

Πρακτικά		4ου Συνεδρίου	Μάιος 1988		
Δεστ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	σελ.		Αθήνα	
Bull. Geol. Soc. Greece	XXIII/3	111-126			1989
	Vol.	pag.		Athens	

ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΙΣ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ ΠΗΓΩΝ ΑΩΟΥ

Κ. ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΛΑΚΗ*

Σύνοψη:

Το Υδροηλεκτρικό Έργο Πηγών Αωού (ΥΗΕ Π-Α) κατασκευάζεται σε μια περιοχή με πολύπλοκη δομή. Το έργο περιλαμβάνει ένα κύριο και έξι (6) αυχενικά φράγματα. Τσιμεντενέσεις, στεγανοποίηση έγιναν στο κύριο φράγμα (Κ.Φ.) στο Αυχενικό Φράγμα Πολιτσών Νο3 (ΑΦΠ-3) και στο Βοηθητικό Φράγμα Πολιτσών (ΒΦΠ). Στην εργασία γίνεται μια πολύ γενική αναφορά στις τσιμεντενέσεις που έγιναν στο ΚΦ και το ΑΦΠ-3. Το κύριο όμως ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις τσιμεντενέσεις που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή του ΒΦΠ που είναι και η πιο κρίσιμη, από άποψη στεγανότητας, του Έργου. Στην εργασία παρουσιάζεται η ανάλυση, στατιστική επεξεργασία, και η γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων καθώς και μια πρώτη αξιολόγηση.

Abstract:

Piges Aeos Hydroelectric Project is under construction in area with complicated geological structure. The above project includes one (1) main and six (6) saddle dams. Curtain grouting were performed in the main dam, Politseas saddle dam No 3 and Politseas Auxiliary dam. In this paper a general refernces of grouting in the main dam and Politseas saddle dam No3 is made. However the main interest is focused in grouting performed in the larger area of Politseas Auxiliary dam which is the most critical as far as water tightness is concerned. In addition analysis, statistical processing and geological interpretation as well as first evaluation of results is made.

Μερικά γενικά στοιχεία του ΥΗΕ Πηγών Αωού

Το ΥΗΕ Πηγών Αωού κατασκευάζεται στο ομώνυμο ποτάμι, 12 χιλιόμετρα ΒΔ του Μετσόβου. Το έργο περιλαμβάνει:

- Συγκρότημα φραγμάτων: Ένα κύριο φράγμα ύψους 80μ. και έξι (6) πλευρικά ύψους 20-40μ. και τα συναφή έργα (σήραγγα Εκτροπής μήκους 650 μ., εκχειλιστής, εκκινητής πυθμένα).
- Συγκρότημα προσαγωγής: Υδροληψία, σήραγγα προσαρμογής μήκους 3.200 μ. Επιχωμένος κεκλιμένος αγωγός πτώσης 400μ, κατακόρυφο φρέαρ 480μ.
- Συγκρότημα παραγωγής: Υπόγειο σταθμό παραγωγής όγκου 35.000μ³, υπόγειο θάλαμο μετασχηματιστών όγκου 5.000 μ³ περίπου. Σήραγγα φυγής μήκους 2.700μ. Σήραγγα προσπέλασης του Σταθμού μήκους 1.600μ. Σήραγγα καλωδίων μήκους 800μ.

Η κατασκευή των παραπάνω έργων έχει σχεδόν ολοκληρωθεί. Η τεχνητή λίμνη θα σχηματισθεί στο Οροπέδιο των Πολιτσών στο υψόμετρο 1350μ. και θα έχει έκταση 11,5 ΚΜ², χωρητικότητα 260 εκατομ. μ³ και μέγιστη στάθμη λειτουργίας 1343 μ. Στο έργο θα εγκατασταθούν δυο μονάδες ισχύος 105 ΜW η κάθε μια.

Κύριο χαρακτηριστικό του έργου είναι η μεγάλη υδατόπτωση (650μ.)

Η Γεωλογία της Περιοχής του Έργου είναι πολύπλοκη. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη έκταση του Έργου, που περιλαμβάνει το μέτωπο επώθησης της πινδικής πύθης στην Ιόνιο ζώνη, καθώς και των σφειολίθων πάνω στον πινδικό φλύσχη.

Το αλλοχθόνο, επωθημένο σύστημα, αποτελείται από αλεπάλληλα λέπια του πινδικού φλύσχη και σφειολίθων, και καταλαμβάνει ολόκληρη σχεδόν την

περιοχή του Έργου, εκτός από το κατώτερο τμήμα, μήκους 2 χιλιομέτρων, της σύραγγας φυγής. Το τμήμα αυτό βρίσκεται στον αυτόχθονο Ιόνιο φλύσχη.

Η στρωματογραφική σειρά του πινδικού φλύσχη αρχίζει με μια ζώνη ερυθροπηλιτών πάχους 20-40 μ. και ακολουθείται από μια ζώνη εναλλαγών και ιλυολίθων πάχους 30-50 μ. Πάνω από τις εναλλαγές ακολουθεί μια ζώνη παχυστρωματωδών φαμμιτών πάχους >200 μ.

Η σειρά αυτή επαναλαμβάνεται σε όλα τα διαδοχικά λέπια, με κυμαινόμενο πάχος της πρώτης και της τελευταίας ζώνης. Οι ερυθροπηλίτες είναι συνήθως έντονα τεκτονισμένοι, γεγονός που αν συνδυασθεί με τη θέση τους στη βάση όλων των λεπιών, και με τη λιθολογία του (το πιο πλαστικό υλικό όλης της σειράς) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σ'αυτή τη ζώνη εξελίχθηκαν όλες οι επωθητικές κινήσεις.

Ο οφειολιθικός όγκος στην περιοχή του έργου αποτελείται από μέτρια ως έντονα οερπεντινωμένους και τεκτονισμένους περιδοτίτες. Ιδιαίτερα έντονος είναι ο τεκτονισμός αλλά και η οερπεντινίωση κοντά στο μέτωπο επώθησης των ορειολίθων πάνω στο φλύσχη. Ακόμη πιο έντονα τεκτονισμένος είναι ο φλύσχος κατά μήκος αυτού του μετώπου.

Στον Ιόνιο φλύσχη της περιοχής του έργου κυριαρχεί η ιλυολιθική φάση με σποραδικές μόνο παρεμβολές λεπτοστρωματωδών φαμμιτών. Συχνά συναντώνται χαλαρά κροικαλοπαγή με φακοειδή ανάπτυξη και σημαντικές διαστάσεις.

Το κυρίαρχο τεκτονικό στοιχείο της περιοχής είναι η επώθηση με τα αλεπάλληλα λέπια της (σχήμα 1). Τα μέτωπα των λεπιώσεων έχουν γενική παράταξη ΒΔ-ΝΑ και τα στρώματα κλίνουν προς ΒΑ. Από τις γενικές αυτές διευθύνσεις υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεμονωμένων λεπιώσεων.

Οι ερυθροπηλίτες είναι συχνά έντονα πτυχωμένοι ενώ οι εναλλαγές σπανιότερα. Οι παχυστρωματώδες φαμίτες δεν είναι πτυχωμένοι παρά μόνο σε πτυχές με πολύ μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας.

Γενικά στοιχεία για τη στεγανοποίηση και τη γεωλογία των περιοχών θεμελιώσεως των φράγματων (εκτός του βοηθητικού φράγματος Πολιτών)

Το κύριο φράγμα θεμελιώθηκε σε περιδοτίτη. Στην περιοχή της κοίτης και στο αριστερό αντέρεισμα ο περιδοτίτης ήταν έντονα τεκτονισμένος (τοπικά σε κλιτύς ζώνες μυλωνιτοποιημένος) και έντονα οερπεντινωμένος. Στο δεξιό αντέρεισμα ο τεκτονισμός και η οερπεντινίωση του πετρώματος ήταν ασθενής.

Για τη στεγανοποίηση του πετρώματος κάτω από το φράγμα έγινε μια σειρά τσιμεντενέσεων τόσο από την επιφάνεια όσο και από δυο σήραγγες (μία σε κάθε αντέρεισμα) πάνω σε ένα άξονα.

Στην περιοχή της κοίτης και στο αριστερό αντέρεισμα η πύκνωση οπών έφθασε μέχρι τις δευτερεύουσες οπές (δηλ. πυκνότητα μια οπή ανα έξι μ.) Το βάθος των οπών ήταν 30-40 μ. Στο δεξιό αντέρεισμα αντίθετα τοπικά παρατηρήθηκαν κάποιες μέσες υδατοπερατότητες και μέσες απορροφήσεις τσιμέντου. Εδώ η πύκνωση οπών έφθασε μέχρι τις τεταρτεύουσες (πυκνότητα 1 οπή ανά 1,5 μ.). Οι τσιμεντενέσεις όμως στο κύριο φράγμα δεν θα μας απασχολήσουν εδώ.

Τα πέντε αυχενικά φράγματα (No 1 και 2 των Πέντε Αλωνιών και Νο 1,2 και 3 των Πολιτών) θεμελιώθηκαν στις ζώνες των εναλλαγών και των ερυθροπηλιτών του φλύσχη, και δεν παρουσιάζουν προβλήματα στεγανότητας. Στα τέσσερα πρώτα από τα παραπάνω φράγματα δεν έγινε κουρτίνα τσιμεντενέσεων. Έγιναν μόνο μερικές ερευνητικές τσιμεντενέσεις που επιβεβαίωσαν τη στεγανότητα του πετρώματος. Στο Νο 3 των Πολιτών έγινε κουρτίνα τσιμεντενέσεων που στα αντερείσματα έφτασε μέχρι τις τεταρτεύουσες και στην κοίτη μέχρι τις τριτεύουσες οπές και μ'αυτές τις τσιμεντενέσεις δεν θα ασχοληθούμε εδώ.

