

# Εργαστηριακός και εργοταξιακός έλεγχος διαπερατότητας εδαφών – Περίπτωση εφαρμογής έργου Λίμνης Κάρλας.

---

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ:**

*Λιαπίκου Αθανασία*

**ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ:**

**Δ. ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΣ  
Ζ. ΧΡΗΣΤΟΥ**

Πάτρα - Ιούνιος 2009

## Περιεχόμενα

	Σελ
Εισαγωγή	5
1. Διαπερατότητα	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Δοκιμή διαπερατότητας Σταθερού φορτίου	11
1.2.1 Γενικά	11
1.2.2 Θεμελιώδεις Συνθήκες Δοκιμής	11
1.2.3 Εργαστηριακός Εξοπλισμός	12
A) Ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός	12
B) Γενικός εργαστηριακός εξοπλισμός	14
1.2.4 Δείγμα	14
1.2.5 Προετοιμασία του δοκιμίου	15
1.2.6 Πορεία της δοκιμής	17
1.2.7 Υπολογισμοί	17
1.2.8 Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων	17
1.3 Μεταβαλλόμενου φορτίου	18
1.3.1 Γενικά	18
1.3.2 Εργαστηριακός Εξοπλισμός	18
A) Ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός	18
B) Γενικός εργαστηριακός εξοπλισμός	19
1.3.3 Προπαρασκευή του Δοκιμίου	19
α) Αδιατάρακτο δείγμα συνεκτικού εδάφους	19
β) Διαταραγμένο δείγμα συνεκτικού εδάφους	19
γ) Δείγματα μη συνεκτικού εδάφους	19
1.3.4 Πορεία της δοκιμής	20
1.3.5 Υπολογισμοί	21
1.4 Επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας	25
1.4.1 Δοκιμή Maag (μεταβλητού φορτίου, για λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά)	25
1.4.2 Δοκιμή Lefranc (σταθερού φορτίου, για χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά)	28
1.4.3 Δοκιμή Lugeon (για βραχώδεις σχηματισμούς)	30
1.5 Νόμος Darcy, υδραυλική αγωγιμότητα, πραγματική Διαπερατότητα	38

1.6	Δοκιμές εισπίεσης νερού (Pumping in tests)	41
1.7	Δοκιμή πρεσσιόμετρου	42
1.7.1	Αντικείμενο δοκιμής – Πεδίο εφαρμογής	42
1.7.2	Θέση εκτέλεσης δοκιμής	42
1.7.3	Γενική περιγραφή της δοκιμής	43
1.7.4	Συσκευές και όργανα	44
1.7.5	Προσωπικό	46
1.7.6	Διάρθρωση της οπής	46
1.7.7	Εκτέλεση της πρεσσιομετρικής δοκιμής	48
1.7.8	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	50
2.	Σύσταση του εδάφους	53
2.1	Προέλευση και είδη εδαφών	53
3.	Έντυπα – Υπολογισμοί και φωτογραφίες	55
4.	Περίπτωση λίμνης Κάρλας	58
4.1	Γενικά	58
5.	Μελέτη ταμιευτήρα Κάρλας και συναφών έργων	59
5.1	Στοιχεία του έργου	59
5.2	Σύνοψη γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής των έργων	60
5.2.1	Γεωλογικές συνθήκες	60
5.2.2	Υδρογεωλογικές συνθήκες	61
5.3	Σεισμικότητα της περιοχής	62
5.4	Συνθήκες στεγανότητας του ταμιευτήρα	62
5.4.1	Γενικά	62
5.5	Βόρειο όριο ταμιευτήρα	64
5.5.1	Περιοχή Γεωτρήσεων Γ1 – Γ1α –Γ1β (Ζώνη 1)	64
5.5.2	Περιοχή Γεωτρήσεων Γ2 –Γ2α και Γ3 –Γ3α –ΓΠ1 –Γ3β (Ζώνη 2-3)	65
5.5.3	Περιοχή Γεωτρήσεων Γ4 –Γ4α –ΓΠ2 –Γ4β και Γ14 –Γ14α (Ζώνη 4 -14)	68
5.5.4	Περιοχή Γεωτρήσεων Γ5α –ΓΠ3 –Γ5β (Ζώνη 5)	70
5.5.5	Περιοχή Γεωτρήσεων Γ6 –Γ6α –ΓΠ4 και Γ15 –Γ15α (Ζώνη 6 – 15)	72
5.5.6	Περιοχή Γεωτρήσεως Γ16 (Ζώνη 16)	74
5.6	Νότιο όριο ταμιευτήρα	75
5.6.1	Περιοχή Γεωτρήσεων Γ17 –Γ17α (Ζώνη 17)	75
5.7	Σύνοψη Συμπερασμάτων	76

5.8	Γεωτεχνικές συνθήκες υπεδάφους κατά μήκος του άξονα των αναχωμάτων	77
5.8.1	Γενικά	77
5.8.2	Στρωματογραφία	77
5.8.3	Καθεστώς υπογείου νερού	78
5.8.4	Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά εδαφικών στρωμάτων	79
6.	Υλικά κατασκευής των αναχωμάτων	90
6.1	Πηγές υλικών – Διαθέσιμα στοιχεία ερευνών	90
6.2	Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά διαθέσιμων υλικών επιχώματος	90
6.2.1	Υλικά Πυθμένος Λίμνης (Πεδιάδας)	90
6.2.2	Υλικά Εκσκαφών Συλλεκτήρα Σ3	92
6.3	Υλικά Δανειοθαλάμου φυσικού αμμοχάλικου	95
7.	Γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης αντλιοστασίων και έργου Ασφαλείας	97
7.1	Γενικά	97
8.	Γεωτεχνικές συνθήκες στη θέση της λεκάνης ηρεμίας, στην έξοδο της σήραγγας Καλοχωρίου	98
	Παράρτημα 1	101
	Γεωτεχνικές Τομές Γεωτρήσεων στα όρια του ταμιευτήρα, για την αξιολόγηση των συνθηκών διαπερατότητας	102
	Προτάσεις – Παρατηρήσεις	124
	Βιβλιογραφία	125

## Εισαγωγή

Η πτυχιακή αυτή αναφέρεται στις εργαστηριακές και εργοταξιακές δοκιμές οι οποίες γίνονται για τον έλεγχο της υδατοδιαπερατότητας εδαφών.

Αναφέρονται τόσο οι δοκιμές πεδίου όσο και οι δοκιμές εργαστηρίου. Ακόμη παρουσιάζονται απαιτήσεις και αποτελέσματα από την μελέτη του έργου: 'Ταμειευτήρας Κάρλας και συναφή έργα', στη περιοχή του Βόλου.

## 1. Διαπερατότητα

### 1.1 Γενικά

Μια από τις ιδιότητες των εδαφών που απασχολεί ιδιαίτερα τους μηχανικούς είναι η διαπερατότητα. **Διαπερατότητα** είναι η ιδιότητα των υλικών να επιτρέπουν την κίνηση ενός ρευστού διαμέσου της μάζας τους. Συνεπώς οποιοσδήποτε σχηματισμός επιτρέπει τη διέλευση ρευστού δια μέσου της μάζας του καλείται περατός (permeable) ενώ όταν η κίνηση αυτή μέσα στη μάζα του σχηματισμού είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη, τότε αυτός καλείται αδιαπέρατος (impermeable).

Η γνώση της διαπερατότητας του εδάφους είναι αναγκαία προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα:

1. εισροών νερού μέσα σε εκσκαφές (π.χ. σήραγγες, στοές μεταλλείων-ορυχείων, εκσκαφές θεμελιώσεων, ανοικτές εκσκαφές μεταλλείων)
2. διαρροών κάτω από κατασκευές συγκράτησης νερού (π.χ. φράγματα, λιμνοδεξαμενές, αναχώματα λιμνών, κανάλια, κλπ).

Η εσωτερική ή πραγματική διαπερατότητα (intrinsic permeability) φαίνεται να είναι στενά συνδεδεμένη με το πορώδες των διάφορων εδαφικών ή και βραχωδών σχηματισμών. Για τους βραχώδεις σχηματισμούς πάντως, πέρα από το πρωτογενές πορώδες η διαπερατότητα συνδέεται και με την παρουσία άλλων κενών χώρων μέσα στη μάζα τους, όπως για παράδειγμα ρωγμών, διαρρήξεων, καρστικών αγωγών, κλπ. Τέτοια κενά ενδεχόμενα να μην επηρεάζουν την διαπερατότητα, αν δεν υπάρχει σύνδεση-επικοινωνία μεταξύ τους, οπότε ο σχηματισμός είναι αδιαπέρατος. Για παράδειγμα αναφέρονται τα κενά που δημιουργεί ο εγκλωβισμός αερίων στη μάζα ενός ηφαιστειακού πετρώματος, τα οποία πολλές φορές δεν επικοινωνούν μεταξύ τους.

Έτσι, η αρχική διαπερατότητα σχετίζεται με:

- το βαθμό διασύνδεσης και επικοινωνίας των πόρων μέσα στη μάζα του πετρώματος (ενεργό πορώδες)
- το φυσικό μέγεθος των πόρων, που για τα κοκκώδη υλικά έχει σχέση με το μέγεθος, τη μορφή και τη διάταξη των κόκκων, αφού πολύ μικρού μεγέθους πόροι συνεπάγονται πολύ χαμηλή διαπερατότητα.

Η διαπερατότητα του εδάφους έχει αποφασιστική επιρροή στη δαπάνη και τις δυσχέρειες εκτέλεσης πολλών κατασκευαστικών εργασιών, όπως η εκσκαφή ανοικτών ορυγμάτων σε αμμώδες έδαφος το οποίο βρίσκεται κάτω από την στάθμη του φρεατίου ορίζοντα. Επίσης η διαπερατότητα επηρεάζει τον βαθμό στερεοποίησής των στρώσεων από μαλακή άργιλο υπό την επίδραση του βάρους των υπερκείμενων επιχωμάτων. Τέλος η διαπερατότητα μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις από πρακτικής απόψεως, ακόμη και για το σκυρόδεμα ή και το βράχο λόγω της ασκούμενης πίεσης από το νερό, επί του πορώδους υλικού μέσω του οποίου διηθείται.

Η πίεση αυτή, η οποία χαρακτηρίζεται με τον όρο **πίεση διηθήσεως** μπορεί να είναι σημαντικότερη. Η διαπερατότητα είναι μια σημαντική εδαφολογική παράμετρος για όλες τις περιπτώσεις όπου η ροή του ύδατος μέσω του χώματος ή του βράχου είναι μια ανησυχία, παραδείγματος χάριν, ξέροντας το ποσοστό επαναφορτίσεων για το υπόγειο νερό ή την ευπάθεια ενός υδροφόρου στρώματος. Η μόλυνση υπόγειων νερών από τους ρύπους όπως τα φυτοφάρμακα και οι θρεπτικές ουσίες που εισάγονται στην επίγεια επιφάνεια επηρεάζεται από τις εδαφολογικές ιδιότητες. Η εδαφολογική διαπερατότητα είναι ένας από τους ελεγχόμενους παράγοντες για το ρυθμό στον οποίο ένας μολυσματικός παράγοντας ταξιδεύει μέσω των χωμάτων. Γενικά τα χώματα με την υψηλότερη διαπερατότητα διευκολύνουν την ευκολότερη μεταφορά των ρύπων στα υπόγεια νερά. Η διαπερατότητα σχετίζεται ιδιαίτερα με τις καθιζήσεις των εδαφών καθώς ανάλογα με το πόσο διαπερατό ή όχι είναι ένα υλικό.

Διακρίνουμε τις καθιζήσεις σε α) άμεσες ή ελαστικές οι οποίες συμβαίνουν σε όλα τα ξηρά και στα υγρά ή κορεσμένα εδάφη που όμως έχουν μεγάλη διαπερατότητα και β) πρωτεύουσες και δευτερεύουσες οι οποίες συμβαίνουν στα κορεσμένα συνεκτικά εδάφη. Αν θεωρήσουμε ότι μια κορεσμένη εδαφική στρώση δέχεται αύξηση της κατακόρυφης τάσης κατά  $\Delta\sigma=p$ .

Αυτό μπορεί να συμβεί για παράδειγμα με την κατασκευή ενός τεχνικού έργου ή ενός επιχώματος. Με την επιβολή του φορτίου οι στερεοί κόκκοι προσπαθούν να έρθουν πιο κοντά ο ένας στον άλλον. Αν η εδαφική στρώση έχει μεγάλη διαπερατότητα, όπως συμβαίνει στα αμμώδη εδάφη, αμέσως μετά την επιβολή του φορτίου το νερό διαφεύγει από τους πόρους και η καθίζηση συμβαίνει άμεσα λόγω της μείωσης του όγκου της εδαφικής στρώσης. Αν η εδαφική στρώση έχει μικρή διαπερατότητα το νερό δεν θα μπορέσει να διαφύγει και επειδή είναι πρακτικά ασυμπίεστο οι κόκκοι δεν θα μπορούν να πλησιάσουν ο ένας τον άλλον. Όλη την αύξηση της κατακόρυφης τάσης  $\Delta\sigma$  την παραλαμβάνει το νερό των πόρων με αποτέλεσμα να αυξηθεί η πίεσή του πάνω από την υδροστατική κατά  $\Delta u = \Delta\sigma = p$  (υπερπίεση του νερού των πόρων).

Κάτω από την αύξηση αυτή της πίεσης έχουμε δημιουργία υδραυλικού φορτίου το οποίο προκαλεί ροή νερού προς τα άκρα του εδαφικού στρώματος. Η ροή αυτή καλείται στράγγιση και συνεχίζεται μέχρις ότου η πίεση του νερού των πόρων επανέλθει στην αρχική της τιμή. Η διαδικασία αυτή της επαναφοράς της πίεσης στην αρχική της τιμή συνήθως καλείται **εκτόνωση**. Όταν η στράγγιση βρίσκεται σε εξέλιξη και το νερό διαφεύγει, οι στερεοί κόκκοι μπορούν πλέον να κινηθούν κοντύτερα ο ένας στον άλλον με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι δυνάμεις μεταξύ τους. Όπως είναι γνωστό οι δυνάμεις μεταξύ των κόκκων εκφράζονται με την ενεργό τάση, οπότε έχουμε προοδευτική αύξηση της ενεργούς τάσης με ταυτόχρονη μείωση της υπερπίεσης του νερού των πόρων. Όταν το φαινόμενο της στράγγισης θα έχει τελειώσει και η υπερπίεση θα έχει μηδενιστεί  $\Delta u = 0$ , οι στερεοί κόκκοι θα έχουν παραλάβει πλέον την αύξηση του φορτίου  $\Delta\sigma = p$ , οπότε η ενεργός τάση θα ισούται πλέον με την αρχική της τιμή συν την αύξηση της κατακόρυφης τάσης  $\Delta\sigma$ . Η διαδικασία αυτή της αποστράγγισης είναι αργή, συνοδεύεται από μείωση του πάχους της εδαφικής στρώσης δηλαδή από καθίζηση και καλείται στερεοποίηση.



Η διαπερατότητα ποικίλλει μόνο ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τις συνθήκες. Επηρεάζεται από:

1. Το μέγεθος και το σχήμα των εδαφικών κόκκων
2. Το πορώδες
3. Το βαθμό κορεσμού (περιεκτικότητα σε νερό στο χώμα)

Αν το έδαφος έχει υψηλή διαπερατότητα, τα όμβρια ύδατα θα το διαπεράσουν εύκολα. Αν η διαπερατότητα είναι χαμηλή τα όμβρια ύδατα θα τείνουν να συσσωρευτούν στην επιφάνεια. Η διαπερατότητα των εδαφών χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την αποξήρανση.

Οι τιμές της διαπερατότητας  $K$  έχουν ένα τεράστιο εύρος: από ίσως  $1 \text{ m/s}$  για τα αμμοχάλικα (δηλαδή  $10^0 \text{ m/s}$ ) κάτω από  $10^{-9}$  έως  $10^{-10} \text{ m/s}$  για τους αργίλους – ότι ένα εύρος μεγεθών (η διαπερατότητα του αργίλου είναι ίσως 10000000000 φορές λιγότερη από αυτή του αμμοχάλικου).

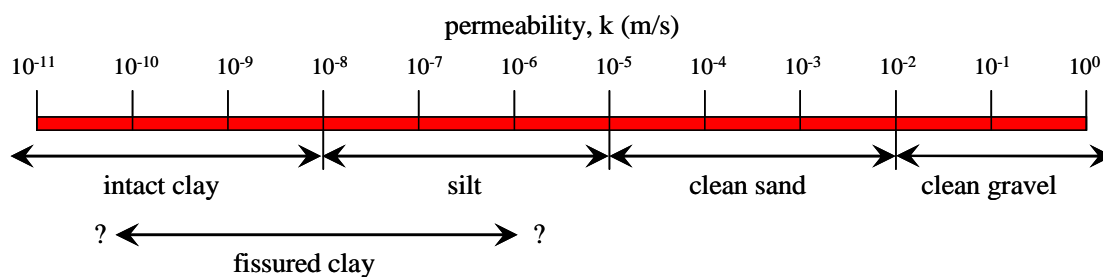


Table H-3: Range of Hydraulic Conductivities in Soils (continues on next page)	
Media Type Soil Type	Saturated Hydraulic Conductivity, $K_s$ (cm/s)
Gravel	3.0E-2 to 3.0E-0
Coarse Sand	9.0E-5 to 6.0E-1
Medium Sand	9.0E-5 to 5.0E-2
Fine Sand	2.0E-5 to 2.0E-2
Loamy Sand	4.1E-3
Sandy Loam	1.2E-3
Loam	2.9E-4
Silt, Loess	1.0E-7 to 2.0E-3
Silt Loam	1.2E-4
Till	1.0E-10 to 2.0E-4
Clay	1.0E-9 to 4.7E-7

Σχήμα Η-3: Εύρος υδραυλικής αγωγιμότητας σε εδάφη

Table H-3: Range of Hydraulic Conductivities in Soils (continued from previous page)	
Media Type Soil Type	Saturated Hydraulic Conductivity, $K_s$ (cm/s)
Sandy Clay Loam	3.6E-4
Silty Clay Loam	1.9E-5
Clay Loam	7.2E-5
Sandy Clay	3.3E-5
Silty Clay	5.6E-6
Unweathered marine clay	8.0E-11 to 2.0E-7
<i>Note:</i> Above data are from Table A.6, "Vadose Zone Modeling in RCRA Closure", DHWM Guidance Document, January 7, 2005.	

## **1.2 Δοκιμή διαπερατότητας**

Σκοπός της δοκιμής διαπερατότητας είναι να προσδιοριστεί ο συντελεστής διαπερατότητας. Η δοκιμή γίνεται με το διαπερατόμετρο σταθερού ή μεταβλητού φορτίου ανάλογα με το είδος εδάφους.

### **Σταθερού φορτίου**

#### **1.2.1 Γενικά**

Με τη δοκιμή αυτή γίνεται ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας, για τη στρωτή ροή του νερού σε κοκκώδη εδάφη. Στόχος είναι, ο προσδιορισμός αντιπροσωπευτικών τιμών του συντελεστή διαπερατότητας φυσικών εδαφικών αποθέσεων ή εδαφικών μαζών, που μπορεί να αποτελούν είτε το σώμα ενός επιχώματος, (π.χ. φράγματος), είτε τη στρώση βάσεως οδοστρώματος κλπ. Για να περιορισθεί η επίδραση του φαινομένου στερεοποίησης, κατά τη διάρκεια της δοκιμής, χρησιμοποιείται διαταραγμένο δείγμα που δεν περιέχει λεπτόκοκκα, (διερχόμενα από το κόσκινο Νο 200), σε ποσότητα μεγαλύτερη από 10 %.

#### **1.2.2 Θεμελιώδεις Συνθήκες Δοκιμής**

Οι παρακάτω ιδανικές συνθήκες αποτελούν προϋποθέσεις για την επίτευξη στρωτής ροής νερού δια μέσου κοκκωδών εδαφών υπό σταθερό υδροδυναμικό ύψος:

- α) Συνεχής ροή χωρίς μεταβολή του όγκου του εδάφους κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
- β) Κατά τη διάρκεια της ροής οι πόροι του εδάφους είναι κορεσμένοι με νερό και δε περιέχουν φυσαλίδες αέρα.
- γ) Ροή σταθερή με το χρόνο και με σταθερή υδραυλική κλίση.
- δ) Ευθεία αναλογία μεταξύ ταχύτητας ροής και υδραυλικής κλίσης που τηρείται κάτω από ένα όριο όπου αρχίζει τυρβώδης ροή.

Άλλα είδη ροής που περιλαμβάνουν μικρό κορεσμό των πόρων του εδάφους, τυρβώδη ροή και όχι σταθερές συνθήκες ροής, έχουν χαρακτηριστικά που είναι συνάρτηση του χρόνου. Επομένως στην περίπτωση αυτή απαιτούνται ειδικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαπερατότητας που είναι συνάρτηση του χρόνου.

### 1.2.3 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

#### A) Ειδικός εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Συσκευή Μετρήσεως Διαπερατότητας

Η συσκευή περιλαμβάνει κύλινδρο μέσα στον οποίο τοποθετείται το δοκίμιο. Η ελάχιστη διάμετρος του κυλίνδρου θα πρέπει να είναι 8 ως 12 φορές η μέγιστη διάμετρος του κόκκου που περιέχεται στο υπό εξέταση έδαφος.

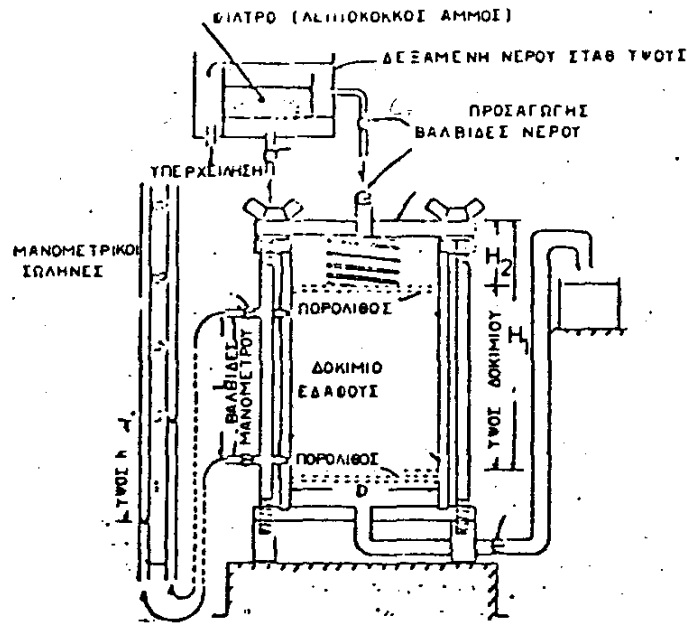
Η συσκευή περιλαμβάνει επίσης:

(α) Δίσκους πορολίθων (ή σχάρες), που έχουν μεγαλύτερη διαπερατότητα από αυτή που έχει το έδαφος, αλλά τα ανοίγματά τους είναι τέτοια, ώστε να μην επιτρέπουν την εισχώρηση κόκκων του εδάφους.

(β) Θέσεις για τη σύνδεση μανομέτρου, για τη μέτρηση πιέσεων σ' ένα μήκος τουλάχιστον ίσο προς την διάμετρο του δοκιμίου που χρησιμοποιείται.

(γ) Δίσκο με ελατήριο ή οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη συσκευή για την επιβολή μικρής πίεσεως, 22-45 N, πάνω στον πορόλιθο της επάνω επιφάνειας του δοκιμίου. Με τη μικρή αυτή πίεση διατηρείται η πυκνότητα του δοκιμίου στην αρχική της τιμή χωρίς σημαντική αλλαγή κατά τη διάρκεια κορεσμού του δοκιμίου ή κατά τη διάρκεια της δοκιμής, ώστε να ικανοποιείται η προϋπόθεση 2.1.1.

- Δεξαμενή νερού από την οποία τροφοδοτείται το δοκίμιο και μέσα στην οποία η στάθμη διατηρείται σταθερή. Με κατάλληλες προσαρμοσμένες βαλβίδες ελέγχου το δοκίμιο διατηρείται συνεχώς κορεσμένο, μετακινούνται δηλαδή οι φυσαλίδες του αέρα από το δοκίμιο προς τη δεξαμενή του νερού (σχήμα 1).

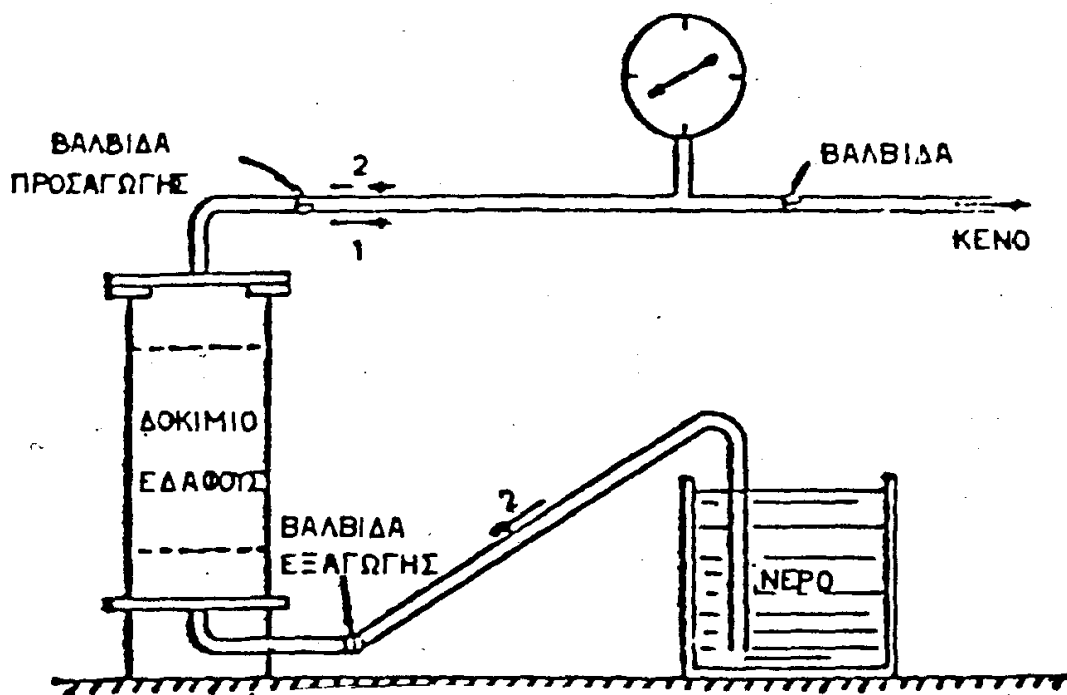


Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση δοκιμής υδροπερατότητας σταθερού ύψους.

- Συσκευή για τη συμπύκνωση του δοκιμίου

Ανάλογα με τη σύσταση του εδαφικού υλικού γίνεται και η συμπύκνωσή του, πριν από τη δοκιμή διαπερατότητας. Προκειμένου για χονδρόκοκκα εδάφη, άμμο ή αμμοχάλικα, η συμπύκνωση μπορεί να γίνει με δονητικές ή απλές ράβδους. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλή ράβδος σε συνδυασμό με πτώση μικρών βαρών που κυλούν πάνω στις ράβδους της τάξεως του 1 Kg από ύψος 10 ή 20 εκατοστά, ανάλογα αν πρόκειται για άμμους ή αμμοχάλικα.

- Διάταξη απαερισμού (εξαγωγή των φυσαλίδων αέρα από τους πόρους του δοκιμίου), και κορεσμού του δοκιμίου.  
Συνιστάται η χρησιμοποίηση αντλίας κενού, σχήμα 2.



Σχήμα 2. Διάταξη απαερισμού και κορεσμού δοκιμίου.

- Μανομετρικοί βαθμολογημένοι σωλήνες για τη μέτρηση της στήλης του νερού.

#### B) Γενικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Παροχή απεσταγμένου νερού.
- Παροχή κενού.
- Ζυγός ακριβείας 0.1 g.
- Φούρνος ξηράνσεως  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Θερμόμετρο ακριβείας  $0.1^{\circ}\text{C}$ .
- Χρονόμετρο.
- Χωνιά, πλαστικοί σωλήνες, σέσουλες, σφιγκτήρες, ξύλινα σφυριά, λεκάνες κλπ.

#### 1.2.4 Δείγμα

Κρίνεται σκόπιμη η χρησιμοποίηση αντιπροσωπευτικού δείγματος του υλικού που θα περιέχει ποσοστό λεπτόκοκκων (διερχόμενο από το κόσκινο No 200) λιγότερο από 10%. Γίνεται ξήρανση του δείγματος και η ποσότητα που απαιτείται παίρνεται με τη μέθοδο του τετραμερισμού.

Γίνεται κοκκομετρική ανάλυση του υλικού. Το χονδρόκοκκο υλικό, (διάμετρος κόκκων μεγαλύτερη από 19 mm), δε χρησιμοποιείται στην δοκιμή καταγράφεται όμως η ποσοστιαία αναλογία τέτοιου χονδρόκοκκου υλικού στο εξεταζόμενο δείγμα.

**Σημείωση:** Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι για τον προσδιορισμό του αντιπροσωπευτικού συντελεστή διαπερατότητας θα πρέπει να γίνουν δοκιμές σε λεπτόκοκκο, μέσο και χονδρόκοκκο υλικό.

Από το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο ανοίγματος 19 mm, παίρνεται δείγμα ίσο περίπου με το διπλάσιο του βάρους που απαιτείται για τη δοκιμή με τη μέθοδο του τετραμερισμού.

### **1.2.5 Προετοιμασία του δοκιμίου**

Η διάμετρος του κυλίνδρου που συνιστάται να χρησιμοποιηθεί και έχει σχέση με την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού, δίνεται στον πίνακα 1.

Μετρώνται και καταγράφονται η εσωτερική διάμετρος  $D$  του κυλίνδρου του διαπερατομέτρου και το μήκος  $L$  μεταξύ των μανομετρικών απαγωγών. Οι δύο πορόλιθοι τοποθετούνται στον πυθμένα του κυλίνδρου και μετράται το ύψος  $H_1$  από την άνω επιφάνεια του δίσκου μέχρι την άνω επιφάνεια του ανώτερου πορόλιθου τοποθετημένου, σε πρώτη φάση, πάνω στον κατώτερο πορόλιθο. Υπολογίζεται η επιφάνεια  $A$  του δοκιμίου.

Ζυγίζεται το υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή, ( $W_1$ ).

Το υλικό τοποθετείται μέσα στον κύλινδρο και συμπυκνώνεται κατά στρώσεις στην επιθυμητή σχετική πυκνότητα.

Το υλικό που περισσεύει ζυγίζεται, ( $W_2$ ) και έτσι προκύπτει το βάρος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή, ( $W = W_1 - W_2$ ).

Τοποθετείται ο ανώτερος πορόλιθος πάνω στο δοκίμιο που συμπίεζεται και περιστρέφεται ελαφρά ώστε να εξασφαλισθεί πλήρης επαφή του με το εδαφικό δείγμα.

Μετράται το ύψος  $H_2$  από την άνω επιφάνεια του δίσκου μέχρι την άνω επιφάνεια του ήδη τοποθετηθέντος ανώτερου πορόλιθου. Το τελικό ύψος του δοκιμίου  $H$  είναι ίσο με  $H_1 - H_2$ . Από το γνωστό βάρος,  $W$ , και όγκο ( $V = H \times A$ ) υπολογίζεται η πυκνότητα, (φαινόμενο βάρος) και ο δείκτης πόρων του δοκιμίου.

Ο δίσκος πιέζεται πάνω στο ελατήριο και σφηνώνεται στον κύλινδρο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται αεροστεγής σύνθεση.

Χρησιμοποιώντας αντλία κενού ή κατάλληλο εισπνευστήρα γίνεται απαερισμός του δοκιμίου. Ακολουθεί κορεσμός του δοκιμίου από τα κάτω προς τα πάνω ενώ εξακολουθεί να εφαρμόζεται κενό. Για τον κορεσμό συνιστάται η χρησιμοποίηση απεσταγμένου νερού.

Αφού έχει επιτευχθεί πλήρης κορεσμός του δοκιμίου κλείνεται η κατώτερη βαλβίδα προσαγωγής του νερού και αποσυνδέεται η αντλία κενού.

Ανοίγεται βαθμιαία η βαλβίδα προσαγωγής νερού της δεξαμενής σταθερού ύψους. Αφού γεμίσει ο σωλήνας μέχρι τη βαλβίδα προσαγωγής προς το δοκίμιο, ανοίγεται βαθμιαία και η δεύτερη βαλβίδα του κυλίνδρου, ενώ συγχρόνως ανοίγονται οι βαλβίδες απαγωγής προς τους μανομετρικούς σωλήνες, που επιτρέπουν την εισροή του νερού και επομένως την εκτόπιση του αέρα. Κλείνεται η βαλβίδα προσαγωγής νερού προς το δοκίμιο και αφήνεται να σταθεροποιηθεί η στάθμη του νερού μέσα στους μανομετρικούς σωλήνες με μηδενικό υδροδυναμικό ύψος.

Πίνακας 1. Διάμετρος κυλίνδρου (δοκίμιου)

Μέγιστη διάμετρος κόκκων	Ελάχιστη Διάμετρος Κυλίνδρου	
	Λιγότερο από 35% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο:	Περισσότερο από 35% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο:
Μεταξύ 2.00mm (No 10) και 9.5 mm	76 mm	114 mm
Μεταξύ 9.5 mm και 19.0 mm	152 mm	229



### 1.2.6 Πορεία της δοκιμής

Ανοίγεται η βαλβίδα προσαγωγής νερού από τη δεξαμενή σταθερού ύψους. Αφού σταθεροποιηθεί το ύψος του νερού μέσα στους μανομετρικούς σωλήνες, παίρνονται μετρήσεις του χρόνου,  $t$ , του μανομετρικού ύψους  $h$ , (διαφορά στάθμης στους μανομετρικούς σωλήνες), την ποσότητα ροής  $Q$  και θερμοκρασία του νερού,  $T$ .

Η δοκιμή επαναλαμβάνεται αυξάνοντας το σταθερό, (υδροδυναμικό), ύψος κατά 0.5 cm, έτσι ώστε να προσδιορισθεί με ακρίβεια η περιοχή της στρωτής ροής όπου η ταχύτητα  $u$ , ( $u = Q/A \times t$ ), είναι ανάλογη της υδραυλικής κλίσεως  $i$  ( $i = h/L$ ).

Μετά το τέλος της δοκιμής το δοκίμιο στραγγίζεται και εξετάζεται σε ποιο βαθμό ήταν ομοιογενές και ισότροπο. Τυχόν διαδοχικές άσπρες και σκουρόχρωμες ραβδώσεις είναι ένδειξη συγκεντρώσεως λεπτόκοκκου υλικού.

### 1.2.7 Υπολογισμοί

Ο συντελεστής διαπερατότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k = V \cdot L/A \cdot t \cdot h$$

όπου:

$k$  = Συντελεστής διαπερατότητας (cm/sec)

$V$  = Ποσότητα ροής του νερού (cm<sup>3</sup>)

$L$  = απόσταση μεταξύ των μανομέτρων (cm)

$A$  = επιφάνεια διατομής του δοκιμίου (cm<sup>2</sup>)

$t$  = ολικός χρόνος ροής (sec)

$h$  = Διαφορά ύψους στα μανόμετρα (cm)

Διόρθωση του συντελεστή, ( $k$ ), με αναφορά θερμοκρασία νερού 20°C, γίνεται πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή ( $k$ ) που έχει προσδιορισθεί, με το λόγο του ιξώδους νερού, υπό τη θερμοκρασία της δοκιμής, ως προς το ιξώδες του νερού σε 20°C.

### 1.2.8 Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

Κοκκομετρική διαβάθμιση του εδαφικού υλικού με ένδειξη της ποσοστιαίας περιεκτικότητας σε χονδρόκοκκα που δε χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή. Δείκτης πόρων, ξηρό φαινόμενο βάρος του δοκιμίου.

Παρατηρήσεις και σχόλια σχετικά με τις συνθήκες της δοκιμής.

### 1.3 Μεταβαλλόμενου φορτίου

#### 1.3.1 Γενικά

Με τη δοκιμή αυτή γίνεται ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας του εδάφους, χρησιμοποιώντας τη συσκευή διαπερατομέτρου μεταβαλλόμενου ύψους, όπου μετράται η παροχή του νερού  $Q$  και η υδραυλική κλίση,  $i$ . Το υδροδυναμικό ύψος του νερού μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας αργιλικών ή ιλυωδών εδαφών και λεπτόκοκκων άμμων με διαπερατότητες που κυμαίνονται μεταξύ  $10^{-2}$  ως  $10^{-8}$  cm/sec.

#### 1.3.2 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

##### A) Ειδικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Συσκευή μετρήσεως διαπερατότητας

(α) Η συσκευή περιλαμβάνει κύλινδρο μέσα στον οποίο τοποθετείται το δοκίμιο του εδάφους. Οι πιο συνήθεις διαστάσεις του κυλίνδρου είναι:

Διάμετρος = 10cm, Ύψος = 10 cm

Διάμετρος = 7.5cm, Ύψος = 10 cm

Διάμετρος = 7.5cm, Ύψος = 7.5 cm

(β) Δίσκοι πορολίθων ή σχαρών που τοποθετούνται στη βάση και στην άνω επιφάνεια του δοκιμίου. Η διάμετρος των βροχίδων στις σχάρες θα πρέπει να είναι ίση με την του κόσκινου No 200.

(γ) Θάλαμος μέσα στον οποίο τοποθετείται ο κύλινδρος που περιέχει το δοκίμιο. Η βάση του θαλάμου είναι δίσκος από διάτρητο ανοξειδωτο μέταλλο και συνδέεται με τον άνω δίσκο του θαλάμου με κατακόρυφες ράβδους και κοχλίες.

(δ) Δοχείο που περιέχει απεσταγμένο νερό όπου διατηρείται ο κύλινδρος του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

(ε) Βαθμολογημένος κύλινδρος χωρητικότητας 50mL.

- Διάταξη απαερισμού και κορεσμού του δοκιμίου. Συνιστάται η χρήση αντλίας κενού.
- Μανομετρικοί σωλήνες με διαφορετικές διαμέτρους, βαθμολογημένοι με τρία σημεία τουλάχιστον.
- Δεξαμενή νερού απ' όπου τροφοδοτείται το δοκίμιο.

## **B) Γενικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός**

- Παροχή απεσταγμένου νερού.
- Παροχή κενού.
- Ζυγός ακριβείας.
- Φούρνος ξηράνσεως.
- Θερμόμετρο ακριβείας
- Χρονόμετρο.
- Χωνιά, πλαστικοί σωλήνες, σέσουλες, σφιγκτήρες, μαχαίρια, ξύλινα σφυριά, κάψες, λεκάνες κλπ.

### **1.3.3 Προπαρασκευή του Δοκιμίου**

#### **(α) Αδιατάρακτο δείγμα συνεκτικού εδάφους**

Από το αδιατάρακτο δείγμα μορφώνεται δοκίμιο τέτοιων διαστάσεων που να προσαρμόζεται ακριβώς στον κύλινδρο. Κατά τη μόρφωση του δοκιμίου καταβάλλεται προσπάθεια να μη διαταραχθεί το δείγμα. Το δοκίμιο τοποθετείται μέσα στο κύλινδρο, αποκόπτεται το άνω τμήμα του με κοφτερό μαχαίρι έτσι ώστε το δοκίμιο να είναι επίπεδο.

#### **(β) Διαταραγμένο δείγμα συνεκτικού εδάφους**

Αρχικά το δείγμα συμπυκνώνεται στην απαιτούμενη πυκνότητα. Η συμπύκνωση γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο Proctor, (πρότυπη ή τροποποιημένη) και μετά το δοκίμιο μορφώνεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως το αδιατάρακτο δείγμα.

