

Το φράγμα του Ευήνου - Σχεδιασμός, Κατασκευή, Πλήρωση και Λειτουργία

Γ. Θ. Ντουνιάς

Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΕΛΛΦΟΣ ΑΕ

Ι. Γ. Καραβοκύρης

Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ & ΣΥΝ/ΤΕΣ ΑΕ

Δ. Νικολάου

Πολιτικός Μηχανικός, Γενικός Διευθυντής ΥΠΕΧΩΔΕ

Λέξεις κλειδιά: φράγμα, χωμάτινο, κατολισθήσεις, υπερχειλιστής, πλήρωση ταμιευτήρα

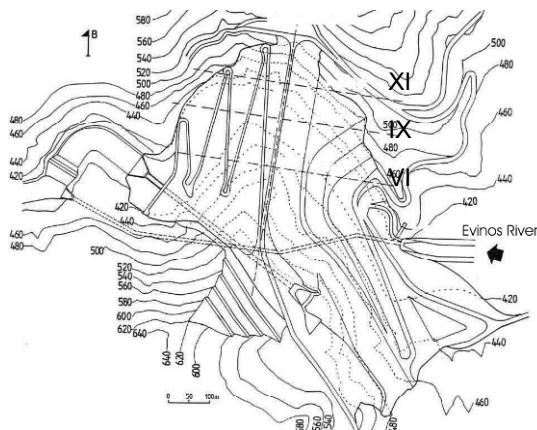
ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το έργο του Ευήνου αποτελείται από χωμάτινο φράγμα ύψους 126m με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, και σήραγγα μεταφοράς νερού προς τον ταμιευτήρα του Μόρνου μήκους 29 km περίπου. Παρουσιάζεται περιληπτικά ο σχεδιασμός και η κατασκευή του φράγματος, η σταθεροποίηση δύο σημαντικών κατολισθήσεων στο αριστερό αντέρεισμα και η έμφραξη της σήραγγας εκτροπής και η πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα το 2001. Τέλος, παρουσιάζονται στοιχεία συμπεριφοράς του φράγματος κατά την κατασκευή και λειτουργία του.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έργο του Ευήνου, επέκταση του γενικότερου υδραγωγείου της Αθήνας, περιλαμβάνει το φράγμα του Αγίου Δημητρίου στον ποταμό Ευήνο (Σχ. 1) και τη σήραγγα μεταφοράς προς τον ταμιευτήρα του Μόρνου.

Το φράγμα κατασκευάστηκε κοντά στο χωριό Άγιος Δημήτριος, στην Ορεινή Ναυπακτία. Πρόκειται για χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα και σώματα στήριξης από αμμοχάλικα και λιθορριπή, συνολικού ύψους από τη θεμελίωση 126m και μήκους περίπου 600m στη στέψη. Η σήραγγα εκτροπής και ο υπερχειλιστής τοποθετήθηκαν στο αριστερό αντέρεισμα.

Ο ταμιευτήρας έχει συνολικό όγκο $145 \times 10^6 \text{ m}^3$ εκ του οποίου ο όγκος πάνω από το κατώφλι της υδροληψίας της σήραγγας μεταφοράς είναι $135 \times 10^6 \text{ m}^3$.



Σχήμα 1: Γενική άποψη του φράγματος (Google Earth)

Γεωλογικά η περιοχή κατασκευής ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου. Το φράγμα θεμελιώθηκε επί της ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη της Πίνδου. Η γεωλογία του φράγματος και ο γεωτεχνικός σχεδιασμός έχουν περιγραφεί εκτενώς στα {17}, {7} και {10}.

Η σήραγγα μεταφοράς ολοκληρώθηκε το 1995. Το φράγμα του Ευήνου κατασκευάστηκε μεταξύ 1992 και 2000. Κατά την κατασκευή των έργων ενεργοποιήθηκαν δύο μεγάλες κατολισθήσεις στα αριστερά πρηνή του ταμιευτήρα. Τα συνοδά έργα και η σταθεροποίηση των κατολισθήσεων ολοκληρώθηκαν το 2001 οπότε και έγινε η πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα. Έκτοτε το έργο λειτουργεί κανονικά χωρίς προβλήματα.

Η παρούσα εργασία περιγράφει συνοπτικά την κατασκευή του έργου, την πλήρωση του ταμιευτήρα και την συμπεριφορά του φράγματος.

2 Η ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Η σήραγγα μεταφοράς νερού έχει μήκος 29 km περίπου και διέτρεξε όλους σχεδόν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της ζώνης της ζώνης της Πίνδου.

Η σήραγγα με εσωτερική διάμετρο 3.5m και διάμετρο εκσκαφής 4m περίπου, διανοίχθηκε με χρήση τεσσάρων μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής (TBM) σε χρόνο ρεκόρ. Η σήραγγα Ευήνου Μόρνου τέθηκε σε λειτουργία την 8 Απριλίου 1995, είκοσι επτά μήνες μετά την έναρξη λειτουργίας του πρώτου TBM τον Ιανουάριο του 1993 όπως περιγράφεται αναλυτικά στα {6} και {9}.

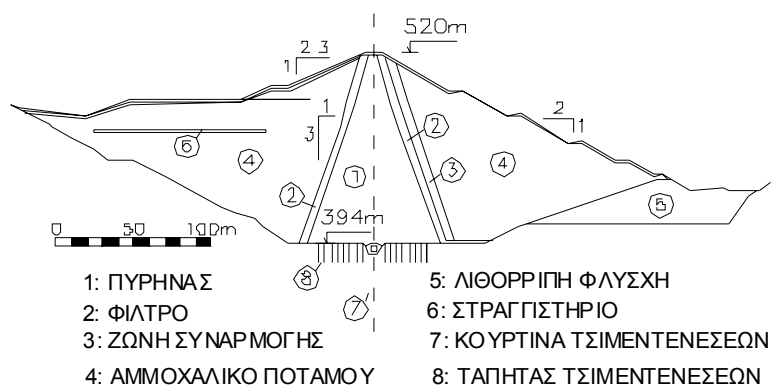
Λόγω των επιτακτικών αναγκών ενίσχυσης της ύδρευσης της Αθήνας και επειδή η σήραγγα Ευήνου – Μόρνου ολοκληρώθηκε αρκετά ενωρίτερα από το φράγμα, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε προσωρινό έργο υδροδότησης που αποτελείτο από χαμηλό φράγμα από κυλινδρικό σκυρόδεμα και πλευρική υδροληψία, ανάντη του κυρίως φράγματος αλλά μέσα στα όρια του ταμιευτήρα, δεξαμενή εξάμμωσης, αγωγό Φ2000 για τη μεταφορά με βαρύτητα του νερού από τη δεξαμενή εξάμμωσης στη σήραγγα Ευήνου-Μόρνου. Η παροχευετικότητα του έργου ήταν περίπου 12m³/s. Το προσωρινό αυτό έργο λειτούργησε μεταξύ 1995 και 1999 τροφοδοτώντας τον ταμιευτήρα του Μόρνου με πάνω από 100x10⁶ m³ νερού ετησίως.

