αβέβαια ενδεχόμενα όταν αξιολογούν επιλογές πολιτικής, καθώς οι περισσότερες πτυχές της οικονομικής ζωής εμπεριέχουν και κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Αν η πιθανότητα πραγμάτωσης των διαφόρων ενδεχομένων είναι γνωστή, οι αναλυτές που χρησιμοποιούν πρότυπα μπορούν να αξιολογήσουν τις συνέπειες των διαφόρων μεθόδων δράσης. Το πρόβλημα με την κλιματική αλλαγή είναι ότι η αβεβαιότητα έχει πιο θεμελιώδη χαρακτήρα από την άποψη ότι δεν είναι διαθέσιμες αρκετές προγενέστερες πληροφορίες ώστε να αποτιμηθούν με ικανοποιητικό βαθμό πιθανότητας τα διάφορα ενδεχόμενα.¹⁹

Σε μια σειρά από πρόσφατες εργασίες²⁰ ο Weitzman υποστηρίζει ότι η συγκεκριμένη μορφή αβεβαιότητας σχετικά με την πιθανότητα καταστροφικής κλιματικής αλλαγής υπονομεύει τις προσπάθειες για ουσιαστικό υπολογισμό του οφέλους και του κόστους και παρέχει ισχυρά επιχειρήματα υπέρ της ανάγκης να ληφθούν άμεσα και δραστικά μέτρα για το κλίμα.²¹ Όταν οι οικονομολόγοι αναλαμβάνουν να αξιολογήσουν την κλιματική αλλαγή, συνήθως παρακάμπτουν το πρόβλημα της αβεβαιότητας με το να εστιάζουν την προσοχή τους στις πιο πιθανές ή στις κεντρικές προβλέψεις για τις θερμοκρασίες ή τις ζημιές, σαν να ήταν βέβαιοι σχετικά με αυτές.

Μια μέθοδος την οποία εφαρμόζουν οι αναλυτές που χρησιμοποιούν μαθηματικά πρότυπα ώστε να λάβουν υπόψη τους την αβεβαιότητα συνίσταται στην αυξομείωση των τιμών ορισμένων παραμέτρων και στη διαπίστωση του πόσο “ευαίσθητα” είναι τα αποτελέσματα του προτύπου σ’ αυτές τις αλλαγές.²² Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις όπου τα μαθηματικά πρότυπα ενσω-

¹⁹ Ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις αβεβαιότητας είναι γνωστός ο βαθμός πιθανότητας των ενδεχομένων που είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν ή υπάρχουν “γνωστοί άγνωστοι”, στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής δεν είναι καθόλου γνωστός ο βαθμός πιθανότητας και συνεπώς υπάρχει ένα καθεστώς “άγνωστων αγνώστων”.

²⁰ Weitzman (2009a, b, c, d, 2010a, b) και Stern and Treasury (2007).

²¹ Ο Weitzman αμφισβητεί την ικανότητα των ολοκληρωμένων μαθηματικών προτύπων αξιολόγησης να παρέχουν εύλογες και ακριβείς εκτιμήσεις του κόστους και του οφέλους προκειμένου να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στη διαμόρφωση πολιτικής. Σύμφωνα με μια ευρεία ή μια πιο χαλαρή ερμηνεία του οφέλους και του κόστους, η επιχειρηματολογία του θα μπορούσε να εκληφθεί ως υπόδειξη ότι οι ζημιές από τις καταστροφικές κλιματικές αλλαγές, έστω και αν είχαν μικρή πιθανότητα επέλευσης, θα μπορούσαν να είναι τόσο μεγάλες ώστε το κόστος να υπερβαίνει σε κάθε περίπτωση το όφελος από την ανάληψη δράσης.

²² Το μαθηματικό πρότυπο PAGE 2002, Dietz and Hope (2007), που είναι ένα από τα πιο γνωστά πρότυπα τα οποία ενσωματώνουν την αβεβαιότητα και ακολουθεί τη μέθοδο της τυχαίας μεταβολής των τιμών των παραμέτρων, εκτιμά ποσοτικά πλήθος σενάρια, επιλέγοντας με τυχαίο τρόπο τις τιμές των παραμέτρων από ένα εύρος πιθανών τιμών. Το αποτέλεσμα του προτύπου λαμβάνει τη μορφή κατανομής πιθανών αποτελεσμάτων και όχι τη μορφή μεμονωμένων τιμών. Η ενσωμάτωση της αβεβαιότητας με τη μέθοδο αυτή οδήγησε σε αύξηση του μεγέθους των πιθανοτικών αναμενόμενων ζημιών κατά 7,6 εκατοστιαίες μονάδες ως προς το παγκόσμιο ΑΕΠ συγκριτικά με τα αποτελέσματα του ίδιου προτύπου χωρίς ενσωμάτωση αβεβαιότητας (βλ. R. S. Pindyck, 2007). Όμως, δεδομένου ότι γίνεται δεκτή η υπόθεση ότι οι διάφορες παράμετροι ακολουθούν κανονική κατανομή, αυτή η μέθοδος ενσωμάτωσης της αβεβαιότητας δεν αναπαριστά επαρκώς τις επιπτώσεις από καταστροφικά αποτελέσματα μεγάλου μεγέθους με χαμηλή μεν αλλά μη μηδενική πιθανότητα επέλευσης.

ματώνουν αναπαράσταση της αβεβαιότητας στο σχεδιασμό τους, παρόμοια ανάλυση γίνεται με χρήση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας, η οποία συνδέει τις πιθανότητες με τα διάφορα ενδεχόμενα.²³ Οι πιθανές μελλοντικές ζημιές σταθμίζονται με βάση το βαθμό πιθανότητας πραγμάτωσης των αντίστοιχων ενδεχομένων, ώστε να υπολογιστεί το μέσο ή το αναμενόμενο ύψος των ζημιών.

Για να υπολογιστεί το αναμενόμενο²⁴ ύψος των ζημιών, τα πιο πιθανά ενδεχόμενα σταθμίζονται με μεγάλο συντελεστή βαρύτητας και προστίθενται στα λιγότερο πιθανά ενδεχόμενα, τα οποία σταθμίζονται με μικρούς συντελεστές βαρύτητας. Όμως, τα λιγότερο πιθανά ενδεχόμενα επιφέρουν και τις πλέον ακραίες ζημιές.

Είναι σαφές ότι η μορφή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του αναμενόμενου ύψους των ζημιών. Για πολλές φυσικές ιδιότητες, όπως το ανάστημα των ενηλίκων, η κανονική κατανομή είναι μια καλή απεικόνιση των πιθανών ενδεχομένων. Τα περισσότερα μαθηματικά οικονομικά πρότυπα κλιματικής αλλαγής που έχουν ενσωματωμένες συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας χρησιμοποιούν κανονικές κατανομές.²⁵ Ένα χαρακτηριστικό της κανονικής κατανομής είναι ότι τα ακραία ενδεχόμενα (που βρίσκονται μακριά από τον μέσο ή τα ενδεχόμενα τα οποία είναι πιο απίθανο να συμβούν) είναι τόσο απίθανα που ουσιαστικά μπορούν να αγνοηθούν. Ο βαθμός λεπτότητας των άκρων (ή απολήξεων) της κανονικής κατανομής αντικατοπτρίζει το βαθμό στο οποίο είναι απίθανα αυτά τα ακραία ενδεχόμενα.²⁶ Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής ο Weitzman υποστηρίζει ότι οι επιστήμονες έχουν τόσο μικρές προγενέστερες γνώσεις περί του τι θα μπορούσε να συμβεί εάν υπάρξουν υψηλά επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ώστε τα πολύ ακραία ενδεχόμενα δεν μπορούν να αποκλειστούν και δεν πρέπει να συνδεθούν με μια σχεδόν μηδενική πιθανότητα. Συνεπώς, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν να έχει “παχιά” άκρα. Η πιθανότητα για ακραία κλιματική αλλαγή ή καταστροφική ζημία είναι μεν μικρή, αλλά όχι μηδενική. Δεδομένου ότι οι σχεδόν αδιανόητες συνέπειες θα αντιστοιχούν σε τεράστιο όγκο ζημιών, ακόμη και αν αυτές “σταθμιστούν” με μικρή μεν αλλά μη μηδενική πιθανότητα, οι συνολικές πιθανοτικά αναμενόμενες ζημιές λόγω της κλιματικής αλλαγής θα είναι μεγάλου μεγέθους.

²³ Συμπεριλαμβάνεται η αποκοπή των άκρων της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας με αυθαίρετο τρόπο. Ανασκόπηση του τρόπου με τον οποίο μελετάται η αβεβαιότητα με μαθηματικά πρότυπα στο πλαίσιο των οικονομικών της κλιματικής αλλαγής παρουσιάζεται από τους Quiggin (2008) και Intergovernmental Panel on Climate Change (2007).

²⁴ Η έννοια του αναμενόμενου ύψους ζημιών αναφέρεται στον μαθηματικό τελεστή της αναμενόμενης τιμής (expected value) στο πλαίσιο της θεωρίας των πιθανοτήτων.

²⁵ Κατανομές κατά Gauss.

²⁶ Η συνήθης μορφή μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας είναι μια κωδωνοειδής καμπύλη, όπου η κορυφή συμβολίζει το πιο πιθανό αποτέλεσμα (υψηλή πυκνότητα) και τα άκρα της καμπύλης συμβολίζουν το λιγότερο πιθανό αποτέλεσμα (χαμηλή πυκνότητα). Αυτές οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας έχουν μόνο ένα μέγιστο σημείο. Όμως, πολλά από τα ακραία μη γραμμικά φαινόμενα αντιστοιχούν σε συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας με περισσότερα από ένα μέγιστα σημεία (multi-modal probability functions). Σ' αυτές τις περιπτώσεις, ο υπολογισμός αναμενόμενης τιμής δεν έχει καν νόημα.

Η επιχειρηματολογία αυτή στηρίζεται στη φύση και την έκταση της επιστημονικής αβεβαιότητας σχετικά με την ακραία κλιματική αλλαγή και τις ζημιές. Ο Weitzman υποστηρίζει ότι είναι τόσο πολλές και βαθιές οι περιπτώσεις αβεβαιότητας σε κάθε πτυχή της κατανόησης και της αξιολόγησης για την κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της ώστε, όταν αυτές συναθροιστούν, να οδηγούν σε μια κάθε άλλο παρά ασήμαντη πιθανότητα καταστροφής.²⁷ Στην προσπάθειά του να υπερασπιστεί αυτή τη θέση, παρέχει μερικά “παραδείγματα” που δείχνουν ότι για πολλούς τομείς υφίσταται σημαντική διαθροωτική αβεβαιότητα.

Παράδειγμα Α (πρωτοφανείς αύξεις της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα): Τα καλύτερα δεδομένα που υπάρχουν στην επιστήμη της παλαιοκλιματικής από γεωτρήσεις στον πυρήνα των πάγων δείχνουν ότι το διοξείδιο του άνθρακα ποτέ δεν βρισκόταν πέραν του διαστήματος 180-300 ppm κατά τα τελευταία 800.000 χρόνια. Σήμερα ήδη βρίσκεται στα 390 ppm. Η ανθρωπότητα αύξησε τη συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου πολύ πέραν των φυσικών ορίων και μάλιστα με σημαντικά γρήγορο ρυθμό. Τα επίπεδα συγκέντρωσης στα οποία μπορεί τελικά να φθάσουν τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα στο μέλλον πιθανότατα δεν σημειώθηκαν για τουλάχιστον δεκάδες εκατομμύρια χρόνια και ο ρυθμός αύξησης είναι πιθανό να είναι μοναδικός σε μια χρονική κλίμακα εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών.

Παράδειγμα Β (πιθανή επίδραση πρωτοφανούς αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου στη θερμοκρασία): Η κλιματική ευαισθησία είναι ένας δείκτης του τρόπου με τον οποίο η Γη θα αντιδράσει σε τυχόν διπλασιασμό της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου. Είναι πιθανό η θερμοκρασία να βρεθεί εντός του διαστήματος 2 έως 4,5 °C, όπου οι 3 °C αποτελούν μια άριστη εκτίμηση. Η κλιματική ευαισθησία δεν είναι ισοδύναμη της μεταβολής της θερμοκρασίας, όμως, εάν τα λοιπά στοιχεία παραμείνουν ως έχουν, η τυχόν υψηλότερη κλιματική ευαισθησία θα οδηγήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες στο μακρινό μέλλον. Το άρθρο του M. L. Weitzman (2009a) αναφέρει ότι “τιμές κλιματικής ευαισθησίας σημαντικά υψηλότερες από τους 4,5 °C δεν μπορούν να αποκλειστούν”. Είκοσι δύο μελέτες επιστημόνων που παραθέτει η IPCC-AR4 (2007) δείχνουν ότι υπάρχει σε γενικές γραμμές πιθανότητα ίση με 15% η κλιματική ευαισθη-

²⁷ Στο Weitzman (2010a), σελ. 3-4, αναφέρεται: “Τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής βασίζονται σε μια πολύ μακρά αλυσίδα λεπτών επαγωγικών συμπερασμάτων, σε κάθε κρίκο της οποίας εμπεριέχεται μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας. Ακόμα και οι βασικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να θεωρηθούν άγνωστες ως προς τη μελλοντική τους διαμόρφωση, γιατί υπόκεινται σε μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με τον τρόπο επηρεασμού τους από τις μελλοντικές πολιτικές. Η αβεβαιότητα διογκώνεται γιατί είναι σχετικά άγνωστος ο τρόπος με τον οποίο συσσωρεύονται ακόμα και οι χαμηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέσω του κύκλου του άνθρακα σε συγκεντρώσεις αποθέματος αερίων του θερμοκηπίου. Περαιτέρω αβεβαιότητα υφίσταται σχετικά με τον τρόπο και το χρόνο κατά τον οποίο οι συγκεντρώσεις αποθέματος αερίων του θερμοκηπίου οδηγούν σε μεταβολές της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Ακόμα, αβεβαιότητα υπάρχει σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι πολιτικές προσαρμογής, καθώς και οι πολιτικές μετριασμού των ζημιών από την κλιματική αλλαγή, οδηγούν σε μεταβολές της χρησιμότητας σε περιφερειακό επίπεδο μέσω των οικονομικών συναρτήσεων ζημιών. Περαιτέρω αβεβαιότητα υπάρχει σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι μελλοντικές αλλαγές της περιφερειακής χρησιμότητας αθροίζονται σε μια συνάρτηση παγκόσμιας χρησιμότητας η οποία επηρεάζεται από το συνολικό βαθμό αποστροφής προς τον κίνδυνο, ο οποίος επίσης είναι αβέβαιος. Είναι μεγάλη η αβεβαιότητα σχετικά με το επιτόκιο προεξόφλησης που πρέπει να εφαρμοστεί για να μετατραπούν το κόστος και τα οφέλη σε αναμενόμενες παρούσες αξίες. Το αποτέλεσμα αυτής της μακράς αλυσίδας συλλογισμών, που περιβάλλονται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας, οδηγεί σε μια συσσωρευμένη πραγματικά τεράστια αβεβαιότητα, η οποία δυσχεραίνει την ολοκληρωμένη αξιολόγηση, ακόμα και την κατανόηση της δομής του προβλήματος. Επιπλέον, ο συλλογισμός ελέγχεται ως προς τη συνέπειά του αν ληφθεί υπόψη το ενδεχόμενο καταστροφικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής”.

σία να υπερβεί τους 4,5 °C, πιθανότητα ίση με 5% να υπερβεί τους 7 °C και πιθανότητα ίση με 1% να υπερβεί τους 10 °C. “Από τη στιγμή που η θερμοκρασία στη Γη θα αυξηθεί κατά 4 °C, οι συνθήκες θα είναι τόσο διαφορετικές από αυτές που γνωρίζουμε σήμερα (και ακόμη πιο διαφορετικές σε σχέση με την τελευταία εποχή των παγετώνων), που είναι δύσκολο να προβλεφθεί σε ποιο επίπεδο θα σταματήσει η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης”.

Παράδειγμα Γ (περίπτωση καταστροφικής ανατροφοδότησης): Καθώς η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται, θα μπορούσε να τεθεί σε κίνηση μια σειρά μηχανισμών που, μέσω της ανατροφοδότησης, θα έχουν επικίνδυνες επιπτώσεις για τον κύκλο του άνθρακα. Αυτό το ενδεχόμενο δεν λαμβάνεται υπόψη στα περισσότερα φυσικά πρότυπα για την κλιματική αλλαγή. Δύο παραδείγματα είναι “ο τεράστιος όγκος των αερίων του θερμοκηπίου που βρίσκονται σήμερα στο παγωμένο υπέδαφος της Αρκτικής και σε άλλα, ελώδη εδάφη” και η “ακόμα πιο μικρή πιθανότητα απελευθέρωσης των ακόμα μεγαλύτερων ποσοτήτων μεθανίου που είναι παγιδευμένες με τη μορφή ένυδρων ουσιών”. Αν ληφθούν υπόψη και αυτοί οι παράγοντες, η πιθανότητα για ακραίες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής θα διογκωθεί ακόμη περισσότερο.

Μια πρόσθετη πηγή αβεβαιότητας που υπεισέρχεται στην οικονομική ανάλυση της κλιματικής αλλαγής είναι ο τρόπος με τον οποίο οι αναλυτές που καταστρώνουν μαθηματικά πρότυπα επιχειρούν να συσχετίσουν τις πιθανές μεταβολές της θερμοκρασίας με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη ευημερία. Η συνάρτηση ζημιών που χρησιμοποιείται στα περισσότερα οικονομικά πρότυπα βασίζεται στην υπόθεση ότι οι ζημιές αυξάνονται σταδιακά και συνεχόμενα, καθώς αυξάνεται η μέση θερμοκρασία της Γης. Δεν λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα απότομων μεταβολών (ασυνεχειών) ή επιτάχυνσης των ζημιών εξαιτίας υψηλών θερμοκρασιών.²⁸ Η επιλογή σχετικά με τη χρήση αυτής της συγκεκριμένης μορφής συνάρτησης ζημιών είναι τελείως αυθαίρετη και περισσότερο οφείλεται σε επιδίωξη υπολογιστικής ευκολίας παρά σε γνώση της πραγματικής σχέσης που συνδέει τις αυξήσεις της θερμοκρασίας με τις φυσικές επιπτώσεις και την ανθρώπινη ευημερία. Η επιλογή ακριβέστερων μορφών συνάρτησης ζημιών μπορεί να οδηγήσει σε τελείως διαφορετικές αξιολογήσεις των ζημιών εξαιτίας υψηλών θερμοκρασιών.

Οι χαμηλής πιθανότητας καταστροφικές ζημιές στο μακρινό μέλλον θα μπορούσαν να θεωρηθούν ανεκτές, αν η κλιματική αλλαγή ήταν αναστρέψιμη σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει, διότι τα μεγάλα αποθέματα διοξειδίου του άνθρακα θα παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Με δεδομένες τις βαθιές και πολλαπλές πηγές αβεβαιότητας σχετικά με τα ακραία ενδεχόμενα, η πολιτική του “βλέποντας και κάνοντας” δεν έχει εγγυημένη αποτελεσματικότητα, γιατί βασίζεται στην ελπίδα της άρσης αυτής της αβεβαιότητας. Ο Weitzman δεν βασίζεται απλώς στα στοιχεία και στη διαίσθηση για την αβεβαιότητα σχετικά με τις ακραίες κλιματικές αλλαγές, αλλά αναπτύσσει θεωρητικά επιχειρήματα μαζί με απλά

²⁸ Βλ. Weitzman (2010b) και Gerst et al. (2010) για μια εκτενέστερη ανάλυση ως προς το πόσο σχετικός είναι ο τρόπος προσδιορισμού της συνάρτησης ζημιών στα οικονομικά της καταστροφικής κλιματικής αλλαγής.

μαθηματικά πρότυπα, που παρουσιάζουν τις συνέπειες της θεώρησης συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας με “παχιά” άκρα στο πλαίσιο ποσοτικών αναλύσεων. Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύει το επιχείρημα υπέρ της ανάγκης για άμεση και ουσιαστική δράση για μείωση των εκπομπών.²⁹

O Weitzman και άλλοι μελετητές³⁰ προτείνουν μια μέθοδο μορφοποίησης της απόφασης για τη λήψη μέτρων για την κλιματική αλλαγή διαφορετική από ό,τι εκείνη που βασίζεται στην ανάλυση κόστους-οφέλους προκειμένου να προσδιορίσει την άριστη χρονική διαδρομή των εκπομπών. Όταν ενδιαφέρει να προσδιοριστεί η άριστη ένταση και ταχύτητα των μέτρων για την κλιματική αλλαγή, είναι σημαντικό να θεωρούνται τα μέτρα αυτά ως ασφάλιση έναντι του κινδύνου καταστροφικής κλιματικής αλλαγής, έστω και αν αυτή έχει χαμηλή πιθανότητα, παρά να εστιάζεται η προσοχή στο πιο πιθανό ενδεχόμενο σχετικά με τις μελλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί ποιο μέγεθος αύξησης της θερμοκρασίας μπορεί να είναι ανεκτό, ενώ παράλληλα τα μέτρα θα πρέπει να εξαλείφουν κάθε πιθανότητα μελλοντικής καταστροφής.

Μια τέτοια προσέγγιση “προληπτικού” χαρακτήρα είναι παρόμοια με την πρακτική που ακολουθείται σχετικά με τις αποφάσεις περί ασφάλισης έναντι κινδύνων πυρκαγιών, πλημμυρών και άλλων ειδών καταστροφής.³¹ Επειδή οι άνθρωποι αποστρέφονται τον κίνδυνο, είναι κατά κανόνα πρόθυμοι να πληρώσουν για να αποφύγουν ένα ενδεχόμενο που έχει μεν μικρή πιθανότητα πραγματοποίησης, αλλά που αντιστοιχεί σε μεγάλη ζημία. Αν η προσοχή επικεντρωνόταν μόνο στα πιο πιθανά αποτελέσματα, δεν θα συνάπτονταν συμβάσεις ασφάλισης.³² Η προσέγγιση του θεσμού της ασφάλισης που αντιμετωπίζει τη δράση για την κλιματική αλλαγή ως μια μέθοδο για να αποφευχθεί η χαμηλή πιθανότητα κινδύνου καταστροφικών ζημιών θα μπορούσε εύκολα να δικαιολογήσει την καταβολή ενός μεριδίου της τάξεως του 0,5% του ΑΕΠ για να υπάρξει κάλυψη έναντι, π.χ. πιθανότητας παγκόσμιας καταστροφής της τάξεως του 1%. Λαμβάνοντας υπόψη της τέτοιους παράγοντες, η παγκόσμια κοινότητα δαπάνησε το 2006 το 3% του ΑΕΠ για ασφάλιση.³³

Θα μπορούσε να τεθεί το ερώτημα κατά πόσον οι κίνδυνοι από την κλιματική αλλαγή είναι παρόμοιας τάξεως μεγέθους με ακραίους κινδύνους από άλλα “εφιαλτικά σενάρια”, όπως σχε-

²⁹ Οι Ackerman et al. (2010) έδειξαν με τα πολύ ολοκληρωμένα μαθηματικά πρότυπα αξιολόγησης DICE ότι η “προτεινόμενη” σταδιακή και ήπια πολιτική δράσης δεν είναι βέλτιστη, ακόμη και όταν υπάρχουν υψηλά ποσοστά προεξόφλησης, γιατί το όφελος από την επιθετική δράση για μείωση των εκπομπών υπερκαλύπτει κατά πολύ το κόστος της δράσης αυτής, ιδίως όταν ενσωματώνονται στο πρότυπο συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας με “παχιά” άκρα.

³⁰ Βλ. R. S. Pindyck (2007) για μια πολύ κατανοητή παρουσίαση μερικών από τις κυριότερες αναλύσεις σχετικά με τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής, καθώς και για την αιτιολόγηση της οπτικής γωνίας περί ασφάλισης η οποία παρέχει επιχείρημα υπέρ της λήψης μέτρων για μείωση των εκπομπών. Οι Dasgupta (2008) και M. L. Weitzman (2009d) θέτουν ερωτήματα σχετικά με τη χρησιμότητα της ανάλυσης κόστους-οφέλους ενόψει της αβεβαιότητας της κλιματικής αλλαγής.

³¹ Ανάλογες προσεγγίσεις ακολουθούνται στις ΗΠΑ σε ζητήματα πολιτικής για την αντιμετώπιση της τρομοκρατίας, τη δημιουργία προστατευτικών ασπίδων κατά των βαλλιστικών πυραύλων ή την εξουδετέρωση εχθρικών δικτατορικών καθεστώτων που ενδεχομένως κατέχουν όπλα μαζικής καταστροφής. Τα ζητήματα αυτά καλύπτουν περιπτώσεις ενδεχομένων η αποτροπή των οποίων παρέχει τεράστια οφέλη και τα οποία έχουν μικρές πιθανότητες επέλευσης, ενώ είναι σημαντικό το κόστος αποτροπής τους (Heal and Kristrom, 2002).

³² O M.L. Weitzman (2009d) μελέτησε τους παράγοντες που καθορίζουν το ύψος του ποσού που θα ήταν κάποιος διατεθειμένος να πληρώσει για να αποφύγει τον κίνδυνο από την κλιματική αλλαγή.

³³ World Bank Group (2009).

τικά με περιβαλλοντικές καταστροφές π.χ. από τη βιοτεχνολογία, τις πανδημίες, την εξάπλωση των πυρηνικών ή την πτώση ενός αστεροειδούς στη Γη. Υπάρχουν λόγοι να πιστεύεται ότι η κλιματική αλλαγή έχει μοναδικά χαρακτηριστικά συγκρινόμενη με άλλες περιπτώσεις παγκόσμιας περιβαλλοντικής καταστροφής, επομένως δεν είναι ορθό οι παραπάνω κίνδυνοι να συγκρίνονται και να αξιολογούνται με παρόμοιο τρόπο.³⁴

3.1.10 Τα επιχειρήματα υπέρ της λήψης μέτρων

Οι οικονομολόγοι θα συνεχίσουν να συζητούν σχετικά με τη θεωρία, τα μαθηματικά πρότυπα και τις υποθέσεις που αφορούν στο κόστος και το όφελος από τη λήψη μέτρων για την κλιματική αλλαγή. Τα περισσότερα μαθηματικά πρότυπα δείχνουν ότι το επιπλέον κόστος για την ανθρωπότητα λόγω λήψης πιο δραστικών μέτρων για την κλιματική αλλαγή δεν είναι πολύ υψηλό. Από τη συνεχιζόμενη συζήτηση περί του θέματος αυτού διαπιστώνεται ότι υπάρχουν ισχυρότερα επιχειρήματα υπέρ παρά κατά της ανάληψης δράσης.

Τα επιχειρήματα υπέρ της ανάληψης δράσης ενισχύονται από την πεποίθηση ότι οι μελλοντικές ζημιές δεν πρέπει να σταθμίζονται με χαμηλότερο συντελεστή από ό,τι οι σημερινές ζημιές απλώς και μόνον επειδή στη ζωή τους οι άνθρωποι προτιμούν το άμεσο από το μακρινό. Η τυχόν μεγαλύτερη έμφαση στο κριτήριο της δικαιοσύνης μπορεί να έχει αμφίβολες συνέπειες, αν προσδοκάται ότι στο μέλλον η ανθρωπότητα θα είναι πλουσιότερη. Όσο περισσότερη σημασία αποδίδεται στο φυσικό περιβάλλον και τις υπηρεσίες του, τόσο ενισχύονται τα επιχειρήματα υπέρ της ανάληψης δράσης. Όσο πιο σοβαρά λαμβάνονται υπόψη τα κρίσιμα όρια και η αδράνεια του κλιματικού συστήματος, της οικονομίας και της κοινωνίας, τόσο ισχυρότερα γίνονται τα επιχειρήματα υπέρ της ανάληψης δράσης. Όσο περισσότερο ενσωματώνονται παράγοντες αβεβαιότητας στις αναλύσεις με πρότυπα, όπως και όταν λαμβάνεται υπόψη το ενδεχόμενο καταστροφικής κλιματικής αλλαγής, έστω και αν έχει χαμηλή πιθανότητα επέλευσης, τόσο ενισχύονται τα επιχειρήματα υπέρ της άμεσης ανάληψης δράσης.

Με δεδομένο ότι οι κύριες περιπτώσεις αβεβαιότητας είναι απίθανο να αποσαφηνιστούν σύντομα, θεμελιώνεται ισχυρό επιχείρημα σύμφωνα με το οποίο είναι αμφισβητήσιμη η όλη μεθοδολογία αποτίμησης κόστους και οφέλους η οποία χρησιμεύει για να κριθεί κατά πόσον πρέπει να αναληφθεί δράση. Πολύ πιο πειστική είναι η προσέγγιση η οποία βασίζεται στην έννοια της ασφάλισης. Ο κυριότερος λόγος για τον οποίο θα πρέπει να ληφθούν δραστικά μέτρα το ταχύτερο είναι ότι αξίζει να καταβληθεί ένα σχετικά χαμηλό τίμημα για να αποφευχθεί μια μη αμελητέα πιθανότητα αδιανόητα μεγάλης παγκόσμιας καταστροφής.³⁵

³⁴ Βλ. Sunstein (2009) για μια ανάλυση σχετικά με μερικές από αυτές τις απειλές και το πώς διαφέρουν από τον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής. Για μια ευρύτερη και μη τεχνικής φύσεως ανάλυση σχετικά με τον τρόπο που το Δημόσιο πρέπει να αποφασίζει ενόψει των καταστροφικών ενδεχομένων χαμηλής πιθανότητας, βλ. Posner (2005) και M. L. Weitzman (2010c).

³⁵ Αυτό το συμπέρασμα ισχύει ακόμη και χωρίς να ληφθούν υπόψη τα λοιπά εκτιμώμενα οφέλη από την ανάληψη δράσης κατά της κλιματικής αλλαγής, όπως η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η αυξημένη ενεργειακή ασφάλεια, κ.λπ.

Ακόμη και αν υιοθετηθεί η προσέγγιση της ασφάλισης, θα χρειαστεί ανάλυση σχετικά με το κόστος και το όφελος, παρόλο που αυτή θα αφορά στο πιθανό κόστος και στην πιθανότητα ακραίας κλιματικής αλλαγής. Η ανάλυση κόστους-οφέλους (ή γενικότερα η οικονομική ανάλυση) συνεχίζει να βοηθά να γίνουν αντιληπτές οι πιθανές ζημιές λόγω της κλιματικής αλλαγής, η περιφερειακή κατανομή τους και το μέγεθος των δαπανών για την ανάληψη διαφόρων δράσεων οι οποίες αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών, ή και ο τρόπος με τον οποίο το εν λόγω κόστος θα κατανεμηθεί, μεταξύ άλλων, στους διάφορους τομείς της οικονομίας και στον πληθυσμό.

Η βάθυνση της οικονομικής ανάλυσης θα αποφέρει οφέλη, εφόσον δεν στηριχθεί σε υπερβολικό βαθμό σε συγκεκριμένες χρηματικές εκτιμήσεις του κόστους και του οφέλους προκειμένου να αποφασιστεί αν πρέπει ή δεν πρέπει να ληφθούν μέτρα. Προϋπόθεση αποτελεί η χρήση των ποσοτικών εκτιμήσεων της ανάλυσης, προκειμένου να υπάρξει ενημέρωση σχετικά με το πώς πρέπει να γίνει η προσαρμογή σε ένα μεταβαλλόμενο κόσμο, καθώς και σχετικά με το ποια πολιτική θα είναι πιο αποτελεσματική ή θα έχει το μικρότερο κόστος για τη μείωση των εκπομπών. Η συζήτηση σχετικά με τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής συνεχίζει εν πολλοίς να διαδραματίζει προεξάρχοντα ρόλο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και στη σχετική επιχειρηματολογία αναφορικά με ευρύ φάσμα ζητημάτων και σε όλα τα επίπεδα λήψης αποφάσεων.

Λόγω του παγκόσμιου χαρακτήρα των αιτίων αλλά και των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, η ανάλυση συνήθως γίνεται υπό παγκόσμια οπτική. Η θεώρηση των πραγμάτων με παγκόσμια οπτική αναμένεται να έχει κεντρικό ρόλο στο πλαίσιο της μελέτης σχετικά με την ανάληψη παγκόσμιας δράσης ή ακόμη και σχετικά με το πώς η δράση θα πρέπει να κατανεμηθεί ανάμεσα σε χώρες και σε τομείς της οικονομίας. Τα επιχειρήματα υπέρ της ανάληψης δράσης ενισχύονται υπό το πρίσμα της παγκόσμιας οπτικής, με βάση την οποία πρέπει να λαμβάνονται και οι αποφάσεις που αφορούν είτε μεμονωμένους πολίτες είτε τοπικές κοινωνίες και επιμέρους χώρες. Παρόλο που το όφελος και το κόστος της κλιματικής αλλαγής μπορεί να κυμαίνονται από χώρα σε χώρα, οι εκτιμήσεις που υποστηρίζουν την ανάληψη δράσης από την παγκόσμια κοινότητα είναι οι ίδιες με αυτές που υποστηρίζουν την ανάληψη δράσης από μεμονωμένες χώρες.

Για το λόγο αυτό, η οικονομική ανάλυση της κλιματικής αλλαγής σε επίπεδο χώρας πρέπει να προσανατολίζεται σε άλλους σκοπούς. Η ανάλυση σε επίπεδο χώρας απαιτεί πολύ πιο εκτενή και λεπτομερή ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η παγκόσμια κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τις τοπικές καιρικές συνθήκες, την άνοδο της στάθμης των τοπικών θαλασσών και τη συχνότητα εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων. Αυτή η λεπτομερής προσέγγιση αποτελεί σημαντική βάση κατανόησης σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής διαχρονικά στις διάφορες περιοχές μιας χώρας και σε διάφορους τομείς μιας οικονομίας και μιας κοινωνίας. Αποτελεί επίσης τη βάση ώστε να υπάρξει η δυνατότητα να σχεδιαστεί με αποτελεσματικό τρόπο πολιτική προσαρμογής προς την κλιματική αλλαγή αλλά και πολιτική που θα ελαχιστοποιεί το κόστος της μείωσης των εκπομπών. Επίσης, η εν λόγω προσέγγιση παρέχει κρίσιμης σημασίας πληροφορίες

για τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων σε όλα τα επίπεδα. Εν συντομία, θα βοηθήσει τη χώρα να προσδιορίσει την πορεία που θα την οδηγήσει σε βιώσιμη ανάπτυξη.

3.2 Μαθηματικά πρότυπα για τις αλληλεπιδράσεις κλίματος και οικονομίας*

Έχουν αναπτυχθεί αρκετά μαθηματικά πρότυπα προκειμένου να μελετηθούν οι αλληλεπιδράσεις κλίματος και οικονομίας και να υποστηριχθεί η άσκηση πολιτικής. Έχουν επίσης αναπτυχθεί αρκετά μαθηματικά πρότυπα σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα που συνδέονται με το κλίμα (κλιματικά πρότυπα). Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένα μαθηματικά πρότυπα, τεχνικού και οικονομικού χαρακτήρα, τα οποία προβάλλουν στο μέλλον τις τιμές των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, λαμβάνοντας υπόψη τρόπους μείωσης των εκπομπών (π.χ. πρότυπα για τον ενεργειακό τομέα και τις βιομηχανικές διεργασίες). Συχνά οι αναλυτές συνδέουν τα κλιματικά πρότυπα με εκείνα για τον ενεργειακό τομέα και τις βιομηχανικές διεργασίες, προκειμένου να μελετήσουν από κοινού τις εκπομπές και τις επιδράσεις που αυτές θα έχουν στο κλίμα. Οι σχεδιαστές μακροοικονομικών προτύπων, πολύτομεακών προτύπων και προτύπων για την οικονομική ανάπτυξη χρειάστηκε να τα επεκτείνουν ώστε να ενσωματώσουν μηχανισμούς που προσομοιώνουν τη διαμόρφωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τον τρόπο μείωσης των εκπομπών, καθώς και την εκτίμηση των ζημιών από τα κλιματικά αποτελέσματα των κλιματικών προτύπων. Έτσι, αναλυτές από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους συνεργάστηκαν και ανέπτυξαν διασυνδέσεις³⁶ των παραπάνω μαθηματικών προτύπων, προκειμένου να μελετηθούν σε μεγαλύτερο βάθος οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ κλίματος, ενέργειας, βιομηχανικών διεργασιών και της οικονομίας. Από τις εργασίες σχετικά με τις διασυνδέσεις των προτύπων προέκυψαν και ολοκληρωμένα μαθηματικά πρότυπα, που κατηγοριοποιήθηκαν ως πρότυπα αλληλεπιδράσεων Οικονομίας-Ενέργειας-Περιβάλλοντος.³⁷

3.2.1 Τα μαθηματικά πρότυπα ολοκληρωμένης αξιολόγησης

Τα μαθηματικά πρότυπα ολοκληρωμένης αξιολόγησης³⁸ συνδυάζουν προσομοίωση του κλιματικού συστήματος με προσομοίωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και του οικονομικού συστήματος, με σκοπό την αξιολόγηση εναλλακτικών μορφών πολιτικής. Η εκτίμηση των επιπτώσεων στο φυσικό, βιολογικό και κοινωνικό σύστημα λαμβάνει τελικά τη μορφή χρηματικών αξιών, οι οποίες ανάγονται σε μέτρηση της κοινωνικής ευημερίας. Στα πρότυπα αυτά η αιτιώδης συνάφεια μεταξύ των συστημάτων αναπαρίσταται ως εξής:

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 3.2 συνεργάστηκαν οι Ανδρέας Παπανδρέου και Παντελής Κάπρος.

³⁶ Ο Weyant (2009) ενθαρρύνει τη συνεργασία μεταξύ αναλυτών και προτύπων από διαφορετικές επιστημονικές περιοχές.

³⁷ E3: Economy-Energy-Environment Models, βλ. Capros, P. (1995).

³⁸ IAM: Integrated Assessment Models.

- οι ανθρωπογενείς μεταβολές του κλίματος προέρχονται από αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα,
- οι συγκεντρώσεις αυτές επηρεάζουν τη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις, τη δημιουργία των νεφών, την ένταση των ανέμων, τη στάθμη της θάλασσας, κ.λπ.,
- οι μεταβολές αυτές επιδρούν στο φυσικό και βιολογικό σύστημα και επηρεάζουν την απόδοση των καλλιεργειών, τα υδάτινα αποθέματα, την βιοποικιλότητα, τα οικοσυστήματα, ακόμα και τις μετακινήσεις των πληθυσμών,
- οι επιδράσεις αυτές μετασχηματίζονται σε χρηματικές αξίες και επιδρούν στο οικονομικό σύστημα,
- τελικά οι μεταβολές μετρούνται ως συνολικό κόστος για την οικονομία.

Οι αλληλεπιδράσεις αυτές μελετώνται με δυναμικό τρόπο ως προς το χρόνο. Η οικονομία όχι μόνο επηρεάζεται από την κλιματική αλλαγή, αλλά είναι και υπεύθυνη για την κλιματική αλλαγή μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την παραγωγή και κατανάλωση αγαθών. Μεταξύ των τομέων που ευθύνονται περισσότερο για τις εκπομπές αυτές είναι ο ενεργειακός τομέας, στο βαθμό κατά τον οποίο χρησιμοποιεί την καύση ορυκτών καυσίμων. Από τους λοιπούς τομείς της οικονομίας, ευθύνη για τις εκπομπές έχουν η γεωργία, η κτηνοτροφία και οι βιομηχανικές διεργασίες. Πολιτικές και μετασχηματισμοί που μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οδηγούν ενδεχομένως σε μείωση της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα και έτσι περιορίζονται οι κλιματικές μεταβολές, όπως και οι επιδράσεις τους στο φυσικό, βιολογικό, κοινωνικό και παραγωγικό σύστημα. Οι πολιτικές αυτές επιφέρουν συνήθως επιπλέον κόστος εφαρμογής, ενώ συγχρόνως επιτρέπουν να αποφευχθεί μέρος του κόστους που οφείλεται στην κλιματική μεταβολή.

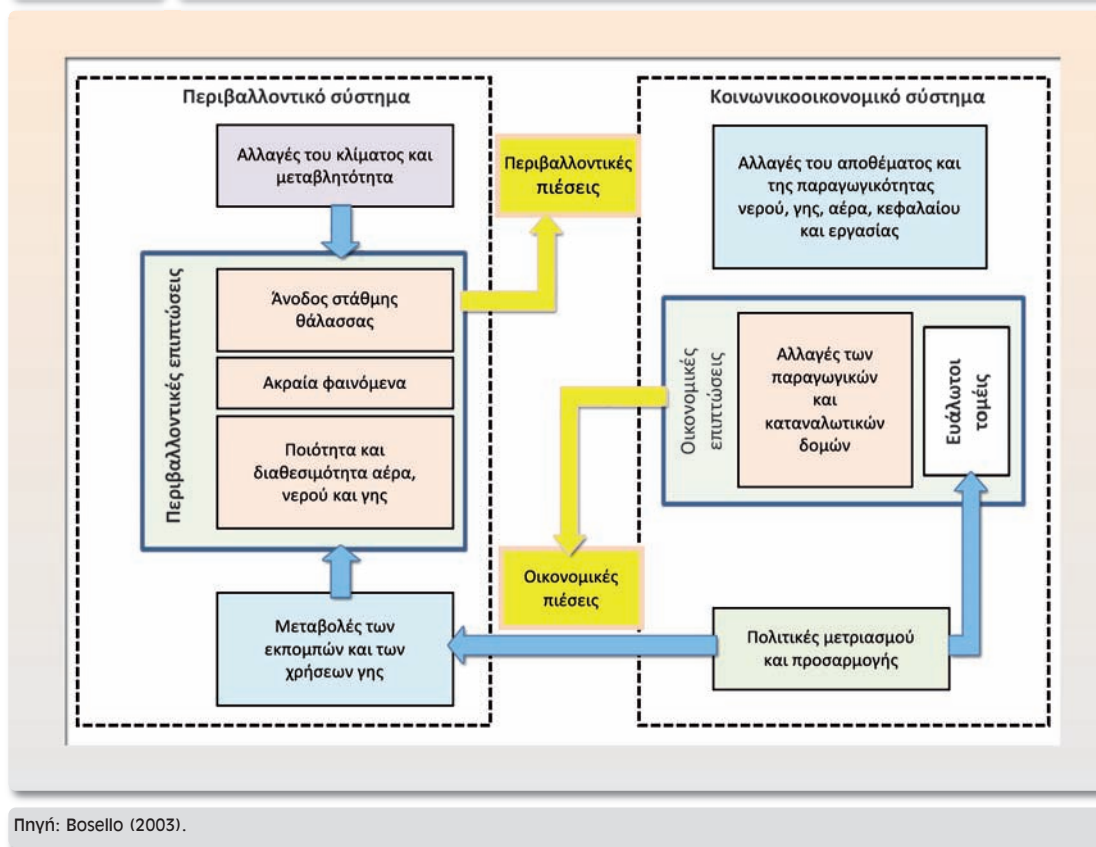
Τα μαθηματικά πρότυπα ολοκληρωμένης αξιολόγησης είναι συχνά πολύπλοκα συστήματα τα οποία βασίζονται στη διασύνδεση διαφόρων εξειδικευμένων προτύπων.³⁹ Υπάρχουν όμως και συμπαγή πρότυπα ολοκληρωμένης αξιολόγησης, τα οποία βασίζονται σε συμβατικά μαθηματικά πρότυπα διαχρονικής βελτιστοποίησης της οικονομικής ανάπτυξης και ενσωματώνουν απλές σχέσεις που αποτελούν συνοπτικές απεικονίσεις πολύπλοκων εξειδικευμένων προτύπων για κλιματικά θέματα. Τα συμπαγή πρότυπα χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις του ΟΗΕ (IPCC) για την κλιματική αλλαγή και αναπτύχθηκαν κυρίως από τον W. Nordhaus⁴⁰ του Πανεπιστημίου Yale και από τον A. Manne⁴¹ του Πανεπιστημίου Stanford.

Σχετικά με την αναπαράσταση της οικονομίας, η κυρίαρχη τάση ακολουθεί τη νεοκλασική μεθοδολογία, η οποία βασίζεται στη θεωρία της γενικής οικονομικής ισορροπίας, στο πλαίσιο της οποίας αντιπροσωπευτικοί καταναλωτές μεγιστοποιούν τη χρησιμότητά

³⁹ Βλ. Hope (2005), Fussel and Mastrandrea (2009), Tol and Fankhauser (1998), Weyant et al. (1999), Grubb et al. (2006), Hitz and J. Smith (2004) και Yohe (1999) για επισκοπήσεις των μαθηματικών προτύπων ολοκληρωμένης αξιολόγησης.

⁴⁰ Βλ. Nordhaus (2008) για την παρουσίαση του προτύπου DICE.

⁴¹ Βλ. Manne et al. (1993) για την παρουσίαση του προτύπου MERGE.



τους, αντιπροσωπευτικοί παραγωγοί μεγιστοποιούν τα κέρδη τους και η αγορά ισορροπεί υπό συνθήκες τέλει ανταγωνισμού και πλήρους απασχόλησης. Υπάρχουν βεβαίως και πρότυπα που ακολουθούν διαφορετική μεθοδολογία, τα οποία συχνά οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα.

3.2.2 Τα μαθηματικά πρότυπα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας

Τα πρότυπα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας⁴² βασίζονται στην προσέγγιση της γενικής οικονομικής ισορροπίας κατά Arrow-Debreu και υπολογίζουν τις τιμές αγαθών, υπηρεσιών και συντελεστών παραγωγής που διασφαλίζουν ταυτόχρονη ισορροπία όλων των αγορών σε μια οικονομία, εξαρτώμενες από τις αποκεντρωμένες αποφάσεις ζήτησης και προσφοράς τις οποίες λαμβάνουν με βάση τις τιμές οι διάφοροι οικονομικοί παράγοντες.

Συνήθως τα πρότυπα αυτά είναι πολυτομεακά και λεπτομερή και ως προς αυτό διαφέρουν από τα συμπαγή πρότυπα ανάπτυξης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Διαφέρουν επίσης ως προς

⁴² Βλ. Ian Sue Wing (2010), Kehoe (1998), I. Sue Wing (2004) και Peng (2007) για απλές περιγραφές των προτύπων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας και για απλά αριθμητικά παραδείγματα.

τα δυναμικά χαρακτηριστικά τους, αφού τα πρότυπα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας, είτε στατικά είτε δυναμικά, εφαρμόζουν ατελή πρόγνωση του μέλλοντος, ενώ τα συμπαγή πρότυπα επιτελούν βελτιστοποίηση με διαχρονικό τρόπο και τέλεια πρόγνωση του μέλλοντος.

Το κύριο πλεονέκτημα των προτύπων υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας είναι η δυνατότητά τους να αναπαριστούν πολλούς τομείς δραστηριότητας και να περιγράφουν με πολύ λεπτομερή τρόπο τις ανταλλαγές μεταξύ τομέων, μεταξύ καταναλωτών και παραγωγών, καθώς και μεταξύ χωρών. Με τον τρόπο αυτό, προσφέρονται για διασύνδεση με λεπτομερή πρότυπα και υπολογισμούς επιπτώσεων κατά τομέα. Τα συμπαγή πρότυπα οικονομικής ανάπτυξης υστερούν ως προς την αναπαράσταση των λεπτομερειών, αλλά υπερτερούν ως προς τη θεωρητική θεμελίωση των μακρόχρονων τάσεων οικονομικής ανάπτυξης που προβάλλουν.

Ακριβώς λόγω της αναλυτικής και αποκεντρωμένης δομής τους, τα πρότυπα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας προσφέρονται για ενσωμάτωση σχέσεων που περιγράφουν με κάποιο βαθμό λεπτομέρειας τον ενεργειακό τομέα, τη σύνδεση των δραστηριοτήτων με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρυπαντών, την αναπαράσταση δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών (είτε χάρη στην αναδιάρθρωση της κλαδικής δομής της οικονομίας είτε μέσω υποκαταστάσεων είτε με άμεσες τεχνικές μείωσης εκπομπών), το μηχανισμό επιπτώσεων στο περιβάλλον και στο κλίμα από τις εκπομπές και τις συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα, καθώς και τις επιπτώσεις σε διάφορους τομείς εξαιτίας των κλιματικών μεταβολών. Χάρη στην αποκεντρωμένη αναπαράσταση των αγαθών και των τιμών τους, τα πρότυπα αυτά προσφέρονται επίσης για την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών υπηρεσιών ως αγαθών, καθώς και μηχανισμών για έλεγχο των εκπομπών μέσω αγοράς εμπορεύσιμων αδειών. Με τον τρόπο αυτό, τα επεκτεταμένα πρότυπα υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας⁴³ περιλαμβάνουν εντός ενός μόνο μαθηματικού συστήματος όλες τις λειτουργίες των προτύπων ολοκληρωμένης αξιολόγησης, ενώ τα τελευταία είναι πιο πολύπλοκα, αφού χρησιμοποιούν διασύνδεση διαφορετικών μαθηματικών συστημάτων.

3.2.3 Πρότυπα μερικής ισορροπίας και "εκ των κάτω" εκτιμήσεις

Τα πρότυπα μερικής ισορροπίας⁴⁴ διαφέρουν από αυτά της γενικής ισορροπίας, επειδή επικεντρώνονται σε ένα τμήμα της οικονομίας, συνήθως σε ένα μόνο κλάδο, χωρίς να επιδιώκουν την αναπαράσταση των αλληλεπιδράσεων με τη λοιπή οικονομία. Τα πρότυπα μερικής ισορροπίας χρησιμοποιούνται άλλοτε για τον υπολογισμό των επιπτώσεων λόγω της κλιματικής αλλαγής σε ορισμένους τομείς της οικονομίας και άλλοτε για τον υπολογισμό, με μεγάλη λεπτομέρεια, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από ορισμένους κλάδους, καθώς και για τη μελέτη του κόστους και των δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών.

⁴³ Παράδειγμα τέτοιου προτύπου είναι το GEM-E3, βλ. Capros, P. et al. (1997).

⁴⁴ Η θεωρητική τους θεμελίωση βασίζεται στους Pigou and Aslanbeigui (2001) και Marshall (1997).

Τα μαθηματικά πρότυπα για τον ενεργειακό τομέα της οικονομίας είναι πρότυπα μερικής ισορροπίας και συνήθως αναπαριστούν με αρκετές λεπτομέρειες, καθώς και με τεχνικοοικονομικό τρόπο, τη διαμόρφωση της ζήτησης και της προσφοράς ενέργειας σε διάφορες μορφές. Υπάρχουν επίσης λεπτομερή πρότυπα ειδικά για βιομηχανικές διεργασίες, για τον υπολογισμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εκτός του διοξειδίου του άνθρακα.

Μορφή προτύπου γενικής ισορροπίας λαμβάνουν επίσης μεθοδολογικές προσεγγίσεις που επιδιώκουν την εκτίμηση της χρηματικής αξίας των κλιματικών επιπτώσεων σε ορισμένους τομείς, όπως π.χ. οι βιοφυσικές προσεγγίσεις για τον τομέα της γεωργίας, οι οποίες συνδυάζονται με στατιστικές μεθοδολογίες και αναλύσεις επιπτώσεων με αναφορά στην ισορροπία της αγοράς (βλ. Mendelsohn, Nordhaus, et al., 1998, Adams et al., 2004, και Tol, 2010).

Οι μεθοδολογίες αυτές εφαρμόστηκαν και σε άλλους τομείς της οικονομίας και συχνά αναφέρονται ως μέθοδοι απαρίθμησης των επιπτώσεων. Σύμφωνα μ' αυτήν τη μέθοδο, εκτιμάται κατ' αρχήν η επίπτωση στη βιοφυσική σφαίρα εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Η επίπτωση αυτή αποτιμάται στη συνέχεια σε χρηματικές αξίες με βάση υποθέσεις σχετικά με την εμπορική αξία των αγαθών ή του κεφαλαίου που ζημιώνεται. Η αποτίμηση αυτή, η οποία αναφέρεται συχνά ως εκτίμηση του άμεσου ή πρώτου βαθμού κόστους, μπορεί να βασίζεται σε πληθώρα μεθόδων ανάλογα με την περίπτωση, οι οποίες μπορεί να είναι αναλυτικά πρότυπα ή απλές εκτιμήσεις εμπειρογνομόνων. Στη συνέχεια, το άμεσο κόστος που υπολογίζεται κατά τομέα αθροίζεται για όλους τους τομείς, προκειμένου να υπολογιστεί εκτίμηση του συνολικού κόστους λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Οι μεθοδολογίες αυτές αναφέρονται επίσης ως “εκ των κάτω” (bottom-up⁴⁵) εκτιμήσεις του κόστους, σε αντιδιαστολή με τις “εκ των άνω” (top-down) εκτιμήσεις, οι οποίες διενεργούνται μέσω μαθηματικών προτύπων γενικής ισορροπίας.

Οι εκτιμήσεις κόστους που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 αποτελούν “εκ των κάτω” εκτιμήσεις και βασίστηκαν στη μεθοδολογία της απαρίθμησης επιπτώσεων. Οι εκτιμήσεις κόστους που παρουσιάζονται στο Υποκεφάλαιο 3.3 πιο κάτω αποτελούν “εκ των άνω” εκτιμήσεις και βασίστηκαν σε μαθηματικό πρότυπο υπολογιζόμενης γενικής ισορροπίας. Οι εκτιμήσεις κόστους που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4 έγιναν με πρότυπο μερικής ισορροπίας (ενεργειακού τομέα και τομέων βιομηχανικών διεργασιών).

Σύμφωνα με τη θεωρία, η μέθοδος απαρίθμησης των επιπτώσεων δεν εγγυάται ότι οι συνολικές επιπτώσεις στην οικονομία που εκτιμώνται ποσοτικά είναι ίδιες με αυτές που εκτιμώνται μέσω μαθηματικών προτύπων γενικής ισορροπίας ή μέσω άλλων μακροοικονομικών προτύπων. Η διαφορά οφείλεται στο ότι το πρότυπο διασφαλίζει την εκτίμηση όλων των έμμεσων επιπτώσεων στην οικονομία λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τομέων καθώς και με τη λοιπή οικονομία.⁴⁶

⁴⁵ Βλ. Fankhauser (1994, 1995), Nordhaus (1994) και Tol (1995, 2002a, 2002b).

⁴⁶ Παραδείγματα δίδονται από τους Tsao et al. (2010) και Barker et al. (2009).

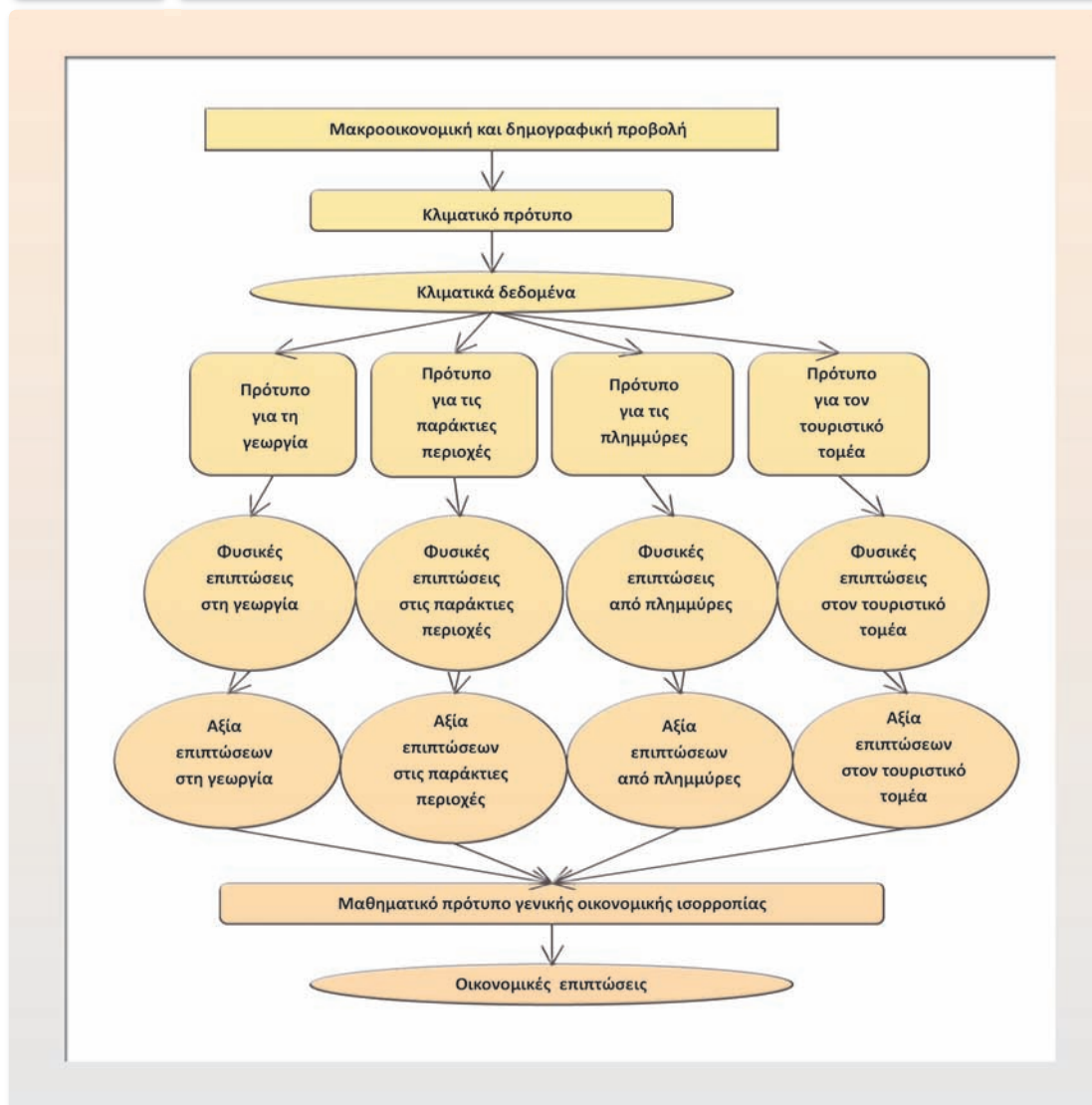
3.2.4 Εισαγωγή των στοιχείων των τομεακών αναλύσεων ως είσοδος των προτύπων γενικής ισορροπίας

Μεγάλη χρησιμότητα έχουν οι “εκ των κάτω” εκτιμήσεις των τομεακών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, καθώς και οι προσεγγίσεις μερικής ισορροπίας, για την προετοιμασία δεδομένων που εισάγονται ως εξωγενείς μεταβολές σε μαθηματικά πρότυπα γενικής ισορροπίας. Αυτή η μέθοδος ακολουθήθηκε και στην παρούσα μελέτη.

Οι Jorgenson et al. (2004), με χρήση του προτύπου IGEM, και οι Ciscar et al. (2009) στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού έργου PESETA, αλλά και πολλοί άλλοι εκπόνησαν μεγάλης έκτασης μελέτες σχετικά με το κόστος της κλιματικής αλλαγής, συνδυάζοντας τομεακές συναρτήσεις ζημιών με

Διάγραμμα 3.2

Η οδοκλήρωμένη προσέγγιση του έργου PESETA



Πηγή: Ciscar et al. (2009).

πρότυπα γενικής ισορροπίας. Η προσέγγιση αυτή παρέχει καλύτερη τεκμηρίωση και αξιοπιστία ως προς την εκτίμηση των στοιχείων του άμεσου κόστους κατά τομέα, επειδή βασίζεται σε εξειδικευμένες μεθόδους κατάλληλες για κάθε τομέα. Έχει επίσης πλεονέκτημα έναντι άλλων προσεγγίσεων που βασίζονται στις μεθόδους απαρίθμησης, δηλαδή στην άθροιση των τομεακών εκτιμήσεων, γιατί διασφαλίζει συνέπεια ως προς την εκτίμηση του συνολικού κόστους για την οικονομία λαμβάνοντας υπόψη το έμμεσο κόστος ή όφελος, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τομέων χάρη στη χρήση του προτύπου γενικής ισορροπίας. Στο έργο PESETA, με το οποίο μελετήθηκε λεπτομερώς το κόστος της κλιματικής αλλαγής για την Ευρωπαϊκή Ένωση, χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3, όπως και στην παρούσα μελέτη. Η μελέτη Garnaut (2008),⁴⁷ που εκπονήθηκε για την Αυστραλία, είναι επίσης ένα παράδειγμα πολύ λεπτομερούς εκτίμησης του κόστους της κλιματικής αλλαγής, συνδυάζοντας αναλυτικές τομεακές εκτιμήσεις με πρότυπο γενικής ισορροπίας. Η μελέτη του N. Stern (2008), που επίσης συνδύασε τις προσεγγίσεις “εκ των κάτω” και “εκ των άνω”, τονίζει τη σημασία των τομεακών αναλύσεων για την καλύτερη αποτίμηση των κινδύνων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

3.3 Εκτίμηση του συνολικού οικονομικού κόστους της κλιματικής αλλαγής με υπόδειγμα γενικής ισορροπίας*

3.3.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 2 εκτιμήθηκαν οι άμεσες οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε διαφορετικούς τομείς της ελληνικής οικονομίας. Στο παρόν υποκεφάλαιο μελετάται η συνολική επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική οικονομία, με χρήση του οικονομικού προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3 (General Equilibrium Model for Economy, Energy and Environment, Capros et al., 1997). Τα αποτελέσματα των μελετών που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου για τη μακροοικονομική ανάλυση που παρουσιάζεται στο παρόν υποκεφάλαιο.

Με βάση το πρότυπο γενικής ισορροπίας διενεργείται ποσοτική εκτίμηση των συνολικών επιπτώσεων στην οικονομία, περιλαμβανομένων των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων. Αν υποθεθεί ότι λαμβάνει χώρα η κλιματική αλλαγή, η ελληνική οικονομία θα επηρεαστεί στο σύνολό της και ιδίως σε ορισμένους τομείς. Από τη σύγκριση της ποσοτικής εκτίμησης της κατάστασης αυτής με παρόμοια ποσοτική εκτίμηση της οικονομίας χωρίς να λαμβάνει χώρα η κλιματική αλλαγή συνάγεται αποτίμηση του συνολικού κόστους της κλιματικής αλλαγής για

⁴⁷ Βλ. <http://www.garnautreview.org.au/2008-review.html>

* Η μελέτη για το Υποκεφάλαιο 3.3 έγινε στο εργαστήριο E3MLab του ΕΜΠ με επικεφαλής τον Καθηγητή Παντελή Κάπρο. Κύριοι ερευνητές στη μελέτη αυτή ήταν οι Μαριλένα Ζαμπάρα και Δρ. Λεωνίδας Παρούσος. Συμμετείχαν επίσης οι ερευνητές Ζωή Βροντίση, Στέλλα Τσάνη και Μαρία Παπαϊωάννου.

την ελληνική οικονομία. Το κόστος αυτό αναφέρεται στη μεταβολή του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ) και της οικονομικής ευημερίας των νοικοκυριών. Το κόστος επιμερίζεται επίσης κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας.

Το πρότυπο γενικής οικονομικής ισορροπίας αναπαριστά την κατάσταση της οικονομίας σε ένα έτος βάσης. Μεταβάλλοντας τις αριθμητικές τιμές των εξωγενών παραμέτρων, το πρότυπο υπολογίζει ποσοτικά μια νέα κατάσταση της οικονομίας. Οι μεταβολές των εξωγενών παραμέτρων μπορεί να αναφέρονται είτε στο χρόνο (δυναμική εξέλιξη) είτε στο έτος βάσης (στατική μεταβολή). Συμπεράσματα με βάση πρότυπα γενικής ισορροπίας εξάγονται μέσω της σύγκρισης δύο καταστάσεων της οικονομίας μεταξύ τους, όπως αυτές εκτιμώνται ποσοτικά. Η σύγκριση που βασίζεται σε δύο δυναμικές εξελίξεις της οικονομίας αναφέρεται ως ανάλυση με βάση σενάρια. Η σύγκριση η οποία βασίζεται σε δύο στατικές καταστάσεις της οικονομίας αναφέρεται ως ανάλυση με βάση υποθέσεις αντίθετες με τα γεγονότα (counterfactual analysis). Η αιτιώδης συνάφεια μεταξύ της υποθετικής μεταβολής και των επιπτώσεών της προσομοιώνεται μέσω του προτύπου.

Η ανάλυση των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής διενεργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης με βάση τη δεύτερη μεθοδολογία σύγκρισης.⁴⁸ Θεωρήθηκε ως βάση η ποσοτική αναπαράσταση της οικονομίας σε ένα δεδομένο έτος, όπως αυτή προσομοιώνεται μέσω του προτύπου. Στη συνέχεια γίνεται η υπόθεση (counterfactual) ότι λαμβάνει χώρα η κλιματική αλλαγή, η οποία επηρεάζει άμεσα διάφορους τομείς της οικονομίας, σύμφωνα με τις αναλύσεις του Κεφαλαίου 2. Υπολογίζεται νέα ποσοτική αναπαράσταση της οικονομίας μέσω του προτύπου. Αυτή συγκρίνεται με την αναπαράσταση η οποία δεν περιλαμβάνει την κλιματική αλλαγή. Από τις διαφορές εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής.

Για λόγους πρακτικούς δεν προτιμήθηκε η πρώτη μεθοδολογία σύγκρισης, δηλαδή αυτή της σύγκρισης δυναμικών σεναρίων εξέλιξης. Για το σκοπό αυτό θα ήταν αναγκαία η κατασκευή σεναρίου δυναμικής εξέλιξης της ελληνικής οικονομίας μέχρι το 2100, εγχείρημα το οποίο θα περιλάμβανε πλήθος αβέβαιων υποθέσεων, οι οποίες ίσως να είχαν καθοριστική σημασία για την αποτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής. Η δεύτερη μέθοδος σύγκρισης (στατικού χαρακτήρα) είναι απλούστερη και έχει το πλεονέκτημα της διαφάνειας.

Σύμφωνα με τα κλιματικά σενάρια που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 1, οι μεταβολές του κλίματος προβλέπεται να είναι διαφορετικές στον ορίζοντα του 2050 από αυτές του πιο μακρού χρονικού ορίζοντα του 2100. Επίσης, οι μεταβολές διαφέρουν ανάλογα με το ρυθμό συσσώρευσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι οικονομικές επιπτώσεις

⁴⁸ Η προσέγγιση της παρούσας μελέτης έχει υιοθετηθεί και από άλλες μελέτες των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Ciscar et al., 2010, Fankhauser and Tol, 1996, Halsnøys et al., 2007). Μελέτη η οποία υιοθετεί την εναλλακτική, δυναμική προσέγγιση είναι των Bosello et al. (2007).

κάθε περίπτωσης κλιματικής μεταβολής θα είναι διαφορετικές και γι' αυτό απαιτήθηκε χωριστή αποτίμηση του συνολικού κόστους για την οικονομία για κάθε περίπτωση.

Είναι εύλογο ότι το μεγαλύτερο συνολικό κόστος αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη συσσώρευση αερίων θερμοκηπίου η οποία προκύπτει στο Σενάριο Μη Δράσης για τη μείωση των εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο. Όμως, ακόμη και σ' αυτήν την περίπτωση η ένταση των κλιματικών μεταβολών εκτιμάται ότι θα είναι μικρότερη το 2050 από ό,τι το 2100.

Για την αποτίμηση του συνολικού κόστους της κλιματικής αλλαγής μέσω του προτύπου γενικής ισορροπίας ελήφθησαν ως ορόσημα τα έτη 2050 και 2100. Η αναπαράσταση της οικονομίας λαμβανομένης υπόψη της κλιματικής αλλαγής κατά το 2050 και το 2100 επηρεάζεται από τη διαφορετική ένταση της κλιματικής αλλαγής κατά τα έτη αυτά. Τα αποτελέσματα του προτύπου για το 2050 και το 2100 δεν πρέπει να εκληφθούν ως αναπαράσταση της κατάστασης της οικονομίας το 2050 ή το 2100 αλλά της κατάστασης κατά το έτος βάσης, αν υποθεθεί ότι η ένταση της κλιματικής μεταβολής του 2050 και αντίστοιχα του 2100 θα λάμβανε χώρα κατά το έτος βάσης.

Ανάλογη αποτίμηση συνολικού κόστους διενεργήθηκε και για τα λοιπά σενάρια κλιματικής μεταβολής, περιλαμβανομένου του Σεναρίου Μετριασμού, σύμφωνα με το οποίο λαμβάνει χώρα δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα, η οποία δεν αρκεί μεν για να αποφευχθεί κάθε κλιματική αλλαγή, αλλά αρκεί για τη μείωση της έντασής της.

3.3.2 Το πρότυπο γενικής οικονομικής ισορροπίας GEM-E3

Το πρότυπο GEM-E3⁴⁹ (General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment) υπολογίζει κατάσταση γενικής ισορροπίας (computable general equilibrium) ως αποτέλεσμα των ατομικών μικροοικονομικών αποφάσεων παραγωγών και καταναλωτών, της ταυτόχρονης ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης σε όλες τις αγορές αγαθών, υπηρεσιών και συντελεστών παραγωγής και της συνθήκης μηδενισμού του αλγεβρικού αθροίσματος των πλεονασμάτων ή ελλειμμάτων όλων των οικονομικών παραγόντων (κράτος, επιχειρήσεις, νοικοκυριά, τράπεζες, εξωτερικός τομέας).

