

Στεγανοποίηση ταμιευτήρα Πραμόριτσας

Μέρος Α : Σχεδιασμός, κατασκευή και αξιολόγηση κουρτίνας τσιμεντενέσεων

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

Χ. Οικονομίδης
Γεωλόγος, ΔΕΗ Α.Ε / ΔΥΗΠ

Σ. Ραυτόπουλος
Γεωλόγος, ΔΕΗ Α.Ε / ΔΥΗΠ

Λέξεις κλειδιά: Πραμόριτσα, κουρτίνα τσιμεντενέσεων, μολάσες

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από τις έρευνες που εκτελέστηκαν στη φάση μελέτης του Φράγματος Πραμόριτσα είχε διαφανεί η παρουσία ενός βαθέως υπόγειου ορίζοντα, με στάθμη 4 με 5 m χαμηλότερη από του ποταμού. Επίσης, η ύπαρξη ανοικτών διακλάσεων και κενών σε διάφορα βάθη στο μολασσικό υπόβαθρο θεμελίωσης, σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές διαπερατότητας δημιούργησαν σοβαρές επιφυλάξεις για τη στεγανότητα του ταμιευτήρα, και για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε μία βαθειά και εκτεταμένη κουρτίνα τσιμεντενέσεων, τόσο κάτω από τη θεμελίωση όσο και στα αντερείσματα. Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται τα κριτήρια σχεδιασμού και οι εμπειρίες από την κατασκευή της κουρτίνας, καθώς και τα αποτελέσματα των διαφόρων ελέγχων αρτιότητας της κατασκευής.

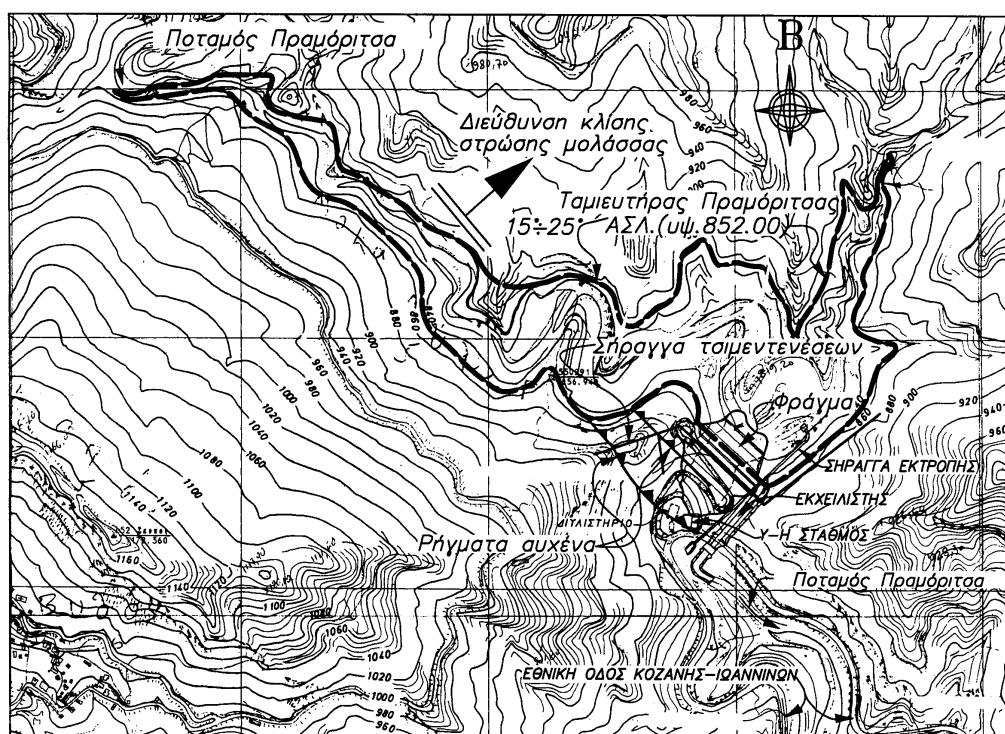
1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ

Το έτος 2007 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του φράγματος Πραμόριτσα, στον ομώνυμο παραπόταμο του Αλιάκμονα. Κύριος του Έργου είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κοζάνης. Η χρηματοδότηση του Έργου έγινε τόσο από Εθνικά Κεφάλαια όσο και από Πόρους του Ταμείου Συνοχής. Η μελέτη εκπονήθηκε από την Διεύθυνση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων (ΔΑΥΕ) της ΔΕΗ Α.Ε, η οποία ανέλαβε και καθήκοντα Τεχνικού Συμβούλου Κατασκευής. Ανάδοχος του Έργου ανέλαβε Κοινοπραξία Εταιρειών, ενώ η κατασκευή έγινε σε δύο περιόδους (2001 έως 2004 και 2006 έως 2008) από την εταιρεία ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε.

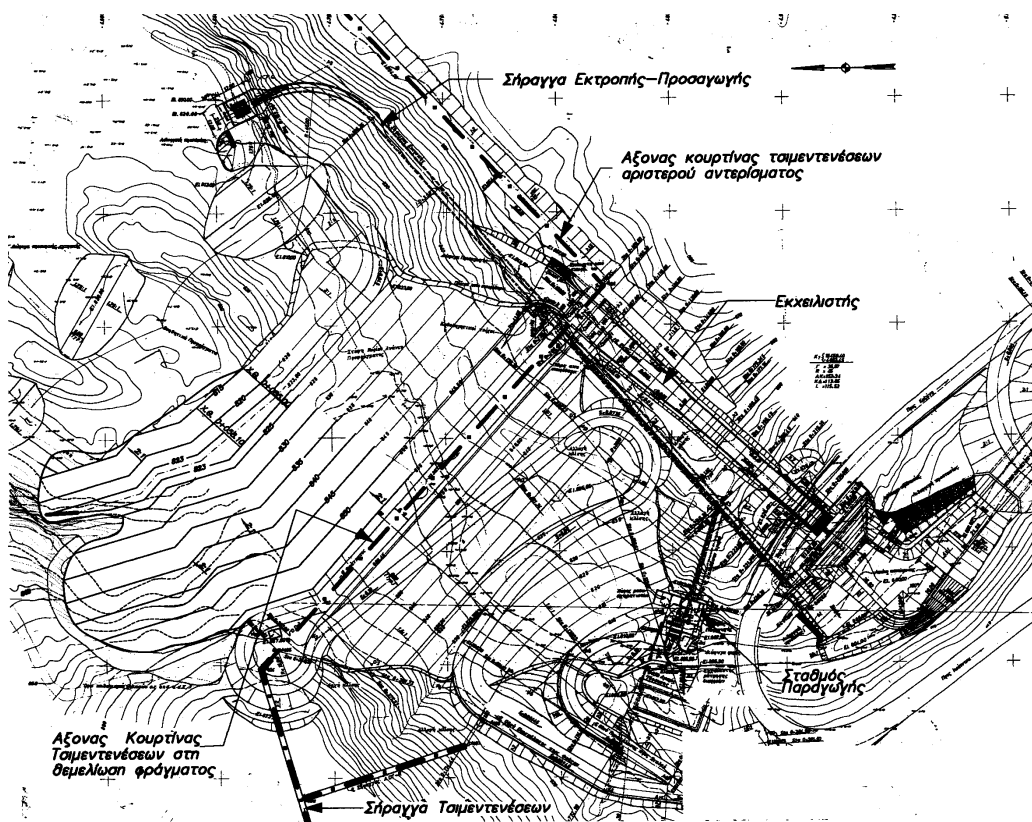
Το έργο εξυπηρετεί καταρχήν τις ανάγκες ύδρευσης της επαρχίας Βοΐου του Νομού Κοζάνης, ενώ μέσω της διέλευσης του νερού από τις μονάδες Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου (ΜΥΗΕ) συνολικής ισχύος 1,05 MW, παράγεται και ενέργεια.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού στη θέση του φράγματος ανέρχεται σε 63,4 km², ενώ η μέση υπερετήσια παροχή του σε 1,56 m³/sec. Ο δημιουργούμενος ταμιευτήρας (βλ. Σχ. 1) έχει όγκο 5,50 x 10⁶ m³ περίπου στη μέγιστη στάθμη λειτουργίας (+852).