3 ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ

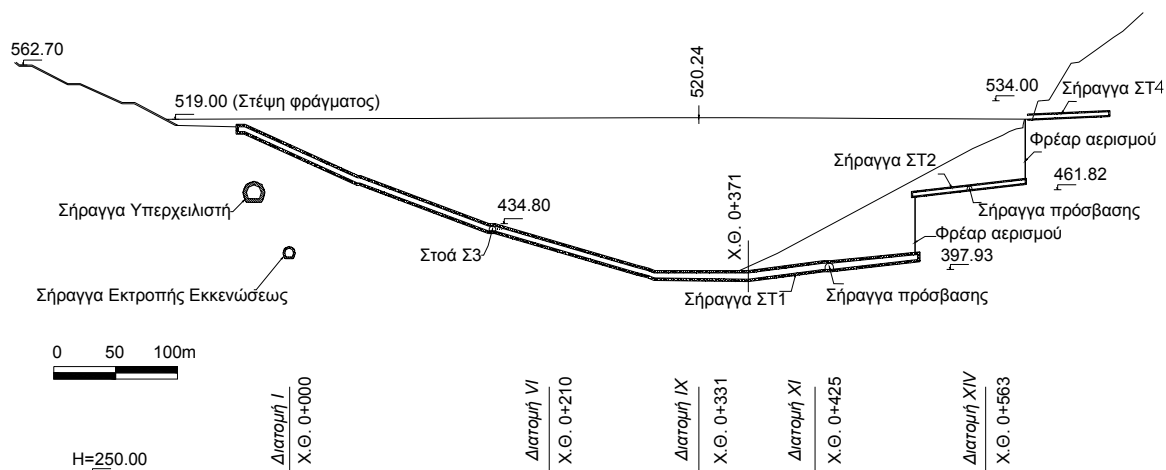
Στο Σχήμα 1 παρατίθεται η γενική διάταξη του φράγματος, στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται χαρακτηριστική διατομή και στο Σχήμα 3 μηκοτομή όπου φαίνονται και οι σήραγγες τσιμεντενέσεων. Η στέψη του φράγματος είναι στο +519 m ενώ το κατώφλι του υπερχειλιστή βρίσκεται στο +505 m.

Για την επιτάχυνση της κατασκευής του φράγματος τοποθετήθηκε στοά τσιμεντενέσεων στην επαφή θεμελίωσης – πυρήνα στην ευρεία κοίτη και στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος (Σχ. 3, Φωτ. 1). Στο δεξιό αντέρεισμα διανοίχθηκαν σήραγγες τσιμεντενέσεων. Οι τσιμεντενέσεις κουρτίνας εκτελέστηκαν δια των στοών και σήραγγων ταυτόχρονα με την κατασκευή του αναχώματος.

Η κατασκευή του φράγματος άρχισε το 1992. Η έναρξη διάστρωσης υλικού πυρήνα έγινε το Μάιο του 1995 και το επίχωμα ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 1997. Έχει ύψος 126m από τη στάθμη θεμελίωσης, ευρύ κεντρικό αργιλικό πυρήνα και κελύφη από αμμοχάλικα ποταμού και λιθορριπή ψαμμιτικού φλύσχη. Γενικά στοιχεία για τη μελέτη και την κατασκευή του φράγματος δίδονται στα {3}, {5}, {11}, {12}, {13} και {16}. Ο πυρήνας κατασκευάστηκε από ιλυολιθικό φλύσχη με ειδική μέθοδο απόληψης, έχει εξωτερική κλίση 3:1 (κατ.:οριζ.). και είναι εφοδιασμένος με πληθώρα οργάνων παρακολούθησης. Όργανα τοποθετήθηκαν στις Διατομές IV, IX και XI του φράγματος καθώς και σε πολλές ενδιάμεσες θέσεις, ιδίως στη θεμελίωση. Στοιχεία από την ανάπτυξη τάσεων και παραμορφώσεων κατά την κατασκευή, πρώτη πλήρωση και λειτουργία δίδονται στα {4} και {16}.



Σχήμα 2: Διατομή ΙΧ



Σχήμα 3: Μηκοτομή του φράγματος



Φωτογραφία 1: Κατασκευή της στοάς τσιμεντενέσεων και του αναχώματος

4.1 Υπερχειλιστής

Λόγω της τοπογραφίας της θέσης του φράγματος, σε συνδυασμό με τον κίνδυνο αστάθειας πρανών σε μεγάλο ύψος σε περίπτωση εκτεταμένων εκσκαφών, το έργο υπερχείλισης κατασκευάστηκε, στο μεγαλύτερο μήκος του, υπόγειο. Το έργο διαστασιολογήθηκε και ελέγχθηκε ώστε να είναι δυνατή η παροχέτευση της διοδευμένης Μέγιστης Πιθανής Πλημμύρας.

Το μήκος της στέψης υπερχείλισης είναι 40m ενώ η διατομή της σήραγγας είναι τροποποιημένη πεταλοειδής με διάμετρο 10m. Η προσαρμογή από 40m σε 10m είναι πολύ μεγάλη και για αυτό απαιτήθηκε βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της επιφάνειας συναρμογής σε φυσικό υδραυλικό μοντέλο. Το μήκος της σήραγγας είναι 290m περίπου ενώ ακολουθεί τμήμα ορθογωνικού αγωγού πλάτους 10m και μήκους 140m περίπου. Στο μεγαλύτερο μήκος του ο αγωγός αυτός είναι κλειστός. Στο κατάντη άκρο του αγωγού κατασκευάστηκε διάταξη αναπήδησης (flip bucket).

Η επιλογή σήραγγοειδούς υπερχειλιστή δημιουργεί ορισμένα ιδιαίτερα θέματα σχετικά με την ασφαλή λειτουργία του έργου:

- Στην είσοδο της σήραγγας κατασκευάστηκε διάταξη που εξασφαλίζει τη διατήρηση ελεύθερης ροής μέσα στη σήραγγα. Έως την παροχή των $2000\text{m}^3/\text{s}$ το έργο σε όλο του το μήκος λειτουργεί με ελεύθερη ροή. Σε μεγαλύτερες παροχές, η διάταξη που κατασκευάστηκε προκαλεί έλεγχο της ροής τύπου οπής (orifice control) απομακρύνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης διαλείπουσας ροής (slug flow) μέσα στη σήραγγα.
- Επειδή η κινούμενη φλέβα νερού παρασύρει αέρα, είναι απαραίτητη η εξασφάλιση εισόδου αέρα στη σήραγγα προκειμένου να αποφευχθούν πολύ χαμηλές υποπίεσεις. Για παροχές άνω των $2000\text{m}^3/\text{s}$ η είσοδος αέρα στην ελεύθερη διατομή της σήραγγας είναι δυνατή μόνο από τα κατάντη. Ελέγχθηκε ότι η ελεύθερη διατομή είναι στην περίπτωση αυτή επαρκής για την παροχή αέρα χωρίς μεγάλη πτώση της πίεσης μέσα στη σήραγγα.
- Επειδή σε μεγάλες παροχές αναπτύσσονται ταχύτητες ροής που προσεγγίζουν τα 40m/s και ο δείκτης σπηλαίωσης στο κατάντη τμήμα του υπερχειλιστή λαμβάνει τιμές μικρότερες του 0,20, ελήφθησαν ιδιαίτερα μέτρα για την πρόληψη ζημιών από σπηλαίωση. Συγκεκριμένα σχεδιάστηκαν, βελτιστοποιήθηκαν σε φυσικό υδραυλικό μοντέλο και κατασκευάστηκαν τρεις διατάξεις αερισμού της ροής {8}. Η πρώτη από ανάντη διάταξη σχεδιάστηκε ώστε να αποτελεί και συναρμογή μεταξύ της πεταλοειδούς διατομής της σήραγγας και της ορθογωνικής διατομής του κατάντη τμήματος.
- Επειδή οι σήραγγοειδείς υπερχειλιστές εμφανίζουν μεγάλες ειδικές παροχές (στην περίπτωση του Ευήνου $200\text{m}^3/\text{s}$ ανά μέτρο πλάτος του υπερχειλιστή), είναι ιδιαίτερα υψηλές οι απαιτήσεις για τα κατάντη έργα καταστροφής ενέργειας. Η διάταξη που σχεδιάστηκε αποτελείται από flip bucket, το οποίο σε μικρές παροχές λειτουργεί σαν λεκάνη καταστροφής ενέργειας, και στα κατάντη αυτού λεκάνη αποτόνωσης η οποία δημιουργήθηκε με την κατασκευή υπερπηδητού ρουφράκτη από σκυρόδεμα στην κοίτη του ποταμού στα κατάντη.

4.2 Σήραγγα Εκτροπής και εκκένωσης

Το συνδυασμένο έργο εκτροπής και εκκένωσης του Ευήνου αποτελεί εξαιρετικά σπάνια περίπτωση δεδομένου ότι διασχίζει σχεδόν εγκάρσια την κοίτη του ποταμού. Ο σχεδιασμός του υπαγορεύθηκε από το συνδυασμό των κατά πολύ ευνοϊκότερων γεωλογικών συνθηκών για θεμελιώσεις στο δεξιό αντρείσμα με την γεωμετρία της κοίτης του ποταμού (αριστερόστροφη καμπύλη) που υπαγόρευε την χάραξη της σήραγγας εκτροπής στο αριστερό αντρείσμα.

Το έργο αποτελείται από έργο εισόδου στο δεξιό αντρείσμα, κλειστό αγωγό μήκους 110m με πλάτος 7,60m που διασχίζει εγκάρσια την κοίτη και σήραγγα πεταλοειδούς διατομής με διάμετρο 7,60m και μήκος 700m δια του αριστερού αντρείσματος. Η διάταξη αυτή επελέγη έτσι ώστε να

αποφευχθεί η κατασκευή, στο ασθενές αριστερό αντέρεισμα, πύργου υδροληψίας ύψους 50m για τον εκκενωτή πυθμένα. Στο δεξιό αντέρεισμα, όπου συναντώνται παχυστρωματώδεις ασβεστιτικοί ψαμμίτες, αντί πύργου κατασκευάστηκε κεκλιμένος επί του πρανούς αγωγός υδροληψίας με δύο στόμια. Συγχρόνως, έγινε έτσι δυνατόν να κατασκευασθεί στο αριστερό αντέρεισμα σταθεροποιητικό επίχωμα.

Ο κλειστός αγωγός, ο οποίος ενσωματώθηκε στο ανάντη πρόφραγμα εδράσθηκε στα αμμοχάλικα της κοίτης των οποίων τα χαρακτηριστικά βελτιώθηκαν με την κατασκευή συνεχούς διαφράγματος πασσάλων jet grouting το οποίο αντικατέστησε και το στεγανωτικό διάφραγμα του προφράγματος.

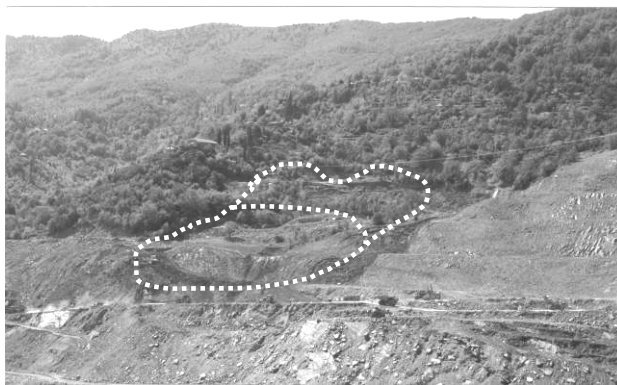
Η σχεδόν εγκάρσια διάσχιση της κοίτης από το έργο απαίτησε να υπάρξει η εξής αλληλουχία φάσεων προκειμένου να τεθεί σε λειτουργία: [α] ολοκληρώθηκε η σήραγγα και το έργο εξόδου, [β] ο υπαίθριος αγωγός ολοκληρώθηκε με εξαίρεση ένα μόνο τμήμα ώστε να διέρχεται η ροή του ποταμού, [γ] η θερινή ροή του ποταμού παροχετεύθηκε μέσα από αγωγό «by-pass» τύπου ARMCO Φ4000 στο δεξιό αντέρεισμα κατά την κατασκευή του τελευταίου τμήματος του υπαίθριου αγωγού και [δ] το έργο εκτροπής τέθηκε σε λειτουργία.

5 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Κατά την κατασκευή του έργου ενεργοποιήθηκαν δύο κατολίσθησεις στα αριστερά πρανή του ταμιευτήρα. Η πρώτη μόλις ανάντη της περιοχής εισόδου του υπερχειλιστή (κατολίσθηση 1993) και η δεύτερη 500 m ανάντη του άξονα του φράγματος (κατολίσθηση ΕΟ 24).

5.1 Κατολίσθηση του 1993

Η κατολίσθηση ενεργοποιήθηκε τον Αύγουστο του 1993 λόγω εκσκαφών στον πόδα της, κατά την κατασκευή της νέας οδού πρόσβασης προς το φράγμα (Σχήμα 4, Φωτ. 2). Έρευνες έδειξαν ότι η επιφάνεια ολίσθησης βρισκόταν σε βάθος 25m και αφορούσε 600.000m³ αργιλικών κολλουβίων τα οποία ολίσθαιναν κοντά στην επαφή τους με τον υποκείμενο ψαμμιτικό φλύσχη. Ο υδροφόρος ορίζοντας στην κατολίσθηση ήταν πολύ ψηλά σε αντίθεση με τη γειτονική περιοχή του υπερχειλιστή.



