

# Τσιμεντενέσεις Στεγάνωσης στο Φράγμα Ευήνου

## Sealing Grouting at Evinos Dam

ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Γ.Θ.  
ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι. Φ.

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.  
Πολιτικός Μηχανικός MSc, DIC, ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Για την αποτελεσματική μείωση της διαπερατότητας στη βραχώμαζα θεμελίωσης του πυρήνα του φράγματος Ευήνου εφαρμόστηκε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα τσιμεντενέσεων. Το πρόγραμμα αυτό συνίστατο από τσιμεντενέσεις κουρτίνας και τάπητα. Παρουσιάζεται η μελέτη και η διαδικασία εκτέλεσης των τσιμεντενέσεων (διάταξη οπών, αναλογίες ενέματος, εφαρμοσθείσες πιέσεις, κριτήρια σφράγισης) καθώς και η μέθοδος αξιολόγησής τους. Κατά μήκος του άξονα του φράγματος επιτεύχθηκε τελικά ικανοποιητική σφράγιση μετά την εκτέλεση των αρχικά προβλεφθέντων τσιμεντενέσεων, ενώ σε ορισμένες θέσεις μετά και την εκτέλεση τσιμεντενέσεων πύκνωσης.

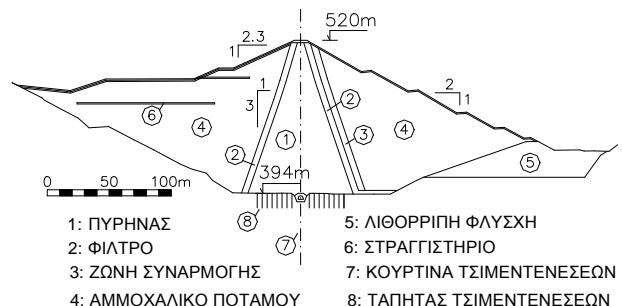
**ABSTRACT :** Extensive grouting works involving curtain grouting and consolidation grouting were carried out, beneath the core foundation of Evinos dam, in order to reduce the permeability of the rockmass. The paper presents the design issues, the construction procedure (layout of grout injected boreholes, grout ratio, applied pressures, sealing criteria) as well as the method of their evaluation. After the execution of the initial specified grouting works, acceptable tightness was attained, along the dam's axis. However, in a few isolated areas the sealing criteria were met after the execution of additional split spacing.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

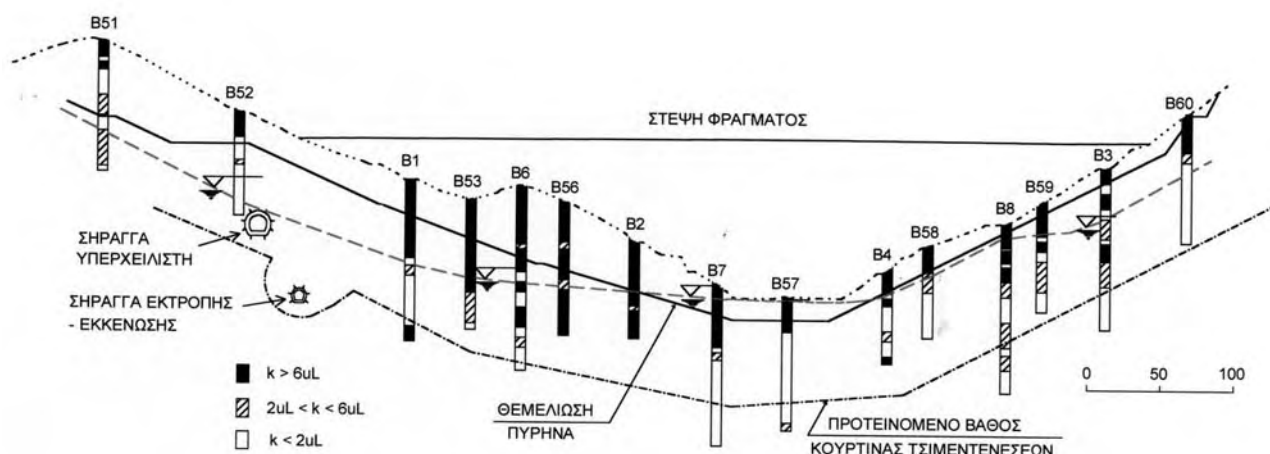
Το φράγμα Ευήνου στον Αγ. Δημήτριο Ναυπακτίας αποτελεί τμήμα των έργων εκτροπής μέρους της ροής του ποταμού Ευήνου προς τον ταμιευτήρα του Μόρνου για την ενίσχυση της ύδρευσης του λεκανοπεδίου της Αττικής. Σήμερα η κατασκευή του φράγματος έχει σχεδόν ολοκληρωθεί και η πλήρωση του ταμιευτήρα του προγραμματίζεται για τα τέλη του έτους 2001.

Το 126m ύψους χωμάτινο φράγμα αποτελείται από κεντρικό πυρήνα κατασκευασμένο από την αργιλική φάση του φλύσχη της περιοχής (πηλίτες), ανάντη και κατόντη μεταβατικές ζώνες φίλτρων και σώματα στήριξης από αμμοχάλικα ποταμού και λιθορριπή (Σχήμα 1). Το σώμα του φράγματος εδράζεται στο φλυσχικό υπόβαθρο της ζώνης Πίνδου, που συνίσταται κυρίως από ψαμμίτες σε εναλλαγές με ιλυολίθους και πηλίτες. Οι σχηματισμοί αυτοί εξαιτίας

της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας στην περιοχή παρουσιάζονται με ποικίλο βαθμό πτύχωσης και ρηγμάτωσης. Πληροφορίες για τις επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή του έργου αλλά και για το γεωτεχνικό σχεδιασμό του φράγματος παρουσιάζονται από τους Marinou, et. al. (1997) και Ντουνιάς, κ.α. (1997).



Σχήμα 1. Διατομή του φράγματος Ευήνου  
Figure 1. Section of Evinos dam.



Σχήμα 2. Στοιχεία περατότητας κατά μήκος του άξονα του φράγματος Ευήνου (Marinos et. al.1997)  
Figure 2. Longitudinal section of Evinos dam, with permeability data.

