ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ
(ΜΕΛΟΣ ΤΗΣ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΜΕΓΑΛΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ)
Αγησιλάου 56-58, 104 36 Αθήνα (μέσω Δ.Ε.Η. Α.Ε–ΔΥΗΠ)
eemf@eeft.gr www.eeft.gr

ΦΡΑΓΜΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΚΟ ΔΗΜΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΗΛΙΟΥ, ΠΕ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΝΩΝ ΤΗΣ ΕΕΜΦ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2016

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Επιτροπή Εμπειρογνωμόνων της ΕΕΜΦ συστάθηκε μετά από πρόσκληση της Περιφέρειας Θεσσαλίας και του Δήμου Νοτίου Πηλίου και μετά από απόφαση του Δ.Σ. της Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων της 22/07/2015. Απαρτίζεται από τους Γεώργιο Ντουνιά, Δρ Πολιτικό Μηχανικό και πρόεδρο της ΕΕΜΦ, Νικόλαο Μαμάση, Επίκουρο Καθηγητή Υδρολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ και Γεώργιο Γεωργαλά, Πολιτικό Μηχανικό, Προϊστάμενο κατασκευών της ΕΥΔΕ Κατασκευής Υδραυλικών Υποδομών του Υπουργείου Υ.ΜΕ.ΔΙ., μελών του ΔΣ της ΕΕΜΦ.

Το φράγμα Παναγιώτικο είναι λιθόρριπτο με Ανάντη Πλάκα Σκυροδέματος (ΛΑΠΣ) ύψους 41m με ταμιευτήρα ωφέλιμου όγκου 1,62 εκατομμύρια m^3. Ο κύριος λόγος της σύστασης της επιτροπής ήταν η διερεύνηση των σημαντικών και αυξανόμενων διαρροών του φράγματος, η εκτίμηση τυχόν κινδύνων για την ασφάλεια του έργου και η υποβολή προτάσεων αντιμετώπισης.

Η Επιτροπή πραγματοποίησε επίσκεψη στο έργο την Τετάρτη, 30 Σεπτεμβρίου 2015. Στην επίσκεψη συμμετείχαν τα τρία μέλη της Επιτροπής, η Αντιπεριφερειάρχης ΠΕ Μαγνησίας κα Δωροθέα Κολυνδρίνη, ο Δήμαρχος Νοτίου Πηλίου κ. Νικόλαος Φορτούνας, ο κ. Κωνσταντίνος Λεγαντής, Πρόεδρος του ΔΣ, οι κ. Γεώργιος Μανούδης, Βιολόγος και κ. Αλέξανδρος Ιατρίδης, Μηχανολόγος Μηχανικός, υπάλληλοι του Δήμου Νοτίου Πηλίου υπεύθυνοι για την παρακολούθηση του φράγματος, και ο κ. Ιωάννης Θανόπουλος πρώην εκπρόσωπος του Τεχνικού Συμβούλου (ΔΕΗ, ΚΕΨΕ Θεσσαλίας). Την ημέρα της επίσκεψης η στάθμη του ταμιευτήρα ήταν περίπου +168m και η διαρροή που μετρήθηκε στο φρέαρ του κατάντη ποδός ήταν περίπου 45 lt/sec.

Εν αναμονή των διαθέσιμων στοιχείων της κατασκευής και της παρακολούθησης του φράγματος, η Επιτροπή υπέβαλε Ενδιάμεση Έκθεση με προκαταρκτικές προτάσεις τον Οκτώβριο του 2015.

Στην Επιτροπή παραδόθηκαν στη συνέχεια από το Δήμο Νοτίου Πηλίου εκθέσεις του Τεχνικού Συμβούλου Κατασκευής καθώς και μετρήσεις διαρροών, βροχοπτώσεων, πιεζομέτρων και ρωγμών.

Η Επιτροπή με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία υποβάλει την παρούσα Τελική Έκθεση συμπερασμάτων και προτάσεων.

2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Επιτροπή παρέλαβε και χρησιμοποίησε τα κάτωθι στοιχεία:

- Τα κύρια σχέδια και εκθέσεις της μελέτης του φράγματος που συντάχθηκε για λογαριασμό του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης από την Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ σε συνεργασία με τους Πέτρο Λασκαράτο (Γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες), Σοφία Φώτη (Γεωλογική μελέτη) και Κ. Τριανταφύλλου (Τοπογραφικές μελέτες).
- Τρείς ενδιάμεσες και μια τελική έκθεση του Τεχνικού Συμβούλου της Υπηρεσίας Κατασκευής (Διεύθυνση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων της ΔΕΗ ΑΕ, ΚΕΨΕ Θεσσαλίας)
- Μετρήσεις στάθμης ταμιευτήρα, διαρροών, πιεζομέτρων, ρωγμών και βροχοπτώσεων από τις 22/8/2012 έως 3/2/2016.
- «Γεωφυσική μελέτη στο φράγμα Παναγιώτικο», 27-3-2014, που εκτέλεσε ο κ. Μ.Πουλτσίδης για λογαριασμό του Δήμου Νοτίου Πηλίου και της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας και Σποράδων.
- Πόρισμα του ΓΕΩΤΕΕ, Παράρτημα Κεντρικής Ελλάδας, που συντάχθηκε το 2014 από τους Γ. Δημόπουλο, Ομότιμο Καθ. Τεχνικής Γεωλογίας του ΑΠΘ, Δ. Πάτρα, Γεωλόγο, και Σ. Βαλκανιώτη, Γεωλόγο

3 ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Το 1986 ανατέθηκε από την ΤΥΔΚ Μαγνησίας στο Α.Π.Θ. (Επιτροπή Ερευνών του Α.Π.Θ.) έρευνα με τίτλο «Μελέτη του Φράγματος Άρδευσης Παναγιώτικο». Ομάδα καθηγητών του ΑΠΘ με Επιστημονικώς Υπεύθυνο τον Καθηγητή κ. Γ. Σούλιο, Υδρογεωλόγο, συνέταξε το 1988 μελέτη χωμάτινου φράγματος ύψους 31m, με συνολική χωρητικότητα ταμιευτήρα $1,5x10^6$ m^3, ωφέλιμη χωρητικότητα $1,15x10^6$ m^3 και παροχή υπερχειλιστή 80 m^3/sec.

Το Υπουργείο Γεωργίας ανέθεσε το 1997 στην εταιρία Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ σε συνεργασία με τους Πέτρο Λασκαράτο (Γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες), Σοφία Φώτη (Γεωλογική μελέτη) και Κ. Τριανταφύλλου (Τοπογραφικές μελέτες) την εκπόνηση οριστικής μελέτης. Η μελέτη υπεβλήθη το 1998 και προέβλεπε την κατασκευή Λιθόριπτου Φράγματος με Ανάντη Πλάκα Σκυροδέματος (ΛΑΠΣ). Το νέο φράγμα είχε ύψος 41m, με συνολική χωρητικότητα ταμιευτήρα $1,8x10^6$ m^3, ωφέλιμη χωρητικότητα $1,6x10^6$ m^3 και παροχή υπερχειλιστή 150 m^3/sec.

Τα βασικά στοιχεία του φράγματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Φράγμα Παναγιώτικο - Βασικά στοιχεία σύμφωνα με τη μελέτη

Γενικά στοιχεία - Ταμιευτήρας	
Έναρξη λειτουργίας	2003
Λεκάνη απορροής	13 km^2
Μέση βροχόπτωση	800 mm/έτος
Μέση εισροή	2.330.000 m^3/έτος
Συνολικός όγκος ταμιευτήρα	1.800.000 m^3
Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα	1.628.000 m^3

Επιφάνεια ταμιευτήρα (+173m μ.υ.θ.)	163.000 m^2
Στάθμη στέψης υπερχειλιστή	+173m μ.υ.θ.
Ανώτερη στάθμη πλημμύρας	+ 177,12 m μ.υ.θ.

