

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΜΜΩΝ

υπό

Άγγελο Μαρτίδη & Γεώργιο Λώλο

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2019

© 2019 Άγγελος Μαρτίδης & Γεώργιος Λώλος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Πολυξένη Καλλιόγλου
(Επιβλέπων) Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Εφραιμίδης
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Αντιγόνη Βράννα
Διδάσκουσα, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλουμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτέρως την επιβλέπουσα καθηγήτριά μας, Λέκτορα κα. Πολυξένη Καλλιόγλου καθώς και την Διδάσκουσα κα. Αντιγόνη Βράννα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Εφραιμίδη ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μας και για τις πολύτιμες υποδείξεις του. Ευχαριστούμε τον συνάδελφο μας Πέτρο Ζακυνθινό για την άψογη συνεργασία και τη βοήθεια του κατά την παράλληλη εκπόνηση των δοκιμών των διπλωματικών εργασιών. Πάνω απ' όλα, είμαστε ευγνώμονες στις οικογένειες μας και στους φίλους μας για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Άγγελος Μαρτίδης & Γεώργιος Λώλος

ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΜΜΩΝ

Άγγελος Μαρτίδης & Γεώργιος Λώλος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2019

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Πολυξένη Καλλιόγλου, Λέκτορας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το έδαφος ως πορώδες μέσο χαρακτηρίζεται από την παρουσία νερού ή/και αέρα στα κενά του. Η παρουσία του νερού στους εδαφικούς πόρους καθορίζει τη μηχανική συμπεριφορά του, τόσο υπό υδροστατικές συνθήκες όσο και υπό συνθήκες ροής. Στη δεύτερη περίπτωση μια σειρά από μεγάλα γεωτεχνικά προβλήματα που συνδέονται με αστοχίες των τεχνικών έργων (π.χ. επιχωμάτων, εκσκαφών κλπ) απασχολούν τον Πολιτικό Μηχανικό. Για τη μελέτη της εδαφικής ροής στο έδαφος είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας, ο οποίος συχνά στη γεωτεχνική πρακτική εκτιμάται μέσω των φυσικών εδαφικών ιδιοτήτων με τη χρήση εμπειρικών συσχετίσεων που δίνονται στη βιβλιογραφία. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μελετάται μια καθαρή άμμος στη συσκευή διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου για τον εργαστηριακό προσδιορισμό του συντελεστή διαπερατότητας και ελέγχεται η επίδραση της τιμής της υδραυλικής βαθμίδας σε αυτόν.

PERMEABILITY OF CLEAN SANDS

Angelos Martidis & Georgios Lolos

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2019

Supervisor: Polyxeni Kallioglou, Lecturer

ABSTRACT

Soil porosity is the gap between solid particles, which contains water or/and air. The existence of water in soil determines its mechanical behavior, both under hydrostatic conditions and under flow conditions. In the latter case, a series of major geotechnical problems related to civil engineering are associated with the failures of technical works (e.g. embankments, excavations, etc.). For the study of waterflow through soil it is necessary to determine the permeability coefficient, which is often assessed in geotechnical practice through natural spatial properties using empirical correlations given in the literature. In this diploma thesis, for the laboratory determination of the permeability coefficient and the influence of the hydraulic gradient, a clean sand is studied with constant head permeability test.

Πίνακας Περιεχομένων

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| Κεφάλαιο 1 | Εισαγωγή..... | 17 |
| 1.1 | Γενικά..... | 17 |
| 1.2 | Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας ανά κεφάλαιο | 17 |
| Κεφάλαιο 2 | Ροή νερού διαμέσου εδάφους | 19 |
| 2.1 | Εισαγωγή | 19 |
| 2.2 | Υδατική ροή μέσω του εδάφους | 20 |
| 2.3 | Ο συντελεστής διαπερατότητας, k | 23 |
| 2.4 | Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπερατότητα | 25 |
| 2.5 | Η επίδραση της θερμοκρασίας..... | 27 |
| 2.6 | Τυπικές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας | 27 |
| 2.7 | Εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας..... | 28 |
| Κεφάλαιο 3 | Πειραματικές μέθοδοι της εδαφικής διαπερατότητας..... | 39 |
| 3.1 | Εργαστηριακές δοκιμές | 39 |
| 3.2 | Επί τόπου δοκιμές | 41 |
| Κεφάλαιο 4 | Δοκιμή σταθερού υδραυλικού φορτίου για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαπερατότητας σε άμμο | 51 |
| 4.1 | Περιγραφή συσκευής διαπερατότητας..... | 51 |
| 4.2 | Βαθμονόμηση συσκευής διαπερατότητας | 52 |
| 4.3 | Σχεδιασμός και δημιουργία εδαφικών φίλτρων | 52 |
| 4.4 | Εξοπλισμός δοκιμής διαπερατότητας..... | 54 |
| 4.5 | Διαδικασία δοκιμής..... | 55 |
| 4.6 | Υπολογισμός του συντελεστή διαπερατότητας, k | 56 |
| 4.7 | Έντυπο δοκιμής..... | 57 |
| Κεφάλαιο 5 | Μελετηθέν έδαφος..... | 77 |
| 5.1 | Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφικού υλικού | 77 |
| 5.2 | Δοκιμές κατάταξης..... | 78 |
| 5.2.1 | Κοκκομετρική ανάλυση | 78 |