περιοχή του Έργου, εκτός από το κατώτερο τμήμα, μήκους 2 χιλιομέτρων, της σύραγγας φυγής. Το τμήμα αυτό βρίσκεται στον αυτόχθονο Ιόνιο φλύσχη.

Η στρωματογραφική σειρά του πινδικού φλύσχη αρχίζει με μια ζώνη ερυθροπηλιτών πάχους 20-40 μ. και ακολουθείται από μια ζώνη εναλλαγών και ιλυολίθων πάχους 30-50 μ. Πάνω από τις εναλλαγές ακολουθεί μια ζώνη παχυστρωματώδων φαμιτιτών πάχους >200 μ.

Η σειρά αυτή επαναλαμβάνεται σε όλα τα διαδοχικά λέπια, με κυμαινόμενο πάχος της πρώτης και της τελευταίας ζώνης. Οι ερυθροπηλίτες είναι συνήθως έντονα τεκτονισμένοι, γεγονός που αν συνδυασθεί με τη θέση τους στη βάση όλων των λεπιών, και με τη λιθολογία του (το πλαστικό υλικό όλης της σειράς) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σ' αυτή τη ζώνη εξελίχθηκαν όλες οι επωθητικές κινήσεις.

Ο οφειολιθικός όγκος στην περιοχή του έργου αποτελείται από μέτρια ως έντονα οερπεντινωμένους και τεκτονισμένους περιδομήτες. Ιδιαίτερα έντονος είναι ο τεκτονισμός αλλά και η οερπεντινώση κυντά στο μέτωπο επώθησης των οφειολίθων πάνω στο φλύσχη. Ακόμη πιο έντονα τεκτονισμένος είναι ο φλύσχος κατά μήκος αυτού του μετώπου.

Στον Ιόνιο φλύσχη της περιοχής του έργου κυριαρχεί η ιλυολιθική φάση με σποραδικές μόνο παρεμβολές λεπτοστρωματώδων φαμιτιτών. Συχνά συναντώνται χαλαρά κροκκαλοπαγή με φακοειδή ανάπτυξη και σημαντικές διαστάσεις.

Το κυρίαρχο τεκτονικό στοιχείο της περιοχής είναι η επώθηση με τα αλεπάλληλα λέπια της (σχήμα 1). Τα μέτωπα των λεπιώσεων έχουν γενική παράταξη Βό-ΝΑ και τα στρώματα κλίνουν προς ΒΑ. Από τις γενικές αυτές διευθύνσεις υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεμονωμένων λεπιώσεων.

Οι ερυθροπηλίτες είναι συχνά έντονα πτυχωμένοι ενώ οι εναλλαγές σπανιότερα. Οι παχυστρωματώδες φαμιτίτες δεν είναι πτυχωμένοι παρά μόνο σε πτυχές με πολύ μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας.

Γενικά στοιχεία για τη στεγανοποίηση και τη γεωλογία των περιοχών θεμελιώσεως των φραγμάτων εκτός του βοηθητικού φράγματος Πολιτών

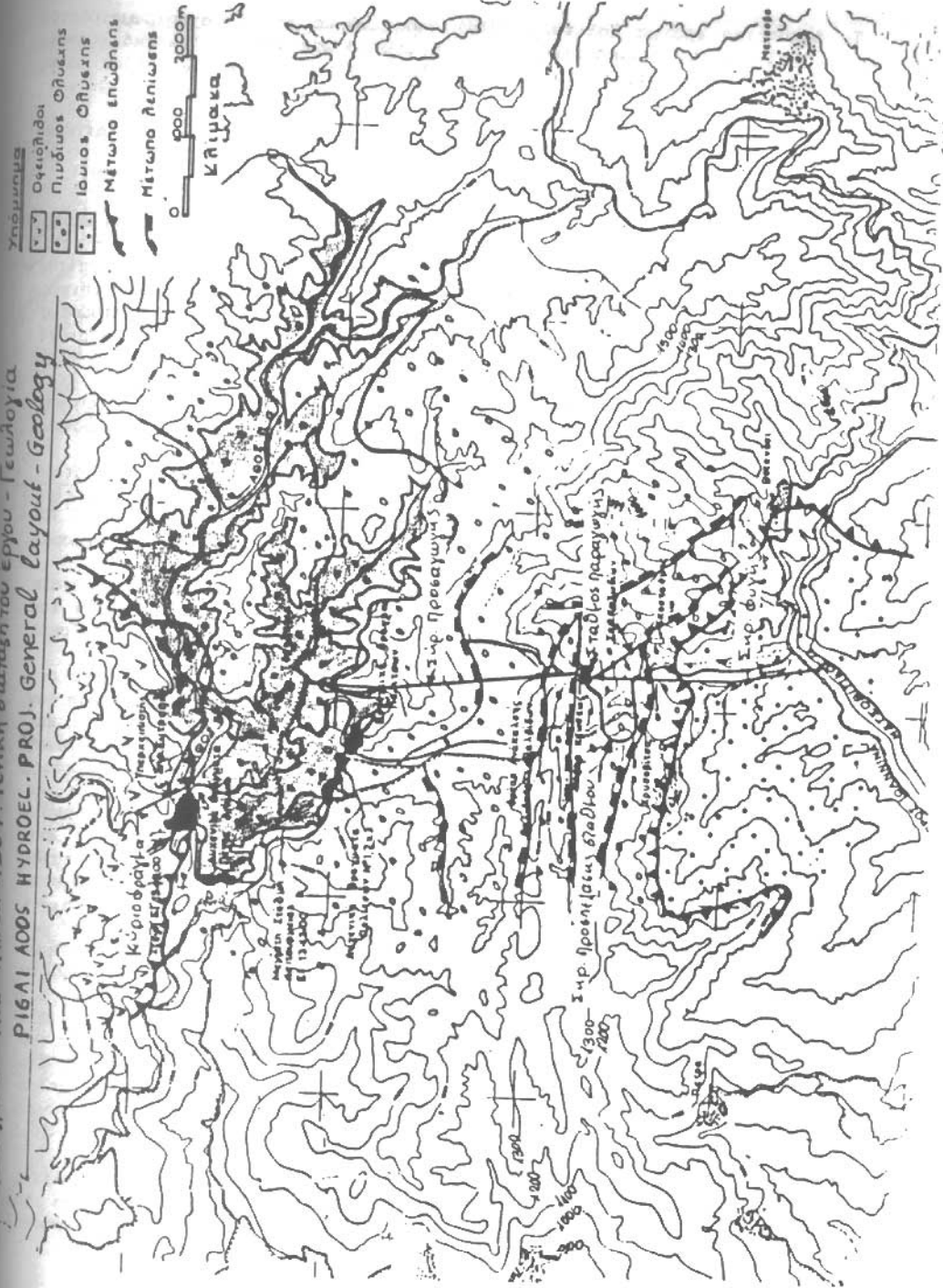
Το κύριο φράγμα θεμελιώθηκε σε περιδομήτη. Στην περιοχή της κοίτης και στο αριστερό αντέρεισμα ο περιδομήτης ήταν έντονα τεκτονισμένος (τοπικά σε πλατιές ζώνες μυλωνιτοποιημένος) και έντονα οερπεντινωμένος. Στο δεξιό αντέρεισμα ο τεκτονισμός και η οερπεντινώση του πετρώματος ήταν ασθενής.

Για τη στεγανοποίηση του πετρώματος κάτω από το φράγμα έγινε μια σειρά τσιμεντενέσεων τόσο από την επιφάνεια όσο και από δυο σήραγγες (μία σε κάθε αντέρεισμα) πάνω σε ένα άξονα.

Στην περιοχή της κοίτης και στο αριστερό αντέρεισμα η πύκνωση οπών έφθασε μέχρι τις δευτερεύουσες οπές (δηλ. πυκνότητα μια οπή ανά έξι μ.) Το βάθος των οπών ήταν 30-40 μ. Στο δεξιό αντέρεισμα αντίθετα τοπικά παρατηρήθηκαν κάποιες μέσες υδατοπερατότητες και μέσες απορροφήσεις τσιμέντου. Εδώ η πύκνωση οπών έφθασε μέχρι τις τεταρτεύουσες (πυκνότητα 1 οπή ανά 1,5 μ.). Οι τσιμεντενέσεις όμως στο κύριο φράγμα δεν θα μας απασχολήσουν εδώ.

Τα πέντε αυχενικά φράγματα (No 1 και 2 των Πέντε Αλωνιών και Νο 1,2 και 3 των Πολιτών) θεμελιώθηκαν στις ζώνες των εναλλαγών και των ερυθροπηλιτών του φλύσχη, και δεν παρουσιάζουν προβλήματα στεγανότητας. Στα τέσσερα πρώτα από τα παραπάνω φράγματα δεν έγινε κουρτίνα τσιμεντενέσεων. Έγιναν μόνο μερικές ερευνητικές τσιμεντενέσεις που επιβεβαίωσαν τη στεγανότητα του πετρώματος. Στο Νο 3 των Πολιτών έγινε κουρτίνα τσιμεντενέσεων που στα αντερείσματα έφτασε μέχρι τις τεταρτεύουσες και στην κοίτη μέχρι τις τριτεύουσες οπές και μ' αυτές τις τσιμεντενέσεις δεν θα ασχοληθούμε εδώ.

