

Στεγανοποίηση ταμιευτήρα Πραμόριτσας – Μέρος Β : Παρακολούθηση και έλεγχοι κατά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα

Κ. Αναστασόπουλος
Πολ. Μηχανικός MSc, ΔΕΗ Α.Ε / ΔΥΗΠ

Ι. Κουβόπουλος
Πολ. Μηχανικός MSc, ΔΕΗ Α.Ε / ΔΥΗΠ

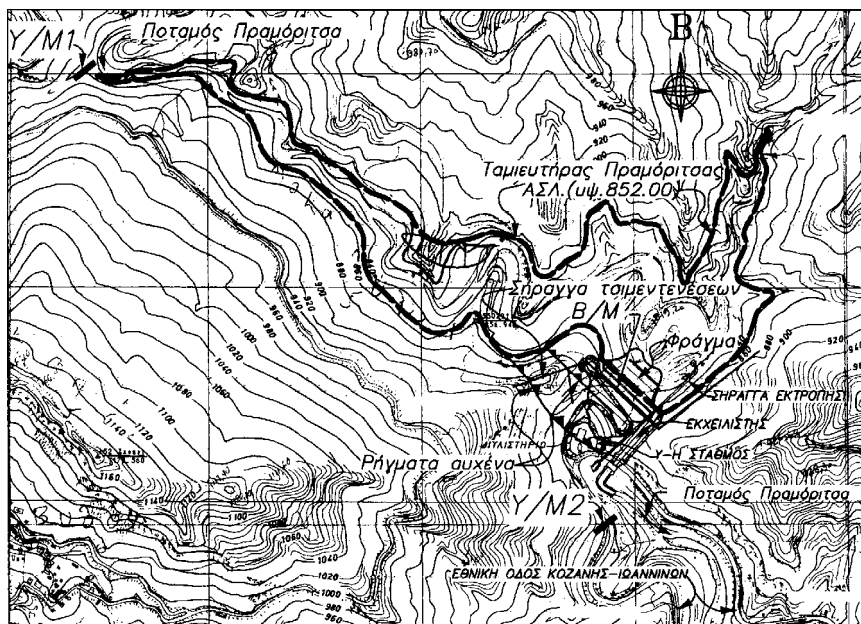
Χ. Οικονομίδης
Γεωλόγος, ΔΕΗ Α.Ε / ΔΥΗΠ

Λέξεις κλειδιά: Πραμόριτσα, κουρτίνα τσιμεντενέσεων, πλήρωση ταμιευτήρα, ενόργανη παρακολούθηση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λόγω της υψηλής διαπερατότητας της θεμελίωσης και των αντρεισμάτων του φράγματος Πραμόριτσα, κατασκευάστηκε βαθειά και εκτεταμένη κουρτίνα τσιμεντενέσεων. Για να διαπιστωθεί κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα η αρτιότητα της κουρτίνας, ελεγχόταν συνεχώς το υδραυλικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα, με καταγραφή των εισροών και των διαρροών, καθώς και οι μεταβολές στάθμης του υπόγειου ορίζοντα, μέσω συστήματος πιεζομέτρων. Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται οι εμπειρίες που αποκτήθηκαν από την λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και αποτιμώνται τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από την πλήρωση του ταμιευτήρα, διαδικασία η οποία ολοκληρώθηκε επιτυχώς τον Φεβρουάριο 2008.

1. ΓΕΝΙΚΑ



Σχ. 1 : Θέση Έργου - Ταμιευτήρας Πραμόριτσας

Το έτος 2007 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του φράγματος Πραμόριτσα, στον ομώνυμο παραπόταμο του Αλιάκμονα. Ο δημιουργούμενος ταμιευτήρας (βλ. Σχ. 1) έχει όγκο $5,50 \times 106 \text{ m}^3$ περίπου στη μέγιστη στάθμη λειτουργίας (+852). Πλήρης περιγραφή του Έργου, των γεωλογικών συνθηκών του υποβάθρου θεμελίωσης, και της κατασκευής και αξιολόγησης πριν την πλήρωση των μέτρων στεγανοποίησης που υλοποιήθηκαν, αναπτύσσεται στην ανακοίνωση {1}.

2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Λόγω των προβλημάτων στεγανότητας που είχαν εντοπιστεί στο υπόβαθρο θεμελίωσης και τα αντερείσματα {1}, είχε αποφασιστεί κατά τη φάση της μελέτης η εγκατάσταση πριν την έναρξη της πλήρωσης του ταμιευτήρα των ακολούθων συστημάτων παρακολούθησης, για τη διαπίστωση της επάρκειας του υλοποιηθέντος συστήματος στεγανοποίησης :

- Ενός συστήματος καταγραφής αφενός των εισροών στον ταμιευτήρα και αφετέρου των εκροών ή πιθανών διαρροών, εγκατεστημένου σε κατάλληλες θέσεις, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των καθαρών εισροών νερού στον ταμιευτήρα με την αύξηση του όγκου του, όπως αυτή προέκυπτε από την καμπύλη στάθμης – όγκου.
- Ενός συστήματος οργάνων καταγραφής της μεταβολής της στάθμης του υπόγειου νερού μέσω πιεζομέτρων, ώστε να διαπιστωθεί η επάρκεια των στεγανωτικών μέτρων σε επιλεγμένες θέσεις και να καταστεί εφικτή, σε περίπτωση διαρροών, η ανίχνευση των διαδρόμων διαφυγής στο υπόβαθρο.

2.1 Σύστημα Καταγραφής Εισροών-Εκροών Νερού Ταμιευτήρα

Για την καταγραφή και παρακολούθηση των επιφανειακών εισροών στον ταμιευτήρα έγινε αρχικά μια χαρτογραφική και επιτόπια αναγνώριση της λεκάνης απορροής που τροφοδοτεί το φράγμα, με σκοπό την επιλογή των ενδεδειγμένων θέσεων μέτρησης. Όπως φαίνεται στο Σχ. 1, ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται σχεδόν αποκλειστικά από τον κύριο κλάδο του ποταμού, ενώ όλα τα υπόλοιπα ρέματα που εισρέουν στον ταμιευτήρα είναι δευτερεύουσας σημασίας, με πολύ μικρές λεκάνες απορροής. Έτσι επελέγη η εγκατάσταση ενός υδρομετρικού σταθμού επί του ποταμού, σε θέση κατά το δυνατό πλησιέστερη στον ταμιευτήρα. Η επιτόπια διερεύνηση υπέδειξε ως πλέον κατάλληλη θέση παλαιό τοξωτό αναβαθμό από σκυρόδεμα στην κοίτη του ποταμού, στο ανάντη όριο του ταμιευτήρα (βλ. Σχ. 1, θέση Y/M 1). Η ανωτάτη στάθμη της λίμνης φτάνει έως τη βάση του αναβαθμού, χωρίς όμως να τον κατακλύζει, έτσι ώστε αυτός να μπορεί να λειτουργεί ως υπερχειλιστής και μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Η έκταση της ελεγχόμενης λεκάνης απορροής στη θέση αυτή ανέρχεται σε 58 km^2 , ή ποσοστό 91,5% της λεκάνης που αντιστοιχεί στη θέση φράγματος.