| | | |
|---|--|------------|
| 5.2.2 | Ειδικό βάρος στερεών κόκκων..... | 80 |
| 5.2.3 | Ελάχιστη πυκνότητα (Ξηρή απόθεση σε ογκομετρικό κύλινδρο)..... | 81 |
| 5.2.4 | Δοκιμή Proctor (συμπύκνωση) | 83 |
| Κεφάλαιο 6 Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου | | 106 |
| 6.1 | Αποτελέσματα βαθμονόμησης των τριών μανομέτρων | 106 |
| 6.2 | Αποτελέσματα δοκιμής σχεδιασμού και δημιουργίας εδαφικού φίλτρου | 106 |
| 6.3 | Αποτελέσματα δοκιμής σταθερού υδραυλικού φορτίου | 107 |
| Κεφάλαιο 7 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα | | 141 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | | 144 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 2.1 Τυπικές τιμές πορώδους..... | 32 |
| Πίνακας 2.2 Περιγραφή εδάφους μέσω της σχετικής πυκνότητας, Dr (Καββαδάς,2005)..... | 32 |
| Πίνακας 2.3 Ταξινόμηση εδάφους σύμφωνα με το συντελεστή διαπερατότητας..... | 32 |
| Πίνακας 3.1 Τυπικό εύρος τιμών Lugeon και κατάσταση βραχομάζας..... | 45 |
| Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης σε καθαρή άμμο M31 | 85 |
| Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα δοκιμής προσδιορισμού ειδικού βάρους στερεών κόκκων σε καθαρή άμμο M31 | 88 |
| Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα δοκιμής προσδιορισμού ξηρής πυκνότητας σε καθαρή άμμο M31 | 89 |
| Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα δοκιμής συμπίκνωσης με τη μέθοδο Proctor σε καθαρή άμμο M31..... | 90 |
| Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα δοκιμής βαθμονόμησης μανομέτρων | 108 |
| Πίνακας 6.2 Συγκρατούμενο ποσοστό ανάλογα με το μέγεθος κάθε κόσκινου, για τη σύνθεση του εδαφικού φίλτρου..... | 108 |
| Πίνακας 6.3 Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, Dr, για τη πρώτη δοκιμή..... | 109 |
| Πίνακας 6.4 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k, για τη πρώτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή..... | 112 |
| Πίνακας 6.5 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k, για τη πρώτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή..... | 113 |
| Πίνακας 6.6 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k, για τη πρώτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή..... | 114 |
| Πίνακας 6.7 Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, Dr, για τη δεύτερη δοκιμή | 115 |

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 6.8 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη δεύτερη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή | 118 |
| Πίνακας 6.9 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη δεύτερη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή | 119 |
| Πίνακας 6.10 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη δεύτερη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή | 120 |
| Πίνακας 6.11 Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, D_r , για τη τρίτη δοκιμή..... | 121 |
| Πίνακας 6.12 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή | 124 |
| Πίνακας 6.13 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή | 125 |
| Πίνακας 6.14 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή..... | 126 |
| Πίνακας 6.15 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή | 127 |
| Πίνακας 7.1 Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε υδραυλική βαθμίδα..... | 143 |