[α]

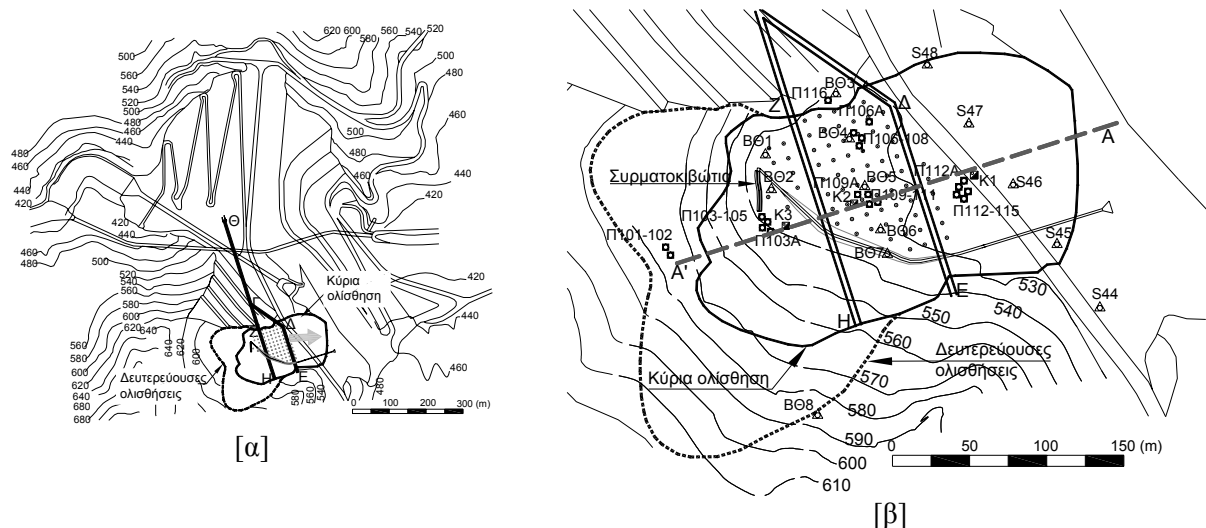


[β]

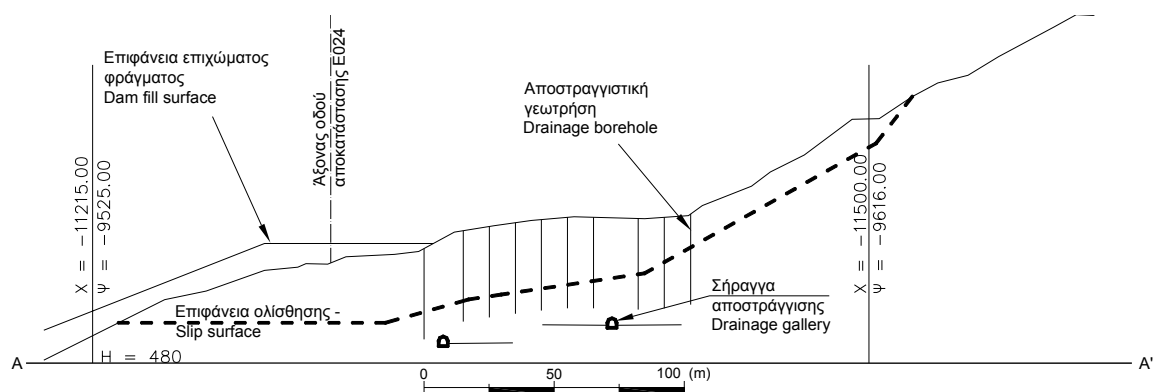
Φωτογραφία 2. [α] Γενική άποψη κατολίσθησης, [β] Επιφάνεια ολίσθησης

Ανάστροφες αναλύσεις έδειξαν ότι η αντοχή στην επιφάνεια ολίσθησης ήταν πολύ χαμηλή ($c'=0$, $\phi'=14^\circ$), κοντά στην παραμένουσα των αργιλικών υλικών μέσης έως χαμηλής πλαστικότητας που απαρτίζουν τα κολλούβια του φλύσχη. Εγκαταστάθηκαν φρέατα αντλήσεων ως προσωρινά μέτρα σταθεροποίησης τα οποία ήταν αποδοτικά για ένα έτος περίπου αλλά προοδευτικά αχρηστεύτηκαν

από τη συνεχιζόμενη μετακίνηση. Τον Αύγουστο του 1994 μετά από μια πολύ ισχυρή νεροποντή έγινε αιφνίδια μετακίνηση κατά 20 m περίπου της ήδη ενεργοποιημένης μάζας καθώς και επέκταση της κατολίσθησης προς τα άνω (διακεκομμένη γραμμή στη Φωτ. 2 και το Σχ. 4). Οι φάσεις της ενεργοποίησης παρουσιάζονται στο {1}.



Σχήμα 4. Κατολίσθηση 1993 [α] Θέση κατολίσθησης, [β] Διάταξη έργων αποκατάστασης



Σχήμα 5: Κατολίσθηση 1993 - Διατομή Α-Α' με τα μέτρα σταθεροποίησης.

Τα μέτρα οριστικής σταθεροποίησης περιελάμβαναν:

- διευθέτηση της επιφανειακής απορροής με κατασκευή έργων σύλληψης και απαγωγής του νερού των ρεμάτων που εισέρεαν στην κατολίσθηση
- Αποστραγγιστική σήραγγα μήκους 690 m σε δύο κλάδους που εισέρχεται κατάντη του φράγματος σε υψόμετρο 475.30m και διέρχεται κάτω από την κατολίσθηση εντός του ψαμμιτικού φλύσχη. Έχει πεταλοειδή μορφή, πλάτος εκσκαφής 3.65 m και μέσο ύψος εκσκαφής 3.70m. Η σήραγγα έχει επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ενισχυμένο με δομικό πλέγμα, πλην της πλάκας δαπέδου και των βάσεων των πλευρικών τοιχωμάτων έως ύψους 1.00 m από το δάπεδο, τα οποία κατασκευάστηκαν από συμβατικό σκυρόδεμα. Δια της σήραγγας διανοίχθηκαν αποστραγγιστικές γεωτρήσεις για την ταχεία στράγγιση της βραχομάζας. Η θέση των σηράγγων φαίνεται στα Σχήματα 4 και 5. Ο

κατώτερος, Βόρειος, κλάδος (ΔΕ) της σήραγγας τοποθετήθηκε στο πλησιέστερο προς τον ταμιευτήρα σημείο που θεωρήθηκε ασφαλές έναντι σημαντικών εισροών από τον ταμιευτήρα. Το δάπεδό του βρίσκεται σε υψόμετρο 486 m περίπου. Η οροφή της σήραγγας τοποθετήθηκε 2 διαμέτρους τουλάχιστον κάτω από την επαφή κολλουβίων – φλύσχη.