Η γενική διάταξη του Έργου, στην οποία φαίνονται όλες οι βασικές κατασκευές, παρουσιάζεται στο Σχ. 2. Ο ανοικτός υπερχειλιστής τοποθετήθηκε στο αριστερό αντέρεισμα, είναι μετωπικός και έχει μέγιστη παροχευτικότητα 322 m³/sec. Η εκτροπή του ποταμού έγινε από το αριστερό αντέρεισμα, μέσω σήραγγας μήκους 325 m πεταλοειδούς διατομής καθαρού ανοίγματος 3 m, η οποία εξυπηρετεί και την προσαγωγή του νερού στο ΜΥΗΕ καθώς και την εκκένωση του φράγματος.

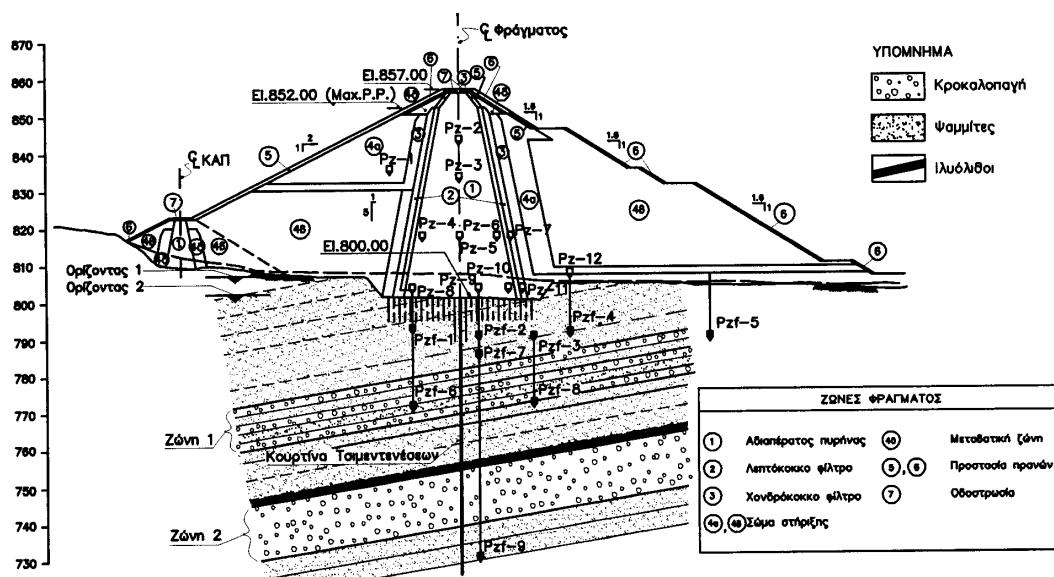


Σχ. 1 : Θέση Έργου - Ταμιευτήρας Πραμόριττας



Σχ. 2 : Φράγμα Πραμόριττας - Γενική διάταξη

Το φράγμα Πραμόριτσας έχει ύψος 57m (στέψη στο +857 - θεμελίωση στην κοίτη στο +800), όγκο 880.000 m³ περίπου, και είναι λιθόρριπτο, με κεντρικό πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά και ζώνες φίλτρων ανάντη και κατόντη. Η τυπική διατομή του φράγματος δείχνεται στο Σχ. 3.



Σχ. 3 : Κεντρική διατομή φράγματος Πραμόριτσας – Γεωλογία υποβάθρου – Ζώνες φράγματος - Οργανα

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1 Γενική Γεωλογία – Μορφολογία περιοχής λεκάνης κατάκλυσης

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την λεκάνη απορροής του ποταμού είναι τα μολασσικά ιζήματα της μεσοελληνικής αύλακας της σειράς Πενταλόφου. Οι γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή του Έργου είναι σχετικά απλές και χαρακτηρίζονται από μονότονες εναλλαγές ψαμμιτών, αμιγών ή ιλυούχων, με ιλυολίθους ή κροκαλοπαγή, και διερευνήθηκαν με την εκτέλεση επιφανειακής γεωλογικής χαρτογράφησης και τη διάνοιξη 16 ερευνητικών γεωτρήσεων, σε περισσότερες από τις οποίες εγκαταστάθηκαν πιεζόμετρα για την παρακολούθηση της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα.

Ο κύριος παράγοντας που συνετέλεσε στη διαμόρφωση της μορφολογίας της περιοχής είναι η στρώση της μολάσσης, η οποία αποτελεί και το κυρίαρχο σύστημα ασυνεχειών του πετρώματος. Οι επιφάνειες στρώσης παρουσιάζουν μεγάλα μήκη ανάπτυξης, της τάξης των πολλών δεκάδων ή και εκατοντάδων μέτρων, είναι λείες και επίπεδες έως ελαφρά κυματοειδείς και γενικά κλειστές, με απουσία υλικών πλήρωσης, εκτός των επαφών ψαμμιτών – ιλυολίθων, οι οποίες σε μερικές περιπτώσεις είναι πληρωμένες με υλικά ιλυώδους συνήθως υφής. Η παρουσία διατμήσεων εντός της στρώσης δεν είναι συχνή. Στην ευρύτερη περιοχή του ταμιευτήρα δεν εντοπίστηκε πτυχογόνος τεκτονισμός. Σε όλη την έκταση των πρανών του ταμιευτήρα η στρώση κλίνει από 15° έως 25° προς τα ΒΑ (βλ. Σχ. 1), συμβάλλοντας στη διαμόρφωση της γενικά ήπιας μορφολογίας του δεξιού αντερείσματος, όπου έχουν εκδηλωθεί εκτεταμένα φαινόμενα αστάθειας. Το αριστερό αντέρεισμα της λεκάνης είναι πλέον απότομο (κλίσεις από 25° έως 35°, αλλά τοπικά κατά θέσεις έως και 70°). Η κοίτη του ποταμού είναι σε όλο το μήκος του ταμιευτήρα στενή και μόνον λίγο ανάντη της θέσης του φράγματος διευρύνεται στο αριστερό αντέρεισμα, στη θέση συμβολής με μικρό χείμαρρο (βλ. Σχ. 1).

2.2 Στρωματογραφία - Τεκτονική στη θέση του φράγματος

Μετά την καμπή του ποταμού και έως τη θέση του φράγματος (βλ. Σχ. 1) η κλίση των φυσικών πρανών και στα δύο αντερείσματα κυμαίνεται από 25° έως 35° , καθώς η παράταξη της στρώσης καθίσταται κάθετη περίπου με τις ισοϋψείς του φυσικού εδάφους, υποπαράλληλη δηλ. με τον άξονα του φράγματος. Στη θέση του φράγματος επικρατούν σαφώς οι ψαμμίτες, αμιγείς ή ελαφρά ιλυούχοι, με ενδιαστρώσεις κροκαλοπαγών, φακοειδούς συνήθως μορφής. Η παρουσία στρώσεων ιλυολίθων ή ψαμμούχων ιλυολίθων είναι πολύ περιορισμένη (κάτω του 5%) στο βάθος που διερευνήθηκε (βλ. Σχήμα 3). Κατά τη διάτρηση των ερευνητικών γεωτρήσεων στην κοίτη του ποταμού διαπιστώθηκε σε διάφορα βάθη η παρουσία κενών (ανοικτών διακλάσεων, ρωγμών κλπ) σημαντικών διαστάσεων, καθώς και καρστικών μορφών (έγκοιλα, αποθέσεις ασβεστίτη σε διακλάσεις κλπ) εντός των ψαμμιτών και κροκαλοπαγών, οι οποίες είναι εμφανείς επιφανειακά σε διάφορα σημεία της ευρύτερης περιοχής. Η καρστικοποίηση αποδίδεται στα ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά ανθρακικών ορυκτών (40% έως 70% περίπου) που διαπιστώθηκαν από εργαστηριακές αναλύσεις στον ιστό των πετρωμάτων. Τα κενά που εντοπίστηκαν στις γεωτρήσεις κατά θέσεις στα ψαθυρά μέλη της μολάσσας (ψαμμίτες - κροκαλοπαγή) αποδόθηκαν σε ήπιες τεκτονικές μετακινήσεις, σε συνδυασμό με την επένεργεια της καρστικοποίησης.

Στην εγγύς περιοχή του φράγματος καταγράφηκε η παρουσία δύο σχετικά μεγάλου μήκους κανονικών ρηγμάτων, τα οποία τέμνουν περίπου κάθετα τον μορφολογικό αυχένα του δεξιού αντερείσματος στην επέκταση του άξονα του φράγματος (βλ. Σχ. 1). Τα ρήγματα αυτά κλίνουν προς τα ΒΑ, με άλματα σχετικά μικρού ύψους (της τάξης των μερικών δεκάδων εκατοστών), και, λόγω της διεύθυνσής τους, η κερματισμένη ζώνη επιρροής τους αποτελεί δυνητική διαδρομή διαφυγών από τον ταμιευτήρα. Τα συστήματα διακλάσεων σε όλη την έκταση των πρανών είναι γενικά παρακατακόρυφα και δεν επηρεάζουν πρωτογενώς τις συνθήκες ευστάθειας των πρανών.

