

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
**ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΝΤΟΑΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Γεωλογικά στοιχεία πετρωμάτων

1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Χαρακτηριστικά των γεωυλικών.....	6
1.2.1 Διάκριση.....	6
1.2.2 Διάκριση – Προέλευση εδαφών.....	6
1.3 Υδατοπερατότητα	7
1.4 Υδρολιθολογική ταξινόμηση γεωυλικών.....	8
1.5 Υδρογεωλογία λεκάνης ταμιευτήρα	10
1.5.1 Στεγανότητα ταμιευτήρα.....	10
1.6 Περαιότητα διάφορων γεωυλικών και συνέπειες της ύπαρξης του νερού σε αυτά.....	11
1.7 Πρωτογενής και δευτερογενής διαπερατότητα.....	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Μετρήσεις επί τόπου διαπερατότητας

2.1 Εισαγωγή.....	20
2.2 Δοκιμές εισπίεσης νερού (Pumping in test).....	20
2.3 Δοκιμή MAAG (Μεταβλητού φορτίου , για λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά).....	20
2.4 Δοκιμή LEFRANC (Σταθερού φορτίου για αδρόκοκκα εδαφικά υλικά).....	22
2.5 Δοκιμή LUGEON.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Τρόποι αντιμετώπισης της διαρροής νερού σε ένα ταμιευτήρα

3.1 Εισαγωγή.....	30
3.2 Τάφρος διακοπής.....	30
3.3 Διαφραγματικός τοίχος.....	31
3.4 Πασσαλοσανίδες.....	33
3.5 Διάφραγμα με έγχυτους πασσάλους	34
3.6 Αδιαπέρατος τάπητας ανάντη	34
3.7 Στραγγιστικός τάπητας κατόντη.....	37
3.8 Ανακουφιστικές γεωτρήσεις.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Τσιμεντενέσεις

4.1 Ορισμός – Κατηγορίες τσιμεντενέσεων.....	40
4.2 Τύποι και ιδιότητες ενεμάτων.....	41
4.3 Εργαστηριακή έρευνα ενεμάτων	43
4.4 Δοκιμαστικές ενέσεις.....	44
4.5 Τρόπος εκτέλεσης τσιμεντενέσεων.....	44
4.6 Τάπητας τσιμεντενέσεων στεγανοποίησης	47
4.7 Κουρτίνα τσιμεντενέσεων.....	47
4.8 JET GROUTING.....	50

4.9 Έλεγχοι	51
4.10 Εφαρμογή τσιμεντενέσεων σε φράγματα της Δ.Ε.Η.....	51
4.10.1 Φράγμα Στράτου.....	51
4.10.2 Φράγμα Πουρναρίου.....	53
4.10.3 Φράγμα Κρεμαστών.....	59
4.10.4 Φράγμα Πηγών Αωού.....	61
4.10.5 Φράγμα Ν. Πλαστήρα ή Ταυρωπού.....	63
4.10.6 Φράγμα Λάδωνα.....	65
4.10.7 Φράγμα Σφηκιάς.....	66
4.10.8 Φράγμα Ασωμάτων.....	69
4.10.9 Φράγμα Θησαυρού.....	70
4.10.10 Φράγμα Περδίκας.....	71
Βιβλιογραφία.....	73

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το φράγμα, ως κατασκευή, είναι ένα από τα σημαντικότερα μνημειώδη αλλά και καιρίας σημασίας έργα, που έχει επιτελέσει ο άνθρωπος ανά τους αιώνες. Από τα αρχαία κιόλας χρόνια (φράγμα Ασουάν Αίγυπτος), ο άνθρωπος κατάφερε να δημιουργήσει κατασκευές, όπως τα φράγματα, για να εξυπηρετήσει τις βιολογικές του ανάγκες. Μεγαλύτερη ίσως αξία σε αυτή τη κατασκευή δίνει το γεγονός, ότι είναι ένα έργο, που με τις διάφορες χρήσεις του συμβάλει στην επιβίωση του ανθρώπου. Ένα φράγμα, όπως γνωρίζουμε, δεν χρησιμεύει μόνο για τη άρδευση μεγάλων και μείζονος σημασίας αγροτικών περιοχών αλλά και για τη ύδρευση αστικών κέντρων, την πράσινη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την παραλαβή μεγάλων παροχών κατά τους χειμερινούς μήνες, την δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για την αθλητική αλλά και τουριστική ανάπτυξη μιας περιοχής, καθώς και την δημιουργία νέων βιοτόπων. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω καταλαβαίνουμε το πόσο σημαντική είναι η παρουσία ενός φράγματος σε μια περιοχή, καθώς και το πόσο σημαντική είναι η σωστή κατασκευή του για την εύρυθμη λειτουργία του και ασφάλεια των οικισμών, που βρίσκονται γύρω από αυτό. Στο παρόν πόνημα θα μελετήσουμε και θα αναλύσουμε κατασκευές και διαδικασίες καιρίας σημασίας για την σωστή λειτουργία ενός φράγματος, όπως είναι η στεγανοποίηση του ταμιευτήρα και οι μέθοδοι στεγανοποίησης με βάση το υλικό που υπάρχει καθώς και έργα στεγανοποίησης, που έχουν εφαρμοστεί σε φράγματα της Δ.Ε.Η.

Η στεγανοποίηση ενός ταμιευτήρα, όπως θα δούμε παρακάτω, δεν είναι μια εύκολη διαδικασία, αντιθέτως είναι μια σύνθετη εργασία, η οποία αποτελεί προϊόν βαθιάς επιστημονικής μελέτης και με τα χρόνια εξελίσσεται, ενώ η μη σωστή εφαρμογή της μπορεί να αποβεί μοιραία για την πορεία του έργου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία θα εξετάσουμε τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να στεγανοποιήσουμε ένα φράγμα και θα δώσουμε μεγαλύτερη έμφαση στις τσιμεντενέσεις, που πλέον είναι και ο πιο ενδεδειγμένος και αποτελεσματικός τρόπος στεγανοποίησης. Στόχος της πτυχιακής αυτής είναι με απλή μέθοδο να παρουσιάσει στον αναγνώστη τους τρόπους στεγανοποίησης αλλά και τις μεθόδους οι οποίες εκτελούνται με απλό και κατανοητό τρόπο.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής θα εξετάσουμε, πέρα από τις ιδιότητες του εδάφους και τον τρόπο που αυτό αντιδρά μηχανικά και χημικά με την παρουσία του νερού, ενώ θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση σε γεωλικά, τα οποία είναι γνωστά για τα προβλήματα, που δημιουργούν σε κατασκευές λόγω της ύπαρξης του νερού.

Στο δεύτερο κεφάλαιο το πονήματος αυτού θα εξετάσουμε διεξοδικά τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους με τις οποίες μετράμε την διαπερατότητα ενώ θα δοθεί μεγάλη έμφαση στο τρόπο εκτέλεσής τους. Συνεχίζοντας στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής θα μελετήσουμε τους τρόπους με τους οποίους πετυχαίνουμε την στεγανοποίηση του ταμιευτήρα και θα δούμε κατά πόσο ο κάθε ένας είναι αποτελεσματικός αλλά και πόσο συμφέρει η εκτέλεσή του με βάση την αξία του έργου.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο θα κατανοήσουμε τη έννοια των τσιμεντενέσεων, θα δούμε τις τεχνικές με τις οποίες αυτές εκτελούνται, καθώς και το πώς κατασκευάζονται για να είναι αποτελεσματικές και ανθεκτικές στο πέρασμα του χρόνου. Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε αυτό το κεφάλαιο θα εστιάσουμε και στην εφαρμογή των τσιμεντενέσεων και στο πώς αυτές βελτίωσαν τον κάθε ταμιευτήρα σε φράγματα, που αφορούν την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

«ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ»

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα γεωλογικά δεδομένα παίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό του ταμιευτήρα. Ήδη στη φάση της προμελέτης γίνεται λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής. Η διερεύνηση συμπληρώνεται με γεωτρήσεις στις οποίες γίνονται δοκιμές διαπερατότητας, που αποσκοπούν στο λεπτομερή καθορισμό του είδους του εδάφους ή των βράχων, καθώς και της διαπερατότητας των γεωυλικών αυτών, προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητα της κάθε περιοχής για τη δημιουργία ενός στεγανού ταμιευτήρα.

1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ

1.2.1 ΔΙΑΚΡΙΣΗ

Με τον όρο πέτρωμα εννοούμε, από περιγραφική άποψη, όλα τα γεωλογικά υλικά του στερεού φλοιού της γης. Σε αυτά συγκαταλέγονται τόσο τα χαλαρά και ασύνδετα υλικά όσο και τα καλά συγκολλημένα. Από τεχνική όμως άποψη, γίνεται διάκριση μεταξύ του πετρώματος (βράχου) και του εδάφους και συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον TERZAGHI, ως έδαφος ορίζουμε ένα φυσικό συσσωμάτωμα κόκκων που μπορεί να διαχωριστεί με απλή μηχανική δράση, ενώ ως βράχο ορίζουμε ένα φυσικό συσσωμάτωμα ορυκτών, που συνδέονται μεταξύ τους με φυσική συγκολλητική ύλη.

1.2.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ-ΔΙΑΚΡΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Τα εδάφη προέρχονται από πετρώματα σαν αποτέλεσμα φυσικών ή χημικών διεργασιών (π.χ αποσάθρωση) και στη συνέχεια μεταφοράς ή όχι των υλικών και απόθεσης (Σχήμα 1.1). Ανάλογα με το βαθμό επιδεκτικότητας κάθε πετρώματος στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες (αποσάθρωση) διαμορφώνεται ένας εδαφικός μανδύας πάνω στην επιφάνεια του, η σύστασή του οποίου εξαρτάται από τη σύσταση και τα προϊόντα αποσάθρωσης του υποκείμενου μητρικού πετρώματος (μανδύας αποσάθρωσης).

Όταν δεν έχει γίνει καμία ή μικρή μόνο μεταφορά του μανδύα έχουμε τα ελουβιακά εδάφη (ελούβια), ενώ ως κορήματα ορίζουμε τα εδαφικά υλικά, που συσσωρεύονται στις πλαγιές από τα υλικά απόσπασης και αποσάθρωσης πετρωμάτων υψηλότερων περιοχών τα οποία έχουν μεγαλύτερη ανάπτυξη και βάθος στη βάση της πλαγιάς.

Τα εδαφικά υλικά της αποσάθρωσης των πετρωμάτων, που προσλαμβάνονται από τα επιφανειακά νερά της επιφανειακής απορροής, μεταφέρονται και ανάλογα με την ταχύτητα του νερού και την αρχική της σύνθεση, ταξινομούνται και αποτίθενται σε περιοχές για να δημιουργήσουν τις λεγόμενες προσχώσεις.

Τα εδάφη χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα συνεκτικά ή λεπτόκοκκα και τα μη συνεκτικά ή κοκκώδη. Ως μη συνεκτικά εδάφη ορίζουμε αυτά, που έχουν κλειστή δομή, με τους κόκκους να είναι σε επαφή μεταξύ τους, χωρίς να αναπτύσσεται κάποια ελκτική δύναμη (π.χ αμμώδη εδάφη). Αντίθετα, ως συνεκτικά εδάφη ορίζουμε αυτά, που έχουν κυψελοειδή δομή και μεταξύ των εδαφικών κόκκων αναπτύσσονται δυνάμεις συνοχής. Τέτοια εδάφη είναι κυρίως τα αργιλικά .



Σχήμα 1.1 Προέλευση- Διάκριση εδαφών

1.3 ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Τα εδάφη, ως πορώδη μέσα, χαρακτηρίζονται από τριφασικότητα: Στερεά φάση (εδαφικοί κόκκοι), αέρια φάση (αέρας) και υγρή (νερό πόρων). Το νερό έχει την δυνατότητα να ρέει μέσω των πόρων. Η ροή του νερού μάλιστα διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: Ακόρεστη και κορεσμένη (όπου το έδαφος βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού). Η ικανότητα του νερού να ρέει δια μέσω των πόρων δεν είναι η ίδια σε όλους τους τύπους εδαφών. Η ικανότητα αυτή χαρακτηρίζεται με το μέγεθος της «υδατοπερατότητας» ή «υδροπερατότητας». Υλικά, όπως χαλίκια και η άμμος (χονδρόκοκκα υλικά), χαρακτηρίζονται από μεγάλη υδατοπερατότητα, ενώ υλικά, όπως η ιλύς και η άργιλος (λεπτόκοκκα υλικά) χαρακτηρίζονται από μικρή υδατοπερατότητα.

Ο βαθμός της υδατοπερατότητας εκφράζεται αριθμητικά μέσω του «συντελεστή υδατοπερατότητας». Ο συντελεστής υδατοπερατότητας μπορεί να προσδιοριστεί με διάφορες μεθόδους, όπως με τις εργαστηριακές. Η γνώση της υδατοπερατότητας των εδαφών είναι απαραίτητη για την μελέτη γεωτεχνικών έργων, όπως φράγματα που θα μελετήσουμε παρακάτω.

Ο συντελεστής υδατοπερατότητας (k), έχει μονάδες ταχύτητας (m/s) και είναι η ταχύτητα ροής μέσα από το πορώδες μέσο για υδραυλική κλίση, ίση με 1 (π.χ. πτώση υδραυλικού φορτίου 1 m για μήκος ροής 1 m). Ο παραπάνω ορισμός απορρέει από τον νόμο του Darcy, εφόσον δε, η ροή μέσα από το πορώδες μέσο είναι ομοιόμορφη και εφόσον γίνει θεώρηση γραμμικών απωλειών του υδραυλικού φορτίου, ο νόμος του Darcy μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση :

$$v = -k \cdot i$$

Όπου, v η μέση ταχύτητα ροής, k ο συντελεστής υδατοπερατότητας και i η υδραυλική κλίση. Η κλίση είναι αρνητική. Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, ο συντελεστής μπορεί να

υπολογιστεί απευθείας, εφόσον μετρηθούν άμεσα τα υπόλοιπα μεγέθη. Προς τούτο, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση :

$$Q = k \cdot A \cdot (\Delta h / L)$$

Η παραπάνω σχέση προκύπτει από το νόμο του Darcy, εφόσον αναπτύξουμε τους όρους της ταχύτητας και της κλίσης. Η παροχή του νερού που θα περνάει μέσα από ένα πορώδες μέσο, θα είναι ανάλογη με τον συντελεστή υδατοπερατότητας, την διατομή αναφορά (A), την πτώση του υδραυλικού φορτίου (Δh) και αντιστρόφως ανάλογη του μήκους ροής (L).

Τύπος εδάφους	k (m/s)
Χαλίκια	$10^{-2} - 1$
Άμμος με ελάχιστες προσμίξεις	$10^{-5} - 10^{-2}$
Λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδεις άμμος	$10^{-8} - 10^{-5}$
Ίλύς, ιλυώδεις άργιλοι	$10^{-9} - 10^{-6}$
Άργιλοι	$10^{-11} - 10^{-9}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστή υδατοπερατότητας για διαφορετικούς τύπους εδαφών .

Η υδατοπερατότητα επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, όπως ο βαθμός συμπύκνωσης του υλικού. Εν γένει, η συμπύκνωση και η δόνηση κάποιου κοκκώδους υλικού, έχει ως αποτέλεσμα το «κλείσιμο» των κενών και την μείωση της υδατοπερατότητας. Ωστόσο, ο κρίσιμος παράγοντας για την υδατοπερατότητα του εδαφικού σχηματισμού, είναι το λεπτόκοκκο κλάσμα, που περιέχει. Είναι προφανές ότι εξαρτάται και από την κοκκομετρική διαβάθμιση. Μία σχέση, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διαπερατότητας του σχηματισμού σύμφωνα με την κοκκομετρία είναι η παρακάτω:

$$k \text{ (cm/s)} = 100 \cdot D_{10}^2$$

Όπου D_{10} , το ενεργό μέγεθος που προκύπτει από την κοκκομετρική καμπύλη, εκφρασμένο σε cm. Η σχέση είναι προσεγγιστική και δίνει μία τάξη μεγέθους για τον συντελεστή υδατοπερατότητας.

1.4 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ

Οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί ανάλογα με τη δυνατότητα που παρέχουν στο νερό να διεισδύσει και να διακινηθεί δια μέσου των υφιστάμενων στη μάζα τους διακένων (πρωτογενές -δευτερογενές πορώδες) υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης, ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες :

1. Υδροπερατοί : ονομάζονται τα γεωυλικά (εδάφη – βράχοι) τα οποία επιτρέπουν τη διείσδυση και κυκλοφορία του νερού δια μέσου αυτών και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- **Υδροπερατά λόγω διαρρήξεων (μακροδιαπερατά):** είναι οι βραχομάζες οι οποίες επιτρέπουν την κυκλοφορία του νερού δια μέσου των ρωγμών, διαρρήξεων, αγωγών από διάλυση (καρστικών) διακλάσεων κ.λ.π, που διατέμνουν αυτές. Δηλαδή, η υδροπερατότητα των γεωυλικών αυτών οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες.
- **Υδροπερατά λόγω πόρων (μικροδιαπερατά):** είναι τα γεωυλικά τα οποία είναι είτε ασύνδετα και χαλαρά εδάφη (άμμοι ,αμμοχάλικα ,χαλίκια κτλ), είτε συμπαγή, των οποίων η σύνδεση και συγκόλληση έχει γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν αποκτήσει πορώδη υφή και οι διαστάσεις των πόρων είναι τέτοιες ,ώστε να επιτρέπουν την κυκλοφορία του νερού μέσα από αυτές. Δηλαδή η υδροπερατότητα των γεωυλικών αυτών οφείλεται στο πρωτογενές πορώδες.

Είναι πολύ συχνό το φαινόμενο διάφορα πετρώματα να είναι συγχρόνως μικροδιαπερατά και μακροδιαπερατά .

2. Υδατοστεγείς ή αδιαπέρατοι : στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί, που δεν επιτρέπουν την κυκλοφορία των νερών δια μέσου αυτών , υπό τη επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΓΕΩΪΛΙΚΑ
Υδροπερατοί	Λόγω πόρων (μικροδιαπερατοί)	άμμοι, χαλίκια, αμμοχάλικα, πορώδη πετρώματα
	Λόγω διαρρήξεων – ασυνεχειών (μακροδιαπερατοί)	ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και διαρρηγμένα πετρώματα
Αδιαπέρατοι – υδατοστεγείς		Ιλυόλιθοι, μαργόλιθοι, μάργες, άργιλοι

ΠΙΝΑΚΑΚΑΣ 1.2 Υδρολιθολογική ταξινόμηση γεωυλικών

1.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Κύριο αντικείμενο μελέτης της λεκάνης του ταμιευτήρα αποτελεί η εξακρίβωση της διαπερατότητας των πετρωμάτων που δομούν τον πυθμένα και τα αντερείσματά της. Αυτό γίνεται προκειμένου να διαπιστωθεί η στεγανότητα των σχηματισμών και ο κίνδυνος απωλειών νερού, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Οι εργασίες που πραγματοποιούνται σε αυτό το στάδιο τοποθετημένες ιεραρχικά είναι :

1. Ανοίγεται μικρός αριθμός ερευνητικών γεωτρήσεων, κατανεμημένων στον πυθμένα και τα χαμηλά αντερίσματα της λεκάνης με τριγωνική διάταξη και πλήρη πυρηνοληψία. Οι γεωτρήσεις αυτές θα λειτουργήσουν και ως πιεζόμετρα.
2. Στις οπές των γεωτρήσεων όπως θα δούμε αναλυτικά και στο επόμενο κεφάλαιο, εκτελούνται δοκιμές Lugeon, ή αν τα πετρώματα είναι χαλαρά δοκιμές Maag ή Le Franc. Υπολογίζεται και καταγράφεται η υδραυλική αγωγιμότητα k (m/sec).
3. Καταγράφονται και χωροσταθμούνται (σε απόλυτα υψόμετρα) οι στάθμες του υπογείου νερού στις γεωτρήσεις.
4. Συντάσσονται υδρογεωλογικοί-πιεζομετρικοί χάρτες της λεκάνης στην ίδια κλίμακα του γεωλογικού χάρτη, προσδιορίζονται οι διευθύνσεις ροής του υπόγειου νερού και υπολογίζονται οι υδραυλικές του κλίσεις.
5. Εκτίμηση της στεγανότητας του ταμιευτήρα και των δυνατών απωλειών νερού.

1.5.1 ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Οι διαφυγές νερού από ένα ταμιευτήρα μπορεί να είναι σημειακές, από επιλεγμένες περιοχές αστοχιών της βραχώμαζας ή εδαφόμαζας (καταβόθρες, ρήγματα κλπ), ή να είναι διάσπαρτες από όλη την επιφάνεια επαφής του νερού με το γεωλογικό υπόβαθρο.

Οι διαφυγές αυτές από ένα ταμιευτήρα μπορούν να εκτιμηθούν εφαρμόζοντας το Νόμο του Darcy. Σύμφωνα με αυτόν οι απώλειες Q σχετίζονται με τη διαπερατότητα των πετρωμάτων (k) και τη υδραυλική κλίση (i).

Έτσι :

$$Q=k \cdot F \cdot i \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

Η υδραυλική αγωγιμότητα (k) εξαρτάται από τη δομή και την κατάσταση του γεωλογικού υποβάθρου. Η επιφάνεια F της διατομής υπόγειας ροής ελέγχεται από τη γεωμετρία των στρωμάτων διαρροής, ενώ η υδραυλική κλίση i εξαρτάται από τη υδραυλική (πιεζομετρική) κατάσταση του ευρύτερου περιβάλλοντος. Μια κατάταξη των διαφυγών νερού από χαλαρά και βραχώδη πετρώματα δίνουν οι Μαρίνος Π. και Καζίλης Ν. (1994).

ΔΙΑΦΥΓΕΣ ΜΕΣΩ ΑΛΛΟΥΒΙΩΝ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ

- α. Σχέσεις ταμιευτήρα με βαθείς υδροφορείς, που εξέρχονται στη επιφάνεια στα κατάντη .
- β. Παλαιές, θαμμένες κοίτες – επιγενετικές κοιλάδες, όπου σε αυτή τη περίπτωση είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της παλιάς διαδρομής και των πιθανών σημείων εισόδου και εξόδου των διαφυγών (απόσταση), καθώς και η εκτίμηση της περατότητας του υλικού πλήρωσης της παλαιάς κοίτης.

γ. Λεπτά στρώματα αδιαπέρατου εδαφικού υλικού πάνω σε καρστικά πετρώματα (ταμιευτήρας Περδίκια Πτολεμαΐδας)

ΔΙΑΦΥΓΕΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

α. Στενοί αυχένες χαμηλού υψομέτρου σε έντονα ρωγματωμένο ή έντονα πορώδες πέτρωμα (ανάλογα βέβαια με τη θέση του υδροφόρου ορίζοντα).

β. Διαφυγές από ζώνες έντονης ρηγματώσης ή εφιππεύσεων.

γ. Διαφυγές μέσω ανθρακικών πετρωμάτων όπως καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα.

1.6 ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΥΤΑ

- **ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ** : προσβάλλεται από $H_2O + CO_2$ και έχουμε ύπαρξη καρστικής διάλυσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία υπόγειων ταμιευτήρων νερού, προβλήματα στεγανότητας στα φράγματα, καθώς και κενά κάτω από τις θεμελιώσεις. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται το γεγονός, ότι ο ρυθμός διάλυσης είναι πάρα πολύ αργός.



ΣΧΗΜΑ 1.2 Γεωλογικά δείγματα ασβεστίτη

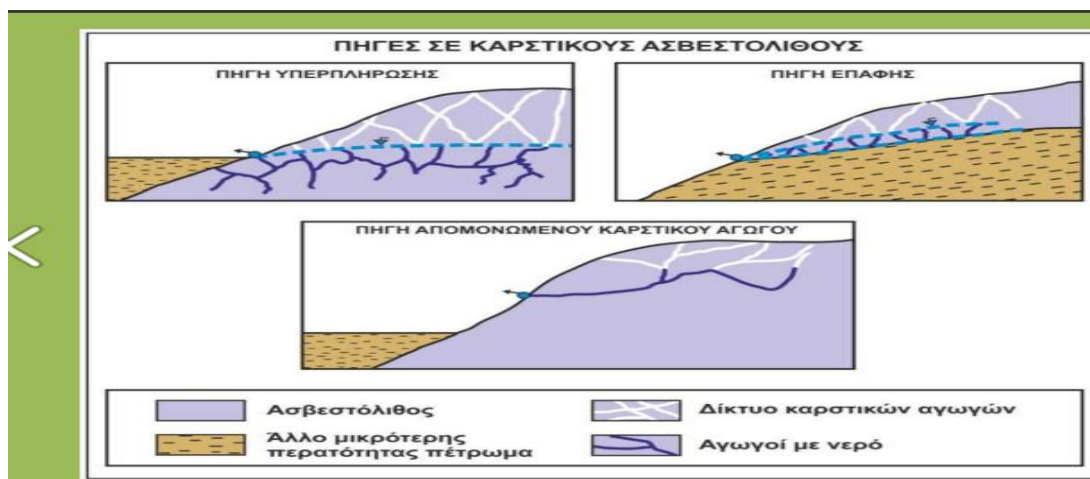
- **ΑΝΥΔΡΙΤΗΣ** : Γενικά, αυτό το ορυκτό είναι ένας επίφοβος σχηματισμός, λόγω του ότι με την κυκλοφορία του νερού μετατρέπεται σε γύψο με μεγάλη διόγκωση. Η στρωματοειδής δομή του επιτρέπει την είσοδο ξένων κατιόντων ή H_2O ανάμεσα στα στρώματα του πλέγματος, άρα αύξηση της απόστασης των στρωμάτων. Όσον αφορά το υλικό αυτό, ως προς την τεχνική του συμπεριφορά θεωρείται ως ασταθές.
- **ΓΥΨΟΣ** : Παρουσιάζεται υπό την μορφή στρωμάτων σε εναλλαγές, ενώ και σε αυτή την περίπτωση έχουμε την ύπαρξη διαλύσεως με την ύπαρξη του νερού. Όσον

αφορά την τεχνική του συμπεριφορά, έχουμε την ύπαρξη διαφυγών νερού από τους ταμειυτήρες μέσω κενών διαλύσεως.



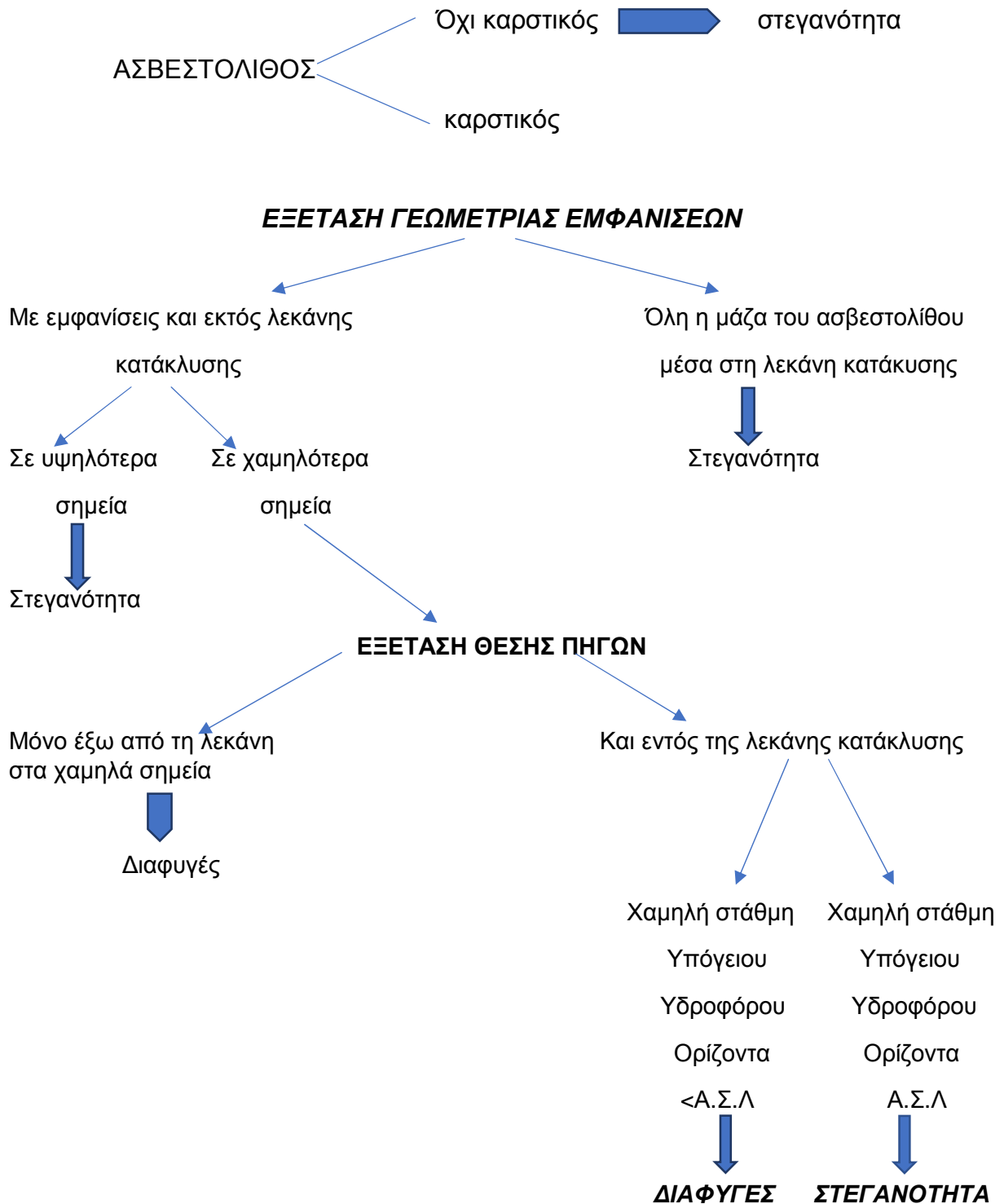
ΣΧΗΜΑ 1.3 Δείγμα γύψου

- **ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ** : Οι ασβεστόλιθοι είναι στεγανά πετρώματα, όταν αυτά δεν έχουν ρωγμές και ανοίγματα μεταξύ των επιπέδων στρώσεως. Αντιθέτως είναι περατοί σχηματισμοί όταν είναι καρστικοποιημένοι με περατότητα μεγαλύτερη από τα κοκκώδη εδάφη. Αξίζει να σημειωθεί, πως η ομοιογένεια του υδροφόρου ορίζοντα εξαρτάται από την επικοινωνία των καρστικών αγωγών και κενών.



ΣΧΗΜΑ 1.4 Πηγές σε καρστικούς ασβεστόλιθου

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ



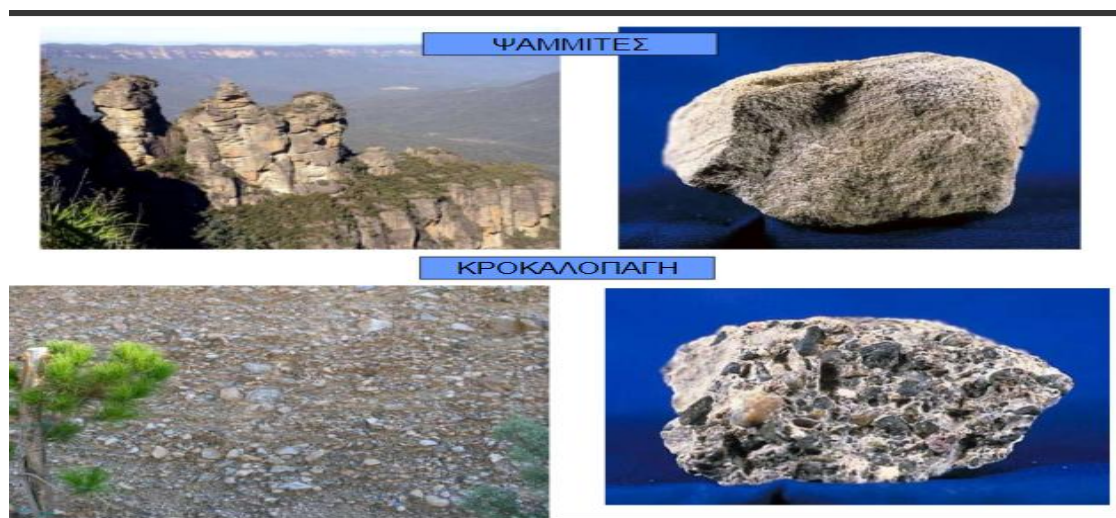
A.Σ.Λ= Ανώτατη Στάθμη Λίμνης

ΣΧΗΜΑ 1.5 Διάγραμμα ανάλυσης περιστατικών στεγανότητας ασβεστολίθων



ΣΧΗΜΑ 1.6 Λεπτά στρώματα αδιαπέρατου εδαφικού υλικού πάνω σε καρστικά πετρώματα (Ταμιευτήρας Περδίκια Πτολεμαΐδας)

ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΗ-ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ-ΨΑΜΜΙΤΕΣ : Γενικά, είναι σχηματισμοί με πολύ μικρή περατότητα (αδιαπέρατοι), όταν είναι συμπαγής. Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση όπου όταν η επιφάνεια τους είναι ρωγματωμένη. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μείωση της αντοχής αυτών των υλικών, έντονη διαπερατότητα, ακόμα και πλήρη χαλάρωση, όταν το συνθετικό υλικό είναι γύψος. Ένα παράδειγμα της συμπεριφοράς αυτών των γεωυλικών είναι το φράγμα St. Francis (Καλιφόρνια), το οποίο καταστράφηκε, λόγω διάβρωσης της χαλαρής ζώνης ρήγματος και του συνδετικού υλικού του κροκαλοπαγούς. Ως αποτέλεσμα αυτής τη καταστροφής ήταν ο θάνατος διακοσίων ανθρώπων.



