

# Ολοκλήρωση και πρώτη πλήρωση του φράγματος Σμοκόβου

Ι. Γ. Καραβοκύρης

*Δρ. Πολ. Μηχανικός, Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Ε.*

Γ. Θ. Ντουνιάς

*Δρ. Πολ. Μηχανικός, ΕΛΑΦΟΣ Α.Ε.*

Δ. Νικολάου

*Πολιτικός Μηχανικός, Γενικός Διευθυντής ΥΠΕΧΩΔΕ*

Α. Καστούδης

*Πολιτικός και Τοπογράφος Μηχανικός*

Γ. Ανδριώτης

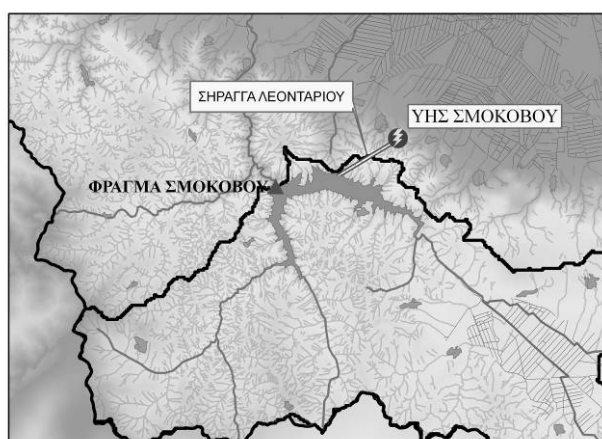
*Πολιτικός Μηχανικός*

*Λέξεις κλειδιά:* λιθόρριπτο, αργλικός πυρήνας, κατάκλυση, πλημμύρα σχεδιασμού

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Το έργο του Σμοκόβου περιλαμβάνει λιθόρριπτο φράγμα ύψους 109m με ελαφρά κεκλιμένο αργλικό πυρήνα, και σήραγγα μεταφοράς νερού προς το Λεοντάρι μήκους 5 km περίπου. Το ανάχωμα του φράγματος του Σμοκόβου στο Ν. Καρδίτσας ολοκληρώθηκε το 1995, αλλά το συνολικό έργο παρέμεινε ημιτελές μέχρι το 2000. Στη συνέχεια, με δύο νέες εργολαβίες, ολοκληρώθηκε η σήραγγα Λεονταρίου και το έργο εξόδου, και το 2002 έγινε η έμφραξη της σήραγγας εκτροπής και η πλήρωση του ταμιευτήρα. Παρουσιάζεται η ολοκλήρωση του έργου, ο σχεδιασμός της πρώτης πλήρωσής του και η συμπεριφορά του έργου κατά την πρώτη πλήρωση και την λειτουργία του. Αναθεώρηση της υδρολογίας υποδεικνύει σημαντικά χαμηλότερο δυναμικό.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Το έργο του Σμοκόβου περιλαμβάνει λιθόρριπτο φράγμα ύψους 109m με ελαφρά κεκλιμένο αργλικό πυρήνα, και σήραγγα μεταφοράς νερού προς το Λεοντάρι μήκους 5 χλμ περίπου. Η γενική διάταξη παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Γενική Διάταξη Έργων

Το φράγμα Σμοκόβου στον ποταμό Ονόχωνο, κλάδος του Σοφαδίτη, προτάθηκε από το Masterplan της Electrowat ήδη από το 1968. Η ίδια η Electrowat ολοκλήρωσε την Οριστική Μελέτη για το φράγμα το 1970.

Το 1983 το ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τη ΔΕΗ συνέταξαν νέα Οριστική Μελέτη για το φράγμα ενώ σύμπραξη μελετητικών γραφείων ολοκλήρωσε τη μελέτη της σήραγγας μεταφοράς νερού προς τα αρδευτικά δίκτυα (σήραγγα Λεονταρίου). Με βάση τις μελέτες αυτές δημοπρατήθηκε το έργο και ανετέθη το 1985, το μεν φράγμα-υπερχειλιστής κλπ στην Κ/Ξ Παντεχνική – ΤΕΓΚ-Σαραντόπουλος, η δε σήραγγα Λεονταρίου κλπ το 1990 στην Κ/Ξ Παντεχνική-ΤΕΓΚ. Η εργολαβίες έληξαν το 1996, χωρίς το έργο να έχει ολοκληρωθεί. Ωστόσο, είχαν ολοκληρωθεί όλα σχεδόν τα σημαντικά επιμέρους έργα του φράγματος (ανάχωμα, σήραγγα εκτροπής-εκκένωσης, σήραγγα προσπέλασης, υπερχειλιστής, σήραγγα στράγγισης αντερείσματος) και διανοιχθεί η σήραγγα μεταφοράς Λεονταρίου. Η ολοκλήρωση των έργων της σήραγγας μεταφοράς ανετέθη στη συνέχεια στην εταιρεία ΤΕΡΝΑ.

Προκειμένου να ολοκληρωθεί και τεθεί σε λειτουργία το έργο, το ΥΠΕΧΩΔΕ ανέθεσε το 2000 υπηρεσίες Τεχνικού Συμβούλου στη Κ/Ξ των γραφείων Knight Piesold, Γ. Καραβοκύρης και Συνεργάτες και ΕΔΑΦΟΣ.

Η ΕΥΔΕ/ΟΣΥΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τον Τεχνικό Σύμβουλο και το Συμβούλιο Εμπειρογνομόνων που συστάθηκε ειδικά, έλεγξε την υφιστάμενη κατάσταση στο Έργο και κατέγραψε και μελέτησε τις εργασίες που απαιτούνταν για την ολοκλήρωση των έργων και την κατάκλυση του ταμιευτήρα, ενσωματώνοντας αναβαθμίσεις στο σχεδιασμό, όπου αυτό ήταν αναγκαίο. Η ολοκλήρωση των έργων του φράγματος και των έργων εξόδου της σήραγγας Λεονταρίου, καθώς και η κατάκλυση του ταμιευτήρα έγινε με νέα εργολαβία που δημοπρατήθηκε το 2001 και τελικό ανάδοχο την «Κ/Ξ ΑΚΤΩΡ.-ΤΡΙΓΩΝΟΝ.». Η κατάκλυση του ταμιευτήρα άρχισε τον Ιούλιο του 2002.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν περιγράφεται συνοπτικά το Έργο, οι βασικοί έλεγχοι και η ολοκλήρωση και τροποποίηση των μελετών, οι διαδικασίες έμφραξης και πρώτης πλήρωσης, η συμπεριφορά του έργου και η επαναξιολόγηση της αναμενόμενης απόδοσής του.

## 2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το συνολικό Έργο περιλαμβάνει το Φράγμα Σμοκόβου και τον αντίστοιχο ταμιευτήρα, τη σήραγγα προσαγωγής Λεονταρίου και τα συναφή έργα καταστροφής ενέργειας – κεφαλής αρδευτικών δικτύων, σωληνωτούς αγωγούς μεταφοράς και αρδευτικά, αντιπλημμυρικά, αποχετευτικά και αποστραγγιστικά δίκτυα σε έκταση 100.000 στρ. στους Νομούς Καρδίτσας (64%), Φθιώτιδας (32%) και Λάρισας (4%).

Τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη του φράγματος συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Οριζοντιογραφία και τυπική διατομή παρουσιάζονται στα Σχήματα 2 και 3.

Η μεταφορά του αρδευτικού νερού από τον ταμιευτήρα προς τα έργα κεφαλής των δικτύων γίνεται μέσω της σήραγγας Λεονταρίου η οποία έχει μήκος 4200 m περίπου και διατομή πεταλοειδή διαμέτρου 3,00m. Στο ανάντη άκρο της σήραγγας έχουν τοποθετηθεί 2 θυροφράγματα διακοπής της ροής (ασφαλείας και ελέγχου) διαστάσεων 2,00×3,00 m. Η λειτουργία των θυροφραγμάτων γίνεται μέσα από φρέαρ ύψους 63m και διαμέτρου 6,00m

Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, ο έλεγχος της ροής γίνεται από τα κατάντη είτε από τον ΥΗΕ σταθμό τον οποίο κατασκεύασε η ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε. είτε, σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας του, από τρεις δικλείδες κοίλης φλέβας οι οποίες εκτοξεύουν τη ροή σε λεκάνη με ειδική διάταξη για την καταστροφή της ενέργειας του νερού. Για την προστασία της σήραγγας από πλήγματα έχει κατασκευασθεί φρέαρ ανάπαλσης ύψους 87m και διαμέτρου 8,00m.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά μεγέθη φράγματος

Τύπος Φράγματος	Λιθόρριπτο με αδιαπέρατο πυρήνα
Κλίσεις πρηνών ανάντη	1:1.8, 1:2.5 (με αναβαθμό)
Κλίσεις πρηνών κατόντη	1:1.8
Υψόμετρο στέγης φράγματος	+382 m
Μέγιστο ύψος από την θεμελίωση	109 m
Μήκος στέγης	460 m
Πλάτος στέγης	11 m
Όγκος φράγματος	3.5 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Υψόμετρο στέγης υπερχειλιστή	+375 m
Πλάτος / μήκος υπερχειλιστή	8.0 m x 250 m
Μέγιστη πλημ. εισροή ταμειυτήρα	2.071 m <sup>3</sup> /s
Μέγιστη παροχευετικότητα υπερχειλιστή	200 m <sup>3</sup> /s
Μέγιστη παροχή εκκένωσης	170 m <sup>3</sup> /s
Επιφάνεια Λεκάνης απορροής	380 km <sup>2</sup>
Ολική χωρητικότητα ταμειυτήρα	240 εκ. m <sup>3</sup>
Μήκος σήραγγας εκτροπής	617 m
Εσωτερική διάμετρος επένδυσης	5,0 m
Τύπος διατομής	πεταλοειδής
Είδος επένδυσης	οπλισμένο σκυρόδεμα
Μήκος κεκλιμένης σήραγγας εκκενωτή	40 m
Εσωτερική διάμετρος σήραγγας εκκενωτή	4,0 m
Διαστάσεις θαλάμου θυροφραγμάτων εκκένωσης	Μήκος 10,50 m x Πλάτος 6,0 m x Ύψος 10,50 m
Διαστάσεις θυροφραγμάτων εκκένωσης	Πλάτος 2,0 m x Ύψος 2,50 m
Βαλβίδες περιβαλλοντικής παροχής	2 x Ø 300
Μήκος σήραγγας προσπέλασης θαλάμου θυροφραγμάτων	220 m
Διαστάσεις σήραγγας προσπέλασης θαλάμου θυροφραγμάτων	Πλάτος 4,0 m x Ύψος 4,0 m
Τύπος διατομής	πεταλοειδής

### 3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

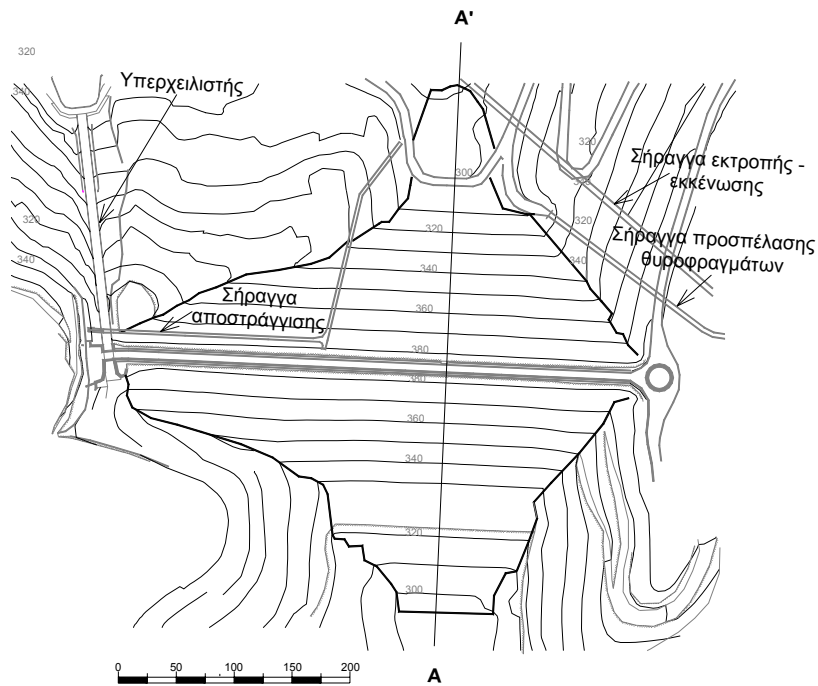
#### 3.1 Γενικά

Όπως φαίνεται και στο κεφ. 1, χαρακτηριστικό του έργου είναι ο πολύ μεγάλος χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ της μελέτης και της έναρξης κατασκευής και της ολοκλήρωσής του. Δύο κύρια ζητήματα απασχόλησαν τους συντελεστές του Έργου:

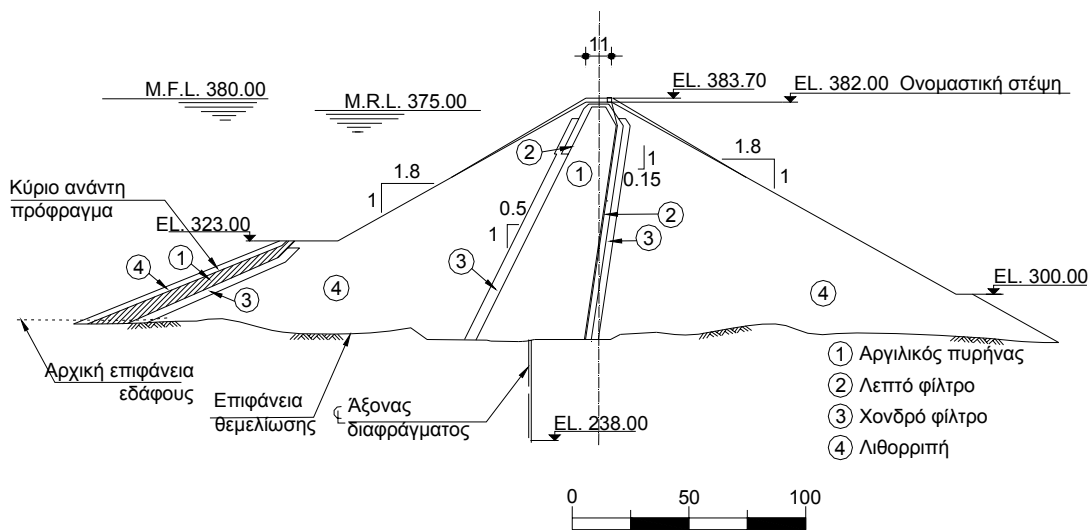
- Η συμπεριφορά του αναχώματος του φράγματος κατά την κατάκλυση λόγω της μακροχρόνιας παραμονής του εν ξηρώ.
- Οι αλλαγές στα αποδεκτά κριτήρια σχεδιασμού και ιδιαίτερα σε ότι αφορά την ασφάλεια του έργου από πλημμύρες

#### 3.2 Ανάχωμα φράγματος και έργα ελέγχου διηθήσεων

Το φράγμα είναι κατασκευασμένο επί οφιολίθων (περιδοτίτες) και αποτελείται από τέσσερις κύριες ζώνες (Σχ. 3). Ο πυρήνας (Ζώνη 1) κατασκευάστηκε από αργιλοαμμώδεις αλουβιακές αποθέσεις μέσης έως χαμηλής πλαστικότητας της λεκάνης κατάκλυσης. Το λεπτό φίλτρο (Ζώνη 2) και το χονδρό φίλτρο (Ζώνη 3) κατασκευάστηκαν με κοσκίνισμα και θραύση των αμμοχαλίκων της κοίτης. Τα σώματα στήριξης (Ζώνη 4) κατασκευάστηκαν από λιθορριπή χρησιμοποιώντας τους οφιολίθους (περιδοτίτες) που αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Έχει ευρεία κοκκομετρική διαβάθμιση και πληρωμένη δομή.



Σχήμα 2. Οριζοντιογραφία φράγματος Σμοκόβου



Σχήμα 3. Κεντρική διατομή φράγματος Σμοκόβου (A – A')

Στο φράγμα και τη θεμελίωσή του τοποθετήθηκε σύστημα ενόργανης παρακολούθησης, {3}, που περιλαμβάνει ηλεκτρικά πιεσομετρικά κύτταρα δονούμενης χορδής, φρέατα παρατήρησης της στάθμης των υπογείων υδάτων, γραμμικά μηκυσιόμετρα, στήλες μέτρησης πλευρικής και κατακόρυφης μετακίνησης, κλισιόμετρα, βάρη ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων και επιταχυνσιογράφους.

Κατά την επαναξιολόγηση του έργου εξετάστηκαν τα στοιχεία του ποιοτικού ελέγχου που διεξάχθηκε κατά την κατασκευή. Διαπιστώθηκε ότι ο πυρήνας είχε κατασκευασθεί με σχετικά χαμηλή υγρασία, γεγονός που υποδεικνύονταν κυρίως από την ελάχιστη ανάπτυξη πύσεων πόρων κατά την κατασκευή. Η λιθορριπή των σωμάτων στήριξης παρουσιάζονταν με πολύ καλή συμπίκνωση.

Οι περισσότερες στήλες οργάνων στο ανάχωμα είχαν αχρηστευθεί και δεν ήταν δυνατή η μέτρηση εσωτερικών καθιζήσεων και πλευρικών αποκλίσεων. Οι καθιζήσεις στη στέψη ήταν χαμηλές με τάση ελαχιστοποίησης του ρυθμού τους. Δεν παρουσιάζονταν σημεία μετακινήσεων στην ασφαλτοστρωμένη στέψη.

Οι στάθμες στα φρέατα παρατήρησης ήταν εύλογες με δεδομένες τις γεωλογικές συνθήκες. Η σήραγγα στράγγισης του αριστερού αντερείσματος παρουσίαζε πολύ μικρές διηθήσεις εξαρτώμενες από τις βροχοπτώσεις.

Προβληματισμός δημιουργήθηκε σχετικά με τυχόν υπερβολικές καθιζήσεις του αναχώματος κατά την πλήρωση οφειλόμενες στην χαμηλή υγρασία του πυρήνα και στη φύση του υλικού των σωμάτων στήριξης (περιδοτίτης). Η Υπηρεσία και ο Τ.Σ. μετά από αξιολόγηση όλων των δεδομένων συμπεράναν ότι ο κίνδυνος αυτός ήταν πολύ μικρός.

Επίσης, προβληματισμός για τυχόν ανάπτυξη υψηλών υδραυλικών κλίσεων υπό τον πυρήνα δημιουργήθηκε λόγω της γειτονίας της σήραγγας αποστράγγισης του αριστερού αντερείσματος με τον πυρήνα του φράγματος. Υπό ορισμένες δυσμενείς συνθήκες αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει εσωτερική διάβρωση. Αποφασίστηκε να καθαρισθούν οι αποστραγγιστικές γεωτρήσεις που είχαν διανοιχθεί προς τα κατόντη δια της σήραγγας και να τοποθετηθούν πιεσόμετρα εντός γεωτρήσεων προς τα ανάντη. Επίσης κατασκευάστηκε διάταξη μέτρησης των συνολικών διηθήσεων δια της σήραγγας αποστράγγισης.

Τέλος, θεωρήθηκε ιδιαίτερα σημαντικό να κατασκευασθεί διάταξη συλλογής και μέτρησης των συνολικών διηθήσεων δια του φράγματος και της θεμελίωσης, λίγο κατόντη του πόδα του φράγματος. Η διάταξη αυτή αποτελεί ίσως το σημαντικότερο «όργανο» για την παρακολούθηση του φράγματος και την έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση διαρροών.

### *3.3 Έργα απαγωγής πλημμύρας*

Με βάση τη μελέτη, το ελεύθερο ύψος του φράγματος και τα έργα απαγωγής πλημμύρας είχαν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί για να αντιμετωπίσουν 24ωρο πλημμυρικό γεγονός περιόδου επαναφοράς 5.000 ετών. Επιπλέον, η παροχή σχεδιασμού του υπερχειλιστή ήταν 200 m<sup>3</sup>/s ενώ η αιχμή του υδρογραφήματος εισροής της πλημμύρας 5.000 ετών ήταν 2071 m<sup>3</sup>/s. Στηριζόταν, δηλαδή, ο σχεδιασμός των έργων σε μεγάλο βαθμό στη διόδευση του υδρογραφήματος στον ταμιευτήρα.