Σχήμα 4 ΥΠΕ ΠΙΣΤΩΝ ΑΣΟΥ. Γενική διάταξη του έργου - Γεωλογία
 PIGAI A005 HYDROEL. PROJ. General layout - Geology



Το βοηθητικό φράγμα Πολιτών (ΒΦΠ) θεμελιώθηκε στους παχυστρωματώδεις φαμμίτες. Το πέτρωμα παρουσιάζει έντονη αποσάθρωση που επιλεκτικά φθάνει σε σημαντικό βάθος και δημιουργεί κινδύνους σοβαρών διαρραών, τόσο κάτω από τη θεμελίωση του φράγματος όσο και από τον αυχένα μεταξύ του ΒΦΠ και ΑΦΠ-3 (σχήμα 2).

Η στεγανοποίηση αυτών των περιοχών παρουσιάζει επομένως ιδιαίτερο ενδιαφέρον, και θα είναι το κύριο αντικείμενο αυτής της εργασίας.

Γεωλογική δομή της περιοχής θεμελίωσης του βοηθητικού φράγματος

Πολιτών (ΒΦΠ) και του αυχένα μεταξύ (ΒΦΠ) και (ΑΦΠ-3)

Σε όλη την έκταση της θεμελίωσης του ΒΦΠ καθώς και στο μεγαλύτερο μέρος του αυχένα επικρατούν οι παχυστρωματώδεις φαμμίτες. Αυτοί αποτελούνται από στρώματα και μπάγκους (0,3 - 8 μ.) γκριζου συνήθως λεπτόκοικου φαμμίτη. Μεταξύ των φαμμιτικών στρωμάτων παρεμβάλλονται συνήθως λεπτές ιλυολιθικές ενστρώσεις πάχους 1-10 εκατ. Αρκετά συχνά συναντώνται παχύτερες ενστρώσεις ιλυολίθου μέχρι 30 εκατ. και σπανιότερα μέχρι 1,5 μ. Στην περιοχή θεμελίωσης του ΒΦΠ υπάρχουν δυο πλατιές ιλυολιθικές ζώνες πάχους 5-8 μ. (σχήμα 2).

Ο φαμμίτης αποτελείται από κόκκους κυρίως χαλαζία, αστρίων δολομίτη και μοσχοβίτη και κατά δεύτερο λόγο χλωρίτη, βιοσίτη και θραύσματα πετρωμάτων. Το συγκολλητικό υλικό (MATRIX) είναι ασβεστιτικό.

Τα στρώματα με παράταξη 150° (στον αυχένα) έως 170° (στο αριστερό αντέρεισμα) τέμνουν τον άξονα του ΒΦΠ (διεύθυνση Βορράς-Νότος) με οξείες γωνίες (30°-10°), και τον άξονα του αυχένα με γωνίες (30°-40°). Τα στρώματα κλείνουν προς τα ΒΑ (ανάντη) με γωνίες 30° (αριστερό αντέρεισμα) ως 50° (αυχένας).

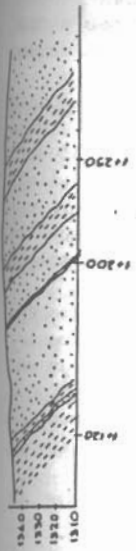
Κύριο τεκτονικό στοιχείο είναι ένα σύστημα διακλάσεων που με παράταξη 50°-60° τέμνει τον άξονα του ΒΦΠ με γωνίες 50°-60° και τον άξονα του αυχένα με γωνίες 60°-70°. Οι διακλάσεις είναι παρακτακόρυφες με κλίσεις 80°-90°.

Η επιφανειακή αποσάθρωση του πετρώματος είναι έντονη και ιδιαίτερα στο δεξιό αντέρεισμα. Για το λόγο αυτό το βάθος εκκαφών για τη θεμελίωση του πυρήνα έφθασε τα 10-12 μ. στο δεξιό αντέρεισμα και 5-8 μ. στην κοίτη και το αριστερό αντέρεισμα. Κάτω από το βάθος αυτό η έντονη αποσάθρωση περιορίζεται σε ζώνες κατά μήκος των ασυνχειών του πετρώματος (στρώσεις, διακλάσεις). Συχνά κατά μήκος των διακλάσεων υπάρχουν ζώνες έντονης αποσάθρωσης πλάτους μέχρι και 50 εκατ. Στις ζώνες αυτές η αποσάθρωση προχωρεί συχνά μέχρι την πλήρη εξαλλοίωση του πετρώματος, και την μετατροπή του σε χαλαρή ιλυούχο άμμο. Ο μηχανισμός αποσάθρωσης συνίσταται στη διάλυση και απομάκρυνση των ανθρακικών συστατικών του πετρώματος (ασβεστιτικό συνδετικό υλικό και εν μέρη δολομιτικοί κόκκοι), καθώς και τη χημική εξαλλοίωση των άλλων συστατικών. Πρόκειται δηλ. ουσιαστικά για μια καρστική διεργασία. Τέτοια φαινόμενα διευρυμένων από την αποσάθρωση αρμών των ασυνχειών που είναι γεμάτοι από χαλαρά προϊόντα της αποσάθρωσης τα ονομάσαμε ψευδοκαρστ.

Φαινόμενα ψευδοκαρστ στους παχυστρωματώδεις φαμμίτες συναντήθηκαν πολύ συχνά στα υπόγεια έργα (σήραγγα προσαγωγής) και στη διατήρηση των οπών των τοιμεντενεσέων σε βάθη που ξεπερνούν τα 50μ. από την επιφάνεια. Με ένα τέτοιο σύστημα καρστικών αγωγών η σήραγγα προσαγωγής επικοινωνήσε με το έλος των Πολιτών (η επικάλυψη στο σημείο αυτό ήταν 50μ.) και το αποστράγγισε, δημιουργώντας στην επιφάνεια μια καταβόθρα διαμέτρου 10μ. και βάθους 5μ.

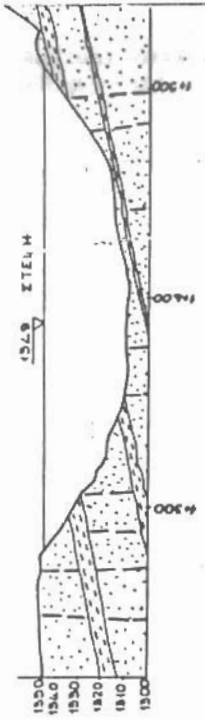
Ο υγιής φαμμίτης έχει πολύ μικρό πορώδες (<2%) και είναι πρακτικά στεγανός, όπως και ο ιλυόλιθος, με την αποσάθρωση όμως αυξάνει το πορώδες. Υπάρχει μια ευθέως αναλογική σχέση ανάμεσα στο βαθμό αποσάθρωσης το πορώδες και την υδροθεροστάτητα. Με το βαθμό αποσάθρωσης (V) στην

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΦΡΑΓΜΑ ΠΟΛΙΤΣΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΘΕΣΕΩΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
 POLITSES AUXILIARY DAM : DAMSITE GEOLOGY



ΤΟΜΗ Α-Α

Στον άξονα του συνδεταιριου δρόμου

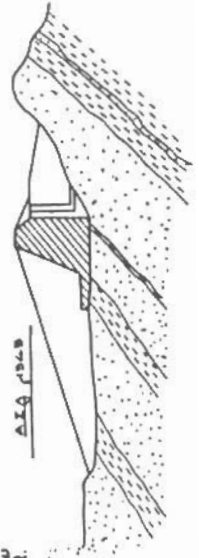


ΤΟΜΗ Β-Β

Στον άξονα του ΒΘΠ

ΤΟΜΗ Γ-Γ

Καθεται στον άξονα του ΒΘΠ στη Χ.Θ 1-421



εξαβάθμια κλίμακα, (το πέτρωμα έχει χάσει το σύνολο σχεδόν των μηχανικών αντοχών του διατηρεί όμως το σκελετό του) μετρήθηκε έργαστηριακά πορώδες 30% και διαπερατότητας $K=5 \cdot 10^{-5} - 10^{-4}$ CM/SEC. Η διαπερατότητα του πλήρως εξαλλοιωμένου υλικού που γεμίζει τους διευρυμένους αρμούς είναι σαφώς μεγαλύτερη.

Η κυκλοφορία νερού στο πέτρωμα είναι δυνατή μόνο μέσα από τους αρμούς των ασυνεχειών, ιδιαίτερα τους διευρυμένους από την αποσάρθρωση. Η κίνηση νερού διαρροών μέσα σ'αυτές τις αποσαρθρωμένες ζώνες έχει τον πρόσθετο κίνδυνο της εσωτερικής διάβρωσης και απομάκρυνσης του χαλαρού υλικού πλήρωσης και τη δημιουργία δικτύου καρστικών αγωγών κάτω από ΒΦΠ και τον αυχένα μεταξύ ΒΦΠ και ΑΦΠ-3. Για το λόγο αυτό η στεγανοποίηση του θεμελίου του ΒΦΠ και του πιο πάνω αυχένα είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια και την οικονομία του Έργου.

Με την εκσκαφή του θεμελίου του πυρήνα του ΒΦΠ και την εκτεταμένη αποκάλυψή του, διαπιστώθηκε ότι η συνέχεια των έντονα αποσαρθρωμένων διακλάσεων διακόπτεται όταν αυτές συναντούν ιλυολιθικά στρώματα ακόμη και μικρού πάχους (5-10 CM). Σε πλατύτερα από 30 εκατοστά ιλυολιθικά στρώματα οι διακλάσεις ή δεν φαίνονται καθόλου ή είναι κλειστές με ελαφρά οξειδωμένους αρμούς. Επίσης διαπιστώθηκε πως κατά μήκος των επαφών ιλυολιθικών με φαιμμιτικά στρώματα υπάρχει πολύ συχνά έντονα αποσαρθρωμένη ζώνη.