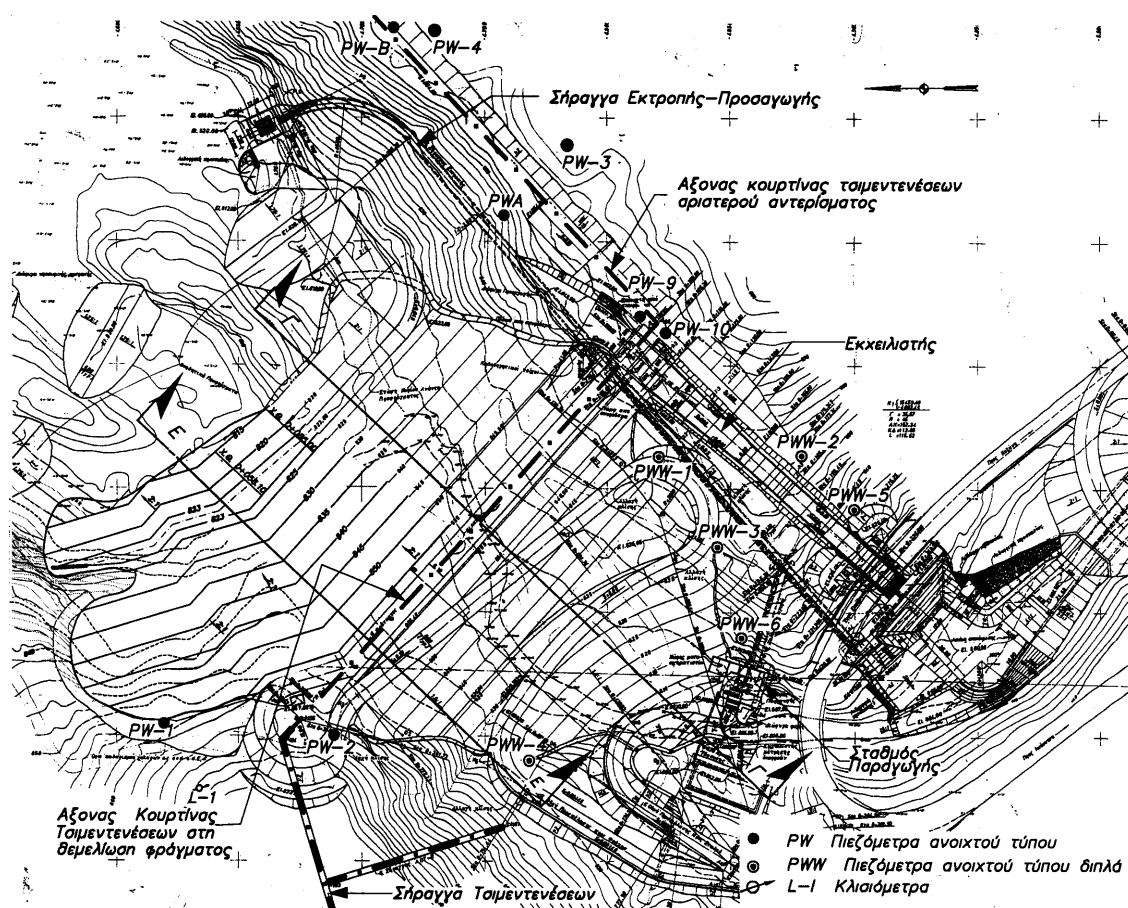
Καθώς στο χρονικό διάστημα μετά την εγκατάσταση του σταθμού δεν ήταν δυνατή η εκτέλεση του απαιτούμενου πλήθους υδρομετρήσεων για τη συναγωγή της εμπειρικής σχέσης στάθμης – παροχής του ποταμού, προκρίθηκε για τις σταθμημετρήσεις μία θέση λίγο ανάντη του αναβαθμού. Εκεί, επειδή ο υπερχειλιστής λειτουργεί ως διατομή ελέγχου της ροής, αναμενόταν η σχέση *στάθμη* – παροχής να είναι σταθερή και να προσεγγίζεται θεωρητικά από μια εξίσωση της μορφής $Q = cH^n$. Αυτό θα διευκόλυνε την καλή προσέγγιση των τιμών των σταθερών c και n της προηγούμενης εξίσωσης, μετά από εκτέλεση σχετικά λίγων υδρομετρήσεων. Με αυτά τα κριτήρια, εγκαταστάθηκε στις 4/10/2007 πιεζομετρικός ηλεκτρονικός σταθμηγράφος και σταθμημετρικός πήχης για βαθμονόμηση. Ο σταθμηγράφος ρυθμίστηκε να καταχωρεί μετρήσεις ανά 10 λεπτά.

Η κατά τα ανωτέρω επιλογή της διατομής ελέγχου δεν ήταν άμοιρη προβλημάτων: Καταρχήν, στην περιοχή δεν υπήρχε κάλυψη δικτύου κινητής τηλεφωνίας για την μετάδοση των σταθμηγραφικών δεδομένων, και κατά συνέπεια ήταν αδύνατη η παρακολούθηση των φαινομένων σε πραγματικό χρόνο. Για την αντιμετώπιση του θέματος, η συλλογή των δεδομένων γινόταν με συχνές επισκέψεις του συνεργείου υδρομετρήσεων, για αποφόρτιση του καταγραφέα δεδομένων (data-logger) και εκτέλεση των απαραίτητων υδρομετρήσεων. Επιπρόσθετα, η πρόσβαση στη θέση

ήταν πολύ δύσκολη, ιδιαίτερα όταν με την άνοδο της στάθμης του ταμιευτήρα κατακλύσθηκε παρόχθια εργοταξιακή οδός προσπέλασης. Σημειώνεται ότι κάποιες ημέρες του χειμώνα η πρόσβαση στη θέση ήταν αδύνατη. Τέλος, στη διατομή ελέγχου πίσω από τον υπερχειλιστή σχηματιζόταν μικρή λίμνη, και οι πολύ μικρές ταχύτητες ροής καθιστούσαν αδύνατη την υδρομέτρηση. Το τελευταίο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την εξεύρεση άλλης θέσης, σε απόσταση περί τα 100 m προς τα ανάντη, όπου η ροή του ποταμού ήταν σαφής και εγκιβωτισμένη, και η παροχή του ποταμού πρακτικά η αυτή με της προηγούμενης θέσης.

Για τον έλεγχο πιθανών διαρροών από τον ταμιευτήρα, προσδιορίστηκε θέση υδρομετρήσεων στην κοίτη του ποταμού, περί τα 500 m κατάντη του φράγματος, κατάντη περιοχής στην οποία είχαν εντοπιστεί μικρές αναβλύσεις νερού όταν η κοίτη αποξηράνθηκε λόγω της έμφραξης (βλ. Σχ. 1, θέση Y/M 2). Τέλος, για να είναι πιο ολοκληρωμένος ο συνολικός έλεγχος των επιφανειακών εισροών, εγκαταστάθηκε στις 15/11/2007 πάνω στη στέγη του φράγματος απλό βροχόμετρο, ημερήσιας παρατήρησης (βλ. Σχ. 1, θέση B/M). Σημειώνεται ότι και πριν από την ημερομηνία αυτή γινόταν καταγραφή βροχοπτώσεων από προσωπικό του εργοταξίου, αλλά με πρόχειρα μέσα.

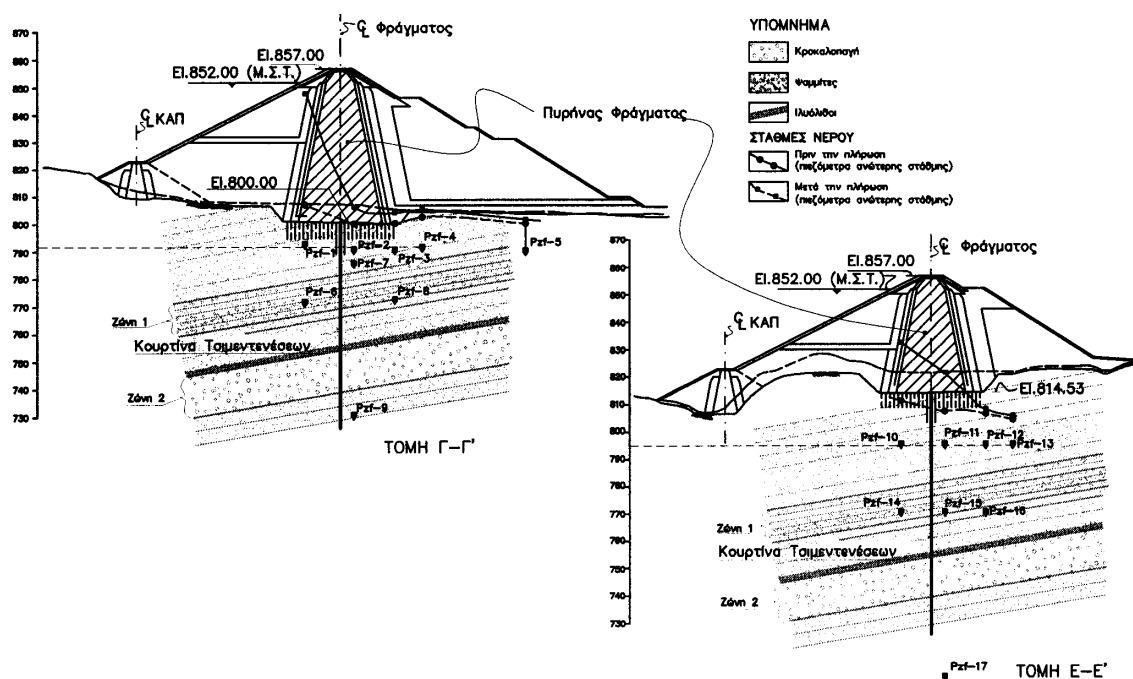
Πέραν των ανωτέρω, οργανώθηκε συνεργείο τεχνικής υποστήριξης του συστήματος καταγραφής, αποτελούμενο από αρμόδιο τεχνικό του Τεχνικού Συμβούλου (ΔΕΗ Α.Ε / ΔΑΥΕ) και τεχνικό του αντιπροσώπου της κατασκευάστριας εταιρείας του συστήματος. Επίσης οργανώθηκε κατάλληλη διαδικασία ταχείας μεταφοράς των πρωτογενών δεδομένων στα κεντρικά του Τεχνικού Συμβούλου προς επεξεργασία και εκτίμηση των εισροών.