Δεδομένης της μεγάλης σημασίας της διαπερατότητας της θεμελίωσης για την ασφάλεια του φράγματος, πραγματοποιήθηκαν κατά τη φάση των γεωερευνητικών εργασιών υπαίθρου και επί του άξονα του φράγματος επιτόπου δοκιμές Lugeon (Σχήμα 2). Από τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών εξήχθη ότι εντός της βραχώδους θεμελίωσης υφίστανται ζώνες υψηλής διαπερατότητας οι οποίες απαιτούν βελτίωση (Marinos et. al. 1997).

Αποφασίσθηκε έτσι η κατασκευή τσιμεντένεσων στεγάνωσης τόσο κατά μήκος του άξονα του φράγματος (τσιμεντένεσες κουρτίνας), όσο και στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής θεμελίωσης του αργιλικού πυρήνα (τσιμεντένεσες τάπητα). Οι εργασίες εκτέλεσης των τσιμεντένεσων, ο αριθμός των οποίων ξεπέρασε τις 1000 στην κουρτίνα και τις 2800 στον τάπητα, ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του 1995 και ολοκληρώθηκαν το Νοέμβριο του 2000.

### 3. ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ

Η εκτέλεση των τσιμεντένεσων κουρτίνας, που αφορούσε την εισπίεση ενέματος εντός γεωτρήσεων κατά μήκος του άξονα του φράγματος βάθους έως 70m, πραγματοποιήθηκε από τη στοά τσιμεντένεσων, στον πυθμένα της κοιλάδας και το αριστερό αντέρεισμα, ενώ στο δεξιό αντέρεισμα από την επιφάνεια θεμελίωσης και από τρεις ειδικά κατασκευασμένες σήραγγες (Σχήματα 3, 4). Στόχος αυτών των τσιμεντένεσων ήταν η κατασκευή ενός κατακόρυφου διαφράγματος πολύ μειωμένης υδροπερατότητας κάτω από τον πυρήνα του φράγματος.

Επίσης, σε μια ζώνη βάθους 12m κατά μήκος του άξονα του φράγματος και πλάτους που κάλυπτε σχεδόν τα 2/3 της βάσης του πυρήνα

εκτελέσθηκαν από την επιφάνεια θεμελίωσης, στο κεντρικό τμήμα του πυρήνα, και μετά την κατασκευή 10m ύψους πυρήνα, στα αντερείσματα, τσιμεντένεσες τάπητα (Σχήμα 3).

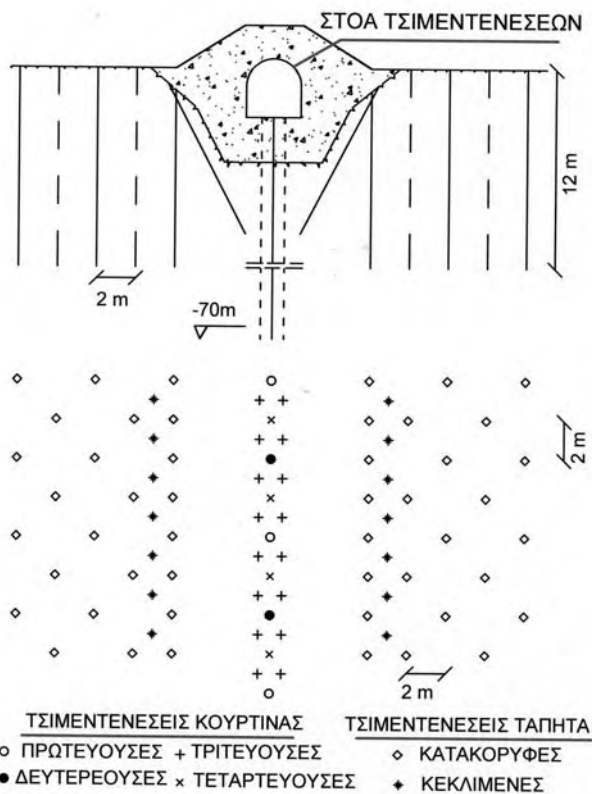
### 4. ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΙΣ ΚΟΥΡΤΙΝΑΣ

#### 4.1 Διαδικασία κατασκευής

Η κατασκευή της κουρτίνας πραγματοποιήθηκε με διαδοχική πύκνωση των τσιμεντένεσων. Αρχικά εκτελέσθηκαν επί του άξονα, ανά 8m "πρωτεύουσες" τσιμεντένεσες Α και κατόπιν "δευτερεύουσες" Β στα μεσοδιαστήματα. Οι πρωτεύουσες και δευτερεύουσες τσιμεντένεσες εκτελέσθηκαν στο πλήρες βάθος των 70m. Αναλόγως των απορροφήσεων και της ικανοποίησης των κριτηρίων σφράγισης, εκτελέσθηκαν δύο τριτεύουσες τσιμεντένεσες, ανά την  $C_u$  και κατόπιν  $C_d$  του άξονα και μια τεταρτεύουσα τσιμεντένεση D σύμφωνα με την διάταξη που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.

Η διάμετρος των γεωτρήσεων από τις οποίες εισπίεσθηκε το ένεμα ήταν 76 και 85 mm. Προ της εισπίεσης ενέματος, που πραγματοποιήθηκε σε ανιόντα βήματα των 3m με χρήση ενός πνευματικού packer (αζώτου) μήκους 0.70m, οι γεωτρήσεις διανοίγονταν στο πλήρες βάθος τους και εκπλύονταν με νερό. Χρησιμοποιήθηκαν περιστροφικά και κρουστικο-περιστροφικά γεωτρήματα.

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των τσιμεντένεσων και για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους, ανά δεύτερη πρωτεύουσα και τεταρτεύουσα γεώτρηση, κάθε 16m και 8m δηλαδή αντίστοιχα, εκτελέσθηκαν δοκιμές υδροπερατότητας (Lugeon). Οι δοκιμές έγιναν σε ανιόντα βήματα των 5m και οι πιέσεις που εφαρμόστηκαν ήταν τέτοιες ώστε να αποφευ-



Σχήμα 3. Διάταξη τσιμεντενέσεων  
Figure 3. Layout of grouting works.