Κατάλογος Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 2.1 Κυμαινόμενοι υδροφόροι ορίζοντες (G.E. Barnes, 2005) | 33 |
| Σχήμα 2.2 Ροή μέσα σε εκσκαφές (G.E. Barnes, 2005)..... | 33 |
| Σχήμα 2.3 Εκσκαφές αποστράγγισης (G.E. Barnes, 2005)..... | 34 |
| Σχήμα 2.4 Ροή μέσω γεωκατασκευής (G.E. Barnes, 2005) | 34 |
| Σχήμα 2.5 Υδραυλική υποσκαφή μέσω χωμάτινου φράγματος (G.E. Barnes, 2005)..... | 34 |
| Σχήμα 2.6 Πίεση άνωσης κάτω από κατασκευές (G.E. Barnes, 2005)..... | 35 |
| Σχήμα 2.7 Φάσεις των εδαφικών υλικών (Καββαδάς, 2005)..... | 35 |
| Σχήμα 2.8 Διαδρομή ροής διαμέσου του εδάφους: (α) πραγματική διαδρομή, (β) φαινόμενη διαδρομή (Κ.Η. Head, 2006) | 35 |
| Σχήμα 2.9 Μονοδιάστατη ροή διαμέσου του εδάφους (Κ.Η. Head, 2006)..... | 36 |
| Σχήμα 2.10 Απόκλιση από το νόμο του Darcy σε αργιλικά υλικά (Hansbo, 1960)..... | 36 |
| Σχήμα 2.11 Σχέση μεταξύ δυναμικού ιξώδους και θερμοκρασίας (βασισμένος σε δεδομένα των Kaye και Laby, 1973)..... | 37 |
| Σχήμα 2.12 Χαρακτηριστικά διαπερατότητας και αποστράγγισης των κύριων τύπων εδάφους (Κ.Η. Head, 2006) | 37 |
| Σχήμα 2.13 Ειδική επιφάνεια σφαιρικών σωματιδίων άμμου και αργίλου (Κ.Η. Head, 2006) | 38 |
| Σχήμα 3.1 Τύποι διαπερατόμετρων : (α) σταθερού υδραυλικού φορτίου, (β) μεταβαλλόμενου υδραυλικού φορτίου (Καββαδάς, 2005)..... | 46 |
| Σχήμα 3.2 Διάταξη δοκιμής διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου..... | 47 |
| Σχήμα 3.3 Διάταξη δοκιμής διαπερατότητας μεταβαλλόμενου υδραυλικού φορτίου | 48 |
| Σχήμα 3.4 Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων μορφών που μπορεί να έχει ο δοκιμαζόμενος θύλακας..... | 49 |
| Σχήμα 3.5 Τυπική διάταξη δοκιμής Lefranc (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)..... | 49 |
| Σχήμα 3.6 Τυπική διάταξη δοκιμής Maag (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Σχήμα 3.7 Τυπική διάταξη δοκιμής Lugeon (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)..... | 50 |
| Σχήμα 4.1 Σύστημα παροχής νερού | 61 |
| Σχήμα 4.2 Συσκευή παραγωγής απαερωμένου νερό..... | 61 |
| Σχήμα 4.3 Διαπερατόμετρο-Κυψέλη..... | 62 |
| Σχήμα 4.4 Διάταξη μανομέτρων | 62 |
| Σχήμα 4.5 Φιάλη διοξειδίου του άνθρακα CO ₂ | 63 |
| Σχήμα 4.6 Διάταξη μέτρησης της παροχής (βαθμονομημένος ογκομετρικός κύλινδρος)..... | 63 |
| Σχήμα 4.7 Ογκομετρικός κύλινδρος και σύριγγα..... | 64 |
| Σχήμα 4.8 Διαπερατόμετρο γεμάτο με νερό κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης..... | 64 |
| Σχήμα 4.9 Τοποθέτηση συγκεκριμένου όγκου νερού με σύριγγα και λήψη μέτρησης | 65 |
| Σχήμα 4.10 Διαδικασία ανακίνησης των κοσκίων | 65 |
| Σχήμα 4.11 Συλλογή συγκρατούμενων κόκκων από τη διαδικασία ανακίνησης | 66 |
| Σχήμα 4.12 Τελικό εδαφικό φίλτρο το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση των παραπάνω κόκκων σε κατάλληλη αναλογία | 66 |
| Σχήμα 4.13 Τυπικές απαιτήσεις μεγέθους σωματιδίων για ένα υλικό φίλτρο (K.H. Head, 2006)..... | 67 |
| Σχήμα 4.14 Μέτρηση της εσωτερικής διαμέτρου της κυψέλης | 68 |
| Σχήμα 4.15 Διαδικασία εξέτασης αναγκαιότητας χρήσης και χάρτινου και εδαφικού φίλτρου | 68 |
| Σχήμα 4.16 Μέτρηση αποστάσεων μεταξύ των οπών που συνδέονται τα μανόμετρα | 69 |
| Σχήμα 4.17 Μέθοδος τετραμερισμού | 69 |
| Σχήμα 4.18 Τοποθέτηση χάρτινου φίλτρου | 70 |
| Σχήμα 4.19 Τοποθέτηση και συμπίκνωση εδαφικού φίλτρου..... | 70 |
| Σχήμα 4.20 Εκ νέου τοποθέτηση χάρτινου φίλτρου και καταγραφή βάθους..... | 71 |
| Σχήμα 4.21 Τοποθέτηση και συμπίκνωση δοκιμίου σε στρώσεις..... | 71 |
| Σχήμα 4.22 Ολοκλήρωση τοποθέτησης δοκιμίου | 72 |