Αποφασίστηκε ότι έπρεπε να ελεγχθεί η συμπεριφορά των έργων σε πλημμύρα περιόδου επαναφοράς 10.000 ετών καθώς και στην Πιθανή Μέγιστη Πλημμύρα (PMF) ώστε να κριθεί η σκοπιμότητα αναβάθμισής τους.

Αναλύθηκαν στατιστικά οι μετρήσεις βροχόπτωσης των γειτονικών με τη λεκάνη απορροής σταθμών και καταρτίστηκε μαθηματικό ομοίωμα βροχής απορροής βασισμένο στην εμπειρική καμπύλη απωλειών SCS και το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα τύπου Snyder. Οι υπολογισμοί επαναλήφθηκαν με ένα εύρος τιμών της καμπύλης απωλειών και του χρόνου αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος, ώστε να ληφθεί υπόψη η ευαισθησία του τελικού αποτελέσματος στην επιλογή των τιμών των παραμέτρων αυτών. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι λόγω της πολύ μεγάλης σημασίας της διόδευσης της πλημμύρας στον ταμιευτήρα, ήταν απαραίτητο να εξετασθεί πλημμυρικό γεγονός 72 και όχι 24 ωρών.

Τα συμπεράσματα του ελέγχου ήσαν ότι:

- Ο κατασκευασμένος υπερχειλιστής σε συνδυασμό με την ονομαστική στάθμη της στέψης του φράγματος επαρκούσαν οριακά για τη διόδευση της πλημμύρας περιόδου επαναφοράς 10.000 ετών, χωρίς, όμως, κανένα περιθώριο για κυματισμό.
- Για τη διόδευση της Πιθανής Μέγιστης Πλημμύρας θα απαιτείτο υπερύψωση του φράγματος κατά 4,50 μέτρα (περιλαμβανομένης και της γέφυρας πρόσβασης της στέψης), καθώς και υπερύψωση των πλευρικών τοιχωμάτων και τροποποίηση κάποιων γεωμετρικών στοιχείων της διώρυγας φυγής.

Αποφασίσθηκε να επιλεγεί η πλημμύρα περιόδου επαναφοράς 10.000 ετών σαν κριτήριο σχεδιασμού και να εξασφαλισθεί το απαραίτητο ύψος για την αντιμετώπιση του κυματισμού.

Προκειμένου να εξασφαλισθεί η απαιτούμενη υπερύψωση, που υπολογίσθηκε σε 1,30 m από την ονομαστική στάθμη της στέψης για ταχύτητα ανέμου ίση με 20m/s, σχεδιάσθηκε και κατασκευάσθηκε τοίχιο στη στέψη του φράγματος. Ο σχεδιασμός του τοιχίου ολοκληρώθηκε μετά την κατάκλυση .

#### 4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΜΦΡΑΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ

Η κατάκλυση και πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα αποτελούν μία από τις κρίσιμότερες περιόδους στο σύνολο των ετών λειτουργίας τους. Η έμφραξη της σήραγγας εκτροπής, με την οποία ξεκινά και η φάση κατάκλυσης, αποτελεί για τα περισσότερα έργα «σημείο χωρίς επιστροφή» και συνεπώς η απόφαση για την έμφραξη αλλά και όλοι οι έλεγχοι που προηγούνται έχουν πολύ μεγάλη σημασία. Ο σχεδιασμός του έργου προέβλεπε την ολοκλήρωση κατασκευαστικών φάσεων κρίσιμων για την ασφάλεια μετά την έμφραξη και αφού είχε ξεκινήσει η πλήρωση του ταμιευτήρα. Σημαντικότερες ήσαν η κατασκευή των πωμάτων και η εγκατάσταση των θυροφραγμάτων εκκένωσης. Στη χρονική περίοδο μεταξύ της έμφραξης και της θέσης των θυροφραγμάτων σε λειτουργία, η στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα δεν θα ήταν ουσιαστικά δυνατόν να ελεγχθεί.

Για να αντεπεξέλθουν οι παράγοντες του έργου στις απαιτήσεις της προετοιμασίας και της εκτέλεσης της κατάκλυσης συστάθηκε Επιτροπή Κατάκλυσης στην οποία μετείχαν εκπρόσωποι της Υπηρεσίας, του Αναδόχου και του Τεχνικού Συμβούλου ενώ απόψεις και κατευθύνσεις παρείχε και το Συμβούλιο Εμπειρογνομώνων.

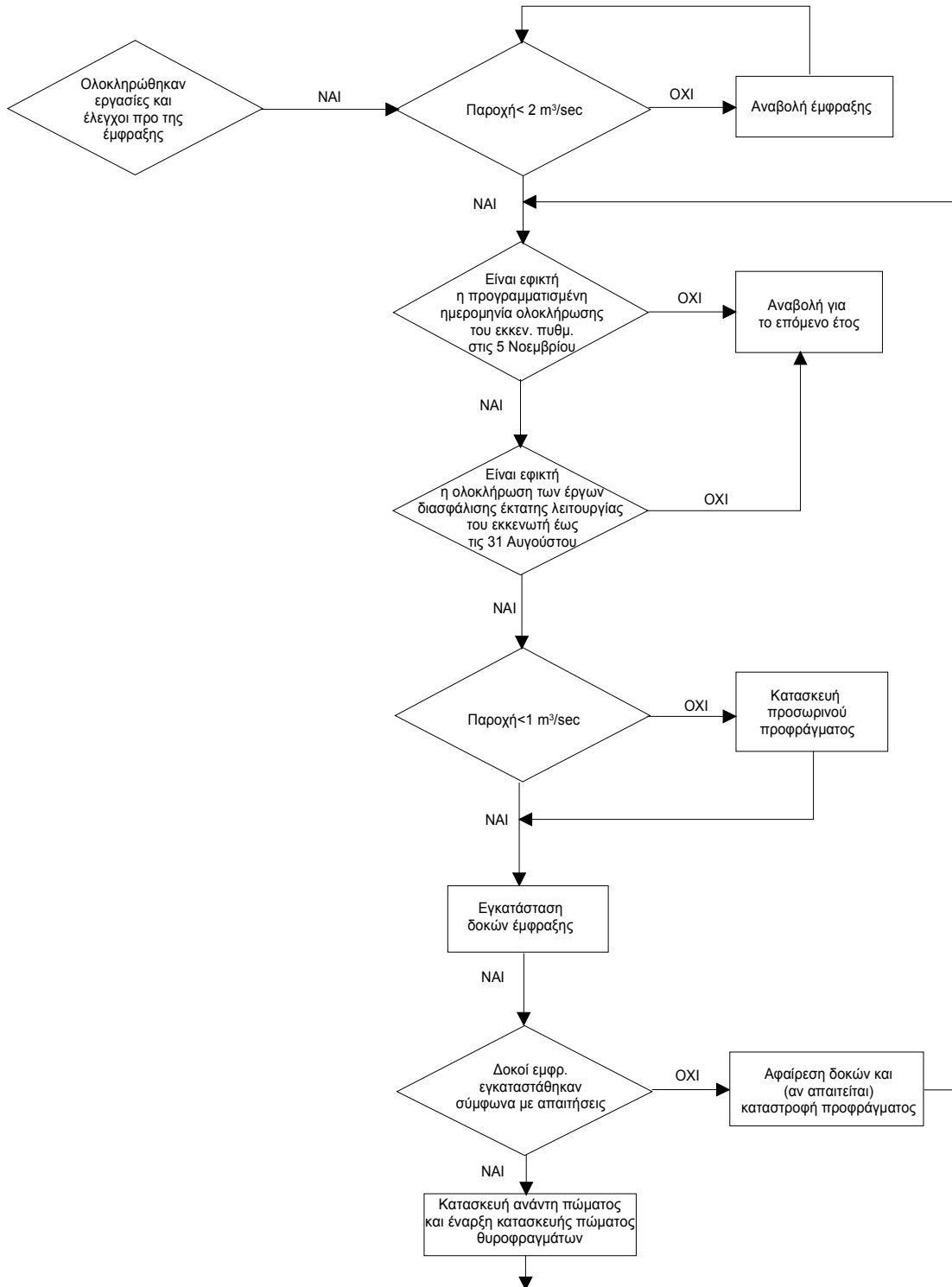
Προκειμένου να εντοπισθούν κρίσιμες ημερομηνίες και στάθμες για τη λήψη κρίσιμων αποφάσεων έγιναν προσομοιώσεις της πλήρωσης του ταμιευτήρα με δεδομένα παλαιότερων ετών. Στα Σχήματα 4α και 4β δίδονται τα «διαγράμματα ροής», όπου συνοψίζονται οι κρίσιμες φάσεις και αποφάσεις κατά την περίοδο της κατάκλυσης.