Η κίνηση επομένως του νερού μέσα στις διευρυμένες διακλάσεις σε οριζόντια έννοια διακόπτεται ή παρεμποδίζεται σοβαρά από τις ιλυολιθικές παρεμβολές. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις παρατηρήσεις κατά την διανοίξη της σήραγγας Προσαγωγής, όπου διαπιστώθηκε πως ιλυολιθικά στρώματα πάχους μεγαλύτερου από 50 εκατοστά χωρίζουν υδροφόρους ορίζοντες με μικρή ή καθόλου επικοινωνία.

Πρόγραμμα και τεχνική των τσιμεντενέσεων.

Για τη στεγανοποίηση των πιο πάνω περιοχών έγινε μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων πάνω σε ένα άξονα κατά μήκος του άξονα του ΒΦΠ και του συνδετήριου δρόμου μεταξύ ΑΦΠ-3 και ΒΦΠ. Το βάθος της κουρτίνας έφθασε τα 60 μ. από την επιφάνεια στο δεξιό αντέρεισμα και το συνδετήριο δρόμο ενώ στο αριστερό αντέρεισμα και κοίτη 40 μ. Η κατασκευή άρχισε από τις πρωτεύουσες οπές (1 οπή κάθε 12 μ.) και συνεχίστηκε με διαδοχική πύκνωση (διάτρηση νέας οπής τσιμεντενέσεως στο μέσο δυο διαδοχικών οπών) μέχρι τις τεταρτεύουσες οπές (1 οπή κάθε 1,5μ.) για το συνολικό μήκος της κουρτίνας.

Σε ένα τμήμα του δεξιού αντερείσματος του ΒΦΠ και του συνδετήριου δρόμου χρειάστηκε παραπέρα πύκνωση και έγιναν οι οπές πέμπτης τάξεως (πυκνότητα 1 οπή ανά 0,75 μ.). Στο τμήμα αυτό του συνδετήριου η κουρτίνα δεν έκλεισε ούτε με τις οπές πέμπτης τάξεως και έγιναν και πρόσθετες κεκλιμένες οπές. Η πύκνωση των οπών πέρα από τις δευτέρουσες έγινε με κριτήριο την απορρόφηση τσιμέντου μεγαλύτερη από 50 KG ανά μέτρο μήκους οπής. Τριτεύουσες και παραπέρα οπές διατρήθηκαν μόνο όπου, στις προηγούμενες τσιμεντενέσεις, παρατηρήθηκαν απορροφήσεις >50 KG/M. Η διάτρηση έγινε με περιστροφικό μηχάνημα, χωρίς πυρηνοληψία. Σε όλες τις οπές έγιναν δοκιμές εισπίεσεων σε πεντάμετρα στάδια και σε τρεις βαθμίδες πίεσης.

Οι τσιμεντενέσεις έγιναν σε πεντάμετρα στάδια από κάτω προς τα πάνω με πιέσεις ίσες κάθε φορά με το βάρος του υπερκείμενου πετρώματος. Τα ενέματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αιωρήματα τσιμέντου σε νερό. Η αραιότερη σύνθεση που χρησιμοποιήθηκε ήταν νερό:τσιμέντο 3:1 κατά βάρος και η πυκνότερη 0,8:1. Σε όλα τα ενέματα χρησιμοποιήθηκε πρόσμικτος μπετονίτης σε αναλογία 1% στο βάρος τσιμέντου. Ο μπετονίτης χρησιμοποιήθηκε προενεργηποιημένος.

Κριτήριο για την περάτωση της τσιμεντενέσεως ενός σταδίου ήταν ρυθμός απορρόφησης ενέματος μικρότερος από 2 lit/min για δέκα συνεχή λεπτά.

Αποτελέσματα των τσιμεντενέσεων στο ΒΦΠ και στο συνδετήριο δρόμο μεταξύ ΒΦΠ και ΑΦΠ-3.

Για τεχνικούς λόγους δεν είναι δυνατή η αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δοκιμών εισπίεσως και των τσιμεντενέσεων (πολλά μεγάλα σχέδια). Θα παρουσιασθούν όμως τα αποτελέσματα στατιστικά επεξεργασμένα. Η στατιστική αυτή επεξεργασία γίνονταν παράλληλα με την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων, στα πλαίσια μιας πρώτης αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, με στόχο το διαρκή συνολικό έλεγχο της αποτελεσματικότητας των τσιμεντενέσεων.

Για τη στατική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, με κριτήρια μορφολογικά και γεωλογικά, η κουρτίνα χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα.

Έτσι η κουρτίνα του συνδετήριου δρόμου χωρίστηκε σε δυο τμήματα. Το τμήμα (Α) από τη χ.θ. 1+085 έως χ.θ. 1+210 και το τμήμα (Β) από τη χ.θ. 1+210 - 1+270.

Η κουρτίνα του ΒΦΠ χωρίστηκε σε τρία τμήματα το τμήμα Α περιλαμβάνει όλο το δεξιό αντέρεισμα (από χ.θ. 1+270 έως χ.θ. 1+350). Το τμήμα Β περιοχή της κοίτης (από χ.θ. 1+350 έως χ.θ. 1+410) και το τμήμα Γ περιλαμβάνει όλο το αντέρεισμα (από χ.θ. 1+410 έως χ.θ. 1+521) (βλέπε σχήμα 2).

Στα σχήματα (3,5 και 6) παριστάνονται τα διαγράμματα μέσων τιμών των απορροφήσεων τσιμέντου και των τιμών εισπίεσης. Οι μέσες τιμές υπολογίστηκαν χωριστά για κάθε σειρά οπών (πρωτεύουσες (Ρ)), δευτερεύουσες (S), τριτεύουσες (Τ), τεταρτεύουσες (Q), πέμπτης τάξεως (Ε). Στο βοηθητικό φράγμα επειδή δεν υπήρχαν εμφανείς διαφοροποιήσεις των απορροφήσεων με το βάθος δεν διαιρέθηκε η κουρτίνα σε ζώνες βάθους. Στο συνδετήριο δρόμο αντίθετα η κουρτίνα χωρίστηκε, σε πεντάμετρες ζώνες βάθους και υπολογίστηκε μια μέση τιμή για κάθε σειρά οπών σε κάθε τμήμα και κάθε ζώνη βάθους.

Για να ξεπεραστεί το μειονέκτημα των μέσων τιμών, όπου δεν υπάρχουν στοιχεία για το μέγεθος των μεμονωμένων τιμών των απορροφήσεων που σημειώθηκαν, δίνονται και τα διαγράμματα των σχημάτων (4 και 7). Αυτά παριστάνουν τις αθροιστικές καμπύλες κατανομής των δοκιμών εισπίεσως και των σταδίων των τσιμεντενέσεων σε συνάρτηση με τις απορροφήσεις τους.

Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν και θα σχολιασθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών εισπίεσως και των τσιμεντενέσεων χωριστά για κάθε τμήμα της κουρτίνας.

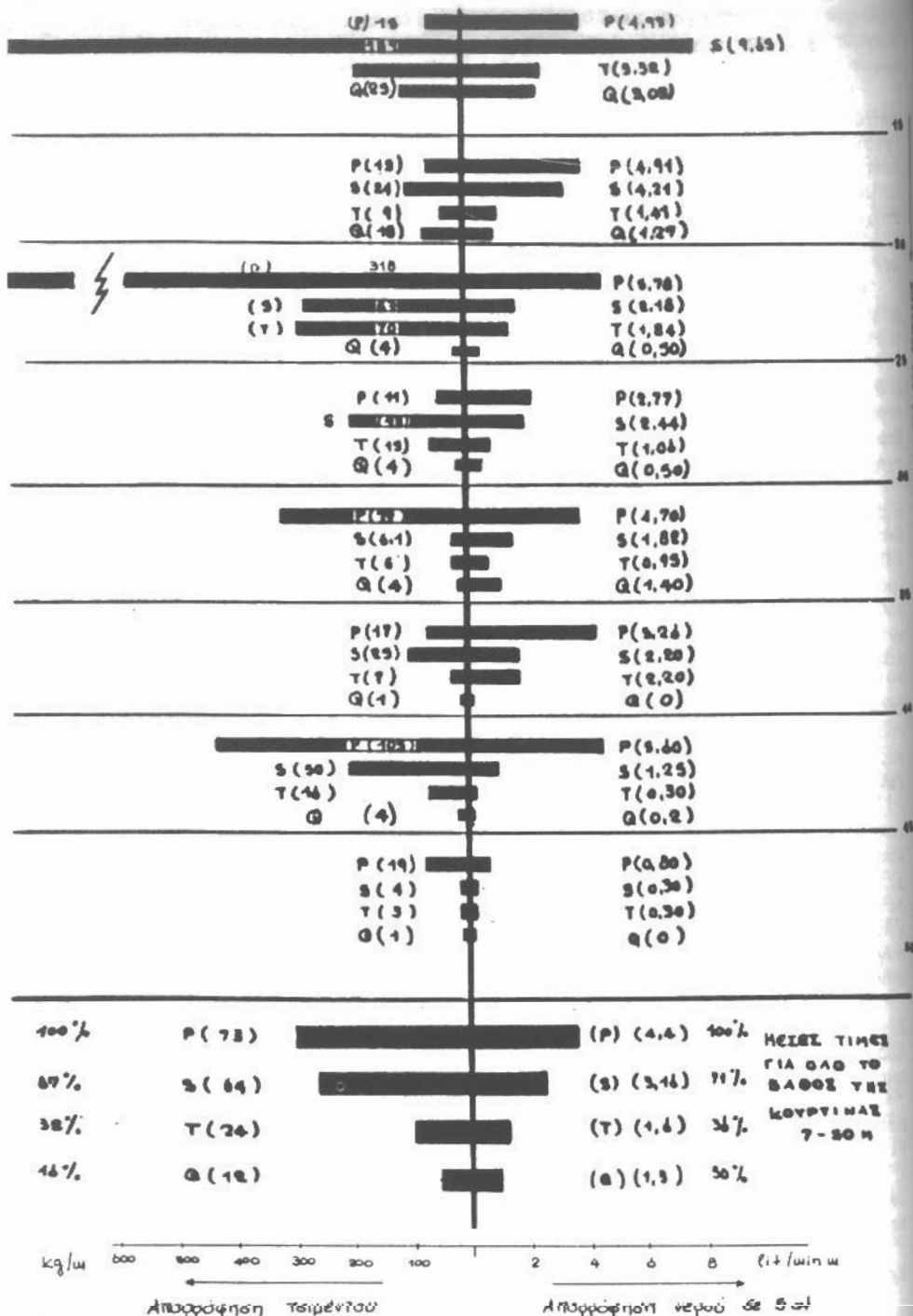
α. Συνδετήριο δρόμος τμήμα (Α): Στο διάγραμμα μέσων τιμών (σχήμα 3) δείχνονται οι μέσες τιμές των εισπίεσεων και των απορροφήσεων τσιμέντου για κάθε σειρά οπών (Ρ, S, Τ κ.λ.π.) τόσο για κάθε ζώνη βάθους όσο και συγκεντρωτικά για το συνολικό βάθος. Στο τελευταίο αυτό διάγραμμα για το συνολικό βάθος παρατηρούμε ότι:

- Η μέση τιμή των εισπίεσεων στις (Ρ) οπές (φυσική υδατοπερατότητα) είναι σχετικά μικρή 4,4 lit/min.m σε 5 ΑΤ. Ανάλογα μικρή είναι και η μέση απορρόφηση τσιμέντου 73 Kg/m (χιλιόγραμμα τσιμέντου ανά μέτρο μήκους της οπής).

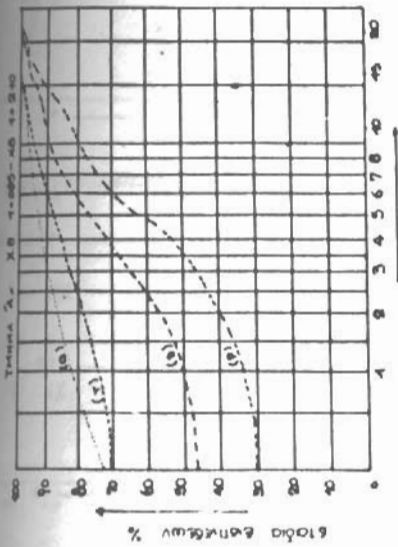
- Υπάρχει μια σταθερή μείωση της μέσης τιμής, τόσο για τις εισπίεσεις όσο και για τις απορροφήσεις τσιμέντου στις διαδοχικές σειρές οπών (από τις (Ρ) έως τις (Q)). Η μέση τιμή των εισπίεσεων μειώθηκε από 4,4 lit/min. m στις (Ρ) οπές σε 1,3 lit/min.m σε 5 ΑΤ στις (Q) οπές, δηλαδή με την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων στις τριτεύουσες οπές η υδατοπερατότητα του πετρώματος περιορίστηκε στο 30% της αρχικής της τιμής.

Ανάλογη μεταβολή είχε και η απορροφητικότητα σε τσιμέντο στις Q οπές 12 Kg/m δηλαδή 16% της αντίστοιχης τιμής των (Ρ).

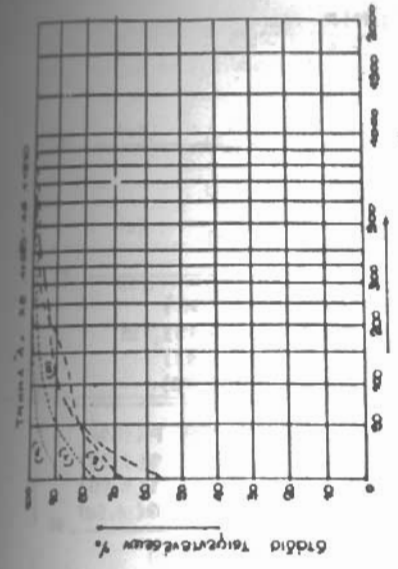
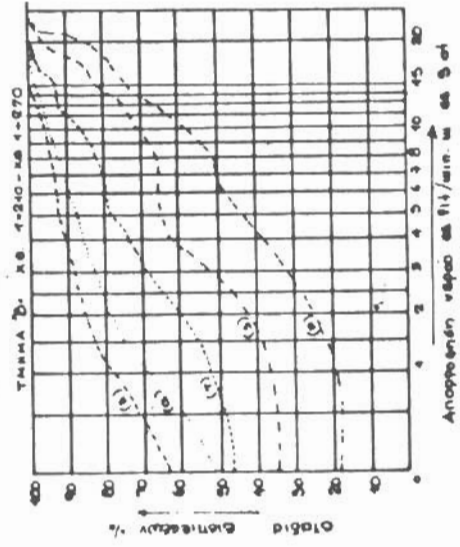
Είναι δηλαδή φανερό η επίδραση των τσιμεντενέσεων πάνω στην απορροφητικότητα των οπών της επόμενης σειράς, ήδη από τις δευτερεύουσες οπές.



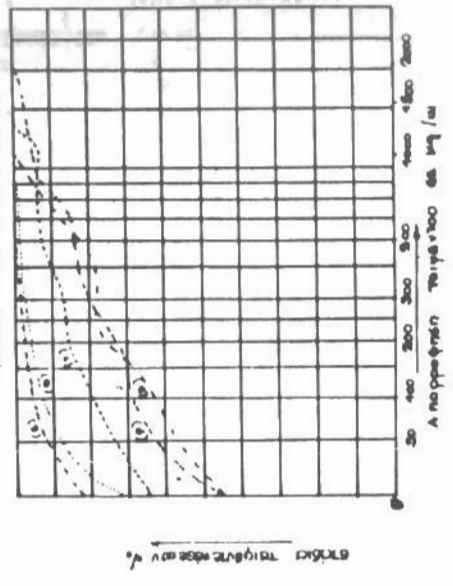
Σχήμα 3. ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΣΤΟ ΣΥΝΔ. ΔΡΟΜΟ ΤΜΗΜΑ "Α". CURTAIN OF CONECT. ROAD "A".
 Μέσες τιμές απορροφήσεων νερού και τσιμέντου
 Average values of water and Cement absorption
 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Απορροφήν έσραο έσ λεπτά

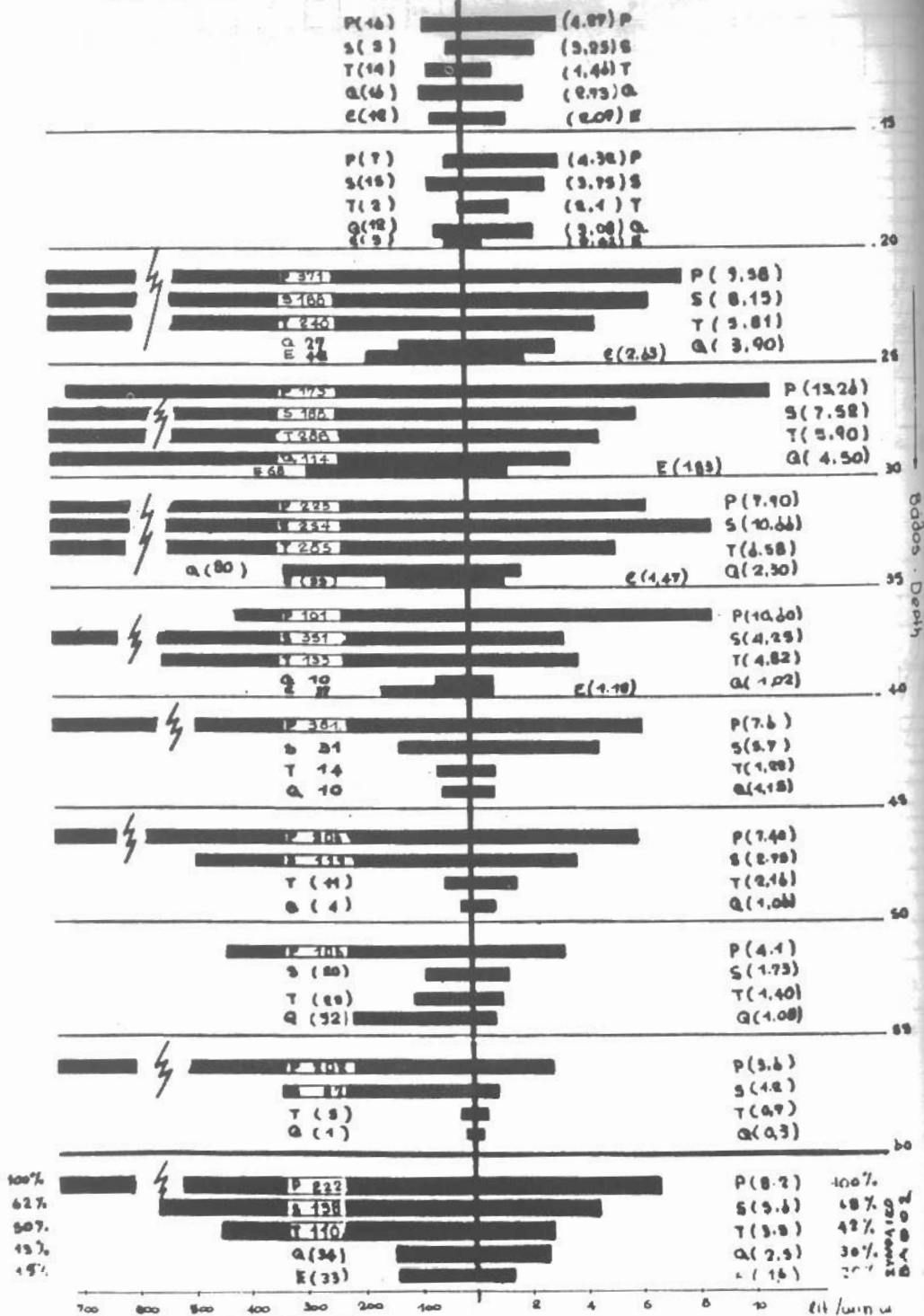


Απορροφήν έσραο έσ λεπτά



Σχίρα 4. ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΣΤΟ ΣΥΝΔ ΔΡΟΜΟ - CURTAIN OF CONNECTING ROAD
 Κατανομή των δαμικών ένοπιέσεων και των εσπίων των τριγυρήμενων έσ τις απορροφήν έσ τους
 Distribution of water pressure tests and grouting stages to relative absorptions

ΤΑΒΛΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ
 ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



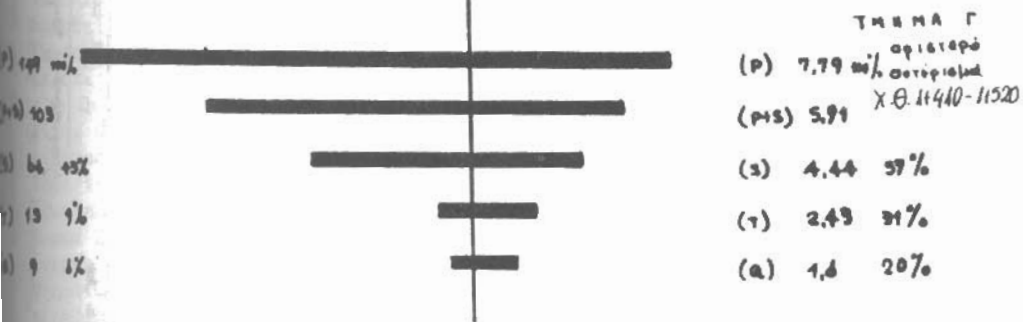
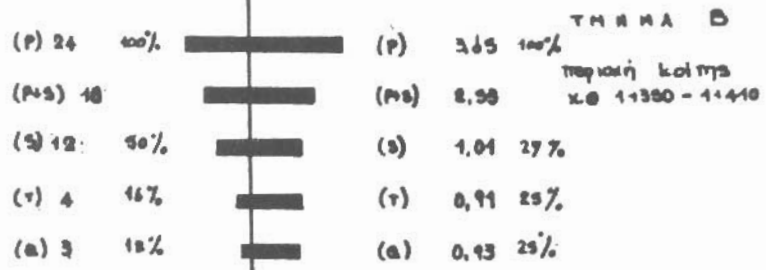
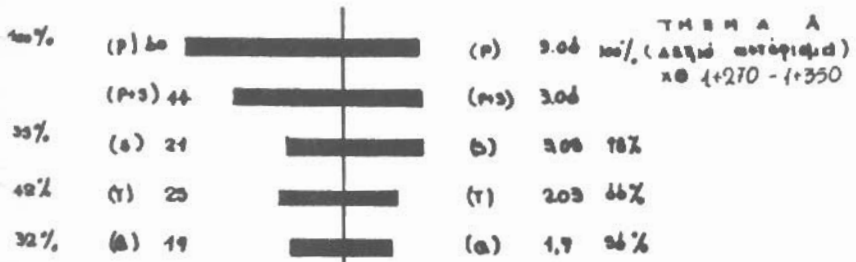
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Σχήμα 5.

Απορρόφηση τσιμεντού / Απορρόφηση νερού σε 5 ατ

Μεσες τιμές απορροφήσεων νερού και τσιμεντού / Average values of water and cement absorption

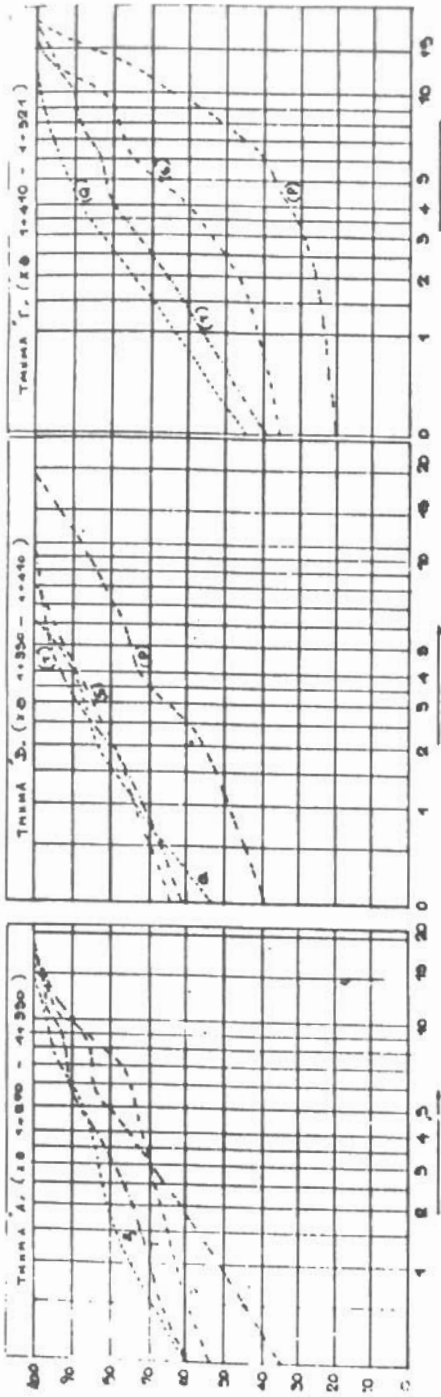
CURTAIN OF AUXILIARY - ΔΑΗ
ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΣΤΟ ΒΦΠ



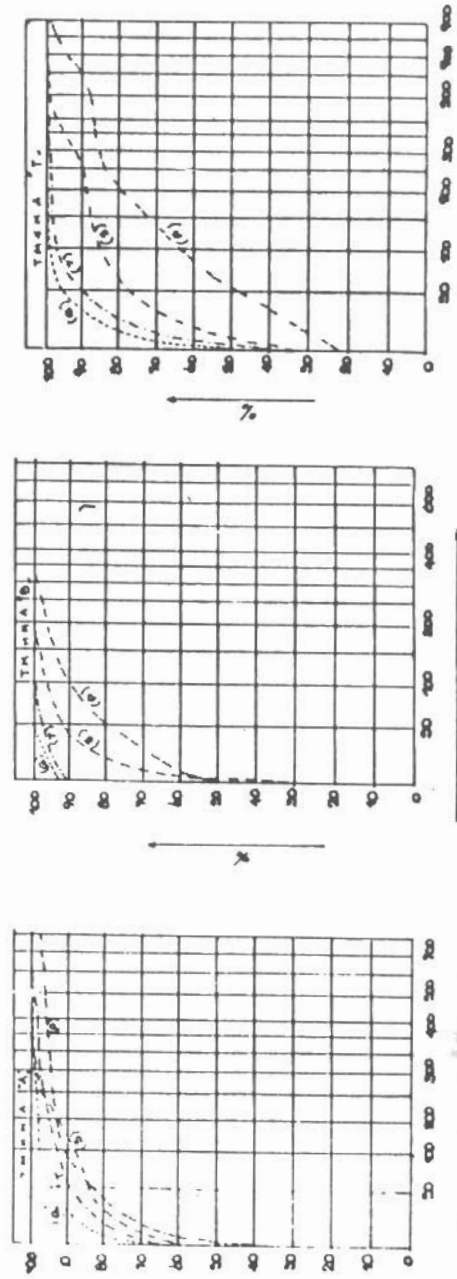
100 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400
 Απορρόφηση τσιμέντου Απορρόφηση νερού σε sat

6. Μέσες τιμές απορροφήσεων νερού και τσιμέντου
 Average values of water and cement absorption.

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



Απορρόφηση νερού σε lit/min w σε 5at



Σχήμα 7. ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΣΤΟ Β.Φ.Π - CURTAIN OF AUXILIARY DAM
 Απορρόφηση νερού σε lit/min w

Αυτό σημαίνει πως το ένεμα κυκλοφόρησε στη διεύθυνση του άξονα της κουρτίνας σε αποστάσεις που φθάνουν και τα όμ. (απόσταση διαδοχικών Ρ και S οπών). Τέτοια κίνηση σύμφωνα με τη γεωλογία που προαναφέραμε είναι δυνατή μόνο μέσα στους αρμούς της στρώσης.

Στην πρώτη ζώνη βάθους (7 - 15 μ.) οι τοιμεντενέσεις στις (Ρ) οπές δεν επέδρασαν πάνω στις (S). Αυτό είναι αντίθετο από τα αναμενόμενα γιατί κοντά στην επιφάνεια το πέτρωμα είναι πιο χαλαρωμένο και επομένως η κίνηση του νερού και του ενέματος στους αρμούς των στρώσεων θα έπρεπε να είναι ευκολότερη. Το γεγονός μπορεί να αποδοθεί στις μικρότερες πιέσεις που εφαρμόστηκαν στο στάδιο αυτό (2,7 ΑΤ) επειδή δεν έπρεπε να υπερβούμε το βάρος του υπερκείμενου πετρώματος.