| | |
|--|----|
| Σχήμα 4.23 Τοποθέτηση χάρτινου και εδαφικού φίλτρου στο άνω μέρος του δοκιμίου..... | 72 |
| Σχήμα 4.24 Αεροστεγώς κλείσιμο της κυψέλης..... | 73 |
| Σχήμα 4.25 Διάταξη διαπερατόμετρου σταθερού υδραυλικού φορτίου (K.H. Head, 2006) ... | 73 |
| Σχήμα 4.26 Διοχέτευση διοξειδίου του άνθρακα στη κυψέλη με φορά από κάτω προς τα πάνω | 74 |
| Σχήμα 4.27 Κορεσμός δοκιμίου με φορά από κάτω προς τα πάνω..... | 74 |
| Σχήμα 4.28 Ολοκλήρωση κορεσμού και απαέρωση της κυψέλης..... | 75 |
| Σχήμα 4.29 Καταγραφή του διηθούμενου όγκου και της θερμοκρασίας του νερού..... | 75 |
| Σχήμα 4.30 Διάταξη συσκευής διαπερατότητας | 76 |
| Σχήμα 5.1 Άποψη του σχήματος και της μορφής των κόκκων της καθαρής άμμου M31 (Βράννα Α., 2016)..... | 91 |
| Σχήμα 5.2 Κόκκοι καθαρής άμμου M31 στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) σε διάφορες μεγεθύνσεις (Βράννα Α., 2016)..... | 91 |
| Σχήμα 5.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση των τριών δοκιμών της άμμου M31..... | 92 |
| Σχήμα 5.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση του μέσου όρου των τριών δοκιμών της άμμου M31 . | 93 |
| Σχήμα 5.5 Καμπύλη συμπίκνωσης άμμου M31 που προέκυψε από τη δοκιμή Proctor της παρούσας διπλωματικής εργασίας (Μπλε καμπύλη) σε σύγκριση με καμπύλη συμπύκνωσης άμμου M31 άλλης διπλωματικής εργασίας (Κόκκινη καμπύλη) (Κουλαουζίδου Κυριακή, 2016)..... | 94 |
| Σχήμα 5.6 Άμμος M31 | 94 |
| Σχήμα 5.7 Σειρά κοσκίνων | 95 |
| Σχήμα 5.8 Ηλεκτρικός φούρνος με ελεγχόμενη θερμοκρασία..... | 95 |
| Σχήμα 5.9 Ζυγός με ακρίβεια 0,01 και υποδοχέας..... | 96 |
| Σχήμα 5.10 Μέτρηση μάζας επιλεγμένου δείγματος άμμου M31 | 96 |
| Σχήμα 5.11 Τοποθέτηση δείγματος στη σειρά κοσκίνων και διαδικασία ανακίνησης..... | 97 |
| Σχήμα 5.12 Ζύγιση συγκεντρωμένης μάζας σε κάθε κόσκινο | 97 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 5.13 Ζύγιση ληκύθου : (α) άδεια, (β) με εδαφικό υλικό | 98 |
| Σχήμα 5.14 Διαδικασία απαερισμού του αποσταγμένου νερού | 98 |
| Σχήμα 5.15 Γέμισμα ληκύθων με απαερωμένο νερό περίπου ως τη μέση (να καλύπτεται το έδαφος) | 98 |
| Σχήμα 5.16 Θάλαμος κενού (ξηραντήρας συνδεδεμένος με αντλία κενού) | 99 |
| Σχήμα 5.17 Ζύγιση ληκύθων : (α) με απαερωμένο νερό και εδαφικό υλικό, (β) γεμάτες με απαερωμένο νερό..... | 99 |
| Σχήμα 5.18 Τοποθέτηση ξηρού εδαφικού δείγματος στον ογκομετρικό κύλινδρο | 100 |
| Σχήμα 5.19 Ανακίνηση κυλίνδρου πάνω-κάτω, τοποθέτηση στο πάγκο και προσαρμογή του πλαστικού λάστιχου..... | 100 |
| Σχήμα 5.20 Ζύγιση ογκομετρικού κυλίνδρου : (α) με το εδαφικό δείγμα και χωρίς το καπάκι, (β) χωρίς το εδαφικό δείγμα και τ καπάκι (άδεια) | 101 |
| Σχήμα 5.21 Εξοπλισμός δοκιμής Proctor | 101 |
| Σχήμα 5.22 Μήτρα δοκιμής Proctor..... | 102 |
| Σχήμα 5.23 Ζύγιση της βάσης της μήτρας | 102 |
| Σχήμα 5.24 Λήψη αντιπροσωπευτικού ξηρού δείγματος και προσθήκη υγρασίας 5% | 103 |
| Σχήμα 5.25 Τοποθέτηση του δείγματος στη μήτρα | 103 |
| Σχήμα 5.26 Διαδικασία συμπίκνωσης με τη χρήση σφύρας | 104 |
| Σχήμα 5.27 Κάτοψη συμπυκνωμένου δείγματος | 104 |
| Σχήμα 5.28 "Ξύρισμα" του συμπυκνωμένου δείγματος..... | 105 |
| Σχήμα 5.29 Ζύγιση : (α) της μήτρας με το συμπυκνωμένο υλικό, (β) του δείγματος για τον προσδιορισμό της υγρασίας..... | 105 |
| Σχήμα 6.1 Γραφική απεικόνιση διαφοράς δυναμικού με διαφορά όγκου νερού για το πρώτο μανόμετρο..... | 128 |
| Σχήμα 6.2 Γραφική απεικόνιση διαφοράς δυναμικού με διαφορά όγκου νερού για το δεύτερο μανόμετρο..... | 128 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 6.3 Γραφική απεικόνιση διαφοράς δυναμικού με διαφορά όγκου νερού για το τρίτο μανόμετρο..... | 128 |
| Σχήμα 6.4 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού φίλτρου | 129 |
| Σχήμα 6.5 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (πρώτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 130 |
| Σχήμα 6.6 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (πρώτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 131 |
| Σχήμα 6.7 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (πρώτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 132 |
| Σχήμα 6.8 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (δεύτερη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 133 |
| Σχήμα 6.9 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (δεύτερη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 134 |
| Σχήμα 6.10 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (δεύτερη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 135 |
| Σχήμα 6.11 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 136 |
| Σχήμα 6.12 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 137 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 6.13 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 138 |
| Σχήμα 6.14 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 139 |
| Σχήμα 6.15 Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε υδραυλική βαθμίδα λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή | 140 |
| Σχήμα 7.1 Γραφική απεικόνιση του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε υδραυλική βαθμίδα | 143 |