- Στην κεντρική περιοχή της κατολίσθησης διανοίχτηκαν 71 κατακόρυφα φρέατα στράγγισης Φ300 mm (Σχ. 4 και 5) σε κάναβο 10 x 10m περίπου με μέσο μήκος 35m. Τα φρέατα διαπερνούν την επιφάνεια ολίσθησης και επιτρέπουν την στράγγιση διαβαρύτητος προς τον στραγγιζόμενο από τη σήραγγα υποκείμενο ψαμμιτικό φλύσχη.
- Επέκταση του αναχώματος ώστε να δρα ως αντίβαρο ποδός (Σχ. 5)

Τα έργα ολοκληρώθηκαν στις αρχές του 2001. Έκτοτε, η κατολίσθηση είναι απολύτως σταθεροποιημένη και τα έργα στράγγισης λειτουργούν αποτελεσματικά. Στοιχεία για τη συμπεριφορά της κατολίσθησης, τις διηθήσεις, την ανάπτυξη των πιέσεων πόρων κλπ. παρουσιάζονται στο {14}.

5.2 Κατολίσθηση της Επ.Ο. 24

Από το πρώτο έτος της κατασκευής των έργων, το 1993, εντοπίστηκε ένας ερπυσμός στο αριστερό πρηνές, 100 m περίπου πάνω από την ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα και 500 m περίπου ανάντη του άξονα του φράγματος. Στην περιοχή δεν έγιναν αξιόλογα χωματουργικά έργα. Οι ρωγμές που παρατηρήθηκαν κυρίως στους πτερυγοτοίχους ενός οχετού διευρύνονταν και τελικώς την Άνοιξη του 1996, μετά από μια ιδιαίτερα υγρή περίοδο, οι ρωγμές διευρύνθηκαν πολύ και παρατηρήθηκε μεγάλη καθίζηση εκατέρωθεν του τεχνικού σε εύρος 150m περίπου. Στο διάστημα αυτό η συνολική καθίζηση ήταν της τάξεως των 3m με οριζόντια μετακίνηση της τάξεως του 1m. Τα όρια της ενεργοποιημένης περιοχής ήταν ασαφή πλευρικά, λόγω της φυτοκάλυψης αλλά ο πόδας της ολίσθησης ήταν στο επίπεδο της παραλίμνιας Επ.Ο. 24 (υψόμετρο +520 περίπου) και ο καθρέπτης σε υψόμετρο +650 m (Σχ. 6 και 7).

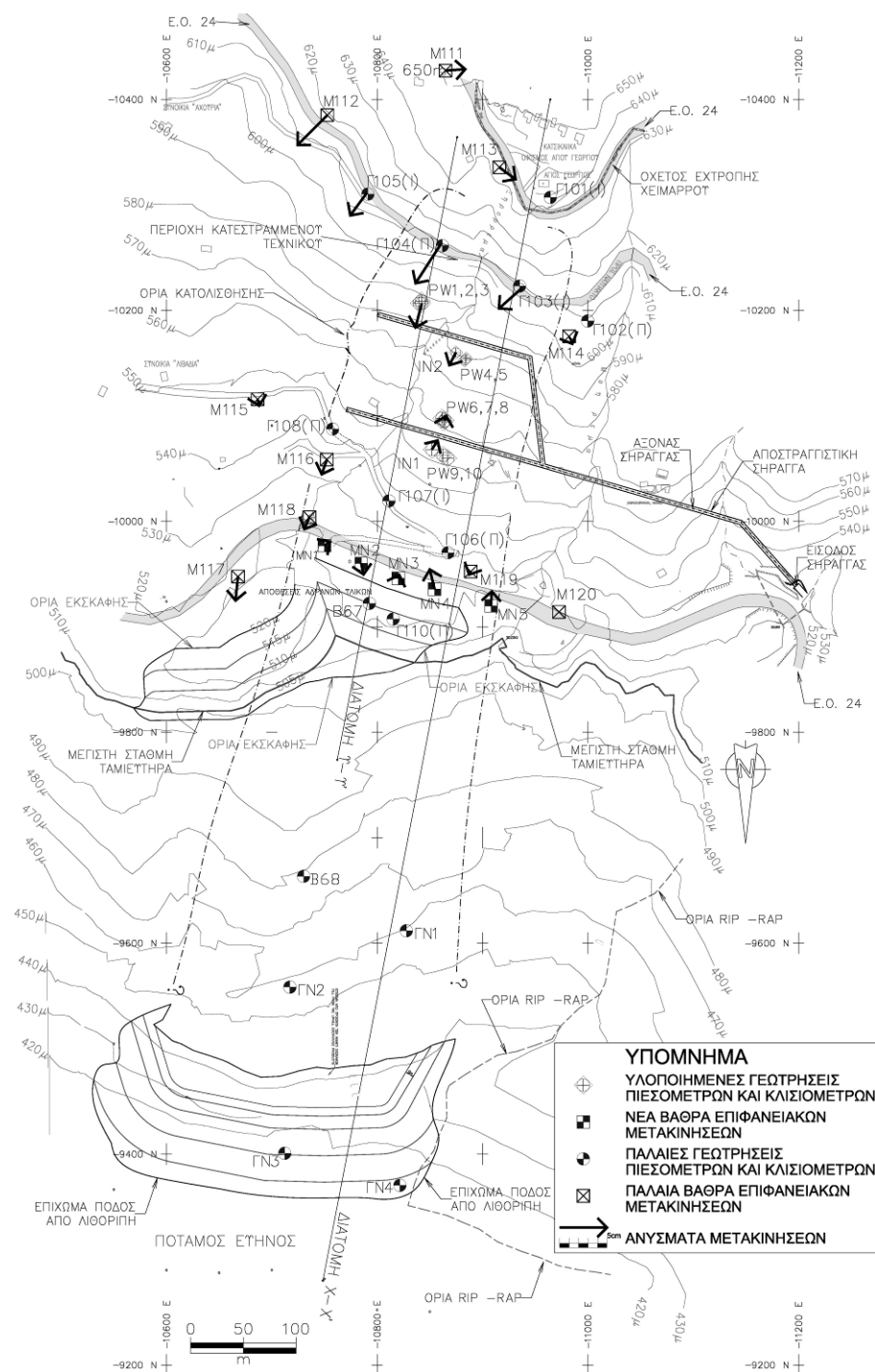
Διαπιστώθηκε μετά από έρευνες ότι το βάθος της κατολίσθησης ήταν 20 m περίπου στην κεντρική περιοχή κοντά στην επαφή του μανδύα του φλύσχη με τον υποκείμενο φλύσχη, ο οποίος στην περιοχή αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών με ιλυολίθους με κατά τόπους επικράτηση των ιλυολίθων. Η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα βρέθηκε πολύ υψηλά.

Κατάντη του πόδα της ολίσθησης υπάρχει ακόμη μεγαλύτερο πάχος μανδύα. Επίσης από την περιοχή της κοίτης αφαιρέθηκε σημαντικό πάχος αμμοχαλίκων, γεγονός που πιθανώς θα είχε αποσταθεροποιητική δράση. Τέλος η πλήρωση του ταμιευτήρα θα αποσταθεροποιούσε περαιτέρω την περιοχή.