Φράγμα

Ονομαστικό υψόμετρο στέψης φράγματος	+ 177m μ.υ.θ. (μη περιλαμβάνοντας τον αντικυματικό τοίχο)
Ονομαστικό υψόμετρο στέψης τοίχου	+ 178m μ.υ.θ.
Μέγιστο ύψος από θεμελίωση πλίνθου	41 m
Μήκος στη στέψη	145 m
Πλάτος στέψης	5m
Τύπος φράγματος	Λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα σκυροδέματος (ΛΑΠΣ)
Θεμελίωση	Σχιστόλιθοι με ενστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων ενίοτε έντονα διαταραγμένων
Όγκος φράγματος:	142.800 m^3
Επιφάνεια πλάκας από σκυρόδεμα	5.600 m^2
Σώματα στήριξης	Από βραχώδεις εκσκαφές σχιστόλιθων κλίσεις ανάντη 1:1.6 και κατάντη 1:1.6 (κατ.:οριζ.)

Πρόφραγμα

Υψόμετρο στέψης	+ 152m μ.υ.θ.
Μέγιστο ύψος από θεμελίωση	13 m
Μήκος στη στέψη	38 m
Πλάτος στέψης	7m
Τύπος προφράγματος	Λιθόρριπτο με κεντρικό αργιλικό πυρήνα
Θεμελίωση	Σχιστόλιθοι με ενστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων ενίοτε έντονα διαταραγμένων
Όγκος προφράγματος:	8.300 m^3
Πυρήνας προφράγματος	Αργιλικός, προστατευμένος εκατέρωθεν με φίλτρα πάχους 2m και κατάντη ζώνη χονδρόκοκκου φίλτρου πάχους 2m. Κλίσεις πρανών πυρήνα 5:1 (κατ.:οριζ.)
Σώματα στήριξης προφράγματος	Από εκσκαφές σχιστόλιθων με εξωτερικές κλίσεις ανάντη 1:1.8 και κατάντη 1:1.6 (κατ.:οριζ.)

Υπερχειλιστής

Τύπος	Μετωπικός, ελεύθερης υπερχείλισης με κανάλι και διάταξη αναπήδησης (flip bucket).
Στάθμη υπερχείλισης	+173 m μ.υ.θ.

Διαστάσεις	Πλάτος εισόδου 18 m Τελικό πλάτος καναλιού: 8 m
Παροχή σχεδιασμού	150 m^3/s
Μέγιστη υπερχειλίζουσα παροχή πλημμύρας	330 m^3/s

Εκκενωτής πυθμένα

Τύπος	Χαλύβδινος σωλήνας D=500mm
Κατώτατη στάθμη εκκένωσης	+ 155 m μ.υ.θ.
Μέγιστη παροχή αγωγού εκκένωσης	2,4 m^3/sec

Η μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας δημοπρατήθηκε το 1999 από την Περιφέρεια Θεσσαλίας και η κατασκευή ολοκληρώθηκε το 2003, οπότε έγινε και η πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα. Το σώμα του φράγματος κατασκευάσθηκε ουσιαστικώς σύμφωνα με τη μελέτη. Ο υπερχειλιστής τροποποιήθηκε λόγω εκτεταμένων ασταθειών κατά την εκσκαφή του καναλιού βάσει μελέτης του 2000.

Η επίβλεψη του έργου έγινε από την Περιφέρεια Θεσσαλίας ενώ χρέη Τεχνικού Συμβούλου κατά την κατασκευή ανατέθηκαν στη ΔΕΗ, ΔΑΥΕ/ΚΕΨΕ Θεσσαλίας.

Κατασκευαστής του έργου ήταν η ΓΕΚΑΤ ΑΤΕ. Σύμφωνα με την τελική έκθεση του Τ.Σ. η εργολαβία παρουσίασε πολλά προβλήματα προς το τέλος της κατασκευής και ο κατασκευαστής ήταν πρακτικώς απών στη φάση της πρώτης πλήρωσης.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται οριζοντιογραφία των έργων, στο Σχήμα 2 τυπική διατομή του φράγματος, στο Σχήμα 3 μηκοτομή κατά μήκος της πλίνθου και στο Σχήμα 4 οριζοντιογραφία με τις θέσεις των οργάνων. Όλα τα σχήματα αυτά παρουσιάζουν σχέδια της μελέτης.

Τα προβλήματα του έργου που έχουν αναφερθεί από τον Τεχνικό Σύμβουλο, την Περιφέρεια Θεσσαλίας, το Δήμο Νοτίου Πηλίου, τη Γεωφυσική έρευνα του κ. Μ. Πουλτσίδη και το πόρισμα του ΓΕΩΤΕΕ, Παράρτημα Κεντρικής Ελλάδας είναι τα ακόλουθα (αναφέρονται μόνο τεχνικά προβλήματα):

1. Συνολική ευστάθεια αντερεισμάτων και ιδιαίτερα του αριστερού και σύνδεση με τις μετακινήσεις των αρμών στη στέψη (έκθεση Πουλτσίδη, πόρισμα ΓΕΩΤΕΕ).
2. Σημαντικό άνοιγμα αρμού της στέψης πλησίον του αριστερού αντερείσματος (ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, έκθεση Πουλτσίδη, πόρισμα ΓΕΩΤΕΕ). Η έκθεση Πουλτσίδη και το πόρισμα του ΓΕΩΤΕΕ συνδέουν το άνοιγμα αυτό με γενική εξελισσόμενη ολίσθηση του αριστερού αντερείσματος.
3. Μικρά ανοίγματα αρμών στη στέψη (έκθεση Πουλτσίδη, πόρισμα ΓΕΩΤΕΕ)
4. Μεγάλες διαρροές που παρατηρούνται στον κατάντη πόδα του φράγματος (ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, έκθεση Πουλτσίδη, πόρισμα ΓΕΩΤΕΕ)

Κατά την επίσκεψη της Επιτροπής της ΕΕΜΦ διαπιστώθηκαν επίσης προβλήματα διευθέτησης της επιφανειακής απορροής στο αριστερό αντέρεισμα (είχαν σημειωθεί και από τον Τεχνικό Σύμβουλο κατασκευής), έντονη βλάστηση στο σώμα του φράγματος και προβλήματα στην ακριβή μέτρηση της στάθμης του ταμιευτήρα. Επίσης διαπιστώθηκε έλλειψη μετρήσεων στους μάρτυρες επιφανειακών μετακινήσεων.

Τα ανωτέρω προβλήματα και οι επιπτώσεις τους στην ασφάλεια του φράγματος εξετάζονται στη συνέχεια.

Σχέδια «ως κατασκευάστηκε» δεν εντοπίσθηκαν οπότε υποτίθεται ότι εφαρμόσθηκαν τα βάθη εκσκαφών και οι λοιπές προβλέψεις της μελέτης.

4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

4.1 Ευστάθεια αριστερού αντερείσματος

Δεν διαπιστώθηκε μετακίνηση του αριστερού αντερείσματος. Τα αναφερόμενα ως ενεργά εφελκυστικά ρήγματα εξελισσόμενων μετακινήσεων του συνόλου του αντερείσματος εκτιμάται ότι προκαλούνται από τοπικής σημασίας καταπτώσεις κατά μήκος ζωνών ρηγμάτωσης και είναι μεταξύ τους ασύνδετα (Φωτ. 1, 2). Οι τοπικές αυτές καταπτώσεις διευκολύνονται από την ύπαρξη του έντονου δικτύου διαρρήξεων (ρηγμάτων και διακλάσεων) του υποβάθρου, την χαμηλή αντοχή των ασυνεχειών του σχιστολιθικού υποβάθρου σε συνδυασμό με την απότομη κλίση των πρανών των εκσκαφών και την υπόγεια και επιφανειακή ροή νερού.