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η υδατική ροή διαμέσου των πόρων του εδάφους αποτελεί ένα από τα βασικά αντικείμενα του Πολιτικού-Γεωτεχνικού Μηχανικού. Η ροή αυτή έχει άλλοτε θετικά αποτελέσματα (όπως οι αντλήσεις για προμήθεια νερού από τον υπόγειο ορίζοντα) και άλλοτε καταστροφικά (όπως η υδατική ροή στο σώμα ενός φράγματος). Όλα τα εδαφικά υλικά είναι διαπερατά, αφού οι πόροι τους επικοινωνούν μεταξύ τους και σχηματίζουν διόδους για τη διέλευση του νερού.

Η αντιμετώπιση πλήθους γεωτεχνικών προβλημάτων, που σχετίζονται με την υδατική ροή, απαιτεί τον προσδιορισμό της διαπερατότητας των εδαφών, μέσω του συντελεστή διαπερατότητας, k . Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού της τιμής του συντελεστή διαπερατότητας. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και από το σχεδιασμό της γεωτεχνικής έρευνας.

Οι μέθοδοι κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- εργαστηριακές δοκιμές
- επί τόπου δοκιμές μικρής ή μεγάλης κλίμακας
- προβλέψεις ή εκτιμήσεις μέσω εμπειρικών συσχετίσεων που προτείνονται στη βιβλιογραφία

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας καθαρής άμμου. Οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε συσκευή σταθερού υδραυλικού φορτίου, στο Εργαστήριο Γεωτεχνικής Μηχανικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D2434.

1.2 Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας ανά κεφάλαιο

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας και η διάρθρωση των κεφαλαίων.

Στο Κεφάλαιο 2 προβάλλεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με την υδατική ροή δια μέσω του εδάφους. Ορίζεται η έννοια του συντελεστή διαπερατότητας και αναφέρονται οι

παράγοντες που τον επηρεάζουν. Τέλος, αναπτύσσονται μερικές έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού του.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται οι εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται λεπτομερής περιγραφή του εργαστηριακού εξοπλισμού, που απαιτείται, και της διαδικασίας που ακολουθείται για την πραγματοποίηση της δοκιμής διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου (συσκευή, βαθμονόμηση μανομέτρων, σχεδιασμός και προετοιμασία εδαφικών φίλτρων, εξοπλισμός, προετοιμασία δοκιμίου, διαδικασία δοκιμής).

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το μελετηθέν εδαφικό υλικό καθώς και οι φυσικές του ιδιότητες. Επίσης περιγράφονται οι δοκιμές κατάταξης (κοκκομετρική ανάλυση, ειδικό βάρος στερεών κόκκων, ελάχιστη ξηρή πυκνότητα και δοκιμή συμπίκνωσης Proctor).

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δοκιμών διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Στο Κεφάλαιο 7 σχολιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα των δοκιμών διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου και παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

Κεφάλαιο 2 Ροή νερού διαμέσου εδάφους

2.1 Εισαγωγή

Ο υδρολογικός κύκλος έχει ως αποτέλεσμα τον κορεσμό του εδάφους με νερό. Δημιουργείται συνεπώς μια ζώνη κορεσμού κάτω από το επίπεδο του εδάφους, η ανώτερη επιφάνεια της οποίας ονομάζεται υδροφόρος ορίζοντας με τη στάθμη του να διαφέρει ανάλογα με την εποχή. Το μέγεθος της ροής του νερού μέσω του εδάφους μπορεί να το οδηγήσει σε κατάσταση αστοχίας. (Σχήμα 2.1)

Μερικά από αυτά τα πιθανά προβλήματα αναφέρονται παρακάτω μαζί με προτεινόμενους τρόπους αντιμετώπισης :

Ροή μέσα σε εκσκαφές

Αρχικά, εκτιμάται η παροχή της ροής ώστε να υπολογιστεί ο αριθμός και η ισχύς των αντλιών για τη λήψη των υπόγειων υδάτων. Αυτή η τεχνική αναφέρεται ως φρεάτιο άντλησης. Εφαρμόζεται σε ανοιχτές χαλικώδης αποθέσεις υπό μικρά πιεζομετρικά ύψη. (Σχήμα 2.2)