ΣΧΗΜΑ 1.7 Δείγμα ψαμμίτη και κροκαλλοπαγούς

ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ St FRANCIS (CALIFORNIA, 1926)

2 χρόνια μετά την αποπεράτωση,
200 θύματα

Αίτια:

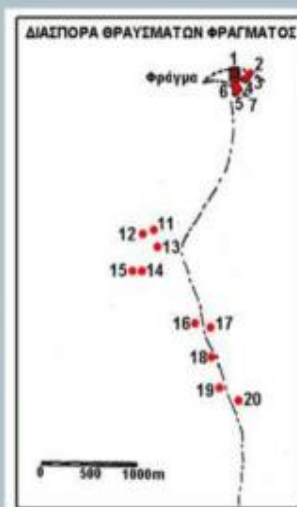
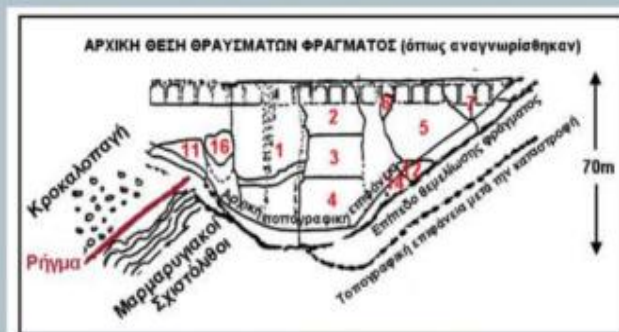
- έλλειψη γεωλογικής συμβολής
- έλλειψη κατάλληλου εξοπλισμού για ερευνητικές εργασίες

• όρια τότε γνώσης



Φράγμα πριν την καταστροφή

Φράγμα μετά την καταστροφή



ΣΧΗΜΑ 1.8 Δεδομένα καταστροφής φράγματος St. Francis

Ιλιόλιθοι : Γεωλογικά η συμπεριφορά αυτών των σχηματισμών πλησιάζει, άλλοτε του ψαμίτη και άλλοτε του αργιλικού σχιστόλιθου. Όσον αφορά τη διαπερατότητα του, θα μπορούσαμε να πούμε, ότι είναι ένα στεγανό υλικό.



ΣΧΗΜΑ 1.9 Δείγμα ιλιόλιθου

Αργιλικό Σχιστόλιθο : Η συμπεριφορά των αργιλικών σχιστόλιθων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ορυκτολογική σύσταση που έχουν, τον τύπο του αργιλικού υλικού καθώς και τη σχιστότητα. Σχετικά με τη διαπερατότητα αυτών υλικών μπορούν να θεωρηθούν ως στεγανοί σχηματισμοί. Αξίζει να αναφερθεί, ότι το φράγμα Γαδουρά στην Ρόδο έχει την ταμειυτήρα του σε τέτοιου τύπου υλικά (αργιλικό σχιστόλιθο του φλύσχη).



ΣΧΗΜΑ 1.10 Δείγμα αργιλικού σχιστόλιθου

Φλύσχος: Σύστημα πετρωμάτων, που συνδέεται με την τεκτονική εξέλιξη ενός γεωσύγκτινου. Όσον αφορά τις ρωγμές είναι λιγότερο έντονες και επιφανειακά, όταν επικρατούν οι ψαμμίτες, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας στεγανός σχηματισμός.



ΣΧΗΜΑ 1.11 Ασθενείς και σύνθετες βραχομάζες φλύσχη

Ηφαιστίαις (Ρυόλιθοι ,Δακίτες ,Ανδεσίτες ,Βασάλτες): Η γεω-έρευνα σε αυτούς τους σχηματισμούς πρέπει να είναι προσανατολισμένη, ώστε να διερευνήσει τη θέση αλλά και τη φύση των διαφορετικών υλικών αλλά και να οριοθετήσει τις ζώνες χαμηλής αντοχής και υψηλής διαπερατότητας. Είναι σχηματισμοί, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές

αντοχές. Όσον αφορά τη διαπερατότητα εντοπίζεται έντονα σε ζώνες, όπου υπάρχουν ρωγμές. Επίσης υπάρχει η περίπτωση σε αυτούς τους σχηματισμούς να υπάρξουν προβλήματα καθιζήσεων λόγω συμπιεστών υλικών που μπορεί να παρεμβάλλονται. Ένα παράδειγμα φράγματος, που έχει κατασκευαστεί πάνω σε τέτοια υλικά είναι το φράγμα Hoover.



ΣΧΗΜΑ 1.12 Κουρτίνα τσιμεντενέσεων σε πυροκλαστικά υλικά

Μεταμορφωμένα Πετρώματα : Τυπικά μεταμορφωμένα πετρώματα είναι οι γνεύσιοι, οι αμφιβολίτες, οι σχιστόλιθοι, τα μάρμαρα και οι χαλαζίτες. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα, γενικά, θεωρούνται αδιαπέραστοι σχηματισμοί, πλην των πετρωμάτων, που βρίσκονται σε κατακερματισμένες ζώνες. Όσον αφορά τη στεγανότητά τους θεωρούνται αρκετά στεγνοί σχηματισμοί.

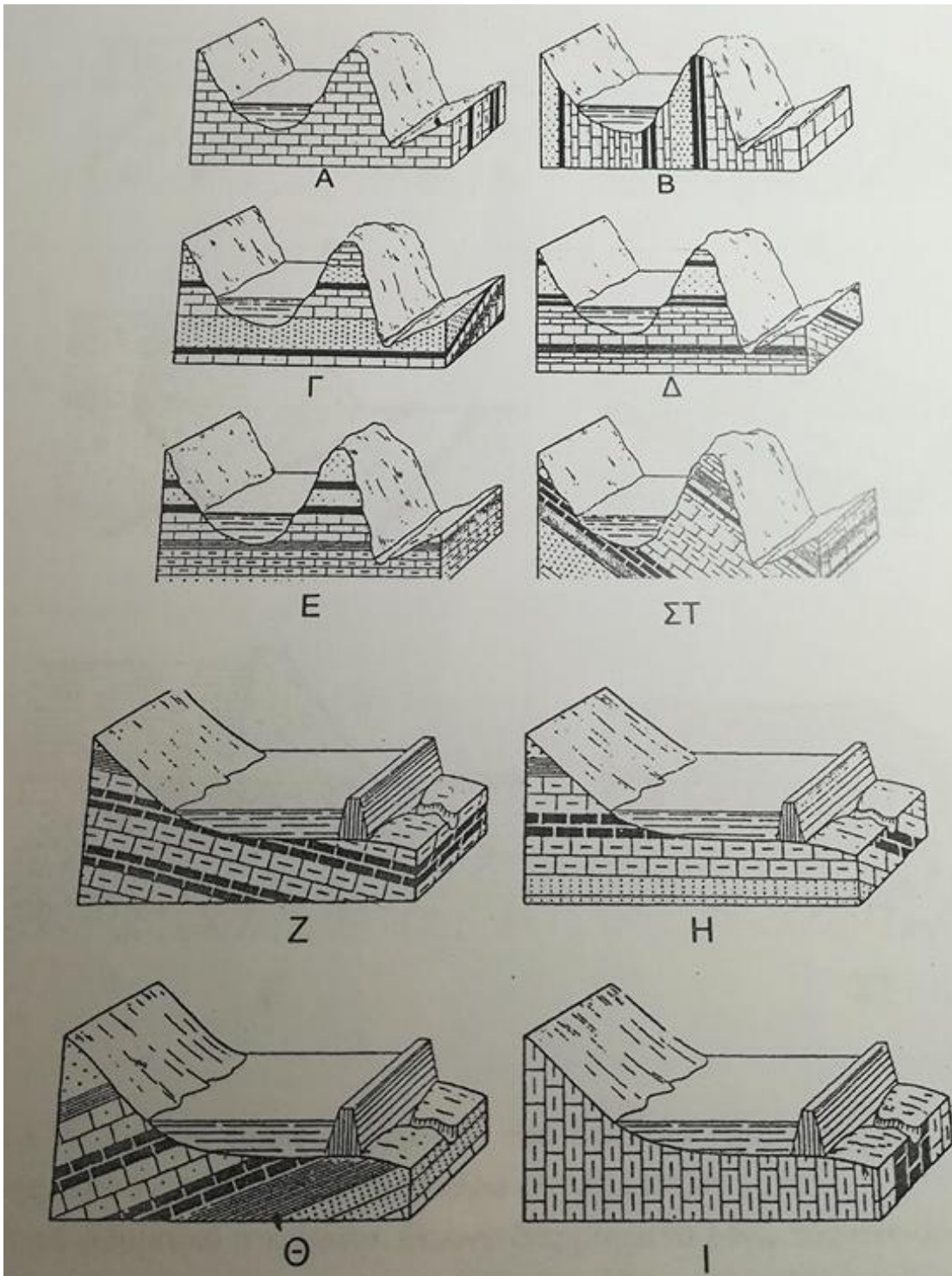
1.7 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Για να κινηθεί το νερό προς τα κάτω με τη βοήθεια της βαρύτητας, θα πρέπει μέσα στα πετρώματα να υπάρχουν ανοικτοί χώροι με διαστάσεις μεγαλύτερες από τις διαστάσεις του τριχοειδούς. Τις διαστάσεις αυτές αποκτούν τα πετρώματα είτε πρωτογενώς (πρωτογενής διαπερατότητα), είτε δευτερογενώς (δευτερογενής διαπερατότητα ρωγμών). Μία αυξημένη πρωτογενή διαπερατότητα παρουσιάζουν οι μη διαγεννημένοι χονδρόκλαστοι χαλαροί σχηματισμοί με μεγάλη ομοιομορφία. Η παραπάνω διαπερατότητα ελαττώνεται όσο ο σχηματισμός γίνεται περισσότερο λεπτόκοκκος και όσο η ομοιομορφία των κόκκων του ελαττώνεται, καθώς και όσο πιο πολύ έχουν προχωρήσει οι διεργασίες της διαγένεσης. Όταν τα πετρώματα αυτά έχουν περάσει από το στάδιο της διαγένεσης στη μεταμόρφωση και έχουν υποστεί και τεκτονική καταπόνηση μαζί με πρόσθετες χημικές διεργασίες, τότε έχουν ήδη χάσει την πρωτογενή διαπερατότητα και έχουν, αντίθετα, αποκτήσει δευτερογενή διαπερατότητα μέσα από περισσότερο ή λιγότερο ανοικτές ρωγμές.

Σχετικά με τα προβλήματα στεγανότητας -διαφυγών του ταμειυτήρα, αυτά μπορεί να αναφέρονται στις παρακάτω περιπτώσεις (Σχήματα 1.11-1.12):

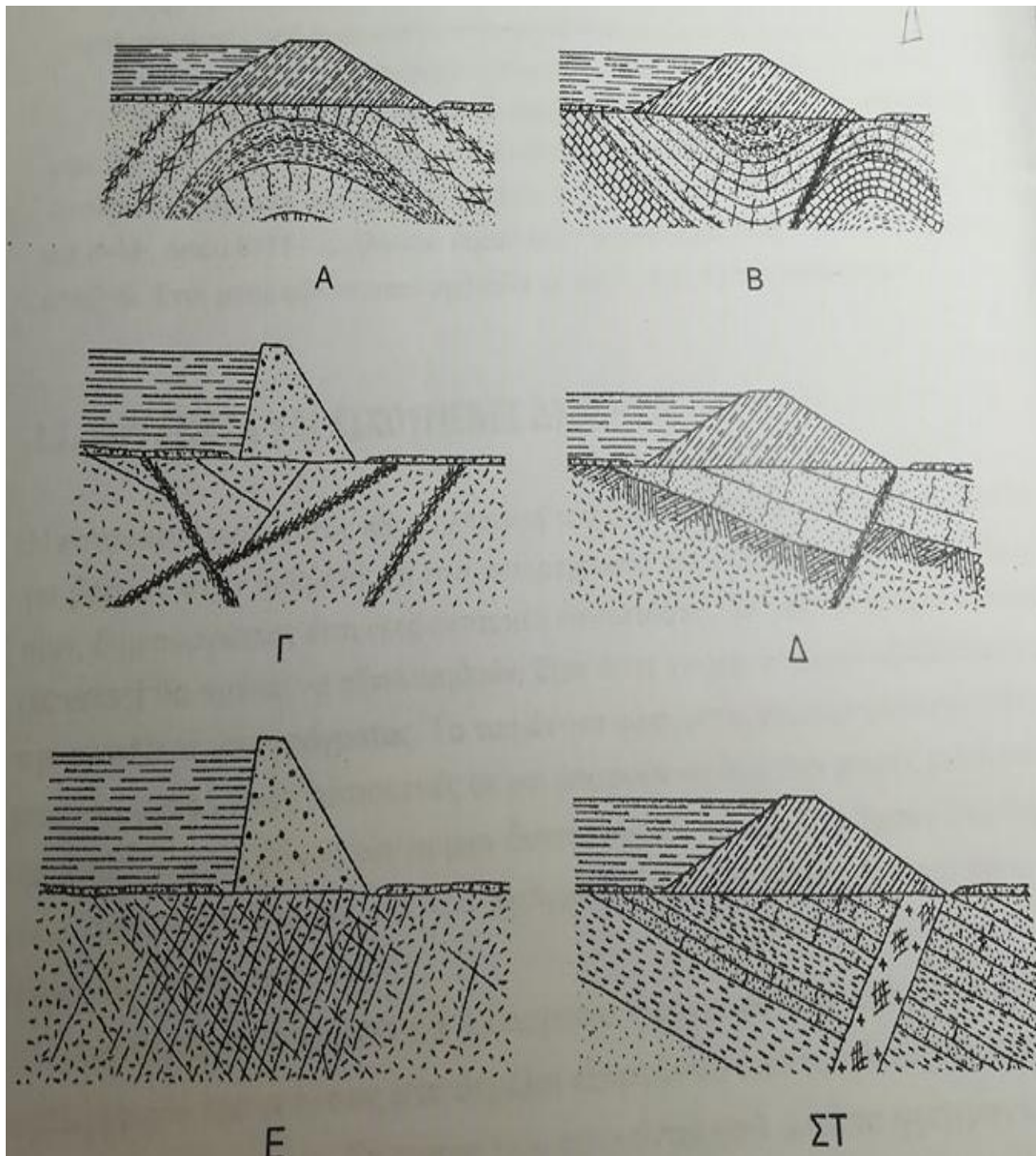
- Διαφυγές σε ανισότροπα υπόβαθρα
Πρωτογενής διαπερατότητα (πρωτογενές πορώδες, στρώση, φύλωση)
Δευτερογενής διαπερατότητα (διαρρήξεις, ρωγματώσεις, αποσάθρωση)
- Διαφυγές από χαλαρούς μανδύες -αναβαθμίδες

- Διαφυγές προς γειτονικές κοιλάδες (πιθανή πηγών της λεκάνης κατακλίσεως με γειτονικές κοιλάδες)
- Διαφυγές από ασβεστόλιθους
- Διαφυγές από ενστρώσεις ασβεστολιθικές



ΣΧΗΜΑ 1.13 Συνθήκες στεγανότητας ταμιευτήρων σε σχέση με τη λιθολογική σύσταση ,τη στρωματογραφική διάρθρωση και γεωμετρία των στρωμάτων (DESIO 1973) . Τα στρώματα

με το μαύρο χρώμα είναι υδροπερατά. Α,Γ,Δ,Ζ,Η,Ι: Ακατάλληλες, Β,Ε,Θ: Κατάλληλες, ΣΤ: Αμφίβολες



ΣΧΗΜΑ 1.14 Ιδεατές τομές φραγμάτων που δείχνουν διάφορους τρόπους ζωνών πιθανής διαφυγής νερού σε βραχώδες υπόβαθρο (WAHLSTROM 1974).

1. Ψαθυρά ψαμμίτικα στρώματα ,έντονα διερρηγμένα λόγω του αντικλίνου.
2. Διερρηγμένοι ψαμμίτες σε πτυχωμένα πετρώματα διατέμνονται από ζώνη ρήγματος που διευκολύνει την κυκλοφορία υπόγειου νερού κάτω από το φράγμα.
3. Ρήγματα σε ψαθυρό κρυσταλλικό πέτρωμα δημιουργούν διόδους κυκλοφορίας υπόγειου νερού.
4. Διερρηγμένοι ψαμμίτες και αποσσωσθωμένη ζώνη γρανίτη κάτω από τα ιζήματα αυτά καθώς και ζώνη ρήγματος ,δημοιουργούν διόδους κυκλοφορίας υπόγειου νερού.
5. Έντονα διερρηγμένα κρυσταλλικά πετρώματα είναι περατά στη ροή υπόγειου νερού
6. Φλέβα εκρηξιγεννούς πετρώματος με πυκνή διάρρηξη διατέμνει ιζηματογενή σειρά και δημιουργεί δίοδο για κίνηση υπόγειου νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

<<ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ>>

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της διαπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών είναι αναγκαία, προκειμένου να αντιμετωπιστούν γεωτεχνικά προβλήματα, όπως είναι οι εισροές νερού, καθώς και οι διαφυγές αυτού. Όπως μπορούμε να αντιληφθούμε, η σημασία αλλά και η ακρίβεια των μεθόδων, που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της διαπερατότητας, αποκτούν άλλη υπόσταση και σημασία σε έργα, όπως είναι τα φράγματα. Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τις σημαντικότερες μεθόδους, που χρησιμοποιούνται για την διαπίστωση ύπαρξης διαπερατών σχηματισμών.

2.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΙΣΠΙΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ (Pumping in test)

Οι δοκιμές εισπίεσης νερού (Pumping in test) αποτελούν τον καταλληλότερο τρόπο εκτίμησης της υδραυλικής αγωγιμότητας K σε επιλεγμένα τμήματα μιας γεώτρησης. Εφαρμόζονται σε γεωτεχνικές γεωτρήσεις και αποτελούν τον μόνο τρόπο επιτόπου υπολογισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας, κυρίως για το τμήμα του υπεδάφους, που βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, δηλαδή την ακόρεστη ζώνη.

Οι δοκιμές αυτές έχουν τα εξής πλεονεκτήματα :

1. Ταχύτητα εκτέλεσης
2. Δυνατότητα συχνής επανάληψης τους κατά την διάρκεια της διάτρησης
3. Μεγάλη αξιοπιστία ως προς την ορθότητα των αποτελεσμάτων τους

Όσον αφορά τις μεθόδους περάτωσης αυτών των δοκιμών εισπίεσης , διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- **Δοκιμές σταθερού φορτίου (Constant head test)** κατά τις οποίες διοχετεύεται νερό στη γεώτρηση και καταγράφεται η ποσότητα νερού, που απαιτείται για την διατήρηση της στάθμης σε σταθερό επίπεδο.
- **Δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Falling head test)** κατά τις οποίες η στάθμη του νερού ανυψώνεται και καταγράφεται ο ρυθμός, με τον οποίο επανέρχεται στην αρχική της θέση.

2.3 ΔΟΚΙΜΗ ΜΑΑΓ (ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ, ΓΙΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ)

Η απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας είναι η δοκιμή ΜΑΑΓ, που χρησιμοποιείτε στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών με χαμηλή υδροπερατότητα. Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή, παροχετεύεται νερό στη γεώτρηση και μετريέται ο χρόνος που χρειάζεται για να κατέβει η νέα στάθμη, που δημιουργήθηκε σε μια πιο χαμηλή θέση. Αν το πρόσθετο υδραυλικό φορτίο σε σχέση με την υδροστατική στάθμη του υδροφόρου είναι σε ένα ύψος περισσότερο από δύο μέτρα, οι μετρήσεις χρόνου-

στάθμης γίνονται κάθε φορά που η στάθμη πέφτει περίπου 10 εκατοστά . Αν το φορτίο είναι σε ύψος λιγότερο από ένα μέτρο, οι αναγνώσεις της πτώσης της στάθμης θα γίνονται κάθε 2,5-5,0 cm. Οι μετρήσεις συνεχίζονται μέχρι το πρόσθετο υδραυλικό φορτίο να μειωθεί στο 20% του αρχικού.

Γενικά ο συντελεστής k υπολογίζεται με βάση τον γενικό τύπο:

$$k = \frac{A}{Ct} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

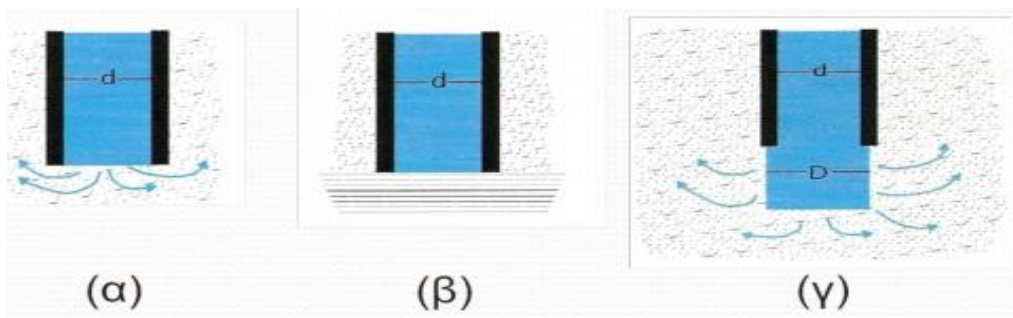
Όπου:

- A = το εμβαδό της διατομής του δοκιμαζόμενου τμήματος (πr^2 σε cm)
- c = συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος
- t = η χρονική διάρκεια του βήματος πτώσης της στάθμης (σε sec)
- h1 = το αρχικό ύψος της στάθμης από το επίπεδο αναφοράς (σε cm)
- h2 = το τελικό ύψος της στάθμης από το επίπεδο αναφοράς (σε cm)

Αξίζει να σημειωθεί ότι σαν επίπεδο αναφοράς λαμβάνεται το μέσο του δοκιμαζόμενου τμήματος, όταν η δοκιμή εκτελείται σε ξηρό περιβάλλον ή η υδροστατική στάθμη, όταν η δοκιμή γίνεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (κορεσμένη ζώνη).

Αναφορικά με το συντελεστή c αυτός μπορεί να λάβει διάφορες τιμές, ανάλογα με τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος, όπως:

- $c=4\pi r$ για σφαιρικού σχήματος δοκιμαζόμενο τμήμα, ακτίνας r
- $c= 2,75d$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι η κυκλική επιφάνεια του πυθμένα της γεώτρησης, με d την εσωτερική διάμετρο της προσωρινής σωλήνωσης στο βάθος της δοκιμής (Σχήμα α)
- $c = 2d$ όταν η δοκιμή γίνεται στην επαφή υδροστεγανού – υδροπερατού σχηματισμού (Σχήμα β)
- $C = \frac{2\pi L}{\ln \frac{2L}{D}}$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $L \geq 5D$ (Σχήμα γ)
- $C = \frac{2\pi L}{\sin h^{-1} \frac{L}{D}}$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $5D > L > D/2$ Σχήμα γ) .



ΣΧΗΜΑ 2.1

2.4 ΔΟΚΙΜΗ LEFRANC (ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΑΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ)

Η δοκιμή Lefranc εφαρμόζεται στην περίπτωση αδρόκοκκων εδαφικών υλικών. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, με τη βοήθεια αντλίας, διοχετεύεται στη γεώτρηση ελεγχόμενη ποσότητα νερού, έτσι ώστε να διατηρείται η στάθμη σε επιθυμητό ύψος. Κατά την διάρκεια της δοκιμής μετριέται η παροχή ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. 1min) και για προδιαγεγραμμένο χρονικό διάστημα (π.χ. 10-20min). Γενικά, ο υπολογισμός του συντελεστή υδροπερατότητας εξαρτάται από τη μορφή του δοκιμαζόμενου τμήματος αλλά και την θέση του σε σχέση με την στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Ο συντελεστής διαπερατότητας k , υπολογίζεται με βάση το γενικό τύπο :

$$K = \frac{Q}{ch} \quad \text{όπου:}$$

- Q = η παροχή του νερού σε cm^3/sec
- c = συντελεστής σχετιζόμενος με τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος, ακριβώς όπως αναφέρθηκε στη δοκιμή Maag,
- h = το ύψος της φορτίζουσας στήλης, σε cm

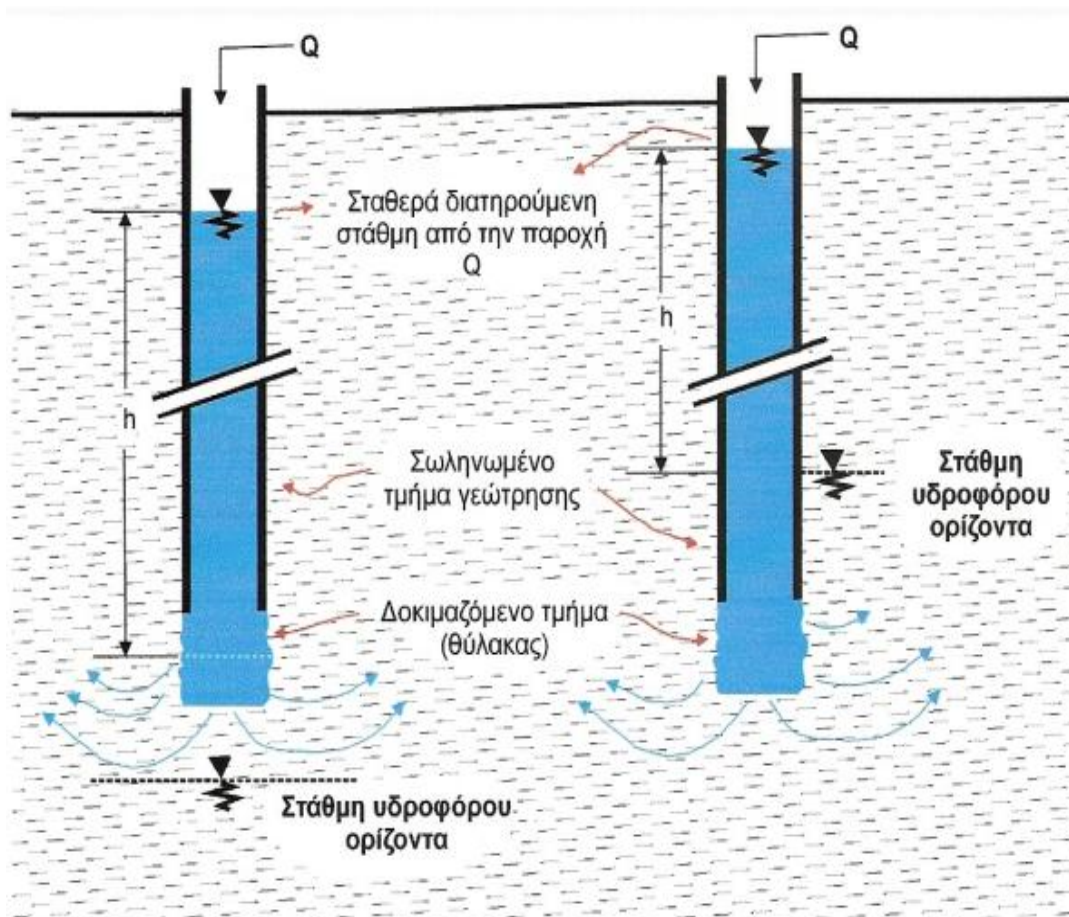
Αξίζει να σημειωθεί ότι όπως και στην δοκιμή Maag, σαν επίπεδο αναφοράς λαμβάνεται το μέσο του δοκιμαζόμενου τμήματος, όταν η δοκιμή εκτελείται σε ξερό περιβάλλον, ή η υδροστατική στάθμη, όταν η δοκιμή γίνεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (ΣΧΗΜΑ 2.2)

Μια εφαρμόσιμη μορφή του παραπάνω τύπου για τη συνήθη περίπτωση όπου το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι κυλινδρικό διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $L \geq 5D$, είναι η ακόλουθη:

$$K = \frac{Q}{2\pi \times L \times h \ln \frac{2L}{D}}$$

Όπου:

- k =συντελεστής υδροπερατότητας σε cm/sec
- Q =παροχή (cm^3/min)
- L =μήκος δοκιμαζόμενου τμήματος(cm)
- h =πρόσθετο υδραυλικό φορτίο (cm)
- D =διάμετρος δοκιμαζόμενου τμήματος (cm)



ΣΧΗΜΑ 2.2 Σχηματική απεικόνιση γεωτεχνικής γεώτρησης στην οποία εκτελείται δοκιμή **Lefranc** . Παρουσιάζονται τα διαφορετικά επίπεδα αναφοράς ανάλογα με τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

2.5 ΔΟΚΙΜΗ LUGEON

Για τους βραχώδεις σχηματισμούς χρησιμοποιούνται οι δοκιμές παρεμβυσμάτων (Packer tests). Πρόκειται για τις δοκιμές οι οποίες είναι γνωστές με το όνομα Lugeon tests , από το όνομα του Ελβετού γεωλόγου ερευνητή.

Στη δοκιμή Lugeon το δοκιμαζόμενο τμήμα συνήθως έχει ένα μήκος 3-5 m, το οποίο εκτείνεται έως το πυθμένα της γεώτρησης. Το δοκιμαζόμενο τμήμα απομονώνεται από πάνω με κατάλληλο παρέμβυσμα (paker), το οποίο διογκούμενο με ειδική τεχνική , εφάπτεται ορμητικά με τα τοιχώματα της γεώτρησης . Με την διαδικασία αυτή, κατά τη διάρκεια της δοκιμής, δεν επιτρέπεται η διαφυγή νερού μέσα από την στήλη της γεώτρησης. Μετά την απομόνωση εισπνέζεται νερό από την επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια αντλίας.