χθεί η υδραυλική θραύση της βραχώμαζας. Η μέγιστη πίεση που εφαρμόστηκε έφτασε τα 16bar.

Μετά το πέρας εκτέλεσης των κατακόρυφων τσιμεντενέσεων κουρτίνας εκτελέστηκαν ανά 30m περίπου κεκλιμένες (45°) γεωτρήσεις ελέγχου (E). Οι γεωτρήσεις ελέγχου ήταν δειγματοληπτικές στις οποίες εκτελέστηκαν δοκιμές υδροπερατότητας (Lugeon) και κατόπιν εισπίεση ενέματος.

#### 4.2 Αναλογίες ενέματος

Χρησιμοποιήθηκαν σταθερά ενέματα σύμφωνα με τις απόψεις των Deere & Lombardi (1985). Η αναλογία εκτέλεσης των κατακόρυφων τσιμεντενέσεων A, B, C, D και των κεκλιμένων τσιμεντενέσεων ελέγχου E ήταν νερό : τσιμέντο 2:1 κατά βάρος, με 5% μπεντονίτη κατά βάρος τσιμέντου. Σε ορισμένες πρωτεύουσες όμως στις οποίες η απορρόφηση υπερέβαινε τα 200 lt ενέματος ανά μέτρο μήκους οπής για μία ώρα εισπίεσης τότε το μίγμα διαφοροποιούνταν σε αναλογίας 1:1 κατά βάρος με 2.5% μπεντονίτη κατά βάρος τσιμέντου. Εφόσον κατά τη διάρκεια της επόμενης ώρας στις πρωτεύουσες αυτές, η απορρόφηση υπερέβαινε το 1m<sup>3</sup> ενέματος ανά μέτρο μήκους οπής η τσιμε-

ντένεση διεκόπτετο και νέες οπές διανοίγονταν και εισπιέζονταν στην γειτονική περιοχή.

Σε ορισμένες θέσεις όπου απαιτήθηκε η πύκνωση των τσιμεντενέσεων, πέραν από τις τεταρτεύουσες, χρησιμοποιήθηκε στις πεμπτεύουσες (F) από την αρχή παχύτερο μίγμα αναλογίας νερό:τσιμέντο 1:1 κατά βάρος, με 1.25% μπετονίτη κατά βάρος τσιμέντου και στις εξεύουσες (G) ένεμα αναλογίας νερού: τσιμέντου 0.8:1.

#### 4.3 Εφαρμοσθείσες πιέσεις

Οι εφαρμοσθείσες πιέσεις κατά την εισπίεση του ενέματος ήταν τέτοιες ώστε να αποφευχθεί η υδραυλική θραύση της βραχώμαζας. Έτσι η μέγιστη εφαρμοσθείσα πίεση που κυμάνθηκε από 0.5 έως 16 bar, υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη το βάθος του εισπιεζόμενου τμήματος, τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και την πίεση των υπερκείμενων.

#### 4.5 Κριτήρια σφράγισης βραχώμαζας

Για τον έλεγχο της επίτευξης ικανοποιητικής στεγάνωσης υιοθετήθηκαν κριτήρια σφράγισης που αφορούσαν τόσο τις αποδεκτές ποσότητες απορρόφησης ενέματος σε κάθε στάδιο εισπίεσης, όσο και το αποδεκτό όριο της διαπερατότητας μετά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων. Ακολουθήθηκαν σε γενικές γραμμές οι προτάσεις των Fell et. al (1992).

Εφόσον στις πρωτεύουσες και στις δευτερεύουσες οπές η απορρόφηση ενέματος σε κάθε στάδιο εισπίεσης ήταν μικρότερη από 25lt/m, ο βράχος θεωρείτο πρακτικώς μη επιδεχόμενος τσιμεντενέσεις και έτσι οι τριτεύουσες δεν εκτελέστηκαν. Εάν σε κάποιο στάδιο όμως των πρωτεύουσών ή των δευτερευουσών η απορρόφηση υπερέβαινε τα 25lt/m οι τριτεύουσες εισπιέζονταν έως το πλήρες βάθος των 70 m.

Ο έλεγχος επάρκειας της κουρτίνας έγινε μέσω των απορροφήσεων ενέματος και των αποτελεσμάτων των δοκιμών υδροπερατότητας (Lugeon) στις τεταρτεύουσες γεωτρήσεις D καθώς και στις κεκλιμένες γεωτρήσεις ελέγχου E. Τα κριτήρια λοιπόν που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της κουρτίνας ήταν:

- Στις τεταρτεύουσες γεωτρήσεις και στις γεωτρήσεις ελέγχου απορρόφηση ενέματος, σε κάθε εισπιεζόμενο τμήμα της οπής μήκους 3m, μικρότερη από 50Kg τσιμέντου ανά μέτρο (περίπου δηλαδή 110lt/m για αναλογία ενέματος νερό:τσιμέντο 2:1).

- Στις τεταρτεύουσες γεωτρήσεις και στις γεωτρήσεις ελέγχου σε κάθε δοκιμαζόμενο τμήμα της οπής μήκους 5m, τιμή του ισοδύναμου συντελεστή διαπερατότητας  $k$  μικρότερη από  $5 \times 10^{-5}$  cm/sec.