Εκτιμήθηκε ότι η οποιαδήποτε περαιτέρω ενεργοποίηση θα γινόταν με αργούς ρυθμούς και δεν θα επηρέαζε τον ταμιευτήρα και τα έργα του φράγματος. Αποφασίστηκε όμως να κατασκευασθούν μέτρα σταθεροποίησης κυρίως για να αποτρέψουν προβλήματα αποκοπής της Επ.Ο. 24.

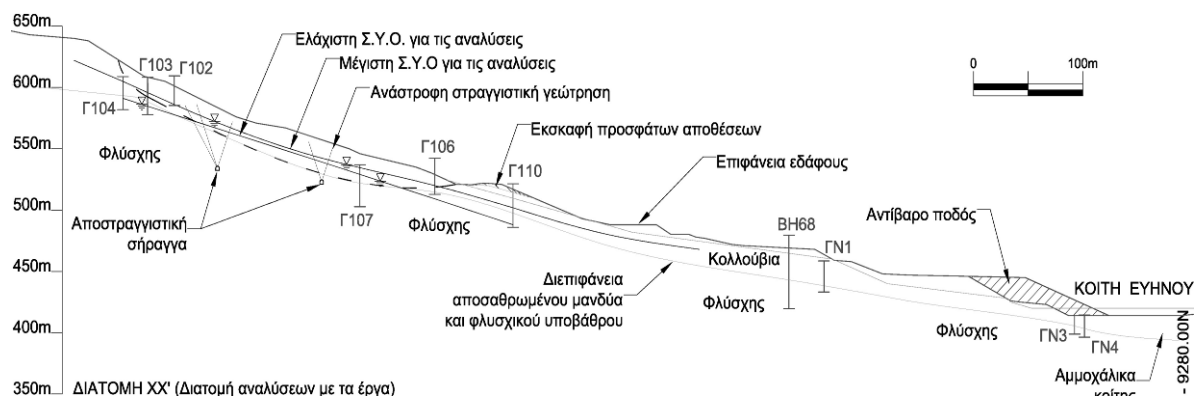
Τα μέτρα σταθεροποίησης περιελάμβαναν:

- Εκτροπή του χειμάρρου που διατρέχει την κατολίσθηση σε παρακείμενο χείμαρρο, που έγινε υψηλότερα από την κεφαλή της.
- Αποστραγγιστικές σήραγγες μήκους 700 m περίπου με ακτινικές αποστραγγιστικές γεωτρήσεις που βοηθούν τη στράγγιση της κατολίσθησης.
- Επίχωμα ποδός από προϊόντα εκσκαφών του φράγματος εδραζόμενο στο επίπεδο της κοίτης για να αποτρέψει γενικευμένη ολίσθηση του πρηνούς.



Σχήμα 6: Όρια κατολίσθησης της Επ.Ο. 24 και έργα αποκατάστασης

Τα έργα κατασκευάστηκαν το 2000-2001 και τοποθετήθηκε σειρά οργάνων παρακολούθησης (Σχ. 6 και 7). Η μελέτη, η κατασκευή και η συμπεριφορά της κατολίσθησης παρουσιάζονται στο {15}. Στην ασφαλτοστρωμένη Επ.Ο. 24 δεν έχουν παρουσιασθεί ενδείξεις μετακινήσεων. Η παρακολούθηση της κατολίσθησης μέχρι σήμερα δείχνει ότι οι μετακινήσεις είναι στα όρια του μετρητικού σφάλματος, η σήραγγα ανταποκρίνεται ταχέως στις βροχοπτώσεις και η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα παρουσιάζει ταπείνωση {15}.



Σχήμα 7: Διατομή XX' κατά μήκος της κατολίσθησης.

6 ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

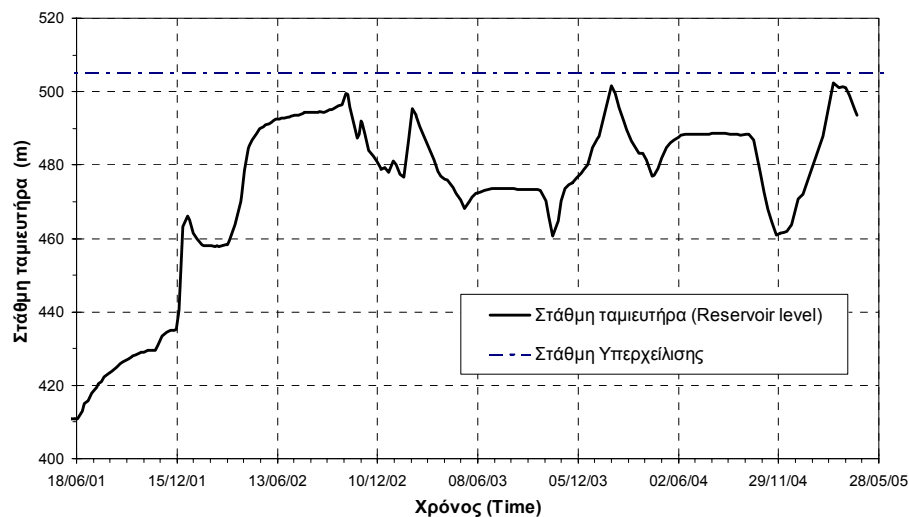
Τα έργα του φράγματος και της υδροληψίας, καθώς και τα μέτρα σταθεροποίησης των κατολισθήσεων ολοκληρώθηκαν την Άνοιξη του 2001. Ταυτόχρονα καταστρώθηκε και τέθηκε σε εφαρμογή ο σχεδιασμός των διαδικασιών πρώτης πλήρωσης και αντιμετώπισης εκτάκτων συνθηκών. Ο σχεδιασμός περιελάμβανε την τοποθέτηση υπευθύνων για την κατάκλυση, την λεπτομερή καταγραφή των διαδικασιών και των μεθόδων αντιμετώπισης αναμενόμενων αλλά και εκτάκτων συμβάντων και τέλος την οργάνωση συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και οργάνωσης της Πολιτικής Προστασίας, μετά και τα σενάρια πλημμύρας που προέβλεψε η μελέτη θραύσης του φράγματος.

Για το έργο εκκένωσης κατασκευάστηκε στη σήραγγα εκτροπής και κάτω από τον άξονα του φράγματος πώμα από σκυρόδεμα και τοποθετήθηκαν θυροφράγματα (θυρόφραγμα λειτουργίας και εφεδρικό). Ο εξοπλισμός των θυροφραγμάτων έχει εγκατασταθεί σε υπόγειο θάλαμο ο οποίος προσπελάζεται με σήραγγα.