2.3 Υδρογεωλογία

Από την αξιολόγηση των μετρήσεων των πιεζομέτρων, είχε διαπιστωθεί στη φάση της μελέτης ότι στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος υφίστανται δύο διακριτοί υπόγειοι ορίζοντες (βλ. Σχ. 3). Από αυτούς, ο ανώτερος ορίζοντας 1 είχε στάθμη στην κοίτη ίση πρακτικά με του ποταμού (περί το +806 έως +807), ενώ ανυψωνόταν σημαντικά στα αντερείσματα. Η στάθμη του κατώτερου ορίζοντα 2 ήταν κατά 4 έως 5 m χαμηλότερη από του ποταμού, και επεκτεινόταν σε σημαντική απόσταση εντός των αντερείσμάτων χωρίς ουσιαστική ανύψωση. Εξετάζοντας τις καταγραφές των στοιχείων των ερευνητικών γεωτρήσεων, προέκυψε ότι η στάθμη νερού κατά τη διάτρηση έπεφτε απότομα, ισορροπώντας στο επίπεδο του κατώτερου ορίζοντα 2, όταν οι γεωτρήσεις διαπερνούσαν στο υψόμετρο +760 στρώση ιλυολίθου, εισερχόμενες στη συνέχεια σε ορίζοντα κροκαλοπαγούς, πάχους της τάξης των 20 m. Η διαπερατότητα του κροκαλοπαγούς, όπως προέκυψε από τις δοκιμές εισπίεσης που εκτελέστηκαν, ήταν υψηλή, και πάντως σαφώς μεγαλύτερη από αυτή των υπερκειμένων σχηματισμών.

Η χαμηλή στάθμη του κατώτερου ορίζοντα 2 υποδήλωνε πιθανή εκφόρτιση των υπόγειων νερών στην κοιλάδα κατάντη του φράγματος, μέσω υπογείων διαδρόμων ροής. Ταυτόχρονα, δημιουργούσε προβληματισμούς για την πιθανότητα επικοινωνίας του νερού του μελλοντικού ταμιευτήρα (μέσω ανοικτών διακλάσεων της βραχομάζας κλπ), με τους πιθανολογούμενους διαπερατούς διαδρόμους, με συνέπεια την εκδήλωση διαφυγών, σημαντικού ενδεχομένου μεγέθους.

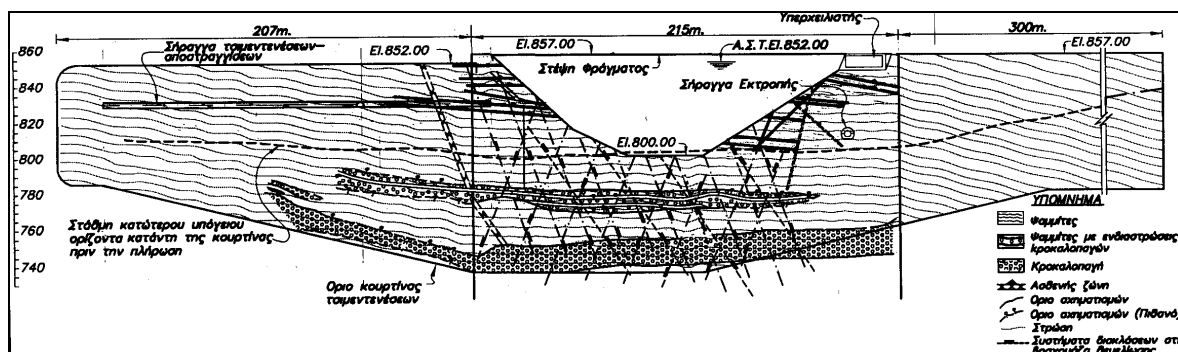
Για την καλύτερη κατανόηση της υπόγειας υδραυλικής στην περιοχή εκτελέστηκαν δοκιμές παροχέτευσης νερού αφενός, και ιχνηθετήσεις με χρήση ροδανίνης αφετέρου, εντός επιλεγμένων βαθειών γεωτρήσεων στην περιοχή της κοίτης. Από τις δοκιμές αυτές, επικοινωνία εντοπίστηκε μόνο μεταξύ γεωτρήσεων διατεταγμένων επί της αυτής σειράς με τη γεώτρηση στην οποία εκτελούνταν η παροχέτευση, δηλ. παράλληλα με τον άξονα του φράγματος (και κατά συνέπεια και με την παράταξη της στρώσης της μολάσσας). Δεν διαπιστώθηκε επικοινωνία των δύο διακριτών υπογείων οριζόντων 1 και 2 μέσα από τη βραχομάζα θεμελίωσης του φράγματος στην κοίτη.

Από τα παραπάνω διαφάνηκε ότι η κυκλοφορία του νερού γίνεται γενικά στη διεύθυνση της παράταξης της στρώσης των σχηματισμών, μέσω επικοινωνούντων δικτύων ανοικτών παρακατακόρυφων διακλάσεων ή καρστικών εγκοίλων στα πλέον άκαμπτα μέλη της μολλάσσας (κροκαλοπαγή – ψαμμίτες). Τα πλέον πλαστικά μέλη (ιλυόλιθοι κλπ) λειτουργούν ως αδιαπέρατα όρια, παρεμποδίζοντας γενικά την κυκλοφορία του νερού σε διεύθυνση κάθετη προς την παράταξη της στρώσης (και κατά συνέπεια από ανάντη προς τα κατόντη), γεγονός ευνοϊκό για τη στεγανότητα του ταμιευτήρα {1}. Πάντως, από τις έρευνες δεν κατέστη δυνατό να αποκλειστεί η πιθανότητα παρουσίας διαπερατών διαδρόμων, διεύθυνσης εγκάρσιας προς τη στρώση (ζώνες επιρροής ρηγμάτων κλπ), τόσο στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος όσο και στα αντερείσματα.

3. ΜΕΤΡΑ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1. Σχεδιασμός – κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων

Συνεκτιμώντας όλα τα στοιχεία των ερευνών, κρίθηκε ότι η δημιουργία ταμιευτήρα στην υπόψη θέση ήταν εφικτή, καθώς τα όποια προβλήματα διαφυγών μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με κατάλληλα μέτρα στεγανοποίησης. Καθώς πάντως δεν είχε καταστεί δυνατό να διαπιστωθεί με την απαιτούμενη σαφήνεια το καθεστώς της υπόγειας υδραυλικής, ώστε τα μέτρα αυτά να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένες θέσεις, κρίθηκε σκόπιμη η αντιμετώπιση να γίνει συντηρητικά. Εν προκειμένω σχεδιάστηκε εκτεταμένη κουρτίνα τσιμεντενέσεων, συνολικού μήκους 722 m, και βάθους 65 έως 115 m, εισδύουσα σε σημαντικό μήκος εντός των αντερεισμάτων (βλ. Σχ. 1 και 4).



Σχ. 4 : Μηκотоμή στον άξονα κουρτίνας τσιμεντενέσεων - Γεωλογικές συνθήκες

Βασικό κριτήριο του σχεδιασμού ήταν η σφράγιση πιθανών μικρού μήκους διαπερατών διαδρόμων προς μορφολογικές ταπεινώσεις (μισγάγγειες κλπ) κατόντη του φράγματος. Η κουρτίνα στο μεν δεξιό αντέρεισμα υλοποιείται μέσα από σήραγγα τσιμεντενέσεων – αποστραγγίσεων μήκους 215 m, στο δε αριστερό από την επιφάνεια μέσω αναβαθμού, διαμορφούμενου με εκσκαφή επί μήκους 300 m στην επέκταση του άξονα του φράγματος (βλ. Σχ. 1 και 2). Η κουρτίνα σχεδιάστηκε ελαφρά βαθύτερη στο δεξιό αντέρεισμα σε σχέση με το αριστερό (βλ. Σχ. 4) καθώς εκεί λόγω της μορφολογίας οι πιθανοί διάδρομοι διαφυγής νερού έχουν μικρότερο μήκος (βλ. Σχ. 1). Το σχετικά μεγάλο βάθος της κουρτίνας στην κοίτη σε σχέση με του ταμιευτήρα (65 έναντι 52 m) επελέγη ώστε να καταστεί δυνατή η στεγανοποίηση του ορίζοντα των υψηλής διαπερατότητας κροκαλοπαγών (βλ. παρ. 2.3). Το συνολικό εμβαδό της κουρτίνας προέκυψε ίσο με 62.500 m².