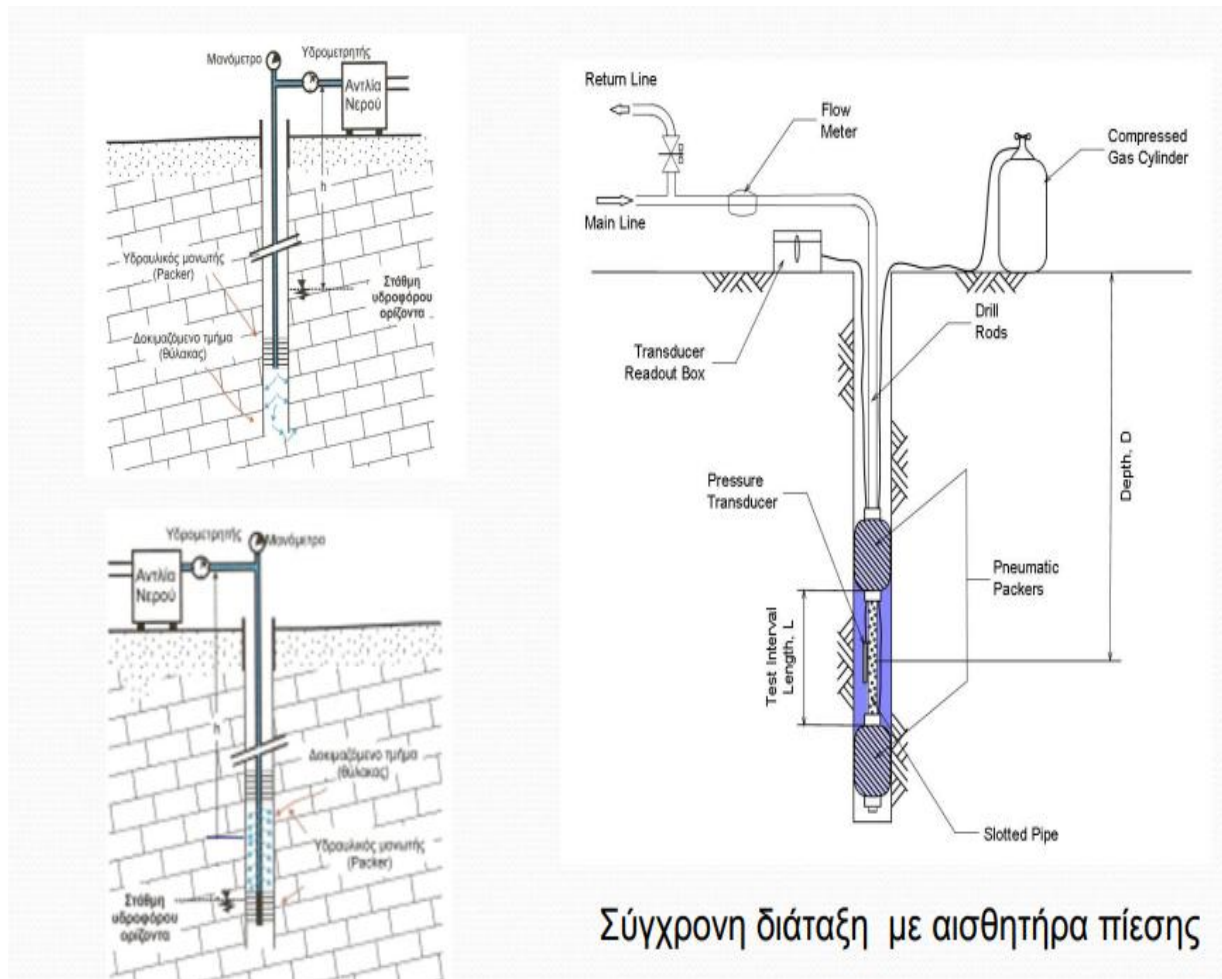


ΣΧΗΜΑ 2.3 Αντλία εισπίεσης νερού για την δοκιμή Lugeon

Η δοκιμή εκτελείται με την εφαρμογή πίεσης κατά βαθμίδες . Ένα μανόμετρο, ένας υδρομετρητής και μια βαλβίδα ανακούφισης προσαρμοσμένα σε κατάλληλο αεριοφυλάκιο (πιεστικό καζανάκι), επιτρέπουν την μέτρηση της ποσότητας του νερού, που απορροφήθηκε, για κάθε βαθμίδα πίεσης . Κάθε βαθμίδα πίεσης διαρκεί 5 ή καλύτερα 10 min και η ποσότητα του νερού, που απορροφάται από την βραχομάζα μετριέται με την χρήση του υδρομετρητή. Η δοκιμή γίνεται με την εφαρμογή κατάλληλα επιλεγμένων πιέσεων προσαρμοσμένων στις πιέσεις λειτουργίας του κάθε τεχνικού έργου. Η μέγιστη πίεση προσεγγίζεται με βαθμίδες σταδιακά αυξανόμενης πίεσης και μετά την επίτευξή της οι βαθμίδες επαναλαμβάνονται με ανάστροφη φορά, μέχρι την πλήρη αποφόρτιση του δοκιμαζόμενου θύλακα (π.χ. 1-2-4-6-4-2-1 Atm).

Η πραγματική πίεση που εφαρμόζεται στο δοκιμασμένο τμήμα, ισούται με το άθροισμα της μανομετρικής πίεσης και της υδροστατικής πίεσης του νερού, που πληρώνει την κατιούσα στήλη των στελεχών του γεωτρήπανου. Σαν παράδειγμα, αναφέρεται, ότι μια δοκιμή, που εκτελείται σε βάθος 10 m ασκεί στο δοκιμαζόμενο τμήμα 1 Atm επιπρόσθετης πίεσης λόγω της στήλης νερού ύψους 10 m, που πληρώνει τα στελέχη από την επιφάνεια του εδάφους έως το μέσω του δοκιμαζόμενου τμήματος. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της δοκιμής , οι απώλειες πίεσης, λόγω των τριβών, κατά την κίνηση του νερού μέσα στο δίκτυο των σωλήνων της διάταξης πρέπει να αφαιρούνται από τις τελικές πιέσεις. Όμως , επειδή οι απώλειες αυτές είναι συνήθως πολύ μικρές και είναι δύσκολο να μετρηθούν δεν λαμβάνονται υπόψη.

Η δοκιμή μπορεί να εκτελεσθεί και σε ανιότα βήματα μέσα σε γεώτρηση, που έχει ήδη ανορυχθεί, με τη βοήθεια διπλών παρεμβυσμάτων (Packers). Για την εξάλειψη προβλημάτων απωλειών νερού, λόγω παράκαμψης των παρεμβυσμάτων σε πολύ κερματισμένα πετρώματα, χρησιμοποιούνται συστήματα πολλαπλών παρεμβυσμάτων ή και συστήματα παρεμβυσμάτων μεγάλου μήκους, που διογκώνονται με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα.



Σύγχρονη διάταξη με αισθητήρα πίεσης

ΣΧΗΜΑ 2.4 Σχήμα (α) εφαρμογή της μεθόδου με μονό Packer, (β) εφαρμογή της μεθόδου με διπλό Packer, (γ) διάταξη με χρήση αισθητήρα.

Κατά την εφαρμογή των συγκεκριμένων δοκιμών οι μετρήσεις της υδροπερατότητας γίνονται σε μονάδες Lugeon. Μια μονάδα Lugeon είναι η υδροπερατότητα που έχει μια βραχώδης μάζα κάτω από πίεση 10 Atm (φορτίο 100 m πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα), όταν ένα μέτρο γεώτρησης διαμέτρου NX (76 mm) σε αυτή τη βραχομάζα επιτρέπει απώλειες ενός λίτρου νερού ανά λεπτό.

Για πρακτικούς λόγους εφαρμογής έχει καθιερωθεί ένας παράγοντας μετατροπής των μονάδων Lugeon σε τιμές συντελεστή k που εξισώνει 1 Lugeon με 10^{-5} (cm/sec) και 10^{-7} (m/sec).

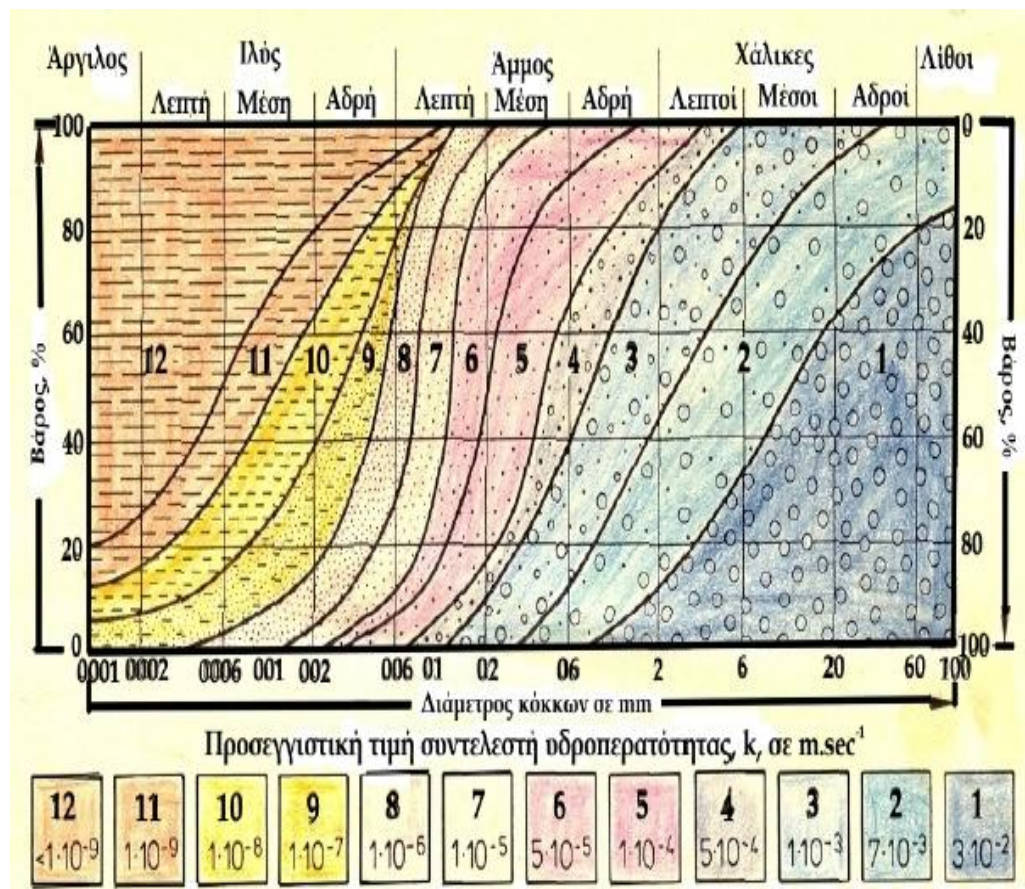
Γενικά, έχουν διαμορφωθεί διάφοροι τύποι υπολογισμού του συντελεστή υδροπερατότητα k με την χρήση δοκιμών εισπίεσης. Ο τύπος που ακολουθεί είναι ο πλέον διαδεδομένος:

$$K \text{ (cm/sec)} = \frac{Q}{2\pi L P \times \ln \frac{2l}{D}} \quad \text{για } L \geq 5D$$

Όπου:

- Q =απώλειες (cm^3/sec ή lit/min)
- L =το μήκος εισπνειζόμενου τμήματος σε (cm)
- P =η πραγματική ασκούμενη πίεση της δοκιμής σε cm στήλης νερού, όπου $10\text{m}=1\text{ atm}$
- D =η διάμετρος του δοκιμαζόμενου τμήματος (cm)

Τύποι σαν τον προηγούμενο χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για πορώδη πετρώματα ή για πετρώματα με πολύ πυκνό δίκτυο λεπτών ρωγμών. Όμως στην πράξη το έντονα διερρηγμένο πέτρωμα εξομοιώνεται με έδαφος αυξημένης περατότητας, οπότε ο τύπος εφαρμόζεται κανονικά.



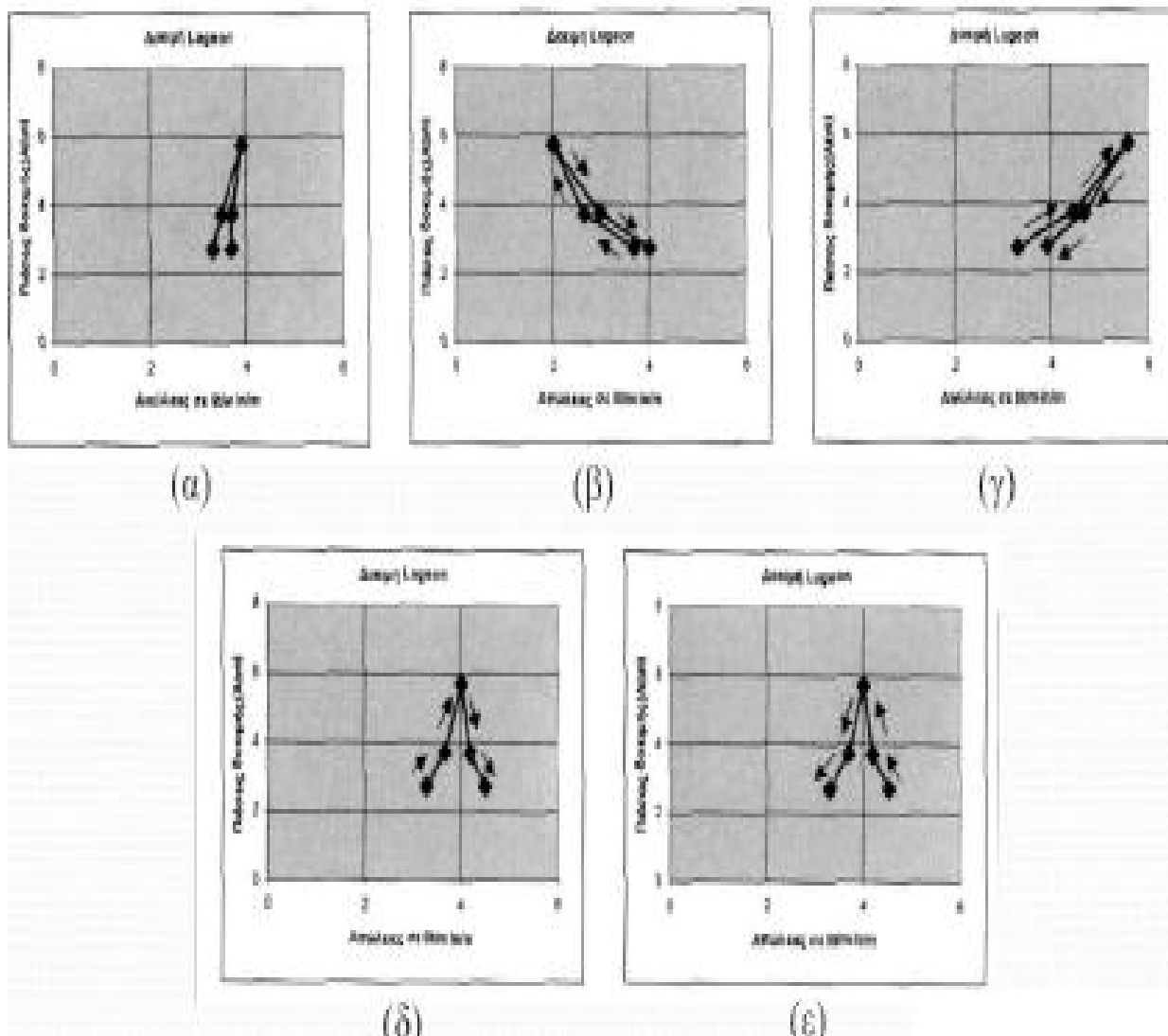
ΣΧΗΜΑ 2.5 Προσεγγιστική τιμή του συντελεστή υδροπερατότητας ανάλογα με το είδος του γεωυλικού που υπάρχει.

Οι μονάδες Lugeon ή και οι τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας k , που προκύπτουν από αυτές τις δοκιμές, αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην εκτίμηση των διαρροών της βραχομάζας κάτω από ένα τεχνικό έργο, όπως είναι το φράγμα και κατ' επέκταση τον καθορισμό των μεθόδων περιορισμού των διαφυγών.

Αναλυτικότερα για αυτή τη μέθοδο επικρατεί η άποψη ότι:

- Για φράγματα πάνω από 30m ύψος η βραχομάζα θεμελίωσης θεωρείται στεγανή αν οι απώλειες είναι μικρότερες των 1-2 μονάδων Lugeon (U.L.)
- Για φράγματα μέχρι ύψους 30 m το αντίστοιχο αποδεκτό όριο είναι 3 U.L.
- Για μικρά φράγματα το όριο των 3 U.L. πιστεύεται, ότι είναι υπερβολικό

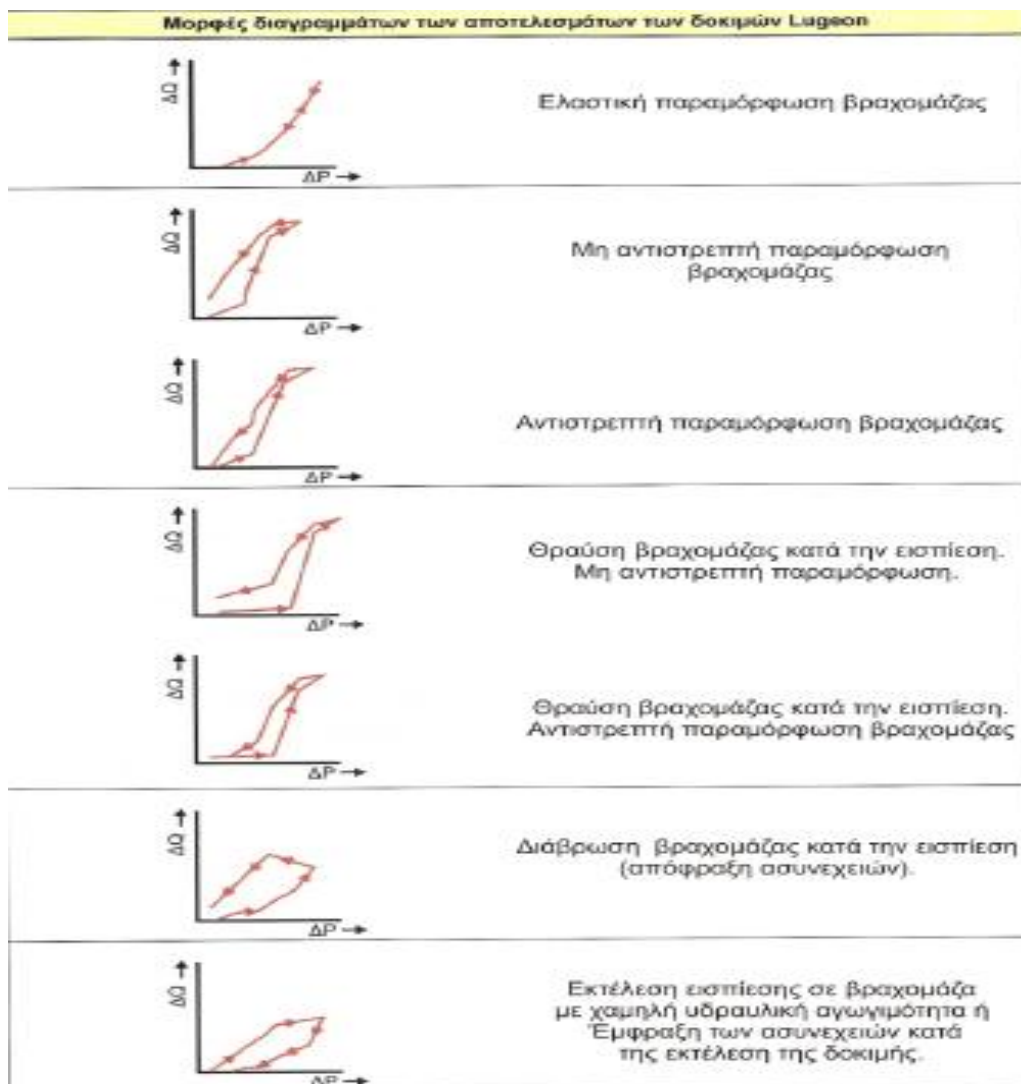
Επιπλέον, οι δοκιμές Lugeon μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της κατάστασης του κατακερματισμού μιας βραχομάζας αλλά και για την μελέτη της συμπεριφοράς αυτής σε καθεστώς υψηλής υδροστατικής πίεσης. Δηλαδή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να διαπιστωθεί, αν οι υψηλές πιέσεις, που πρόκειται να εφαρμοστούν στην βραχομάζα κατά τη λειτουργία ενός τεχνικού έργου, όπως είναι τα φράγματα ή οι λιμνοδεξαμενές είναι δυνατόν να προκαλέσουν ελαστικές ή πλαστικές παραμορφώσεις, θραύσεις ή ακόμα και απόφραξη των ασυνεχειών από το λεπτομερές υλικό πλήρωσής τους.



ΣΧΗΜΑ 2.6 Τυπικές μορφές ροής που προκύπτουν από την εκτέλεση της δοκιμής Lugeon. (Α) ομαλή ροή, (Β) τυρβώδης ροή, (Γ) ροή διαστολής, (Δ) ροή απόπλυσης, (Ε) ροή απόφραξης.

ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΤΙΜΕΣ ΛΥΓΕΟΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΟΚΙΜΗ	ΤΥΠΟΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ
		<p>Ομαλή ροή (Laminar flow): Όλες οι τιμές $\lambda_{\text{υγεον}}$ είναι περίπου ίδιες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των πέντε τιμών</p>
		<p>Τυρβώδης ροή (Turbulent flow): Οι τιμές $\lambda_{\text{υγεον}}$ μειώνονται καθώς η πίεση αυξάνει: Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η τιμή $\lambda_{\text{υγεον}}$ που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη πίεση. Παρ/ση: Η ροή είναι πολύ σπάνια πλήρως τυρβώδης.</p>
		<p>Ροή διαστολής (Dilatation): Προκαλείται από το άνοιγμα των ασυνεχειών του πετρώματος στις υψηλές πιέσεις. Αυτό κρίνεται σαν προσωρινή εικόνα και όχι συνθησιμένη ιδιότητα σε τυπικές πιέσεις του υεδαφικού νερού. Συνεπώς χρησιμοποιείται η μέση τιμή των δύο χαμηλών ή των δύο μέσων πιέσεων</p>
		<p>Απόκλιση (Wash-out): Τα υλικά πλήρωσης των ασυνεχειών ξεπλένονται από τη ροή του νερού. Εκτιμάται ότι η απόκλιση αυτή είναι σταθερή και χωρίς ανάκαμψη στα πετρώματα. Χρησιμοποιείται η μέγιστη (τελική) τιμή. Παρ/ση: Η κατάσταση αυτή μπορεί να σημαίνει ότι οι τιμές πίεσεως της δοκιμής είναι πολύ υψηλές.</p>
		<p>Πλήρωση ρωγμών (Void filling): Η περίπτωση αυτή προκαλείται με την πλήρωση των κενών από το νερό σε ένα μερικά κορεσμένο βραχυώδη σχηματισμό. Εδώ, λαμβάνεται υπόψη η τελική τιμή ή κατά προτίμηση πραγματοποιείται μια δεύτερη δοκιμή για την επιβεβαίωση του κορεσμού.</p>

ΣΧΗΜΑ 2.7 Τύποι ροής , περιγραφή αποτελεσμάτων από τη δράση αυτών και καθορισμός του τρόπου προσδιορισμού της υδροπερατότητας.



ΣΧΗΜΑ 2.8 Παραδείγματα $\Delta Q-\Delta P$ και η σχετική ερμηνεία τους αναφορικά με τη συμπεριφορά της βραχομάζας σε υψηλές υδροστατικές πιέσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

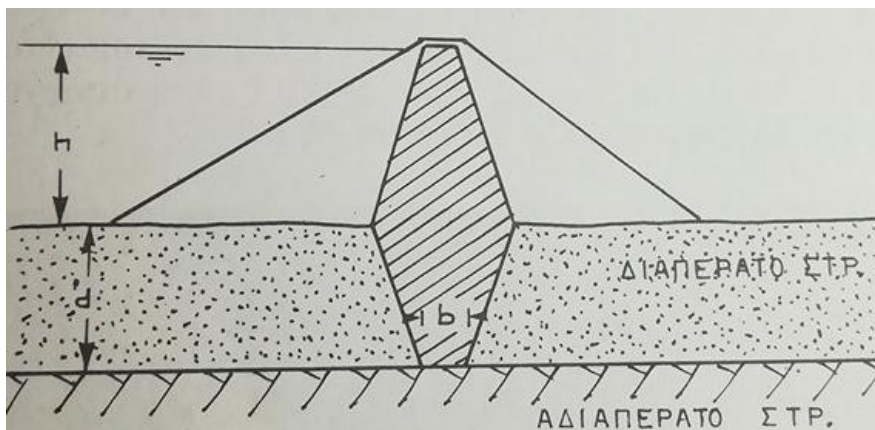
<<ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ>>

3.1 Εισαγωγή

Με βάση όσα είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, κατανοούμε, πως αν διαπιστωθεί, μέσω των παραπάνω μεθόδων, πρόβλημα διαπερατότητας είναι αναγκαία η χρήση μέσων για την αντιμετώπιση αυτής. Στις μέρες μας υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, με τις οποίες μπορούμε να αντιμετωπίσουμε με μεγάλη αποτελεσματικότητα το φαινόμενο της διαπερατότητας. Η επιλογή της μεθόδου, που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε μελλοντικό ταμειυτήρα, προκειμένου να γίνει στεγανός, εξαρτάται, τις περισσότερες φορές, από τα οικονομικά συγκριτικά στοιχεία. Οι συνήθεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και θα αναλυθούν εκτενέστερα στο κεφάλαιο αυτό, είναι η τάφρος διακοπής, ο διαφραγματικός τοίχος, οι πασσαλοσανίδες, το διάφραγμα με έγχυτους πασσάλους, ο αδιαπέρατος τάπητας ανάντι, ο αδιαπέρατος τάπητας κατόντι και οι ανακουφιστικές γεωτρήσεις.

3.2 Τάφρος διακοπής

Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εκτελεστεί με δύο τρόπους, με τα πρηνή κατακόρυφα ή με τα πρηνή κεκλιμένα. Όσον αφορά τη πρώτη κατηγορία, τις περισσότερες φορές αποφεύγεται, γιατί δεν είναι οικονομική και ιδιαίτερα για βάθη μεγαλύτερα από 4-5m. Όσον αφορά τη μέθοδο με τα κεκλιμένα πρηνή, σε αυτή τη περίπτωση διανοίγονται με μηχανικά μέσα μέχρι το βραχώδες αδιαπέρατο στρώμα και στη συνέχεια γεμίζουν με αδιαπέρατο υλικό (άργιλο), που διαστρώνεται και συμπυκνώνεται σε λεπτές στρώσεις. Αξίζει να σημειωθεί πως η κατασκευή της τάφρου γίνεται παράλληλα προς τον άξονα του φράγματος.



Σχήμα 3.1 Τάφρος διακοπής με κεκλιμένα πρηνή

Το πάχος της τάφρου στο ύψος της θεμελίωσης θα πρέπει να είναι αρκετό και η επαφή με το βραχώδες στρώμα καλή, για να αποφεύγεται η διασωλήνωση. Ενδεικτικά το πάχος της τάφρου διακοπής για μικρά φράγματα ισούται με :

$$b=h-d$$

Όπου:

- h : το ύψος του νερού πάνω από την επιφάνεια σε (m)
- d : το βάθος της τάφρου κάτω από την επιφάνεια σε (m)

Αξιοσημείωτο είναι πως το πλάτος της τάφρου δεν μπορεί να είναι μικρότερο από 6 m για να μπορεί να διαστρωθεί και να συμπυκνωθεί το υλικό πλήρωσης (άργιλος) με μηχανικά μέσα.

3.3 Διαφραγματικός Τοίχος

Όταν στο υπέδαφος, όπου θα κατασκευαστεί το έργο έχουμε μεγάλο βάθος αλλουβιακών αποθέσεων, τότε η μέθοδος της τάφρου διακοπής κρίνεται αντί οικονομική και εφαρμόζουμε τη μέθοδο του διαφραγματικού τοίχου. Η μέθοδος συνίσταται στην διάνοιξη μιας τάφρου με κατακόρυφα πρηνή, σε πλάτος συνήθως 1-3 m, με τη βοήθεια εκσκαφέα ή ειδικού εκσκαπτικού μηχανήματος.



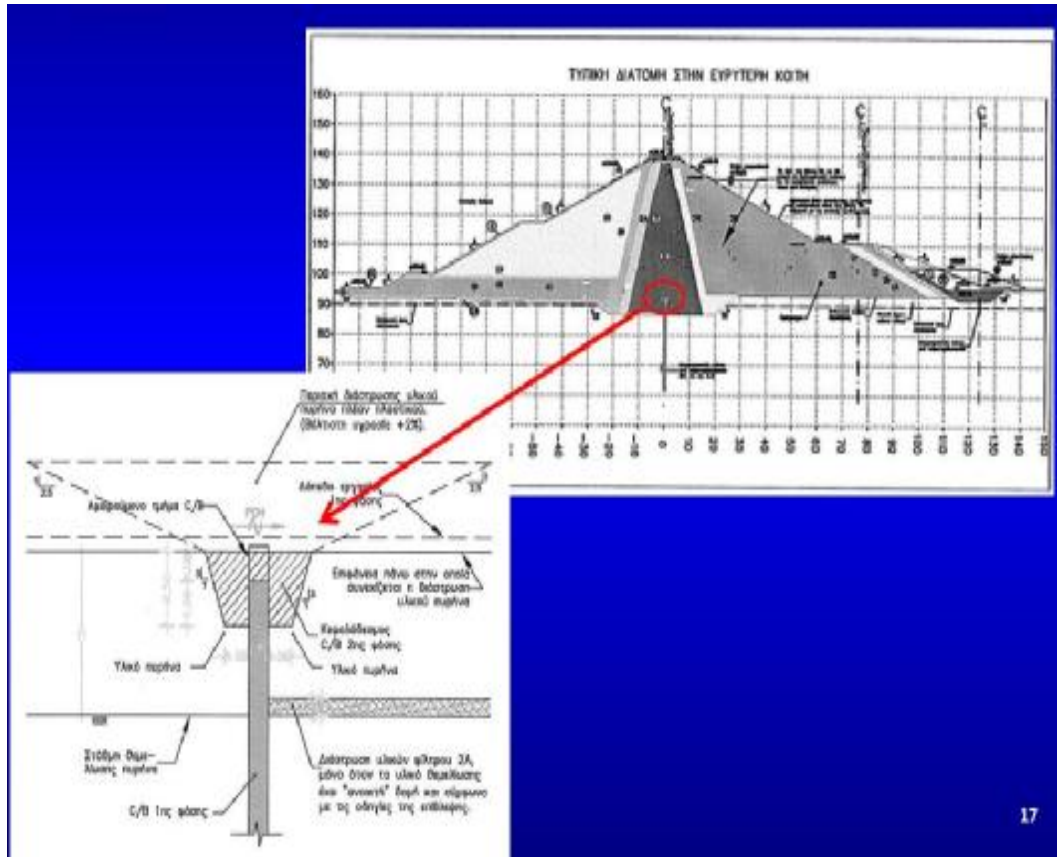
Σχήμα 3.2 Για την εκσκαφή του διαφραγματικού τοίχου απαιτείται η χρήση του εικονιζόμενου εξαρτήματος (αρπάγη)

Καθώς το υλικό σκάβεται, έχουμε την έκχυση μπετονίτη μέσα στο σκάμμα, προκειμένου να πιέζει τα πρηνή και να τα κρατά κατακόρυφα, αποκλείοντας τις κατολισθήσεις όγκων και μειώνοντας τη διήθηση του νερού. Αξίζει να σημειωθεί, πως το μίγμα μπετονίτη-νερό συνίσταται να έχει την αναλογία σύμφωνα με το Bureau of Reclamation 1:14.

Ο λόγος τσιμέντου προς μπετονίτη κυμαίνεται από 5:1 μέχρι 6,5:1. Αυτό σημαίνει, ότι για 1m^3 μίγμα μπετονίτη χρειάζονται 250-320 kg τσιμέντο και 50 kg ξερού μπετονίτη. Συνήθως η διαδικασία παραγωγής του μίγματος αυτού ακολουθεί τη παρακάτω διαδικασία:

- Αναμιγνύουμε το νερό με το μπετονίτη 24 ώρες πριν
- Προσθέτουμε νερό και προσμίξεις αν αυτές είναι απαραίτητες
- Στο τέλος προσθέτουμε το τσιμέντο

Έτσι για 1m^3 αναμιγνύονται 50 kg μπετονίτη με νερό (25/50 L). Στη συνέχεια προστίθενται στο μίγμα 880L νερό και τέλος 250 kg τσιμέντο.



Σχήμα 3.3 Κατασκευή φράγματος με διαφραγματικό τοίχο (φράγμα Ιασιού)

Η εφαρμογή του διαφραγματικού τοίχου χρειάζεται προσεκτική έρευνα του υπεδάφους, γιατί η ύπαρξη μεγάλων όγκων βράχων μέσα στις αλλουβιακές στρώσεις κάνει αδύνατη την εφαρμογή. Στο φράγμα του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο για τη θεμελίωση του φράγματος είχε επιλεγθεί η λύση του διαφραγματικού τοίχου. Όταν όμως άρχισε η εκσκαφή, αποδείχθηκε, ότι υπήρχαν μεγάλοι όγκοι βράχων μέσα στα αμμοχάλικα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιήσουν αυτή τη μέθοδο λόγω του ότι θα ήταν οικονομικά ασύμφορη.



Σχήμα 3.4 Κατασκευή διαφραγματικού τοίχου στο φράγμα του Στράτου

Στο φράγμα του Στράτου στον Αχελώο, όπως διακρίνουμε και στη παραπάνω φωτογραφία εφαρμόστηκε η λύση του διαφραγματικού τοίχου αλλά για βάθος μόνο 24 m, ενώ το βάθος των αλλουβιακών έφτανε τα 50 m, αφού βάση της μελέτης, η διαρροή κάτω από το τοίχο αποδείχθηκε οικονομικά μικρότερη από την κανονική κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου.