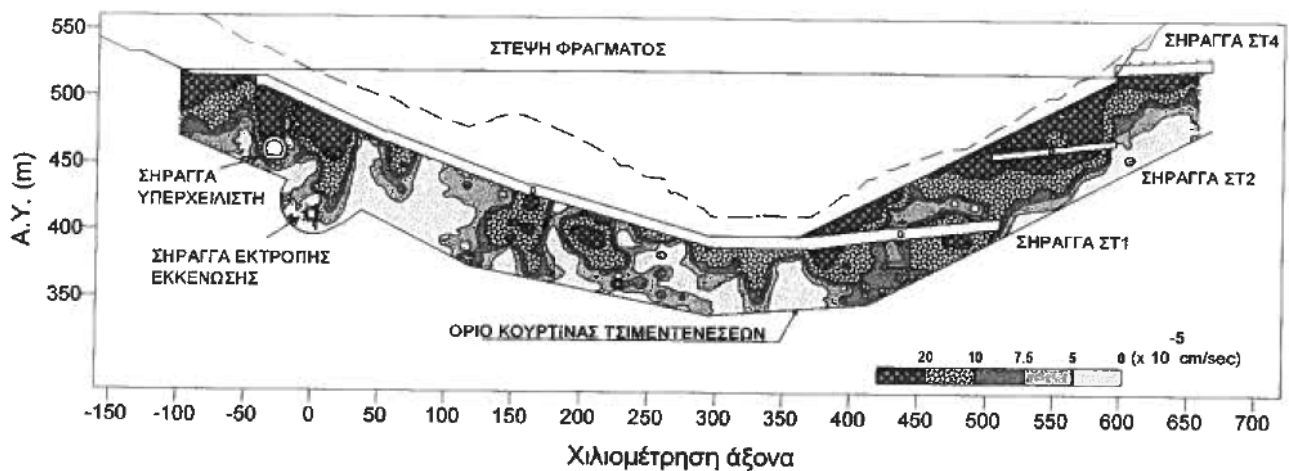
Σε περιοχές όπου ένα εκ των δύο ανωτέρω κριτηρίων δεν ικανοποιήθηκε απαιτήθηκε η περαιτέρω πύκνωση των τσιμεντενέσεων, ενώ ορισμένες τοπικές υπερβάσεις θεωρήθηκαν ανεκτές.

#### 4.6 Αξιολόγηση τσιμεντενέσεων κουρτίνας

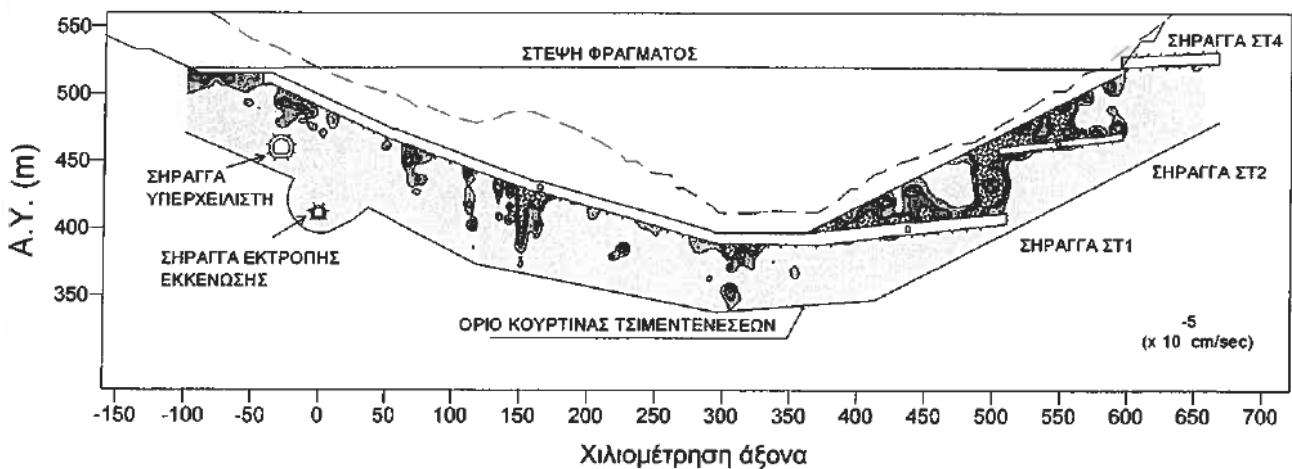
Η συνεχής επιτόπου παρακολούθηση και καταγραφή των απορροφήσεων ενέματος και των αποτελεσμάτων των δοκιμών υδροπερατότητας, καθ'όλη την πενταετία που διήρκεσαν οι εργασίες εκτέλεσης των τσιμεντενέσεων, κατέστησε δυνατή τη δημιουργία μιας μεγάλης βάσης δεδομένων η οποία χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας

τους. Για τη διευκόλυνση αυτής της αξιολόγησης ο άξονας του φράγματος χωρίσθηκε σε δεκαοκτώ (18) τμήματα. Για κάθε ένα από αυτά τα τμήματα σχεδιάσθηκαν όλες οι κατακόρυφες τσιμεντενέσεις με τα αποτελέσματα i) των απορροφήσεων σε κάθε στάδιο εισπίεσης και ii) των δοκιμών υδροπερατότητας.

Συνολικά η εικόνα κατά μήκος του άξονα του φράγματος η οποία αποδεικνύει και την αποτελεσματικότητα των τσιμεντενέσεων, τόσο πριν όσο και μετά την εκτέλεσή τους παρουσιάζεται στα Σχήματα 4 και 5. Στα μεν Σχήματα 4α και β παρουσιάζονται οι καμπύλες των ισοτιμών του ισοδύναμου συντελεστή υδροπερατότητας στις πρωτεύουσες και στις τεταρτεύουσες οπές τσιμεντενέσεων αντίστοιχα, στα δε Σχήματα 5α και β παρουσιάζονται οι καμπύλες των ισοτιμών των απορροφήσεων ενέματος για εισπίεσεις που εκτελέσθηκαν στις πρωτεύουσες και στις τεταρτεύουσες τσιμεντενέσεις αντίστοιχα.