Καθώς τα επικρατούντα συστήματα διακλάσεων εμφανίζουν αντίρροπες μεταξύ τους και σχετικά απότομες κλίσεις (βλ. Σχ. 4) επελέγη οι οπές της κουρτίνας να είναι κατακόρυφες, γεγονός το οποίο συνέβαλε στη διευκόλυνση των εργασιών (αποφυγή χρονοβόρων ελέγχων προσανατολισμού της κοπτικής κεφαλής πριν την έναρξη της διάτρησης, καλύτερη ευστάθεια τοιχωμάτων της γεώτρησης κλπ). Διατρήθηκαν καταρχάς οι πρωτεύουσες οπές της κουρτίνας, σε αποστάσεις 12 m

μεταξύ τους, με περιστροφικό εξοπλισμό και συνεχή δειγματοληψία, και στη συνέχεια τσιμεντενέθηκαν. Ακολουθήθηκε η μέθοδος του υποδιπλασιασμού των αποστάσεων (δευτερεύουσες οπές στο μεσοδιάστημα των γειτονικών πρωτευουσών, τριτεύουσες στο μεσοδιάστημα των γειτονικών δευτερευουσών – πρωτευουσών κλπ). Η καλή ποιότητα του πετρώματος δεν επέβαλε γενικά την χρήση προστατευτικής σωλήνωσης κατά την διάτρηση. Η διάτρηση οπών έως τρίτης τάξης ήταν υποχρεωτική, ανεξαρτήτως της απορρόφησης των γειτονικών πρωτευουσών – δευτερευουσών οπών. Η διάτρηση και το βάθος οπών τάξης μεγαλύτερης της τρίτης στα αντερείσματα (εκτός δηλ. της θεμελίωσης του φράγματος) καθοριζόταν από το βάθος του σταδίου των γειτονικών οπών μικρότερης τάξης στο οποίο η απορρόφηση τσιμέντου προέκυπτε μεγαλύτερη των 50 kg/m. Εάν τέτοιο στάδιο δεν προέκυπτε, δεν απαιτείτο η διάτρηση οπής μεγαλύτερης τάξης. Στην περιοχή της κοίτης, όπου η εκ των υστέρων επέμβαση με τσιμεντενέσεις είναι δύσκολη, θεωρήθηκε αναγκαία η διάτρηση οπών τέταρτης και πέμπτης τάξης, ανεξαρτήτως απορρόφησης των γειτονικών τριτευουσών οπών. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε σημαντική πύκνωση των οπών, με συστηματική εκτέλεση οπών τετάρτης και πέμπτης τάξης, βάθους σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερου των 30 m, ώστε να καλύπτεται πλήρως η υψηλής διαπερατότητας Ζώνη 1.

Δοκιμές εισπίεσης νερού, τύπου Lugeon, εκτελέστηκαν κατά τη διάτρηση, σε στάδια μήκους 5m, σε όλες τις πρωτεύουσες οπές και τις οπές ελέγχου. Οι τσιμεντενέσεις εκτελέστηκαν σε ανιόντα στάδια, μετά δηλ. την ολοκλήρωση της διάτρησης της οπής σε όλο το μήκος της, για λόγους οικονομίας και επιτάχυνσης των εργασιών {2}. Τα στάδια τσιμεντενέσεων ήταν μήκους 5m γενικά, με προσπάθεια τα όρια τους να ταυτίζονται με αυτά των εισπίεσεων, όπου είχαν αυτές εκτελεστεί. Οι πιέσεις τσιμεντενέσεων που προέβλεπε ο σχεδιασμός της κουρτίνας ήταν οι γεωστατικές, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα θραύσης που είχαν παρατηρηθεί σε αντίστοιχους γεωλογικούς σχηματισμούς για ανάλογες τιμές πιέσεων {1}. Κατά την κατασκευή πάντως και για την επίτευξη αποτελεσματικότερης διείσδυσης του ενέματος στα κενά, οι εφαρμοζόμενες πιέσεις προσανξήθηκαν κατά 50% περίπου κάτω από το βάθος των 20 m, το οποίο ταυτίζεται με το άνω όριο της ανώτερης διαπερατής ζώνης 1, αφού προηγουμένως ελέγχθηκε ότι με τις πιέσεις αυτές δεν προέκυπταν προβλήματα (ανύψωση δαπέδου ή θραύση πετρώματος κλπ). Μετά την ολοκλήρωση των τσιμεντενέσεων των οπών της κουρτίνας ακολούθησε η διάτρηση κεκλιμένων οπών ελέγχου στα διαστήματα μεταξύ γειτονικών πρωτευουσών οπών, οι οποίες κατευθύνονταν είτε σε περιοχές υψηλής απορρόφησης ή σε περιοχές στα αντερείσματα, οι οποίες δεν είχαν ελεγχθεί επαρκώς σε βάθος, λόγω της μη εκτέλεσης οπών τάξης μεγαλύτερης της τρίτης. Επιπλέον οπές ελέγχου, με χρήση κρουστικού εξοπλισμού, εκτελέστηκαν για τον έλεγχο των πρώτων 20 m βάθους στα οποία οι πιέσεις δεν είχαν προσανξηθεί. Η ολοκλήρωση της κουρτίνας στα αντερείσματα προηγούνταν πάντοτε της διάστρωσης του υλικού πυρήνα κατά τουλάχιστον ένα φάτνωμα πρωτευουσών οπών. Η αρχική αναλογία ενέματος που χρησιμοποιήθηκε στις τσιμεντενέσεις ήταν 2:1 (νερό : τσιμέντο), με προσθήκη 2% μπετονίτη κατά βάρος νερού. Το ένεμα πυκνωνόταν σε 1:1 μετά την απορρόφηση 1 m³ και έως τα 5 m³ περίπου, σε 1:1,50 για απορροφήσεις από 5 m³ και έως τα 10 m³, ενώ για απορρόφηση μεγαλύτερη των 10 m³ εφαρμόζονταν πυκνότερες αναλογίες (1:1,75). Σε εξαιρετικές περιπτώσεις πολύ μεγάλων απορροφήσεων εφαρμόστηκε και διακοπτόμενη τσιμεντένεση. Τέλος, σε όλη την επιφάνεια θεμελίωσης του πυρήνα και των φίλτρων υλοποιήθηκε τάπητας τσιμεντενέσεων με κρουστικό εξοπλισμό, από οπές βάθους 6m σε κάνναβο 3 x 3 m, οι οποίες διατρήνονταν από το εκάστοτε επίπεδο του πυρήνα. Οι γειτονικές με την κουρτίνα σειρές οπών, σε αποστάσεις 3 m εκατέρωθεν του άξονά της, διατρήθηκαν σε βάθος 12 m, και αποτέλεσαν ουσιαστικά ρηχές βοηθητικές κουρτίνες. Στην κοίτη η διάτρηση και τσιμεντένεση των οπών τάπητα προηγήθηκε της διάτρησης των οπών κουρτίνας, ενώ το αντίθετο συνέβη στα αντερείσματα.

Από τις δοκιμές εισπίεσης νερού που εκτελέστηκαν στη θεμελίωση του φράγματος, διαπιστώθηκε η παρουσία ζωνών πολύ υψηλής διαπερατότητας, και συγκεκριμένα :

- Μεταξύ υψομέτρων +780 και +770 περίπου η ανώτερη (ζώνη 1).
- Μεταξύ υψομέτρων +760 και +740 περίπου η κατώτερη (ζώνη 2).

Από την εξέταση πυρήνων γεωτρήσεων προέκυψε ότι οι υπόψη ζώνες συσχετίζονται αρκετά καλά με δύο γεωλογικούς ορίζοντες (βλ. Σχ. 4), εναλλαγών κροκαλοπαγών – ψαμμιτών (ζώνη 1) αφενός, και κροκαλοπαγών (ζώνη 2) αφετέρου (βλ. παρ. 2.3). Πλέον κρίσιμη για την υποβοήθηση διαφυγών, λόγω γειτνίασης με τον ταμιευτήρα, κρίθηκε ότι είναι η ζώνη 1, και για το λόγο αυτό έγινε εκεί αφενός πύκνωση των οπών τσιμεντενέσεων και αφετέρου διάτρηση μεγάλου αριθμού οπών ελέγχου. Πρέπει να σημειωθεί ότι περιοχές υψηλής διαπερατότητας εντοπίστηκαν και σε άλλες περιοχές της κουρτίνας, τόσο στο δεξιό όσο και στο αριστερό αντέρεισμα, και για την στεγανοποίησή τους ακολουθήθηκαν ανάλογες μεθοδεύσεις (πύκνωση οπών κλπ).