Κατασκευαστικά, ο διαφραγματικός τοίχος γίνεται κατά φάτνωμα μήκους 2,50-3,00 m που ανοίγονται εναλλάξ. Όταν το μίγμα τσιμέντο-μπετονίτη πήξει, σκάβεται το επόμενο φάτνωμα και ένα τμήμα από τον ήδη κατασκευασμένο τοίχο (0,45 m) για να αποφευχθεί η πιθανότητα ύπαρξης κενού.

3.4 Πασσαλοσανίδες

Η μέθοδος αυτή είναι σχετικά ακριβή και σε συνδυασμό με το ότι τις περισσότερες φορές δεν είναι αποτελεσματική, είναι μια μέθοδος που αποφεύγεται να χρησιμοποιηθεί στα περισσότερα έργα. Η μη αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου, οφείλεται στο ότι τις περισσότερες φορές περνάει από τα κενά των συνδέσεων μεγάλη ποσότητα νερού. Πέραν από όλα αυτά, που αναφέρθηκαν παραπάνω, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους για την επιμήκυνση των γραμμών ροής. Στην περίπτωση εφαρμογής τους η διήθηση μπορεί να μειωθεί μόνο κατά 80%.



Σχήμα 3.5 Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου με πασσαλοσανίδες

3.5 Διάφραγμα με έγχυτους πασσάλους

Το διάφραγμα δημιουργείται από τις υπερκαλυπτόμενες γεωτρήσεις που γεμίζουν με σκυρόδεμα. Στο κάτω άκρο υπάρχει αναμικτήρας που ανακατεύει το ήδη χαλαρωμένο έδαφος της γεώτρησης με το υλικό που χύνεται μέσα, καθώς περιστρεφόμενος ανεβαίνει προς την επιφάνεια. Τα βάθη έχουν σχέση αντίστροφη με τις διαμέτρους. Όσο δηλαδή βαθύτερη η διάνοιξη τόσο μικρότερη είναι η διάμετρος. Το U.S.B.R δίνει τις ακόλουθες αντιστοιχίες σε ίντσες και πόδια.



Σχήμα 3.6 Διαδικασία εγκατάστασης έγχυτων πασσάλων

3.6 Αδιαπέρατος τάπητας ανάντη

Το μήκος της διαδρομής του διηθούμενου νερού σε διαπερατά εδάφη μπορεί να αυξηθεί με την κατασκευή ενός τάπητα από αδιαπέρατο υλικό που συνδέεται με τον πυρήνα και

κατασκευάζεται προς τα ανάντη. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής συνηθίζεται όταν το βάθος του διαπερατού στρώματος είναι μεγάλο, κάτι που καθιστά τις άλλες μεθόδους αδύνατες ως προς την εφαρμογή τους στο έργο και οικονομικά ασύμφορες. Σημαντικοί παράγοντες για την κατασκευή ενός αδιαπέρατου τάπητα είναι η τοπογραφία της ανάντη περιοχής, καθώς και η ύπαρξη αδιαπέρατου υλικού (αργίλου). Αξίζει να σημειωθεί μαζί με όλα τα παραπάνω, πως η κατασκευή του τάπητα εκτείνεται, όχι μόνο στο πυθμένα της κοιλάδας, αλλά και στα πρηνή, σε μήκος που προκύπτει από την επιθυμητή μείωση της διήθησης το μήκος αυτό κυμαίνεται συνήθως στα 100-150 m. Το πάχος το τάπητα κυμαίνεται γύρω στο 1.50 m, ενώ η επιφάνειά του προστατεύεται με στρώμα λιθοριπής, πάχους περίπου 0,5m. Όσον αφορά το υπολογιστικό κομμάτι, αν και ο τάπητας υπολογίζεται με θεωρητικές σχέσεις, στην περίπτωση των μικρών φραγμάτων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν απλές εμπειρικές σχέσεις, όπως :

- $y=0.1h$ με y το πάχος του τάπητα σε m και h το ύψος του νερού στον ταμιευτήρα σε m και ελάχιστο πάχος τάπητα το 1 m.

Ο αδιαπέρατος τάπητας κατασκευάζεται μετά την αφαίρεση της φυτικής κάλυψης και του επιφανειακού εδάφους, μέχρι να βρεθεί το κατάλληλο έδαφος για την κατασκευή του τάπητα. Το τμήμα αυτό έπειτα από τις παραπάνω εργασίες γεμίζει με τα πλέον κατάλληλα γαιώδη υλικά, που κυλινδρώνονται και συμπυκνώνονται. Κατασκευαστικά, το μήκος του τάπητα τις περισσότερες φορές είναι εξαπλάσιο ή οκταπλάσιο από το ύψος του νερού στη θέση του φράγματος. Μπορεί όμως να προσδιορισθεί κατά περίπτωση από τη σχέση :

$$x = \frac{k * h * d - p * Q * L}{P * Q}$$

Όπου :

- x = το μήκος του μονωτικού τάπητα
- k = ο συντελεστής διαπερατότητας του διαπερατού στρώματος κατά την οριζόντια κατεύθυνση
- h = το βάθος του νερού
- d = το βάθος του διαπερατού στρώματος
- p = την εκατοστιαία επιθυμητή μείωση της ροής
- L = το πλάτος φράγματος (αδιαπέρατο τμήμα)
- Q = την παροχή διήθησης κάτω από το φράγμα χωρίς τον τάπητα

Παράδειγμα εργασίας εύρεσης απαραίτητου μήκους (x) τάπητα.

Χωμάτινο φράγμα με πλάτος βάσης $L= 70m$ θεμελιώνεται επάνω σε διαπερατό στρώμα που έχει βάθος $d=32m$. Το ύψος του νερού στη λίμνη είναι $h= 23 m$ και η ποσοστιαία επιτρεπτή διήθηση μετά την κατασκευή του τάπητα είναι $p=20\%$. Ζητείται το μήκος x του τάπητα. Δίνεται συντελεστής διαπερατότητας του εδάφους θεμελίωσης $k=6*10^{-4} m/s$.

Λύση :

$$Q = \frac{8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{m}{s}\right) * 23(m) * 32(m)}{70(m)} = 0,0084 m^3/m * sec$$

Ξέρω ότι :

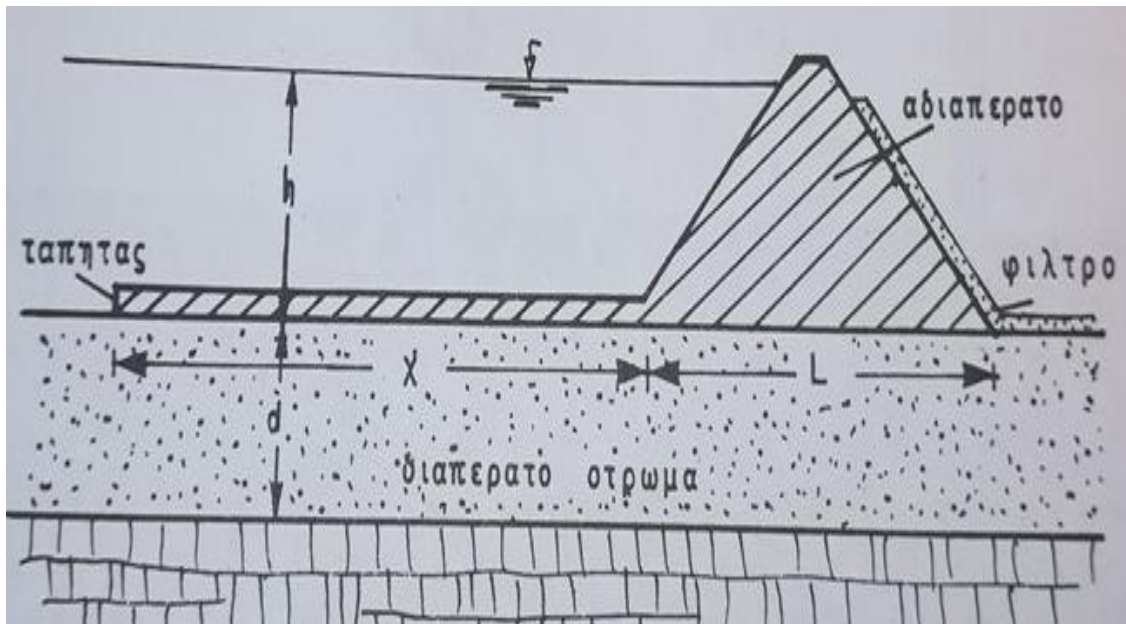
$$x = \frac{k * h * d - p * Q * L}{P * Q}$$

Άρα

$$X = \frac{8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{m}{s}\right) * 23(m) * 32(m) - 0,2 * 8,4 * 10^{-3} * 70(m)}{0,2 * 8,4 * 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} * m\right)} =$$

$$= \frac{588 - 117}{1,68} = 280,35 (m) \approx 280 (m)$$

Η μείωση της διήθησης στο 20% είναι ικανοποιητική στις περισσότερες περιπτώσεις, εκτός αν το νερό έχει ιδιαίτερη αξία για κάποιο λόγο, οπότε πρέπει να μειωθεί ακόμα περισσότερο.



Σχήμα 3.7 Παράδειγμα στεγανοποιημένου ταμιευτήρα με τη χρήση της μεθόδου του αδιαπέρατου τάπητα ανάντη

3.7 Στραγγιστικός τάπητας κατάντη

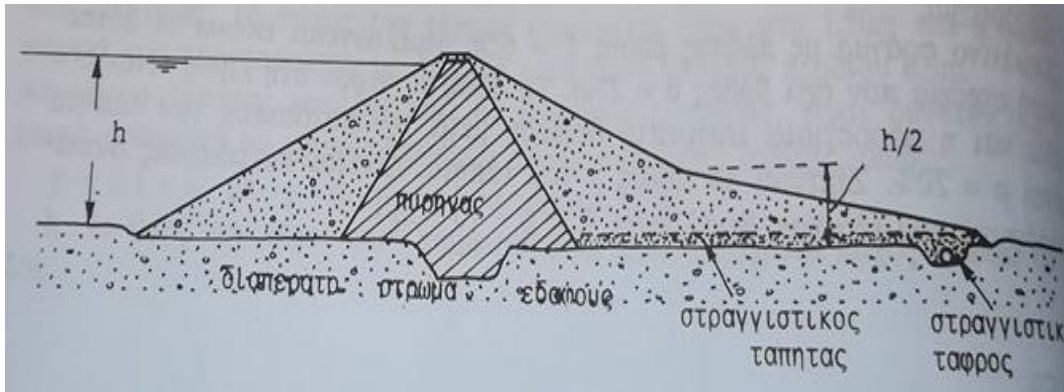
Το κατάντη τμήμα ενός φράγματος, το οποίο κατασκευάζεται πάνω σε διαπερατά υλικά θα πρέπει να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι που να :

- Απελευθερώνει τις δυνάμεις άνωσης, οι οποίες προέρχονται από τη διήθηση.
- Επιτρέπει την ελεύθερη παροχέτευση της διηθούμενης ποσότητας του νερού.
- Προφυλάσσει τη μεταφορά κόκκων και τη διασωλήνωση, τόσο στο φράγμα όσο και στη θεμελίωση.
- Εξασφαλίζει αρκετό βάρος, ώστε να αποκλείεται η πιθανότητα άνωσης.
- Εξασφαλίζει την διοχέτευση της διηθούμενης ποσότητας στο στραγγιστικό κανάλι.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, το φράγμα πρέπει να τηρεί τις παρακάτω προϋποθέσεις:”

- Να έχει τη κατάντη ζώνη εκτεταμένη, ώστε να επιμηκύνονται οι γραμμές ροής.
- Να έχει αρκετό ύψος κατάντη ζώνης, ώστε να εξουδετερώνει την άνωση
- Να έχει διαπερατά στρώματα φίλτρων διαβαθμισμένα σύμφωνα με τις αρχές σχεδιασμού των φίλτρων.
- Να έχει στραγγιστήρια στο κατάντη άκρο με ικανότητα παραλαβής του συνολικού φορτίου διήθησης.

Το απαιτούμενο μήκος της κατάντη ζώνης μπορεί να υπολογισθεί θεωρητικά από το σχεδιασμό του δικτύου ροής, με την προϋπόθεση, ότι είναι γνωστή η διαπερατότητα, τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφο διεύθυνση.



Σχήμα 3.8 Εφαρμογή του στραγγιστικού τάπητα για την στεγανοποίηση της κατάντη πλευράς του φράγματος.

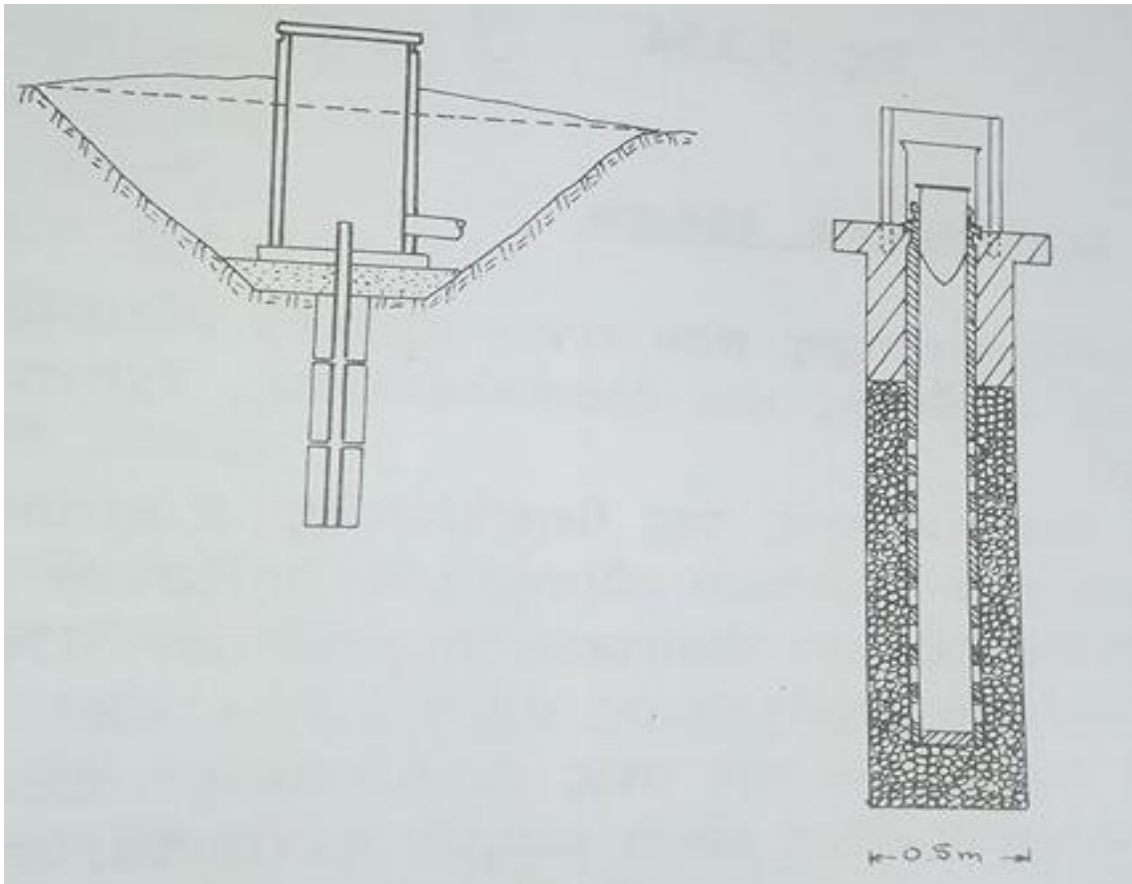
3.8 Ανακουφιστικές γεωτρήσεις

Όταν στο διαπερατό υπέδαφος υπάρχει στρώμα έντονα διαπερατό, πάνω στο οποίο βρίσκεται άλλο λιγότερο διαπερατό, τότε για να μειωθεί η πίεση και να αποφευχθούν αστοχίες ανάντη και κατάντη του του φράγματος, κατασκευάζονται γεωτρήσεις, οι οποίες για να λειτουργίσουν ικανοποιητικά θα πρέπει:

- Το βάθος τους να εκτείνεται μέχρι το επίπεδο του διαπερατού στρώματος, για να μπορούν να απελευθερώνουν το υπό πίεση νερό και να μειώνουν την άνωση. Πρέπει να αναφερθεί, πως το βάθος των γεωτρήσεων θεωρείται ικανοποιητικό και τις περισσότερες φορές αποτελεσματικό, όταν είναι ίσο με το ύψος του φράγματος.
- Να βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις, ώστε να διακόπτεται η διήθηση και να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα η πίεση ανάμεσα σε δύο γειτονικές γεωτρήσεις.
- Να παρουσιάζουν μικρή αντίσταση στην εισροή του νερού μέσα στις γεωτρήσεις.
- Να μην υπολειπονται από κάποιο τοιχόν φρακάρισμα των ανοιγμάτων τους.

Σε περίπτωση, όπου μετά την κατασκευή του φράγματος διαπιστωθεί, ότι υπάρχει αυξημένη πίεση στο διαπερατό στρώμα, κατασκευάζονται συμπληρωματικές γεωτρήσεις. Η U.S. Corps of Engineers προτείνει σαν ελάχιστη απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων τα 7,5 m, όταν πρόκειται για έντονα διαπερατό υπέδαφος, και 30 m το μέγιστο για λιγότερο διαπερατό. Εμπειρικά, έχει προκύψει, ότι η διάμετρος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 6 inches (~10 cm) για να μην είναι μεγάλες οι απώλειες εισόδου.

Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται ο τύπος των ανακουφιστικών γεωτρήσεων, όπως προτείνονται από το U.S Corps of Engineers.



Σχήμα 3.9 Πρότυπο κατασκευής ανακουφιστικών γεωτρήσεων

Η κατασκευή των ανακουφιστικών γεωτρήσεων γίνεται με την καταβύθιση ενός σωλήνα κατάλληλου μεγέθους και βάθους. Το εσωτερικό υλικό αφαιρείται και μέσα μπάνει ο σωλήνας με το διάτρητο τμήμα (φίλτρο). Ανάμεσα από τον εσωτερικό σωλήνα και το εξωτερικό περίβλημα ρίχνεται κατάλληλο υλικό φίλτρου, ενώ στη συνέχεια αφαιρείται το εξωτερικό του περίβλημα. Το υλικό φίλτρου πρέπει να καλύπτει όλο το ύψος του διάτρητου σωλήνα με ένα επιπλέον ύψος ασφαλείας, πάνω από το οποίο ρίχνεται σκυρόδεμα, για να αποφευχθεί η άνοδος του νερού από τα τοιχώματα του σωλήνα. Μετά την κατασκευή, η γεώτρηση ξεπλένεται, για να φύγουν τυχόν λεπτόκοκκα υλικά που μπορεί να φρακάρουν τα ανοίγματα. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι ανακουφιστικές γεωτρήσεις απαιτούν τακτική επιθεώρηση και καθαρισμό για τη σωστή λειτουργία τους.

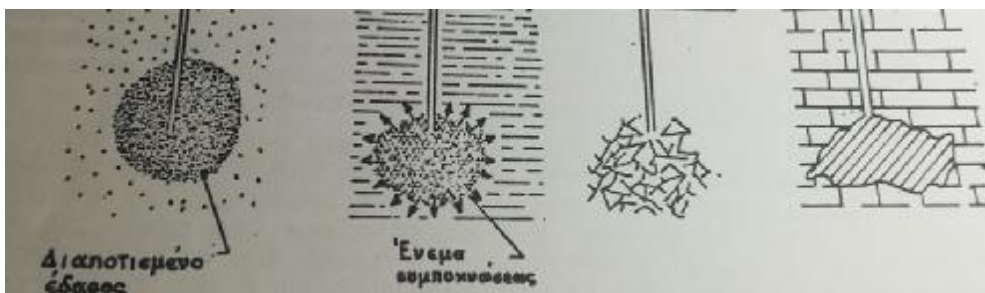
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

<<ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΙΣ>>

4.1 Ορισμός – Κατηγορίες τσιμεντενέσεων

Σαν ένεση χαρακτηρίζεται η διοχέτευση με πίεση μέσα στα κενά του εδάφους διαφόρων ρευστών υλών, που με την πάροδο του χρόνου πήζουν, και επιφέρουν βελτίωση των ιδιοτήτων του, όπως είναι η μείωση διαπερατότητας που εξετάζουμε, η αύξηση της αντοχής καθώς και η μείωση της συμπιεστότητας. Ανάλογα με τον τρόπο που δρα το ένεμα, διακρίνουμε τέσσερις κατηγορίες ενέσεων :

1. Ενέσεις διαποτισμού (permeation grouting), όπου το ένεμα γεμίζει τους πόρους του εδάφους, χωρίς να μεταβάλλεται ουσιαστικά ο όγκος της αρχικής εδαφικής δομής (π.χ ενέσεις σε αμμώδη και αμμοχαλικώδη εδάφη).
2. Ενέσεις εκτόπισης ή συμπυκνώσεως (displacement or compaction grouting), όπου ένα πολύ πυκνό ένεμα εισάγεται στα κενά του εδάφους με ισχυρή πίεση και σχηματίζει βολβούς, που εκτοπίζουν και συμπυκνώνουν το έδαφος (εφαρμογή σε ψιλή άμμο, ιλύ και άργιλο)
3. Ενέσεις εγκλωβισμού (encapsulation grouting), κατά τις οποίες σε φυσικά διερρηγμένο έδαφος ή σε έδαφος που υφίσταται θραύση από τη πίεση της ενέσεως διοχετεύεται ένεμα, το οποίο ακολουθώντας τις διαρρήξεις περιβάλλει ακέραια κομμάτια εδάφους, χωρίς να τα διαποτίζει και τα συγκολλά μεταξύ τους, σταθεροποιώντας έτσι την εδαφική δομή.
4. Ενέσεις πλήρωσεως μεγαλύτερων κενών της εδαφικής μάζας (περίπτωση καρστικών εγκοίλων, μπαζών).



Σχήμα 4.1 Κατηγορίες ενέσεων (α) Διαποτισμός, (β) Εκτόπιση, (γ) Εγκλωβισμός, (δ) Πλήρωση εγκοίλων

Αξίζει να σημειωθεί, πως ανάλογα με το σκοπό, μπορούμε ακόμα να διακρίνουμε ενέσεις στεγανοποιήσεως για τη μείωση της διαπερατότητας και τον έλεγχο της υπόγειας ροής και ενέσεις σταθεροποιήσεως για την αύξηση της αντοχής και μείωση της συμπιεστότητας.

4.2 Τύποι και Ιδιότητες Ενεμάτων

Τα διάφορα ενέματα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

1. **Αιωρήματα** λεπτών στερεών σωματιδίων σε νερό . Υλικά που χρησιμοποιούνται για τα ενέματα αυτά, είτε μόνα τους είτε σε διάφορους συνδυασμούς και αναλογίες μεταξύ τους είναι : τσιμέντο portland ελληνικού τύπου με θηραϊκή γη, μπετονίτης, άργιλος, άσβεστος, άμμος και άλλα υλικά με ή χωρίς πρόσθετα.
2. **Διαλύματα** χημικών ουσιών σε νερό. Το ένεμα συντίθεται εν γένει με ανάμιξη δύο ή περισσότερων διαλυμάτων διαφορετικών ουσιών οι οποίες αντιδρούν χημικά μεταξύ τους, για να σχηματίσουν ένα μη διαλυτό πήγμα, το οποίο με το χρόνο παίρνει ορισμένη αντοχή. Η ανάμιξη των συστατικών συνήθως γίνεται πριν από την ένεση, οπότε το ένεμα διοχετεύεται στο έδαφος με την τελική του σύνθεση, είναι όμως δυνατόν να ενεθούν τα διαφορετικά διαλύματα χωριστά και να γίνει η ανάμιξη μέσα στο έδαφος. Με βάση τα παραπάνω αξίζει να τονίσουμε, ότι η πρώτη μέθοδος προτιμάται συνήθως, γιατί επιτρέπει ελεγχόμενες συνθήκες αναμίξεως, προϋποθέτει όμως ακριβή γνώση του χρόνου πήξεως, ώστε να αποφευχθεί τυχόν πρόωρη πήξη μέσα στο ενεσιακό συγκρότημα. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα διάφορα χημικά ενέματα, όπως τα πυριτικά, οι χρωμιολιγνίνες και διάφορα πολυμερή.
3. **Γαλακτώματα**, δηλαδή, διφασικά ετερογενή συστήματα, που αποτελούνται από ένα υγρό διαλυτικό μέσο και ένα ρευστό κατανεμημένο σε λεπτά σταγονίδια. Η συνηθέστερη περίπτωση τέτοιου ενέματος είναι γαλάκτωμα ασφάλτου σε νερό, με πρόσμικτα, γαλακτοματοποιητή και πηκτικό και χρησιμοποιείται μόνο για τις ενέσεις στεγανοποίησης, διότι δεν αναπτύσσει αντοχή.

Οποιοδήποτε από τα παραπάνω ενέματα μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αρκεί να χρησιμοποιηθεί στην κατάλληλη περίπτωση και υπό τις κατάλληλες συνθήκες, ενώ προσπάθεια εφαρμογής κάποιου ενέματος χωρίς πλήρη γνώση των ιδιοτήτων του, μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία.

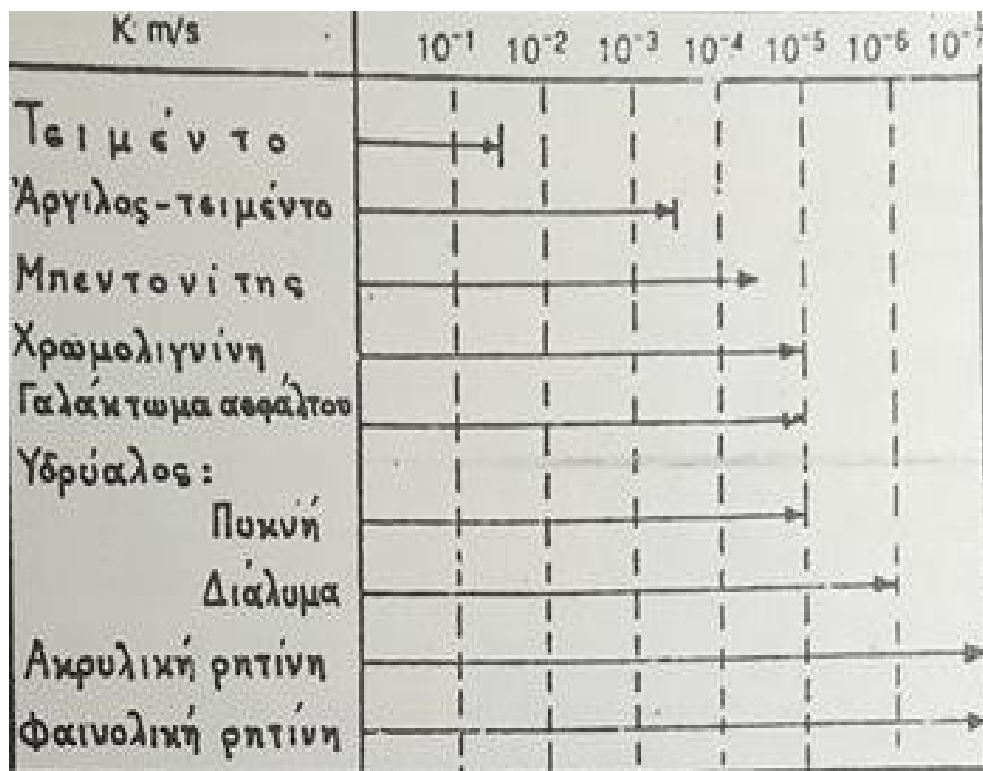
Τα κριτήρια που καθορίζουν την καταλληλότητα ενός ενέματος σε κάθε περίπτωση αναφέρονται στη διεισδυτικότητα υπό δεδομένη πίεση και για δεδομένο τύπο εδάφους, στο χρόνο πήξεως και αναπτύξεως αντοχής, στη σταθερότητα, τόσο κατά την ένεση όσο και μακροχρονίως, ανάλογα με τις απαιτήσεις, στη στεγανότητα, στην τελικά ανεπτυγσόμενη αντοχή, στην τοξικότητα και διαβρωσιμότητα και όλα αυτά σε συσχέτισμό πάντα με τη διαθεσιμότητα στην αγορά και το κόστος.

Η διεισδυτικότητα, κάτω από δεδομένη πίεση και συνθήκες εδάφους, εξαρτάται από τη ρευστότητα του ενέματος, η οποία είναι συνάρτηση διαφόρων παραγόντων, όπως η πυκνότητα, η ειδική επιφάνεια, το σχήμα των αιωρήσει σωματιδίων, η χημική δραστηριότητα των συστατικών, οι μεταξύ των σωματιδίων και μορίων ελκτικές δυνάμεις, η τάση για δημιουργία θρόμβων, η θιξοτροπία και η θερμοκρασία.

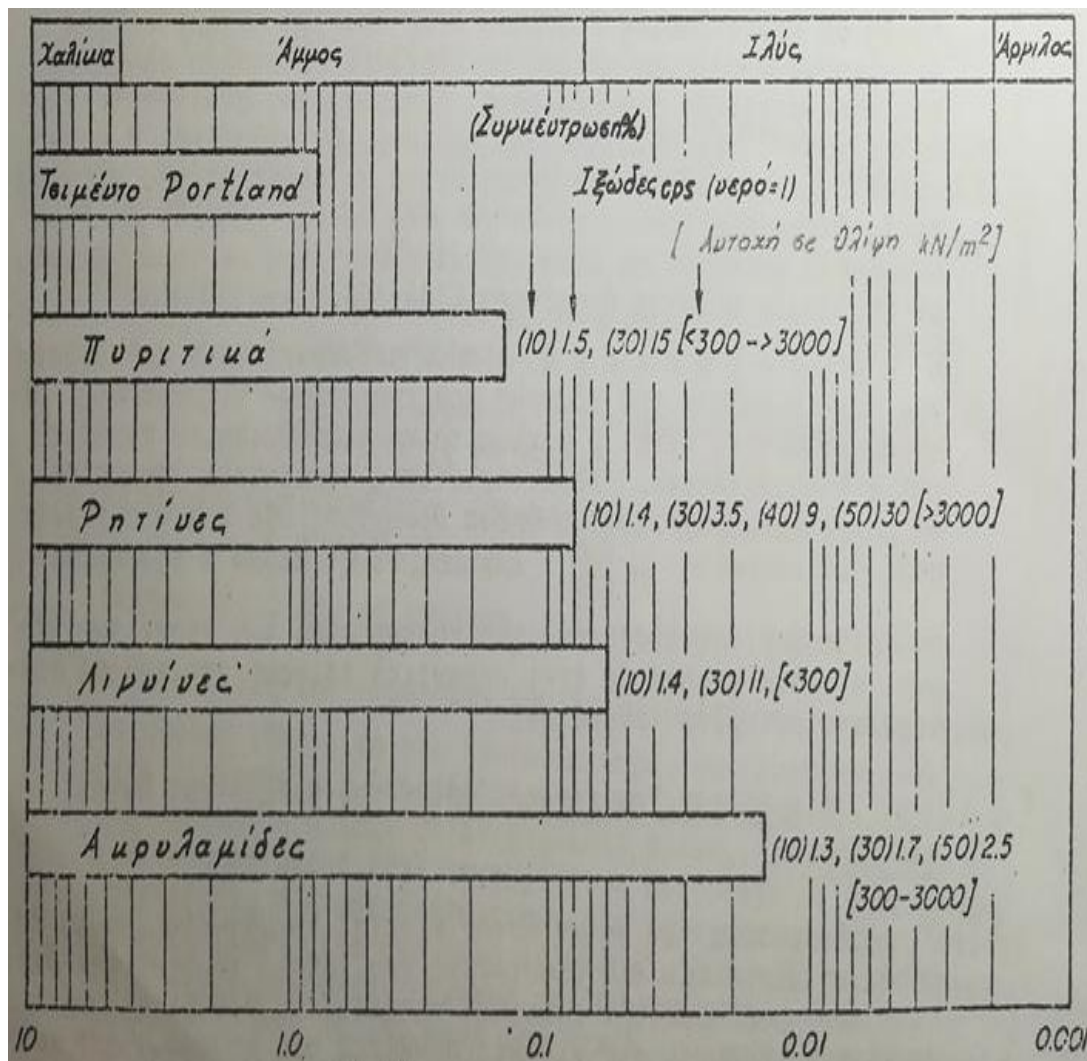
Ένα άλλο βασικό και σημαντικό στοιχείο, όσον αφορά τα ενέματα, είναι η μεταβολή της συνεκτικότητας τους συναρτήσει του χρόνου. Τα αιωρήματα (τσιμέντο μπετονίτης κλπ) και η υδρύαλος παρουσιάζουν μια εξελικτική αύξηση της συνεκτικότητας από τη στιγμή της αναμίξεως μέχρι την πήξη, ενώ τα άλλα διαλύματα, όπως οι ρητίνες διατηρούν σταθερή συνεκτικότητα μέχρι το χρόνο της πήξεως, η οποία κατόπιν επέρχεται ακαριαία. Έτσι, κατά την διάρκεια των ενέσεων με αιωρήματα ή υδρύαλο, υπάρχει μια σταδιακή αύξηση της αντιστάσεως ροής του ενέματος, με το χρόνο, που εκφράζεται με αύξηση της πίεσης ή μείωση της παροχής, ενώ από την άποψη αυτή τα άλλα χημικά ενέματα πλεονεκτούν. Ειδικότερα, στα αιωρήματα τσιμέντου, τα οποία παρουσιάζουν το

φαινόμενο της απομίξεως, λόγω καθιζήσεων των κόκκων του τσιμέντου, υπάρχει και μια απώλεια νερού, το οποίο στραγγίζει κατά τη διαδρομή του ενέματος στο έδαφος, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση κατά τη διάρκεια της ενέσεως του εν λόγω τσιμέντου/νερού και αντίστοιχα της συνεκτικότητας. Η προσθήκη μπετονίτη στα τσιμεντένια τα κάνει πιο σταθερά και μετριάζει το φαινόμενο αυτό.