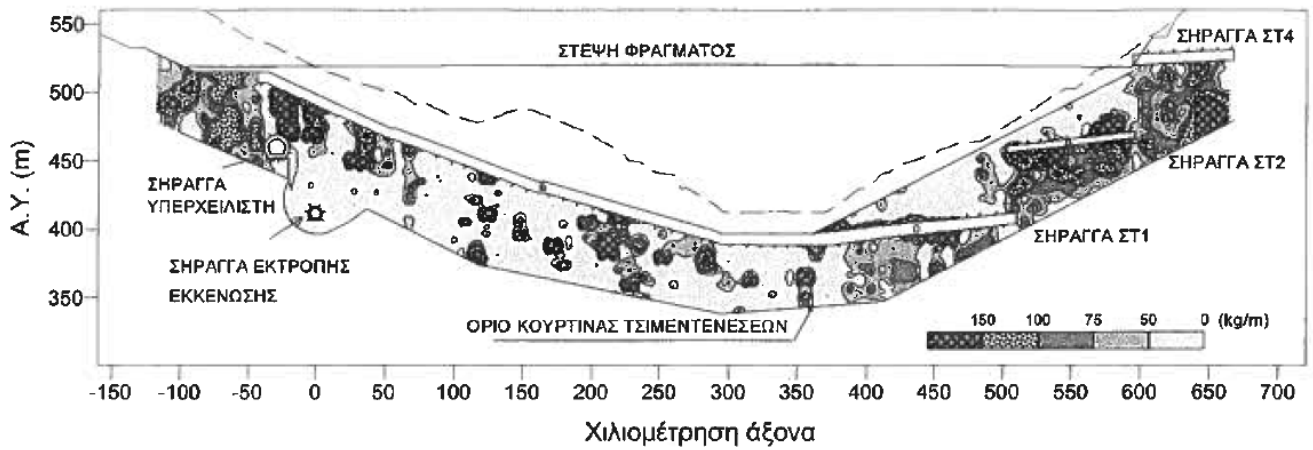


(α)

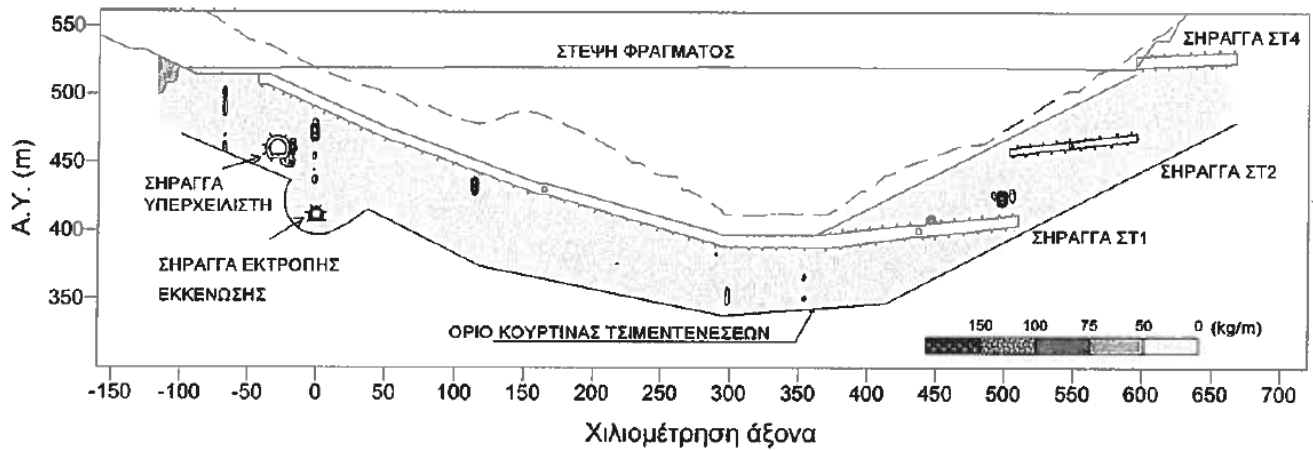


(β)

Σχήμα 4. Καμπύλες ισοτιμών διαπερατότητας (α) προ & (β) μετά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων  
Figure 4. Contours of permeability (α) before & (β) after grouting



(α)



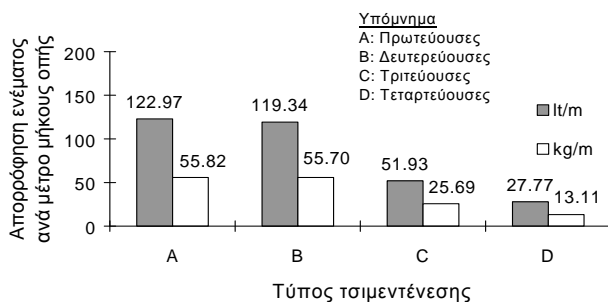
(β)

Σχήμα 5. Καμπύλες ισοτιμών απορρόφησης ενέματος (Kg/m) (α) στις πρωτεύουσες & (β) στις τεταρτεύουσες τσιμεντενέσεις

Figure 5. Contours of grout take (Kg/m) (α) within the primary & (β) within the quarternary grout injected boreholes

Επίσης έγιναν διαγράμματα με τις μέσες τιμές των απορροφήσεων ενέματος ανά μέτρο μήκους εισπίεσης συναρτήσεως του τύπου της τσιμεντενέσης (Σχήμα 6).

Συμπερασματικά μετά την εκτέλεση και των τεταρτευσών τσιμεντενέσεων κατά μήκος του άξονα του φράγματος επιτεύχθηκε τελικά

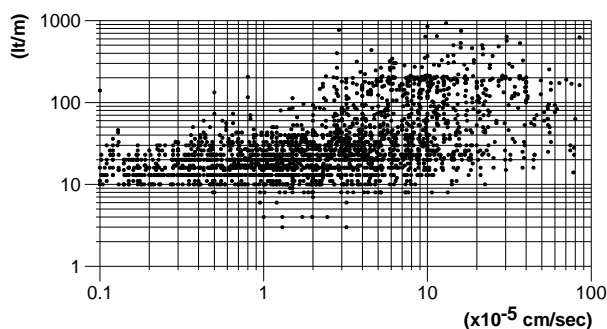


Σχήμα 6. Μέσοι όροι απορρόφησης ενέματος κατά μήκος του φράγματος.