Η μικρή επιφανειακή στροφή του περιφραγματικού σωλήνα της κεφαλής του πιεζομέτρου PW4 οφείλεται ομοίως σε ρηχή επιφανειακή μετακίνηση/στροφή λόγω ερπυσμού της οδού πρόσβασης. Ο σωλήνας του πιεζομέτρου είναι ανοιχτός.

Περαιτέρω, υπέρ της συνολικής σταθερότητας του αντερείσματος συνηγορεί η παντελής απουσία ρηγματώσεων στην οδό πρόσβασης που «περιβάλει» το αντέρεισμα.

4.2 Μεγαλη ρωγμη στη στεψη του φραγματος

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής παρουσιάστηκε στη στέψη, πλησίον του αριστερού αντερείσματος, άνοιγμα, οριζόντια μετακίνηση και κατακόρυφη μετακίνηση σε αρμό μεταξύ των σπονδύλων της μορφής αντεστραμμένου Π κατασκευής (κορωνίδας) από οπλισμένο σκυρόδεμα (Φωτ. 3, 4). Τα κατακόρυφα στοιχεία του αντεστραμμένου Π αποτελούν τα ανάντη και κατάντη τοιχία της στέψης (Σχ. 2). Ο αρμός αυτός συμπίπτει με τον πρώτο αρμό της ανάντη πλάκας. Οι μετακινήσεις αυξήθηκαν με την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα και στη συνέχεια παρουσιάζουν πολύ αργή εξέλιξη. Η εξέλιξη του ανοίγματος, της εγκάρσιας σχετικής μετακίνησης και της σχετικής κατακόρυφης μετακίνησης στο ανάντη και κατάντη τοιχίο αντίστοιχα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5 και 6 από το Μάρτιο του 2014 έως τον Ιανουάριο του 2016. Από τον Τ.Σ. αναφέρονται το 2006 κατακόρυφες μετακινήσεις 16.5mm και οριζόντιες μετακινήσεις 17.5 mm, χωρίς να διευκρινίζεται αν αναφέρονται στο ανάντη ή στο κατάντη τοιχίο. Στις 14 Ιανουαρίου 2016 η ανάντη ρωγμή παρουσίαζε κατακόρυφη μετακίνηση 23mm, εγκάρσια μετακίνηση 68mm και διαμήκη μετακίνηση (άνοιγμα) 28mm. Οι μετακινήσεις για τον αρμό του κατάντη τοιχίου ήταν 43mm, 50mm και 35mm αντιστοίχως. Οι μετακινήσεις στον αρμό αυτό έχουν εμφανώς αυξηθεί τα τελευταία 10 έτη και τώρα παρουσιάζουν πολύ αργή εξέλιξη.

Το σύνολο των ενδείξεων συνηγορεί στο ότι η ρωγμή αυτή προκλήθηκε λόγω διαφορικής καθίζησης των ανώτερων τμημάτων του αναχώματος του φράγματος. Συμβατή προς αυτό είναι και η ύπαρξη ρωγμών στην ανάντη στεγανωτική πλάκα που περιορίζονται στο φάτνωμα 2 στην περιοχή των έντονων διαφορικών καθιζήσεων (Φωτ. 5). Οι ρωγμές στην πλάκα είναι πολύ λεπτές και πιθανότατα δεν συνδέονται με τις διαρροές μιας που βρίσκονται συνήθως πάνω από τη στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα.

Η έντονη αυτή διαφορική καθίζηση ενδέχεται να προήλθε είτε λόγω ύπαρξης «σκαλοπατιού» στη θεμελίωση του αναχώματος επί του αριστερού αντερείσματος, ή λόγω ατελούς συμπύκνωσης τμήματος του αναχώματος που συμπληρώθηκε τελευταίο. Αυτό παρατηρείται όταν το φράγμα δεν ανυψώνεται στο σύνολο του μήκους του αλλά διατηρείται για διευκόλυνση της κατασκευής (προσβάσεις) τμήμα του σε χαμηλότερο υψόμετρο. Η συμπλήρωση για την ολοκλήρωση του αναχώματος στις περιπτώσεις αυτές απαιτεί ιδιαίτερα επιμελημένη συμπύκνωση.

Η ρωγμή αυτή δεν μπορεί να συνδεθεί με την εικαζόμενη «αστοχία» του αριστερού αντερείσματος. Εάν αυτό συνέβαινε η ρωγμή θα είχε την αντίθετη εντελώς μετακίνηση και θα επεκτεινόταν αντιστοίχως επί της ανάντη πλάκας προς το αντέρεισμα.

Η ρωγμή θα πρέπει να παρακολουθείται μαζί με τα εγκατεστημένα όργανα παρακολούθησης του φράγματος.

4.3 Άνοιγμα αρμων στη στεψη του φραγματος

Προς τα άκρα της στέψης του φράγματος παρατηρείται μικρό άνοιγμα των αρμών διαστολής της κορωνίδας της στέψης (Φωτ. 6, 7, 8). Οι αρμοί αυτοί παρουσιάζουν άνοιγμα λίγων χιλιοστών με πιο ενεργούς τους αρμούς πλησίον των αντερεισμάτων. Το άνοιγμα των αρμών είναι συμβατό με την αναμενόμενη καθίζηση στη στέψη η οποία είναι μεγαλύτερη στην κεντρική περιοχή όπου το ύψος του αναχώματος είναι μέγιστο και ελάχιστη στην επαφή του αναχώματος με τα αντερείσματα. Η ανομοιόμορφη αυτή καθίζηση δημιουργεί συνθήκες ελαφρού «εφελκυσμού» στη στέψη με αποτέλεσμα το άνοιγμα στους αρμούς.

Σημειώνεται ότι σε καλά συμπυκνωμένα λιθόρριπτα φράγματα οι αναμενόμενες μακροχρόνιες καθιζήσεις κυμαίνονται από 0.2 έως 0.5% του ύψους του φράγματος, αν και έχουν καταγραφεί και πολύ μεγαλύτερες καθιζήσεις. Για ύψος 40 m οι αναμενόμενες μακροχρόνιες καθιζήσεις είναι μεταξύ 8 και 20 cm. Δυστυχώς δεν έχουμε ακόμη στοιχεία μέτρησης καθιζήσεων και οριζόντιων μετακινήσεων ώστε να αξιολογήσουμε περαιτέρω το φαινόμενο.

Οι ρωγμές είναι αναμενόμενες για το είδος και το μέγεθος του φράγματος, δεν υποδεικνύουν κάποια αστοχία και δεν εγκυμονούν κίνδυνο για τη συμπεριφορά του φράγματος. Τέλος, δεν φαίνεται να συνδέονται με τις παρατηρούμενες διαρροές.