Σχ. 2 : Φράγμα Πραμόριτσας – Θέσεις πιεζομέτρων ανοικτού τύπου

Στην ευρύτερη περιοχή των αντερεισμάτων του φράγματος εγκαταστάθηκαν κατά τη διάρκεια κατασκευής δέκα επτά (17) πιεζόμετρα ανοικτού τύπου (βλ. Σχ. 2), από τα οποία τα 11 (έντεκα) μονού τύπου (PW) και τα έξι (6) διπλού (PWW). Όλα τα διπλού τύπου πιεζόμετρα εγκαταστάθηκαν κατάντη του άξονα της κουρτίνας τσιμεντενέσεων. Στο αριστερό αντέρεισμα, και όπου αυτό ήταν εφικτό, τα ανοικτού τύπου πιεζόμετρα τοποθετήθηκαν σε ζεύγη, ανάντη και κατάντη της κουρτίνας τσιμεντενέσεων. Εγκαταστάθηκαν επίσης 17 (δεκαεπτά) ηλεκτρικά πιεζόμετρα (pzf -1 έως pzf-17) στη βραχομάζα θεμελίωσης του φράγματος, επί δύο τομών καθέτων προς τον άξονα του φράγματος (Γ-Γ και Ε-Ε, βλ. Σχ. 2), σύμφωνα με τις προβλέψεις της μελέτης. Κατά την κατασκευή κρίθηκε σκόπιμη η εγκατάσταση δύο επιπλέον ηλεκτρικών πιεζομέτρων (pzf-18 και pzf-19), προκειμένου να ελεγχθεί η επάρκεια της κουρτίνας τσιμεντενέσεων σε συγκεκριμένες θέσεις.

Τα ηλεκτρικά πιεζόμετρα (από 1 έως 3 σε κάθε γεώτρηση) εγκαταστάθηκαν ακολουθώντας προσεκτικά όλες τις οδηγίες στεγανοποίησης που συνιστά η σχετική βιβλιογραφία {2} για τα μεταξύ των οργάνων τμήματα της οπής. Γενικά, τα όργανα εγκαταστάθηκαν σε κατά προσέγγιση σταθερά υψόμετρα εντός των γεωτρήσεων, ώστε να είναι ευκολότερη η σύγκριση των μετρήσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα όργανα τα οποία είναι εγκατεστημένα σε παραπλήσια υψόμετρα αμέσως ανάντη – κατάντη της κουρτίνας αποκαλούνται εφεξής συζυγή. Οι ακριβείς θέσεις των ηλεκτρικών πιεζομέτρων επί των τομών του φράγματος δείχνονται στο Σχ. 3.



Σχ. 3 : Τομές Γ-Γ και Ε-Ε, με θέσεις ηλεκτρικών πιεζομέτρων θεμελίωσης

2.2 Οδηγίες Πρώτης Πλήρωσης Ταμιευτήρα

Πριν την έναρξη της πλήρωσης του ταμιευτήρα εκδόθηκαν οδηγίες για την παρακολούθηση της διαδικασίας, οι οποίες περιελάμβαναν τους ακόλουθους ελέγχους :

- Συνεχή καταγραφή των εισροών στον ταμιευτήρα μέσω συστήματος μέτρησης παροχών.
- Οπτική παρακολούθηση των κατάντη αντερεισμάτων και της κοίτης για την τυχόν εμφάνιση υγρασίας ή διαρροών.

- Καταγραφή ανά τακτά διαστήματα των παροχών σε συγκεκριμένες θέσεις κατάντη του φράγματος, όπου είχαν διαπιστωθεί αναβλύσεις πριν την έναρξη της πλήρωσης του ταμιευτήρα.
- Οπτικές επιθεωρήσεις και ελέγχους στο φράγμα και στα αντερείσματα (δύο φορές την ημέρα).
- Επιθεωρήσεις στη σήραγγα τιμεντενέσεων- αποστραγγίσεων δύο φορές την ημέρα και καταγραφή των θέσεων και του μεγέθους τυχόν εμφανιζομένων διαρροών.
- Λήψη γεωδαιτικών μετρήσεων στα τοποθετημένα βάθρα παρακολούθησης επιφανειακών μετακινήσεων στο φράγμα και στα αντερείσματα σε εβδομαδιαία βάση.
- Καθημερινή λήψη μετρήσεων σε όλα τα πιεζόμετρα.
- Λήψη μετρήσεων στα εγκατεστημένα κλισιόμετρα, σε συχνότητες που καθορίζονταν από τη θέση κάθε οργάνου
- Συχνούς ελέγχους λειτουργίας του συστήματος των επιταχυνσιογράφων, ώστε να είναι εφικτή η καταγραφή σε περίπτωση σεισμού.

Οι μέγιστοι αποδεκτοί ρυθμοί ανύψωσης της στάθμης του ταμιευτήρα καθορίστηκαν ως ακολούθως :

- Για στάθμες έως το EL +820, χωρίς περιορισμό
- Για στάθμες από το EL +820 έως το EL +830, σε 1 m/ημέρα
- Για στάθμες από το EL +830 έως το EL +840, σε 0,50 m/ημέρα
- Για στάθμες άνω του EL +840, σε 0,25 m/ημέρα

Εφόσον οι ρυθμοί ανύψωσης στάθμης του ταμιευτήρα προέκυπταν, σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων κλπ, μεγαλύτεροι των κατά περίπτωση παραπάνω καθοριζομένων, προβλεπόταν ρύθμιση της στάθμης με ελεγχόμενο άνοιγμα του Εκκενωτή πυθμένα για όσο χρονικό διάστημα απαιτούνταν για την τήρηση των απαιτήσεων της προηγούμενης παραγράφου.

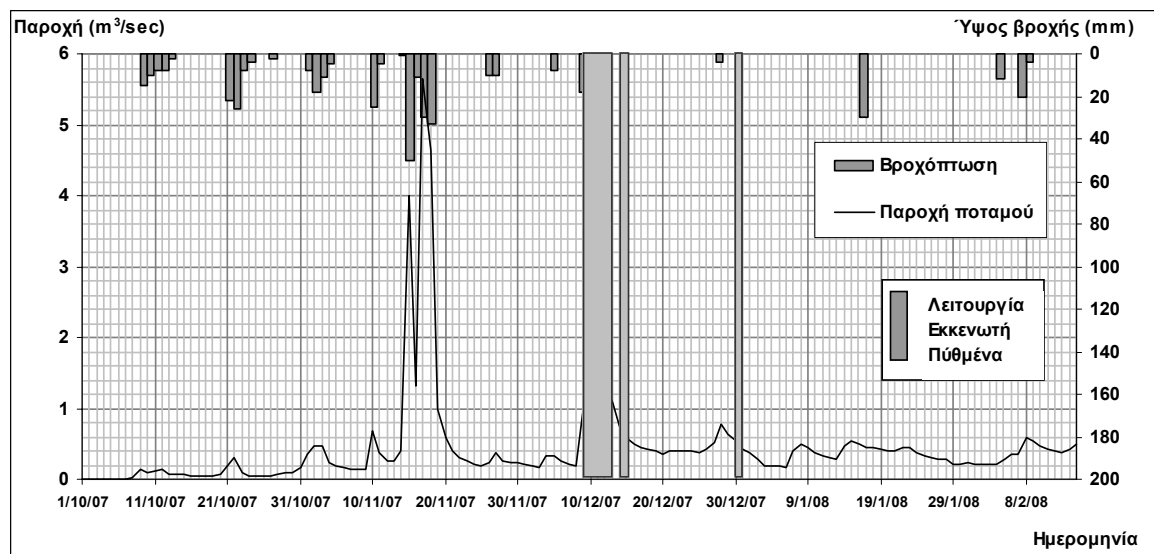
3. ΠΡΩΤΗ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Η έμφραξη της σήραγγας εκτροπής πραγματοποιήθηκε στις 30/7/2007. Ταυτόχρονα, ξεκίνησαν οι εργασίες κατασκευής του από σκυρόδεμα πώματος έμφραξης της σήραγγας εκτροπής και εγκατάστασης των κατάντη του πώματος μεταλλικών σωλήνων και των δικλίδων του αγωγού προσαγωγής προς το Σταθμό Παραγωγής, καθώς και του αγωγού εκκένωσης. Σημειώνεται ότι η εκκένωση του ταμιευτήρα γίνεται μέσω διακλάδωσης του αγωγού προσαγωγής, ενώ η παροχή του εκκενωτή ρυθμίζεται με δικλίδα Φ 1000, τύπου βελόνας (Needle Valve), η οποία είναι εγκατεστημένη στο άκρο της διακλάδωσης. Η πλήρωση του ταμιευτήρα ολοκληρώθηκε στις 08/02/2008, και στη συνέχεια η στάθμη του παρέμεινε στη μέγιστη (+852) με υπερχειλίση σε όλο το διάστημα που καλύπτεται από την παρούσα ανακοίνωση.