#### **(γ) Δείγματα μη συνεκτικού εδάφους**

Δοκίμια μη συνεκτικών εδαφών, που υποβάλλονται σε δοκιμή διαπερατότητας μεταβλητού ύψους είναι κυρίως ιλύες και λεπτόκοκκοι άμμοι. Ο κύλινδρος που χρησιμοποιείται στη δοκιμή είναι συνήθως αυτός της πρότυπης δοκιμής Proctor. Εάν τα χαρακτηριστικά συμπυκνώσεως του υλικού είναι γνωστά το δείγμα μπορεί να συμπυκνωθεί στην απαιτούμενη πυκνότητα Proctor. Εναλλακτικά μπορεί να μετρηθεί η ποσότητα του ξηρού δείγματος που απαιτείται για την

πλήρωση του κυλίνδρου, ώστε να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη πυκνότητα. Στη συνέχεια το υλικό συμπτύκνεται στον κύλινδρο.

Για την ελάχιστη πυκνότητα το υλικό αδειάζεται με χωνί μέσα στον κύλινδρο.

Για τη μέγιστη πυκνότητα απαιτείται δόνηση του κυλίνδρου με το υλικό που περιέχει.

#### 1.3.4 Πορεία της Δοκιμής

- Στην περίπτωση συνεκτικού εδάφους, μικρά τμήματα του δείγματος χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας πριν από τη δοκιμή και του ξηρού φαινομένου βάρους στην αρχή της δοκιμής. Η ξηρά πυκνότητα μη συνεκτικού εδάφους προσδιορίζεται στο τέλος της δοκιμής με ξήρανση κ ζύγιση του δοκιμίου.

- Αφού το δοκίμιο τοποθετηθεί μέσα στον κύλινδρο, με τους δίσκους πορολίθων ή σχαρών στην άνω και κάτω επιφάνειά του, ο κύλινδρος τοποθετείται μέσα στο θάλαμο, όπου συναρμολογείται.

Ο θάλαμος τοποθετείται μέσα στο δοχείο 2.1.1 (δ), που γεμίζεται αργά, με απεσταγμένο νερό ενώ συγχρόνως ο άνω δίσκος του θαλάμου συνδέεται, μέσω πλαστικού σωλήνα, (ένα τμήμα του οποίου είναι διαφανές), με μικρό κενό, περίπου 7 έως 10 KPa. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ο κορεσμός του δοκιμίου με απεσταγμένο νερό. Το κενό εφαρμόζεται μέχρις ότου σταματήσουν να φαίνονται φυσαλίδες αέρα μέσα στο σωλήνα που συνδέεται με το κενό. Εφαρμογή μεγάλου κενού θα πρέπει να αποφεύγεται, επειδή προκαλεί διατάραξη του υλικού.

- Το κορεσμένο δοκίμιο συνδέεται, μέσω πλαστικού σωλήνα γεμάτου με απεσταγμένο νερό, με ένα από τους μανομετρικούς σωλήνες που είναι επίσης γεμάτος με απεσταγμένο νερό μέχρι την ανώτερη βαθμολόγησή του. Με τη ροή του νερό από το μανομετρικό σωλήνα προς το δοκίμιο η στάθμη πέφτει από το ύψος H1 στο ύψος H2. Ο μανομετρικός σωλήνας ξαναγεμίζεται ως τη στάθμη H1 και η δοκιμή επαναλαμβάνεται για ακόμα 2 ή 3 φορές. Σε κάθε δοκιμή μετράται ο χρόνος που απαιτείται για την πτώση της στάθμης του νερού από το ύψος H1 στο H2.

### 1.3.5 Υπολογισμοί

Τα στοιχεία που μετρούνται και καταγράφονται κατά τη δοκιμή είναι:

$L$  = μήκος του δοκιμίου, cm

$A$  = διατομή δοκιμίου,  $\text{cm}^2$

$a$  = διατομή του μανομετρικού σωλήνα,  $\text{cm}^2$

$H_1$  = αρχική στάθμη του νερού στο μανομετρικό σωλήνα, (στο χρόνο  $t_1$ )

$H_2$  = στάθμη του νερού στο μανομετρικό σωλήνα στο τέλος μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (στο χρόνο  $t_2$ )

$t_1$  = χρόνος ενάρξεως της δοκιμής, sec

$t_2$  = χρόνος που αντιστοιχεί στη στάθμη  $H_2$ , sec.

Ο συντελεστής διαπερατότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = (2,3026 \cdot a \cdot L) / [(A \cdot (t_2 - t_1)) \cdot \log_{10} (H_1 / H_2)] \text{ cm/sec}$$

όπου: 2,3026 = συντελεστής μετασχηματισμού του  $\log_e$  σε  $\log_{10}$ .

## Κυψέλες Διαπερατότητας σταθερού φορτίου

*Constant Head Permeability Cells*



Κελί διαπερατότητας με μανομετρικούς σωλήνες κ δεξαμενές νερού (σταθερού φορτίου)

*Constant Head Cell with manometer tubes and Constant Level Tank*



## Διάταξη Διαπερατομέτρου μεταβλητού φορτίου

*Falling Head Permeability Cell with manometer tubes*





## 1.4 Επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας

### 1.4.1 Δοκιμή MAAG (μεταβλητού φορτίου, για λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά)

Η απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας είναι η δοκιμή Maag, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με χαμηλή διαπερατότητα.

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 2 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 πτώσεις της στάθμης θα γίνονται κάθε 2,5-5 εκατοστά. Οι μετρήσεις συνεχίζονται μέχρι το φορτίο να μη είναι περισσότερο από 1/5 του αρχικού.

Στο Σχήμα 2 δίνεται τυπική διάταξη δοκιμής μεταβλητού (πίπτοντος) φορτίου για τις περιπτώσεις που το δοκιμαζόμενο τμήμα βρίσκεται είτε πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (περίπτωση α) είτε κάτω από αυτήν (περίπτωση β).

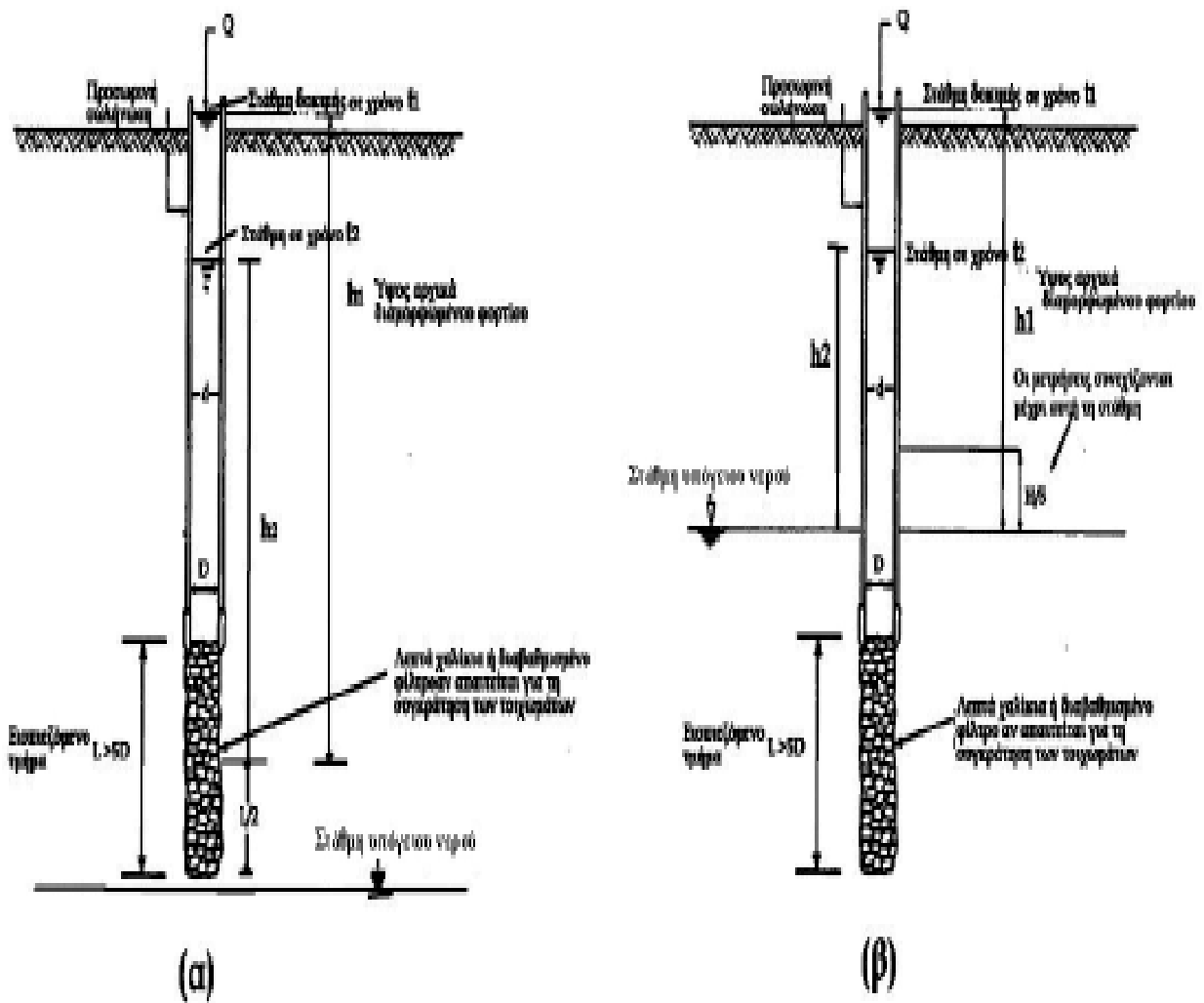
Γενικά ο συντελεστής  $k$  υπολογίζεται με βάση το γενικό τύπο:

$$k=A/Ft \text{ όπου:}$$

$A$  = η διατομή της γεώτρησης στο βάθος εκτέλεσης της δοκιμής,

$F$  = αδιάστατος παράγοντας σχετιζόμενος με τη γεωμετρία της δοκιμής,

$t$  = ο χρόνος εκτέλεσης της δοκιμής.



Σχήμα 2. Τυπική διάταξη δοκιμής μεταβλητού φορτίου (δοκιμή Maag) με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού, (α) κάτω από το εισπνεζόμενο τμήμα της γεώτρησης και (β) πάνω από αυτό.

Ο παράγοντας  $F$  υπολογίζεται με τη βοήθεια διαγραμμάτων, που σχετίζουν τους λόγους  $F/D$  και  $L/D$ .

Υπάρχουν διάφορες εκφράσεις του γενικού τύπου υπολογισμού του συντελεστή διαπερατότητας, όπως

$$k = (A/ct) \ln(h_1/h_2), \text{ όπου}$$

$A = \eta$  διατομή της στήλης του νερού μέσα στη γεώτρηση ( $\pi^2$  σε  $\text{cm}^2$ ),

$c =$  συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος, δηλαδή:

$c = 4\pi r$  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,

$c = 2d$  όταν η δοκιμή γίνεται στην επαφή υδροστεγανού – υδροπερατού σχηματισμού,

$c = 2\pi L/\ln(2L/D)$  όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου  $D$  και μήκους  $L$  με σχέση  $L \geq 5D$ , και τέλος,

$c = 2\pi L/\sin h^{-1}(L/D)$  όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου  $D$  και μήκους  $L$  με σχέση  $5D > L > D/2$ .

$t$  = ο χρόνος πτώσης της στάθμης του νερού σε  $cm$ ,

$h_1$  = το αρχικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς,

$h_2$  = το τελικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς.

Σαν επίπεδο αναφοράς λαμβάνεται η υδροστατική στάθμη, όταν η δοκιμή γίνεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και προκειμένου για δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου  $D$  και μήκους  $L$  με σχέση  $L \geq 5D$ , ο υπολογισμός μπορεί να γίνει βάσει του παρακάτω τύπου:

$$k = [(D/L) * \ln(4L + 4D/D)] * [(1/8) * (D/T_i) * \ln h_0/h_1]$$

όπου  $k$  = συντελεστής διαπερατότητας σε  $cm/sec$

$D$  = εσωτερική διάμετρος σωλήνα ( $cm$ )

$L$  = ασωλήνωτο τμήμα ( $cm$ )

$T_i$  = χρόνος ( $sec$ )

$h_0$  = υδροστατική στάθμη ( $cm$ )

$h_1(h_0 - E)$  = υπέρ ή υποπίεση ( $cm$ ), όπου  $E$  = η δυναμική στάθμη στο τέλος της δοκιμής ( $cm$ ).

Από όλες τις παραπάνω αναφορές και σχολιασμούς διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα της δοκιμής εξαρτώνται κύρια από την καλή γνώση της υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού, αλλά και των ορίων των υδροφόρων και των μη υδροφόρων στρωμάτων. Γι' αυτό είναι προτιμότερο οι δοκιμές να εκτελούνται αφού έχει προηγηθεί η διερεύνηση της στρωματογραφίας της περιοχής έρευνας.

\*\* Όταν η δοκιμή γίνεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, σαν στάθμη αναφοράς θα λαμβάνεται η υδροστατική στάθμη.

#### **1.4.2 Δοκιμή LEFRANC (σταθερού φορτίου, για χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά)**

Σύμφωνα με τη μέθοδο Lefranc, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση χονδρόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με αυξημένη διαπερατότητα, διοχετεύεται με τη βοήθεια αντλίας νερό στη γεώτρηση έτσι ώστε να διατηρείται η στάθμη σε επιθυμητό ύψος και μετριέται η παροχή σε ορισμένο, προδιαγεγραμμένο χρόνο (π.χ. 5-20 min).

Γενικά ο υπολογισμός του συντελεστή διαπερατότητας εξαρτάται και εδώ από τη σχέση του εισπνεζόμενου τμήματος της γεώτρησης με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού.

Στο Σχήμα 3 δίνεται τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου για τις περιπτώσεις που το δοκιμαζόμενο τμήμα βρίσκεται είτε πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (περίπτωση a) είτε κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (περίπτωση b).

Γενικά ο συντελεστής  $k$  υπολογίζεται με βάση το γενικό τύπο:

$$k=Q/ch, \text{ όπου:}$$

$Q$  = η παροχή του νερού σε  $\text{cm}^3/\text{sec}$ ,

$c$  = συντελεστής σχετιζόμενος με τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος, ακριβώς όπως αναφέρεται στη δοκιμή Maag,

$h$  = το ύψος της φορτίζουσας στήλης, σε  $\text{cm}$ .

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

είναι η ακόλουθη:

$$k = \frac{Q}{2\pi * L * H * \ln L/r}, \text{ όπου:}$$

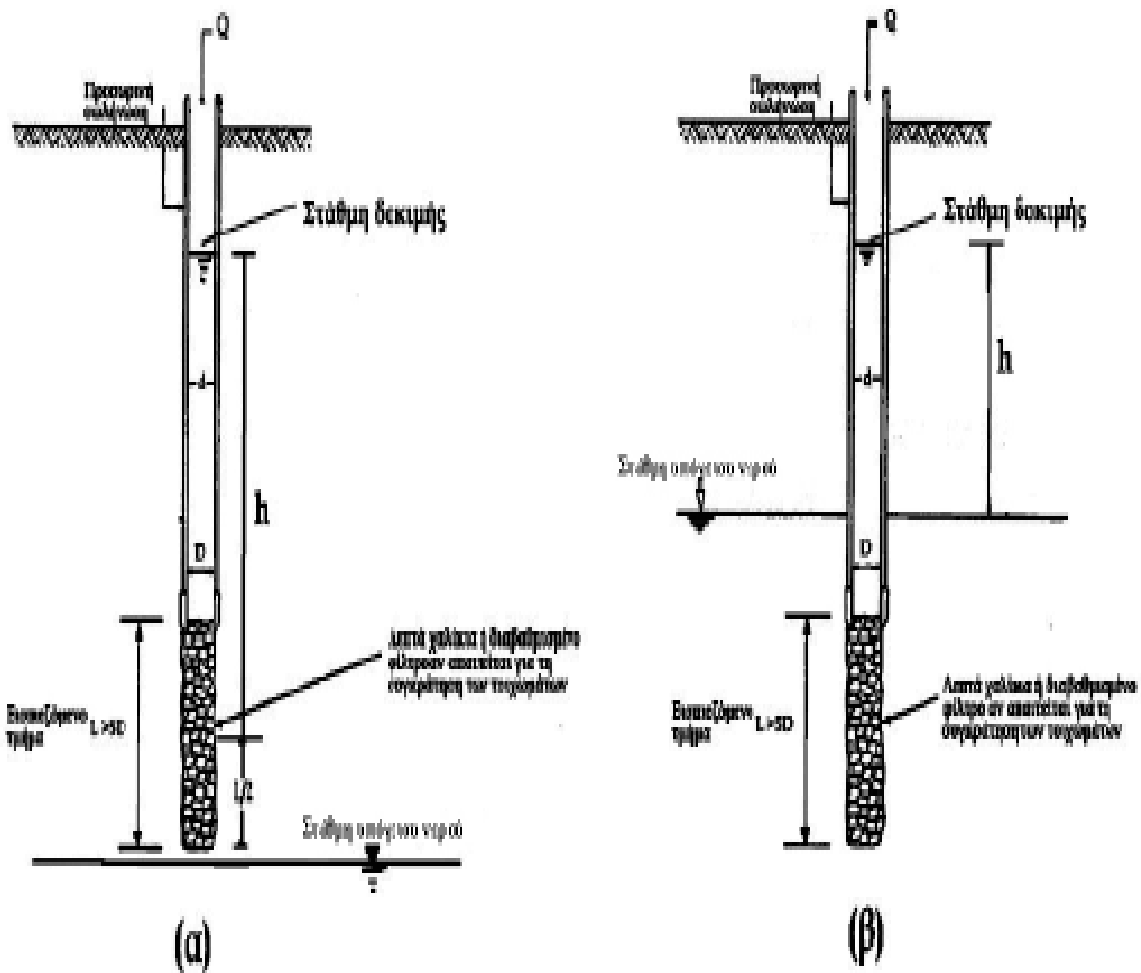
$k$  = συντελεστής διαπερατότητας σε cm/sec

$Q$  = παροχή (lit/min)

$L$  = ασωλήνωτο τμήμα (cm)

$H$  = πρόσθετο υδραυλικό φορτίο (cm)

$r$  = εσωτερική ακτίνα του σωλήνα (cm).



Σχήμα 3. Τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου (δοκιμή Lefranc) με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού, (α) κάτω από το εισπνεζόμενο τμήμα της γεώτρησης και (β) πάνω από αυτό.

### 1.4.3 ΔΟΚΙΜΗ LUGEON (για βραχώδεις σχηματισμούς )

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

Στη δοκιμή Lugeon το δοκιμαζόμενο τμήμα, μήκους συνήθως 3-5m, πάνω από τον πυθμένα της γεώτρησης, απομονώνεται από πάνω με κατάλληλο παρέμβυσμα (packer) το οποίο διογκούμενο με ειδική τεχνική, εφάπτεται ερμητικά με τα τοιχώματα της γεώτρησης, έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της δοκιμής να μην επιτρέπει διαφυγές νερού. Μετά την απομόνωση, εισπνέζεται νερό από την επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια αντλίας.

Ένα μανόμετρο, ένας υδρομετρητής και μία βαλβίδα ανακούφισης, προσαρμοσμένα σε κατάλληλο αεριοφυλάκιο (πιεστικό καζανάκι), επιτρέπουν την μέτρηση της ποσότητας νερού που απορροφήθηκε, για κάθε πίεση που εφαρμόστηκε. Η δοκιμή εκτελείται με την εφαρμογή πίεσης κατά βαθμίδες. Για κάθε σταθερή πίεση, η ποσότητα που απορροφάται μετريέται σε μια διάρκεια 5 ή καλύτερα 10min. Η δοκιμή γίνεται με την εφαρμογή κατάλληλα επιλεγμένων πιέσεων για το συγκεκριμένο τεχνικό έργο, σε αύξουσα σειρά μέχρι μια μέγιστη τιμή πίεσης και συνεχίζεται κατά φθίνουσα σειρά με πιέσεις αντίστοιχες της αύξουσας σειράς.

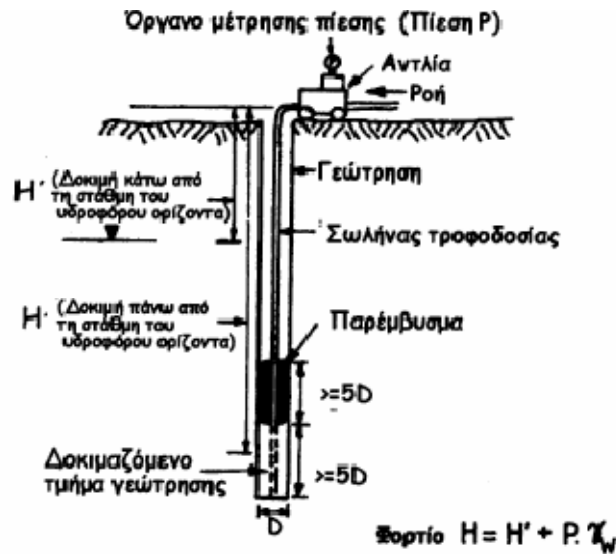
Στην πρόσθετη πίεση που εφαρμόζεται προστίθεται και η πίεση που δημιουργεί η στήλη της δοκιμής (για παράδειγμα δοκιμή σε βάθος 10 μέτρων επιφέρει αύξηση πίεσης κατά μία (1) ατμόσφαιρα), ενώ πρέπει να αφαιρούνται και οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών στην κίνηση του νερού μέσω του δικτύου της δοκιμής. Η τελευταίες είναι συνήθως πολύ μικρές και δύσκολο να μετρηθούν, οπότε και δεν λαμβάνονται υπόψη. Στο Σχήμα 4 δίνεται τυπική διάταξη δοκιμής Lugeon.

Η δοκιμή μπορεί να εκτελεστεί και σε ανιόντα βήματα μέσα σε γεώτρηση που έχει ήδη ανορυχθεί, με τη βοήθεια διπλών παρεμβυσμάτων (Packers), που διογκώνονται με τη βοήθεια παροχέτευσης σε αυτά πεπιεσμένου αέρα. Ακόμα, για να μην αντιμετωπίζονται προβλήματα απωλειών σε πολύ κερματισμένα πετρώματα, χρησιμοποιούνται συστήματα πολλαπλών παρεμβυσμάτων.

Συνήθως στα αποτελέσματα δίνεται η σχέση των απωλειών νερού από το δοκιμαζόμενο τμήμα και των εφαρμοζόμενων βαθμίδων πίεσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, ενώ οι μετρήσεις της υδροπερατότητας γίνονται σε μονάδες Lugeon.

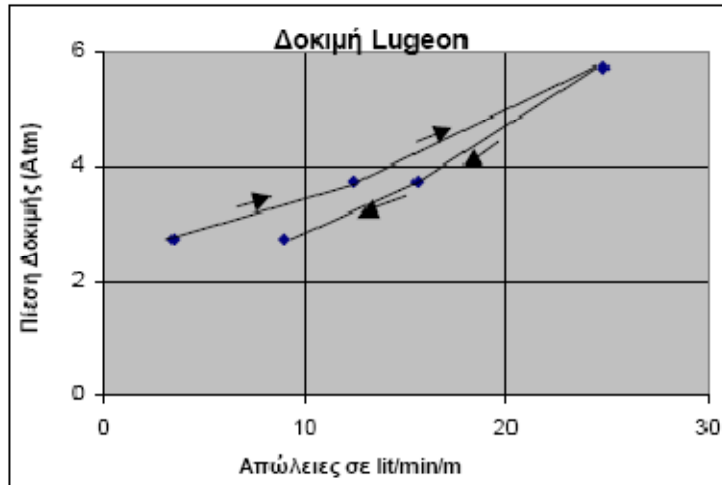
Μια μονάδα Lugeon, είναι η διαπερατότητα που έχει μια βραχώδης μάζα κάτω από πίεση 10 Atm (φορτίο 100m πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου

ορίζοντα), όταν ένα (1) m γεώτρησης διαμέτρου NX (76 mm) σε αυτή τη βραχομάζα επιτρέπει απώλειες ενός (1) λίτρου νερού ανά λεπτό.



Σχήμα 4. Τυπική διάταξη δοκιμής Lugeon απλού παρεμβύσματος με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού είτε πάνω από το εισπιεζόμενο τμήμα είτε κάτω από αυτό.

Εξυπακούεται ότι είναι πολύ δύσκολο η μέγιστη πίεση να ξεπεράσει τις 10 Atm για να έχουμε τις μονάδες Lugeon για το σχηματισμό που εξετάζεται, αλλά και η μετατροπή των μονάδων αυτών σε τιμές του συντελεστή διαπερατότητας k είναι πολύ δύσκολη λόγω των στοιχείων τυποποίησης της δοκιμής (δεν λαμβάνεται υπόψη πλήρως η γεωμετρία του εισπιεζόμενου τμήματος κλπ). Επί πλέον η έλλειψη ομοιογένειας στις κερματισμένες βραχομάζες μπορεί να οδηγήσει σε λάθος υπολογισμό του k. Εν τούτοις, για πρακτικούς λόγους εφαρμογής έχει καθιερωθεί ένας παράγοντας μετατροπής των μονάδων Lugeon σε τιμές συντελεστή k που εξισώνει ένα (1) Lugeon με  $10^{-5}$  cm/sec ( $10^{-7}$  m/sec).



Σχήμα 5. Διάγραμμα απωλειών για τις βαθμίδες πίεσης που εφαρμόστηκαν σε δοκιμή Lugeon.

Γενικά, έχουν διαμορφωθεί διάφοροι τύποι υπολογισμού του συντελεστή  $k$ , όπως αυτός που ακολουθεί:

$$k(\text{cm/sec})=Q/2\pi LP*\ln 2L/D, \text{ όπου } L \geq 5D$$

και:  $Q$  = οι απώλειες σε  $\text{cm}^3/\text{sec}$  (lit/min),

$L$  = το μήκος του εισπνεζόμενου τμήματος σε cm,

$P$  = η πίεση της δοκιμής σε cm (atm),

$D$  = η διάμετρος της οπής της γεώτρησης σε cm.

Τύποι σαν τον παραπάνω για τη μέτρηση του  $k$  χρησιμοποιούνται κυρίως για πορώδη πετρώματα ή πετρώματα με πολύ πυκνό δίκτυο λεπτών ρωγμών και δεν διαφέρουν από αυτούς της μεθόδου Lefranc, καθώς το πέτρωμα εξομοιώνεται με έδαφος αυξημένης περατότητας, αλλά εφαρμόζονται κατ' επέκταση και στις άλλες περιπτώσεις στην πράξη.

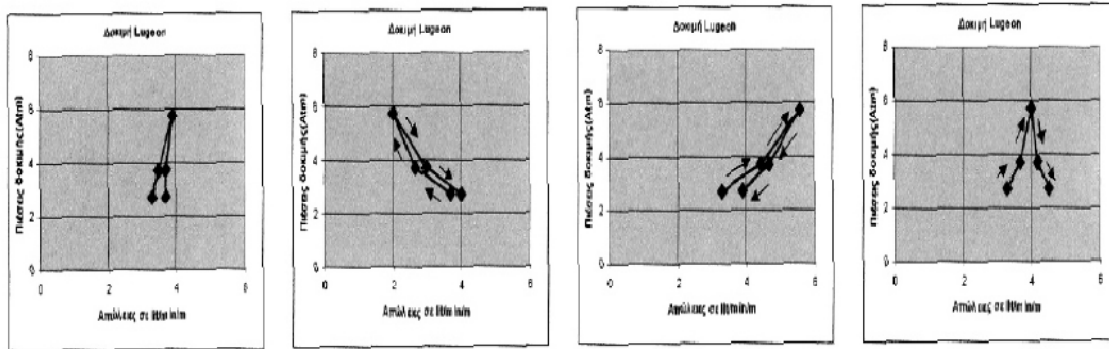
Γενικά η διαπερατότητα που μετράται κατά τη δοκιμή Lugeon σχετίζεται με τον αριθμό, το εύρος και το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών, αλλά και με τη συμπεριφορά αυτών κατά τη διάρκεια της δοκιμής, δηλαδή αν ξεπλένονται, αποφράσσονται, διαστέλλονται κλπ. Επιπρόσθετα υπάρχουν πέντε τιμές  $k$  για κάθε δοκιμή, δηλαδή όσες και τα βήματα αυτής.

Για το λόγο αυτό είναι πολύ χρήσιμο κατ' αρχήν από τις τιμές Lugeon για κάθε βήμα δοκιμής να καθορίζεται ο τύπος ροής και να περιγράφονται τα αποτελέσματα της δοκιμής. Έτσι, μπορεί να βρεθεί ο καλύτερος τρόπος υπολογισμού του συντελεστή διαπερατότητας. Στο Σχήμα 6 δίνονται διαγραμματικά οι πιθανοί τύποι ροής που μπορεί να προκύψουν κατά την



εκτέλεση μιας δοκιμής Lugeon, ενώ στον Πίνακα 1 (Houlsby, 1976) δίνεται ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή διαπερατότητας. Σύμφωνα με το συγγραφέα αυτό η τιμή Lugeon μπορεί να υπολογιστεί κατ' αρχήν από τη σχέση:

$L_{\text{Lugeon}} = \text{οι απώλειες νερού στη δοκιμή (σε lit/min m)} \times 10 \text{Atm/πίεση της δοκιμής (Atm)}$ .



Σχήμα 6. Τυπικές μορφές ροής που προκύπτουν από την εκτέλεση της δοκιμής Lugeon.

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

Πίνακας 1. Τύποι ροής, περιγραφή αποτελεσμάτων από τη δράση αυτών και καθορισμός του τρόπου προσδιορισμού της διαπερατότητας.

Οι μονάδες Lugeon ή και οι τιμές του k που προκύπτουν από αυτές για μια βραχομάζα αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην εκτίμηση των διαρροών κάτω από ένα τεχνικό έργο π.χ. φράγμα και κατ' επέκταση στον καθορισμό των μεθόδων περιορισμού των διαφυγών.

Σημειώνεται ότι ο χαρακτηρισμός της διαπερατότητας γίνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2 (Bulletin of IAEG, No19, pp364-371, 1979).

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>	<b>cm/sec</b>	<b>m/sec</b>
<b>Πολύ Υψηλής Υδροπερατότητας</b>	<b>&gt; 1</b>	<b>&gt; 10<sup>-2</sup></b>
<b>Υψηλής Υδροπερατότητας</b>	<b>1 - 10<sup>-2</sup></b>	<b>10<sup>-2</sup> - 10<sup>-4</sup></b>
<b>Μέσης Υδροπερατότητας</b>	<b>10<sup>-2</sup> - 10<sup>-3</sup></b>	<b>10<sup>-4</sup> - 10<sup>-5</sup></b>
<b>Χαμηλής Υδροπερατότητας</b>	<b>10<sup>-3</sup> - 10<sup>-5</sup></b>	<b>10<sup>-5</sup> - 10<sup>-7</sup></b>
<b>Πολύ Χαμηλής Υδροπερατότητας</b>	<b>10<sup>-5</sup> - 10<sup>-7</sup></b>	<b>10<sup>-7</sup> - 10<sup>-9</sup></b>
<b>Πρακτικά Αδιαπέρατος</b>	<b>&lt; 10<sup>-7</sup></b>	<b>&lt;10<sup>-9</sup></b>

Πίνακας 2. Κατηγορίες διαπερατότητας με βάση το συντελεστή k

Στον πίνακα 3 δίνεται το εύρος κύμανσης του συντελεστή διαπερατότητας  $k$  για μερικές από τις πλέον σημαντικές κατηγορίες εδαφών ή και βραχωδών μαζών.

100	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	
Καθάρ χάλικα	Καθαρές άμμοι & αμμο- χάλικα		Πολύ λεπτόκοκκες άμμοι, ιλύες & φυλλώδεις αργιλο- ιλύες.			Μη ρωγματωμένες άργιοι αργιλιούδες (με άργιο >20%)		Συνεκτικές άργιοι & χωρίς ρωγμάτωση			
	Ξηρές και ρωγματωμένες άργιοι										
Βραχομάζα πορωδών και σπηλαιωδών βασαλτών ή και σπηλαιωδών ανθρακικών πετρωμάτων		Βραχομάζα ψαμμιτών και κερματισμένων εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων		Βραχομάζα αργιολίθων, ιλολιθικών σχιστολίθων		και		Μαζώδη σχιστολιθικών & γρανιτικών πετρωμάτων			
Σχηματισμοί πολύ υψηλής έως υψηλής υδροπερατότητας				Σχηματισμοί υδροπερατότητας			πτώχης		Πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί		
1 Μονάδα Lugeon (1UL) πρακτικά ισοδυναμεί με $k = 1 \times 10^{-5}$ cm/sec											

Πίνακας 3. Κύμανση του συντελεστή διαπερατότητας (σε cm/sec) για διάφορες κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών.

### Αξιοποίηση δοκιμών με τη χρήση παρεμβυσμάτων

Οι δοκιμές με την εφαρμογή παρεμβυσμάτων είναι πολύ χρήσιμες για τον καθορισμό της διαπερατότητας βραχωδών μαζών και κατ' επέκταση των διαρροών σε περιοχές τεχνικών έργων όπως αυτά που αφορούν σε κατασκευές συγκράτησης νερού (π.χ. φράγματα, λιμνοδεξαμενές, κλπ). Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για τον καθορισμό της κατάστασης του κερματισμού μιας βραχομάζας .

Αναλυτικότερα, επικρατεί η άποψη ότι (Lugeon, 1932):

- 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 30m το αντίστοιχο αποδεκτό όριο είναι 3 U.L.

- Για πολύ μικρά φράγματα το όριο των 3U.L. πιστεύεται ότι είναι υπερβολικό. Στην περίπτωση αυτή πρέπει οι μέγιστες πιέσεις της δοκιμής να περιορίζονται οπωσδήποτε κάτω από τις 10 Atm (Μαρίνος, 1969, Antoine-Barbier, 1973).



1 Auger and prepare hole



2 Install Permeameter and fill with water



3 Record changing water level and calculate results

- 1 Διάνοιξη και προετοιμασία οπής
- 2 Τοποθέτηση Διαπερατομέτρου και πλήρωση με νερό
- 3 Καταγραφή επιπέδου νερού και υπολογισμοί

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ-ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΡΟΗ	ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ-ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΡΟΗ
$A_c = 0.9A_T \quad A_s = 0.1A_T$ $k_h = k_c \frac{A_c}{A_T} + k_s \frac{A_s}{A_T}$ $= 0.9k_c + 0.1k_s = 0.9 \cdot 10^{-8} + 0.1 \cdot 10^{-4}$ $= 0.1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$\frac{1}{k_v} = \frac{e L_c}{c \theta} \frac{1}{k_1} + \frac{e L_s}{c \theta} \frac{1}{k_2}$ $\frac{1}{k_v} = \frac{0.9}{k_c} + \frac{0.1}{k_s} = \frac{0.9}{1 \cdot 10^{-8}} + \frac{0.1}{1 \cdot 10^{-4}}$ $= 9.0 \cdot 10^7$ $k_v = 1.11 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
<p>Η οριζόντια διαπερατότητα είναι πιο κοντά σε αυτή της άμμου από τον άργιλο-στη πραγματικότητα είναι το 10% της διαπερατότητας άμμου.</p>	<p>Η κάθετη διαπερατότητα είναι πιο κοντά σε αυτή του αργίλου- μόνο 10% υψηλότερη.</p>

Για την περίπτωση όπου η άμμος είναι μόνο 1% του συνολικού πάχους, οι οριζόντιες κ κάθετες διαπερατότητες γίνονται	
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΟΗ-ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΡΟΗ	ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ-ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΡΟΗ
$k_h = 0.99k_c + 0.01k_s$ $= 0.99 \cdot 10^{-8} + 0.01 \cdot 10^{-4}$ $= 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ <p>Το λεπτό 1% στρώμα άμμου δίνει μια οριζόντια διαπερατότητα που είναι 100 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αργίλου.</p>	$\frac{1}{k_v} = \frac{0.99}{k_c} + \frac{0.01}{k_s} = \frac{0.99}{1 \cdot 10^{-8}} + \frac{0.01}{1 \cdot 10^{-4}}$ $= 9.9 \cdot 10^7$ $k_v = 1.01 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ <p>Το λεπτό στρώμα άμμου έχει την επίδραση μόνο 1%.</p>

## 1.5 ΝΟΜΟΣ DARCY, ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ, ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

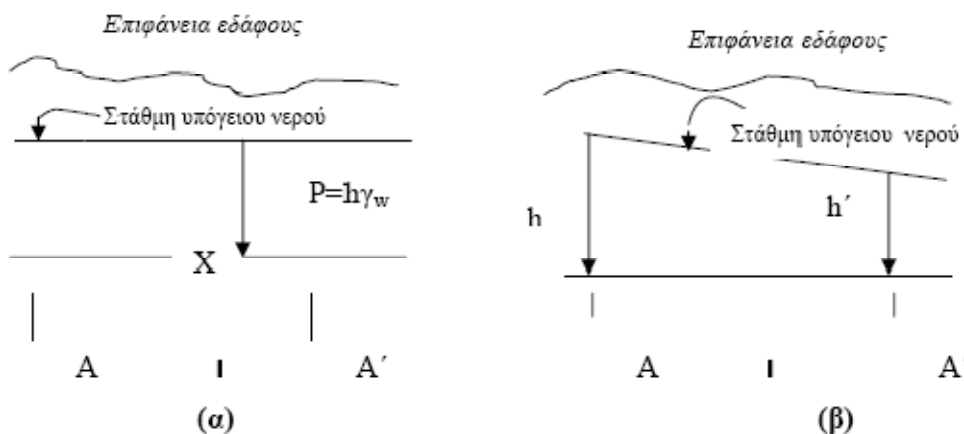
Όπως είναι γνωστό για να υπάρξει ροή ρευστού μέσα σε ένα κορεσμένο υλικό χρειάζεται η παρουσία υδραυλικού φορτίου, δηλαδή διαφορά στην υδροστατική πίεση.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει υδραυλική κλίση,  $i$ , (hydraulic gradient) σε οποιοδήποτε σημείο X του επιπέδου A-A, η πίεση P είναι ίση με το γινόμενο του h (ύψος στάθμης υπόγειου νερού) και του  $\gamma_w$  (πυκνότητα του νερού):

$$P = h\gamma_w \text{ (Σχήμα 1.5α),}$$

Αντίθετα όπου υπάρχει υδραυλική κλίση, η ποσότητα του νερού (Q) που ρέει μέσα από μια διατομή (A) ισούται με το συντελεστή διαπερατότητας (k) επί την υδραυλική κλίση (dh/dl), σύμφωνα με το νόμο του Darcy:

$$Q = -kA \cdot (dh/dl) \quad (\text{Σχήμα 1.5β})$$



Σχήμα 1.5 Υδροδυναμικό καθεστώς υπογείου νερού (α) χωρίς υδραυλική κλίση, (β) με υδραυλική κλίση.

Συνεπώς, οποιαδήποτε αύξηση είτε στην υδραυλική κλίση είτε στις διαστάσεις της διατομής A, θα επιφέρει αύξηση στη ποσότητα του νερού που ρέει.

Από το νόμο του Darcy φαίνεται ότι ο λόγος της ποσότητας (Q) του νερού που ρέει μέσα από συγκεκριμένη διατομή (A) σε συγκεκριμένο χρόνο, δια της διατομής αυτής, καθορίζει τη μέση ταχύτητα ροής (u), δηλαδή:

$$u = Q/A = -k \cdot (dh/dl)$$

ή με γενικευμένη μορφή:

$$u = ci$$

όπου

i = η υδραυλική κλίση (dh/dl) και

c = σταθερά, που εξαρτάται από δύο παράγοντες:

- το υλικό μέσο (μέγεθος πόρων, βαθμός διασύνδεσης-επικοινωνίας των πόρων κλπ)
- τις ιδιότητες του ρευστού (ιξώδες, πυκνότητα κλπ).

Στην περίπτωση που το κινούμενο ρευστό είναι το νερό, τότε και μόνο τότε η σταθερά  $c$  ισούται με  $k$ , δηλαδή με την υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic conductivity) ή όπως συνήθως καλείται, με το συντελεστή διαπερατότητας.