Η μέση απορρόφηση τοιμεντού από τα 25μ. και κάτω στις οπές (Τ) και (Q) ήταν αμελητέα. Επομένως από το βάθος αυτό και κάτω η κουρτίνα έκλεισε ήδη με τις τοιμεντενέσεις στις (S) οπές. Και πράγματι οι (Q) και (Τ) οπές στο τμήμα αυτό προχώρησαν κάτω από τα 25μ. μόνο επιλεκτικά. Ενώ με την εκτέλεση και των (Q) οπών (με κριτήρια πάντα τις μέσες τιμές απορροφήσεων) η κουρτίνα κλείνει για όλο το βάθος εκτός ίσως από την πρώτη ζώνη (7-15μ.) όπου οι απορροφήσεις στις Q δεν είναι αμελητέες.

Αν εξετάσουμε τις καμπύλες κατανομής των απορροφήσεων των μεμονωμένων σταδίων (σχήμα 4) παρατηρούμε ότι: Στο 15% των δοκιμών εισπίσεων στις (Q) σημειώθηκαν τιμές μεγαλύτερες από 2 lit/min.m και σε ποσοστό 4% μεγαλύτερο από 10 lit/min.m. Στις απορροφήσεις τοιμεντού μόνο στο 4% των σταδίων είχαμε τιμές μεγαλύτερες από 50 Kg/m ενώ σε μερικά στάδια είχαμε μεγάλες τιμές μέχρι και 50 Kg/m.

Τα στάδια αυτά με τις πολύ μεγάλες απορροφήσεις τοιμεντού εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή χ.θ. 1+095 έως χ.θ. 1+110. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στη ζώνη των εναλλαγών, στη συγκεκριμένη όμως θέση υπάρχουν μερικοί φαμμιτικοί πάγγοι συνολικού πάχους 2,5μ. περίπου μέσα στους ιλυόλιθους, με έντονη αποσάρθρωση. Στη θέση αυτή η πύκνωση οπών προχώρησε και πέρα από τις (Q). Εκτελέστηκαν οι οπές πέμπτης τάξεως (E) καθώς και μερικές πρόσθετες κενκλιμένες οπές.

Συνδετήριο δρόμος Τμήμα Β: Στο διάγραμμα μέσων τιμών (σχήμα 5) παρατηρούμε ότι:

- Οι μέσες τιμές των απορροφήσεων τόσο του νερού όσο και του τοιμεντού είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές του τμήματος (Α). Η σαφής αυτή διαφοροποίηση των απορροφήσεων εξηγείται ικανοποιητικά από τη γεωλογική δομή της περιοχής. Στην περιοχή (B) της κουρτίνας επικρατεί μια φαμμιτική ζώνη πάχους 35-40 μ. Η ζώνη παρεμβάλλεται μεταξύ δυο αδιαπέραστων ιλυολιθικών ζωνών (σχήμα 2). Τέτοια φαμμιτικά στρώματα ή ζώνες εμφανίζουν συνήθως έντονη και βαθιά αποσάρθρωση ιδιαίτερα κατά μήκος των επιφανειών των σχημάτων. Η διαπίστωση αυτή προκύπτει από πολυάριθμες παρατηρήσεις του πετρώματος σε υπαίθριες και υπόγειες εκσκαφές.

- Η μέση απορρόφηση νερού (για το συνολικό βάθος της κουρτίνας) από 8,2 lit/min.m στις (Ρ) οπές (φυσική υδατοπερατότητα), μειώθηκε σε 1,6 lit/min.m στις (E) οπές. Δηλ. η υδατοπερατότητα του πετρώματος με την εκτέλεση των τοιμεντενέσεων και στις (Q) οπές μειώθηκε στο 20% της αρχικής της τιμής. Η αντίστοιχη μείωση της απορρόφησης τοιμεντού ήταν ακόμη μεγαλύτερη (Ρ) = 222 Kg/m και (E)=33 KG/m δηλ. το 15% της απορρόφησης των (Ρ).

1. Οι οπές των τοιμεντενέσεων στην κουρτίνα του συνδετηρίου δρόμου έγιναν από το υψόμετρο 1350 περίπου. Οι τοιμεντενέσεις όμως και οι δοκιμές εισπίσεων στις οπές αυτές άρχιζαν από το 1343 (ανώτατη στάθμη λειτουργίας).

- Υπάρχει μια σαφής διαφοροποίηση των απορροφήσεων στις ζώνες βάθους. Στα δυο πρώτα στάδια (7-20 m). Οι απορροφήσεις νερού είναι γενικά μικρότερες από τις βαθύτερες ζώνες, με εξαίρεση τις πολύ βαθιές (50-60 m). Για τα ίδια στάδια (7-20 μ) οι απορροφήσεις τοιμέντου είναι απροσδόκητα μικρές σε αντίθεση με τις βαθύτερες ακόμη και τις πολύ βαθιές ζώνες.

- Μέχρι βάθος 40m στις (P), (S) και (T) οπές οι απορροφήσεις τοιμέντου δεν δείχνουν σαφή τάση προοδευτικής μείωσης ενώ στις πιο βαθιές ζώνες η τάση αυτή είναι σαφής ήδη από τις δευτερεύουσες οπές.

- Από τις μέσες τιμές απορροφήσεων τοιμέντου φαίνεται πως η κουρτίνα στη ζώνη βάθους 20-40 m δεν κλείνει ούτε με τις (E) οπές.

Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η εκτέλεση ένδεκα (11) πρόσθετων κεκλιμένων οπών (Π) για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων που εντοπίστηκαν με τις (E).

- Στο σχήμα (4) βλέπουμε ότι το 15% των δοκιμών εισπιέσεως που έγιναν στις (E) οπές, έδωσαν τιμές μεγαλύτερες από 2 lit/min.m και το 4% μεγαλύτερες από 10 lit/min.m Δηλ. μετά την εκτέλεση των τοιμεντενέσεων στις (Q) οπές, εξακολουθούν να παραμένουν τοπικά μεγάλες υδατοπερατότητες. Οι αντίστοιχες απορροφήσεις τοιμέντου στις (E) δείχνουν το πρόβλημα μικρότερο (μόλις 8% των σταδίων είχαν απορροφήσεις μεγαλύτερες από 50 Kg/m ή το 5% πάνω από 100 Kg/m).

Κουρτίνα στο Β.Φ.Π. Από τα διαγράμματα μέσω των τιμών (σχ. 6) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

-Οι απορροφήσεις νερού και τοιμέντου είναι αισθητά μεγαλύτερες στο τμήμα Γ -Η εξέλιξη της μέσης τιμής εισπιέσεων στο τμήμα (A) είναι $P=3,06$, $S=3,05$, $T=2,03$ και $Q=1,73$ lit/min.m (σε 5 at) Παρατηρούμε ότι η αρχική τιμή (φυσική υδροπερατότητα) είναι σχετικά μικρή και ότι η τιμή αυτή στις (Q) οπές παραμένει σημαντική (το 56% της αρχικής τιμής). Στα άλλα τμήματα της κουρτίνας του Β.Φ.Π. οι αντίστοιχες τιμές εισπιέσεων είναι:

Τμήμα Β: (P)=3,65, (S)=1,01, (T)=0,91, (Q)=0,93 lit/min.m Τιμή στις (Q) το 25% της αρχικής.

Τμήμα Γ: (P)=7,79, (S)=4,4, (T)=2,43, (Q)=1,66 lit/min.m Τιμή στις (Q) το 20% της αρχικής.

Οι μισές απορροφήσεις τοιμέντου που σημειώθηκαν είναι:

Τμήμα Α $P=60$ Kg/m, $Q=19$ Kg/m $Q=32\%$ των (P).

Τμήμα Β $P=24$ Kg/m, $Q=3$ Kg/m $Q=12\%$ των (P).

Τμήμα Γ $P=149$ Kg/m, $Q=9$ Kg/m $Q=6\%$ των (P).

- Σύμφωνα με τα παραπάνω η αποτελεσματικότητα των τοιμεντενέσεων στον περιορισμό της υδατοπερατότητας και της απορροφητικότητας ήταν σημαντική στα τμήματα (B) και (Γ) και μικρή στο τμήμα Α.

- Στο σχήμα 7 από τις καμπύλες απορρόφησης τοιμέντου στις οπές (Q) σε όλα τα τμήματα της κουρτίνας φαίνεται ότι η κουρτίνα έκλεισε με τις οπές αυτές (σε ποσοστό λιγότερο από 5% των σταδίων σημειώθηκαν απορροφήσεις μεγαλύτερες από 50 Kg/m).

Οι καμπύλες που αναφέρονται στις τιμές των εισπιέσεων δείχνουν αντίθετα ότι για το 20-25% των δοκιμών στις (Q) οι τιμές ήταν μεγαλύτερες από 2 lit/min.m. Δεδομένου ότι οι απορροφήσεις τοιμέντου στις (Q) οπές ήταν πολύ μικρές και δεν αναμένεται να είχαν κάποια σημαντική επίδραση στην παραπέρα μείωση της υδατοπερατότητας του πετρώματος, υπάρχει ένα πρόβλημα "παραμένουσας υδατοπερατότητας" για όλα τα τμήματα του βοηθητικού φράγματος. Η υπόλοιπη υδατοπερατότητα δηλ. που παραμένει στο πέτρωμα μετά το κλείσιμο της κουρτίνας είναι σε αρκετά στάδια σημαντική. Η υδατοπερατότητα αυτή δεν μπορεί να μειωθεί παραπέρα με τοιμεντενέσεις. Ανάλογο πρόβλημα υπερέχει για το συνδεδημένο δρόμο (σχήμα 4).