4.4 Διαρροες στον καταντη ποδα του φραγματος

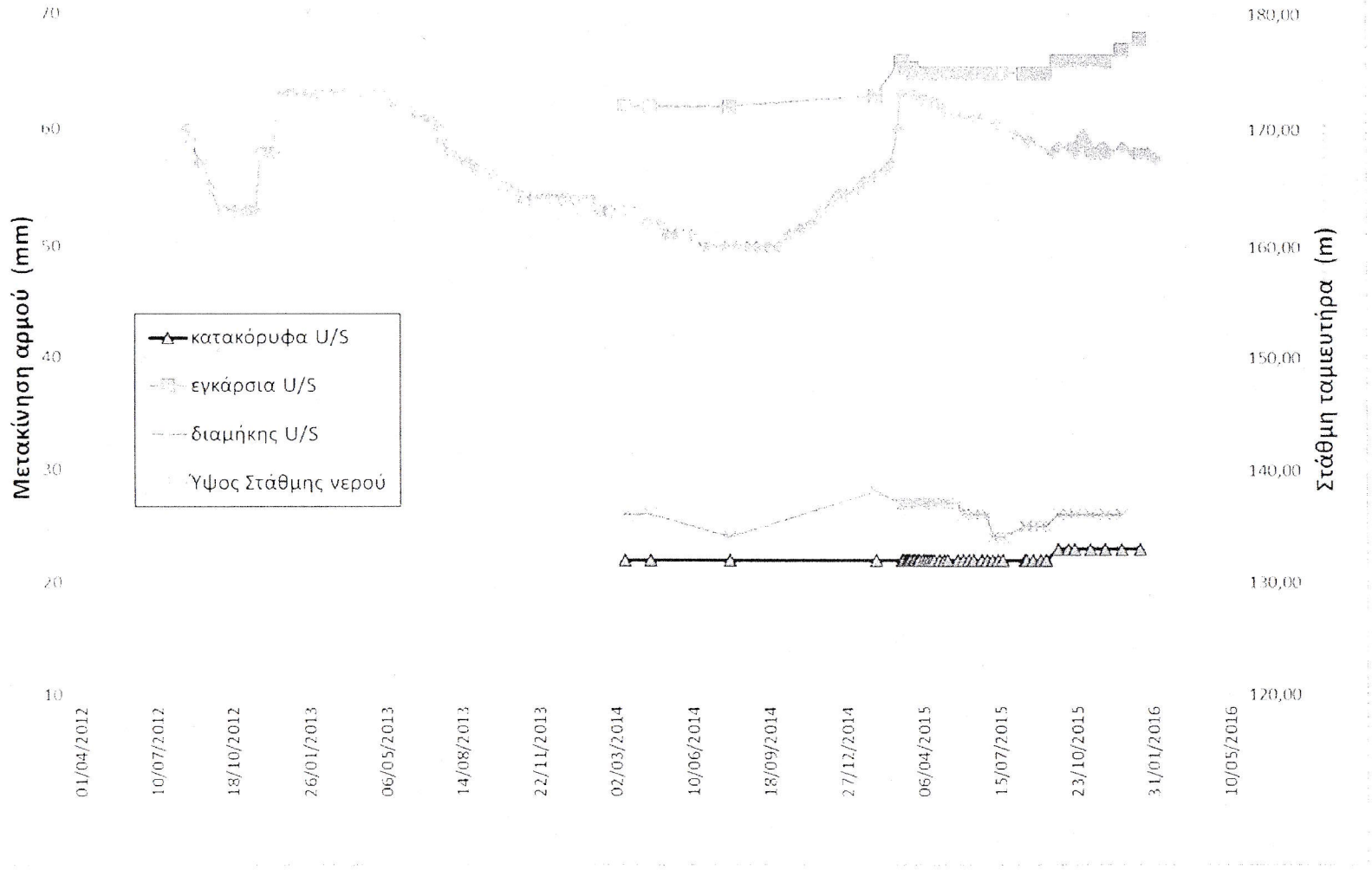
4.4.1 Διαθέσιμα στοιχεία - επεξεργασία

Κατά την επίσκεψη της 30ής Σεπτεμβρίου 2015 η διαρροή που μετριέται στη διάταξη που προβλεπόταν από τη μελέτη στον πόδα του αναχώματος ήταν περίπου 45 lt/sec, με στάθμη ταμιευτήρα στα +168m περίπου (Φωτ. 9, 10).

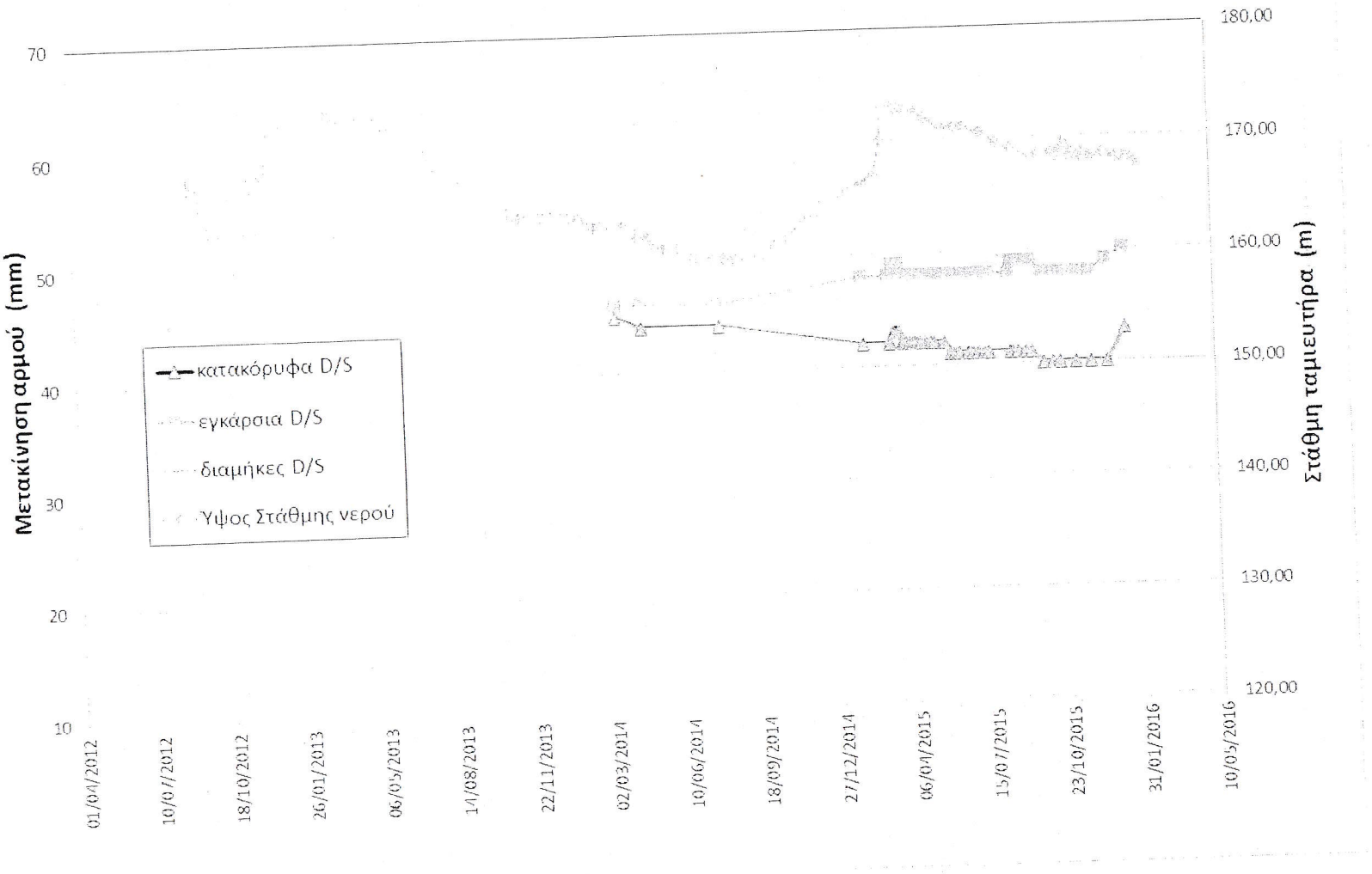
Αναφέρεται ότι για πλήρη ταμιευτήρα (+173m) οι διαρροές έχουν σχεδόν τετραπλασιαστεί τα τελευταία 10 χρόνια. Από τα στοιχεία που συλλέξαμε φαίνεται ότι για πλήρη ταμιευτήρα (στάθμη +173m) οι διαρροές το 2003 ήταν 17 lt/sec, το 2013 ανέβηκαν στα 61 lt/sec και το 2014 αυξήθηκαν περαιτέρω στα 74 lt/sec. Όπως μας αναφέρθηκε το νερό των διαρροών που μετρούνται στον πόδα του φράγματος ήταν πάντοτε διαυγές. Δεν μας διατέθηκαν χημικές αναλύσεις του νερού των διαρροών και του ταμιευτήρα.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η εξέλιξη των διαρροών ταυτόχρονα με τη στάθμη του ταμιευτήρα και τις στάθμες στα πιεζόμετρα PW1 έως PW5. Από τα στοιχεία του Σχήματος 7 εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Είναι εμφανής η μεγάλη αύξηση των διαρροών από το 2006 μέχρι το 2013, οπότε υπάρχει κενό μετρήσεων, αλλά και από το 2013 στο 2015.
- Οι στάθμες στα πιεζόμετρα κατάντη του άξονα φράγματος επί των αντερεισμάτων και επί την κοίτης δεν παρουσιάζουν αυξημένη στάθμη τώρα σε σχέση με την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα. Η αύξηση λοιπόν της διαρροής δεν οφείλεται σε αύξηση της στάθμης στα αντερείσματα.
- Οι μετρούμενες διαρροές επηρεάζονται κυρίως από τη στάθμη του ταμιευτήρα αλλά και από τις βροχοπτώσεις. Έτσι με σταθερή στάθμη ταμιευτήρα τους τελευταίους μήνες υπάρχει αυξομείωση της μετρούμενης παροχής.