Συνεπώς θα πρέπει να διακρίνονται σαφώς:

Η εσωτερική ή πραγματική διαπερατότητα  $K$  η οποία είναι μια ιδιότητα του υλικού μέσου μεταβίβασης του ρευστού και ανεξάρτητη των ιδιοτήτων του ρευστού που "μεταβιβάζεται", και η υδραυλική αγωγιμότητα ή συντελεστής διαπερατότητας  $k$ .

Οι δύο αυτές ιδιότητες συνδέονται με τον τύπο:

$K = (k\mu/\rho g)$ , όπου

$K$  = Εσωτερική ή πραγματική διαπερατότητα του υλικού μέσου,

$k$  = Συντελεστής διαπερατότητας ή υδραυλική αγωγιμότητα,

$\mu$  = Δυναμικό ιξώδες ρευστού,

$\rho$  = Πυκνότητα ρευστού,

$g$  = Επιτάχυνση βαρύτητας.

Ο συντελεστής διαπερατότητας, για την περίπτωση του νερού μετράται σε  $m/day$ ,  $m/sec$ ,  $cm/sec$ , δηλαδή έχει διαστάσεις ταχύτητας.

Οι καλύτερες προσεγγίσεις της τιμής του συντελεστή διαπερατότητας γίνονται με τη βοήθεια δοκιμών άντλησης (pumping out tests) σε υδρογεωτρήσεις, όπου η άντληση γίνεται σε μία κύρια γεώτρηση και η παρατήρηση του κώνου πτώσης της στάθμης του νερού στις διάφορες αυτές γεωτρήσεις και ο βαθμός σταδιακής ανόδου της υδροστατικής στάθμης.

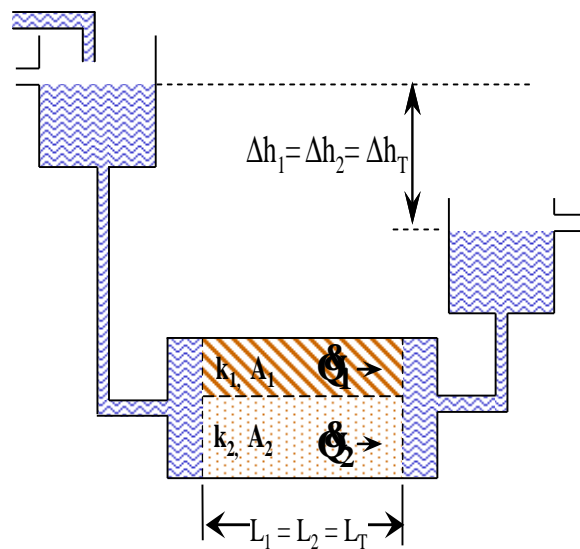
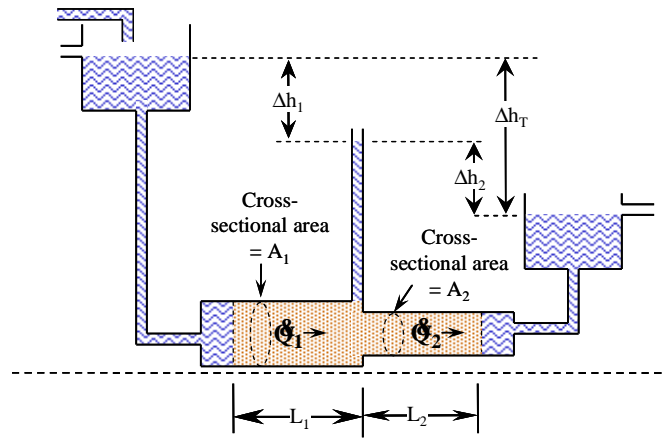
Καθώς οι μέθοδοι αυτοί είναι δαπανηρές και χρονοβόρες, για τις ανάγκες των τεχνικών έργων, ο υπολογισμός του συντελεστή διαπερατότητας γίνεται:

(α) κατ' εκτίμηση με εμπειρικούς τύπους και διαγράμματα,

(β) με τη χρήση περατομέτρων σταθερού ή πίπτοντας φορτίου στο εργαστήριο και

(γ) στην ύπαιθρο με δοκιμές εισπίεσης (Pumping in tests).





## 1.6 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΙΣΠΙΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ (PUMPING IN TESTS)

Οι δοκιμές εισπίεσης νερού (Pumping in tests), αποτελούν τον καταλληλότερο τρόπο εκτίμησης του  $k$  και κυρίως για το τμήμα του υπεδάφους που βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, δηλαδή στην ακόρεστη ζώνη, στην περίπτωση των γεωτεχνικών μελετών και χαρακτηρίζονται από την ταχύτητα εκτέλεσης, τη δυνατότητα συχνής επανάληψης αυτών κατά τη διάρκεια της διάτρησης, αλλά και για την καλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Δε θα πρέπει πάντως να λησμονείται ότι η περατότητα ακόμα και σε ένα ομοιόμορφο σχηματισμό μεταβάλλεται από το ένα σημείο στο άλλο ή ότι η παρουσία στρωσιγένειας υποδηλώνει συνήθως διαφορετική περατότητα κατά

την οριζόντια και την κατακόρυφο. Έτσι συνήθως μετράται η περατότητα του πλέον υδροπερατού ορίζοντα. Εν τούτοις, καθώς δεν υπάρχει ικανοποιητική μέθοδος διαφοροποίησης της οριζόντιας από την κατακόρυφη διαπερατότητα, οι τιμές που λαμβάνονται στην ύπαιθρο θεωρούνται αντιπροσωπευτικές του εδαφικού στρώματος σαν σύνολο.

Κατά τις δοκιμές αυτές, είτε εισάγεται μέσα στη δειγματοληπτική γεώτρηση ποσότητα νερού και μετράται το επιβαλλόμενο φορτίο κάτω από δεδομένη πίεση είτε η στάθμη του νερού ανυψώνεται και καταγράφεται ο βαθμός πτώσης μέχρι τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Στη πρώτη περίπτωση πρόκειται για δοκιμές σταθερού φορτίου (Constant head test), ενώ στη δεύτερη για δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Falling head test).

## **1.7 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΕΣΣΙΟΜΕΤΡΟΥ**

### **1.7.1 Αντικείμενο της δοκιμής- Πεδίο εφαρμογής**

Η δοκιμή πρεσσιόμετρου είναι μια δοκιμή στατικής φορτίσεως του εδάφους επί τόπου, που πραγματοποιείται με τη βοήθεια μιας κυλινδρικής βολίδας με δυνατότητα ακτινικής διογκώσεως. Η δοκιμή αυτή αποβλέπει στην απόκτηση μιας σχέσεως τάσεως – παραμορφώσεως του εδάφους, με παραδοχή επιπέδου εντάσεως, και στον προσδιορισμό της οριακής αντοχής του.

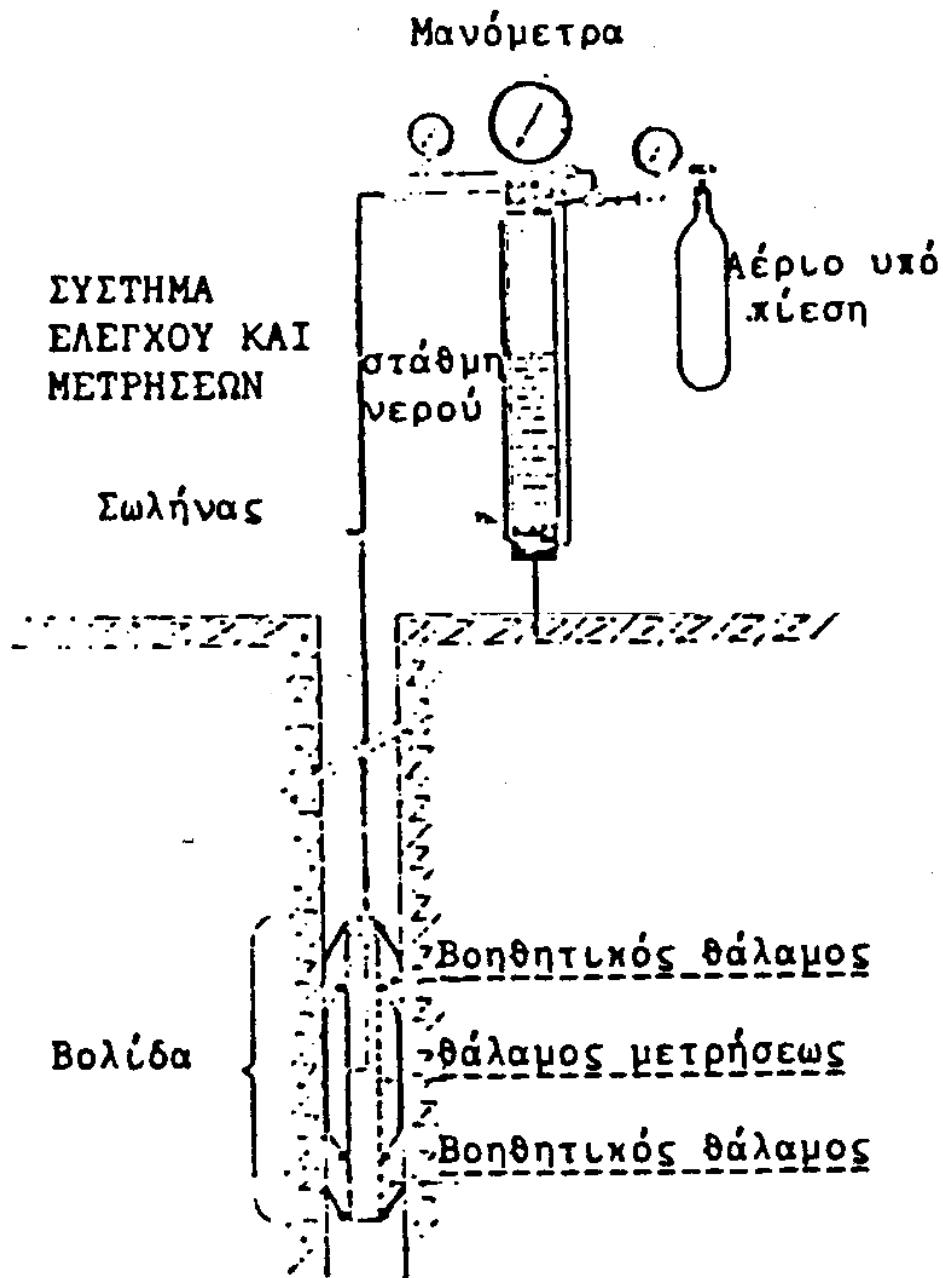
Η δοκιμή με κατάλληλη προσαρμογή εφαρμόζεται σε κάθε είδους έδαφος. Σε βραχώδη εδάφη η δοκιμή επιτρέπει να υπολογίσουμε ενδεικτικά το πρεσσιομετρικό μέτρο παραμορφώσεως αλλά γενικά δεν είναι δυνατή η επίτευξη της οριακής πρεσσιομετρικής πίεσης. (Προδιαγραφή Ε 102-84).

### **1.7.2 Θέση εκτέλεσης δοκιμής**

Η δοκιμή εκτελείται ως επί το πλείστον μέσα σε γεώτρηση που έχει διατηρηθεί από πριν, σε διάφορες στάθμες. Σε ειδικές περιπτώσεις ασταθών εδαφών (αμμοχάλικα κλπ.), η δοκιμή εκτελείται μέσα από σωλήνα με σχισμές παράλληλες προς τον άξονά του, ο οποίος εμπήγεται στο έδαφος μέχρι το απαιτούμενο βάθος με κρούσεις ή με τις διαδικασίες που περιγράφονται στις παρακάτω παραγράφους 6.3.α και 6.3.β.

### **1.7.3 Γενική περιγραφή της δοκιμής**

Μέσα στη γεώτρηση που έχει γίνει προηγουμένως, (ή στον σωλήνα με τις σχισμές που έχει εμπευχθεί εφ' όσον χρησιμοποιείται τέτοιος), εισάγεται η κυλινδρική πρεσσιομετρική βολίδα που έχει διάμετρο λίγο μικρότερη από εκείνη της γεωτρήσεως και τοποθετείται στη στάθμη που έχει επιλεγεί για τη δοκιμή. Η βολίδα συνδέεται με αγωγούς με δοχείο υγρού που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Από το δοχείο αυτό διοχετεύεται στη βολίδα υγρό με πίεση και μετράται η διαστολή της για διάφορες επιβαλλόμενες πιέσεις. Η γενική διάταξη της δοκιμής φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Γενική Διάταξη Πρεσσιομετρικής Δοκιμής.

#### 1.7.4 Συσκευές και Όργανα

Το πρεσσιόμετρο αποτελείται από δύο κύρια βασικά στοιχεία: (α) την πρεσσιομετρική βολίδα που είναι κυλινδρική με δυνατότητα ακτινικής διογκώσεως και που εισάγεται στη γεώτρηση στην επιθυμητή στάθμη δοκιμής

και (β) το σύστημα έλεγχου και μετρήσεων που παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους.

α. Πρεσσιομετρική βολίδα. Αυτή θα αποτελείται από τρεις ανεξάρτητους θαλάμους, ένα μεσαίο όπου διοχετεύεται υγρό με πίεση και χρησιμεύει για τις μετρήσεις και δύο ακραίους εκατέρωθεν αυτού, της ίδιας διαμέτρου, που είναι βοηθητικοί και χρησιμεύουν για να εξασφαλίζουν στο μεσαίο τμήμα συνθήκες ομοιόμορφης ακτινικής παραμορφώσεως. Στους βοηθητικούς θαλάμους συνήθως διοχετεύεται υγρό ή αέριο υπό πίεση.

Η πρεσσιομετρική βολίδα θα έχει διάμετρο 40-80mm και μήκος 40-80cm.

Το μήκος του θαλάμου μετρήσεως θα είναι τουλάχιστον ίσο προς το τριπλάσιο της ονομαστικής του διαμέτρου και μικρότερο από 50cm.

Το μήκος κάθε βοηθητικού θαλάμου θα είναι τουλάχιστον ίσο με 1.5 φορά την ονομαστική διάμετρο της βολίδας.

Η βολίδα θα προστατεύεται με μανδύα από ελαστικό ή/και από εύκαμπτες μεταλλικές λωρίδες και θα έχει την ικανότητα να αντέξει σε πιέσεις τουλάχιστον 25at.

β. Σύστημα ελέγχου και μετρήσεων.

Αυτό θα περιλαμβάνει:

- Δοχείο με υγρό περιεκτικότητας  $1000 \text{ cm}^3$  τουλάχιστον.
- Φιάλη αερίου υπό πίεση.
- Ογκομετρικό κανόνα, (βαθμολογημένο διαφανή πλαστικό σωλήνα), με ικανότητα μετρήσεως μεταβολών όγκου  $0.01 \text{ cm}^3$ .
- Μανόμετρα μετρήσεως της πίεσεως αερίου και υγρού ικανότητας τουλάχιστον 25 at.
- Αγωγούς συνδέσεως της βολίδας με το σύστημα ελέγχου ικανούς να αντέξουν σε πιέσεις τουλάχιστον 25 at.

### 1.7.5 Προσωπικό

Για την εκτέλεση της δοκιμής εκτός από το υπόλοιπο προσωπικό που διατίθεται από το γεωτρύπανο, θα υπάρχει ειδικευμένος χειριστής και ειδικευμένος εργοδηγός εκπαιδευμένοι για τέτοιου είδους δοκιμές.

### 1.7.6 Διάτρηση της οπής

- Η διάτρηση της πρεσσιομετρικής γεωτρήσεως πρέπει να γίνει με μέσα που θα εξασφαλίσουν την ελάχιστη δυνατή διατάραξη του εδάφους στα τοιχώματα της οπής. Οι συνηθισμένες καροταρίες που χρησιμοποιούνται για τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις δεν είναι πάντα κατάλληλες για πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις επειδή προκαλούν διατάραξη στα τοιχώματα λόγω της μικρής ταχύτητας προχωρήσεως, της κυκλοφορίας νερού με πίεση μεταξύ των τοιχωμάτων καροταρίας και οπής και των κραδασμών των στελεχών. Γι' αυτό συνιστάται η διάνοιξη ιδιαίτερων γεωτρήσεων με αποκλειστικό σκοπό την εκτέλεση των πρεσσιομετρικών δοκιμών.
- Όταν πρόκειται για λεπτόκοκκα εδάφη, (ιλύες, άργιλοι), η διάνοιξη της οπής μπορεί να γίνει με χειροκίνητη ή μηχανοκίνητη έλικα, (auger), περιστρεφόμενο τρίπτερο, ή γραναζωτό κοπτικό, « εν ξηρώ» ή με κυκλοφορία μπεντονικού αιωρήματος υπό χαμηλή πίεση, (ως 5 at). Σε πολύ στριφρές αργίλους και μάργες μπορεί να χρησιμοποιηθεί κρουστικό – περιστροφικό μηχάνημα με πεπιεσμένο αέρα ή με κυκλοφορία μπεντονικού αιωρήματος με χαμηλή πίεση. Απαγορεύεται τελείως η διάτρηση με κυκλοφορία καθαρού νερού.
- Όταν πρόκειται για χονδρόκοκκα εδάφη, (άμμοι, αμμοχάλικα), μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ίδια διατρητικά μέσα με αιώρημα μπεντονίτη. Εάν παρ' όλα αυτά δεν είναι σταθερές οι παρειές και υπάρχουν καταπτώσεις, επιτρέπεται η έμπηξη της βολίδας με κρούσεις, πίεση ή ελαφρά δόνηση μέχρι το επιθυμητό βάθος. Στην περίπτωση αυτή η βολίδα προστατεύεται με ένα σωλήνα που φέρει στο τοίχωμά του σχισμές παράλληλες προς τον άξονά του, για να επιτρέπουν την ακτινωτή διεύρυνση. Οι σχισμές θα είναι τουλάχιστον 6 κατά την περιφέρεια του σωλήνα και θα εκτείνονται σε μήκος διπλάσιο τουλάχιστον από το μήκος της βολίδας. Σε πολύ πυκνά κοκκώδη εδάφη όπου η έμπηξη του σωλήνα με τις σχισμές δεν είναι δυνατή, θα εφαρμόζεται προδιάτρηση, σύμφωνα με μια από τις ακόλουθες διαδικασίες:

α) Θα γίνεται γεώτρηση μεγάλης διαμέτρου με προσωρινή σωλήνωση μέχρι μια στάθμη λίγο ψηλότερη από εκείνη της δοκιμής. Από τον πυθμένα αυτής της γεωτρήσεως, θα γίνεται καθοδηγητική οπή με καροταρία εξωτερικής διαμέτρου όσης περίπου είναι η διάμετρος της βολίδας και σε βάθος ενός μήκους βολίδας κάτω από τη στάθμη δοκιμής. Στη συνέχεια θα εμπηγνύεται ο σωλήνας με τις σχισμές στην προδιατρηθείσα καθοδηγητική οπή με κρούσεις. Οι δοκιμές θα εκτελούνται μέσα από το σωλήνα καθώς η γεώτρηση θα προχωρά.

β) Ο σωλήνας με τις σχισμές και με ανοιχτό το κάτω του άκρο, προσαρμοσμένος σε μια στήλη σωλήνων της ίδιας διαμέτρου, θα προωθείται με κρούσεις στο έδαφος, ακολουθώντας μια καθοδηγητική οπή που θα διανοίγεται με καροταρία μικρότερης διαμέτρου μέσα από τον σωλήνα και θα προηγείται ελαφρώς. Οι δοκιμές μπορούν για ευκολία να εκτελεστούν μετά το τέλος της διατρήσεως καθώς θα ανασύρεται η στήλη των σωλήνων.

Υπάρχουν πρεσσιόμετρα στα οποία η προδιάτρηση της οπής γίνεται με ειδικό εργαλείο το οποίο φέρει η ίδια η πρεσσιομετρική βολίδα, (self – boring pressuremeter). Στην περίπτωση αυτή θα ακολουθούνται αυστηρά οι οδηγίες του κατασκευαστή του οργάνου σε ότι αφορά το πεδίο εφαρμογής του.

Η διάμετρος της οπής, (η του σωλήνα με τις σχισμές), μέσα στην οποία πρόκειται να εκτελεστούν πρεσσιομετρήσεις θα είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο της βολίδας κατά 2-6 mm.

Σε περίπτωση που η διάμετρος των γεωτρήσεων είναι πολύ μεγαλύτερη από την διάμετρο της βολίδας θα πρέπει να γίνεται η διάτρηση στην εκάστοτε στάθμη μέτρησης με διατρητικό μηχάνημα κατάλληλης διαμέτρου και μήκος λίγο μεγαλύτερο από το μήκος της βολίδας.

**Πίνακας 1: Κατάλληλες διάμετροι βολίδας σε σχέση με τη διάμετρο της γεωτρήσεως.**

Κώδικας DCDMA	Διάμετρος Βολίδας (mm)	Διάμετρος της γεωτρήσεως (mm)	
		Ελάχιστη	Μέγιστη
EX	32	34	38
AX	44	46	52
BX	58	60	66
NX	70/74	74	80

Στον πίνακα 1 φαίνονται οι κατάλληλες διάμετροι της βολίδας σε σχέση με την διάμετρο της γεωτρήσεως για συνήθεις πρεσσιομετρικές βολίδες.

### **1.7.7 Εκτέλεση της Πρεσσιομετρικής Δοκιμής**

Η δοκιμή θα πρέπει να εκτελείται μέσα σε χρόνο 24 ωρών το πολύ από τη διάτρηση της οπής, εκτός εάν δεν υπάρχει κίνδυνος αλλοιώσεως του εδάφους λόγω απορροφήσεως νερού, (π.χ. διάτρηση με χειροκίνητη έλικα ή με χρήση αέρος, πάνω από τη στάθμη του υπόγειου νερού), οπότε μια καθυστέρηση μερικών ημερών είναι ανεκτή.

Πριν από την έναρξη των δοκιμών γίνεται πλήρωση του ογκομετρικού συστήματος, όπου συμπεριλαμβάνονται οι αγωγοί και ο θάλαμος μετρήσεως της βολίδας, με υγρό, (συνήθως νερό με ή χωρίς χρωστική και με αντιψυκτικό σε περίοδο παγετού) και επιμελημένη εξαέρωση.

Στη συνέχεια ο χειριστής διενεργεί την βαθμολόγηση της συσκευής με την παρακάτω διαδικασία:



- Διόρθωση όγκου

Για τον έλεγχο διαρροών και/ή παρασιτικών μεταβολών όγκου λόγω διογκώσεως των σωληνώσεων και του όλου κυκλώματος του υγρού, γίνεται βαθμονόμηση της πρεσσιομετρικής συσκευής με εκτέλεση μιας δοκιμής μέσα σε ένα χώρο γνωστών διαστάσεων και ελαστικής συμπεριφοράς π.χ. χαλυβδοσωλήνα με χοντρά τοιχώματα. Για τις πιέσεις που εφαρμόζονται σε εδάφη, δηλαδή μέχρι 25 at η παραμόρφωση του χαλύβδινου σωλήνα είναι συνήθως αμελητέα. Η βαθμονόμηση αυτή θα πρέπει να γίνεται μετά από κάθε αλλαγή που τυχόν επέρχεται στο σύστημα π.χ. στο μήκος των αγωγών, στα χρησιμοποιούμενα όργανα, στο χρησιμοποιούμενο υγρό και στις σημαντικές αλλαγές θερμοκρασίας. Σχεδιάζει η καμπύλη μεταβολής του όγκου συναρτήσει των πιέσεων και λαμβάνεται υπόψη στη διόρθωση της πρεσσιομετρικής καμπύλης.

- Διόρθωση πιέσεων

Το πρεσσιόμετρο θα πρέπει επίσης να βαθμονομείται για απώλειες πίεσεως λόγω της αντιστάσεως σε διεύρυνση του προστατευτικού ελαστικού μανδύα ή των προστατευτικών μεταλλικών λωρίδων ή του σωλήνα με τις σχισμές, (ότι κατά περίπτωση εφαρμόζεται).

Η διόρθωση συνίσταται στην εκτέλεση μιας πλήρους πρεσσιομετρικής δοκιμής έξω από το έδαφος.

Η βολίδα τοποθετείται κατακόρυφα δίπλα από το σύστημα ελέγχου και μετρήσεων και αυξάνουμε τις πιέσεις με 10 βαθμίδες της τάξεως των 10 KPa περίπου, μετρώντας την ανάλογη μεταβολή του όγκου.

Η διόρθωση αυτή εκτελείται απαραίτητα κάθε φορά που γίνεται αλλαγή της μεμβράνης της βολίδας ή τουλάχιστον μια φορά σε κάθε 10 δοκιμές.

- Αφού τοποθετηθεί μηδενική ογκομετρική ανάγνωση, και χωρίς να επιτρέπεται εισροή νερού στη βολίδα, ώστε να αποφευχθεί η διόγκωση του κεντρικού θαλάμου λόγω υδροστατικής πίεσεως, εισάγεται η τελευταία στη γεώτρηση και κατεβάζεται στο επιθυμητό βάθος με βοήθεια λεπτών στελεχών ή συρματόσχοινου και του γεωτρύπανου.

Όταν η βολίδα βρεθεί στο προδιαγεγραμμένο βάθος απελευθερώνεται η πίεση του υγρού. Με τη πίεση αυτή διαστέλλεται η βολίδα και αποκαθίσταται πλήρης επαφή με τα τοιχώματα της οπής. Η αντίστοιχη μεταβολή όγκου σημειώνεται. Στη συνέχεια επιβάλλεται φόρτιση κατά στάδια. Η πίεση αυξάνεται σταδιακά σε δέκα ίσες βαθμίδες (6 έως 14 βαθμίδες είναι ανεκτές), μέχρι το σημείο θραύσεως. Κάθε βαθμίδα πίεσεως θα διατηρείται επί 1 min και θα λαμβάνονται

αναγνώσεις των ογκομετρικών παραμορφώσεων στα 15 sec, 30 sec και 60 sec. Κατά τη διάρκεια κάθε βαθμίδα φορτίσεως θα παρακολουθείται η πίεση συνεχώς και θα γίνονται διορθώσεις εάν χρειαστεί ώστε να διατηρείται σταθερή τιμή.

Οι παραμορφώσεις του εδάφους μετρούνται από την μεταβολή του όγκου του υγρού στη βολίδα μέσω των αναγνώσεων επί της ογκομετρικής κλίμακας της συσκευής.

Οι πιέσεις από τη βολίδα προς το έδαφος μετρούνται από την πίεση του υγρού στο δοχείο μέσω των μανομέτρων και συνυπολογίζεται η πρόσθετη πίεση από τη στήλη του υγρού μέσα στους αγωγούς, από την στάθμη του μανομέτρου μέχρι τη στάθμη της βολίδας, ενώ αφαιρείται η υδροστατική πίεση του υπογείου νερού, αν υπάρχει.

**Σημείωση 1:** Το μέγεθος των βαθμίδων πίεσεως εξαρτάται από το έδαφος. Συνήθως λαμβάνεται το 1/10 της οριακής πρεσσιομετρικής πίεσης.

Η δοκιμή διακόπτεται όταν ο όγκος της κοιλότητας του εδάφους που αντιστοιχεί στο θάλαμο μετρήσεως της βολίδας διπλασιασθεί ή, (αν οι παραμορφώσεις είναι μικρές), όταν η πίεση φθάσει τις 20-25 at.

Εφόσον ο εργοδότης το επιθυμεί, είναι δυνατόν, όταν η πίεση φθάσει σε ένα στάδιο όπου οι μεταβολές του όγκου είναι αισθητά γραμμικές, (ψευδοελαστική φάση, βλ. Σχ. 2), αλλά οπωσδήποτε πριν από την απότομη αύξηση του ρυθμού των παραμορφώσεων, να εκτελεστεί αποφόρτιση και επαναφόρτιση σε ένα ή περισσότερους κύκλους. Εξάλλου κατ' εντολή του εργοδότη είναι δυνατόν ορισμένα στάδια πίεσεων να επιβληθούν επί χρόνο μεγαλύτερο του 1 min. Στην περίπτωση αυτή οι μετρήσεις θα συνεχιστούν όσο χρειαστεί, και η αποζημίωση όλης της δοκιμής θα γίνει με βάση τον ολικό χρόνο διάρκειάς της.

Συνιστάται η συχνότητα των δοκιμών πρεσσιομέτρου μέσα στην ίδια γεώτρηση να μην είναι μικρότερη από 1 δοκιμή ανά 1,50 m.(κατά προτίμηση 1 δοκιμή ανά 1 m).

### **1.7.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Αμέσως μετά το τέλος της δοκιμής συντάσσεται δελτίο στο οποίο αναφέρονται:

- α) Η ημερομηνία και η ώρα διεξαγωγής της δοκιμής.
- β) Ο αριθμός και η θέση της γεωτρήσεως.

γ) Ο αριθμός και η θέση της δοκιμής μέσα στη γεώτρηση.

δ) Οι εκτελέσαντες τη δοκιμή.

ε) Οι ενδείξεις των μανομέτρων και της ογκομετρικής κλίμακας.

στ) Στοιχεία βαθμονομήσεως του κυκλώματος των μανομέτρων και της επιρροής της ελαστικής μεμβράνης της βολίδας.

ζ) Στοιχεία συμβάντων κατά τη διάρκεια της δοκιμής που μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Το δελτίο αυτό θα υποβληθεί υπογεγραμμένο από τους εκπροσώπους του εργοδότη και του ανάδοχου στην επιβλέπουσα υπηρεσία το αργότερο μέσα σε 3 ημέρες από το τέλος της δοκιμής.

Στη σχετική έκθεση της δοκιμής θα περιλαμβάνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

α. Σχέδιο με τις θέσεις των γεωτρήσεων.

β. Σχέδιο των θέσεων των πρεσσιομετρήσεων μέσα στις γεωτρήσεις με περιγραφή του γεωλογικού σχηματισμού στην περιοχή των δοκιμών.

γ. Τα αποτελέσματα των αναγνώσεων πίεσεως και ογκομετρικών μεταβολών.

δ. Διαγράμματα, (βλ. Σχήμα 2):

- Μεταβολής όγκου και πίεσεως σε συνάρτηση με το χρόνο.
- Μεταβολής όγκου σε συνάρτηση με την πίεση.
- Ερπυστικών παραμορφώσεων σε συνάρτηση με την πίεση.

ε. Ενδεικτικός υπολογισμός του πρεσσιομετρικού μέτρου παραμορφώσεως, σε ορισμένη περιοχή πίεσεων στην ψευδοελαστική φάση με βάση τη σχέση:

$$E = K (\Delta p / \Delta v)$$

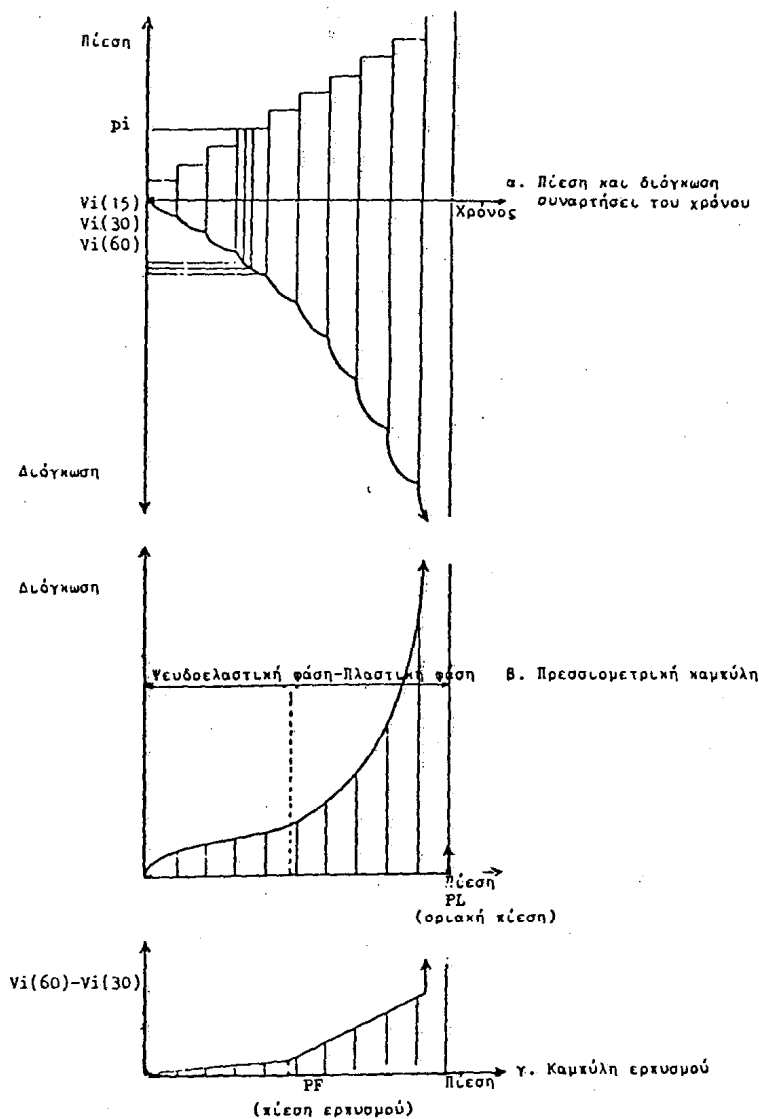
όπου  $K = (1 + \nu) \times 2 \times (V_o + V_m)$

$V_o$  = αρχικός όγκος θαλάμου μετρήσεως

$V_m$  = μέσος πρόσθετος όγκος

$\nu =$  ο λόγος του Poisson (συνήθως λαμβάνεται  $\nu=0.333$ )

**Σημείωση 2:** Με τον όρο «ερπυστικές παραμορφώσεις» καθορίζουμε τη παρατηρούμενη διαφορά όγκου σε 30 sec και 60 sec στην εκάστοτε βαθμίδα πίεσεως.



Σχήμα 2. Διαγράμματα Πρεσσιομετρικής Δοκιμής.

## 2. ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

Το γεωυλικό λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς του μπορεί να διακριθεί σύμφωνα με τον Terzaghi σε:

**Έδαφος:** είναι ένα φυσικό συσσωμάτωμα κόκκων που διαχωρίζεται με απλή μηχανική δράση.

**Πέτρωμα:** φυσικό συσσωμάτωμα κόκκων που συνδέονται μεταξύ τους με πολύ ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις συνοχής.

Η διάκριση που μόλις αναφέρθηκε δεν είναι απόλυτη καθώς υπάρχουν υλικά με ενδιάμεση συμπεριφορά και που από γεωτεχνικής άποψης μπορούν να χαρακτηρισθούν ανάλογα με το στοιχείο που επικρατεί ως σκληρά εδάφη ή μαλακοί βράχοι (π.χ. μάργες).

### 2.1 Προέλευση και είδη εδαφών

Με τον όρο έδαφος εννοούμε ένα σύνολο ασυγκόλλητων ή αδύνατα συγκολλημένων ορυκτών κόκκων που προήλθαν από αποσάθρωση πετρωμάτων και που στα κενά μεταξύ των κόκκων περιέχεται αέρας ή νερό ή και τα δύο. Η αποσαθρωτική διεργασία που μετατρέπει το βράχο σε έδαφος είναι φυσική ή χημική. Η φυσική διεργασία η οποία συνίσταται σε διάβρωση από νερό, δράση παγετώνων κ.α. έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των λεγόμενων κοκκωδών ή μη συνεκτικών εδαφών. Η χημική διεργασία η οποία συνίσταται στην ενέργεια του νερού, του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα οδηγεί στη δημιουργία των συνεκτικών εδαφών.

Επιγραμματικά οι διαφορές στις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των δύο αυτών τύπων εδαφών συνοψίζονται ως εξής:

#### 1. Κοκκώδη ή ψαθυρά ή μη συνεκτικά ή χονδρόκοκκα ή αμμοχαλικώδη εδάφη:

- Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι ίδια με του πατρικού πετρώματος και αποτελείται κυρίως από χαλαζία, άστριο, πλαγιόκλαστο και ασβεστολιθικά άλατα.
- Είναι χονδρόκοκκα με κόκκους ογκώδεις, μεγέθους λίθου ή χαλκού ή άμμου που είναι περίπου στρογγυλοί ή γωνιώδεις.
- Έχουν χαμηλή ειδική επιφάνεια (λόγος επιφάνειας προς όγκο).
- Οι κόκκοι συγκρατούνται μεταξύ τους μόνο με δυνάμεις βαρύτητας.
- Η αντοχή τους εξαρτάται από την εσωτερική τριβή των κόκκων. Χαρακτηρίζεται από τη γωνία φ.
- Παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα.
- Παρουσιάζουν άμεσες (ελαστικές) καθιζήσεις.
- Η μηχανική τους συμπεριφορά δεν εξαρτάται από την παρουσία νερού μέσα στο έδαφος.

## **2. Συνεκτικά ή λεπτόκοκκα ή αργιλικά εδάφη:**

- Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι διαφορετική από του πατρικού πετρώματος και αποτελείται από ορυκτά της αργίλου που σχηματίζονται από φύλλα πυριτίου, αργίλου και μαγνησίου.
- Είναι λεπτόκοκκα με κρυσταλλικούς κόκκους μικρότερους από 0.002mm, και με σχήμα πλακοειδές ή βελονοειδές ή ραβδοειδές.
- Έχουν υψηλή ειδική ενέργεια.
- Οι κόκκοι συγκρατούνται μεταξύ τους με ηλεκτρικές δυνάμεις.
- Η αντοχή τους εξαρτάται όχι μόνον από την εσωτερική τριβή αλλά κυρίως από τη συνοχή (c) μεταξύ των κόκκων.
- Παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα.

- Παρουσιάζουν μακροχρόνιες (έμμεσες ή μη ελαστικές) καθιζήσεις, οι οποίες οφείλονται στο φαινόμενο της στερεοποίησης.
- Η μηχανική τους συμπεριφορά εξαρτάται από την παρουσία νερού.