Figure 6. Average values of grout take along dam's axis

ικανοποιητική σφράγιση. Ωστόσο, σε μεμονωμένες θέσεις παρατηρήθηκαν μη αποδεκτές υπερβάσεις των κριτηρίων σφράγισης π.χ στις Χ.Θ. 0-019 έως 0-001, 0+023 έως 0+031, 0+108 έως 0+140, 0+217 έως 0+233 και 0+550 έως 0+565 και εκτελέσθηκαν πεμπτεύουσες τσιμεντενέσεις πύκνωσης εντός των οποίων (πλην μιας περιοχής) ικανοποιήθηκαν τα κριτήρια σφράγισης. Στην περιοχή αυτή, μεταξύ των Χ.Θ. 0+110 έως 0+130, όπου τελικά αποδείχθηκε και η πλέον προβληματική, εκτελέσθηκαν ανά δύο μέτρα (2m) εξεύουσες τσιμεντενέσεις πύκνωσης όπου τελικά επιτεύχθηκε ικανοποιητική σφράγιση.

Από τη μεγάλη βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε επιχειρήθηκε η συσχέτιση της απορρόφησης ενέματος με την διαπερατότητα. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα με το μεγάλο εύρος διακύμανσής τους, που υποδικνύει ότι δεν υπάρχει σαφής αναλογία μεταξύ τους.



Σχήμα 7. Σχέση απορρόφησης ενέματος και υδροπερατότητας  
Figure 7. Relation between grout take vs permeability.

## 5. ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΙΣ ΤΑΠΗΤΑ

### 5.1 Διαδικασία κατασκευής

Οι οπές των τσιμεντενέσεων μεγίστου βάθους 12m, διατάχθηκαν σε κάνναβο διεύθυνσης 45° ως προς τον άξονα του φράγματος ( $2 \times \sqrt{2}$ ) = 2.82 × 2.82m, ενώ συμπληρωματικά δύο πρόσθετες σειρές λοξών τσιμεντενέσεων εκτελέστηκαν εκατέρωθεν της στοάς τσιμεντενέσεων παράλληλα με τα πρηνή εκσκαφής της (Σχήμα 3).

Η εκτέλεση των τσιμεντενέσεων πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους:

- i. απ' ευθείας από την επιφάνεια θεμελίωσης, στο κεντρικό τμήμα του άξονα του φράγματος, μετά την εφαρμογή τσιμεντοπολτού και σκυροδέματος πλήρωσης και προ της εφαρμογής της τελικής κάλυψης από εκτοξευμένο σκυρόδεμα
- ii. μετά την κατασκευή πυρήνα πάχους μεγαλύτερου των 10.00m στα άκρα του άξονα (αντερείσματα).

Η εισπίεση πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα (4) ανιόντα στάδια των τριών (3.00m) μέτρων, χρησιμοποιώντας άλλοτε μηχανικά packer (στα ανώτερα στάδια 0 έως 3.00m των εκτελεσθέντων από την επιφάνεια του βράχου) και άλλοτε πνευματικά.

### 5.2 Αναλογίες ενέματος εφαρμοσθείσες πιέσεις

Για την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων χρησιμοποιήθηκε ένεμα αναλογίας νερό: τσιμέντο 1:1 κατά βάρος με 2.5% μπετονίτη κατά βάρος τσιμέντου. Η εισπίεση του ενέματος έγινε σε τέσσερα ανιόντα βήματα των 3m, αφού οι οπές είχαν διανοιχθεί στο πλήρες βάθος τους και εκπλυθεί με νερό. Οι εφαρμοσθείσες πιέσεις κατά την εισπίεση κυμάνθηκαν από 0.5bar στις

ανώτερες θέσεις της γεώτρησης έως 2bar στις κατώτερες.

### 5.3 Τσιμεντενέσεις συρραφής / επαφής

Για τη συμπλήρωση των τσιμεντενέσεων τάπητα εκτελέστηκαν μεταξύ των Χ.Θ. 0+180 (υψομ. περίπου +425m) και 0+250 (υψομ. +408m) του αριστερού αντερείσματος και από 0+384 (υψομ. +407m) έως 0+416 (υψομ. +422m) του δεξιού αντερείσματος επιπρόσθετες τσιμεντενέσεις μικρού βάθους (1m) στο ανώτερο τμήμα της θεμελίωσης του πυρήνα, που ονομάστηκαν τσιμεντενέσεις συρραφής.

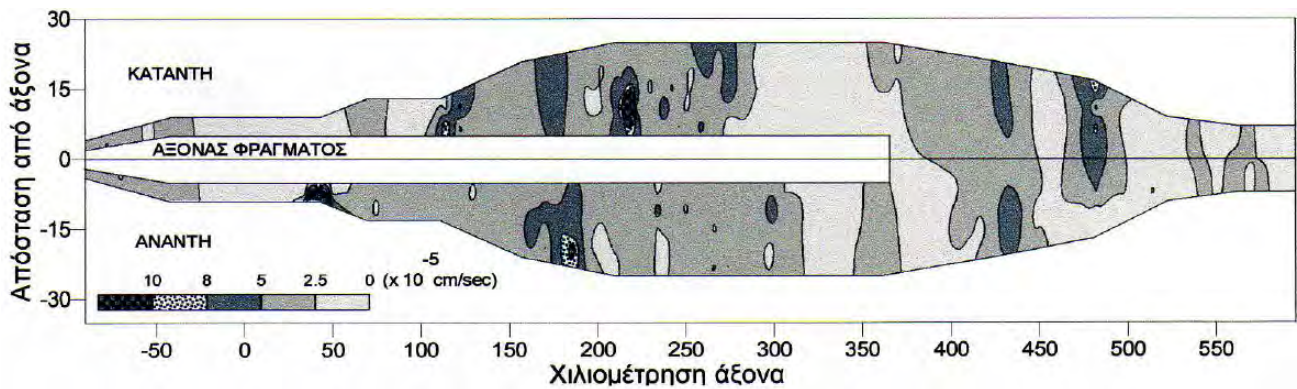
Σκοπός των τσιμεντενέσεων συρραφής ήταν η βελτίωση του ανώτερου τμήματος του βράχου θεμελίωσης στις περιοχές αυτές εξαιτίας των τοπικών μεταβολών της δομής και της στρωσιγένειας του φλύσχη, όπου δημιουργούσε προβλήματα στην τοποθέτηση του packer στα ανώτερα τμήματα των τσιμεντενέσεων τάπητα, καθώς και στις μικρές εφαρμοσθείσες επιφανειακά πιέσεις (0.5bar) οι οποίες δεν επέτρεπαν στο ένεμα τα "ταξιδέψει".