Τέλος, μια άλλη σημαντική παράμετρος είναι ο χρόνος πήξεως, που πρέπει να είναι επακριβώς γνωστός. Με την μεταβολή των αναλογιών και τη χρήση διάφορων προσμίκτων είναι δυνατόν να αυξομειώνεται ο χρόνος αυτός ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου, ώστε από τη μία να μπορεί να ολοκληρωθεί απρόσκοπτα η ένεση και να μην υπάρχει κίνδυνος να πήξει το ένεμα μέσα στο σύστημα και από την άλλη να μην υπάρχουν άσκοπες καθυστερήσεις και χρόνοι αναμονής. Ενέματα με μικρό χρόνο πήξεως είναι ιδιαίτερα επιθυμητά στις περιπτώσεις που υπάρχει σημαντική υπόγεια ροή στο υπό βελτίωση έδαφος.



Σχήμα 4.2 Όρια εφαρμογής ενεμάτων με βάση τη διαπερατότητα



Σχήμα 4.3 Όρια εφαρμογής ενεμάτων με βάση το μέγεθος των κόκκων του εδάφους

4.3 Εργαστηριακή έρευνα ενεμάτων

Με βάση τα κριτήρια ενεσιμότητας την αξιολόγηση των στοιχείων της εδαφοτεχνικής έρευνας και τις ειδικές απαιτήσεις που έχει ένα έργο, όπως είναι η στεγανότητα και η αντοχή, γίνεται μια αρχική επιλογή ορισμένων τύπων και συνθέσεων ενεμάτων, από τις οποίες προκύπτουν τα κατάλληλα, για την κάθε περίπτωση ενέματα, έπειτα από συστηματική και λεπτομερειακή εργαστηριακή έρευνα. Σκοπός της έρευνας αυτής δεν είναι μόνο η επιλογή των κατάλληλων ενεμάτων αλλά και η μελέτη της επιρροής διαφόρων παραγόντων, όπως για παράδειγμα είναι οι αναλογίες των συστατικών, η θερμοκρασία και οι συνθήκες αναμείξεως. Ανάλογα με τις ειδικότερες απαιτήσεις του έργου και για λόγους οικονομίας είναι δυνατόν να επιδιωχθεί η παρασκευή ενός ενέματος με βελτιωμένες εκείνες τις ιδιότητες, για τις οποίες υπάρχει το ειδικό ενδιαφέρον σε βάρος των άλλων. Η έρευνα πρέπει να εκτείνεται τόσο στα επιμέρους συστατικά, ώστε να μπορεί να ελέγχεται ανά πάσα στιγμή η ποιότητα και η σταθερότητα των ιδιοτήτων τους, όσο και στις συνθέσεις. Γίνεται προσπάθεια οι συνθήκες του εργαστηρίου να προσομοιάζουν κατά το δυνατόν με τις συνθήκες του έργου. Έτσι, τα υλικά που

χρησιμοποιούνται στις εργαστηριακές συνθέσεις πρέπει να προέρχονται από τις ίδιες πηγές με εκείνα που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο, ιδίως αν δεν πρόκειται για τυποποιημένα βιομηχανικά προϊόντα (π.χ νερό, άργιλος).

Χαρακτηριστικές ιδιότητες που προσδιορίζονται συνήθως για τα επί μέρους συστατικά των πιο κοινών ενεμάτων είναι:

Νερό: Προσδιορισμός συστατικών εν αιωρήσει και διαλύσει με πλήρη χημική ανάλυση καθώς και προσδιορισμός του PH και της σκληρότητας.

Τσιμέντο : Λεπτότητα αλέσεως, χρόνος πήξεως, τυχόν περιεκτικότητα θηραϊκής γης.

Μπετονίτης : Όρια Atterberg, PH πολτού, υγρασία, κοκκομετρική σύνθεση.

Άργιλος : Φυσική υγρασία, κοκκομετρική σύνθεση, όρια Atterberg, PH πολτού.

Υδράλος : Πυκνότητα (Baume), ειδικό βάρος, λόγος SiO_2/Na_2O .

Σκληρυντές : Χημική σύσταση , ειδικό βάρος , καθαρότητα.

Οι ιδιότητες των συνθέσεων, που προσδιορίζονται συνήθως είναι : Το ιξώδες, η πυκνότητα, το PH, ο χρόνος πήξεως, η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, η διαπερατότητα, η αντοχή πήγματος, η αντίσταση σε διαχωρισμό, η σταθερότητα διασποράς και η συμπεριφορά μέσα στο νερό. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα χαρακτηριστικά του ιξώδους μετρώνται συνήθως με δύο τρόπους, δηλαδή με το ιξωδόμετρο και με το κώνο του Marsh, ο οποίος χρησιμοποιείται για έλεγχο και στο εργοτάξιο, ενώ όσον αφορά την αντοχή σε θλίψη προσδιορίζεται τόσο για το ένεμα όσο και για δοκίμια, που παρασκευάζονται με ανάμειξη του ενέματος με το υπό βελτίωση έδαφος.

4.4 Δοκιμαστικές Ενέσεις

Οι προκαταρκτικές δοκιμές ενέσεων επί τόπου του έργου μπορούν να δώσουν πολύτιμα στοιχεία, εφόσον γίνουν σε αρκετά μεγάλη έκταση, ώστε να είναι τα αποτελέσματά τους αντιπροσωπευτικά και αξιόπιστα. Λόγω όμως του υψηλού κόστους τέτοιων δοκιμών, είναι σκόπιμο να εφαρμόζονται για τη διερεύνηση σοβαρών και περίπλοκων περιπτώσεων και για τον έλεγχο νέων μεθόδων και τεχνολογίας. Στις συνήθεις περιπτώσεις η προηγούμενη εμπειρία, η συλλογή αρκετών στοιχείων από την εδαφοτεχνική έρευνα και τις εργαστηριακές δοκιμές και οι συστηματικοί έλεγχοι, κατά τη διάρκεια των εργασιών αρκούν για ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

4.5 Τρόπος Εκτέλεσης Τσιμεντενέσεων

Για την είσοδο του ενεματικού υλικού διανοίγονται οπές στη βραχομάζα και εφαρμόζονται πιέσεις προσεκτικά χωρίς να καταστρέφεται η εσωτερική της δομή. Στην περίπτωση, που ως ενεματικό υλικό χρησιμοποιείται τσιμέντο, οι εισπιέσεις ονομάζονται τσιμεντενέσεις στεγανοποίησης ή και σταθεροποίησης.

Η διαδικασία εκτέλεσης τσιμεντενέσεων περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- 1) Διάνοιξη γεωτρητικών οπών με πλήρη πυρηνοληψία σε επιλεγμένες θέσεις με διάμετρο αυτή των πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων ($D=76 \leq 106\text{mm}$) και βάθος $d=H_{\phi\rho}/3+20$ (m), όπου $H_{\phi\rho}$ = το ύψος του φράγματος.

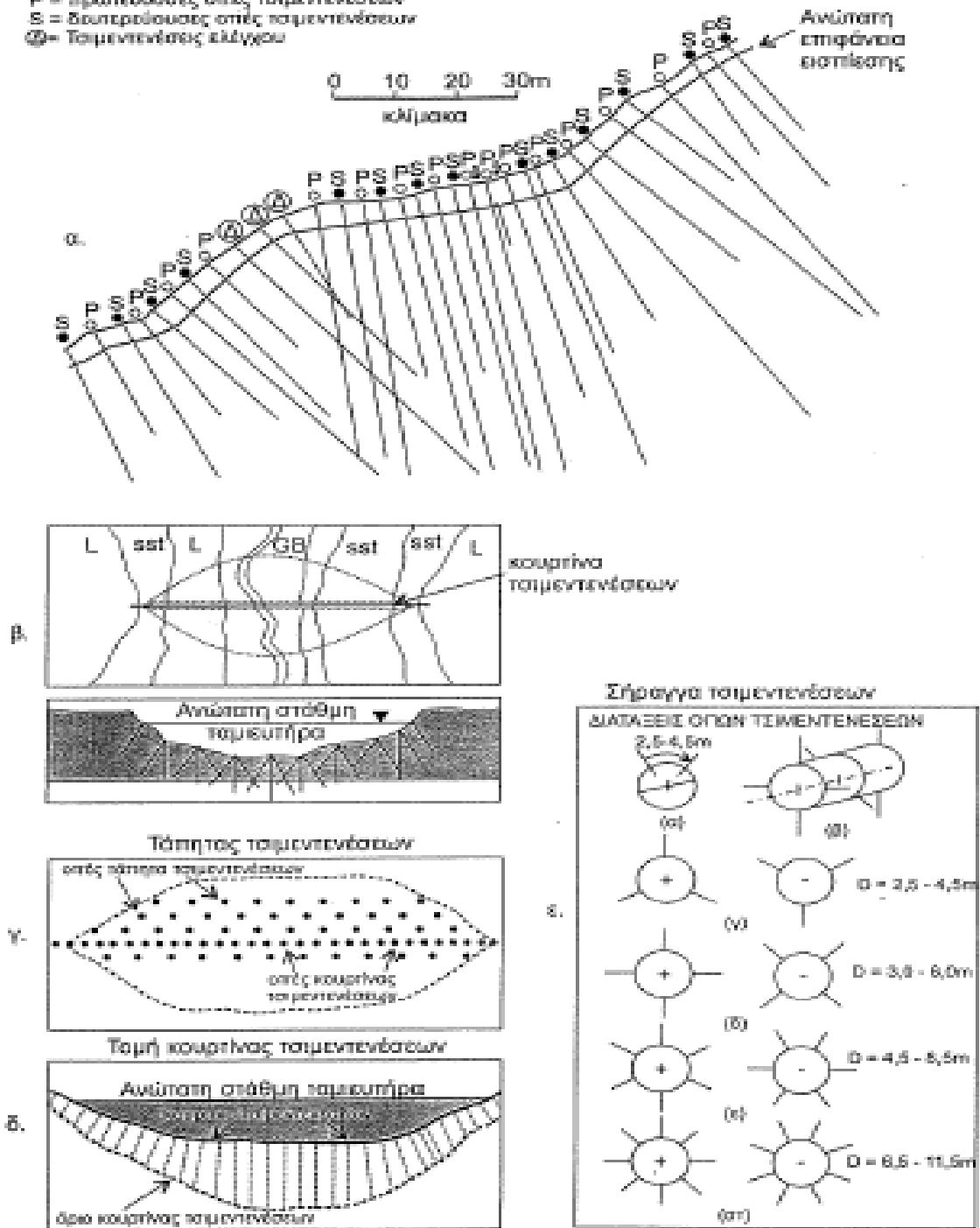
- 2) Καταγραφή στα έντυπα profil των γεωτρητικών οπών όλων των στοιχείων της βραχομάζας. Στο αριστερό τμήμα του profil της κάθε γεώτρησης τοποθετούνται με μορφή ιστογραμμάτων και με ανάλογες κλίμακες τα παρακάτω στοιχεία:
 - Ποσοστό απόληψης πυρίνα (%)
 - R.Q.D. %
 - Βαθμός ρωγμάτωσης (Z) (m^{-1})
 - Βαθμός αποσάθρωσης (V) (%)
 - Βαθμός καρστοποίησης (K) (%)
- 3) Εκτέλεση δοκιμών διαπερατότητας βραχομάζας σε ολόκληρο το μήκος του σωλήνα των γεωτρήσεων με τις μεθόδους, που είδαμε στο κεφάλαιο δεύτερο και απόδοση της διαπερατότητας της βραχομάζας σε όλο το βάθος της σε $l/min \cdot m$.
- 4) Απεικόνιση της διαπερατότητας της βραχομάζας (σε $l/min \cdot m$) με μορφή ιστογράμματος στο δεξιό τμήμα των profil των γεωτρήσεων.
- 5) Μεταφορά όλων των διανοιχθέντων γεωτρήσεων στη μορφολογική τομή του άξονα του φράγματος και οριοθέτηση των διαπερατών ζωνών (υδραυλική αγωγιμότητα $k \geq 10^{-5} m/sec$) σε όλο το μήκος και το βάθος της τομής.
- 6) Εκτέλεση εισπιέσεων τσιμέντου ή άλλου ενεματικού υλικού στις ήδη ανοιγμένες οπές των γεωτρήσεων (πρωτεύουσες οπές) και καταγραφή της απορρόφησης του ενέματος σε kg/m γεώτρησης.
- 7) Μεταφορά των δεδομένων απορρόφησης ενέματος (τσιμέντου) με χρωματική μορφή (π.χ κόκκινο=απορρόφηση $> 60 kg/m$, πορτοκαλί =40-60 kg/m , κίτρινο=20-40 kg/m , πράσινο= $< 20 kg/m$) στην παραπάνω μορφολογική τομή νέα κατασκευή με τις θέσεις των αντίστοιχων γεωτρήσεων.
- 8) Οριοθέτηση των ζωνών με αυξημένη απόληψη τσιμέντου και παραμένουσα υψηλή διαπερατότητα.
- 9) Εκτέλεση δεύτερης σειράς τσιμεντενέσεων (δευτερεύουσες οπές).Επανέλεγχος των απωλειών.
- 10) Εκτέλεση τρίτης (τριτεύουσες) και τέταρτης (τεταρτεύουσες) πιθανόν, σειράς τσιμεντενέσεων.

Σε συνέχεια των παραπάνω αξίζει να αναφερθεί, πως οι πρωτεύουσες οπές ανοίγονται σε αποστάσεις οπών 12,0 m. Οι δευτερεύουσες και οι επόμενες σειρές οπών διχοτομούν την απόσταση των οπών της αμέσως προηγούμενής τους σειράς.

Οι οπές τσιμεντενέσεων ανοίγονται σε δύο θέσεις :

1. **Τσιμεντενέσεις τάπητα**, οι οποίες ανοίγονται ακριβώς στη θέση έδρασης του αργιλικού πυρίνα και έχουν μικρό βάθος.
2. **Τσιμεντενέσεις κουρτίνας**, οι οποίες δημιουργούν διαφραγματικό τοίχιο σταγανοποίησης της βραχομάζας με επιμήκη διάταξη κατά μήκος του άξονα του φράγματος και έχουν μεγάλο βάθος.

P = πρωτεύουσες οπές τσιμεντέσεων
 S = δευτερεύουσες οπές τσιμεντέσεων
 ⊕ = Τσιμεντέσιος αόγγου



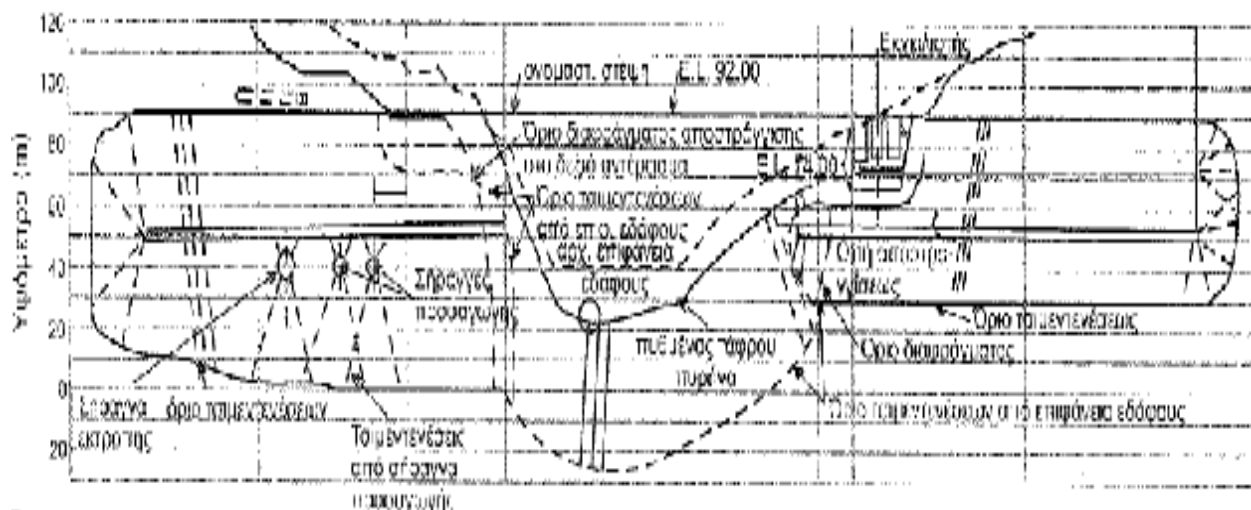
Σχήμα 4.4 Θέσεις και τρόποι εκτέλεσης της κοιμήνας των τσιμεντέσεων. (α) Κοιμήνια τσιμεντέσεων, (β) Κάτοψη θέσεων γεωρητικών οπών κατά μήκος του άξονα και του τάπητα τσιμεντέσεων, (γ) Κάτοψη τάπητα τσιμεντέσεων, (δ) Τομή της κοιμήνας τσιμεντέσεων, (ε) θέσεις τσιμεντέσεων εντός της σήραγγας τσιμεντέσεων.

4.6 Τάπητας Στοιμεντενέσεων Στεγανοποίησης

Ο τάπητας στοιμεντενέσεων στοχεύει στη στεγανοποίηση της περιοχής, που βρίσκεται κάτω ακριβώς από τον αργιλικό πυρήνα και καταλαμβάνει πλάτος ζώνης ίση με το πλάτος έδρασής του. Στην περίπτωση αυτή ανοίγεται ένα δίκτυο γεωτρήσεων σε κάναβο, ανάλογα 3Χ3 ή 1.5Χ3 και βάθος που δεν ξεπερνά τα 7-10 m. Οι στοιμεντενέσεις αυτές, εκτός από τη στεγανοποίηση αυτής της ζώνης, προκαλούν και τη σταθεροποίηση ασθενών περιοχών της. Η στεγανοποίηση αυτής της ζώνης δεν επιτρέπει το νερό της βραχομάζας ανάντη της κουρτίνας στοιμεντενέσεων να έρθει σε επαφή με τη βάση του αργιλικού πυρήνα και να δημιουργήσει πιθανή διασωλήνωση.

4.7 Κουρτίνα Στοιμεντενέσεων

Η κουρτίνα στοιμεντενέσεων κατασκευάζεται κατά μήκος του άξονα του φράγματος. Περιλαμβάνει όλη τη μορφολογική τομή της θέσης θεμελίωσης και επεκτείνεται εκατέρωθεν αρκετά βαθιά μέσα στη βραχομάζα, ανάλογα με τη υδρογεωλογική κατάσταση και συμπεριφορά της βραχομάζας. Στη θέση αυτή ανοίγονται οπές διαμέτρου τουλάχιστον 76 mm εφαρμόζοντας τη μέθοδο της σμίκρυνσης των αποστάσεων. Πρώτα κατασκευάζονται οι πρωτεύουσες οπές (P) σε μεταξύ τους απόσταση 12,0 m. Στη συνέχεια οι δευτερεύουσες οπές (S) στη μέση της απόστασης των πρωτευουσών και αν απαιτηθεί οι τριτεύουσες (T) και οι τεταρτεύουσες (Q) σειρές στοιμεντενέσεων στις ενδιάμεσες πάντα αποστάσεις της προηγούμενης σειράς. Το βάθος των οπών, στις οποίες θα διεξαχθούν οι στοιμεντενέσεις δεν ξεπερνά το βάθος $d = H_{\phi P} / 3 + 20$ (m). Το βάθος της επέκτασης της κουρτίνας στοιμεντενέσεων μέσα στα δύο πρηνή της βραχομάζας εξαρτάται από τη διάρκεια της βραχομάζας, την παρουσία υπόγειων ροών και οδών απωλειών νερού. Μερικές φορές το βάθος της ξεπερνά τα 150 m. Στις περιπτώσεις μεγάλων φραγμάτων η κουρτίνα στοιμεντενέσεων στα πρηνή βαθιά μέσα στη βραχομάζα κατασκευάζεται με διάνοιξη οπών και εκτέλεση δοκιμών μέσα από σήραγγες στοιμεντενέσεων, που διανόγονται σε διάφορα επίπεδα της κουρτίνας.

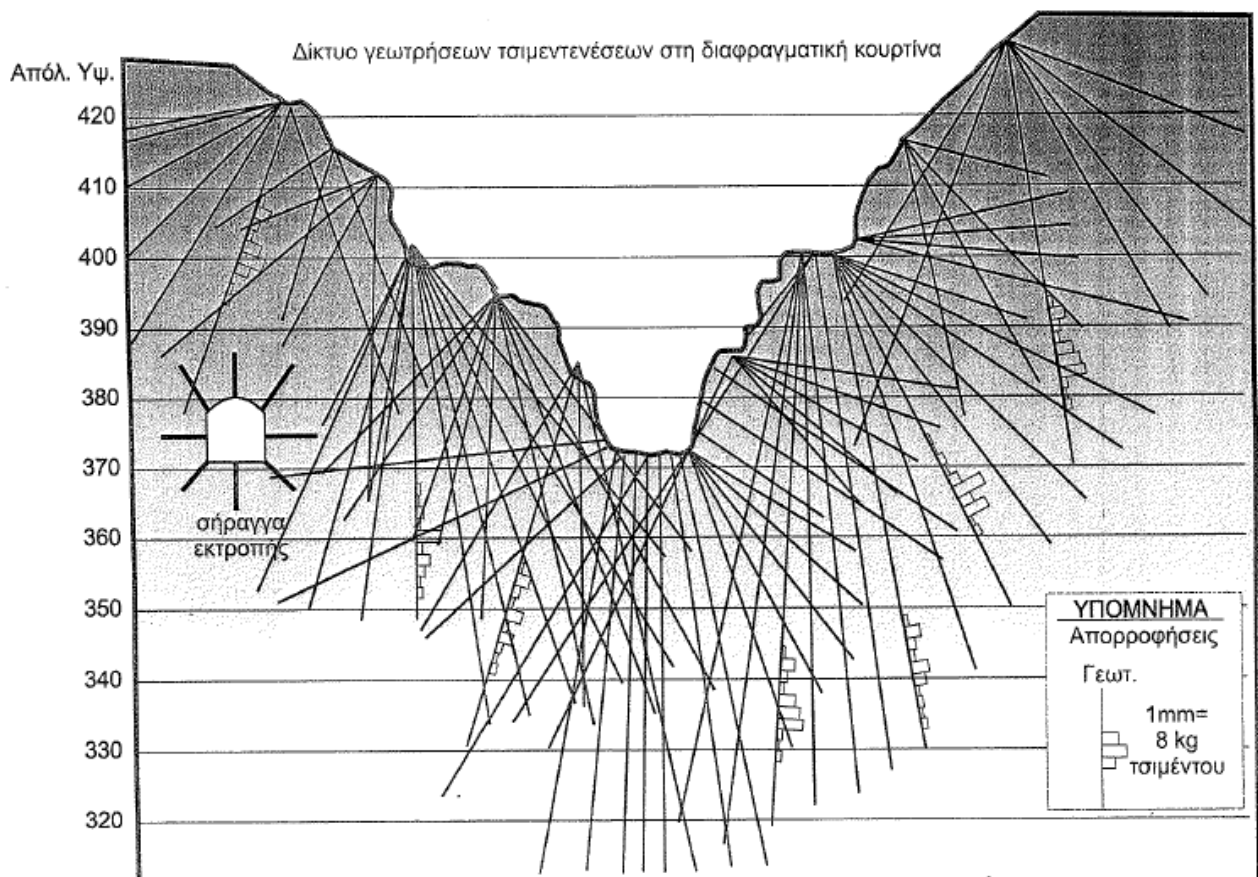


Σχήμα 4.5 Τομή κατά μήκος του άξονα του διαφράγματος στοιμεντενέσεων –κατάντι όψη . Κλίμακα 1:1000 (Φρ. Ασωμάτων ΔΕΗ).

Κατά την εκτέλεση των στοιμεντενέσεων η κουρτίνα χωρίζεται σε ζώνες. Ως ζώνες, θεωρούνται υποδιαιρέσεις της επιφάνειας της κουρτίνας του φράγματος κατά βάθος και μεταξύ των βαθών. Ως τμήματα, θεωρούνται οι υποδιαιρέσεις της επιφάνειας της κουρτίνας κατά μήκος αυτής και καθόλου το βάθος της. Τέλος, ως στάδιο ονομάζεται ένας πλήρης

κύκλος εργασιών διάτρησης, έκπλυσης υπό πίεση, δοκιμής εισπίεσης (WP-Test) και τσιμεντενέσεων πίεσης σε κάθε ζώνη. Το μήκος των σταδίων καθορίζεται σε 5.0 m, εκτός και εάν οι τεκτονικές και γεωλογικές συνθήκες απαιτούν διαφοροποίηση αυτού του μήκους. Οι τσιμεντενέσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε κατά ανιόντα είτε κατά κατιόντα στάδια, όπως ακριβώς και τα (WP – tests) με χρησιμοποίηση απλών ή διπλών Packers.

Μετά την διάτρηση ενός σταδίου πραγματοποιείται WP-test. Πριν αρχίσει η δοκιμή εκπλύνεται η οπή με καθαρό νερό μέχρι τα νερά που επιστρέφουν να είναι καθαρά. Συνεχίζοντας η οπή γεμίζει με καθαρό νερό και μένει γεμάτη για χρονική διάρκεια περίπου 30 λεπτών. Στη συνέχεια τοποθετείται το Packer με τα στελέχη εισπίεσης στο βάθος που πρέπει και εκτελείται η δοκιμή εισπίεσης με αυξανόμενες αρχικά και ελαττούμενες στη συνέχεια βαθμίδες πιέσεων. Ακολουθεί η διαδικασία εισπίεσης του τσιμέντου με πιέσεις ίσες κάθε φορά με την πίεση, που ασκεί ο υπερκείμενος της θέσης δοκιμής βράχος.



Σχήμα 4.6 Δίκτυο γεωτρήσεων τσιμεντενέσεων στη διαφραγματική κουρτίνα

Σημαντικό κριτήριο για την ολοκλήρωση της διαδικασίας είναι η απορρόφηση να μην ξεπερνά τα 2 lit/min*m για δέκα συνεχή λεπτά της ώρας. Δεν επιτρέπεται η τσιμεντένεση σταδίου μιας οπής σε απόσταση μικρότερη από 10 m σε οποιοδήποτε στάδιο παρακείμενης

οπής, που έχει εκτελεστεί η διαδικασία και δεν έχουν περάσει τουλάχιστον 24 ώρες από το τέλος της τσιμεντένεσης του σταδίου αυτού.

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι φρέσκο, καθαρό και απαλλαγμένο από αλκάλια και μεγάλες ποσότητες αλάτων, ιλύος και οργανικών υλικών. Το νερό δεν πρέπει να περιέχει υλικά, που επιδρούν αρνητικά στην αποτελεσματικότητα των εργασιών τσιμεντένεσης.

Ο μπετονίτης προστίθεται σε ποσοστό 1-4% του βάρους του τσιμέντου και παίζει ρόλο σταθεροποιητικού ενέματος. Δηλαδή, για να επιβραδυνθεί η καθίζηση του αιωρούμενου στο νερό τσιμέντου. Όσον αφορά τις αναλογίες, αξίζει να τονιστεί, πως δεν πρέπει σε καμία περίπτωση η αναλογία του μπετονίτη να ξεπερνά το 8% του συνολικού βάρους του τσιμέντου, γιατί στην περίπτωση αυτή έχουμε την ύπαρξη δυσμενής επίδρασης στη μηχανική συμπεριφορά του στερεοποιημένου τσιμεντενέματος. Έν συνεχεία, άλλα πρόσθετα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είναι η υδρύαλος, η άμμος, ποζολάνες, άργιλος, καθώς και χημικά ενέματα. Ένα από τα συνηθέστερα χημικά ενέματα, που χρησιμοποιούνται για χαλαρούς σχηματισμούς ή βραχώδη πετρώματα είναι το πυριτικό νάτριο .

Οι τσιμεντενέσεις αρχίζουν με το αραιότερο κατάλληλο μίγμα, το οποίο σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι πιο αραιό από την αναλογία 1:2 (τσιμέντο:νερό), τα δε μείγματα θα πυκνώνονται προοδευτικά ανάλογα με το ρυθμό απορρόφησης και τη συνολική ποσότητα ενέματος που έχει απορροφηθεί. Στην περίπτωση όπου, λόγω του ανοίγματος και συνέχειας των διακλάσεων της βραχομάζας αποδειχθεί ανέφικτη η επίτευξη της απαιτούμενης πίεσης για το στάδιο αυτό, μετά την άντληση τριών κυβικών μέτρων πυκνού ενέματος θα χρησιμοποιηθεί τσιμεντοκονίαμα με άμμο και προοδευτική πυκνωσή του.

Επειδή υπάρχει περίπτωση να συναντηθούν ανοιχτές διακλάσεις και μικροέγγοιλα, λόγω καρστικοποίησης των σχηματισμών, τότε ούτε η παρουσία άμμου θα μπορέσει να συνδράμει στη στεγανοποίηση του υπόβαθρου. Στη περίπτωση αυτή δουλεύουμε σε δύο στάδια :

1. Τοποθετείται Packer στο μέσο της οπής και γίνεται τσιμεντένεση στο μισό μήκος της με ένεμα πολύ υψηλού ιξώδους και ρυθμιζόμενου χρόνου έναρξης της πήξης. Το παραπάνω αποτέλεσμα πετυχαίνεται με τη χρήση ιπτάμενης τέφρας και ιδρυάλου σαν πρόσμεικτα. Τα παραπάνω έχουν ως στόχο να φράξουν οι μεγάλες ρωγμές, μέσα από τις οποίες έχουμε απώλειες, χωρίς όμως να καταναλωθούν μεγάλες ποσότητες.
2. Σε αυτό το στάδιο γίνεται κανονικά η τσιμεντένεση στην υπόλοιπη οπή, με ένεμα χωρίς πρόσμεικτα, ώστε το ένεμα να εισχωρήσει και στις λεπτές ρωγμές, που προκλήθηκαν από τη διάνοιξη και να σταθεροποιήσουν το πέτρωμα.

Αξίζει σε όλα τα παραπάνω να προσθέσουμε ότι μια οικονομικότερη λύση είναι η αντικατάσταση κατά 50% του τσιμέντου από τέφρα. Η επιλογή αυτή συμβάλλει στην οικονομία του έργου, χωρίς όμως να μειώνονται οι αντοχές και η στεγανότητα του τελικού προϊόντος.

Οι απορροφήσεις του ενέματος μεταφέρονται με μορφή ιστογράμματος στις γεωτρήσεις εκτέλεσης τσιμεντενέσεων, που έχουν απεικονιστεί στη μορφολογική τομή της κουρτίνας των τσιμεντενέσεων. Οι πλάγιες γεωτρήσεις ονομάζονται γεωτρήσεις ελέγχου και έχουν σαν στόχο να διερευνήσουν την ακτίνα επέκτασης του ενέματος στα ενδιάμεσα διαστήματα των γεωτρήσεων.