3.1 Παρακολούθηση Εισροών - Διαρροών

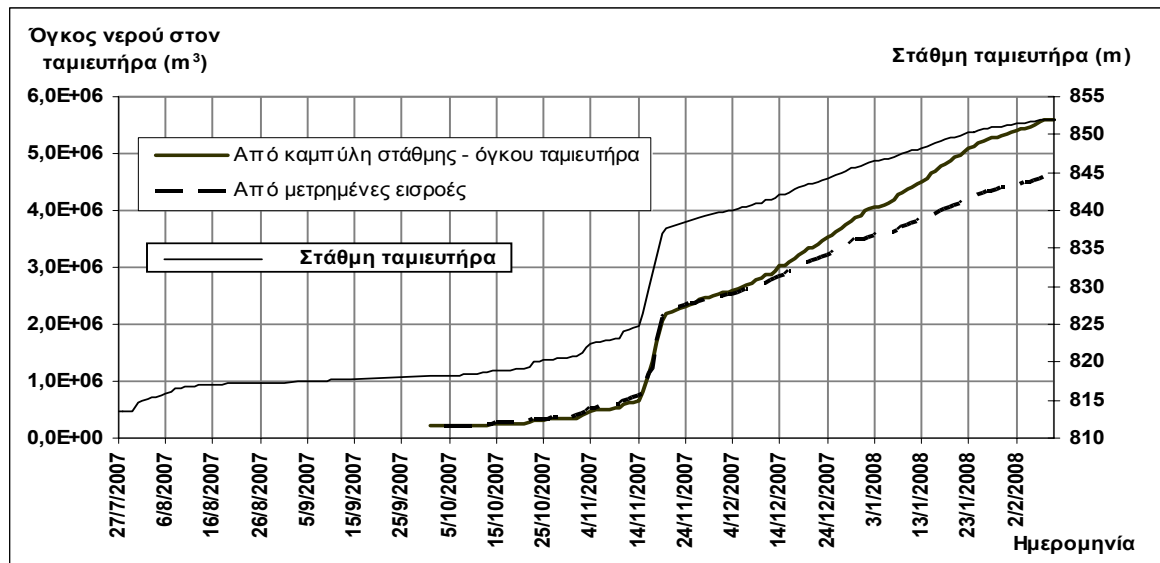
Οι απαιτήσεις που είχαν τεθεί με τις οδηγίες πλήρωσης ως προς τον μέγιστο ημερήσιο ρυθμό ανύψωσης για τα διάφορα επίπεδα στάθμης του ταμιευτήρα γενικά τηρήθηκαν, με εξαίρεση την περίοδο 15 έως 20/11/07 (ανύψωση στάθμης από το υψόμετρο +826,50 έως το +837,72, μέσος ρυθμός ανύψωσης 1,87 m/ημέρα για το υπόψη χρονικό διάστημα), καθώς δεν είχε καταστεί ακόμη εφικτή η λειτουργία του εκκενωτή, λόγω καθυστέρησης στην συναρμολόγηση της δικλίδας εκκένωσης. Την περίοδο 9-12-07 έως 30/12/07 (στάθμη ταμιευτήρα 840,95 έως 845,70) απαιτήθηκε μερική λειτουργία του εκκενωτή πυθμένα προκειμένου ο ρυθμός ανόδου της στάθμης να διατηρηθεί μικρότερος του καθορισθέντος των 0,25 m/ημέρα για τα παραπάνω επίπεδα στάθμης του ταμιευτήρα (βλ. παρ. 2.2).

Η παροχή των αναβλύσεων στην κατάντη του φράγματος θέση Υ/Μ 2 στην κοίτη του ποταμού ήταν σε όλη τη διάρκεια της πλήρωσης πολύ μικρή (μικρότερη του 1 l/s), αυξανόμενη μόνον σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Της αυτής τάξης μεγέθους εκτιμήθηκαν και οι διαρροές στον κατάντη πόδα του φράγματος, όπου καταλήγει ο τάπητας στραγγιστηρίου. Μέτρηση διαρροών γινόταν επίσης μέσω μικρού υπερχειλιστή εγκατεστημένου στην έξοδο της σήραγγας τσιμεντενέσεων – αποστραγγίσεων του δεξιού αντερείσματος, όπου συγκεντρωνόταν το σύνολο της απορροής των αποστραγγιστικών οπών, και οι αρχικές τιμές ήταν ασήμαντες (μικρότερες του 1 l/s). Μόλις όμως η στάθμη του ταμιευτήρα υπερέβη το υψόμετρο +840 περίπου, εμφανίστηκε αρκετά σημαντική απορροή (της τάξης του 1 l/s) από αποστραγγιστική οπή στην οροφή της σήραγγας τσιμεντενέσεων – αποστραγγίσεων, στο υψόμετρο +831, σε απόσταση 5 m περίπου από το πέρασ της σήραγγας (προς το εσωτερικό του αντερείσματος). Η παροχή της οπής παρακολούθησε το ρυθμό ανόδου στάθμης του ταμιευτήρα, και σταθεροποιήθηκε στα 1,50 l/s μετά την πλήρωση. Τα παραπάνω υποδήλωναν άμεση τροφοδοσία της οπής από τον ταμιευτήρα, η ελάχιστη απόσταση του οποίου από την οπή είναι 70 m περίπου. Το νερό της διαρροής διατηρήθηκε διαυγές σε όλο το διάστημα παρακολούθησης (απουσία ιζήματος κλπ), γεγονός το οποίο συνδυαζόμενο με τη σταθεροποίηση του μεγέθους της διαρροής, μετά από σημαντικό διάστημα παραμονής του νερού του ταμιευτήρα στη μέγιστη στάθμη, κρίνεται ενθαρρυντικό και υποβαθμίζει τις όποιες επιφυλάξεις για τυχόν μελλοντική αύξηση των διαρροών (λόγω έκπλυσης των υλικών πλήρωσης των διακλάσεων του βράχου κλπ. Η συνολική ποσότητα των απορροών από τις αποστραγγιστικές οπές της σήραγγας τσιμεντενέσεων – αποστραγγίσεων σταθεροποιήθηκε μετά την πλήρωση σε 2,50 l/s περίπου, η οποία κρίνεται σαφώς εντός των αποδεκτών ορίων.



Σχ. 4 : Υδρογράφημα μετρημένων εισροών και αντίστοιχο νετογράφημα

Στο Σχ. 4 παρουσιάζεται η εξέλιξη της μέσης ημερήσιας παροχής του ποταμού, όπως αυτή προέκυψε από τις καταγραφές στάθμης στη θέση υδρομέτρησης, καθώς και τα ημερήσια ύψη βροχής. Όπως φαίνεται, λόγω της προηγηθείσας περιόδου έντονης ξηρασίας, η παροχή του ποταμού την ημέρα της έναρξης της καταγραφής ήταν πολύ μικρή (της τάξης των λίγων l/s), όπως άλλωστε ήταν και σε όλο το διάστημα που προηγήθηκε. Μετά τον Οκτώβριο, με την έναρξη αξιόλογων βροχοπτώσεων, η βασική ροή αυξήθηκε σε λίγες εκατοντάδες l/s, οι δε αιχμές κατά τη διάρκεια αξιόλογων βροχοπτώσεων ήταν πολλαπλάσιες (έως και 5,50 m³/sec). Ιδιαίτερος επισημαίνεται το περιστατικό των δύο αλληλάλληλων πλημμυρικών αιχμών της περιόδου 14 έως 18/11/2007, στη διάρκεια του οποίου πληρώθηκε το 27% περίπου του όγκου του ταμιευτήρα.