Σχήμα 5. Μετακινήσεις στον αρμό του ανάντη τοιχίου



Σχήμα 6. Μετακινήσεις στον αρμό του κατάντη τοιχίου

Για να διερευνηθεί η σχέση της μετρούμενης διαρροής με την πίεση που ασκεί ο ταμιευτήρας στο βαθύτερο σημείο της πλίνθου σχεδιάστηκε ο λόγος της παροχής διαρροής (σε lt/sec) δια την πίεση ταμιευτήρα (σε μέτρα στήλης νερού) που παρουσιάζεται στο Σχήμα 8. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι μέχρι το 2006 ο λόγος ήταν χαμηλός και επηρεάζονταν λίγο από τη στάθμη του ταμιευτήρα. Από το 2012 και μετά ο λόγος αυξήθηκε πολύ (περίπου τετραπλασιάστηκε) και επηρεάζεται έντονα από τη στάθμη του ταμιευτήρα.

Για την περαιτέρω διερεύνηση της πιθανής προέλευσης των διαρροών έγινε υπολογισμός των θεωρητικών διαρροών για δύο σενάρια [α] μέσω μιας οπής στη στάθμη +140m (περίπου στο κατώτερο σημείο της πλίνθου) και [β] μέσω τριών οπών σε υψόμετρα +140, +150 και +160m. Ρυθμίσθηκαν οι υπολογισμοί έτσι ώστε η μέγιστη θεωρητική διαρροή να προσεγγίζει τη μέγιστη πραγματική διαρροή και εξετάσθηκε η εξέλιξή τους στο χρόνο, ανάλογα με την στάθμη του ταμιευτήρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 9. Από τα Σχήματα 8 & 9 και λαμβάνοντας υπόψη και τα ανωτέρω μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Με υπόθεση μιας μόνο σταθερής οπής δεν προσεγγίζεται η μεγάλη εξάρτηση των διαρροών με τη στάθμη του ταμιευτήρα.
- Με υπόθεση περισσοτέρων οπών κατανεμημένων καθ' ύψος γίνεται καλύτερη θεωρητική προσέγγιση των διαρροών.
- Καλύτερη προσέγγιση των διαρροών προκύπτει επίσης με παραδοχή μιας οπής η οποία διευρύνεται με την αύξηση της πίεσης του ταμιευτήρα.

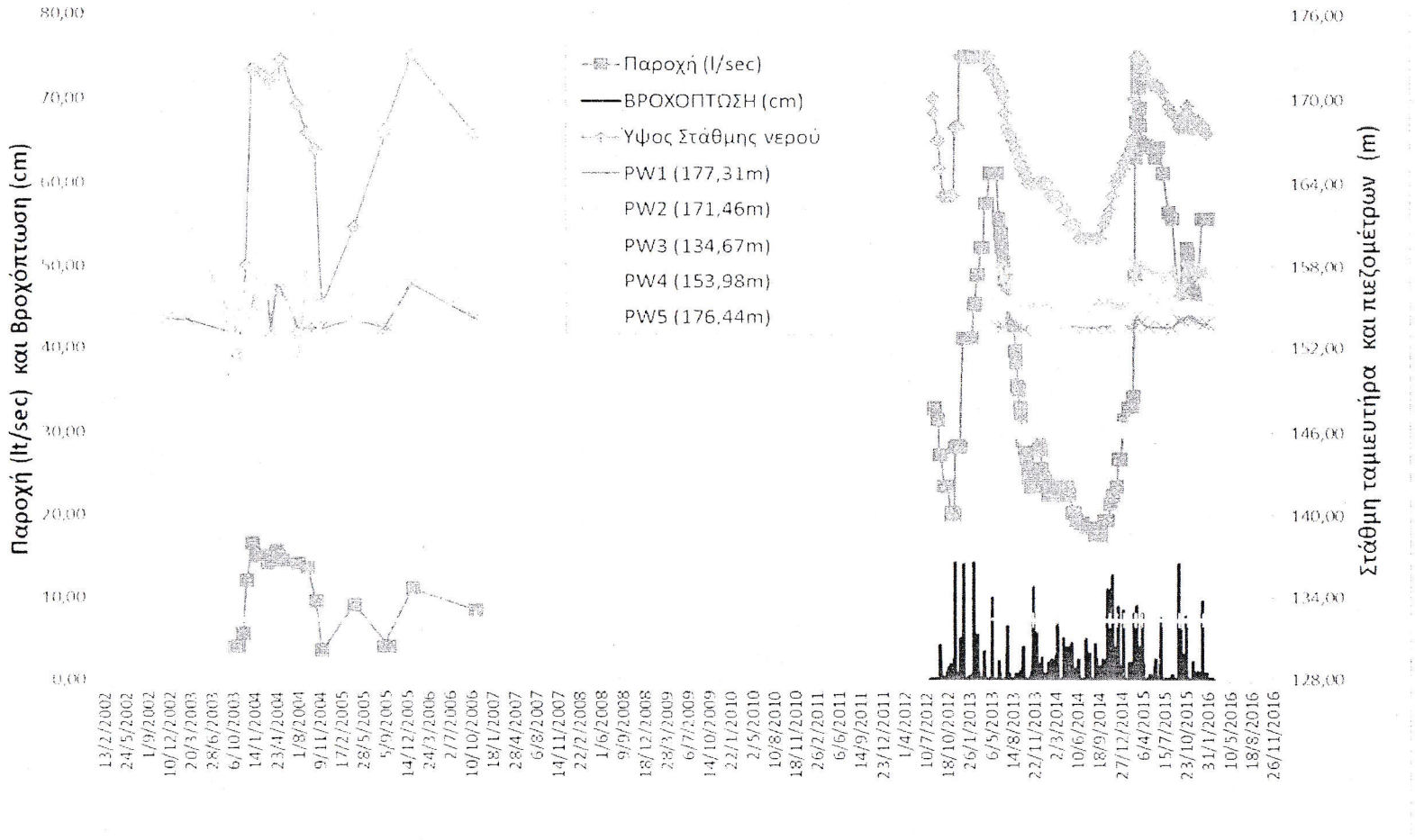
Ελέγχθηκαν τα στοιχεία γεωλογικών χαρτογραφήσεων της θεμελίωσης της πλίνθου καθώς και τα στοιχεία των τσιμεντενέσεων. Προκύπτει ότι απαντήθηκαν πολλές διαταραγμένες ζώνες εγκάρσια προς τον άξονα της πλίνθου. Από τα στοιχεία των τσιμεντενέσεων δεν προκύπτουν οι εφαρμοσθείσες πιέσεις αλλά γενικώς φαίνεται ότι εφαρμόσθηκαν χαμηλές πιέσεις τσιμεντενέσεων. Η κουρτίνα έγινε σε ικανό βάθος αλλά σε μια σειρά. Οι απορροφήσεις ενέματος ήταν κατά κανόνα μικρές.