3.2. Αξιολόγηση κατασκευής κουρτίνας τσιμεντενέσεων

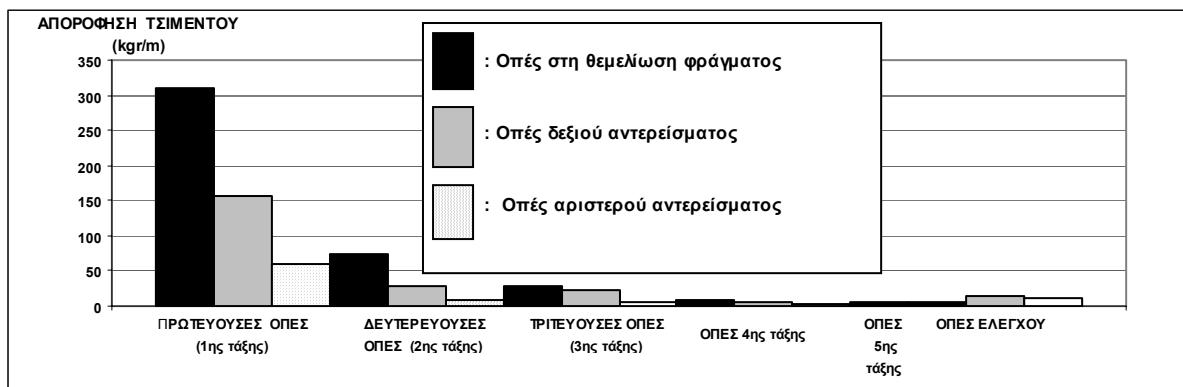
3.2.1 Απορροφήσεις τσιμέντου

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων κουρτίνας παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα τσιμεντενέσεων στο σύνολο της κουρτίνας

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΟΠΩΝ (m)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (kgr)	ΜΕΣΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (kgr/m)
ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ	95	5.553	946.808	170
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ	91	4.624	183.530	40
ΤΡΙΤΕΥΟΥΣΕΣ	154	4.910	91.370	19
ΤΕΤΑΡΤΕΥΟΥΣΕΣ	92	4.413	25.977	6
ΠΕΜΠΤΕΥΟΥΣΕΣ	34	1.981	11.787	6
ΕΛΕΓΧΟΥ	66	3.212	33294	10
ΣΥΝΟΛΟ	532	24.693	1.292.766	

Η εξέλιξη των μέσων απορροφήσεων τσιμέντου των οπών στα επιμέρους κύρια τμήματα της κουρτίνας, (θεμελίωση – δεξιό αντέρεισμα – αριστερό αντέρεισμα) παρουσιάζεται στο Σχ. 5.



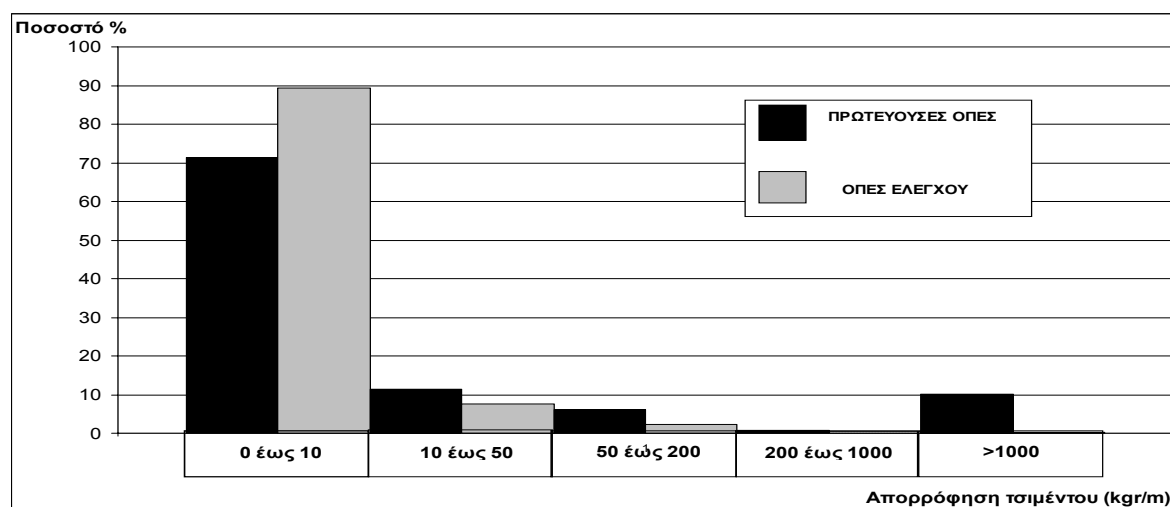
Σχ. 5 : Μέσες απορροφήσεις τσιμέντου ανά μέτρο στα κύρια τμήματα της κουρτίνας

Όπως προκύπτει από το Σχ. 5, η μέση απορρόφηση των πρωτευουσών οπών στη θεμελίωση του φράγματος προέκυψε πολύ υψηλή (311 kg/m), ενώ η μέση απορρόφηση τσιμέντου ανήλθε σε 20,68 kg/m² επιφάνειας κουρτίνας. Επίσης, είναι σαφής η βαθμιαία μείωση της απορρόφησης τσιμέντου με την αύξηση της τάξης των οπών, γεγονός το οποίο υποδηλώνει καταρχήν την επιτυχία της ακολουθούμενης διαδικασίας υποδιπλασιασμού των αποστάσεων των οπών στην

κατασκευή της κουρτίνας {1}. Πάντως σε αρκετά στάδια, κυρίως των δευτερευουσών και τριτευουσών οπών, παρατηρήθηκαν πολύ υψηλές τιμές απορρόφησης τσιμέντου, αν και δεν είχαν καταγραφεί ανάλογες τιμές στα αντίστοιχα βάθους στάδια των γειτονικών οπών μικρότερης τάξης. Εκτιμάται ότι αυτό οφείλεται στην παρουσία διευρυνμένων καρστικών διαύλων ή ανοικτών και σχετικά μεγάλου εύρους παρακατακόρυφων διακλάσεων στο υπόβαθρο, οι οποίες είτε δεν τμήθηκαν από τις οπές μικρότερης τάξης, είτε, λόγω μεγάλης κλίσης, έτεμναν τις μεγαλύτερης τάξης γειτονικές οπές σε πολύ διαφορετικά βάθη. Ο τελικός έλεγχος της κουρτίνας στην περιοχή αυτή έγινε με την εκτέλεση πυκνών κεκλιμένων οπών ελέγχου, μετά την ολοκλήρωση της προαναφερθείσας διαδικασίας. Αν και σε κάποια στάδια και των υπόψη οπών (κυρίως στη ζώνη 1), καταγράφηκαν σημαντικές απορροφήσεις τσιμέντου) με αποτέλεσμα να απαιτηθεί εκ νέου διάτρηση οπών ελέγχου, τα τελικά αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά.