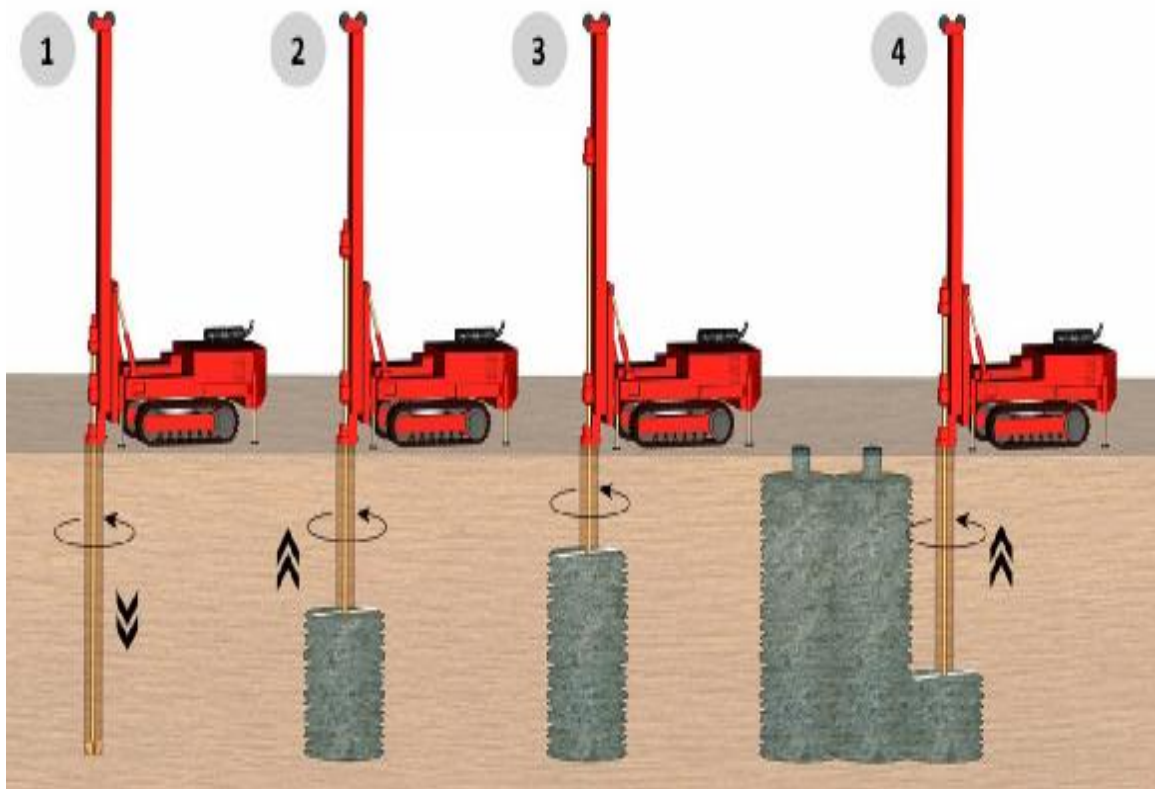
4.8 JET GROUING

Αποτελεί μια καινοτομία στην τεχνική των τσιμεντενέσεων με πολλά πλεονεκτήματα, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους τσιμεντενέσεων σε ένα ευρύ φάσμα εδαφών, από χονδρόκοκκα αμμοχάλικα μέχρι αργίλους. Με τη μέθοδο αυτή το έδαφος αναμοχλεύεται απευθείας με το ένεμα, που βγαίνει από τον σωλήνα με ισχυρή πίεση και δημιουργεί μια συνεχή και ομογενή επεξεργασία του εδάφους.

Η τεχνική της μεθόδου είναι :

1. Θραύση της δομής του εδάφους και ταυτόχρονη ανάμειξή του με το ένεμα (σύστημα T_1)
2. Αναμόχλευση του εδάφους με ένα Jet αέρα-νερού και στη συνέχεια πλήρωση των κενών με ένεμα (σύστημα T_2).

Με το σύστημα T_2 , επιτυγχάνεται σταθεροποίηση γύρω από τον άξονα της γεώτρησης μέχρι απόσταση 2,10 m, ενώ με το σύστημα T_1 η απόσταση σταθεροποίησης φτάνει τα 0,35-0,80 m.



Σχήμα 4.7 Μέθοδος Jet Grouting

4.9 Έλεγχοι

Η επιτυχής εφαρμογή των ενέσεων προϋποθέτει συνεχείς ελέγχους κατά την διάρκεια των εργασιών. Τέτοιοι έλεγχοι είναι :

- Ø Έλεγχος στο εργοτάξιο των αποτελεσμάτων του εργαστηρίου, σε ό,τι αφορά τα ενέματα τουλάχιστον για τις πιο βασικές τους ιδιότητες. Ενδεχόμενη τροποποίηση των συνθέσεων και προσαρμογή τους στα εργοταξιακά δεδομένα και συνθήκες.
- Ø Συνεχής έλεγχος της συνθέσεως, με ακριβείς μετρήσεις των ποσοτήτων των υλικών, καθώς και συνεχείς μετρήσεις όγκων ενέματος, παροχών και πιέσεων με αυτογραφικά όργανα.
- Ø Παρακολούθηση τυχόν παραμορφώσεων του εδάφους ή διαφυγής ενέματος στην επιφάνεια.

Οι έλεγχοι αυτοί επιτρέπουν την διόρθωση των αρχικών εκτιμήσεων και ακολουθούμενων μεθόδων, για την καλύτερη εξυπηρέτηση των απαιτήσεων του έργου. Αξίζει να σημειωθεί, πως ο έλεγχος των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους :

- Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις
- Επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας
- Εργαστηριακές δοκιμές με δοκίμια του ενεθέντος εδάφους από τις γεωτρήσεις
- Επί τόπου δοκιμές αντοχής – συμπίεστικότητας, όπως φόρτιση πλάκας και πρεσσιομέτρησεις.

4.10 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΕΗ

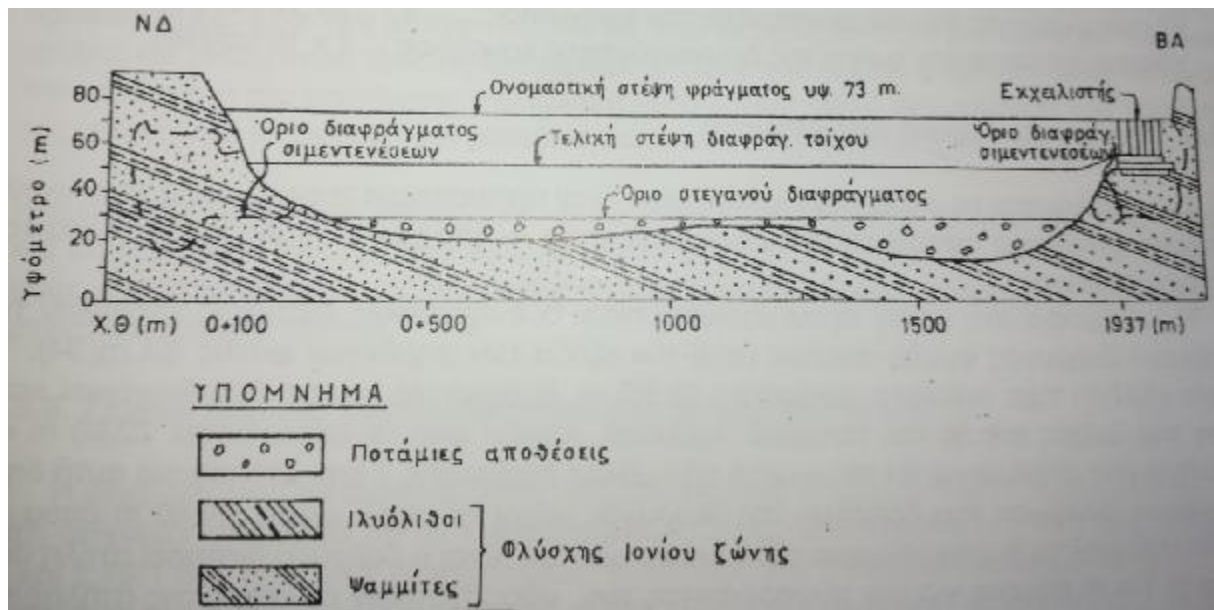
Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε κάποια από τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά φράγματα, στα οποία έγινε χρήση τσιμεντένων ενέσεων, προκειμένου να λειτουργούν σωστά και χωρίς μεγάλες απώλειες. Αξίζει να σημειωθεί, πως, όσον αφορά τη συγκεκριμένη χρήση ενός φράγματος, η στεγανοποίηση αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα, από τη στιγμή, που οι μεγάλες απώλειες νερού ισοδυναμούν με απώλεια της δυναμικής του υδροηλεκτρικού φράγματος να παράγει την ενέργεια, για τη οποία είναι κατασκευασμένο.

4.10.1 ΦΡΑΓΜΑ ΣΤΡΑΤΟΥ

Το φράγμα Στράτου έχει κατασκευασθεί 8 χιλιόμετρα κατάντη του φράγματος Καστρακίου και 800 m ανάντη της γέφυρας Αχελώου ενώ είναι ένα φράγμα διπλής σκοπιμότητας, που ως λειτουργίες έχει την άρδευση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα και ύψος 26 m. Έχει μήκος στέψης 1900 m και πλάτος φράγματος στη βάση 100 m, ενώ η χωρητικότητα ταμιευτήρα είναι $80 \times 10^6 \text{ m}^3$ με ανώτατη στάθμη λειτουργίας 68,6 m και κατώτατη στάθμη λειτουργίας 67 m, αξίζει να αναφερθεί, πως ο σταθμός παραγωγής είναι υπόγειος με 2 μονάδες Francis και εγκατεστημένη ισχύς 150 MW.

Τόσο η περιοχή του φράγματος όσο και του ταμιευτήρα δομούνται από αντιπροσωπευτικούς σχηματισμούς του Ιονίου φλύσχη, που αποτελούν την προς Νότο συνέχεια εκείνων του φλύσχη της περιοχής του φράγματος Καστρακίου. Οι σχηματισμοί του φλύσχη στο σύνολό τους ήταν υγιείς χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα στις επιφανειακές, αλλά και στις υπόγειες κατασκευές. Κάποια χαλάρωση επιφανειακή της βραχομάζας παρατηρήθηκε στο αριστερό πρηνές της κοιλάδας με αποκολλήσεις κατά

καιρούς τεμαχών ψαμμιτών, λόγω διάβρωσης των ιλυολιθικών στρώσεων σε συνδυασμό με το κατακόρυφο σύστημα διακλαδώσεων.



Σχήμα 4.8 ΥΗΕ ΣΤΡΑΤΟΥ. Γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα

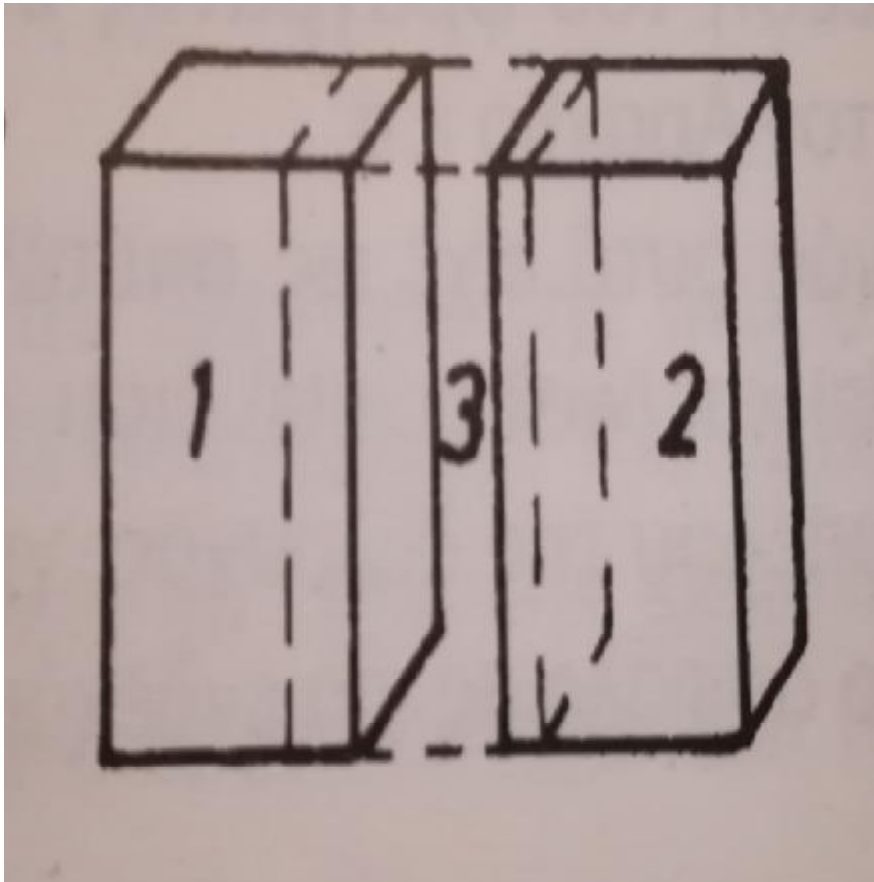
Το φράγμα θεμελιώθηκε πάνω στις ποτάμιες αποθέσεις, αφού μέχρι βάθους 23 m κατασκευάστηκε στεγανό διάφραγμα. Το διάφραγμα αυτό πραγματοποιήθηκε με την κατασκευή φατνωμάτων (panels) διαστάσεων 0,80×3,00×23 m, τα οποία γέμιζαν με ένεμα, η σύνθεση κατά βάρος του οποίου ήταν η ακόλουθη :

- 850 kgf νερό
- 270 kgf τσιμέντο
- 14 kgf μπετονίτη

Τα panels κατασκευάστηκαν, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα με την εξής προτεραιότητα. Πρώτα τα 1 και 2 και στη συνέχεια το 3, για να υπάρχει πλήρης επικάλυψη και βεβαιότητα, ότι δεν παρέμειναν διάκενα τμήματα. Το διάφραγμα επεκτάθηκε μέχρι τα 23 m βάθος, διότι κάτω από αυτό και μέχρι τα 40 m, που διαπιστώθηκε το πάχος των αποθέσεων του ποταμού, η υδροπερατότητα ήταν περιορισμένη.

Μέχρι τα 23 m η τιμή του μέσου συντελεστή υδροπερατότητας “K” πριν την κατασκευή του διαφράγματος ήταν της τάξης των 10^{-3} cm/sec κατά την οριζόντια διεύθυνση και 10^{-5} cm/sec κατά την κατακόρυφο. Τέλος, μετά την κατασκευή του φράγματος έγινε έλεγχος της υδροπερατότητας στα υλικά του σώματος και τη ζώνη της θεμελίωσης αυτού με τα ακόλουθα αποτελέσματα :

- Υδροπερατότητα στο πυρήνα του φράγματος : 1×10^{-6} cm/sec
- Υδροπερατότητα στις ζώνες των φίλτρων : 1×10^{-3} cm/sec
- Υδροπερατότητα στο σώμα στήριξης του φράγματος : 1×10^{-3} cm/sec
- Υδροπερατότητα στο τμήμα της διαφραγματικής κουρτίνας : 1×10^{-6} cm/sec



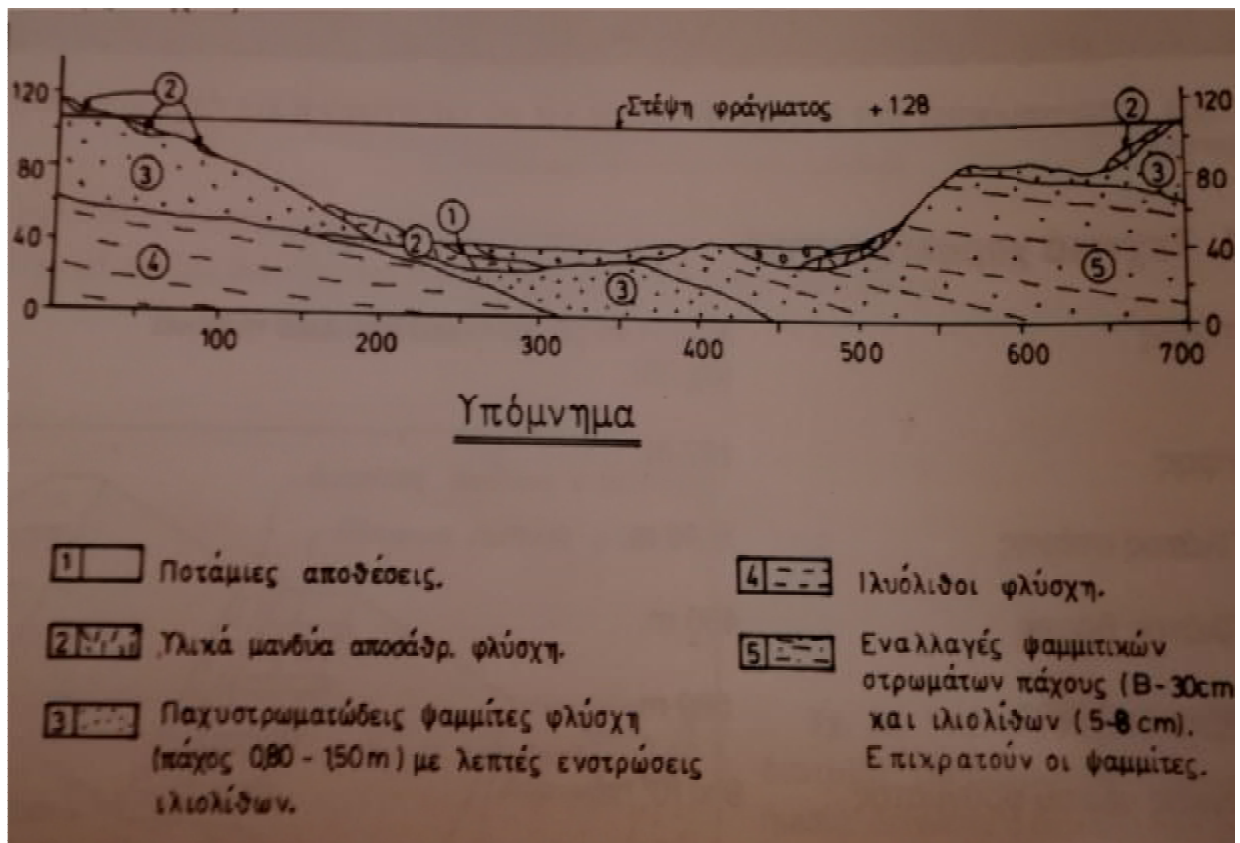
Σχήμα 4,9 Τρόπος τοποθέτησης των panels στο φράγμα Στράτου

4.10.2 Φράγμα Πουρναρίου

Το φράγμα Πουρναρίου έχει κατασκευασθεί στο ποταμό Άραχθο και σε απόσταση 6 χιλιομέτρων περίπου ανατολικά της Άρτας. Είναι ένα χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, ενώ το ύψος του φτάνει τα 107 m. Το πλάτος στέψης είναι μεγαλύτερο από 10 m, το πλάτος βάσης περίπου 450 m, ενώ το μήκος στέψης είναι περίπου 580 m. Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα ανέρχεται στα $865 \times 10^6 \text{ m}^3$ με εγκατεστημένη ισχύ 300 MW και ο σταθμός παραγωγής είναι επιφανειακός στο πόδα το φράγματος.

Τόσο η ζώνη του φράγματος όσο και η περιοχή του ταμιευτήρα δομούνται από αντιπροσωπευτικούς σχηματισμούς του φλύσχη της Ιονίου ζώνης χωρίς αξιόλογες αποκλίσεις από αυτούς. Ειδικά στη θέση του φράγματος εμφανίζονται οι ακόλουθοι οριζόντες, οι οποίοι αποτελούν ένα πακέτο στρωμάτων με διεύθυνση ΒΔ και κλίση ΒΑ δηλαδή προς τα ανάντη:

1. Οριζόντας παχυστρωματωδών ψαμμιτών της σειράς Πέττα που επικρατεί στα δύο αντερείσματα. Τα στρώματα των ψαμμιτών περιέχουν πλήθος σφαιροψαμμιτικών μορφών (Spheroidals).
2. Ορισμός αμιγών ιλυόλιθων, που υπόκειται του προηγούμενου.
3. Οριζόντας εναλλαγών λεπτοστρωματωδών ιλυόλιθων-ψαμμιτών.
4. Λίγα κροκαλοπαγή με συνδετικό υλικό ιλυολιθικό.



Σχήμα 4.10 Γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος

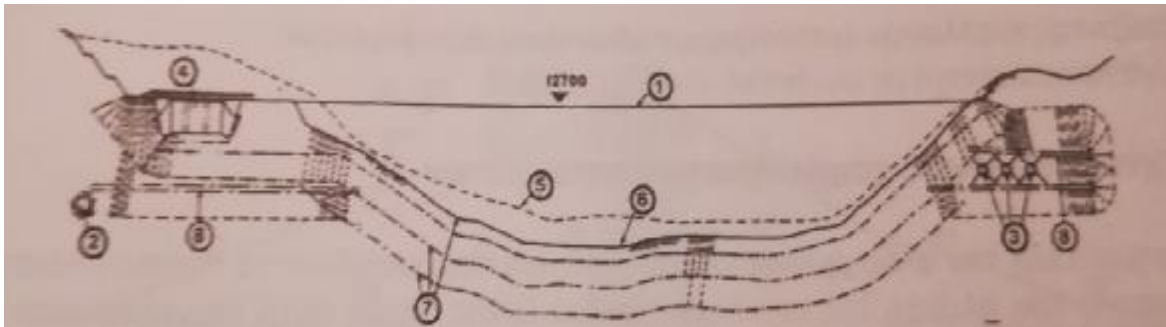
Για την αποφυγή της έντονης διαπερατότητας λόγω αυτών των γεωυλικών έγινε η κατασκευή διαφραγματικής κουρτίνας, η οποία επεκτάθηκε σε βάθος 60 m μέσα στο πέτρωμα θεμελίωσης, βάθος που αντιστοιχεί στο 50% της μέγιστης υδροστατικής πίεσης στο βαθύτερο σημείο της θεμελίωσης. Στα δύο αντερείσματα, επειδή καταλαμβάνονται από ψαμμίτες και επειδή υπάρχουν τα συναφή έργα, η κουρτίνα έχει επεκταθεί πλευρικά κατά προσέγγιση 150 m από τα πρανά. Στο σχήμα 4.10 δίνεται η τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος και το βάθος της διαφραγματικής κουρτίνας, ενώ στο σχήμα 4.12 λεπτομερέστερα η έκτασή της στα δύο πρανά.

Οι απολήψεις ενέματος και τα αποτελέσματα των δοκιμών με “packers” οδήγησαν στις ακόλουθες διαπιστώσεις :

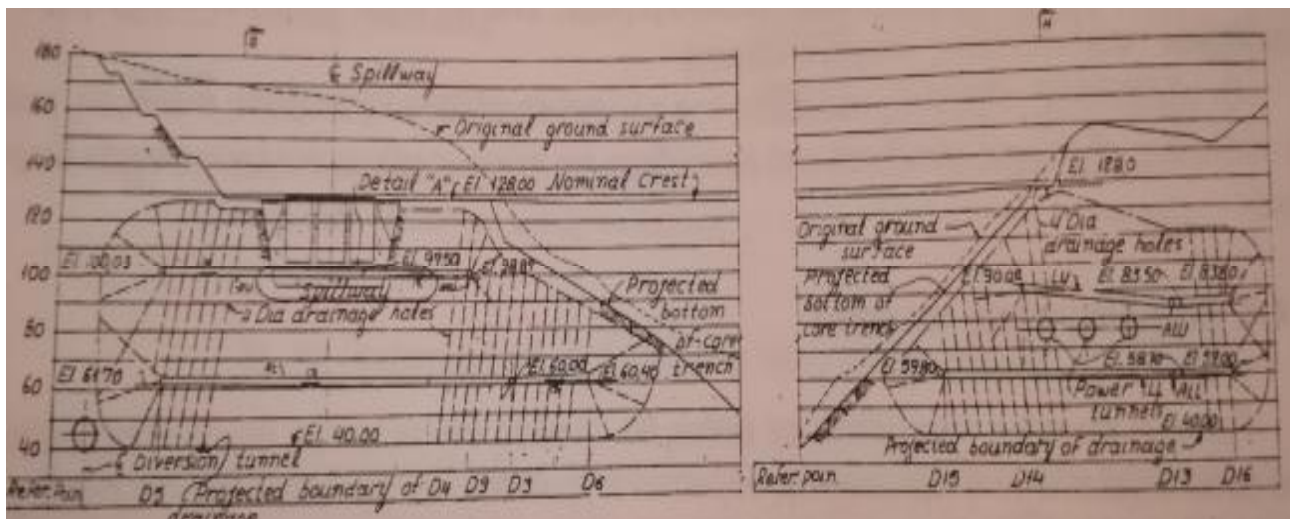
1. Οι υδροπερατότητες διαπιστώθηκαν χαμηλές και μειώνονταν γρήγορα αυξανόμενου του βάθους.
2. Δεν παρατηρήθηκαν αλληλοεπιδράσεις μεταξύ των γεωτρήσεων σε όλες τις βαθμίδες πιέσεων που ασκήθηκαν, με εξαίρεση ορισμένα τμήματα των πρώτων 4 m του πετρώματος.
3. Στις γεωτρήσεις τσιμεντενέσεων με “packers” ήταν ελάχιστες οι περιπτώσεις μετακίνησης ενέματος από τα βαθύτερα τμήματα προς την επιφάνεια του εδάφους.
4. Οι απολήψεις ενέματος σε γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν σε ανάλογους σχηματισμούς δεν παρουσίασαν ποσοτική μεταβολή.
5. Οι υψηλότερες σχετικά υδροπερατότητες παρατηρήθηκαν στους ψαμμιτικούς ορίζοντες.

6. Οι δοκιμές διαπερατότητας έδωσαν στοιχεία, που δείχνουν, ότι οι λιθολογικοί σχηματισμοί της θέσης του φράγματος Πουρναρίου στην πλειονότητά τους ήταν πρακτικά αδιαπέρατοι.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο 45% των δοκιμών, που πραγματοποιήθηκαν έδωσαν απώλειες ύδατος πρακτικά μηδενικές, ενώ το 15% τιμές ίσες ή κατώτερες του 1 Lugeon, όπου $Lugeon=1,3 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$.



Σχήμα 4.11 Διαφραγματική κουρτίνα φράγματος, όπου 1) κορυφογραμμή, 2) σήραγγα εκτροπής, 3) είσοδος σήραγγας ισχύος, 4) υπερχειλιστής, 5) έδαφος, 6) γραμμή εκσκαφής φράγματος, 7) όριο της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, 8) έδαφος πλήρωσης



Σχήμα 4.12 Επέκταση διαφραγματικής κουρτίνας στα δύο πρανή

Στο συγκεκριμένο έργο οι εργασίες τσιμεντενέσεων είχαν διάρκεια 3 ετών περίπου. Για την κύρια διαφραγματική κουρτίνα εκτελέστηκαν τα ακόλουθα συνολικά μέτρα μήκους γεωτρήσεων :

- | | |
|---------------------------------|--------|
| Ø P (πρωτεύουσες γεωτρήσεις) | 3670 m |
| Ø S (δευτερεύουσες γεωτρήσεις) | 2177 m |

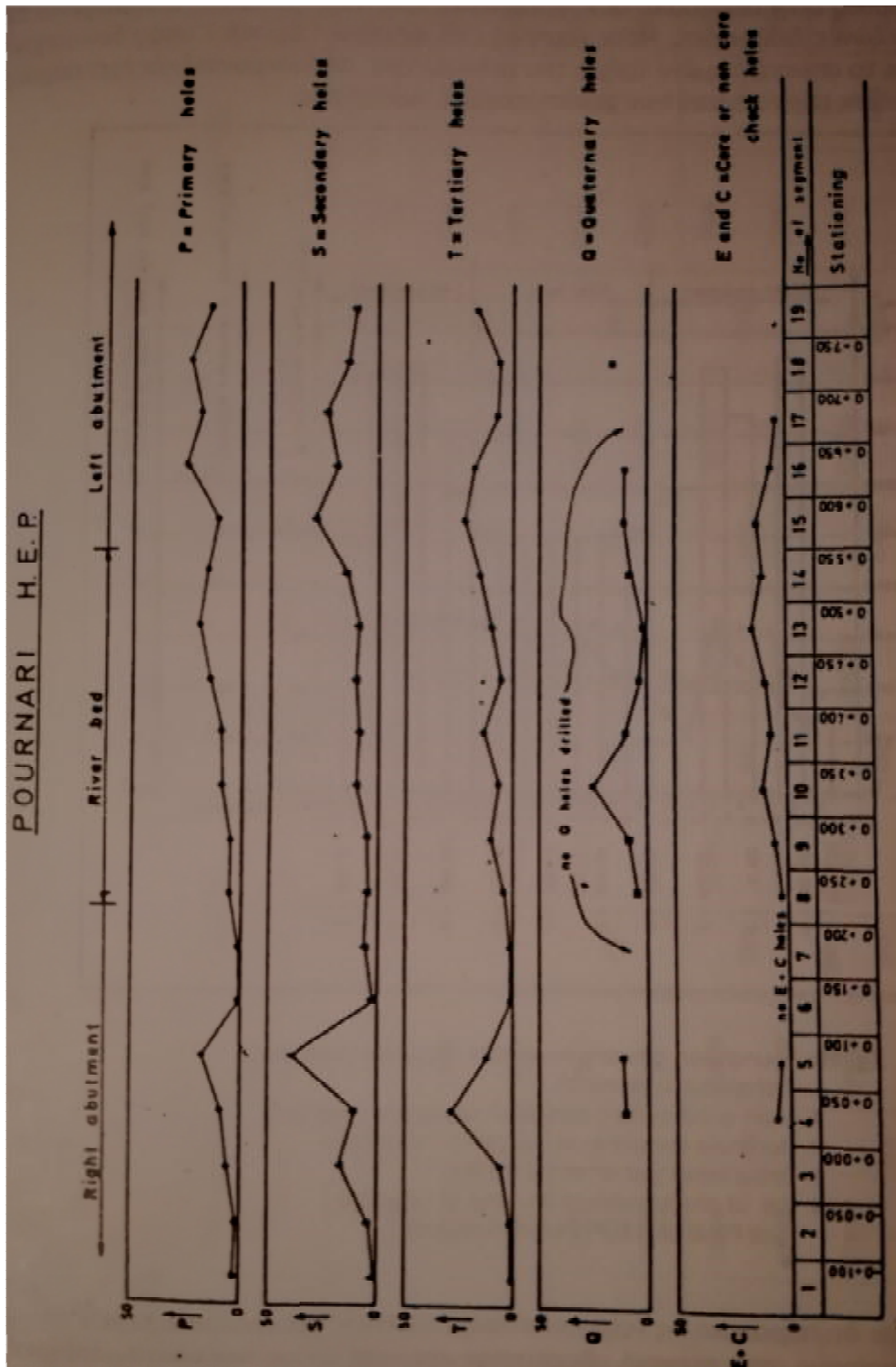
Ø T (τριτεύουσες γεωτρήσεις)	2650 m
Ø Q (τεταρτεύουσες γεωτρήσεις)	853 m

Για το βοηθητικό ανάντη διάφραγμα εκτελέστηκαν 1079 m γεωτρήσεων και επιπλέον 303 m για τον τάπητα στα ψαμμιτικά πρηνή των δύο αντερεισμάτων, δηλαδή το συνολικό μήκος γεωτρήσεων είναι 11577 m. Από αυτά το 89% εκτελέστηκαν από την επιφάνεια του εδάφους και το 11% από τις σήραγγες. Στις παραπάνω γεωτρήσεις καταναλώθηκαν οι ακόλουθες ποσότητες τσιμέντου :