4.4.2 Πιθανή προέλευση των διαρροών και αιτίες αύξησής τους

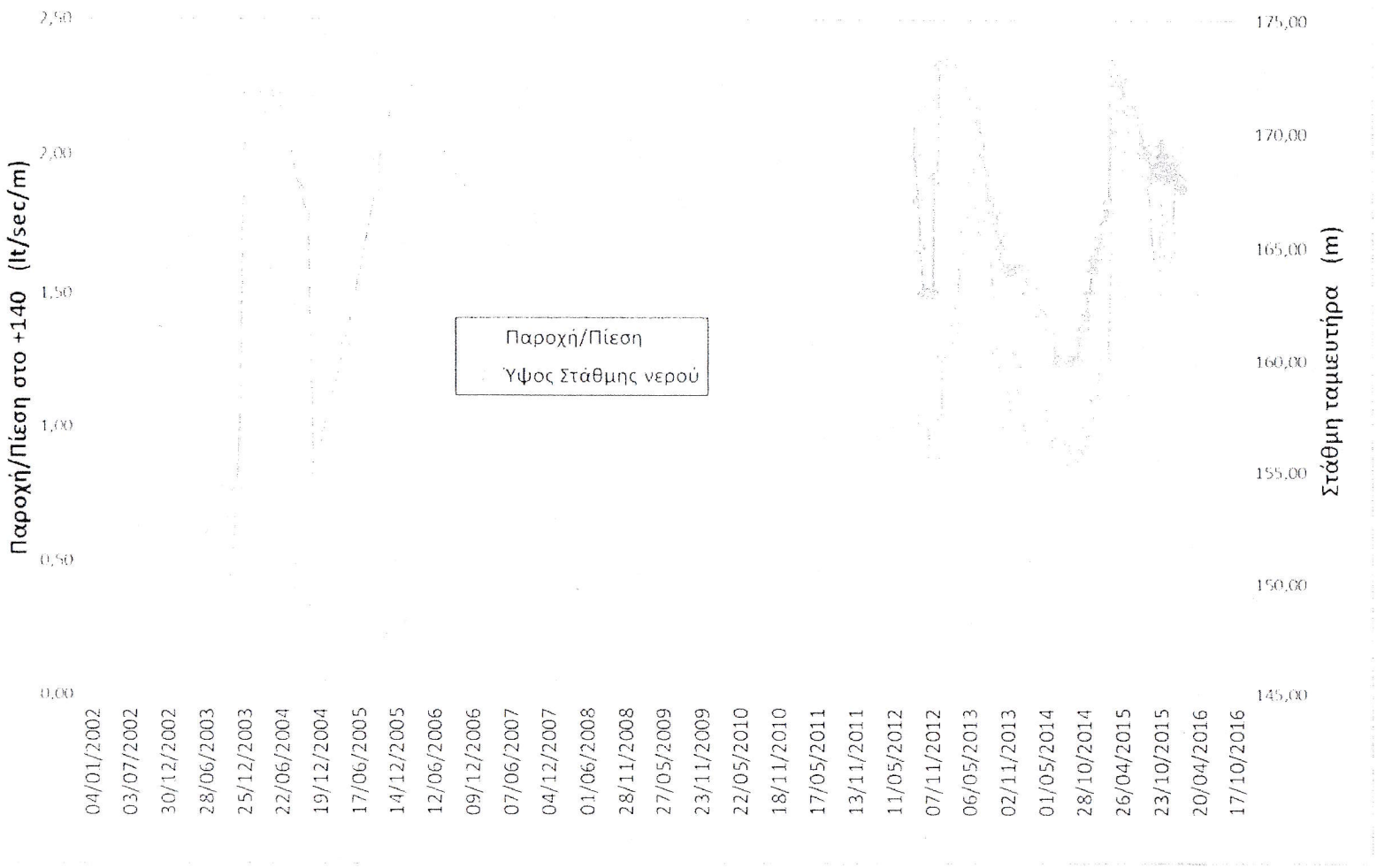
Μετά τη μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων δεν είναι δυνατή η μονοσήμαντη εκτίμηση της προέλευσης των διαρροών. Για τις ακόλουθες εκτιμήσεις λήφθηκαν υπόψη τα διαθέσιμα στοιχεία αλλά και η εμπειρία από περιπτώσεις εκτεταμένων διαρροών σε φράγματα και ειδικότερα σε φράγματα με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα.

Η προέλευση των διαρροών ενδέχεται να οφείλεται σε μια ή και περισσότερες από τις ακόλουθες αιτίες:

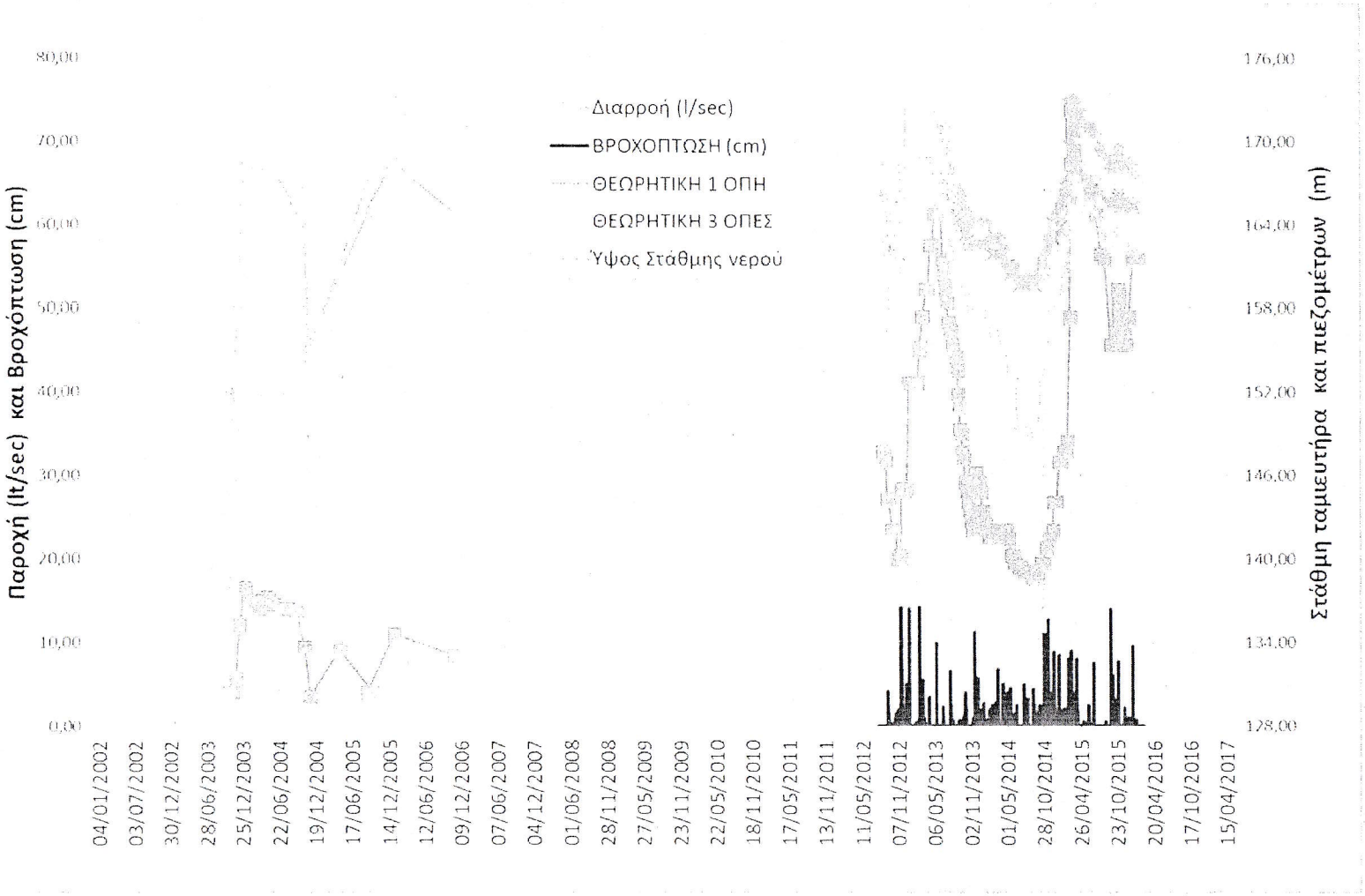
- Ελλιπή μέτρα στεγάνωσης στο σημείο που οι σωλήνες της υδροληψίας διέρχονται κάτω από την πλίνθο. Η διαρροή πιθανώς διεύρυνε σταδιακά τις διόδους μέσω απόπλυσης αμμοιλυωδών υλικών, ασθενών τσιμεντενεμάτων, εκτοξευόμενου σκυροδέματος κτλ..
- Ατέλειες στη σύνδεση της ανάντη πλάκας με την πλίνθο. Δεν υπάρχει ένδειξη για αυτό αλλά αναφέρεται λόγω των πολλών περιστατικών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.



Σχήμα 7. Εξέλιξη διαρροών, στάθμης πιεζομέτρων και στάθμης ταμιευτήρα



Σχήμα 8. Εξέλιξη του λόγου παροχής διαρροής (σε lt/sec) δια την πίεση ταμιευτήρα (σε μέτρα στήλης νερού)



Σχήμα 9. Πραγματικές διαρροές και «θεωρητικές» με υπόθεση 1 οπής (σε υψόμετρο +140) ή 3 οπών (σε υψόμετρα +140, +150 και +160)

- Ρηγματώσεις στην ανάντη πλάκα ή αστοχία των αρμών λόγω υποχωρήσεων του αναχώματος. Οι υποχωρήσεις συνήθως οφείλονται σε μη επαρκή συμπύκνωση της εξωτερικής περιοχής της λιθορριπής στην ανάντη παρειά του αναχώματος και των στρώσεων έδρασης της πλάκας, ή σε χρήση συμπιεστών υλικών κατασκευής. Στη δημιουργία καθιζήσεων συμβάλλει ο κορεσμός τμημάτων του αναχώματος. Η μόνη ένδειξη για ρηγμάτωση στην ανάντη πλάκα υπάρχει στα ανώτερα τμήματα κοντά στο αριστερό αντέρεισμα, όπως αναφέρεται ανωτέρω. Αυξήσεις σε διαρροές αυτού του τύπου έχουν αναφερθεί συχνά σε άλλα έργα λόγω της προοδευτικής συμπίεσης του υποστηρικτικού αναχώματος. Στην περίπτωση αυτή οι οπές διευρύνονται με την άνοδο του ταμιευτήρα.
- Ελλιπή ή μη αποτελεσματικά μέτρα στεγάνωσης της θεμελίωσης της πλίνθου
- Ελλιπή ή μη αποτελεσματική κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων σε βάθος. Σε αυτή την περίπτωση η αύξηση της διαρροής προκαλείται από απόπλυση ρωγμών πληρωμένων αρχικώς με αποσαθρούμενα υλικά ή από απόπλυση μη ικανώς στερεοποιημένου τσιμεντενέματος.
- Ύπαρξη διαδρομών αυξημένης υδροπερατότητας στα αντερείσματα κάτω ή/και πέρα από την κουρτίνα τσιμεντενέσεων. Σε αυτή την περίπτωση η αύξηση της διαρροής μπορεί να προκλήθηκε από απόπλυση ρωγμών.

Όλες οι ανωτέρω περιπτώσεις έχουν αναφερθεί σε άλλα παρόμοια έργα και σε πολλές περιπτώσεις αντιμετωπίσθηκαν ικανοποιητικά.

4.4.3 Πρόβλεψη εξέλιξης των διαρροών

Δεδομένου ότι δεν είναι γνωστή η αιτία της αύξησης, το λογικό είναι να υποτεθεί ότι είναι πολύ πιθανή η περαιτέρω αύξηση των διαρροών.

5 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Το κύριο ζήτημα που μας απασχόλησε είναι εάν οι μεγάλες διαρροές, από όπου και αν προέρχονται, θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του φράγματος. Σχετικώς με αυτό έχουμε να παρατηρήσουμε ότι δεν διαπιστώθηκαν επί του παρόντος συνθήκες που να μπορούν να προκαλέσουν σημαντική αστοχία η οποία θα οδηγούσε στην καταστροφή του φράγματος. Παρατηρούμε τα ακόλουθα:

- Δεν υφίσταται συνολική αστοχία υπό εξέλιξη στο αριστερό αντέρεισμα όπως εικάζεται από προηγούμενες αναφορές. Πρόκειται για τοπικές, ασύνδετες μεταξύ τους αστοχίες μικρής σημασίας.
- Οι μετακινήσεις που παρατηρούνται στη στέψη του φράγματος είναι αναμενόμενες για το μέγεθος της κατασκευής. Η «μεγάλη ρωγμή» οφείλεται σε διαφορική καθίζηση αλλά το μέγεθός είναι μικρό και οι επιπτώσεις στην ανάντη πλάκα σκυροδέματος μικρές. Η εξέλιξή της είναι πολύ αργή, συμβατή με τις αναμενόμενες μακροχρόνιες καθιζήσεις του αναχώματος.
- Το βραχώδες υπόβαθρο είναι ανθεκτικό σε εσωτερική διάβρωση. Μπορεί βεβαίως να ξεπλυθούν ασυνέχειες και να αυξηθεί περαιτέρω η διαρροή αλλά δεν θεωρείται πιθανόν να διαβρωθεί η βασική δομή του.

- Το ανάχωμα είναι κατασκευασμένο από λιθορριπή με επαρκείς στραγγιστικές στρώσεις που μπορούν να διοχετεύσουν προς το κατάντη πολλαπλάσιες ποσότητες νερού χωρίς να διαβρωθούν και να παρασυρθούν.
- Τέλος η ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα ακόμη και σε συνθήκες ανοίγματος σημαντικών ρωγμών δεν θα καταστραφεί.
- Φράγματα με ανάντη πλάκα έχουν παρουσιάσει πολλαπλάσιες διαρροές από αυτές του Παναγιώτικου χωρίς να καταστραφούν.

Βεβαίως δεν μπορεί να αποκλεισθεί η πιθανότητα σημαντικής περαιτέρω αύξησης των διαρροών που θα καταστήσει ακόμη πιο προβληματική τη λειτουργικότητα του έργου.