### 3. Έντυπα – υπολογισμοί και φωτογραφίες

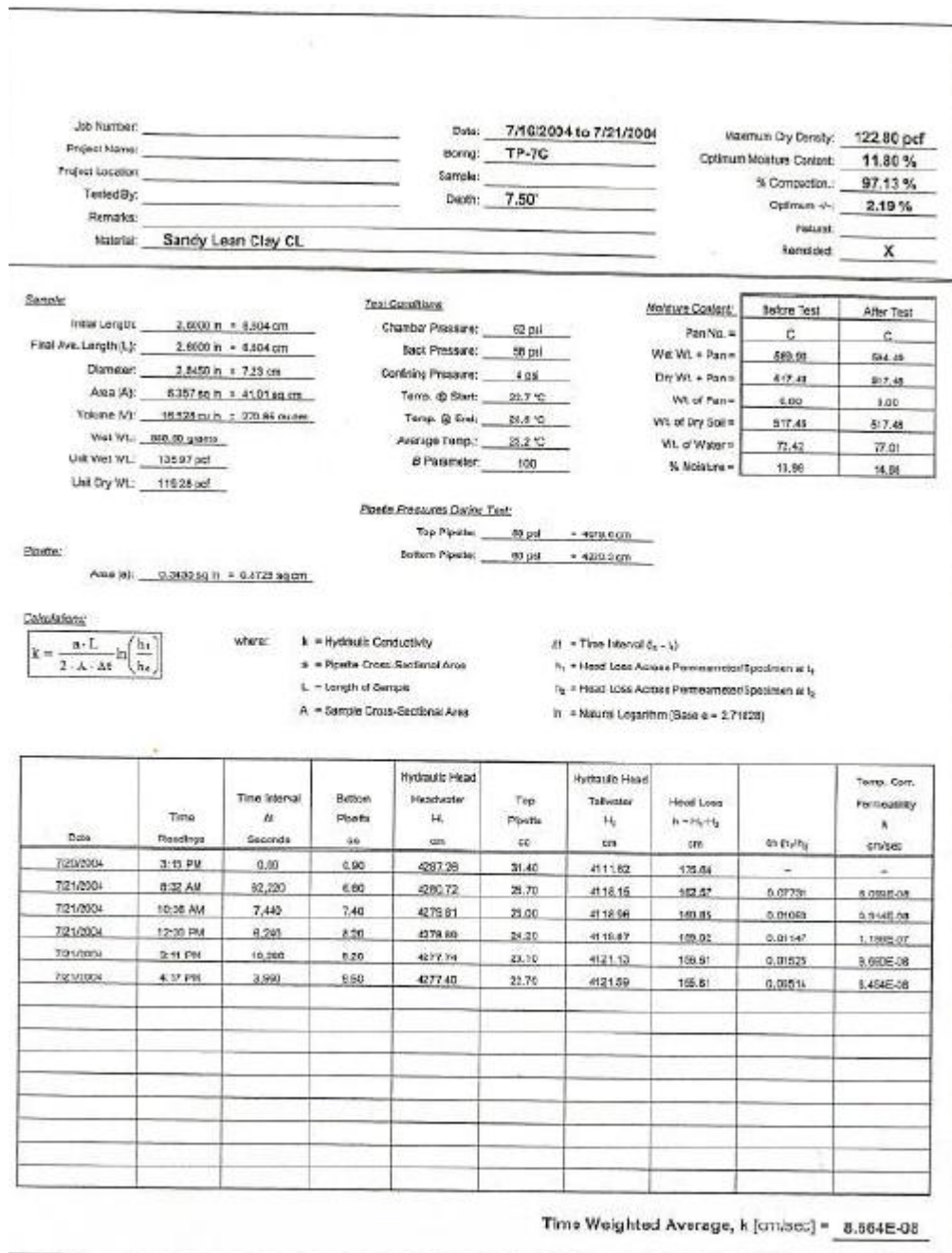


Figure H-8: Example of Lab Test Results - ASTM D 5084 - 03 (Falling Head, Method C)

Σχήμα 8 – Παράδειγμα αποτελεσμάτων από εργαστηριακή δοκιμή

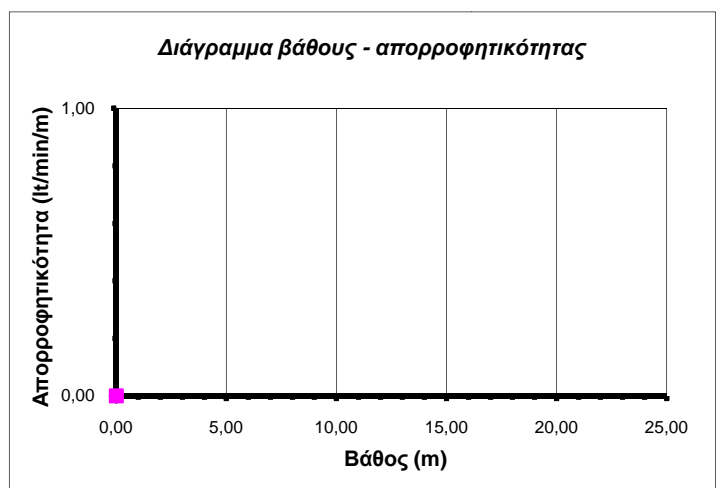
ΕΡΓΟ:	
ΑΝΑΔΟΧΟΣ:	ΗΜ/ΝΙΑ: Α/Α:

**ΔΕΛΤΙΟ  
ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΗΣ**

Γεώτρηση:	Γωνία κλίσης(°):	Ημερομηνία:
Υπερκείμενο έδαφος (m):	Υδροφόρος ορίζοντας (m):	Μήκος σταδίου (m):

Ø ΟΠΗΣ (mm)	ΣΤΑΔΙΟ			ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΜΑ		ΤΣΙΜΕΝΤΟ (kg)	ΜΠΕΝ/ΤΗΣ (kg)	ΠΙΕΣΗ Bmax (bars)	ΑΠΟΡ/ΤΑ (lt/min)
	αριθμ.	από (m)	έως (m)		αναλογία	πρωστ. (lt)				
101	1									
101	2									
101	3									
101	4									
101	5									
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>										

<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ</b>
1. Μέση απορροφητικότητα οπής (lt/min/m):
2. Κατανάλωση σάκων των 50 kgρ τσιμέντου:
3. Αριθμημένοι σάκοι:
4. Απώλειες τσιμεντενέματος στην κορυφή :



<b>Ο ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</b>	<b>ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ</b>



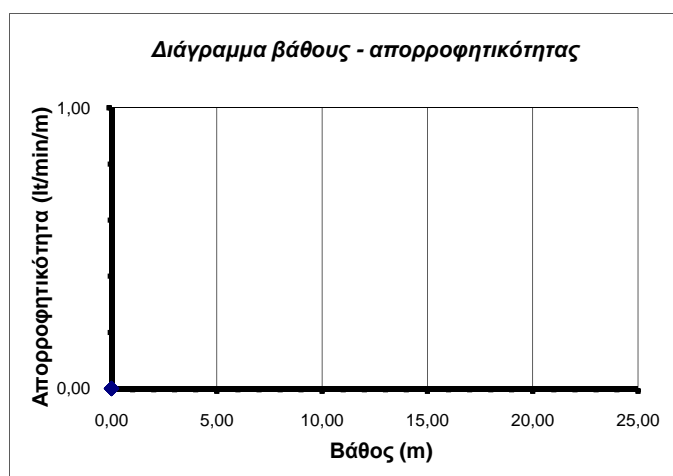
ΕΡΓΟ:	ΗΜ/ΝΙΑ:
ΑΝΑΔΟΧΟΣ:	Α/Α:

**ΔΕΛΤΙΟ  
ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΗΣ**

Γεώτρηση:	Ημερομηνία:
Υπερκείμενο έδαφος:	Υδροφόρος ορίζοντας:

Ø ΟΠΗΣ (mm)	ΣΤΑΔΙΟ			ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΜΑ		ΤΣΙΜΕΝΤΟ (kg)	ΜΠΕΝ/ΤΗΣ (kg)	ΠΙΕΣΗ R <sub>max</sub> (bars)	ΑΠΟΡ/ΤΑ (lt/min)
	αριθμ.	από (m)	έως (m)		αναλογία	ΠΟΣΩΤ. (lt)				
101	1									
101	2									
101	3									
101	4									
101	5									
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>										

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1. Μέση απορροφητικότητα οπής (lt/min/m):
2. Κατανάλωση σάκων των 50 kg τσιμέντου:
3. Αριθμημένοι σάκοι:
4. Απώλειες τσιμεντενέματος στην κορυφή:



<b>Ο ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</b>	<b>ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ</b>

## 4. Περίπτωση λίμνης Κάρλας

### 4.1 Γενικά

Η επαναδημιουργία της Λίμνης Κάρλας (Βοηθίδα) είναι έργο μεγάλης σημασίας και πολλαπλής σκοπιμότητας για την περιοχή με κύρια διάστασή του την περιβαλλοντική.

Βασικοί σκοποί του έργου για την επαναδημιουργία της Λίμνης της Κάρλας μεταξύ άλλων είναι :

- η αποκατάσταση του οικοσυστήματος και των λειτουργιών της τέως λίμνης Κάρλας
- η μερική ανάσχεση πλημμυρικών φαινομένων
- η εξασφάλιση τοπικών επιφανειακών υδατικών πόρων για υποκατάσταση των αντλήσεων από τον υπόγειο υδροφόρο
- η βελτίωση του υφιστάμενου υδατικού ισοζυγίου της περιοχής
- η αποκατάσταση του μικροκλίματος της ευρύτερης περιοχής
- η αναστολή φαινομένων απερήμωσης της περιοχής
- η έμμεση βελτίωση των οικονομικών συνθηκών της περιοχής από τη δυνατότητα ανάπτυξης εναλλακτικών, πέραν των αγροτικών, δραστηριοτήτων
- η εφαρμογή ορθολογικών περιβαλλοντικά διαχειριστικών πρακτικών υδροτοπικών και γεωργικών οικοσυστημάτων.

Προβλέπεται η κατασκευή Λίμνης **38.000 στρεμμάτων** και μέγιστου όγκου **210 εκατ. κυβ. μέτρων** και συναφών έργων, όπως συλλεκτήρων, αντλιοστασίων, αποχέτευσης καθώς και έργων κεφαλής για άρδευση.

Η λίμνη βρίσκεται στο Ν. Μαγνησίας ενώ ορισμένα από τα συναφή έργα καθώς και μερικές από τις αξιοποιούμενες με την άρδευση εκτάσεις βρίσκονται στο Ν. Λαρίσης. Με το έργο αυτό θα είναι δυνατή η άρδευση περιοχών γύρω από τη Λίμνη σε καθαρή έκταση **93.000 στρεμμάτων**. Πρόκειται για έργο πολλαπλής σκοπιμότητας αφού εξυπηρετεί στόχους Περιβαλλοντικούς, Αρδευτικούς, Υδρευτικούς και Αντιπλημμυρικούς.

Η επαναδημιουργία της Λίμνης Κάρλας ήταν πάγιο αίτημα των φορέων της περιοχής, αφού θεωρείται βασικός μοχλός ανάπτυξής της και εμπεριέχονταν στα προβλεπόμενα μετά από την αποξήρανσή της έργα. Να σημειωθεί ότι η σήραγγα αποξήρανσης της λίμνης Κάρλας προς τον Παγασητικό Κόλπο έχει σχεδιαστεί με μικρότερη παροχετευτική ικανότητα από εκείνη της πλημμυρικής παροχής της περιοχής για το λόγο ότι η ανάσχεση της πλημμύρας θα

επιτυγχάνονται με τον Τεχνητό Ταμιευτήρα, που θα κατασκευάζονται μέσα στα πλαίσια των έργων της Κάρλας.

Το έργο προγραμματίζεται να εκτελεστεί σε δύο φάσεις.

Στην **πρώτη φάση** ήδη κατασκευάζονται:

- α) Τα έργα του Ταμιευτήρα
- β) Οι συλλεκτήρες
- γ) Τα έργα στεγανώσεως
- δ) Τα αντλιοστάσια αποχετεύσεως.

Στη **δεύτερη φάση** προβλέπεται να υλοποιηθούν τα έργα προστασίας, διαχείρισης και αναβάθμισης του περιβάλλοντος, τα οποία θα εξασφαλίσουν τον πολλαπλό χαρακτήρα του έργου ως βιότοπου.

## **5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΚΑΡΛΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΩΝ ΕΡΓΩΝ**

### **5.1. Στοιχεία του έργου**

Η μελέτη περιλαμβάνει σε γενικές γραμμές τα εξής έργα:

α) Τον ταμιευτήρα Κάρλας, για αντιπλημμυρικούς και αρδευτικούς σκοπούς της υπό άρδευση περιοχής, ο οποίος δημιουργείται με αναχώματα ύψους περίπου 9 m και συνολικού μήκους περίπου 13 χλμ. Η ανώτατη στάθμη άρδευσης είναι σε υψόμετρο περίπου +49 και η ανώτατη στάθμη ανάσχεσης πλημμυρών στο +50.

β) Τα αντιπλημμυρικά έργα της λεκάνης Κάρλας (Συλλεκτήρες Σ3, Σ4, Σ6 και Σ7) και τα απαραίτητα έργα στις ορεινές κοίτες για την προστασία των συλλεκτήρων και του ταμιευτήρα από τυχόν προσχώσεις.

γ) Τα αντιπλημμυρικά έργα της λεκάνης Αμυρού (χείμαρροι Ανάβρας και Αμυρός).

δ) Τα αντιπλημμυρικά έργα της λεκάνης Καλοχωρίου (χείμαρρος Συκουριώτης, Κ.Τ. Καλοχωρίου, Σήραγγα Καλοχωρίου και έργα εκβολής).

ε) Τα έργα διασταυρώσεων των πιο πάνω έργων με το οδικό δίκτυο της περιοχής (γέφυρες κλπ).

στ) Τα αντλιοστάσια αποχετεύσεως και αρδεύσεως της περιοχής.

## 5.2. Σύνοψη γεωλογικών & υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής των έργων.

### 5.2.1 Γεωλογικές Συνθήκες

Σύμφωνα με τα στοιχεία της γεωλογικής έκθεσης του 1982, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή των ερευνών και γενικότερα στην περιοχή των έργων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

α) Στα έντονα μεταμορφωμένα πετρώματα του κρυσταλλικού υποβάθρου που εμφανίζονται στην περιμετρική ζώνη (βόρειο κ νότιο όριο) του ταμιευτήρα.

β) Στους χαλαρούς σχηματισμούς που αποτελούν το γέμισμα της λεκάνης της Κάρλας, τις αποθέσεις στις εξόδους των χειμάρρων και το κάλυμμα των πρανών κατά μήκος της περιμετρικής ζώνης.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα μάρμαρα και οι γνευσιοσχιστόλιθοι.

- Τα μάρμαρα είναι υψηλής κρυσταλλικότητας, γκριζόλευκα, με σαφή γενικά στρώση και εμφανίζουν τεκτονικές ασυνέχειες με κυμαινόμενη πυκνότητα και έντονη καρστική διεργασία κατά θέσεις, ιδίως στον ΒΑ τομέα, με σημαντικές όμως διακυμάνσεις από θέση σε θέση.
- Οι γνευσιοσχιστόλιθοι εμφανίζονται στην περιοχή Καναλιών, στο κεντρικό τμήμα του νότιου ορίου του ταμιευτήρα και στην περιοχή της Μαγούλας. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται στην επιφάνεια αρκετά υγιή, πάρα την εύκολη αποσάθρωση που παρουσιάζουν, γεγονός που υποδηλώνει ταχεία απομάκρυνση των υλικών της αποσάθρωσης, ίσως λόγω των μεγάλων κλίσεων των πρανών της περιμετρικής ζώνης.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν:

- Οι λιμναίες αποθέσεις της Κάρλας με καθαρά ιλυοαργιλομαργαϊκό χαρακτήρα.
- Οι κώνοι των χειμάρρων της περιμετρικής ζώνης αποτελούμενοι κυρίως από κροκαλολατύπες μαρμάρου με μικρή συμμετοχή αργίλου.
- Τα πλευρικά κορήματα στη βάση των απότομων πρανών των μαρμάρων, αποτελούμενα κυρίως από λατύπες του πετρώματος αυτού μαζί με αργιλομαργαϊκό υλικό.
- Οι δилουβιακές αποθέσεις της αναβαθμίδας του ΝΑ τομέα που χαρακτηρίζονται από καστανές αργίλους, άμμους, χαλίκια και κροκάλες.

Για τις λιμναίες αποθέσεις πρέπει να επισημανθεί ότι όσο πλησιάζουν προς τα πρηνή της παρόχθιας ζώνης τόσο αυξάνει η περιεκτικότητά τους σε άμμο.

## 5.2.2 Υδρογεωλογικές Συνθήκες

Από άποψη διαπερατότητας, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο χαρακτηρίζονται ως εξής:

- Τα μάρμαρα αποτελούν καρστικά διαπερατούς σχηματισμούς, με κυμαινόμενη όμως περατότητα ανάλογα με το βαθμό της καρστικής διεργασίας και του τεκτονισμού.
- Οι γνευσιοσχιστόλιθοι είναι πρακτικά υδατοστεγανοί σχηματισμοί, εφόσον δεν είναι ρηγματωμένοι και έχουν αρκετό πάχος πάνω από υδροπερατά στρώματα.
- Οι ιλυοαργιλικές λιμναίες αποθέσεις είναι πρακτικά υδατοστεγανοί σχηματισμοί, με τιμές του συντελεστή διαπερατότητας της τάξης  $k=10^{-6} \div 10^{-7}$  cm/sec. Στο βαθμό που η περιεκτικότητα σε άμμο αυξάνει, όπως προσεγγίζονται τα όρια της λεκάνης, είναι προφανές ότι αυξάνεται και η διαπερατότητα των σχηματισμών αυτών.
- Οι κώνοι των χειμάρρων και τα πλευρικά κορήματα είναι υδροπερατοί σχηματισμοί, με κυμαινόμενη διαπερατότητα που μειώνεται όσο η περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα (αργιλοϊλυώδη) υλικά αυξάνει.
- Οι διλουβιακές αποθέσεις της αναβαθμίδας χαρακτηρίζονται σαν σχετικά στεγανοί σχηματισμοί, οι οποίοι όμως περιέχουν κροκαλοαμμώδεις ενστρώσεις μεγάλης διαπερατότητας.

Από στοιχεία παλαιότερων ερευνών αλλά και της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι ο υδροφόρος ορίζοντας μέσα στα μάρμαρα βρίσκεται σε στάθμη πολύ χαμηλότερη από αυτή του πυθμένα της λίμνης (πχ + 27,5 στην περιοχή της βόρειας όχθης, +14 στην περιοχή της νότιας όχθης). Σε ορισμένες περιοχές της βόρειας όχθης διατηρείται μια υψηλότερη στάθμη στο καρστικό νερό, λόγω παρεμβολής στεγανών σχηματισμών (γνεύσιων) κάτω από τα μάρμαρα. Και σε αυτήν όμως την περίπτωση εκτιμάται ότι τα επιφανειακά μάρμαρα βρίσκονται σε υπόγεια υδρογεωλογική επικοινωνία με την κύρια μάζα των μαρμάρων, οι δε στάθμες που μετρήθηκαν στις αντίστοιχες γεωτρήσεις (Γ1, Γ1α, Γ1β, Γ2) παρέμειναν πάντα αρκετά χαμηλότερα από το υψόμετρο των κρασπέδων.

Έτσι οι περιοχές όπου το νερό του ταμιευτήρα κατακλύζει τα μάρμαρα αποτελούν αναμενόμενες ζώνες διαφυγών. Το ίδιο ισχύει για τις κατακλυζόμενες περιοχές της περιμέτρου στις οποίες αναπτύσσονται κώνοι χειμάρρων και πλευρικά κορήματα μεγάλης διαπερατότητας που βρίσκονται σε επικοινωνία με τα μάρμαρα.

Ο πυθμένας της λίμνης σε κάποια απόσταση από τα όρια είναι πρακτικά στεγανός. Μέσα στις αργιλοϊλυώδεις αποθέσεις του αναπτύσσεται

επικρεμάμενος φρεάτιος ορίζοντας, του οποίου η επιφάνεια βρίσκεται σε μικρό βάθος και σε ορισμένες χαμηλές περιοχές, που κατακλύζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα την υγρή περίοδο, φθάνει στην επιφάνεια (πχ περιοχή ανατολικού αναχώματος). Κοντά στα όρια της λίμνης, η επιφάνεια του ορίζοντα αυτού έχει σαφή κλίση προς τους διαπερατούς σχηματισμούς της περιμέτρου.

### **5.3. Σεισμικότητα της περιοχής**

Σύμφωνα με τον Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό (Ν.Ε.Α.Κ.) η περιοχή των έργων εντάσσεται από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας στη ζώνη ΙΙΙ, με αντίστοιχο συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους  $\alpha=0,24$ .

Με εξαίρεση τη σήραγγα Καλοχωρίου, όλα τα άλλα έργα (αναχώματα, αντλιοστάσια, έργο ασφαλείας, τεχνικά συλλεκτήρων) θεμελιώνονται γενικά σε εδάφη τα οποία από άποψη αντισεισμικού σχεδιασμού κατατάσσονται στη κατηγορία Γ του πίνακα 2.5 του Ν.Ε.Α.Κ. (Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας, πάχους μεγαλύτερου των 5 m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 m και ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής, σε πάχος μεγαλύτερο των 5 m).

### **5.4. Συνθήκες στεγανότητας του ταμιευτήρα**

#### **5.4.1 Γενικά**

Από τα αποτελέσματα τόσο των προηγούμενων ερευνών όσο και της παρούσας έρευνας, προκύπτει ότι το έδαφος κάτω από τον πυθμένα του υπό μελέτη ταμιευτήρα αποτελείται από ιλυοαργιλικά υλικά σε μεγάλο πάχος που υπερβαίνει τα 65 m.

Η χαμηλή διαπερατότητα των υλικών αυτών (της τάξης  $k=10^{-6} \div 10^{-7}$  cm/sec) και το μεγάλο πάχος, εξασφαλίζουν πρακτικά την στεγανότητα του πυθμένα.

Προβλήματα διαρροών αναμένονται στα όρια του ταμιευτήρα όπου το νερό του ταμιευτήρα, στη στάθμη λειτουργίας (ανωτ. Στάθμη άρδευσης: +49.00), κατακλύζει κατά θέσεις τις εμφανίσεις των διαπερατών μαρμάρων ή αποθέσεις πολύ διαπερατών υλικών, όπως οι κώνοι των χειμάρρων και τα πλευρικά κορήματα, που βρίσκονται σε επαφή με τα μάρμαρα. Διαρροές μπορούν να υπάρξουν επίσης, αν και σε μικρότερη κλίμακα, μέσα από τα υλικά

αναβαθμίδων που περιέχουν στρώσεις αμμοχάλικων και κροκάλων με μεγάλη διαπερατότητα. Εξ' άλλου, κοντά στην περιμετρική ζώνη του ταμιευτήρα το πάχος των ιλυοαργιλικών αποθέσεων της λίμνης μειώνεται, ενώ παράλληλα αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άμμο και η διαπερατότητα, διευκολύνοντας έτσι την υπόγεια ροή προς το υπόβαθρο των μαρμάρων, το οποίο βυθίζεται κάτω από τις αποθέσεις αυτές είτε σε απ' ευθείας επαφή είτε με παρεμβολή αδρομερών υλικών κώνων χειμάρρων ή κορημάτων.

Για τη διερεύνηση των συνθηκών στεγανότητας της περιμετρικής ζώνης του ταμιευτήρα, προκειμένου να προταθούν και μελετηθούν μέτρα για τον περιορισμό των διαρροών, εκτελέστηκε ένα πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών στη ζώνη αυτή και συγκεκριμένα στο βόρειο όριο του ταμιευτήρα μεταξύ του ανατολικού και δυτικού αναχώματος και στο νότιο όριο μεταξύ των αναχωμάτων αυτών. Ερευνήθηκε επίσης η περιμετρική ζώνη του λόφου της Μαγούλας που βρίσκεται μέσα στην επιφάνεια του ταμιευτήρα.

Οι έρευνες περιέλαβαν τη διάνοιξη σε διάφορες θέσεις δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, την τοποθέτηση πιεζόμετρων και την εκτέλεση επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών διαπερατότητας.

Σκοπός των ερευνών αυτών ήταν:

- Ο προσδιορισμός του πάχους, της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της διαπερατότητας των λιμναίων αποθέσεων που καλύπτουν το υπόβαθρο των μαρμάρων στην περιμετρική ζώνη και της κλίσης βύθισης της οροφής του υποβάθρου αυτού κάτω από τις εν λόγω αποθέσεις. Για το λόγο αυτό, στις περισσότερες από τις ερευνηθείσες θέσεις δύο έως τρεις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις επ' άνω σε άξονα κάθετο περίπου στο όριο του ταμιευτήρα (από το υψόμετρο +49 και προς το εσωτερικό της λίμνης), ώστε να είναι δυνατή η σύνταξη κατάλληλων γεωτεχνικών τομών, για την εκτίμηση των συνθηκών διαπερατότητας και πιθανών διαρροών.
- Ο εντοπισμός τυχόν στρώσεων αδρομερών υλικών μεγάλης διαπερατότητας που βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τα μάρμαρα.
- Ο προσδιορισμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, τόσο μέσα στα μάρμαρα της περιμετρικής ζώνης όσο και μέσα στους χαλαρούς σχηματισμούς και τις λιμναίες αποθέσεις κοντά στη ζώνη αυτή, ώστε να διερευνηθεί η πιθανότητα υπόγεια ροής προς τα μάρμαρα.

Για το σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν πιεζομετρικοί σωλήνες σε όλες τις γεωτρήσεις και έγιναν μετρήσεις στάθμης κατά διαστήματα.

Επί πλέον, σε ορισμένες από τις ερευνηθείσες θέσεις, τοποθετήθηκαν σε γεωτρήσεις χωρίς απαίτηση δειγματοληψίας ρηγά πιεζόμετρα βάθους 9-10 m, για να διερευνηθεί η παρουσία επικρεμάμενου ορίζοντα μέσα στις προσχώσεις.

## 5.5 Βόρειο όριο ταμιευτήρα

### 5.5.1 Περιοχή Γεωτρήσεων Γ1-Γ1α-Γ1β (Ζώνη 1)

Στην ζώνη αυτή της περιμέτρου, μήκους περίπου 450 m, το νερό του ταμιευτήρα είναι σε απ' ευθείας επαφή με τα μάρμαρα. Οι αποθέσεις αυτές είναι βασικά αργιλοϊλυώδους συστάσεως και μόνο στη βάση τους, σε μια ζώνη μικρού πάχους αμέσως πάνω από το υπόβαθρο, παρουσιάζουν αυξημένη περιεκτικότητα σε άμμο και χαλίκια.

Οι στάθμες της οροφής του ασβεστολιθικού υποβάθρου στις θέσεις των γεωτρήσεων δίνονται στον πίνακα 5.5.1. Στον ίδιο πίνακα δίνονται οι ανώτατες στάθμες ισοροπίας του υπόγειου νερού που μετρήθηκαν στα πιεζόμετρα κατά την περίοδο των ερευνών και αντιπροσωπεύουν συνθήκες υγρής περιόδου (Φεβρουάριος 1995).

Πίνακας 5.5.1

Γεώτρηση	Απόλ. Υψόμετρο Πυθμένος Λίμνης	Οροφή υποβάθρου		Φρεάτιος Ορίζοντας	
		Βάθος (m)	Απολ. υψόμετρο	Βάθος (m)	Απολ. υψόμετρο
Γ1	+44,80	3.00	+41.80	3.60	+41.20
Γ1α	+44,70	8.20	+36.90	4.10	+40.60
Γ1β	+44,70	13.00	+31.70	4.60	+40.10



Παρατηρείται ότι ο φρεάτιος ορίζοντας έχει ελαφρά κλίση από την περίμετρο προς τη λίμνη.

Η διαπερατότητα των αργιλοϊλυωδών αποθέσεων είναι πολύ χαμηλή. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή  $k$  που μετρήθηκε από επί τόπου δοκιμές στις γεωτρήσεις ήταν της τάξης  $k=10^{-7}$  m/sec, ενώ λαμβάνοντας υπόψη και τις εργαστηριακές δοκιμές καθώς και την κοκκομετρία, η αντιπροσωπευτική τιμή για τα υλικά αυτά εκτιμάται ότι είναι της τάξης  $k=10^{-9}$  m/sec.

Η διαπερατότητα αυξάνει στη βάση των αποθέσεων, στη μεταβατική ζώνη πάνω από το υπόβαθρο, με αντιπροσωπευτική τιμή του συντελεστή  $k$  της τάξης  $k=10^{-6} - 10^{-7}$  m/sec.

Με τα παραπάνω στοιχεία, θεωρώντας ότι εξασφαλίζονται επιφανειακά 3 m τουλάχιστον αργιλοϊλυωδών υλικών και λαμβάνοντας υπόψη μια συντηρητική τιμή του συντελεστή  $k$  ( $=5 \times 10^{-8}$  m/sec) οι απώλειες από κατακόρυφη διήθηση προς το υπόβαθρο στη ζώνη αυτή, διαστάσεων περίπου 450x100 m, εκτιμώνται σε:

$$Q=5 \times 10^{-8} \times (7.0/3.0) \times (450 \times 100) \times (365 \times 86.400) \approx 1.7 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Οι διαφυγές αυτές θεωρούνται ανεκτές.

Για να εξασφαλιστεί κάποιο πάχος πρακτικά αδιαπέρατων υλικών στον πυθμένα, συνιστάται το έργο απομόνωσης του ταμιευτήρα από τα μάρμαρα (περιμετρικό ανάχωμα) να τοποθετηθεί σε απόσταση 50-60 m από την εμφάνιση των τελευταίων.

### **5.5.2 Περιοχή Γεωτρήσεων Γ2-Γ2α και Γ3-Γ3α-ΓΠ1-Γ3β (Ζώνη 2-3)**

Στη ζώνη αυτή της περιμέτρου, μήκους περίπου 650 m, η καμπύλη +49 βρίσκεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου επάνω στην εμφάνιση των μαρμάρων και άρα υπάρχει απευθείας επαφή του νερού με τον υδροπερατό αυτό σχηματισμό.

Οι στάθμες της οροφής του υποβάθρου και οι στάθμες ισορροπίας του φρεατίου ορίζονται στις θέσεις των γεωτρήσεων δίνονται στον πίνακα 5.5.2.

Πίνακας 5.5.2

Γεώτρηση	Απολ. Υψόμετρο Πυθμένος Λίμνης	Οροφή υποβάθρου		Φρεάτιος Ορίζοντας	
		Βάθος (m)	Απολ. υψόμετρο	Βάθος (m)	Απολ. υψόμετρο
Γ2	+45.4	8.5*	+36.9*	6.3	+39.1
Γ2α	+44.8	>21.0	<+23.8	1.3	+43.5
Γ3	+48.8	18.9**	+30.1**	19.8	+29.0
Γ3α	+46.1	>20	<+26.1	7.1	+39.0
ΓΠ1	+46.0	>10	<+36.0	5.4	+40.6
Γ3β	+44.9	>20	<+24.9	1.0	+43.9

\* Ασβεστόλιθος

\*\* Γνευσιοσχιστόλιθος

Σε μικρή απόσταση από την περίμετρο (γεωτρήσεις Γ2 & Γ3), οι νεότερες αποθέσεις που καλύπτουν το υπόβαθρο αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από χονδρόκοκκα υλικά. Τα υλικά αυτά έχουν μέση έως χαμηλή διαπερατότητα με εκτιμώμενη αντιπροσωπευτική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας της τάξης  $k = 10^{-6}$  m/sec, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές που προέκυψαν από επί τόπου δοκιμές ήταν της τάξης  $k = 10^{-5}$  m/sec. Ειδικά στη θέση της γεώτρησης Γ3 πρέπει να επισημανθεί η παρουσία μέσα στα χονδρόκοκκα υλικά πιο λεπτόκοκκων ενστρώσεων (αργιλοϊλύος), μικρού μεν πάχους αλλά ικανών να επηρεάσουν μειωτικά την διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη έννοια, όπως συνάγεται από τις εργαστηριακές δοκιμές.

Στην ίδια γεώτρηση, σε βάθος από 9.50 m έως 16.50 m, είναι χαρακτηριστική ή παντελής απουσία χαλίκων, το υλικό κατατάσσεται κατά AUSCS ως άργιλος χαμηλής πλαστικότητας (CL) έως ιλύς (ML) και η αντιπροσωπευτική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας εκτιμάται σε  $k = 10^{-7}$  m/sec, δηλαδή μια τάξη μεγέθους μικρότερη από τα υπερκείμενα πιο χονδρόκοκκα υλικά.

Σε μεγαλύτερες αποστάσεις από την περίμετρο (γεωτρήσεις Γ2α, Γ3α, Γ3β), το υπόβαθρο καλύπτεται από σημαντικό πάχος αργιλοϊλυωδών λιμναίων ιζημάτων, πολύ χαμηλής διαπερατότητας. Οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας που μετρήθηκαν από επί τόπου δοκιμές σ' αυτά τα υλικά ήταν της τάξης  $k = 10^{-7}$  m/sec, η δε αντιπροσωπευτική τιμή, που εκτιμάται λαμβανομένων υπόψη επίσης των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών και της κοκκομετρίας, είναι της τάξης:

$$k = 5 \times 10^{-9} \text{ έως } 10^{-8} \text{ m/sec}$$

Όπως φαίνεται από τις στάθμες των πιεζόμετρων που δίνονται στο πίνακα 5.5.2, μέσα στις αποθέσεις που καλύπτουν το υπόβαθρο αναπτύσσεται φρεάτιος ορίζοντας με υψηλές στάθμες προς το εσωτερικό της λίμνης (+43.5 έως 43.9 στις γεωτρήσεις Γ2α και Γ3β αντίστοιχα). Η συστηματική κλίση της επιφάνειας του φρεατίου ορίζοντα προς την περίμετρο, υποδηλώνει σαφώς την ύπαρξη υπόγειας ροής προς τους υδροπερατούς σχηματισμούς των ορίων του ταμιευτήρα.

Λόγω της απ' ευθείας επαφής του νερού του ταμιευτήρα με τα μάρμαρα της περιμέτρου, κρίνεται και στη ζώνη αυτή απαραίτητη η απομόνωση του ταμιευτήρα από τις εμφανίσεις του σχηματισμού αυτού, με περιμετρικό ανάχωμα σε απόσταση 50-60 m από τα όρια των μαρμάρων ή τα όρια των διαπερατών κορημάτων που τα καλύπτουν. Με τον τρόπο αυτό αποκλείονται οι απ' ευθείας διαφυγές και οι μόνες δυνατότητες απωλειών είναι μέσα από τα αργιλοϊλυώδη υλικά, με κατακόρυφη διήθηση προς το υπόβαθρο και/ή με οριζόντια υπόγεια ροή κάτω από ανάχωμα.

Και στις δύο αυτές περιπτώσεις ο όγκος των απωλειών είναι σε ανεκτά επίπεδα ακόμη και με συντηρητικές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας, όπως προκύπτει από τις παρακάτω προσεγγιστικές εκτιμήσεις:

α) Κατακόρυφη ροή προς το υπόβαθρο:

Θεωρώντας ένα ελάχιστο πάχος αργιλοϊλυωδών υλικών της τάξης 3,0 m και με συντηρητική τιμή  $k = 5 \times 10^{-8}$  m/sec, οι ετήσιες διαφυγές στην υπό εξέταση ζώνη, διαστάσεων περίπου 650x100 m είναι:

$$Q = 5 \times 10^{-8} \times (7.0/3.0) \times (650 \times 100) \times (360 \times 86.400) \approx 2.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

β) Οριζόντια ροή:

Θεωρώντας ροή σε μια επιφανειακή ζώνη 10 m, με αυξημένη οριζόντια διαπερατότητα κατά μια τάξη μεγέθους ως προς την κατακόρυφη, οι ετήσιες διαφυγές εκτιμώνται σε:

$$Q = 5 \times 10^{-7} \times (9/50) \times (650 \times 10) \times (360 \times 86400) \approx 1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

### **5.5.3 Περιοχή Γεωτρήσεων Γ4-Γ4α-ΓΠ2-Γ4β και Γ14-Γ14α (Ζώνη 4-14)**

Στη ζώνη αυτή της περιμέτρου μήκους 1.200 m περίπου, η καμπύλη +49 βρίσκεται επάνω σε κώνο χειμαρρίων αποθέσεων (Βαθύρεμα) που αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά όπως φαίνεται από τις γεωτρήσεις Γ4, Γ14, Γ14α.

Η ζώνη των χονδρόκοκκων αλουβίων που κατακλύζεται έχει ένα εύρος που κυμαίνεται από 50 έως 150 m, σύμφωνα με τη γεωλογική χαρτογράφηση και τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων.

Πέρα από τη ζώνη αυτή, προς το εσωτερικό της λίμνης, συναντήθηκαν μόνο ιλυοαργιλώδεις λιμναίες αποθέσεις, με κάποιο ποσοστό άμμου στις πολύ επιφανειακές στρώσεις (Γεωτρήσεις Γ4α, Γ4β).

Πρέπει όμως να επισημανθεί ότι και μέσα στα χονδρόκοκκα υλικά του κώνου και κάτω απ' αυτά υπάρχουν στρώσεις λεπτόκοκκων υλικών (ιλυώδους αργίλου) με πάχος τουλάχιστον 3 m.

Το υπόβαθρο των μαρμάρων δεν συναντήθηκε σε καμία γεώτρηση, η δε επιφανειακή του εμφάνιση βρίσκεται σε απόσταση 250 έως 600 m περίπου από την καμπύλη +49.

Μέσα στα λεπτόκοκκα υλικά της λίμνης υπάρχει φρεάτιος ορίζοντας με υψηλή στάθμη η οποία πέφτει προς την περιοχή των χονδρόκοκκων αλουβίων σε επίπεδα που επηρεάζονται και από την παρουσία των υποκειμένων λεπτοκόκκων στρωμάτων.

Τα βάθη από την επιφάνεια στα οποία εκτείνονται τα χονδρόκοκκα υλικά στις θέσεις των γεωτρήσεων και οι στάθμες ισορροπίας του φρεατίου ορίζοντα που μετρήθηκαν στα πιεζόμετρα δίνονται στον πίνακα 5.5.3.

Πίνακας 5.5.3

Γεώτρηση	Απολ. Υψόμετρο Πυθμένος Λίμνης	Οροφή υποβάθρου		Φρεάτιος Ορίζοντας	
		Βάθος (m)	Απολ. υψόμετρο	Βάθος (m)	Απολ. υψόμετρο
Γ4	+47.7	>10.5	<+37.2	6.25	+41.45
Γ4α	+45.6	-	-	1.35	+44.25
ΓΠ2	+45.35	-	-	1.15	+43.2
Γ4β	+44.95	-	-	0.65	+44.3
Γ14	+48.0	11.20	+36.8	10.6	+37.4
Γ14α	+46.15	8.20	+37.95	7.6	+38.55

Τα χονδρόκοκκα υλικά του χειμάρριου κώνου έχουν μέση έως χαμηλή διαπερατότητα. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας που προέκυψαν από επί τόπου δοκιμές κυμαίνονται στο διάστημα  $k = 5 \times 10^{-7} \div 10^{-5}$  m/sec, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα.

Η αντιπροσωπευτική τιμή εκτιμάται στην τάξη:

$$k = 10^{-6} \text{ m/sec}$$

Τα λεπτόκοκκα υλικά έχουν πολύ χαμηλή διαπερατότητα. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας  $k$  από επί τόπου δοκιμές κυμάνθηκαν μεταξύ  $5 \times 10^{-8}$  και  $10^{-6}$  m/sec, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άμμο και τη δρώσα πίεση υπερκειμένων. Αξιολογώντας και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, η αντιπροσωπευτική τιμή εκτιμάται στο διάστημα:

$$k = 10^{-9} \div 10^{-8} \text{ m/sec}$$

Λόγω της παρουσίας των λεπτοκόκκων στρώσεων μέσα και κάτω από τα χονδρόκοκκα αλούβια και δεδομένου ότι το υπόβαθρο βρίσκεται σε μεγάλο

βάθος, δεν αναμένονται αξιόλογες διαφυγές από ροή κατά την κατακόρυφη έννοια.

Κατά την οριζόντια έννοια μπορεί να αναμένεται κάποιος όγκος απωλειών, αλλά λόγω του μεγάλου μήκους της ροής μέχρι να συναντήσει το όριο των υδροπερατών μαρμάρων εκτιμάται ότι και οι απώλειες αυτές θα είναι ανεκτές. Μια προσεγγιστική εκτίμηση έχει ως εξής:

Με παραδοχή:

- μέσου μήκους ροής 400 m
- μέσου πάχους επιφανειακής διαπερατής στρώσης 10 m και μήκους ζώνης 1200 m
- στάθμης ταμιευτήρα στο +49 και μέσης στάθμης πυθμένα στο +46
- τιμή συντελεστή διαπερατότητας:  $k = 10^{-5}$  m/sec (μέγιστη μετρηθείσα)

οι ετήσιες απώλειες προκύπτουν:

$$Q = 10^{-5} \times (8/400) \times (1200 \times 10) \times (365 \times 86400) \approx 76 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Κατά συνέπεια δεν κρίνεται αναγκαίο να ληφθούν μέτρα περιορισμού των διαφυγών στη ζώνη αυτή.

#### **5.5.4 Περιοχή Γεωτρήσεων Γ5α-ΓΠ3-Γ5β (Ζώνη 5)**

Η ζώνη αυτή έχει μήκος 150-200 m. Στην περιοχή αυτή, όπως και στην προηγούμενη, συναντήθηκαν στις γεωτρήσεις χονδρόκοκκα αλούβια (αμμοχάλικα) του χειμάρριου κώνου Βαθυρέματος, ενώ δεν συναντήθηκε το ασβεστολιθικό υπόβαθρο μέχρι το βάθος των 20 m που ερευνήθηκε. Η επιφανειακή του εμφάνιση απέχει 150 m περίπου από την καμπύλη +49.