Αμέσως μετά την τοποθέτηση των θυρών έμφραξης της εισόδου της σήραγγας εκτροπής τον Ιούλιο του 2001, κατασκευάστηκε πώμα από σκυρόδεμα στο ανάντη άκρο του υπαίθριου αγωγού και τοποθετήθηκαν μεταλλικές κοίλες δοκοί έμφραξης στις δύο εισόδους της υδροληψίας του εκκενωτή. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε το πώμα θυροφραγμάτων και τοποθετήθηκε ο εξοπλισμός. Επειδή κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης ο υπαίθριος αγωγός εκτροπής ήταν κενός ενώ είχε ανέλθει η στάθμη στον ταμιευτήρα, υπήρξε ιδιαίτερη μέριμνα για τον έλεγχο των εισροών. Μετά την ολοκλήρωση των θυροφραγμάτων ακολούθησε η ελεγχόμενη πλήρωση με νερό του ανάντη των θυροφραγμάτων τμήματος με ταυτόχρονη απαγωγή του αέρα. Για την διαδικασία αυτή είχαν προβλεφθεί αγωγοί εγκιβωτισμένοι στο σκυρόδεμα του έργου εκτροπής. Μετά την εξισορρόπηση της εσωτερικής υδροστατικής πίεσης στο έργο και αυτής στον ταμιευτήρα αφαιρέθηκαν οι κοίλοι δοκοί έμφραξης από τις εισόδους του εκκενωτή.

Η άνοδος της στάθμης μπορούσε μερικώς να ελεγχθεί μέσω της λειτουργίας της σήραγγας μεταφοράς Ευήνου – Μόρνου. Αυτό δεν απαιτήθηκε μέχρι το Δεκέμβριο του 2001, οπότε η στάθμη της λίμνης ανέβηκε εξαιρετικά απότομα.

Η διακύμανση της στάθμης της λίμνης τα πρώτα έτη λειτουργίας, η οποία εξαρτάται και από την λειτουργία της σήραγγας μεταφοράς, παρουσιάζεται στο Σχήμα 8. Τον Μάρτιο του 2006 η λίμνη υπερχείλισε για πρώτη φορά επί 20 ημέρες περίπου με μέγιστη εκτιμώμενη παροχή $110 \text{ m}^3/\text{sec}$ μετά από μια πολύ υγρή περίοδο. Στη Φωτογραφία 3 φαίνεται η εκτίναξη του νερού αριστερά (περίπου $100 \text{ m}^3/\text{sec}$) και ο πίδακας της οικολογικής παροχής στα δεξιά ($1 \text{ m}^3/\text{sec}$).



Σχήμα 8: Διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα.



Φωτογραφία 3: Λειτουργία υπερχειλιστή και οικολογικής παροχής.

7 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

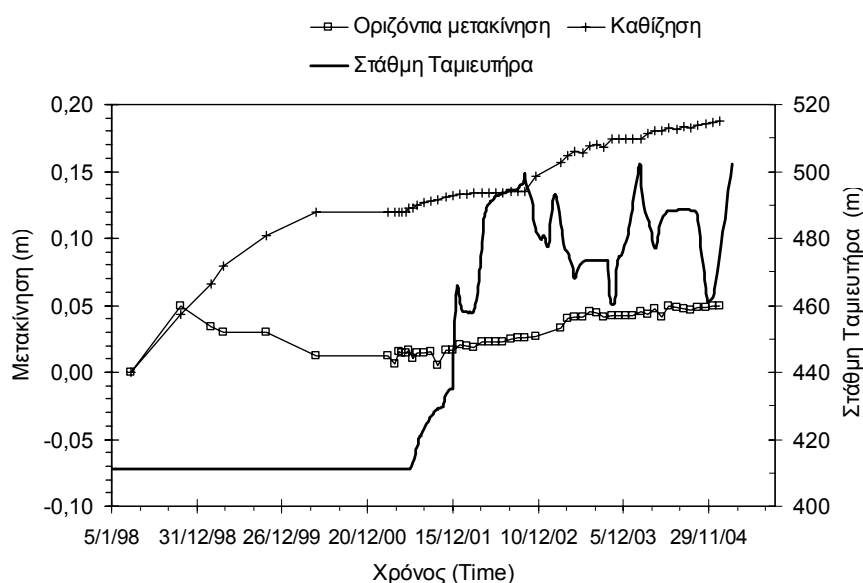
Η συμπεριφορά του φράγματος στα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του είναι αναμενόμενη και απολύτως ικανοποιητική.

Η ανάπτυξη τάσεων και παραμορφώσεων κατά την κατασκευή και λειτουργία παρουσιάζονται στα {4} και {16}. Στον πυρήνα αναπτύχθηκαν υψηλές πιέσεις πόρων κατά την κατασκευή, με εξαίρεση μια ξηρότερη ζώνη, οι οποίες ακολούθως παρουσίασαν μείωση λόγω στερεοποίησης. Η πίεση του ταμιευτήρα επηρεάζει κατά κανόνα τις πιέσεις πόρων με κάποιες περιοχές να δείχνουν άμεση απόκριση (κοντά στην ανάντη παρειά και κοντά στη θεμελίωση) και άλλες να επηρεάζονται λιγότερο.

Ο πυρήνας παρουσιάζει πολύ μικρή τάση ανίδωσης και οι μέσες ολικές τάσεις είναι πάντα υψηλότερες από την αντίστοιχη πίεση του ταμιευτήρα.

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις στη στέψη. Κατά την περίοδο ανάπαυσης μεταξύ 1997 και 2001 οι καθιζήσεις ήταν 12 cm περίπου με έντονα πτωτικό ρυθμό που λίγο πριν την κατάκλυση είχε ελαχιστοποιηθεί. Η πρώτη πλήρωση της λίμνης και η επακόλουθη έντονη διακύμανση της στάθμης επιτάχυνε προσωρινά τις καθιζήσεις αλλά λίγα χρόνια μετά ο ρυθμός των καθιζήσεων έχει μειωθεί. Με βάση την εμπειρία αλλά και αριθμητικές αναλύσεις σε άλλα φράγματα, {2}, εκτιμάται ότι η διακύμανση της στάθμης θα προσθέτει καθιζήσεις, οι οποίες όμως θα βαίνουν μειούμενες. Οι οριζόντιες μετακινήσεις στη στέψη είναι πολύ μικρές, συνήθως μόλις εκτός των μετρητικών σφαλμάτων και δείχνουν μια μικρή τάση πλευρικής εξάπλωσης.

Οι διηθήσεις δια των στραγγιστικών σιράγγων και των σιράγγων πρόσβασης προς τις σήραγγες τσιμεντενέσεων είναι μικρές και κατά κανόνα επηρεάζονται περισσότερο από τις βροχοπτώσεις και λιγότερο από τη στάθμη του ταμιευτήρα. Εξάιρεση αποτελεί ο χαμηλός κλάδος της στραγγιστικής σήραγγας της κατολίσθησης του 1993, η παροχή του οποίου αυξάνεται σημαντικά όταν η στάθμη της λίμνης υπερβεί το +495 m. Οι διηθήσεις αυτές δεν εμπνέουν καμιά ανησυχία για το φράγμα και οι απώλειες νερού είναι μηδαμινές.