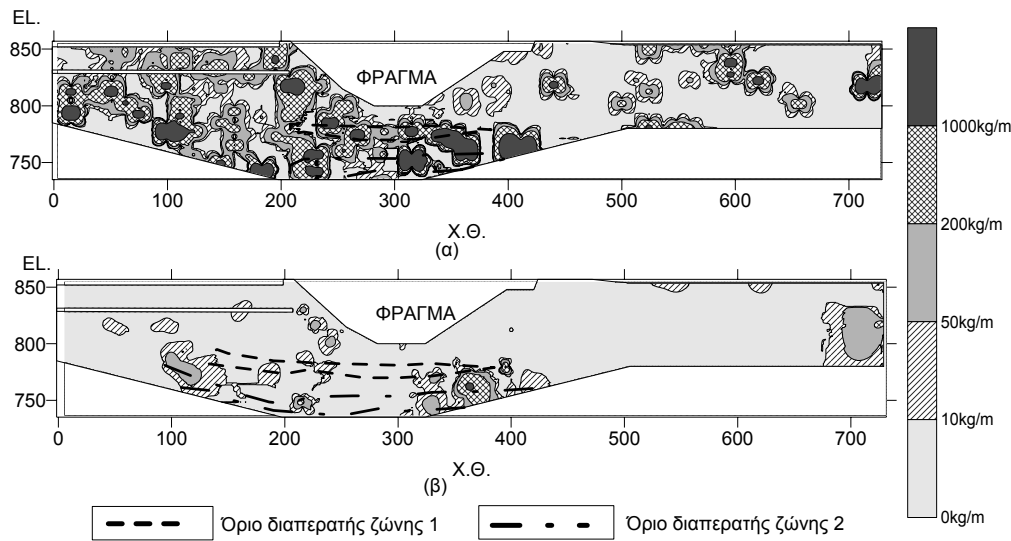
Στα αντερείσματα (βλ. Σχ. 5), η μέση απορρόφηση τσιμέντου των πρωτευουσών οπών προέκυψε χαμηλότερη (κυρίως στο αριστερό αντέρεισμα) σε σχέση με τη θεμελίωση. Είναι επίσης σαφές και στις περιοχές αυτές η βαθμιαία μείωση της απορρόφησης τσιμέντου με την αύξηση της τάξης των οπών. Πρέπει βεβαίως να σημειωθεί ότι και εδώ καταγράφηκαν, σε μεμονωμένα στάδια, πολύ υψηλές απορροφήσεις, αλλά γενικά απαιτήθηκε η εκτέλεση σχετικά περιορισμένου αριθμού οπών τάξης μεγαλύτερης της τρίτης στα αντερείσματα.

Στο Σχ. 6 παρουσιάζονται τα ποσοστά κατηγοριών απορρόφησης τσιμέντου (σε kg/m) όλων των σταδίων των πρωτευουσών οπών, οι οποίες θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά τα χαρακτηριστικά του «παρθένου» βραχώδους υποβάθρου (πριν δηλ. την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων), καθώς και των οπών ελέγχου, οι οποίες αντίστοιχα θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν το βελτιωμένο υπόβαθρο στο επίπεδο της κουρτίνας μετά το πέρας των εργασιών τσιμεντενέσεων. Είναι σαφές η μείωση των απορροφήσεων τσιμέντου στο υπόβαθρο μετά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων.



Σχ. 6 : Κατηγορίες απορροφήσεων τσιμέντου πρωτευουσών οπών & οπών ελέγχου – ποσοστά

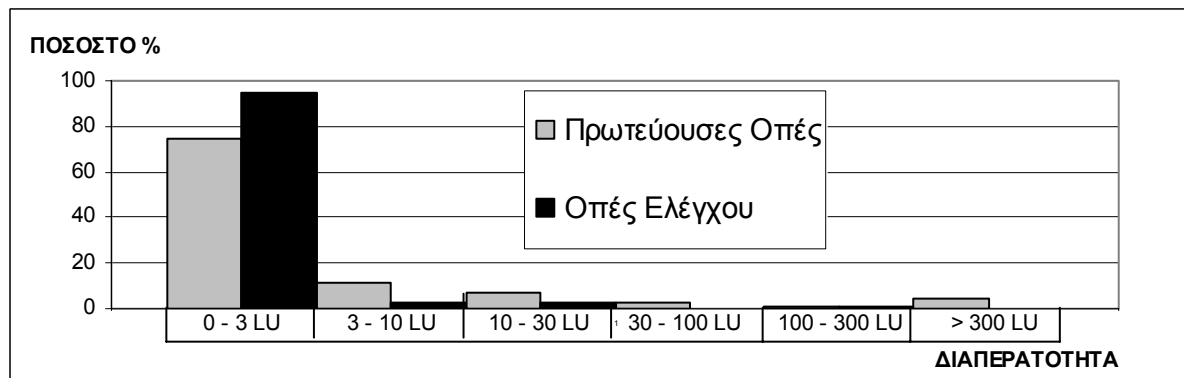
Στο Σχ. 7(α) παρουσιάζονται οι καμπύλες των ισοτιμών απορρόφησης τσιμέντου (σε kg/m) των πρωτευουσών οπών («παρθένο» υπόβαθρο) και στο Σχ. 7(β) των οπών ελέγχου (βελτιωμένο υπόβαθρο). Συγκρίνοντας τα Σχ. 7(α) και 7(β), είναι σαφές η μείωση των απορροφήσεων στις αντίστοιχες θέσεις του υποβάθρου θεμελίωσης με την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων. Εμφανίζεται επίσης, σε γενικές γραμμές, αρκετά καλή συσχέτιση των περιοχών υψηλών απορροφήσεων τσιμέντου με τις υψηλής διαπερατότητας ζώνες 1 και 2 του υποβάθρου θεμελίωσης του φράγματος.



Σχ. 7 : Καμπύλες ίσης απορρόφησης τσιμέντου σε kg/m : (α) πρωτεύουσες οπές – (β) οπές ελέγχου

3.2.2 Διαπερατότητα

Η εκτίμηση της διαπερατότητας στη θέση της κουρτίνας έγινε με αξιολόγηση των δοκιμών εισπίεσης τύπου Lugeon που εκτελέστηκαν στις πρωτεύουσες οπές και τις οπές ελέγχου. Οι τιμές διαπερατότητας των πρωτευουσών οπών, σε μονάδες Lugeon (LU), θεωρήθηκε και εδώ ότι αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά τα χαρακτηριστικά του «παρθένου» βραχώδους υποβάθρου, ενώ των οπών ελέγχου του βελτιωμένου, μετά το πέρας των εργασιών τσιμεντενέσεων. Στο Σχ. 8 παρουσιάζονται τα ποσοστά των σταδίων των πρωτευουσών οπών και των οπών ελέγχου ανά κατηγορία διαπερατότητας (σε μονάδες LU). Είναι εμφανής η ουσιαστική μείωση των απορροφήσεων νερού στις οπές ελέγχου.

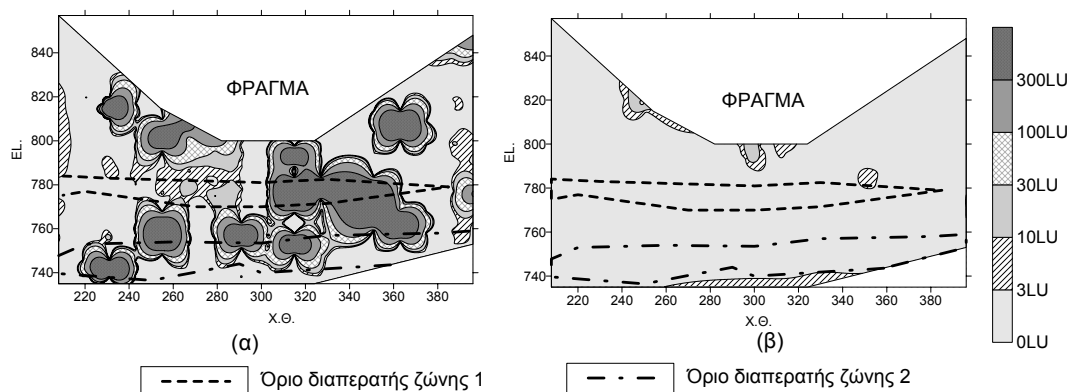


Σχ. 8 : Ποσοστά κατηγοριών διαπερατότητας (πρωτεύουσες οπές – οπές ελέγχου)

Για τη σύνταξη του Σχ. 8 έγινε η παραδοχή ότι όταν η ενεργός πίεση σε κάποιο δοκιμαζόμενο τμήμα προέκυπτε, λόγω των απωλειών τριβής κλπ, μηδενική ή αρνητική, αυτή λαμβανόταν ίση με 25 kPa στο μέσο του σταδίου. Όπου η τιμή διαπερατότητας προέκυπτε άνω των 300 LU, αυτή αναφερόταν απλώς ως > 300 LU, κρίνοντας ότι δεν ήταν εφικτή καλύτερη προσέγγιση, λόγω των υπεισερχόμενων αβεβαιοτήτων στο μέγεθος των απωλειών {3}. Για τιμές ενεργού πίεσης μικρότερες του 1 MPa (πίεση ορισμού για την εκτίμηση της διαπερατότητας σε μονάδες LU), οι υπολογισμοί της διαπερατότητας εκτελούνταν με τη συνήθη παραδοχή συνθηκών λείας ροής στα

κενά του πετρώματος, με γραμμική δηλ. συσχέτιση ενεργού πίεσης – παροχής {4}. Συνέπεια της παραπάνω παραδοχής είναι οι τιμές διαπερατότητας να προκύπτουν συνήθως υπερεκτιμημένες στα στάδια αυτά, και ιδιαίτερα για τις χαμηλότερες τιμές ενεργών πιέσεων.