Σχ. 5 : Ανύψωση στάθμης - Χρονική εξέλιξη του όγκου εισροών ταμιευτήρα

Στο Σχ. 5 παρουσιάζονται δύο καμπύλες χρονικής εξέλιξης των εισροών στον ταμιευτήρα, σε μονάδες όγκου, από τις οποίες η πρώτη έχει προκύψει με χρήση της καμπύλης στάθμης – όγκου του ταμιευτήρα (παρατηρημένη εισροή), ενώ η δεύτερη έχει προκύψει από την ολοκλήρωση του υδρογραφήματος των μετρημένων εισροών (μετρημένη εισροή). Σημειώνεται ότι για τη σύνταξη του διαγράμματος εξέλιξης των εισροών οι μετρημένες παροχές της θέσης υδρομέτρησης Y/M 1 έχουν προσαυξηθεί κατά την αναλογία του λόγου εμβαδού της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα (62,4 km²) προς το εμβαδό της λεκάνης στη θέση υδρομέτρησης (58 km²), καθώς δεν ήταν εφικτή η μέτρηση των εισροών στο μικρό τμήμα της λεκάνης απορροής κατάντη της θέσης Y/M 1. Από τη σύγκριση των δύο γραφημάτων παρατηρείται ότι κατά την περίοδο 4/10/07 έως 14/11/07 η μετρημένη εισροή, ελαφρώς αλλά συστηματικά, υπερβαίνει την παρατηρημένη. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στην πλήρωση επιφανειακών κοιλοτήτων και ρωγμών του βράχου καθώς και στον κορεσμό του επιφανειακού εδαφικού καλύμματος. Στο διάστημα 15/10/07 έως 21/10/07 (περίοδος πλημμύρας) η προσέγγιση των δύο καμπυλών είναι πολύ καλή (πρακτικά τα δύο γραφήματα συμπίπτουν). Στη συνέχεια, μετά τις 22/10/07, η τάση της περιόδου 4/10/07 έως 14/11/07 αναστρέφεται, με τη μετρημένη παροχή να υπολείπεται συστηματικά της παρατηρημένης. Ως πιθανοί λόγοι για τις ανωτέρω διαφορές προτείνονται, χωρίς να αξιολογούνται στα πλαίσια αυτής της δημοσίευσης, οι ακόλουθοι :

- Προβλήματα ακρίβειας στον υπολογισμό του όγκου του ταμιευτήρα, λόγω του απότομου αναγλύφου και της φυτοκάλυψης της περιοχής.
- Προβλήματα ακρίβειας στον καθορισμό της σχέσης στάθμης – παροχής στη θέση υδρομέτρησης.
- Παρουσία υποδερμικών εισροών, οι οποίες δεν υπήρχαν κατά την προηγούμενη ξηρά περίοδο, και εμφανίστηκαν μετά τη μεγάλη διπλή πλημμύρα της 15-18/11/07. Αν αυτό ισχύει, το διαφυγόν μέγεθος εισροής ανέρχεται σε περίπου 149 l/s κατά το διάστημα 22/11/07 – 8/2/08, έναντι μέσης παρατηρημένης εισροής κατά το αυτό διάστημα 566 l/s, ή ποσοστό 26% αυτής.

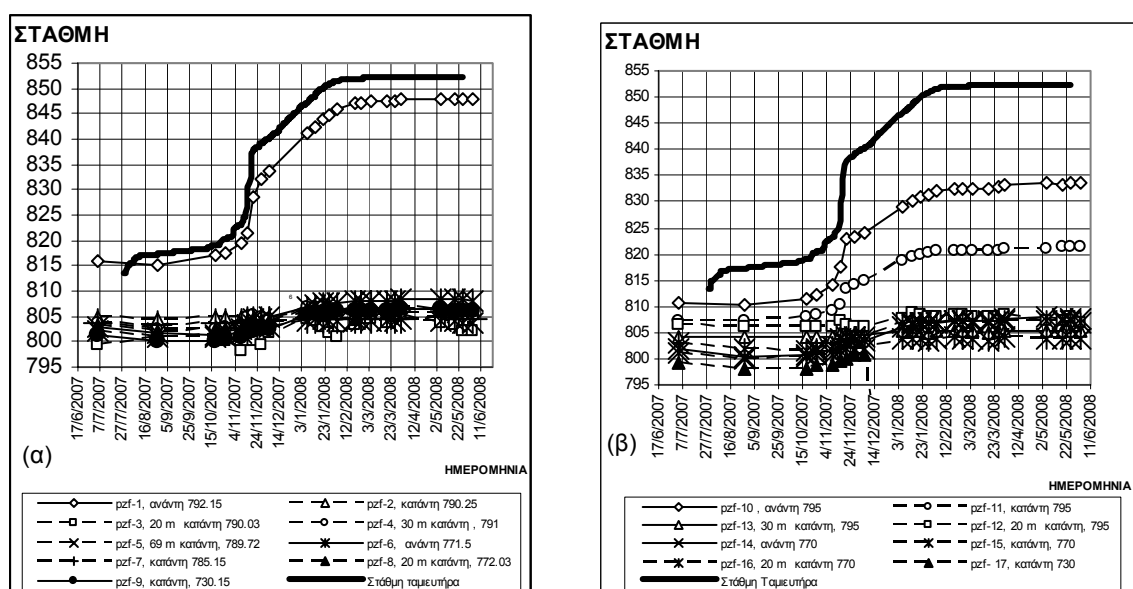
Εάν εξαιρεθούν αυτές οι συστηματικές διαφορές, τα δύο γραφήματα παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα. Σημειώνεται ότι λόγοι ανησυχίας ως προς τη στεγανότητα του έργου θα υπήρχαν αν η ογκομετρικά παρατηρημένη εισροή παρουσίαζε υστέρηση έναντι της μετρημένης, και όχι το αντίθετο. Σημειώνεται ότι η τελευταία υδρομέτρηση για τον έλεγχο του υδραυλικού ισοζυγίου έγινε τις μεσημβρινές ώρες της 27/5/08, με τον ταμιευτήρα πλήρη. Η παροχή εισροής στον υδρομετρικό σταθμό προέκυψε ίση με 282 l/s, ενώ η παροχή υπερχειλίσης, η οποία μετρήθηκε σε

διατομή της γέφυρας της Εθνικής οδού Κοζάνης – Ιωαννίνων αμέσως κατάντη της θέσης υδρομέτρησης Υ/Μ2, προέκυψε ίση με 267 l/s. Είχαν προηγηθεί πολλές ημέρες ανομβρίας, με συνέπεια να μην υφίστανται άλλες εισροές (από πλευρικούς χειμάρρους κλπ) στον ταμιευτήρα. Διαπιστώθηκε επίσης ότι το μέγεθος των επιφανειακών απορροών στο τμήμα της κοίτης μεταξύ του πόδα του φράγματος και της λεκάνης αποτόνωσης του υπερχειλιστή ήταν πολύ μικρό (της τάξης των μερικών l/s), και πάντως πλήρως συμβατό με το άθροισμα των μετρούμενων διαρροών στα σημεία ελέγχου (τάπητας στραγγιστηρίου – σήραγγα τσιμεντενέσεων αποστραγγίσεων). Κατά συνέπεια η περίπτωση η μετρούμενη διαφορά εισροών – εκροών των 15 l/s να οφείλεται σε διαρροές από τον ταμιευτήρα στο τμήμα αυτό αποκλείστηκε. Προκειμένου να αποκλειστεί η περίπτωση διαφυγών μέσω βαθύτερων διαδρομών διαφυγής του βραχώδους υποβάθρου προς κατάντη της θέσης υδρομέτρησης Υ/Μ2 περιοχές, κρίθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί αν η διαφορά των 15 l/s μπορεί να αποδοθεί σε απώλειες εξάτμισης από την επιφάνεια της λίμνης. Το μέγεθος αυτό, εκφραζόμενο σε μονάδες εξάτμισης, ανέρχεται σε 4,5 mm/ημέρα περίπου. Αν ληφθεί υπόψη ότι η μέτρηση εκτελέστηκε σε μεσημβρινές ώρες, όταν δηλαδή ο ρυθμός της εξάτμισης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή, είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι η αντίστοιχη ημερήσια τιμή της εξάτμισης είναι κατά προσέγγιση τα 3/5 της προηγούμενης τιμής, δηλαδή 2,7 mm/ημέρα περίπου. Το μέγεθος αυτό είναι απολύτως φυσιολογικό και αναμενόμενο για τη δεδομένη εποχή του έτους. Συμπεραίνεται κατά συν ότι η διαφορά που μετρήθηκε μεταξύ εισροών και εκροών ερμηνεύεται από το φαινόμενο της εξάτμισης δια της επιφάνειας της λίμνης.