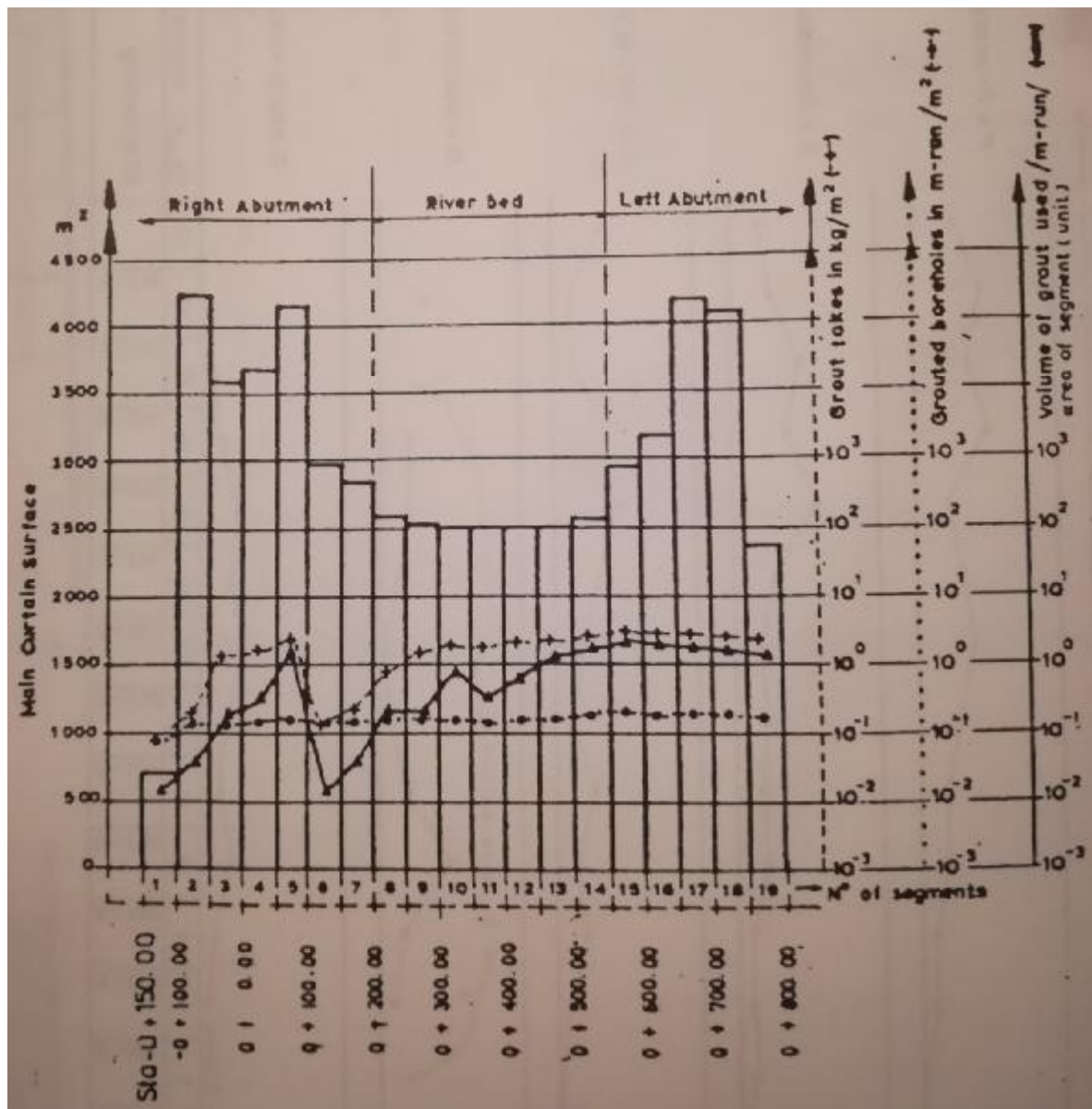
<i>Είδος τσιμεντένεσης</i>	<i>Ποσότητα (kgr)</i>	<i>(kgr/m)</i>
Πρωτεύουσες γεωτρήσεις	49293	11.7
Δευτερεύουσες γεωτρήσεις	36054	16.5
Τριτεύουσες γεωτρήσεις	32076	12.1
Τεταρτεύουσες γεωτρήσεις	8916	10.4
Γεωτρήσεις στον τάπητα	7875	26.0
Γεωτρήσεις ελέγχου	9169	10.8
Γεωτρήσεις στο ανάντη διάφραγμα 21596 kgr που αντιστοιχούν σε 20 kgr/m		

Οι διακυμάνσεις των τσιμεντένεσεων, που πραγματοποιήθηκαν με τις διαδοχικές σειρές γεωτρήσεων P,S,T,Q,E,C παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα(4.14), που είναι από την τελική έκθεση του φράγματος Πουρναρίου. Οι διακυμάνσεις, που θα δούμε στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζουν ορισμένες ανωμαλίες με σημαντικότερες τις ακόλουθες δύο :

1. Μεγάλες απορροφήσεις των τριτευσών γεωτρήσεων στο τμήμα 4, που μπορούν να αποδοθούν στις κατασκευές, που πραγματοποιήθηκαν εκεί.
2. Μεγάλες απολήψεις των τεταρτευσών γεωτρήσεων στο τμήμα 10, που οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στη παρουσία πλούσιων συστημάτων διακλαδώσεων, λόγω πτύχωσης των στρωμάτων. Τα αποτελέσματα των μέσων τιμών απορροφήσεων ενέματος σε kgr τσιμέντου ανά m², οι γεωτρήσεις, που εκτελέστηκαν σε μέτρα μήκους ανά m², ο όγκος του ενέματος, που χρησιμοποιήθηκε ανά μέτρο μήκους κατά περιοχή τμήματος κι η επιφάνεια, που έγινε η στεγανοποίηση σε m² κάθε τμήματος δείχνονται στο σχήμα 4.15 της τελικής μελέτης Πουρναρίου. Σημειώνουμε, ότι, πέρα από τις τσιμεντένεσεις κουρτίνας, πραγματοποιήθηκαν τσιμεντένεσεις σταθεροποίησης στην περιοχή υδροληψίας και κατά μήκος των υδαταγωγών, καθώς και τσιμεντένεσεις επαφής. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα δεν παρουσίασαν αποκλίσεις από εκείνα της διαφραγματικής κουρτίνας.



Σχήμα 4.13 Συγκριτικά αποτελέσματα συμπεριφοράς των πετρωμάτων στις τιμειννέσεις. (Μέσες τιμές απορρόφησης ενέματος σε kg/m για κάθε τμήμα της διαφραγματικής κουρτίνας).



Σχήμα 4.14

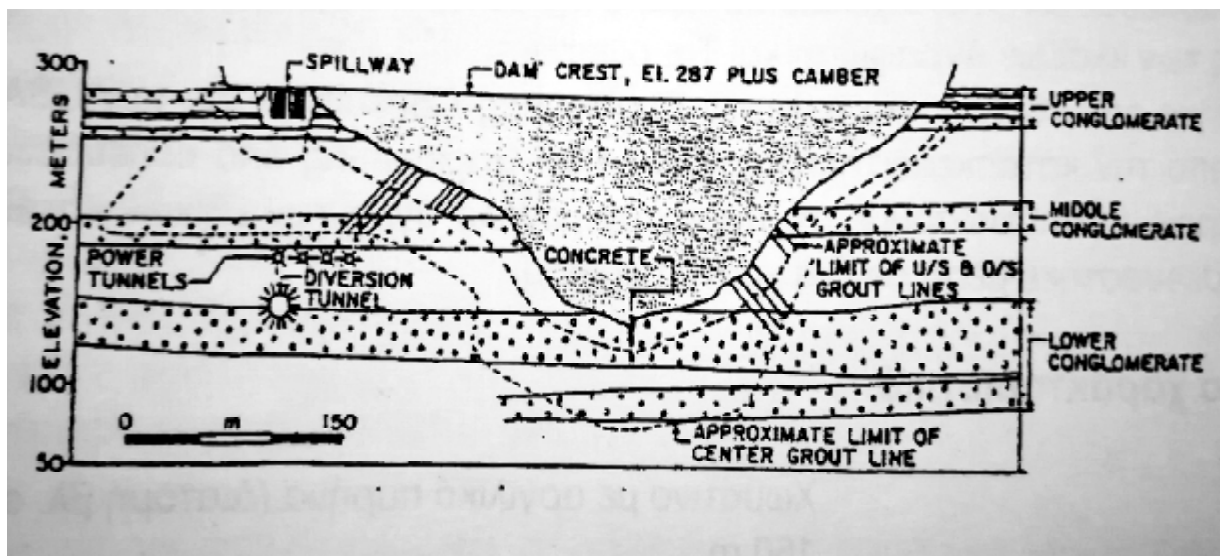
Από το (Σχήμα 4.14) προκύπτει, ότι οι ποσότητες του ενέματος, που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ψηλές στα τμήματα 5,15,16,17,18 και 19. Αυτό οφείλεται κυρίως στην παρουσία των ψαμμιτικών οριζόντων με ανοικτά συστήματα διακλάσεων και ζώνες διάβρωσης. Ήταν χαμηλές στα τμήματα 1,2,6 και 7, όπου δεν υπήρχαν ψαμμίτες και το αποσασθρωμένο τμήμα του βράχου έχει απομακρυνθεί και έχει παραμείνει μόνο το υγιές μέρος αυτού, που συνίσταται από ιλυόλιθους.

4.10.3 Φράγμα Κρεμαστών

Το φράγμα Κρεμαστών έχει κατασκευασθεί στον Αχελιώ ποταμό 3 km περίπου κατάντη της συμβολής των διακλαδώσεων των ποταμών Αγραφιώτη και Ταυρωπού. Είναι χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα, του οποίου το ύψος είναι 160 m, το μήκος στέψης είναι 456 m, ενώ το πλάτος στέψης είναι 10 m. Επιπροσθέτως, έχει έκταση ταμιευτήρα 80,6 km² με τη χωρητικότητα αυτού να είναι περίπου 4500×10⁶ m³. Είναι ένα από τα μεγαλύτερα

υδροηλεκτρικά φράγματα της χώρας με εγκατεστημένη ισχύ 437 MW (4×109) και ετήσια παραγόμενη ενέργεια η οποία ανέρχεται στα 1430 GWh.

Η περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα δομείται από ιζηματογενείς σχηματισμούς του φλύσχη Γαβρόβου, ενώ η θέση του φράγματος είναι μια στενωπός, που έχει διανοιγεί μέσα σε πάγκους κροκαλοπαγών, που εναλλάσσονται με αλεπάλληλα στρώματα ιλυόλιθων, όπως φαίνεται και στη γεωλογική τομή του σχήματος 4.16 .



Σχήμα 4,15 Γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα φράγματος (οριστική μελέτη)

Η περιοχή του ταμιευτήρα δομείται επίσης από γεωλογικούς σχηματισμούς της διάπλασης του φλύσχη με επικράτηση κατά περιοχές, άλλοτε κροκαλοπαγών, άλλοτε ψαμμιτών, κυρίως όμως των ιλυόλιθων, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στεγανότητας. Σε αντίθεση με τα

παραπάνω στη θέση του φράγματος η υδροπερατότητα των σχηματισμών και ιδιαίτερα των κροκαλοπαγών ήταν υψηλή και οφειλόταν στην κίνηση του νερού μέσα από τις τεκτονικές ασυνέχειες, κυρίως όμως από την ύπαρξη ψευδοκαρστικών.

Από την αξιολόγηση αποτελεσμάτων μεγάλου πλήθους δοκιμών εισπιέσεων σε όλο το εύρος του φράγματος προέκυψε, ότι μέχρι βάθος 10-30 m η τιμή του "k" κυμάνθηκε από $K=1.10^{-4} - 1.10^{-5}$ cm/sec, από το βάθος 40-80 m, από $K=1.10^{-5} - 1.10^{-6}$ cm/sec και από το βάθος των 80-120 m από $K=1.10^{-6} - 1.10^{-7}$ cm/sec.

Όσον αφορά τα τεχνικογεωλογικά προβλήματα, το μείζον πρόβλημα του φράγματος Κρεμαστών ήταν η αντιμετώπιση των διαρροών από τα αντερείσματα μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Οι διαρροές αυτές οφείλονταν στο ότι κατά τη μελέτη του φράγματος σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε κουρτίνα συμβατικού τύπου, αν και υπήρχε έντονος προβληματισμός με την ύπαρξη πολλών πηγών στην περιοχή, ακόμα και θερμών, πριν την κατασκευή του φράγματος.

Κατά την πλήρωση της λίμνης η διαφραγματική κουρτίνα αποδείχθηκε αναποτελεσματική, διότι εκτεταμένες διαρροές άρχισαν να εμφανίζονται στα αντερείσματα αλλά και στην κοίτη. Με βάση τα παραπάνω προβλήματα και με τη πίεση της άμεσης αποκατάστασης των διαρροών έγινε η έγκριση ενός εκτεταμένου προγράμματος γεωτρήσεων και σιμεντέσεων – αποστραγγίσεων.

Τα έργα που έγιναν για την στεγανοποίηση των αντερεισμάτων και εν συνεχεία του φράγματος ήταν :

- Εκσκαφές σιμεντέσεων – αποστραγγίσεων μήκους 1235 m
- Διευρύνσεις υπαρχουσών σιμεντέσεων , 890 m³ όγκου υλικών
- Δοκιμές υδροπερατότητας 600 ώρες
- Γεωτρήσεις τσιμεντέσεων μήκους 76712 m
- Χρησιμοποίηση ενέματος 18327 m³
- Τοποθετήσεις 82 πιεζομέτρων

Όσον αφορά τα ενέματα, οι τσιμεντέσεις πραγματοποιήθηκαν στην κοίτη και τα πρανή. Βασικά συστατικά των ενεμάτων ήταν :

- Τσιμέντο Portland με 10% pozzolan
- Άργιλος
- Μπετονίτης
- Πυριτικό Νάτριο ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$)
- Διχλωριούχο Ασβέστιο (CaCl_2)
- Ανθρακικό Νάτριο (Na_2CO_3)

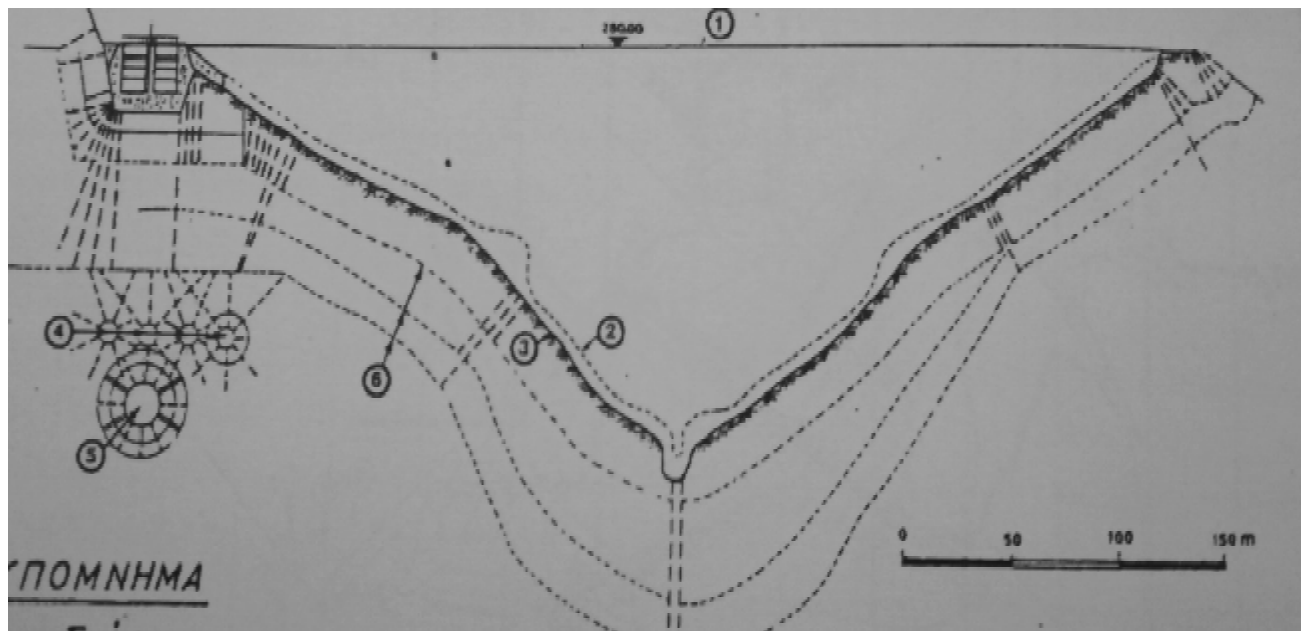
Σε συνέχεια των παραπάνω η σχέση νερού/τσιμέντου κυμάνθηκε από 10:1 έως 0.8:1.

Γενικά για τη σύνθεση του ενέματος έγιναν προσπάθειες, ώστε να ανταποκριθεί στις τοπικές συνθήκες διότι έπρεπε :

- a. Να πληρωθούν οι ανοικτές διακλάσεις και τα ρήγματα, κάποια εκ των οποίων άγγιζαν σε μήκος ακόμα και μερικά μέτρα.

- b. Να παραμείνει το ένεμα μετά την τσιμεντένεση χωρίς να το παρασύρει η υπόγεια κυκλοφορία του νερού, το οποίο είχε ταχύτητες από 1-37 cm/sec.
- c. Να πήζει σε θερμοκρασία 7-10 °C.

Μετά την εκτέλεση του προγράμματος τσιμεντένεσων, οι παροχές από τις αποστραγγιστικές γεωτρήσεις μειώθηκαν στο 45 % των παροχών, που επικρατούσαν πριν τις τσιμεντένεσεις. Στο κατώτερο κροκαλοπαγές και στη σήραγγα εκτροπής οι απώλειες που μετρήθηκαν, κυμάνθηκαν από 100-125 lit/sec πριν τις τσιμεντένεσεις, ενώ περιορίστηκαν στα 65 lit/sec μετά το πέρας των εργασιών στεγανοποίησης. Τέλος στο δεξιό αντέρεισμα υπήρχαν αρκετές εμφανίσεις νερού όμως μετά τις εργασίες η περιοχή ήταν επαρκώς στεγανή, ενώ στο κατώτερο κροκαλοπαγές δεν μπόρεσαν να γίνουν μετρήσεις, διότι η περιοχή είχε καλυφθεί από νερά του Καστρακίου.



Σχήμα 4.16 Τελική μορφή διαφραγματικής κουρτίνας μετά το πέρας των εργασιών. Πάνω στο σχέδιο διακρίνεται : 1) Στέψη, 2) Φυσικό έδαφος, 3) Γραμμή εκσκαφής, 4) Σήραγγα προσαγωγής, 5) Σήραγγα εκτροπής, 6) Όρια κουρτίνας.

4.10.4 Φράγμα Πηγών Αωού

Το υδροηλεκτρικό αυτό έργο κατασκευάσθηκε κοντά στις πηγές του ομώνυμου ποταμού 15 χιλιόμετρα ΒΔ του Μετσόβου σε υψόμετρο 1350 m. Είναι ένα χωμάτινο φράγμα με κεκλιμένο αργιλικό πυρήνα, με ύψος 300 m και έκταση ταμιευτήρα 11,5 km². Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα ανέρχεται 260×10⁶ m³, ενώ η εγκατεστημένη ισχύς ισούται με 2×110 MW.

Όσον αφορά την γεωλογική δομή της περιοχής του έργου, είναι αρκετά πολύπλοκη και χαρακτηρίζεται από ορισμένες στρωματογραφικές ιδιαιτερότητες. Η περιοχή, στην οποία έγινε η κατασκευή του φράγματος, δομείται από οφιόλιθους και γενικά από ένα εκτεταμένο

οφιολιθικό σύμπλεγμα, που έχει επωθηθεί στη ζώνη του Ολωνού. Από την άλλη η περιοχή του ταμιευτήρα δομείται από ιζηματογενείς σχηματισμούς του φλύσχη Πύνδου, που συχνά εμφανίζονται με τη μορφή οριζόντιων ψαμιπών (Fs), ερυθροπηλιτών (Fr), και εναλλαγών ψαμιπών- ιλυόλιθων(Fssi).

Τσιμεντενέσεις διαφραγματικής κουρτίνας κυρίου φράγματος

Οι τσιμεντενέσεις κουρτίνας πραγματοποιήθηκαν κυρίως με την μέθοδο “Packer grouting” σε στάδια των 5 μέτρων. Στις περιπτώσεις τμημάτων, που παρατηρήθηκε με τις δοκιμές εισπίσεων μεγάλη απώλεια νερού, η τσιμεντένεση πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο “stage grouting”.

Η σύνθεση του ενέματος για την έναρξη των τσιμεντενέσεων είχε αναλογία νερού / τσιμέντου 3 : 1 κατά βάρος. Στο ένεμα προστέθηκε μπετονίτης, ενώ δεν χρειάστηκε να προστεθεί άμμος ή άλλα πρόσμικτα. Δοκιμαστικά πραγματοποιήθηκαν τσιμεντενέσεις με αναλογία νερού / τσιμέντου 5 : 1.

Γενικά η απορρόφηση ενέματος στο κυρίως φράγμα (περιοχή κοίτης και αριστερού αντερείσματος), όπως άλλωστε αναμενόταν ήταν πολύ μικρή, αφού σε αυτή τη περιοχή σε καμία οπή δεν παρατηρήθηκε απορρόφηση πάνω από 50 kgr ανά μέτρο μήκους οπής.

Σε αντίθεση με τις αδιαπέρατες σχεδόν περιοχές της κοίτης και του αριστερού αντερείσματος, στο δεξιό αντέρισμα διαπιστώθηκε μια διαπερατή ζώνη, η οποία έχει σαν αιτία την παρουσία στην περιοχή αυτή ανοιχτών διακλαδώσεων και ρηγμάτων. Τα ρήγματα, είχαν εύρος κυρίως 10-20 cm, ενώ σε μερικά τοπικά σημεία παρατηρήθηκε αύξηση του εύρους μέχρι και 120 cm. Τα ρήγματα αυτά είναι πληρωμένα με καστανοκίτρινο αργιλικό υλικό και εδώ πρέπει να αναφερθεί, πως βρέθηκε ασθενής έως μέτρια σερπεντινίωση κατά μήκος των παριών και των διακλάσεων. Οι σημαντικές απορροφήσεις ενέματος στην περιοχή του δεξιού αντερείσματος παρατηρήθηκαν μόνο κατά μήκος των ρηγμάτων και των ανοιχτών διακλάσεων, ενώ σε αντίθετη περίπτωση δεν υπήρξαν σημαντικές απορροφήσεις. Μετά το πέρας των εργασιών τσιμεντενέσεων διατρήθηκαν οπές ελέγχου, σε όλο το φάσμα όπου εκτελέστηκαν τσιμεντενέσεις και οι απορροφήσεις σε αυτές ήταν μηδενικές. Πράγμα, που σημαίνει, πως η κουρτίνα είναι πλήρως στεγανή.

Όσον αφορά τις εργασίες τσιμεντενέσεων, για την εκτέλεση των εργασιών διάτρησης χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα γεωτρύπανα, ενώ οι εργασίες πραγματοποιούνταν σε δύο συνεχόμενα οκτάωρα (8:00-16:30 έως 16:30-01:30). Συνολικά διατρήθηκαν για την κουρτίνα 83 οπές συνολικού μήκους 2384 m και για τον τάπητα 695 οπές συνολικού μήκους 4574 m ενώ αξίζει να σημειωθεί πως ότι απορροφήθηκαν 127898 m³ ενέματος το οποίο αντιστοιχεί σε 75845 kgr τσιμέντου.

Τέλος οι εργασίες τις κουρτίνας ολοκληρώθηκαν με την εκτέλεση τσιμεντενέσεων στις δύο αποστραγγιστικές σήραγγες του κυρίου φράγματος ως συνέχεια της κύριας κουρτίνας.

Τσιμεντενέσεις τάπητα κυρίου φράγματος

Σύμφωνα με τη μελέτη του έργου και τα σχέδια κατασκευής, τάπητας τσιμεντενέσεων κατασκευάστηκε στο κυρίως φράγμα. Οι οπές τσιμεντενέσεων του τάπητα, πού ανοίχθηκαν στην περιοχή της κοίτης είχαν βάθος 7 μέτρων και έγιναν σε 5 σειρές ανάντη και σε άλλες τόσες κατόντη της κύριας κουρτίνας με διάταξη πεσσοειδή και απόσταση 3 μέτρων μεταξύ τους.

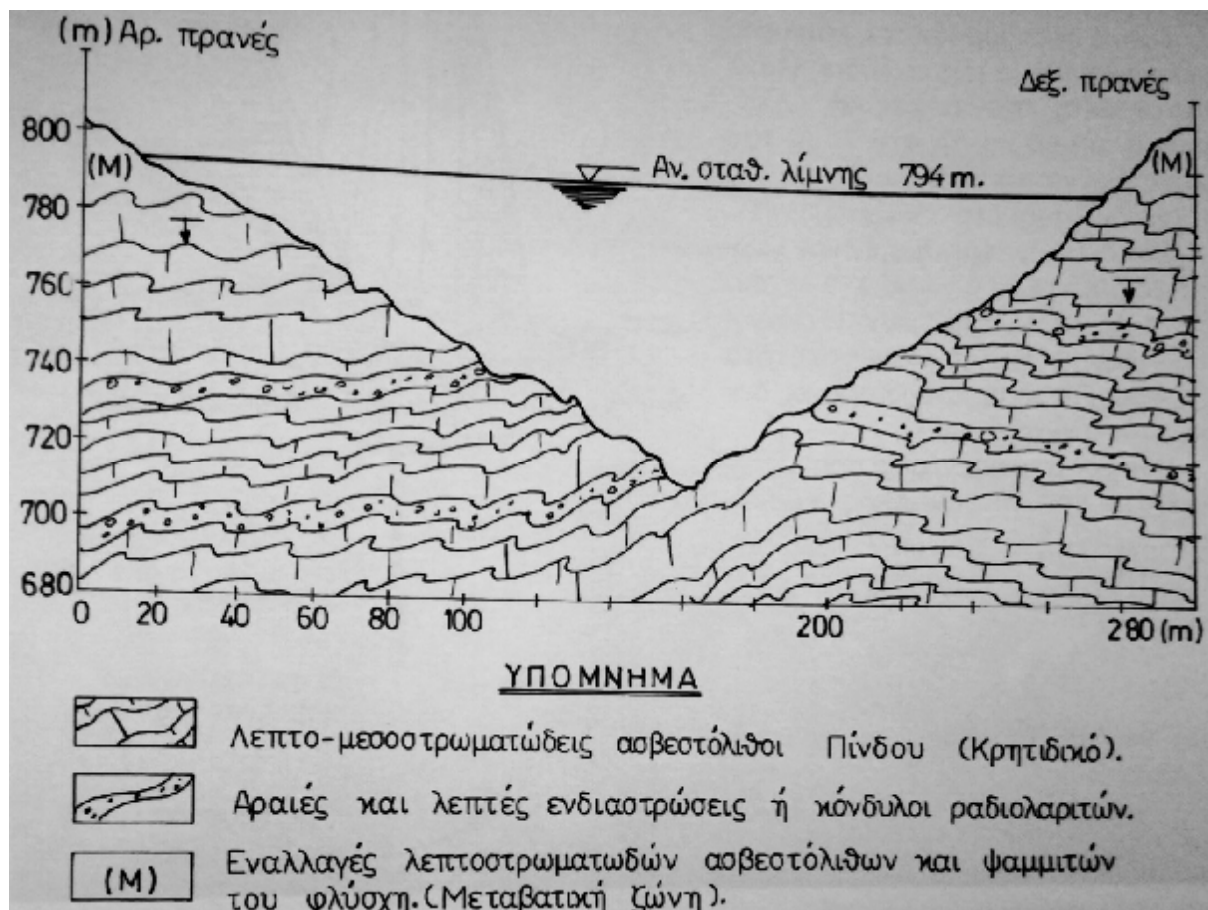
Όσον αφορά τα αντερείσματα το μέσο βάθος διάτρησης των οπών σε αυτά ήταν 6 μέτρα, εκτός από την περιοχή του δεξιού αντερείσματος, όπου είχαμε την ύπαρξη ρήγματος με αποτέλεσμα το βάθος των οπών να κυμανθεί από 10 έως και 20 μέτρα σε τοπικά σημεία. Σε αντίθεση με τα παραπάνω το αριστερό αντερείσμα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δεν είχε ιδιαίτερα προβλήματα, αφού η απορρόφηση σε τσιμέντο ανά οπή ήταν μηδενική με αποτέλεσμα να μην εκτελεστούν περαιτέρω οπές τσιμεντενέσεων τάπητα κατάντη της κύριας κουρτίνας, παρά μόνο μετά το υψόμετρο των 1284 m μέχρι τα 1303 m, όπου έγινε τάπητας μόνο ανάντη σε 4 σειρές. Από την άλλη στο δεξιό αντερείσμα, μέχρι το υψόμετρο των 1290 m, ο τάπητας έγινε σε 5 σειρές ανάντη και κατάντη, ενώ πάνω από αυτό το υψόμετρο σε 4 σειρές. Τέλος, η διάτρηση σε όλες τις οπές τσιμεντενέσεων του τάπητα έγινε με κρουστικό γεωτρήπανο (wagondrill).

4.10.5 Φράγμα Ν. Πλαστήρα ή Ταυρωπού

Το φράγμα Πλαστήρα βρίσκεται στο οροπέδιο Νεβρόπολης στον Ν. Καρδίτσας. Είναι ένα τοξωτό φράγμα σκυροδέματος διπλής καμπυλότητας, το οποίο έχει ύψος 83 m με έκταση ταμειυτήρα 25.2 Km² και χωρητικότητα ταμειυτήρα 400×10⁶ m³. Είναι ένα υδροηλεκτρικό φράγμα, το οποίο έχει μέγιστο ύψος πτώσης τα 577 m και ελάχιστο ύψος πτώσης 534 m με δύο κατακόρυφες τουρμπίνες τύπου Pelton και εγκατεστημένη ισχύ 43,30 MW για κάθε μια από τις τρεις γεννήτριες που διαθέτει.

Όσον αφορά τη γεωλογική δομή της θέσης, όπου βρίσκεται το φράγμα, αυτή δομείται από λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, οι οποίοι είχαν ικανοποιητική αντοχή για να δεχθούν τοξωτό φράγμα από σκυρόδεμα και επιπλέον ήταν ελάχιστα καρστικοποιημένοι και παρουσίαζαν μικρή υδροπερατότητα. Χαρακτηριστικά της μικρής περατότητας που υπάρχει στη συγκεκριμένη περιοχή είναι :

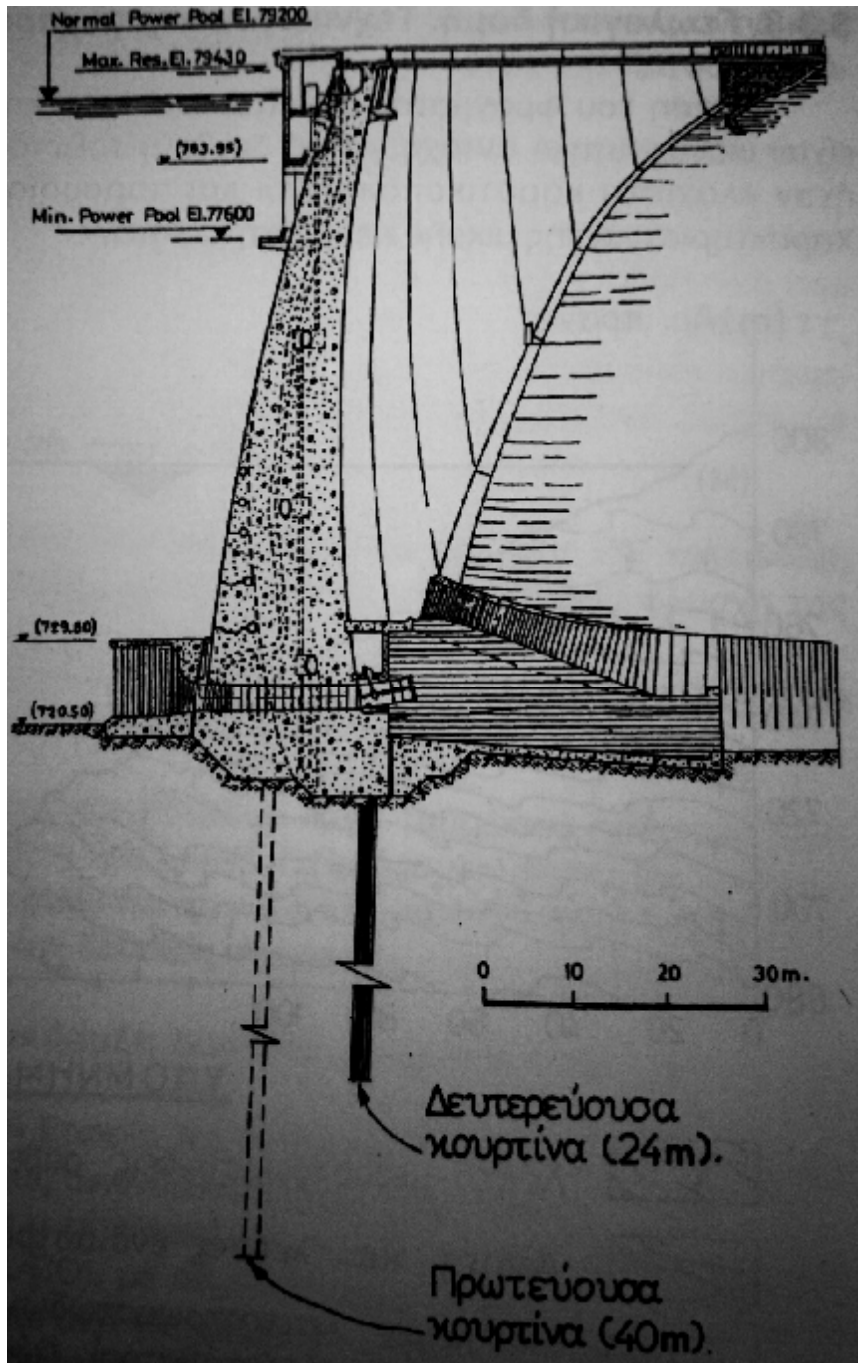
- 1) Η παρουσία μικροπηγών στα πρηνή της θέσης του φράγματος και μετά από βροχοπτώσεις, κάτι που έδειχνε, πως δεν υπήρχε βαθειά αποστράγγιση του νερού.
- 2) Η υψηλή στάθμη του υπόγειου νερού μέσα στο πέτρωμα.
- 3) Οι μικρές τιμές απορρόφησης νερού, που διαπιστώθηκαν από δοκιμές εισπίσεων, που έγιναν στις ερευνητικές γεωτρήσεις.