Σχήμα 9: Μέγιστες μετακινήσεις στη στέψη μετά την κατασκευή

8 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κύριος για τη μελέτη και κατασκευή του φράγματος και της σήραγγας Ευήνου - Μόρνου ήταν το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.) με αρμόδια την Ειδική Υπηρεσία Οδικών Σιράγγων και Υπογείων Έργων (Ε.Υ.Δ.Ε./Ο.Σ.Υ.Ε.). Υπεύθυνοι για τον τελικό σχεδιασμό του φράγματος ήταν οι εταιρείες Γ. Καραβοκύρης και Συν/τες, ΟΤΜ και ΕΔΑΦΟΣ. Η κατασκευή του έργου έγινε από την Ελληνο – Ιταλο – Αυστριακή Κοινοπραξία, την οποία αποτελούσαν οι εταιρείες ΑΕΓΕΚ, ΜΕΤΩΝ, ΔΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ, SELI και JAEGER. Η κατασκευή των σταθεροποιητικών έργων των κατολισθήσεων έγινε από την Κ/Ξ ΑΕΓΕΚ – ΜΕΤΩΝ – ΤΕΡΝΑ. Η κατασκευή των Η/Μ εργασιών έγινε από την ΤΕΡΝΑ.

Το έργο παρέλαβε και παρακολουθεί από το 2003 η ΕΥΔΑΠ.

Ευχαριστούμε όλους για τη συνεργασία.

1. Dounias, G. T., Pantelidis, P.I., Marinos, P.G. and Vaughan P. R. 1996. Landslide reactivation in flysch colluvia at the Evinos dam site. Proceedings of the 7th international symposium on landslides, Trondheim, Vol. 2, pp. 1201-1206.
2. Dounias G. T., Potts, D.M. and Vaughan, P.R. 1996. Analysis of progressive failure and cracking in old British dam, *Geotechnique*, 46, No 4, 621-640
3. Dounias, G., Dede, V. & Vaughan, P. 2000. Use of river gravel for the core filter of Evinos dam. *Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering*, Wolski & Mlynarek (eds) – 2000 Balkema, pp. 297-304
4. Dounias, G. & Papageorgiou, E. 2001. Stresses and Strains in the Evinos dam. Greece, XVth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Istanbul, Vol. 1, pp. 401-404
5. Dounias, G., Vaughan, P. & Cavounidis, S. 2002. Making an impermeable clay core from a flysch mudrock. *Geotechnical and Geological Engineering Journal*, Vol. 20, No.1, pp 17-40
6. Grantori R., Jaeger M., Antonini F., Vigl L. 1995, Evinos-Mornos tunnel – Greece. Construction of a 30Km long hydraulic tunnel in less than three years under the most adverse geological conditions. Proceedings of RETC 1995, pp747-767
7. Marinos, P. G., Dounias, G. T. and Karavokyris, G. I. 1995. Flysch geological features and the design of Evinos dam. Greece, Proc. XI European Conf. Soil Mech. Found. Eng., Copenhagen, Vol. 7, pp 111-116.
8. May, R. W. P., Escameia, M. and Karavokyris I. 1995. Scaling the performance of aerators in a tunnel spillway. Proceedings of the 26th Congress of the International Association of Hydraulic Research, London, Vol. 1, pp. 444-449.
9. Μπακογιάννης, Ι. και Νικολάου, Δ. 2007. Η σήραγγα Ευήνου – Μόρνου. Ημερίδα: Νέες Εξελιγμένες Μέθοδοι Μηχανικής Διάνοιξης Σηράγγων, ΤΕΕ – ΕΕΣΥΕ - ΕΠΣ, 1 Φεβρουαρίου 2007, ΕΒΕΑ, Αθήνα
10. Ντουνιάς, Γ. Θ., Μαρίνος, Π., και Καραβοκύρης, Ι.Γ. 1997. Γεωτεχνικός σχεδιασμός φράγματος Ευήνου. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα, Τόμος 1, σελ. 363-370.
11. Ντουνιάς, Γ. & Παπαγεωργίου, Ε. 2001. Τα Υλικά Κατασκευής του Φράγματος Αγίου Δημητρίου Ευήνου. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Αθήνα, Τομ. 2, σελ. 529-536
12. Ντουνιάς, Γ.Θ., Παντελίδης, Π.Ι., Μαρίνος, Π.Γ. και Περγλέρος, Β. 1997. Υποστήριξη βαθιάς εκσκαφής με αγκυρώσεις - φράγμα Ευήνου. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα, Τομ. 1, σελ. 305-312
13. Ντουνιάς, Γ. & Φίκιρης, Ι. 2001. Τσιμεντενέσεις Στεγάνωσης στο Φράγμα Ευήνου. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Αθήνα, Τομ. 2, σελ. 537-544
14. Ντουνιάς, Γ., Δέδε, Β. 2006. Σταθεροποίηση με στραγγιστικές σήραγγες της κατολίσθησης '93 του ταμιευτήρα Ευήνου. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Τομ. 3 σελ. 35-42
15. Ντουνιάς, Γ., Μπελόκας, Γ., Μαρίνος, Π. 2006. Η κατολίσθηση στην Επαρχιακή Οδό Αγίου Δημητρίου – Αράχωβας, στη λεκάνη του ποταμού Ευήνου. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Τομ. 3 σελ. 43-50
16. Ντουνιάς, Γ. 2006. Η συμπεριφορά του αργλικού πυρήνα του Φράγματος Ευήνου. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Τομ. 3 σελ. 357-364
17. Τζιτζιρας, Α., Ρόζος, Ν., Νικολάου, Ν., Πογιατζή, Ε., Ματαράγκας, Δ., Τριανταφύλλου, Ε. και Αγγελόπουλος, Α. 1994. Γεωλογικές – Γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή του φράγματος Αγίου Δημητρίου Ευήνου. Γεωλογία και Φράγματα – Εμπειρίες από τον Ελληνικό χώρο, 1994, σελ. 151-167

The Evinos Dam – Design Construction and Operation

G. T. Dounias

Civil Engineer, Phd, EDAFOS S.A..

J. G. Karavokyris

Civil Engineer, Phd, G. KARAVOKYRIS & partners S.A..

D. Nikolaou

Civil Engineer, General Director, Ministry of Environment, Planning and Public Works

Key words: earth dam, landslides, spillway, impoundment

SUMMARY: The Evinos project includes a 126m high earth dam with a central clay core and a 29 km long water conveyance tunnel, linking the reservoir to the Mornos lake. The design and construction of the earth dam, the stabilization of two significant landslides on the left banks of the reservoir and the closure of the diversion tunnel and the first impoundment in 2001 are briefly presented. Finally, some information is provided on the behaviour of the dam during construction and operation.