3.2 Μετρήσεις πιεζομέτρων

3.2.1 Ηλεκτρικά πιεζόμετρα θεμελίωσης

Στα Σχ. 6(α) και 6(β) (Τομές Γ-Γ και Ε-Ε αντίστοιχα) παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των καταγραφών των ηλεκτρικών πιεζομέτρων θεμελίωσης, καθώς και η μεταβολή της στάθμης του ταμιευτήρα από την αρχή της πλήρωσης και έως τις 26/5/08. Σημειώνεται ότι στο διάστημα από 8/2/08 έως 26/5/08 ο ταμιευτήρας υπερχειλίζει και η στάθμη του διατηρούνταν πρακτικά σταθερή σε υψόμετρο ελαφρά μεγαλύτερο του +852. Η στάθμη νερού αμέσως κατάντη του φράγματος σε όλο το διάστημα μετά την έμφραξη κυμαινόταν μεταξύ των υψομέτρων +803 και +805 περίπου, καθώς διεξάγονταν κατά περιόδους αντλήσεις στη διάωρυγα φυγής και στη λεκάνη αποτόνωσης για την θεμελίωση των εκεί προβλεπόμενων κατασκευών.



Σχ. 6 : Μεταβολές σταθμών ηλεκτρικών πιεζομέτρων θεμελίωσης – Τομές ΓΓ (α) και ΕΕ (β)

3.2.1.1 Πιεζόμετρα Τομής Γ- Γ (βάση αριστερού αντερείσματος)

Από το Σχ. 6(α) προκύπτει ότι το αμέσως ανάντη του άξονα της κουρτίνας τσιμεντενέσεων ηλεκτρικό πιεζόμετρο pzf-1, εγκατεστημένο στην ανώτερη στάθμη του υποβάθρου θεμελίωσης (απόλυτο υψόμετρο +792,15, κοντά δηλ. στο υψόμετρο θεμελίωσης του φράγματος +800 στη Τομή Γ-Γ), αποκρίνονταν άμεσα κατά την πλήρωση στην άνοδο της στάθμης του ταμιευτήρα. Όπως φαίνεται στο Σχ. 6(α), η πιεζομετρική στάθμη που κατέγραφε το όργανο κατά την πλήρωση ήταν κατά 8 έως 10 m χαμηλότερη από την εκάστοτε στάθμη του ταμιευτήρα, διαφορά η οποία παρέμεινε πρακτικά σταθερή μετά την ολοκλήρωση της πλήρωσης. Το συζυγές με αυτό (αμέσως κατάντη της κουρτίνας) όργανο pzf-2, παρουσίασε αμελητέα απόκριση στην άνοδο στάθμης του ταμιευτήρα.

Το αμέσως ανάντη της κουρτίνας βαθύτερα εγκατεστημένο (στο υψόμετρο +771,50) όργανο pzf-6, κατέγραψε κατά την διάρκεια της πλήρωσης μικρή ανύψωση στάθμης, παρακολουθώντας γενικά το ρυθμό ανόδου στάθμης του ταμιευτήρα με μικρή υστέρηση. Η ανύψωση στάθμης σταθεροποιήθηκε στα 5 m περίπου μετά την ολοκλήρωση της πλήρωσης. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει δυσχέρεια κίνησης του νερού από τον ταμιευτήρα μέσω του υποβάθρου κατά την κατακόρυφη έννοια, και εκτιμάται ότι οφείλεται στην παρουσία συνεχών ιλυολιθικών ενδιαστρώσεων στη μολάσσα, οι οποίες λειτουργούν ευνοϊκά για τη στεγανότητα λόγω της προς τα ανάντη κλίσης τους. Τα λοιπά όργανα στη Τομή Γ-Γ, το σύνολο των οποίων έχει εγκατασταθεί κατάντη του άξονα της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, κατέγραψαν μικρές έως ασήμαντες μεταβολές στάθμης κατά την πλήρωση, γεγονός το οποίο υποδηλώνει πλήρως ικανοποιητικές συνθήκες στεγανότητας. Εξαιρέση αποτελεί το αμέσως κατάντη της κουρτίνας βαθύτερο (σε υψόμετρο +730,15) όργανο pzf-9, το οποίο παρουσίασε με το πέρας της πλήρωσης άνοδο στάθμης κατά 5 m περίπου, παρέχοντας ένδειξη για κάποια τροφοδοσία του κατώτερου ορίζοντα {1}, με αποτέλεσμα την αποκατάσταση πρακτικά υδραυλικής ισορροπίας μεταξύ κατώτερου - ανώτερου ορίζοντα στην περιοχή κατάντη της κουρτίνας. Στο Σχ. 3 δείχνεται η διαφοροποίηση της πιεζομετρίας του υποβάθρου στην Τομή Γ-Γ μετά την πλήρωση, όπως αυτή προκύπτει από τις μετρήσεις των πιεζομέτρων της ανώτερης στάθμης (+790,03 έως +792,15).

Βάσει των μετρήσεων των συζυγών οργάνων pzf-1 και pzf-2, η αποτελεσματικότητα (efficiency) της κουρτίνας στη Τομή Γ-Γ, οριζόμενη ως λόγος της διαφοράς της πιεζομετρικής στάθμης των συζυγών οργάνων, προς το προκύπτον από τη διαφορά στάθμης νερού στον ταμιευτήρα – στάθμης κατάντη οργάνου πριν την πλήρωση, υπερβαίνει το 85%, και κρίνεται πλήρως ικανοποιητική.

3.2.1.2 Πιεζόμετρα Τομής E – E (δεξιό αντέρεισμα)

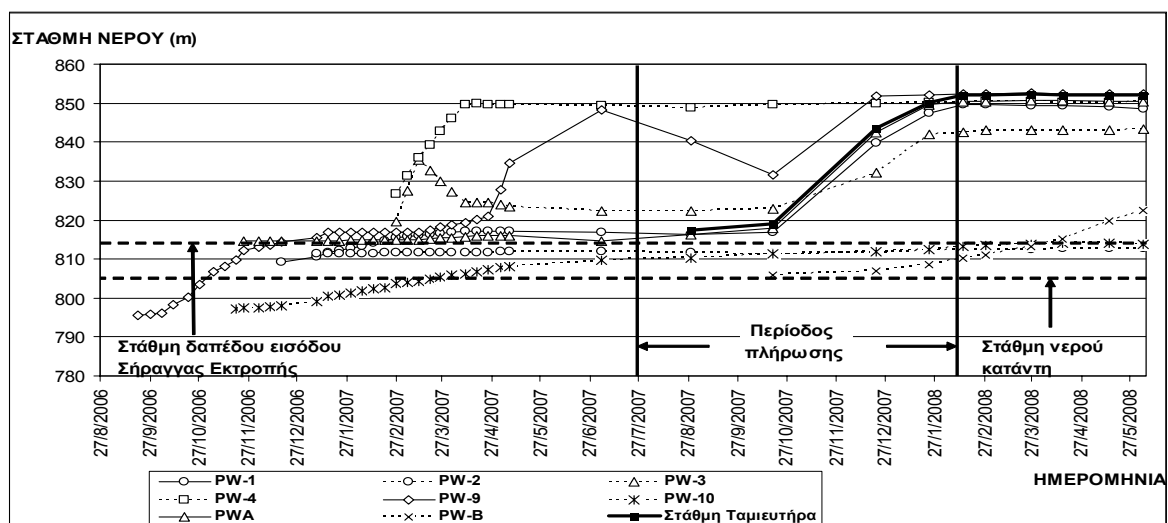
Από το Σχ. 6(β) προκύπτει ότι το αμέσως ανάντη του άξονα της κουρτίνας πιεζόμετρο pzf-10, εγκατεστημένο στο βράχο σε απόλυτο υψόμετρο +795, κοντά δηλ. στο επίπεδο θεμελίωσης του φράγματος (στο υψόμετρο +815 στη Τομή E-E), αποκρίνονταν άμεσα κατά την πλήρωση στην άνοδο της στάθμης του ταμιευτήρα. Πάντως, όπως φαίνεται από το Σχ. 6(β), η πιεζομετρική στάθμη του οργάνου αυτού κατά την πλήρωση ήταν πολύ χαμηλότερη από του ταμιευτήρα. Η διαφορά στάθμης ταμιευτήρα - οργάνου μετά την πλήρωση σταθεροποιήθηκε στα 18 m περίπου. Το αμέσως κατάντη συζυγές με το pzf-10 υψόμετρο όργανο pzf-11 ακολουθούσε και αυτό τον ρυθμό ανόδου στάθμης του ταμιευτήρα, και η στάθμη του σταθεροποιήθηκε σε σχετικά υψηλά επίπεδα (υψόμετρο +820) μετά την ολοκλήρωση της πλήρωσης. Η υπόψη βαθμιαία πτώση της πιεζομετρίας εκατέρωθεν της κουρτίνας υποδηλώνει ότι στην περιοχή της Τομής E-E ενδέχεται να υφίσταται κάποια διαφυγή διαμέσου της κουρτίνας, από ρωγμές ή διάκενα του βράχου που δεν κατέστη δυνατό να στεγανοποιηθούν με τις τσιμεντενέσεις.