Οι παραγωγοί ταξινομούνται σύμφωνα με τους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας, με βάση την υπόθεση ότι ένας παραγωγός είναι αντιπροσωπευτικός όλων όσοι δραστηριοποιούνται σε ένα κλάδο. Οι παραγωγοί προσδιορίζουν την προσφορά αγαθών και υπηρεσιών και τη ζήτηση συντελεστών παραγωγής και ενδιάμεσων αγαθών και υπηρεσιών με βάση τη μεγιστοποίηση του κέρδους τους. Τα νοικοκυριά αντιπροσωπεύονται από ένα μέσο νοικοκυριό, το οποίο ταυτόχρονα προσδιορίζει ζήτηση αγαθών και υπηρεσιών, προσφορά εργασίας και απο-

⁴⁹ Αναλυτική περιγραφή του προτύπου μπορεί να αναζητηθεί στην ιστοσελίδα του εργαστηρίου E3MLab: <http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/GEM%20-%20E3%20Manual/Manual%20of%20GEM-E3.pdf>

ταμίευση με βάση τη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας. Η συμπεριφορά του κράτους στους τομείς των δημόσιων επενδύσεων, της δημόσιας κατανάλωσης, της φορολογίας και της αναδιανομής του εισοδήματος (μέσω κοινωνικών παροχών) είναι εξωγενής. Η προσφορά και ζήτηση χρήματος και κεφαλαίων αναπαρίσταται απλουστευτικά μέσω περιορισμού του ισοζυγίου πληρωμών. Η ζήτηση αγαθών και υπηρεσιών καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή και από εισαγωγές, τα οποία δεν είναι τέλεια υποκατάστατα μεταξύ τους. Μέρος των εγχώριων αγαθών και υπηρεσιών εξάγεται ανάλογα με την ανταγωνιστικότητά τους στη διεθνή αγορά. Για κάθε οικονομικό παράγοντα (επιχειρήσεις, κράτος, νοικοκυριά, εξωτερικός τομέας) διαμορφώνεται χρηματικό πλεόνασμα ή έλλειμμα ανάλογα με τις αποφάσεις του σχετικά με τις καταναλωτικές δαπάνες, τις επενδυτικές δαπάνες και την αποταμίευση. Οι αποφάσεις αυτές είναι αλληλεξαρτώμενες μέσω της συνθήκης μηδενισμού του αθροίσματος των πλεονασμάτων ή ελλειμμάτων αυτών (Νόμος του Walras). Οι τιμές των αγαθών, υπηρεσιών και συντελεστών παραγωγής είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της προσφοράς και ζήτησης σε αγορές και προσδιορίζονται ταυτόχρονα. Οι τιμές αυτές επηρεάζουν την ανταγωνιστικότητα στο εξωτερικό εμπόριο και τις αποφάσεις των οικονομικών παραγόντων. Η ισορροπία σε κάθε αγορά διενεργείται σύμφωνα με υπόθεση σχετικά με το καθεστώς ανταγωνισμού (τέλειος ανταγωνισμός, ολιγοπώλιο κ.λπ.) που διέπει την αγορά αυτή.

Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε παραλλαγή του προτύπου GEM-E3, η οποία θεωρεί την ελληνική οικονομία ως μια μικρή ανοικτή οικονομία. Η δραστηριότητα της υπόλοιπης παγκόσμιας οικονομίας θεωρείται εξωγενής, όμως το εξωτερικό εμπόριο της Ελλάδος είναι ενδογενές, καθώς θεωρείται ότι η Ελλάδα δεν μπορεί να επηρεάσει τις διεθνείς τιμές αγαθών και υπηρεσιών. Σχετικά με το καθεστώς ανταγωνισμού στις αγορές, γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι αγορές αγαθών και υπηρεσιών ευρίσκονται υπό καθεστώς πλήρους και τέλειου ανταγωνισμού και η προσφορά των αγαθών αυτών διέπεται από σταθερές οικονομίες κλίμακας. Γίνεται ακόμη η υπόθεση ότι η αγορά εργασίας δεν αντιστοιχεί σε συνθήκες τέλειου ανταγωνισμού, αλλά ευρίσκεται σε καθεστώς ισορροπίας με ανεργία που καθορίζεται με βάση μηχανισμό αποδοτικών αμοιβών (κατά Shapiro and Stiglitz, 1984).

Η κύρια βάση δεδομένων του υποδείγματος είναι οι πίνακες κοινωνικής λογιστικής οι οποίοι περιλαμβάνουν τους Πίνακες Εισροών-Εκροών και τους πίνακες διανομής εισοδήματος. Περιλαμβάνονται επίσης ο πίνακας κατανάλωσης των νοικοκυριών σύμφωνα με τους οικογενειακούς προϋπολογισμούς, καθώς και ο πίνακας επενδύσεων κατά κλάδο και κατά τύπο αγαθού. Η ονοματολογία των κλάδων οικονομικής δραστηριότητας ακολουθεί την ταξινόμηση σε 26 τομείς και βασίζεται στα δεδομένα της ΕΛ.ΣΤΑΤ.

3.3.3 Μεθοδολογία χρήσης του προτύπου γενικής οικονομικής ισορροπίας

Για την εκτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής με χρήση του προτύπου γενικής ισορροπίας, αναπτύσσεται κατ' αρχάς ένα Σενάριο Αναφοράς το οποίο εξαρτάται από υποθέ-

σεις σχετικά με τη δημογραφική εξέλιξη, την πορεία της διεθνούς οικονομίας, τη συμμετοχή στην αγορά εργασίας, την πολιτική του κράτους (κατανάλωση, επενδύσεις, φορολογία και αναδιανομή εισοδήματος) και την εξέλιξη της τεχνικής προόδου η οποία ενσωματώνεται σε κάθε συντελεστή παραγωγής για κάθε κλάδο οικονομικής δραστηριότητας. Το Σενάριο Αναφοράς το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι συμβατό με τις προβλέψεις για την μελλοντική εξέλιξη του ΑΕΠ και τη δημογραφική εξέλιξη σύμφωνα με τη μελέτη “2009 Ageing Report” της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (DG ECFIN).⁵⁰

Το Σενάριο Αναφοράς χρησιμοποιήθηκε μόνο για το Σενάριο Μετριασμού, για το οποίο πραγματοποιήθηκε δυναμική ανάλυση μέσω της σύγκρισης του Σεναρίου Αναφοράς με σενάριο δραστικού περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (βλ. Κεφάλαιο 4). Η οικονομική αποτίμηση του κόστους του μετριασμού στηρίχθηκε στη δυναμική αυτή σύγκριση και έλαβε τη μορφή εκατοστιαίας επίπτωσης στο ΑΕΠ. Για να είναι το κόστος αυτό συγκρίσιμο με το κόστος των λοιπών κλιματικών σεναρίων, οι εκατοστιαίες επιπτώσεις στο ΑΕΠ εφαρμόστηκαν στο επίπεδο του ΑΕΠ του έτους βάσης.

Για τα λοιπά σενάρια χρησιμοποιήθηκε απεικόνιση έτους βάσης, όπως αυτή υπολογίζεται με βάση το πρότυπο γενικής ισορροπίας, στο οποίο εξωγενώς μεταβλήθηκαν παράμετροι έτσι ώστε να αναπαρασταθούν οι άμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους τομείς. Στη συνέχεια έγινε δυναμική προσομοίωση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας, έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι πιο μακροχρόνιες επιπτώσεις.

Τα στοιχεία σχετικά με τις άμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ελήφθησαν κυρίως από τις μελέτες που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 και ταξινομούνται σε τομείς, οι οποίοι στη συνέχεια αναφέρονται ως “τομείς επιπτώσεων”. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής κατά τομέα για τις οποίες αποτιμήθηκε το κόστος και ελήφθη υπόψη στην ανάλυση γενικής ισορροπίας. Σημειώνεται ότι στην ανάλυση αυτή δεν συμπεριελήφθησαν οι τομείς άμεσων επιπτώσεων στην υγεία, στη βιοποικιλότητα, στα οικοσυστήματα και στην εξορυκτική βιομηχανία.

Οι άμεσες οικονομικές συνέπειες της κλιματικής μεταβολής συνίστανται στην απώλεια κεφαλαιακού αποθέματος ή στη μείωση της απόδοσης του κεφαλαίου, στη μεταβολή (συνήθως μείωση) της παραγωγικότητας σε τομείς της οικονομικής δραστηριότητας, στη μεταβολή (συνήθως αύξηση) της δαπάνης για απόκτηση του ίδιου επιπέδου υπηρεσιών και σε μεταβολές που επηρεάζουν την παραγωγικότητα της εργασίας.

Οι ποσοτικές εκτιμήσεις του Κεφαλαίου 2 σχετικά με τις παραπάνω άμεσες οικονομικές συνέπειες εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3 ως μεταβολές των αριθμητικών τιμών αντίστοιχων εξωγενών παραμέτρων. Στη συνέχεια, επιλύθηκε το πρότυπο με σκοπό

⁵⁰ “The 2009 Ageing Report: Underlying Assumptions and Projection Methodologies for the EU-27 Member States (2007-2060)”, in *European Economy* (2008).

Τομείς	Αύξηση της θερμοκρασίας και ξηρασία	Αύξηση της στάθμης της θάλασσας	Ακραία καιρικά φαινόμενα
1. Γεωργία	*		
2. Δάση	*		
3. Αλιεία	*		
4. Παράκτια συστήματα		*	
5. Μεταφορές	*	*	*
6. Τουρισμός	*	*	
7. Δομημένο περιβάλλον	*		
8. Υδάτινα αποθέματα	*		

την εκτίμηση της νέας κατάστασης γενικής ισορροπίας (counterfactual) η οποία αντιστοιχεί στις οικονομικές συνθήκες μετά την κλιματική μεταβολή. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εφαρμογή του προτύπου έγινε για διαφορετικά επίπεδα έντασης της κλιματικής αλλαγής τα οποία αντιστοιχούν στα έτη-ορόσημα 2050 και 2100, καθώς και στα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής.

3.3.4 Επισκόπηση των σεναρίων εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής στη μελέτη

Τα κλιματικά σενάρια το συνολικό κόστος των οποίων προσδιορίζει η μελέτη είναι τα B1, B2, A1B και A2 (βλ. Κεφάλαιο 1).

Καθένα από τα τέσσερα σενάρια εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής ενσωματώνουν διαφορετικές υποθέσεις κοινωνικοοικονομικών εξελίξεων, οι οποίες με την σειρά τους θα καθορίσουν το επίπεδο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και κατ' επέκταση την εξέλιξη του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.

- **B1:** Στο σενάριο αυτό, η αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα γίνεται με ήπιους ρυθμούς, καθώς σε παγκόσμιο επίπεδο σημειώνεται στροφή προς ενεργειακές πηγές με μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και γενικά προς δραστηριότητες μειωμένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Πρόκειται για το Σενάριο Μετριασμού της κλιματικής μεταβολής, που περιλαμβάνει δραστική μείωση των εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο. Τονίζεται ότι στο σενάριο αυτό δεν αποφεύγεται μεν η κλιματική μεταβολή, αλλά μετριάζεται. Επομένως, και για το σενάριο αυτό υφίσταται συνολικό οικονομικό κόστος από την (περιορισμένη) κλιματική αλλαγή.
- **B2:** Είναι σενάριο το οποίο προβλέπει μέτρια ανάπτυξη της οικονομίας και, κατ' επέκταση, χαμηλούς ρυθμούς αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας. Οι τεχνολογικές αλλαγές δεν είναι τόσο έντονες όσο στο Σενάριο B1, επομένως παραμένει κάποια αύξηση της συσσώρευσης αερίων του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια υπάρχει οικονομικό κόστος λόγω της κλιματικής αλλαγής.

- **A1B:** Το σενάριο αυτό ακολουθεί τις τρέχουσες τάσεις εξέλιξης των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών (business as usual). Η εξέλιξη της τεχνολογίας οδηγεί σε χρήση περισσότερο αποδοτικών τεχνολογιών στην παραγωγή ενέργειας, ωστόσο εξακολουθούν να εφαρμόζονται και συμβατικές τεχνολογίες. Παράλληλα, το σενάριο προβλέπει ραγδαία οικονομική ανάπτυξη και αύξηση της κατανάλωσης. Ως επακόλουθο, ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης των εκπομπών είναι έντονος και υφίσταται κόστος εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.
- **A2:** Το σενάριο αυτό είναι το πιο δυσμενές όσον αφορά την αύξηση των εκπομπών, τη συσσώρευσή τους και την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής. Προβλέπει αργή τεχνολογική εξέλιξη παράλληλα με έντονη αύξηση του πληθυσμού και της κατανάλωσης ενέργειας. Αντιστοιχεί στο Σενάριο Μη Δράσης. Ηπιότερο σενάριο μη δράσης μπορεί να θεωρηθεί το Σενάριο A1B.

3.3.5 Επισκόπηση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους τομείς της ελληνικής οικονομίας

Ο τομέας της γεωργίας είναι ο κλάδος ο οποίος θα υποστεί τις πλέον έντονες επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Οι αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες που οφείλονται στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θα επηρεάσουν σημαντικά το ρυθμό ανάπτυξης των καλλιεργειών και τη διαθεσιμότητα του νερού, επιδρώντας αρνητικά στην παραγωγικότητα του γεωργικού τομέα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης για τη γεωργία (Υποκεφάλαιο 2.4), που χρησιμοποιεί το πρότυπο AQUACROP, το εύρος των μεταβολών στην απόδοση των καλλιεργειών ποικίλλει, ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και τη γεωγραφική περιοχή, από -75% έως +26% μέχρι το 2100.

Άμεσα εξαρτώμενες από το κλίμα είναι και οι παραγωγικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τα δάση και τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η παραγωγή ξυλείας θα επηρεαστεί αρνητικά, ενώ η ξηρασία που θα επικρατεί, σε συνδυασμό με την αυξημένη θερμοκρασία, θα αυξήσει σημαντικά τη συχνότητα πυρκαγιών.

Η επίπτωση στον τομέα της αλιείας αναμένεται να είναι αρνητική αλλά σχετικά μικρού μεγέθους. Η τομεακή ανάλυση εκτιμά μείωση της απόδοσης της αλιείας κατά 2,5% σε περίπτωση ανόδου της θερμοκρασίας της θάλασσας κατά 3,3 °C μέχρι το 2100 (Υποκεφάλαιο 2.3).

Τα παράκτια συστήματα, τα οποία συγκεντρώνουν σημαντικό μέρος των παραγωγικών δραστηριοτήτων και του πληθυσμού (ενδεικτικά, στις παράκτιες περιοχές δραστηριοποιείται το 80% της βιομηχανίας, το 90% των τουριστικών επιχειρήσεων και το 35% της γεωργίας, βλ. Υποκεφάλαιο 2.2), θα πληγούν από τη σταδιακή άνοδο της στάθμης της θάλασσας, με υποβάθμιση των παράκτιων υποδομών και απώλειες κεφαλαίου. Η ανάλυση για τον τομέα των παράκτιων συστημάτων (Υποκεφάλαιο 2.2) εκτιμά ότι, σε περίπτωση ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 μέτρο, η συνολική αξία της τουριστικής, οικιστικής, γεωργικής, δασικής και υδροτοπικής γης που χάνεται ανέρχεται σε €355,76 δισεκατομμύρια. Στο κόστος αυτό προ-

στίθενται οι καταστροφές των λιμενικών υποδομών και το κόστος της σταδιακής μετακίνησης του πληθυσμού των παράκτιων περιοχών.

Ο τουρισμός, πέρα από την επίπτωση που οφείλεται στην υποβάθμιση των παράκτιων υποδομών, θα επηρεαστεί περαιτέρω, καθώς οι κλιματικές συνθήκες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή τουριστικού προορισμού. Σύμφωνα με την ανάλυση για τον τομέα του τουρισμού (Υποκεφάλαιο 2.7), η κλιματική αλλαγή θα μπορούσε να ωφελήσει τον τουριστικό κλάδο, καθώς βελτιώνονται οι κλιματικές συνθήκες κατά τη φθινοπωρινή και τη χειμερινή περίοδο. Ωστόσο, η τουριστική ζήτηση στην Ελλάδα κορυφώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες, κατά τους οποίους οι παρατεταμένες περιόδους καύσωνα λόγω της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον θα καταστήσουν την Ελλάδα λιγότερο επιθυμητό τουριστικό προορισμό. Η μελέτη συμπεραίνει ότι, εάν ο τουριστικός κλάδος δεν μπορέσει να προσαρμοστεί κατάλληλα ώστε να προσελκύσει τουρίστες σε περιόδους πέραν της καλοκαιρινής, η επίπτωση στη ζήτηση τουριστικών υπηρεσιών θα είναι αρνητική και εκτιμά συγκεκριμένα για τις περιφέρειες της Κρήτης και των Δωδεκανήσων ετήσια απώλεια εισπράξεων της τάξεως των €430 εκατ. λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Σχετικά με τον τομέα των μεταφορών, η μέχρι σήμερα εμπειρία έχει δείξει ότι τα ακραία καιρικά φαινόμενα προκαλούν πολλές καταστροφές στο δίκτυο και τις υποδομές. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιτείνει τα φαινόμενα αυτά. Η ανάλυση για τον τομέα των μεταφορών (Υποκεφάλαιο 2.9) παρέχει πληθώρα εκτιμήσεων ως προς τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον εν λόγω τομέα. Εκτιμά ότι το 2100, λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, το κόστος συντήρησης του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου θα αυξηθεί κατά €140-375 εκατ. ετησίως σε σχέση με σήμερα. Οι δαπάνες για τη μόνιμη ή προσωρινή αποκατάσταση των καταστροφών του δικτύου από πλημμύρες θα ανέλθουν από €85 εκατ. έως €300 εκατ. κατ' έτος. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα επηρεάσει μέχρι το 2100 το 3,5% περίπου του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου. Τέλος, λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων και της εκδήλωσης πυρκαγιών, θα προκληθούν καθυστερήσεις στο οδικό δίκτυο, οι οποίες αποτιμώνται ως οικονομική αξία που χάνεται λόγω καθυστερημένης άφιξης του μετακινούμενου πληθυσμού στην εργασία.

Στο κόστος λόγω της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνεται επίσης η επίδρασή της στο δομημένο περιβάλλον (Υποκεφάλαιο 2.8). Θερμότερες κλιματικές συνθήκες θα οδηγήσουν σε μείωση της ζήτησης ενέργειας το χειμώνα, ενώ σημαντική θα είναι η αύξηση της ζήτησης το καλοκαίρι για κλιματισμό. Η μεταβολή αυτή θα οδηγήσει σε μείωση της ζήτησης πετρελαίου, παράλληλα με αύξηση της ζήτησης ηλεκτρισμού από τον τομέα των υπηρεσιών και τα νοικοκυριά. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα επηρεάσει με πιο έντονο τρόπο το μικροκλίμα των αστικών περιοχών (φαινόμενο της θερμικής νησίδας). Οι συνθήκες διαβίωσης στις αστικές περιοχές θα επιβαρυνθούν, με αποτέλεσμα να μειωθεί η αξία του δομημένου περιβάλλοντος στις περιοχές αυτές.

Τα παραπάνω συνθέτουν το πλαίσιο των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη. Η αποτίμηση του κόστους περιορίζεται στις επιπτώσεις οι οποίες

άμεσα πλήττουν παραγωγικές δραστηριότητες της οικονομίας ή μειώνουν την αξία υποδομών και ισοδυναμούν με απώλεια κεφαλαίου. Δεν περιλαμβάνονται οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και στη βιοποικιλότητα, παρά μόνο στο βαθμό στον οποίο επηρεάζουν την παραγωγικότητα στους τομείς της γεωργίας, των δασών και της αλιείας. Επίσης, στο αποτιμώμενο κόστος δεν συμπεριλαμβάνονται οι επιβαρύνσεις του συστήματος υγείας και οι οικονομικές συνέπειες της αυξημένης νοσηρότητας του εργατικού δυναμικού, η οποία μπορεί να προκαλείται λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των άμεσων οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής κατά τομέα, όπως αντλήθηκαν από τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 2 και οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος για την ανάλυση γενικής ισορροπίας. Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει στην τελευταία στήλη τις υποθέσεις σχετικά με μέτρα και παρεμβάσεις προσαρμογής τα οποία επιδιώκουν την αποφυγή μέρους των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η αποτίμηση του κόστους της προσαρμογής γίνεται στο Κεφάλαιο 3.4.

3.3.6 Περαιτέρω επεξεργασία των εκτιμήσεων των τομεακών αναλύσεων και σύνδεσή τους με παραμέτρους του υποδείγματος GEM-E3

Το τμήμα αυτό της μελέτης αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι αποτιμήσεις των κλαδικών οικονομικών επιπτώσεων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 μετασχηματίστηκαν σε μεταβολές εξωγενών παραμέτρων του προτύπου GEM-E3.

Από τον Πίνακα 3.1 γίνεται αντιληπτό ότι οι τομεακές αναλύσεις δεν καλύπτουν όλα τα κλιματικά σενάρια. Προκειμένου να γίνει ομοιογενής αποτίμηση των επιπτώσεων κατά τομέα και να εξεταστούν όλα τα κλιματικά σενάρια, έγιναν περαιτέρω εκτιμήσεις, οι οποίες συμπληρώνουν τις εκτιμήσεις των στοιχείων του ανωτέρω πίνακα.

Συγκεκριμένα, με βάση τα στοιχεία του Κεφαλαίου 2 και εκτιμήσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία⁵¹ κατασκευάστηκε εμπειρικά μια συνάρτηση η οποία συνδέει την άνοδο της θερμοκρασίας (ή την άνοδο της στάθμης της θάλασσας) με το μέγεθος των οικονομικών επιπτώσεων για κάθε τομέα.

Επελέγη μη γραμμική συνάρτηση παρεμβολής σταθερής ελαστικότητας, που έχει τη μορφή $y = \alpha \cdot x^\theta$, όπου x η θερμοκρασία (ή η στάθμη της θάλασσας), y το ύψος της αντίστοιχης οικονομικής επίπτωσης και α, θ αριθμητικές παράμετροι οι οποίες εκτιμήθηκαν εμπειρικά. Για τον τομέα των παράκτιων συστημάτων, χρησιμοποιήθηκε η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ως x , ενώ για τις λοιπές τομεακές αναλύσεις ως x ελήφθη η θερμοκρασιακή μεταβολή.

Στη συνέχεια, όλες οι αναφερόμενες αξίες είναι σε εκατ. ευρώ του 2008.

⁵¹ Όπου χρειάστηκε να γίνουν περαιτέρω εκτιμήσεις, αυτές βασίστηκαν στη μελέτη PESETA, Ciscar (ed.), 2009, για τη Νότια Ευρώπη.

Πίνακας 3.1

Περιήληψη των αποτελεσμάτων των τομεακών αναλύσεων του Κεφαλαίου 2 τα οποία ελήφθησαν υπόψη για την ανάπτυξη με το πρό-
τυπο γενικής ισορροπίας

	Περίοδοι πρόβλεψης	Κλιματικά σενάρια	Φυσικές συνέπειες	Οικονομικές συνέπειες	2050				2100				Προσαρμογή					
Υδάτινα αποθέματα	2041-2050, 2091-2100	B2, A1B, A2	Μείωση του όγκου νερού (μέχρι 19% το 2100)	Κόστος για τον τομέα της ύδρευσης (εκατ. ευρώ του 2007)	μ.δ.	2.191	2.077	3.070	μ.δ.	4.345	2.795	4.862	/10ετία	Κόστος για την βελτίωση της αποτελεσματικότη- τας απολήψεων υδάτων €68,4 εκατ./έτος, με όφελος €380 εκατ./ έτος				
	Μελετώνται οι επιπτώσεις της έλλειψης νερού στον τομέα της ύδρευσης, περιλαμβανομένης της τουριστικής και εν μέρει της βιομηχανικής χρήσης. Οι επιπτώσεις από την μείωση της διαθεσιμότητας νερού για άρδευση λαμβάνονται υπόψη από τη μελέτη για την γεωργία																	
	2040, 2090	B2, A1B, A2	Σύνολο κλι- ματικών μεταβολών	Εκατοστιαία μεταβολή της παραγωγικότητας των καλλιεργειών (περισσότερο απαισιόδοξες εκτιμήσεις, λαμβανομένης υπόψη της επίδρασης της ερημοποίησης)	μ.δ.	-4,9	-6,8	-9,0	μ.δ.	-15,8	-17,6	-16,7						
Γεωργία	Τα αποτελέσματα του προτύπου AQUACROP δίνονται αναλυτικά για διαφορετικές καλλιέργειες και για διαφορετικές περιοχές. Από αυτά, με βάση στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. για την κατανομή και την παραγωγή των διαφόρων καλλιεργειών κατά περιοχή, εκτιμήθηκε μια μέση τιμή σχετικά με τη μεταβολή της απόδοσης της γεωργίας στο σύνολό της.																	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	25	40	80	/έτος			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	30	μ.δ.	35	Επιπλέον κόστος διαχείρισης (εκατ. ευρώ του 2010)	30	50	/έτος	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
Δάση	2050, 2100	B2, A2	Άνοδος της θερμ/σίας	Εκατοστιαία μείωση της λιβαδικής παραγωγής	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.			
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.							

Πίνακας 3.1

Περίληψη των αποτελεσμάτων των τομεακών αναλύσεων του κεφαλαίου 2 τα οποία ελήφθησαν υπόψη για την ανάλυση με το πρό-
τυπο γενικής ισορροπίας (συνέχεια)

	Περίοδοι πρόβλεψης	Κλιματικά σενάρια	Φυσικές συνέπειες	Οικονομικές συνέπειες	2050										Προσαρμογή					
Τουρισμός	2070-2100	A1B	Αλλαγή του κλιματικού δείκτη του- ρισμού TCI	Εκατοστιαία μεταβολή εσόδων από τουρισμό	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2			10% επιπλέον δαπάνες για διαφήμιση					
					μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	5	μ.δ.								
Η μείωση των τουριστικών εισπράξεων προκύπτει από τη μείωση της τουριστικής κίνησης στις περιφέρειες της Κρήτης και των Δωδεκανήσων. Λαμβάνονται υπόψη μόνο τα έσοδα των ξενοδοχεια- κών επιχειρήσεων.																				
Δομημένο περιβάλλον	2041-2050, 2091-2100	B2, A1B, A2	Σύνολο κλι- ματικών μεταβολών	Εκατοστιαία αύξηση του ψυκτικού φορτίου	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2								
					μ.δ.	μ.δ.	22	μ.δ.	μ.δ.	36	42	50								
				μ.δ.	μ.δ.	83	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	148	167	248								
Παράκτια συστήματα	2100		Άνοδος της στάθμης της θάλασσας 0,5 μ., 1 μ.	Κόστος κατά κατηγορία χρήσης νηs (εκατ. ευρώ του 2010)	Άνοδος στάθμης θάλασσας									1 μ.		Κόστος υλοποίησης μέτρων προσαρμογής, από €381,6 εκατ. έως €3.345,6 εκατ.				
					0,5 μ.									630.842						
					Οικιστική & τουριστική									347.738					630.842	
					Υδροτοπική									138					247	
					Δασική									0					1	
Αλιεία			Αύξηση της θερμ/σίας της επιφά- νειας της θάλασσας κατά 3,3 °C	Εκατοστιαία μείωση των συνολικών αλιευμάτων	Γεωργική									7.884		18.253				

μ.δ.: μη διαθέσιμα στοιχεία από τις τομεακές αναλύσεις.

Πίνακας 3.1

Περιήληψη των αποτελεσμάτων των τομεακών αναλύσεων του Κεφαλαίου 2 τα οποία ελήφθησαν υπόψη για την ανάλυση με το πρό-
τυπο γενικής ισορροπίας (συνέχεια)

Μεταφορές	Περίοδοι πρόβλεψης	Κλιματικά σενάρια	Φυσικές συνέπειες	Οικονομικές συνέπειες	2050					2100					Προσαρμογή			
					Εκατ. ευρώ του 2010													
					B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2						
					Οικονομικές συνέπειες													
			Άνοδος θερμ/σίας, κλιματικού δείκτη του-ρισμού TCI	Ζημία για τις οδικές μετα-φορές	50	μ.δ.	100	150	100	μ.δ.	200	300	/έτος	Προστασία από τις πλημμύρες: Στο κόστος από πλημμύρες στη διπλή στήλη συμπεριλαμβάνονται το κόστος της προσωρινής και της μόνιμης αποκατάστασης των ζημιών από τις πλημμύρες. Οι δυο κατηγορίες κόστους διαχωρίστηκαν με βάση στοιχεία για τις πλημμύρες στο Νομό Μαγνησίας (βλ. το πλήρες κείμενο για τη μελέτη των μεταφορών στη σχετική σελίδα της ΕΜΕΚΑ, στον ιστότοπο της ΤΤΕ, www.bankof-greece.gr) και χρησιμοποιήθηκαν το κόστος της προσωρινής αποκατάστασης (8%) ως το κόστος της Μη Δράσης και το κόστος της μόνιμης αποκατάστασης (92%) ως το κόστος της προσαρμογής.				
			Ζημία για τις σιδ/μικές μεταφορές	20	μ.δ.	30	37	40	μ.δ.	55	75	/έτος						
			Πλημμύρες	Ζημία για τις οδικές μετα-φορές	60	μ.δ.	120	200	85	μ.δ.	200	300	/έτος					
				Ζημία για τις σιδ/μικές μεταφορές	-	μ.δ.	μ.δ.	184	μ.δ.	μ.δ.	μ.δ.	276	/έτος					
	2011-2050, 2071-2100	B1, A1B, A2	Μείωση χιονοπτώσεων	Οφέλη για τις οδικές μεταφορές	-15	μ.δ.	-25	-40	-30	μ.δ.	-50	-80	/έτος					
				Οφέλη για τις σιδ/μικές μεταφορές	-0,01	μ.δ.	-0,07	-0,05	-0,1	μ.δ.	-0,15	-0,2	/έτος					
			Ακραία και-ρικά φαινό-μενα	Ώρες καθυστέρησης στο οδικό δίκτυο	103	μ.δ.	154	308	154	μ.δ.	219	513	/έτος	Προστασία για τις σιδηροδρομικές μεταφορές 300 άπαξ				
				Ώρες καθυστέρησης στο σιδηροδρομικό δίκτυο	5	μ.δ.	8	16	8	μ.δ.	12	27	/έτος	Προστασία για τις θαλάσσιες μετα-φορές 600 άπαξ				
					Απόσταση από την ακτογραμμή (μ.)													
						25	50	75	100									
			Άνοδος της στάθμης της θάλασσας 0,5 μ., 1 μ.	Τμήμα του οδικού δικτύου που επηρεάζεται, σε ποσοστό %	0,72	1,80	2,70	3,47										
				Τμήμα του σιδ/μικού δικτύου που επηρεάζεται, σε ποσοστό %	0,32	0,83	1,38	1,98										

μ.δ.: μη διαθέσιμα στοιχεία από τις τομεακές αναλύσεις.

Πίνακας 3.2

Μεταβολή της θερμοκρασίας και άνοδος της στάθμης της θάλασσας στα σενάρια εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής

	B1	B2	A1B	A2
Θερμοκρασιακή μεταβολή				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	1,57 °C	1,98 °C	1,95 °C	2 °C
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	2,41 °C	3,11 °C	3,51 °C	4,46 °C
Άνοδος της στάθμης της θάλασσας				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	μέχρι 0,18 μέτρα			
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	μέχρι 0,6 μέτρα			

Γεωργία

Για τον τομέα της γεωργίας αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του προτύπου AQUACROP από την αντίστοιχη μελέτη στο Κεφάλαιο 2.4. Η μελέτη διακρίνει δύο περιπτώσεις, μία κατά την οποία λαμβάνεται υπόψη η εξέλιξη του φαινομένου της ερημοποίησης και μία κατά την οποία η εξέλιξη αυτή παραλείπεται. Η μελέτη εκτίμησε το εύρος μεταβολής της απόδοσης των καλλιεργειών λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Για την ανάλυση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας χρησιμοποιήθηκαν τα άνω όρια του εύρους μεταβολών που αποτυπώνονται στα αποτελέσματα του προτύπου AQUACROP, επειδή στην ανάλυση με το πρότυπο αυτό δεν αποτυπώνεται η επίταση του φαινομένου της ερημοποίησης λόγω της κλιματικής αλλαγής. Από αυτή την άποψη, οι εκτιμήσεις του προτύπου είναι υποεκτιμήσεις των πραγματικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία. Για την ανάλυση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας, γίνεται δεκτό ότι το φαινόμενο της ερημοποίησης θα εξελιχθεί παράλληλα με την κλιματική αλλαγή και θα ενταθεί λόγω της αλλαγής του κλίματος.

Τα αποτελέσματα του προτύπου AQUACROP δίνονται αναλυτικά για τέσσερις καλλιέργειες και για τέσσερις περιοχές της Ελλάδος. Για να προσδιοριστεί η μέση συνολική μεταβολή της απόδοσης του αγροτικού τομέα (Πίνακας 3.3)⁵² χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά στοιχεία σχετικά με την κατανομή των καλλιεργειών κατά γεωγραφική περιοχή, όπως δίδονται από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία.

Η μείωση της γεωργικής απόδοσης που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3 εισήχθη στο πρότυπο GEM-E3 ως εξωγενής μεταβολή της συνολικής παραγωγικότητας του αγροτικού τομέα.

⁵² Η εκτίμηση της μέσης μεταβολής της παραγωγικότητας του αγροτικού τομέα ήταν απαραίτητη, καθώς στο πρότυπο GEM-E3 δεν γίνεται διάκριση μεταξύ διαφορετικών καλλιεργειών.

Πίνακας 3.3

Εκατοστιαία μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών λόγω της κλιματικής αλλαγής, όπως εφαρμόστηκε στο πρότυπο GEM-E3

	B1	B2	A1B	A2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	1	5	7	10
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	11	17	19	21

Η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει επίσης σε μείωση της διαθεσιμότητας αρδευτικού νερού, που θα οφείλεται αφενός στη μείωση των βροχοπτώσεων και αφετέρου στην επιμήκυνση της περιόδου ξηρασίας. Η επίπτωση αυτή εισήχθη στο πρότυπο GEM-E3 ως αύξηση των δαπανών του αγροτικού τομέα για πρόσβαση στο αρδευτικό νερό (π.χ. μεγαλύτερες δαπάνες για εγχειο-βελτιωτικά έργα). Η επίπτωση αυτή συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση για τον τομέα των υδάτινων αποθεμάτων.

Τουρισμός

Από την ανάλυση (Υποκεφάλαιο 2.7) των επιπτώσεων στον τομέα του τουρισμού προκύπτει ότι τα έσοδα από τουριστικές υπηρεσίες (συγκεκριμένα, ξενοδοχειακές υπηρεσίες) θα μειωθούν ως αποτέλεσμα των νέων κλιματικών συνθηκών. Εκτιμάται ότι στις περιφέρειες της Κρήτης και των Δωδεκανήσων οι εισπράξεις των τουριστικών επιχειρήσεων το 2100 θα εμφανίζονται μειωμένες κατά €430 εκατ. ευρώ (για το Κλιματικό Σενάριο A1B, τις τελευταίες δεκαετίες του 21ου αιώνα), ποσό που αντιστοιχεί στο 5% των συνολικών τουριστικών εισπράξεων. Δεδομένου ότι στις δύο αυτές περιφέρειες πραγματοποιείται το 40% των συνολικών τουριστικών εισπράξεων (Υποκεφάλαιο 2.7), έγινε η εκτίμηση ότι η συνολική μείωση των τουριστικών εισπράξεων στη χώρα θα ανέρχεται περίπου στο 13%. Στο πρότυπο GEM-E3 η επίπτωση αυτή εισήχθη ως εξωγενής μείωση της ζήτησης για τουριστικές υπηρεσίες.

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις στον τουρισμό και για τα υπόλοιπα κλιματικά σενάρια, καθώς και για τη χρονική περίοδο 2050, αξιοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις της μελέτης PESETA (Amelung and Moreno, 2009) σχετικά με την αναμενόμενη μείωση της τουριστικής ζήτησης στη Νότια Ευρώπη⁵³ (Πίνακας 3.4). Συγκεκριμένα υιοθετήθηκε η συσχέτιση που χρησιμοποιεί η μελέτη αυτή μεταξύ της αύξησης της θερμοκρασίας και της μείωσης της ζήτησης τουριστικών υπηρεσιών. Οι τελικές εκτιμήσεις για τη μείωση της τουριστικής ζήτησης φαίνονται στον Πίνακα 3.5.

⁵³ Διατηρήθηκε η αναλογία τουριστικών εσόδων της Ελλάδας ως προς το σύνολο των τουριστικών εσόδων των χωρών της Νότιας Ευρώπης (Πορτογαλία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία), σύμφωνα με στοιχεία από την Παγκόσμια Τράπεζα: <http://data.worldbank.org/indicator/ST.INT.RCPT.CD>

Πίνακας 3.4**Επίπτωση στον τομέα του τουρισμού της Νότιας Ευρώπης από την κλιματική αλλαγή**

	2,5 °C	3,9 °C	4,1 °C	5,4 °C
Ετήσια μείωση των εσόδων από τον τουρισμό το 2080 στην Νότια Ευρώπη (εκατ. ευρώ)	1.789	2.599	9.459	12.853

Πηγή: PESETA (2009).

Πίνακας 3.5**Εκατοστιαία μείωση των τουριστικών εσόδων λόγω της κλιματικής αλλαγής, όπως εφαρμόστηκε στο πρότυπο GEM-E3**

	B1	B2	A1B	A2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	1	2	2	3
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	4	9	13	24

Οι τουριστικές δαπάνες στο πρότυπο GEM-E3 αποτελούν τμήμα των καταναλωτικών δαπανών των νοικοκυριών. Σ' αυτές περιλαμβάνονται τόσο ο εγχώριος τουρισμός όσο και ο τουρισμός από αλλοδαπούς, επειδή οι Πίνακες Εισροών-Εκροών δεν κάνουν διάκριση μεταξύ ελληνικών και ξένων νοικοκυριών. Η διάκριση υφίσταται μόνο στο τμήμα της κοινωνικής λογιστικής το οποίο αφορά στην προέλευση των εισοδημάτων, όπου οι δαπάνες των αλλοδαπών τουριστών εμφανίζονται ως μεταβιβαστική πληρωμή από τον υπόλοιπο κόσμο.

Προκειμένου να μειωθεί η ζήτηση των ελληνικών νοικοκυριών για τουριστικές υπηρεσίες, εφαρμόστηκε εξωγενώς προσαρμογή παραμέτρων της συνάρτησης κατανάλωσης του προτύπου, ενώ, προκειμένου να μειωθεί η ζήτηση τουριστικών υπηρεσιών από αλλοδαπούς τουρίστες, εφαρμόστηκε μείωση της μεταβιβαστικής πληρωμής που αντιστοιχεί σε μείωση της ζήτησης από τον εκτός Ελλάδος τομέα για τουριστικές υπηρεσίες στην Ελλάδα.

Αλιεία

Από την ανάλυση για την αλιεία (Υποκεφάλαιο 2.3) προκύπτει ότι η κλιματική αλλαγή θα έχει περιορισμένες, αλλά οπωσδήποτε αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση της παραγωγής αλιευμάτων. Εκτιμάται ότι, για άνοδο της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας κατά 3,3 °C, η παραγωγή αλιευμάτων θα μειωθεί κατά 2,5%. Έγινε η παραδοχή ότι η μεταβολή αυτή αφορά το δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο (A2) για το έτος 2100. Ακόμη, γίνεται η υπόθεση ότι είναι γραμμική η σχέση μεταξύ της ανόδου της θερμοκρασίας και της μείωσης της αλιευτικής παραγωγής, ώστε να υπολογιστεί η μείωση της παραγωγής για τα υπόλοιπα κλιματικά σενάρια και χρονικές περιόδους.

Η μείωση αυτή της παραγωγής αλιευμάτων προσομοιώθηκε στο πρότυπο με εφαρμογή αντίστοιχης μεταβολής της παραγωγικότητας του αλιευτικού τομέα.

Πίνακας 3.6

Εκατοστιαία μείωση της παραγωγικότητας του αθιευτικού τομέα, όπως εφαρμόστηκε στο πρότυπο GEM-E3

	B1	B2	A1B	A2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	0,7	0,8	0,8	0,8
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	1,0	1,3	1,5	2,5

Πίνακας 3.7

Οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των δασών, όπως εφαρμόστηκαν στο πρότυπο GEM-E3

	B1	B2	A1B	A2
Εκατοστιαία μείωση της παραγωγικότητας των δασών				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	21	25	25	27
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	28	30	34	35
Επιπλέον δαπάνες του κράτους για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών σε ετήσια βάση (εκατ. ευρώ)				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	11	17	16	17
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	24	39	49	78

Δάση

Στον τομέα των δασών, η μείωση της παραγωγής ξυλείας προσομοιώνεται με αντίστοιχη μείωση της παραγωγικότητας του τομέα δασοκομίας και υλοτομίας. Το κόστος που θα προκληθεί από την εκδήλωση πυρκαγιών⁵⁴ θεωρείται ότι αναλαμβάνεται εξολοκλήρου από το κράτος και προσομοιώνεται ως αύξηση των δαπανών του κράτους στον τομέα των υπηρεσιών δασοπροσέβσης και των σχετικών έργων δασοπροστασίας.

Παράκτια συστήματα

Για τα παράκτια συστήματα (Υποκεφάλαιο 2.2) υπολογίζεται το κόστος από την απώλεια τουριστικής και οικιστικής, υδροτοπικής, δασικής και γεωργικής γης λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας ως η εμπορική αξία των εκτάσεων που επηρεάζονται και κατά συνέπεια

⁵⁴ Η ομάδα εργασίας για τα δάση παρέχει εκτιμήσεις για τις επιπλέον καμένες εκτάσεις λόγω της αυξημένης συχνότητας πυρκαγιών που θα επιφέρει η κλιματική αλλαγή, καθώς και για το τμήμα των δασικών εκτάσεων που επηρεάζεται από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Αυτές οι απώλειες δασικών εκτάσεων (οι οποίες εμφανίζονται περιορισμένες σε σχέση με την συνολική δασική έκταση της χώρας, π.χ. εκτιμάται για το Σενάριο B2 καμένη έκταση 20.000 εκταρίων, 0,3% της συνολικής δασικής έκτασης της χώρας) θα μπορούσαν να εισαχθούν στο πρότυπο μέσω της εφαρμογής μείωσης του κεφαλαίου του τομέα δασοκομίας και υλοτομίας. Ωστόσο, οι καμένες αυτές εκτάσεις δεν αποτελούν απαραίτητα παραγωγικό κεφάλαιο για τον τομέα της δασοκομίας, οπότε, λόγω και του μικρού τους μεγέθους, παραλείφθηκαν από την ανάλυση γενικής ισορροπίας.

δεν δύνανται να έχουν την οικονομική απόδοση που θα είχαν χωρίς την κλιματική αλλαγή. Το κόστος από την απώλεια δασικής και υγροτοπικής γης είναι σχετικά μικρό και παραλείπεται στη συνέχεια της μελέτης.

Η αξία της απώλειας τουριστικής και οικιστικής γης διαχωρίστηκε κατά κατηγορία με βάση συντελεστές αναλογίας που προέρχονται από στατιστικά στοιχεία.

Για τον τουρισμό και τη γεωργία, η απώλεια παράκτιας γης εισάγεται στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως απώλεια παραγωγικού κεφαλαίου. Για την αναγωγή της αξίας της απώλειας αυτής σε ετήσια βάση γίνεται η υπόθεση ότι το κεφαλαιακό απόθεμα στους κλάδους αυτούς θα είχε ετήσια απόδοση 8% για την τουριστική γη και 6% για τη γεωργική γη. Με βάση την υπόθεση αυτή, η ετήσια ισοδύναμη απώλεια στην απόδοση του κεφαλαίου των κλάδων του τουρισμού και της γεωργίας κυμαίνεται μεταξύ 2% και 4% ανάλογα με το κλιματικό σενάριο και το έτος στο οποίο αναφέρεται η ένταση της κλιματικής αλλαγής.

Γίνεται η υπόθεση ότι η απώλεια παράκτιας οικιστικής γης επιφέρει απώλεια εισοδήματος για τα νοικοκυριά, είτε απευθείας στην περίπτωση κατά την οποία αυτή η γη και τα οικήματα είχαν οικονομική απόδοση για τον ιδιοκτήτη είτε έμμεσα, δεδομένου ότι ο ιδιοκτήτης θα υποστεί δαπάνες για αντικατάσταση της απολεσθείσας γης ή της υπηρεσίας από τη χρήση της γης.

Πίνακας 3.8

Αξία της απώλειας παράκτιας γης λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (Σε εκατ. ευρώ, σωρευτικά μέχρι το 2100)

Άνοδος της στάθμης της θάλασσας	0,5 μ.	1 μ.
Οικιστική & τουριστική γη	347.738	630.842
Υγροτοπική γη	138	247
Δασική γη	0	1
Γεωργική γη	7.884	18.253

Πίνακας 3.9

Εκατοστιαία μείωση της απόδοσης κεφαλαίου των τομέων του τουρισμού και της γεωργίας σε ετήσια βάση, όπως εφαρμόστηκε στο πρότυπο GEM-E3

	B1	B2	A1B	A2
Τομείς τουριστικών υπηρεσιών				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	2	2	2	2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	2	3	3	4
Γεωργικός τομέας				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	2	2	2	2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	2	3	3	4

Πίνακας 3.10

Επιπλέον δαπάνη των νοικοκυριών οφειλόμενη στην απώλεια οικιστικής γης και στη μετακίνηση πληθυσμών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας

	B1	B2	A1B	A2
Αύξηση δαπανών νοικοκυριών σε εκατ. ευρώ				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	2.872	3.401	3.379	3.415
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	6.322	7.471	8.272	10.590

Η επίπτωση και για τις δύο περιπτώσεις εισήχθη στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως επιπλέον δαπάνη των νοικοκυριών η οποία είναι απαραίτητη ώστε τα νοικοκυριά να απολαμβάνουν το ίδιο επίπεδο υπηρεσιών από τη γη και τα οικήματα όπως πριν από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η αναγωγή του κόστους από την απώλεια παράκτιας οικιστικής γης σε ετήσια βάση έγινε με βάση την υπόθεση για ετήσια απόδοση ίση με 6% της αξίας της γης.

Στο κόστος από την απώλεια παράκτιας οικιστικής γης προστέθηκε το κόστος μετακίνησης παράκτιων πληθυσμών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, το οποίο εκτιμήθηκε σύμφωνα με τη μελέτη PESETA (Richards and Nicholls, 2009).

Ο Πίνακας 3.10 παρουσιάζει το ύψος της επιπλέον δαπάνης των νοικοκυριών σε ετήσια βάση η οποία οφείλεται στην επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στις παράκτιες οικιστικές περιοχές. Αυτή η επιπλέον δαπάνη γίνεται χωρίς πρόσθετο εισόδημα, επομένως οδηγεί σε μείωση άλλων καταναλωτικών δαπανών ή και σε περιορισμό της αποταμίευσης.

Λιμενικές υποδομές

Στην ανάλυση για τον τομέα των μεταφορών (Υποκεφάλαιο 2.9) γίνεται εκτίμηση του κόστους για την προστασία των λιμενικών υποδομών, το οποίο εντάσσεται στο κόστος προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή γιατί έχει προληπτικό χαρακτήρα. Όμως, για το Σενάριο Μη Δράσης, πρέπει να περιληφθεί εκτίμηση κόστους το οποίο αντιστοιχεί σε απώλεια λιμενικών υποδομών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Έγινε η υπόθεση ότι η απώλεια λιμενικών υποδομών στο Σενάριο Μη Δράσης (που αντιστοιχεί στο Κλιματικό Σενάριο A2) θα

Πίνακας 3.11

Εκατοστιαία μείωση της απόδοσης κεφαλαίου του τομέα των θαλάσσιων μεταφορών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας

	B1	B2	A1B	A2
Απώλεια κεφαλαίου θαλάσσιων μεταφορών				
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	1	2	2	2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	3	5	7	15

ανέλθει σε ποσοστό 30% της αξίας τους. Η απώλεια αυτή ενσωματώθηκε στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως απώλεια κεφαλαίου του τομέα των θαλάσσιων μεταφορών.

Δομημένο περιβάλλον

Για τον τομέα του δομημένου περιβάλλοντος αποτιμήθηκε το κόστος που επιφέρουν οι μεταβολές των αναγκών θέρμανσης και ψύξης, όπως μελετήθηκε στο Κεφάλαιο 2.8. Η ανάλυση προβλέπει μείωση του θερμικού φορτίου, η οποία επηρεάζει την κατανάλωση πετρελαίου και φυσικού αερίου, και αύξηση του ψυκτικού φορτίου, η οποία επηρεάζει το βαθμό χρήσης κλιματιστικών, επομένως και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μεταβολές που μελετήθηκαν στο Υποκεφάλαιο 2.8 αναλύθηκαν περαιτέρω με χρήση του ενεργειακού προτύπου PRIMES (βλ. Κεφάλαιο 4), με βάση το οποίο εκτιμήθηκε η συνολική μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου θέρμανσης και φυσικού αερίου για θέρμανση, καθώς και η συνολική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα των οικιακών καταναλώσεων και στους τομείς των κλάδων παροχής υπηρεσιών. Οι επιπτώσεις του Σεναρίου Μη Δράσης στη δομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των τομέων αυτών είναι σημαντικές, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.12.

Οι εκτιμήσεις αυτές εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως εξωγενείς μεταβολές της κατανάλωσης των νοικοκυριών και των αντίστοιχων τομέων υπηρεσιών. Η επίπτωση στις δαπάνες αγοράς ενέργειας υπολογίζεται από το πρότυπο γενικής ισορροπίας, όμως η συνολική επίπτωση είναι μικρή (και, σε μερικές περιπτώσεις, αντιστοιχεί σε μικρό όφελος), επειδή η επιπλέον δαπάνη σε ηλεκτρική ενέργεια για κλιματισμό αντισταθμίζεται από τη μείωση της δαπάνης για πετρέλαιο και φυσικό αέριο.

Σημαντική οικονομική επίπτωση στο δομημένο περιβάλλον εκτιμάται ότι θα έχει η επίταση του φαινομένου της θερμικής νησίδας στα αστικά κέντρα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το φαινόμενο αυτό εκτιμάται ότι θα επιφέρει σημαντική μείωση της αξίας των οικιών και κτηρίων υπηρεσιών στα τμήματα των αστικών κέντρων που θα υποστούν μεγάλες αυξήσεις της θερμοκρασίας. Έγινε η υπόθεση ότι στο Σενάριο Μη Δράσης ένα ποσοστό της τάξεως του 20% των οικιών και κτηρίων στα αστικά κέντρα θα απολέσει την αξία του, η οποία αντιστοιχεί σε μείωση της τάξεως του 3% το 2100 για τη συνολική αξία των οικιών και κτηρίων. Η αναγωγή σε ετήσια βάση έγινε με την υπόθεση για απόδοση κεφαλαίου ίση με 6% ετησίως. Η αντίστοιχη απώλεια εισοδήματος από την απόδοση κεφαλαίου εισήχθη στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως επιπλέον δαπάνη η οποία βαρύνει τα νοικοκυριά και τους τομείς των υπηρεσιών. Η δαπάνη αυτή αντιστοιχεί σε κόστος για την αντικατάσταση του απολεσθέντος κεφαλαίου ώστε οι υπηρεσίες από τα ακίνητα αυτά να παραμείνουν αμετάβλητες.

Υδάτινα αποθέματα

Η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει σε μειωμένη διαθεσιμότητα νερού στο μέλλον. Με βάση την ανάλυση για τον τομέα των υδάτινων αποθεμάτων (Υποκεφάλαιο 2.1) εκτιμάται

Πίνακας 3.12

Μεταβολές της ενεργειακής κατανάλωσης στο δομημένο περιβάλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής, όπως εκτιμήθηκαν με βάση το πρότυπο PRIMES

	Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050				Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100			
	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2
Εκατοστιαία μεταβολή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας από τα νοικοκυριά για τις οικίες και τα επιβατικά οχήματα								
Πετρέλαιο	-8	-10	-9	-10	-12	-15	-18	-21
Ηλεκτρική ενέργεια	4	7	6	7	9	12	14	21
Φυσικό αέριο	-16	-20	-19	-20	-24	-31	-36	-43
Εκατοστιαία μεταβολή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στους τομείς των υπηρεσιών								
Πετρέλαιο	-16	-20	-19	-20	-24	-31	-36	-43
Ηλεκτρική ενέργεια	6	10	10	10	13	18	21	31
Φυσικό αέριο	-19	-23	-22	-24	-28	-36	-42	-50

Πίνακας 3.13

Επιπλέον δαπάνες για αντιστάθμιση της απώλειας αξίας του δομημένου περιβάλλοντος σε θερμικές νησίδες αστικών περιοχών (Σε εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση)

	B1	B2	A1B	A2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	28	50	48	51
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	81	154	228	400

ότι ο τομέας της ύδρευσης θα αδυνατεί να καλύψει ένα ποσοστό της ζητούμενης ποσότητας. Η δυσκολία αυτή για τον τομέα της ύδρευσης προσομοιώνεται στο πρότυπο γενικής ισορροπίας με την υπόθεση για ανάλογη μείωση της παραγωγικότητας του τομέα.

Παράλληλα με τον τομέα της ύδρευσης, η μειωμένη διαθεσιμότητα νερού θα επηρεάσει σημαντικά και τον τομέα της άρδευσης και, κατ' επέκταση, τον τομέα της γεωργίας. Στην ανάλυση για τον τομέα της γεωργίας (Υποκεφάλαιο 2.4) έχει συμπεριληφθεί η επίπτωση στην αποδοτικότητα των καλλιεργειών από τη μειωμένη διαθεσιμότητα νερού. Ωστόσο, δεν λαμβάνεται υπόψη το αυξημένο κόστος άρδευσης που θα προκύψει από την προσπάθεια κάλυψης των αρδευτικών αναγκών (π.χ. γεωτρήσεις σε μεγαλύτερο βάθος, επιπλέον εγγειοβελτιωτικά έργα κ.λπ.). Στην παρούσα ανάλυση, έγινε η υπόθεση ότι το κόστος άρδευσης θα αυξηθεί μέχρι και 120% το 2100, στο δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο (A2). Για να προσομοιωθεί αυτή η αύξηση του κόστους άρδευσης, εφαρμόστηκε κατάλληλη μεταβολή (αύξηση) του μοναδιαίου κόστους των συντελεστών παραγωγής του τομέα της γεωργίας οι οποίοι αντιστοιχούν στην άρδευση.

Πίνακας 3.14

Εκατοστιαία μείωση της παραγωγικότητας του τομέα ύδρευσης, όπως εφαρμόστηκε στο πρότυπο GEM-E3

	B1	B2	A1B	A2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	13	16	16	16
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	20	26	30	39

Πίνακας 3.15

Εκατοστιαία αύξηση του κόστους άρδευσης στο γεωργικό τομέα

	B1	B2	A1B	A2
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	39	50	49	51
Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100	62	81	93	120

Μεταφορές

Η κλιματική αλλαγή θα έχει σημαντικές συνέπειες για τις υποδομές του τομέα των μεταφορών. Θα απαιτούνται μεγαλύτερες δαπάνες για τη συντήρηση του οδοστρώματος λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας, καθώς και έκτακτες δαπάνες για την αποκατάσταση ζημιών από πλημμύρες. Οι επιπλέον αυτές δαπάνες εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως επιπλέον δαπάνες του κράτους σε δημόσια έργα τα οποία εκτελούνται από τον τομέα των κατασκευών. Η ανάλυση για τον τομέα των μεταφορών εντοπίζει μικρό όφελος λόγω της μείωσης των δαπανών για εκχιονιστικές εργασίες, η οποία εισήχθη στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως μείωση των αντίστοιχων δαπανών του κράτους.

Οι επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας οι οποίες αφορούν στις λιμενικές υποδομές εξετάζονται μαζί με τις επιπτώσεις για τον τομέα των παράκτιων συστημάτων.

Σχετικά με τις επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στις υποδομές των χερσαίων μεταφορών, η τομεακή ανάλυση παραθέτει στοιχεία ως προς το τμήμα του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου το οποίο είναι σε απόσταση από 25 έως 100 μέτρα από την ακτογραμμή και το οποίο αναμένεται να επηρεαστεί από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Τα στοιχεία αυτά αξιοποιήθηκαν προκειμένου να εκτιμηθεί η έκταση των ζημιών για τις υποδομές των χερσαίων μεταφορών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και η αξία των ζημιών αυτών εισήχθη στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως απώλεια κεφαλαίου του τομέα των χερσαίων μεταφορών.⁵⁵

⁵⁵ Το ύψος των ζημιών που εκτιμάται από την ομάδα εργασίας των μεταφορών έχει προκύψει χωρίς να λαμβάνονται υπόψη στοιχεία αναφορικά με το υψόμετρο του δικτύου. Για το πρότυπο γενικής ισορροπίας έγινε η υπόθεση ότι τμήμα της εκτίμησης αυτής αντιστοιχεί σε απώλεια κεφαλαίου.

Πίνακας 3.16

Οικονομικές επιπτώσεις στον τομέα των μεταφορών, όπως εφαρμόστηκαν στο πρότυπο GEM-E3

	Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050				Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100			
	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2
Επιπλέον δαπάνες του κράτους σε υποδομές (εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση)	46	68	66	69	95	149	186	288
Μείωση κρατικών δαπανών για εκχιονιστικές εργασίες (εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση)	-9	-14	-13	-14	-19	-30	-37	-58
Απώλεια ωρών εργασίας λόγω καθυστερήσεων (ετήσιος αριθμός ωρών ανά εργαζόμενο)	36	57	54	108	54	67	77	180
Εκατοστιαία απώλεια κεφαλαίου στον τομέα των χερσαίων μεταφορών λόγω ανόδου στάθμης θάλασσας	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,08	0,11

Στην τομεακή ανάλυση για τις μεταφορές εκτιμήθηκαν επίσης οι ώρες καθυστερήσεων προέλευσης των εργαζομένων στην εργασία λόγω της επίδρασης ακραίων καιρικών φαινομένων στα δρομολόγια των μέσων μεταφοράς.

Για διάφορους λόγους δεν είναι ορθό να θεωρηθεί το σύνολο των ωρών αυτών ως απώλεια παραγωγικότητας της εργασίας. Για την ανάλυση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας έγινε η υπόθεση ότι τμήμα των ωρών αυτών (περίπου το 1/3) αντιστοιχεί σε μόνιμη αδυναμία παροχής εργασίας από τους εργαζομένους. Η απώλεια αυτή εισήχθη στο πρότυπο ως μείωση του διαθέσιμου εργατικού δυναμικού.

3.3.7 Το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής κατά κλιματικό σενάριο

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του παρόντος υποκεφαλαίου, το κόστος της κλιματικής αλλαγής για την ελληνική οικονομία εκτιμήθηκε με την χρήση του προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3, στο οποίο εισήχθησαν, ως εξωγενείς μεταβολές, εκτιμήσεις σχετικά με τις άμεσες οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους τομείς δραστηριότητας. Ο Πίνακας 3.17 συνοψίζει τις αριθμητικές τιμές των εξωγενών μεταβολών όπως εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας.

Με το πρότυπο γενικής ισορροπίας αποτιμήθηκε το κόστος για την ελληνική οικονομία υπό διάφορα σενάρια σχετικά με την ένταση της κλιματικής μεταβολής και τη σχετική ένταση της κλιματικής μεταβολής των ετών 2050 και 2100.

Η εκτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής για την ελληνική οικονομία έγινε με την υπόθεση ότι οι εξωγενείς μεταβολές εφαρμόζονται στην κατάσταση της οικονομίας σε ένα έτος βάσης, όπως αυτή αναπαρίσταται από το πρότυπο γενικής ισορροπίας για το έτος αυτό. Επομένως, η αποτίμηση του κόστους αναφέρεται στο μέγεθος της οικονομίας κατά το έτος βάσης

Πίνακας 3.17

Συγκεντρωτικός πίνακας των εξωγενών υποθέσεων που εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3 για την μελέτη του κόστους των σεναρίων κλιματικής αλλαγής

	2050			2100				
	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2
Τομέας γεωργίας	Εκατοστιαία μείωση της απόδοσης (παραγωγικότητας) των καλλιεργειών							
	1	5	7	10	11	17	19	21
Τομέας τουρισμού	Εκατοστιαία μείωση των τουριστικών εσόδων							
	1	2	2	3	4	9	13	24
Τομέας αλιείας	Εκατοστιαία μείωση της παραγωγικότητας του αλιευτικού τομέα							
	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	1,3	1,5	2,5
Τομέας δασών	Εκατοστιαία μείωση της παραγωγικότητας των δασών							
	21	25	25	27	28	30	34	35
	Επιπλέον δαπάνες του κράτους για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών σε ετήσια βάση (εκατ. ευρώ)							
	11	17	16	17	24	39	49	78
	Εκατοστιαία μείωση απόδοσης κεφαλαίου του τομέα του τουρισμού λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας							
	2	2	2	2	2	3	3	4
Παράκτιες περιοχές	Εκατοστιαία μείωση απόδοσης κεφαλαίου του τομέα της γεωργίας λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας							
	2	2	2	2	2	3	3	4
	Επιπλέον δαπάνη των νοικοκυριών οφειλόμενη στην απώλεια οικιστικής γης και στη μετακίνηση πληθυσμών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση)							
	2.872	3.401	3.379	3.415	6.322	7.471	8.272	10.590
	Εκατοστιαία μείωση απόδοσης κεφαλαίου του τομέα των θαλάσσιων μεταφορών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας							
	1	2	2	2	3	5	7	15
	Εκατοστιαία μείωση της παραγωγικότητας του τομέα ύδρευσης							
	13	16	16	16	20	26	30	39
Τομέας υδάτινων αποθεμάτων	Εκατοστιαία αύξηση του κόστους άρδευσης στο γεωργικό τομέα							
	39	50	49	51	62	81	93	120

Πίνακας 3.17

Συγκεντρωτικός πίνακας των εξωγενών υποθέσεων που εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3 για την μελέτη του κόστους των σεναρίων κλιματικής αλλαγής (συνέχεια)

	2050				2100			
	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2
Δομημένο περιβάλλον								
Εκατοστιαία μεταβολή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας από τα νοικοκυριά για τις οικίες και τα επιβατικά οχήματα								
Πετρέλαιο	-8	-10	-9	-10	-12	-15	-18	-21
Ηλεκτρική ενέργεια	4	7	6	7	9	12	14	21
Φυσικό αέριο	-16	-20	-19	-20	-24	-31	-36	-43
Εκατοστιαία μεταβολή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στους τομείς των υπηρεσιών								
Πετρέλαιο	-16	-20	-19	-20	-24	-31	-36	-43
Ηλεκτρική ενέργεια	6	10	10	10	13	18	21	31
Φυσικό αέριο	-19	-23	-22	-24	-28	-36	-42	-50
Δομημένο περιβάλλον	Επιπλέον δαπάνες για αντιστάθμιση της απώλειας αξίας του δομημένου περιβάλλοντος σε θερμικές νηαίδες αστικών περιοχών (εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση)							
	28	50	48	51	81	154	228	400
Επιπλέον δαπάνες του κράτους σε υποδομές (εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση)								
	46	68	66	69	95	149	186	288
Μείωση κρατικών δαπανών για εκχιονιστικές εργασίες (εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση)								
	-9	-14	-13	-14	-19	-30	-37	-58
Απώλεια ωρών εργασίας λόγω καθυστερήσεων (ετήσιος αριθμός ωρών ανά εργαζόμενο)								
	36	57	54	108	54	67	77	180
Εκατοστιαία απώλεια κεφαλαίου στον τομέα των χερσαίων μεταφορών λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας								
	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,08	0,11

και όχι στο μέγεθος που θα έχει η οικονομία το έτος 2050 ή το έτος 2100. Με άλλα λόγια, το κόστος σε ευρώ πρέπει να αξιολογηθεί συγκριτικά με το παρόν μέγεθος της οικονομίας.

Η εκτίμηση του κόστους για την οικονομία έγινε με χρονικά δυναμικό τρόπο. Δηλαδή εφαρμόστηκαν οι εξωγενείς μεταβολές στο έτος βάσης και στη συνέχεια το πρότυπο οικονομικής ισορροπίας προσομοίωσε τη δυναμική εξέλιξη της οικονομίας (για δέκα έτη) η οποία επηρεάζεται από τις μεταβολές αυτές, όπως π.χ. μέσω της διαφοροποίησης των επενδύσεων και της συσσώρευσης κεφαλαίου. Η εκτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής βασίζεται στη σύγκριση της προσομοίωσης αυτής με προσομοίωση στην οποία δεν επέρχονται οι εξωγενείς μεταβολές οι οποίες αντιστοιχούν στην κλιματική μεταβολή. Η σύγκριση αφορά τόσο στο έτος βάσης, και αντιστοιχεί σε κόστος στατικού χαρακτήρα, όσο και στο τελικό έτος της δυναμικής προσομοίωσης, οπότε αντιστοιχεί σε κόστος μακροχρόνιου χαρακτήρα. Ο χρόνος της προσομοίωσης δεν αναφέρεται στα έτη 2050 ή 2100, για τα οποία ενδιαφέρει μόνο η ένταση της κλιματικής μεταβολής.

Η άσκηση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας απαντά στο ερώτημα “ποια θα ήταν η επίπτωση στην ελληνική οικονομία, στατικά και μακροχρόνια, αν η κλιματική αλλαγή με την ένταση του 2050 ή του 2100 (και κατά κλιματικό σενάριο) λάμβανε χώρα στη σημερινή κατάσταση της οικονομίας;”

Η εκτίμηση του κόστους για την ελληνική οικονομία έγινε τόσο για το σύνολο της οικονομίας όσο και χωριστά κατά τομέα. Το κόστος εκτιμήθηκε με βάση το πρότυπο γενικής ισορροπίας ως μεταβολή του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ) σε σταθερές τιμές και ως ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας.⁵⁶ Το πρότυπο γενικής ισορροπίας παρέχει επίσης αναλυτικές εκτιμήσεις των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας, των επιπτώσεων στις επενδύσεις, στην καταναλωση, στις τιμές, στην αγορά εργασίας και στο εξωτερικό εμπόριο.

Ως ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας, με το πρότυπο υπολογίζεται το εισόδημα που πρέπει να αφαιρεθεί ή να δοθεί στους καταναλωτές (νοικοκυριά) ώστε, με βάση το επίπεδο των τιμών των αγαθών όπως ισχύουν στο Σενάριο Αναφοράς, η χρησιμότητά τους να γίνει ίση με το επίπεδο χρησιμότητας του σεναρίου στο οποίο περιλαμβάνονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Αρνητική ισοδύναμη μεταβολή σημαίνει ότι οι τιμές των αγαθών του σεναρίου κλιματικής αλλαγής καθιστούν το επίπεδο χρησιμότητας χαμηλότερο από αυτό του Σεναρίου Αναφοράς, κατάσταση η οποία ισοδυναμεί με μείωση του εισοδήματος των νοικοκυριών αν ίσχυαν οι τιμές των αγαθών του Σεναρίου Αναφοράς. Σημειώνεται ότι, στα υπολογιζόμενα υποδείγματα γενικής ισορροπίας όπως το GEM-E3, η μεταβολή της ευημερίας είναι μέτρο αξιολόγησης των συνολικών επιπτώσεων, δεδομένου ότι το πρότυπο είναι δομημένο ώστε να αριστοποιεί τη χρησιμότητα των καταναλωτών.

⁵⁶ Welfare equivalent variation.

Πίνακας 3.18

Ετήσιες επιπτώσεις στο ΑΕΠ και την ευημερία εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής

	Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050				Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100			
	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2
Επιπτώσεις στο έτος βάσης								
Εκατοστιαία μεταβολή του ΑΕΠ	-0,90	-1,56	-1,77	-2,03	-2,69	-4,03	-4,77	-6,50
Ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας, σε εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση	-1.696	-2.831	-3.072	-3.409	-4.888	-7.638	-9.404	-14.207
Επιπτώσεις στο τελικό έτος της δυναμικής προσομοίωσης								
Εκατοστιαία μεταβολή του ΑΕΠ	-0,90	-1,53	-1,74	-2,00	-2,67	-3,92	-4,57	-6,01
Ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας, σε εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση	-2.963	-4.803	-5.144	-5.666	-8.391	-13.002	-16.018	-24.435

Σύμφωνα με την ανάλυση γενικής ισορροπίας, οι απώλειες του ΑΕΠ κυμαίνονται από -0,9% έως και -2% για τις συνθήκες κλιματικής αλλαγής του 2050 και από -2,7% μέχρι -6% για τις συνθήκες κλιματικής αλλαγής του 2100. Η ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας των νοικοκυριών κυμαίνεται μεταξύ €3 δισεκ. και €5,7 δισεκ. για τις συνθήκες κλιματικής αλλαγής του 2050 και μεταξύ €8,4 δισεκ. και €24,4 δισεκ. για τις συνθήκες κλιματικής αλλαγής του 2100. Τα άνω όρια των διακυμάνσεων αυτών αντιστοιχούν στο Σενάριο Μη Δράσης, το συνολικό κόστος του οποίου εκτιμήθηκε στα €5,7 δισεκ. ετησίως για την ένταση της κλιματικής μεταβολής του 2050 και στα €24,4 δισεκ. ετησίως για την ένταση της κλιματικής μεταβολής του 2100.

Η επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι δυσμενέστερη για την κατανάλωση των νοικοκυριών παρά για τις επενδύσεις. Οι αναγκαστικές δαπάνες τις οποίες οφείλουν να υποστούν τα νοικοκυριά, αλλά και το κράτος, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ζημιές που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή αντιστοιχούν κυρίως σε επενδυτικές δαπάνες. Όμως η μείωση απόδοσης κεφαλαίου και η μείωση της παραγωγικότητας σε διάφορους τομείς σε συνδυασμό με τη μείωση της ζήτησης για τουριστικές υπηρεσίες οδηγούν σε επιβράδυνση της ανάπτυξης και σε μείωση του πραγματικού εισοδήματος των νοικοκυριών, η οποία οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης παρά των επενδύσεων. Στη μείωση της οικονομικής δραστηριότητας συμβάλλει επίσης η δομή των επενδύσεων που απαιτούνται λόγω της κλιματικής αλλαγής, οι οποίες προσανατολίζονται αναγκαστικά σε τομείς με μικρότερο πολλαπλασιαστικό όφελος για την οικονομία. Η αρνητική επίπτωση στην οικονομική δραστηριότητα είναι εντονότερη στους τομείς των υπηρεσιών, της γεωργίας και των καταναλωτικών αγαθών. Οι μεταβολές οδηγούν σε μικρή αύξηση των πραγματικών επιτοκίων και σε μείωση του πραγματικού μισθού.