Για την καλύτερη απεικόνιση της κατανομής των τιμών διαπερατότητας στην περιοχή της θεμελίωσης του φράγματος παρουσιάζονται στα Σχ. 9(α) και 9(β) οι καμπύλες των ισοτιμών (σε μονάδες LU) που προέκυψαν για τις πρωτεύουσες οπές αφενός και τις οπές ελέγχου αφετέρου.

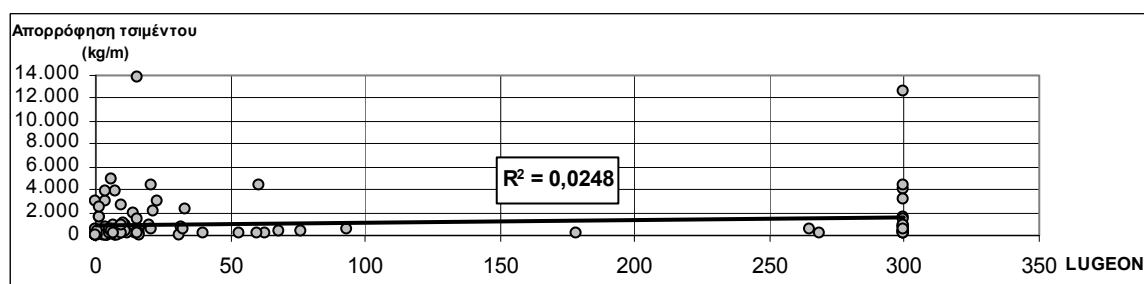


Σχ. 9 : Διαπερατότητα κουρτίνας τσιμεντενέσεων στη θεμελίωση : (α) πρωτεύουσες οπές – (β) οπές ελέγχου

Είναι σαφές από το Σχ. 9 η μείωση της διαπερατότητας μετά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων. Η μέση τιμή διαπερατότητας στο σύνολο της κουρτίνας προέκυψε ίση με 17 LU περίπου (πρωτεύουσες οπές, “παρθένο” υπόβαθρο), μειούμενη σε 1,60 LU (οπές ελέγχου, βελτιωμένο υπόβαθρο), με συνέπεια η μιας τάξης μεγέθους βελτίωση που επήλθε να κρίνεται σημαντική. Σημειώνεται ότι καθώς ο υπολογισμός της μέσης τιμής διαπερατότητας έγινε, όπως προαναφέρθηκε, με την παραδοχή διαπερατότητας ίσης με 300 LU σε όσα στάδια αυτή είχε προκύψει μεγαλύτερη, το επιτευχθέν ποσοστό βελτίωσης μετά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων αναμένεται ότι είναι ακόμη μεγαλύτερο.

3.2.3 Συσχέτιση απορροφήσεων τσιμέντου - νερού

Στο Σχ. 10 παρουσιάζεται η συσχέτιση των απορροφήσεων νερού και τσιμέντου σε όλα τα στάδια των πρωτευουσών οπών στα οποία τα όρια εισπίεσεων – τσιμεντενέσεων ταυτίζονταν, καθώς αυτό συνήθως δεν ίσχυε (αδυναμία τοποθέτησης κατά την τσιμεντένεση του ελαστικού παρεμβύσματος στο βάθος εκτέλεσης της δοκιμής εισπίεσης, διαφυγές ενέματος πάνω από αυτό κλπ).



Σχ. 10 : Συσχέτιση διαπερατότητας Lugeon – απορρόφησης τσιμέντου πρωτευουσών οπών κουρτίνας

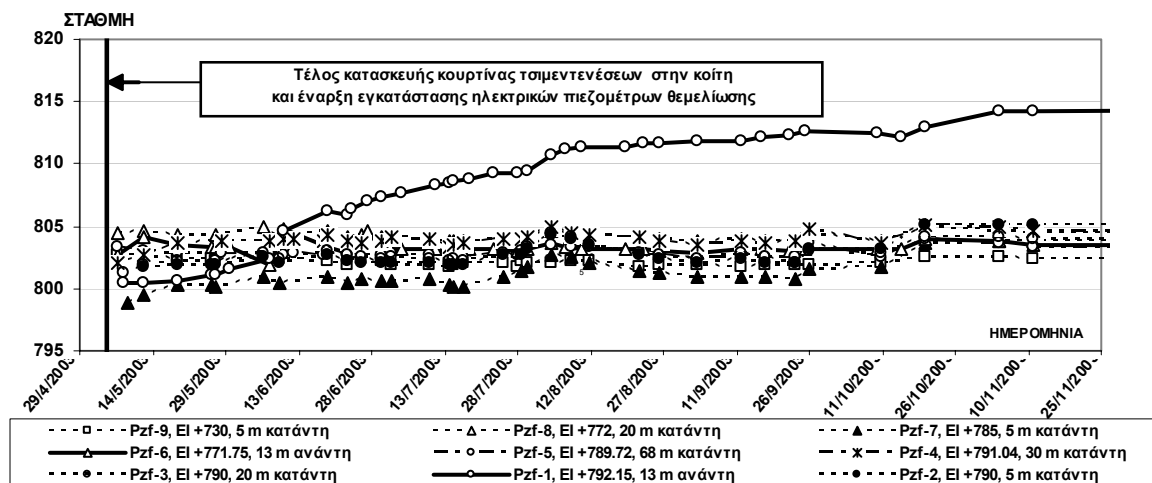
Όπως προκύπτει άμεσα από το Σχήμα 10 η συσχέτιση δεν είναι καλή, γεγονός πάντως σύνηθες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία {2, 5}, και αποδίδεται κυρίως στη διαδικασία που ακολουθήθηκε για

την κατασκευή της κουρτίνας, κατά την οποία οι μεν δοκιμές εισπίεσης νερού εκτελούνταν γενικά σε κατιόντα στάδια, ταυτόχρονα δηλ. με τη διάτρηση, ενώ οι τσιμεντενέσεις σε ανιόντα στάδια, μετά την ολοκλήρωση της διάτρησης της οπής. Συνέπεια της διαδικασίας αυτής ήταν η πιθανή διαφοροποίηση (μείωση) της περατότητας των ανώτερων σταδίων μετά την (προηγηθείσα) τσιμεντένεση των υποκειμένων, με συνέπεια τη μειωμένη απορρόφηση ενέματος στα ανώτερα στάδια σε σχέση με την αναμενόμενη βάσει των προηγηθεισών εισπίεσεων (περίπτωση αυξημένης απορρόφησης νερού και μειωμένης τσιμέντου σε κάποια στάδια). Άλλοι παράγοντες οι οποίοι μπορεί να συνέβαλαν στην παρατηρούμενη έλλειψη καλής συσχέτισης, κυρίως σε στάδια υψηλών απορροφήσεων, θεωρείται ότι ήταν :

- Η διαφορά στους όγκους παροχέτευσης (η δοκιμή διαπερατότητας διαρκούσε συνολικά 50 min, ενώ η τσιμεντένεση χωρίς περιορισμό χρόνου, έως αρνήσεως απορρόφησης).
- Η υιοθέτηση τιμής διαπερατότητας ίσης με 300 LU στα στάδια στα οποία αυτή προέκυπτε μεγαλύτερη.
- Η παραδοχή ενεργού πίεσης ίσης με 25 KPa στο μέσο του ελεγχόμενου τμήματος, η οποία υιοθετήθηκε για τους υπολογισμούς διαπερατότητας σε στάδια υψηλών απωλειών.
- Η παρουσία σε κάποια στάδια πολλών ανοικτών ασυνεχειών μικρού ανοίγματος (μικρότερου των 0,1 mm – πρακτικό όριο αξιόπιστης ενεσιμότητας), με συνέπεια στα στάδια αυτά η υψηλή απορρόφηση νερού να μην συνδυάζεται με αντίστοιχη απορρόφηση τσιμέντου, λόγω αδυναμίας διείσδυσης του κόκκου του τσιμέντου, σχετικά υψηλού ιξώδους του ενέματος κλπ.