Τα χονδρόκοκκα υλικά συναντώνται στην επιφάνεια της ζώνης (γεώτρηση Γ5α) μέχρι κάποια απόσταση της τάξης 100 m περίπου από την καμπύλη +49 προς το εσωτερικό της λίμνης και στην συνέχεια καλύπτονται σε κάποιο πάχος από τα λεπτόκοκκα υλικά των λιμναίων ιζημάτων (γεωτρήσεις Γ5β, ΓΠ3).

Όπως φαίνεται από τις στάθμες του υπογείου νερού που δίνονται στον πίνακα 5.5.4, τα επιφανειακά λεπτόκοκκα υλικά διατηρούν ένα επικρεμάμενο ορίζοντα του οποίου η στάθμη, που μετρήθηκε στο ρηχό πιεζόμετρο ΓΠ3, είναι αρκετά υψηλότερη από τη στάθμη του φρεάτιου ορίζοντα μέσα στα υποκείμενα

αμμοχαλικώδη στρώματα (γεωτρήσεις Γ5α και Γ5β), γεγονός που υποδηλώνει την επιρροή του διαπερατού υποβάθρου.

Πίνακας 5.5.4

Γεώτρηση	Απολ. Υψόμετρο Πυθμένα Λίμνης	Φρεάτιος Ορίζοντας	
		Βάθος (m)	Απολ. Υψομ.
Γ5α	+45.85	16.4	+29.45
ΓΠ3	+45.40	8.55	+36.85
Γ5β	+45.20	17.4	+27.8

Η διαπερατότητα των χονδρόκοκκων αλουβίων είναι χαμηλή στα επιφανειακά στρώματα και μέση στα βαθύτερα. Οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας είναι:

- επιφανειακά στρώματα (Γ5α):
  - από επιτόπου δοκιμές:  $k = 10^{-7}$  έως  $5 \times 10^{-7}$  m/sec
  - αντιπροσωπευτική τιμή κατ' εκτίμηση:  $k \approx 5 \times 10^{-8}$  m/sec
- βαθύτερα στρώματα (Γ5α, Γ5β):
  - από επιτόπου δοκιμές:  $k = 10^{-5}$  m/sec
  - αντιπροσωπευτική τιμή κατ' εκτίμηση:  $k = 10^{-6}$  m/sec

Η διαπερατότητα των λεπτόκοκκων αργιλοϊλυωδών στρωμάτων είναι πολύ χαμηλή. Η αντιπροσωπευτική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας εκτιμάται, με βάση τα αποτελέσματα των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών και την κοκκομετρία, ότι είναι της τάξης:

$$k = 10^{-8} \text{ m/sec}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσα στα επιφανειακά χονδρόκοκκα υλικά στη θέση της γεώτρησης Γ5α παρεμβάλλεται στρώση ιλυώδους αργίλου υψηλής πλαστικότητας πάχους 2.80 m, η οποία οπωσδήποτε, εάν έχει κάποια έκταση, επηρεάζει την κατακόρυφη διαπερατότητα των αλουβίων στην περιοχή αυτή.

Η τάξη μεγέθους των πιθανών ετήσιων διαφυγών από την υπό εξέταση ζώνη, λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες τιμές διαπερατοτήτων εκτιμάται ως εξής:

- Οριζόντια ροή μέσα από το επιφανειακό στρώμα χονδρόκοκκων υλικών προς τα μάρμαρα (πάχος στρώματος  $\approx 8\text{m}$ ):

$$Q = 5 \times 10^{-7} \times (7/150) \times (8 \times 150) \times (365 \times 86400) \approx 900 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

- Κατακόρυφη ροή προς το υπόβαθρο (ελάχιστο πάχος αλουβίων 20 m)

$$Q = 10^{-6} \times (23/20) \times (100 \times 150) \times (365 \times 86400) \approx 5.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Οι απώλειες αυτές θεωρούνται αποδεκτές και δεν κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων για τον περιορισμό τους.

### **5.5.5 Περιοχή Γεωτρήσεων Γ6-Γ6α-ΓΠ4 και Γ15-Γ15α (Ζώνη 6-15)**

Στη ζώνη αυτή, που έχει μήκος περί τα 900 m υπάρχει εκτεταμένος κώνος χονδρόκοκκων αλουβίων (γεωτρήσεις Γ6 και Γ15).

Ο κώνος αυτός κατακλύζεται στο τμήμα του από την καμπύλη +49 και προς το εσωτερικό της λίμνης, αλλά μεταξύ των υψομέτρων +45.50 και +45.0 βυθίζεται κάτω από αποθέσεις λεπτόκοκκων υλικών της λίμνης, που όμως κατά θέσεις περιέχουν και σημαντικό ποσοστό άμμου (γεωτρήσεις Γ6α, Γ15α).

Το υπόβαθρο των μαρμάρων δεν συναντήθηκε μέχρι το ερευνηθέν βάθος των 20 m, ενώ η επιφανειακή του εμφάνιση απέχει 150 m τουλάχιστον από την καμπύλη +49 στο μέσο περίπου της ζώνης.

Ο φρεάτιος ορίζοντας μέσα στα αμμοχάλικα του κώνου βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.5.5. Από τις μετρήσεις όμως που έγιναν στο ρηχό πιεζόμετρο ΓΠ4, φαίνεται ότι μέσα στα λεπτόκοκκα υλικά, που καλύπτουν τα υλικά του κώνου σε κάποια απόσταση από το όριο του ταμιευτήρα, διατηρείται επικρεμάμενος ορίζοντας με υψηλότερη στάθμη.



Πίνακας 5.5.5

Γεώτρηση	Απολ. Υψόμετρο Πυθμένα Λίμνης	Φρεάτιος Ορίζοντας	
		Βάθος (m)	Απολ. Υψόμετρο
Γ6	+47.8	>20.0	<+27.8
Γ6α	+45.35	17.1	+28.25
ΓΠ4	+45.2	6.55	+38.65
Γ15	+45.65	>15.0	<+30.65
Γ15α	+45.05	8.1	+36.95

Η διαπερατότητα των χονδρόκοκκων αλουβίων είναι μέση έως χαμηλή. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας, από επί τόπου δοκιμές στις γεωτρήσεις, κυμάνθηκαν στο διάστημα:  $k = 8 \times 10^{-6}$  έως  $7 \times 10^{-5}$  m/sec.

Η δοκιμή διαπερατότητας μεγάλης διαμέτρου, B3, η οποία έγινε στο επιφανειακό στρώμα, κοντά στη γεώτρηση Γ15, έδωσε  $k = 7.3 \times 10^{-5}$  m/sec.

Η αντιπροσωπευτική μέση τιμή του  $k$  για τα παραπάνω υλικά εκτιμάται στην τάξη  $k = 10^{-6}$  m/sec.

Η διαπερατότητα των λεπτόκοκκων υλικών είναι πολύ χαμηλή. Η αντιπροσωπευτική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας κυμαίνεται στο διάστημα  $k = 10^{-9}$  έως  $5 \times 10^{-8}$  m/sec, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα (κυρίως άμμο).

Πρέπει να σημειωθεί ότι λεπτόκοκκες στρώσεις συναντώνται και μέσα στα χονδρόκοκκα αλούβια (πχ γεωτρήσεις Γ6 και Γ15), οι οποίες επηρεάζουν την διαπερατότητα των αποθέσεων αυτών κατά την κατακόρυφη έννοια.

Θεωρώντας περίπτωση ροής κατά την κατακόρυφη έννοια προς το διαπερατό υπόβαθρο, με ένα ελάχιστο πάχος αλουβίων 20 m, σύμφωνα με τις γεωτρήσεις και με συντηρητική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας  $k = 5 \times 10^{-6}$  m/sec, οι απώλειες της ζώνης εκτιμώνται ως εξής:

$$Q = 5 \times 10^{-6} \times (23.5/20) \times (100 \times 900) \times (365 \times 86400) \approx 17 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Οι διαφυγές αυτές θεωρούνται σημαντικές και για το λόγο αυτό προτείνεται να ληφθούν μέτρα για τον περιορισμό τους, πχ απομόνωση της περιοχής του κώνου με ανάχωμα ή επένδυση του πυθμένα με στρώση αργίλου (στεγανωτικός τάπητας).

Επίσης πρέπει να επιχωθεί με λεπτόκοκκα υλικά το μεγάλο όρυγμα του δανειοθαλάμου φυσικού αμμοχάλικου, μετά την τυχόν εκμετάλλευσή του για τους σκοπούς του έργου, δεδομένου ότι το ήδη υφιστάμενο όρυγμα διακόπτει την καμπύλη +49.

### **5.5.6 Περιοχή Γεωτρήσεως Γ16 (Ζώνη 16)**

Στη ζώνη αυτή, μήκους 750-800 m, υπάρχει κώνος χονδροειδών αλουβίων, τμήμα του οποίου δυτικά της καμπύλης +49, κατακλύζεται σε ένα μέσο πλάτος περίπου 120 m.

Όπως φαίνεται στη γεώτρηση Γ16, κάτω από τα χονδρόκοκκα υλικά του κώνου υπάρχουν λεπτόκοκκες λιμναίες αποθέσεις σε αρκετό πάχος.

Το ασβεστολιθικό υπόβαθρο δεν συναντήθηκε και η επιφανειακή του εμφάνιση προσεγγίζεται μόνο στα άκρα της ζώνης.

Η διαπερατότητα των χονδρόκοκκων αλουβίων είναι χαμηλή, λόγω του ότι περιέχουν αρκετά λεπτόκοκκα. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή διαπερατότητας από επί τόπου δοκιμές ήταν  $k = 3 \times 10^{-6}$  m/sec και η εκτιμώμενη αντιπροσωπευτική τιμή  $k = 4 \times 10^{-7}$  m/sec.

Τα υποκείμενα λεπτόκοκκα υλικά έχουν πολύ χαμηλή διαπερατότητα. Η εκτιμώμενη αντιπροσωπευτική τιμή του  $k$  για τα υλικά αυτά είναι της τάξεως  $2 \times 10^{-9}$  m/sec.

Μέσα στις λιμναίες αποθέσεις διατηρείται φρεάτιος ορίζοντας του οποίου η στάθμη στη γεώτρηση Γ16 το Φεβρουάριο 95 ήταν +39.25.

Λόγω της παρουσίας των λεπτόκοκκων υλικών σε αρκετό πάχος κάτω από τα διαπερατά αλούβια, εκτιμάται ότι οι κατακόρυφες διαφυγές θα είναι πολύ μικρές.

Οι ετήσιες απώλειες λόγω οριζόντιας ροής μέσα στα χονδρόκοκκα υλικά, λαμβάνοντας υπόψη, συντηρητικά, τη μέγιστη μετρηθείσα τιμή του  $k$ , εκτιμώνται ως εξής:

$$Q = 3 \times 10^{-6} \times (8/400) \times (10 \times 800) \times (365 \times 86400) = 1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Οι απώλειες αυτές θεωρούνται αμελητέες και άρα δεν κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων για τον περιορισμό τους.

## **5.6 Νότιο Όριο Ταμιευτήρα**

### **5.6.1 Περιοχή Γεωτρήσεων Γ17-Γ17α (Ζώνη 17)**

Η χαρακτηριστική γεωτεχνική τομή της ζώνης αυτής έχει μήκος 1200 m.

Όπως φαίνεται από τις γεωτρήσεις Γ17, Γ17α, στη ζώνη αυτή και σε βάθος που υπερβαίνει τα 15 m υπάρχουν λεπτόκοκκα αλούβια (ιλυώδης άργιλος) με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου, ανάλογα με το οποίο κυμαίνεται και η διαπερατότητα από χαμηλή έως πολύ χαμηλή.

Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας από επί τόπου δοκιμές στις γεωτρήσεις κυμάνθηκαν μεταξύ  $5 \times 10^{-9}$  και  $2 \times 10^{-6}$  m/sec, ενώ οι εργαστηριακές τιμές ήταν μικρότερες από  $4 \times 10^{-9}$  m/sec.

Οι εκτιμώμενες αντιπροσωπευτικές τιμές κυμαίνονται στο διάστημα  $k = 10^{-9}$  έως  $5 \times 10^{-8}$  m/sec, ανάλογα με το ποσοστό περιεχόμενης άμμου.

Η επί τόπου δοκιμή διαπερατότητας μεγάλης διαμέτρου, B2, που εκτελέστηκε στη ζώνη αυτή, έδωσε  $k \approx 1.7 \times 10^{-5}$  m/sec, αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η δοκιμή αυτή ήταν πολύ κοντά στο όριο του ταμιευτήρα.

Μέσα στα αλούβια διατηρείται φρεάτιος ορίζοντας οι στάθμες του οποίου δίνονται στον Πίνακα 5.6.1.

Πίνακας 5.6.1

Γεώτρηση	Απολ. Υψόμετρο Πυθμένα Λίμνης	Φρεάτιος Ορίζοντας	
		Βάθος (m)	Απολ. Υψόμετρο
Γ17	+45.9	13.6	+32.3
Γ17α	+45.45	6.55	+38.9

Όπως φαίνεται από τις στάθμες, υπάρχει κλίση του ορίζοντα από τη λίμνη προς την περιμέτρο, που είναι ενδεικτική κάποιας υπόγειας ροής.

Λογω της χαμηλής διαπερατότητας και του μεγάλου πάχους των λεπτόκοκκων αλουβίων, εκτιμάται ότι οι διαφυγές από τη ζώνη αυτή θα είναι πολύ μικρές και επομένως δεν απαιτείται λήψη στεγανωτικών μέτρων. Εξ άλλου από τη γεωλογική χαρτογράφηση και τη γεώτρηση Γ5 της παλαιότερης έρευνας (1970), φαίνεται ότι το υπόβαθρο στο μεγαλύτερο μήκος της ζώνης είναι γνευσιοσχιστολιθικό, το οποίο έχει χαμηλή διαπερατότητα.

### 5.7. Σύνοψη Συμπερασμάτων

Από τα εξετασθέντα στο μέρος αυτό τμήματα της περιμέτρου, απαιτείται η λήψη μέτρων περιορισμού των απωλειών μόνο στις ζώνες όπου ο ταμιευτήρας έρχεται σε απευθείας επαφή με τα μάρμαρα και στη ζώνη (6-15) όπου το κατακλυζόμενο τμήμα του αλουβιακού κώνου υπάρχουν χονδρόκοκκα υλικά σε μεγάλο πάχος και οι εκτιμώμενες απώλειες είναι σημαντικές. Τα προτεινόμενα μέτρα συνοψίζονται στον πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7

Ζώνη	Προτεινόμενα μέτρα στεγάνωσης περιμέτρου
1	Απομόνωση της εμφάνισης των μαρμάρων με περιμετρικό ανάχωμα, σε απόσταση 50-60 m από αυτή. Μήκος αναχώματος $\approx 650$ m.
2-3	Ως άνω. Μήκος αναχώματος $\approx 1000$ m.
6-15	Στεγάνωση με περιμετρικό ανάχωμα μήκους $\approx 900$ m ή στεγανωτικό τάπητα σε επιφάνεια $\approx 100 \times 900$ m.

## 5.8 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΠΕΛΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΩΝ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ

### 5.8.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η στρωματογραφία και συνοψίζονται τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφικών στρωμάτων και το καθεστώς του υπόγειου νερού κατά μήκος των αξόνων των αναχωμάτων, όπως αυτά προκύπτουν από την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων στοιχείων, τόσο από την παρούσα έρευνα όσο και από τις προγενέστερες.

### 5.8.2 Στρωματογραφία

Όπως φαίνεται από τις τομές των γεωτρήσεων 1 έως 9 της έρευνας της Προμελέτης (1982) και των γεωτρήσεων A1 έως A3 (θέσεις αντλιοστασίων) της παρούσας έρευνας, το υπέδαφος κατά μήκος των αξόνων των κυρίων αναχωμάτων και μέχρι το ερευνηθέν βάθος των 20 m περίπου συντίθεται από λιμναίες αποθέσεις ιλυώδους αργίλου, γκρίζας ως γκριζοκάστανης ή γκριζοπράσινης, υψηλής κυρίως πλαστικότητας (CH) με λίγες εξαιρέσεις μέσης πλαστικότητας (CL).

Από τα αποτελέσματα τριών γεωτρήσεων (Γ6, Γ7, Γ8), που εκτελέστηκαν στην κεντρική περιοχή του ταμειυτήρα στα πλαίσια παλαιότερης έρευνας (1970) της

εταιρίας 'ΓΕΩΡΕΥΝΑ', φαίνεται ότι το πάχος των αργιλικών αποθέσεων υπερβαίνει τα 65 m.

Με εξαίρεση το τμήμα του δυτικού αναχώματος που διήκει παράλληλα με την κύρια τάφρο 1T (γεωτρήσεις 1 έως 3), όπου προφανώς τα εδαφικά στρώματα έχουν υποστεί μεγαλύτερη στράγγιση και στερεοποίηση λόγω της παρουσίας της τάφρου, τα επιφανειακά στρώματα του αργιλικού σχηματισμού, σε ένα πάχος που ποικίλλει από 2 έως 8 m, είναι μέσης συνεκτικότητας έως στιφρά.

Σε μεγαλύτερα βάθη (και στις γεωτρήσεις 1 έως 3 από την επιφάνεια) η άργιλος εμφανίζεται πολύ στιφρή έως σκληρή.

Επιφανειακά η άργιλος παρουσιάζει κατά το θέρος ρωγμές ξηρασίας που φθάνουν σε βάθος 0.50 έως 0.70 m, όπως είναι σύνηθες σε αργίλους υψηλής πλαστικότητας.

Γενικά μπορεί να υποστηριχτεί ότι επικρατούν περίπου ομοιόμορφες συνθήκες υπεδάφους σε όλο το μήκος των αναχωμάτων, με κάποιες διαφοροποιήσεις, ως προς τη συνεκτικότητα, στις επιφανειακές στρώσεις. Οι δυσμενέστερες συνθήκες εμφανίζονται στην περιοχή της γεώτρησης A1 (αντλιοστάσιο DP2).

### **5.8.3 Καθεστώς Υπογείου Νερού**

Οι μετρήσεις στάθμης που έγιναν σε γεωτρήσεις και πιεζόμετρα στα πλαίσια των ερευνών της προμελέτης (1981) έδειξαν στάθμη υπόγειου ορίζοντα σε βάθος 2.30-2.50 m από την επιφάνεια. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν κατά την ξερή περίοδο (Αύγουστος-Σεπτέμβριος 1981).

Κατά τις πρόσφατες έρευνες μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου (Μάρτιος 1995) στις γεωτρήσεις A2 και A3 στάθμες υπόγειου ορίζοντα σε βάθος 0.20 m από την επιφάνεια, η δε περιοχή της γεώτρησης A1 ήταν καθ' όλη τη χειμερινή περίοδο κατακλυσμένη από νερά.

Οι μετρήσεις που έγιναν σε γεωτρήσεις και πιεζόμετρα στην περίμετρο της λεκάνης και στο λόφο της Μαγούλας έδειξαν στάθμες υπόγειου νερού μέσα στο ασβεστολιθικό ή γνευσιακό υπόβαθρο σε αρκετά μεγαλύτερα βάθη (4-48 m).

Από τις πιεζομετρικές παρατηρήσεις συνάγεται ότι μέσα στις αργιλικές αποθέσεις της Κάρλας αναπτύσσεται επικρεμάμενος ορίζοντας υπόγειου νερού,

του οποίου η στάθμη κατά τους υγρούς μήνες του έτους φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ κατά τους θερινούς υποχωρεί σε βάθη 2 – 4 m.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο ορίζοντας αυτός έχει ελαφρά κλίση προς την ανατολική και νότια πλευρά της περιμέτρου της λεκάνης όπου υπάρχουν σχηματισμοί με σχετικά μεγαλύτερη διαπερατότητα (κορήματα, μάρμαρα).

#### **5.8.4 Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά Εδαφικών Στρωμάτων**

Όπως προαναφέρθηκε, το υπέδαφος έδρασης των αναχωμάτων αποτελείται από ενιαίο σχηματισμό γκρίζας έως γκριζοπράσινης ιλυώδους αργίλου, ως επί το πλείστον υψηλής πλαστικότητας (CH), η οποία κατά τόπους περιέχει και μικρό ποσοστό άμμου.

Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της αργίλου αυτής συνοψίζονται ως ακολούθως:

α) Κοκκομετρία:

Άμμος: 0÷11%, Λεπτόκοκκα (<No.200):89÷100%

Αργιλικό κλάσμα: CF = 23÷68%

Το κοκκομετρικό φάσμα του υλικού φαίνεται στο Σχήμα 5.1

β) Όρια Atterberg:

Όριο υδαρότητας: WL = 42÷81%

Όριο πλαστικότητας: Wp = 18÷34%

Δείκτης πλαστικότητας: Ip = 22÷52%

Το υλικό κατατάσσεται ως άργιλος υψηλής πλαστικότητας (CH), με λίγες εξαιρέσεις κατά τόπους όπου εμφανίζεται με μέση πλαστικότητα (βλ. Σχ. 5.2α)

γ) Φυσική υγρασία:

Αυτή κυμαίνεται στο διάστημα  $w = 15\div 50\%$  με μ.ο  $w \approx 30\%$ . Ως επί το πλείστον υπερβαίνει το όριο πλαστικότητας (βλ. Σχ. 5.2β).

δ) Ξηρό Φαινόμενο Βάρος:

Κυμαίνεται στο διάστημα  $\gamma_d = 12 \div 17\% \text{ KN/m}^3$  με μέσο όρο:  $\gamma_d \approx 14.5 \text{ KN/m}^3$

ε) Λόγος κενών:

Κυμαίνεται στο διάστημα:  $e_o = 0.49 \div 1.21$  με μέσο όρο:  $e_o \approx 0.87$ .

στ) Βαθμός Κορεσμού:

Είναι σχετικά υψηλός:  $S_r = 92 \div 100\%$

ζ) Συνεκτικότητα- Αντίσταση σε Διείσδυση (S.P.T.):

Τα επιφανειακά στρώματα του αργιλικού σχηματισμού, σε ένα πάχος από την επιφάνεια που κυμαίνεται από 2 έως 8 m, είναι μέσης συνεκτικότητας έως στιφρά, με κρούσεις S.P.T. από 6 έως 16. Σε μεγαλύτερα βάθη η συνεκτικότητα αυξάνει και η άργιλος εμφανίζεται πολύ στιφρή έως σκληρή με κρούσεις S.P.T. από 20 έως 50. Ειδικά στο τμήμα του δυτικού αναχώματος που διήκει παράλληλα με την κύρια τάφρο 1T, η άργιλος είναι σκληρή από την επιφάνεια.

Η κατανομή των κρούσεων S.P.T. με το βάθος, σε όλο το μήκος των αναχωμάτων, φαίνεται στο Σχήμα 5.3.

η) Δραστικότητα

Η άργιλος είναι ελαφρώς διογκούμενη, όπως προκύπτει από τα όρια Atterberg και τις δοκιμές στερεοποίησης στα δείγματα των γεωτρήσεων A1, A2, A3.

Η δραστικότητα είναι:  $A = I_p/CF = 0.53 \div 1.10$  με μ.ο.  $A = 0.76$ . Όπως φαίνεται στο διάγραμμα δραστικότητας (Σχήμα 5.4) η δραστικότητα της αργίλου πλησιάζει εκείνη του ιλλίτη. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών στερεοποίησης φαίνεται ότι η πίεση διόγκωσης έχει τιμή μεταξύ 50 και 100 Kpa, για δείγματα που έχουν ληφθεί από βάθος 5-15 m όπου η άργιλος είναι πολύ στιφρή. Στην επιφανειακή ζώνη, όπου η άργιλος έχει μέση συνεκτικότητα, η πίεση διόγκωσης είναι πολύ μικρή, διότι προφανώς το υλικό εκεί είναι ήδη διογκωμένο λόγω της χαμηλής δρώσας πίεσης υπερκειμένων.

θ) Διατμητική αντοχή:



Με βάση τα αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών UU και των δοκιμών σε ανεμπόδιστη θλίψη, οι τιμές των παραμέτρων της αντοχής ως προς ολικές τάσεις (βραχυχρόνιες συνθήκες χωρίς δυνατότητα στράγγισης) κυμαίνονται ως εξής:

$$C_u = 20 \text{ έως } 340 \text{ KPa και } \varphi_u = 0$$

Η κατανομή της αστράγγιστης αντοχής με το βάθος φαίνεται στο Σχήμα 5.5 (α).

Για τους υπολογισμούς βραχυχρόνιας ευστάθειας του αναχώματος προτείνεται να ληφθούν οι τιμές:

$$C_u = 50 \text{ Kpa για βάθος } 0 \div 5.00 \text{ m}$$

$$C_u = 100 \text{ Kpa για βάθος } >5.00 \text{ m}$$

Για την εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων της αντοχής ως προς δρώσες τάσεις (μακροχρόνιες συνθήκες υπό πλήρη στράγγιση) ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα δύο σειρών τριαξονικών δοκιμών CIUPP σε δείγματα από τις γεωτρήσεις Γ1α και Γ1β. Οι γεωτρήσεις αυτές είναι εκτός του άξονα των αναχωμάτων αλλά, λόγω της σχετικής ομοιομορφίας του αργιλικού σχηματισμού, τα αποτελέσματά τους μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά.

Οι τιμές των παραμέτρων προέκυψαν ως εξής:

$$c' = 30 \div 35 \text{ Kpa, } \quad \varphi' = 21^\circ \div 24^\circ$$

και αφορούν στην επιφανειακή ζώνη της αργίλου.

Στους γεωτεχνικούς υπολογισμούς της Προμελέτης είχαν ληφθεί, με βάση αποτελέσματα δοκιμών CIUPP σε συμπυκνωμένα (διαταραγμένα) δείγματα, οι εξής τιμές:

$$c' = 20 \text{ Kpa, } \quad \varphi' = 23^\circ$$

Για την παρούσα οριστική μελέτη προτείνονται για τις αναλύσεις ευστάθειας τα εξής δύο ζεύγη τιμών:

$$c' = 20 \text{ Kpa, } \quad \varphi' = 23^\circ$$

$$c' = 30 \text{ Kpa, } \quad \varphi' = 21^\circ$$

ι) Συμπιεστότητα:

Ο δείκτης συμπίεσης κυμαίνεται στο διάστημα  $C_c = 0.11 \div 0.39$  με μ.ο. 0.19.

Στο Σχήμα 5.5 (β) δίνονται διαγραμματικά οι τιμές του μέτρου συμπίεσεως,  $E_s$ , για διάφορα βάθη. Οι τιμές αυτές προσδιορίστηκαν από τις δοκιμές στερεοποίησης και αντιστοιχούν στην εκάστοτε δρώσα τάση υπερκειμένων αυξημένη κατά 50 KPa για να ληφθεί υπόψη η μεταβολή των τάσεων λόγω της φόρτισης του αναχώματος.

Ο συντελεστής στερεοποίησης,  $C_v$ , κυμαίνεται στο διάστημα:  $(0.5 \div 17) \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$ , ανάλογα με την περιοχή και τη δρώσα πίεση υπερκειμένων. Η μέση τιμή του μέχρι βάθους 20m και για όλο το μήκος των αναχωμάτων είναι  $C_v = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$ .

ια) Διαπερατότητα:

Με βάση τις επιτόπου δοκιμές Maag, ο συντελεστής διαπερατότητας των υλικών του πυθμένα της λίμνης κυμαίνεται ως εξής:

Βάθος 0-5 m:  $k = 1.2 \times 10^{-5}$  έως  $2.5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

Βάθος 5-20 m:  $k = 1.1 \times 10^{-6}$  έως  $1.4 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

Από εργαστηριακές δοκιμές υπό την δρώσα τάση υπερκειμένων προέκυψαν αντίστοιχα:

Βάθος 0-5 m:  $k = 1.3 \times 10^{-8}$  έως  $7.8 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$

Βάθος 5-20 m:  $k = 1.6 \times 10^{-8}$  έως  $4.2 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$

Οι διαφορές μεταξύ επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών οφείλονται στα γνωστά μειονεκτήματα και των δύο τύπων δοκιμών, λόγω των οποίων οι μεν επί τόπου συστηματικά υπερεκτιμούν οι δε εργαστηριακές συστηματικά υποεκτιμούν τη διαπερατότητα. Εξ άλλου οι εργαστηριακές δοκιμές μετρούν την κατακόρυφη διαπερατότητα, ενώ οι επί τόπου κυρίως την οριζόντια διαπερατότητα, η οποία είναι μεγαλύτερη.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα, η τάξη μεγέθους του συντελεστή μέσης διαπερατότητας εκτιμάται ως εξής:

Βάθος 0-5 m:  $k \approx 10^{-6}$  cm/sec

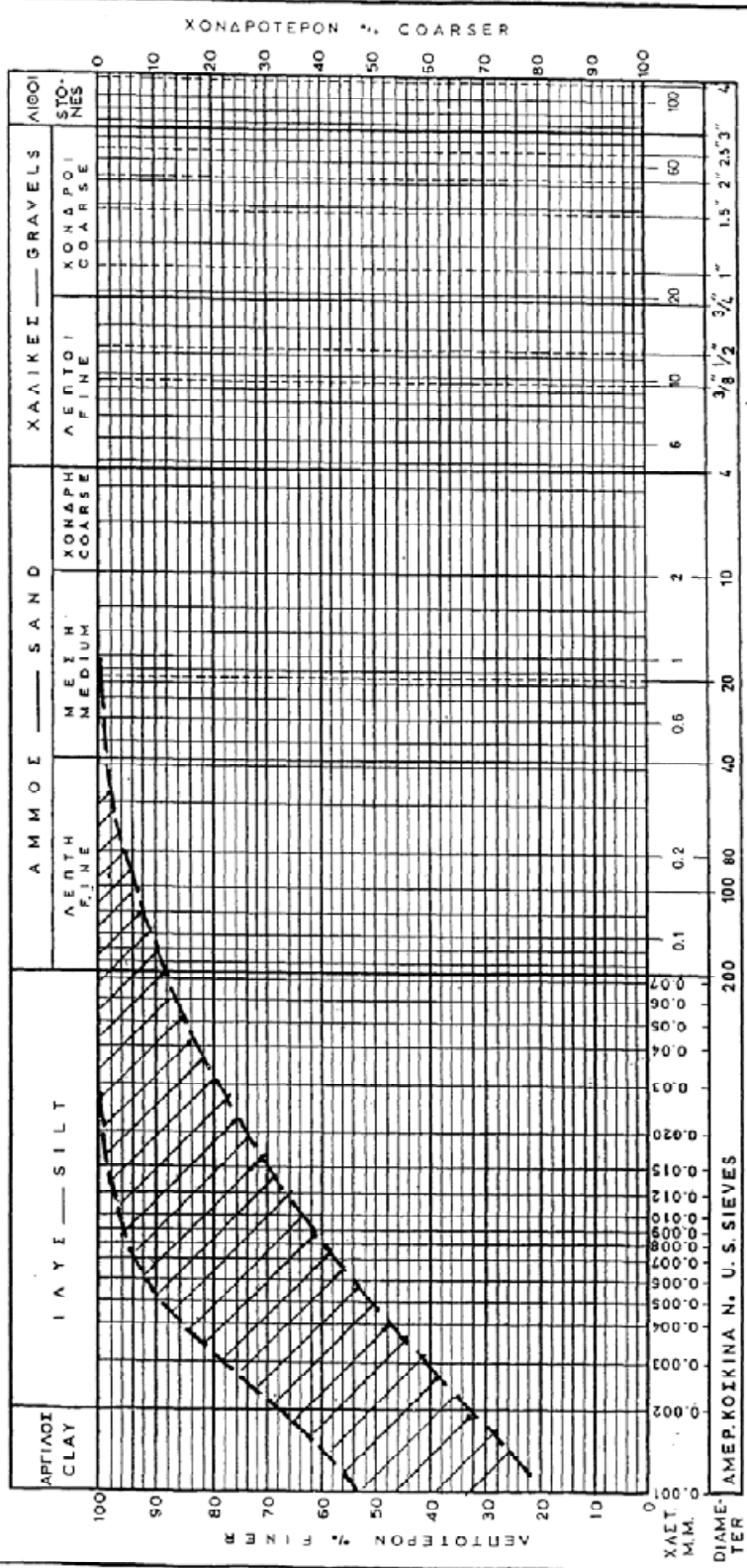
Βάθος 5-20 m:  $k \approx 10^{-7}$  cm/sec

ιβ) Διαβρωσιμότητα:

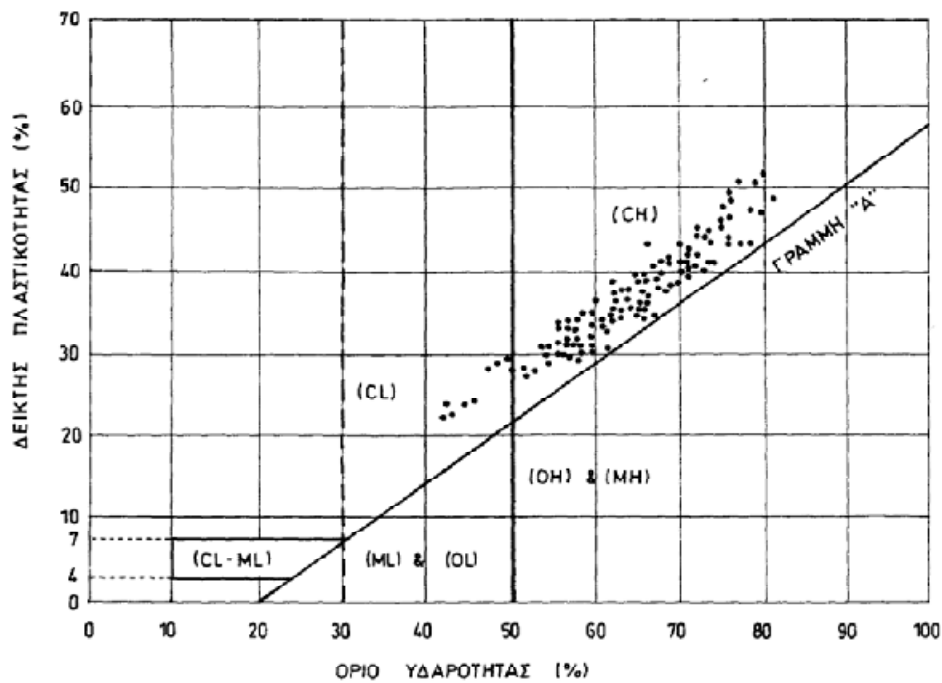
Οι ειδικές δοκιμές διπλού υδρομέτρου και pinhole που εκτελέστηκαν κατά το στάδιο της προμελέτης έδειξαν ότι τα υλικά του πυθμένα της λίμνης γενικά δεν παρουσιάζουν πρόβλημα εσωτερικής διάβρωσης λόγω υδροδιαλυτών αλάτων νατρίου (dispersion).

Εξάιρεση αποτέλεσε ένα μοναδικό επιφανειακό δείγμα από τη γεώτρηση 9, στην περιοχή του ανατολικού αναχώματος, που παρουσίασε ενδείξεις διασποράς στη δοκιμή διπλού υδρομέτρου. Έτσι στα πλαίσια των ερευνών της οριστικής μελέτης έγιναν δύο ακόμη δοκιμές διπλού υδρομέτρου σε σχετικά επιφανειακά δείγματα από τις γεωτρήσεις A1 και A2 (περιοχή αντλιοστασίων) καθώς και μια ειδική δοκιμή προσδιορισμού υδατοδιαλυτών αλάτων σε νερό των εδαφικών πόρων, σε δείγμα από τη γεώτρηση A1 που είναι πλησιέστερα στη γεώτρηση 9. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν ότι τα εδάφη δεν είναι “dispersive” και δεν έχουν πρόβλημα εσωτερικής διάβρωσης.