Πίνακας 3.19

Ετήσιες επιπτώσεις στο ΑΕΠ και την ευημερία εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής

	Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050				Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100			
	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2
Τομείς επιπτώσεων	Εκατοστιαία μεταβολή του ΑΕΠ							
Γεωργία	-0,13	-0,52	-0,72	-0,97	-1,11	-1,79	-2,03	-2,21
Δάση	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06
Αλιεία	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02
Παράκτια συστήματα	-0,50	-0,61	-0,61	-0,62	-1,01	-1,12	-1,41	-1,97
Μεταφορές	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,12	-0,19	-0,24	-0,37
Τουρισμός	-0,05	-0,09	-0,09	-0,09	-0,15	-0,30	-0,41	-0,78
Δομημένο περιβάλλον	-0,07	-0,12	-0,11	-0,12	-0,16	-0,23	-0,27	-0,41
Υδάτινα αποθέματα	-0,09	-0,12	-0,12	-0,12	-0,15	-0,20	-0,23	-0,32
Όλοι οι τομείς μαζί	-0,90	-1,53	-1,74	-2,00	-2,67	-3,92	-4,57	-6,01
Τομείς επιπτώσεων	Ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας, σε εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση							
Γεωργία	-173	-701	-983	-1.324	-1.517	-2.485	-2.821	-3.077
Δάση	-28	-35	-35	-38	-42	-51	-60	-75
Αλιεία	-7	-8	-8	-8	-10	-13	-15	-26
Παράκτια συστήματα	-1.287	-1.553	-1.541	-1.560	-2.637	-3.020	-3.623	-4.939
Μεταφορές	-63	-94	-91	-96	-180	-284	-354	-548
Τουρισμός	-616	-1.129	-1.085	-1.160	-1.888	-3.683	-5.063	-9.548
Δομημένο περιβάλλον	25	-30	-35	-33	-80	-162	-210	-476
Υδάτινα αποθέματα	-192	-247	-243	-249	-308	-413	-477	-639
Όλοι οι τομείς μαζί	-2.963	-4.803	-5.144	-5.666	-8.391	-13.002	-16.018	-24.435

3.3.8 Το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής κατά τομέα επιπτώσεων

Η ανάλυση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας διενεργήθηκε και χωριστά για κάθε τομέα επιπτώσεων, δηλαδή για κάθε τομέα για τον οποίο εκτιμήθηκε άμεση επίπτωση από την κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.19, καθώς και στο Διάγραμμα 3.3 (σελ. 404), όπου και αφορούν στην εκατοστιαία μεταβολή του ΑΕΠ. Τα αποτελέσματα σχετικά με την ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 3.4.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ποια θα ήταν η επίπτωση στην οικονομία αν η κλιματική αλλαγή επιδρούσε σε ένα μόνο τομέα κάθε φορά.

Τα αποτελέσματα της γενικής ισορροπίας κατά τομέα επιπτώσεων δείχνουν ότι τις μεγαλύτερες αρνητικές συνέπειες για την οικονομία έχουν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία και τα παράκτια συστήματα. Αξιοσημείωτες είναι επίσης οι αρνητικές συνέπειες στην οικονομία εξαιτίας των επιπτώσεων στον τομέα του τουρισμού, αλλά μόνο για την ένταση κλιματικών αλλαγών του έτους 2100, αντίθετα με τις συνέπειες από την ένταση κλιματικών αλλαγών του έτους 2050, οι οποίες είναι σαφώς μικρότερες, τόσο συγκριτικά με τις συνέπειες για το έτος 2100 όσο και συγκριτικά με τις συνέπειες λόγω των επιπτώσεων στους άλλους τομείς. Παρόμοια ανισότητα παρατηρείται και για τις οικονομικές συνέπειες που σχετίζονται με τους τομείς των μεταφορών και του δομημένου περιβάλλοντος. Αυτό οφείλεται στη μη γραμμικότητα των επιπτώσεων: η ένταση της κλιματικής αλλαγής του έτους 2100, ιδίως στο πλαίσιο των δυσμενέστερων σεναρίων, όπως το A2 (Σενάριο Μη Δράσης), αντιστοιχεί σε θερμοκρασία και στάθμη θάλασσας που έχουν μεγαλύτερες από αναλογικές επιπτώσεις στους αντίστοιχους τομείς, επομένως και στην οικονομία.

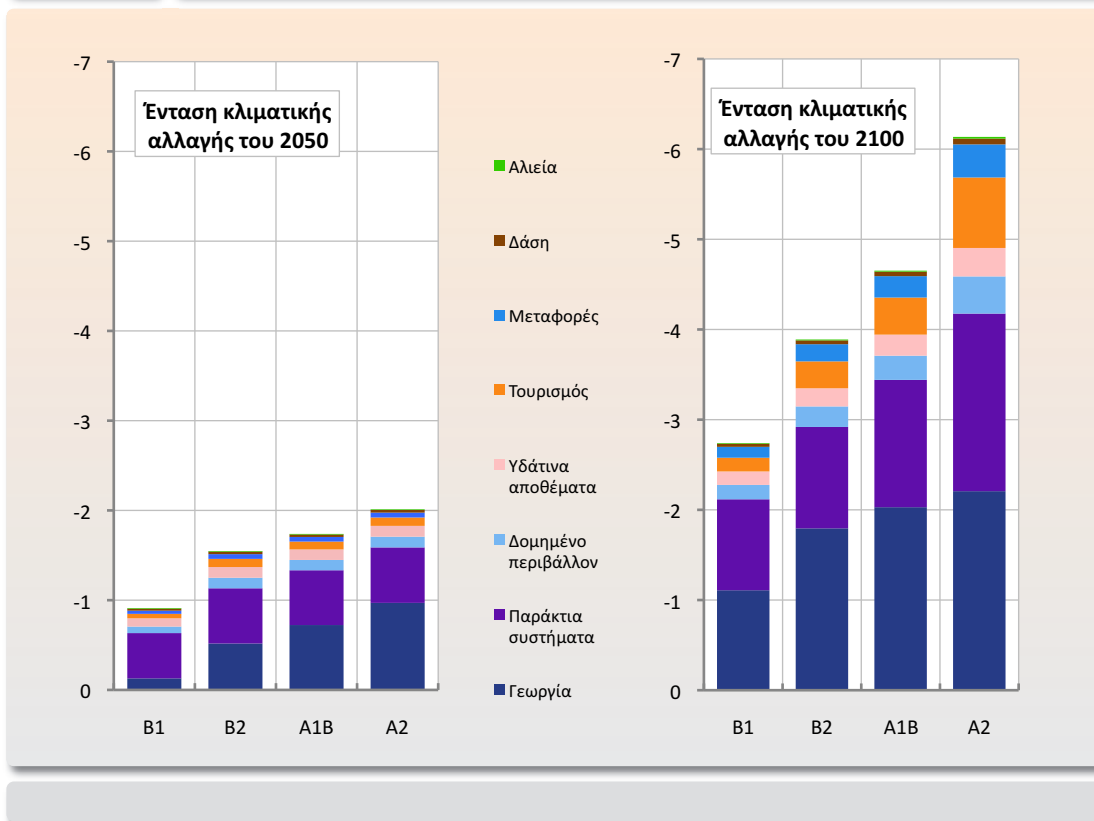
Η γεωργία είναι ο παραγωγικός τομέας ο οποίος είναι περισσότερο ευάλωτος στην κλιματική αλλαγή και ο οποίος μακροπρόθεσμα θα προκαλέσει τη μεγαλύτερη απώλεια ΑΕΠ. Η μείωση της παραγωγικότητας του τομέα οδηγεί σε πολύ σημαντική αύξηση του κόστους παραγωγής, προκαλώντας μεγάλη μείωση των εξαγωγών, μείωση της εγχώριας κατανάλωσης και αύξηση των εισαγωγών αγροτικών προϊόντων.

Οι επιπτώσεις που σχετίζονται με τον τομέα του τουρισμού γίνονται περισσότερο έντονες ως προς τις συνέπειες για την ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας. Η μείωση της ζήτησης τουριστικών υπηρεσιών οδηγεί σε μείωση της απασχόλησης, του πραγματικού μισθού και του εισοδήματος των νοικοκυριών.

Οι επιπτώσεις στα παράκτια συστήματα που εκφράζονται ως απώλειες κεφαλαίου οδηγούν μεν σε αύξηση των επενδύσεων, αλλά οι απώλειες ως προς την οικιστική γη έχουν αρνητικές συνέπειες για το εισόδημα των νοικοκυριών και οδηγούν σε μείωση της κατανάλωσης. Οι επιπτώσεις από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι αρνητικές για το σύνολο των παραγωγικών δραστηριοτήτων, με εξαίρεση τον τομέα των κατασκευών, η δραστηριότητα του οποίου εμφανίζεται να σημειώνει μικρή αύξηση λόγω των επενδυτικών δαπανών για αποκατάσταση των ζημιών. Παρόμοιες επιπτώσεις διαπιστώνονται και για τον τομέα των μεταφορών,

Διάγραμμα 3.3

Εκατοστιαία μεταβολή του ΑΕΠ ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής κατά τομέα επιπτώσεων



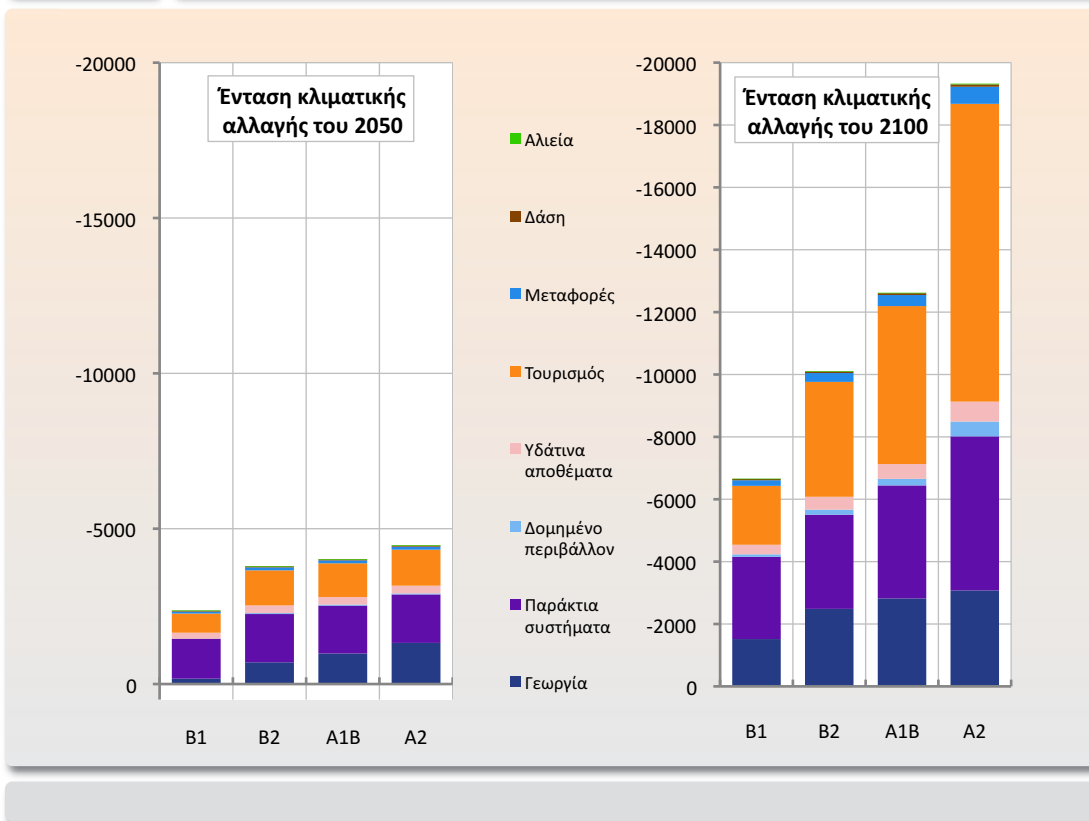
από τις οποίες ευνοείται ο τομέας των κατασκευών, η δραστηριότητα του οποίου παρουσιάζει μικρή αύξηση λόγω των αυξημένων αναγκών για αποκατάσταση του δικτύου μεταφορών από τις καταστροφές που προκαλούν οι πλημμύρες και η αυξημένη θερμοκρασία.

Οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον οδηγούν σε σχετικά μικρές αρνητικές συνέπειες για την οικονομία, επειδή μέρος του κόστους από την απώλεια κεφαλαίου λόγω των θερμικών νησίδων αντισταθμίζεται από το (μικρό) οικονομικό όφελος που προκύπτει για τις ενεργειακές δαπάνες των νοικοκυριών χάρη στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων για θέρμανση, δεδομένου ότι η αύξηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό είναι μικρότερη λόγω της αυξημένης απόδοσης των αντλιών θερμότητας.

Μικρότερες αρνητικές συνέπειες για το σύνολο της οικονομίας φαίνεται να έχουν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα και στην αλιεία. Βεβαίως οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σ' αυτούς τους τομείς θα έχουν σημαντικές συνέπειες για τη βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα, το κόστος των οποίων δεν έχει περιληφθεί στην ανάλυση γενικής ισορροπίας, όπως επίσης δεν έχει περιληφθεί και το επιπλέον κόστος στον τομέα της υγείας. Οι επιπτώσεις αυτές μελετώνται λεπτομερώς από τις αντίστοιχες ομάδες εργασίας που συνέπραξαν στην έκδοση του τόμου αυτού, αλλά, επειδή υφίστανται μεγάλες αβεβαιότη-

Διάγραμμα 3.4

Ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας σε εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής κατά τομέα επιπτώσεων



τες σχετικά με τις οικονομικές συνέπειες των εν λόγω επιπτώσεων κατά κλάδο δραστηριότητας, δεν έγινε δυνατόν να ενσωματωθούν στην ανάλυση γενικής ισορροπίας.

3.3.9 Το συνολικό κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης

Με εφαρμογή της εκατοστιαίας μεταβολής του ΑΕΠ στο μέγεθος του ΑΕΠ κατά το έτος βάσης (2008) υπολογίζεται το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής σύμφωνα με τις διάφορες περιπτώσεις έντασης των μεταβολών που απεικονίζονται στα διάφορα σενάρια κλιματικών μεταβολών, όπως και για την ένταση της κλιματικής μεταβολής η οποία αντιστοιχεί στα έτη 2050 και 2100. Το κόστος αυτό παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.20.

Επομένως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης γενικής ισορροπίας, το κόστος της κλιματικής αλλαγής στο πλαίσιο του Σεναρίου Μη Δράσης (Κλιματικό Σενάριο A2), εκφρασμένο ως προς το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης 2008, ανέρχεται σε ετήσια βάση σε €5,9 δισεκ. για την ένταση κλιματικής μεταβολής του έτους 2050 και σε €17,8 δισεκ. για την ένταση κλιματικής μεταβολής του έτους 2100.

Παρά τη δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο πλαίσιο του Σεναρίου Μετριασμού (μείωση εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο), λαμβάνει χώρα κλιματική

Πίνακας 3.20

Συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής συγκριτικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης 2008

	Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050				Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100			
	B1	B2	A1B	A2	B1	B2	A1B	A2
Επιπτώσεις στο έτος βάσης								
Μείωση ΑΕΠ σε εκατ. ευρώ του 2008 σε ετήσια βάση	-2.133	-3.703	-4.191	-4.816	-6.364	-9.556	-11.302	-15.403
Επιπτώσεις στο τελικό έτος της δυναμικής προσομοίωσης (10 έτη μετά)								
Μείωση ΑΕΠ σε εκατ. ευρώ του 2008 σε ετήσια βάση	-2.671	-4.536	-5.143	-5.919	-7.919	-11.605	-13.535	-17.805

μεταβολή, η οποία όμως είναι σαφώς μικρότερης έντασης συγκριτικά με αυτήν του Σεναρίου Μη Δράσης. Το συνολικό κόστος (εκφρασμένο ως προς το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης 2008) αποκλειστικά λόγω της κλιματικής μεταβολής στο πλαίσιο του Σεναρίου Μετριασμού (διατήρηση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας στους 2 °C μετά το 2100) εκτιμήθηκε από την ανάλυση γενικής ισορροπίας σε €2,7 δισεκ. ετησίως για ένταση κλιματικής μεταβολής του έτους 2050 και σε €5,9 δισεκ. ετησίως για ένταση κλιματικής μεταβολής του έτους 2100.

Με άλλα λόγια, το Σενάριο Μετριασμού διασφαλίζει μείωση του ετήσιου κόστους (εκφρασμένου ως προς το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης 2008) της κλιματικής μεταβολής κατά €3,2 δισεκ. ετησίως για ένταση κλιματικής μεταβολής του έτους 2050 και €11,9 δισεκ. ετησίως για ένταση κλιματικής μεταβολής του έτους 2100.

Με βάση τις εκτιμήσεις σχετικά με το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής το οποίο αναφέρεται στην ένταση κλιματικής αλλαγής των ετών 2050 και 2100, επιχειρείται στη συνέχεια εκτίμηση του συνολικού σωρευτικού κόστους μέχρι το 2100. Δεδομένου ότι η ανάλυση που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες αυτού του υποκεφαλαίου αφορούσε μόνο τα έτη 2050 και 2100, χρειάστηκε η εκτίμηση των ποσοστών μείωσης του ΑΕΠ για όλη τη χρονική περίοδο. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε σιγμοειδής συνάρτηση παρεμβολής, οι παράμετροι της οποίας προσδιορίστηκαν εμπειρικά. Οι εκατοστιαίες μεταβολές του ΑΕΠ εφαρμόστηκαν στο μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης. Επομένως, οι εκτιμήσεις του συνολικού κόστους για την ελληνική οικονομία αναφέρονται στο μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης. Για τον υπολογισμό του σωρευτικού κόστους έγινε η υπόθεση ότι το προεξοφλητικό επιτόκιο για αναγωγή σε παρούσα αξία είναι ίσο με μηδέν. Στον Πίνακα 3.21 παρουσιάζεται επίσης το σωρευτικό κόστος για προεξοφλητικό επιτόκιο διάφορο του μηδενός.

Στον Πίνακα 3.21 αναφέρεται το συνολικό σωρευτικό κόστος και για το Σενάριο Μετριασμού (αποκλειστικά λόγω της κλιματικής αλλαγής, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κόστος για

Πίνακας 3.21

Συνολικό σωρευτικό κόστος της κλιματικής αλλαγής

	Σωρευτικό κόστος (δισεκ. ευρώ του 2008)				
	B1	B2	A1B	A2	Σενάριο Μετριασμού (2 °C)
Προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με 0%					
Περίοδος 2011 - 2050	21	59	68	79	17
Περίοδος 2051 - 2100	343	444	509	622	277
Περίοδος 2011 - 2100	363	503	577	701	294
Προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με 2%					
Περίοδος 2011 - 2050	10	30	35	41	8
Περίοδος 2051 - 2100	90	117	133	161	75
Περίοδος 2011 - 2100	101	147	168	202	83

την οικονομία από την εφαρμογή των μέτρων μείωσης των εκπομπών),⁵⁷ το οποίο, από κλιματική άποψη είναι παραλλαγή του Σεναρίου B1, στην οποία η μέση αύξηση της θερμοκρασίας παραμένει στους 2 °C μέχρι το 2100 αλλά και μετά το 2100, χάρη στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Το κόστος της κλιματικής αλλαγής του Σεναρίου Μετριασμού είναι μικρότερο από το κόστος του Σεναρίου B1, στο οποίο αντιστοιχεί ελαφρώς μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας.

Το συνολικό σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης εκτιμήθηκε (με προεξοφλητικό επιτόκιο 0%) ίσο με €701 δισεκ. του 2008 για την περίοδο 2011-2100. Το Σενάριο Μετριασμού διασφαλίζει μείωση του κόστους της κλιματικής αλλαγής κατά €407 δισεκ. σωρευτικά για τη χρονική περίοδο μέχρι το 2100, συγκριτικά με το Σενάριο Μη Δράσης. Αν το προεξοφλητικό επιτόκιο ληφθεί ίσο με 2%, η μείωση του κόστους της κλιματικής αλλαγής χάρη στο Σενάριο Μετριασμού ισούται με €119 δισεκ. του 2008, σωρευτικά μέχρι το 2100.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 3.21 είναι φανερό ότι το μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού κόστους από την κλιματική αλλαγή κλιμακώνεται μετά το 2050. Επομένως, το κόστος αυτό ευρίσκεται ιδιαίτερα μειωμένο σε παρούσα αξία αν εφαρμοστεί προεξοφλητικό επιτόκιο διάφορο του μηδενός.

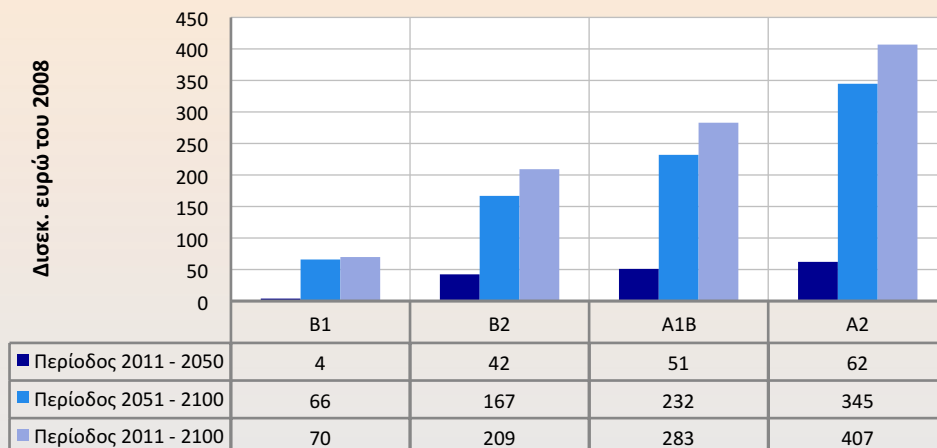
Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το κόστος της κλιματικής αλλαγής θα συνεχίζει να αυξάνεται μετά το 2100, επειδή σε όλα τα κλιματικά σενάρια πλην του Σεναρίου Μετριασμού οι κλιματικές συνθήκες θα επιδεινώνονται μετά το 2100. Αντίθετα, στο Σενάριο

⁵⁷ Βλ. Κεφάλαιο 4 και Υποκεφάλαιο 5.3 για την ανάλυση του πλήρους κόστους του Σεναρίου Μετριασμού.

Διάγραμμα 3.5

Σωρευτικό κόστος από την κλιματική αλλαγή, το οποίο μειώνεται μέχρι το 2100 χάρη στο Σενάριο Μετριασμού (Προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με 0%)

Διαφορές σωρευτικού κόστους, αποκλειστικά λόγω κλιματικής αλλαγής, από το Σενάριο Μετριασμού



Μετριασμού οι κλιματικές συνθήκες θα παραμείνουν αμετάβλητες μετά το 2100. Το επιπλέον αυτό κόστος, μετά το 2100, δεν έχει συμπεριληφθεί στις εκτιμήσεις που δίδονται στον Πίνακα 3.21.

Είναι γνωστό ότι υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με τις συνέπειες της κλιματικής μεταβολής. Όσο πιο ακραία γίνονται τα κλιματικά σενάρια, τόσο μεγαλώνει η αβεβαιότητα για το μέγεθος των συνεπειών της μεταβολής του κλίματος. Στο πλαίσιο των ακραίων κλιματικών σεναρίων, όπως το Σενάριο Μη Δράσης (A2, αλλά και το A1B), είναι δυνατόν να εμφανιστούν ακραίες συνέπειες, όπως ακραία καιρικά φαινόμενα με μεγάλη συχνότητα, τα οποία, με τα σημερινά δεδομένα, θα χαρακτηρίζονταν ως καταστροφικά. Με άλλα λόγια, υφίσταται μη μηδενική πιθανότητα για απρόβλεπτα φυσικά φαινόμενα με ριζικά καταστροφικές και αμετάκλητες επιπτώσεις, μη γραμμικού χαρακτήρα. Το οικονομικό κόστος τέτοιων “καταστροφικών” επιπτώσεων δεν έχει συμπεριληφθεί στην ανάλυση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας (βλ. Υποκεφάλαιο 3.1).

Κατά συνέπεια, επειδή δεν έχει περιληφθεί το κόστος από την κλιματική αλλαγή πέραν του 2100, επειδή δεν έχει ληφθεί υπόψη το κόστος από ενδεχόμενα καταστροφικά κλιματικά φαινόμενα και επειδή δεν έχουν συμπεριληφθεί όλοι οι τομείς επιπτώσεων (π.χ. βιοποικιλότητα, υγεία), οι εκτιμήσεις του παρόντος υποκεφαλαίου σχετικά με το κόστος των Κλιματικών Σεναρίων Μη Δράσης πρέπει να θεωρηθούν ως το κατώτατο όριο του πραγματικού κόστους για την οικονομία.

3.4 Πολιτικές και κόστος προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή*

3.4.1 Εισαγωγή

Από την οπτική γωνία μιας χώρας, δεν είναι ασφαλές να επαφίεται ο μετριασμός των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή μόνο στη μείωση των εκπομπών, και τούτο επειδή ο μετριασμός μπορεί να επιτευχθεί μόνον εφόσον όλες οι χώρες του κόσμου από κοινού μειώσουν τις εκπομπές, και μάλιστα δραστικά, άμεσα και για μακρά χρονική περίοδο. Ο συντονισμός όλων των χωρών σε επιθετικό και άμεσο πρόγραμμα δράσης για δραστική μείωση των εκπομπών είναι ευκατώς αλλά ιδιαίτερα αβέβαιος. Αν αποτύχει η παγκόσμια αυτή προσπάθεια, έστω και μερικά, τότε θα υπάρξει μεταβολή του κλίματος, όπως δείχνουν οι σχετικές αναλύσεις.

Επομένως μια χώρα, υπό το πρίσμα των δικών της συμφερόντων, οφείλει να συμπεριλάβει τη μελλοντική αλλαγή του κλίματος στα πιθανά ενδεχόμενα και να θωρακιστεί έγκαιρα ώστε να μετριαστούν οι επιπτώσεις για τη χώρα αυτή από τη μεταβολή του κλίματος. Οι πολιτικές που αποσκοπούν στο μετριασμό των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή αναφέρονται ως πολιτικές προσαρμογής και νοούνται σε αντιδιαστολή με τις πολιτικές που αποσκοπούν στο μετριασμό των πιθανοτήτων εκδήλωσης της κλιματικής αλλαγής, οι οποίες μελετώνται στο Κεφάλαιο 4.

Ακόμα και αν επιτευχθεί ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής μέσω της παγκόσμιας δράσης για μείωση των εκπομπών, κλιματική αλλαγή θα επέλθει σε κάποιο βαθμό. Στην καλύτερη περίπτωση η αλλαγή αυτή θα συνίσταται στην αύξηση της θερμοκρασίας μόνο κατά 2 °C. Η εν λόγω αύξηση μπορεί να είναι μεγαλύτερη αν η παγκόσμια δράση καθυστερήσει χρονικά ή αν έχει μερική επιτυχία. Τα Κλιματικά Σενάρια B1 και B2 (βλ. Ενότητα 3.3 πιο πάνω) αντιστοιχούν σε τέτοιες περιπτώσεις. Επομένως, είναι και πάλι μεγάλης σημασίας για μια χώρα να θωρακιστεί έναντι της αβεβαιότητας αυτής, αναπτύσσοντας πολιτικές προσαρμογής στην αναμενόμενη κλιματική αλλαγή.

Οι πολιτικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή συνίστανται στην ανάληψη κατάλληλων δράσεων με στόχο την αντιμετώπιση των ζημιών και των αρνητικών συνεπειών οι οποίες θα επέρχονταν λόγω της κλιματικής αλλαγής αν δεν λαμβάνονταν τα μέτρα προσαρμογής.

Οι πολιτικές προσαρμογής οφείλουν να στοχεύουν στους τομείς δραστηριότητας οι οποίοι είναι περισσότερο ευάλωτοι στην κλιματική αλλαγή. Εφόσον έχουν προληπτικό χαρακτήρα, οι πολιτικές προσαρμογής οφείλουν να αναπτυχθούν σε περίοδο χρονικά προγενέστερη από την εκδήλωση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Είναι προφανές ότι, προκειμένου να μειωθεί το κόστος τους, οι πολιτικές προσαρμογής οφείλουν να αναπτυχθούν σταδιακά κατά την πάροδο του χρόνου και όχι σε μικρό χρονικό διάστημα. Επειδή οι πολιτικές προσαρμογής υλο-

* Η μελέτη για το Υποκεφάλαιο αυτό έγινε στο εργαστήριο E3MLab του ΕΜΠ με επικεφαλής τον Καθηγητή Παντελή Κάπρο. Κύριοι ερευνητές στη μελέτη αυτή ήταν οι Μαριλένα Ζαμπάρα και Δρ. Λεωνίδας Παρούσος. Συμμετείχαν επίσης οι ερευνητές Ζωή Βροντίση, Στέλλα Τσάνη και Μαρία Παπαϊωάννου. Το κείμενο σχετικά με τα μέτρα προσαρμογής προέρχεται από τον Καθηγητή Αναστάσιο Ξεπαπαδέα.

ποιούνται με κρατική πρωτοβουλία και παρέμβαση, η αποτελεσματικότητά τους μεγιστοποιείται όταν ο σχεδιασμός βασίζεται σε αναλυτικές μελέτες και όταν οι σχετικές επιλογές αποφασίζονται μετά από στενή συνεργασία με τους εμπλεκόμενους φορείς.

Η συνολική ένταση των πολιτικών προσαρμογής εξαρτάται από την αναμενόμενη ένταση της κλιματικής αλλαγής. Όσο εντατικοποιούνται τα μέτρα μετριασμού και επιτυγχάνουν σε παγκόσμιο επίπεδο, τόσο μικρότερο κόστος θα επωμιστούν οι πολιτικές προσαρμογής. Επομένως, είναι δύσκολο να αποφασιστεί εκ των προτέρων η άριστη στρατηγική σχετικά με την ένταση των πολιτικών προσαρμογής σε μια χώρα.

Είναι προτιμότερο η επιλογή των μέτρων προσαρμογής να γίνεται με σχετικά συντηρητικό τρόπο. Για παράδειγμα, θα είχε μεγάλη σημασία να εντοπιστούν πρώτα εκείνα τα μέτρα προσαρμογής τα οποία σε κάθε περίπτωση κλιματικής αλλαγής θα είναι χρήσιμα και απαραίτητα (ακόμη και αν επιτύχει ο μετριασμός). Τέτοια μέτρα είναι απαραίτητο να επιλεγούν κατά προτεραιότητα. Συνήθως τα μέτρα αυτά έχουν θεσμικό χαρακτήρα, όπως η ενσωμάτωση κατάλληλων διατάξεων και προδιαγραφών στη νομοθεσία, χωρίς να απαιτούνται ειδικά έργα ή δαπανηρές παρεμβάσεις. Αν με την πάροδο του χρόνου διαπιστώνεται καθυστέρηση στην εξέλιξη της παγκόσμιας δράσης για το μετριασμό, τότε ενδεχομένως θα πρέπει έγκαιρα να υιοθετηθούν επιπλέον μέτρα προσαρμογής, τα οποία πλέον θα έχουν κόστος και θα απαιτούν ειδικά έργα. Θα είναι απαραίτητο αυτά να υλοποιηθούν αρκετά πριν αρθούν οι αβεβαιότητες σχετικά με την αναμενόμενη ένταση της κλιματικής αλλαγής. Οι δαπάνες αυτές πρέπει να εκληφθούν ως ασφάλιση έναντι των μελλοντικών κινδύνων από την κλιματική αλλαγή.

Επομένως, η προσαρμογή είναι μια μακρόχρονη και συνεχής διαδικασία, η οποία αναπτύσσεται σε όλα τα επίπεδα της οικονομίας και της κοινωνίας και απαιτεί στενή συνεργασία και συντονισμό μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων φορέων. Η αποδοτική λήψη μέτρων προσαρμογής προϋποθέτει έγκαιρο προγραμματισμό και στρατηγική προσέγγιση. Εναπόκειται στους υπευθύνους για τη χάραξη πολιτικής να αντιληφθούν τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος και να επεξεργαστούν, όπως και να εφαρμόσουν, μορφές πολιτικής που θα εξασφαλίσουν τα βέλτιστα επίπεδα προσαρμογής.

3.4.2 Κατηγορίες και μέτρα προσαρμογής

Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Είναι σημαντική η διάκριση μεταξύ αυθόρμητης και σχεδιασμένης προσαρμογής. Η αυθόρμητη προσαρμογή γίνεται ατομικά από τους οικονομικούς παράγοντες, καταναλωτές και παραγωγούς, χωρίς παρέμβαση του κράτους, και αποτελεί αντίδραση στην κλιματική αλλαγή και στις οικολογικές μεταβολές των φυσικών συστημάτων. Η σχεδιασμένη προσαρμογή είναι αποτέλεσμα συγκεκριμένων αποφάσεων πολιτικής και βασίζεται στην παρέμβαση του κράτους, η οποία εκδηλώνεται είτε μέσω νομοθετημάτων είτε μέσω άμεσων δημόσιων επενδύσεων, είτε με τη θέσπιση κινήτρων και αντικινήτρων.

Τύποι προσαρμογής		Επίπεδο λήψης μέτρων
Αυθόρμητη	Αποφάσεις οι οποίες λαμβάνονται αυτόνομα από παραγωγούς και καταναλωτές χωρίς παρέμβαση του κράτους (π.χ. ο τρόπος με τον οποίο οι αγρότες θα επιχειρήσουν να ενισχύσουν τις καλλιέργειές τους διαφοροποιώντας τους καλλιεργητικούς χειρισμούς, η επιλογή θέσης για παραθεριστική κατοικία από ένα νοικοκυριό).	Ατομικό
Σχεδιασμένη	Μέτρα προσαρμογής που αποφασίζονται από το κράτος (νόμοι, επενδύσεις, κίνητρα και αντικίνητρα), όπως επενδύσεις για την προστασία ή διαφύλαξη πόρων (π.χ. αποθήκευση νερού), χάραξη πολιτικής για την εξοικονόμηση πόρων (π.χ. τιμολόγηση του νερού), αλλαγή εθνικών προτύπων (π.χ. κατασκευαστικός κώδικας κτηρίων).	Εθνικό και τοπικό

Και οι δύο κατηγορίες προσαρμογής έχουν σκοπό να μετριάσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και λαμβάνουν χώρα πριν αυτή εκδηλωθεί σε σημαντικό βαθμό.

Είναι φανερό ότι, σχετικά με την προσαρμογή, προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στους τομείς εκείνους οι οποίοι προβλέπεται να πληγούν περισσότερο από την κλιματική αλλαγή, καθώς και να προληφθούν εκείνες οι επιπτώσεις οι οποίες προκαλούν το μεγαλύτερο κόστος για την οικονομία. Όπως προέκυψε από τις αναλύσεις στο Κεφάλαιο 2 και από την ανάλυση γενικής ισορροπίας στο Υποκεφάλαιο 3.3, ο τομέας που πλήττεται περισσότερο από την κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα είναι η γεωργία, ενώ τις μεγαλύτερες συνέπειες για το σύνολο της οικονομίας και το εισόδημα των νοικοκυριών έχουν οι επιπτώσεις στη γεωργία, στον τουρισμό και στα παράκτια συστήματα. Ειδική σημασία έχει επίσης ο τομέας των υδάτινων αποθεμάτων, ο οποίος επηρεάζει τόσο τη γεωργία όσο και την ύδρευση. Επομένως, οι πολιτικές προσαρμογής πρέπει να εστιαστούν στους παραπάνω τομείς και να προγραμματιστεί έγκαιρα η υλοποίηση κατάλληλων δράσεων, ώστε να μετριαστούν οι αναμενόμενες αρνητικές επιπτώσεις.

Στην παρούσα ενότητα καταγράφονται ενδεικτικά μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, συγκεντρωμένα από σχετικές μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας.

1. Γεωργία και δάση

1.1 Μέτρα για την απόδοση των καλλιεργειών:

- Μέτρα για τον έλεγχο και τον περιορισμό της διάβρωσης του εδάφους.
- Εκτεταμένη χρήση κατάλληλων λιπασμάτων.
- Εισαγωγή νέων καλλιεργειών.
- Ανάπτυξη “ανθεκτικών” καλλιεργειών (στην ξηρασία, την αυξημένη θερμοκρασία, το αλάτι, τα έντομα, τα παράσιτα κ.λπ.).
- Εμπλουτισμός του εδάφους για να διατηρηθεί ή να ενισχυθεί η γονιμότητα του χώματος.
- Προσαρμογή του χρονοδιαγράμματος των γεωργικών εργασιών (φύτευσης, ψεκασμού, συγκομιδής κ.λπ.).

- Εφαρμογή συστημάτων αμειψισποράς και αγρανάπαυσης.
- Εφαρμογή πρακτικών καλλιέργειας χωρίς όργωμα (no-till agriculture), οι οποίες συμβάλουν στην αποφυγή της διάβρωσης, κ.ά.

1.2 Δημόσια έργα:

- Κατασκευή φραγμάτων, επέκταση εγγειοβελτιωτικών έργων, εγκατάσταση συστημάτων ανακύκλωσης ημιακάθαρτου νερού, κ.λπ., για τη βελτίωση των αρδευτικών συστημάτων.
- Προστασία της βιοποικιλότητας στα δάση, καθώς ενισχύει την ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων απέναντι στις κλιματικές μεταβολές.
- Ενίσχυση των υποδομών δασοπροστασίας, με στόχο την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών.

1.3 Μηχανισμοί προστασίας:

- Ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης ειδοποίησης (προς μετριασμό των συνεπειών από απρόβλεπτες και ακραίες καιρικές μεταβολές και διευκόλυνση της πυροπροστασίας).
- Επιμήκυνση της περιόδου δασοπροστασίας, λόγω της αύξησης των ημερών με υψηλή επικινδυνότητα εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς.
- Βελτίωση των υποδομών και των μεθόδων δασοπυρόσβεσης για την ταχύτερη και αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών.

2. Ύδρευση

2.1 Μέτρα για την αύξηση της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων:

- Βελτίωση της διαχείρισης και συντήρησης των υπαρχόντων συστημάτων παροχής νερού και των σχετικών υποδομών.
- Προστασία των λεκανών απορροής και περιορισμός των υδατικών απωλειών.
- Προστασία των πηγών υπόγειων υδάτων.
- Συλλογή και αφαλάτωση υπόγειων και όμβριων υδάτων.
- Προώθηση συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού (π.χ. για πότισμα).
- Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων μέσω βιολογικής επεξεργασίας (σε συγκεκριμένες χρήσεις όπως τουαλέτα, αστικές χρήσεις-οικοδομές και για αρδευτικούς σκοπούς).
- Δημόσια έργα για πρόσβαση σε απομακρυσμένες πηγές ύδατος.
- Αφαλάτωση θαλασσινού νερού (κατά προτίμηση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας).

2.2 Μέτρα για ορθολογική χρήση του νερού:

- Αλλαγές σε σχετικές πολιτικές, όπως την τιμολόγηση του νερού και τους αρδευτικούς κανονισμούς.
- Εγκατάσταση υδραυλικών εξοπλισμών εξοικονόμησης νερού (π.χ., ειδικές βρύσες και τηλέφωνα ντουςιέρας με περιορισμό ροής, υδρομετρητές για τον έλεγχο της κατανάλωσης, διακόπτες παροχής νερού με φωτοκύτταρα, κ.ά.).
- Αντικατάσταση των φυτών των κήπων δημόσιων χώρων με φυτά που έχουν χαμηλές απαιτήσεις για πότισμα.

- Θέσπιση αυστηρών προδιαγραφών εξοικονόμησης νερού για τις νέες υποδομές.

3. Προστασία από πλημμύρες

3.1 Δημόσια έργα:

- Έργα προστασίας υποδομών και οικισμών σε παραποτάμιες περιοχές.
- Ενίσχυση και προστασία του εδάφους των περιοχών οι οποίες αποτελούν φυσική προστασία από τις πλημμύρες.

3.2 Μηχανισμοί προστασίας:

- Μηχανισμοί συμμετοχής των ιδιωτών στη διαχείριση του κινδύνου.
- Επιλεκτική παροχή αποζημιώσεων για πλημμύρες.
- Θεσμικές παρεμβάσεις.
- Συστήματα πρόβλεψης πλημμυρών και έγκαιρης προειδοποίησης.

4. Βιοποικιλότητα και οικοσυστήματα:

4.1 Συστήματα διαχείρισης και προστασίας

- Βελτίωση των συστημάτων διαχείρισης των οικοσυστημάτων, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου αποψίλωσης των δασών και της αναδάσωσης.
- Προώθηση της γεωργοδασοκομίας.
- Ταυτοποίηση και ανάπτυξη ειδών που εμφανίζουν ανθεκτική συμπεριφορά στην κλιματική αλλαγή.
- Ανάπτυξη και συντήρηση τραπεζών σπόρων.
- Ενίσχυση ή αποκατάσταση των πληγέντων οικοσυστημάτων (π.χ. τεχνητή διασπορά των σπόρων, προστασία των επικονιάσεων, χρήση φυτοφαρμάκων).
- Ενίσχυση της φυσικής ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων στις κλιματικές μεταβολές, με περιορισμό της υπερεκμετάλλευσης, του ευτροφισμού, της ρύπανσης, της εισβολής ξενικών ειδών κ.ά.

4.2 Δημόσια έργα:

- Δημιουργία πάρκων, προστατευμένων περιοχών και ζωνών βιοποικιλότητας.
- Ανάπτυξη/βελτίωση των συστημάτων πυροπροστασίας.

5. Παράκτιες ζώνες

5.1 Δημόσια έργα:

- Κατασκευή φραγμάτων/αντιπλημμυρικών έργων για την προστασία των παραγωγικών δραστηριοτήτων και των κατοικημένων περιοχών στις παράκτιες ζώνες.
- Μετακίνηση των οικονομικών δραστηριοτήτων των κατοικημένων περιοχών σε μεγαλύτερη απόσταση από τις παράκτιες ζώνες (ειδικά σε περίπτωση που δεν μπορεί να διασφαλιστεί η προστασία τους).

- Εμπλουτισμός του εδάφους των παράκτιων περιοχών.
- Προστασία των ευπαθών θαλάσσιων οικοσυστημάτων (κοραλλιογενείς ύφαλοι, μαγγρόβια, φύκια, παραλιακή βλάστηση).

5.2 Θεσμικά μέτρα:

- Κίνητρα, χωροταξικές παρεμβάσεις και θεσμικά μέτρα για τη μετακίνηση οικονομικών, τουριστικών και οικιστικών δραστηριοτήτων και επενδύσεων σε μεγαλύτερη απόσταση από τις παράκτιες ζώνες. Η απομάκρυνση των οικονομικών δραστηριοτήτων από τα παράκτια συστήματα, θα επιτρέψει μακροπρόθεσμα την επαναδημιουργία των φυσικών παράκτιων οικοσυστημάτων, τα οποία παρέχουν φυσική προστασία από την ενέργεια των κυμάτων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, συμβάλλουν στον περιορισμό της διάβρωσης του εδάφους των παράκτιων περιοχών, κ.ά.

6. Υποδομές μεταφορών και βιομηχανίας

6.1 Δημόσια έργα:

- Μετακίνηση και ενίσχυση λιμενικών υποδομών.
- Μετακίνηση ή έργα προστασίας αεροδρομίων.
- Μετακίνηση ή έργα προστασίας οδικών αξόνων.
- Έργα προστασίας δικτυακών υποδομών (ηλεκτρική ενέργεια, τηλεπικοινωνίες).
- Έργα προστασίας βιομηχανικών και εξορυκτικών εγκαταστάσεων από πλημμύρες και ακραία καιρικά φαινόμενα.

6.2 Έργα συντήρησης:

- Εφαρμογή υλικών και μεθόδων συντήρησης οδοστρωμάτων και άλλων υποδομών για προστασία από εκτεταμένη ξηρασία και ακραία καιρικά φαινόμενα.
- Εφαρμογή κατάλληλων υλικών και μεθόδων στη συντήρηση βιομηχανικών και εξορυκτικών εγκαταστάσεων.

7. Τουριστικός τομέας

7.1 Επενδύσεις ιδιωτικού τομέα:

- Επενδύσεις στις υπάρχουσες τουριστικές υποδομές για την αντιμετώπιση των φυσικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας και η έλλειψη πόσιμου νερού.
- Προετοιμασία της τουριστικής βιομηχανίας για τη μετακίνηση της τουριστικής περιόδου από το καλοκαίρι στο φθινόπωρο και την άνοιξη.

7.2 Δημόσια έργα:

- Έργα προστασίας τουριστικών εγκαταστάσεων από πλημμύρες και ακραία καιρικά φαινόμενα.
- Έργα για την προστασία ή τη μετακίνηση τουριστικών εγκαταστάσεων σε ευάλωτες παράκτιες περιοχές.

8. Δομημένο περιβάλλον

8.1 Δημόσια έργα:

- Δημιουργία και προστασία “πράσινων χώρων”, οι οποίοι συμβάλλουν στη μείωση του φαινομένου της θερμικής νησίδας, παρέχουν σκίαση, βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα, κ.ά.

9. Παρεμβάσεις στα κτήρια για την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω κινήτρων, θεσμικών μέτρων και χρηματοδοτικών μηχανισμών. Ενδεικτικές παρεμβάσεις:

- Χρήση δομικών υλικών τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν με φυσικό τρόπο στη θερμική μόνωση των κτηρίων.
- Κατασκευή συστημάτων κυκλοφορίας αέρα και φυσικού εξαερισμού και δροσισμού, συμβάλλοντας στη διατήρηση της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους σε σταθερά επίπεδα και στην εξοικονόμηση ενέργειας.
- Κατασκευή ειδικών στεγάστρων, τα οποία προσφέρουν σκίαση στις προσόψεις των κτηρίων και παρέχουν δροσισμό.
- Προώθηση εγκατάστασης αντλιών θερμότητας εδάφους-νερού, οι οποίες, πέρα από κάλυψη θερμικών αναγκών, παρέχουν και δροσισμό.
- Δημιουργία “πράσινων στεγών”, οι οποίες παρέχουν δροσισμό το καλοκαίρι και μόνωση το χειμώνα, εξοικονομώντας ενέργεια.

10. Ανθρώπινη υγεία

- Βελτιώσεις και αλλαγές στις υποδομές του συστήματος υγείας (π.χ., κλιματισμός στα νοσοκομεία ή ενίσχυση του εξοπλισμού που σχετίζεται με τις συγκεκριμένες ασθένειες οι οποίες πιθανόν να βρίσκονται σε έξαρση λόγω της κλιματικής αλλαγής).
- Παρακολούθηση των ασθενειών (δημιουργία κατάλληλων υποδομών, εργαστηρίων κ.λπ., εξειδικευμένη εκπαίδευση νέων απασχολουμένων στον τομέα της υγείας, κ.ά.).
- Επένδυση στην έρευνα για τις ασθένειες τις οποίες πιθανόν θα ενισχύσει η κλιματική αλλαγή, καθώς και σε τρόπους για την αποφυγή των εν λόγω ασθενειών.
- Βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος διαβίωσης (π.χ., ποιότητα του αέρα, ποιότητα του παρεχόμενου νερού).
- Προσαρμογή των συνθηκών στο χώρο εργασίας, ώστε να αμβλυνθούν οι συνέπειες της μειωμένης παραγωγικότητας του εργατικού δυναμικού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, καθώς και/ή αναπροσαρμογή των ωρών/περιόδων εργασίας.
- Στενότερη ιατρική παρακολούθηση των εργαζομένων/παροχή ιατρικής βοήθειας στο χώρο εργασίας.
- Ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης ειδοποίησης (προς μετριασμό των συνεπειών από απρόβλεπτες και ακραίες καιρικές μεταβολές, π.χ. κύματα καύσωνα).

Οι τομεακές αναλύσεις στο Κεφάλαιο 2 παρέχουν περισσότερες πληροφορίες και αναφέρουν επιπλέον μέτρα προσαρμογής, εξειδικευμένα για κάθε τομέα.

3.4.3 Μελέτη του κόστους της προσαρμογής με το πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3

Στην παρούσα ενότητα μελετάται με ποσοτικό τρόπο το συνολικό κόστος της προσαρμογής για την ελληνική οικονομία αναφορικά με το ενδεχόμενο μεγάλης έντασης των κλιματικών μεταβολών, όπως περιγράφονται στο Σενάριο A2.

Επειδή υφίσταται σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με την ένταση της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον και επειδή τα μέτρα προσαρμογής θα πρέπει να λαμβάνονται έγκαιρα, είναι πολύ δύσκολο να προταθεί η άριστη πολιτική προσαρμογής. Τυχόν υπερβολικά μέτρα προσαρμογής μπορεί να κριθούν εκ των υστέρων μη αναγκαία, με συνέπεια τη σπατάλη χρηματικών πόρων. Είναι όμως επίσης δυνατόν τα μικρής έκτασης μέτρα προσαρμογής να κριθούν εκ των υστέρων αναποτελεσματικά και να χρειαστούν έκτακτα και δαπανηρά μέτρα “της τελευταίας στιγμής”.

Ενόψει αυτών των δυσκολιών, δεν επιχειρείται στην παρούσα ενότητα η πλήρης ποσοτική διερεύνηση των διαφόρων υποψήφιων πολιτικών προσαρμογής. Μεταξύ των σεναρίων που εξετάζονται στην όλη μελέτη, η διερεύνηση περιορίζεται, ενδεικτικά, μόνο στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής με μέγιστη ένταση.

Σκοπός της ποσοτικής εκτίμησης είναι επίσης η ανάλυση κόστους και οφέλους, ώστε να συγκριθεί το κόστος προσαρμογής (παρούσα ενότητα) με το κόστος μετριασμού (Κεφάλαιο 4) και το κόστος μη δράσης (Υποκεφάλαιο 3.3).

Ο σχεδιασμός του Σεναρίου Προσαρμογής βασίστηκε στις τομεακές αναλύσεις (Κεφάλαιο 2), καθώς και στη μελέτη “Assessing the costs of adaptation to climate change” (Parry et al., 2009). Η μελέτη αυτή παρέχει επισκόπηση του συνόλου των μελετών που έχουν εκπονηθεί από τον ΟΗΕ στο πλαίσιο του οργανισμού UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) αναφορικά με το θέμα της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη, με μέσο λόγο οφέλους/κόστους που κυμαίνεται μεταξύ του 20, για ένα σενάριο έντονου μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, και του 60, που αντιστοιχεί σε σενάριο έντονης εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής, όπως το A2. Η μελέτη εκτιμά ότι, μετά τη λήψη μέτρων προσαρμογής, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μπορούν να περιοριστούν κατά 28% έως 33% συγκριτικά με την περίπτωση απουσίας κάθε δράσης είτε για μετριασμό είτε για προσαρμογή.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα ενότητα για την εκτίμηση του κόστους για την ελληνική οικονομία βάσει του Σεναρίου Προσαρμογής συνοψίζεται στα εξής:

- Το συνολικό κόστος της προσαρμογής για την ελληνική οικονομία αποτελείται από το κόστος των μέτρων προσαρμογής και από το κόστος που οφείλεται στην κλιματική αλλαγή.

- Το κόστος των μέτρων προσαρμογής εκτιμάται πρώτα ως άμεση δαπάνη σε έργα και παρεμβάσεις προσαρμογής και στη συνέχεια εκτιμάται το συνολικό κόστος ή όφελος για την ελληνική οικονομία από τις δαπάνες αυτές, λαμβανομένων υπόψη όλων των έμμεσων επιπτώσεων στην οικονομία, όπως αυτές προσομοιώνονται με τη χρήση του προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3.
- Για την εκτίμηση του άμεσου κόστους των μέτρων προσαρμογής αντλούνται στοιχεία από τις τομεακές αναλύσεις που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2, ενώ για όποιες περιπτώσεις τομέων δεν παρέχονται ποσοτικές εκτιμήσεις στις αναλύσεις αυτές, γίνεται εκτίμηση του άμεσου κόστους με βάση στοιχεία από τη διεθνή βιβλιογραφία.
- Για την εκτίμηση του κόστους που οφείλεται στην κλιματική αλλαγή, γίνεται εκτίμηση του βαθμού κατά τον οποίο τα μέτρα προσαρμογής θα επιτύχουν μετριασμό των αρνητικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους τομείς.
- Η μείωση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής εφαρμόζεται κατά τομέα, μειώνοντας το ύψος των εκτιμήσεων του άμεσου κόστους της κλιματικής αλλαγής, που αναφέρεται στο Υποκεφάλαιο 3.3.
- Στη συνέχεια εφαρμόζεται το πρότυπο γενικής ισορροπίας για την εκτίμηση του συνολικού κόστους για την ελληνική οικονομία από τις περιορισμένες σε έκταση επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής χάρη στα μέτρα προσαρμογής.
- Το συνολικό κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής προκύπτει τελικά από τη συνδυασμένη εφαρμογή, στο πρότυπο γενικής ισορροπίας, του άμεσου κόστους των μέτρων προσαρμογής και των μετριασμένων επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή.

Ως μέτρα προσαρμογής λαμβάνονται υπόψη εξωγενώς μόνο τα μέτρα που αντιστοιχούν στη “σχεδιασμένη” προσαρμογή (Πίνακας 3.22), η οποία αντιστοιχεί σε δράσεις και έργα τα οποία αναλαμβάνονται από το κράτος. Τα μέτρα προσαρμογής τα οποία λαμβάνονται “αυθόρμητα” από καταναλωτές και παραγωγούς δεν αναπαρίστανται μέσω εξωγενών μεταβολών των παραμέτρων του προτύπου γενικής ισορροπίας, όμως θα πρέπει να θεωρηθεί ότι τμήμα αυτών έμμεσα περιλαμβάνεται στην ανάλυση μέσω της ενδογενούς μεταβολής των συμπεριφορών όπως αυτές προσομοιώνονται μέσω των συναρτήσεων κατανάλωσης και παραγωγής που υπεισέρχονται στο πρότυπο γενικής ισορροπίας.

Οι εκτιμήσεις του άμεσου κόστους των μέτρων προσαρμογής που αντλήθηκαν από τα στοιχεία του Κεφαλαίου 2 αφορούν μόνο στους τομείς των υδάτινων αποθεμάτων, των δασών, των μεταφορών, του τουρισμού, του δομημένου περιβάλλοντος και των παράκτιων συστημάτων. Οι εκτιμήσεις αυτές καταγράφονται στον Πίνακα 3.1 του Υποκεφαλαίου 3.3 και παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στον Πίνακα 3.23. Για τους τομείς της γεωργίας και της αλιείας αντλήθηκαν στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία. Οι τομείς της βιοποικιλότητας, των οικοσυστημάτων και της υγείας δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση σχετικά με το κόστος προσαρμογής. Επίσης, μέρος των αναμενόμενων δαπανών προστασίας από ακραία καιρικά φαινόμενα

μενα και πλημμύρες, ιδίως για τους τομείς της βιομηχανίας, των εξορυκτικών δραστηριοτήτων και των δικτυακών υποδομών, δεν περιλαμβάνεται στην ανάλυση.

Έγινε η υπόθεση ότι το μεγαλύτερο μέρος των μέτρων προσαρμογής υλοποιούνται κατά τη χρονική περίοδο 2025-2050 (1η φάση προσαρμογής). Γίνεται επίσης η υπόθεση ότι επιπλέον δαπάνες για μέτρα προσαρμογής θα χρειαστούν και κατά τη χρονική περίοδο 2050-2070 (2η φάση προσαρμογής), όμως αυτές θα είναι μικρότερης έκτασης από τις δαπάνες κατά την πρώτη φάση προσαρμογής (περίπου 50% μειωμένες). Εξαίρεση έγινε για τον τομέα των μεταφορών, για τον οποίο λαμβάνεται ακριβώς το κόστος προσαρμογής που προβλέπει η ανάλυση στο Υποκεφάλαιο 2.9.

Παρά τα μέτρα προσαρμογής θα παραμείνουν αρνητικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, όμως το μέγεθος των επιπτώσεων αυτών θα είναι πιο περιορισμένο συγκριτικά με εκείνες που εκτιμήθηκαν στο πλαίσιο του Σεναρίου Μη Δράσης (δηλαδή του Κλιματικού Σεναρίου A2, όπως αναλύεται στο Υποκεφάλαιο 3.3). Έγιναν δεκτές διαφορετικές υποθέσεις κατά τομέα σχετικά με τον περιορισμό των άμεσων επιπτώσεων χάρη στα μέτρα προσαρμογής. Η εκατοστιαία μείωση του άμεσου κόστους της κλιματικής αλλαγής κυμαίνεται μεταξύ 30% και 70% ανάλογα με τον τομέα. Περισσότερες λεπτομέρειες παρέχονται στον Πίνακα 3.23.

Σχετικά με τον τομέα της γεωργίας, οι εκτιμήσεις για το άμεσο κόστος των μέτρων προσαρμογής βασίστηκαν κυρίως στη μελέτη “*Adaptation Options for Agriculture, Forestry and Fisheries*” του McCarl (2007). Η μελέτη αυτή αναφέρεται στο A1B Κλιματικό Σενάριο και αποτιμά τα μέτρα προσαρμογής ως αύξηση κατά 2% του κόστους του κεφαλαίου υποδομών του τομέα. Έγινε ακόμα η υπόθεση ότι τα ποσά που δαπανώνται σήμερα για το γεωργικό τομέα προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα ερημοποίησης, να πραγματοποιηθεί απονιτροποίηση του εδάφους και να εκτελεστούν εγγειοβελτιωτικά έργα θα αυξηθούν στο μέλλον, στο πλαίσιο της εφαρμογής μέτρων προσαρμογής.

Είναι αβέβαιες οι εκτιμήσεις σχετικά με τα μέτρα προσαρμογής στον τουριστικό τομέα. Το κόστος των μέτρων που αφορούν σε ζητήματα προστασίας και μετακίνησης σε μεγαλύτερη απόσταση από τις ακτογραμμές έχει συμπεριληφθεί στον τομέα των παράκτιων συστημάτων. Τα επιπλέον μέτρα προσαρμογής ειδικά στον τουριστικό τομέα θα πρέπει να ληφθούν κυρίως από τον ιδιωτικό τομέα και επομένως θα οδηγήσουν σε αύξηση του κόστους παροχής τουριστικών υπηρεσιών, πέραν του κόστους εργασίας. Η διεθνής βιβλιογραφία που αφορά την ανάλυση των δυνατοτήτων προσαρμογής του τουρισμού εστιάζεται κυρίως στις δυνατότητες που υπάρχουν για το χειμερινό τουρισμό, ο οποίος είναι περισσότερο ελαστικός και έχει μεγαλύτερα περιθώρια προσαρμογής. Ο τουρισμός που βασίζεται στην καλοκαιρινή περίοδο, όπως ο ελληνικός, έχει πολύ λιγότερες δυνατότητες προσαρμογής, καθώς εξαρτάται άμεσα από τις ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή παράκτιες περιοχές, όπου βρίσκεται και το μεγαλύτερο μέρος των υποδομών του (Fisher, 2007). Θα απαιτηθούν όμως δαπάνες για την περαιτέρω προώθηση του τουρισμού και την επέκταση της τουριστικής περιόδου πέραν του θέρους, καθώς και δαπά-

Πίνακας 3.23

Συγκεντρωτικός πίνακας εκτιμήσεων του άμεσου κόστους των μέτρων προσαρμογής
(Σε εκατ. ευρώ του 2010, εκτός εάν αναφέρεται διαφορετικά)

Τομείς	Μέτρα προσαρμογής	1η φάση προσαρ- μογής, 2025-2050	2η φάση προσαρ- μογής, 2050-2070	Εναπομένουσες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή
Μεταφορές	Δαπάνες για μετακίνηση μέρους του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου σε μεγαλύτερη απόσταση από την ακτογραμμή	3.300	-	Δεν αποφεύγεται το κόστος συντήρησης του οδικού δικτύου λόγω ανόδου της θερμοκρασίας.
	Δαπάνες για προστασία του χερσαίου δικτύου μεταφορών από τις πλημμύρες	184 σε ετήσια βάση	276 σε ετήσια βάση	Αποφεύγεται το κόστος που προκαλείται από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και από τα ακραία καιρικά φαινόμενα.
Παράκτια συστήματα	Δαπάνες για προστασία των παράκτιων συστημάτων (εκτός των λιμένων)	1.864	1.482	Αποφεύγεται το 60-70% των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή.
	Δαπάνες για την ανύψωση κρητιδωμάτων στα λιμάνια	600		
Υδάτινα απο- θέματα	Δαπάνες σε έργα και παρεμβάσεις για αποκατάσταση αποθεμάτων και ορθολογική χρήση	7 σε ετήσια βάση	42 σε ετήσια βάση	Αποφεύγεται συνολικό κόστος €390 εκατομμυρίων.
Δάση	Επιπλέον κόστος διαχείρισης	50 σε ετήσια βάση	30 σε ετήσια βάση	Το μεγαλύτερο μέρος των επιπτώσεων στα δασικά οικοσυστήματα αποφεύγεται.
	Δαπάνες για βελτίωση της δασοπυρόσβεσης	80 σε ετήσια βάση	46 σε ετήσια βάση	
	Κόστος έργων προστασίας	4.700	2.800	
Τουρισμός	Εκατοστιαία αύξηση του κόστους παροχής των τουριστικών υπηρεσιών, αφαιρουμένου του κόστους εργασίας	10%	10%	Αποφεύγεται το 20-30% των απωλειών των τουριστικών εσόδων.
Γεωργία και αλιεία	Δαπάνες για αρδευτικά έργα και έργα προστασίας	72 σε ετήσια βάση	42 σε ετήσια βάση	Το μεγαλύτερο μέρος των επιπτώσεων στην αλιεία αποφεύγεται.
	Κόστος για την προώθηση βελτιωμένων πρακτικών παραγωγής και για την προστασία των υδροτοπικών συστημάτων	100 σε ετήσια βάση	60 σε ετήσια βάση	Η μείωση της παραγωγικότητας του γεωργικού τομέα διαμορφώνεται στο 6% το 2050 (βελτίωση κατά 30%) και στο 15% το 2100 (βελτίωση κατά 21%).
Δομημένο περιβάλλον	Κόστος ενεργειακής αναβάθμισης κτηριακού αποθέματος και ανάπτυξης πράσινων νησίδων	20.000	-	Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για κλιματισμό κατά 20% συγκριτικά με το Σενάριο Μη Δράσης.

Στην ανάλυση για τον τομέα των υδάτινων αποθεμάτων επισημαίνεται ότι το κόστος αυτό δεν αντανakλά το πλήρες κόστος υλοποίησης της συγκεκριμένης πολιτικής. Ωστόσο, ελλείψει περισσότερων στοιχείων, στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το μερικό αυτό κόστος.

νες αναβάθμισης των κτηριακών υποδομών, ιδίως με σκοπό την βελτίωση της διαβίωσης υπό συνθήκες αυξημένων θερμοκρασιών.

Όπως γίνεται φανερό από τον Πίνακα 3.23, το μεγαλύτερο μέρος του κόστους των μέτρων προσαρμογής αντιστοιχεί σε δημόσιες δαπάνες. Αυτές εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας ως επιπλέον δημόσια επένδυση και κατανάλωση σε τομείς αντίστοιχους με κάθε μέτρο προσαρμογής (δημόσια έργα μεταφορών, δαπάνες για τη γεωργία, τα δάση, κ.λπ.). Ορισμένα από τα μέτρα προσαρμογής αντιστοιχούν σε χρηματοδότηση από τον ιδιωτικό τομέα, όπως οι δαπάνες για τα μέτρα προσαρμογής του τουριστικού τομέα, οι οποίες, μετά από αναγωγή σε ετήσια βάση, εισήχθησαν στο πρότυπο ως αύξηση του μοναδιαίου κόστους (πέραν του κόστους εργασίας) των τομέων παροχής τουριστικών υπηρεσιών. Άλλα μέτρα προσαρμογής αντιστοιχούν σε επενδυτικές δαπάνες παραγωγικών κλάδων οι οποίοι ευρίσκονται υπό δημόσιο έλεγχο, όπως ο τομέας της ύδρευσης. Για τους τομείς αυτούς, το κόστος των μέτρων προσαρμογής εισήχθη στο πρότυπο ως επιπλέον δημόσια δαπάνη.

Σχετικά με το κόστος των μέτρων προσαρμογής τα οποία αφορούν στην ενεργειακή αναβάθμιση των οικιών και κτηρίων αστικών κέντρων, έγινε η υπόθεση ότι η χρηματοδότηση του επιπλέον κόστους θα προέλθει από αύξηση των έμμεσων φόρων που επιβάλλονται στα ενεργειακά προϊόντα. Στο πλαίσιο του προτύπου διασφαλίστηκε ότι τα επιπλέον έσοδα από την ενεργειακή φορολογία χρηματοδοτούν επακριβώς τις επιπλέον δαπάνες για την ενεργειακή αναβάθμιση των οικιών και κτηρίων. Με τον τρόπο αυτό βέβαια, το κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης τελικά επιβαρύνει τα νοικοκυριά, τα οποία όμως ωφελούνται από την εξοικονόμηση δαπανών για αγορά ενεργειακών προϊόντων.

Οι εκτιμήσεις του άμεσου κόστους των μέτρων προσαρμογής εισήχθησαν ως εξωγενείς μεταβολές των τιμών των παραμέτρων του προτύπου γενικής ισορροπίας.

Εφόσον μεγάλο τμήμα των μέτρων προσαρμογής αντιστοιχεί σε δημόσιες δαπάνες, το επιπλέον δημοσιονομικό κόστος θα έχει μακροοικονομικές επιπτώσεις στην ελληνική οικονομία. Η ανάλυση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας μεταχειρίζεται την υπόθεση ότι η δημοσιονομική επιβάρυνση θα επέλθει σε μελλοντικό χρόνο, κατά τον οποίο θα έχει αντιμετωπιστεί η παρούσα κρίση σχετικά με το δημόσιο χρέος και επομένως η χρηματοδότηση της δημόσιας δαπάνης για τα μέτρα προσαρμογής θα μπορεί να γίνεται με ανταγωνιστικά επιτόκια της αγοράς.

Με βάση αυτήν την υπόθεση, το πρότυπο γενικής ισορροπίας προσομοιώνει τη μελλοντική διαμόρφωση του πραγματικού επιτοκίου ως σκιάδη τιμή του ισοζυγίου πληρωμών, το οποίο κατ' αρχήν θα επιβαρυνθεί εξαιτίας αυτής της δημόσιας δαπάνης. Τα μέτρα προσαρμογής θα έχουν επομένως ως επίπτωση την αύξηση του πραγματικού επιτοκίου. Τα αποτελέσματα του προτύπου δείχνουν ότι η αύξηση αυτή είναι το πολύ μία εκατοστιαία μονάδα.

Η αύξηση του πραγματικού επιτοκίου δρα επιβαρυντικά για τις ιδιωτικές επενδύσεις. Με άλλα λόγια, η επιπλέον δημόσια δαπάνη για μέτρα προσαρμογής οδηγεί σε μερική εκτόπιση (crowding out effect) των ιδιωτικών επενδύσεων, η οποία έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικο-

νομική ανάπτυξη. Οι επιπτώσεις αυτές προσομοιώνονται από το πρότυπο μέσω προσδιορισμού του πραγματικού επιτοκίου.

Ταυτόχρονα όμως, η αύξηση της δημόσιας δαπάνης για μέτρα προσαρμογής έχει ενισχυτικές επιπτώσεις για τους κλάδους της οικονομικής δραστηριότητας και, κατ' επέκταση, για τις ιδιωτικές επενδύσεις. Η επιπλέον δημόσια δαπάνη ισοδυναμεί με αύξηση της ζήτησης αγαθών και υπηρεσιών που απαιτούνται για την υλοποίηση των δημόσιων έργων και την εκτέλεση συναφών δαπανών για την προστασία από τις κλιματικές επιπτώσεις. Η επιπλέον ζήτηση των εν λόγω αγαθών και υπηρεσιών δρα πολλαπλασιαστικά στην οικονομία και προσομοιώνεται από το πρότυπο μέσω του πολλαπλασιαστή Leontieff. Η επιπλέον δραστηριότητα λόγω των δημόσιων δαπανών για τα μέτρα προσαρμογής έχει θετικές συνέπειες για την απασχόληση, οι οποίες, μέσω της ισορροπίας της αγοράς εργασίας, έχουν αυξητικές επιπτώσεις στους πραγματικούς μισθούς. Επίσης, οι τομείς δραστηριότητας που ευνοούνται από τη δομή κατά τομέα των επιπλέον δημόσιων δαπανών επενδύουν περισσότερο, συγκριτικά με την κατάσταση χωρίς τις επιπλέον αυτές δαπάνες, και επομένως δημιουργείται περαιτέρω πίεση στην αγορά κεφαλαίων, πράγμα που ισοδυναμεί με τάσεις περαιτέρω αύξησης του πραγματικού επιτοκίου. Ως αποτέλεσμα των πιέσεων στις αγορές εργασίας και κεφαλαίων, το πρότυπο προσομοιώνει τάση αύξησης των τιμών των αγαθών και των υπηρεσιών.