Η συνεχής εντατική παρακολούθηση της συμπεριφοράς του φράγματος είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη συνέχιση της λειτουργίας του.

Προτάσεις για τη λειτουργία του έργου και για τη διερεύνηση και μείωση των διαρροών παρουσιάζονται στη συνέχεια.

6 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Η μέση ετήσια εισροή στον ταμιευτήρα (σύμφωνα και με την υδρολογική μελέτη) εκτιμάται ότι είναι έως και 50% μεγαλύτερη από την χωρητικότητά του, και ορισμένα υγρά έτη ο ταμιευτήρας υπερχειλίζει. Μέσες ετήσιες διαρροές μικρότερες από 25 lt/sec δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα τη λειτουργία του ταμιευτήρα, εφόσον η ζήτηση παραμένει στα σημερινά επίπεδα. Όμως διαρροές της τάξης των 50 lt/sec ισοδυναμούν με την απώλεια ποσότητας ίσης με την χωρητικότητα του ταμιευτήρα (1.6 hm^3) και καθιστούν προβληματική την κάλυψη της ζήτησης. Για το λόγο αυτό τα προηγούμενα έτη αντλήθηκαν ποσότητες νερού που συγκεντρώνεται κατάντη του φράγματος, πίσω στον ταμιευτήρα. Στην περίπτωση που δεν επιτευχθεί μείωση των διαρροών, η λειτουργία του έργου θα είναι προβληματική. Η μοντελοποίηση της χρονικής κατανομής εισροών και ζήτησης νερού και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα μπορεί να επιτύχει μικρή μείωση των διαρροών (που φαίνεται να συνδέονται άμεσα με τη στάθμη) που όμως δεν θα επιλύσει το πρόβλημα.

7 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ – ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

Επείγει η τοπογραφική μέτρηση ακριβείας για τον προσδιορισμό των μετακινήσεων (X, Y, Z) στα εγκατεστημένα βάθρα (ρεπέρ). Στη συνέχεια μετρήσεις θα πρέπει να λαμβάνονται για τις καθιζήσεις κάθε 6 μήνες και για τις οριζόντιες μετακινήσεις ετησίως.

Επείγει η ενεργοποίηση του αυτόματου τρόπου μέτρησης της στάθμης του ταμιευτήρα (με λειτουργία του εγκατεστημένου στο θάλαμο δικλίδων ηλεκτρικού πιεζομέτρου). Για τη διασταύρωση της ακρίβειας των μετρήσεων καλό είναι να εγκατασταθούν και σταδίες σε διάφορα υψόμετρα εντός του ταμιευτήρα.

Οι μετρήσεις των διαρροών πρέπει να γίνονται ημερησίως με ταυτόχρονη καταγραφή της στάθμης του ταμιευτήρα και του ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης.

Οι μετρήσεις της στάθμης των ανοιχτών πιεζομέτρων πρέπει να γίνονται ανά 15 ημέρες για το επόμενο ένα έτος. Στη συνέχεια ο ρυθμός μπορεί να μειωθεί.

Οι μετρήσεις των ρωγμών στη στέψη να λαμβάνονται κάθε μήνα.

Σε όλα τα φράγματα αυτού του μεγέθους επιβάλλεται η καθημερινή οπτική επιθεώρηση η οποία ανά τακτά διαστήματα (εβδομάδος, μηνός και εξαμήνου) θα συνοδεύεται από συμπλήρωση σχετικών εντύπων επιθεώρησης.

7.2 Λειτουργια του εργου

Η ακολουθούμενη επί του παρόντος πρακτική της άντλησης του νερού των διαρροών πίσω στον ταμιευτήρα είναι ενδεδειγμένη πρακτική και συνιστάται να ακολουθείται εκτός των περιόδων πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων που προκαλούν υπερχείλιση του φράγματος.

7.3 Διερευνηση διαρροων και Πιθανα μετρα περιορισμου τους

Δυστυχώς η μόνη μέθοδος διερεύνησης της προέλευσης των διαρροών με σοβαρή πιθανότητα επιτυχίας είναι η εκκένωση του ταμιευτήρα και η επιθεώρηση της πλάκας και του επιχώματος κάλυψής της. Είναι πάρα πολύ πιθανό να απαιτηθεί η αφαίρεση του επιχώματος που καλύπτει το κατώτερο τμήμα της πλάκας ώστε να μπορεί να γίνει πλήρης επιθεώρηση της πλίνθου. Για την πραγματοποίηση των ανωτέρω απαιτείται η σύνταξη σαφών οδηγιών/μελέτης για τους τρόπους άντλησης κάτω από τη στάθμη +155, την πιθανή αποκατάσταση της εκτροπής του ποταμού, τις μεθόδους επέμβασης ανάλογα με τα σενάρια προέλευσης των διαρροών κτλ. Τα μέτρα θα περιλαμβάνουν μεθόδους στεγανοποίησης της πλάκας, επισκευής των αρμών, τσιμεντενέσεων κατά μήκος της πλίνθου κτλ. Το αντικείμενο αυτό θα πρέπει να ανατεθεί σε ειδικό έμπειρο μελετητή.

Πληροφορίες που θα βοηθήσουν στις διερευνήσεις, που δεν μπορούν όμως να υποκαταστήσουν το άδειασμα του ταμιευτήρα, είναι:

- Λήψη δειγμάτων νερού και πραγματοποίηση πλήρων χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων από τα ακόλουθα σημεία:
  - Ταμιευτήρας κοντά στο αριστερό αντέρεισμα
  - Ταμιευτήρας κοντά στο δεξιό αντέρεισμα
  - Φρεάτιο μέτρησης διηθήσεων στον πόδα του φράγματος
- Ιχνηθέτηση για τον εντοπισμό των διαδρομών διήθησης.

7.4 Λοιπες προτασεις

7.4.1 Απομάκρυνση βλάστησης

Απαγορεύεται η ανάπτυξη ξυλώδους βλάστησης επί του φράγματος καθώς και σε ζώνη 5 m γύρω από αυτό (περιλαμβανόμενων των συνοδών έργων του υπερχειλιστή της πλίνθου κτλ.). Συνιστάται η άμεση κοπή και ξήρανση με κάθε τρόπο όλων των δένδρων και θάμνων που έχουν αναπτυχθεί στο φράγμα και στην ζώνη 5m γύρω από αυτό.

Η ανάπτυξη ξυλώδους βλάστησης συμβάλλει στην επιφανειακή και υπόγεια διάβρωση των δομικών στοιχείων και παρεμποδίζει την οπτική επιθεώρηση του έργου.

7.4.2 Επιφανειακή απορροή

Διαπιστώθηκε αδυναμία της τάφρου της οδού πρόσβασης προς το φράγμα να παραλαμβάνει τα νερά της βροχής με αποτέλεσμα την άτακτη υπερχείλιση. Το θέμα είναι εντονότερο στο αριστερό αντέρεισμα όπου η υπερχείλιση προκαλεί πλημμύρα στον πόδα του φράγματος.

Πρέπει να ληφθούν μέτρα με κατασκευή τάφρων κατάλληλης διατομής ώστε να γίνεται απρόσκοπτα η απορροή κατάντη των εγκαταστάσεων διύλισης του νερού.

Για την αποφυγή πλημμύρας στην περιοχή του θαλάμου δικλίδων θα πρέπει επιπλέον να εξετασθεί και η αναγκαιότητα κατάλληλης διευθέτησης της κοίτης κατάντη.

Αθήνα, 22 Απριλίου 2016

Η Επιτροπή της ΕΕΜΦ

Γεώργιος Ντουνιάς | Νικόλαος Μαμάσης | Γεώργιος Γεωργαλάς