Το βαθύτερα εγκατεστημένο (στο υψόμετρο +770) ανάντη όργανο pzf-14, παρακολουθούσε γενικά το ρυθμό ανόδου στάθμης του ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια της πλήρωσης, αλλά με πολύ μειωμένες τιμές. Με την ολοκλήρωση της πλήρωσης το όργανο κατέγραψε άνοδο στάθμης 5 έως 6 m σε σχέση με την αρχική (πριν την έμφραξη), τιμή η οποία σταθεροποιήθηκε μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Τα κατάντη της κουρτίνας όργανα pzf-12, pzf-13 και pzf-15 (σε υψόμετρο +790

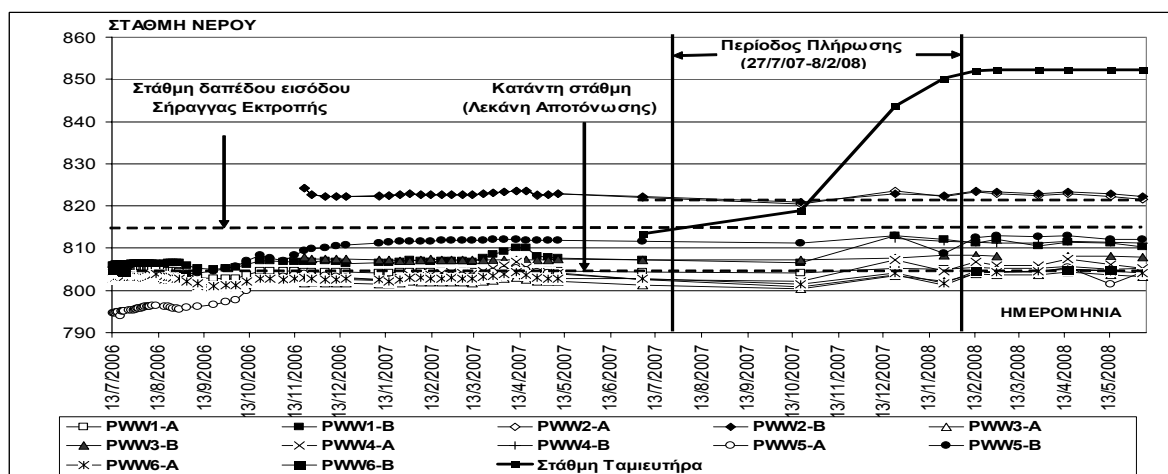
τα δύο πρώτα και +770 το τρίτο) κατέγραψαν μικρές ανυψώσεις στάθμης, οι οποίες σταθεροποιήθηκαν σε 2 έως 4 m περίπου μετά την ολοκλήρωση της πλήρωσης. Το βαθύ κατάντη όργανο pzf -17 (στο υψόμετρο +730) εμφάνισε και αυτό μικρή ανύψωση στάθμης κατά τα πρώτα στάδια της πλήρωσης, αλλά στις αρχές Δεκεμβρίου εμφάνισε δυσλειτουργία, με συνέπεια οι μετέπειτα μετρήσεις του να μην είναι πλέον αξιοποιήσιμες. Στο Σχ. 3 δείχνεται με εστιγμένη γραμμή η διαφοροποίηση της πιεζομετρίας του υποβάθρου στην Τομή Ε-Ε μετά την πλήρωση, όπως αυτή προκύπτει από τις μετρήσεις των πιεζομέτρων της ανώτερης στάθμης +795).

Συνεκτιμώντας τα παραπάνω στοιχεία, η στεγανότητα στην Τομή Ε-Ε κρίνεται αρκετά ικανοποιητική, καθώς η αποτελεσματικότητα (efficiency) της κουρτίνας, οριζόμενη όπως προηγουμένως και λαμβάνοντας υπόψη συντηρητικά τις μετρήσεις των συζυγών οργάνων pzf-10 και pzf - 11, ανέρχεται σε 25% περίπου.

3.2.2 Πιεζόμετρα αντερσειμάτων



Σχ. 7 : Μεταβολές σταθμών απλών πιεζομέτρων ανοικτού τύπου (PW)



Σχ. 8 : Μεταβολές σταθμών διπλών πιεζομέτρων ανοικτού τύπου (PWW)

Τα πιεζόμετρα αντερείσμάτων στη θέση του φράγματος είναι όλα ανοικτού τύπου, από τα οποία τα οκτώ είναι μονά και τα έξι διπλά (βλ. Σχ. 2). Τα διπλά πιεζόμετρα είναι εγκατεστημένα όλα κατάντη της κουρτίνας, ενώ τα μονά τόσο ανάντη όσο και κατάντη.

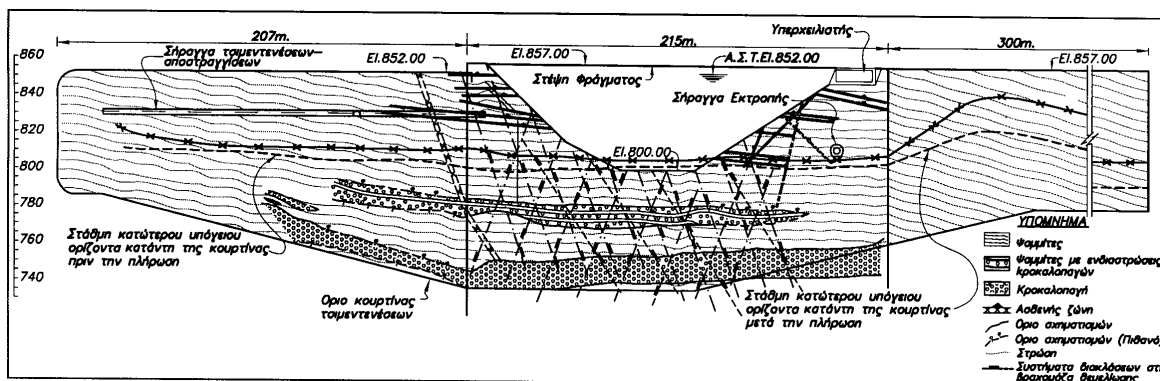
Από τα διαγράμματα μεταβολής στάθμης των πιεζομέτρων ανοικτού τύπου κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα (βλ. Σχ. 7 και 8), προκύπτει ότι όλα τα ανάντη του άξονα της κουρτίνας πιεζόμετρα και στα δύο αντερείσματα παρακολουθούσαν γενικά την στάθμη του ταμιευτήρα κατά την πλήρωση χωρίς κάποια χρονική υστέρηση, και στη συνέχεια σταθεροποιήθηκαν σε στάθμη παραπλήσια με αυτή του ταμιευτήρα.

Τα κατάντη πιεζόμετρα του δεξιού αντερείσματος, τόσο τα απλού τύπου (PW) όσο και τα διπλά (PWW) κατέγραψαν πολύ μικρές μεταβολές στάθμης κατά την πλήρωση, γεγονός το οποίο συνηγορεί για την υψηλή αποτελεσματικότητα της κουρτίνας στο αντερείσμα αυτό. Συγκεκριμένα, βάσει των μετρήσεων των συζυγών πιεζομέτρων PW-1 και PW-2, η αποτελεσματικότητα της κουρτίνας, οριζόμενη όπως προηγουμένως, υπερβαίνει το 90%.