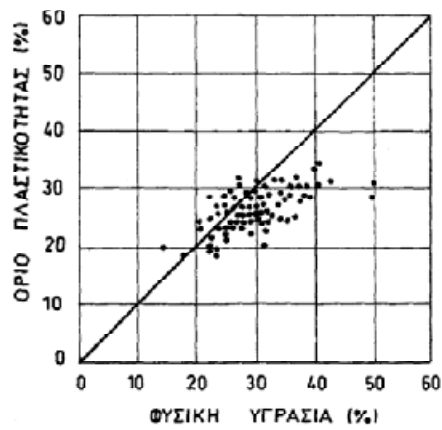
**ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΙΣ      GRAIN SIZE ANALYSIS**



ΕΡΓΟΝ PROJECT	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΥΛΙΚΩΝ ΠΥΘΜΕΝΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΓΕΩΡΕΥΝΑΣ - ΟΤΜΕΠΕ <small>Οσοβρύχια 119 - Αθήνα 115 64 - Τηλ. 8425330</small>	ΕΡΓ. ΑΡΙΘΜΟΣ LABOR. N
ΓΕΩΤΡ. Boreh.	ΒΑΘΟΣ Depth (m.)	ΣΥΜΒΟΛ Symbol	ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ Specific Gravity (g/cm <sup>3</sup> )
3/8" 1/2" 3/4" 1" 1.5" 2" 2.5" 3"	6 10 20 40 60 100	L.L. (%) P.L. (%)	L.L. (%) P.L. (%)
3/8" 1/2" 3/4" 1" 1.5" 2" 2.5" 3"	6 10 20 40 60 100	W (%)	W (%)
3/8" 1/2" 3/4" 1" 1.5" 2" 2.5" 3"	6 10 20 40 60 100	OP. ATTERBERG Liquid Limit (Lim.)	OP. ATTERBERG Liquid Limit (Lim.)
3/8" 1/2" 3/4" 1" 1.5" 2" 2.5" 3"	6 10 20 40 60 100	Plasticity Index (I <sub>p</sub> )	Plasticity Index (I <sub>p</sub> )



(α) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

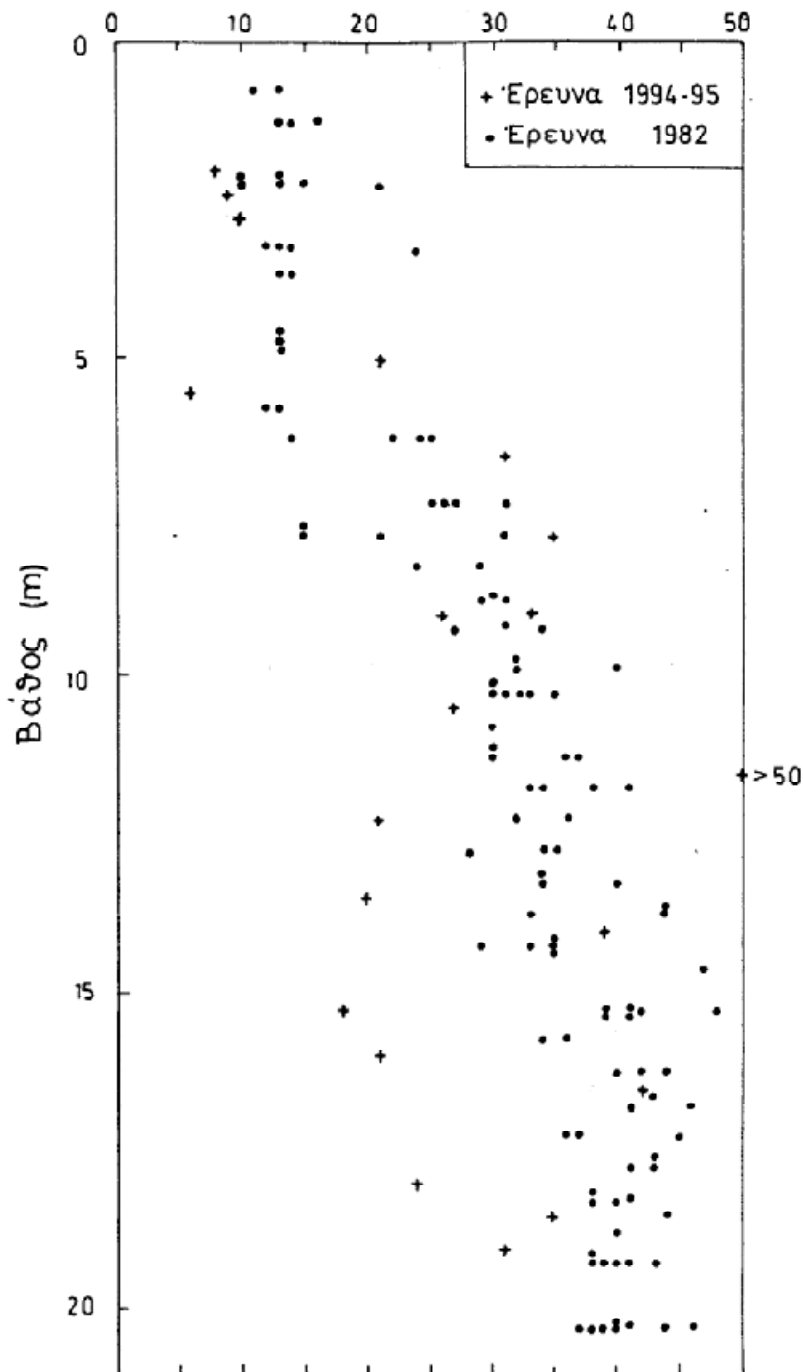


(β) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ  
ΥΛΙΚΩΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΛΙΜΝΗΣ

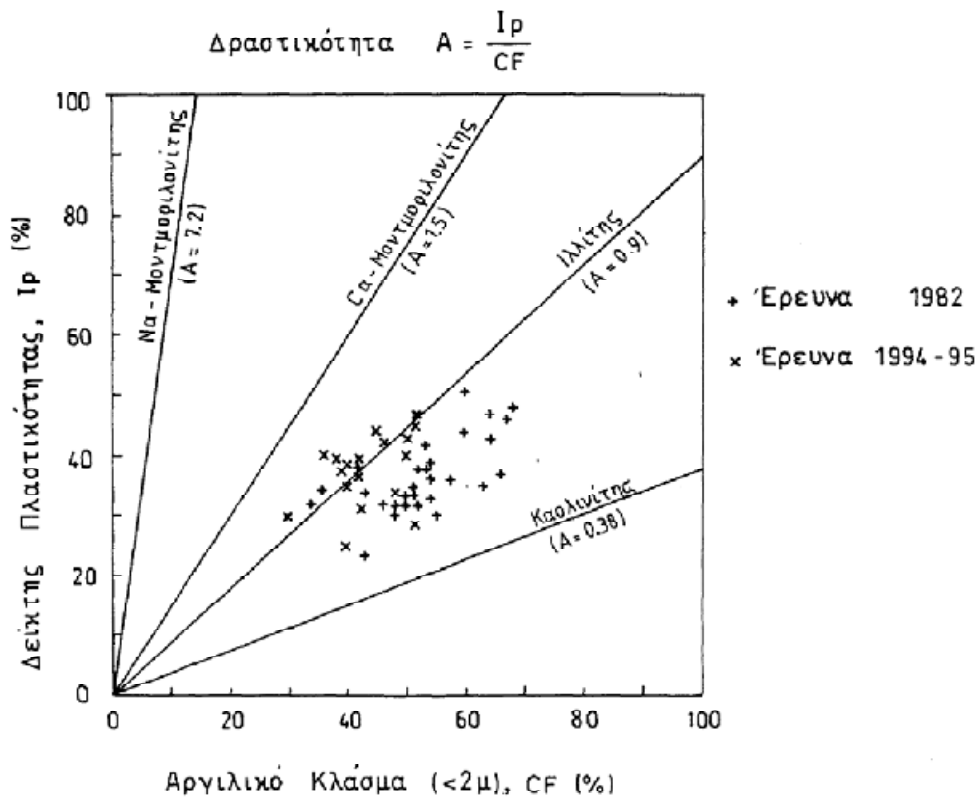
ΣΧΗΜΑ 5.2

### Κρούσεις SPT



Κατανομή των Κρούσεων SPT με το Βάθος κατά μήκος του Άξονα των Αναχωμάτων

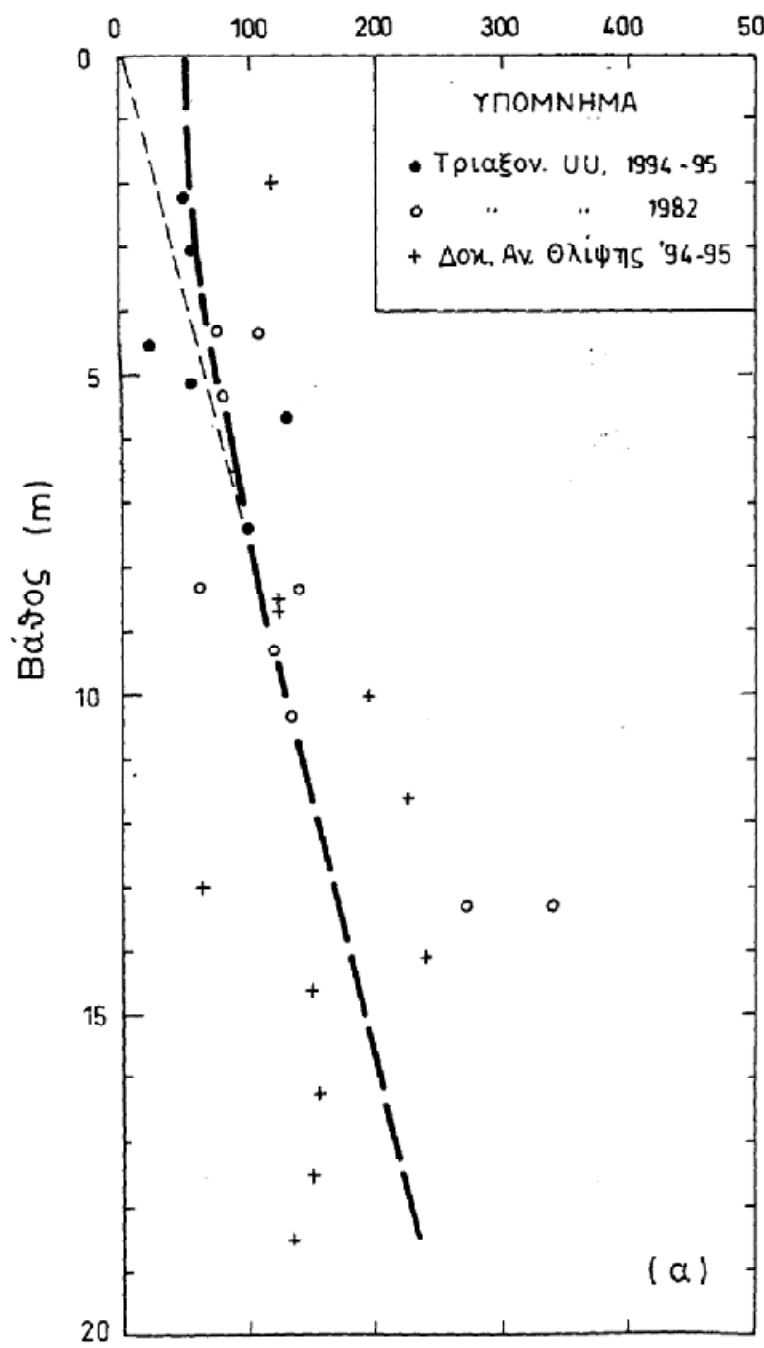
ΣΧΗΜΑ 5.3



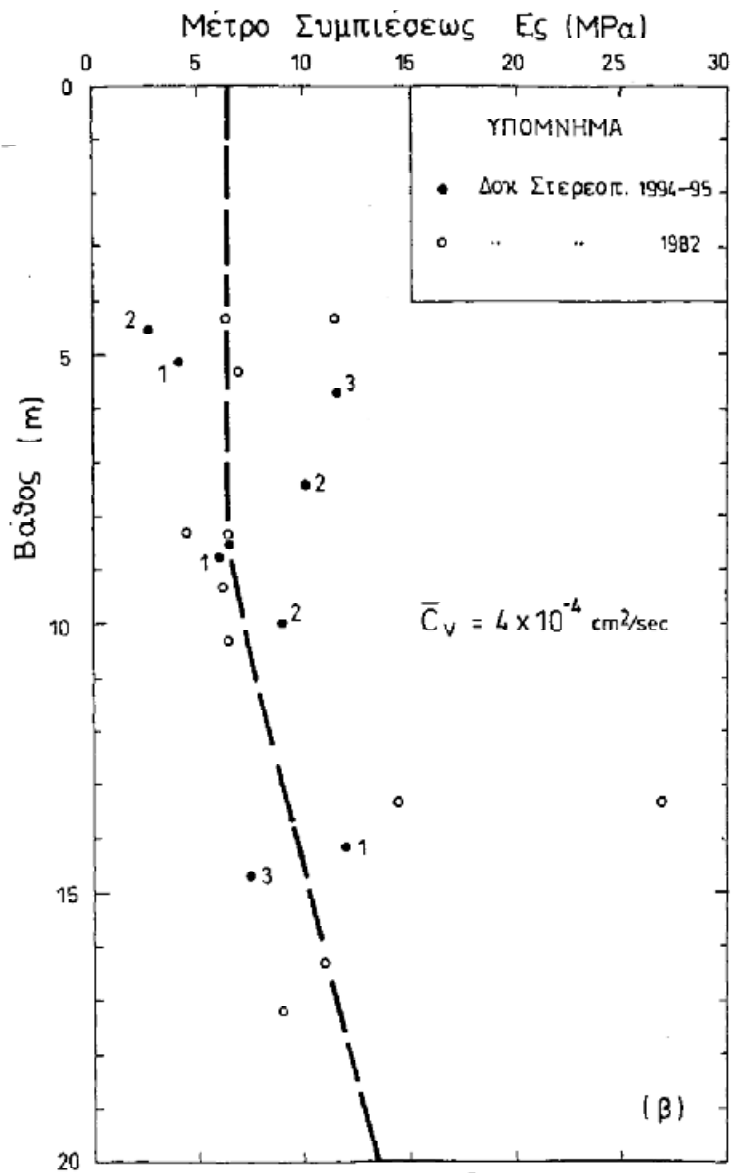
ΑΡΓΙΛΟΣ ΠΥΘΜΕΝΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ  
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ  
(Skempton 1953)

ΣΧΗΜΑ 5.4

Αστράγγιστη Αντοχή  $C_u$  (kPa)







ΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ( $C_u$ ) ΚΑΙ ΤΟΥ  
Ε ΤΟ ΒΑΘΟΣ, ΣΤΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ  
ΩΝ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 5.5

## **6. ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ**

### **6.1 Πηγές υλικών – Διαθέσιμα Στοιχεία Ερευνών**

Τα υλικά για την κατασκευή του σώματος των αναχωμάτων θα αντληθούν από δύο κυρίως πηγές:

α) Δανειοθαλάμους στον πυθμένα της λίμνης στην περιοχή που θα κατακλυσθεί.

β) Εκσκαφές για την κατασκευή του συλλεκτήρα Σ3.

Σε ότι αφορά τα υλικά των στραγγιστικών στρώσεων (φίλτρων) και των στρώσεων προστασίας, επειδή δεν υπάρχουν στην περιοχή φυσικά κοκκώδη υλικά σε επαρκείς ποσότητες, θα χρησιμοποιηθούν θραυστά υλικά λατομείου από τους ασβεστόλιθους που αφθονούν στην περιοχή.

Στη συνέχεια δίνεται συνοπτική περιγραφή των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των υλικών αυτών.

### **6.2 Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά Διαθεσίμων Υλικών Επιχώματος**

#### **6.2.1 Υλικά Πυθμένος Λίμνης (Πεδιάδας)**

Πρόκειται στην ουσία για τα ίδια υλικά που συναντώνται στα επιφανειακά στρώματα του υπεδάφους κατά μήκος του άξονα των αναχωμάτων. Τα χαρακτηριστικά τους, όπως προέκυψαν από την εργαστηριακή έρευνα των δειγμάτων των αντίστοιχων ερευνητικών φρεάτων (1÷22 και 27÷32), συνοψίζονται ως εξής:

1) Περιγραφή

Ιλυώδης Άργιλος, γκρίζα έως γκριζοκάστανη, ως επί το πλείστον υψηλής πλαστικότητας (CH), η οποία κατά τόπους περιέχει και λίγη λεπτή άμμο.

2) Κοκκομετρία:

Άμμος 0÷10%, Λεπτόκοκκα (<No.200): 90÷100%,  
Αργιλικό κλάσμα: CF = 42÷67%

Το κοκκομετρικό φάσμα των υλικών φαίνεται στο Σχήμα 6.1

3) Όρια Atterberg:

Όριο υδαρότητας: W<sub>l</sub> = 41÷90%

Όριο πλαστικότητας: W<sub>p</sub> = 16÷31%

Δείκτης πλαστικότητας:  $I_p = 19 \div 59\%$

Τα υλικά κατατάσσονται στην κατηγορία των αργίλων υψηλής πλαστικότητας (CH), με λίγες εξαιρέσεις κατά τόπους, όπου εμφανίζονται με μέση πλαστικότητα (CL).

4) Φυσική υγρασία:

Κυμαίνεται στο διάστημα:  $w = 13 \div 39\%$ . Γενικώς υψηλότερη από το όριο πλαστικότητας.

5) Δραστικότητα:

Κυμαίνεται στο διάστημα  $A = 0.53 \div 0.9$

6) Χαρακτηριστικά Συμπύκνωσης (Std Proctor)

Βέλτιστη υγρασία:  $W_{opt} = 20 \div 28\%$ , μ.ο 24%

Μέγιστο ξηρό φ.β.:  $\max \gamma_d = 14.4 \div 16.6 \text{ KN/m}^3$ , μ.ο  $15.7 \text{ KN/m}^3$

Μέση τιμή φαινομένου βάρους συμπυκνωμένου υλικού στη βέλτιστη υγρασία:  $\gamma = 19.5 \text{ KN/m}^3$ .

7) Διατμητική Αντοχή

Μετρήθηκε με τριαξονικές δοκιμές σε δοκίμια συμπυκνωμένα στο 95% της  $\max \gamma_d$  και με υγρασία  $W_{opt} + 3\%$ .

Ως προς ολικές τάσεις (3 αξον. Δοκιμές UU):

$C_u = 40 \div 80 \text{ KPa}$ ,  $\phi_u = 1^\circ \div 9^\circ$

Για τον έλεγχο βραχυχρόνιας ευστάθειας προτείνονται δύο ζεύγη τιμών:

$\min C_u = 40 \text{ KPa}$ , αντίστοιχο  $\phi_u = 7^\circ$

$\min \phi_u = 1^\circ$ , αντίστοιχο  $C_u = 60 \text{ KPa}$

Ως προς δρώσες τάσεις (3 αξον. Δοκ. CIUPP):

$C' = 20 \text{ KPa}$ ,  $\phi = 23^\circ \div 27^\circ$

Τιμές σχεδιασμού για τους ελέγχους ευστάθειας:

$C' = 20 \text{ KPa}$ ,  $\phi = 23^\circ$

8) Συμπίεστικότητα

Από δοκιμές στερεοποίησης σε δοκίμια συμπυκνωμένα στο 95% της  $\max \gamma_d$  και με υγρασία  $W_{opt} + 3\%$  προέκυψαν:

Λόγος κενών:  $e_o = 0.75 \div 0.95$

Βαθμός κορεσμού:  $S_r = 82 \div 96\%$

Δείκτης συμπίεσεως:  $C_c = 0.19 \div 0.27$

Μέση τιμή μέτρου συμπίεσεως:  $E_s = 4 \text{ MPa}$

(για τάσεις από 20 έως 200 KPa)

9) Διαπερατότητα:

Από δοκιμές διαπερατότητας σε δοκίμια συμπυκνωμένα στο 95% (max γd) με υγρασία Wopt +3% και με τάσεις στερεοποίησης:

$\sigma'c=20\div 200\text{KPa}$ , που αντιστοιχούν στις τάσεις του αναχώματος, η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας κυμαίνεται στο διάστημα:

$$K=0.7 \times 10^{-8} \text{ έως } 4.2 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$$

Ως μέση τιμή σχεδιασμού προτείνεται:

$$K=10^{-7} \text{ cm/sec}$$

### 6.2.2 Υλικά Εκσκαφών Συλλεκτήρα Σ3

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανομοιομορφία σε σχέση με τα υλικά της πεδιάδας. Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά τους με βάση την εργαστηριακή έρευνα των δειγμάτων από τα αντίστοιχα φρέατα (23÷26 και 51÷60) συνοψίζονται ως εξής:

α) Περιγραφή

Υπάρχει μια ποικιλία εδαφικών τύπων όπως άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας (CL), αργιλλώδεις άμμοι (SC), ιλυώδεις άμμοι (SM), αμμώδεις ίλις (ML), και ενδιάμεσοι τύποι (SC-SM, CL-ML), εν γένει με μικρά ποσοστά χαλίκων (1÷17%).

Από τα υλικά αυτά θα πρέπει να απορριφθούν, τουλάχιστον για την ανάντη ζώνη του αναχώματος, οι τύποι (SM) και (ML) ως στερούμενοι πλαστικότητας και ευαίσθητοι σε διάβρωση, ενώ έχουν και μεγαλύτερη διαπερατότητα σε σχέση με τους άλλους τύπους, δεδομένου άλλωστε ότι υπάρχει επάρκεια πιο κατάλληλων υλικών.

Εναλλακτικά μπορούν να αναμιχθούν επιμελώς με τα πιο αργιλικά υλικά για να δώσουν αποδεκτούς τύπους, ή να χρησιμοποιηθούν μόνο στο κατάντη (εξωτερικό) τμήμα του αναχώματος.

Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά που ακολουθούν αναφέρονται στους εδαφικούς τύπους (CL), (SC), (CL-ML), (SC-SM).

β) Κοκκομετρία:

Χάλικες: 0÷17%

Άμμος: 12÷54%

Λεπτόκοκκα: 34÷88%

Αργιλ. Κλάσμα: 5÷24%

Το κοκκομετρικό φάσμα των υλικών φαίνεται στο Σχήμα 6.

γ) Όρια Atterberg:

Όριο υδαρότητας: WL=22÷40%

Όριο πλαστικότητας: Wp=18÷23%

Δείκτης πλαστικότητας: Ip=4÷13%

δ) Φυσική Υγρασία:

w=8.5÷26%

ε) Δραστικότητα:

Χαμηλή

στ) Χαρακτηριστικά Συμπύκνωσης (Std Proctor)

Βέλτιστη υγρασία: Wopt=10÷15%

Μεγ. Ξηρό φαινόμενο βάρος: max γd=18.4÷20.2 KN/m<sup>3</sup>

Μέση τιμή φαιν. βάρους συμπυκνωμένου υλικού: γ=21 KN/ m<sup>3</sup>

ζ) Διατμητική αντοχή

Από 3 αξον. Δοκιμές σε συμπυκνωμένα δοκίμια (95% max γd, Wopt +3%) :

Ολικές τάσεις (δοκιμές UU):

Cu=40÷80 KPa , φu=15°

Ζεύγη παραμέτρων για τους υπολογισμούς:

min Cu=40 KPa, αντίστοιχο φu=15°

min φu=4°, αντίστοιχο Cu=80 KPa

Cu=60 KPa, φu=5°

Δρώσεις τάσεις (δοκιμές CUPP):

$$c' = 0 \div 20 \text{ KPa}, \quad \varphi = 29^\circ \div 38^\circ$$

Ζεύγη παραμέτρων για τους υπολογισμούς:

$$\min c' = 0, \quad \text{αντίστοιχο } \varphi' = 31^\circ$$

$$\min \varphi' = 29^\circ, \quad \text{αντίστοιχο } c' = 20 \text{ KPa}$$

η) Συμπιεστότητα:

Από δοκιμές στερεοποίησης σε συμπυκνωμένα δοκίμια (95% max γd, Wopt +3%):

$$\text{Λόγος κενών : } e_0 = 0.44 \div 0.54$$

$$\text{Βαθμός κορεσμού: } S_r = 83 \div 98\%$$

$$\text{Δείκτης συμπίεσεως: } C_c = 0.08 \div 0.14$$

$$\text{Μέση τιμή μέτρου συμπίεσεως για τάσεις από 20 έως 200 KPa: } E_s = 5 \text{ MPa}$$

θ) Διαπερατότητα:

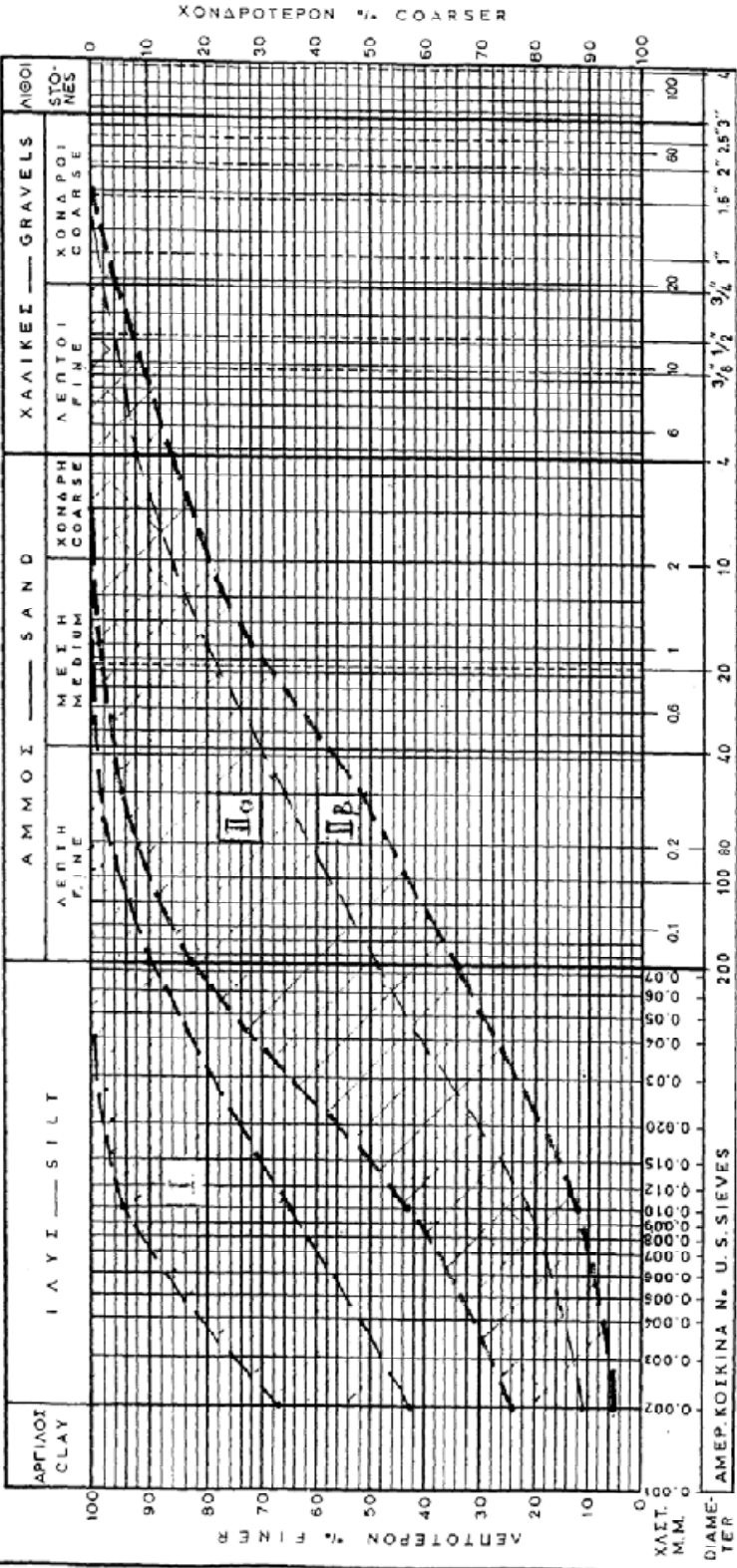
Από δοκιμές διαπερατότητας στο οιδήμετρο σε συμπυκνωμένα δοκίμια (95% max γd, Wopt +3%) και με τάσεις στερεοποίησης  $\sigma' c = 20 \div 200 \text{ KPa}$  η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας κυμαίνεται στο διάστημα:  $K = 4 \times 10^{-8}$  έως  $2.6 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ .

$$\text{Μέση τιμή σχεδιασμού: } K = 1.5 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}.$$

### **6.3 Υλικά Δανειοθαλάμου Φυσικού Αμμοχάλικου**

Τα υλικά κατατάσσονται κατά το σύστημα AUSCS ως αργιλώδη αμμοχάλικα (GC) και περιέχουν ποσοστό 13-18% πλαστικών λεπτόκοκκων. Είναι ακατάλληλα για χρήση στη ζώνη φίλτρου των αναχωμάτων χωρίς προηγούμενη επεξεργασία (πλύση και κοκκομετρική διαβάθμιση). Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν υλικό οδοστρωσίας στη στέψη του αναχώματος, αλλά η ποσότητά τους είναι μάλλον ανεπαρκής για το σύνολο του έργου. Φαίνεται προτιμότερη η αξιοποίηση τους για οδοστρωσία δευτερευουσών οδών. Επισημαίνεται ότι εάν η εκμετάλλευση του δανειοθαλάμου γίνει σε βάθος κάτω από την καμπύλη +49 θα πρέπει το όρυγμα να επιχωθεί στη συνέχεια με υλικά μικρής διαπερατότητας, διότι συνορεύει με το όριο του ταμιευτήρα.

KOKKOMETRIKH ANALYSIS GRAIN SIZE ANALYSIS



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΓΕΩΡΕΥΝΑΣ - ΟΤΜΕΡΕ Συντάξιμος 119 - Αθήνα 113 64 - Τηλ. 8625330		ΕΡΓΟΝΟΜΟΣ LABOR N.	
ΕΡΓΟΝΟΜΟΣ PROJECT: ΚΑΡΜΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΚΕΚΤΗΣ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ (I) ΥΛΙΚΑ ΠΕΔΙΑΔΙΑΣ (II) α, β Υλικά Εγκλατών Σ3		ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ 61	
ΓΕΩΤΡ. Boreh.	ΒΑΘΟΣ Depth (m.)	ΣΥΜΒΟΛ. Symbol.	ΕΙΔΙΑΡΧΟΣ Specific Gravity (G <sub>s</sub> )
		ΟΥΡΑΝΙΑ Nat. water content (w <sub>n</sub> )	ΟΡ. ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ Atterberg Ill. L.L. (w <sub>L</sub> ) P.L. (w <sub>P</sub> )

ΣΧΗΜΑ 6.1



## **7 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΟΥ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

### **7.1 Γενικά**

Τα αντλιοστάσια και το έργο ασφαλείας βρίσκονται δίπλα στα κύρια αναχώματα και θεμελιώνονται στον ίδιο εδαφικό σχηματισμό των λιμναίων αποθέσεων όπως και αυτά. Οι γεωτεχνικές συνθήκες του υπεδάφους και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών σε γενικές γραμμές είναι όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 5. Υπάρχουν φυσικά μικρής κλίμακας διαφοροποιήσεις κατά θέση, κυρίως σε ότι αφορά τις παραμέτρους των μηχανικών χαρακτηριστικών.

### **Περιοχή Αντλιοστασίων DP2, IP6 & IP7**

Η εν λόγω θέση βρίσκεται στο μέσον περίπου του μήκους του ανατολικού αναχώματος.

Ο συντελεστής διαπερατότητας,  $K$ , για τα 8 m (στρώμα 1) σε συνάρτηση με την δρώσα πίεση υπερκειμένων προέκυψε:

- από επιτόπου δοκιμές (Maag)  $K=2 \times 10^{-6}$  έως  $11 \times 10^{-4}$  cm/sec
- από εργαστηριακές δοκιμές  $K=4.3 \times 10^{-7}$  έως  $7.8 \times 10^{-7}$  cm/sec

Σαν μέση τιμή για το στρώμα προτείνεται  $K=10^{-6}$  cm/sec.

Οι επί τόπου δοκιμές έδειξαν τάση μείωσης της τιμής του  $K$  με το βάθος.

Για το στρώμα 2, μέχρι τα 20 m, προτείνεται:  $K=5 \times 10^{-7}$  cm/sec.

### **Περιοχή Αντλιοστασίων DP1, IP1 και Έργου Ασφαλείας**

Η εν λόγω θέση βρίσκεται στον άξονα του δυτικού αναχώματος.

Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας που μετρήθηκαν με επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές έχουν ως εξής:

Στρώμα (1), 0÷5 m:

Από επί τόπου δοκιμές Maag  $K=1.2 \times 10^{-4}$  cm/sec

Από εργαστηριακές δοκιμές  $K=2.2 \times 10^{-8}$  cm/sec

Στρώμα (2), 5÷20 m:

Από επί τόπου δοκιμές Maag  $K=1.1 \times 10^{-6}$  έως  $2.5 \times 10^{-4}$  cm/sec

Από εργαστηριακές δοκιμές  $K=1.3 \times 10^{-8}$  έως  $4.2 \times 10^{-8}$  cm/sec

Οι επί τόπου δοκιμές έδειξαν σαφή τάση μείωσης της τιμής του  $K$  με το βάθος. Οι αναφερόμενες εργαστηριακές τιμές αντιστοιχούν στην εκάστοτε δρώσα πίεση υπερκειμένων.

Ως εκτιμώμενες μέσες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας προτείνονται:

Βάθος 0÷ 5 m (στρώμα 1):  $K=10^{-6}$  cm/sec

Βάθος 5÷ 20 m (στρώμα 2):  $K=5 \times 10^{-7}$  cm/sec

## **8 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΗΡΕΜΙΑΣ, ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ**

Στη θέση αυτή εκτελέστηκαν τρία (3) ερευνητικά φρέατα. Από τα στοιχεία των φρεάτων αυτών προκύπτει ότι κάτω από ένα επιφανειακό στρώμα φυτικής γης, πάχους 0.3÷0.5 m, το υπέδαφος αποτελείται από εναλλασσόμενες στρώσεις καστανής, πρασινότεφρης ιλυώδους αργίλου (CL) έως αργιλώδους ιλύος (ML), με άμμο και κροκάλες κατά θέσεις, έως το βάθος των 3 m περίπου. Κάτω από το βάθος αυτό και μέχρι των 4.00 m στο οποίο έφτασαν τα σκάμματα, το ποσοστό της άμμου εμφανίζεται αυξημένο και το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αμμοίλυσ (SM).

Η διακύμανση των χαρακτηριστικών κατάταξης των εδαφικών αυτών υλικών έχει ως εξής:

- Κοκκομετρική σύνθεση:
  - Χάλικες  $0\div 15\%$
  - Άμμος  $0\div 25\%$
  - Ιλύς  $34\div 76\%$
  - Άργιλος  $24\div 41\%$
  
- Όριο Atterberg:
  - Όριο υδαρότητας  $WL=33\div 47\%$
  - Όριο πλαστικότητας  $Wp = 24\div 29\%$
  - Δείκτης πλαστικότητας  $Ip = 9\div 23\%$
  
- Φυσική Υγρασία  $w = 18\div 36\%$

Από άποψη συνεκτικότητας τα υλικά εμφανίζονται στριφνά.

Δοκιμές μηχανικών χαρακτηριστικών δεν εκτελέστηκαν λόγω ελλείψεως αδιατάρακτων δειγμάτων.

Για τους διάφορους υπολογισμούς, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά κατάταξης, προτείνονται κατ' εκτίμηση οι ακόλουθες παράμετροι αντοχής:

$$c' = 5 \text{ KPa} , \quad \varphi = 30^\circ$$

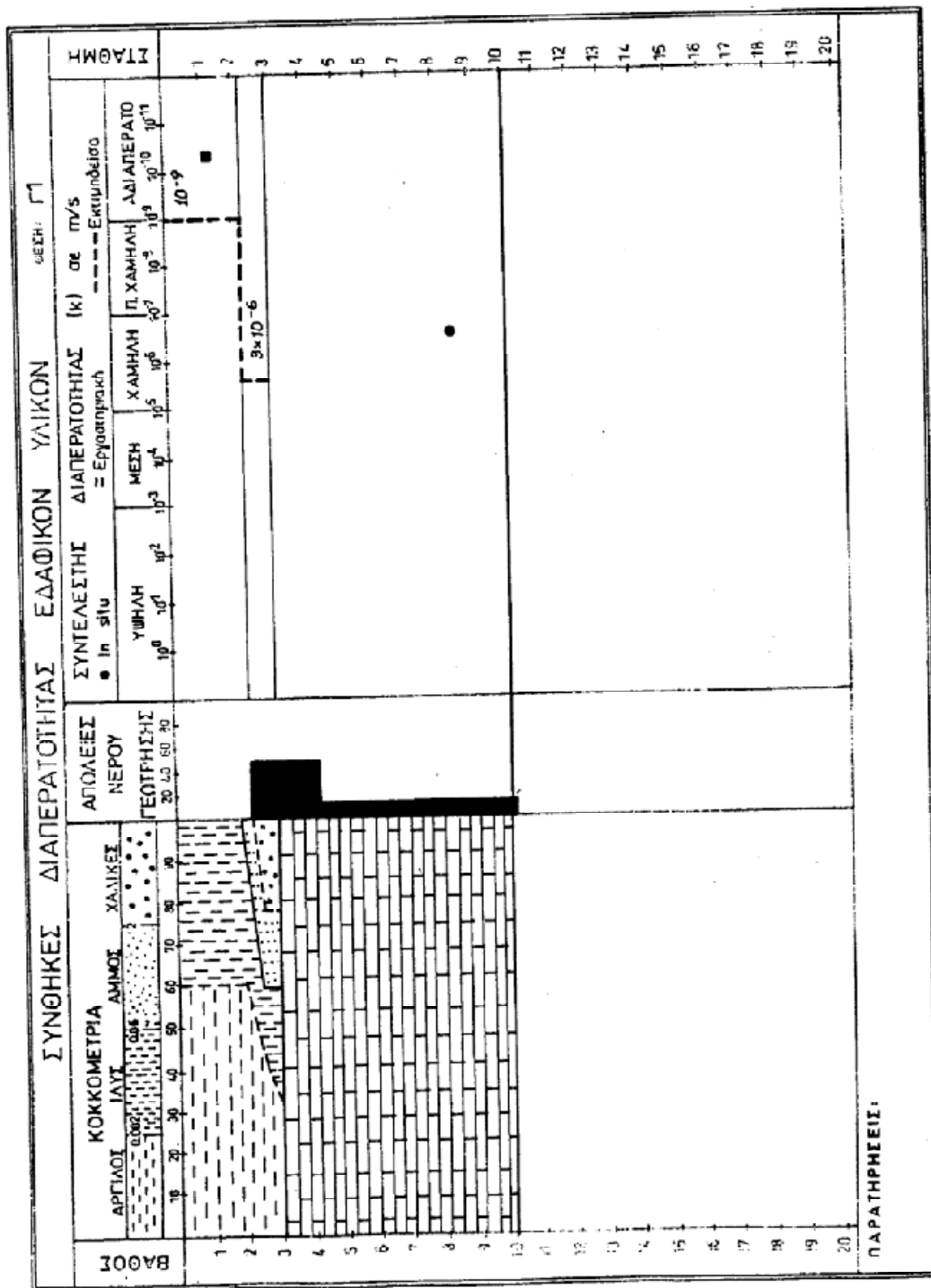
Λόγω των μεγάλων διαστάσεων της λεκάνης ηρεμίας και της γενικής εκσκαφής που θα εκτελεστεί, η οποία συνεπάγεται αποφόρτιση του εδάφους, εκτιμάται ότι οι πρόσθετες τάσεις στο έδαφος από το έργο θα είναι πολύ μικρές και δεν θα προκύψουν προβλήματα θεμελίωσης (πρόκειται ουσιαστικά για επιπλέονσα θεμελίωση).

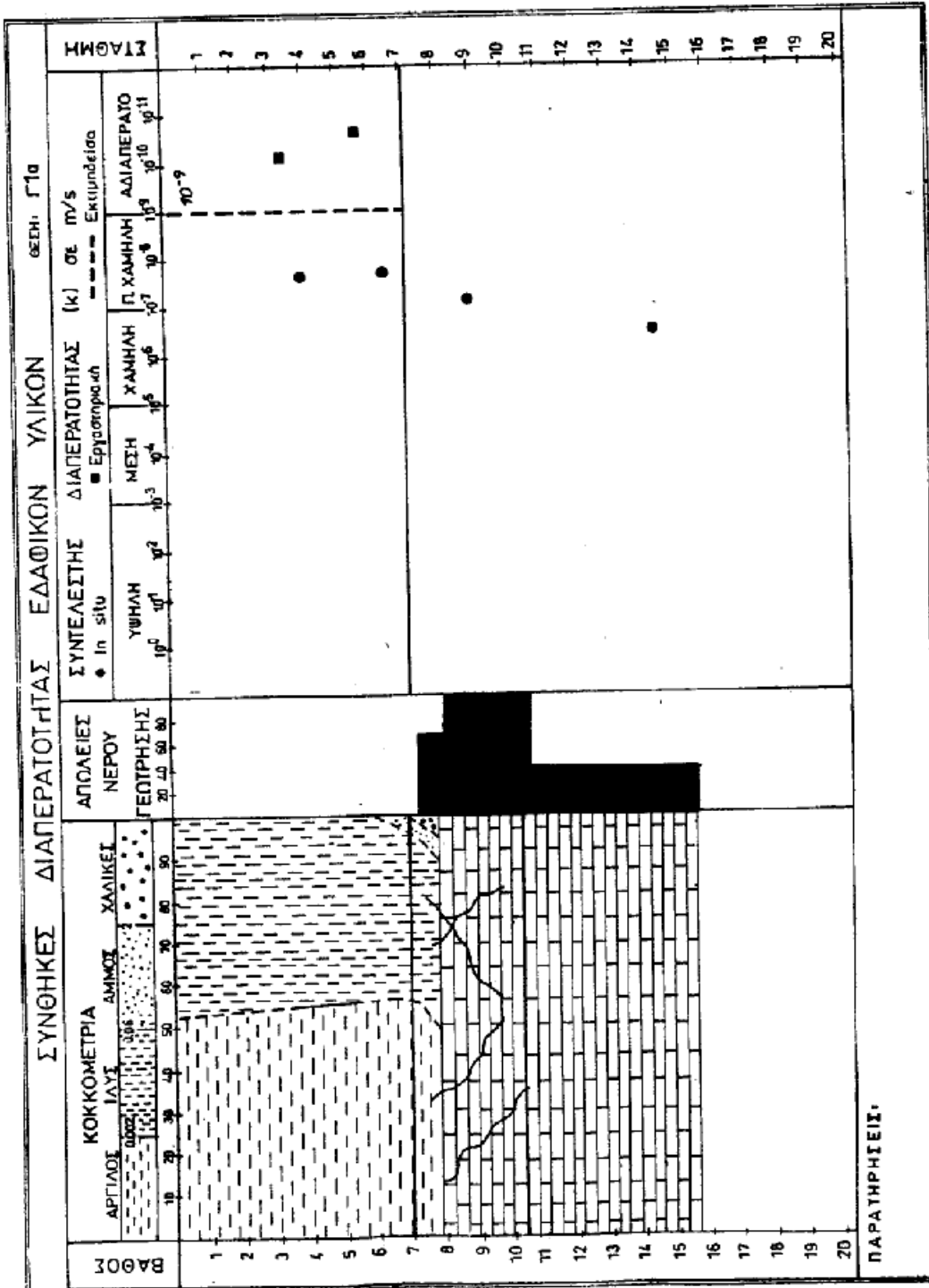
Με βάση τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών συντάχθηκαν γεωτεχνικές τομές συνθηκών διαπερατότητας για κάθε γεώτρηση, οι οποίες δίνονται στο παράρτημα 1, όπου φαίνεται διαγραμματικά κατά βάθος το κοκκομετρικό προφίλ του εδάφους (ποσοστά συμμετοχής χαλίκων άμμου και λεπτοκόκκων) και οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας, όπως προσδιορίστηκαν από επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εργαστηριακές τιμές αφορούν μόνο λεπτόκοκκα υλικά, διότι μόνο από τέτοια υλικά είναι δυνατή η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων. Οι δοκιμές διαπερατότητας έγιναν στο συμπιεσόμετρο, στη δρώσα πίεση υπερκειμένων.