Αποστράγγιση

Στην περίπτωση που δεν μπορεί να αναληφθεί ο κίνδυνος του φρεατίου άντλησης, τότε είναι πιο κατάλληλο πριν από την εκσκαφή να υποβιβαστεί προσωρινά ο υδροφόρος ορίζοντας ώστε η εκσκαφή να γίνει εν ξηρώ. Αυτό επιτυγχάνεται με τεχνικές αποστράγγισης όπως η άντληση από φρεάτια ή ρηγά πηγάδια κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Για τον προσδιορισμό του αριθμού, της θέσης και του βάθους των φρεατίων, καθώς και της απαιτούμενης ικανότητας άντλησης, απαιτείται γνώση της παροχής της ροής νερού διαμέσου του εδάφους. (Σχήμα 2.3)

Ροή δια μέσω γεωκατασκευών

Αν μία γεωκατασκευή που συγκρατεί νερό (π.χ. χωμάτινο φράγμα) καταστεί διαπερατή ή αν η εδαφικοί σχηματισμοί κάτω από τη γεωκατασκευή είναι διαπερατοί, τότε πρέπει να ληφθούν μέτρα κατάλληλα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ένα κεντρικό πυρήνα από άργιλο και με πέτασμα τσιμεντενέσεων κάτω από αυτό, δηλαδή μέτρα υψηλού κόστους. Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται στραγγιστήρια που επιτρέπουν στο νερό να εισχωρήσει και να περάσει ανεμπόδιστα μέσα από αυτά. Συμπληρωματικά απαιτείται προστασία με φίλτρα

τα οποία εμποδίζουν τους εδαφικούς κόκκους να μεταφερθούν στις στρώσεις στράγγισης και να τις φράξουν. (Σχήμα 2.4)

Υδραυλική υποσκαφή (διασωλήνωση)

Η διαβρωτική δύναμη, που δημιουργείται όταν το νερό διέρχεται μέσω μιας γεωκατασκευής, μπορεί να είναι μεγάλη. Αποτέλεσμα αυτού είναι, ο σχηματισμός "σωλήνων" που αυξάνουν τη ροή οδηγώντας σε προοδευτική διάβρωση, υποσκαφή και τελικά σε αστοχία. Μερικά εδάφη, κυρίως τα λεπτόκοκκα, έχουν μικρή αντίσταση στη διάβρωση και η χρήση τους είναι απαγορευτική σε χωμάτινα φράγματα, αντιπλημμυρικά αναχώματα, ή επενδύσεις ανοιχτών αγωγών, εκτός αν προστατεύονται από άλλα πιο ανθεκτικά υλικά. (Σχήμα 2.5)

Πιέσεις άνωσης

Η ροή μέσω ενός διαπερατού σχηματισμού κάτω από ένα τεχνικό έργο προκαλεί τη δημιουργία αυξημένου πρίσματος υδατικής πίεσεως άνωσης συγκριτικά με την περίπτωση της υδροστατικής πίεσεως. Για τον λόγο αυτό πρέπει να υπάρχει μεγάλο μόνιμο φορτίο (ή ακκύρωση) ώστε να εξισορροπήσει τις πιέσεις λόγω της άνωσης. (Σχήμα 2.6)

2.2 Υδατική ροή μέσω του εδάφους

Το έδαφος αποτελείται από ένα σύνολο στερεών κόκκων διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Οι κόκκοι, ενώ σε πολλές περιπτώσεις με γυμνό μάτι φαίνεται να εφάπτονται πλήρως, στην πραγματικότητα εμφανίζουν κενά διαστήματα μεταξύ τους, τα οποία ονομάζονται πόροι. Οι πόροι συνδέονται μεταξύ τους με ρωγμές, ασυνέχειες ή άλλες διόδους, με αποτέλεσμα τη ροή νερού και αέρα μέσα στο έδαφος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μέσο που αποτελείται από τρεις φάσεις, τη στερεά (στερεά σωματίδια - κόκκοι), την υγρή (νερό) και την αέρια (αέρας). Το σύνολο των τριών αυτών φάσεων το καθιστά πορώδες και ασυνεχές μέσο.

Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζονται οι τρεις φάσεις ενός εδαφικού υλικού. Ο συνολικός του όγκος (V) αποτελείται από τον όγκο των στερεών σωματιδίων (V_s) και των κενών (V_v). Ο όγκος των κενών πληρούται από νερό (V_w) και αέρα (V_g). Οι μάζες, ή ισοδύναμα, τα βάρη των μεγεθών αυτών ακολουθούν αντίστοιχη κατανομή, με τη διαφορά ότι η μάζα του αέρα θεωρείται αμελητέα, αφού η πυκνότητά του είναι πολύ μικρή σε σχέση με των άλλων δύο μεγεθών. Σύμφωνα με αυτά, προκύπτει ο ορισμός του πορώδες, ο οποίος αντιστοιχεί στο λόγο του όγκου των κενών προς τον ολικό όγκο του εδάφους :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.1)$$