Στοιχεία για την κυκλοφορία του ενέματος στο πέτρωμα - Συμπεράσματα

Στις οπές ελέγχου (οσες έγιναν μέχρι τώρα) που είναι πυρηνοληπτικές, έγινε προσπάθεια να μελετηθεί η κυκλοφορία του ενέματος των τσιμεντενέσεων στο πέτρωμα. Η εργασία αυτή δεν ολοκληρώθηκε και δεν είμαστε σε θέση ακόμη να αναφέρουμε σχετικά ποσοτικά στοιχεία. Μπορούμε όμως να αναφέρουμε μερικές, σημαντικές κατά τη γνώμη μας, παρατηρήσεις.

Οι παρατηρήσεις αυτές συμπληρώνονται και από άλλες ανάλογες που έγιναν στο θεμέλιο του Β.Φ.Π. όπου με τον τελικό καθαρισμό για τη θεμελίωση αποκαλύφθηκαν εμφανίσεις τσιμέντου μέσα στις αποσπασμένες ζώνες των ασυνεχειών.

Οι παρατηρήσεις αυτές συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Το ένεμα κυκλοφόρησε στους αρμούς των ασυνεχειών (στρώσεις και διακλάσεις) και κυρίως στις αποσπασμένες ζώνες τους.

- Σε καμιά περίπτωση δεν εντοπίστηκε ένεμα μέσα στους πόρους του αποσπασμένου ψαμμίτη, ή του χαλαρού υλικού των αποσπασμένων ζωνών.

- Στο χαλαρό υλικό των αποσπασμένων ζωνών το ένεμα σχημάτισε φακκοειδής ή φλεβοειδείς σχηματισμούς ή και δίκτυο φλεβών διαφόρων διαστάσεων.

- Στους αρμούς της στρώσης συχνά σχηματίζει ενστρώσεις πάχους 0,1-3 εκατοστά.

- Οι φλέβες τσιμέντου που παρατηρήθηκαν σε αποσπασμένες ζώνες των διακλάσεων στο θεμέλιο του Β.Φ.Π. είχαν πάχος από λίγα χιλιοστά μέχρι 3 εκατοστ. Στους πυρήνες των γεωτρήσεων συναντήθηκαν πυρήνες τσιμέντου μήκους 5-30 cm και σε μια περίπτωση συνεχής πυρήνας τσιμέντου μήκους 1m.

Οι πιο πάνω παρατηρήσεις μας οδηγούν στο συμπέρασμα πως το ένεμα δημιουργεί μόνο του το ζωτικό χώρο που καταλαμβάνει, στις χαλαρές αποσπασμένες ζώνες, εκτοπίζοντας και συμπυκνώνοντας το υλικό τους. Η πίεση που απαιτείται για τη διεργασία αυτή δεν μπορεί να είναι ενιαία γιατί εξαρτάται από το βαθμό αποσπάρωσης (και επομένως χαλαρότητας) του υλικού. Ακόμη με τις πιο πάνω παρατηρήσεις μπορούν να εξηγηθούν ορισμένα φαινόμενα που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπως αυτό της "παραμένουσας υδατοπερατότητας" και της μικρής απορρόφησης τσιμέντου στα δυο πρώτα στάδια των οπών του τμήματος "B".

Η παραμένουσα υδατοπερατότητα που οι τιμές της κυμαίνονται από 2 έως 4 lit/m².m σε 5 at θα πρέπει να αποδοθεί στην υδατοπερατότητα του έντονα αποσπασμένου, όχι όμως πλήρως εξαλλοιωμένου ψαμμίτη, που διατηρεί ακόμη ένα υπόλοιπο της συγκόλλησης των κόκκων και των αντοχών του. Στους πόρους αυτού του υλικού μπορεί να κυκλοφορήσει νερό (υδατοπερατότητα γύρω στο 10⁻⁴ cm/sec όπως προαναφέραμε), όχι όμως και το ένεμα. Επίσης το υλικό αυτό δεν συμπυκνώνεται με τις πιέσεις που εφαρμόζονται στις τσιμεντενέσεις, έτσι παρά τη σημαντική υδατοπερατότητα το υλικό δεν απορροφά ένεμα.

Οι μικρές απορροφήσεις τσιμέντου στα δυο πάνω στάδια των οπών (7-20m) στο τμήμα Β του συνδεδηρίου δρόμου αλλά και στο ΒΦΠ, μπορεί επίσης να εξηγηθεί με την αδυναμία συμπύκνωσης του χαλαρού υλικού των αποσπασμένων ζωνών επειδή οι εφαρμοζόμενες πιέσεις στα στάδια αυτά είναι μικρές.

Τέλος η απότομη πτώση της πίεσης και η ταυτόχρονη απότομη αύξηση του ρυθμού απορρόφησης τσιμέντου, που παρατηρήθηκε στην εκτέλεση αρκετών τσιμεντενέσεων, μπορεί να εξηγηθεί με θραύση του υλικού πλήρωσης των αρμών όταν η πίεση υπερβεί το όριο αντοχής του. Χωρίς αυτή την στιγμή να μπορεί να τεκμηριωθεί συγκεκριμένα, η πίεση αυτή φαίνεται να είναι γύρω στις 4 at για το πλήρως εξαλλοιωμένο υλικό. Στο θέμα πάντως αυτό θα μπορούμε να πούμε περισσότερα πράγματα στην τελική αξιολόγηση των στοιχείων με τη

μελέτη κυρίως της μεταβολής της αντιστοιχίας τιμή εισπίεσης-απορρόφηση τσιμέντου, με το βάθος (πίεση).

Η πλήρωση της λίμνης που πρόκειται να αρχίσει μέσα στην άνοιξη του 1988 θα δείξει αν και σε πιο βαθμό η κουρτίνα που κατασκευάστηκε ανταποκρίνεται στην αποστολή της. Εδώ συνκετιμώντας όλα τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν μπορούν να λεχθούν λίγα πράγματα για τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

- Στο Β.Φ.Π. ο προσανατολισμός των στρωμάτων είναι ως ένα βαθμό ευνοϊκός. Για την εκμετάλλευση της σχετικής στεγανότητας του πετρώματος σε διευθύνσεις εγκάρσιες προς την παράταξη, έγινε μια μικρή τροποποίηση στην αρχική μελέτη και κατασκευάστηκε μια ποδιά του πυρήνα προς τα ανάντη, πλάτους 15m και πάχους 2m. Η τροποποίηση αυτή έγινε όταν ήταν γνωστή η γεωλογία στις λεπτομέρειές της και είχε σαν κύριο στόχο να περιλάβει στη θεμελίωση του πυρήνα, για όλο το αριστερό αντέρεισμα και την κοίτη, μια πλατιά ζώνη ιλυολίθου (σχήμα 2, κάτοψη και τομή Γ-Γ'). Η πιο επισφαλής πάντως περιοχή ήταν το κατώτερο μισό του δεξιού αντερείσματος όπου μια πλατιά φαμμιτική ζώνη παρεμβάλλεται μεταξύ δυο ιλυολιθικών ζωνών (βλ. σχ. 2 κάτωψη). Είναι η ίδια φαμμιτική ζώνη που επικρατεί και στο τμήμα "B" του συνδετήριου δρόμου.

Εδώ δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο "κλείσιμο της" κουρτίνας και η πύκνωση έφτασε μέχρι τις οπές (E) γιατί σε αντίθεση με το συνδετήριο δρόμο εδώ η εκ των υστέρων επέμβαση θα είναι και δύσκολη και πολύ δαπανηρή:

- Στον συνδετήριο δρόμο το πρόβλημα εντοπίζεται σε μια περιοχή του τμήματος "A" χ.θ. 1095-1110 και μερικές περιοχές του τμήματος "B". Στις περιοχές αυτές και στη ζώνη βάθους 1320-1340 (απόλυτο υψόμετρο) παρά τις μεγάλες ποσότητες τσιμέντου που απορροφήθηκε, η κουρτίνα δεν έκλεισε ούτε με τις οπές "πέμπτης τάξεως". Έτσι θα γίνουν και πρόσθετες οπές. Ο μεγάλος κίνδυνος για την περιοχή αυτή δεν είναι οι αρχικές διαρροές, που περιμένουμε να είναι μικρές, αλλά η γρήγορη αύξησή τους που θα οφείλεται σε εσωτερική διάβρωση του πετρώματος. Δεδομένου ότι ο αυχένος είναι στενός, η υδραυλική κλίση και η διαβρωτική ικανότητα του νερού των διαρροών θα είναι μεγάλη. Η αντοχή στη διάβρωση του πλήρως εξαλλοιωμένου υλικού είναι μικρή. Με τις τσιμεντενώσεις η αντοχή αυτή αυξάνεται. Πόσο σημαντική είναι αυτή η αύξηση και αν είναι τελικά αρκετή για να σταθεροποιησει το υλικό απέναντι στη διάβρωση είναι άγνωστο.

Η αβεβαιότητα όμως αυτή δεν είναι κρίσιμη για το έργο γιατί εδώ υπάρχει δυνατότητα επέμβασης στη διάρκεια λειτουργίας του έργου και χωρίς αυτή να παρενοχλείται ουσιαστικά (κατώτατη στάθμη λειτουργίας 1315m).

B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

- EWERT F.K. Untersuchungen zu felsinjektionen Teil 1. Fallstudien, WD-Versuche, spezifische Durchlässigkeitskennwerte. Münster Forsch., Geol. Paläont. 49, σελ. 292. Münster 1979.
- HEITFELD K.H. Hydro und baugeologische Untersuchungen über die Durchlässigkeit des Untergundes an Talsperren des Sauerlandes Geol. Mitt. 5, σελ. 210 Aachen 1965.
- EWERT E.K. Untersuchungen zu felsinjektionen Teil 2 (53) σελίδες 236, Münster 1981.