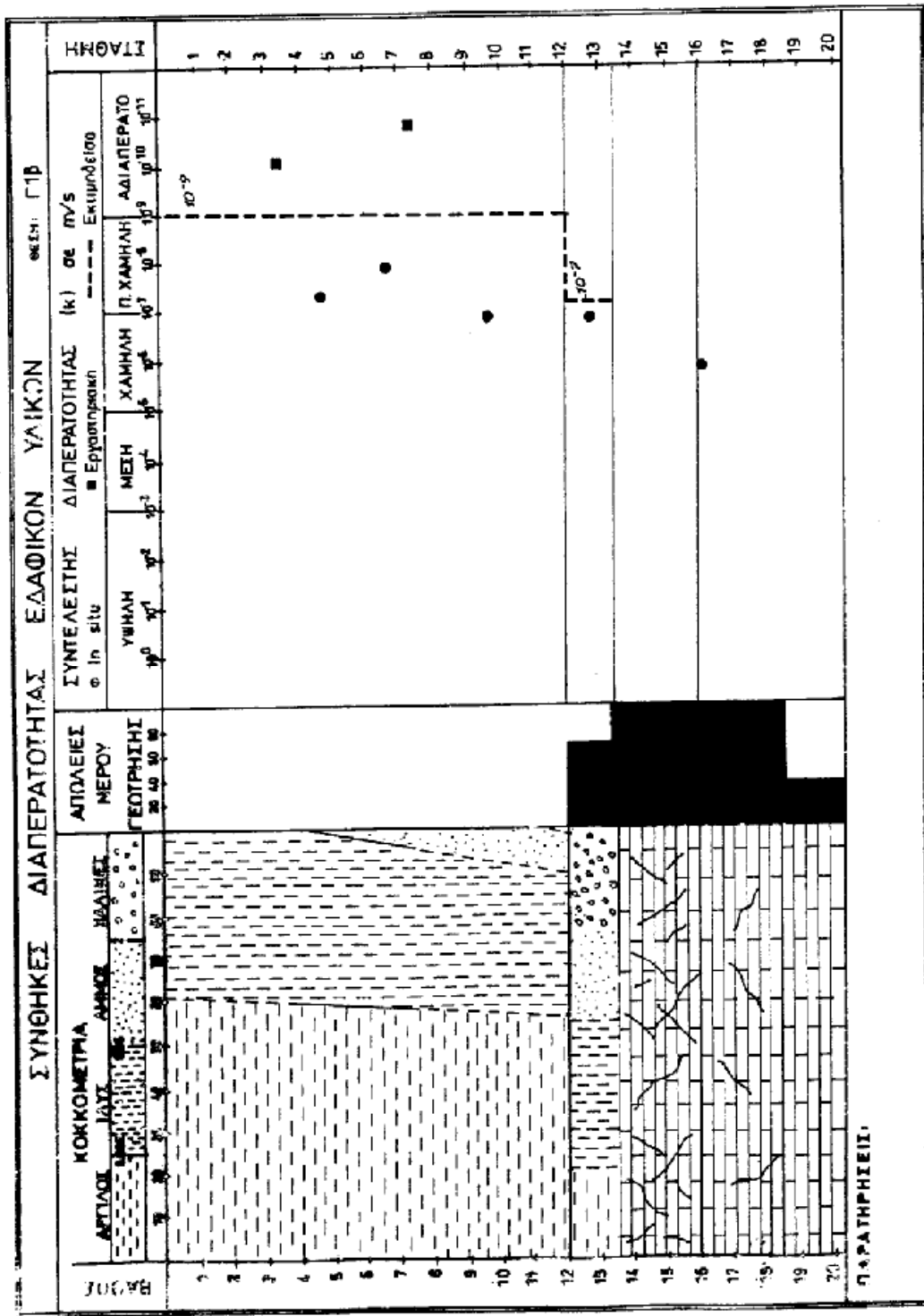
Στις παραπάνω τομές σημειώνεται ακόμη, με διακεκομμένη γραμμή, η εκτιμώμενη αντιπροσωπευτική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας,  $k$ , όπως προέκυψε από αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών της κοκκομετρίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι ως γνωστό οι επί τόπου δοκιμές γενικά υπερεκτιμούν την τιμή του συντελεστή  $k$  (μη στεγανή επαφή στην παράπλευρη επιφάνεια των σωλήνων, υπερεκτίμηση στάθμης υπογείου νερού κατά τη δοκιμή, προσεγγιστικό υπολογιστικό μοντέλο, κλπ), ενώ οι εργαστηριακές δοκιμές την υποεκτιμούν (μόνο κατακόρυφη ροή, επιρροή κλίμακας κλπ).

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1**

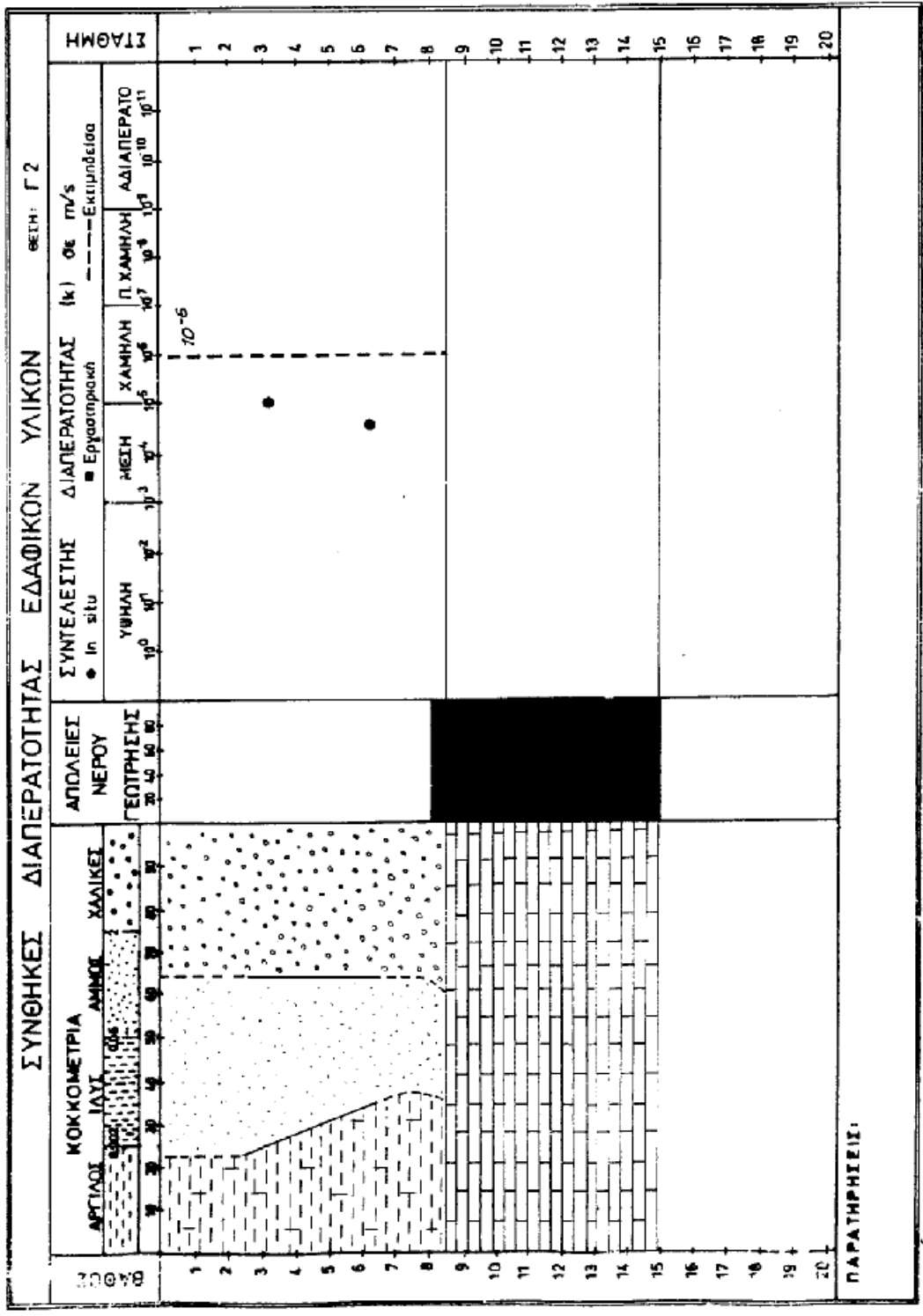
Γεωτεχνικές Τομές Γεωτρήσεων  
στα όρια του ταμιευτήρα, για την  
αξιολόγηση των συνθηκών διαπερατότητας