#### 5 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

##### 5.1 Πιέσεις πόρων

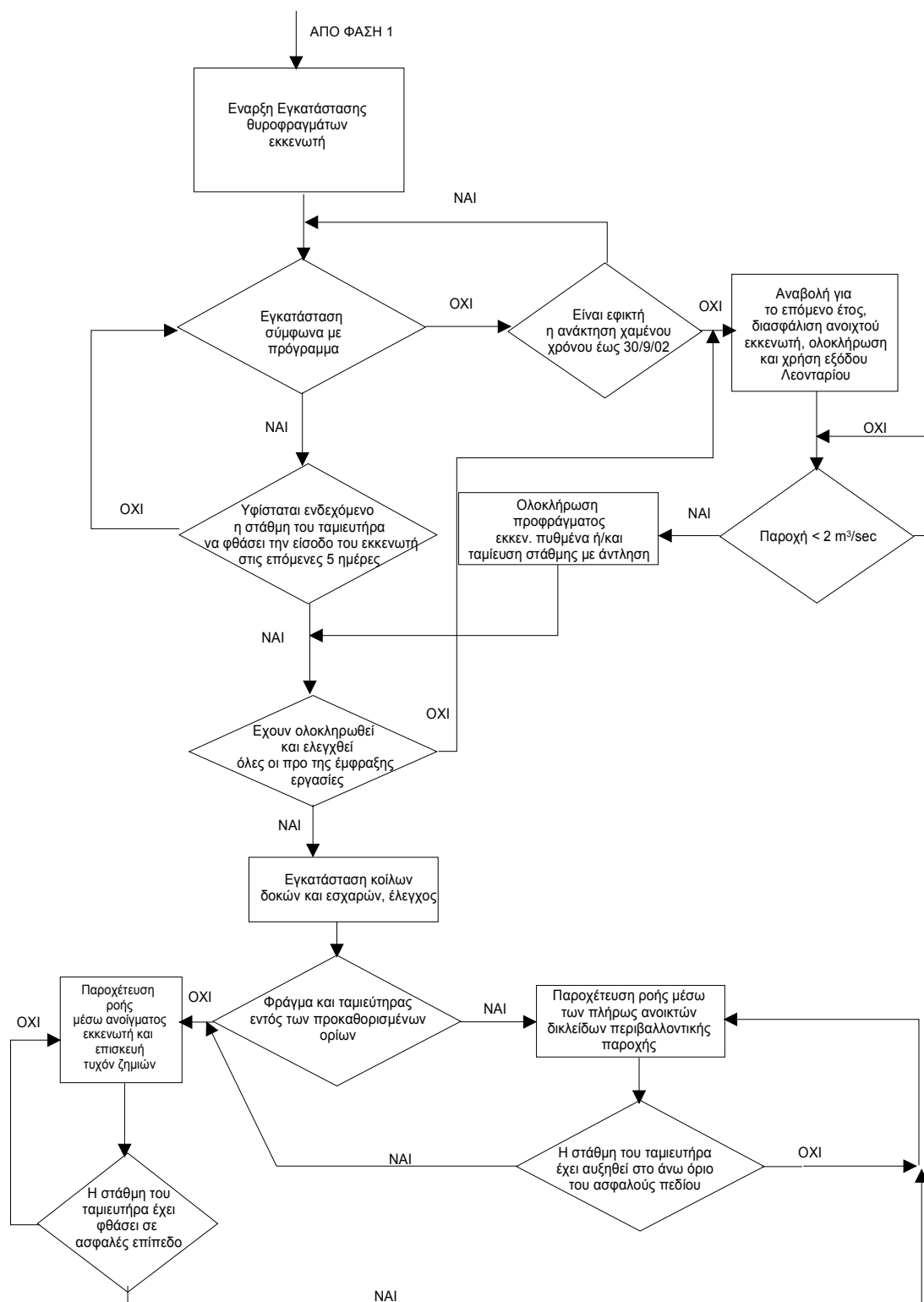
Τα πιεσόμετρα στον πυρήνα έδειξαν διαφορετική απόκριση ανάλογα με τη θέση τους και το ύψος υπερκειμένων. Αμέσως μετά την τοποθέτηση έδειξαν μηδενικές ή αρνητικές πιέσεις πόρων (μύζηση/ suction). Κατά την πρόοδο της κατασκευής και μέχρι ονομαστική πίεση υπερκειμένων ( $\gamma \cdot h$ ) 1500 kN/m<sup>2</sup> περίπου δεν αναπτύχθηκαν πιέσεις πόρων. Αυτό οφείλεται πιθανότατα σε πολύ χαμηλό βαθμό κορεσμού κατά την διάστρωση του πυρήνα, δεδομένου ότι η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού και τα όρια Atterberg υποδεικνύουν υψηλότερο συντελεστή πιέσεων πόρων B {4}. Από πίεση υπερκειμένων 1500 kN/m<sup>2</sup> και άνω περίπου αναπτύχθηκαν θετικές πιέσεις πόρων μέχρι το πέρας της κατασκευής. Μετά παρατηρήθηκε αργή μείωση των πιέσεων πόρων που οφειλόταν στη στερεοποίηση του πυρήνα. Ο ρυθμός μείωσης ήταν μικρός, γεγονός που υποδεικνύει χαμηλή υδροπερατότητα.

ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΣΜΟΚΟΒΟΥ  
ΦΑΣΗ 1



Σχήμα 4α. Διάγραμμα ροής κατάκλυσης φράγματος Σμοκόβου, Φάση 1

ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΣΜΟΚΟΒΟΥ  
ΦΑΣΗ 2



Σχήμα 4β. Διάγραμμα ροής κατάκλυσης φράγματος Σμοκόβου, Φάση 2



Για χρονικό διάστημα τεσσάρων μηνών περίπου από την έναρξη της κατάκλυσης δεν παρατηρήθηκε άνοδος πιέσεων στον πυρήνα. Μετά το πρώτο αυτό διάστημα τα πιεσόμετρα της κατώτερης στοιβάδας, που βρίσκονται πολύ κοντά στην επιφάνεια θεμελίωσης, έδειξαν προοδευτικά άνοδο. Τα πιεσόμετρα των ανώτερων στοιβάδων επηρεάστηκε πολύ λίγο. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται στην κατώτερη στοιβάδα είναι συμβατές με την ανάπτυξη του μακροχρόνιου δικτύου ροής. Οι σημαντικά μειωμένες πιέσεις στα πιεσόμετρα μετά την κουρτίνα τσιμεντέσεων υποδεικνύουν επαρκή στεγανότητα.

Τα πιεσόμετρα της θεμελίωσης αποκρίθηκαν άμεσα στην πίεση του ταμιευτήρα και καταγράφουν πιέσεις που αντιστοιχούν σε πιεζομετρική στάθμη 20 με 30 m χαμηλότερη από αυτή του ταμιευτήρα. Παρότι οι συνθήκες δεν είναι ομοιόμορφες, έλεγχοι στις πιέσεις της θεμελίωσης δείχνουν συμβατότητα με το αναμενόμενο δίκτυο ροής.

Οι πιέσεις των ηλεκτρικών πιεσομέτρων της σήραγγας αποστράγγισης είναι χαμηλές και δεν επηρεάστηκαν από των μεταβολή στη στάθμη του ταμιευτήρα κατά την πλήρωση. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι συνολικές εκροές της σήραγγας επηρεάζονται από τη στάθμη του ταμιευτήρα, υποδεικνύει ότι η στραγγιστική σήραγγα μειώνει επαρκώς τις πιέσεις και δεν απαιτείται περαιτέρω διάνοιξη στραγγιστικών οπών.

Η στάθμη των ανοιχτών πιεσομέτρων των αντρεϊσμάτων και του κατάντη πόδα παρουσιάζει έντονη ετήσια διακύμανση λόγω των βροχοπτώσεων ενώ δεν υπάρχει καμιά ένδειξη επηρεασμού τους από τον ταμιευτήρα. Για παράδειγμα αναφέρονται τα PW1 (βάθος 26 έως 46 m), PW15 (βάθος 14 έως 42 m) και PW11 (βάθος 3 έως 20 m).

## 5.2 Παραμορφώσεις

Τα γραμμικά μηκυνσιόμετρα έδειξαν μικρές εφελκυστικές παραμορφώσεις κατά την κατασκευή του φράγματος και κατά τα επόμενα 5 έτη. Οι τελευταίες μετρήσεις πριν την έναρξη της κατάκλυσης έδειχναν τάση σταθεροποίησης των εσωτερικών εφελκυστικών παραμορφώσεων.

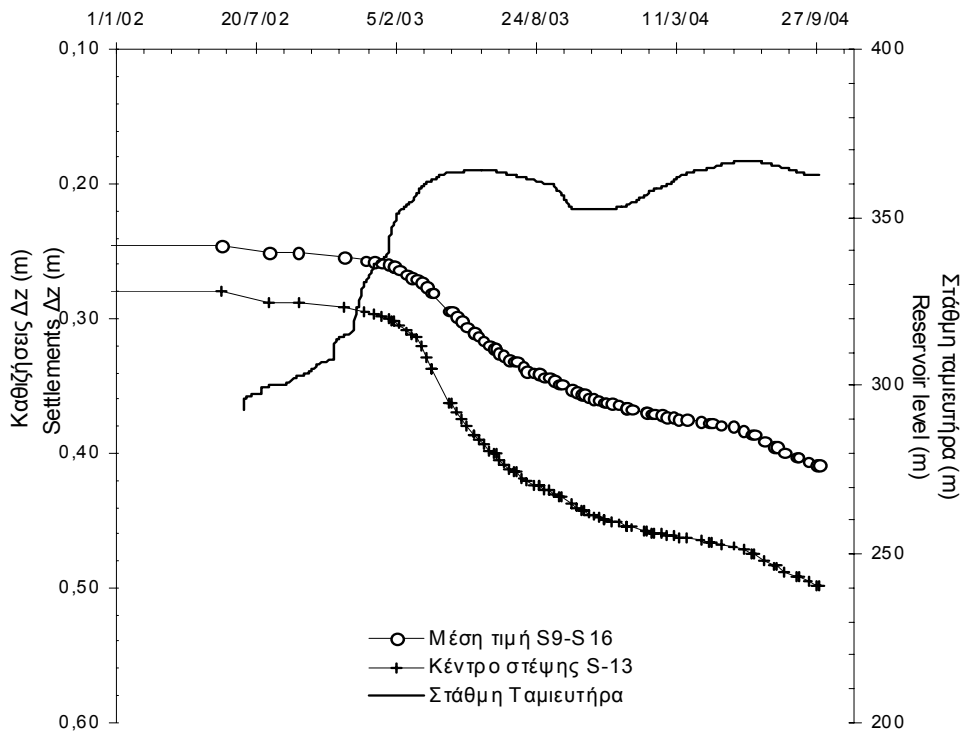
Τα πρώτα δύο έτη πλήρωσης του ταμιευτήρα (2003 & 2004) κάποια μηκυνσιόμετρα έδειξαν αύξηση των εφελκυστικών παραμορφώσεων κατά 0.08% περίπου. Συνεχίζεται μια πολύ μικρή αλλά επιβραδυνόμενη αύξηση των παραμορφώσεων, συμβατή και με τις γενικότερες παραμορφώσεις του φράγματος.