Για τα περισσότερα εδάφη το πορώδες είναι ένας αριθμός μεταξύ 0,30 (30%) και 0,45 (45%). Όταν το πορώδες είναι μικρό, το έδαφος είναι πυκνά δομημένο, ενώ όταν το πορώδες είναι μεγάλο το έδαφος είναι χαλαρά δομημένο. (Πίνακας 2.1)

Το πορώδες εκφράζεται σε ποσοστό επί τις εκατό και παρουσιάζει τον ολικό όγκο των πόρων. Δεν δίνει, όμως, καμία πληροφορία για την κατανομή τους, η οποία επηρεάζει ουσιαστικά την κίνηση του νερού και του αέρα μέσα στο έδαφος. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες θεωρίες πάνω στο θέμα.

Ένα ακόμη μέγεθος που σχετίζεται με το σχετικό μέγεθος των πόρων, είναι ο δείκτης κενών (e):

$$e = \frac{V_w + V_g}{V_s} = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.2)$$

ο οποίος συνδέεται με το πορώδες με τη σχέση :

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad (2.3)$$

Ένα ακόμη σημαντικό μέγεθος, το οποίο συνδέεται με τον δείκτη κενών, είναι η σχετική πυκνότητα, D_r . Χαρακτηρίζει την κατάσταση ενός εδαφικού υλικού σε σχέση με την ελάχιστη και μέγιστη πυκνότητα και ορίζεται ως εξής:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} * 100 (\%) \quad (2.4)$$

όπου,

e_{max} : είναι ο δείκτης κενών που αντιστοιχεί στην ελάχιστη συμβατική πυκνότητα

e_{min} : είναι ο δείκτης κενών που αντιστοιχεί στην μέγιστη συμβατική πυκνότητα

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τυπικές τιμές της σχετικής πυκνότητας, D_r .

Η φυσικές εδαφικές ιδιότητες που αναφέρονται στην παρουσία του νερού μέσα στους πόρους του εδάφους είναι η υγρασία και ο βαθμός κορεσμού. Η υγρασία (w) εκφράζεται σε ποσοστό επί τις εκατό και ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του νερού προς τη μάζα των κόκκων του ξηρού εδάφους :

$$w = \frac{M_w}{M_s} \quad (2.5)$$

ενώ ο βαθμός κορεσμού (S) είναι ο λόγος του όγκου του νερού προς τον όγκο των κενών, εκφρασμένος επίσης σε ποσοστό επί τις εκατό :

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{V_w}{V_w + V_g} \quad (2.6)$$

Η ροή του νερού μέσω μιας στήλης εδάφους απεικονίζεται στο Σχήμα 2.8. Κάθε σωματίδιο νερού που μετακινείται από το επίπεδο Α στο επίπεδο Β ακολουθεί μια ελικοειδή διαδρομή γύρω από τους κόκκους και μέσα από τα κενά. Η ταχύτητα του σωματιδίου διαφέρει χρονικά ανάλογα με το μέγεθος του κενού μέσω του οποίου κινείται. Ωστόσο, για πρακτικούς λόγους θεωρείται η μάζα του εδάφους ως σύνολο και κάθε σωματίδιο νερού μπορεί να υποθεθεί ότι "ταξιδεύει" κατά μήκος μιας ομαλής διαδρομής, γνωστή ως γραμμή ροής. Οι γραμμές ροής μπορεί να είναι ευθείες γραμμές ή ομαλές καμπύλες και αντιπροσωπεύουν τη ροή του νερού με σταθερή ταχύτητα.

Στο Σχήμα 2.9 απεικονίζεται η μονοδιάστατη υδατική ροή διαμέσου εδαφικού δείγματος. Η ροή ξεκινάει λόγω της υψομετρικής διαφοράς της δεξαμενής εισόδου με τη δεξαμενή εξόδου. Εάν τοποθετηθεί ένας πιεζομετρικός σωλήνας σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της εδαφικής στρώσης, το νερό θα αρχίσει να ανεβαίνει και τελικά θα σταθεροποιηθεί σε ένα τελικό ύψος, το οποίο υποδεικνύει την πίεση του νερού στο σημείο αυτό. Το ύψος του νερού στο σωλήνα ονομάζεται πιεζομετρικό ύψος και η πίεση του νερού υποδηλώνεται από το φορτίο πίεσης, το ύψος της στήλης του νερού στο σωλήνα μετρούμενο σε χιλιοστά ή μέτρα.

$$p = h * \rho_w * g \quad (2.7)$$

όπου,

p: η πίεση του νερού (kN/m²)

h: το ύψος του νερού στο σωλήνα (mm)

ρ_w : η πυκνότητα του νερού (Mg/m³)

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)