Όμως, οι μεταβολές αυτές, δηλαδή η επιπλέον οικονομική δραστηριότητα εξαιτίας των πρόσθετων δημόσιων δαπανών, καθώς και η τάση αύξησης των τιμών των αγαθών και των υπηρεσιών, έχουν αρνητική επίπτωση στο ισοζύγιο εμπορικών συναλλαγών, το οποίο επιβαρύνεται από την αύξηση των εισαγωγών και τη μείωση των εξαγωγών. Η αυξημένη εγχώρια δραστηριότητα ασκεί επίπτωση εκτόπισης των εξαγωγικών δραστηριοτήτων. Εφόσον το πρότυπο προσομοιώνει διατήρηση του ισοζυγίου εξωτερικών πληρωμών στο επίπεδο της κατάστασης χωρίς τα μέτρα προσαρμογής, το πραγματικό επιτόκιο επαναπροσδιορίζεται από το πρότυπο και επηρεάζει αρνητικά την κατανάλωση.

Οι ιδιωτικές δαπάνες και επενδύσεις που αντιστοιχούν σε ορισμένα από τα μέτρα προσαρμογής έχουν περαιτέρω αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομία. Οι αντίστοιχοι κλάδοι, αλλά και η ιδιωτική κατανάλωση, μεταφέρουν πόρους για τις δαπάνες σε μέτρα προσαρμογής σε βάρος άλλων δαπανών, οι οποίες έχουν μεγαλύτερο πολλαπλασιαστικό όφελος για την οικονομία. Η προσομοίωση με το πρότυπο καταδεικνύει ότι οι αρνητικές επιπτώσεις από την εκτόπιση αυτή είναι μεγαλύτερες από τη θετική επίπτωση που έχει στην οικονομία η επιπλέον ζήτηση για αγαθά και υπηρεσίες που απαιτούνται για την υλοποίηση των αντίστοιχων μέτρων προσαρμογής.

Η προσομοίωση με το πρότυπο γενικής ισορροπίας φανερώνει ότι η επίπτωση εξαιτίας της αύξησης των δημόσιων δαπανών μέσω των μηχανισμών εκτόπισης των επενδύσεων και των εξαγωγών είναι μεγαλύτερη από την επίπτωση που αυξάνει πολλαπλασιαστικά την οικονομική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα το πρότυπο να εκτιμά ότι τελικά θα υπάρξει μείωση του ΑΕΠ,

συγκριτικά με την κατάσταση χωρίς τα μέτρα προσαρμογής, μείωση της ιδιωτικής κατανάλωσης, μείωση (μικρότερης έκτασης) των ιδιωτικών επενδύσεων, αλλά οριακή μεταβολή της απασχόλησης. Μέρος της μείωσης του ΑΕΠ οφείλεται και στα ιδιωτικά μέτρα προσαρμογής, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Η επίπτωση κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας δεν είναι ομοιόμορφη. Οι δαπάνες για τα μέτρα προσαρμογής έχουν θετική επίπτωση σε ορισμένους τομείς της οικονομίας, όπως οι κατασκευές, η παραγωγή μη μεταλλικών ορυκτών και υλικών κατασκευής, η παραγωγή σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων και οι τραπεζικές υπηρεσίες. Έχουν όμως αρνητικές επιπτώσεις στους λοιπούς παραγωγικούς τομείς της οικονομίας.

Με την πάροδο του χρόνου η οικονομία υφίσταται επιπλέον τις αρνητικές επιπτώσεις εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, η ένταση των οποίων είναι περιορισμένη συγκριτικά με αυτές του Σεναρίου Μη Δράσης, χάρη στα μέτρα προσαρμογής. Ο μακροοικονομικός μηχανισμός των επιπτώσεων αυτών είναι ίδιος με αυτόν που περιγράφεται στο Υποκεφάλαιο 3.3.

3.4.4 Εκτίμηση συνολικού κόστους της προσαρμογής

Η ανάλυση της προσαρμογής με το πρότυπο γενικής ισορροπίας υπόκειται σε πολλούς περιορισμούς, επειδή δεν αποτυπώνεται πλήρως το εύρος των δυνατών μέτρων προσαρμογής και είναι αρκετά αβέβαιη η εκτίμηση του οφέλους που προέρχεται από το μετριασμό των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

Ωστόσο, έγινε χρήση του προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3 με βάση τα στοιχεία και τις υποθέσεις που αναφέρονται στην προηγούμενη ενότητα.

Με χρήση του προτύπου γενικής ισορροπίας εκτιμήθηκαν οι οικονομικές (μακροοικονομικές και κλαδικές) επιπτώσεις της συνδυασμένης εφαρμογής των μέτρων προσαρμογής και των (περιορισμένων) ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, εκτιμήθηκε χωριστά το συνολικό κόστος των μέτρων προσαρμογής και των περιορισμένων ζημιών από την κλιματική αλλαγή. Από τη σύγκριση αυτού του τελευταίου κόστους με το συνολικό κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης (A2, βλ. Υποκεφάλαιο 3.3), συνάγεται εκτίμηση του συνολικού οφέλους για την ελληνική οικονομία χάρη στα μέτρα προσαρμογής.

Για την προσομοίωση αυτή εφαρμόστηκε στην κατάσταση της οικονομίας του έτους βάσης η περιορισμένη ένταση κλιματικών αλλαγών που αντιστοιχεί στα έτη 2050, 2070 και 2100, καθώς και η έκταση των μέτρων προσαρμογής που αντιστοιχεί στα τρία αυτά έτη. Η επιλογή τριών ετών αναφοράς έγινε ώστε να αποτυπωθεί καλύτερα η διαφορετική δυναμική των μέτρων προσαρμογής και των ζημιών από την κλιματική αλλαγή.

Με βάση τις παραδοχές που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα μέτρα προσαρμογής και το όφελος που επιφέρουν μειώνοντας τις ζημιές εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής που αντιστοιχεί στο Κλιματικό Σενάριο A2, προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα στο πλαίσιο των αποτελεσμάτων του προτύπου γενικής ισορροπίας.

Η λήψη μέτρων προσαρμογής την περίοδο 2025-2050 αντιστοιχεί σε ετήσιες δαπάνες που ισοδυναμούν περίπου με 1,5% του ΑΕΠ, επιπλέον των δαπανών του Σεναρίου Αναφοράς. Οι δαπάνες σε μέτρα προσαρμογής μειώνονται κατά τις επόμενες χρονικές περιόδους και ισοδυναμούν με 0,9% του ΑΕΠ κατά την περίοδο 2051-2070 και με 0,1% του ΑΕΠ κατά την περίοδο μετά το 2070.

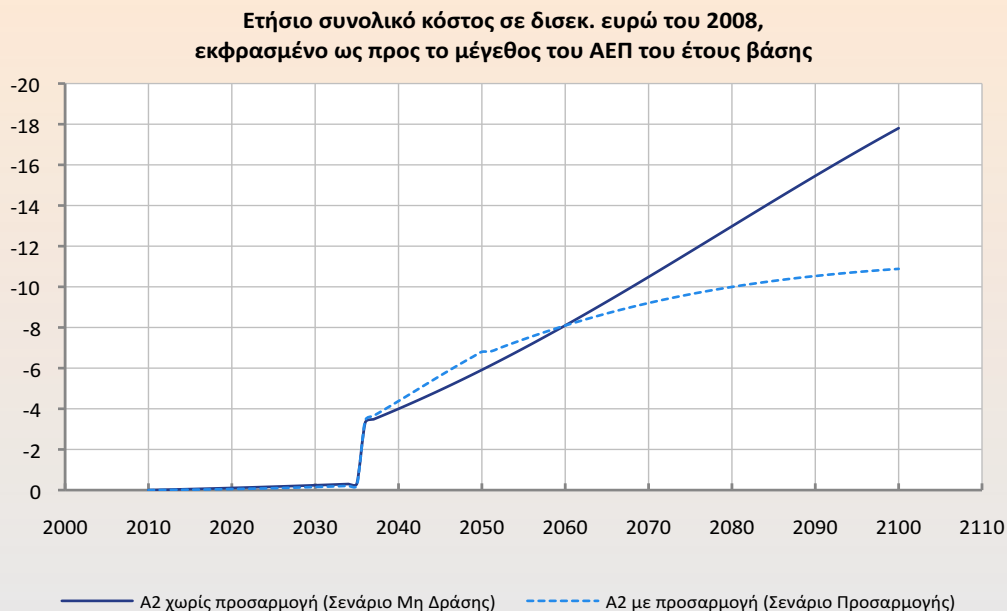
Πίνακας 3.24

Συνολικό κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής για την ελληνική οικονομία, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3

		Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2050	Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2070	Ένταση κλιματικής αλλαγής του 2100
Εκατοστιαία μεταβολή του ΑΕΠ				
Εφαρμογή μόνο των μέτρων προσαρμογής	αρχικό έτος προσομοίωσης	-0,92	-0,55	-0,07
	τελικό έτος προσομοίωσης	-1,10	-0,66	-0,08
Εναπομένουσες επιπτώσεις λόγω κλιματικής αλλαγής	αρχικό έτος προσομοίωσης	-0,96	-2,16	-3,96
	τελικό έτος προσομοίωσης	-0,97	-1,99	-3,59
Συνδυασμός μέτρων προσαρμογής και κλιματικών επιπτώσεων	αρχικό έτος προσομοίωσης	-2,11	-3,02	-4,03
	τελικό έτος προσομοίωσης	-2,30	-2,96	-3,67
Μεταβολή του μεγέθους του ΑΕΠ έτους βάσης, σε εκατ. ευρώ του 2008 ετησίως				
Εφαρμογή μόνο των μέτρων προσαρμογής	αρχικό έτος προσομοίωσης	-2.177	-1.303	-174
	τελικό έτος προσομοίωσης	-3.249	-1.952	-250
Εναπομένουσες επιπτώσεις λόγω κλιματικής αλλαγής	αρχικό έτος προσομοίωσης	-2.272	-5.125	-9.393
	τελικό έτος προσομοίωσης	-2.863	-5.897	-10.646
Συνδυασμός μέτρων προσαρμογής και κλιματικών επιπτώσεων	αρχικό έτος προσομοίωσης	-4.989	-7.156	-9.553
	τελικό έτος προσομοίωσης	-6.804	-8.764	-10.883
Ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας του έτους βάσης, σε εκατ. ευρώ του 2008 ετησίως				
Εφαρμογή μόνο των μέτρων προσαρμογής	αρχικό έτος προσομοίωσης	-857	-513	-72
	τελικό έτος προσομοίωσης	-1.689	-1.013	-135
Εναπομένουσες επιπτώσεις λόγω κλιματικής αλλαγής	αρχικό έτος προσομοίωσης	-1.132	-3.618	-7.246
	τελικό έτος προσομοίωσης	-1.922	-6.136	-12.504
Συνδυασμός μέτρων προσαρμογής και κλιματικών επιπτώσεων	αρχικό έτος προσομοίωσης	-2.278	-4.431	-7.311
	τελικό έτος προσομοίωσης	-4.056	-7.656	-12.627

Διάγραμμα 3.6

Συνολικό ετήσιο κόστος για την ελληνική οικονομία βάσει του Σεναρίου Προσαρμογής και του Σεναρίου Μη Δράσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3 (Ετήσιο συνολικό κόστος σε δισεκ. ευρώ του 2008, εκφρασμένο ως προς το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης)



Οι επιπλέον αυτές δαπάνες έχουν τελικά αρνητική επίπτωση στην οικονομία, όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη ενότητα, και οδηγούν σε μείωση του ΑΕΠ, η οποία είναι, σε απόλυτα μεγέθη, μικρότερη από το ύψος των δαπανών για μέτρα προσαρμογής.

Παρά τα μέτρα προσαρμογής, η οικονομία υφίσταται ζημίες εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής η οποία εκτυλίσσεται σύμφωνα με το Κλιματικό Σενάριο A2. Οι εναπομένουσες ζημίες λόγω της κλιματικής αλλαγής είναι μικρές στην αρχή και στο μέσον της χρονικής περιόδου προσομοίωσης, αλλά γίνονται σχετικά μεγαλύτερες προς το τέλος της περιόδου, δηλαδή κατά το διάστημα 2070-2100. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προτύπου, οι ζημίες οδηγούν σε μείωση του ΑΕΠ, όμως η μείωση αυτή σε απόλυτα μεγέθη είναι σαφώς μικρότερη αυτής που εκτιμήθηκε για το Σενάριο A2 (Μη Δράση) στο Υποκεφάλαιο 3.2. Εάν μετρηθεί ο περιορισμός των επιπτώσεων ως μεταβολή του μεγέθους του ΑΕΠ, προκύπτει ότι οι εναπομένουσες κλιματικές επιπτώσεις στην οικονομία, μετά την εφαρμογή των μέτρων προσαρμογής, περιορίζονται στο 48% της απώλειας του ΑΕΠ που αντιστοιχεί στο 2050 στο πλαίσιο του Σεναρίου A2 και στο 60% της απώλειας του ΑΕΠ που αντιστοιχεί στο έτος 2100.

Ωστόσο, ο συνδυασμός των δαπανών για μέτρα προσαρμογής και των περιορισμένων κλιματικών επιπτώσεων έχει αθροιστική επίπτωση και μειώνει το ΑΕΠ. Σύμφωνα με τα αποτε-

Πίνακας 3.25

Σωρευτικό κόστος για την ελληνική οικονομία βάσει του Σεναρίου Προσαρμογής και του Σεναρίου Μη Δράσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3 (Σε δισεκ. ευρώ του 2008)

	A2 χωρίς προσαρμογή (Μη Δράση)	A2 με προσαρμογή (Σενάριο Προσαρμογής)	Διαφορά κόστους της Προσαρμογής από τη Μη Δράση
Προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με 0%			
Περίοδος 2011 - 2050	78,9	85,7	-6,8
Περίοδος 2051 - 2070	182,3	177,5	4,7
Περίοδος 2071 - 2100	439,4	314,4	125,0
Περίοδος 2011 - 2100	700,5	577,7	122,8
Προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με 2%			
Περίοδος 2011 - 2050	40,5	43,6	-3,0
Περίοδος 2051 - 2070	65,0	63,8	1,2
Περίοδος 2071 - 2100	96,1	70,0	26,1
Περίοδος 2011 - 2100	201,6	177,3	24,3

λέσματα του προτύπου, η συνολική μείωση του ΑΕΠ, η οποία αντιστοιχεί στο Σενάριο Προσαρμογής, ανέρχεται σε -2,30% για το έτος 2050, -2,96% για το έτος 2070 και -3,67% για το έτος 2100.

Τα αποτελέσματα του προτύπου καταδεικνύουν ότι επέρχεται μείωση της ευημερίας, νοούμενη ως ισοδύναμη μεταβολή, σε μεγέθη αντίστοιχα με αυτά για το ΑΕΠ.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι επιπτώσεις διαφέρουν κατά κλάδο της οικονομίας, όπου οι κλάδοι των κατασκευών και των υλικών κατασκευών υφίστανται περιορισμένης έκτασης μείωση της παραγωγής και οι κλάδοι της γεωργίας και του τουρισμού υφίστανται μεγαλύτερης έκτασης αρνητική μεταβολή.

Επιχειρήθηκε επίσης εκτίμηση του σωρευτικού κόστους για την ελληνική οικονομία, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο Υποκεφάλαιο 3.2, η οποία χρησιμοποιεί παρεμβολή με βάση σιγμοειδή συνάρτηση.

Επειδή η χρονική διαδρομή των δαπανών για μέτρα προσαρμογής είναι διαφορετική από αυτή των οικονομικών συνεπειών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής (βλ. Διάγραμμα 3.6), δηλ. επειδή οι δαπάνες προσαρμογής προηγούνται των ζημιών λόγω κλίματος, το σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής είναι παρόμοιου μεγέθους με αυτό του Σεναρίου Μη Δράσης κατά τη χρονική περίοδο μέχρι το 2070. Όμως, κατά το διάστημα από το 2070 και μετά, το σωρευτικό κόστος της Μη Δράσης είναι σαφώς μεγαλύτερο συγκριτικά με αυτό της Προσαρμογής.

Το Σενάριο Προσαρμογής κοστίζει στην ελληνική οικονομία (σωρευτική μείωση του ΑΕΠ κατά τη χρονική περίοδο μέχρι το 2100) €123 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008) λιγότερο από ό,τι το Σενάριο Μη Δράσης. Το αποτέλεσμα αυτό υπολογίζεται με προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με το μηδέν και αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ έτους βάσης. Η διαφορά είναι πάλι θετική υπέρ του Σεναρίου Προσαρμογής και ανέρχεται στα €24 δισεκ. σωρευτικά, αν χρησιμοποιηθεί ετήσιο προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με 2%.

Παρά την αβεβαιότητα σχετικά με τα μέτρα προσαρμογής και τις συνέπειές τους ως κόστος για την ελληνική οικονομία, το αποτέλεσμα της ανάλυσης κόστους-οφέλους με βάση το πρότυπο γενικής ισορροπίας πρέπει να θεωρηθεί ασφαλές. Με άλλα λόγια, είναι δυνατόν να σχεδιαστεί κατάλληλο πρόγραμμα προσαρμογής, του οποίου το κόστος να είναι μικρότερο από το κόστος που αποφεύγεται επειδή η προσαρμογή μετριάζει τις οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Στην ανάλυση αυτή δεν ελήφθη υπόψη το όφελος που προκύπτει από το γεγονός ότι η προσαρμογή ως πολιτική προληπτικού χαρακτήρα έχει το χαρακτήρα ασφάλισης έναντι των ακραίων συνεπειών για την οικονομία λόγω της κλιματικής αλλαγής. Τονίζεται και πάλι ότι ο προσδιορισμός του άριστου μεγέθους των μέτρων προσαρμογής και του άριστου χρονικού προγραμματισμού τους ενέχει οπωσδήποτε μεγάλες δυσκολίες και, για το λόγο αυτό, η Πολιτεία οφείλει να εφαρμόσει, συστηματικά και με τις κατάλληλες συνεργασίες, διαδικασίες για τη στρατηγική της προσαρμογής, ώστε αυτή να εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου.

Βιβλιογραφία

- Ackerman, F. (2009), “*Can We Afford the Future? The Economics of a Warming World*”, Zed Books, London.
- Ackerman, F., E. A. Stanton and R. Bueno (2010), “Fat tails, exponents, extreme uncertainty: Simulating catastrophe in DICE”, in *Ecological Economics*, Vol. 69, No. 8, 1657-65.
- Adams, R.M. et al. (2004), “The economic effects of climate change on US agriculture”, in Mendelsohn, R. and J.E. Neumann (eds), *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, 18-54.
- Amelung, B. and A. Moreno (2009), “Impacts of Climate Change in Tourism in Europe. Peseta-Tourism Study”, European Commission, Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies.
- Barker, T., A. Dagoumas and J. Rubin (2009), “The macroeconomic rebound effect and the world economy”, in *Energy Efficiency*, Vol. 2, No. 4, 411-27.
- Berritella, M., A. Bigano, R. Roson and R. S. J. Tol (2006), “A General Equilibrium Analysis of Climate Change Impacts on Tourism”, in *Tourism Management*, Vol. 27, No. 5, 913-24.
- Böhringer, C., A. Löschel and T.F. Rutherford (2007), “Decomposing the integrated assessment of climate change”, in *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 31, No. 2, 683-702.
- Bosello, F. (2003), “Modeling the Economic System and the Environment: An Overview on Different Approaches and a Presentation of the RICE96 Model”, <http://users.ictp.it/~eee/seminar/Bosello%20-%202020-05-03.ppt>
- Bosello, F. and R. Roson (2007), “*Estimating a Climate Change Damage Function through General Equilibrium Modeling*”, Department of Economics, University Ca’ Foscari of Venice, Research Paper, No. 08-07, <http://ssrn.com/abstract=1000839>
- Capros, P. (1995), “Integrated Economy/Energy/Environment Models”, International Symposium on Electricity, Health and the Environment, IAEA, Vienna, Austria, 16-19 October, <http://www.e3mlab.ntua.gr/papers/envP1.pdf>
- Capros, P., P. Georgakopoulos, D. Van Regemorter, S. Proost, T.F.N. Schmidt and K. Conrad (1997), “European Union: the GEM-E3 General Equilibrium Model”, in *Economic and Financial Modeling*, special double issue, summer/autumn.
- Capros, P., P. Georgakopoulos, D. Van Regemorter, S. Proost, T. Schmidt, H. Koschel, K. Conrad and E.L. Vouyoukas (1999), “*Climate Technology Strategies 2 – The Macro-Economic Cost and Benefit of Reducing Greenhouse Gas Emissions in the European Union*”, Springer-Verlag, Physica-Verlag, Berlin, ISBN 3-7908-1230-7.
- Ciscar, J.C. (ed.) (2009), “*Climate Change Impacts in Europe. Final Report of the Peseta Research Project*”, European Commission, Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies.
- Dasgupta, P. (2008), “Discounting climate change”, in *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 37, No. 2, 141-69.
- DGECFIN (2008), “The 2009 Ageing Report: Underlying Assumptions and Projection Methodologies for the EU-27 Member States (2007-2060)”, in *European Economy*.
- Dietz, S. (2010), “High Impact, Low Probability? An Empirical Analysis of Risk in the Economics of Climate Change”, in *Climatic Change*, 1-23.
- Dietz, S., C. Hope, N. Stern and D. Zenghelis (2007), “Reflections on the Stern Review (1): a robust case for strong action to reduce the risks of climate change”, in *World Economics*, Vol. 8, No.1, 121-68.
- Dregne, H. E. (1995), “Desertification Control: A Framework for Action”, in *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 37, No. 1, 111-22.
- European Commission (2009), White Paper on adapting to climate change, European Commission Environment, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EL:PDF> [accessed September 2010].

Fankhauser, S. (1994), "The social costs of greenhouse gas emissions: an expected value approach", in *The Energy Journal*, Vol. 15, No. 2, 157-84.

Fankhauser, S. (1995), "*Valuing climate change: the economics of the greenhouse*", Earthscan, London, UK, ISBN 9781853832376.

Fay, M. et al. (2010), "Infrastructure and Sustainable Development", in *Post crisis Growth and Development: A Development Agenda for the G-20*, World Bank Publications.

Fisher, A.C. and U. Narain (2003), "Global warming, endogenous risk, and irreversibility", in *Environmental and Resource Economics*, Vol. 25, No. 4, 395-416.

Fisher, J. (2007), "Current Issues in the Interdisciplinary Research Field of Climate Change and Tourism. A Meta-Study of Articles from 2006 and 2007", European Tourism and the Environment Conference, Dublin, Ireland.

Frankhauser, S. and R. S. J. Tol (1996), "Climate Change Costs: Recent Advancements in the Economic Assessment", in *Energy Policy*, Vol. 24, No. 7, 665-73.

Füssel, H.M. and M.D. Mastrandrea (2009), "Integrated assessment modeling of climate change", in *Climate Change Science and Policy*, Island Press.

Garnaut, R. (2008), "*The Garnaut Climate Change Review*", 1st edition, Cambridge University Press.

Gerlagh, R. and B.C.C. Van der Zwaan (2002), "Long-term substitutability between environmental and man-made goods", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 44, No. 2, 329-45.

Gerst, M.D., R.B. Howarth and M.E. Borsuk (2010), "Accounting for the risk of extreme outcomes in an integrated assessment of climate change", in *Energy Policy*, Vol. 38, No. 8, 4540-8.

Gollier, C. and M. L. Weitzman (2009), "How Should the Distant Future be Discounted when Discount Rates are Uncertain", in *Open Access publications from University of Toulouse 1 Capitole*.

Grubb, M., C. Carraro and J. Schellnhuber (2006), "Technological change for atmospheric stabilization: introductory overview to the innovation modeling comparison project", in *Energy Journal*, Vol. 27, 1-16.

Halsnæs, K., J. Kühl and J. Olesen (2007), "Turning Climate Change Information into Economic and Health Impacts", in *Climatic Change*, Vol. 81, Issue: Suppl. 1, 145-62.

Heal, G. (2008), "Climate economics: A meta-review and some suggestions for future research", in *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 3, No. 1, 4-21.

Heal, G. and B. Kriström (2002), "Uncertainty and climate change", in *Environmental and Resource Economics*, Vol. 22, No. 1, 3-39.

Hitz, S. and J. Smith (2004), "Estimating global impacts from climate change", in *Global Environmental Change Part A*, Vol. 14, No. 3, 201-18.

Hope, C. (2005), "Integrated assessment models", in *Climate-change policy*, Oxford University Press, 77-98.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), "*Climate Change 2007: The Physical Science Basis*", Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jorgenson, D.W., B. H. Goettle and B. H. Hurd (2004), "*US market consequences of global climate change*", Washington DC: Pew Centre on Global Climate Change.

Just, R.E., D.L. Hueth and A. Schmitz (2005), "*The welfare economics of public policy: a practical approach to project and policy evaluation*", Edward Elgar Publishing.

Kehoe, T.J. (1998), "Social accounting matrices and applied general equilibrium models", in I. Begg and B. Henry (eds) *Applied Economics and Public Policy*, Cambridge University Press.

Kolstad, C.D. (1996), "Learning and stock effects in environmental regulation: the case of greenhouse gas emissions", in *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 31, No. 1, 1-18.

Kolstad, C.D. (2010), "*Environmental Economics*", 2nd edition, Oxford University Press, USA.

Kouvaritakis, N., N. Stroblos, L. Paroussos and S. Tsallas (2004), “Trade Liberalization and Climate Policies”, in Böhringer, C. and A. Löschel (eds) *Climate Change Policy and Global Trade*, ZEW Economic Studies, Springer Verlag, Vol. 26, 23-97 and 327-417.

Lecocq, F. and Z. Shalizi (2007), “How Might Climate Change Affect Economic Growth in Developing Countries? A Review of the Growth Literature with a Climate Lens”, *SSRN eLibrary*, http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1007154 [Accessed February 1, 2011].

Levina, E. and D. Tirpak (2006), “Adaptation to Climate Change, Key Terms”, OCDE/IEA COM/ENV/EPOC/IEA/SLT (2006)1, <http://www.oecd.org/dataoecd/36/53/36736773.pdf>

Manne, A. et al. (1993), “MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies”, EPRI, Palo Alto.

Marshall, A. (1997), “*Principles of economics*”, Prometheus Books.

McCarl, B. (2010), “Analysis of Climate Change Implications for Agriculture and Forestry: An Interdisciplinary Effort”, in *Climatic Change*, Vol. 100, No. 1, 119-24.

Mendelsohn, R. and J.E. Neumann (1998), “*The Impact of Climate Change on the United States Economy*”, Cambridge University Press.

Mendelsohn, R., W.D. Nordhaus and S. Daigee (1998), “The impact of climate variation on US agriculture”, in *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, Cambridge University Press, 55-105.

Metroeconomica Limited (UK) (2006), “*Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Program Project E – Quantify the cost of impacts and adaptation*”.

Mizina, S.V., J.B. Smith, E. Gossen, K. F. Spiecker and S. L. Witkowski (1999), “An Evaluation of Adaptation Options for Climate Change Impacts on Agriculture in Kazakhstan”, in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 4, No. 1, 25-41.

Nicholls, R. J. and J.A. Richards (2009), “Impacts of Climate Change in Coastal Systems in Europe. Peseta-Coastal Systems Study”, European Commission, Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies.

Nordhaus, P.W.D. (2008), “*A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*”, illustrated ed., Yale University Press.

Nordhaus, W.D. (1994), “*Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*”, 1st edition, The MIT Press.

Parry, M., N. Arnell, P. Berry, D. Dodman, S. Fankhauser, C. Hope, S. Kovats, R. Nicholls, D. Satterthwaite, R. Tiffin and T. Wheeler (2009), “*Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*”, London: International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change.

Parry, M.L., Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II (2007), “*Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*”, Cambridge University Press.

Peng, A. (2007), “Introducing CGE Models to the Classroom Using Excel”, *SSRN eLibrary*, http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=980561 [Accessed August 20, 2010].

Pigou, A.C. and N. Aslanbeigui (2001), “*The economics of welfare*”, Transaction Publishers.

Pindyck, R. S (2000), “Irreversibilities and the timing of environmental policy”, in *Resource and energy economics*, Vol. 22, No. 3, 233-59.

Pindyck, R. S. (2007), “Uncertainty in Environmental Economics”, in *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 1, No. 1, 45-65.

Posner, R.A. (2005), “*Catastrophe: Risk and Response*”, Oxford University Press, USA.

Quiggin, J. (2008), “Uncertainty and Climate Change Policy”, in *Economic Analysis & Policy*, Vol. 38, No. 2.

Reilly, J. M. and D. Schimmelpfennig (1999), “Agricultural Impact Assessment, Vulnerability, and the Scope for Adaptation”, in *Climatic Change*, Vol. 43, No. 4, 745-88.

Russ, P., J.C. Ciscar and B. Saveyn (2009), “*Economic Assessment of Post-2012 Global Climate Policies – Analysis of Greenhouse Gas Emission Reduction Scenarios with the Poles and GEM-E3 models*”, European Commission, Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies.

Russ, P., T. Wiesenenthal, D. Van Regemorter and J.C. Ciscar (2007), “*Global Climate Policy Scenarios for 2030 and beyond – Analysis of Greenhouse Gas Emission Reduction Pathway Scenarios with the POLES and GEM-E3 models*”, European Commission, Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies.

Scheraga, J.D. N. Leary, R. Goettle, D. Jorgenson and P. Wilcoxon (1993), “Macroeconomic modeling and the assessment of climate change impacts”, in *Costs, impacts, and benefits of CO₂ mitigation: Proceedings: IIASA*, 92.

Sen, A. (2004), “*Rationality and freedom*”, Belknap Press.

Shalizi, Z. and F. Lecocq (2009), “*Climate change and the economics of targeted mitigation in sectors with long-lived capital stock*”, The World Bank, <http://ideas.repec.org/p/wbk/wbrwps/5063.html> [accessed June 15, 2010].

Shapiro, C. and J.E. Stiglitz (1984), “Equilibrium Unemployment as a Worker Discipline Device”, in *American Economic Review*, Vol. 74, No. 3, 433-444.

Smit, B. and M.W. Skinner (2002), “Adaptation Options in Agriculture to Climate Change: A Typology”, in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 7, No. 1, 85-114.

Sorrell, S. (2009), “The rebound effect: definition and estimation”, in Hunt, L. C. and J. Evans (eds), *International Handbook on the Economics of Energy*, Edward Elgar Publishing, 199-233.

Stanton, E. A (2010), “Negishi welfare weights in integrated assessment models: The mathematics of global inequality”, in *Climatic Change*, 1-16.

Stern, N. (2008), “The Economics of Climate Change”, in *American Economic Review*, Vol. 98, No. 2, 1-37.

Stern, N.H. (2007), “*The economics of climate change: The Stern Review*”, Cambridge University Press.

Sterner, T. and U.M. Persson (2008), “An even sterner review: Introducing relative prices into the discounting debate”, in *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 2, No. 1, 61.

Sue Wing, I. (2004), “Computable general equilibrium models and their use in economy-wide policy analysis”, in *Technical note*, Vol. 6.

Sue Wing, I. (2010), “Computable General Equilibrium Models for the Analysis of Economy-Environment Interactions”, in Batabyal, A. A. and P. Nijkamp (eds) *Research Tools in Natural Resource and Environmental Economics*, World Scientific Publishing Co Pte Ltd.

Sunstein, C.R. (2009), “*Worst-Case Scenarios*”, Harvard University Press.

Swiss Re (2007), “World Insurance in 2006: Premiums Came Back to 'Life'”, in *sigma*, Vol. 4, 2007.

Tol, R. S. J., I. Burton, J. Smith and J. Feenstra (eds) (1998), “*Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*”, Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam Institute for Environmental Studies.

Tol, R. S. J. (2002a), “Estimates of the damage costs of climate change, Part II, Dynamic estimates”, in *Environmental and Resource Economics*, Vol. 21, No. 2, 135-60.

Tol, R. S. J. (2002b), “Estimates of the damage costs of climate change, Part 1: Benchmark estimates”, in *Environmental and Resource Economics*, Vol. 21, No. 1, 47-73.

Tol, R. S. J. and S. Fankhauser (1998), “On the representation of impact in integrated assessment models of climate change”, in *Environmental Modeling and Assessment*, Vol. 3, No. 1, 63-74.

Tol, R. S. J. (1995), “The damage costs of climate change toward more comprehensive calculations”, in *Environmental and Resource Economics*, Vol. 5, No. 4, 353-74.

Tol, R. S. J. (2010), “Carbon Dioxide Mitigation”, in *Smart Solutions to Climate Change: Comparing Costs and Benefits*, Cambridge University Press, 74-105.

Tsao, J.Y., H.D. Saunders, J.R. Creighton, M.E. Coltrin and J.A. Simmons (2010), “Solid-state lighting: an energy-economics perspective”, in *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 43, No. 35.

UNFCCC (2007), *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*, UNFCCC, <http://unfccc.int/resource/docs/publications/impacts.pdf> (accessed September 2010).

Weitzman, M. L. (2007), “A review of the Stern Review on the economics of climate change”, in *Journal of Economic Literature*, Vol. 45, No. 3, 703-24.

Weitzman, M. L. (2009a), “Additive Damages, Fat-Tailed Climate Dynamics, and Uncertain Discounting”, in *Economics E-Journal*, <http://www.economics-ejournal.org/economics/journalarticles/2009-39> [accessed June 12, 2010].

Weitzman, M.L. (2009b), “On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change”, in *Review of Economics and Statistics*, Vol. 91, No. 1, 1-19.

Weitzman, M. L. (2009c), “Reactions to the Nordhaus critique”, mimeo, Harvard University.

Weitzman, M. L. (2009d), “Some Basic Economics of Extreme Climate Change”, mimeo, Harvard University.

Weitzman, M.L. (2010a), “GHG Targets as Insurance against Catastrophic Climate Damages”, *Technical Report Working Paper 16136*, National Bureau of Economic Impacts.

Weitzman, M.L. (2010b), “What is the ‘damages function’ for global warming – and what difference might it make?”, in *Climate Change Economics*, Vol. 1, No. 1, 57.

Weitzman, M. L. (2010c), “Climate change: Insurance for a warming planet”, in *Nature*, Vol.467, No.7317, 784-5.

Weyant, J. (ed.) (1999), “The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation”, in *The Energy Journal (Special Issue)*.

World Bank Group (2009), “*World development report 2010*”, World Bank Publications.

Yohe, G.W. (1999), “The tolerable windows approach: lessons and limitations”, in *Climatic Change*, Vol. 41, No. 3, 283-95.

Κεφάλαιο 4

Προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών*

4.1 Στόχοι για τη μείωση των εκπομπών σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο

4.1.1 Το διεθνές και το ευρωπαϊκό πλαίσιο – κλιματική αλλαγή

Κατά τη διάσκεψη της Κοπεγχάγης το Νοέμβριο του 2009 για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τα κράτη-μέλη του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών έθεσαν στόχο τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2 °C σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή. Ο στόχος αυτός είναι δυνατόν να επιτευχθεί εφόσον η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σταθεροποιηθεί στα 450 ppm.¹ Αυτό σημαίνει ότι, παγκοσμίως, το επίπεδο των εκπομπών πρέπει να μειωθεί δραστικά, ώστε μέχρι το 2050 να περιοριστεί στο 50% περίπου του αντίστοιχου επιπέδου του 1990.

Ο επιμερισμός του παγκόσμιου αυτού στόχου κατά περιοχή δεν είναι δυνατόν να είναι ισομερής. Λαμβανομένης υπόψη της τάσης για σημαντική αύξηση των εκπομπών από τις αναπτυσσόμενες οικονομίες (Κίνα, Ινδία, κ.λπ.), η ανάλυση με παγκόσμια ενεργειακά πρότυπα (Prometheus του ΕΜΠ-Ε3MLab, POLES του IPTS και WEO του IEA) δείχνει ότι η υποχρέωση μείωσης των εκπομπών από τις χώρες του ΟΟΣΑ πρέπει να διαμορφωθεί στο 80% το 2050 συγκριτικά με το 1990. Η ανάλυση δείχνει επίσης ότι για την επίτευξη του στόχου οι αναπτυσσόμενες οικονομίες πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές κατά 25% το 2050 από το επίπεδο εκπομπών του 1990, στόχος που αντιστοιχεί σε μείωση κατά περίπου 80% από τις εκπομπές τους το 2050 στο πλαίσιο των τρεχουσών τάσεων ανάπτυξης.

Επομένως για την Ευρωπαϊκή Ένωση τίθεται ως στόχος η μείωση κατά 80% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου το 2050 σε σύγκριση με το επίπεδο του 1990. Προκύπτει επίσης ενδιάμεσος στόχος μείωσης των εκπομπών κατά 40% το 2030 έναντι του 1990. Η μείωση αυτή πρέπει να επιτευχθεί εντός της Ευρώπης. Με τη χρήση του ενεργειακού προτύπου PRIMES (ΕΜΠ-Ε3MLab), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προσδιόρισε το 2010 μια οικονομικά βέλτιστη κατα-

* Συντάχθηκε από το εργαστήριο E3MLab του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιστημονικό υπεύθυνο τον Καθηγητή Παντελή Κάπρο. Στη μελέτη συμμετείχαν οι ερευνητές Νίκος Τασιός, Ξένια Χανιώτη και Νίκος Κουβαριτάκης.

¹ Εκατομμυριοστό.

νομή της προσπάθειας μείωσης των εκπομπών κατά χώρα-μέλος. Έτσι, προέκυψε για την Ελλάδα στόχος μείωσης των εκπομπών κατά 70-75% το 2050 έναντι του 1990.

Δεδομένου ότι ο ενεργειακός τομέας ευθύνεται περίπου για το 80% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και ότι η δραστική μείωση των εκπομπών (μεθανίου) σε ορισμένους τομείς όπως ο αγροτικός είναι ιδιαίτερα δύσκολη, ο στόχος που τίθεται για τη μείωση των εκπομπών από τον τομέα της ενέργειας είναι τουλάχιστον ίσος με το γενικό στόχο, δηλαδή -80% μέχρι το 2050 και -40% μέχρι το 2030.

Επομένως, η μεγάλη πρόκληση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου απευθύνεται στον ενεργειακό τομέα και επιβάλλει μεγάλες αλλαγές τόσο στην κατανάλωση όσο και στην παραγωγή ενέργειας.

4.1.2 Τάσεις στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά υδρογονανθράκων

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι υποθέσεις σχετικά με τις μελλοντικές τιμές των υδρογονανθράκων στη διεθνή αγορά ενέργειας, αναλύεται, με το πρότυπο Prometheus (EMIP-E3MLab), η δυναμική εξέλιξη της προσφοράς και ζήτησης ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα.

Στο πλαίσιο της επιδίωξης για δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, θα υπάρξουν επιπτώσεις στις διεθνείς τιμές των υδρογονανθράκων, οι οποίες επίσης μελετώνται με το πρότυπο.

Η ανάλυση σχετικά με τα αποθέματα πετρελαίου σε συνδυασμό με την εξέλιξη της ζήτησης σε παγκόσμιο επίπεδο οδηγούν στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει μεσοπρόθεσμα να αναμένονται πιέσεις στην αγορά πετρελαίου αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις. Η μείωση των αποθεμάτων και η προοπτική εξάντλησης του πετρελαίου είναι ορατά ενδεχόμενα σε ένα χρονικό ορίζοντα 30-40 ετών. Χωρίς εντατική εκμετάλλευση μη συμβατικών πετρελαϊκών αποθεμάτων, δεν θα μπορέσει να ισορροπήσει μακροχρόνια η διεθνής αγορά πετρελαίου παρά μόνο αν αυξηθεί σημαντικά η διεθνής τιμή του εν λόγω αγαθού. Παράλληλα, αναμένεται έντονη εξάρτηση από περιοχές γεωπολιτικά ευαίσθητες. Ενισχύεται επομένως η πρόβλεψη για σημαντική και συνεχή αύξηση των τιμών του πετρελαίου σε μέσο και μακρό χρονικό ορίζοντα.

Οι διαπιστώσεις αυτές για την αγορά πετρελαίου αναδεικνύουν το στόχο απεξάρτησης από το πετρέλαιο ως σημαντική προτεραιότητα της ενεργειακής στρατηγικής. Πρόκειται για στόχο που συνοδεύει την επιδίωξη της δραστικής μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον τομέα της ενέργειας. Με τη συστηματική μείωση των εκπομπών επιτυγχάνεται ταυτόχρονα μείωση της ζήτησης πετρελαίου σε παγκόσμια κλίμακα και εκτονώνονται οι πιέσεις στην αγορά, με αποτέλεσμα την πτώση των διεθνών τιμών του πετρελαίου.

Η ανάλυση σχετικά με τα αποθέματα φυσικού αερίου οδηγεί σε συμπεράσματα περισσότερο ευοίωνα, καθώς το χρονικό διάστημα μέχρι την πιθανή μείωση των δυνατοτήτων παραγωγής είναι σαφώς μεγαλύτερο από ό,τι αυτό για το πετρέλαιο. Η δυνατότητα εκμετάλλευσης μη συμ-

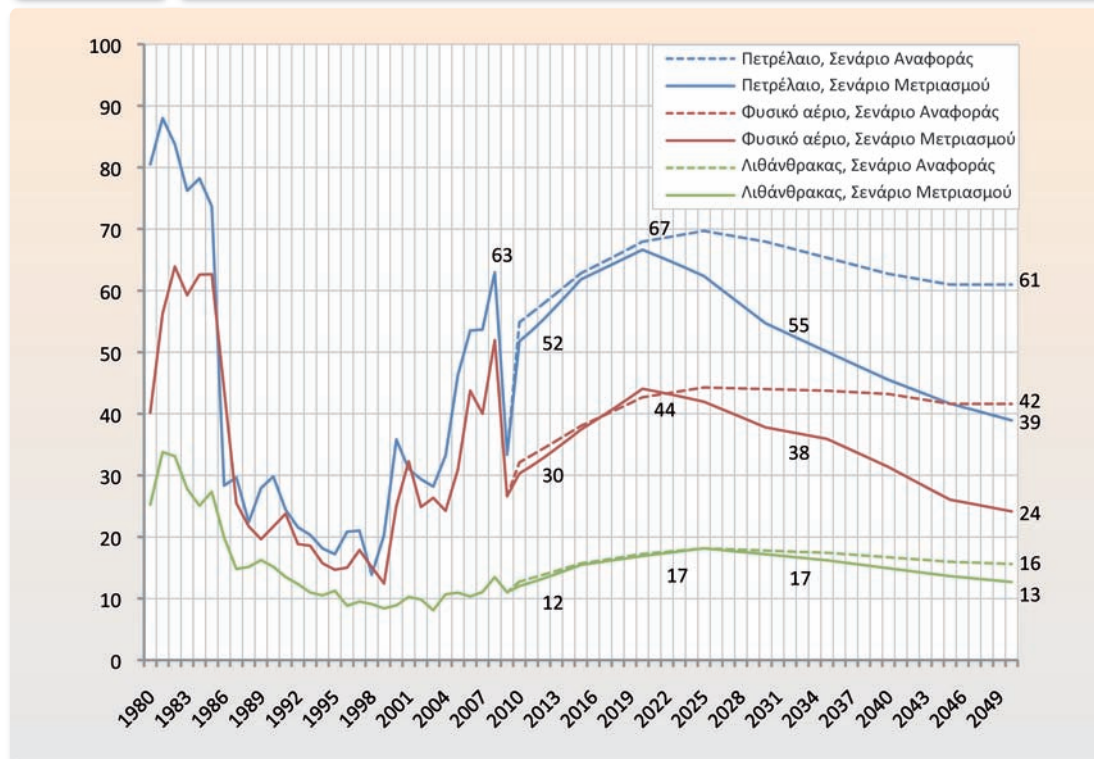
βατικών πηγών φυσικού αερίου, τόσο στις ΗΠΑ όσο και σε άλλες περιοχές, βελτιώνει ουσιαστικά τις προοπτικές επάρκειας σε φυσικό αέριο και εξηγεί τη μακροχρόνια σταθεροποίηση των τιμών του φυσικού αερίου.

Ωστόσο, παρά τις πιέσεις από την αγορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), οι τιμές του οποίου γίνονται ιδιαίτερα ανταγωνιστικές βραχυχρόνια αλλά όχι μακροχρόνια, οι τιμές του φυσικού αερίου εξακολουθούν, σύμφωνα με την ανάλυση, να είναι συνδεδεμένες με αυτές του πετρελαίου. Επομένως, οι αναμενόμενες αυξήσεις των τιμών του πετρελαίου σε μέσο και μακρό χρονικό ορίζοντα στο πλαίσιο των τρεχουσών τάσεων ανάπτυξης θα οδηγήσουν σε παρόμοια αύξηση των τιμών του φυσικού αερίου.

Η Ευρώπη είναι γεωπολιτικά ευάλωτη σχετικά με την προμήθεια φυσικού αερίου, λόγω ανεπαρκούς διαφοροποίησης των πηγών προέλευσης των εισαγωγών και των διαδρομών μεταφοράς του αερίου, σε συνδυασμό με τη δραστική μείωση των αποθεμάτων της. Η ασφάλεια του εφοδιασμού σε φυσικό αέριο θα παραμείνει σημαντική προτεραιότητα της ενεργειακής στρατηγικής, ιδίως στο πλαίσιο εξέλιξης προς ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών, δεδομένου ότι το φυσικό αέριο ως καύσιμο με σχετικά μικρό συντελεστή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην πορεία αυτή.

Διάγραμμα 4.1

Προβολή στο μέλλον των διεθνών τιμών των υδρογονανθράκων (€ ανά βαρέλι ισοδυνάμου πετρελαίου, τιμές 2008)



Πηγή: PROMETHEUS.

Από την ανάλυση της διεθνούς αγοράς λιθάνθρακα προκύπτει προοπτική επάρκειας στη διεθνή προσφορά και σχετικά μικρός κίνδυνος αύξησης των τιμών. Όμως, στο πλαίσιο των στόχων για δραστική μείωση των εκπομπών, ο λιθάνθρακας δεν μπορεί να αποτελέσει λύση για την ασφάλεια του εφοδιασμού και το ανταγωνιστικό κόστος της ενέργειας.

Οι υποθέσεις σχετικά με τις διεθνείς τιμές των υδρογονανθράκων στο Σενάριο Αναφοράς και στο σενάριο δραστικής μείωσης (Σενάριο Μετριασμού) των εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο φαίνονται στο Διάγραμμα 4.1. Παρατηρείται σημαντική ανάδραση της παγκόσμιας προσπάθειας μείωσης των εκπομπών στις διεθνείς αγορές υδρογονανθράκων, με αποτέλεσμα τη σημαντική πτώση των τιμών σε μακρό χρονικό ορίζοντα σε σύγκριση με το Σενάριο Αναφοράς.

4.1.3 Η μελλοντική εξέλιξη της ελληνικής οικονομίας

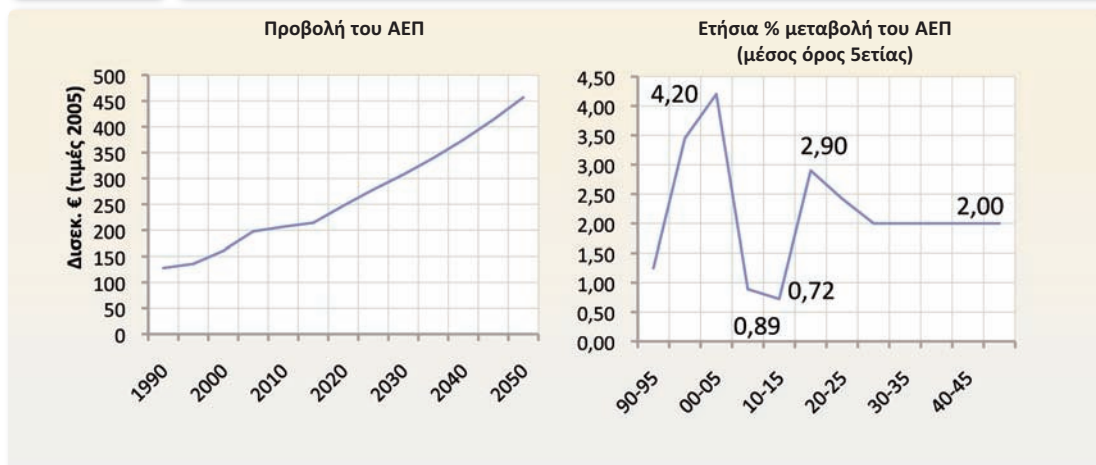
Στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης εκπονήθηκε ποσοτική προβολή για την εξέλιξη της ελληνικής οικονομίας τόσο στο σύνολο (ΑΕΠ) όσο και κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3 (EMΠ-E3MLab).

Τα κυριότερα συμπεράσματα από την προβολή αυτή (Διάγραμμα 4.2 και Διάγραμμα 4.3) συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Η προβολή έχει ενσωματώσει την οικονομική ύφεση των ετών 2009-2011.
- Η περίοδος μειωμένης ανάπτυξης διαρκεί μέχρι πριν το 2014, οπότε και ξεκινά η ανάκαμψη της οικονομίας, που συνεχίζεται σε όλο το χρονικό ορίζοντα της προβολής.
- Μακροπρόθεσμα η ανάπτυξη σταθεροποιείται στο 2% κατ' έτος, μετά από μικρή επιβράδυνση την περίοδο 2020-2030.
- Ο πληθυσμός ακολουθεί αυξητική πορεία, η οποία ανακόπτεται το 2030, και στη συνέχεια ο πληθυσμός μειώνεται σταδιακά.

Διάγραμμα 4.2

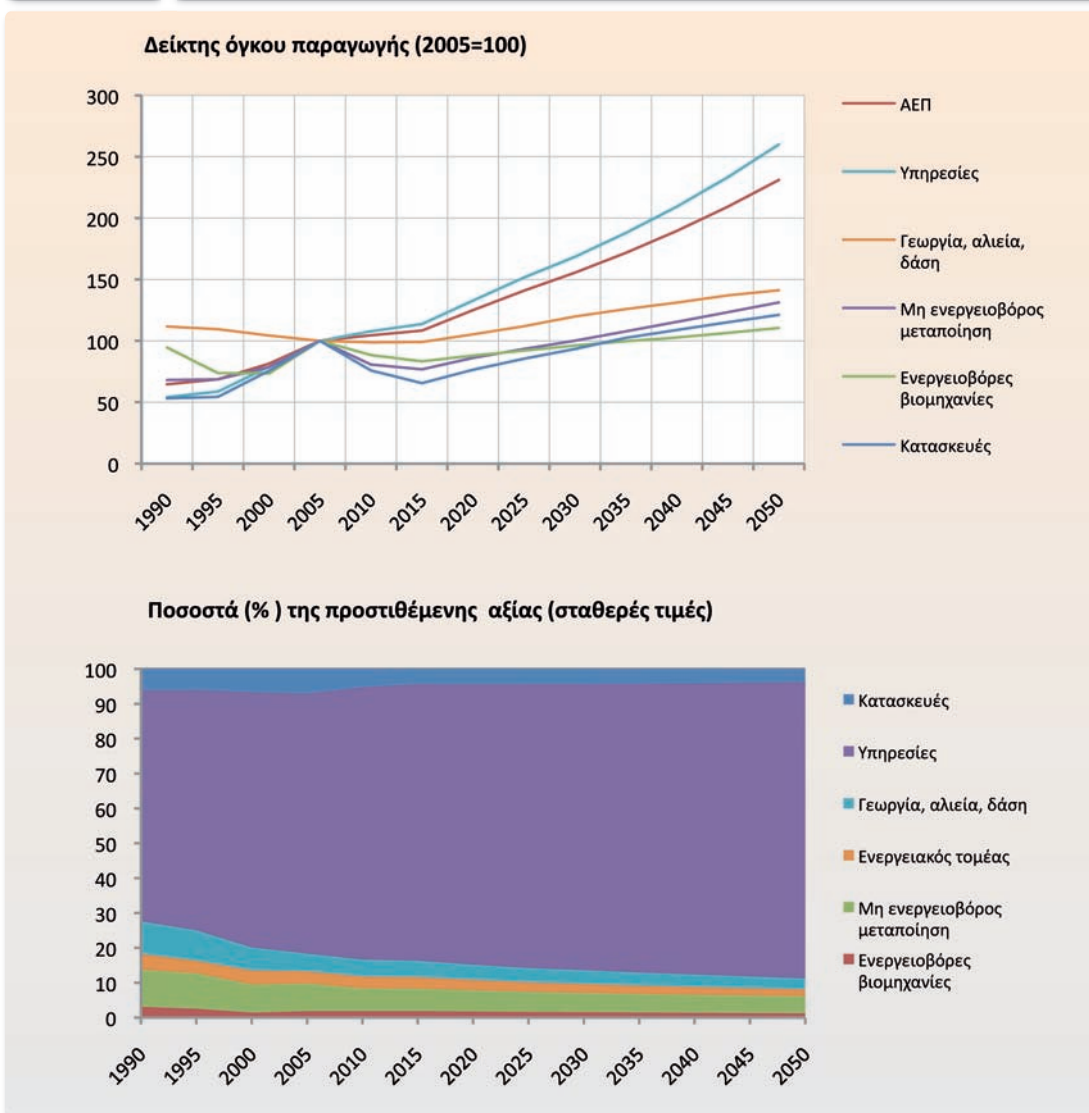
Προβολή της εξέλιξης του ΑΕΠ



Πηγή: GEM-E3.

Διάγραμμα 4.3

Προβολή της κλαδικής δομής του ΑΕΠ



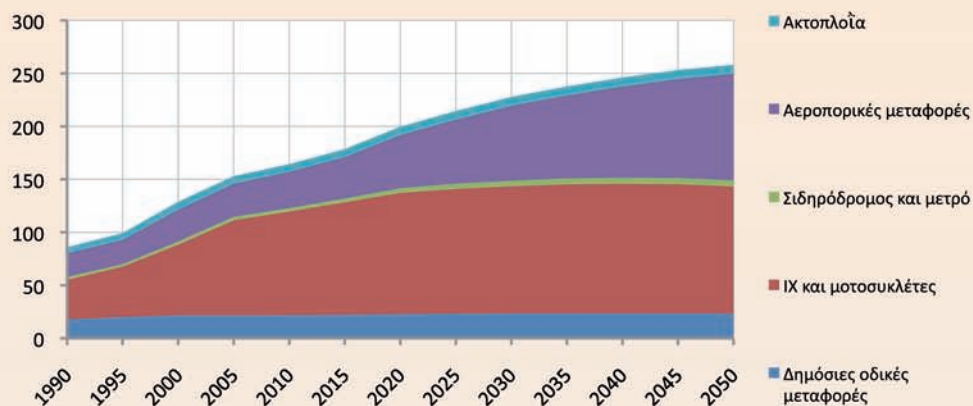
- Οι βιομηχανίες υψηλής ενεργειακής έντασης παραμένουν στην Ελλάδα.
- Η ανάπτυξη καθοδηγείται κυρίως από την οικονομική δραστηριότητα του τομέα των υπηρεσιών και της μεταποίησης χαμηλής ενεργειακής έντασης.

Οι προβολές για τη δραστηριότητα στον τομέα των μεταφορών (Διάγραμμα 4.4), που έγιναν με το μαθηματικό πρότυπο PRIMES, βασίζονται στην υπόθεση της σταδιακής αποσύνδεσης των ρυθμών μεταβολής της εν λόγω δραστηριότητας από τη μεταβολή του ΑΕΠ και της ιδιωτικής κατανάλωσης. Γίνεται δηλαδή η υπόθεση ότι θα υπάρξει σταδιακός κορεσμός της μεταφορικής συγκριτικά με την οικονομική δραστηριότητα, τάση που έχει ήδη παρατηρηθεί στη λοιπή Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ).

Διάγραμμα 4.4

Προβολή της μεταφορικής δραστηριότητας

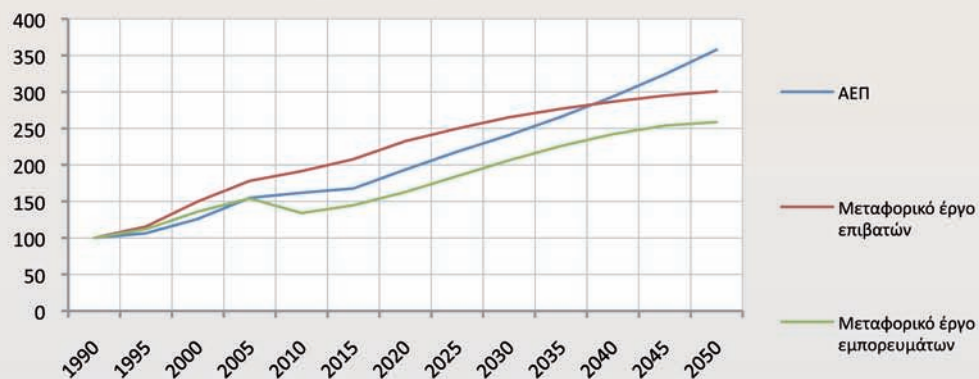
Μεταφορικό έργο επιβατών (δισεκ. επιβάτες-χλμ.)



Μεταφορικό έργο εμπορευμάτων (δισεκ. τονο-χλμ.)



Δείκτες δραστηριότητας (1990=100)



Πηγή: PRIMES.

4.1.4 Το ευρωπαϊκό πλαίσιο για την ενέργεια

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη θεσπίσει δεσμευτική δέσμη μέτρων και στόχων για το 2020. Στη δέσμη αυτή περιλαμβάνονται:

- ο μηχανισμός εμπορίας αδειών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Emission Trading Scheme – ETS) από υποχρεωτικές εγκαταστάσεις (ηλεκτροπαραγωγή, μεγάλες βιομηχανίες και, από το 2012, αεροπορικές μεταφορές),
- οι στόχοι κατά χώρα-μέλος για μείωση των εκπομπών στους τομείς εκτός ETS, καθώς και
- οι στόχοι για αύξηση του μεριδίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που έχει οριστεί για κάθε χώρα-μέλος.

Στο ίδιο πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει δεσμευτικούς νόμους για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα των ηλεκτρικών συσκευών, των κτηρίων και κατοικιών, καθώς και για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα μέσα μεταφοράς.

Οι στόχοι για το 2020 είναι σχετικά μετριοπαθείς αν συγκριθούν με την προσπάθεια που απαιτείται για την ΕΕ (και την Ελλάδα) στο πλαίσιο του στόχου αποφυγής αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από τους 2 °C. Η ανάλυση για την προοπτική της δραστηρικής μείωσης των εκπομπών προς το 2050 περιλαμβάνει περαιτέρω ενίσχυση των στόχων και, κατ' επέκταση, της πολιτικής για το 2020.

Σημαντική προτεραιότητα της ευρωπαϊκής πολιτικής είναι επίσης η ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας στην Ευρώπη, τόσο για την ηλεκτρική ενέργεια όσο και για το φυσικό αέριο. Τα οφέλη από την ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς είναι αναμφισβήτητα: δίνεται η δυνατότητα για καλύτερη διαχείριση της ενεργειακής εξάρτησης από τρίτες χώρες, η διεύρυνση του ανταγωνισμού ωφελεί την ποιότητα των υπηρεσιών και τη διαμόρφωση των τιμών, η σύμπραξη σε περιφερειακές ζώνες οδηγεί σε καλύτερη διαχείριση των πόρων, όπως π.χ. η από κοινού εξισορρόπηση φορτίου για καλύτερη ένταξη των ΑΠΕ, κ.λπ.

Η δέσμη μέτρων της ΕΕ "Κλίμα και Ενέργεια"

Τον Ιανουάριο του 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε δεσμευτική νομοθεσία για την υλοποίηση των στόχων του "20-20-20". Η δέσμη μέτρων "Κλίμα και Ενέργεια" συμφωνήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο το Δεκέμβριο του 2008 και ψηφίστηκε ως νόμος τον Ιούνιο του 2009.

Η δέσμη κατά βάση αποτελείται από τέσσερα νομοθετικά πλαίσια, συμπληρωματικά μεταξύ τους:

1. Αναθεώρηση του μηχανισμού εμπορίας αδειών εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (ETS), η οποία περιλαμβάνει: α) εφαρμογή ανώτατου ορίου για τα δικαιώματα εκπομπών από το 2013 και σταδιακή μείωσή τους μέχρι και 21% έως το 2020 σε σύγκριση με το 2005, β) αντικατάσταση από το 2013 της δωρεάν διανομής δικαιωμάτων από την πλήρη δημοπράτησή τους, γ) επέκταση του μηχανισμού στις αεροπορικές μεταφορές από το 2012 και δ) μείωση κατά 1,71% το χρόνο των δικαιωμάτων προς δημοπράτηση και πέραν του 2020.
2. Δεσμευτικό όριο εκπομπών για το 2020, για κάθε χώρα-μέλος ανάλογα με τη σχετική του ευημερία.
3. Δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι για είσοδο των ΑΠΕ, οι οποίοι θα οδηγήσουν σε μερίδιο των ΑΠΕ 20% στην παραγωγή ενέργειας στην Ευρώπη μέχρι το 2020.

4. Νομοθετικό πλαίσιο για την προώθηση της ανάπτυξης και ασφαλούς χρήσης τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS). Προβλέπεται η λειτουργία δοκιμαστικού δικτύου 12 μονάδων με τεχνολογία CCS το 2015, με απώτερο στόχο η εν λόγω τεχνολογία να είναι διαθέσιμη στην αγορά το 2020.

4.1.5 Αποτίμηση τρέχουσας κατάστασης στην Ελλάδα

Ο ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα σε σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης κρίνεται λιγότερο αποδοτικός και με υψηλό επίπεδο εκπομπών. Σημαντικά προβληματικός εμφανίζεται ο τομέας των μεταφορών, τόσο των αστικών όσο και των υπεραστικών. Διαπιστώνεται σειρά προβλημάτων, όπως ανεπάρκεια μέσων σταθερής τροχιάς, υπερβολική χρήση αεροπορικών μεταφορών, μειωμένη χρήση δημόσιων μεταφορών στις πόλεις, άναρχη και σπάταλη επέκταση των οδικών μεταφορών εμπορευμάτων, κ.λπ.

Η μόνη ουσιαστική πρόοδος στον τομέα της προσφοράς ενέργειας επιτεύχθηκε στο παρελθόν με την εισαγωγή του φυσικού αερίου, τόσο στις άμεσες χρήσεις όσο και στην ηλεκτροπαραγωγή. Ωστόσο, στις άμεσες χρήσεις η εισαγωγή του φυσικού αερίου γίνεται με αργούς ρυθμούς και ως εκ τούτου εξακολουθεί να είναι περιορισμένης έκτασης.

Όσον αφορά τον εκσυγχρονισμό της τεχνολογίας στην ηλεκτροπαραγωγή, αυτός έχει περιοριστεί στις μονάδες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου, ενώ παραμένουν σε λειτουργία πολύ παλαιές, ρυπογόνες και μη αποδοτικές μονάδες στερεών καυσίμων και πετρελαίου.

Την ελληνική ενεργειακή αγορά χαρακτηρίζει και μια σειρά άλλων προβλημάτων, τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως οι μεγάλες καθυστερήσεις στη διασύνδεση των νησιών, οι αργοί ρυθμοί ανάπτυξης των ΑΠΕ, αλλά και ο ελλιπής ανταγωνισμός στην αγορά ενέργειας και η περιορισμένη συνεργασία σε περιφερειακό επίπεδο.

Εάν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις, οι αποκλίσεις από τους στόχους και τις υποχρεώσεις της χώρας θα διευρύνονται συνεχώς σε όλους τους τομείς. Οι αρνητικές επιπτώσεις θα είναι μεγάλες, π.χ. σημαντική αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να καλυφθεί το κόστος εκπομπών που προβλέπεται από το μηχανισμό ETS.

Πρόσφατα η ελληνική κυβέρνηση υπέβαλε στην Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμευτικό πρόγραμμα ανάπτυξης των ΑΠΕ μέχρι το 2020, το οποίο είναι ιδιαίτερα φιλόδοξο. Η εφαρμογή του προγράμματος αυτού θεωρείται στην παρούσα ανάλυση τμήμα της όλης προσπάθειας μετασχηματισμού του ενεργειακού συστήματος προς την κατεύθυνση της δραστηκής μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

4.1.6 Οι προκλήσεις για την ελληνική ενεργειακή πολιτική

Οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η εθνική ενεργειακή πολιτική, τόσο στο πλαίσιο των στόχων που έχει αποφασίσει η ΕΕ όσο και στο πλαίσιο της εξυγίανσης και αποδοτικής λειτουργίας του ενεργειακού τομέα, συνοψίζονται στις εξής:

- συνεχής και δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον τομέα της ενέργειας, προς μια οικονομία ιδιαίτερα χαμηλών εκπομπών το 2050,
- σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο,
- ενίσχυση της ασφάλειας εφοδιασμού με φυσικό αέριο,
- θεαματική ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως καθαρής και εγχώριας πηγής,
- αξιόπιστη και επαρκής παροχή ενέργειας και ενεργειακών υπηρεσιών σε κάθε καταναλωτή,
- επίτευξη των κατά το δυνατόν περισσότερων ανταγωνιστικών τιμών και κόστους της ενέργειας και
- περιορισμός των ανισοτήτων σχετικά με τους όρους πρόσβασης στις ενεργειακές υπηρεσίες.

4.2 Πολιτική μείωσης των εκπομπών κατά τομέα

Η Ελλάδα, προκειμένου να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις που απορρέουν από την κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο και από τις αντίστοιχες δεσμεύσεις της απέναντι στην ΕΕ, διαθέτει “Εθνικό Πρόγραμμα Δράσης”² για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την περίοδο 2000-2010. Το πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνει μέτρα μείωσης των εκπομπών από τον οικιακό και τον τριτογενή τομέα, την ηλεκτροπαραγωγή, τις μεταφορές, τη γεωργία, τη βιομηχανία και τις βιομηχανικές διεργασίες.

Οι περαιτέρω απαιτήσεις για δραστική μείωση των εκπομπών μέχρι το 2050 στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής επιβάλλουν την ενίσχυση και επέκταση αυτών των μέτρων.

Οικιακός και τριτογενής τομέας

Στους τομείς αυτούς υπάρχουν πολλές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, αν ληφθεί υπόψη η μεγάλη ηλικία των κτηρίων, ο μέχρι σήμερα χαμηλός βαθμός διείσδυσης των ΑΠΕ, ο χαμηλός βαθμός απόδοσης των ενεργειοφόρων συσκευών που χρησιμοποιούνται, καθώς και η παρατηρούμενη μη ορθολογική ενεργειακή συμπεριφορά.

Η πολιτική μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου εστιάζεται κυρίως στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των καταναλώσεων του τομέα. Με τον τρόπο αυτό, μειώνονται έμμεσα οι εκπομπές που προκύπτουν από την παραγωγή ενέργειας. Βασικοί άξονες παρέμβασης γύρω από τους οποίους κινείται η πολιτική μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου είναι:

- Βελτιωτικά μέτρα για το κέλυφος των υφιστάμενων κτηρίων, όπως μόνωση της οροφής ή προσθήκη διπλών υαλοστασίων προς αποφυγή μεγάλων θερμικών απωλειών.

² <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=431&language=el-GR>.

- Βελτιωτικά μέτρα που αφορούν τον ενεργειακό εξοπλισμό θέρμανσης και ψύξης, όπως συντήρηση λεβήτων κεντρικής θέρμανσης ή αντικατάστασή τους (όπου κρίνεται ότι τυχόν βελτιωτικές παρεμβάσεις δεν θα έχουν αποτέλεσμα), με σκοπό να αυξηθεί η απόδοση της θέρμανσης, χρήση κατάλληλων τεχνικών ηλιοπροστασίας (σκιασμός, ανεμιστήρες οροφής, νυκτερινός αερισμός), ώστε να μειωθεί το ψυκτικό φορτίο του κτηρίου, χρήση αποδοτικότερων συσκευών κλιματισμού, κ.ά.
- Βελτιωτικά μέτρα που αφορούν τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό, όπως χρήση αποδοτικότερων συσκευών, ιδίως οικιακών (πλυντήρια, συστήματα εικόνας-ήχου κ.λπ.), χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης (οι οποίοι καταναλώνουν μέχρι και 25% της ενέργειας ενός συμβατικού λαμπτήρα), εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού στο φωτισμό (συστήματα ανίχνευσης παρουσίας, μέτρησης φωτεινής έντασης, ώστε, σε συνδυασμό με το φυσικό φωτισμό, να παρέχουν τις βέλτιστες φωτεινές συνθήκες, κ.ά.). Στα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνεται η αξιοποίηση της (δωρεάν παρεχόμενης) ηλιακής ενέργειας για φωτισμό, ώστε να αποφεύγεται η χρήση τεχνητού φωτισμού.
- Διείσδυση των ΑΠΕ τόσο στη θέρμανση όσο και στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Με εξαίρεση τη χρήση ηλιακών συλλεκτών, ο βαθμός αξιοποίησης των ΑΠΕ μέχρι σήμερα είναι χαμηλός, παρά το υψηλό δυναμικό ΑΠΕ που διαθέτει το φυσικό περιβάλλον της χώρας μας. Στο πλαίσιο της μείωσης των εκπομπών, πρέπει να αυξηθεί η κάλυψη των αναγκών θέρμανσης νερού από ηλιακούς συλλέκτες, ο ρόλος των ηλιακών συλλεκτών να επεκταθεί και στη θέρμανση χώρων ως βοηθητικών συστημάτων στο συμβατικό σύστημα θέρμανσης, να χρησιμοποιηθεί τηλεθέρμανση με βιομάζα (χρήση κεντρικού λέβητα αντί ατομικών), κ.ά. Ακόμη, σημαντική είναι η προώθηση της διαδικασίας για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, στις περιπτώσεις όπου το υψηλό κόστος δεν είναι εμπόδιο (π.χ., αν εναλλακτικές μέθοδοι παροχής ενέργειας εμφανίζουν συγκρίσιμα υψηλό κόστος).
- Επέκταση της χρήσης αντλιών θερμότητας, οι οποίες έχουν μεγάλη αποδοτικότητα και επιπλέον αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ανάκτηση θερμότητας, η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας, κ.λπ.
- Ενίσχυση του ρόλου του φυσικού αερίου (υπό την προϋπόθεση ότι θα ολοκληρωθεί το δίκτυο διανομής) με την προώθηση ταχύτερου ρυθμού διείσδυσης του φυσικού αερίου στη θέρμανση χώρων, αλλά και με την υιοθέτηση ειδικών συστημάτων ψύξης τα οποία χρησιμοποιούν φυσικό αέριο.