ΣΧΗΜΑ 4.17 Γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος

Από την άλλη η λεκάνη κατάκλισης δομείται εξολοκλήρου από φλύσχη της ζώνης Πίνδου, στον οποίο επικρατούν τα αργιλικά μέλη αυτού, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η στεγανότητα του ταμιευτήρα.

Με βάση τη γεωλογική και τεχνική μελέτη του φράγματος κατασκευάστηκε σε αυτό για την πλήρη στεγανοποίησή του μία κύρια κουρτίνα, η οποία έφθασε τα 40 m και μια ακόμη δευτερεύουσα, η οποία έφθασε τα 24 m. Στην περιοχή του κεντρικού τμήματος της στενωπού (κάτω από την κοίτη) διανοίχθηκε σειρά από 10 γεωτρήσεις συνολικού βάθους 1046 m, με τη βοήθεια των οποίων έγινε στεγανοποίηση των πετρωμάτων. Αξίζει μάλιστα να αναφερθεί, πως για την πλήρη στεγανοποίηση αυτών χρειάστηκαν 109 τόνοι τσιμέντου για μέση απορροφητικότητα 105 kgf/m. Γενικά, οι απορροφήσεις κάτω από το κεντρικό τμήμα της κοιλάδας ήταν μικρές και κυμάνθηκαν από 0-50 kgf/m στο 70% του μήκους των γεωτρήσεων και μεγαλύτερες του 50 kgf/m για το υπόλοιπο 30%. Στο δεξιό αντέρεισμα έγιναν γεωτρήσεις συνολικού βάθους 370 m, από τις οποίες απορροφήθηκαν 33 τόνοι τσιμέντου με μέση απορροφητικότητα 89 kgf/m. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως όλες οι τσιμεντενέσεις πραγματοποιήθηκαν από επιφανειακές γεωτρήσεις.



ΣΧΗΜΑ 4.18 Διαφραγματικές κουρτίνες στο φράγμα Ταυρωπού

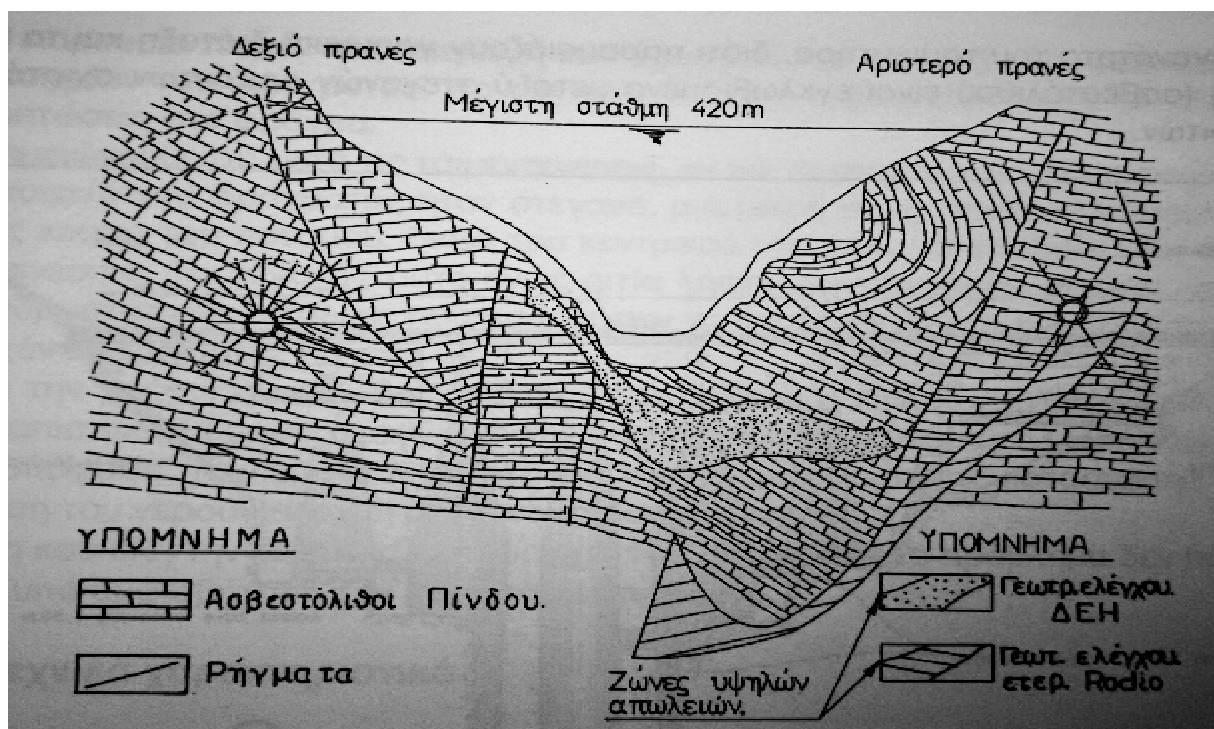
4.10.6 Φράγμα Λάδωνα

Το φράγμα Λάδωνα έχει κατασκευασθεί 22 km ανάντη της συμβολής του Αλφειού και του κύριου παραποτάμου αυτού Λάδωνα στη θέση Πήδημα, κοντά στο χωρίο Τρόπαια Αρκαδίας. Είναι ένα φράγμα βαρύτητας μετά διακένων στοιχείων το οποίο έχει ύψος 56 m, με έκταση ταμιευτήρα 4,0 km² και μέγιστη χωρητικότητα ταμιευτήρα 56.7×10⁶ m³. Όσον αφορά τον ενεργειακό τομέα είναι ένα φράγμα με εγκατεστημένη ισχύς 70000 KW και ολική μέση ετήσια ενέργεια που φτάνει τα 340 GWH.

Από γεωλογική πλευρά η περιοχή του έργου δομείται από τους χαρακτηριστικούς γεωλογικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου, οι οποίες συνεχίζουν την ανάπτυξή τους και

στους ορεινούς όγκους της Πελοποννήσου. Πρόκειται για σχηματισμούς που έχουν να κάνουν κυρίως με ασβεστόλιθους του Κρητιδικού με ενστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων η ανάπτυξη των οποίων διακόπτεται από οριζόντες ερυθρών και πράσινων κερατόλιθων. Σε ορισμένες περιοχές αναπτύσσονται στρώματα της μεταβατικής ζώνης των ασβεστόλιθων προς τον φλύσχη Πίνδου με εναλλαγές ψαμμιτών ιλυόλιθων και λεπτοστρωματώδων ασβεστόλιθων των οποίων το πάχος κυμαίνεται από 10-12 m. Από την άλλη η θέση του φράγματος δομείται από ανοιχτόχρωμους γκριζούς παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους στο δεξιό πρηνές και ανοιχτόχρωμους λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους με παρεμβολές αργιλικών σχιστόλιθων στο αριστερό. Αξίζει να σημειωθεί πως κατάντη της θέσης του φράγματος και επί μήκους 8 km κατά μήκος του ποταμού καταγράφηκαν 13 πηγές εκ των οποίων οι δύο είχαν περισσότερα από ένα σημεία εκφόρτισης.

Η διαφραγματική κουρτίνα αποτελούταν από ένα πυκνό δίκτυο που περιλάμβανε 111 γεωτρήσεις βάθους από 16-80 m, συνολικού μήκους 5217 m με απορρόφηση 500 περίπου τόνων τσιμέντου. Τα αποτελέσματα των τσιμεντενέσεων ήταν πολύ ικανοποιητικά, όπως διαπιστώθηκε από τις μικρές απορροφήσεις νερού στις γεωτρήσεις ελέγχου αλλά και τη μέχρι σήμερα στεγανή λειτουργία του φραγματος.



Σχήμα 4.19 Γεωλογική τομή στον άξονα του φράγματος

4.10.7 Φράγμα Σφηκιάς

Το φράγμα Σφηκιάς βρίσκεται στον ποταμό Αλιάκμονα 20 km περίπου νότια της Βέροιας μεταξύ των φραγμάτων Ασωμάτων (κατάντη) και Πολυφύτου (ανάντη). Είναι ένα λιθόρριπτο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα και ύψος 82 m. Έχει έκταση ταμιευτήρα 4.3 km² και χωρητικότητα ταμιευτήρα 103×10⁶ m³. Όσον αφορά την υδροηλεκτρική του παραγωγή έχει εγκατεστημένη ισχύ 315 MW .

Από γεωλογική άποψη τα πετρώματα που υπάρχουν στην περιοχή του φράγματος είναι οι αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, οι μετανδεσίτες, οι μαζικοί αμφιβολίτες και οι φακοειδείς απλιτικές φλέβες. Οι αμφιβολιτικοί γνεύσιοι είναι τα πετρώματα που κυριαρχούν στην περιοχή του

φράγματος αλλά και στο μεγαλύτερο μέρος του ταμιευτήρα. Χαρακτηρίζονται από μια σχιστότητα με στοιχεία μέγιστης κλίσης 220°-290°/ 35°-40° δηλαδή στο δεξιό ακρόβαθρο είναι παράλληλο προς την κοίτη του ποταμού και έχει κλίση προς αυτήν. Τόσο η σχιστότητα, όσο και οι τεκτονικές ασυνέχειες έχουν επηρεάσει την αντοχή και τη διαπερατότητα των πετρωμάτων, ιδιαίτερα όταν αυτά απολήγουν σε ελεύθερα πρνανή.

Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο φράγμα κατά την κατασκευή του και κυρίως κατά τη λειτουργία του ήταν οι αστάθειες των πρνανών και οι διαρροές που διαπιστώθηκαν κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Το κυριότερο όμως πρόβλημα στο συγκεκριμένο έργο ήταν η εκδήλωση διαρροών κατά την πρώτη πλήρωση της λίμνης η οποία όμως δεν έμενε σταθερή αλλά αυξανόταν σε συνάρτηση με την αύξηση της στάθμης του νερού στο ταμιευτήρα της λίμνης. Χαρακτηριστικό αυτών που αναφέραμε παραπάνω είναι ο παρακάτω πίνακας ο οποίος μας δείχνει ανά χρονικό διάστημα πόσο αυξανόντουσαν οι διαρροές στο αριστερό πρνανές. Αξίζει βέβαια να παρατηρήσουμε το πόσο μικρό είναι αυτό το χρονικό διάστημα για τόσο μεγάλη αύξηση.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΤΑΘΜΗ ΛΙΜΝΗΣ (m)	ΔΙΑΡΡΟΕΣ (lit/min)
ΙΟΥΝΙΟΣ 1985	+124	2500
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1985	+144	9480 (Με κατασκευή τσιμεντενέσεων)
Αύξηση 22,7 % ακόμα και όταν υπήρξε εκτέλεση ενεμάτων		11000 (max)

Οι διαρροές που είδαμε στον παραπάνω πίνακα δημιούργησαν δύο θέματα τα οποία ήταν τεχνικής αλλά και οικονομικής φύσεως. Τα προβλήματα αυτά ήταν :

- Η διάβρωση και η έκπλυση του πετρώματος κατά μήκος των ασθενών ζωνών αυτού λόγω των μεγάλων ταχυτήτων των διαρροών που υπήρχαν σε 5 αποστραγγιστικές οπές στο αριστερό αντέρεισμα.
- Το ύψος των διαρροών το οποίο αντιστοιχούσε σε ετήσια απώλεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 750 MWH αποτελούσε ένα μεγάλο οικονομικό πλήγμα για τη λειτουργία του φράγματος και το έθετε σε αντικοινομική κατάσταση.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων ελήφθησαν μέτρα αντιμετώπισης αυτών μετά από σχετική αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών του πετρώματος. Τα μέτρα αυτά ήταν:

Για το δεξιό αντέρεισμα του φράγματος όπου οι συνολικές διαρροές καθώς και οι επιμέρους παροχές των αποστραγγιστικών οπών στη σήραγγα GTD-RL ήταν σχετικά χαμηλές , δεν κρίθηκε σκόπιμη η εκτέλεση έργων για τη στεγανοποίηση αυτού.

Από την άλλη για το αριστερό αντέρεισμα αποφασίστηκε η αντιμετώπιση των διαρροών με δύο τρόπους :

- Με διερεύνηση της δυνατότητας κατάργησης της κουρτίνας στεγανοποίησης στη σήραγγα GTD-LL και μετατόπισή της προς τα κατάντη, στη σήραγγα προσπέλασης

ADT-LL και τη DT-LL, εάν αυτό φυσικά δεν έθετε σε κίνδυνο το αντέρεισμα το οποίο με την τροποποίηση αυτή θα δεχόταν μεγαλύτερες πιέσεις νερού.

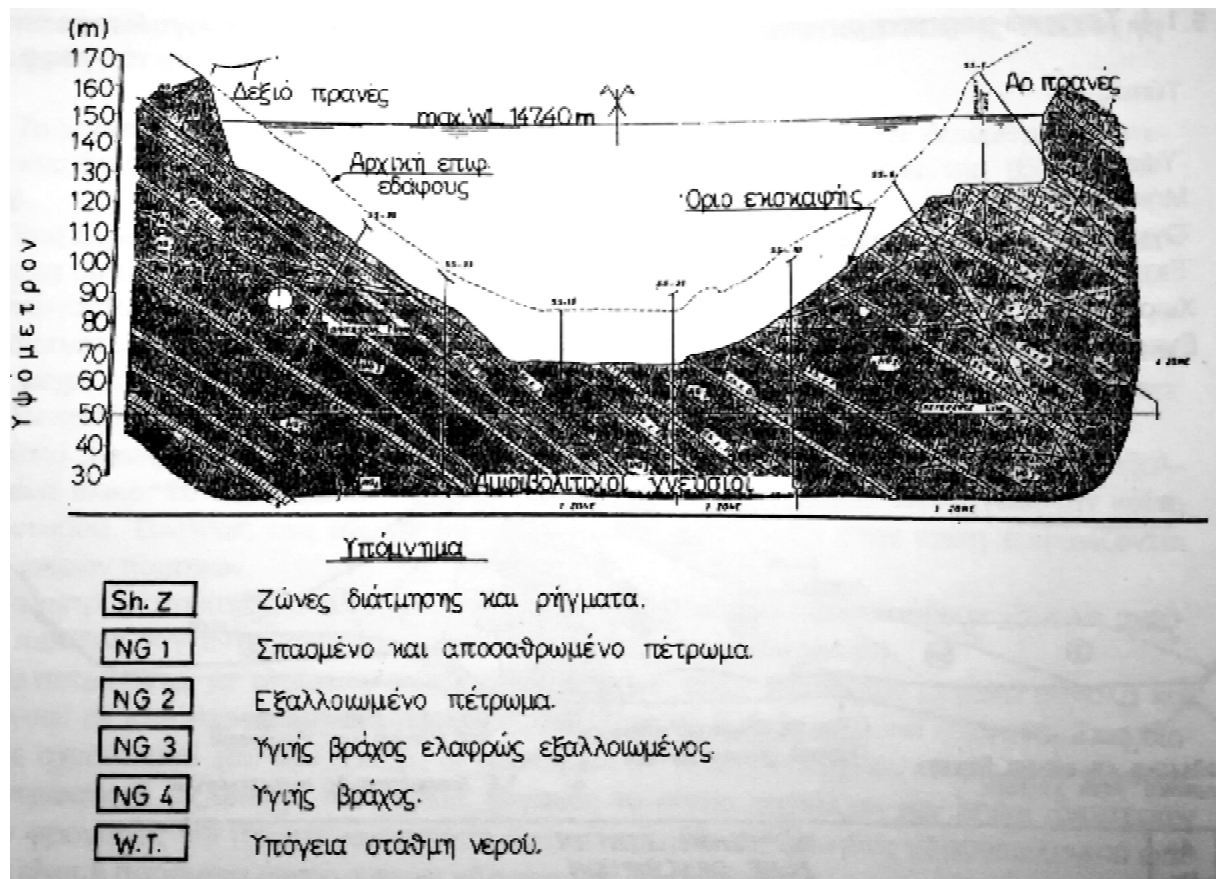
- b) Με εκτέλεση πρόσθετων τσιμεντενέσεων στα τμήματα εκείνα της σήραγγας που υπήρχαν αποστραγγιστικές οπές με παροχές μεγαλύτερες από 200 lit/min, ώστε να σφραγιστούν, εάν ήταν δυνατόν, μερικά από τα ανοίγματα μέσα στο πέτρωμα που επέτρεπαν την εύκολη δίοδο του νερού προς τα κατάντη.

Με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας μετατόπισης της κουρτίνας αποστραγγίσεων σε άλλη θέση, καθώς και τη διερεύνηση της ροής του νερού μέσα στο αντέρεισμα, έγινε δοκιμαστική έμφραξη ορισμένων αποστραγγιστικών οπών που συνοδεύτηκε με εισπίεση χρωστικών ουσιών σε μία από τις οπές και συνεχή παρακολούθηση των υπόλοιπων οπών και των φρεάτων παρατήρησης που ήταν τοποθετημένα στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος.

Από την αξιολόγηση των στοιχείων προέκυψε η ανάγκη εκτέλεσης 2050 m μήκους γεωτρήσεων από τις οποίες απορροφήθηκαν 111 τόνοι τσιμέντου χωρίς εμφανές τουλάχιστον αποτέλεσμα. Για να γίνει διαπίστωση των αποτελεσμάτων που είχαν οι τσιμεντενέσεις πραγματοποιήθηκε και πάλι δοκιμαστική έμφραξη η οποία διήρκησε 5 μέρες και είχε σαν αποτέλεσμα να γίνει αμέσως αντιληπτή η σημαντική μείωση των διαρροών μέσα από το αντέρεισμα συγκριτικά με την πρώτη δοκιμαστική έμφραξη. Το συμπέρασμα που προέκυψε από τα παραπάνω αποτελέσματα ήταν ότι οι τσιμεντενέσεις που πραγματοποιήθηκαν με το συμπληρωματικό πρόγραμμα, μπορεί να μην διέκοψαν ολοκληρωτικά τις διαρροές αλλά είχαν ενισχύσει το αντέρεισμα και βελτιώσει σημαντικά την συμπεριφορά του, περιορίζοντας τις μεγάλες τουλάχιστον διαρροές νερού προς τα κατάντη.

Η θετική συμπεριφορά του αντερείσματος κατά την δεύτερη δοκιμαστική έμφραξη των αποστραγγιστικών οπών, καθώς και η ουσιαστική μείωση των διαρροών, οδήγησαν στην απόφαση δημιουργίας νέας κουρτίνας τσιμεντενέσεων προς τα κατάντη από την σήραγγα GTD-LL και τις σήραγγες ADT-LL και DT-IL, η οποία αποτέλεσε τη δεύτερη γραμμή αμύνης προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι διαρροές.

Τέλος σε όλες τις αποστραγγιστικές οπές της σήραγγας GDT-LL, έγιναν τσιμεντενέσεις για τελική έμφραξη των οπών αυτών. Επιπλέον στο δάπεδο της σήραγγας GDT-IL, έγιναν πρόσθετες τσιμεντενέσεις συνολικού μήκους 330 m οι οποίες απορρόφησαν 30 τόνους τσιμέντου, προκειμένου να βελτιωθεί η υδροπερατότητα της βραχομάζας στην περιοχή το ρήγματος.



ΣΧΗΜΑ 4.20 Γεωλογική τομή φράγματος

4.10.8 Φράγμα Ασωμάτων

Το φράγμα Ασωμάτων βρίσκεται δεκατέσσερα χιλιόμετρα νότια της Βέροιας κοντά στο ομώνυμο χωριό. Είναι ένα χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα και ύψος 66 m, έχει έκταση ταμιευτήρα 2.6 km² ενώ η χωρητικότητα αυτού είναι περίπου 53×10⁶ m³.

Η περιοχή του έργου δομείτε από ασβεστόλιθους, φυλλίτες, ηφαιστειακά λατυποπαγή, βασάλτες, ανδραειτικούς τόφφους, σχιστοφυή πετρώματα, κυρίως όμως σερπεντίνες και κατά τόπους χλωρίτες και τάλκη.

Η υδροπερατότητα της βραχομάζας στο σύνολό της ήταν ικανοποιητική με διακυμάνσεις μέσα σε αποδεκτά όρια αντιμετώπισης των διαρροών με συνήθη προγράμματα στεγανοποίησης όπως είναι η συμβατική κουρτίνα τιμμεντενέσεων. Το μεγάλο πλήθος των τιμών του συντελεστή υδροπερατότητας k , που αντιπροσωπεύει το 60% του συνόλου κυμάνθηκε μεταξύ 10⁻⁵ – 10⁻⁷ m/sec.

Όσον αφορά συγκεκριμένα πετρώματα μετά από έρευνες διαπιστώθηκε ότι οι οφιόλιθοι παρουσίαζαν χαμηλή υδροπερατότητα εκτός από δύο σημεία σε βάθη 22 m και 45 m όπου διαπιστώθηκαν ανοικτά ρήγματα με μεγάλη διαπερατότητα. Από την άλλη οι ηφαιστειακοί τόφφοι παρουσίασαν τις μεγαλύτερες τιμές διαπερατότητας ενώ οι μικρότερες τιμές βρέθηκαν σε πετρώματα όπως οι λατυποπαγείς σερπενίτες. Τέλος οι ασβεστόλιθοι εγκλωβισμένοι μέσα στην μάζα των οφιόλιθων δεν είναι καρστικοποιημένοι και παρουσιάζουν μικρή υδροφορία με ασθενείς υδροφόρους ορίζοντες υπό πίεση.

Από τις έρευνες και τις εκσκαφές που ακολούθησαν στην τάφρο προέκυψε ότι η υδροπερατότητα στους σχηματισμούς μειωνόταν καθώς μεγάλωνε το βάθος ενώ από τις τεκτονικές ασυνέχειες μόνο ορισμένα ανοίγματα σε συμπαγής βράχους που ταυτίζονται με ρήγματα παρουσίαζαν αυξημένη διαπερατότητα. Από την άλλη η στεγανότητα του ταμιευτήρα εξασφαλίζεται από την από την παρουσία πρακτικά, στεγανών σχηματισμών, όπως είναι οι γνεύσιοι, οι σχιστόλιθοι και οι οφιόλιθοι.

Από τα αποτελέσματα των τσιμεντενέσεων για την διαμόρφωση της διαφραγματικής κουρτίνας προέκυψε, ότι οι απορροφήσεις γενικά κυμάνθηκαν μέσα στα όρια των συνήθων προγραμμαμάτων τσιμεντενέσεων. Η παρουσία των ηφαιστειακών τόφφων σε συνδιασμό με την ύπαρξη σχεδόν κατακόρυφων ρηγμάτων, που διέρρηξαν τους τόφφους και προκάλεσαν κενά ανοίγματα, είχε σαν αποτέλεσμα η περιοχή αυτής της ζώνης του άξονα να παρουσιάσει τη μεγαλύτερη απορροφητικότητα τσιμέντου. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα τα ανοίγματα ήταν μεγάλου εύρους και μήκους με αποτέλεσμα ορισμένα από αυτά να απορροφήσουν περισσότερο από 6 τόνους τσιμέντου.

4.10.9 Φράγμα Θησαυρού

Το φράγμα Θησαυρού βρίσκεται 25 km ΒΔ του Παρανεστίου Δράμας και είναι ένα λιθόρριπτο φράγμα με αδιαπέρατο κεντρικό πυρήνα το οποίο έχει ύψος 172 m. Έχει έκταση ταμιευτήρα 18 km^2 με χωρητικότητα $705 \times 10^6 \text{ m}^3$, επίσης διαθέτει υπόγειο σταθμό με 2 μονάδες παραγωγής οι οποίες έχουν εγκατεστημένη ισχύ 240 MW.

Όσον αφορά τη γεωλογία της περιοχής του φράγματος αυτή δομείται από γνεύσιους, γρανιτογνεύσιους με παρεμβολές μαρμαρυγιακών και αμφιβολιτικών σχιστόλιθων. Τα διαχωριστικά όρια μεταξύ γνεύσιων –γρανιτογνεύσιων είναι ασαφή, τόσο κατά την κατακόρυφο, όσο και την οριζόντια έννοια. Από τα μεταμορφωμένα πετρώματα που υπάρχουν στην περιοχή του φράγματος διέρχονται ρήγματα κανονικά ή ανάστροφα με επικρατούσα διεύθυνση μέγιστης κλίσης προς τα ΒΑ, που σημαίνει ότι είναι παράλληλα περίπου με τη σχιστότητα των πετρωμάτων. Από την άλλη η περιοχή του ταμιευτήρα δομείται από πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις, μάρμαρα, γνεύσιους, γρανίτες, γνευσογρανίτες, σερπεντίνες και απλίτες- πηγματίτες.

Με βάση τις ανάγκες του ταμιευτήρα λόγω των πετρωμάτων που διαπιστώθηκαν για τη πλήρη στεγανοποίησή του αποφασίστηκε η κατασκευή διαφραγματικής κουρτίνας η οποία αρχικά είχε σχεδιασθεί για βάθος 60 m διότι επικρατούσε η αντίληψη, ότι τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα ήταν αδιαπέρατα. Με το σκεπτικό αυτό μεγάλος αριθμός δοκιμών εισπιέσεων πραγματοποιήθηκε στο βάθος 50-60 μέτρων μέχρις ότου κάποιες γεωτρήσεις που ξεπερνούσαν το βάθος αυτό έδειξαν την ύπαρξη μιας ζώνης αυξημένης διαπερατότητας μεταξύ 60-90 m. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη κατάργηση του τμήματος της σήραγγας τσιμεντενέσεων κάτω από τον πυρήνα του φράγματος που προβλεπόταν αρχικά, είχε σαν αποτέλεσμα τον επανασχεδιασμό της κουρτίνας του που κάτω από την κοίτη έφθανε τα 120-125 m.

Σχετικά με τις τσιμεντενέσεις η σύνθεση του ενέματος ήταν 3:1, προοδευτικά μεταβαλλόμενη σε 1:1 ανάλογα με τις παρουσιαζόμενες συνθήκες. Ως κριτήριο τερματισμού της τσιμεντένεσης θεωρήθηκε απορρόφηση 2 lit/min για διάστημα 10 συνεχών λεπτών υπό σταθερά πίεση. Σε ορισμένα τμήματα όπου υπήρχε υπόγεια ροή νερού για την αύξηση της συνοχής και τη μείωση του χρόνου πήξης του ενέματος προστέθηκε σε αυτό υδρύαλος υπό μορφή διαλύματος με αναλογία 4% κατά βάρος τσιμέντου. Κατά κανόνα για τη κατασκευή του διαφράγματος εφαρμόστηκε η μέθοδος packer grouting με εξαίρεση τμήματα όπου οι δοκιμές εισπιέσεων έδωσαν απώλειες 30lit/min, με τη μέθοδο stage grouting. Η διατήρηση

των πρωτεύουσών γεωτρήσεων έφθανε μέχρι το προκαθορισμένο βάθος .Σε περίπτωση όμως που στα τελευταία 5 μέτρα οι δοκιμές εισπίεσεων έδιναν απώλειες της τάξης των 30 lit/min/m η γεώτρηση επεκτείνεται μέχρι επίτευξης της μικρότερης τιμής. Στις δευτερεύουσες και τριτεύουσες γεωτρήσεις κριτήριο αύξησης του βάθους θεωρήθηκε εκείνο της απορρόφησης 50 kgf/m τσιμέντου.

4.10.10 Φράγμα Περδίκια



Σχήμα 4.22 Φράγμα Περδίκια

Αν και αυτό το φράγμα δεν είναι υδροηλεκτρικό γίνεται αναφορά διότι αποτελεί το μόνο φράγμα στον ελληνικό χώρο το οποίο έχει υποστεί αστοχία. Κατασκευάστηκε το 1960 κοντά στην ομώνυμη κοινότητα για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της περιοχής κυρίως βιμηχανικό επίπεδο.

Η περιοχή του έργου αυτού δομείται από πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις και πλειστοκαινικούς λιγνιτοφόρους σχηματισμούς, που επικάθονται σε έντονα καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους του Μεσοζωικού υποβάθρου. Το φράγμα είναι θεμελιωμένο στις αλλουβιακές αποθέσεις του χειμάρου Περδίκια , ο αργιλικός όμως πυρήνας επεκτείνεται και εισχωρεί κατά 1,5 m μέσα σε ένα λιγνιτικό στρώμα , με διάφραγμα από beton πάχους 50 cm και βάθους που ποικίλει από 5-30 cm.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος, άρχισε η πλήρωση του ταμιευτήρα. Ενώ όλα εξελίσσονταν ομαλά , με τη υψόμετρο του νερού να έχει φτάσει περίπου στα 20 m,

σταμάτησε η παραπέρα άνοδος της στάθμης και στην συνέχεια άρχισε να κατέρχεται με προοδευτικά αυξανόμενο ρυθμό, μέχρις ότου ο ταμιευτήρας εκκενώθηκε τελείως. Το φαινόμενο αυτό οφειλόταν στο ότι όταν η στάθμη του νερού έφτασε τα 20 m άρα και η πίεση που ασκούσε στο έδαφος ήταν γύρω στις δύο ατμόσφαιρες, τότε το νερό άρχισε να διηθείται προς τα βαθύτερα σημεία των αργιλομαργαϊκών σχηματισμών φθάνοντας μέχρι τα καρστικά ανοίγματα των ασβεστόλιθων , ιδιαίτερα εκεί όπου οι ασβεστόλιθοι βρίσκονταν πλησιέστερα στην επιφάνεια του εδάφους. Προοδευτικά στα ανοίγματα αυτά προκλήθηκε εσωτερική διάβρωση των πλειοστοκαινικών αργιλομαργαϊκών σχηματισμών, με την απομάκρυνση των μαργαϊκών και αργιλικών στοιχείων που τα πρέσυρε το νερό μέσα στα κενά των ασβεστολιθών. Αποτέλεσμα της εσωτερικής αυτής διάβρωσης ήταν η δημιουργία ανοιγμάτων αργιλομαργαϊκού σχηματισμούς, εν είδη χοάνης μέσα από τα οποία έλαβαν χώρα οι διαρροές του νερού από τον ταμιευτήρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ Χρήστος Ε. Τσόγκας – Ελισάβετ Χ. Τσόγκα << Υδροδυναμικά έργα-φράγματα>>
- ✓ Ν. Σαμπατακάκης Εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας (Πανεπιστήμιο Πατρών)
- ✓ Μαραγκός << Τεχνικά Έργα Υποδομής>>
- ✓ Δημόπουλος <<Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων>>
- ✓ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Σχολή Μεταλλουργών) Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας
- ✓ Βγενοπούλου Ειρήνη Τεχνική Γεωλογία
- ✓ Κούκης-Σαμπατακάκης << Γεωλογία Τεχνικών Έργων>>
- ✓ Κωνσταντίνος Γ. Χατζηπαναγιώτου Γεωλογία για πολιτικούς μηχανικούς (Ορυκτά – Πετρώματα) Πανεπιστήμιο Πατρών
- ✓ Δ. Λιακούρης <<Φράγματα Της Δ.Ε.Η>>
- ✓ Ελληνική Επιστημονική Εταιρία Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων <<Παράμετροι Σχεδιασμού Θεμελιώσεων>>
- ✓ ISSUU “Γεωλογία”