Οι τοπικές αυτές διαφοροποιήσεις του φλύσχη οφείλονταν, στο μεν αριστερό αντερείσμα στις πιο λεπτοστρωματώδεις εμφανίσεις του φαμίτη με ενδιάμεσες στρώσεις ιλυολίθου μεταβαλλόμενου πάχους και πυκνότητας και παρουσία πυκνής και άτακτης διάταξης ρηγματώσεων – ρωγμών – αρμών – διακλάσεων κλπ, στο δε δεξιό αντερείσμα στις έντονες πτυχώσεις και στις τοπικές αποδιοργανώσεις της δομής του φλύσχη.

Για την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων συρραφής, ο επιτόπου βράχος θεμελίωσης διατρήονταν σε βάθος 1.00m όταν η επιφάνεια θεμελίωσης φορτιζόταν με περίπου 10.00m πάχους πυρήνα. Χρησιμοποιήθηκε ένεμα αναλογίας νερό:τσιμέντο 1:1 κατά βάρος, με 2.5% μπετονίτη κατά βάρος τσιμέντου, ενώ η εισπίεση πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας πίεση ίση με 2Bar. Για την απομόνωση του κατώτερου 1m της οπής χρησιμοποιήθηκε πνευματικό Packer το οποίο τοποθετούνταν εντός του αργιλικού πυρήνα με το κάτω άκρο του να απέχει περίπου 10 ÷ 20 cm από την επιφάνεια θεμελίωσης (το μέσο του Packer βρίσκονταν περίπου 50 cm από την επιφάνεια).

### 5.4 Δοκιμές διαπερατότητας – Κριτήρια σφράγισης

Ο έλεγχος του βαθμού σφράγισης της βραχόμαζας θεμελίωσης του πυρήνα, έγινε μέσω των αποτελεσμάτων των δοκιμών υδροπερα-



Σχήμα 8. Καμπύλες ισοτιμών διαπερατότητας μετά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων τάπητα  
Figure 8. Contours of permeability after the execution of consolidation grouting

τότητας, που πραγματοποιήθηκαν μετά το πέρας εκτέλεσης των τσιμεντενέσεων τάπητα και συρραφής.

Οι οπές βάθους 12m, μέσα στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές υδροπερατότητας για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των τσιμεντενέσεων τάπητα, διατάχθηκαν σε κάναβο 8.00 x 8.00 m με διεύθυνση 45° ως προς τον άξονα του φράγματος. Εκτός από αυτές όμως, επιπρόσθετες δοκιμές υδροπερατότητας πραγματοποιήθηκαν και σε άλλες θέσεις, όπου παρατηρήθηκε αυξημένη απορρόφηση ενέματος.

Οι δοκιμές έγιναν σε δύο κατιόντα στάδια, ένα στο ανώτερο και ένα στο κατώτερο ήμισυ των οπών κατά την πρόοδο της διάτρησής τους. Η σφράγιση των οπών επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας πνευματικά packer.

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των τσιμεντενέσεων συρραφής, πραγματοποιήθηκαν αβαθείς δοκιμές υδροπερατότητας στο ανώτερο (1m) του βράχου θεμελίωσης εκτελεσείσες σε ένα στάδιο. Οι αβαθείς αυτές δοκιμές εκτελέστηκαν στις χιλιομετρικές θέσεις από 0+114 έως 0+482, αξιολόγησαν δηλαδή την διαπερατότητα και σε περιοχές στις οποίες δεν εκτελέστηκαν τσιμεντενέσεις συρραφής.

Ως κριτήριο ικανοποιητικής σφράγισης του εδάφους θεμελίωσης και συνεπώς μη απαίτησης περαιτέρω πύκνωσης των τσιμεντενέσεων τάπητα ορίστηκε: ο ισοδύναμος συντελεστής διαπερατότητας  $k$ , σε κάθε στάδιο της δοκιμής, να είναι μικρότερος του  $10 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$

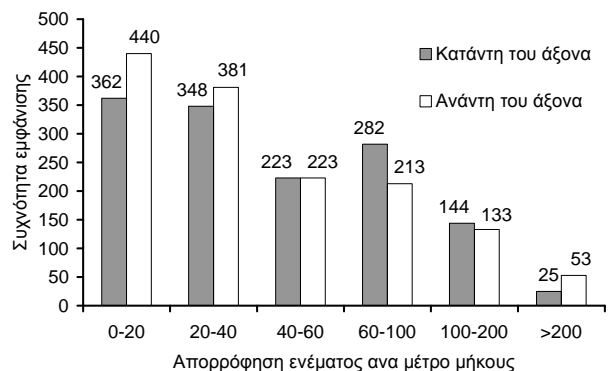
### 5.5 Αξιολόγηση τσιμεντενέσεων τάπητα

Χρησιμοποιήθηκαν, όπως και για την κουρτίνα γραφικές και στατιστικές μέθοδοι. Τα αποτελέσματα τόσο των απορροφήσεων ενέματος όσο και των δοκιμών υδροπερατότητας σχεδιάστηκαν κατά μήκος του άξονα του φράγματος έτσι

ώστε να εντοπισθούν τυχόν «προβληματικές» περιοχές. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται οι καμπύλες των ισοτιμών του ισοδύναμου συντελεστή υδροπερατότητας κατά μήκος της θεμελίωσης και εκατέρωθεν του άξονα του φράγματος, από δοκιμές Lugeon που εκτελέστηκαν μετά το πέρας των τσιμεντενέσεων τάπητα, όπου είναι φανερή η ικανοποίηση των κριτηρίων σφράγισης. Η λευκή κεντρική ζώνη στην κοίτη και στο αριστερό αντέρεισμα είναι η περιοχή που καταλαμβάνεται από τη στοά τσιμεντενέσεων (δες και Σχήματα 3 και 4).