Μεταφορές

Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για μεγάλο μέρος των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (27% των συνολικών εκπομπών το 2010). Είναι ένας τομέας κατ' εξοχήν εξαρτώμενος από τα υγρά καύσιμα, κατά κύριο λόγο προϊόντα διύλισης του πετρελαίου, ο οποίος

μέχρι σήμερα δεν έχει επιδείξει ευρύτητα τεχνολογιών εναλλακτικών των μηχανών εσωτερικής καύσης, με εξαίρεση μεταφορικά μέσα που κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια (τρόλεϊ, μετρό, τραμ, τραίνα).

Στο πλαίσιο της μείωσης των εκπομπών, συνιστάται η χρήση εναλλακτικών τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών, κυρίως στις χειρσαίες μεταφορές, καθώς στις θαλάσσιες και εναέριες μεταφορές δεν υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες χρήσης εναλλακτικών τεχνολογιών.

Προσπάθειες για να μειωθούν οι εκπομπές από τις αερομεταφορές υλοποιούνται με την ένταξη του τομέα στο μηχανισμό ETS.

Τα σενάρια που αναπτύχθηκαν στο παρόν προβλέπουν υποκατάσταση του πετρελαίου στις οδικές μεταφορές από ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μακροχρόνια θα παράγεται χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η ηλεκτρική ενέργεια θα επεκτείνεται με τη διάδοση ηλεκτρικών και επαναφορτιζόμενων υβριδικών οχημάτων.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο, μέσω των βιοκαυσίμων (κυρίως βιοντήζελ και βιοαιθανόλης), τα οποία χρησιμοποιούνται ως προσμίξεις με τα συμβατικά καύσιμα, περιορίζοντας σημαντικά τις εκπομπές επειδή παράγονται από τεχνολογίες δεύτερης και τρίτης γενεάς, που περιορίζουν τις εκπομπές σε όλη την αλυσίδα παραγωγής βιοκαυσίμων.

Πληθώρα άλλων τεχνολογιών, οι οποίες βρίσκονται ακόμα σε δοκιμαστικό στάδιο, όπου η έρευνα εστιάζεται στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς τους, μπορεί να είναι διαθέσιμες στο μέλλον, όπως οι κυψέλες καυσίμου με χρήση υδρογόνου.

Συνολικά, τα μέτρα που εφαρμόζονται για τη μείωση των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- παρεμβάσεις στα οχήματα, μέσω της συντήρησης αυτοκινήτων και φορτηγών (συντήρηση του συστήματος ανάφλεξης του κινητήρα και του συστήματος μετάδοσης και πέδησης κίνησης),
- μέτρα που αφορούν τη διαχείριση του συστήματος μεταφορών, όπως π.χ. προώθηση της χρήσης των αστικών συγκοινωνιών, χρήση λεωφορείων φυσικού αερίου, βελτιώσεις στη φωτεινή σηματοδότηση, αλλά και ήπιες παρεμβάσεις μείωσης των εκπομπών,
- χρήση νέων καυσίμων, ειδικότερα επέκταση της χρήσης βιοκαυσίμων, και προώθηση εναλλακτικών, καθαρών τεχνολογιών με έμφαση στην ηλεκτρική ενέργεια και πιο μακροχρόνια στο υδρογόνο και
- εφαρμογή αυστηρών προδιαγραφών για τις μοναδιαίες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά όχημα, καθώς και για την ενεργειακή αποδοτικότητά τους (το μέτρο αυτό αναμένεται να έχει καίρια σημασία για τη μελλοντική μείωση των εκπομπών).

Πολιτική της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές

Το 2007 προτάθηκε από την ΕΕ (πρόταση COM (2007)/856) στρατηγική μείωσης των εκπομπών από τα ελαφρά οχήματα (αυτοκίνητα και μικρά φορτηγά τύπου βαν), η οποία προβλέπει για το 2012 μέσες

εκπομπές CO₂ από τα νέα οχήματα 120 γρ. ανά χλμ., δηλαδή μείωση των εκπομπών κατά 25% σε σχέση με το 2006. Η στρατηγική στοχεύει να μειώσει τις εκπομπές τόσο από την πλευρά της παραγωγής όσο και από την πλευρά της κατανάλωσης.

Στην πλευρά της παραγωγής, η στρατηγική προβλέπει θέσπιση νομοθεσίας η οποία θα δίνει κίνητρα στους κατασκευαστές τόσο για τη μείωση των εκπομπών από νέα οχήματα όσο και για τη βελτίωση της αποδοτικότητας εξαρτημάτων των οχημάτων τα οποία συμβάλλουν σημαντικά στην αυξημένη κατανάλωση καυσίμων, όπως τα συστήματα κλιματισμού, τα ειδικά λάστιχα, κ.ά. Παράλληλα, μέσω της επιβολής ειδικών φόρων, θα δοθούν κίνητρα στους καταναλωτές για αγορά αποδοτικών οχημάτων και για εξοικονόμηση ενέργειας.

Τον Απρίλιο του 2009 (Κανονισμός αρ. 443/2009) ορίστηκε η μέση τιμή των εκπομπών από καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα στα 130 γρ. CO₂ ανά χλμ., τιμή η οποία επιτυγχάνεται μέσω βελτίωσης της τεχνολογίας των κινητήρων των οχημάτων. Μετά το 2020, ο Κανονισμός προβλέπει να μειωθεί η τιμή αυτή στα 95 γρ. CO₂ ανά χιλιόμετρο.

Από το 2020, ο στόχος για το νέο στόλο οχημάτων πρόκειται να είναι: μέσος όρος εκπομπών 95 γρ. CO₂ ανά χιλιόμετρο.

Βιομηχανία

Στα μέτρα που λαμβάνονται για τη μείωση των εκπομπών του τομέα της βιομηχανίας περιλαμβάνονται τα εξής:

- Προώθηση της χρήσης φυσικού αερίου, το οποίο υποκαθιστά κατά κύριο λόγο το μαζούτ, αλλά και το τνήζελ. Η υποκατάσταση δεν πρέπει να επικεντρώνεται μόνο στις ενεργοβόρες μονάδες με υψηλές θερμικές ανάγκες, αλλά να υποστηριχθεί η διείσδυση του φυσικού αερίου και στις λοιπές μεταποιητικές μονάδες και στις χρήσεις τνήζελ, παράλληλα με την ανάπτυξη νέων δικτύων διανομής.
- Προώθηση της χρήσης ΑΠΕ και αντλιών θερμότητας με ανακτήσεις θερμικής ενέργειας σε χρήσεις χαμηλής και μέσης ενθαλπίας.
- Επέκταση της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ενθαλπίας.
- Αξιοποίηση της βιομάζας σε θερμικές χρήσεις και σε σύγκausη σε κλιβάνους.
- Διάφορα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (παρεμβάσεις με τη μορφή βελτιστοποίησης της διαχείρισης ενέργειας και εκσυγχρονισμού για τη μείωση των απωλειών και την αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας από κλιβάνους).

Ηλεκτροπαραγωγή

Στην προσπάθεια για δραστική μείωση των εκπομπών πρωταγωνιστικό ρόλο έχει η πλήρης αναδιάρθρωση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τομέας αυτός καταρχήν ευθύνεται για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (45% το 2010), ενώ παράλληλα είναι ο τομέας με τα μεγαλύτερα περιθώρια μείωσης των εκπομπών, καθώς υπάρχει πληθώρα εναλλακτικών, καθαρών, βιώσιμων τεχνολογιών προς αντι-

κατάσταση των συμβατικών σταθμών στερεών καυσίμων που κυριαρχούν σήμερα στην ελληνική ηλεκτροπαραγωγή.

Ο στόχος στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής είναι να επιτευχθούν σχεδόν μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό θα καταστήσει την ηλεκτρική ενέργεια κατάλληλη για υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων στις τελικές ενεργειακές χρήσεις μέσω των αντλιών θερμότητας στις σταθερές ενεργειακές εγκαταστάσεις και της ηλεκτροκίνησης στις μεταφορές.

Η πολιτική που προωθείται σήμερα είναι εστιασμένη προς αυτή την κατεύθυνση, επιχειρώντας να εγκαθιδρύσει ένα νομικό πλαίσιο που να δίνει τη βάση για να εξελιχθεί το σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού, σταδιακά, προς την πλήρη απεξάρτηση από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Οι άξονες της πολιτικής αυτής είναι:

- προώθηση της εγκατάστασης αιολικών πάρκων, επίγειων και θαλάσσιων,
- προώθηση της εγκατάστασης μικρών υδροηλεκτρικών έργων,
- εγκατάσταση κεντρικών και αποκεντρωμένων φωτοβολταϊκών μονάδων,
- ανάπτυξη γεωθερμικού δυναμικού υψηλής ενθαλπίας,
- προώθηση της χρήσης βιομάζας και αποβλήτων στην ηλεκτροπαραγωγή και συμπαραγωγή,
- ενίσχυση και επέκταση συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (αντλησιοταμιευτήρες, μακροχρόνια υδρογόνο) και
- επέκταση λειτουργίας σταθμών φυσικού αερίου.

Διαχείριση απορριμμάτων

Στον τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων υπάρχουν περιθώρια μείωσης των εκπομπών μεθανίου (CH_4). Να σημειωθεί ότι η δυνατότητα του μεθανίου για θέρμανση της ατμόσφαιρας είναι 21 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του διοξειδίου του άνθρακα για μια περίοδο 100 ετών, επομένως οι ενέργειες οι οποίες στοχεύουν στη μείωσή του, αν και είναι περιορισμένων δυνατοτήτων σε σχέση με τις ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών CO_2 , κρίνονται ιδιαίτερα σκόπιμες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Γεωργία

Η γεωργική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται κυρίως από εκπομπές υποξειδίου του αζώτου (N_2O), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως ως λίπασμα. Η θερμαντική ικανότητα του N_2O είναι μέχρι και 300 φορές μεγαλύτερη από αυτή του CO_2 , ενώ το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών N_2O είναι αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών του εδάφους. Με στόχο τον όσο το δυνατόν μεγαλύτερο περιορισμό των εκπομπών N_2O , προωθούνται οι βιολογικές καλλιέργειες, ώστε να μειωθεί η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων.

Άλλες πολιτικές που περιλαμβάνονται αφορούν στη χρήση συστημάτων διαχείρισης των ζωικών αποβλήτων, με στόχο τον περιορισμό των εκπομπών CH_4 από την κτηνοτροφία.

Βιομηχανικές διεργασίες

Τις βιομηχανικές διεργασίες (όπως π.χ. επεξεργασία χημικών, σύνθεση ψυκτικών σπρέι, ηλεκτρόλυση του αλουμινίου, κ.ά.) χαρακτηρίζουν οι εκπομπές των αερίων που περιέχουν φθόριο, δηλαδή των λεγόμενων f-gases (υδροφθοράνθρακες, HFCs, υπερφθοράνθρακες, PFCs, και εξαφθοριούχο θείο, SF₆). Στην Ελλάδα, η εκπομπή των αερίων αυτών έφθασε τους 3.744 κιλοτόνους ισοδυνάμου CO₂ το 2000, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο τομέας παραγωγής, χρήσης, συντήρησης και τελικής διάθεσης συσκευών εξοπλισμού ψύξης, κλιματισμού κ.λπ. αποτελεί την πλέον δυναμική πηγή εκπομπών, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 20% την περίοδο 2000-2010. Για τη μείωση των αερίων αυτών επιχειρείται: α) η αναδιοργάνωση της λειτουργίας χημικών βιομηχανιών (των μονάδων εκείνων με υψηλές εκπομπές f-gases) και β) ανάκτηση των HFCs από συσκευές ψύξης και κλιματισμού.

4.3 Οδικός χάρτης προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών

Η μελέτη του οδικού χάρτη που πρέπει να χαράζει η ελληνική ενεργειακή πολιτική προς εκπλήρωση του στόχου της μείωσης των εκπομπών ποσοτικοποιήθηκε με το ενεργειακό μαθηματικό πρότυπο PRIMES του εργαστηρίου E3MLab του ΕΜΠ. Το πρότυπο καταδεικνύει τον οικονομικά βέλτιστο τρόπο επίτευξης των εν λόγω στόχων, προσομοιώνοντας τις οικονομικές και τεχνικές αποφάσεις των παραγωγών και καταναλωτών ενέργειας, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις τους με τις ενεργειακές αγορές. Στα αποτελέσματα της προσομοίωσης περιλαμβάνονται το βέλτιστο μίγμα ενεργειακών μορφών, η διείσδυση νέων τεχνολογιών, ο βαθμός εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και τα βέλτιστα προγράμματα επενδύσεων κατά τεχνολογία και κατά κλάδο και εκτιμήσεις για τις τιμές και το κόστος της ενέργειας.

4.3.1 Υποθέσεις και περιορισμοί για τη μελλοντική πορεία του ελληνικού ενεργειακού συστήματος

Διαμόρφωση των σεναρίων του προτύπου PRIMES

Τα σεσάρια που αναπτύχθηκαν με βάση το πρότυπο PRIMES αποτυπώνουν τη βέλτιστη πορεία προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών, μέσω της σχεδόν εκμηδένισης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το 2050. Τα σεσάρια αυτά είναι συμβατά με τους στόχους μείωσης των εκπομπών σε ευρωπαϊκό επίπεδο κατά 40% το 2030 και 80% το 2050, σε σύγκριση με το 1990.

Κατά τη διαμόρφωση των σεναρίων αυτών, υιοθετήθηκαν οι εξής υποθέσεις και περιορισμοί για τις εξελίξεις στην ενεργειακή πολιτική:

- Το ενεργειακό σύστημα αναπτύσσεται μέχρι το 2020 κατά τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται τουλάχιστον στους στόχους και τις υποχρεώσεις που υιοθετήθηκαν το 2008 από την Ευρωπαϊκή Ένωση³ και έχουν εξειδικευθεί από το ΥΠΕΚΑ στο σχέδιο δράσης για τις ΑΠΕ. Το μαθηματικό πρότυπο προσομοιώνει συμπεριφορές των παραγωγών και καταναλωτών ενέργειας οι οποίες προεξοφλούν την πρόβλεψη ότι μετά το 2020 οι στόχοι μείωσης των εκπομπών θα γίνουν ακόμα υψηλότεροι, όπως ο στόχος για μείωση των εκπομπών κατά 40% το 2030, και γι' αυτό οι παραγωγοί προχωρούν σε επενδύσεις και επιλογές νωρίτερα από το 2030.
- Για τη χρονική περίοδο μετά το 2020 γίνεται η υπόθεση ότι γενικεύεται σε όλη την οικονομία το σύστημα τιμολόγησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Γίνεται επίσης η υπόθεση ότι το ύψος της τιμής του CO₂ είναι ενιαίο για όλους τους τομείς και όλες τις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με τη χρήση του μαθηματικού προτύπου PRIMES προσδιορίζεται το ύψος της τιμής του CO₂ σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές μειώσεις των εκπομπών CO₂. Θεωρείται, στη συνέχεια, ότι η Ελλάδα, ως μικρή χώρα έναντι της ΕΕ, δεν μπορεί να επηρεάσει το ύψος των τιμών του CO₂. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 (επόμενη σελίδα). Σημειώνεται ότι οι υποχρεώσεις του συστήματος ETS θα διενεργούν την πληρωμή για τα δικαιώματα εκπομπής στο κράτος, ενώ για τους λοιπούς γίνεται η υπόθεση ότι λαμβάνουν υπόψη την τιμή των εκπομπών στις επιλογές τους, όμως τελικά δεν διενεργούν πληρωμές με βάση την τιμή του CO₂.
- Προωθείται η αύξηση της απόδοσης της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω της εφαρμογής δέσμης μέτρων πολιτικής για την εξοικονόμηση ενέργειας και την προώθηση αποδοτικότερων συσκευών και εξοπλισμού σε όλους τους τομείς. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια με βάση ειδικό πρόγραμμα ενεργειακής αναβάθμισης κατοικιών και κτηρίων σε μεγάλη κλίμακα. Στο πλαίσιο Οδηγιών της ΕΕ εφαρμόζονται αυστηρές προδιαγραφές για την ενεργειακή απόδοση κάθε είδους συσκευής και βιομηχανικού εξοπλισμού, καθώς και για τα μεταφορικά μέσα.
- Στον τομέα των οδικών μεταφορών διεισδύουν δυναμικά οι εναλλακτικές τεχνολογίες και τα βιοκαύσιμα ως αποτέλεσμα ειδικής πολιτικής, όπως θέσπιση αυστηρών ορίων εκπομπής ανά όχημα, επιβολή υποχρεωτικών ποσοστών μείξης βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς στα πετρελαιοειδή και υιοθέτηση μέτρων ενίσχυσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Τα βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται και στα καύσιμα αεροπλάνων και πλοίων. Μακροχρόνια ο ηλεκτρισμός γίνεται σταδιακά η κύρια πηγή ενέργειας χάρη στα μέτρα αυτά και στην τεχνολογική πρόοδο στον τομέα των συσσωρευτών. Για το σκοπό αυτό, ο οδικός χάρτης περιλαμβάνει ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα συστημάτων επαναφόρτισης των οχημάτων ήδη αμέσως μετά το 2020, χρήση “έξυπνων” μετρητών και θέσπιση κινήτρων ώστε η επα-

³ Δέσμη μέτρων “Κλίμα και Ενέργεια”, http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm.

Πίνακας 4.1

Διαμόρφωση της τιμής του CO₂
(Ευρώ/τόνο CO₂, τιμές 2008)

		2020	2030	2050
Σενάρια Μετριασμού	Τομείς ETS	25,0	60,0	190,0
	Τομείς εκτός ETS	25,0	60,0	190,0
Σενάριο Αναφοράς	Τομείς ETS	16,5	36,0	50,0
	Τομείς εκτός ETS	5,3	5,3	5,3

Πηγή: PRIMES.

ναφόρτιση να γίνεται σε ώρες χαμηλού φορτίου συστήματος. Η ανάπτυξη του συστήματος γίνεται με ευθύνη του Διαχειριστή Δικτύου και το κόστος ανακτάται μέσω ειδικού τέλους.

- Μετά το 2020 δεν τίθενται δεσμευτικοί στόχοι για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Οι μηχανισμοί υποστήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παραμένουν ως έχουν μέχρι το 2020 και σταδιακά μειώνονται σε ένταση μέσα στην επόμενη δεκαετία (2020-2030). Όμως, λόγω του εύρους των στόχων για μείωση των εκπομπών και της τιμολόγησης των εκπομπών, οι ΑΠΕ συνεχίζουν να αναπτύσσονται δυναμικά μετά το 2020 και φθάνουν σε επίπεδα σαφώς υψηλότερα του στόχου για το 2020. Σε μακρό χρονικό ορίζοντα αναπτύσσονται έξυπνα δίκτυα στη χαμηλή και μέση τάση, ώστε να διευκολυνθεί η ανάπτυξη συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής ΑΠΕ σε πολύ μικρή κλίμακα. Αναπτύσσονται επίσης συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως μέσω αντλητικών συστημάτων με ταμιευτήρες και, μακροχρόνια, μέσω υδρογόνου. Γίνεται η υπόθεση ότι σχετικά μικρές ποσότητες υδρογόνου θα μπορούν να παράγονται μακροχρόνια από ηλεκτρόλυση. Το υδρογόνο θα αναμειγνύεται με φυσικό αέριο και θα μπορεί να τροφοδοτεί αεριοστρόβιλους ηλεκτροπαραγωγής. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής διευκολύνεται στην ανάπτυξη ΑΠΕ σε μεγάλη κλίμακα και το υδρογόνο διαδραματίζει ρόλο αποθηκευτικού μέσου.

Ο προσδιορισμός των τιμών για τα δικαιώματα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα έγινε με το μαθηματικό πρότυπο PRIMES, όπως εφαρμόστηκε το 2010 στο πλαίσιο μελετών για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για το σύνολο των χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό ήταν απαραίτητο, δεδομένου ότι ο μηχανισμός των πλειοδοτικών μηχανισμών για την αγορά δικαιωμάτων εκπομπής θα έχει πανευρωπαϊκό χαρακτήρα και επομένως η ισορροπία του θα οδηγεί σε ενιαίες τιμές CO₂ για το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Επειδή υφίσταται αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική διάρθρωση του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, το οποίο σε κάθε περίπτωση πρέπει μακροχρόνια να μηδενίσει τις εκπομπές, αναπτύχθηκαν παραλλαγές του ενεργειακού σεναρίου προς την οικονομία ιδιαίτερα χαμηλών

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (το οποίο αντιστοιχεί στο Σενάριο Μετριασμού της κλιματικής αλλαγής).

Η αβεβαιότητα σχετίζεται με:

- α) τα ανώτατα όρια συνεισφοράς των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή υπό την προϋπόθεση διατήρησης αποδεκτού επιπέδου αξιοπιστίας του συστήματος, δεδομένου ότι η παραγωγή ΑΠΕ εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της πρωτογενούς ενέργειας και επομένως έχει στοχαστικό χαρακτήρα,
- β) τη δυνατότητα αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα σε γεωλογικούς σχηματισμούς μετά από δέσμευσή του σε μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης ορυκτών καυσίμων (κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή), δεδομένου ότι υφίσταται αβεβαιότητα σχετικά με τις γεωλογικές δυνατότητες στην Ελλάδα αλλά και την αποδοχή των αντίστοιχων έργων αποθήκευσης, και
- γ) τη δυνατότητα ανάπτυξης πυρηνικών σταθμών στην Ελλάδα, που εγείρει σύνθετα οικονομικά και οργανωτικά ζητήματα, καθώς και προβλήματα σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων.

Η παρούσα μελέτη δεν επιχειρεί να άρει τις διάφορες μορφές αβεβαιότητας, τεχνικού και πολιτικού χαρακτήρα, οι οποίες υπεισέρχονται ως προς τις επιλογές αυτές. Αντί πρότασης για υιοθέτηση συγκεκριμένων επιλογών ως προς τα ζητήματα αυτά, η παρούσα μελέτη διερευνά τις επιπτώσεις στο κόστος και στη διάρθρωση της ηλεκτροπαραγωγής μέσω εναλλακτικών σεναρίων, τα οποία κατά περίπτωση στηρίζονται στην υπόθεση ότι θα αρθεί η σχετική αβεβαιότητα.

Για την Ελλάδα, αναπτύχθηκαν τρία σενάρια μετριασμού, τα οποία διαφοροποιούνται σχετικά με τη μελλοντική διάρθρωση της ηλεκτροπαραγωγής σχεδόν μηδενικών εκπομπών:

- I. Ένα σενάριο μετριασμού με υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και ανάπτυξη τεχνικών αποθήκευσης, στο οποίο δεν χρησιμοποιούνται τεχνολογίες πυρηνικής ενέργειας και τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS). Στη συνέχεια, το σενάριο αυτό θα αναφέρεται ως **Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”**.
- II. Ένα σενάριο μετριασμού στο οποίο αναπτύσσονται τεχνολογίες CCS με αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα σε γεωλογικούς σχηματισμούς στην Ελλάδα. Η πυρηνική ενέργεια εξακολουθεί να μην χρησιμοποιείται. Στην συνέχεια, το σενάριο αυτό θα αναφέρεται ως **Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και CCS”**. Οι τεχνολογίες CCS, καθώς και το σύστημα μεταφοράς και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα, θεωρείται ότι είναι διαθέσιμα στην αγορά από το 2025.
- III. Ένα σενάριο μετριασμού στο οποίο γίνεται η υπόθεση ότι η πυρηνική ενέργεια μπορεί να αναπτυχθεί στην Ελλάδα μετά το 2030, χωρίς όμως να είναι διαθέσιμοι χώροι αποθήκευσης CO₂ από CCS. Στη συνέχεια, το σενάριο αυτό θα αναφέρεται ως **Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και πυρηνικά”**.

Παράλληλα, αναπτύχθηκε ένα **Σενάριο Αναφοράς**. Στο εν λόγω σενάριο, εφαρμόζεται πλήρως η πολιτική του “20-20-20” έως το 2020, ενώ θεωρείται ότι δεν θα ληφθούν περαιτέρω αποφάσεις, εκτός της θέσης σε εφαρμογή του μηχανισμού αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής, που αφορά ιδίως την ηλεκτροπαραγωγή, τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης και τις αεροπορικές μεταφορές. Το σενάριο επεκτείνεται μέχρι το 2050. Συνοπτικά, το σενάριο διαμορφώνεται ως εξής:

- Εφαρμόζεται ο μηχανισμός εμπορίας εκπομπών ETS (Emission Trading Scheme), με βάση την υπόθεση ότι θα υπάρξει σταδιακή μείωση των παρεχόμενων αδειών εκπομπών μέχρι το 2050, επέκταση των κανονισμών του ETS ώστε να καλύπτουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη βαριά βιομηχανία και τις αερομεταφορές και πλήρης δημοπράτηση των αδειών εκπομπών από το 2013. Οι τομείς εκτός του μηχανισμού ETS υπόκεινται σε κάποιο περιορισμό των εκπομπών τους από το 2015, αν και μικρότερο από τους υπόλοιπους τομείς και σε σταθερή ένταση μέχρι το 2050.
- Προσομοιώνεται η αναγγελθείσα ελληνική πολιτική για συμμετοχή των ΑΠΕ κοντά στο 40% της ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2020, ωστόσο μετά το 2020 δεν τίθενται περαιτέρω δεσμευτικοί στόχοι και σταδιακά αποσύρονται οι επιδοτήσεις σε τεχνολογίες ΑΠΕ, ιδίως στις περιπτώσεις που είναι περιορισμένη η τεχνογνωσία, παραμένει όμως σε υψηλά επίπεδα η συμμετοχή των εν λόγω τεχνολογιών.
- Υιοθετούνται οι οδηγίες και κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι οποίοι στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (για κτήρια, κατοικίες, ηλεκτρικές συσκευές και τις μεταφορές), αλλά γίνεται η υπόθεση ότι αυτοί εφαρμόζονται με περιορισμένη χρηματοδοτική υποστήριξη και με μέτρια ένταση, σε αντίθεση με τα σενάρια μετριασμού, όπου οι πολιτικές αυτές αναπτύσσονται κατά το μέγιστο δυνατόν.
- Θεωρείται ότι για την Ελλάδα όλες οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαθέσιμες και υποψήφιες για επένδυση, με εξαίρεση τις τεχνολογίες πυρηνικής ενέργειας και τις τεχνολογίες CCS.

Για λόγους σύγκρισης και αξιολόγησης της πολιτικής που περιλαμβάνεται στα σενάρια μετριασμού, αναπτύσσεται και ένα σενάριο στο οποίο θεωρείται ότι δεν εφαρμόζονται πολιτικές για μείωση εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων αυτών που αφορούν στην ένταξη των ΑΠΕ και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Το σενάριο αυτό αντιστοιχεί σε εξέλιξη μόνο με βάση τους μηχανισμούς της αγοράς χωρίς κρατική παρέμβαση και χωρίς στόχους πολιτικής. Το πιο πάνω σενάριο αναφέρεται στη συνέχεια ως **Σενάριο “καμίας πολιτικής”**.

Σενάρια που αναπτύχθηκαν με βάση το πρότυπο PRIMES για την περίοδο 2010-2050

Σενάριο Αναφοράς: η ισχύουσα πολιτική της Ελλάδος και της ΕΕ παραμένει μέχρι το 2020 και επεκτείνεται μέχρι το 2050 χωρίς φιλόδοξους στόχους μείωσης των εκπομπών. Σε ισχύ παραμένει και ο μηχανισμός ETS μέχρι το 2050.

Σενάρια Μετριασμού: 80% μείωση των εκπομπών CO₂ σε ευρωπαϊκό επίπεδο μέχρι το 2050 και 75% στην Ελλάδα και εναλλακτικά σενάρια σχετικά με τη μελλοντική διάρθρωση της ηλεκτροπαραγωγής:

- Σενάριο Μετριασμού με “ΑΠΕ”
- Σενάριο Μετριασμού με “ΑΠΕ και CCS”
- Σενάριο Μετριασμού με “ΑΠΕ και πυρηνικά”

4.3.2 Σενάρια εξέλιξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος στο πλαίσιο των στόχων μετριασμού

Αποτελέσματα της μελέτης με το ενεργειακό πρότυπο PRIMES

Η ποσοτικοποίηση των σεναρίων μετριασμού έγινε με το μαθηματικό πρότυπο PRIMES και αντιστοιχεί στον οδικό χάρτη προς την επίτευξη του στόχου της μείωσης κατά 80% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050, ο οποίος περιλαμβάνει:

- βελτίωση ενεργειακής απόδοσης κτηρίων, ηλεκτρικών συσκευών, βιομηχανικών διεργασιών, κ.λπ.,
- εξοικονόμηση ενέργειας, σε ποσοστό 20% μέχρι το 2030 και 50% το 2050 συγκριτικά με το Σενάριο “καμίας πολιτικής”,
- συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωσης ενέργειας, σε ποσοστό άνω του 20% το 2030 και 35% το 2050, έναντι 13% το 2010,
- συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (14,5% το 2010), σε ποσοστό:
 - 66% το 2030 και 83% το 2050, για το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”,
 - 47% το 2030 και 43% το 2050, για το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και CCS”,
 - 49% το 2030 και 51% το 2050, για το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και πυρηνικά”,
- εξηλεκτρισμό των οδικών μεταφορών, σε ποσοστό 25% το 2030 και 85% μέχρι το 2050,
- παραγωγή βιοκαυσίμων 500 χιλ. τόνων (ισοδυνάμου πετρελαίου) το 2030 και 2.650 χιλ. τόνων το 2050 για ανάμειξη με πετρελαιοειδή κίνησης, έναντι 135 χιλ. τόνων το 2010, και
- αναβάθμιση και επέκταση των υποδομών για τη διασύνδεση των νησιών, τον εξηλεκτρισμό των μεταφορών και την υποδοχή ΑΠΕ πολύ μικρής κλίμακας στα δίκτυα χαμηλής τάσης.

Μεθοδολογία προσομοίωσης της προσπάθειας μείωσης των εκπομπών

Βασικό κίνητρο για τη μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών είναι η συνεχής αύξηση της τιμής του διοξειδίου του άνθρακα.

Οι παραγωγοί ενέργειας καλούνται να πληρώνουν όλο και περισσότερο για να αποκτήσουν άδειες εκπομπών. Το κόστος αυτό που αναλαμβάνουν αντανακλάται στην αύξηση των τιμών της ενέργειας και μετακυλίεται στους καταναλωτές. Οι παραγωγοί ενέργειας αναδιαμορφώνουν το μείγμα ενεργειακών μορφών για να μειώσουν το κόστος και επομένως δαπανούν περισ-

σότερο σε μορφές με αυξημένη κεφαλαιακή ένταση αλλά με μικρότερη ανθρακική ένταση. Η αναδιάρθρωση μετριάξει την επίπτωση στις τιμές των παραγωγών ενέργειας.

Οι καταναλωτές αντιμετωπίζουν αυξημένες τιμές για την ενέργεια αλλά και αυξημένο κόστος από τις δικές τους απευθείας εκπομπές. Γι' αυτό, αναδιατάσσουν το μείγμα ενεργειακών μορφών, επιλέγοντας μορφές μικρότερης ανθρακικής έντασης, και ταυτόχρονα προχωρούν σε επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και σε αγορές συσκευών, εξοπλισμού και οχημάτων που έχουν μεγαλύτερο κόστος αγοράς αλλά μικρότερο κόστος λειτουργίας λόγω μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης και λιγότερων εκπομπών.

Το σύνολο των συμμετεχόντων στην αγορά ενέργειας δαπανά περισσότερα χρήματα για κεφάλαιο και λιγότερα για λειτουργικά έξοδα, συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς.

Η αυξητική πορεία της τιμής του CO₂ δημιουργεί κίνητρα για υποκατάσταση των υπάρχουσών τεχνολογιών με τεχνολογίες χαμηλότερων εκπομπών. Η υποκατάσταση δεν μπορεί να είναι τέλεια, γι' αυτό και το συνολικό κόστος της ενέργειας βρίσκεται αυξημένο στο Σενάριο Μετριασμού συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς.

Επιπτώσεις των σεναρίων μετριασμού στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου

Από τα αποτελέσματα (Πίνακας 4.2) προκύπτει ότι, χωρίς καμία πολιτική, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα θα αυξάνονταν συνεχώς και θα έφθαναν το 2050 να είναι 55% υψηλότερα των εκπομπών του 1990. Η εξέλιξη αυτή θα ήταν πλήρως ασύμβατη με την παγκόσμια προσπάθεια αποφυγής της κλιματικής αλλαγής.

Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται η προβολή στο μέλλον των τρεχουσών πολιτικών, οι οποίες αποτυπώνονται στο Σενάριο Αναφοράς. Παρά τις φιλόδοξες πολιτικές που ενσωματώνονται στο σενάριο αυτό, ιδίως για το χρονικό ορίζοντα του 2020, η μη αποτύπωση πρόσθετων πολιτικών για το κλίμα καθιστά το εν λόγω σενάριο ανεπαρκές στο πλαίσιο της προσπάθειας αποφυγής της κλιματικής αλλαγής. Στο Σενάριο Αναφοράς οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μειώνονται το 2050 μόνο κατά 6% συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990, έναντι στόχου μείωσης κατά 70-80% το 2050, όπως έχει υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Απαιτούνται επομένως πρόσθετες πολιτικές σε μεγάλη έκταση για το κλίμα, ιδίως στην περίοδο μετά το 2020, ώστε οι εκπομπές της Ελλάδος να εισέλθουν σε τροχιά συμβατή με το στόχο περιορισμού της αύξησης της θερμοκρασίας της γης στους 2 °C.

Οι πρόσθετες πολιτικές αποτυπώνονται στις τρεις παραλλαγές των σεναρίων μετριασμού τα οποία επιτυγχάνουν μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα μεταξύ 58% και 63% το 2050 συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Η μείωση αυτή είναι περίπου 70% συγκριτικά με τα επίπεδα εκπομπών του 2005.

Με τη χρήση του μαθηματικού προτύπου προσδιορίζεται η οικονομικά βέλτιστη κατανομή της μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (Πίνακας 4.3 πιο κάτω). Λαμβάνονται υπόψη οι δυνατότητες μείωσης των εκπομπών που δια-

Πίνακας 4.2

Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στα σενάρια με το πρότυπο PRIMES σε εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Σενάριο "καμίας πολιτικής"													
Εκπομπές από καύση ορυκτών καυσίμων	71,1	78,0	88,9	95,8	90,2	91,8	100,2	103,8	107,7	110,9	117,2	123,1	132,8
Βιομηχανία	9,3	9,8	9,9	8,2	6,1	5,7	6,0	5,4	5,6	5,7	6,0	6,2	6,5
Οικιακός τομέας	4,6	4,8	7,5	9,7	9,8	9,7	10,6	11,9	12,6	12,9	13,0	13,0	12,8
Υψηλές	0,6	0,6	0,8	1,5	1,4	1,3	1,7	1,9	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2
Γεωργία	2,7	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Μεταφορές	17,2	19,1	21,3	23,9	23,4	24,8	27,4	28,8	30,2	31,3	32,6	33,8	35,2
Ηλεκτροπαραγωγή	34,1	39,0	43,9	46,3	44,0	44,9	49,0	50,0	51,5	53,1	57,6	61,7	70,0
Λοιπός ενεργειακός τομέας	2,4	2,2	3,1	3,5	2,8	2,7	2,9	3,1	3,2	3,1	3,1	3,2	3,1
Εκπομπές από μη ενεργειακές δραστηριότητες	30,3	30,8	31,6	31,8	25,0	22,7	22,8	23,0	23,1	22,2	22,7	23,5	24,2
Εκπομπές CO ₂ από βιομηχανικές διεργασίες	6,9	7,5	7,9	8,0	6,1	5,0	5,5	5,9	6,4	6,8	7,1	7,6	8,0
Λοιπές εκπομπές CO ₂	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Εκπομπές λοιπών αερίων θερμοκηπίου	23,1	23,2	23,5	23,5	18,7	17,4	17,1	16,8	16,4	15,2	15,3	15,7	15,9
Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	101,4	108,9	120,5	127,5	115,1	114,5	123,0	126,8	130,8	133,1	139,9	146,6	157,1
Σενάριο "Αναφοράς"													
Εκπομπές από καύση ορυκτών καυσίμων	71,1	78,0	88,9	95,8	84,4	74,6	76,2	79,1	74,7	68,8	69,7	70,8	73,5
Βιομηχανία	9,3	9,8	9,9	8,2	6,0	5,0	4,1	4,0	3,9	3,9	4,0	4,2	4,5
Οικιακός τομέας	4,6	4,8	7,5	9,7	9,7	9,3	9,8	10,4	10,7	10,4	10,0	9,6	8,9
Υψηλές	0,6	0,6	0,8	1,5	1,4	1,3	1,6	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7
Γεωργία	2,7	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
Μεταφορές	17,2	19,1	21,3	23,9	23,0	23,3	23,9	24,9	25,0	25,2	25,9	26,7	27,7
Ηλεκτροπαραγωγή	34,1	39,0	43,9	46,3	38,7	30,4	31,9	33,4	28,6	22,8	23,2	23,5	25,5
Λοιπός ενεργειακός τομέας	2,4	2,2	3,1	3,5	2,8	2,6	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	2,3
Εκπομπές από μη ενεργειακές δραστηριότητες	30,3	30,8	31,6	31,8	25,0	22,2	21,0	21,2	20,5	20,3	20,6	21,2	21,7
Εκπομπές CO ₂ από βιομηχανικές διεργασίες	6,9	7,5	7,9	8,0	6,1	5,0	5,5	5,9	6,3	6,6	6,7	7,0	7,2
Λοιπές εκπομπές CO ₂	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Εκπομπές λοιπών αερίων θερμοκηπίου	23,1	23,2	23,5	23,5	18,7	16,9	15,3	15,1	14,1	13,6	13,7	14,1	14,3
Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	101,4	108,9	120,5	127,5	109,3	96,7	97,3	100,4	95,2	89,1	90,2	92,0	95,1

Πηγή: PRIMES.

Πίνακας 4.2

Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στα σενάρια με το πρότυπο PRIMES σε εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂ (συνέχεια)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Σενάριο "ΑΠΕ"													
Εκπομπές από καύση ορυκτών καυσίμων	71,1	78,0	88,9	95,8	84,3	73,1	68,6	64,0	54,3	46,3	38,0	30,8	24,9
Βιομηχανία	9,3	9,8	9,9	8,2	6,0	5,1	4,0	3,8	3,8	3,5	3,2	2,6	2,0
Οικιακός τομέας	4,6	4,8	7,5	9,7	9,7	9,1	9,3	9,8	9,9	9,0	7,5	6,0	3,9
Υψηρές	0,6	0,6	0,8	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	0,8	0,5	0,3
Γεωργία	2,7	2,6	2,6	2,7	2,7	2,5	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,0	0,3
Μεταφορές	17,2	19,1	21,3	23,9	23,0	23,3	23,4	23,5	23,6	20,2	17,4	13,1	11,1
Ηλεκτροπαραγωγή	34,1	39,0	43,9	46,3	38,7	29,2	25,6	21,0	11,2	8,5	5,8	6,2	6,2
Λοιπός ενεργειακός τομέας	2,4	2,2	3,1	3,5	2,8	2,6	2,3	2,2	2,1	1,8	1,6	1,3	1,2
Εκπομπές από μη ενεργειακές δραστηριότητες	30,3	30,8	31,6	31,8	25,0	20,6	20,4	20,4	19,1	17,7	15,9	13,3	12,7
Εκπομπές CO ₂ από βιομηχανικές διεργασίες	6,9	7,5	7,9	8,0	6,1	5,0	5,5	5,9	6,0	5,1	3,5	0,9	0,6
Λοιπές εκπομπές CO ₂	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Εκπομπές λοιπών αερίων θερμοκηπίου	23,1	23,2	23,5	23,5	18,7	15,4	14,7	14,4	13,0	12,6	12,3	12,3	12,1
Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	101,4	108,9	120,5	127,5	109,3	93,7	88,9	84,5	73,4	64,1	53,9	44,1	37,5
Σενάριο "ΑΠΕ και CCS"													
Εκπομπές από καύση ορυκτών καυσίμων	71,1	78,0	88,9	95,8	84,3	73,0	70,2	50,7	51,6	46,7	41,6	33,9	26,6
Βιομηχανία	9,3	9,8	9,9	8,2	6,0	5,1	4,0	3,8	3,8	3,5	3,2	2,6	2,0
Οικιακός τομέας	4,6	4,8	7,5	9,7	9,7	9,1	9,3	9,8	10,0	9,1	7,6	6,1	4,0
Υψηρές	0,6	0,6	0,8	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	0,8	0,5	0,3
Γεωργία	2,7	2,6	2,6	2,7	2,7	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,6	0,7
Μεταφορές	17,2	19,1	21,3	23,9	23,0	23,3	23,4	23,5	23,6	20,2	17,4	13,1	11,1
Ηλεκτροπαραγωγή	34,1	39,0	43,9	46,3	38,7	29,2	27,2	7,6	8,5	8,8	9,1	8,6	7,4
Λοιπός ενεργειακός τομέας	2,4	2,2	3,1	3,5	2,8	2,6	2,3	2,2	2,1	1,8	1,6	1,4	1,2
Εκπομπές από μη ενεργειακές δραστηριότητες	30,3	30,8	31,6	31,8	25,0	20,6	20,4	20,4	19,1	17,7	15,9	13,3	12,7
Εκπομπές CO ₂ από βιομηχανικές διεργασίες	6,9	7,5	7,9	8,0	6,1	5,0	5,5	5,9	6,0	5,1	3,5	0,9	0,6
Λοιπές εκπομπές CO ₂	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Εκπομπές λοιπών αερίων θερμοκηπίου	23,1	23,2	23,5	23,5	18,7	15,4	14,7	14,4	13,0	12,6	12,3	12,3	12,1
Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	101,4	108,9	120,5	127,5	109,3	93,7	90,6	71,1	70,7	64,5	57,5	47,2	39,3

Πηγή: PRIMES.

Πίνακας 4.2

Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στα σενάρια με το πρότυπο PRIMES σε εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂ (συνέχεια)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Σενάριο "ΑΠΕ και πυρηνικά"													
Εκπομπές από καύση ορυκτών καυσίμων	71,1	78,0	88,9	95,8	84,3	73,0	70,1	69,5	60,0	49,4	44,1	35,9	30,4
Βιομηχανία	9,3	9,8	9,9	8,2	6,0	5,1	4,0	3,8	3,8	3,5	3,1	2,6	2,0
Οικιακός τομέας	4,6	4,8	7,5	9,7	9,7	9,1	9,3	9,8	10,0	9,1	7,6	6,1	4,0
Υπηρεσίες	0,6	0,6	0,8	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	0,8	0,5	0,3
Γεωργία	2,7	2,6	2,6	2,7	2,7	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,6	0,7
Μεταφορές	17,2	19,1	21,3	23,9	23,0	23,3	23,4	23,5	23,6	20,2	17,4	13,1	11,1
Ηλεκτροπαραγωγή	34,1	39,0	43,9	46,3	38,7	29,2	27,1	26,4	16,9	11,4	11,6	10,7	11,2
Λοιπός ενεργειακός τομέας	2,4	2,2	3,1	3,5	2,8	2,6	2,3	2,2	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2
Εκπομπές από μη ενεργειακές δραστηριότητες	30,3	30,8	31,6	31,8	25,0	20,6	20,4	20,4	19,1	17,8	15,9	13,3	12,7
Εκπομπές CO ₂ από βιομηχανικές διεργασίες	6,9	7,5	7,9	8,0	6,1	5,0	5,5	5,9	6,0	5,1	3,5	0,9	0,6
Λοιπές εκπομπές CO ₂	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Εκπομπές λοιπών αερίων θερμοκηπίου	23,1	23,2	23,5	23,5	18,7	15,4	14,7	14,4	13,0	12,6	12,3	12,3	12,1
Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	101,4	108,9	120,5	127,5	109,3	93,7	90,4	89,9	79,1	67,1	60,0	49,2	43,1

Πηγή: PRIMES.

Πίνακας 4.3

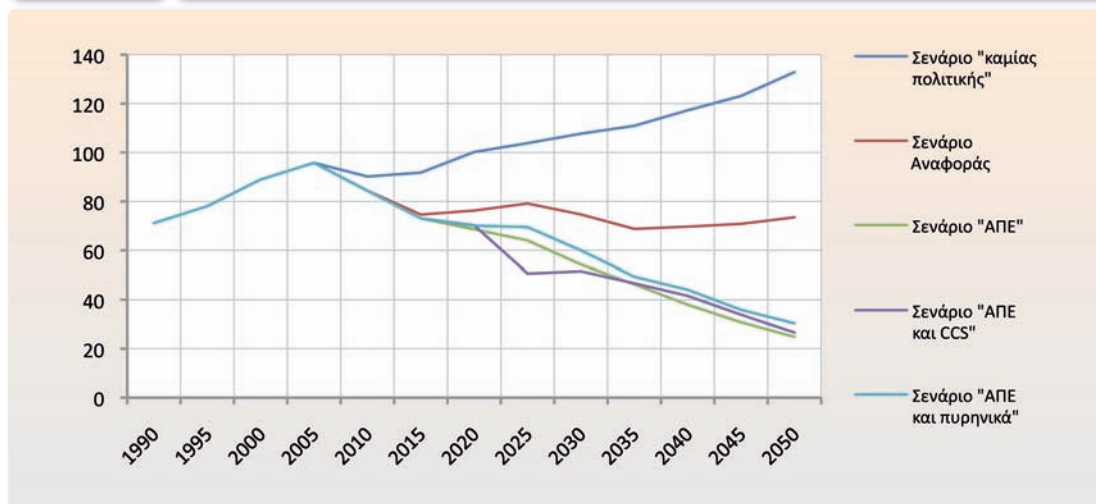
Μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στο Σενάριο Μετριασμού

Σενάριο "ΑΠΕ"	Εκατοστιαία μεταβολή έναντι Σεναρίου Αναφοράς 2020			Εκατοστιαία μεταβολή έναντι Σεναρίου "καμίας πολιτικής"		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Εκπομπές από καύση ορυκτών καυσίμων	-10,1	-27,3	-66,2	-31,6	-49,6	-81,3
Βιομηχανία	-2,4	-3,6	-55,9	-33,6	-33,0	-69,6
Οικιακός τομέας	-4,5	-7,8	-56,9	-11,8	-21,5	-69,9
Υπηρεσίες	-5,8	-13,1	-83,6	-11,6	-28,6	-87,0
Γεωργία	-4,3	-8,9	-90,7	-7,6	-14,6	-91,5
Μεταφορές	-2,3	-5,5	-59,9	-14,7	-21,8	-68,4
Ηλεκτροπαραγωγή	-19,7	-60,8	-75,7	-47,7	-78,3	-91,1
Λοιπός ενεργειακός τομέας	-3,4	-10,5	-48,2	-18,1	-33,1	-62,1
Εκπομπές από μη ενεργειακές δραστηριότητες	-3,2	-7,0	-41,4	-10,7	-17,1	-47,6
Εκπομπές CO ₂ από βιομηχανικές διεργασίες	-0,3	-5,2	-91,6	-0,5	-6,2	-92,5
Λοιπές εκπομπές CO ₂	-7,0	-18,6	-77,9	-25,9	-47,8	-88,7
Εκπομπές λοιπών αερίων θερμοκηπίου	-4,2	-7,6	-15,7	-13,8	-20,9	-24,4
Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	-8,6	-22,9	-60,5	-27,7	-43,9	-76,1

Πηγή: PRIMES.

θέτει κάθε τομέας μέσω διαφόρων ενεργειών. Σε κάθε ενέργεια το πρότυπο θεωρεί ότι το κόστος αυξάνεται μη γραμμικά ανάλογα με το εύρος ανάπτυξης κάθε ενέργειας συγκριτικά με τις δυνατότητες. Με τον τρόπο αυτό η βέλτιστη κατανομή της προσπάθειας μείωσης κατά

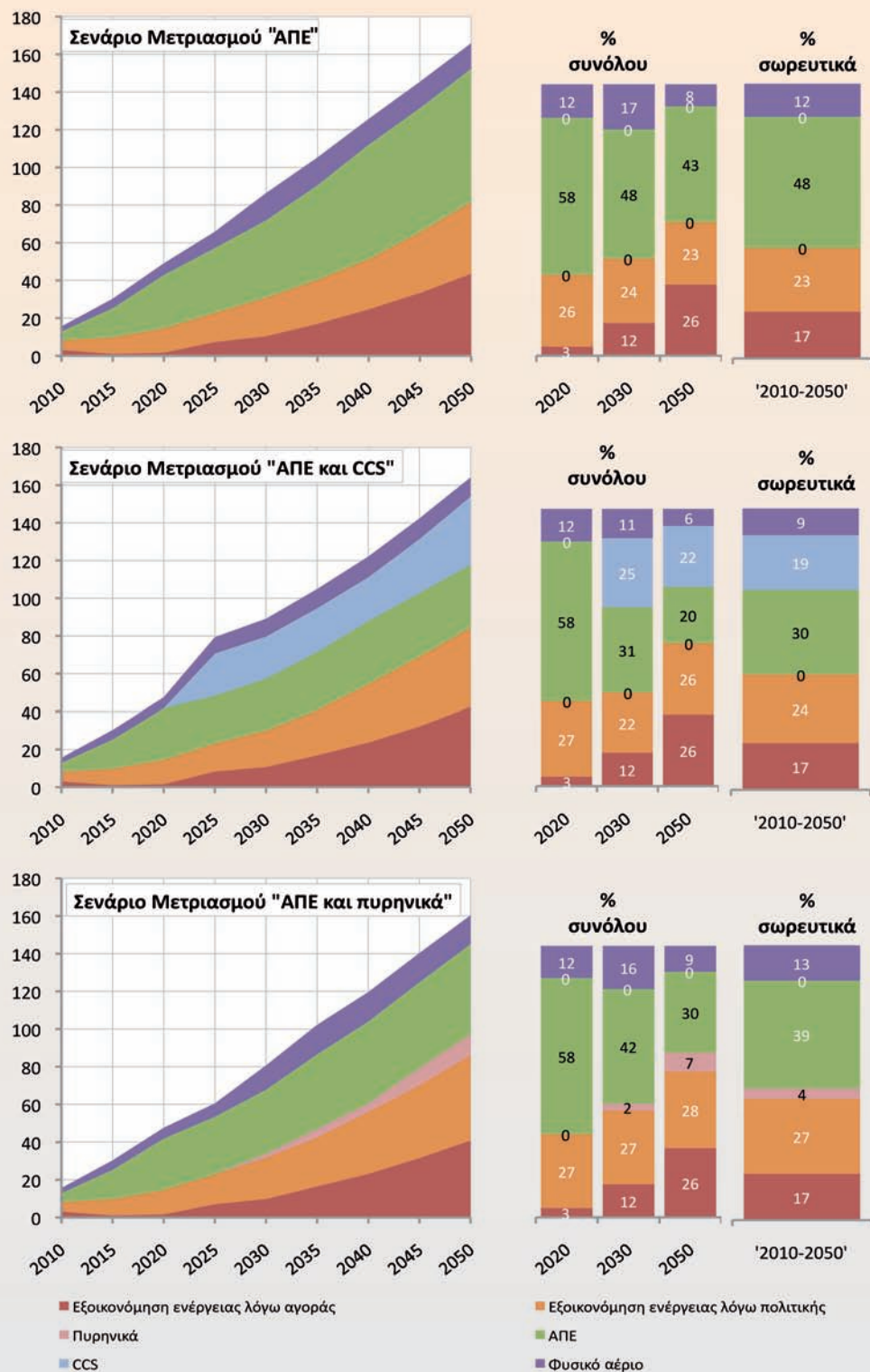
Διάγραμμα 4.5

Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂

Πηγή: PRIMES.

Διάγραμμα 4.6

Ανάλυση της συνεισφοράς διαφόρων μέσων στη μείωση των εκπομπών του ενεργειακού τομέα από τα επίπεδα του 2005 σε εκατ. τόνους CO₂



Πηγή: PRIMES.

Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

τομέα περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες και σε όλους τους τομείς, χωρίς εξάντληση των δυνατοτήτων. Για μέγιστη ευελιξία προσαρμογής και μείωση του συνολικού κόστους, είναι σημαντικό να μην αποκλείονται ενέργειες, ιδίως στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Για το σκοπό αυτό εξετάστηκαν εναλλακτικά σενάρια, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω.

Παρόμοια είναι η δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στις τρεις παραλλαγές του Σεναρίου Μετριασμού (Διάγραμμα 4.5 πιο πάνω).

Το Διάγραμμα 4.6 (προηγούμενη σελίδα) δείχνει τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον ενεργειακό τομέα συγκριτικά με τις εκπομπές του έτους 2005 και κατανέμει τη μείωση αυτή μεταξύ των διαφόρων τρόπων μείωσης των εκπομπών, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μαθηματικού προτύπου για κάθε Σενάριο Μετριασμού.

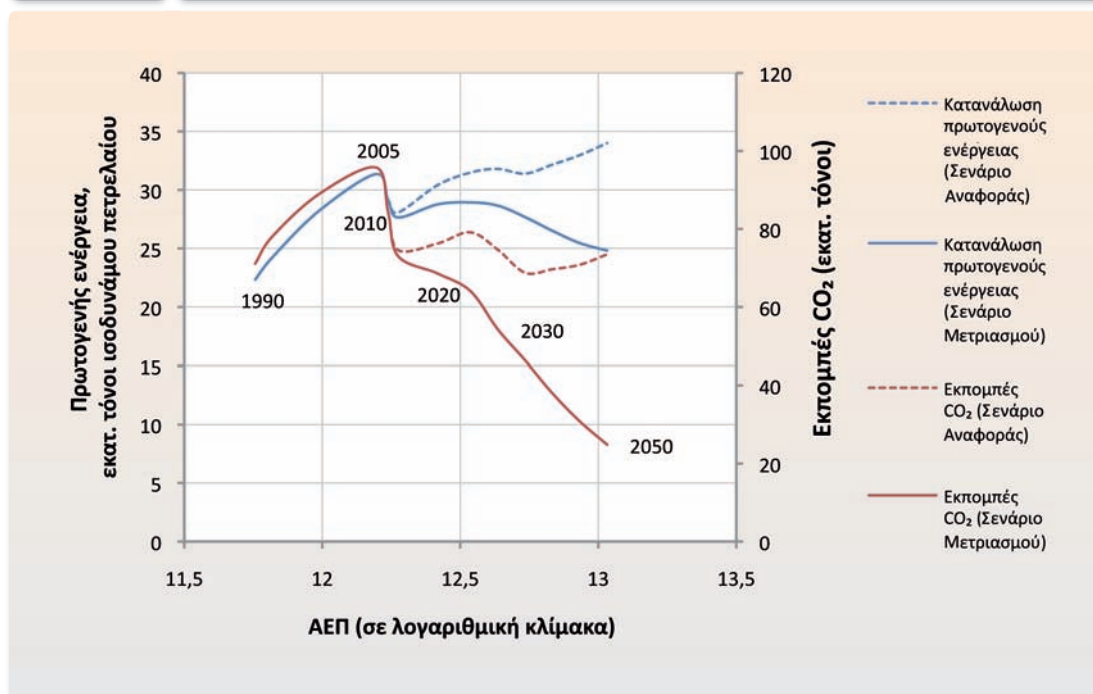
Η συνεισφορά της εξοικονόμησης ενέργειας είναι η μεγαλύτερη από όλους τους τρόπους μείωσης των εκπομπών και ευθύνεται, σωρευτικά για την περίοδο 2005-2050, για περισσότερο από το 40% της συνολικής μείωσης. Οι ΑΠΕ συνεισφέρουν κατά 48% στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” και μεταξύ 30% και 39% στα άλλα δύο σενάρια μετριασμού. Η συνεισφορά της δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ φθάνει το 19% της συνολικής μείωσης των εκπομπών και αναπτύσσεται μόνο στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και CCS”. Η συνεισφορά της πυρηνικής ενέργειας, που αναπτύσσεται μόνο στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και πυρηνικά”, είναι μικρή. Το φυσικό αέριο, υποκαθιστώντας άλλα ορυκτά καύσιμα, συνεισφέρει μεταξύ 9% και 12% στη συνολική μείωση των εκπομπών.

Η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ίσως η σημαντικότερη κατηγορία ενεργειών για τη μείωση των εκπομπών: η μείωση της ζήτησης ενέργειας μειώνει τις εκπομπές τόσο άμεσα, δηλαδή στις τελικές καταναλώσεις, όσο και έμμεσα, στην παραγωγή ενέργειας, ενώ παράλληλα είναι και η πιο οικονομική μορφή μείωσης των εκπομπών. Υπάρχουν όμως πολλά εμπόδια στην ανάληψη εκτεταμένης δράσης για την εξοικονόμηση ενέργειας, τα οποία συσχετίζονται με το γεγονός ότι οι σχετικές αποφάσεις αναλαμβάνονται από μεμονωμένα άτομα και επιχειρήσεις μικρής κλίμακας.

Η εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει εφόσον ο καταναλωτής αποφασίσει να δαπανήσει παραπάνω για αγορά εξοπλισμού ή για αναβάθμιση κτηρίων με σκοπό να δαπανά λιγότερα χρήματα κάθε έτος για τη λειτουργία του εξοπλισμού. Οι αποφάσεις αυτές λαμβάνονται με υποκειμενικά κριτήρια, στα οποία συνήθως υπεισέρχονται αφενός υψηλά επιτόκια αναγωγής (σαφώς υψηλότερα από αυτά που χρησιμοποιούν μεγάλες επιχειρήσεις ή το κράτος) και αφετέρου παράγοντας κινδύνου που οφείλεται σε ελλιπή πληροφόρηση σχετικά με τις νέες τεχνολογίες και την αποδοτικότητά τους. Αποφάσεις εξοικονόμησης ενέργειας που θεωρούνται αποδοτικές με βάση οικονομοτεχνικές μελέτες δεν λαμβάνονται στην πράξη λόγω των ανωτέρω παραγόντων.

Διάγραμμα 4.7

Αποδέσμευση του ΑΕΠ από τις εκπομπές CO₂ και την κατανάλωση ενέργειας

Πηγή: PRIMES.

Για την άρση των εμποδίων αυτών απαιτείται ισχυρή παρέμβαση του κράτους με σειρά μέτρων πολιτικής, στα οποία περιλαμβάνονται: η θέσπιση αυστηρών προδιαγραφών και κανονισμών, η εκτεταμένη πληροφόρηση, η δημιουργία χρηματοδοτικών μηχανισμών, η εφαρμογή μεθόδων χρηματοδότησης από τρίτους, όπως οι Εταιρίες Ενεργειακών Υπηρεσιών (ESCO), καθώς και η εφαρμογή συστημάτων εμπορεύσιμων πιστοποιητικών ενεργειακών παρεμβάσεων εξοικονόμησης, όπως τα Λευκά Πιστοποιητικά.

Στο πλαίσιο της μείωσης των εκπομπών για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, η ανάκαμψη της οικονομίας και η αύξηση του ΑΕΠ πρέπει, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, να γίνει παράλληλα με την αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος, ούτως ώστε να αποσυνδεθεί η αύξηση του ΑΕΠ από την αύξηση των εκπομπών. Στο πλαίσιο του Σεναρίου Μετριασμού πρέπει η εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε όλους τους τομείς να φθάσουν σε τέτοια επίπεδα ώστε η συνολική κατανάλωση ενέργειας να αποσυνδεθεί πλήρως από τη μεγέθυνση του ΑΕΠ και να μειώνεται συνεχώς ως απόλυτο μέγεθος από το επίπεδο της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του 2010. Η ανεξάρτηση από το ΑΕΠ στο Σενάριο Μετριασμού δείχνεται στο Διάγραμμα 4.7. Το διάγραμμα αυτό δείχνει επίσης ότι οι τρέχουσες πολιτικές (Σενάριο Αναφοράς) δεν επαρκούν για να οδηγήσουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας σε επίπεδα συμβατά με τους στόχους του Σεναρίου Μετριασμού.

Πίνακας 4.4

Δείκτες ενεργειακής έντασης και έντασης των εκπομπών CO₂ της εθνικής οικονομίας στα σενάρια μετριασμού

	2010	2020	2030	2050
Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ"				
Εκπομπές CO ₂ (Mt)	84,36	68,58	54,26	24,85
Ενεργειακή ένταση (toe/M€05)	141,05	116,42	93,22	54,31
Συσχέτιση εκπομπών και ΑΕΠ (t CO ₂ /M€05)	408,22	277,60	176,49	54,40
Ανθρακική Ένταση της Ενέργειας (t CO ₂ /τιμ πρωτογενούς ενέργειας)	2,89	2,38	1,89	1,43
Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και CCS"				
Εκπομπές CO ₂ (Mt)	84,36	70,20	51,59	26,61
Ενεργειακή ένταση (toe/M€05)	141,05	117,59	102,72	62,71
Συσχέτιση εκπομπών και ΑΕΠ (t CO ₂ /M€05)	408,22	284,16	167,84	58,25
Ανθρακική Ένταση της Ενέργειας (t CO ₂ /τιμ πρωτογενούς ενέργειας)	2,89	2,42	1,63	0,93
Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και πυρηνικά"				
Εκπομπές CO ₂ (Mt)	84,36	70,07	60,02	30,38
Ενεργειακή ένταση (toe/M€05)	141,05	117,46	96,63	57,93
Συσχέτιση εκπομπών και ΑΕΠ (t CO ₂ /M€05)	408,22	283,61	195,24	66,50
Ανθρακική Ένταση της Ενέργειας (t CO ₂ /τιμ πρωτογενούς ενέργειας)	2,89	2,41	2,02	1,15

Πηγή: PRIMES.

Ο κομβικός ρόλος της ηλεκτρικής ενέργειας στα σενάρια μετριασμού

Η ανάλυση δείχνει ότι ο ρόλος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι καίριας σημασίας για τη μείωση των εκπομπών στα επιθυμητά επίπεδα, και αυτό επιτυγχάνεται με τρεις τρόπους: με το σχεδόν μηδενισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή, με την επέκταση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε τελικές ενεργειακές χρήσεις, κυρίως μέσω των αντλιών θερμότητας αλλά και με άλλες μεθόδους, καθώς και με τη γενίκευση της ηλεκτροκίνησης στις οδικές μεταφορές. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε τελικές ενεργειακές χρήσεις οδηγεί σε θεαματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των οδικών μεταφορών. Η επέκταση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε τελικές χρήσεις απαιτεί μέτρα πολιτικής και νέες υποδομές και έχει νόημα μόνο αν συντονίζεται με την εξέλιξη της διαδικασίας δραστηκής μείωσης των εκπομπών στην ηλεκτροπαραγωγή.

Η ανθρακική ένταση της ηλεκτροπαραγωγής (Διάγραμμα 4.8) μειώνεται θεαματικά στα σενάρια μετριασμού, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να αποτελεί μακροχρόνια ενεργειακό μέσον με σχεδόν μηδενικές εκπομπές και έτσι να καθίσταται σκόπιμη η υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων από την ηλεκτρική ενέργεια στις τελικές ενεργειακές χρήσεις. Η αντίστοιχη μείωση στο Σενάριο Αναφοράς (συγκριτικά με το Σενάριο "καμίας πολιτικής") είναι σημαντική, όμως είναι ανεπαρκής για τη δραστηκή μείωση των εκπομπών συνολικά στο σύστημα.

Διάγραμμα 4.8

Ανθρακική ένταση της ηλεκτροπαραγωγής
(Τόνοι CO₂/MWh)



Πηγή: PRIMES.

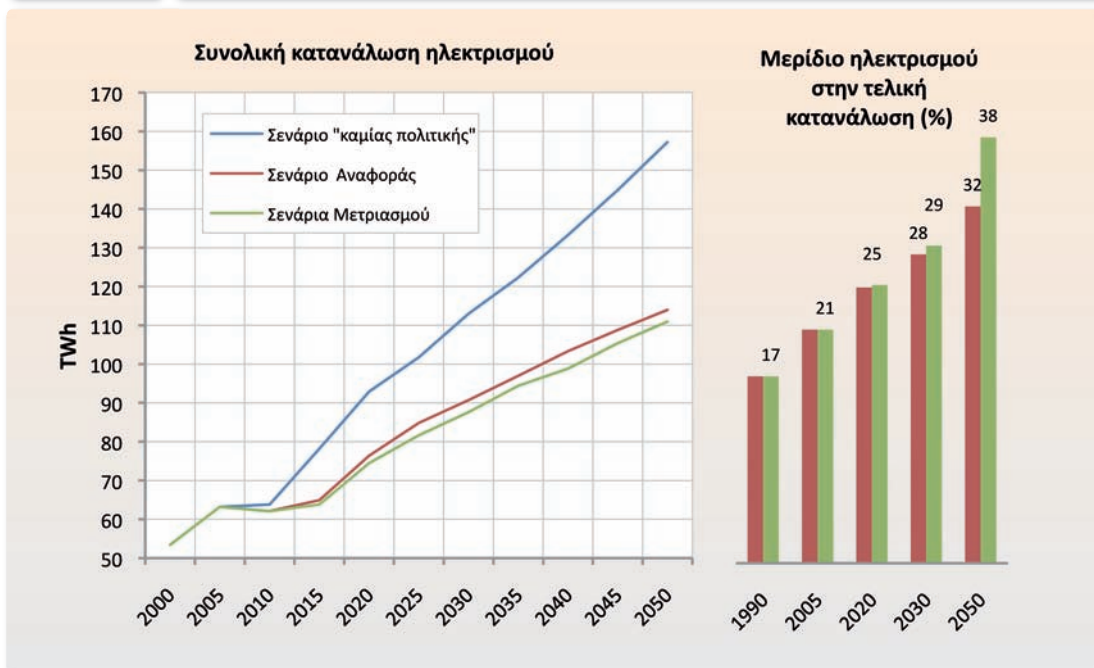
Τα αποτελέσματα (Διάγραμμα 4.9) δείχνουν ότι στο Σενάριο Μετριασμού (σε όλες τις παραλλαγές) η ηλεκτρική ενέργεια κατακτά μεγαλύτερο μερίδιο στη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς. Ταυτόχρονα όμως, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε απόλυτα μεγέθη μειώνεται στα Σενάρια Μετριασμού συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς, και ακόμα περισσότερο συγκριτικά με το Σενάριο “καμίας πολιτικής”, επειδή τα Σενάρια Μετριασμού περιλαμβάνουν μεγαλύτερη προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας και βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Χάρη στην εξοικονόμηση, η κατανάλωση ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής, μειώνεται στους τομείς των οικιών, κτηρίων και βιομηχανιών στο πλαίσιο των Σεναρίων Μετριασμού συγκριτικά με τα λοιπά σενάρια. Η μείωση αυτή προκύπτει της ίδιας τάξεως μεγέθους με την αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στις μεταφορές, η οποία είναι θεαματική στο πλαίσιο των Σεναρίων Μετριασμού, ενώ η ηλεκτροκίνηση των οδικών μεταφορών δεν αναπτύσσεται στο πλαίσιο των λοιπών σεναρίων. Χωρίς το εύρος εξοικονόμησης ενέργειας που λαμβάνει χώρα στο πλαίσιο των Σεναρίων Μετριασμού, η πρόσθετη κατανάλωση στις μεταφορές θα επιβάρυνε την ηλεκτροπαραγωγή και θα καθιστούσε δυσκολότερη την απεξάρτηση από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (βλ. Διάγραμμα 4.10).

Το Σενάριο Μετριασμού καταδεικνύει ακριβώς τα αποτελέσματα μιας “συστημικής” προσέγγισης της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής, δηλαδή πολιτικής που συντονίζει τις δράσεις μεταξύ των τομέων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Επομένως, η αναδιάρθρωση της ηλεκτροπαραγωγής προς την κατεύθυνση της δραστηκής μείωσης των εκπομπών είναι κατά συνέπεια επιλογή κομβικής σημασίας, η οποία όμως απαι-

Διάγραμμα 4.9

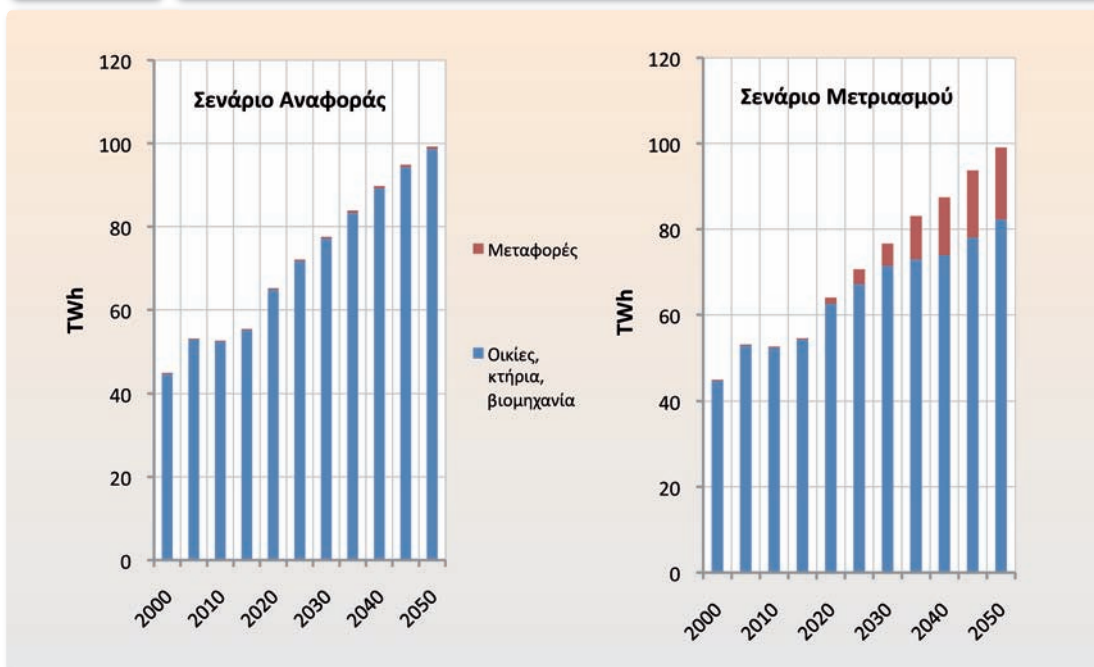
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και μερίδια στην τελική κατανάλωση ενέργειας



Πηγή: PRIMES.