Οι μάρτυρες επιφανειακών μετακινήσεων έδειξαν, μετά το πέρας της κατασκευής, καθίζηση στη στέψη και πλευρική εξάπλωση εγκάρσια προς τον άξονα. Η μέγιστη καθίζηση στη στέψη του φράγματος μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής ήταν 0.28 m. Όσον αφορά την πλευρική εξάπλωση, η κατάντη παρειά του φράγματος κινήθηκε προς τα κατάντη με μέγιστη μετακίνηση 0.07m. Η ανάντη παρειά κοντά στη στέψη παρουσίασε μικρή πλευρική μετακίνηση με κάποια βάθρα να δείχνουν μικρή κίνηση προς τα κατάντη και άλλα βάθρα να τείνουν προς τα ανάντη.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η εξέλιξη των καθιζήσεων στη στέψη. Από την έναρξη της πλήρωσης του ταμιευτήρα (Ιούλιος 2002) έως τα τέλη Οκτωβρίου 2004 η μέγιστη καθίζηση στη στέψη ήταν 22 cm. Η μέγιστη συνολική καθίζηση στη στέψη από το πέρας της κατασκευής μέχρι τα τέλη Οκτωβρίου 2004 ήταν 50cm. Οι καθιζήσεις στη στέψη παρουσίασαν αρχικά σημαντική επιτάχυνση κατά την άνοδο της στάθμης του ταμιευτήρα. Η μέγιστη επιτάχυνση παρατηρήθηκε στις 7/3/2003 όταν η στάθμη του ταμιευτήρα ήταν στο +357.08 και διάρκεσε μέχρι τα τέλη περίπου του Απριλίου 2003. Στη συνέχεια, η στάθμη διατηρήθηκε περίπου σταθερή επί μακρόν και οι καθιζήσεις επιβραδύνθηκαν. Μια νέα επιτάχυνση παρατηρήθηκε την Άνοιξη του 2004. Οι καθιζήσεις συνεχίζονται αργά με μια ελαφρά τάση επιβράδυνσης. Οι μέγιστες καθιζήσεις ήταν περίπου 10 cm για το διάστημα 07/2002 έως 07/2003 και περίπου 5 cm για το διάστημα 07/2003 έως 07/2004. Το μέγεθος των καθιζήσεων και ο ρυθμός δεν είναι ανησυχητικά.

Η καθίζηση που έχει ήδη συμβεί μετά την κατασκευή είναι το 0.5% του συνολικού ύψους του φράγματος, τιμή αποδεκτή για τον τύπο του φράγματος {2}. Η υπερύψωση που έχει κατασκευασθεί για την αντιμετώπιση των καθιζήσεων είναι 2 m (2% του ύψους).

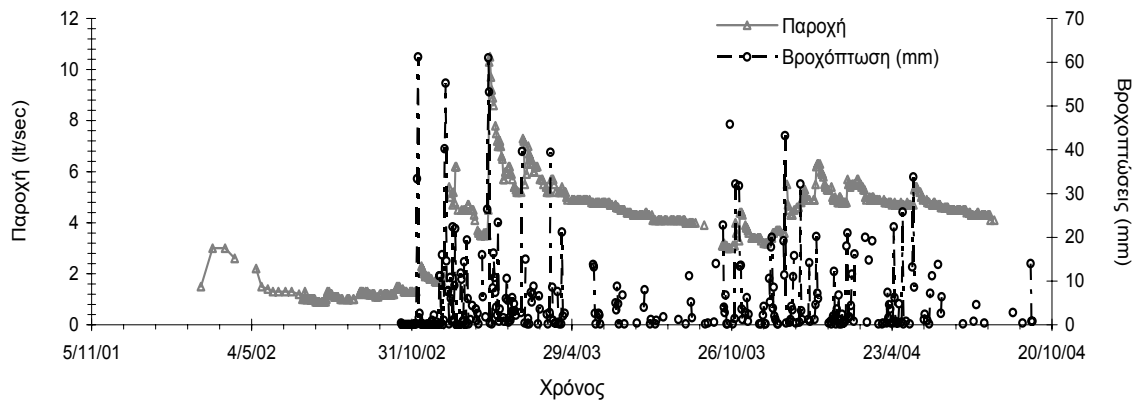
Οι καθιζήσεις αναμένεται να συνεχισθούν, με μειωμένο ρυθμό, καθ' όλη τη ζωή του έργου.



Σχήμα 5. Χρονική εξέλιξη καθιζήσεων στέψης

### 5.3 Διηθήσεις

Η βασική παροχή του 2003 και 2004, που μετράται στη διάταξη του κατάντη πόδα, έχει αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με την αντίστοιχη παροχή του 2002, ως συνέπεια της πλήρωσης του ταμιευτήρα. Η παροχή του Οκτωβρίου του 2003 ήταν 3.2 lt/sec ενώ του Οκτωβρίου του 2002 ήταν 1.3 lt/sec περίπου. Η παροχή παρουσιάζει διακύμανση ανάλογα με τις βροχοπτώσεις, δεδομένου ότι στη διάταξη μέτρησης καταλήγουν και τα στραγγίσματα των αντερεισμάτων (Σχ. 6). Οι παροχές που μετρήθηκαν θεωρούνται απολύτως ικανοποιητικές και μάλλον μικρές για το μέγεθος του φράγματος.



Σχήμα 6. Μετρήσεις διηθήσεων στον κατάντη πόδα του φράγματος Σμοκόβου

Η βασική παροχή της στραγγιστικής σήραγγας του αριστερού αντερείσματος για το 2003 και 2004 έχει αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με την αντίστοιχη παροχή του 2002, ως συνέπεια της πλήρωσης του ταμιευτήρα. Η παροχή του Οκτωβρίου του 2003 ήταν 2.5 lt/sec ενώ του Οκτωβρίου του 2002 ήταν 0.5 lt/sec περίπου. Η παροχή παρουσιάζει διακύμανση ανάλογα με τις βροχοπτώσεις. Οι παροχές που μετρήθηκαν θεωρούνται εύλογες για το μέγεθος του φράγματος.

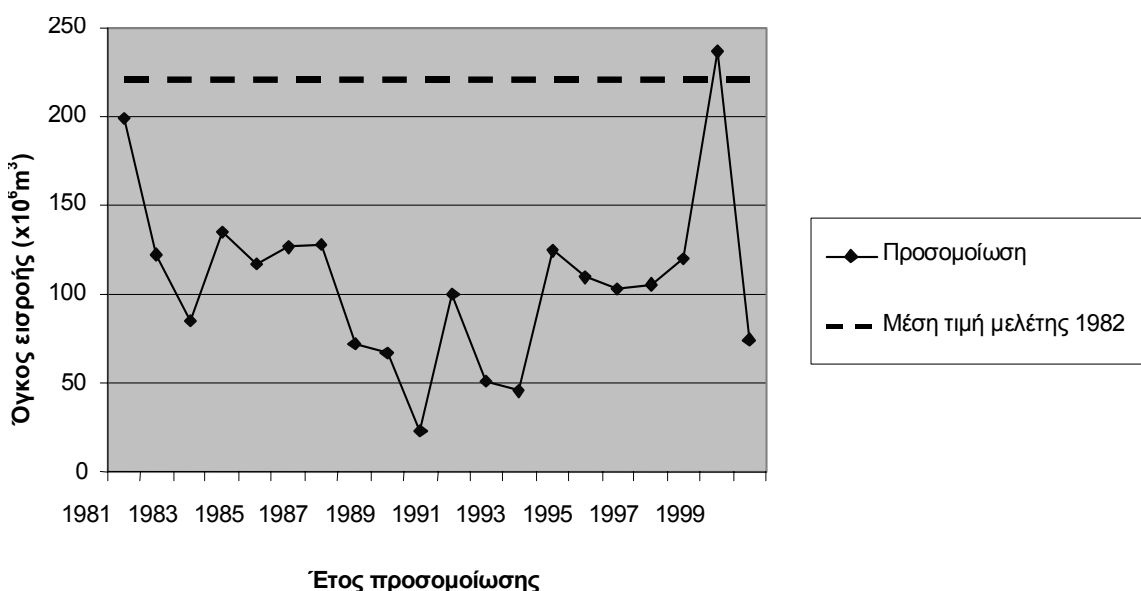
#### 5.4 Δοκιμαστική λειτουργία εκκενωτή