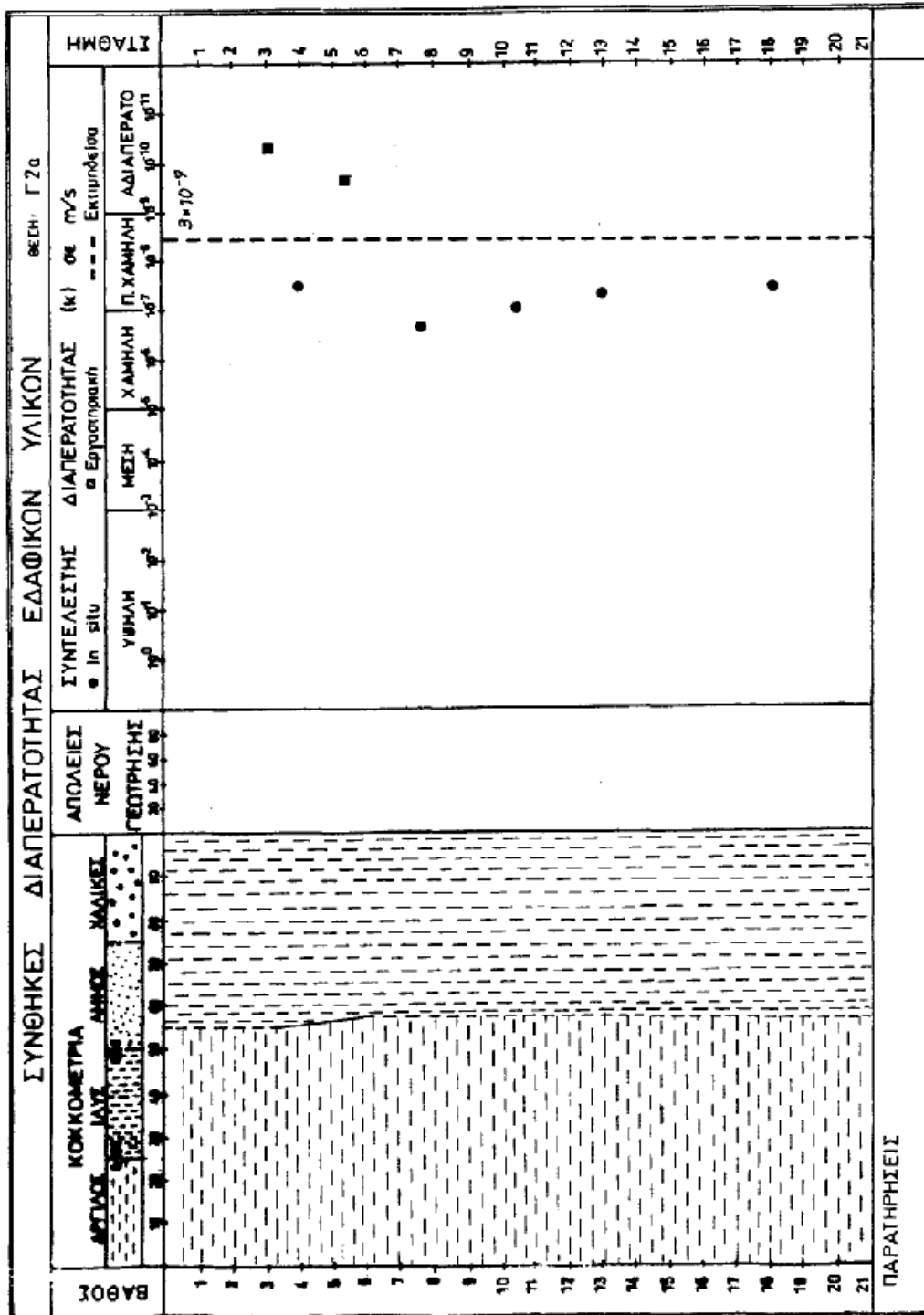


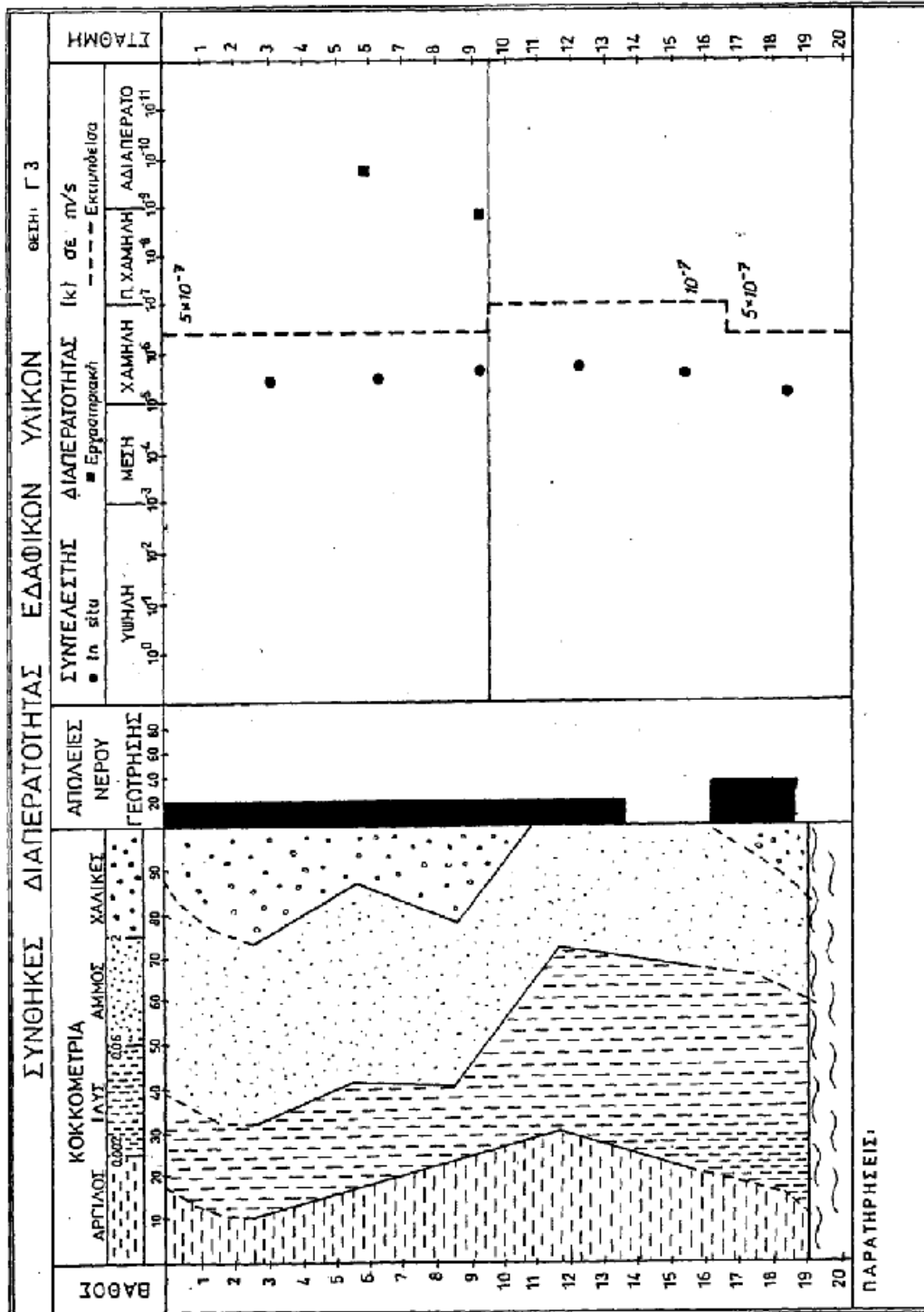


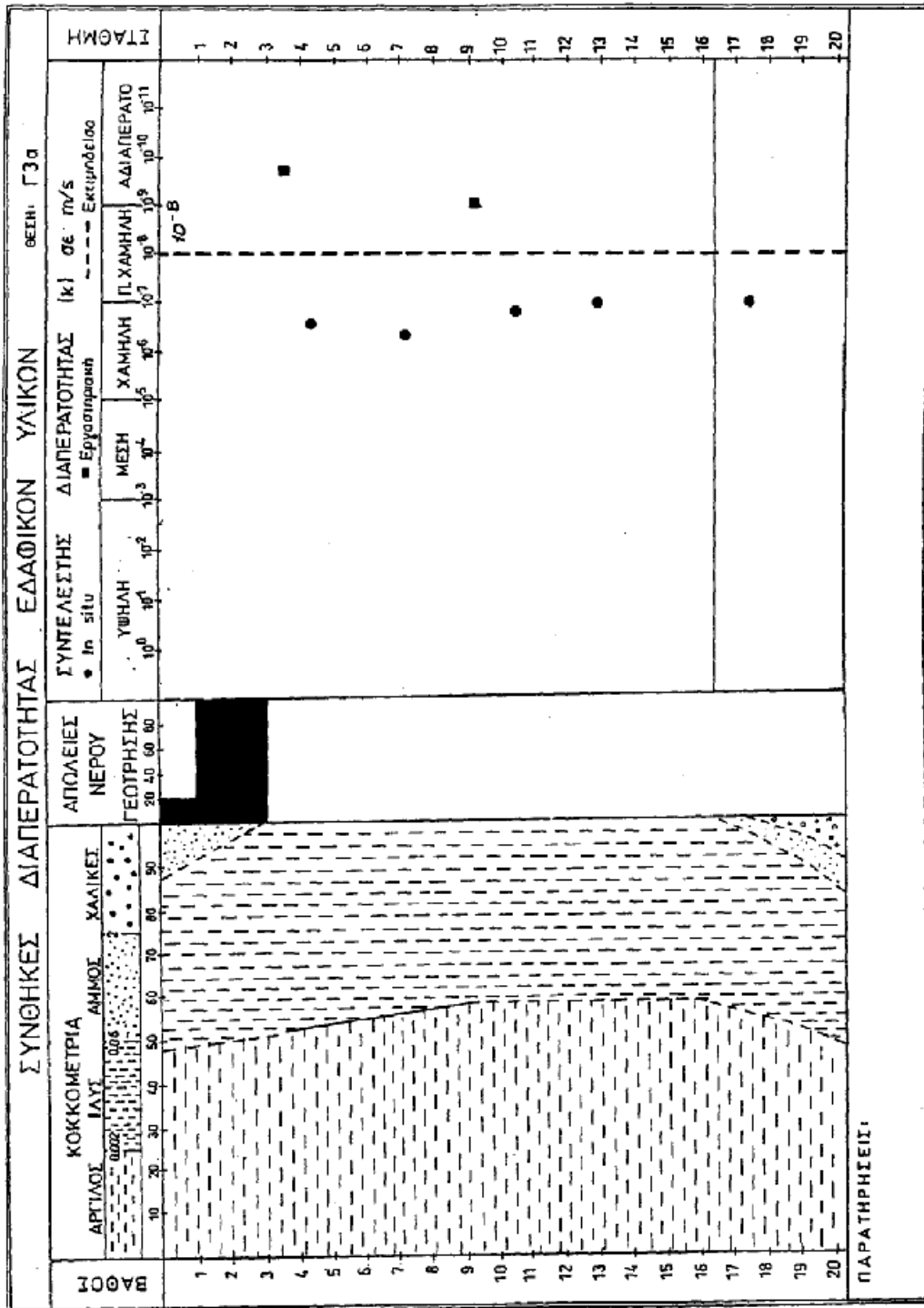


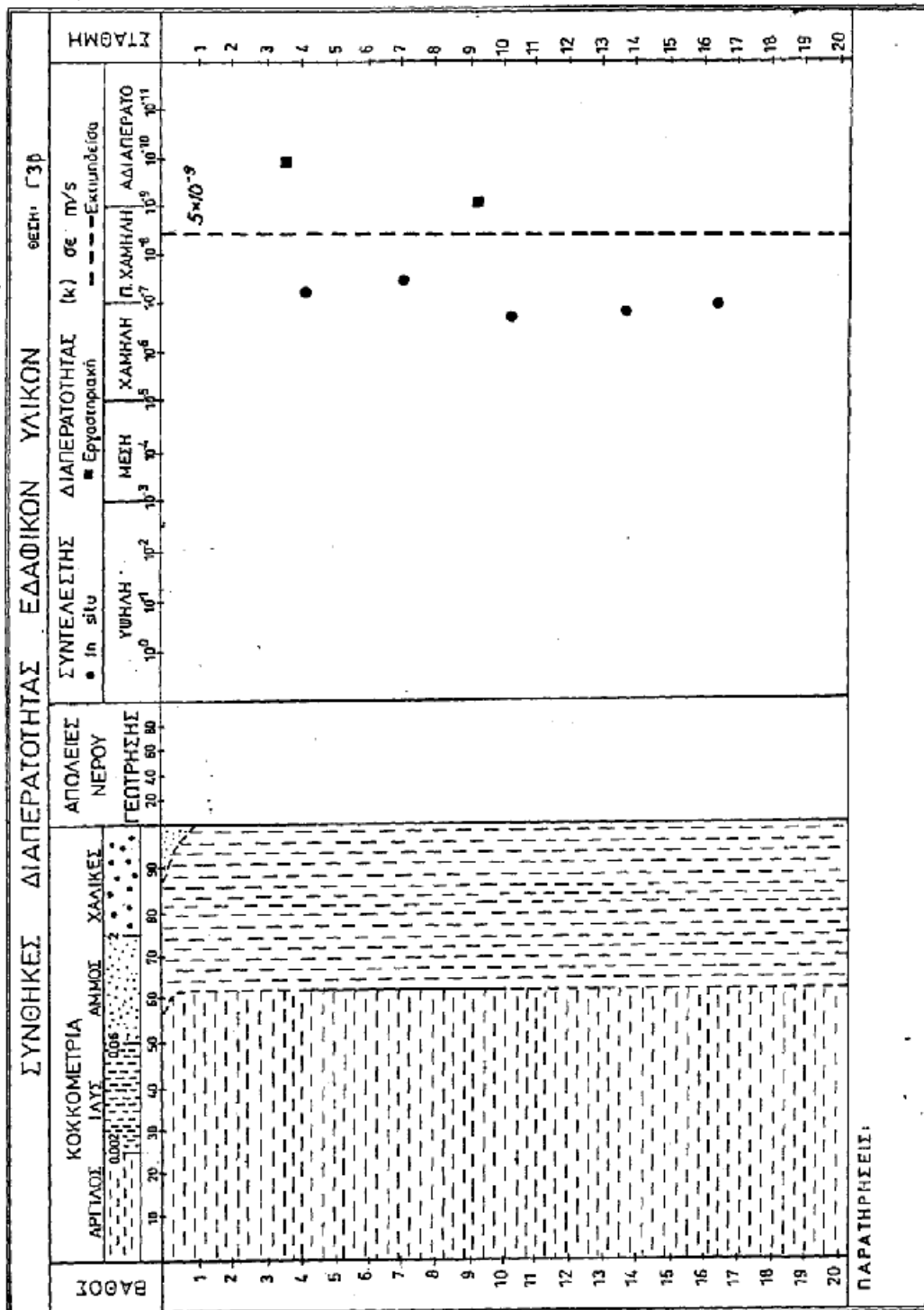


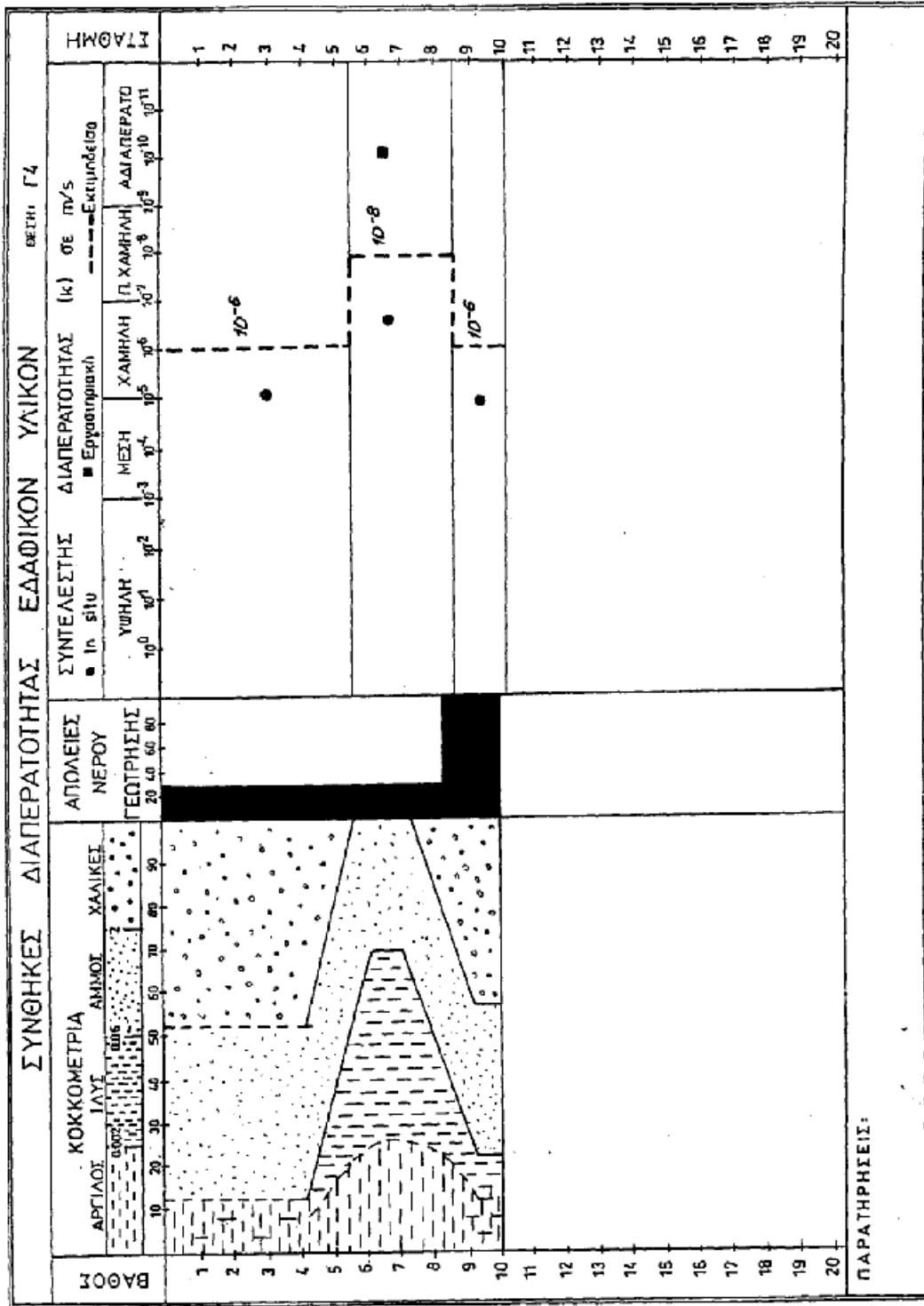


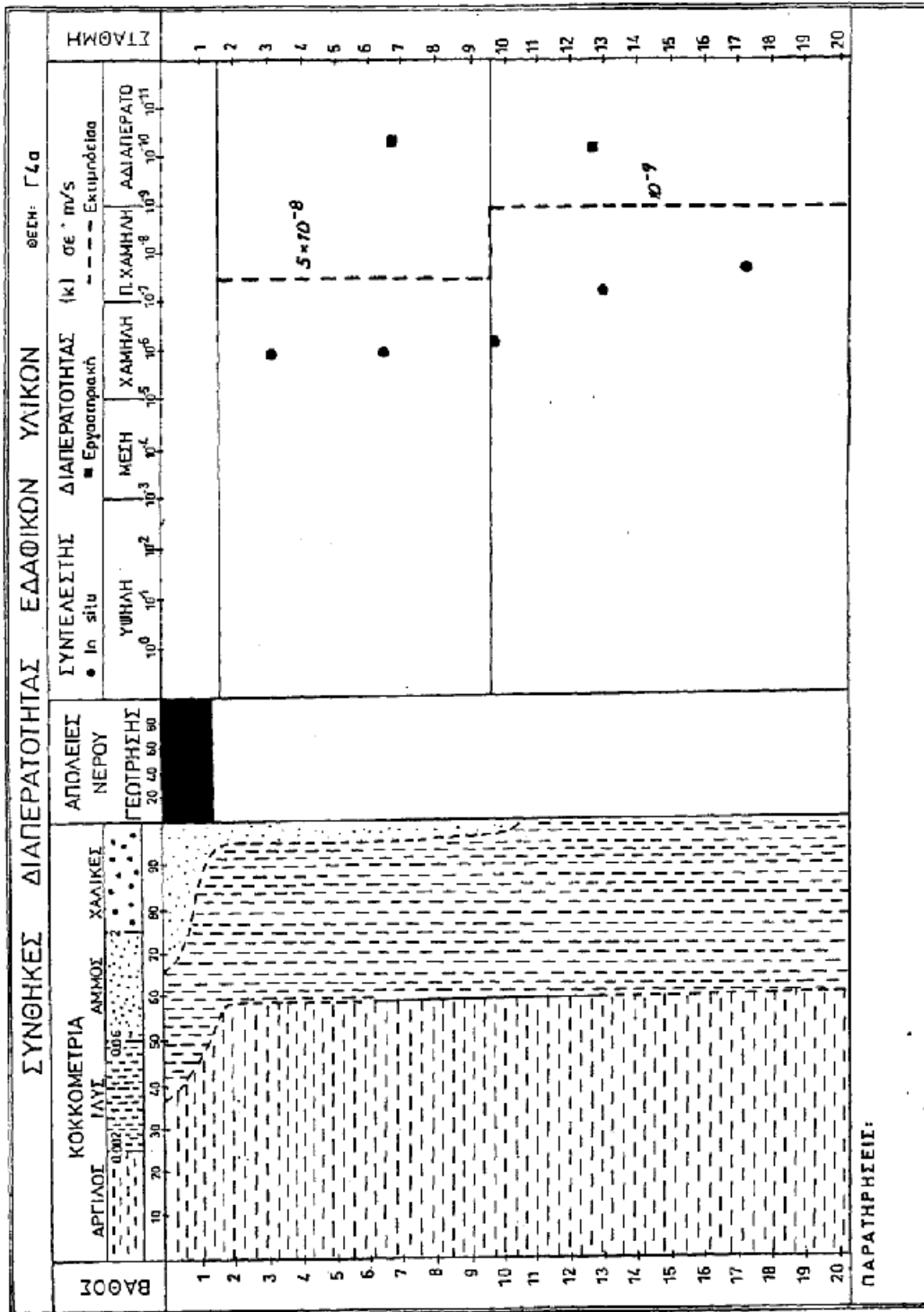


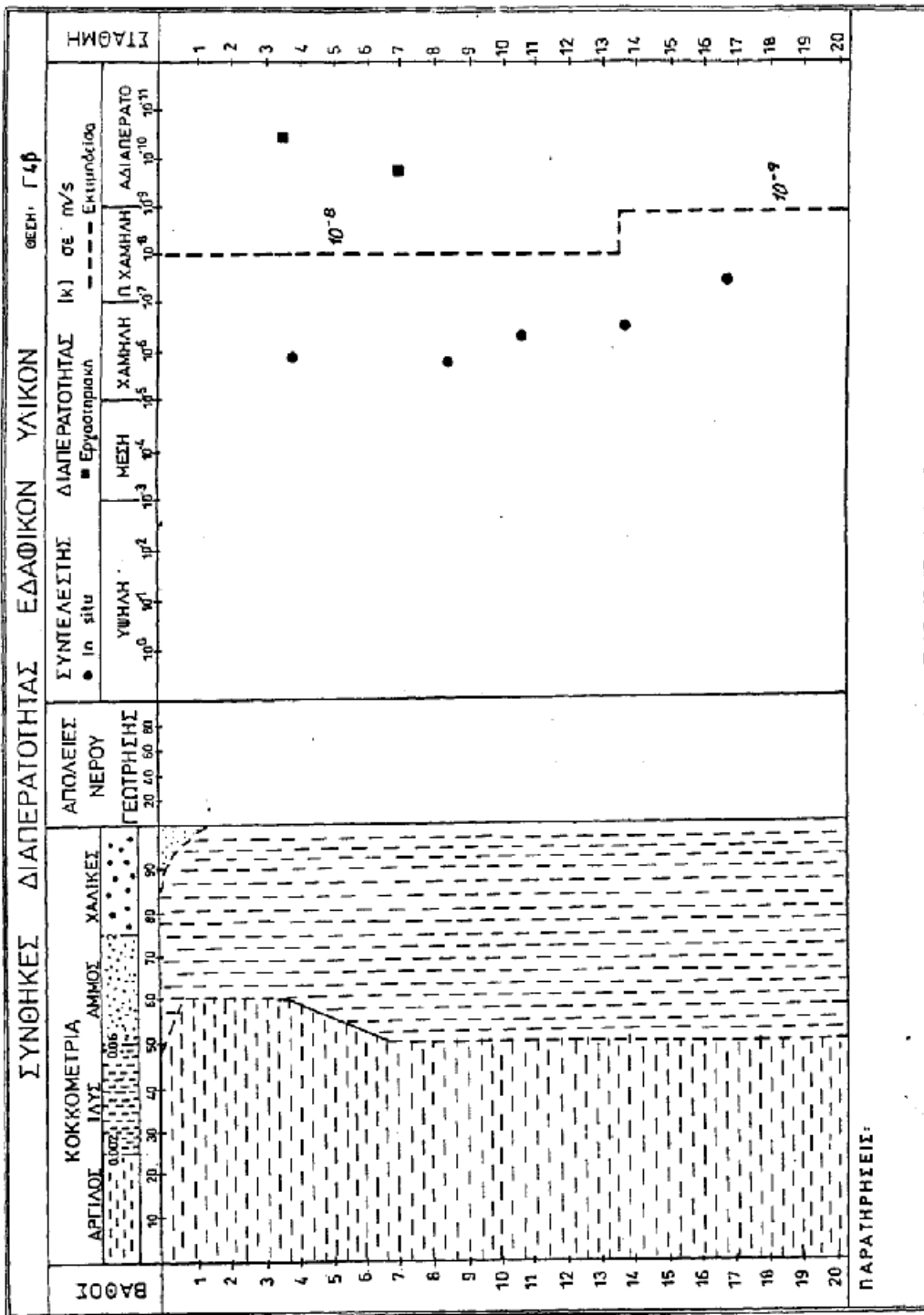




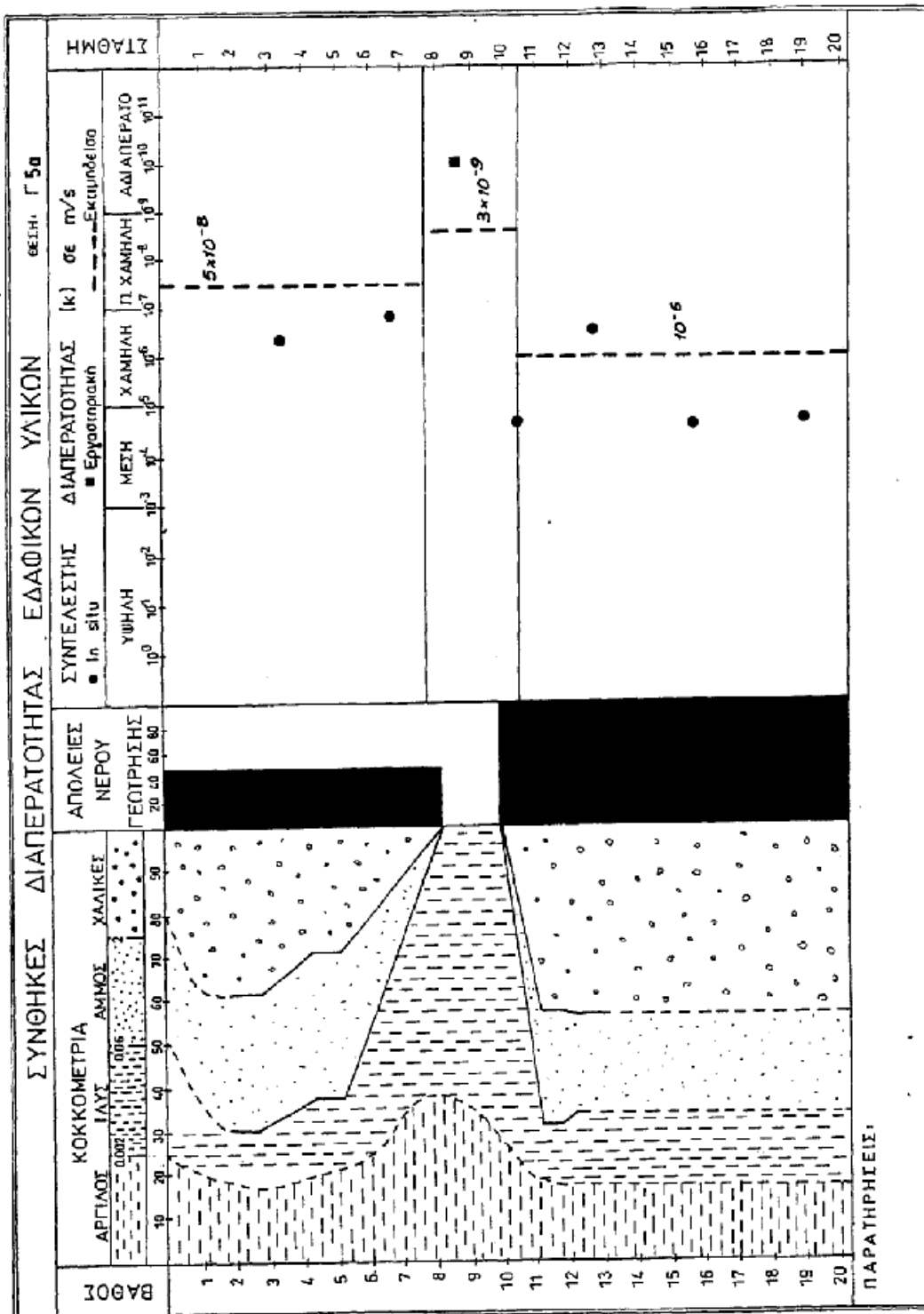


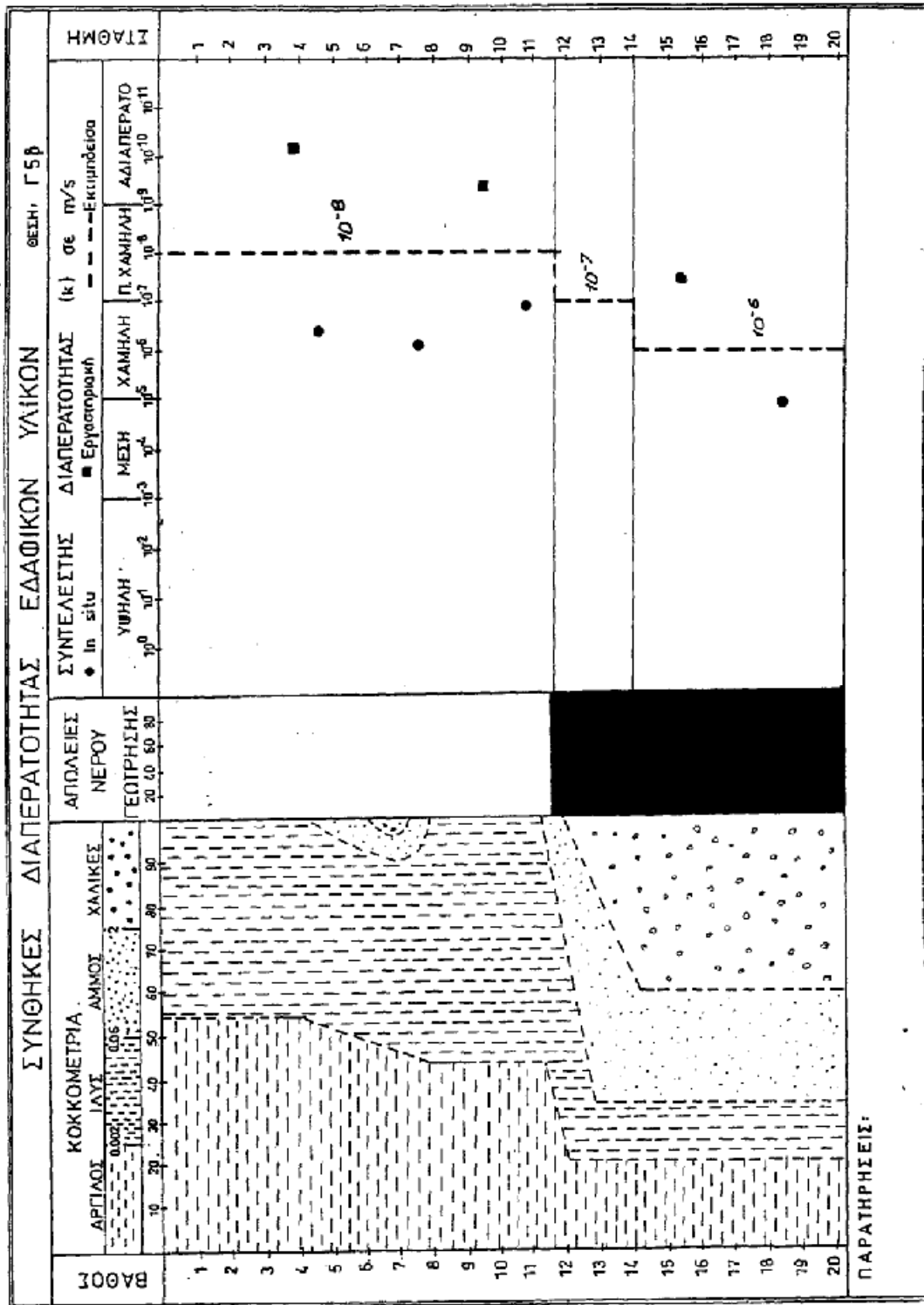


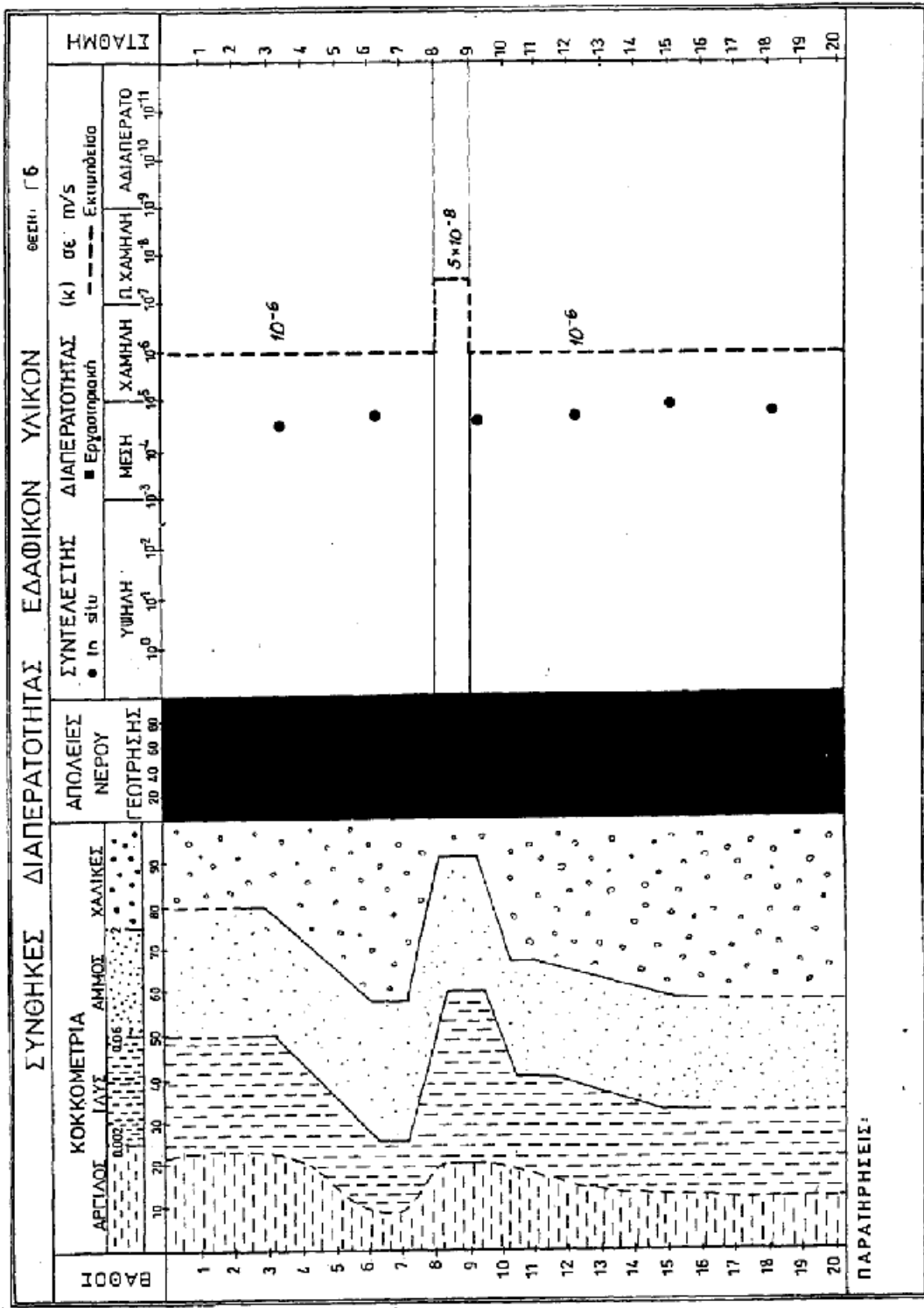


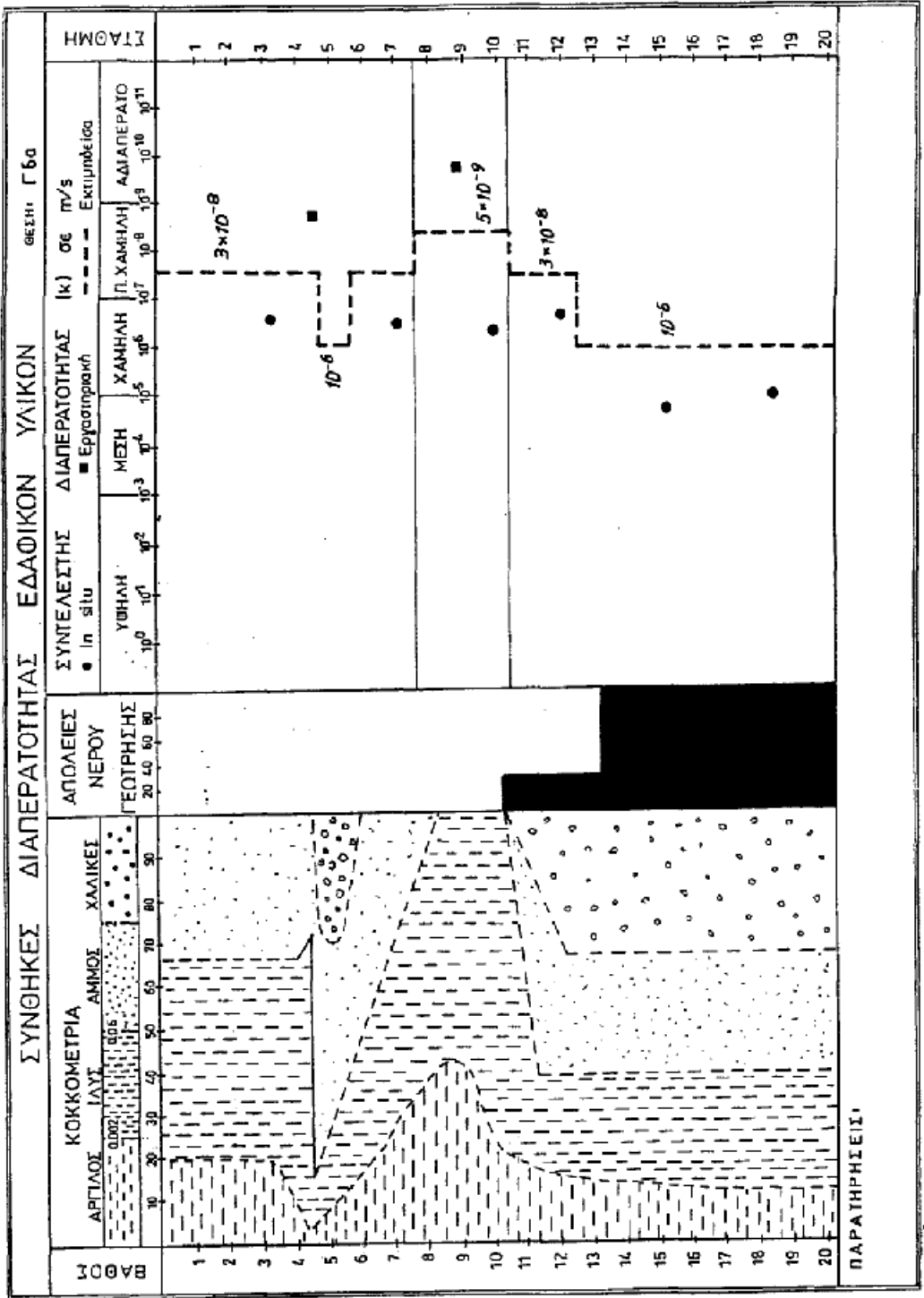


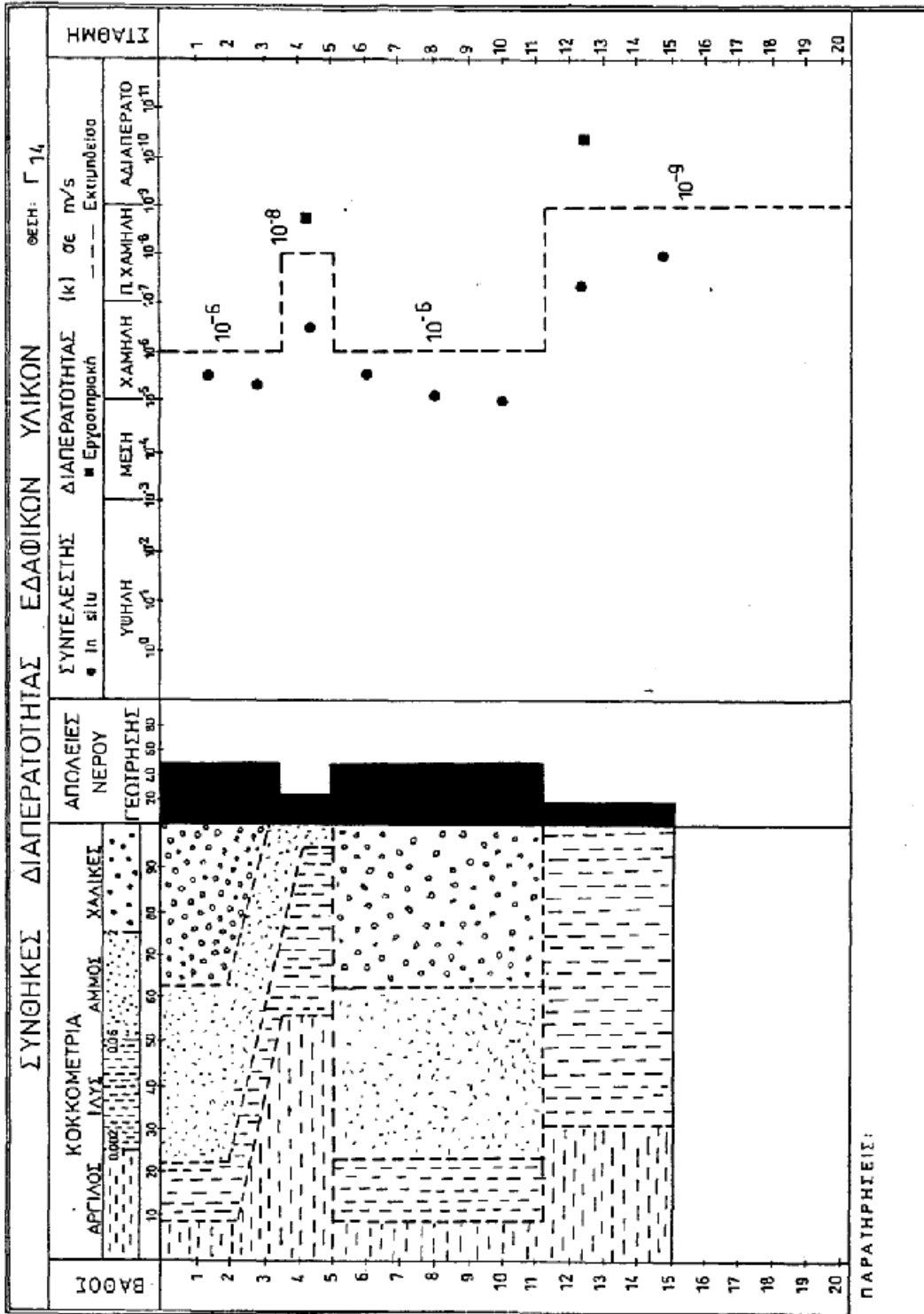


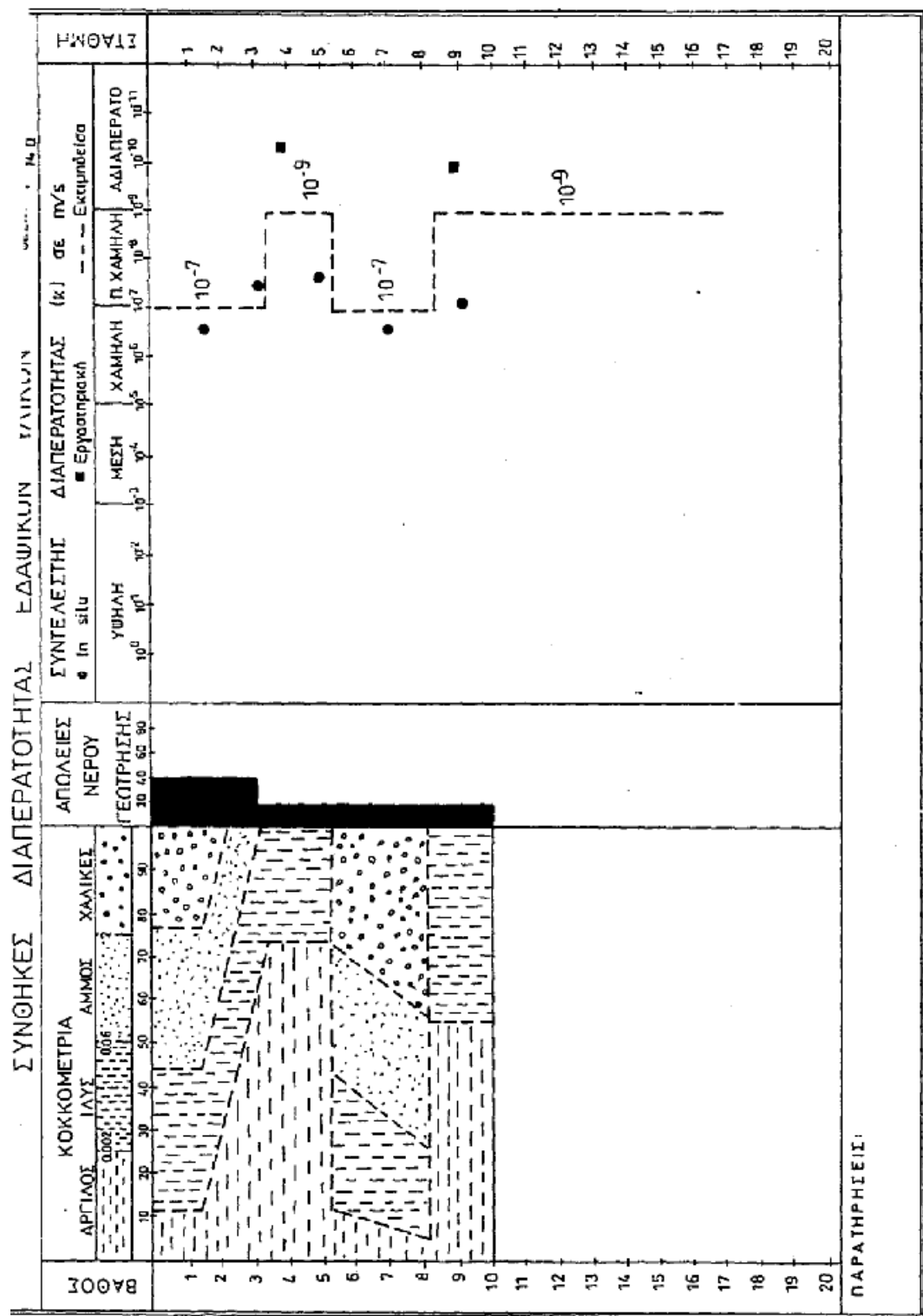


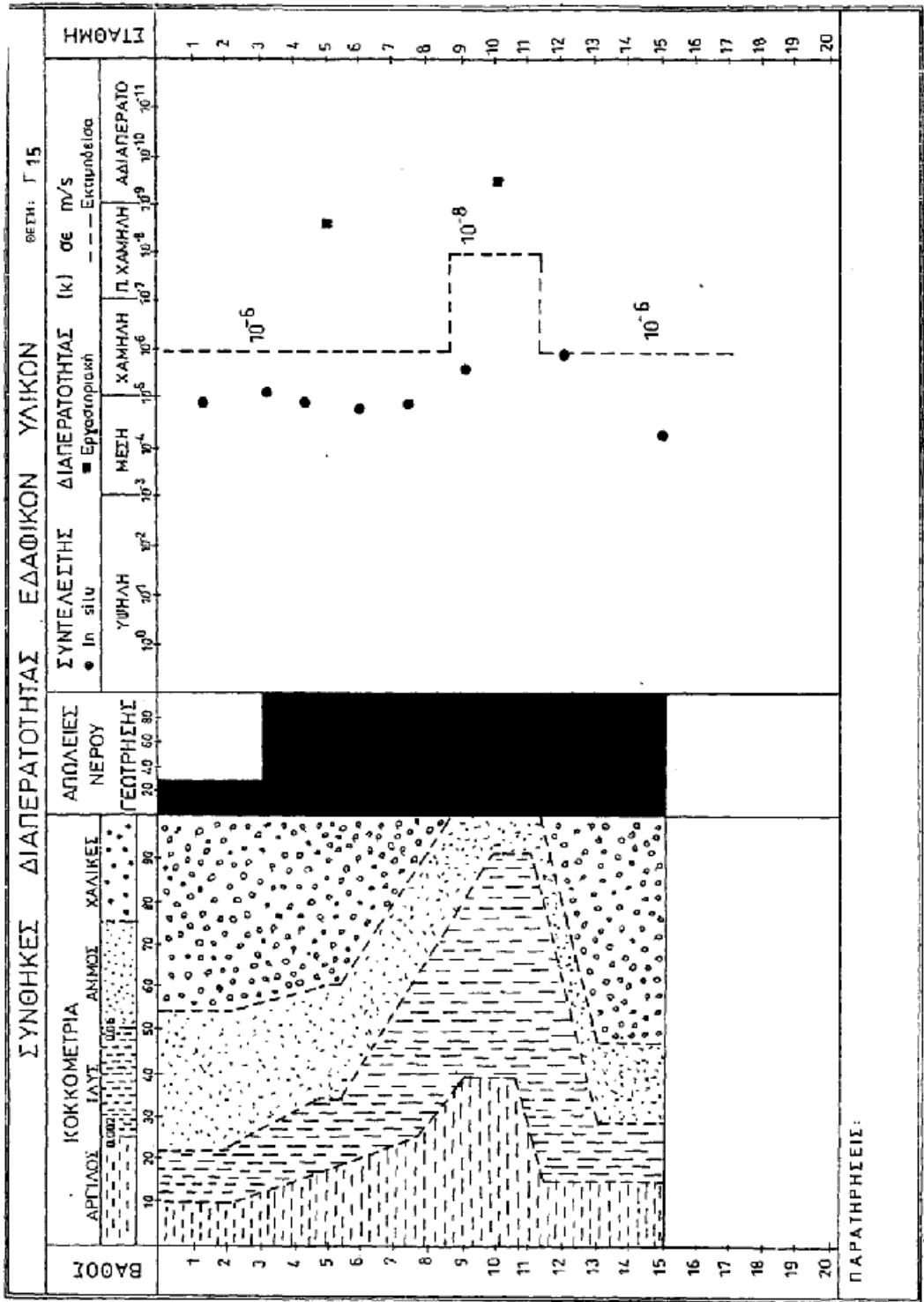


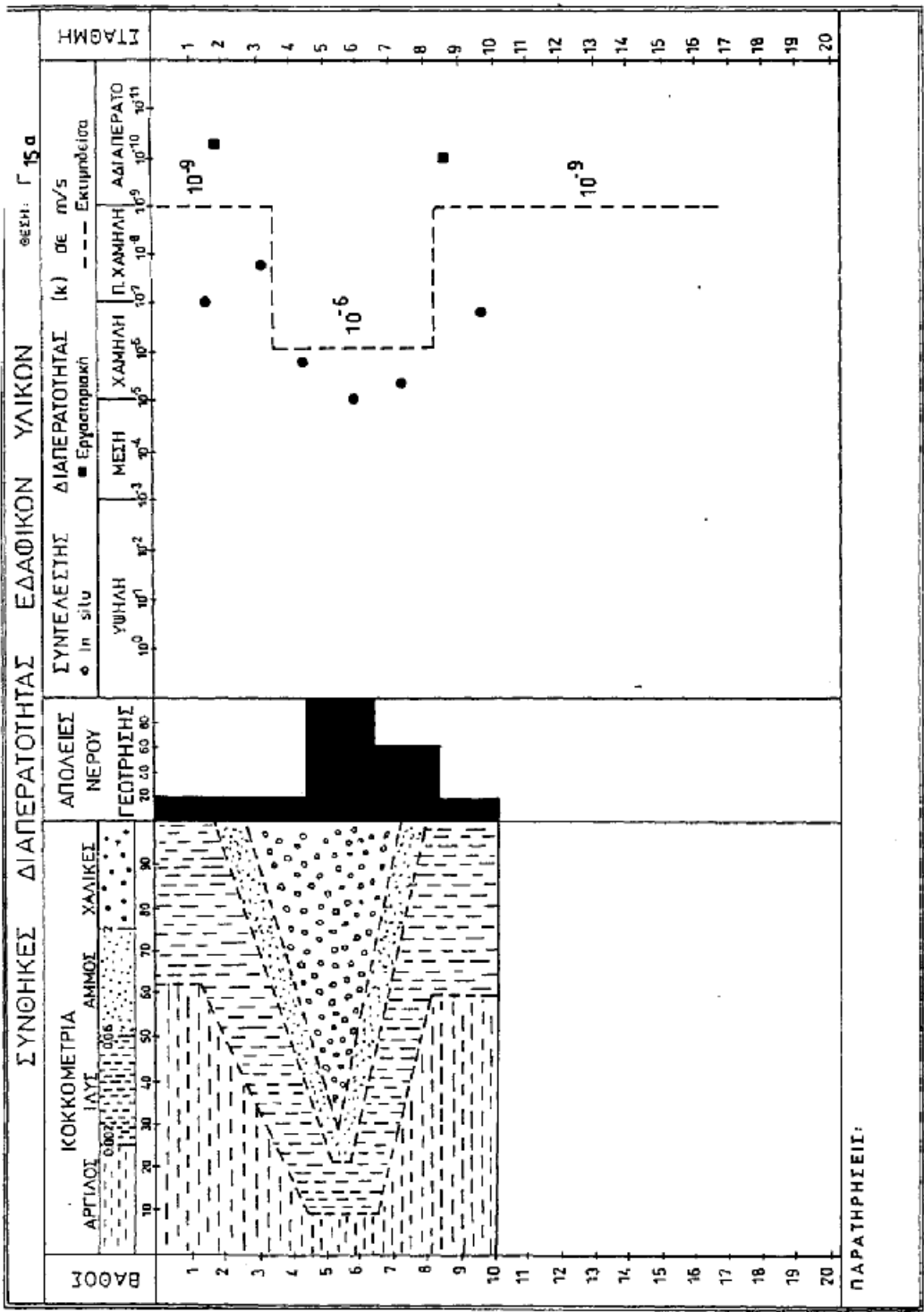




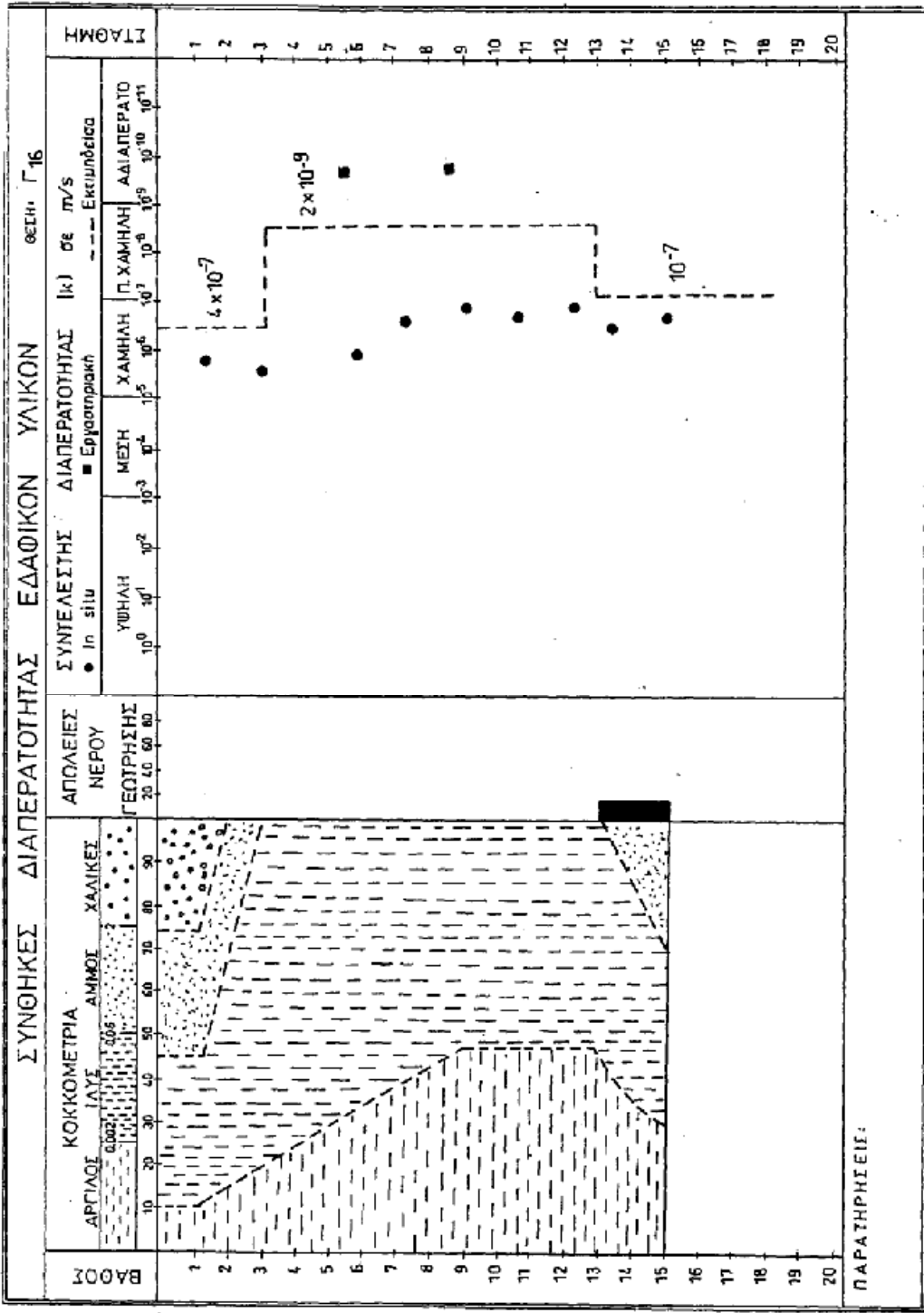


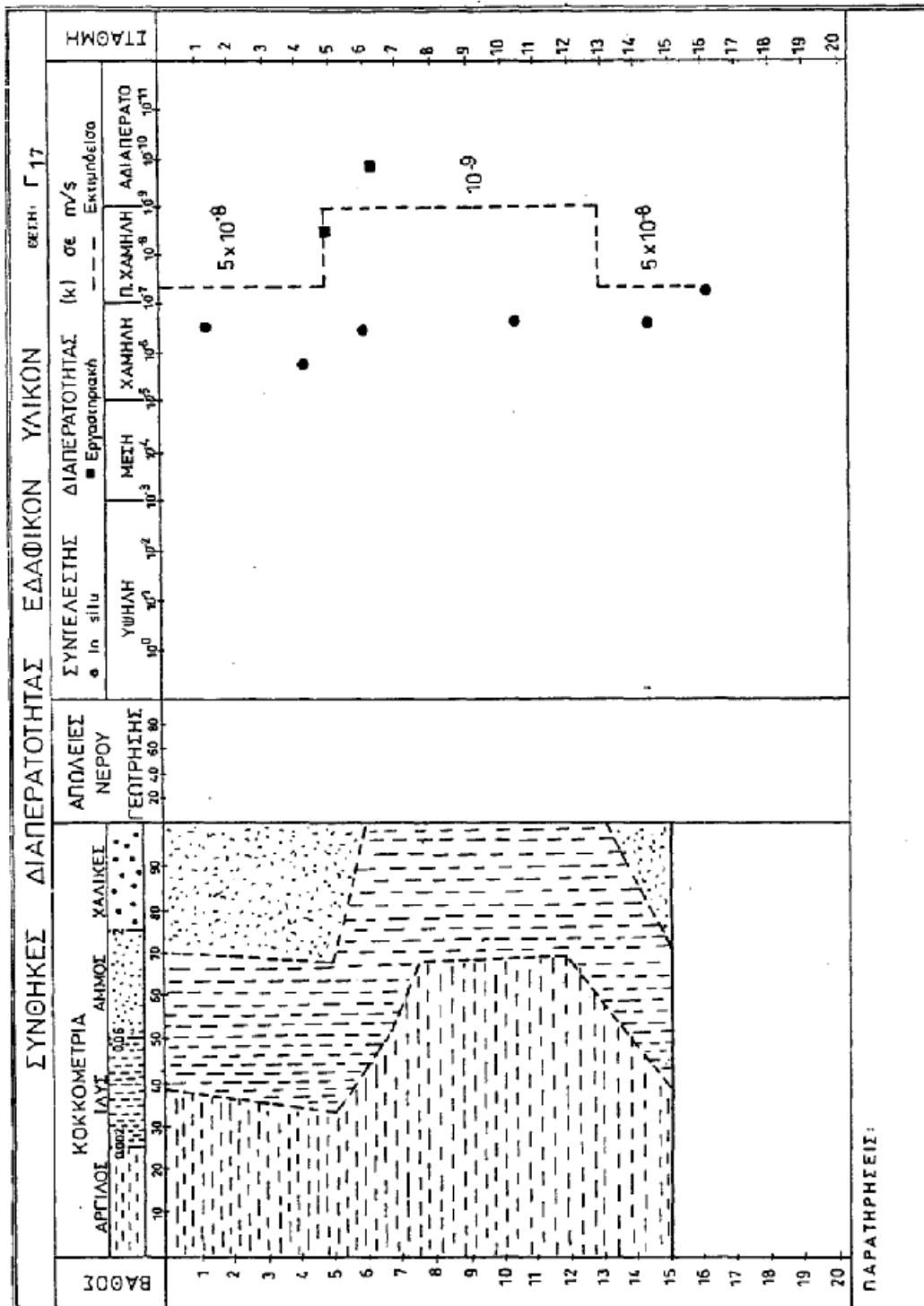


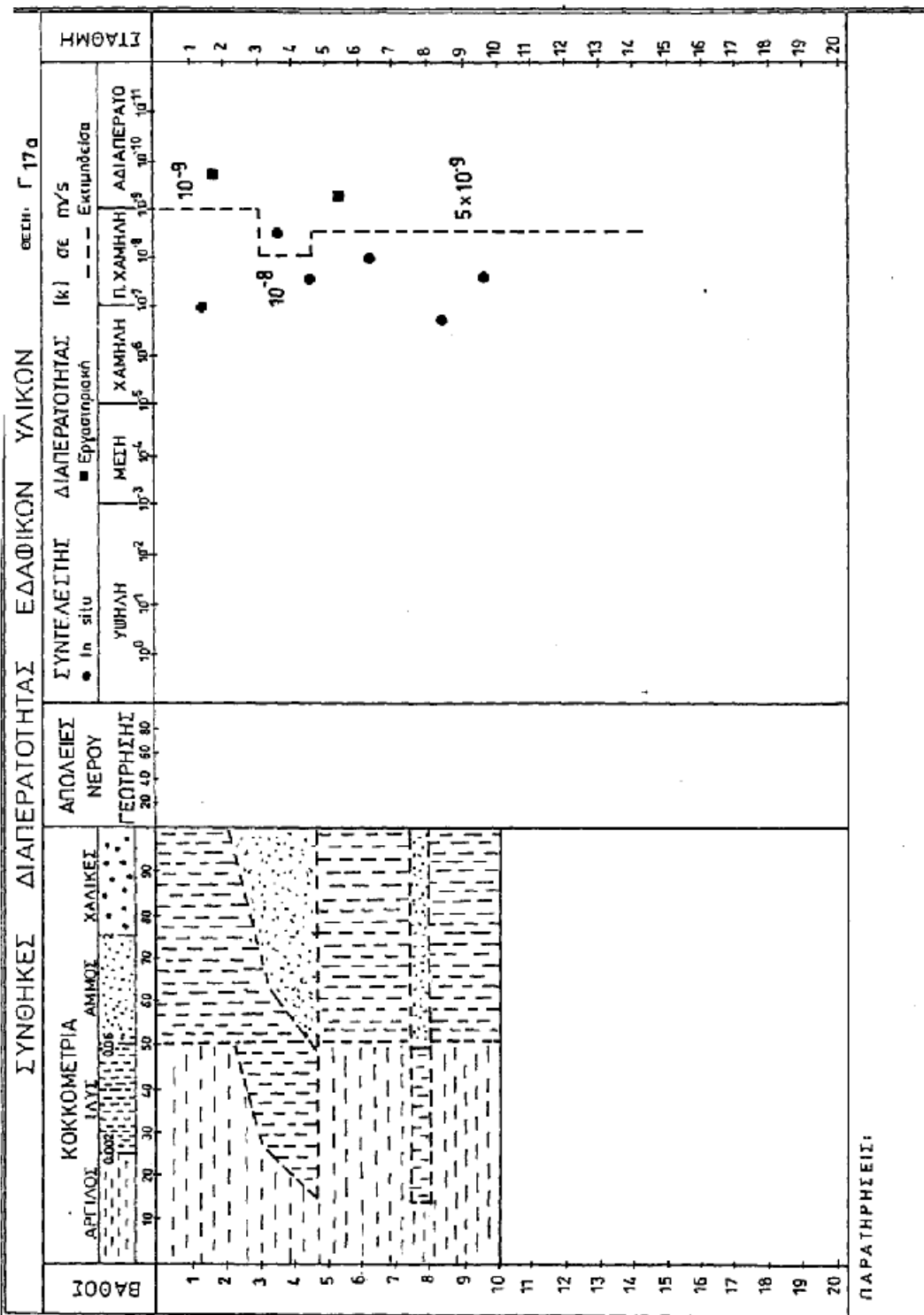












## Προτάσεις – Παρατηρήσεις

Κάποιες προτάσεις ή παρατηρήσεις είναι οι εξής:

- Συνεργασία εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών για καλύτερα αποτελέσματα.
- Ειδικές συσκευές ελέγχου
- Συνεργασία και με άλλες δοκιμές

Οι δοκιμές διαπερατότητας τόσο στο πεδίο όσο και οι εργαστηριακές, δίνουν στοιχεία που βοηθούν τόσο για την μελέτη – κατασκευή ενός υδραυλικού έργου, πχ φράγμα. Δίνουν επίσης στοιχεία για τη ζωή του έργου κατά τη χρήση του και στον προγραμματισμό της συντήρησης ή τυχόν επισκευής του. Βέβαια, απαιτούνται όλες σχεδόν οι δοκιμές κατάταξης που σε συνδυασμό με την δοκιμή διαπερατότητας δίνονται ακριβέστερα στοιχεία στον μελετητή.

Η παρούσα εργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της (Σεπτέμβριος 2008 – Μάιος 2009) μου προσέφερε εξειδίκευση στις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής, την κατανόηση της σημαντικότητάς της στην γεωτεχνική μελέτη και την δυνατότητα στην προετοιμασία μου στο γνωστικό αντικείμενο του Πολιτικού Μηχανικού.

Χρήσιμα στοιχεία, είχα την δυνατότητα να αποκομίσω κατά την Πρακτική μου Άσκηση στο ΥΠΕΧΩΔΕ (Δ7) στο εν λόγω έργο

Ολοκληρώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδερφό μου που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Τον Κ<sup>ο</sup> Τριφιάτη, διευθυντή της Δ7 για τα στοιχεία της μελέτης που μου δόθηκαν.

Τέλος τον Κ<sup>ο</sup> Παγουλάτο κ τον Κ<sup>ο</sup> Χρήστου για την πολύτιμη βοήθειά τους στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

## Βιβλιογραφία

- Β.Ν Γεωργιάδου, Ειδικά Θέματα Εδαφομηχανικής
- Μ. Καββαδάς, Στοιχεία Εδαφομηχανικής
- Οριστική μελέτη Ταμιευτήρα Κάρλας & Συναφών έργων. (Αριθμός μελέτης 9372700/ΣΑΜ 072). Τεχνική έκθεση, Αξιολόγησης αποτελεσμάτων μέρους Α γεωτεχνικών ερευνών.
- <http://users.auth.gr/~niktheod/Lessons/water%20resources/401%20-%20Introduction.pdf>.
- [www.soilmoisture.com/pdf%20Files/soilperm.pdf](http://www.soilmoisture.com/pdf%20Files/soilperm.pdf).
- [www.grasspave.com/med&tech/whitepapers/soilpermrates.pdf](http://www.grasspave.com/med&tech/whitepapers/soilpermrates.pdf).
- [www.ele.com/usa/index.pdf?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=71&itemid=110](http://www.ele.com/usa/index.pdf?option=com_docman&task=doc_download&gid=71&itemid=110)
- [www.epa.state.oh.us/dhwm/cprg/appendixH\\_soilpermeability.pdf](http://www.epa.state.oh.us/dhwm/cprg/appendixH_soilpermeability.pdf).
- Προδιαγραφές ΥΠΕΧΩΔΕ/ΚΕΔΕ  
Δοκιμές Εδαφομηχανικής  
Δοκιμές Εδαφομηχανικής επί τόπου
- Σημειώσεις Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ  
Δ. Παγανός – Δ. Παγουλάτος
- Σημειώσεις Εδαφομηχανικής Ζ. Χρήστου
- Σεμινάριο ΕΡΓΟΣΕ  
«Ποιοτικός έλεγχος χωματουργικών εργασιών» - Εισηγητής Ζ. Χρήστου
- ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ Τμήμα Ποιοτικού Ελέγχου