Διάγραμμα 4.10

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τομέα



Πηγή: PRIMES.

τεί πολύ χρόνο και συνέπεια ώστε να πραγματοποιηθεί χωρίς επιπτώσεις στην ασφάλεια και αξιοπιστία της τροφοδοσίας των καταναλωτών. Πέραν της διασφάλισης κατάλληλων συνθηκών για την πραγματοποίηση των αναγκαίων επενδύσεων στην ηλεκτροπαραγωγή, απαιτείται και η συνεπής ανάπτυξη, επί μακρό χρόνο, των έργων υποδομής στα δίκτυα και τις διασυνδέσεις, για τα οποία θα χρειαστούν δαπάνες πολλαπλάσιες του σημερινού ύψους.

Η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα αποτελεί μια περίπλοκη και μακρόχρονη διαδικασία, η οποία οφείλει να ξεκινήσει αρκετά νωρίς. Η επίτευξη σχεδόν μηδενικών εκπομπών άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή αποδεικνύεται εφικτός στόχος, ωστόσο απαιτεί καίριες στρατηγικές αποφάσεις κατά την περίοδο 2015-2030. Χωρίς την έγκαιρη αυτή προσαρμογή της στρατηγικής, το κόστος επίτευξης των στόχων του Σεναρίου Μετριασμού (σε μορφή σωρευτικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2010-2050) θα είναι σημαντικά αυξημένο.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι κύρια επιλογή σε όλα τα Σενάρια Μετριασμού

Η Ελλάδα έχει αναμφισβήτητα σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και επομένως όλες οι παραλλαγές του Σεναρίου Μετριασμού περιλαμβάνουν αξιόλογη ανάπτυξη της χρήσης των ΑΠΕ, ιδίως στην ηλεκτροπαραγωγή. Οι τρέχουσες πολιτικές, που αποτυπώνονται στο Σενάριο Αναφοράς, επίσης φιλοδοξούν να υπάρξει σημαντική ανάπτυξη της χρήσης των ΑΠΕ συγκριτικά με τα σημερινά επίπεδα, τα οποία είναι ιδιαίτερα χαμηλά.

Ο Πίνακας 4.5 παρουσιάζει τον υπολογισμό των δεικτών ΑΠΕ κατά τη Eurostat σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μαθηματικού προτύπου για τα διάφορα σενάρια. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για τον έλεγχο συμμόρφωσης των κρατών-μελών προς την Οδηγία για τις ΑΠΕ.

Το Σενάριο Αναφοράς επιτυγχάνει τους στόχους για τις ΑΠΕ το 2020 (βλ. γενικό δείκτη ΑΠΕ) και περαιτέρω τους βελτιώνει μακροχρόνια. Και οι τρεις παραλλαγές του Σεναρίου Μετριασμού επιτυγχάνουν σαφώς υψηλότερες επιδόσεις σχετικά με τους δείκτες ΑΠΕ συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς. Αυτό οφείλεται αφενός στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω εκτεταμένης εξοικονόμησης στα σενάρια αυτά (η κατανάλωση υπεισέρχεται στον παρονομαστή των δεικτών ΑΠΕ) και αφετέρου στη δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Χαρακτηριστική είναι η θεαματική άνοδος του δείκτη ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη στα Σενάρια Μετριασμού συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς. Η μεγάλη άνοδος του δείκτη ΑΠΕ στις μεταφορές οφείλεται εν μέρει στα βιοκαύσιμα, αλλά περισσότερο οφείλεται στον εξηλεκτρισμό των μεταφορών σε συνδυασμό με τη μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.

Η οργάνωση του μελλοντικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής με μεγάλη συνεισφορά των ΑΠΕ είναι μια σημαντική οικονομική και τεχνική πρόκληση. Στοχαστικές ΑΠΕ θεωρούνται οι μορφές εκείνες, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, για τις οποίες η ηλεκτροπαραγωγή εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της πρωτογενούς ενέργειας και όχι από τις αποφάσεις φόρτισης μονάδων από το διαχειριστή του συστήματος. Σύστημα με μεγάλο ποσοστό στοχαστικών ΑΠΕ

Πίνακας 4.5

Δείκτες ΑΠΕ (κατά Eurostat) ως ποσοστό % της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας στα διάφορα σενάρια

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Σενάριο Αναφοράς						
ΑΠΕ θέρμανσης-ψύξης	13,7	13,0	22,9	16,9	17,2	17,6
ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής	7,1	14,8	38,7	45,6	48,3	44,4
ΑΠΕ μεταφορών	0,0	2,2	8,1	9,0	9,6	9,5
Γενικός δείκτης ΑΠΕ	7,2	9,3	21,5	22,8	24,9	24,4
Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ"						
ΑΠΕ θέρμανσης-ψύξης	13,7	13,0	23,8	19,6	23,3	34,8
ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής	7,1	14,8	45,7	62,8	78,2	77,4
ΑΠΕ μεταφορών	0,0	2,2	9,1	16,4	46,8	64,2
Γενικός δείκτης ΑΠΕ	7,2	9,3	23,8	29,3	45,4	61,6
Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και CCS"						
ΑΠΕ θέρμανσης-ψύξης	13,7	13,0	23,8	19,1	21,8	32,6
ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής	7,1	14,8	43,7	44,6	44,8	40,5
ΑΠΕ μεταφορών	0,0	2,2	9,1	13,9	36,6	51,5
Γενικός δείκτης ΑΠΕ	7,2	9,3	23,3	23,8	31,5	41,1
Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και πυρηνικά"						
ΑΠΕ θέρμανσης-ψύξης	13,7	13,0	23,8	19,0	21,8	32,6
ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής	7,1	14,8	43,8	49,9	51,7	46,1
ΑΠΕ μεταφορών	0,0	2,2	9,1	14,7	38,9	53,7
Γενικός δείκτης ΑΠΕ	7,2	9,3	23,3	25,1	34,1	44,3

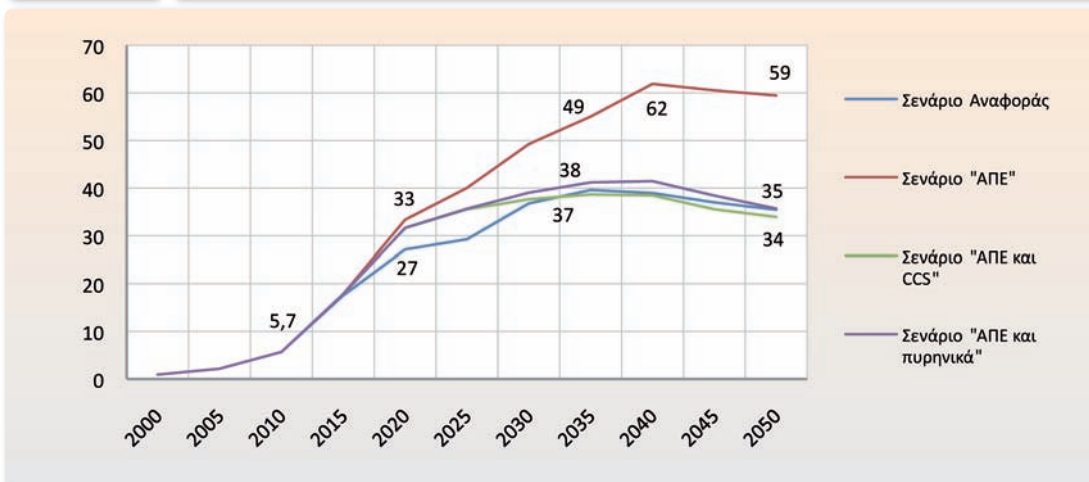
Πηγή: PRIMES.

θα απαιτεί μεγάλη εφεδρεία θερμικών μονάδων ή μεγάλης έκτασης αποθηκευτικά συστήματα. Κατά τις περιόδους χαμηλού φορτίου θα απαιτείται η περικοπή των στοχαστικών ΑΠΕ σε περίπτωση ανεπαρκών αποθηκευτικών δυνατοτήτων. Η οργάνωση της αγοράς θα είναι επίσης διαφορετική από τη σημερινή, δεδομένου ότι μεγάλο ποσοστό της παραγωγής θα αμείβεται κατά προτεραιότητα και μάλιστα σε προκαθορισμένες τιμές.

Τα ζητήματα αυτά τίθενται και για το Σενάριο Αναφοράς, και μάλιστα για το χρονικό ορίζοντα του 2020, οπότε 30% της ηλεκτροπαραγωγής θα προέρχεται από στοχαστικά ΑΠΕ.

Στο Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ", το ποσοστό των στοχαστικών ΑΠΕ θα πρέπει να αυξηθεί περαιτέρω και να φθάσει το 60% περίπου κατά την περίοδο μετά το 2035. Τα τεχνικά και οικονομικά ζητήματα που θα πρέπει να επιλυθούν ώστε να διατηρηθεί η αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος είναι σημαντικά. Η προσομοίωση με το μαθηματικό πρότυπο έχει βασιστεί στην υπόθεση της ανάπτυξης αποθηκευτικών συστημάτων (υδροηλεκτρικά και υδρογόνο) σε συνδυασμό με έξυπνα δίκτυα.

Διάγραμμα 4.11

Στοχαστικές ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
(Ποσοστά %)

Πηγή: PRIMES.

Τα εναλλακτικά σενάρια μετριασμού διατηρούν το ποσοστό των στοχαστικών ΑΠΕ σε χαμηλότερα επίπεδα (κάτω του 40% σε όλη την περίοδο) και επομένως, τεχνικά, είναι περισσότερο εφαρμόσιμα σε σχέση με τη λειτουργία του συστήματος. Όμως εμπεριέχουν άλλες σημαντικές κατηγορίες αβεβαιότητας, όπως η αποθήκευση CO₂ ή η πυρηνική ενέργεια. Το στρατηγικό πρόβλημα της ανάπτυξης της ηλεκτροπαραγωγής προέρχεται από τη διαπίστωση ότι θερμική παραγωγή βασικού φορτίου με παραδοσιακή μορφή, δηλαδή με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, δεν είναι διατηρήσιμη στο πλαίσιο του Σεναρίου Μετριασμού, ακόμα και αν η παραγωγή από λιγνίτες υποκατασταθεί πλήρως από παραγωγή με φυσικό αέριο. Ο σχεδόν μηδενισμός των εκπομπών στην ηλεκτροπαραγωγή είναι απαραίτητη προϋπόθεση ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να αποτελεί το κατάλληλο μέσον υποκατάστασης ορυκτών καυσίμων στην τελική κατανάλωση και ιδίως στις μεταφορές.

Στο Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και CCS", η ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι επίσης σημαντική, ωστόσο η ηλεκτροπαραγωγή βασικού φορτίου επιτυγχάνεται μέσω σταθμών στερεών καυσίμων που δεσμεύουν το CO₂. Η αβεβαιότητα ως προς την αξιοπιστία του συστήματος είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με το Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ", καθώς οι στοχαστικές ΑΠΕ έχουν μικρότερο μερίδιο στο μείγμα της παραγωγής. Όμως, η χρησιμοποίηση των τεχνολογιών CCS προϋποθέτει να αμβλυνθούν οι αντιδράσεις που έχουν ήδη εκδηλωθεί, οι οποίες εστιάζονται στην επιλογή του χώρου αποθήκευσης του συλλεγόμενου CO₂, και να επιλυθούν τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με τη γεωλογική αποθήκευση.

Στο Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και πυρηνικά", η ηλεκτροπαραγωγή βασικού φορτίου γίνεται με πυρηνική ενέργεια που αναπτύσσεται μετά το 2030, παράλληλα με μεγάλη ανάπτυξη των ΑΠΕ. Η αξιοπιστία του συστήματος είναι εξασφαλισμένη, όμως η αβεβαιότητα σχετικά με την

ανάπτυξη πυρηνικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι πολύ μεγάλη. Αυτή αφορά στη διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων, στη διατήρηση πολύ υψηλών προδιαγραφών ασφαλείας στην όλη δραστηριότητα σχετικά με την πυρηνική ενέργεια, στο κόστος κατασκευής, δεδομένου ότι η χώρα δεν διαθέτει σχετική τεχνογνωσία και επιπλέον η αντισεισμική θωράκιση των κατασκευών θα είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, και, βέβαια, στο πρόβλημα αποδοχής από την κοινή γνώμη και τους κατοίκους των περιοχών κοντά στους σταθμούς. Με τα σημερινά δεδομένα κρίνεται ότι, στην περίπτωση της Ελλάδος, η αβεβαιότητα σχετικά με την πυρηνική ενέργεια υπερβαίνει τα ενδεχόμενα οφέλη από τη χρήση της. Παρά ταύτα, για λόγους πληρότητας, η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει ποσοτικοποίηση του σχετικού σεναρίου, για το οποίο όμως χρησιμοποιεί την υπόθεση ότι η μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με την πυρηνική ενέργεια αντιμετωπίζεται με επιτυχία.

Στρατηγική σημασία του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα αποτελέσματα του μαθηματικού προτύπου για όλες τις παραλλαγές του Σεναρίου Μετριασμού καταδεικνύουν ότι, σε κάθε περίπτωση και για όλο το χρονικό ορίζοντα των προβολών, ο ρόλος του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή (αλλά και στην τελική κατανάλωση ενέργειας) παραμένει ιδιαίτερα σημαντικός.

Η ηλεκτροπαραγωγή από φυσικό αέριο διατηρείται και επεκτείνεται σε όλα τα σενάρια μετριασμού, με όχι μεγάλο μερίδιο στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά με μεγάλη συμμετοχή της ισχύος των μονάδων φυσικού αερίου στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος. Ο λόγος είναι ότι οι μονάδες φυσικού αερίου (ιδίως αυτές με ευελιξία στην άνοδο φορτίου) είναι οι κατάλληλες για την κάλυψη των αναγκών εφεδρείας και για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος, τόσο στο σενάριο με τη μέγιστη ανάπτυξη ΑΠΕ όσο και στις λοιπές παραλλαγές του Σεναρίου Μετριασμού. Τα σενάρια αυτά περιλαμβάνουν ΑΠΕ σε μεγάλη έκταση και θερμικές ή πυρηνικές μονάδες κατάλληλες μόνο για το φορτίο βάσης, αλλά όχι για το κυμαινόμενο φορτίο. Κατά συνέπεια, σε όλες τις περιπτώσεις θα απαιτηθεί σε μεγάλη έκταση η διατήρηση ισχύος σε μονάδες φυσικού αερίου. Επιπλέον το φυσικό αέριο έχει τις χαμηλότερες εκπομπές CO₂, μεταξύ των συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Σημασία της ολοκλήρωσης της περιφερειακής αγοράς

Για την αξιόπιστη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος θα απαιτηθεί μεγαλύτερη ευελιξία στις εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας με τρόπο ώστε το ηλεκτρικό σύστημα της ευρύτερης περιοχής να μπορεί να συνεισφέρει στην εξισορρόπηση φορτίου.

Ο συντονισμός των διαχειριστών συστημάτων και η δημιουργία μόνιμου μηχανισμού για από κοινού εξισορρόπηση φορτίου στην περιφερειακή αγορά της Νοτιοανατολικής Ευρώπης προβλέπονται στο πλαίσιο της τρέχουσας πολιτικής για την ενιαία ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας, καθώς και στο πλαίσιο της Ενεργειακής Κοινότητας. Η ολοκλήρωση της περιφερειακής αγοράς αποκτά μεγάλη σημασία στην προοπτική της αναδιάρθρωσης των ηλεκτρικών συστημάτων

με σκοπό τη δραστική μείωση των εκπομπών και την ανάπτυξη ΑΠΕ σε μεγάλη κλίμακα. Η προσομοίωση με το μαθηματικό πρότυπο βασίζεται στην υπόθεση ότι η εξισορρόπηση φορτίου θα μπορεί να γίνεται στο μέλλον σε περιφερειακό επίπεδο, πράγμα που μειώνει το κόστος ανάπτυξης εφεδρικών συστημάτων στην Ελλάδα. Παρά την κοινή εξισορρόπηση φορτίου, η προβολή για το Σενάριο Μετριασμού δεν περιλαμβάνει σημαντική μεταβολή των συνολικών εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.

Μεγάλες επενδύσεις σε ενεργειακές υποδομές

Οι επενδύσεις σε υποδομές για όλους τους τομείς της ενέργειας είναι σημαντικές σε μέγεθος και μεγάλης σημασίας για την αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος. Οι νέες υποδομές θα κληθούν να διασυνδέουν τα νησιά με το ηπειρωτικό σύστημα, να διευκολύνουν μεγάλη ανάπτυξη ΑΠΕ μικρής κλίμακας στο επίπεδο των τελικών καταναλωτών με σύνδεση στα δίκτυα χαμηλής και μέσης τάσης, να τροφοδοτούν τα μέσα μεταφοράς με ηλεκτρική ενέργεια, να διαθέτουν “έξυπνα” συστήματα γρήγορης προσαρμογής στις μεταβολές του φορτίου και της παραγωγής των ΑΠΕ, να αποθηκεύουν ενέργεια, να παρέχουν φυσικό αέριο με ευέλικτο τρόπο και αξιοπιστία και να έχουν σε ετοιμότητα μεγάλης έκτασης ευέλικτες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.

Από οικονομικής πλευράς θα αναδειχθεί ως σημαντικό ζήτημα ο τρόπος χρηματοδότησης και προσέλκυσης κεφαλαίων για τις μεγάλου ύψους επενδύσεις σε ενεργειακές υποδομές που θα απαιτηθούν στο Σενάριο Μετριασμού.

Το τμήμα του ενεργειακού τομέα που θα λειτουργεί σε καθεστώς ρυθμιζόμενων τιμολογίων φυσικού μονοπωλίου θα μεγεθυνθεί, ενώ, λαμβανομένου επίσης υπόψη ότι οι ΑΠΕ θα τελούν υπό καθεστώς υποχρεωτικής αγοράς, το ανταγωνιστικό τμήμα της αγοράς ενέργειας θα συρρικνωθεί σημαντικά.

Κατά συνέπεια, η κρατική παρέμβαση και ρύθμιση θα είναι μεγάλης σημασίας για τη διατήρηση της οικονομικότητας και αξιοπιστίας της παροχής ενέργειας προς τους καταναλωτές.

Εξέλιξη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας

Η ανάλυση επιβεβαιώνει ότι υπάρχουν ευρέα περιθώρια μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας. Σ’ αυτό συμβάλλει η λήψη μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια και οικίες, την προώθηση της επιλογής αποδοτικότερων συσκευών και εξοπλισμού από τους καταναλωτές, τη δυναμική διείσδυση νέων τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών και την υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων από τον ενεργειακά αποδοτικότερο ηλεκτρισμό σε όλους τους τομείς κατανάλωσης, ιδίως στις μεταφορές.

Από τη σύγκριση με την ανάλυση για το Σενάριο “καμίας πολιτικής” διαπιστώνεται ότι επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της τελικής κατανάλωσης τόσο στα Σενάρια Μετριασμού όσο, εν μέρει, και στο Σενάριο Αναφοράς (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6

Εξοικονόμηση ενέργειας κατά τομέα: ποσοστό % μεταβολής έναντι του Σεναρίου "καμίας πολιτικής"

	Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ"			Σενάριο Αναφοράς		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Τελική κατανάλωση ενέργειας						
Ενεργειοβόρος βιομηχανία	-8	-15	-35	-8	-14	-19
Μη ενεργειοβόρος μεταποίηση	-10	-13	-36	-10	-13	-12
Οικιακός τομέας	-11	-17	-43	-8	-15	-26
Τριτογενής τομέας	-16	-25	-62	-11	-17	-24
Μεταφορές	-12	-18	-45	-11	-16	-20
Οικίες και κτήρια υπηρεσιών						
Θέρμανση-Ψύξη	-10	-19	-50	-7	-14	-26
Ηλεκτρικές χρήσεις	-21	-25	-55	-17	-20	-26
Δείκτες Ενεργειακής Έντασης						
Ενέργεια ανά τετρ. μέτρο κτηρίων	-7	-16	-48	-4	-12	-27
Κατανάλωση αυτοκινήτων ανά 100 χλμ.	-17	-20	-46	-13	-15	-20
Κατανάλωση αεροπλάνων ανά 100 χλμ.	-10	-14	-38	-10	-14	-14
Δείκτης ειδικής ενεργ. κατανάλωσης στη βιομηχανία	-9	-14	-35	-8	-14	-16

Πηγή: PRIMES.

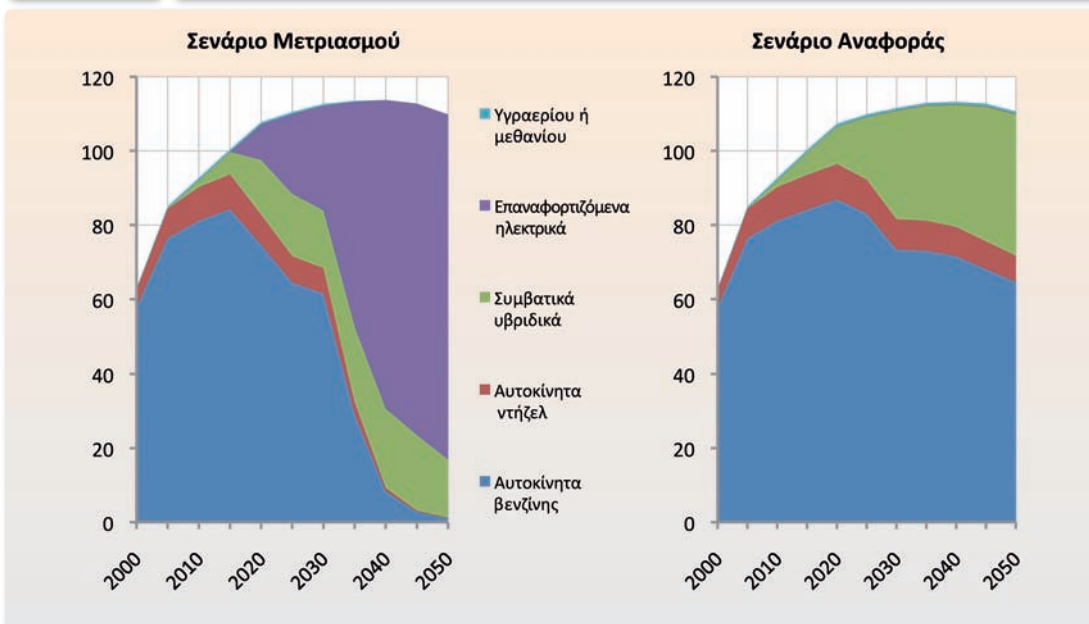
Η εξοικονόμηση ενέργειας περιλαμβάνει κινήσεις για αποδοτικότερη θέρμανση και ψύξη στα κτήρια γραφείων και στις κατοικίες, αλλά και χρήση πιο αποδοτικών ηλεκτρικών συσκευών σε όλους τους τομείς, καθώς και στο φωτισμό. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι αντλίες θερμότητας για θέρμανση, ψύξη και κάλυψη θερμικών αναγκών χαμηλής ενθαλπίας στα κτήρια, τις κατοικίες και τη βιομηχανία. Οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν αέρα ή και γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας ως μέσο άντλησης ανανεώσιμης ενέργειας.

Παρά το ότι στο Σενάριο Αναφοράς και στα Σενάρια Μετριασμού έχουν υιοθετηθεί περίπου οι ίδιες ρυθμίσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας, παρατηρείται μεγαλύτερη εξοικονόμηση στα Σενάρια Μετριασμού, σε όλους τους τομείς. Η διαφορά για τις καταναλώσεις ενέργειας στη βιομηχανία, τα νοικοκυριά και τον τριτογενή τομέα είναι κυρίως αποτέλεσμα των υψηλών τιμών του CO₂ και της επιβολής τους σε όλους τους οικονομικούς τομείς. Για τον τομέα των μεταφορών, η διαφορά αποδίδεται στη δυναμικότερη διεύθυνση του ηλεκτρισμού στον εν λόγω τομέα, ο οποίος είναι ενεργειακά περισσότερο αποδοτικός σε σχέση τόσο με τις συμβατικές τεχνολογίες όσο και με τεχνολογίες υβριδικών οχημάτων.

Μεγάλης έκτασης είναι οι αλλαγές που προβλέπονται ειδικά για τον τομέα των μεταφορών. Βραχυχρόνια, τα νέα αυτοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας υποχρεούνται να διαθέτουν βελτιω-

Διάγραμμα 4.12

Διάρθρωση του στόλου αυτοκινήτων κατά τεχνολογία
(Εκατ. επιβατο-χλμ.)



Πηγή: PRIMES.

μένους κινητήρες, ώστε οι εκπομπές τους να συνάδουν με τις απαιτήσεις των κανονισμών της ΕΕ. Σε μέσο χρονικό ορίζοντα πρωταγωνιστούν τα οχήματα με υβριδικό κινητήρα, τα οποία σταδιακά θα διαθέτουν συσσωρευτές που θα φορτίζονται από το δίκτυο χαμηλής τάσης. Τέλος, σε πιο μακρό χρονικό ορίζοντα επικρατούν τα ηλεκτρικά οχήματα (βλ. Διάγραμμα 4.12). Προβλέπονται επίσης σημαντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα λοιπά μεταφορικά μέσα, ιδίως στα φορτηγά, πλοία και αεροπλάνα, και χρήση βιοκαυσίμων σε ανάμιξη με πετρελαιοειδή καύσιμα (Πίνακας 4.7 πιο κάτω).

Ο Πίνακας 4.7 καταδεικνύει το σημαντικό ρόλο που η βιομάζα καλείται να διαδραματίσει στο πλαίσιο του Σεναρίου Μετριασμού. Νέες τεχνολογίες επεξεργασίας της βιομάζας και των αποβλήτων αναμένεται να φθάσουν σε εμπορική ωριμότητα προ του 2020 (π.χ. τεχνολογία Fischer-Tropsch) και να εφαρμοστούν σε βιομηχανική κλίμακα, ώστε να αξιοποιήσουν λιγνοκυταρικές καλλιέργειες, οι οποίες μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλη κλίμακα στην ελληνική γεωργία χωρίς παρενέργειες για την παραγωγή τροφίμων και χωρίς σημαντικές εκπομπές κατά τη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας της βιομάζας. Η βιομάζα θα αποτελέσει ένα νέο σημαντικό τομέα δραστηριότητας, που θα βοηθήσει τη γεωργία και θα δημιουργήσει πολλές νέες θέσεις εργασίας.

Το μείγμα καυσίμων της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης διαμορφώνεται ως εξής (Πίνακας 4.8):

- Η δυναμική διείσδυση της χρήσης του ηλεκτρισμού στα Σενάρια Μετριασμού οδηγεί μακροπρόθεσμα σε ουσιώδη μεταβολή του μείγματος της ενεργειακής κατανάλωσης.

Πίνακας 4.7

Κατανάλωση βιομάζας σε διάφορες μορφές και τομείς σε χιλιάδες τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου

	2000	Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ"			Σενάριο Αναφοράς		
		2020	2030	2050	2020	2030	2050
Καύσιμα μεταφορών	136	477	501	2664	529	590	632
Βιοβενζίνη	59	269	269	476	312	356	359
Βιοντήζελ	77	208	199	709	216	234	274
Βιοκηροζίνη	0	0	9	632	0	0	0
Βιοκαύσιμα πλοίων	0	0	24	846	0	0	0
Καύσιμα για ηλεκτρισμό και ατμό	140	1001	1426	2174	962	1034	1240
Στερεή βιομάζα	75	766	994	1638	740	606	803
Απόβλητα	29	100	246	321	100	246	226
Βιοαέριο	36	135	185	215	122	181	211
Βιομάζα σε λοιπούς τομείς	848	1214	844	1203	1181	762	517
Σύνολο βιομάζας	1123	2693	2771	6040	2671	2386	2390
% βιοκαυσίμων στα υγρά καύσιμα μεταφορών		4,3	4,5	33,0	4,7	4,9	4,7

Πηγή: PRIMES.

Ο ηλεκτρισμός υποκαθιστά κυρίως το πετρέλαιο, εξαιτίας του εξηλεκτρισμού του τομέα των μεταφορών.

- Η χρήση ΑΠΕ αυξάνεται σημαντικά σε σύγκριση με το Σενάριο Αναφοράς, κυρίως στις καταναλώσεις ενέργειας στη βιομηχανία, τα νοικοκυριά και τον τριτογενή τομέα, π.χ. με τη χρήση ηλιακών συστημάτων ή καύση βιομάζας για θέρμανση και άλλες χρήσεις.

Πίνακας 4.8

Τεχνητή κατανάλωση ενέργειας κατά είδος καυσίμου σε εκατ. τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου

	2010	Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ"		Εκατοστιαία μεταβολή έναντι Σεναρίου Αναφοράς		Εκατοστιαία διαφορά μεριδίων έναντι Σεναρίου Αναφοράς	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Στερεά καύσιμα	0,23	0,20	0,00	-6	-98	0	-1
Πετρέλαιο	13,31	11,32	4,50	-9	-66	-3	-25
Αέριο	0,86	2,66	1,69	13	-31	2	0
Ηλεκτρισμός	4,37	6,44	6,80	-1	-19	1	6
Διανομή ατμού	0,19	0,08	0,28	3	3	0	1
ΑΠΕ	1,13	1,81	4,45	2	171	0	19
Σύνολο	20,10	22,52	17,73	-4	-32		

Πηγή: PRIMES.

- Η κατανάλωση βιοκαυσίμων αυξάνεται στον τομέα των μεταφορών, τόσο στο πλαίσιο της επίτευξης των στόχων για το 2020 όσο και στη συνέχεια, και η κατανάλωση φθάνει το 33% το 2050.
- Το μερίδιο του φυσικού αερίου είναι σημαντικό στις τελικές καταναλώσεις ενέργειας, αν και η αυξητική του πορεία ανακόπτεται μακροπρόθεσμα λόγω της δυναμικής διείσδυσης του ηλεκτρισμού.

Ο ηλεκτρισμός γίνεται η κυρίαρχη μορφή ενέργειας στα Σενάρια Μετριασμού. Καθώς η διαδικασία της υποκατάστασης γίνεται παράλληλα με την εντυπωσιακή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση τόσο ενέργειας όσο και ηλεκτρισμού, ιδίως στις καταναλώσεις ενέργειας στη βιομηχανία, τα νοικοκυριά και τον τριτογενή τομέα. Στον τομέα των μεταφορών η διείσδυση του ηλεκτρισμού είναι ραγδαία, φθάνοντας τις 5,4 TWh⁴ το 2030 και τις 17 TWh το 2050. Η διείσδυση αυτή βελτιώνει σημαντικά και την ενεργειακή απόδοση του τομέα των μεταφορών και αντισταθμίζει την εξοικονόμηση ηλεκτρισμού στους λοιπούς τομείς, όπως αναλύθηκε προηγουμένως.

Εξέλιξη της ηλεκτροπαραγωγής

Σενάριο Αναφοράς

Για την επίτευξη των στόχων του 20-20-20, το Σενάριο Αναφοράς προβλέπει θεαματική ανάπτυξη των ΑΠΕ, ιδίως μέχρι το 2020, και περιορισμό του μεριδίου των μονάδων ορυκτών καυσίμων από 82% σήμερα στο 60% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής το 2020 και περαιτέρω μείωση μέχρι το 53% μακροχρόνια. Οι ΑΠΕ αποκτούν μερίδιο 39,5% της ηλεκτροπαραγωγής το 2020 και φθάνουν το 47% το 2050.

Η ηλεκτροπαραγωγή από λιγνιτικούς σταθμούς μειώνεται στο 35% το 2020 από 51% το 2010 και περαιτέρω μέχρι το 10% το 2050. Η προβολή στο πλαίσιο του Σεναρίου Αναφοράς καταδεικνύει ότι, με βάση τις τρέχουσες πολιτικές, η ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδος μετασχηματίζεται ριζικά και αποδεσμεύεται από τους λιγνίτες, οι οποίοι αποτέλεσαν τη βασική στρατηγική επιλογή ανάπτυξης από τη δεκαετία του 1970 έως σήμερα.

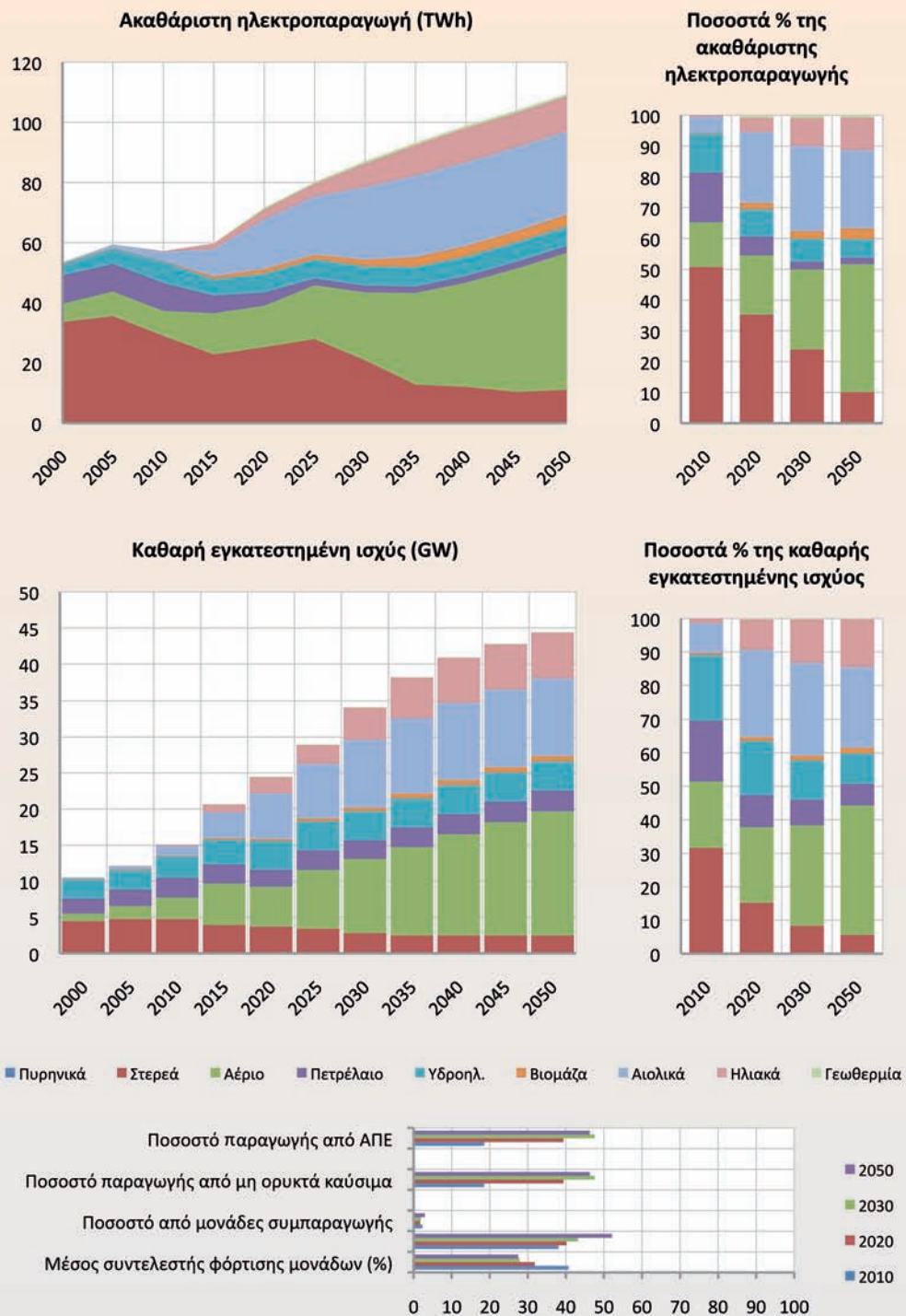
Παράλληλα η ηλεκτροπαραγωγή αποδεσμεύεται από το πετρέλαιο, αφενός στο διασυνδεδεμένο σύστημα με την απόσυρση των παλαιών μονάδων πετρελαίου και αφετέρου με τη σταδιακή διασύνδεση των νησιών.

Το μόνο ορυκτό καύσιμο που θα διανύει ανοδική πορεία στο πλαίσιο του Σεναρίου Αναφοράς είναι το φυσικό αέριο: το 2020 θα έχει ποσοστό 19,2% στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή, από 14,5% το 2010, ποσοστό που θα ανέλθει στο 41,5% το 2050. Η κατανάλωση φυσικού αερίου για ηλεκτροπαραγωγή θα αυξηθεί κατά 2,2 φορές το 2030 από τα σημερινά επίπεδα, με περαιτέρω άνοδο κατά 1,8 φορές το 2050.

⁴ Τρισεκατ. βατώρες.

Διάγραμμα 4.13

Διάρθρωση ηλεκτροπαραγωγής στο Σενάριο Αναφοράς



Πηγή: PRIMES.

Μακροχρόνια το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής στο Σενάριο Αναφοράς θα διαρθρώνεται σχεδόν αποκλειστικά από ΑΠΕ και φυσικό αέριο. Η αναδιάρθρωση αυτή είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά των δεσμεύσεων της χώρας στο πλαίσιο της πολιτικής του 20-20-20, που αφενός περιλαμβάνει στόχο για τις ΑΠΕ και αφετέρου επιβάλλει στην ηλεκτροπαραγωγή την αγορά, μέσω δημοπρασίας, όλων των δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα.

Μεταξύ των ΑΠΕ κυριαρχεί η αιολική ενέργεια, που φθάνει τα 6,5 GW⁵ το 2020 και τα 10 GW από το 2030 και μετά, καθώς και τα ηλιακά, κυρίως φωτοβολταϊκά, συστήματα, που φθάνουν τα 2,2 GW το 2020 και ξεπερνούν τα 6 GW μετά το 2030. Σε μικρότερη κλίμακα αξιοποιούνται και άλλες μορφές ΑΠΕ, ενώ γίνεται εκτεταμένη χρήση βιομάζας σε μονάδες συμπαραγωγής, για την παραγωγή ηλεκτρισμού και ατμού.

Ο βαθμός διείσδυσης των ΑΠΕ που περιλαμβάνεται στο Σενάριο Αναφοράς είναι τεχνικά εφικτός όσον αφορά στην αξιοπίστη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος. Θα απαιτηθεί βέβαια σημαντική διαφοροποίηση των πρακτικών που ακολουθούνται σήμερα ώστε, από το 2015 και μετά, ιδίως το 2020, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας να μπορεί να λειτουργήσει αξιοπίστα όταν στο σύστημα περίπου το 1/3 θα προέρχεται από στοχαστικές ΑΠΕ. Θα απαιτηθεί επίσης επέκταση των υδροηλεκτρικών συστημάτων με άντληση μέχρι τα 1.000 MW μέχρι το 2020. Οι επενδύσεις σε δίκτυα είναι επίσης φιλόδοξες μέχρι το 2020.

Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”

Στα σενάρια μετριασμού η ηλεκτροπαραγωγή σχεδόν μηδενίζει τις εκπομπές της μακροχρόνια. Καθώς στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” δεν υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης τεχνολογιών δέσμευσης άνθρακα ούτε πυρηνικών, η απεξάρτηση της παραγωγής ηλεκτρισμού από τον άνθρακα επιβάλλει να συρρικνωθεί δραστικά η συμμετοχή των σταθμών ορυκτών καυσίμων.

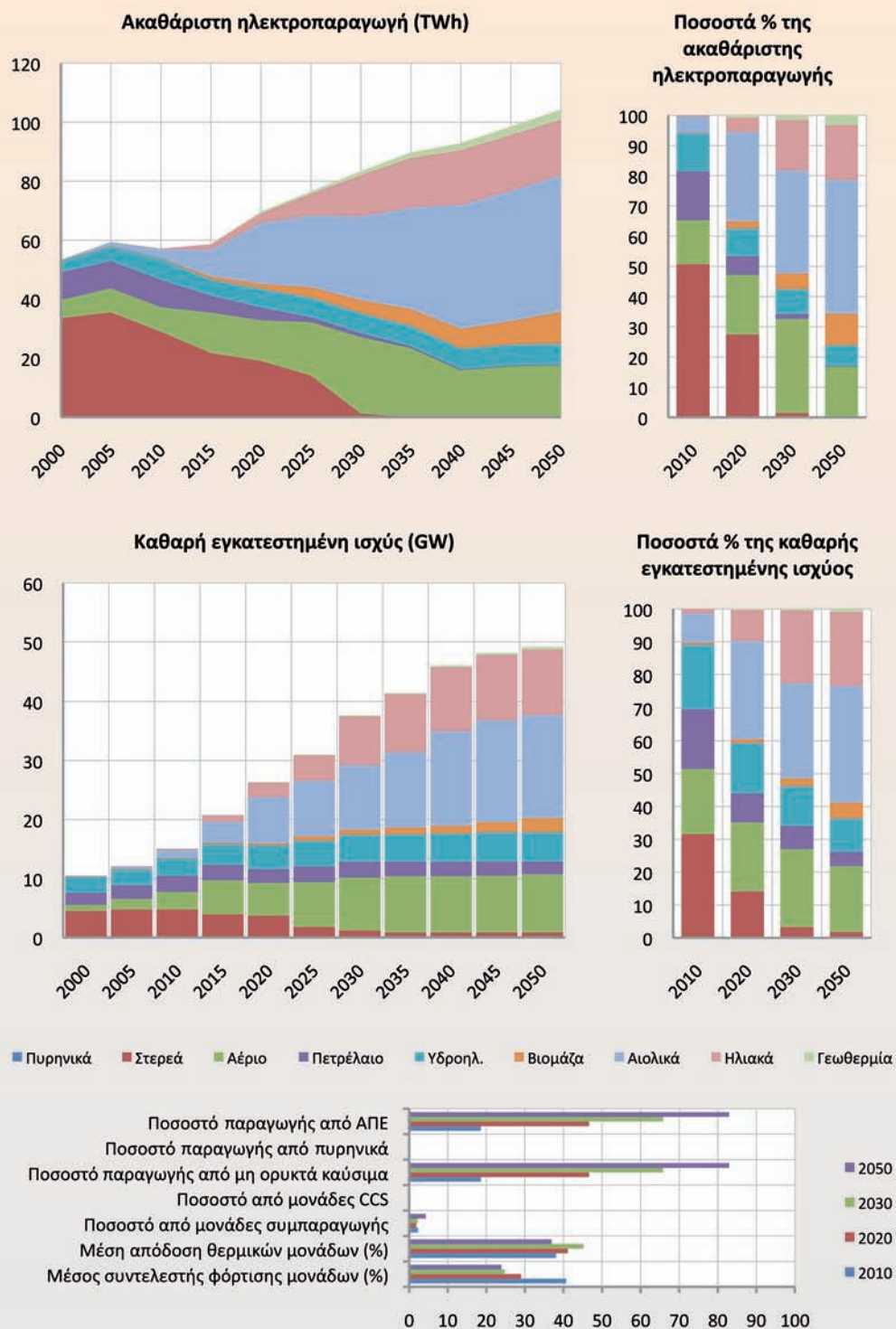
Οι ΑΠΕ γίνονται η βασική συνιστώσα παραγωγής ήδη από το 2020, φθάνοντας το 2050 τις 85,6TWh (83% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής). Μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής από ΑΠΕ έχουν οι αιολικοί σταθμοί, που παράγουν το 44,9% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής το 2050 από εγκατεστημένη ισχύ 17,5 GW (εκ των οποίων 4,6 GW θαλάσσια αιολικά), ενώ σημαντικό μερίδιο θα έχουν επίσης τα φωτοβολταϊκά συστήματα (18,4% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής και ισχύς 11 GW το 2050). Τα θερμικά ηλιακά συστήματα φθάνουν τα 628 MW το 2050. Η βιομάζα και τα απόβλητα φθάνουν το 9,7%, με ισχύ 2,4 GW το 2050. Επίσης, ο ρόλος της βιομάζας είναι σημαντικός στην παραγωγή ατμού από λέβητες της βιομηχανίας, μαζί με το φυσικό αέριο. Τέλος, το γεωθερμικό δυναμικό της χώρας αξιοποιείται σε μεγάλο βαθμό ήδη από το 2015, συμμετέχοντας στην παραγωγή ηλεκτρισμού σε ποσοστό 3,3% το 2050, με εγκατεστημένη ισχύ 442MWe.⁶

⁵ Δισεκ. βατ.

⁶ Εκατ. βατ ηλεκτρικά.

Διάγραμμα 4.14

Διάρθρωση ηλεκτροπαραγωγής στο Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ"



Πηγή: PRIMES.

Ο ρόλος του φυσικού αερίου είναι πολύ σημαντικός στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”, επειδή αφενός είναι καύσιμο χαμηλής έντασης εκπομπών σε σχέση με τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα και αφετέρου μπορεί να στηρίζει τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή λόγω της ευελιξίας ανόδου ισχύος αλλά και λόγω της χαμηλής έντασης κεφαλαίου, οπότε προσφέρεται για επενδύσεις σε σταθμούς εφεδρείας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” μειώνεται μετά το 2030 περισσότερο από 50% συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς, όμως το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων φυσικού αερίου μειώνεται λιγότερο λόγω του ρόλου των μονάδων αυτών για την εφεδρεία του συστήματος. Το 2050, το φυσικό αέριο συμμετέχει στην ηλεκτροπαραγωγή σε ποσοστό 17%, ενώ το 2030 το ποσοστό αυτό είναι 31%.

Η παραγωγή ηλεκτρισμού από σταθμούς πετρελαίου μειώνεται στις 100 GW το 2050 (1260 GWh το 2030), δεδομένου ότι προβλέπεται η πλήρης διασύνδεση των νησιών. Η παραγωγή από λιγνίτη μηδενίζεται μετά το 2030.

Στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” μεγάλης σημασίας είναι τα συστήματα αποθήκευσης, όπου για μεν τα υδροηλεκτρικά με άντληση η ισχύς τους φθάνει τα 1.900 MW, τα δε συστήματα υδρογόνου αναπτύσσονται μετά το 2035 και απορροφούν, το 2050, περίπου 16 GWh ηλεκτρικής ενέργειας το χρόνο για παραγωγή υδρογόνου. Τα υδροηλεκτρικά, οι θερμικές μονάδες και τα συστήματα αποθήκευσης επαρκούν το 2050 για να καλύψουν τη μέγιστη αιχμή φορτίου των περίπου 21 GW. Για την αξιόπιστη κάλυψη των διακυμάνσεων φορτίου γίνεται η υπόθεση ότι οι εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρουν σημαντική ευελιξία λόγω συντονισμένης εξισορρόπησης φορτίου στην περιφερειακή αγορά.

Στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” περιλαμβάνεται η ανάπτυξη ηλεκτροπαραγωγικών ΑΠΕ σε πολύ μικρή κλίμακα (μικρά αιολικά, 400 MW το 2050, και φωτοβολταϊκά συστήματα στις οικίες και τα κτήρια, 3.400 MW το 2050), οι οποίες συνδέονται στη χαμηλή τάση. Ο ρόλος των “έξυπνων” δικτύων και άλλων ενισχύσεων και επενδύσεων στο σύστημα διανομής είναι προϋπόθεση για την ανάπτυξη αυτής της ΑΠΕ. Το σενάριο βασίζεται στην υπόθεση ότι θα υπάρξει εμπορική και τεχνολογική ωρίμανση των συστημάτων αυτών σε χρονικό ορίζοντα προ του 2030.

Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και CCS”

Το σενάριο αυτό βασίζεται στην υπόθεση ότι υπάρχει διαθεσιμότητα αποθήκευσης CO₂ σε γεωλογικούς σχηματισμούς (στη Βόρεια Ελλάδα, στη Δυτική Μακεδονία και στην περιοχή της Καβάλας) και εμπορική ωρίμανση των τεχνολογιών δέσμευσης CO₂ από μεγάλους σταθμούς καύσης ορυκτών καυσίμων. Δεδομένης της υπόθεσης αυτής, η οικονομική βελτιστοποίηση της μελλοντικής εξέλιξης της ηλεκτροπαραγωγής, με προοπτική βεβαίως το σχεδόν μηδενισμό των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, δίδει διαφορετικά αποτελέσματα από αυτά για το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δέσμευση CO₂ αναπτύσσεται στο

Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και CCS” και αντίστοιχα μειώνεται η ανάπτυξη των ΑΠΕ συγκριτικά με το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”.

Χάρη στην τεχνολογία CCS εντάσσονται το 2025 στο σύστημα 2.500 MW (αποδιδόμενη ισχύς) λιγνιτικών μονάδων με CCS, οι οποίες αντικαθιστούν παλαιές μονάδες. Με τον τρόπο αυτό η συνολική ισχύς των λιγνιτικών μονάδων επανέρχεται το 2025 περίπου στα επίπεδα του 2000. Στη συνέχεια η συνολική ισχύς μειώνεται στα 3.500 MW (αποδιδόμενη ισχύς), λόγω παύσης λειτουργίας παλαιών μονάδων. Κατά τη δεκαετία 2040-2050 το σενάριο προβλέπει ένταξη νέας λιγνιτικής ισχύος με CCS της τάξεως των 2.100 MW. Το 2050, το σενάριο προβλέπει λειτουργία λιγνιτικής ισχύος 5.450 MW (αποδιδόμενη ισχύς), εκ των οποίων 4.600 MW με CCS. Η ηλεκτροπαραγωγή από λιγνίτη διατηρεί μερίδιο περίπου μεταξύ 22% και 25% στο διάστημα 2025-2045, έναντι 51% σήμερα, και φθάνει το 32,6% το 2050. Από την ανάλυση προκύπτει ότι, στο πλαίσιο σεναρίων μετριασμού, η στρατηγική παραγωγής από λιγνίτη είναι διατηρήσιμη μόνο με την τεχνολογία CCS. Βεβαίως θα απαιτηθεί η απόσυρση όλων των υφιστάμενων σήμερα μονάδων και η κατασκευή στο μέλλον μονάδων αποκλειστικά με τη τεχνολογία CCS.

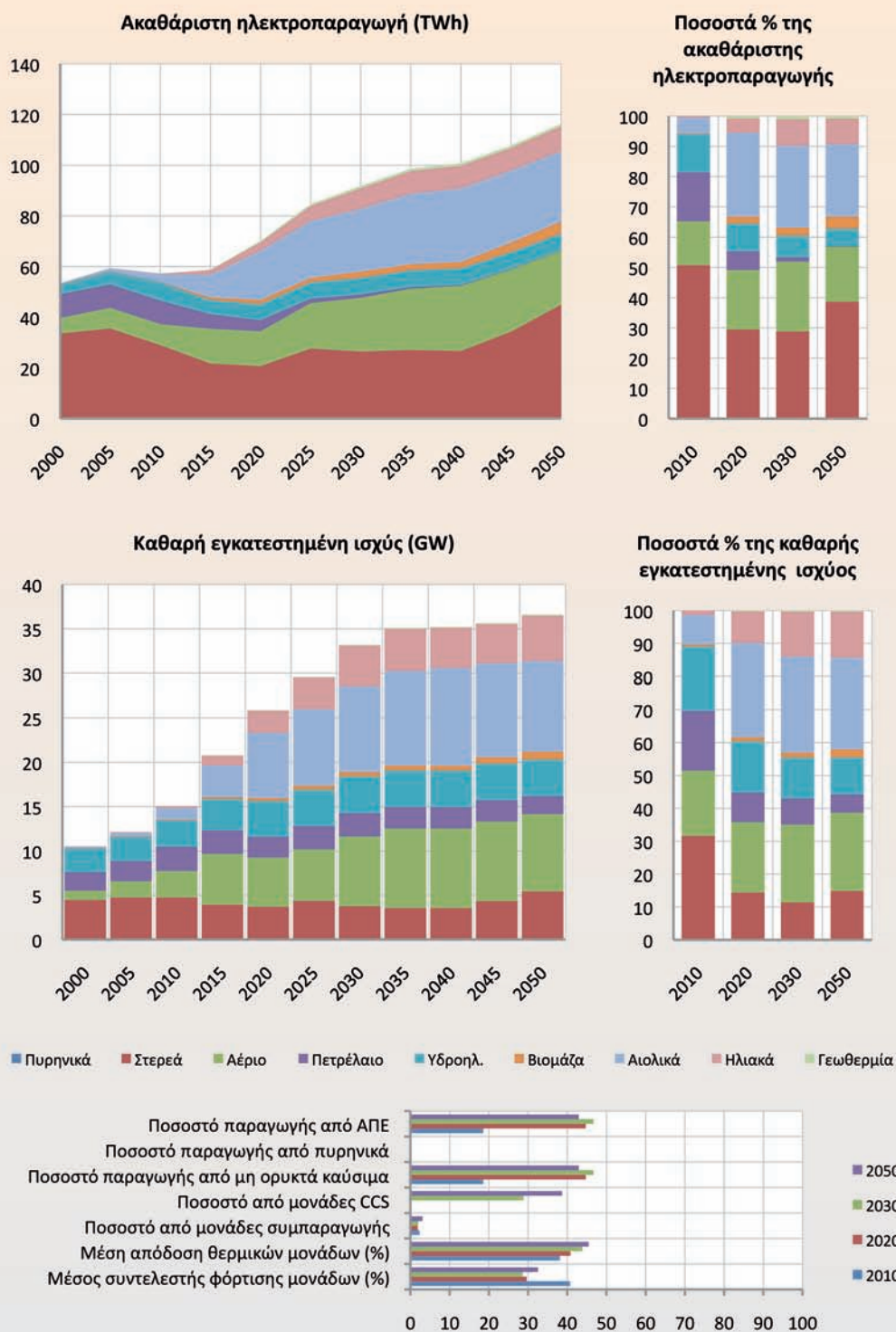
Το σενάριο προβλέπει λειτουργία 2.500 MW (αποδιδόμενη ισχύς) μονάδων λιγνίτη με CCS το 2025 και 4.500 MW το 2050. Το μερίδιο των μονάδων CCS στη συνολική καθαρή ηλεκτροπαραγωγή προβλέπεται ότι θα κυμανθεί από 28% έως 38% κατά το χρονικό διάστημα 2025-2050. Στο Σενάριο “ΑΠΕ και CCS”, περίπου 23 εκατ. τόνοι CO₂ θα αποθηκεύονται το χρόνο από το 2025 και μετά, με μικρή άνοδο μακροχρόνια μέχρι τους 36 εκατ. τόνους το 2050. Κατά την περίοδο 2025-2050 εκτιμάται ότι θα αποθηκευθούν συνολικά περίπου 770 εκατ. τόνοι CO₂.

Οι ΑΠΕ εξακολουθούν να έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στο σενάριο αυτό, αλλά η συμμετοχή τους στην ηλεκτροπαραγωγή μόλις ξεπερνά το 51% (το 2035), ενώ το 2050 μειώνεται ελαφρά στο 47,5% λόγω της επέκτασης των μονάδων με CCS. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και CCS” είναι παρόμοια σε μέγεθος και δομή με το Σενάριο Αναφοράς. Τα αιολικά συστήματα προβλέπεται να φθάσουν τα 7,4 GW το 2020 και να υπερβούν τα 10 GW μακροχρόνια. Τα ηλιακά συστήματα προβλέπεται να υπερβούν τα 5 GW μακροχρόνια από 2,5 GW το 2020. Και στο σενάριο αυτό προβλέπεται η σημαντική ανάπτυξη μονάδων βιομάζας και αποβλήτων, καθώς και γεωθερμίας.

Όπως και στα προηγούμενα σενάρια, οι μονάδες φυσικού αερίου επιτελούν σημαντικό ρόλο για την ευστάθεια του συστήματος και την κάλυψη των διακυμάνσεων φορτίου. Οι απαιτήσεις για μονάδες φυσικού αερίου περιορίζονται σε σύγκριση με το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”, καθώς πλέον μπορούν και σταθμοί στερεών καυσίμων να στηρίζουν την ευστάθεια του συστήματος, χωρίς αυτό να επιβαρύνεται από τις υψηλού επιπέδου εκπομπές τους. Η ηλεκτροπαραγωγή από φυσικό αέριο διατηρεί μερίδιο γύρω στο 20% σε ολόκληρη τη χρονική περίοδο της προβολής.

Διάγραμμα 4.15

Διάρθρωση ηλεκτροπαραγωγής στο Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και CCS"



Πηγή: PRIMES.

Οι σωρευτικές εκπομπές CO₂ από την ηλεκτροπαραγωγή στο Σενάριο Μετριασμού “CCS και ΑΠΕ” είναι μειωμένες κατά 14% την περίοδο 2010-2030 αλλά αυξημένες κατά 20% την περίοδο 2010-2050 σε σύγκριση με το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” (συνολικά για την περίοδο 2010-2050 οι εκπομπές είναι μικρότερες κατά 6%).

Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και πυρηνικά”

Η αξιοποίηση της πυρηνικής τεχνολογίας στην Ελλάδα δεν προβλέπεται ούτε σε μεσοπρόθεσμη ούτε σε μακροπρόθεσμη προοπτική. Ωστόσο, για λόγους πληρότητας της ανάλυσης του οδικού χάρτη προς το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, αναπτύχθηκε ένα σενάριο με βάση το πρότυπο PRIMES, στο οποίο γίνεται η παραδοχή ότι σταθμοί πυρηνικής ενέργειας μπορούν να συμμετέχουν στην ηλεκτροπαραγωγή μετά το 2030 (ως μονάδες υποψήφιος για νέες επενδύσεις). Στο σενάριο αυτό γίνεται η υπόθεση ότι η αποθήκευση CO₂ σε γεωλογικούς σχηματισμούς δεν θα είναι διαθέσιμη στην Ελλάδα.

Γίνεται η υπόθεση ότι, λόγω της έλλειψης τεχνογνωσίας και της απουσίας οικονομιών κλίμακας, το κόστος επένδυσης σε πυρηνικούς σταθμούς στην Ελλάδα θα είναι υψηλότερο από ότι σε άλλες χώρες, που έχουν αναπτύξει στο παρελθόν συναφή τεχνολογία. Επιπλέον θα είναι περιορισμένες οι πιθανές θέσεις για τους σταθμούς αυτούς. Το κόστος και η δυσκολία ανάπτυξης νέων θέσεων για πυρηνικούς σταθμούς προσομοιώνεται στο υπόδειγμα μέσω μιας μη γραμμικής καμπύλης κόστους. Λαμβάνεται επίσης υπόψη το αυξημένο κόστος για την Ελλάδα αναφορικά με το πυρηνικό καύσιμο και τα πυρηνικά απόβλητα, για τα οποία γίνεται υπόθεση μεταφοράς τους σε άλλες χώρες που διαθέτουν υποδομή επεξεργασίας αποβλήτων. Το εν λόγω κόστος περιορίζει και αυτό οικονομικά τις δυνατότητες ανάπτυξης πυρηνικής ενέργειας.

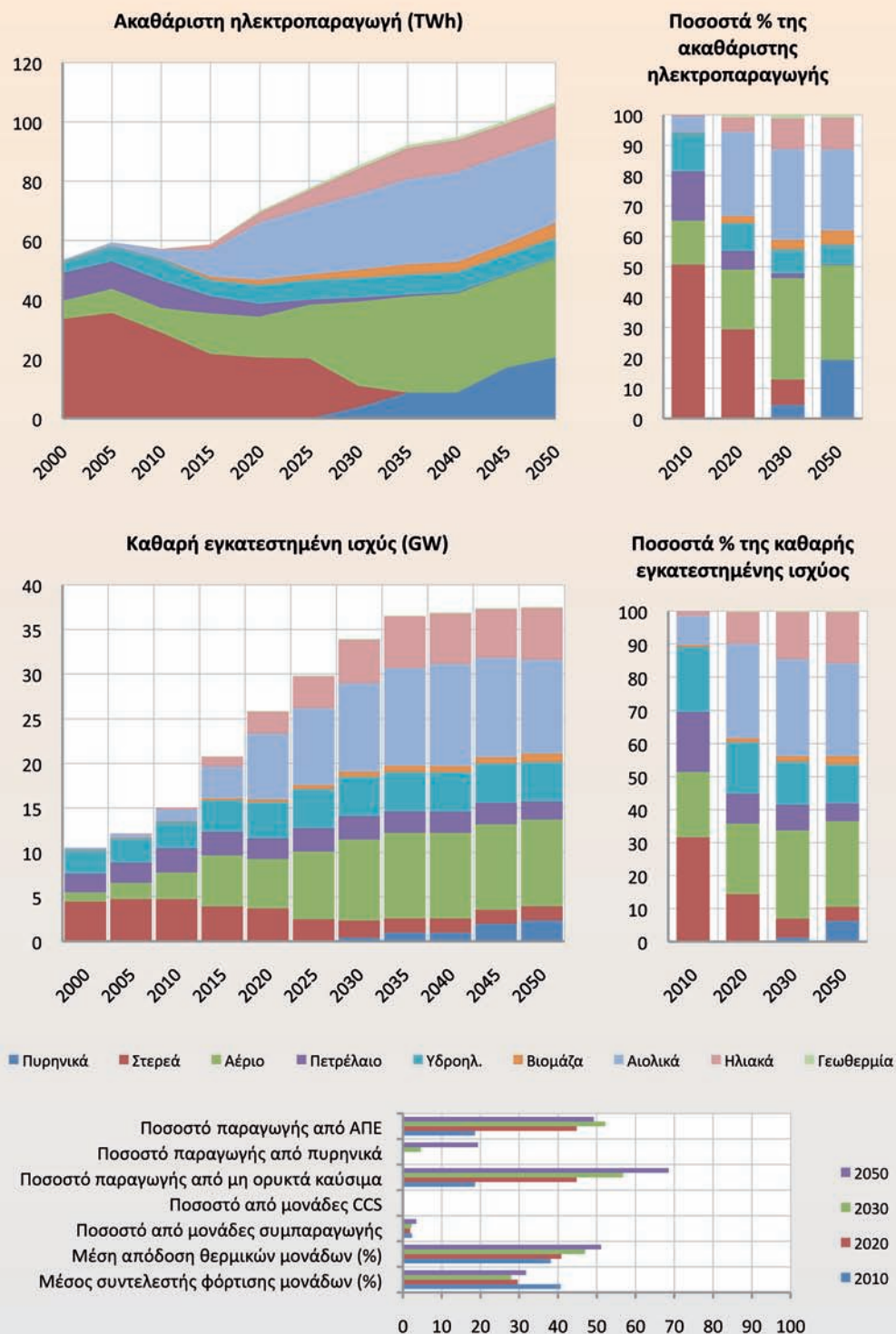
Με βάση τις υποθέσεις αυτές, από τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης της ηλεκτροπαραγωγής με σκοπό το σχεδόν μηδενισμό των εκπομπών προκύπτει ως οικονομικά σκόπιμο ένα σχετικά περιορισμένο πρόγραμμα ανάπτυξης πυρηνικών σταθμών: 450 MW το 2030, επιπλέον 500 MW το 2035 και επιπλέον 1.000 έως 1.500 MW το 2040, έτσι ώστε η συνολική ισχύς να φθάσει περίπου τα 2.500 MW το 2050. Δηλαδή μόνο τμήμα του φορτίου βάσης μετά το 2030 θα καλύπτεται από πυρηνική ενέργεια, η οποία θα καλύπτει το 2050 το 19% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής (4,6% το 2030).

Στο σενάριο αυτό διατηρείται η μεγάλη ανάπτυξη των ΑΠΕ, οι οποίες, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, θα καλύπτουν μεταξύ 50% και 53% της ηλεκτροπαραγωγής σε όλο το χρονικό διάστημα μετά το 2020. Η ανάπτυξη των αιολικών συστημάτων θα ξεπεράσει τα 10 GW, ενώ των ηλιακών θα πλησιάσει τα 6 GW.

Το φυσικό αέριο διατηρεί το στρατηγικής σημασίας ρόλο του στην ηλεκτροπαραγωγή λόγω της ευελιξίας των μονάδων και της οικονομικής ευχέρειας συγκρότησης εφεδρειών με μονάδες φυσικού αερίου. Στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και πυρηνικά”, η ηλεκτροπαραγωγή από

Διάγραμμα 4.16

Διάρθρωση ηλεκτροπαραγωγής στο Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ και πυρηνικά"



Πηγή: PRIMES.

φυσικό αέριο θα είναι σαφώς μεγαλύτερη από το Σενάρια Μετριασμού “ΑΠΕ” αλλά και από το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και CCS”, επειδή οι πυρηνικοί σταθμοί δεν διαθέτουν ευελιξία έναντι διακυμάνσεων φορτίου και οι μονάδες φυσικού αερίου συμπληρώνουν την παραγωγή των πυρηνικών στις περιπτώσεις διακύμανσης φορτίου. Στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και πυρηνικά”, τα φυσικό αέριο θα παράγει το 1/3 της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής από το 2025 και μετά, έναντι 20% το 2020. Στο σενάριο αυτό σταματά η ηλεκτροπαραγωγή από λιγνίτες μετά το 2030, ενώ η ηλεκτροπαραγωγή από πετρέλαιο φθάνει σε πολύ χαμηλά επίπεδα στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Η καθυστέρηση ανάπτυξης της πυρηνικής ενέργειας, για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους, έχει αρνητικές συνέπειες για τη δυνατότητα μείωσης των εκπομπών σε μέσο χρονικό ορίζοντα. Οι σωρευτικές εκπομπές της ηλεκτροπαραγωγής κατά το διάστημα 2010-2050 υπολογίστηκαν για το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ και πυρηνικά” 25% πιο αυξημένες από το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ”.

Πίνακας 4.9

Διαμόρφωση της προσφοράς και ζήτησης πρωτογενούς ενέργειας σε εκατ. τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου

	2010	Σενάριο Αναφοράς			Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ"		Σενάριο Μετριασμού "CCS και ΑΠΕ"		Σενάριο Μετριασμού "CCS και πυρηνικά"	
(Mtoe)		2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Εγχώρια παραγωγή										
Πετρέλαιο & αέριο	0,10	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Στερεά	6,84	5,82	4,61	2,34	0,27	0,00	5,40	8,75	1,51	0,00
ΑΠΕ	2,01	4,96	6,01	6,97	7,67	13,65	6,24	8,36	6,39	8,61
Εισαγωγές - Εξαγωγές										
Στερεά	0,19	0,21	0,20	0,23	0,20	0,00	0,20	0,00	0,20	0,00
Πετρέλαιο	19,37	17,21	16,84	17,54	15,12	6,59	15,12	6,73	15,12	6,73
Φυσ. αέριο	2,61	4,07	6,64	9,93	7,44	4,95	6,72	5,45	7,69	7,14
Ηλεκτρισμός	0,42	0,41	0,31	0,38	0,36	0,57	0,36	0,57	0,36	0,57
Βιομάζα	0,10	0,40	0,27	0,18	0,41	1,60	0,34	1,35	0,35	1,36
Εγχώρια κατανάλωση	29,14	30,40	31,80	34,00	28,66	24,81	31,58	28,64	29,70	26,46
Στερεά	7,02	6,03	4,81	2,57	0,47	0,00	5,60	8,75	1,71	0,00
Πετρέλαιο	16,96	14,54	13,76	13,98	12,33	4,87	12,34	5,01	12,34	5,01
Φυσ. αέριο	2,63	4,07	6,64	9,93	7,44	4,95	6,72	5,45	7,69	7,14
Πυρηνική ενέργεια	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	4,62
Ηλεκτρισμός	0,42	0,41	0,31	0,38	0,36	0,57	0,36	0,57	0,36	0,57
ΑΠΕ	2,11	5,35	6,28	7,14	8,05	14,41	6,56	8,86	6,71	9,12
% ενεργειακής εξάρτησης	72	67	70	75	75	50	66	45	73	54

Πηγή: PRIMES.

Πρωτογενής ενέργεια, εισαγωγές

Στα Σενάρια Μετριασμού, η ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη σε σχέση με το Σενάριο Αναφοράς λόγω της εκτεταμένης προόδου ως προς την αποδοτικότητα της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, στα Σενάρια Μετριασμού λαμβάνει χώρα εκτεταμένη υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων και επομένως μειώνεται σημαντικά η εξάρτηση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος από εισαγωγές ενέργειας.

Ο Πίνακας 4.9 καταδεικνύει τα σημαντικά οφέλη που αποφέρουν τα σενάρια μετριασμού σχετικά με την ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδος, η οποία φθάνει περίπου το 50% το 2050 έναντι 72% σήμερα και 75% το 2050 στο πλαίσιο του Σεναρίου Αναφοράς.

Οι εισαγωγές φυσικού αερίου μειώνονται στα σενάρια μετριασμού συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς, εξέλιξη που παρέχει ευχέρεια ασφάλειας ως προς τον εφοδιασμό με φυσικό αέριο, το οποίο έχει στρατηγική σημασία σε όλα τα σενάρια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Οι εισαγωγές πετρελαίου υποδιπλασιάζονται στα σενάρια μετριασμού συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς χάρη στον εξηλεκτρισμό των μεταφορών, τη χρήση βιοκαυσίμων και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Το Σενάριο Μετριασμού προδιαγράφει μια πορεία απεξάρτησης της Ελλάδος από εισαγωγές ενέργειας και ιδίως απεξάρτησης από το πετρέλαιο.

4.4 Το κόστος του Σεναρίου Μετριασμού

Τα σενάρια μετριασμού τα οποία αναπτύχθηκαν ως προσομοίωση της πορείας προς οικονομία χαμηλών εκπομπών περιλαμβάνουν ριζική αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος, η οποία συνεπάγεται σημαντικό πρόσθετο κόστος και επιφέρει αναδιαμόρφωση της κατανομής αυτού τόσο μεταξύ των τομέων της ενέργειας όσο και σχετικά με τη διάρθρωση σε κεφαλαιακές και λειτουργικές δαπάνες.