Ο εκκενωτής πυθμένα δοκιμάστηκε σε κανονική λειτουργία με παροχές έως 17m<sup>3</sup>/s περίπου και για διάστημα συνεχούς λειτουργίας 30 ημερών. Οι έλεγχοι δεν έδειξαν προβλήματα καταπόνησης του θυροφράγματος και της χαλύβδινης επένδυσης στις περιοχές υψηλής ταχύτητας.

## 6 ΕΠΑΝΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Σύμφωνα με τη μελέτη της ELECTROWATT (1970) η μέση ετήσια εισροή στον ταμιευτήρα του Σμοκόβου είχε εκτιμηθεί σε 180 περίπου εκατ. κυβ. μ. με δυνατότητα ετήσιας απόληψης για άρδευση 130x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Σύμφωνα με τη μελέτη που εκπόνησε το ΥΠΔΕ, με τη συνδρομή της ΔΕΗ, το 1983 και με βάση την οποία κατασκευάστηκε το έργο, η μέση ετήσια εισροή εκτιμήθηκε ίση με 220x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> περίπου. Η μελέτη της ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗΣ (2001) για το ΥΠΕΧΩΔΕ κατέληξε σε εκτίμηση 160 έως 174 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ανά έτος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μόνες διαθέσιμες σχετικά αξιόπιστες μετρήσεις παροχών, πριν από την κατάκλυση του ταμιευτήρα, είχαν γίνει από το ΥΠΔΕ στο χωριό Κέδρος μεταξύ 1960 και 1972.

Για τις ανάγκες της «Διαχειριστικής Μελέτης Υδατικών Πόρων Λεκάνης Απορροής π. Πηνειού» που εκπόνησε για το ΥΠΕΧΩΔΕ το γραφείο Γ. Καραβοκύρης και Συνεργάτες, επανεκτιμήθηκαν τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα λαμβάνοντας υπόψη και τις χρονοσειρές εισροών που προέκυψαν από το ισοζύγιο του ταμιευτήρα μετά την έναρξη της κατάκλυσης. Βαθμονομήθηκε ένα κατανομημένο μοντέλο βροχής-απορροής και επανεκτιμήθηκαν οι εισροές στον ταμιευτήρα με βάση της βροχοπτώσεις της περιόδου 1980-2000, η οποία περιλαμβάνει και την άνομβρη περίοδο περί το 1989. Η μέση ετήσια εισροή στον ταμιευτήρα για την περίοδο αυτή εκτιμήθηκε ίση με 110x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> περίπου, κατά πολύ μικρότερη από τις παλαιότερες εκτιμήσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. Προσομοίωση εισροών στον ταμιευτήρα

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ανάχωμα του φράγματος Σμοκόβου ολοκληρώθηκε αρκετά έτη πριν από το σύνολο των συναφών έργων. Η παραμονή του αυτή σε ξηρές συνθήκες οδήγησε σε αυξημένα μέτρα για παρακολούθηση της συμπεριφοράς του κατά την πρώτη πλήρωση και ετοιμότητα για αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.

Λόγω του μεγάλου χρονικού διαστήματος μεταξύ της μελέτης του έργου και της κατάκλυσης (σχεδόν 20 έτη) υπήρξαν αλλαγές σε ορισμένες παραδοχές ασφαλείας οι οποίες αντιμετωπίστηκαν με ορισμένες προσαρμογές της μελέτης.

Η σύνθετη διαχείριση της κρίσιμης περιόδου έμφραξης – κατάκλυσης – πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα αντιμετωπίστηκε με επιτυχία από τη διοικητική δομή που συστάθηκε (Επιτροπή Κατάκλυσης) και τη συμβατική προσέγγιση που επελέγη (Ανάδοχος Κατάκλυσης).

Η συμπεριφορά του αναχώματος και των επιμέρους έργων και εξοπλισμού έχει αποδειχθεί ικανοποιητική. Η στάθμη της λίμνης στα πρώτα έτη λειτουργίας παραμένει χαμηλή.

Η κατάρτιση νέου μαθηματικού ομοιώματος βροχής-απορροής και η βαθμονόμησή του με νέα στοιχεία έχει οδηγήσει σε αναθεώρηση προς τα κάτω των εκτιμήσεων για το υδατικό δυναμικό της λεκάνης του φράγματος.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bishop, A. W. and Henkel, D. J. (1962), "The measurement of soil properties in the Triaxial Test", Edward Arnold Ltd., London, 2nd Edition.
2. Kjærnsli, B., Valstad, T. and Hoeg, K. (1992), "Rockfill Dams - Design and Construction", Norwegian Institute of Technology, Division of Hydraulic Engineering.
3. Ντουνιάς, Γ., Δέδε, Β., Ντάλης, Δ., Καστούδης, Α. (2006), " Η Συμπεριφορά του Φράγματος Σμοκόβου", 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Τομ. 3 σελ. 365-372
4. Skempton, A. W. (1954), "The pore pressure coefficient A and B", Geotechnique, Vol.4, p.143-147.

# The completion and first impoundment of the Smokovo dam

J. G. Karavokyris

*Civil Engineer, Phd, G. KARAVOKYRIS & PARTNERS S.A..*

G. T. Dounias

*Civil Engineer, Phd, EDAFOS S.A..*

D. Nikolaou

*Civil Engineer, General Director of the Ministry for the Environment, Planning and Public Works.*

A. Kastoudis

*Civil and Surveying Engineer*

G. Andriotis

*Civil Engineer*

*Key words: rockfill, clay core, impounding, design flood*

**SUMMARY:** The Smokovo project in the Karditsa prefecture includes a 109 high rockfill dam, with a slightly inclined upstream clay core, and a 5 km long water transport tunnel to Leontari. The embankment of the dam was completed in 1995 but the project remained unfinished till 2000. Then, with two new contracts, the Leontari tunnel and the tunnel exit works were completed. The dam was impounded in July 2002. The completion of the works, the design of the first impounding and the behaviour of the dam during fist filling and operation are presented. A revision of the hydrology, made possible with the new data, indicates a considerably lower potential.