3.2.4 Μεταβολές στάθμης υπόγειου ορίζοντα μετά την ολοκλήρωση των τσιμεντενέσεων

Μετά την ολοκλήρωση της κουρτίνας τσιμεντενέσεων στην κοίτη, η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα στη θεμελίωση ελεγχόταν τακτικά σε δύο διατομές, μέσω συστήματος ηλεκτρικών πιεζομέτρων (βλ. Σχ. 3). Από τις μετρήσεις στο διάστημα αυτό προέκυψε ότι τα αμέσως ανάντη της κουρτίνας πιεζόμετρα στο υψόμετρο + 790 παρουσίασαν σημαντική υπερύψωση (βλ. pzf-1, Σχ. 11), προσεγγίζοντας τη στάθμη του ποταμού στην είσοδο της σήραγγας εκτροπής (+815 περίπου), παρέχοντας ένδειξη καλής στεγανοποίησης του ανώτερου τμήματος του υποβάθρου θεμελίωσης. Οι στάθμες των λοιπών βαθύτερων ανάντη, καθώς και των κατάντη της κουρτίνας πιεζομέτρων, παρέμειναν μετά την κατασκευή της κουρτίνας σχεδόν σταθερές στο φάσμα +800 έως +805 περίπου (βλ. Σχ. 11), μη διαφοροποιούμενες ουσιαστικά σε σχέση με τις προσδιορισθείσες από τα ανοικτά πιεζόμετρα κατά τη διάρκεια της γεωτεχνικής έρευνας της μελέτης.



Σχ. 11 : Μεταβολή σταθμών χαρακτηριστικών πιεζομέτρων θεμελίωσης

4. ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΟΥΡΤΙΝΑΣ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ

Εξετάζοντας κριτικά την πορεία των εργασιών τσιμεντενέσεων, εκτιμάται ότι η επιλογή για κατασκευή κουρτίνας σε μονή σειρά πιθανώς οδήγησε σε υπερκατανάλωση τσιμέντου, λόγω της δυνατότητας ανεμπόδιστης κυκλοφορίας του ενέματος προς τα ανάντη ή τα κατόντη. Επίσης, η απουσία σήραγγας τσιμεντενέσεων στη θεμελίωση του φράγματος οδήγησε τελικά σε ιδιαίτερα πυκνή διάταξη οπών κουρτίνας στην κοίτη (οπές ανά 0,75 m, 79 οπές τέταρτης και πέμπτης τάξης, συνολικού μήκους 4.288 m). Αν και η δαπάνη κατασκευής της σήραγγας εκτιμάται ότι υπερβαίνει σημαντικά την αντίστοιχη των οπών τέταρτης και πέμπτης τάξης που τελικά εκτελέστηκαν και η κατασκευή της είναι χρονοβόρα, η ύπαρξή της θα απεξαρτοποιούσε τις εργασίες τσιμεντενέσεων από την ανύψωση του φράγματος και (κυρίως) θα πρόσφερε τη δυνατότητα εκ των υστέρων επέμβασης, σε περίπτωση διαπίστωσης διαρροών κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Πάντως, καθώς εκ των υστέρων δεν διαπιστώθηκαν τέτοιες διαρροές {6}, διαφάνηκε ότι η κατασκευή σήραγγας στη θεμελίωση δεν ήταν τελικά απαραίτητη.

Όπως πιστοποιήθηκε από την πτωτική τάση των απορροφήσεων ενέματος κατά την διαδοχική εκτέλεση των οπών, η κατασκευή της κουρτίνας τσιμεντενέσεων κρίνεται καταρχήν ως επιτυχής, με το συνεπαγόμενο βεβαίως κόστος. Συγκεκριμένα, αν και η μέση τιμή απορρόφησης τσιμέντου ανά μέτρο οπής κουρτίνας (52,35 kg) ελάχιστα απέχει από την υιοθετηθείσα (50kg/m) στην προμέτρηση των εργασιών, το συνολικό μήκος των οπών τσιμεντενέσεων (και η απορρόφηση τσιμέντου) αυξήθηκε κατά 31% περίπου σε σχέση με τις προβλέψεις της μελέτης. Οι διαφοροποιήσεις αυτές είναι σημαντικές αλλά δεν μπορούν να θεωρηθούν υπερβολικές, δεδομένης της δυσκολίας αντικειμενικής εκτίμησης της έκτασης των εργασιών τσιμεντενέσεων στη φάση της μελέτης. Η μέση τιμή διαπερατότητας πριν την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων (17 LU, βλ. παρ 3.2.2) χαρακτηρίζει, σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία {1}, βραχομάζα στην οποία επιβάλλεται η εκτέλεση τσιμεντενέσεων για τη στεγανοποίησή της. Αντίστοιχα, η τιμή των 1,6 LU μετά την ολοκλήρωση των τσιμεντενέσεων χαρακτηρίζει βραχομάζα αρκούντως στεγανή, η οποία δεν επιδέχεται ουσιαστικής βελτίωσης μέσω τσιμεντενέσεων. Σύμφωνα με άλλη θεώρηση {1} προκειμένου για βραχομάζες με εναλλαγές διαπερατών και αδιαπεράτων στρωμάτων και με ευνοϊκή προς τα ανάντη κλίση των στρώσεων, προτείνεται για έργα στα οποία δεν είναι ανεκτές σοβαρές απώλειες νερού η αποδοχή μέγιστης τιμής διαπερατότητας 5 LU στο επίπεδο της κουρτίνας. Η τιμή αυτή ετέθη ως όριο και στο φράγμα Πραμόριτσας, καθώς, λόγω της σχετικά ευρείας διακύμανσης των παροχών του ποταμού και του μικρού όγκου του ταμιευτήρα, κρίθηκε ότι δεν μπορεί να θεωρηθούν αποδεκτές μεγάλες διαρροές. Κατά συνέπεια και βάσει της θεώρησης αυτής η επιτευχθείσα μέση τιμή διαπερατότητας κρίνεται πλήρως ικανοποιητική.

Τα στοιχεία που προέκυψαν από τις παραπάνω αξιολογήσεις, συμπεριλαμβανομένων και των σαφών ενδείξεων επίτευξης καλής στεγανότητας από τα εγκατεστημένα στα ανώτερα υψόμετρα του βράχου θεμελίωσης πιεζόμετρα (βλ. παρ. 3.2.4), συνεκτιμήθηκαν, και έδωσαν μία καταρχήν θετική εικόνα για την συνολική στεγανοποίηση του υποβάθρου στην περιοχή της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, επιτρέποντας να ξεκινήσουν οι διαδικασίες πλήρωσης του ταμιευτήρα με την έμφραξη της σήραγγας εκτροπής στις 28/07/2007.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Kutzner, C., 1996 : “Grouting of rock and soil”, A.A. Balkema, Rotterdam/ Brookfield,
2. Fell, R., McGregor, P., Stapledon, D., 1992 : “Geotechnical Engineering of Embankment dams”, A.A. Balkema, Rotterdam
3. Ewert, F. K., : “Grouting Investigations”, Int. Water Power & Dam Construction, September 2005
4. BSI 5930, 1981 “Code of practice for ground investigations” (formerly CP 2001)
5. Bozovic, A., 1985 : “Foundation treatment for control of seepage”, General Report, Question 58, 15th International Congress on large dams, Lausanne, p. 1467 – 1583
6. Αναστασόπουλος, Κ., Κουβόπουλος, Ι., Οικονομίδης, Χ., (2008) : “Στεγανοποίηση ταμιευτήρα Πραμόριτσας - Μέρος Β : Παρακολούθηση και έλεγχοι κατά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα”, 1^ο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, Νοέμβριος 13-15.

Controlling seepage in Pramoritsa reservoir - Part A : Design, construction and evaluation of grout curtain

K. Anastassopoulos

Civil Engineer MSc, Public Power Corporation of Greece / DYHP

C. Economidis

Geologist, Public Power Corporation of Greece / DYHP

S. Raftopoulos

Geologist, Public Power Corporation of Greece / DYHP

ABSTRACT

Site investigations during the design of Pramoritsa dam had revealed the presence at the dam site of a confined and deep water table, with a piezometric head 4 to 5 m lower than the river level. On the same time open cracks and voids encountered at various depths in the exploratory boreholes in the molassic rocks combined with high permeabilities raised significant concerns for high water losses from the reservoir. In order to overcome this, an extensive, relatively deep grout curtain was adopted, both in the dam foundation area and the abutments. This article presents the design concepts and the experiences obtained from the grout curtain construction, as well as the results of the various checks that were carried out to establish curtain integrity before reservoir filling.