Στο αριστερό αντερείσμα, τα κατάντη της κουρτίνας όργανα κατέγραψαν επίσης μικρές μεταβολές στάθμης κατά την πλήρωση, με εξαίρεση τα PW-3 και PW-4, εγκατεστημένα στην επέκταση της κουρτίνας (βλ. Σχ. 7). Από αυτά το PW-3 κατέγραψε κατά την πλήρωση άνοδο στάθμης 20m περίπου (υψόμετρο +843 περίπου) και μετέπειτα σταθεροποιήθηκε. Το PW-4 είχε ήδη σταθεροποιηθεί σε πολύ ψηλή στάθμη (+850 περίπου) τέσσερις μήνες πριν την έμφραξη, γεγονός το οποίο προκάλεσε αμφιβολίες για την αξιοπιστία των μετρήσεών του. Για το λόγο αυτό εγκαταστάθηκε πλησίον του οργάνου PW-4 κατά τη διάρκεια της πλήρωσης το πιεζόμετρο PWB, το οποίο εμφάνισε περιορισμένη άνοδο στάθμης (έως το +822 περίπου) στο διάστημα παρακολούθησης.

Με τα παραπάνω στοιχεία, η αποτελεσματικότητα της κουρτίνας κρίνεται εξαιρετική (άνω του 90%) στην περιοχή της θεμελίωσης του φράγματος και στο δεξιό αντερείσμα, και υποδεέστερη αλλά πάντως σαφώς ικανοποιητική (από 30 έως 65%) στην περιοχή της επέκτασης της κουρτίνας στο αριστερό αντερείσμα.

3.2.3 Μεταβολή πιεζομετρίας υποβάθρου λόγω της πλήρωσης του ταμιευτήρα



Σχ. 9 : Πιεζομετρία υποβάθρου κατάντη της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, πριν και μετά την πλήρωση

Στο Σχ. 9 παρουσιάζεται η ανύψωση της πιεζομετρίας στο υπόβαθρο θεμελίωσης αμέσως κατάντη του άξονα της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, μετά την παρέλευση τεσσάρων μηνών από την ολοκλήρωση της πλήρωσης του ταμιευτήρα. Από τις μετρήσεις των πιεζομέτρων θεμελίωσης προκύπτει ότι στο διάστημα αυτό έχουν επέλθει ουσιαστικά συνθήκες υδραυλικής ισορροπίας στο υπόβαθρο. Οι προς τα κάτω αποστραγγιστικές οπές της σήραγγας του δεξιού αντερείσματος δεν υπερχειλίζουν, και λειτουργούν ουσιαστικά ως φρέατα παρακολούθησης του υπόγειου ορίζοντα.

Από το Σχ. 9 προκύπτει ότι η ανύψωση της πιεζομετρίας είναι σαφώς μικρότερη στη θεμελίωση του φράγματος και στο δεξιό αντέρεισμα, υποδηλώνοντας την αυξημένη αποτελεσματικότητα της κουρτίνας τσιμεντενέσεων στις υπόψη περιοχές.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Με τη λειτουργία του εκκενωτή πυθμένα στις περιόδους υψηλών εισροών κατέστη εφικτή η τήρηση των καθορισθέντων από τη μελέτη μέγιστων επιτρεπομένων ρυθμών ανύψωσης του ταμιευτήρα Πραμόριτσας. Εξάιρεση απετέλεσε η αρχική περίοδος πλήρωσης, κατά την οποία δεν ήταν ακόμη λειτουργικός ο εκκενωτής. Η έλλειψη προβλημάτων πάντως μπορεί να αποδοθεί και σε ευνοϊκή συγκυρία, καθώς το διάστημα αδυναμίας λειτουργίας του εκκενωτή συνέπεσε με σχετικά ξηρή περίοδο. Προς αποφυγή προβλημάτων σε άλλα έργα, και ιδιαίτερα σε όσα οι ταμιευτήρες είναι μικρού όγκου όπως εν προκειμένω είναι ο ταμιευτήρας Πραμόριτσας, κρίνεται επιβεβλημένο ο σχεδιασμός να επιτρέπει πλήρη λειτουργικότητα του εκκενωτή πυθμένα κατά την έναρξη πλήρωσης του ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό θα αποφευχθούν τυχόν απότομες ανυψώσεις στάθμης σε περίπτωση πλημμύρας, με όσα δυσμενή επακόλουθα αυτό τυχόν συνεπάγεται για την ευστάθεια του φράγματος και των αντερεισμάτων.
- Η παρακολούθηση του ισοζυγίου εισροών – όγκου αποθήκευσης κατά την πλήρωση κατέδειξε ότι δεν υφίστανται άξιες λόγου διαφυγές, οι οποίες θα έθεταν θέμα στεγανότητας του ταμιευτήρα. Οι καταγραφείσες διαρροές στα σημεία μέτρησης ήταν μικρού μεγέθους και σταθεροποιήθηκαν στη διάρκεια της διατήρησης του ταμιευτήρα στη μέγιστη στάθμη. Ειδικότερα, το πολύ μικρό μέγεθος των διαρροών από την αποστραγγιστική σήραγγα του δεξιού αντερείσματος (πλην μιας οπής, η οποία σημειώνεται ότι είχε διατηρηθεί κοντά στο πέρας της κουρτίνας τσιμεντενέσεων), υποδηλώνει την πολύ ικανοποιητική λειτουργία της κουρτίνας στην περιοχή αυτή και έμμεσα δικαιώνει την επιλογή συντηρητικού σχεδιασμού της κουρτίνας.
- Σαφείς ενδείξεις για την καλή συμπεριφορά των μέτρων στεγανοποίησης του ταμιευτήρα Πραμόριτσας είχαν βεβαίως προκύψει από τους διεξοδικούς ελέγχους που εκτελέστηκαν στην κουρτίνα μετά την ολοκλήρωσή της και πριν την πλήρωση του ταμιευτήρα {1}. Πρέπει πάντως να τονιστεί σχετικά ότι η βιβλιογραφία {3} αναφέρει, σε ελεύθερη μετάφραση, τα εξής, τα οποία, αν και προφανή, πολλές φορές παραβλέπονται : «Ο μοναδικός αποφασιστικός έλεγχος (της στεγανότητας) γίνεται με την πλήρωση του ταμιευτήρα και την παρακολούθηση τόσο των πιέσεων νερού στη θεμελίωση όσο και του μεγέθους των διαρροών, κατά τη διάρκεια και για κάποιο διάστημα μετά την πλήρωση. Απαιτείται η εγκατάσταση μεγάλου αριθμού πιεζομέτρων». Το πνεύμα των επισημάνσεων αυτών τηρήθηκε στο μέτρο του εφικτού κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα Πραμόριτσας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Αναστασόπουλος, Κ., Οικονομίδης, Χ., Ραυτοπούλος, Σ. (2008) : “Στεγανοποίηση ταμιευτήρα Πραμόριτσας - Μέρος Α : Σχεδιασμός, κατασκευή και αξιολόγηση κουρτίνας τσιμεντενέσεων”, 1ο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, Νοέμβριος 13-15.
2. Dunicliff, J., (1988) : “Geotechnical instrumentation for monitoring field performance”, J. Wiley & sons, New York
3. Weaver, K. D., Bruce, D. A. 2007 : “Dam Foundation Grouting”, ASCE Press

Controlling seepage in Pramoritsa reservoir - Part B : Monitoring and controls during first reservoir filling

K. Anastassopoulos

Civil Engineer MSc, Public Power Corporation of Greece / DYHP

I. Kouvopoulos

Civil Engineer MSc, Public Power Corporation of Greece / DYHP

C. Economidis

Geologist, Public Power Corporation of Greece / DYHP

ABSTRACT

Due to the high permeability of the rock foundation and the abutments of Pramoritsa dam, an extensive and relatively deep grout curtain was implemented. In order to verify curtain integrity during reservoir filling, continuous checking of the hydrological balance was performed, recording inflows and monitoring leakages from the reservoir. Variations in the water table in the rock foundation and the abutments were monitored through a system of piezometers. This paper presents the experiences gained from the integrated monitoring system operation and evaluates the data collected during first filling of the reservoir, a process smoothly completed in February 2008.