Το επιπλέον κόστος προκύπτει γιατί όλες οι αποδοτικές τεχνολογίες, καθώς και οι τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής χωρίς εκπομπές, είναι μεγάλης έντασης κεφαλαίου. Παρά το γεγονός ότι η κατανάλωση και η παραγωγή ενέργειας πραγματοποιούνται στο Σενάριο Μετριασμού με σαφώς μικρότερες λειτουργικές δαπάνες, λόγω εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, η δαπάνη για την ετήσια αποπληρωμή του επιπλέον κόστους κεφαλαίου με βάση αγοραία επιτόκια αναγωγής υπερβαίνει τη μείωση των λειτουργικών δαπανών.

Επομένως, το συνολικό ετήσιο κόστος για την παροχή των ενεργειακών υπηρεσιών (δηλαδή της ωφέλιμης ενέργειας, όπως θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρικές χρήσεις, μετακίνηση, κ.λπ.) υπολογίζεται ότι θα είναι μεγαλύτερο στα Σενάρια Μετριασμού συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς, το οποίο επίσης παρουσιάζει υψηλότερο κόστος συγκριτικά με το Σενάριο “καμίας πολιτικής”.

Ο Πίνακας 4.10 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των υπολογισμών του μαθηματικού προτύπου σχετικά με το συνολικό κόστος των ενεργειακών υπηρεσιών το οποίο επωμίζονται οι τελικοί καταναλωτές ενέργειας. Το κόστος αυτό εμφανίζεται στο άνω τμήμα του πίνακα και περιλαμβάνει τις πληρωμές για αγορά δικαιωμάτων εκπομπής στο μηχανισμό ETS. Η υλοποίηση των τρεχουσών πολιτικών που αποτυπώνονται στο Σενάριο Αναφοράς οδηγεί σε επιπλέον σωρευτικό κόστος της τάξεως των €288 δισεκ. (τιμές 2008) για την περίοδο 2010-2050 συγκριτικά με το Σενάριο “καμίας δράσης”. Το επιπλέον αυτό κόστος αντιπροσωπεύει περίπου το 2% του σωρευτικού ΑΕΠ σε σταθερές τιμές κατά την περίοδο των 40 ετών. Υπενθυμίζεται ότι το Σενάριο Αναφοράς αντιστοιχεί σε υφιστάμενες δεσμεύσεις στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και, παρά το αυξημένο του κόστος, δεν επαρκεί για να οδηγήσει τις εκπομπές στα επίπεδα που απαιτούνται για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Τα Σενάρια Μετριασμού οδηγούν σε επιπλέον κόστος (πέραν του κόστους του σεναρίου αναφοράς) των ενεργειακών υπηρεσιών για τους καταναλωτές, το οποίο εκτιμάται μεταξύ €120 δισεκ. και €145 δισεκ. (τιμές 2008) για την περίοδο 2010-2050.

Από την οπτική της εθνικής οικονομίας οι πληρωμές (άμεσα ή έμμεσα από τους καταναλωτές ενέργειας) για αγορά δικαιωμάτων εκπομπής είναι μεταβιβαστικές πληρωμές, γιατί θα αποτελούν έσοδα του κράτους. Επομένως, για τον υπολογισμό του κόστους των σεναρίων από την οπτική της εθνικής οικονομίας αφαιρούνται οι πληρωμές για τα δικαιώματα εκπομπής. Το Σενάριο Αναφοράς περιλαμβάνει πολύ χαμηλότερη τιμή για δικαιώματα εκπομπής, αλλά προβλέπει εκπομπή πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων CO₂ στους τομείς που είναι υπόχρεοι στο ETS, συγκριτικά με τα σενάρια μετριασμού. Επομένως οι συνολικές πληρωμές για τα δικαιώματα οι οποίες προβλέπονται στο Σενάριο Αναφοράς και στα σενάρια μετριασμού είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, οι σωρευτικές πληρωμές για δικαιώματα στην περίοδο 2010-2050 είναι περίπου 18% χαμηλότερες στα Σενάρια Μετριασμού “ΑΠΕ” και “ΑΠΕ και CCS” συγκριτικά με τις πληρωμές στο Σενάριο Αναφοράς, ενώ στο Σενάριο “ΑΠΕ και πυρηνικά” οι σωρευτικές πληρωμές είναι ελαφρά υψηλότερες από εκείνες του Σεναρίου Αναφοράς.

Εάν αφαιρεθούν οι πληρωμές δικαιωμάτων, τα σενάρια μετριασμού οδηγούν σε επιπλέον κόστος μεταξύ €117 δισεκ. και €155 δισεκ. (τιμές 2008) σωρευτικά για την περίοδο 2010-2050, το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το 1% του σωρευτικού ΑΕΠ κατά τα επόμενα 40 έτη. Το πρόσθετο κόστος των σεναρίων μετριασμού, συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς, καταγράφεται κυρίως μετά το 2030 και επιβαρύνει σαφώς περισσότερο τους τομείς των οικιών, κτηρίων και μεταφορών παρά τους βιομηχανικούς κλάδους.

Μεταξύ των τριών παραλλαγών του Σεναρίου Μετριασμού, το Σενάριο “ΑΠΕ” έχει ελαφρά υψηλότερο κόστος (περίπου 1,2% υψηλότερο σωρευτικό κόστος συγκριτικά με τις δύο άλλες παραλλαγές, το οποίο αντιστοιχεί σε επιπλέον κόστος €27 δισεκ., τιμές 2008, για την περίοδο 2010-2050), ενώ το Σενάριο “ΑΠΕ και πυρηνικά” έχει το μικρότερο κόστος. Βεβαίως το Σενά-

Πίνακας 4.10

**Διαμόρφωση του συνολικού κόστους του ενεργειακού συστήματος
(Δισεκ. ευρώ, τιμές 2008)**

Συνολικό κόστος ενεργειακών υπηρεσιών, περιλαμβανομένων πληρωμών για αγορά δικαιωμάτων CO ₂						
	Ετήσιο κόστος σε δισεκ. € 2008				Σωρευτικό κόστος (δισεκ. € 2008)	Διαφορά από καμία πολιτική (δισεκ. € 2008)
	2010	2020	2030	2050	2010-2050	
Σενάριο "καμίας πολιτικής"		39,0	47,1	54,0	1.779	
Σενάριο Αναφοράς		43,6	55,1	65,1	2.067	288
Εκατοστιαία μεταβολή έναντι "καμίας πολιτικής"		12	17	21	16	
Σενάριο "ΑΠΕ"	27,2	44,9	55,5	77,9	2.212	433
Εκατοστιαία μεταβολή έναντι "καμίας πολιτικής"		15	18	44	24	
Σενάριο "ΑΠΕ και CCS"		44,8	54,7	77,0	2.186	407
Σενάριο "ΑΠΕ και πυρηνικά"		44,8	54,8	77,0	2.187	408
Πληρωμές για δικαιώματα εκπομπής CO ₂ (δισεκ. € 2008)						
		2020	2030	2050	Σωρευτικά 2010-2050	Εκατοστιαίες μεταβολές έναντι Σεναρίου Αναφοράς
Σενάριο Αναφοράς		0,66	1,48	2,10	52,05	
Σενάριο "ΑΠΕ"		0,85	1,39	1,76	42,61	-18,1
Σενάριο "ΑΠΕ και CCS"		0,89	1,23	2,01	43,05	-17,3
Σενάριο "ΑΠΕ και πυρηνικά"		0,88	1,73	2,72	54,23	4,2
Επιπλέον κόστος ενεργειακών υπηρεσιών ως ποσοστό του ΑΕΠ, χωρίς πληρωμές για αγορά δικαιωμάτων CO ₂						
Εκατοστιαία μεταβολή μεταξύ σεναρίων						Διαφορά 2010-2050 (δισεκ. € 2008)
		2020	2030	2050	Σωρευτικά 2010-2050	
Σενάριο Αναφοράς ως προς Σενάριο "καμίας πολιτικής"		1,5	2,0	1,9	1,9	236
Σενάριο "ΑΠΕ" ως προς Σενάριο Αναφοράς		0,4	0,2	2,7	1,2	155
Σενάριο "ΑΠΕ και CCS" ως προς Σενάριο Αναφοράς		0,4	0,0	2,5	1,0	128
Σενάριο "ΑΠΕ και πυρηνικά" ως προς Σενάριο Αναφοράς		0,4	-0,2	2,3	0,9	117
Συνολικό κόστος ενεργειακών υπηρεσιών κατά τομέα τελικής κατανάλωσης (δισεκ. € 2008)						
	2010	2020	2030	2050	Σωρευτικά 2010-2050	
Σενάριο αναφοράς	27,2	43,6	55,1	65,1		
Βιομηχανία	2,8	3,0	3,2	3,6	127	
Οικίες και κτήρια	14,6	22,6	27,7	31,3	1035	
Μεταφορές	9,8	18,0	24,2	30,2	905	
Σενάριο "ΑΠΕ" - εκατοστιαίες μεταβολές έναντι Σεναρίου Αναφοράς		3,0	0,7	19,6	7,0	
Βιομηχανία		1,5	-1,2	22,3	1,2	
Οικίες και κτήρια		3,4	3,7	23,7	6,7	
Μεταφορές		2,7	-2,6	13,3	7,6	

Πηγή: PRIMES.

ριο “ΑΠΕ” έχει σαφώς μικρότερη αβεβαιότητα πραγματοποίησης από ό,τι τα άλλα δύο σενάρια μετριασμού, ιδίως αυτό με την πυρηνική ενέργεια.

Το συνολικό μέσο κόστος μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα Σενάρια Μετριασμού υπολογίζεται μεταξύ €190 και €240/τόνο CO₂ (τιμές 2008), σωρευτικά κατά την περίοδο 2010-2050.

Η αναδιάρθρωση του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προϋποθέτει εκτεταμένες επενδύσεις σε μονάδες ΑΠΕ, μονάδες εφεδρείας, μονάδες CCS (στην περίπτωση του Σεναρίου Μετριασμού “CCS και ΑΠΕ”) κ.ά., οι οποίες είναι επενδύσεις υψηλής έντασης κεφαλαίου. Επίσης, προϋποθέτει σημαντικές επενδύσεις στις υποδομές του δικτύου μεταφοράς και διανομής, οι οποίες αυξάνονται με τη μεγέθυνση της συνεισφοράς των ΑΠΕ. Ωστόσο, καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαγκιστρώνεται από τα ορυκτά καύσιμα, το λειτουργικό κόστος των μονάδων μειώνεται.

Παρά ταύτα (Πίνακας 4.11), το συνολικό κόστος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται τόσο στο Σενάριο Αναφοράς συγκριτικά με το Σενάριο “καμίας πολιτικής” (περίπου 20%) όσο και στα σενάρια μετριασμού συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς (μεταξύ 5% και 10% στην περίπτωση του Σεναρίου “ΑΠΕ” επιπλέον του Σεναρίου Αναφοράς). Σημαντική συνιστώσα του επιπλέον κόστους είναι οι πληρωμές για δικαιώματα εκπομπής, που εμφανίζονται και στο Σενάριο Αναφοράς, όχι όμως στο Σενάριο “καμίας πολιτικής”.

Λόγω του υψηλότερου κόστους προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, οι τιμές καταναλωτή αυξάνονται σε όλα τα σενάρια συγκριτικά με το Σενάριο “καμίας πολιτικής”. Η αύξηση αυτή (της τάξεως του 20%) είναι ήδη μεγάλη για το Σενάριο Αναφοράς.

Οι αυξήσεις των τιμών στα Σενάρια Μετριασμού, συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς, είναι σχετικά περιορισμένες μέχρι το 2030 αλλά μεγαλύτερες μετά.

Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως υπολογίζονται από το μαθηματικό πρότυπο, περιλαμβάνουν την πλήρη ανάκτηση κάθε είδους κόστους στην παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και ανάκτηση όλων των μορφών επιδότησης για τις ΑΠΕ, το κόστος αυξημένης εφεδρείας, ανάλογο με το ποσοστό των στοχαστικών ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, κ.λπ. Οι παράγοντες αυτοί εξηγούν τις αυξημένες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στο Σενάριο “ΑΠΕ” (κατά περίπου 5% το 2030 και κατά 10% το 2050) συγκριτικά με τις άλλες δύο παραλλαγές του Σεναρίου Μετριασμού. Ο ραγδαίος εξηλεκτρισμός των μεταφορών στα σενάρια μετριασμού εξελίσσεται παράλληλα με την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε άλλες χρήσεις, με συνέπεια τη σημαντική εξομάλυνση της καμπύλης ηλεκτρικού φορτίου, καθώς μειώνεται η διαφορά μεταξύ φορτίου βάσης και φορτίου αιχμής. Αυτή η εξομάλυνση είναι ευεργετική για το μέσο κόστος της ηλεκτροπαραγωγής, ιδίως όταν αυτή αναπτύσσεται με μονάδες έντασης κεφαλαίου, όπως στην περίπτωση των Σεναρίων “ΑΠΕ και CCS” και “ΑΠΕ και πυρηνικά”.

Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ελαφρά υψηλότερες στο Σενάριο “ΑΠΕ και CCS” συγκριτικά με το Σενάριο “ΑΠΕ και πυρηνικά”, κυρίως λόγω του κόστους μεταφοράς και απο-

Πίνακας 4.11

Διαμόρφωση του κόστους ηλεκτροπαραγωγής και του κόστους προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας σε €/MWh (Τιμές 2008)

						Εκατοστιαίες μεταβολές έναντι Σεναρίου “καμίας πολιτικής”		
	2005	2010	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Σενάριο Αναφοράς								
Μέσο κόστος παραγωγής	68,6	80,6	99,7	107,2	90,1		16	24
Σταθερό κόστος	27,5	35,9	56,5	63,6	48,0		31	35
Μεταβλητό κόστος	39,7	41,7	35,3	31,0	29,8		-17	-21
Φόροι και ETS	1,4	3,0	7,9	12,7	12,2		2721	5835
Κόστος δικτύων	12,6	24,1	34,4	36,3	33,6		19	19
Κόστος προμήθειας	81,2	104,7	134,1	143,5	123,7		17	22
	2005	2010	2020	2030	2050	Εκατοστιαίες μεταβολές έναντι Σεναρίου Αναφοράς		
	2005	2010	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Σενάριο "ΑΠΕ"								
Μέσο κόστος παραγωγής	68,6	80,6	105,0	110,9	96,8	5	3	7
Σταθερό κόστος	27,5	35,9	63,4	77,0	67,0	12	21	39
Μεταβλητό κόστος	39,7	41,7	31,9	25,5	18,6	-10	-17	-38
Φόροι και ETS	1,4	3,0	9,7	8,4	11,3	23	-34	-8
Κόστος δικτύων	12,5	24,3	36,7	41,6	40,7	7	15	21
Κόστος προμήθειας	81,2	104,9	141,8	152,6	137,4	6	6	11
Σενάριο "ΑΠΕ και CCS"								
Μέσο κόστος παραγωγής	68,6	80,6	104,4	107,0	92,8	5	0	3
Σταθερό κόστος	27,5	35,9	61,2	67,0	46,5	8	5	-3
Μεταβλητό κόστος	39,7	41,7	32,9	33,7	33,0	-7	9	11
Φόροι και ETS	1,4	3,0	10,3	6,3	13,3	30	-50	9
Κόστος δικτύων	12,5	24,2	36,4	37,9	33,9	6	4	1
Κόστος προμήθειας	81,2	104,8	140,8	144,9	126,8	5	1	3
Σενάριο "ΑΠΕ και πυρηνικά"								
Μέσο κόστος παραγωγής	68,6	80,6	104,4	106,2	93,0	5	-1	3
Σταθερό κόστος	27,5	35,9	61,3	66,1	49,4	9	4	3
Μεταβλητό κόστος	39,7	41,7	32,9	27,6	23,5	-7	-11	-21
Φόροι και ETS	1,4	3,0	10,3	12,4	20,0	30	-2	64
Κόστος δικτύων	12,5	24,3	36,3	38,2	34,4	6	5	2
Κόστος προμήθειας	81,2	104,9	140,8	144,4	127,4	5	1	3

Πηγή: PRIMES.

θήκευσης διοξειδίου του άνθρακα. Όπως προαναφέρθηκε, υφίσταται μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με το κόστος της ανάπτυξης και λειτουργίας πυρηνικών σταθμών στην Ελλάδα. Κατά

Πίνακας 4.12

Διαμόρφωση των τιμών καταναλωτή για την ηλεκτρική ενέργεια σε €/MWh (Τιμές 2008)

	2005	2010	2020	2030	2050	Εκατοστιαίες μεταβολές έναντι Σεναρίου “καμίας πολιτικής”		
						2020	2030	2050
Σενάριο Αναφοράς								
Μέση τιμή	88,3	114,9	147,1	157,3	135,4	17	23	24
Βιομηχανία	55,9	76,3	97,2	103,0	93,0	10	17	21
Νοικοκυριά	93,7	129,5	169,3	179,3	151,9	21	25	26
Υπηρεσίες	111,6	129,8	151,0	157,9	133,7	18	23	25
	2005	2010	2020	2030	2050	Εκατοστιαίες μεταβολές έναντι Σεναρίου Αναφοράς		
						2020	2030	2050
Σενάριο "ΑΠΕ"								
Μέση τιμή	88,3	115,1	155,8	168,0	169,4	6	7	25
Βιομηχανία	55,9	75,7	100,2	103,4	92,7	3	0	0
Νοικοκυριά	93,7	130,2	180,3	193,0	192,1	6	8	27
Υπηρεσίες	111,6	130,0	159,8	167,4	161,5	6	6	21
Σενάριο "ΑΠΕ και CCS"								
Μέση τιμή	88,3	115,0	154,7	159,4	155,5	5	1	15
Βιομηχανία	55,9	75,9	100,1	101,7	90,2	3	-1	-3
Νοικοκυριά	93,7	130,0	178,6	181,2	174,9	6	1	15
Υπηρεσίες	111,6	129,8	158,5	159,1	148,8	5	1	11
Σενάριο "ΑΠΕ και πυρηνικά"								
Μέση τιμή	88,3	115,1	154,7	158,8	155,2	5	1	15
Βιομηχανία	55,9	75,0	100,3	102,0	92,4	3	-1	-1
Νοικοκυριά	93,7	130,5	178,6	180,5	174,5	5	1	15
Υπηρεσίες	111,6	130,2	158,5	158,3	147,7	5	0	10

Πηγή: PRIMES.

συνέπεια οι εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος του Σεναρίου "ΑΠΕ και πυρηνικά" πρέπει να γίνουν δεκτές με μεγάλη επιφυλακτικότητα, αντίθετα με τις εκτιμήσεις για το κόστος των άλλων δύο παραλλαγών του Σεναρίου Μετριασμού.

Το μαθηματικό πρότυπο περιλαμβάνει αναλυτικές εκτιμήσεις των επενδύσεων κατά τομέα δραστηριότητας.

Ο Πίνακας 4.13 παρουσιάζει τις επενδύσεις για ενεργειακούς σκοπούς (αγορά εξοπλισμών, συσκευών, οχημάτων, δαπάνες για εξοικονόμηση ενέργειας, επενδύσεις στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας). Δεδομένου ότι το Σενάριο Αναφοράς περιλαμβάνει σημαντικές μορφές δράσης τόσο στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας όσο και για τις ΑΠΕ, οι επενδύσεις είναι

Πίνακας 4.13

Επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας
(Δισεκ. ευρώ, τιμές 2008)

	2010-2020	2020-2030	2030-2050	2010-2050
Σενάριο Αναφοράς				
Βιομηχανία	2,9	2,9	5,8	11,6
Κτήρια	12,8	6,9	15,2	34,9
Μεταφορές (*)	174,3	190,3	415,0	779,6
Δίκτυα	9,8	10,8	20,7	41,3
Ηλεκτροπαραγωγή	16,2	13,0	22,4	51,7
Σύνολο ηλεκτρικού τομέα	26,0	23,9	43,1	93,0
Σενάριο Μετριασμού "ΑΠΕ": επιπλέον επενδύσεις σε σύγκριση με το Σενάριο Αναφοράς				
Βιομηχανία	0,1	0,0	1,6	1,7
Κτήρια	4,2	5,6	48,5	58,3
Μεταφορές (*)	5,1	7,7	99,6	112,4
Σύνολο τομέων ζήτησης	9,4	13,3	149,7	172,4
Δίκτυα	1,1	3,4	4,1	8,6
Ηλεκτροπαραγωγή	2,7	5,2	13,2	21,1
Σύνολο ηλεκτρικού τομέα	3,8	8,6	17,3	29,7

(*) Περιλαμβάνεται το σύνολο των δαπανών για αγορά μεταφορικών μέσων και όχι μόνο οι επενδύσεις για ενεργειακούς σκοπούς.

σαφώς μεγαλύτερες από το Σενάριο “καμίας πολιτικής”, κατά περίπου €20 δισεκ. (τιμές 2008) στους τομείς της ζήτησης ενέργειας (εξαιρουμένων των μεταφορών) και κατά περίπου €15 δισεκ. (τιμές 2008) για τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας για τη χρονική περίοδο 2010-2050.

Το Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” περιλαμβάνει ακόμα μεγαλύτερο ύψος επενδύσεων, συνολικά €172 δισεκ. (τιμές 2008) στους τομείς της ζήτησης και €30 δισεκ. (τιμές 2008) στον τομέα του ηλεκτρισμού επιπλέον των επενδύσεων του Σεναρίου Αναφοράς για τη χρονική περίοδο 2010-2050. Οι αυξημένες επενδύσεις στον τομέα των μεταφορών οφείλονται στον εξηλεκτρισμό των οδικών μεταφορών και περιλαμβάνουν το επιπλέον κόστος αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων, το σύστημα επαναφόρτισης συσσωρευτών και άλλες επενδύσεις προώθησης των δημόσιων συγκοινωνιών. Το μεγαλύτερο τμήμα των επιπλέον επενδύσεων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνει χώρα μετά το 2020. Οι επενδύσεις για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια και το επιπλέον κόστος αγοράς περισσότερων αποδοτικών συσκευών εκτιμώνται στα €58 δισεκ. (τιμές 2008) για την περίοδο 2010-2050. Οι άλλες δύο παραλλαγές του Σεναρίου Μετριασμού περιλαμβάνουν παρόμοιο συνολικό ύψος επενδύσεων με το Σενάριο “ΑΠΕ”, αλλά μικρότερες συνολικές επενδύσεις στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι επιπλέον επενδύσεις στο Σενάριο Μετριασμού “ΑΠΕ” (συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς) αντιπροσωπεύουν 0,7% του ΑΕΠ σωρευτικά για την περίοδο 2010-2050 χωρίς τις μεταφορές και 1,6% μαζί με τις μεταφορές.

Σε κάθε περίπτωση, η κατασκευή και λειτουργία των νέων επενδύσεων θα ωφελήσει την οικονομική δραστηριότητα και την απασχόληση, ενώ η αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος επιφέρει περιβαλλοντικά οφέλη αλλά και μεγαλύτερη ασφάλεια για την παροχή ενέργειας, καθώς και μείωση της εξάρτησης της χώρας από τις εισαγωγές ενέργειας.

Η ελληνική οικονομία με χαμηλές εκπομπές άνθρακα θα έχει πολύ μεγαλύτερη ανάγκη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακά αποδοτικά δομικά υλικά, υβριδικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, εξοπλισμούς “έξυπνου δικτύου” και γενικά παραγωγή ενέργειας χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Για να γίνει η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και να υπάρξει ωφέλεια, όπως για παράδειγμα λόγω των χαμηλότερων δαπανών για εισαγωγή πετρελαίου, η χώρα θα πρέπει να δαπανήσει €150 δισεκ. ή 1% του ΑΕΠ σε ετήσια βάση, κατά μέσο όρο, κατά τη διάρκεια των επόμενων τεσσάρων δεκαετιών, επιπλέον των δαπανών που προβλέπονται σύμφωνα με τις τρέχουσες πολιτικές, οι οποίες επιτυγχάνουν μεν τους στόχους του “20-20-20”, αλλά δεν επαρκούν για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Οι επιπλέον επενδύσεις επαναφέρουν τη χώρα σε επίπεδα επενδύσεων πριν από την οικονομική κρίση και θα προωθήσουν την ανάπτυξη σε ένα ευρύ φάσμα τομέων παραγωγής και παροχής υπηρεσιών. Το μεγαλύτερο τμήμα πληρωμών για εισαγωγή καυσίμων θα υποκατασταθεί από δαπάνες για, κατά ένα σημαντικό τμήμα, εγχωρίως παραγόμενα αγαθά και υπηρεσίες. Με την εντατικοποίηση της δράσης για το κλίμα θα μπορούσαν να δημιουργηθούν πολλές νέες θέσεις εργασίας.

Η μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποφέρει επίσης σημαντικά οφέλη για το τοπικό περιβάλλον: σχεδόν μηδενίζονται οι εκπομπές ρύπων όξινης βροχής, καθώς και οι εκπομπές μικροσωματιδίων, ενώ η ποιότητα του αέρα στις αστικές περιοχές βελτιώνεται θεαματικά με τη γενίκευση της ηλεκτροκίνησης. Η αποδέσμευση από τις εκπομπές άνθρακα μέσω της δραστηκής μείωσης της χρήσης ορυκτών καυσίμων μειώνει επίσης θεαματικά την εξάρτηση της χώρας από εισαγόμενη ενέργεια και έτσι βελτιώνει την ασφάλεια του εφοδιασμού.

Βιβλιογραφικές αναφορές για το μαθηματικό πρότυπο PRIMES

Capros, P. et al. (2011), “The PRIMES energy system model – Manual”, E3MLab, http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/index.php?option=com_content&view=article&id=58%3Amanual-for-primess-model&catid=35%3Aprimes&Itemid=80&lang=en and http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/index.php?option=com_content&view=article&id=221%3Aselected-applications-&catid=35%3Aprimes&Itemid=80&lang=en.

Capros, P. and Y. Antoniou (1999), “Decision Support System for the PRIMES Energy Model of the European Commission”, Vol. 12, Nos 1-6, special issue of International Journal of Global Energy Issues, Inderscience Enterprises, Geneva.

Capros, P., Guest Editor (2000), “Technology Evolution and Energy Modeling”, special issue of the International Journal of Global Energy Issues (IJGEI), Vol. 14-, Nos. 1-4, 2000, Inderscience Enterprises, Geneva.

Capros, P., L. Mantzos, V. Papandreou, N. Tasios and G. Klaassen (2009) “Model-based evaluation of European carbon capture and storage – policy options”, *European Review of Energy Markets*, Volume 3: Issue 2, ISSN 1782-1029, June.

Capros, P., L. Mantzos, N. Tasios et al. (2009), “European Energy and Transport Trends to 2030 – Update 2009”, European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/index_en.htm.

Capros, P., L. Mantzos, L. Parousos, N. Tasios, G. Klaassen and T. Van Ierland (2011), “Analysis of the EU policy package on climate change and renewables”, *Energy Policy*, Volume 39, Issue 3, 1476-85, March.

Capros, P. et al. (2010), “Power Choices”, EURELECTRIC, <http://www.eurelectric.org/download/download.aspx?DocumentFileID=63875>.

European Commission, DG CLIMA (2011), “SEC (2011) 288: Impact Assessment for Roadmap 2050 (using model PRIMES)”, http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm.

European Commission, DG MOVE (2011), “Impact Assessment for Transport White Paper (using model PRIMES)”, http://ec.europa.eu/transport/strategies/2011_white_paper_en.htm.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και στρατηγική για την αντιμετώπιση της κλιματικής μεταβολής στην Ελλάδα

5.1 Συμπεράσματα του 1^{ου} Κεφαλαίου*

Η Μεσόγειος έχει αναγνωριστεί διεθνώς ως περιοχή ευάλωτη στις επιπτώσεις της ανθρωπογενούς κλιματικής μεταβολής. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα σειράς κλιματικών προσομοιώσεων, η παρούσα μελέτη προβλέπει ότι μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα η θερμοκρασία στην Ελλάδα θα σημειώσει σημαντική άνοδο, ενώ παράλληλα το ύψος του υετού αναμένεται να συνεχίσει μειούμενο. Πράγματι, όπως προκύπτει από τις υπάρχουσες μετρήσεις, κατά τον περασμένο αιώνα οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν κατά περίπου 20% στη Δυτική Ελλάδα και 10% στην Ανατολική Ελλάδα. Οι μειώσεις αυτές μπορούν να αποδοθούν κατά ένα μέρος στη θετική κλιματική τάση που έχει παρατηρηθεί στην κύμανση του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού κατά τον παρελθόντα αιώνα. Η παρούσα μελέτη έδειξε επίσης ότι κατά τις προσεχείς δεκαετίες αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά και η συχνότητα εμφάνισης ακραίων τιμών της θερμοκρασίας και ακραίων τιμών της βροχόπτωσης.

Με επικέντρωση στις προσομοιώσεις της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο κλίμα μεταξύ των δύο ακραίων σεναρίων που χρησιμοποιήθηκαν (B2 και A2), προκύπτει ότι κατά το τέλος του 21ου αιώνα η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί μεταξύ 3,0 °C και 4,5 °C αντίστοιχα. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερη στις ηπειρωτικές σε σύγκριση με τις νησιωτικές περιοχές της Ελλάδος. Επιπρόσθετα, θα είναι μεγαλύτερη κατά το θέρος και το φθινόπωρο και μικρότερη κατά το χειμώνα και την άνοιξη. Αντίστοιχα, η βροχή αναμένεται ότι θα μειωθεί μεταξύ 5% (Σενάριο B2) και περίπου 19% (Σενάριο A2), σε επίπεδο επικράτειας. Από τις εκτιμήσεις των κλιματικών προσομοιώσεων που μελετήθηκαν προκύπτει ότι η σχετική υγρασία για το σύνολο της επικράτειας θα μειωθεί σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 1% (Σενάριο B2) και 4,5% (Σενάριο A2). Η ελάττωση της σχετικής υγρασίας αναμένεται να είναι εν γένει εντονότερη στις ηπειρωτικές περιοχές, ιδίως κατά το θέρος, ενώ στις νησιωτικές περιοχές η υγρασία δεν αναμένεται να μεταβληθεί.

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 5.1 συνεργάστηκαν οι Χρήστος Ζερεφός, Ιωάννης Καψωμενάκης και Κωνσταντίνος Δουβής.

Οι προσομοιώσεις δείχνουν επίσης μείωση της νεφοκάλυψης στην Ελλάδα στις προσεχείς δεκαετίες σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 8% (Σενάριο B2) και 16% (Σενάριο A2). Στο σύνολο της επικράτειας, η ηλιακή ακτινοβολία αναμένεται να αυξηθεί μεταξύ 2,3 W/τετρ. μ. (Σενάριο B2) και 4,5 W/τετρ. μ. (Σενάριο A2), ενώ η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου στην επικράτεια δεν αναμένεται να μεταβληθεί σημαντικά, εκτός από τους Ετήσιες ανέμους, η ένταση των οποίων αναμένεται να αυξηθεί μέχρι και 10%.

Στην παρούσα μελέτη προέκυψε ότι, ακόμα και στην περίπτωση του ενδιάμεσου Σεναρίου A1B, αναμένεται ότι στα ηπειρωτικά ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη θερμοκρασία θα υπερβαίνει τους 35 °C θα είναι μεγαλύτερος κατά 35-40 ημέρες την περίοδο 2071-2100 σε σύγκριση με το παρόν. Ακόμα μεγαλύτερη αύξηση (περίπου 50 ημέρες στην επικράτεια) θα σημειωθεί στον αριθμό των ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία άνω των 20 °C (τροπικές νύκτες). Σε αντιδιαστολή, ο αριθμός των ημερών με νυκτερινό παγετό αναμένεται να μειωθεί σημαντικά, ιδίως στη Βόρεια Ελλάδα (μείωση έως και κατά 40 ημέρες). Εξάλλου, η άνοδος της θερμοκρασίας θα έχει ως συνέπεια την αύξηση της χρονικής διάρκειας της βλαστητικής περιόδου κατά 15-35 ημέρες.

Μια σημαντική επίπτωση της ανόδου της θερμοκρασίας είναι η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη το καλοκαίρι. Ειδικότερα, στα πεδινά ηπειρωτικά της Ελλάδος κατά την περίοδο 2071-2100 θα υπάρχει αυξημένη ανάγκη ψύξης έως και 40 επιπλέον ημέρες το χρόνο, ενώ στις νησιωτικές και ορεινές περιοχές οι αυξήσεις θα είναι μικρότερες. Μια θετική πτυχή της αλλαγής του κλίματος αποτελεί η μειωμένη ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση που προβλέπεται για τη χειμερινή περίοδο.

Μεταβολές αναμένονται επίσης ως προς τις ακραίες τιμές της βροχόπτωσης. Στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα και τη ΒΔ Μακεδονία η μέγιστη ποσότητα του νερού που κατακρημνίζεται σε διάστημα έως 3 ημέρες αναμένεται να αυξηθεί σε ποσοστό έως 30%, ενώ στη Δυτική Ελλάδα αναμένεται να μειωθεί σε ποσοστό έως 20%. Σε αντιδιαστολή με τις πλημμυρικές περιόδους, οι μεγαλύτερες αυξήσεις της διάρκειας των ξηρών περιόδων θα σημειωθούν στην ανατολική ηπειρωτική χώρα και στη Βόρεια Κρήτη, όπου αναμένονται 20 επιπλέον ημέρες ξηρασίας μέχρι το 2021-2050 και μέχρι 40 επιπλέον ημέρες το 2071-2100. Προβλέπεται ότι η μεταβολή των κλιματικών συνθηκών θα αυξήσει σημαντικά τον αριθμό των ημερών με εξαιρετικά αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς, κατά 40 ημέρες το 2071-2100 σε όλη την Ανατολική Ελλάδα από τη Θράκη ως την Πελοπόννησο, ενώ μικρότερες αυξήσεις αναμένονται στη Δυτική Ελλάδα. Στα παράκτια του Ιονίου και τα Δωδεκάνησα θα αυξηθεί η διάρκεια της περιόδου με $humidex > 38$ °C έως και κατά 40 ημέρες, ενώ μικρότερες αυξήσεις, της τάξεως των 25 ημερών, θα σημειωθούν στα πεδινά ηπειρωτικά και στην Κρήτη κατά την περίοδο 2071-2100.

Επίσης, από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι θα υπάρξει άνοδος της θαλάσσιας στάθμης, που θα κυμαίνεται από 0,2 έως και 2 μέτρα μέχρι το 2100. Βεβαίως, θα πρέπει να τονιστεί και η αβεβαιότητα ως προς την ασφαλή εκτίμηση της επικινδυνότητας μιας περιοχής λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, διότι η επικινδυνότητα αυτή δεν καθορίζεται μόνον από το

ρυθμό και το εύρος της ανόδου της στάθμης αλλά και από άλλους τοπικούς παράγοντες, όπως ο τεκτονισμός, η προσφορά ιζήματος (από τη χέρσο) και η παράκτια γεωμορφολογία/λιθολογία.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η παράκτια ζώνη της Βόρειας Πελοποννήσου, με ρυθμούς ανύψωσης από 0,3 έως 1,5 χλστ./έτος, της Κρήτης με 0,7 έως 4 χλστ./έτος και της Ρόδου με 1,2-1,9 χλστ./έτος. Έτσι, π.χ., μια μέση τιμή ανόδου της στάθμης της θάλασσας της τάξεως των 4,3 χλστ./έτος θα περιοριστεί στα 3,5 χλστ./έτος χάρη στην αφαιρετική δράση μιας μέσης τιμής τεκτονικής ανύψωσης της τάξεως των 0,8 χλστ./έτος. Η μεταβολή των στερεοπαροχών σε περιοχές εκβολών μεγάλων ποταμών όπου δημιουργούνται Δέλτα μπορεί να αντισταθμίσει μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μέσω της προέλασης του Δέλτα λόγω αυξημένης παροχής ιζήματος. Αντίθετα, σε περίπτωση μείωσης της ποτάμιας στερεοπαροχής, η θαλάσσια επίκλυση από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας θα ενισχυθεί. Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει η παράκτια μορφολογία, ειδικότερα η κλίση και η λιθολογική της σύσταση, καθώς αυτά έχουν άμεση σχέση με τους ρυθμούς διάβρωσης.

Υπολογισμοί που έγιναν στο μήκος της ακτογραμμής των παράκτιων ζωνών δείχνουν ότι, από τα περίπου 16.300 χλμ. του συνολικού μήκους της ελληνικής ακτογραμμής, τα 960 χλμ. (6% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στις παράκτιες δελταϊκές περιοχές υψηλής ευπάθειας, τα 2.400 χλμ. (15% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στα νεογενή μαλακά ιζήματα μέτριας ευπάθειας, ενώ τα υπόλοιπα 12.900 χλμ. (79% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν στις βραχώδεις παράκτιες περιοχές χαμηλής ευπάθειας. Επομένως, το συνολικό μήκος ακτογραμμής που αντιστοιχεί σε παράκτιες περιοχές μέτριας έως υψηλής ευπάθειας στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι περίπου 3.360 χλμ., δηλαδή το 21% της συνολικής ελληνικής ακτογραμμής.

Εάν δεν υπάρξει τεκτονική και γεωδυναμική διόρθωση της ενδεχόμενης ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 μ. και 1 μ. σε δελταϊκές περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, όπως π.χ. του Αξιού-Αλιάκμονα και του Αλφειού, προκύπτει ότι το εύρος της υποχώρησης της ακτογραμμής θα κυμαίνεται μεταξύ 30 μ. και 2.750 μ., ενώ το αντίστοιχο εύρος για υποθετική άνοδο κατά 1 μ. θα κυμαίνεται μεταξύ 400 μ. και 6.500 μέτρων.

5.2 Συμπεράσματα του 2^{ου} Κεφαλαίου*

Η ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε επί μέρους τομείς της οικονομίας προσφέρει για πρώτη φορά τη δυνατότητα ποσοτικού υπολογισμού του μεγέθους των αναμε-

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 5.2 συνεργάστηκαν οι: Χρήστος Ζερεφός, Αναστάσιος Ξεπαπαδέας, Μιχαήλ Σκούρτος, Γεώργιος Στουρνάρας, Αρετή Κοντογιάννη, Σωφρόνιος Παπουτσόγλου, Φοίβη Κουντούρη, Κωνσταντίνος Παπακωνσταντίνου, Ανδρέας Καραμάνος, Αναστάσιος Νάσσης, Βασιλική Τσιαούση, Ευτύχιος Σαρτζετάκης, Βενιαμίν Καρατζόγλου, Ματθαίος Σανταμούρης, Δημοσθένης Ασημακόπουλος, Γεώργιος Γιαννόπουλος, Ιωάννης Υφαντόπουλος, Ιωάννης Οικονομόπουλος, Δημήτρης Δαμίγος και Ιωάννης Καψωμενάκης.

νόμενων οικονομικών επιπτώσεων και συμβάλλει στο σχεδιασμό πολιτικών προσαρμογής για το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής οικονομίας. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής οι οποίες προέκυψαν από τις επί μέρους τομεακές μελέτες συνοψίζονται ως εξής:

Υδάτινα αποθέματα

Η κλιματική αλλαγή θα επιδράσει αρνητικά στον τομέα των υδάτινων πόρων σε όλα τα υδατικά διαμερίσματα και με βάση όλα τα ενδεχόμενα σενάρια. Οι επιπτώσεις αυτές μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- γενική μείωση της τροφοδοσίας και ανανέωσης του ύδατος των υδροφόρων οριζόντων λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων και της αύξησης της εξατμισιδιαπνοής,
- αύξηση της υφαλμύρωσης των παράκτιων και υποθαλάσσιων υδροφόρων οριζόντων, ιδίως των καρστικών, με προέλαση του μετώπου υφαλμύρωσης προς την ενδοχώρα λόγω της μείωσης του δυναμικού της χερσαίας υδατικής φάσης, εξαιτίας της μειωμένης τροφοδοσίας και της υπεράντλησης,
- αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντικού φορτίου στις παράκτιες υδατικές μάζες και στη θάλασσα,
- εντονότερη αποδόμηση των δελταϊκών περιοχών, που ήδη έχει ξεκινήσει λόγω της κατασκευής εγκάρσιων φραγμάτων στην ανάντη ζώνη (μείωση απορροής και στερεοπαροχής) και παράλληλων αναχωμάτων στην πεδινή ζώνη του Δέλτα (άφιξη μεταφερόμενου υλικού σε ένα και μοναδικό στόμιο),
- ρύπανση ή αποξήρανση των παράκτιων υγροτόπων και
- επιδείνωση του φαινομένου της ερημοποίησης λόγω υδατικού ελλείμματος και εδαφικών μεταβολών (συμπυκνώσεις, στεγανοποιήσεις κ.λπ.).

Η αναμενόμενη μείωση του ύψους της βροχής για το σύνολο της επικράτειας για την περίοδο 2021-2050 εκτιμάται μεταξύ 3% για το Σενάριο B2 και 8% για τα Σενάρια A1B και A2, για δε την περίοδο 2071-2100 μεταξύ 7% (για το Σενάριο B2) και 20% (για τα Σενάρια A1B και A2). Οι αντίστοιχες μειώσεις του όγκου ύδατος που κατεισδύει εκτιμάται ότι για την περίοδο 2021-2050 θα κυμανθούν μεταξύ 14% (Σενάριο B2) και 22% (Σενάριο A2), ενώ για την περίοδο 2071-2100 οι μειώσεις κυμαίνονται μεταξύ 30% (Σενάριο B2) και 54% (Σενάριο A2). Η εν λόγω μεταβολή θα έχει άμεσες επιπτώσεις στο είδος και στην έκταση των καλλιεργειών, σε συνδυασμό με αλλαγές της πρακτικής στον αγροτικό τομέα.

Από οικονομική άποψη, η συνολική ζημία για την ελληνική οικονομία σε παρούσες αξίες κυμαίνεται — ανάλογα με τα κλιματικά σενάρια και το επιτόκιο προεξόφλησης — από 0,34% του ΑΕΠ (Κλιματικό Σενάριο A1B, επιτόκιο προεξόφλησης 3%) έως 1,69% του ΑΕΠ (Κλιματικό Σενάριο A2, επιτόκιο προεξόφλησης 1%). Οι πλέον τρωτές κλιματικές ζώνες, στις οποίες και καταγράφεται το μεγαλύτερο κόστος, είναι η Κεντρική, η Ανατολική και η Δυτική Ελλάδα

και, από την Β. Ελλάδα, ιδίως η Κεντρική Μακεδονία. Ωστόσο, φαίνεται πως υπάρχουν σημαντικά περιθώρια για την άσκηση δράσεων προσαρμογής.

Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Η οικονομική σημασία των παράκτιων ζωνών για την Ελλάδα, χώρα με περίπου 16.300 χλμ. ακτογραμμής, όπου οι 12 από τις 13 Περιφέρειες της είναι και παράκτιες, είναι μεγάλη, δεδομένου ότι ο παράκτιος τουρισμός συνεισφέρει αφεαυτού 15-18% του ΑΕΠ. Οι προβλέψεις ανόδου της στάθμης της θάλασσας κυμαίνονται από 0,2 έως και 2 μέτρα μέχρι το 2100. Οι επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας αφορούν τόσο το δομημένο περιβάλλον και τους ανθρώπινους πληθυσμούς όσο και σημαντικά περιβαλλοντικά συστήματα.

Οι οικονομικές ζημιές εξαιτίας της ανόδου της στάθμης μελετώνται υπό δύο οπτικές γωνίες: η πρώτη σχετίζεται με τη μακροπρόθεσμη άνοδο της στάθμης της θάλασσας και η δεύτερη αφορά στη βραχυπρόθεσμη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, δηλ. περιπτώσεις κυματικής καταγίδας (φουσκοθαλασσίας) λόγω της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής. Η ανάλυση των δύο αυτών οπτικών γωνιών κρίθηκε απαραίτητη, επειδή αναμένεται αύξηση της συχνότητας εμφάνισης και της έντασης των κυματικών καταγίδων στην Ανατολική Μεσόγειο ως άμεσο αποτέλεσμα της διατάραξης του υδρολογικού κύκλου. Το συνολικό κόστος λόγω της μακροχρόνιας ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην ελληνική παράκτια ζώνη, το οποίο αντιστοιχεί σε αρνητικές επιπτώσεις για την οικιστική, τουριστική, υδροτοπική, δασική και γεωργική χρήση της γης, εκτιμάται μεταξύ €4,4 δισεκ. για άνοδο της στάθμης κατά 0,5 μ. και €8 δισεκ. για άνοδο της στάθμης κατά 1 μέτρο. Το κόστος το οποίο αντιστοιχεί σε αρνητικές επιπτώσεις στην ελληνική παράκτια ζώνη λόγω της απώλειας, σε βάθος χρόνου, αισθητικών/ψυχαγωγικών και πολιτιστικών/πνευματικών αξιών εκτιμάται ότι θα κυμανθεί μεταξύ €10.496 εκατ. για άνοδο της στάθμης κατά 0,5 μ. και €19.052 εκατ. για άνοδο της στάθμης κατά 1 μέτρο. Τέλος, το κοινωνικό κόστος των κυματικών καταγίδων στην ελληνική παράκτια ζώνη εκτιμήθηκε σε περίπου €620 εκατομμύρια.

Από το σύνολο των οικοσυστημικών υπηρεσιών της παράκτιας ζώνης, η εκτιμηθείσα αξία περιλαμβάνει κυρίως χρηστικές αξίες (τουριστική, οικιστική, δασική γεωργική και υδροτοπική). Συνεπώς, η παραπάνω αποτίμηση του πόρου αποτελεί ένα κατώτερο “κατώφλι” της πραγματικής οικονομικής αξίας του. Η προσαρμογή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας μπορεί να επικεντρωθεί σε μέτρα οπισθοχώρησης (μετακίνηση όλων των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και χρήσεων από τις παράκτιες περιοχές που πλήττονται), συμβιβασμού (τροποποίηση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και χρήσεων στις παράκτιες περιοχές που πλήττονται) και προστασίας (εφαρμογή σκληρών και ήπιων τεχνικών προστασίας, που ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις που θα επέρχονταν εάν δεν εφαρμόζονταν τα συγκεκριμένα μέτρα προστασίας). Έχει επίσης υπολογιστεί το κόστος λήψης μέτρων προσαρμογής, το οποίο υποδεικνύει ότι οικονομικά επωφέλεστερη πολιτική, σε σύγκριση με τη μη δράση, είναι η υιοθέτηση μέτρων προσαρμογής.

Αλιεία

Όπως προκύπτει από το δείγμα το οποίο μελετήθηκε, λόγω της ανόδου της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας στο Αιγαίο κατά 1 °C οι βενθικοί ιχθύες μειώνονται κατά 724 τόνους (1,1% της μέσης τιμής) και οι μεσοπελαγικοί κατά 160 τόνους (1,3%), ενώ οι μεγάλοι και οι μικροί πελαγικοί ιχθύες αυξάνονται κατά 12 τόνους για κάθε κατηγορία, δηλαδή κατά 0,5% και 0,04%, αντίστοιχα, της μέσης παραγωγής τους. Υπολογίζεται ότι το σύνολο των αλιευμάτων μειώνεται κατά 859 τόνους ή κατά 0,8% της μέσης τιμής. Εάν μέχρι το 2100 η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας αυξηθεί κατά 3,3 °C, τότε, με τα σημερινά δεδομένα, εκτιμάται ότι τα βενθικά αλιεύματα της Ελλάδος θα μειωθούν περίπου κατά 3,6% της μέσης τιμής και τα μεσοπελαγικά κατά 4,2% της μέσης τιμής, αντίστοιχα. Οι μεγάλοι και οι μικροί πελαγικοί ιχθύες εκτιμάται ότι θα αυξηθούν κατά 1,7% και 0,13% της μέσης τιμής τους αντίστοιχα, ενώ τα συνολικά αλιεύματα εκτιμάται ότι θα μειωθούν περίπου κατά 2,5% της μέσης τιμής.

Η άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται ότι θα ωφελήσει τα θερμοφιλά είδη και ενδεχομένως η συνολική παραγωγή να μη μειωθεί ή η μείωσή της να μην είναι σημαντική. Αυτό δεν σημαίνει ότι θα μειωθεί η συνολική παραγωγή, αλλά ότι θα γίνει ανακατανομή των ποσοτήτων των ειδών που αλιεύονται. Επιπλέον, αναμένεται ότι, με την άνοδο της θερμοκρασίας, είδη-“μετανάστες” θα προστεθούν στο αλιεύμα. Τέλος, από την ανάλυση που διενεργήθηκε προέκυψε ότι η εκτιμώμενη με βάση το Σενάριο A1B ελάττωση της βροχόπτωσης θα επιφέρει μικρή μείωση, κατά 2%, της παραγωγής των κεφαλόποδων και των μαλακόστρακων, ενώ δεν φαίνεται ότι θα έχει επίπτωση στην παραγωγή των υπόλοιπων ειδών.

Η παρούσα αξία της απώλειας εισοδήματος στην (επαγγελματική) αλιεία θα κυμανθεί από €14,8 εκατ. έως €2,5 εκατ. ανάλογα με το επιτόκιο προεξόφλησης, 1% και 3%, αντίστοιχα, σε σχέση με το μέσο επιτόκιο προεξόφλησης, ενώ εκτιμήθηκε ότι το κόστος από τη μείωση της βιοποικιλότητας θα κυμανθεί από €287 εκατ. έως €1.896 εκατομμύρια.

Γεωργία

Εκτιμήθηκε η επίπτωση των κλιματικών μεταβολών και της ερημοποίησης στην παραγωγή αροτραίων και δενδρωδών καλλιεργειών και ειδικότερα στις καλλιέργειες του σίτου, του βαμβακιού, του αραβόσιτου, της ελιάς και της αμπέλου. Η ανάλυση των επιπτώσεων γίνεται λαμβανομένης και μη λαμβανομένης υπόψη της ερημοποίησης των εδαφών.

Η αναμενόμενη μείωση των βροχοπτώσεων και η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων φαινομένων θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην υπόθεση ότι οι υφιστάμενες προβλέψεις θα επιβαρυνθούν κατά 5-10% επιπλέον. Από τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, το B2 φαίνεται ότι θα ευνοήσει τη φυτική παραγωγή, ιδιαίτερα βορειότερα και ανατολικά, δηλ. οι περιοχές της Μακεδονίας και της Θράκης θεωρείται ότι θα είναι οι περισσότερο ευνοημένες ή λιγότερο ζημιωμένες, ανάλογα με την περίπτωση. Το Σενάριο A2 θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή. Η πλέον ευαίσθητη αροτραία καλλιέργεια είναι το σιτάρι, ενώ η

παραγωγή βαμβακιού θα υποστεί τις μεγαλύτερες μειώσεις τόσο υπό το Σενάριο A1B όσο και υπό το Σενάριο A2 στην περιοχή της Κεντρικής και Ανατολικής Ελλάδος. Οι επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στην παραγωγή των δενδρωδών καλλιεργειών μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα αναμένεται να είναι από ουδέτερες έως θετικές. Οι αρνητικές επιπτώσεις αυξάνονται στο τέλος του αιώνα, ιδίως στη νότια και τη νησιωτική Ελλάδα. Η καλλιέργεια κηπευτικών θα μετατοπιστεί βορειότερα και η καλλιεργητική περίοδος θα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με σήμερα, λόγω των ηπιότερων-θερμότερων χειμώνων, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η παραγωγή.

Η παρούσα αξία των συνολικών οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε όρους μεταβολής του γεωργικού εισοδήματος (% του ΑΕΠ) μέχρι το 2100 κυμαίνεται, ανάλογα με το σενάριο και με επιτόκιο προεξόφλησης 1%, από οφέλη ύψους 2,92% του ΑΕΠ (Κλιματικό Σενάριο A2) έως οφέλη 13,37% του ΑΕΠ (Κλιματικό Σενάριο B2). Αν συμπεριληφθούν οι αρνητικές επιδράσεις της ερημοποίησης, οι συνολικές επιπτώσεις κυμαίνονται από οφέλη 3,31% του ΑΕΠ (Κλιματικό Σενάριο B2) έως ζημιές 14,84% του ΑΕΠ (Κλιματικό Σενάριο A2). Οι επιπτώσεις διαφοροποιούνται αν συνεκτιμηθούν οι μεταβολές και άλλων παραγόντων που επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγή και σχετίζονται άμεσα με τις κλιματικές μεταβολές, όπως η επίδραση των ζιζανίων και των επιβλαβών εντόμων (ακόμα και των χωροκατακτητικών ειδών), καθώς και η ενδεχόμενη μεταβολή της αποδοτικότητας των επικονιαστών.

Δάση

Τα δασικά οικοσυστήματα (δάση 25%, λιβάδια 40%) καταλαμβάνουν το 65% περίπου της χερσαίας επιφάνειας της Ελλάδος. Με τη σημερινή στρατηγική διαχείρισης και χωρίς να ληφθούν πρόσθετα μέτρα, εκτιμάται ότι, εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών ως το έτος 2100, τα δάση των θερμόβιων κωνοφόρων και των αείφυλλων πλατύφυλλων θα επεκταθούν κατά 2% έως 4%, ενώ τα δάση ερυθρελάτης, ελάτης, οξυάς και μαύρης πεύκης θα συρρικνωθούν κατά 4% έως 8%, ανάλογα με το σενάριο κλιματικής αλλαγής (B2 ή A2). Από τη μείωση της έκτασης των παραγωγικών δασών αναμένεται μείωση της παραγωγής βιομάζας ξύλου, συνολικά κατά 80 χιλ. και 330 χιλ. κ. μ. για τα αντίστοιχα σενάρια. Επίσης, λόγω της κλιματικής μεταβολής αναμένεται να υπάρξει μείωση της παραγωγής ξυλείας κατά μέσο όρο περίπου κατά 27% (B2) έως 35% (A2) έως το 2100. Δηλαδή, η αναμενόμενη ετήσια μείωση της παραγωγής βιομάζας ξύλου για τα Σενάρια B2 και A2 υπολογίζεται σε 529,2 χιλ. κ. μ. έως 686 χιλ. κ. μ., αντίστοιχα, το 2100. Ταυτόχρονα, θα υπάρξει μείωση της λιβαδικής παραγωγής κατά 10% (B2), ή, με βάση το Σενάριο A2, έως και 25%. Η μείωση της λιβαδικής παραγωγής εκτιμάται σε 312 χιλ. τόνους/έτος (B2) έως 780 χιλ. τόνους/έτος (A2) το 2100. Επίσης, λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, η λιβαδική παραγωγή θα μειωθεί κατά 26 χιλ. τόνους/έτος (B2) έως 52 χιλ. τόνους/έτος (A2). Η οικονομική ζημία από τα παραπάνω θα ανέλθει συνολικά σε €295 εκατ./έτος και €683 εκατ./έτος για καθένα από τα δύο σενάρια. Επίσης, ορισμένα από τα παράκτια δασικά οικοσυστήματα κινδυνεύουν από την ερημοποίηση.

Με την άνοδο της θερμοκρασίας αναμένεται ότι θα αυξηθεί ο αριθμός των πυρκαγιών κατά τη θερινή περίοδο και ότι η συνολική καμένη έκταση θα διευρυνθεί κατά 10% έως 20%. Το συνολικό κόστος κατάσβεσης πυρκαγιών και αποκατάστασης των συναφών ζημιών θα αυξηθεί κατά €40 εκατ. (B2) έως €80 εκατ. (A2). Επίσης, εκτιμάται ότι θα αυξηθεί η επιφανειακή απορροή και η διάβρωση, με αποτέλεσμα να περιοριστεί η βαθιά διήθηση, που επιφέρει εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, και να μειωθεί η ποσότητα του διαθέσιμου χρησιμοποιήσιμου ύδατος κατά 25% (B2) έως 40% (A2), δηλ. 5 δισεκ. (B2) έως 8 δισεκ. (A2) κ.μ./έτος. Η παρούσα αξία των άμεσων οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα, για τα δύο πιο πιθανά σενάρια κλιματικής αλλαγής, B2 και A2, και για δύο προεξοφλητικά επιτόκια, 1% και 3%, κυμαίνεται από €1,4 δισεκ. (B2) με προεξοφλητικό επιτόκιο 3% έως €9,5 δισεκ. (A2) με προεξοφλητικό επιτόκιο 1%. Το κόστος προσαρμογής για τον περιορισμό των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα θα ανέλθει: (α) για τη διαχείριση (καλλιεργητικές παρεμβάσεις, συστήματα βόσκησης κ.λπ.) των δασικών οικοσυστημάτων σε €30 εκατ./έτος (B2) ή €50 εκατ./έτος (A2), (β) για τη βελτίωση της δασοπυρόσβεσης σε €40 εκατ./έτος (B2) ή €80 εκατ./έτος (A2), (γ) για την κατασκευή φραγμάτων συγκράτησης στερεών υλικών σε €0,50 δισεκ. (B2) ή €1,00 δισεκ. (A2), εφάπαξ και περιοδικό κόστος συντήρησης και επισκευής, (δ) για την κατασκευή υδατοφραγμάτων αποθήκευσης ομβρίων σε €1,75 δισεκ. (B2) ή €3,50 δισεκ. (A2), εφάπαξ και περιοδικό κόστος συντήρησης, (ε) για την κατασκευή αναχωμάτων συγκράτησης θαλάσσιων υδάτων (συνολικού μήκους 100 ή 200 χλμ., ανάλογα με το σενάριο) σε €0,10 δισεκ. ή €0,20 δισεκ., εφάπαξ και περιοδικό κόστος συντήρησης. Το συνολικό κόστος προσαρμογής θα ανέλθει σε €70 εκατ. (B2) έως €130 εκατ./έτος και εφάπαξ σε €2,35 δισεκ. (B2) ή €4,70 δισεκ. (A2).

Βιοποικιλότητα

Στη Νότια Ευρώπη, σε περιοχές της Ιβηρικής Χερσονήσου, στην Ιταλία και στην Ελλάδα αναμένεται μείωση της αφθονίας των ειδών, όπου η πλειονότητα των νησιών της Μεσογείου αναμένεται να χάσουν, υπό προϋποθέσεις, έως και το 100% της τρέχουσας αφθονίας των ειδών τους, ενώ η εξάπλωση των ειδών θα εξαρτηθεί και από τη διαθεσιμότητα των κατάλληλων ενδιαιτημάτων. Αναφορικά με τους ιχθύς των εσωτερικών υδάτων, προκύπτει ότι τα 60 από τα 127 αυτόχθονα είδη (ποσοστό περίπου 47%) που απαντούν στην Ελλάδα απειλούνται από την κλιματική αλλαγή. Σε ό,τι αφορά τα δασικά οικοσυστήματα στην Ελλάδα, η αλλαγή του κλίματος αναμένεται να οδηγήσει σε περιορισμό ψυχρόβιων κωνοφόρων (ελάτη, δασική πεύκη κ.λπ.) και εισβολή θερμόβιων κωνοφόρων σε δάση φυλλοβόλων δρυών. Σε σχέση με τους υγροτόπους, πολλά εφήμερα οικοσυστήματα αναμένεται να εξαφανιστούν και πολλά μόνιμα να συρρικνωθούν.

Οι οικονομικές επιπτώσεις της απώλειας της βιοποικιλότητας εκτιμήθηκαν με βάση την παρούσα αξία, για την περίοδο 2011-2100, του οικονομικού κόστους λόγω της απώλειας των

συνολικών προσφερόμενων υπηρεσιών από τα δασικά οικοσυστήματα και τις λίμνες Χειμαδίτιδα και Κερκίνη ως οικοτόπους υπό τα Σενάρια Α2 και Β2 της κλιματικής μεταβολής που διαμορφώθηκαν για τον ελλαδικό χώρο. Το συνολικό κόστος σε όρους παρούσας αξίας για την περίοδο 2011-2100 κυμαίνεται από €1.140 εκατ. έως €240.834 εκατ. για τα δασικά οικοσυστήματα, ανάλογα με την εκτίμηση για το κόστος της απώλειας υπηρεσιών των δασικών οικοσυστημάτων λόγω της κλιματικής αλλαγής (χαμηλή/υψηλή εκτίμηση) και από €15.586 χιλ. έως €172.104 χιλ. για τις λίμνες Χειμαδίτιδα και Κερκίνη. Λόγω της αδυναμίας να ποσοτικοποιηθεί το σύνολο των επιπτώσεων, οι εκτιμήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως κατώτατο όριο των συνολικών οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βιοποικιλότητα.

Τουρισμός

Εκτιμάται ότι η κλιματική αλλαγή, με βάση την επίδρασή της στην εξέλιξη του δείκτη τουριστικής ευφορίας ως το τέλος του αιώνα, θα έχει σημαντικές επιπτώσεις για τον ελληνικό τουρισμό, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στη χρονική και περιφερειακή ανακατανομή των αφίξεων τουριστών στη χώρα μας, επομένως και των τουριστικών εισπράξεων. Από την ανάλυση των δεδομένων σε ετήσια βάση και σε επίπεδο επικράτειας προκύπτει ότι, μετά από μια μικρή κάμψη κατά τις πρώτες τρεις δεκαετίες του 21ου αιώνα, οι αφίξεις θα αυξηθούν σημαντικά, φθάνοντας τις 10 εκατομμύρια επιπλέον αφίξεις ετησίως, ποσοστό 25% των συνολικών αφίξεων, για τη δεκαετία 2091-2100. Δυστυχώς, η ανάλυση των δεδομένων σε εποχικό και περιφερειακό επίπεδο αποδεικνύει ότι τα παραπάνω αποτελέσματα είναι παραπλανητικά, καθώς οι κύριοι τουριστικοί προορισμοί στην Ελλάδα θα υποστούν σημαντική μείωση των αφίξεων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, περίοδο κορύφωσης της ζήτησης του τουριστικού προϊόντος. Για παράδειγμα, κατά τους θερινούς μήνες της δεκαετίας 2091-2100 εκτιμάται ότι οι εισπράξεις θα μειωθούν κατά €370 εκατ. και €280 εκατ./έτος για την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα, αντίστοιχα. Εάν συνυπολογιστεί η αύξηση του κόστους λειτουργίας λόγω των αναγκαίων προσαρμογών στην κλιματική αλλαγή, η οποία εκτιμάται σε €70-90 εκατ./έτος (5-7% του κόστους λειτουργίας), οι επιπτώσεις στα ετήσια κέρδη του κλάδου θα είναι καθοριστικής σημασίας για τη βιωσιμότητα πολλών εγκαταστάσεων. Οι αρνητικές αυτές επιπτώσεις είναι δυνατόν να μετριαστούν ή ακόμη και να μην προκύψουν (καθώς ο δείκτης τουριστικής εφορίας βελτιώνεται σημαντικά την άνοιξη και το φθινόπωρο), εάν σχεδιαστούν και υλοποιηθούν οι κατάλληλες προσαρμογές, που θα επιτρέψουν να υπάρχουν πράγματι οι προβλεπόμενες αφίξεις κατά την ως άνω περίοδο. Παρότι η πολυπλοκότητα του εγχειρήματος δεν επιτρέπει την εκτίμηση των συνολικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον ελληνικό τουρισμό, τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν την αναγκαιότητα ανάληψης πρωτοβουλιών με σκοπό τη μείωση της εποχικότητας και τη διασπορά του τουριστικού προϊόντος σε μεγαλύτερο μέρος της επικράτειας. Οι στόχοι αυτοί μπορούν να επιτευχθούν με τη συνεργασία της πολιτείας με τους εκπροσώπους του κλάδου μέσω του μακροχρόνιου στρατηγικού σχεδιασμού του ελληνικού τουρισμού, με τον οποίο θα επιδιωχθεί η αναβάθ-

μιση του ελληνικού τουριστικού προϊόντος στην αντίληψη των τουριστών και, το κυριότερο, των διεθνών τουριστικών πρακτόρων. Μεταξύ άλλων, θα πρέπει να αναδειχθούν τα πλούσια φυσικά χαρακτηριστικά των διαφόρων περιοχών της χώρας που παραμένουν ανεκμετάλλευτα, να προωθηθούν ήπιες και εναλλακτικές μορφές τουρισμού, να δοθεί έμφαση στην προσέλκυση νέων στοχευμένων ομάδων τουριστών και να ληφθούν μέτρα περιορισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στη λειτουργία των τουριστικών μονάδων.

Δομημένο περιβάλλον

Ο κτηριακός τομέας στην Ελλάδα ευθύνεται για το 1/3 περίπου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και για το 36% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, δηλ. τα ελληνικά κτήρια παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή κατανάλωση σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ευρώπη. Οι πιθανές φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στον κτηριακό τομέα σχετίζονται αφενός με τη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων όπου επικρατεί θερμοστατικός έλεγχος και αφετέρου με τη μεταβολή του εσωτερικού κλίματος στα κτήρια που λειτουργούν χωρίς προσθήκη ενέργειας. Η μελλοντική βελτίωση της τεχνολογίας των συστημάτων παραγωγής ενέργειας και η αναβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κτηρίων θα αντισταθμίσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις συνέπειες της κλιματικής μεταβολής.

Το συνολικό ύψος των απαιτούμενων παρεμβάσεων για την προσαρμογή του υπάρχοντος και αναμενόμενου κτηριακού αποθέματος στις τεχνολογικές επιταγές που θα ισχύουν το 2050 είναι της τάξεως των €230 δισεκατομμυρίων. Συνολικά, περίπου το 50% του απαιτούμενου κόστους αφορά στην αναβάθμιση του κτηριακού κελύφους. Σημειώνεται ότι το κόστος που θα απαιτηθεί για τα πρόσθετα φωτοβολταϊκά συστήματα, ώστε να εξασφαλιστεί ο μηδενισμός της ενεργειακής κατανάλωσης, είναι μικρό, καθώς θα επιτευχθεί πολύ χαμηλή ζήτηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, χάρη στην πολύ καλή θερμική ενίσχυση του αναβαθμισμένου κτηριακού κελύφους και τη βελτίωση των συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας. Για να εκτιμηθεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη διαμόρφωση αυτού του κόστους, εξετάστηκε το εναλλακτικό σενάριο ζήτησης ενέργειας, με την παραδοχή ότι τα κλιματικά δεδομένα θα παραμείνουν όμοια με το μέσο όρο της περιόδου 1960-1990. Το επιπλέον κόστος λόγω της κλιματικής αλλαγής κυμαίνεται μεταξύ 7,6% και 10,3% του σημερινού κόστους, ανάλογα με τη γεωγραφική περιφέρεια.

Μεταφορές

Οι άμεσες φυσικές επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής στις μεταφορές εντοπίζονται στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες: (α) επιπτώσεις στις υποδομές των μεταφορών λόγω ανακατασκευών και επιδιορθώσεων των φθορών που προκλήθηκαν από τις φυσικές καταστροφές, καθώς και της εκτέλεσης έργων προληπτικής προστασίας των υφιστάμενων υποδομών μεταφοράς, (β) επιπτώσεις στη συντήρηση των υποδομών των μεταφορών και

(γ) επιπτώσεις από τις αλλαγές της λειτουργίας και τη μεταβολή της αξιοπιστίας του συστήματος λόγω π.χ. καθυστερήσεων και αλλαγών σε δρομολόγια και υπηρεσίες.

Με βάση τα σενάρια κλιματικής αλλαγής υπό τα οποία προβλέπεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 40 έως 50 εκατ., είναι σαφές ότι σημαντικό τμήμα των υποδομών μεταφορών της χώρας θα βρεθεί σε κίνδυνο λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ενώ η λειτουργία σημαντικότερου αριθμού λιμένων της χώρας θα επηρεαστεί άμεσα από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, γεγονός που θα έχει άμεση επίπτωση στη λειτουργία του συστήματος θαλάσσιων μεταφορών της χώρας.

Το κόστος συντήρησης των μεταφορών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής κυμαίνεται από €594,8 εκατ./έτος έως €195 εκατ./έτος, ανάλογα με το σενάριο κλιματικής αλλαγής, ενώ το κόστος λόγω καθυστερήσεων στο σύστημα των μεταφορών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής (ακραία καιρικά φαινόμενα, υπερθέρμανση μεταφορικών υποδομών, κ.λπ.) κυμαίνεται από €28.031 δισεκ. έως €9.311 δισεκατομμύρια.

Υγεία

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρους θανάτους λόγω συχνότερων ακραίων καιρικών φαινομένων, αλλά έχει και έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία ως συνέπεια περιβαλλοντικών αλλαγών και οικολογικών διαταραχών που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή (π.χ. αυξανόμενη απειλή από ασθένειες που μεταφέρονται από τα κουνούπια ή τα τρωκτικά), καθώς και επιπτώσεις για τμήματα του πληθυσμού που πλήττονται από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και από οικονομικά προβλήματα λόγω της κλιματικής αλλαγής (π.χ. διατροφικά ή ακόμη και ψυχολογικά προβλήματα). Στην Ελλάδα αναμένεται ότι ο αριθμός των θανάτων που οφείλονται σε ακραία φαινόμενα τα οποία σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος κατά τον 21ο αιώνα θα σημειώσει σταδιακά σημαντική αύξηση. Αν θεωρηθεί ότι μέχρι το 2100 η μέση μέγιστη θερμοκρασία τη θερινή περίοδο θα αυξηθεί στην Αττική κατά περίπου 4,4 °C (με βάση το Σενάριο Εκπομπών A1B), εκτιμάται ότι ο αριθμός των οφειλόμενων στην ανθρωπογενή υπερθέρμανση θανάτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας μπορεί να αυξηθεί κατά περίπου 25%. Αντίθετα, κατά τη χειμερινή περίοδο, η αύξηση της θερμοκρασίας στο μέλλον θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των θανάτων που συνδέονται με τις ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες κατά την ψυχρή περίοδο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση των αναμενόμενων θανάτων από χαμηλές θερμοκρασίες ανέρχεται το πολύ στο 3%.