Συνολικά εκτελέστηκαν 1384 τσιμεντενέσεις κατάντη και 1443 ανάντη. Στο 70% η απορρόφηση ήταν μικρότερη από 60lt ενέματος ανά μέτρο, στο 17.5% η απορρόφηση δεν υπερέβη τα 100lt ενέματος ανά μέτρο και μόνο στο 12.5% η απορρόφηση ξεπέρασε τα 100lt/m (Σχήμα 9).

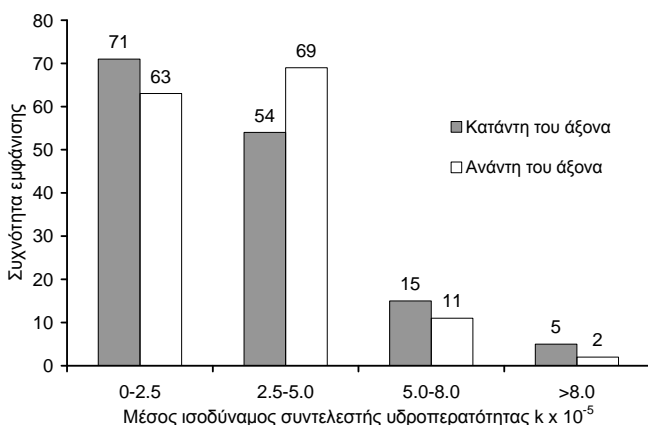
Σε ότι αφορά τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των δοκιμών υδροπερατότητας μόνο στο 11% μετρήθηκε μέσος ισοδύνα



Σχήμα 9. Ιστογράφημα της συχνότητας εμφάνισης της ποσότητας απορρόφησης ενέματος στις τσιμεντενέσεις τάπητα

Figure 9. Frequency of occurrence histogram of the amount of grout takes for consolidation grouting





Σχήμα 10. Ιστογράφημα συχνότητας εμφάνισης συντελεστή υδροπερατότητας από δοκιμές Lugeon κατά μήκος του τάπητα τσιμεντενέσεων

Figure 9. Frequency of occurrence histogram of the coefficient of permeability obtained from permeability tests along consolidation grouting

μος συντελεστής υδροπερατότητας μεγαλύτερος από  $8 \times 10^{-5}$  cm/sec και μόλις σε 5 δοκιμές ξεπεράστηκε το όριο των  $10 \times 10^{-5}$  cm/sec (Σχήμα 10).

Τα αποτελέσματα από την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων συρραφής ήταν επίσης ικανοποιητικά, μιας και ο μέσος συντελεστής διαπερατότητας βάσει των αβαθών δοκιμών Lugeon ήταν ως επί το πλείστον μικρότερος από  $8 \times 10^{-5}$  cm/sec. Γενικά από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η υδροπερατότητα του περισσότερο διαπερατού εδάφους μειώθηκε σημαντικά, ενώ μικρή έως καθόλου μείωση επιτεύχθηκε στις λιγότερο διαπερατές περιοχές.

## 6. ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΙΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΟΑΣ - ΒΡΑΧΟΥ

Για τη βελτίωση των συνθηκών στεγάνωσης μεταξύ της επένδυσης της στοάς τσιμεντενέσεων και της περιβάλλουσας βραχώμαζας εκτελέστηκαν επίσης, τόσο στην ανάντη παρειά όσο στην κατάντη και στο δάπεδο της στοάς αβαθής (2m εντός του βράχου) τσιμεντενέσεις διεπιφάνειας, διότι διαπιστώθηκε η ύπαρξη σε ορισμένες θέσεις περιορισμένης έκτασης κενών. Η εισπίεση ενέματος πραγματοποιήθηκε με υψηλές πιέσεις, ισοδύναμες με αυτές που θα υφίστανται με πλήρως γεμάτο ταμιευτήρα, και εκτελέστηκαν εντός οπών που διατρήθηκαν ανά 5m και 20m στην ανάντη και την κατάντη παρειά αντίστοιχα. Χρησιμοποιή-

θηκε ένεμα αναλογίας νερό:τσιμέντο 1:1 κατά βάρος χωρίς μπετονίτη.

## 7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κύριος του φράγματος Ευήνου είναι το ΥΠΕΧΩΔΕ και φορέας κατασκευής του η Ειδική Υπηρεσία (ΕΥΔΕ/ΟΣΥΕ) Οδικών Σηράγγων και Υπογείων Έργων. Το έργο κατασκευάστηκε από Ελληνο-Ιταλο-Αυστριακή Κ/Ξ την οποία αποτελούσαν οι εταιρείες ΑΕΓΕΚ, ΜΕΤΩΝ, ΔΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ, SELI και JAEGER. Μελετητές του έργου ήταν τα γραφεία Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗ & ΣΥΝ/ΤΕΣ και ΟΤΜ. Η ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. και ο καθ. Ρ.Ρ. Vaughan ήταν γεωτεχνικοί σύμβουλοι του Αναδόχου για το φράγμα.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bozovic, A (1985). "Foundation treatment for control of seepage". 15th Int. Congress on large dams, Lansanne, p. 1467 - 1583.
- Deere, D. U. & Lombardi, G. (1985). "Grout slurries – thick or thin". ASCE Geotech. Eng. Division., W.H. Baker (ed), Denver.
- Fell, R. and Mac Gregor, P. and Stapledon, D. (1992). "Geotechnical engineering of Embankment dams". Balkema Publ. Rotterdam, Netherlands.
- Fikiris, I. F. and Dounias, G. T. (2000). "Grouting the foundation of Evinos Dam". Proc. 1<sup>st</sup> Intern. Young Geotech. Eng. Conf.. Southampton. U.K.
- Hoek, E. and Bray, J. W. (1981). "Rock slope engineering". Inst. of Mining and Metallurgy, London, UK, 3<sup>rd</sup> ed. p. 127-150.
- Marinos, P. G and Dounias, G. T. and Karavokyris G. (1997). "Flysch geological features and the design of Evinos dam, Greece". Proc. XI ECSMFE, Vol. 7, pp. 111-116.
- Ντουνιάς, Γ.Θ., Μαρίνος, Π. και Καραβοκύρης, Ι.Γ. (1997). "Γεωτεχνικός σχεδιασμός φράγματος Ευήνου". Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα, σελ. 363 – 370