Έτσι, οι επιπλέον θάνατοι ανά έτος κατά τη δεκαετία 2091-2100 στην Ελλάδα εκτιμώνται σε 21 ανά ημέρα για το θέρος, ενώ για το χειμώνα εκτιμάται ότι οι θάνατοι θα είναι λιγότεροι κατά 3 ανά ημέρα. Με βάση τα παραπάνω, υπολογίζεται ότι οι επιπλέον θάνατοι κατ' έτος στα τέλη του 21ου αιώνα λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο κλίμα θα είναι 1.620. Επομένως, λαμβανομένου υπόψη ότι η αξία ενός χρόνου ζωής αποτιμάται σε €59.000 (Έκθεση PESETA), η ετήσια οικονομική επίπτωση για την περίπτωση του Σεναρίου A1B κατά τη δεκα-

ετία 2091-2100 εκτιμάται ότι θα είναι €95 εκατ. για την περιοχή της Αττικής. Με την ίδια διαδικασία υπολογίστηκε για τη δεκαετία 2091-2100 ότι η ετήσια οικονομική επίπτωση για τις περιπτώσεις των Σεναρίων B2 και A2 θα είναι ίση με €85 εκατ. και €135 εκατ., αντίστοιχα.

Εξορυκτική βιομηχανία

Οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες. Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν: καταστροφές υποδομών (π.χ. διάβρωση οδικού δικτύου, κατολισθήσεις πρανών εκμετάλλευσης και αποθέσεων, κ.λπ.) λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων, δασικές πυρκαγιές λόγω ξηρασίας και υψηλών θερμοκρασιών, μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων λόγω της μείωσης των κατακρημνισμάτων και της αύξησης της εξάτμισης, αύξηση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων λόγω της χαμηλότερης υγρασίας και της υψηλότερης θερμοκρασίας, απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων θερμοκρασιών, καθώς και την ανάγκη για αποτελεσματικότερα μέτρα και δράση για την προστασία και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Οι έμμεσες επιπτώσεις, λόγω της ανάγκης για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, περιλαμβάνουν: αύξηση του κόστους της ενέργειας, καθώς σ' αυτό θα ενσωματωθεί, από το 2013, το κόστος δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη, μείωση της απασχόλησης λόγω του περιορισμού της παραγωγικής δραστηριότητας συγκεκριμένων τομέων εξαιτίας της ανάγκης να μειωθούν τα αέρια του θερμοκηπίου, καθώς και αύξηση του λειτουργικού κόστους προκειμένου ο κλάδος να συμβάλει στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου μέσω της αντικατάστασης εξοπλισμού και άλλων μέτρων.

Η παρούσα αξία του εκτιμώμενου κόστους της κλιματικής αλλαγής ανέρχεται σε €927 εκατ. περίπου με επιτόκιο προεξόφλησης 1% και σε €575 εκατ. περίπου με επιτόκιο προεξόφλησης 3%.

* * *

Από τις παραπάνω τομεακές αναλύσεις μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

1. Στην παρούσα μελέτη έγινε μια πρώτη καταγραφή των ποιοτικών και προκαταρκτικών ποσοτικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική οικονομία. Η καταγραφή αυτή είναι σημαντική, επειδή οι εν λόγω επιπτώσεις παρουσιάζονται για πρώτη φορά με συστηματικό τρόπο και καλύπτουν ευρύτατο φάσμα τομέων. Μέχρι τώρα υπήρχαν μόνο αποσπασματικές μελέτες ή υπήρχε προσαρμογή και μεταφορά αποτελεσμάτων από διεθνείς μελέτες.
2. Οι επιπτώσεις για όλους τους τομείς που εξετάστηκαν είναι αρνητικές και, σε πολλές περιπτώσεις, σημαντικά αρνητικές. Υπάρχουν ορισμένες εξαιρέσεις σε επί μέρους τμήματα των τομέων της γεωργίας και την αλιείας, αλλά, παρά τις μεμονωμένες αυτές περιπτώσεις, η συνολική επίπτωση και στους εν λόγω τομείς είναι αρνητική.
3. Η εκτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων θα πρέπει να θεωρηθεί ως απλώς ενδεικτική και ως κατώτατο όριο του κόστους της κλιματικής αλλαγής κατά τομέα, επειδή σ' αυτό το στάδιο της μελέτης δεν ήταν δυνατή η οικονομική αποτίμηση πολλών και σημαντικών επιπτώσεων.

4. Υπάρχουν σημαντικοί τομείς της οικονομίας όπως ο τουρισμός, οι μεταφορές και τα δάση, ως προς τους οποίους, όπως προκύπτει από τη μελέτη, η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην εθνική οικονομία. Είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί **συγκεκριμένη** πολιτική προσαρμογής γι' αυτούς τους τομείς. Ως προς το δομημένο περιβάλλον, για το οποίο το κόστος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης είναι σημαντικό, θα πρέπει να σχεδιαστεί **εξειδικευμένη** πολιτική για την ουσιώδη βελτίωση της τεχνολογίας των συστημάτων παραγωγής ενέργειας, καθώς και τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κτηρίων.

5. Με δεδομένο ότι η Ελλάδα είναι “μικρή χώρα” στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και επομένως αναπόφευκτα θα υποστεί τις συνέπειες από εκείνη την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής την οποία θα προδιαγράψουν οι διεθνείς συμφωνίες, είναι ιδιαίτερα σημαντικό η εκτίμηση των επιπτώσεων που παρατίθενται στην παρούσα μελέτη να θεωρηθεί ως το απαραίτητο υπόβαθρο για το σχεδιασμό πολιτικής για την προσαρμογή.

6. Από τα αποτελέσματα των τομεακών μελετών προκύπτει ότι είναι απαραίτητο να συνεχιστεί η έρευνα, τόσο για την πληρέστερη εκτίμηση και ποσοτική απεικόνιση των επιπτώσεων όσο και, το σημαντικότερο, για το σχεδιασμό αποτελεσματικής πολιτικής για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

5.3 Ανάλυση κόστους-οφέλους σχετικά με την πολιτική για το κλίμα στην Ελλάδα*

Η κλιματική αλλαγή θα έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς στην Ελλάδα. Οι επιπτώσεις στους τομείς της γεωργίας, των δασών, της αλιείας, του τουρισμού, των μεταφορών, στις δραστηριότητες σε παράκτιες περιοχές και στο δομημένο περιβάλλον των αστικών κέντρων οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας, στην ξηρασία, σε ακραία καιρικά φαινόμενα και στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Σύμφωνα με τις αναλύσεις που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2, οι επιπτώσεις αυτές θα οδηγήσουν σε μείωση της παραγωγικότητας, σε απώλεια κεφαλαίου και σε επιπλέον δαπάνες για την αποκατάσταση των ζημιών. Αρνητικές συνέπειες θα υπάρξουν επίσης για τους τομείς της βιοποικιλότητας, των οικοσυστημάτων και της υγείας.

Ως κόστος της κλιματικής αλλαγής για την ελληνική οικονομία νοείται το σύνολο των επιπτώσεων στην οικονομία, που οφείλονται στις άμεσες επιπτώσεις κατά τομέα (σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Κεφαλαίου 2) και στις έμμεσες επιπτώσεις στην οικονομία, καθώς και στις επιπτώσεις από τις αλληλεπιδράσεις των τομέων μεταξύ τους. Για την εκτίμηση του συνόλου των επιπτώσεων στην ελληνική οικονομία, ελήφθησαν υπόψη τα στοιχεία για τους τομείς της γεωργίας, των

* Η μελέτη για την ενότητα αυτή εκπονήθηκε στο E3MLab του ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον Καθηγητή Π. Κάπρο και κύριους ερευνητές τους Μαριλένα Ζαμπάρα, Δρα Λεωνίδα Παρούσο και Νίκο Τασιό.

δασών, της αλιείας, του τουρισμού, των μεταφορών, των παράκτιων περιοχών και του δομημένου περιβάλλοντος. Λόγω τεχνικών δυσχερειών, δεν ελήφθησαν υπόψη οι επιπτώσεις στους τομείς της βιοποικιλότητας, των οικοσυστημάτων και της υγείας για την εκτίμηση του συνολικού κόστους της κλιματικής αλλαγής για την οικονομία.

Η μελλοντική ένταση της κλιματικής αλλαγής είναι αβέβαιη, επειδή εξαρτάται από την πορεία συγκέντρωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Ανάλογα με την έκταση και τη χρονική πορεία των δράσεων σε παγκόσμιο επίπεδο με σκοπό τη μείωση των εκπομπών, η ένταση της κλιματικής αλλαγής θα είναι διαφορετική. Όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 1, η μελέτη έλαβε υπόψη διάφορα σενάρια μελλοντικής εξέλιξης των εκπομπών, για τα οποία εκτιμήθηκε η ένταση των κλιματικών αλλαγών.

5.3.1 Κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης

Το δυσμενέστερο σενάριο από πλευράς έντασης κλιματικών αλλαγών, το οποίο αντιστοιχεί σε ανυπαρξία κάθε δράσης για μείωση των εκπομπών, θεωρήθηκε ως Σενάριο Μη Δράσης.

Με βάση την εκτιμώμενη ένταση της κλιματικής αλλαγής κατά τα έτη 2050 και 2100 στο πλαίσιο του Σεναρίου Μη Δράσης, έγινε ποσοτική εκτίμηση των άμεσων οικονομικών επιπτώσεων σε τομείς της ελληνικής οικονομίας. Οι εκτιμήσεις αυτές, που αφορούσαν την παραγωγικότητα, το κεφάλαιο και τις δαπάνες σε διάφορους τομείς, εισήχθησαν στο πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3, προκειμένου να υπολογιστούν οι συνολικές επιπτώσεις στην ελληνική οικονομία. Αυτές αποτιμήθηκαν ως μεταβολές του ΑΕΠ, της κλαδικής δραστηριότητας και της απασχόλησης, καθώς και ως ισοδύναμες μεταβολές της ευημερίας. Η αποτίμηση έγινε με στατικό και δυναμικό τρόπο αναφορικά με την κατάσταση της οικονομίας σε ένα έτος βάσης. Η προκύπτουσα μείωση του ΑΕΠ και η αρνητική ισοδύναμη μεταβολή της ευημερίας θεωρήθηκαν ως το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής για την ελληνική οικονομία στο πλαίσιο του Σεναρίου Μη Δράσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα με βάση το πρότυπο γενικής ισορροπίας που παρουσιάζονται στο Υποκεφάλαιο 3.3, το Σενάριο Μη Δράσης θα επιφέρει μείωση του ΑΕΠ της Ελλάδος κατά 2%¹ σε ετήσια βάση λόγω της έντασης της κλιματικής αλλαγής που εκτιμάται ότι θα λάβει χώρα το 2050 και μείωση του ΑΕΠ κατά 6% σε ετήσια βάση λόγω της έντασης της κλιματικής αλλαγής του έτους 2100.

Το συνολικό σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης για την ελληνική οικονομία, για το χρονικό διάστημα έως το 2100, εκφρασμένο ως μείωση του ΑΕΠ του έτους βάσης[P1],²

¹ Μείωση του μεγέθους του ΑΕΠ και όχι του ρυθμού μεταβολής του.

² Δεν επιχειρήθηκε δυναμική προσομοίωση για την πορεία της ελληνικής οικονομίας μέχρι το 2100. Εκτιμήθηκε η δυναμική εξέλιξη του συνολικού κόστους για την ελληνική οικονομία ως εκατοστιαία μείωση του ΑΕΠ και αυτή εφαρμόστηκε στο μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης ώστε να υπολογιστεί το σωρευτικό κόστος με άθροιση για όλη τη χρονική περίοδο. Επομένως, το σωρευτικό κόστος, που μετρείται σε χρηματικές μονάδες, αναφέρεται στο μέγεθος του ΑΕΠ κατά το έτος βάσης. Ως έτος βάσης ελήφθη το 2008.

ανέρχεται στα €701 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008). Η εκτίμηση του σωρευτικού κόστους βασίζεται σε μη γραμμική παρεμβολή για το υπόψη χρονικό διάστημα και χρησιμοποιεί μηδενικό προεξοφλητικό επιτόκιο. Η απώλεια ΑΕΠ εξαιτίας της μη δράσης τόσο της Ελλάδος όσο και σε παγκόσμια κλίμακα κατά της κλιματικής αλλαγής με σωρευτική έννοια ισοδυναμεί με το τριπλάσιο του σημερινού ΑΕΠ της χώρας.

5.3.2 Κόστος του Σεναρίου Μετριασμού

Για την αποφυγή, ακριβέστερα για το μετριασμό, της κλιματικής αλλαγής, είναι αναγκαία η άμεση και δραστική μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Επειδή η συσσώρευση των αερίων του θερμοκηπίου ευρίσκεται σήμερα σε υψηλά επίπεδα συγκριτικά με την προβιομηχανική εποχή, θεωρείται ότι είναι δύσκολο να υπάρξει αποφυγή οποιασδήποτε κλιματικής αλλαγής. Ο μετριασμός όμως της κλιματικής αλλαγής θεωρείται εφικτός, υπό την προϋπόθεση ότι θα υπάρξει συνεχής μείωση, μετά το 2020 και μέχρι το 2100, των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ως μετριασμός έχει θεωρηθεί διεθνώς, με βάση την πρόσφατη συμφωνία της Κοπεγχάγης, ο περιορισμός της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της Γης στους 2 βαθμούς Κελσίου. Σύμφωνα με αναλύσεις με βάση μαθηματικά πρότυπα πρόβλεψης των παγκόσμιων εκπομπών, ο μετριασμός μπορεί να επιτευχθεί εφόσον οι παγκόσμιες εκπομπές μειωθούν μέχρι το 2050 στο 50% του ύψους των εκπομπών του 1990 και εφόσον η μείωση αυτή θα είναι συνεχής (και γραμμική) από το 2020 και μετά. Οι αναλύσεις με τα μαθηματικά πρότυπα, αλλά και οι εκτιμήσεις πολλών εμπειρογνομόνων, συμφωνούν ότι για την επίτευξη του στόχου αυτού οι χώρες του ΟΟΣΑ οφείλουν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050 τουλάχιστον κατά 80% συγκριτικά με το ύψος των εκπομπών του έτους 1990. Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει το στόχο αυτό ως στόχο για όλες τις χώρες-μέλη της Ένωσης, επομένως αυτός ισχύει και για την Ελλάδα.

Επομένως, η πολιτική μετριασμού της κλιματικής αλλαγής για την Ελλάδα συνίσταται στη συνεχή και δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από σήμερα, ώστε οι εκπομπές μέχρι το 2050 να μην υπερβούν το 80% των εκπομπών του 1990.³ Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οφείλονται (κατά 70% έως 80%) στην καύση ορυκτών καυσίμων στο πλαίσιο της κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας. Το υπόλοιπο μέρος των εκπομπών οφείλεται στη γεωργία-κτηνοτροφία και σε βιομηχανικές διεργασίες. Μετριασμός της κλιματικής αλλαγής μπορεί βέβαια να επιτευχθεί μόνον όταν όλες οι χώρες, σε παγκόσμιο επίπεδο, μειώσουν τις εκπομπές σύμφωνα με τους στόχους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Δράση από μία μόνο χώρα, ανεξάρτητα από το ποια θα είναι αυτή, δεν αρκεί για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

³ Είναι εύλογο ότι, εάν θα έχει επιτευχθεί η δραστική μείωση των εκπομπών μέχρι το 2050, η οικονομία θα έχει αποκτήσει την κατάλληλη τεχνολογική διάρθρωση ώστε να διατηρηθεί ως οικονομία ιδιαίτερα χαμηλών εκπομπών και μετά το 2050.

Ως Σενάριο Μετριασμού ορίστηκε, με την παρούσα μελέτη, η εξέλιξη κατά την οποία η Ελλάδα μειώνει συνεχώς και δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στο πλαίσιο αντίστοιχης παγκόσμιας προσπάθειας που επιτυγχάνει περιορισμό της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας στους 2 βαθμούς Κελσίου. Επομένως, οι επιπτώσεις στην οικονομία της χώρας λόγω αυτής της κλιματικής αλλαγής θα είναι πολύ περιορισμένες αλλά υπαρκτές.

Οι τρόποι μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050 μελετήθηκαν στο Κεφάλαιο 4 με χρήση του μαθηματικού προτύπου PRIMES, το οποίο είναι εξειδικευμένο στην προσομοίωση του ενεργειακού συστήματος και των λοιπών δραστηριοτήτων που ευθύνονται για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Με χρήση του προτύπου αυτού έγινε εκτίμηση του κόστους για την ελληνική οικονομία λόγω των δαπανών και επενδύσεων που θα απαιτηθούν για τη μείωση των εκπομπών, σε σύγκριση με σενάριο εξέλιξης το οποίο θεωρεί ότι θα συνεχιστούν οι τρέχουσες τάσεις και πολιτικές οι οποίες, παρά τη μείωση των εκπομπών που αναμένεται να επιτύχουν συγκριτικά με το παρελθόν, δεν είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να επιτύχουν τη δραστική μείωση που προβλέπει το Σενάριο Μετριασμού.

Αυτό το επιπλέον κόστος εκφράζεται σε απώλεια του ΑΕΠ (συγκριτικά με το σενάριο τρεχουσών τάσεων) και λαμβάνει χώρα χρονικά κυρίως κατά το διάστημα μέχρι και το 2050. Εκφρασμένο ως μείωση του ΑΕΠ αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης, το σωρευτικό κόστος για την ελληνική οικονομία λόγω της πολιτικής για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εκτιμήθηκε στα €142 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008), με προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με μηδέν. Με άλλα λόγια, το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία λόγω της εφαρμογής των μέτρων μείωσης των εκπομπών μέχρι το 2100 ισοδυναμεί με απώλεια περίπου του μισού ΑΕΠ του έτους βάσης.

Παρά τη μείωση των εκπομπών όμως, η ανάλυση του κόστους περιλαμβάνει και την επίπτωση στην ελληνική οικονομία από τις ζημιές που θα επέλθουν σε διάφορους τομείς εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής περιορισμένης έντασης που αντιστοιχεί στο κλιματικό σενάριο της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της Γης κατά 2 βαθμούς Κελσίου. Το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία εξαιτίας αυτής της κλιματικής αλλαγής εκτιμήθηκε στα €294 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008) σωρευτικά για το χρονικό διάστημα μέχρι το 2100. Το κόστος αυτό έχει εκφραστεί ως απώλεια του ΑΕΠ αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης και αντιστοιχεί σε προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με μηδέν.

Χάρη στα μέτρα αυτά, και υπό την προϋπόθεση ότι λαμβάνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, εξοικονομούνται σωρευτικά €407 δισεκ., επειδή περιορίζεται η ένταση της κλιματικής αλλαγής. Επομένως ο λόγος οφέλους προς κόστος των μέτρων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου) υπολογίζεται σε 2,86.

Το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία στο πλαίσιο του Σεναρίου Μετριασμού αποτελείται από το κόστος των μέτρων μείωσης των εκπομπών (€142 δισεκ.) και το κόστος της εναπομένουσας κλιματικής αλλαγής (€294 δισεκατομμύρια). Επομένως, το συνολικό κόστος του

Σεναρίου Μετριασμού, σωρευτικά μέχρι το 2100 και εκφρασμένο ως απώλεια ΑΕΠ αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης, προκύπτει ως ίσο με €436 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008).

Με άλλα λόγια, το συνολικό κόστος μετριασμού είναι κατά €265 δισεκ. μικρότερο από αυτό του Σεναρίου Μη Δράσης, δηλαδή η πολιτική μετριασμού μειώνει κατά 40% το συνολικό σωρευτικό κόστος της μη δράσης. Για τους υπολογισμούς αυτούς, το προεξοφλητικό επιτόκιο θεωρήθηκε ίσο με μηδέν.

5.3.3 Κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής

Ωστόσο, η πολιτική μετριασμού, δηλαδή μείωσης των εκπομπών, παρά την προφανή υπεροχή της έναντι της μη δράσης, μπορεί να είναι αποτελεσματική μόνο εάν εφαρμοστεί αταλά-ντευτα και άμεσα από το σύνολο της παγκόσμιας κοινότητας. Τυχόν ατελής ή καθυστερημένη εφαρμογή της πολιτικής μετριασμού σε παγκόσμιο επίπεδο θα οδηγήσει σε ένταση των κλιματικών αλλαγών σαφώς μεγαλύτερη από αυτή που αντιστοιχεί σε αύξηση της θερμοκρασίας της Γης μόνο κατά 2 βαθμούς Κελσίου. Δεν είναι ασφαλές, από τη οπτική γωνία καθεμιάς χώρας, η πολιτική κατά της κλιματικής αλλαγής να επαφίεται μόνο σε μέτρα μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Προκειμένου να μετριαστούν οι ζημιές λόγω της κλιματικής αλλαγής, έναντι κάθε ενδεχομένου σχετικά με την ένταση της κλιματικής αλλαγής που θα επέλθει, είναι αναγκαίο να εφαρμοστεί πρόσθετη πολιτική προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Η προσαρμογή έγκειται στην ανάληψη δράσης κατά τομέα ώστε να μειωθούν οι ζημιές εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Τόσο στο Κεφάλαιο 2 όσο και στο Υποκεφάλαιο 3.4 αναφέρονται μέτρα προσαρμογής κατά τομέα, τα οποία ευλόγως οφείλουν να επικεντρώνονται στους τομείς οι οποίοι εκτιμώνται ως οι πλέον ευάλωτοι στην κλιματική αλλαγή. Το μεγαλύτερο μέρος των μέτρων προσαρμογής συνίσταται σε δημόσια έργα και αφορά δημόσια δαπάνη που αποσκοπεί στην προστασία έναντι των επιπτώσεων της αύξησης της θερμοκρασίας, των ακραίων καιρικών φαινομένων, της ξηρασίας και της έλλειψης υδάτινων πόρων, καθώς και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Τμήμα των δαπανών για τα μέτρα προσαρμογής θα βαρύνει και τον ιδιωτικό τομέα της οικονομίας, όπως π.χ. τους τομείς του τουρισμού και της γεωργίας, καθώς και τα νοικοκυριά, για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της αύξησης της θερμοκρασίας, ιδίως στα αστικά κέντρα.

Για να είναι τα μέτρα προσαρμογής αποτελεσματικά σχετικά με τη μείωση των ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής, επιβάλλεται να εφαρμοστούν πριν από την εκδήλωση της κλιματικής αλλαγής με μεγάλη ένταση. Επομένως, ο στρατηγικός σχεδιασμός των μέτρων προσαρμογής παρουσιάζει δυσκολία ενόψει των αβεβαιοτήτων σχετικά με τη μελλοντική ένταση της κλιματικής αλλαγής. Θα απαιτηθεί συνεχής προσπάθεια σχεδιασμού και εφαρμογής μέτρων προσαρμογής, καθώς και επαναπροσδιορισμός της στρατηγικής για την προσαρμογή, με τη συνεργασία του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα.

Στο Υποκεφάλαιο 3.4 επιχειρήθηκε η ανάλυση κόστους για ένα ενδεικτικό σενάριο μέτρων προσαρμογής τα οποία θεωρήθηκαν ως μέτρα που αποσκοπούν στο να μειώσουν τις ζημιές

εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής η οποία θα επέλθει με ένταση όπως αυτή του Σεναρίου Μη Δράσης. Η ανάλυση βασίστηκε κατ' αρχήν στην εκτίμηση των άμεσων δαπανών για μέτρα προσαρμογής και του επιμερισμού τους μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα. Οι δαπάνες αυτές εισήχθησαν ως εξωγενείς μεταβολές στο πρότυπο γενικής ισορροπίας GEM-E3 και, με βάση το πρότυπο αυτό, εκτιμήθηκαν οι έμμεσες επιπτώσεις στην ελληνική οικονομία, δηλαδή το κόστος γι' αυτήν.

Το συνολικό κόστος των μέτρων προσαρμογής για την ελληνική οικονομία, όπως εκτιμήθηκε με βάση το πρότυπο, θα έχει αρνητικές συνέπειες, οι οποίες εκφράστηκαν ως απώλεια μέρους του ΑΕΠ και υπολογίστηκαν για όλη τη χρονική περίοδο μελέτης. Παρά το ότι οι δαπάνες για μέτρα προσαρμογής δημιουργούν πρόσθετη δραστηριότητα και απασχόληση για την κατασκευή των έργων, η χρηματοδότησή τους ως δημόσιων δαπανών, καθώς και το ότι αυτές οι ιδιωτικές και οι δημόσιες επενδύσεις έχουν μη παραγωγικό χαρακτήρα, έχει ως αποτέλεσμα την εκτόπιση άλλων παραγωγικών επενδύσεων και δραστηριοτήτων, καθώς και εξαγωγών. Κατά συνέπεια, τα μέτρα προσαρμογής έχουν αρνητική επίπτωση στο ΑΕΠ και, έτσι, το συνολικό (άμεσο και έμμεσο) κόστος των μέτρων προσαρμογής εκτιμήθηκε ως ίσο με €67 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008), σωρευτικά μέχρι το 2100, εκφρασμένο ως μείωση του ΑΕΠ αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης. Το προεξοφλητικό επιτόκιο ελήφθη ίσο με μηδέν.

Τα μέτρα προσαρμογής δεν απαλείφουν κάθε ζημία λόγω της κλιματικής αλλαγής, απλώς περιορίζουν τις ζημίες αυτές. Το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία από τις εναπομένουσες ζημίες λόγω της κλιματικής αλλαγής εκτιμήθηκε ως ίσο με €510 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008), σωρευτικά μέχρι το 2100, εκφρασμένο ως μείωση του ΑΕΠ αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης. Το κόστος αυτό, που αντιστοιχεί στον περιορισμό των ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής, είναι μειωμένο κατά €190 δισεκ. συγκριτικά με το συνολικό σωρευτικό κόστος που αντιστοιχεί στις ζημίες λόγω της κλιματικής αλλαγής στο πλαίσιο του Σεναρίου Μη Δράσης. Επομένως, ο λόγος οφέλους προς κόστος των μέτρων προσαρμογής υπολογίζεται ως ίσος με 2,82, με προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με μηδέν.

Το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία βάσει του Σεναρίου Προσαρμογής είναι το άθροισμα του κόστους που επιφέρουν στην οικονομία τα μέτρα προσαρμογής και του κόστους που οφείλεται στον περιορισμό των ζημιών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Το συνολικό κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής εκτιμήθηκε ως ίσο με €578 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008), σωρευτικά μέχρι το 2100, εκφρασμένο ως μείωση του ΑΕΠ αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης.

5.3.4 Σύγκριση κόστους σεναρίων

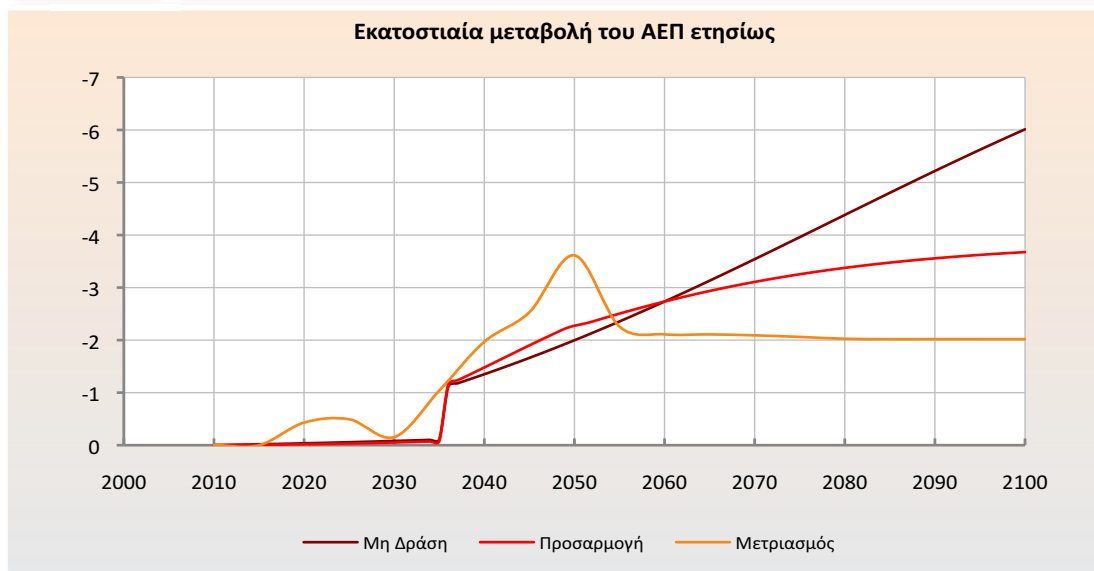
Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει συγκεντρωμένα τις εκτιμήσεις σχετικά με το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία ως προς τα Σενάρια Μη Δράσης, Προσαρμογής και Μετριασμού.

Πίνακας 5.1

Το κόστος της κλιματικής αλλαγής και των πολιτικών προσαρμογής και μετριασμού για την ελληνική οικονομία κατά την περίοδο μέχρι το 2100

Σωρευτικό κόστος (δισεκ. ευρώ του 2008) εκφρασμένο αναφορικά με το μέγεθος του ΑΕΠ του έτους βάσης	Μη Δράση	Προσαρμογή			Μετριασμός			Όφελος της προσαρμογής συγκριτικά με τη Μη Δράση	Όφελος του Μετριασμού συγκριτικά με τη Μη Δράση
		Συνολικό κόστος	Μέτρα προσαρμογής	Εναπο- μένουσες επιπτώσεις	Συνολικό κόστος	Μέτρα μετριασμού	Εναπο- μένουσες επιπτώσεις		
Προεξοφλητικό επιτόκιο 0%									
Περίοδος 2011 - 2050	79	86	36	50	130	113	17	-7	-51
Περίοδος 2051 - 2070	182	178	24	154	125	26	99	5	57
Περίοδος 2071 - 2100	439	314	8	306	181	3	177	125	259
Περίοδος 2011 - 2100	701	578	67	510	436	142	294	123	265
Προεξοφλητικό επιτόκιο 2%									
Περίοδος 2011 - 2050	41	44	18	26	70	62	8	-3	-29
Περίοδος 2051 - 2070	65	64	9	55	45	10	35	1	19
Περίοδος 2071 - 2100	96	70	2	68	40	1	40	26	56
Περίοδος 2011 - 2100	202	177	28	149	156	73	83	24	46

Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

Διάγραμμα 5.1**Το ετήσιο κόστος της κλιματικής αλλαγής, για τρία σενάρια, εκφρασμένο ως μείωση του μεγέθους του ΑΕΠ**

Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται στα αποτελέσματα του προτύπου γενικής ισορροπίας GEM-E3, το οποίο χρησιμοποίησε τις εκτιμήσεις των τομεακών αναλύσεων για το άμεσο κόστος και τις άμεσες δαπάνες. Το ύψος του κόστους που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1 υπολογίστηκε αναφορικά με το ΑΕΠ της Ελλάδος κατά το έτος βάσης.⁴

Το Διάγραμμα 5.1 παρουσιάζει το εκτιμώμενο κόστος των Σεναρίων Μη Δράσης, Προσαρμογής και Μετριασμού σε ετήσια βάση εκφρασμένο ως απώλεια του μεγέθους του ΑΕΠ.⁵ Στο κόστος του Σεναρίου Μετριασμού περιλαμβάνεται το κόστος των μέτρων μετριασμού (μείωσης εκπομπών) και το κόστος των ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής με ένταση αντίστοιχη με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 °C. Στο κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής περιλαμβάνεται το κόστος των μέτρων προσαρμογής και το κόστος λόγω του περιορισμού των ζημιών (χάρη στη προσαρμογή) εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής με ένταση ίδια με αυτή του Σεναρίου Μη Δράσης.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι μέχρι το 2050 το σωρευτικό όφελος των πολιτικών προσαρμογής ή των πολιτικών μετριασμού συγκριτικά με τη μη δράση είναι αρνητικό, όπως εξάλλου αναμενόταν, δεδομένου ότι η ένταση της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να είναι μικρή μέχρι το 2050. Λαμβανομένης υπόψη και της επόμενης εικοσαετίας, δηλ. μέχρι το 2070, το σωρευτικό όφελος από την προσαρμογή ή από το μετριασμό γίνεται θετικό έναντι της μη

⁴ Περίπου €240 δισεκ. σε σταθερές τιμές του 2008.

⁵ Όχι του ρυθμού μεταβολής του ΑΕΠ.

δράσης, ενώ παραμένει μικρό σε απόλυτο μέγεθος. Όταν όμως συμπεριληφθεί το κόστος από το 2070 μέχρι και το 2100, το κόστος για την ελληνική οικονομία λόγω της μη δράσης υπερβαίνει κατά πολύ το κόστος τόσο των πολιτικών προσαρμογής όσο και των πολιτικών μετριασμού, ακόμη και αν ληφθεί υπόψη το κόστος για την ελληνική οικονομία που αντιστοιχεί στις εναπομένουσες ζημίες εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

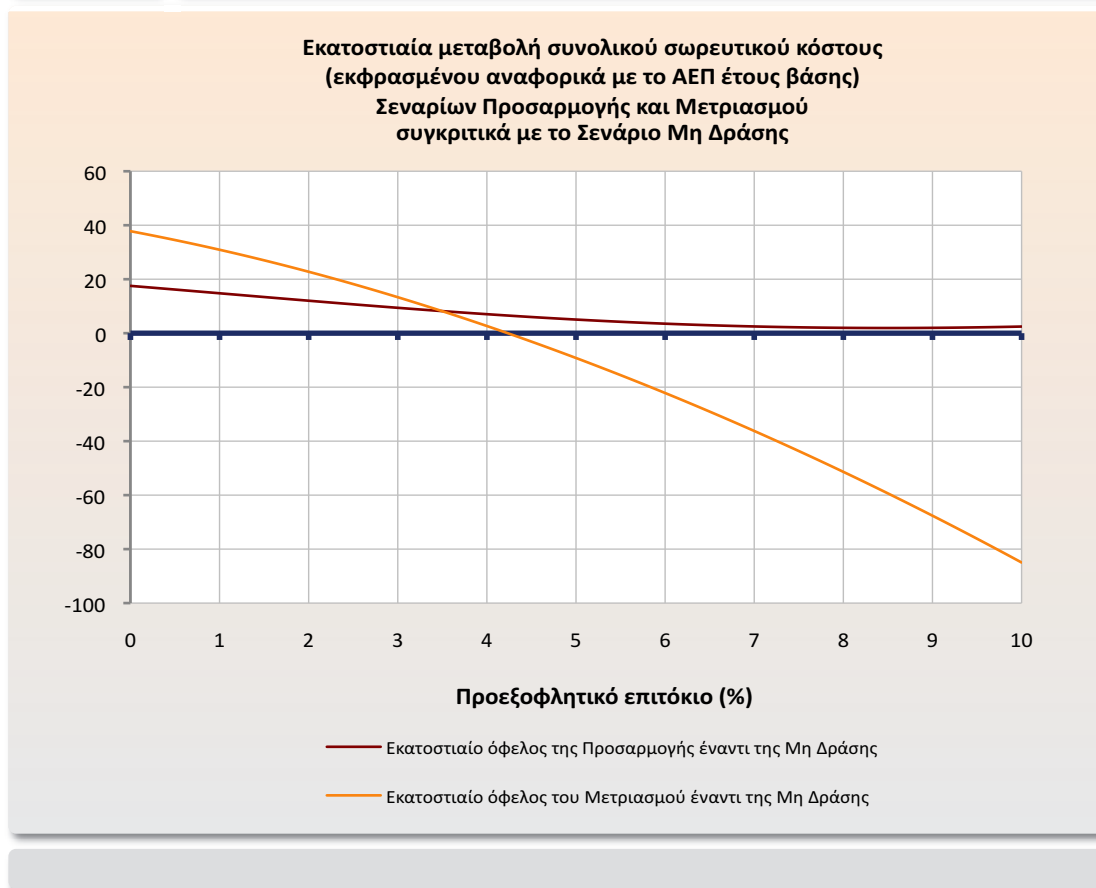
Υπενθυμίζεται ότι η πολιτική προσαρμογής περιορίζει τις ζημίες λόγω της κλιματικής αλλαγής, για την οποία υποτέθηκε ένταση ίση με αυτή του Σεναρίου Μη Δράσης. Η πολιτική μετριασμού, η οποία αντιστοιχεί σε παγκόσμια προσπάθεια για δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της έντασης της κλιματικής αλλαγής σε επίπεδα που αντιστοιχούν σε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης έως 2 βαθμούς Κελσίου.

Σωρευτικά μέχρι το 2100, το Σενάριο Προσαρμογής μειώνει το κόστος για την ελληνική οικονομία κατά €123 δισεκ. (σταθερές τιμές του 2008) συγκριτικά με το κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης, ενώ το Σενάριο Μετριασμού μειώνει το συνολικό κόστος κατά €265 δισεκατομμύρια.

Από την όλη ανάλυση προκύπτει με σαφήνεια ότι είναι οικονομικά σκόπιμη η εφαρμογή της πολιτικής μετριασμού. Όμως η πολιτική αυτή περιβάλλεται από αβεβαιότητα, επειδή η αποτελεσματικότητά της θα εξαρτηθεί από το κατά πόσον η πολιτική μείωσης των εκπομπών θα εφαρμοστεί απарέγκλιτα σε παγκόσμιο επίπεδο. Ενόψει της αβεβαιότητας αυτής, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πολιτικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Από την όλη ανάλυση προκύπτει ότι, αν αναμένεται αποτυχία της παγκόσμιας προσπάθειας μετριασμού και εκδήλωση κλιματικής αλλαγής σημαντικής έντασης, η εφαρμογή μέτρων προσαρμογής είναι οικονομικά σκόπιμη.

Προκύπτει βέβαια το ερώτημα κατά πόσον είναι σκόπιμη η ταυτόχρονη εφαρμογή μέτρων μετριασμού (μείωσης των εκπομπών) και μέτρων προσαρμογής (για τον περιορισμό των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή). Η ταυτόχρονη λήψη μέτρων προσαρμογής και μετριασμού αυξάνει το κόστος για την ελληνική οικονομία. Αν χρησιμοποιηθούν, με απλουστευτικό τρόπο, τα στοιχεία του Πίνακα 5.1 και αθροιστεί το συνολικό κόστος των μέτρων προσαρμογής (€67 δισεκ.) με το συνολικό κόστος του Σεναρίου Μετριασμού (€436 δισεκ.), προκύπτει και πάλι σημαντικό όφελος (€200 δισεκ.) έναντι του κόστους του Σεναρίου Μη Δράσης.

Το ερώτημα περί του άριστου μείγματος πολιτικής μετριασμού και μέτρων προσαρμογής ανάγεται σε πρόβλημα προσδιορισμού της άριστης στρατηγικής σε συνθήκες μεγάλης αβεβαιότητας. Είναι βέβαιο ότι, με την πάροδο του χρόνου, η αβεβαιότητα αυτή θα μειώνεται σε κάποιο βαθμό, τόσο σχετικά με το κατά πόσον αναλαμβάνεται πράγματι διεθνής προσπάθεια μείωσης εκπομπών όσο και σχετικά με την εκδήλωση φαινομένων που αποδίδονται στην κλιματική αλλαγή. Ο χρονικός ορίζοντας για την άρση των εν λόγω αβεβαιοτήτων δεν είναι ο ίδιος, επομένως η διαχείρισή τους είναι δύσκολη. Είναι όμως προφανές ότι η στρατηγική σχετικά τόσο με τη μείωση των εκπομπών όσο και με τα μέτρα προσαρμογής πρέπει να επαναπροσδιορίζεται σε περιοδική βάση.



Υπό τις σημερινές συνθήκες και με βάση τις ευρωπαϊκές δεσμεύσεις, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η Ελλάδα οφείλει να εφαρμόσει μια φιλόδοξη πολιτική μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε όλους τους τομείς. Η πολιτική αυτή είναι απόλυτα σαφής μέχρι το χρονικό ορίζοντα του 2020, στο πλαίσιο των Ευρωπαϊκών Οδηγιών. Επίσης είναι σαφές ότι μέτρα προσαρμογής με υψηλό κόστος θα χρειαστούν σε χρονικό ορίζοντα μετά το 2030, ενώ υπάρχουν πολλά και σημαντικά μέτρα προσαρμογής μικρού κόστους, κυρίως θεσμικού χαρακτήρα, τα οποία είναι δυνατόν να ληφθούν κατά την επόμενη δεκαετία. Με άλλα λόγια, η στρατηγική σχετικά με το μετριασμό και την προσαρμογή είναι σαφής και οικονομικά ασφαλής για το χρονικό ορίζοντα μέχρι το 2030. Επανεξέταση της στρατηγικής θα είναι σκόπιμη κατά την προσεχή δεκαετία.

Οι παραπάνω υπολογισμοί του σωρευτικού κόστους έγιναν με επιτόκιο προεξοφλητικής ίσο με μηδέν. Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης και για προεξοφλητικό επιτόκιο ίσο με 2%.⁶ Τα συμπεράσματα σχετικά με την ανάλυση κόστους-οφέλους δεν αλλάζουν: η πολιτική μετριασμού υπερέχει της μη δράσης, η πολιτική προσαρμογής επίσης υπερέ-

⁶ Το οποίο είναι ελαφρώς υψηλότερο του επιτοκίου που χρησιμοποίησε η Έκθεση Stern.

χει της μη δράσης, ενώ η τυχόν παράλληλη εφαρμογή μέτρων προσαρμογής και μετριασμού οδηγεί σε μείωση του συνολικού σωρευτικού κόστους έναντι της πολιτικής μη δράσης.

Το Διάγραμμα 5.2 παρουσιάζει ανάλυση της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων κόστους ως προς το ύψος του προεξοφλητικού επιτοκίου. Παρατηρείται ότι, για επιτόκιο υψηλότερο του 4,2%,⁷ το συνολικό σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Μετριασμού υπερβαίνει το κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης. Όμως, το κόστος του Σεναρίου Προσαρμογής παραμένει μικρότερο του κόστους του Σεναρίου Μη Δράσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τα θεωρητικά ζητήματα που τέθηκαν στο Υποκεφάλαιο 3.1, η σκοπιμότητα της ανάληψης δράσης για τη μείωση των εκπομπών και το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής δεν πρέπει να βασίζεται μόνο στα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους-οφέλους, όπως αυτή της παρούσας ενότητας. Η ανάλυση αυτή υπολογίζει το κόστος για την οικονομία μόνο σχετικά με την πιο πιθανή έκβαση της κλιματικής αλλαγής στην περίπτωση της μη δράσης. Όμως υφίστανται μικρές αλλά όχι αμελητέες πιθανότητες η ένταση της κλιματικής αλλαγής, ιδίως οι ζημίες εξαιτίας της, να είναι κολοσσιαίες. Έναντι του κινδύνου αυτού, η δράση για μείωση των εκπομπών και μετριασμό της κλιματικής αλλαγής έχει το χαρακτηριστήριο ασφάλισης έναντι ενδεχομένου με ολέθριες συνέπειες. Η θεώρηση της δράσης αυτής ως ασφάλισης δικαιολογεί την ανάληψή της σε κάθε περίπτωση.

5.4 Κοινωνικές επιπτώσεις*

Στο πλαίσιο της Διάσκεψης Κορυφής του ΟΗΕ το 2000 για τη “Χιλιετία”, τέθηκαν οι “Αναπτυξιακοί Στόχοι της Χιλιετίας” για την περίοδο έως το 2015. Μεταξύ αυτών είναι η μείωση της φτώχειας, η βελτίωση της υγείας του πληθυσμού και η παγκόσμια ανάπτυξη. Οι διανεμητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους φτωχούς, στους ανέργους και στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες αποτελούν σημαντικό πεδίο έρευνας αλλά και διαμόρφωσης αποτελεσματικής πολιτικής. Είναι γεγονός ότι μέχρι σήμερα έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος ως προς την καταπολέμηση της φτώχειας και του κοινωνικού αποκλεισμού διεθνώς. Ωστόσο, υπάρχουν ανησυχίες ότι τα επιτεύγματα αυτά θα περιοριστούν σημαντικά λόγω των δυσμενών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην κοινωνία και την οικονομία. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC), η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 βαθμούς Κελσίου θα επιφέρει μείωση του μεγέθους του ΑΕΠ κατά 4-5%. Λόγω της έλλειψης επαρκών στοιχείων, η παρούσα έκθεση προσέγγισε σημειοτικά αλλά όχι σφαιρικά τις κοινωνικές διαστάσεις της κλιματικής αλλαγής και της συναφούς πολιτικής στην Ελλάδα, αλλά η έρευνα πρόκειται να συνεχιστεί.

⁷ Βλ. Υποκεφάλαιο 3.1 σχετικά με την επιλογή του προεξοφλητικού επιτοκίου.

* Για τη συγγραφή του Υποκεφαλαίου 5.4 συνεργάστηκαν οι Ιωάννης Υφαντόπουλος, Ισαάκ Σαμπεθάι και Παντελής Κάπρος.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 υπήρξαν εντυπωσιακοί ρυθμοί σύγκλισης της Ελλάδος με τον μέσο όρο της ΕΕ-27, με κριτήριο το κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Ωστόσο, οι δείκτες φτώχειας παρουσιάζουν σχετική σταθερότητα για την περίοδο 2000-2009 και το 20% του πληθυσμού βρίσκεται σταθερά κάτω από το όριο φτώχειας. Κατά τη χάραξη πολιτικής για την καταπολέμηση της φτώχειας και του κοινωνικού αποκλεισμού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα είναι περισσότερο έντονες για τις κοινωνικές ομάδες χαμηλού εισοδήματος, οι οποίες δεν έχουν τους απαραίτητους πόρους για να αντιμετωπίσουν *άμεσα* τα προβλήματα που δημιουργεί η κλιματική αλλαγή ούτε, κατά μείζονα λόγο, για να λάβουν εγκαίρως *προληπτικά* μέτρα. Η λήψη μέτρων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή ή μετριασμού των επιπτώσεων της θα απαιτούσε εκ μέρους των νοικοκυριών ορισμένες *κεφαλαιακές* δαπάνες *σήμερα* (π.χ. για βελτίωση της μόνωσης και του κλιματισμού της κατοικίας τους, για αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, για μεταστέγάσή τους σε απόσταση από ευάλωτες παράκτιες περιοχές) προκειμένου να μειωθούν οι ετήσιες πληρωμές στο μέλλον, συγκριτικά με εξέλιξη κατά την οποία δεν λαμβάνεται μέριμνα για προστασία. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό για φτωχά νοικοκυριά που αντιμετωπίζουν ισχυρούς περιορισμούς ρευστότητας, καθώς δεν διαθέτουν αποταμιεύσεις ούτε πρόσβαση σε τραπεζικό δανεισμό. Επομένως, τα νοικοκυριά που διαβιούν σε συνθήκες φτώχειας, αλλά και οι μειονότητες και οι μετανάστες, που ήδη κατοικούν σε υποβαθμισμένες περιοχές με σημαντικά περιβαλλοντικά και κοινωνικά προβλήματα και ανεπαρκή παροχή κοινωνικών και υγειονομικών υπηρεσιών, θα αντιμετωπίσουν ακόμη σοβαρότερα προβλήματα στέγασης, διατροφής, υγείας, εκπαίδευσης και πρόσβασης στις εν λόγω βασικές υπηρεσίες. Θα αντιμετωπίσουν επίσης δυσκολίες για να ενταχθούν σε προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας, αγοράς εξοπλισμών προηγμένης τεχνολογίας, κ.λπ., καθώς και για να καταβάλουν περισσότερα για καθαρότερη ενέργεια, όπως θα απαιτείται στο πλαίσιο της πολιτικής μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επομένως, τα φτωχότερα νοικοκυριά θα κινδυνεύουν να αποκλειστούν τόσο από τα οφέλη τα οποία θα επιφέρει η πολιτική και τα μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή όσο και από τις εξελίξεις στο πλαίσιο της οικονομίας χαμηλών εκπομπών η οποία αντιστοιχεί στην πολιτική που επιδιώκει το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Είναι λοιπόν ορατός ο κίνδυνος να δημιουργηθεί ένας **φαύλος κύκλος φτώχειας, απουσίας πρόσβασης σε ενέργεια και τεχνολογία και μειωμένης προστασίας έναντι των ζημιών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής**: έτσι θα οξυνθούν τα φαινόμενα που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως ενεργειακή και κλιματική φτώχεια (“energy poverty” and “climate poverty”).⁸

⁸ Βλ. ενδεικτικά: (α) Ruth, M. and M. E. Ibararan (eds) (2009), *Distributional impacts of climate change and disaster – concepts and cases*, E. Elgar, (β) Skoufias, E., M. Ribassa and S. Oliveri (2011), “The poverty impact of climate change – a review of the evidence”, World Bank policy research paper No. 5622, Απρίλιος, (γ) Greenstein, R., S. Parrott and A. Sherman (2007), “Designing climate-change legislation that shields low-income households from increased poverty and hardship”, Center for Budget and Policy Priorities, Washington D.C., 25 Οκτωβρίου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, κατ' ανάλογο τρόπο, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδράσει διαφορετικά στις ανεπτυγμένες από ό,τι στις αναπτυσσόμενες χώρες. Για παράδειγμα, η Ολλανδία και το Μπανγκλαντές είναι και οι δύο μεταξύ των χωρών που εκτίθενται περισσότερο σε κίνδυνο από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το Μπανγκλαντές έχει ήδη αναλάβει δράση κυρίως σε κοινωνικό επίπεδο για να προστατεύσει τον πληθυσμό με ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για τους κυκλώνες και πρόγνωσης για τις πλημμύρες. Ωστόσο, η δυνατότητα δράσης του είναι περιορισμένη, δεδομένου του χαμηλού ετήσιου κατά κεφαλήν εισοδήματος (450 δολ. ΗΠΑ). Η Ολλανδία όμως, με 100πλάσιο κατά κεφαλήν εισόδημα, έχει προχωρήσει σε εκτεταμένες επενδύσεις για να στηρίξει προγράμματα μετεγκατάστασης του πληθυσμού από περιοχές χαμηλού υψομέτρου σε περισσότερες ασφαλείς περιοχές

Έτσι, όπως και οι κοινωνικές ομάδες, οι οικονομικώς ασθενέστερες χώρες καθίστανται περισσότερο ευάλωτες στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που ήδη έχουν αρχίσει να διαφαίνονται. Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως η ξηρασία, οι τροπικές καταιγίδες και τα παλινδρομικά κύματα, αλλά και η βαθμιαία άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής, θα απασχολήσουν εντονότερα την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα στο μέλλον.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Έπατης Αρμοστείας του ΟΗΕ, ο αριθμός των μεταναστών λόγω φτώχειας, έσχατης στέρησης, περιβαλλοντικών καταστροφών, κλιματικής αλλαγής και ένοπλων συγκρούσεων εμφανίζει τάση σημαντικής αύξησης τα τελευταία χρόνια. Χρησιμοποιείται μάλιστα ο όρος “περιβαλλοντικοί πρόσφυγες” για τη μετανάστευση λόγω της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με εκτιμήσεις,⁹ ο αριθμός τους ανέρχεται σήμερα στα 50 εκατομμύρια και το 2050 προβλέπεται να φθάσει τα 200 εκατομμύρια. Τις εκτιμήσεις αυτές του Myers (2005) υποστηρίζει και ο Nicholas Stern. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές επιφυλάξεις για τον ακριβή αριθμό των περιβαλλοντικών προσφύγων.

Στην Ελλάδα ήδη καταλήγει μεγάλος αριθμός μεταναστών και δεν μπορεί να αποκλειστεί ότι ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον, καθώς θα διογκώνεται η ροή των “περιβαλλοντικών προσφύγων”. Επιπλέον, είναι φανερό ότι θα προκύψει και ζήτημα εσωτερικής μετανάστευσης, από παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου προς περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Είναι προφανές ότι αυτό είναι ένα σοβαρό αντικείμενο έρευνας και – στη συνέχεια – διαμόρφωσης κατάλληλης πολιτικής (όπως προαναφέρθηκε).

Από όσα αναφέρθηκαν στην παρούσα μελέτη, συνάγεται αβίαστα ότι ο **στρατηγικός σχεδιασμός τόσο μέτρων προσαρμογής όσο και μέτρων μείωσης των εκπομπών, στο πλαίσιο της παγκόσμιας προσπάθειας μετριασμού**, είναι αναγκαίος προκειμένου να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή και να μειωθούν οι αρνητικές της συνέπειες για την ευημερία, το περιβάλ-

⁹ (α) Myers, N. (2005), “Environmental Refugees: An Emergent Security Issue”, 13th Economic Forum, Prague, 23-27 Μαΐου. (β) Simms, A. (2003), “The Case for Environmental Refugees”, New Economics Foundation, London, (γ) Brown, O. (2008), “Migration and Climate Change”, IOM, No. 31, Geneva, (http://www.migrationdrc.org/publications/resource_guides/Migration_and_Climate_Change/MRS-31.pdf).

λον και την οικονομική ανάπτυξη. Αυτό προϋποθέτει ότι βασική παράμετρος της πολιτικής που θα ακολουθηθεί θα είναι και η καταπολέμηση της φτώχειας, ιδίως της περαιτέρω επιδείνωσης της φτώχειας και του κοινωνικού αποκλεισμού εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και της πολιτικής για την αντιμετώπισή της.

Ειδικότερα, *σε κάθε επιμέρους χώρα*, άρα και στην Ελλάδα, θα πρέπει να χαραχθεί κατάλληλη διορθωτική πολιτική, συνοδευτική των μέτρων προσαρμογής και της πολιτικής για μείωση των εκπομπών, η οποία θα αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το πρόβλημα των φτωχών νοικοκυριών και της αδυναμίας τους να προβούν στις δαπάνες που απαιτούνται για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο δικό τους μικροεπίπεδο και να έχουν πρόσβαση σε “καθαρή” ενέργεια και τεχνολογίες.

Πρόκειται για πρόβλημα για την επίλυση του οποίου επιβάλλεται δημόσια παρέμβαση. Το κράτος πρέπει να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις ώστε να αναληφθεί η χρηματοδότηση έργων υποδομής σε μεγάλη κλίμακα (βεβαίως με τον αντίστοιχο χρηματοοικονομικό κίνδυνο) για τη βελτίωση των συνθηκών στέγασης των φτωχών νοικοκυριών και πρόσβασής τους στην ενέργεια. Επιπλέον, σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής και ανόδου της θερμοκρασίας, πρέπει να αναβαθμιστεί η “υποχρέωση παροχής δημόσιας υπηρεσίας”, η οποία στην ουσία αφορά στη διασφάλιση του δικαιώματος ελάχιστης πρόσβασης σε κοινωφελείς υπηρεσίες ή αγαθά (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, πόσιμο νερό) με ειδική τιμολόγηση, ένα είδος “κοινωνικού τιμολογίου” για καταναλωτές με χαμηλό εισόδημα. Πάνω από αυτό το επίπεδο, η τιμολόγηση των υπηρεσιών που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή πρέπει να γίνεται λαμβανομένων υπόψη των κανόνων του ανταγωνισμού.

Σε *διεθνές επίπεδο*, η προστασία των πιο ευάλωτων χωρών θα πρέπει να επιτευχθεί με τη συμβολή των ανεπτυγμένων και των οικονομικά ισχυρότερων χωρών, στο πλαίσιο των συμφωνιών που διαμορφώνονται στο πλαίσιο του ΟΗΕ. Όπως προκύπτει από την εμπειρία της τελευταίας διετίας, η πρόοδος στο πεδίο αυτό είναι βραδεία, δεν παύει όμως να είναι απαραίτητη και επείγουσα.

Για την προστασία του πλανήτη ενόψει της κλιματικής αλλαγής είναι βέβαιο ότι πρέπει να προσαρμοστεί η καταναλωτική συμπεριφορά. Πέραν από τη δημόσια πολιτική και τη συμβολή της τεχνολογίας, είναι βέβαιο ότι το κόστος θα μειωθεί εφόσον οι καταναλωτές και οι παραγωγοί μεταβάλουν τη συμπεριφορά τους με σκοπό τόσο την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή όσο και τη μείωση των εκπομπών. Η διαμόρφωση της στρατηγικής για την προσαρμογή και το μετριασμό θα είναι αποτελεσματική μόνο εάν διενεργείται με διαδικασίες συνεργασίας μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα, καθώς και εάν επανεξετάζεται σε περιοδική βάση, ώστε να λαμβάνεται υπόψη ο μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας τόσο σχετικά με τη μελλοντική έκταση των κλιματικών αλλαγών όσο και ως προς το κατά πόσον η παγκόσμια οικονομία ακολουθεί με συνέπεια την απαιτούμενη πορεία για τη δραστική μείωση των εκπομπών.

Επίλογος και μελλοντικές κατευθύνσεις

Ο παρών τόμος αποτελεί την πρώτη προσπάθεια ολοκληρωμένης μελέτης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, ειδικότερα του κόστους της κλιματικής μεταβολής για την ελληνική οικονομία, του κόστους μέτρων προσαρμογής στο μεταβαλλόμενο κλίμα, καθώς και του κόστους της μετάβασης προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στο πλαίσιο της παγκόσμιας προσπάθειας για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Στο έργο αυτό, για πρώτη φορά συνεργάστηκαν επί διετία ομάδες από διαφορετικές επιστημονικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων φυσικών της ατμόσφαιρας, κλιματολόγων, γεωφυσικών, ειδικών στους τομείς της γεωργίας, των δασών και της αλιείας, ειδικών σε θέματα υδάτινων αποθεμάτων, τουρισμού, δομημένου περιβάλλοντος και ενέργειας, καθώς και οικονομολόγων και κοινωνιολόγων.

Στο πλαίσιο της μελέτης παρήχθησαν προβλέψεις μελλοντικών (μέχρι το 2100) κλιματικών στοιχείων σε λεπτομερή γεωγραφική ανάλυση για την Ελλάδα. Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα για χρήση από την ερευνητική κοινότητα. Σε μια σειρά τομεακών μελετών αναλύθηκαν οι βιοφυσικές επιπτώσεις της ανθρωπογενούς συνιστώσας της κλιματικής αλλαγής και εκτιμήθηκε το κόστος κατά τομέα των ζημιών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, σε χρονικό ορίζοντα μέχρι το 2050 και το 2100. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των τομεακών μελετών εισήχθησαν σε μαθηματικό πρότυπο γενικής ισορροπίας για την ελληνική οικονομία, προκειμένου να αποτιμηθεί το συνολικό κόστος της κλιματικής αλλαγής σε όρους μεταβολής του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος, της κοινωνικής ευημερίας και της παραγωγής κατά κλάδο δραστηριότητας. Οι τομεακές μελέτες προσδιόρισαν επίσης τις δυνατότητες προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή μέσω διαφόρων μέτρων προληπτικού χαρακτήρα. Αποτιμήθηκε το συνολικό κόστος για την ελληνική οικονομία που αντιστοιχεί στις δαπάνες για μέτρα προσαρμογής, σε συνδυασμό με την εκτίμηση του κόστους για την οικονομία που θα αποφευχθεί χάρη στα μέτρα αυτά, λόγω του περιορισμού των ζημιών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Με χρήση εξειδικευμένου μαθηματικού προτύπου για τον ενεργειακό τομέα και τις βιομηχανικές διεργασίες, μελετήθηκαν σενάρια δραστικής μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα στο πλαίσιο της τρέχουσας ευρωπαϊκής πολιτικής και στόχων. Αποτιμήθηκε το κόστος της μείωσης εκπομπών για την ελληνική οικονομία και εκτιμήθηκε το όφε-

λος από το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, εφόσον η μείωση των εκπομπών λάβει χώρα σε παγκόσμιο επίπεδο. Με βάση τα παραπάνω, εκτιμήθηκε για την ελληνική οικονομία το κόστος και το όφελος σεναρίου προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και σεναρίου μετριασμού της κλιματικής αλλαγής συγκριτικά με σενάριο κατά το οποίο, λόγω καμίας δράσης σε παγκόσμιο επίπεδο, λαμβάνει χώρα κλιματική αλλαγή μεγάλης έντασης. Η εκτίμηση έγινε για τα έτη 2050 και 2100, αλλά και με σωρευτικό τρόπο για την περίοδο μέχρι το 2100. Από την ανάλυση κόστους-οφέλους προκύπτουν με σαφήνεια *υπεροχή* της πολιτικής μετριασμού έναντι της μη δράσης, καθώς και *όφελος* από την πολιτική προσαρμογής. Η μελέτη υποστηρίζει τη σκοπιμότητα ανάληψης δράσης για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο πλαίσιο των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την ανάγκη έναρξης διαδικασιών προκειμένου να καθοριστεί μακροχρόνια στρατηγική για μέτρα προσαρμογής.

Δεδομένου ότι δεν μπορεί να αποκλειστεί η εκδήλωση ακραίων κλιματικών επιπτώσεων στο μέλλον, τόσο η πολιτική μετριασμού όσο και η πολιτική προσαρμογής έχουν το χαρακτήρα της ασφάλισης έναντι τέτοιων ενδεχομένων και, επομένως, η σκοπιμότητά τους δικαιολογείται ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους-οφέλους.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί αφετηρία για τη διεξαγωγή πιο ολοκληρωμένης και λεπτομερέστερης έρευνας με σκοπό την υποστήριξη εθνικής στρατηγικής για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Σε καμία περίπτωση δεν εξαντλήθηκε το θέμα στην παρούσα μελέτη, η οποία παρουσιάζει οπωσδήποτε αδυναμίες και ελλείψεις, ιδίως ως προς το εύρος των βιοφυσικών επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών, καθώς και ως προς τη λεπτομερή αποτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων κατά τομέα. Ιδιαίτερη σημασία θα έχει η πιο λεπτομερής μελέτη σχετικά με τη σκοπιμότητα λήψης και το εύρος μέτρων προσαρμογής κατά τομέα, καθώς και τη χρονική διαδοχή των μέτρων αυτών. Απαιτείται μεγαλύτερη εμβάθυνση σε ζητήματα επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα και στα οικοσυστήματα, καθώς και σε ζητήματα των έμμεσων επιπτώσεων που θα έχουν οι αλλαγές των συστημάτων αυτών στις οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Ακόμη, είναι αναγκαίο να εκπονηθούν ειδικές μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, των καυσώνων και της επιβάρυνσης των συνθηκών διαβίωσης στα αστικά κέντρα.

Η παρούσα μελέτη δεν καλύπτει ζητήματα αναδιανεμητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της πολιτικής μετριασμού και προσαρμογής. Οι κοινωνικές διαστάσεις των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αξίζει να μελετηθούν ειδικά σε σχέση με ζητήματα αύξησης της φτώχειας και της μετανάστευσης, επειδή οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και των πολιτικών αντιμετώπισής της θα είναι περισσότερο έντονες για τις κοινωνικές ομάδες χαμηλού εισοδήματος, οι οποίες δεν έχουν τους απαραίτητους πόρους για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που θα δημιουργούνται από την κλιματική αλλαγή και για να χρηματοδοτήσουν μέτρα μείωσης των εκπομπών και προσαρμογής. Ειδικές πολιτικές θα απαιτηθούν ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις αποκλεισμού κοινωνικών ομάδων από την πρόσβαση σε καθαρή ενέργεια

και τεχνολογίες και να διασφαλίζεται επαρκής προστασία έναντι των ζημιών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Ο μακροχρόνιος ενεργειακός σχεδιασμός αποτελεί το κεντρικό εργαλείο στο πλαίσιο της πολιτικής μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Η πορεία προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αφορά το σύνολο των τομέων οικονομικής δραστηριότητας, την κατανάλωση και την παραγωγή ενέργειας. Πολλά ζητήματα της στρατηγικής αυτής παραμένουν ανοικτά για περαιτέρω έρευνα, όπως π.χ. ο τρόπος άρσης των εμποδίων σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και την ταχεία διάδοση ενεργειακών τεχνολογιών απαλλαγμένων από εκπομπές.

Χρειάζεται να μελετηθούν περαιτέρω οι δυνατότητες συνέργειας μεταξύ της οικονομικής δραστηριότητας στην Ελλάδα και των νέων αγορών που θα δημιουργηθούν για τις καθαρές τεχνολογίες σε όλους τους τομείς. Ζητήματα τιμολογιακής πολιτικής στον τομέα της ενέργειας, μηχανισμοί βασισμένοι στην αγορά που θα υποστηρίζουν τη διάδοση των καθαρών τεχνολογιών, αναδιарθρώσεις που θα διασφαλίζουν τη συμμετοχή καταναλωτών και ιδιοπαραγωγών στην αγορά με αποκεντρωμένο τρόπο, αποτελούν όλα προκλήσεις για μελλοντικές μελέτες.

Οι μελέτες που θα ακολουθήσουν θα πρέπει να εμβαθύνουν στο θεμελιώδες στρατηγικό ερώτημα σχετικά με τον τρόπο κατά τον οποίο η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και η μείωση των εκπομπών θα αποτελέσουν ευκαιρία για αναπτυξιακή ώθηση της ελληνικής οικονομίας σε όλους τους τομείς. Έτσι, θα καταστεί δυνατόν να μειωθεί το κόστος της πολιτικής μετριασμού και προσαρμογής για τη χώρα. Νέες τεχνολογίες, νέες δραστηριότητες, νέα πρότυπα κτηρίων και μέσων μεταφοράς, καθώς και αναδιοργάνωση των παραγωγικών δραστηριοτήτων, θα πρέπει να είναι στο επίκεντρο της νέας αναπτυξιακής προσπάθειας προς την οικονομία χαμηλών εκπομπών και προς το στόχο της διασφάλισης προστασίας από ενδεχόμενες ζημιές που θα επέλθουν λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Έχει σημασία, για τη συνέχιση της μελέτης των επιπτώσεων της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, οι τομεακές μελέτες να εμβαθύνουν κατά γεωγραφική περιοχή και να επικεντρωθούν στις πιο ευάλωτες περιοχές και τις πιο ευάλωτες κοινωνικές ομάδες. Η συνέχιση της έρευνας σε μεγαλύτερο βάθος, η διεύρυνσή της και η διάδοση των διαπιστώσεων της έχουν ιδιαίτερη σημασία προκειμένου να δημιουργηθεί η “κρίσιμη μάζα” στην κοινωνία που θα ωθεί και την πολιτεία να λαμβάνει κάθε φορά τις ορθές αποφάσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής με σχεδιασμό σε μακρό χρονικό ορίζοντα και όχι με βάση μια μυωπική προσέγγιση βραχυπρόθεσμου πολιτικού κόστους-οφέλους, που όμως εν τέλει θα επέρριπτε πολλαπλάσια βάρη στις μελλοντικές γενεές.

Ακόμη, η συνέχιση της έρευνας θα αποτελέσει πρόκληση και ευκαιρία για τη βελτίωση των μαθηματικών προτύπων ολοκληρωμένης αξιολόγησης, την ενσωμάτωση σ’ αυτά των διανεμητικών επιδράσεων, της αβεβαιότητας και των μη γραμμικών τρόπων αντίδρασης των οικοσυστημάτων στην κλιματική αλλαγή.

Υπάρχει πεδίο για τη βελτίωση και την επέκταση των δεδομένων και προβλέψεων σχετικά με το κλίμα και την ατμόσφαιρα. Κατά τη συνέχιση της έρευνας κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή προσομοιώσεων σε ακόμα υψηλότερη χωρική ανάλυση, προκειμένου στις εκτιμήσεις να συμπεριληφθούν, με μεγαλύτερη ακρίβεια, η τοπογραφία και η σχετική ποσοστιαία κατανομή της ξηράς και της θάλασσας. Επίσης, θα πρέπει να συμπεριληφθεί η συστηματική επικαιροποίηση των κλιματικών δεδομένων και η υποστήριξη υπηρεσιών δημόσιας και έγκαιρης πληροφόρησης σχετικά με τα καιρικά φαινόμενα και τις επιπτώσεις τους. Παράλληλα με τη διαμόρφωση της στρατηγικής για την προσαρμογή στην ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής, τα στοιχεία αυτά θα συμβάλουν στη θωράκιση της Ελλάδος από τους κινδύνους της κλιματικής μεταβολής. Οι κλιματικές στρατηγικές θα πρέπει σταδιακά να διαπερνούν όλους τους τομείς της πολιτικής, συμπεριλαμβανομένης της εξωτερικής πολιτικής. Η κλιματική αλλαγή δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί χωρίς την άμεση συνεργασία όλων των χωρών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η Ελλάδα, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θα πρέπει να διαδραματίσει ρόλο στις διεθνείς διαπραγματεύσεις σχετικά με τη στρατηγική μετριασμού. Η οικονομική αποτελεσματικότητα της μείωσης των εκπομπών στον ελλαδικό χώρο μεγεθύνεται εφόσον η ελληνική αγορά ενέργειας δρα στο πλαίσιο μιας κατά το δυνατόν ενιαίας, περιφερειακής αγοράς. Επομένως, η περιφερειακή συνεργασία για την κλιματική αλλαγή θα πρέπει να αποτελεί βασικό άξονα της εξωτερικής πολιτικής της χώρας, ενώ αξίζει να προσεχθεί ιδιαίτερα η στρατηγική που θα ακολουθήσει η Ελλάδα στα ζητήματα των εκπομπών από τη ναυτιλία σε παγκόσμια κλίμακα.

Η σημερινή δυσχερής οικονομική συγκυρία φαίνεται εκ πρώτης όψεως ότι δημιουργεί εμπόδια σχετικά με την εξασφάλιση των κεφαλαίων που θα απαιτηθούν στο πλαίσιο της πολιτικής μετριασμού και προσαρμογής. Όμως, στο μέτρο κατά το οποίο η πολιτική αυτή αξιοποιείται ως ευκαιρία νέων δραστηριοτήτων και ανάπτυξης, μπορεί να αποτελέσει μέρος της στρατηγικής που θα συμβάλει στην έξοδο από την οικονομική κρίση και στη διαμόρφωση ενός νέου αναπτυξιακού προτύπου – με άλλα λόγια, η υιοθέτησή της, αντί να παρεμποδίζεται από το σημερινό οξύ πρόβλημα της οικονομίας, μπορεί να συμβάλει στη λύση του.