Ο Γάλλος μηχανικός H. Darcy διερεύνησε πρώτος τις ιδιότητες ροής του νερού σε αμμώδεις εδαφικούς σχηματισμούς στη Dijon της Γαλλίας (Darcy, 1856). Απέδειξε ότι, για γραμμική ροή μέσα σε κύλινδρο υπάρχει αναλογία μεταξύ της ποσότητας του νερού που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου και της απώλειας δυναμικού μεταξύ δύο σημείων της διαδρομής του νερού. Θεωρώντας ένα συντελεστή k για να αποδώσει την αναλογία αυτή, διατύπωσε τη σχέση:

$$q = k * A * i = k * A * \left(\frac{\Delta H}{L}\right) \quad (2.8)$$

όπου,

q: παροχή (m³/s)

k: συντελεστής διαπερατότητας (m/s)

A: εμβαδόν διατομής δοκιμίου (κάθετα στη ροή) (m²)

i: υδραυλική κλίση ή κλίση της πιεζομετρικής συνάρτησης

Η εξίσωση (2.8) είναι η βασική εξίσωση για υπολογισμούς διαπερατότητας. Βασίζεται στην υπόθεση ότι η ροή του νερού είναι στρωτή και όχι τυρβώδης. Αυτή η υπόθεση ισχύει γενικά για εδάφη που κυμαίνονται από αργίλους έως χονδροειδείς άμμους, αλλά μπορεί να μην είναι το ίδιο για χοντρότερα υλικά.

Η υδραυλική κλίση ή κλίση της πιεζομετρικής συνάρτησης είναι ένα αδιάστατο μέγεθος και ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς υδραυλικού φορτίου μεταξύ δύο σημείων της διαδρομής του νερού προς την οριζόντια απόστασή τους, μετρημένα σε ίδιες μονάδες.

$$i = \frac{\Delta H}{L} \quad (2.9)$$

Ο νόμος του Darcy ισχύει για ένα μεγάλο εύρος τύπων εδαφών και υδραυλικών βαθμίδων όταν υπάρχει στρωτή ροή μέσω των κόκκων. Δεν ισχύει όμως για πολύ μεγάλες υδραυλικές βαθμίδες σε χονδρόκοκκα εδάφη όπου η ροή από στρωτή γίνεται τυρβώδης. Ο νόμος του Darcy δεν ισχύει επίσης όταν εφαρμόζονται πάρα πολύ μικρές υδραυλικές βαθμίδες σε αργιλικά κυρίως υλικά. Όπως αποδείχθηκε από τον Hansbo (1960), σε αργιλικά εδαφικά δείγματα για πολύ μικρές υδραυλικές βαθμίδες ($i < i_0$) υπάρχει μια μη γραμμική συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας εκροής (v) και της υδραυλικής βαθμίδας, ενώ για μεγάλες υδραυλικές βαθμίδες ($i \geq i_0$) η σχέση γίνεται γραμμική. (Σχήμα 2.10)

2.3 Ο συντελεστής διαπερατότητας, k

Η ταχύτητα του νερού μέσω των εδαφών στο νόμο του Darcy είναι η φαινόμενη ταχύτητα ροής και όχι η πραγματική και ακανόνιστη ταχύτητα των σωματιδίων νερού μέσω των κενών χώρων. Εάν μια ποσότητα νερού Q (m³) ρέει μέσα από μια στήλη εδάφους διατομής A (m²) (μετρούμενη κάθετα προς τις γραμμές ροής) σε χρόνο t δευτερόλεπτα, ο ρυθμός ροής, που δηλώνεται με q (m³/s) ισούται με Q/t , και η ταχύτητα εκροής v (m/s) δίνεται από τη σχέση:

$$v = \frac{Q}{A * t} = \frac{q}{A} \quad (2.10)$$

Η πραγματική ταχύτητα ροής διαμέσου των κενών είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα εκροής, v , σε βαθμό που είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το πορώδες του εδάφους ($v_r = v/n$).

Μια πιο γενικευμένη εκδοχή του νόμου του Darcy δηλώνει ότι η ταχύτητα ροής του ρευστού

δια μέσω ενός πορώδους κοκκώδους υλικού υπό σταθερές συνθήκες είναι ανάλογη προς την διαφορά δυναμικού που προκαλεί τη ροή και αντιστρόφως ανάλογη προς το ιξώδες του ρευστού. Αυτό μπορεί να εκφραστεί από την αναλογικότητα :

$$v \propto \frac{i_p}{\eta} \quad (2.11)$$

όπου,

v: η ταχύτητα ροής

i_p : η πειζομετρική κλίση, ($\Delta p/L$), δηλαδή η διαφορά πίεσης ανά μονάδα μήκους κατά μήκος της γραμμής ροής

η : το δυναμικό ιξώδες του υγρού

Η παραπάνω σχέση μπορεί να εκφραστεί από την εξίσωση :

$$v = \frac{K * \rho_w * g * i}{\eta} \quad (2.12)$$

Το K είναι γνωστό ως «απόλυτη» ή «ειδική» διαπερατότητα, για ένα δεδομένο έδαφος με συγκεκριμένο πορώδες και είναι ανεξάρτητη από τις ιδιότητες του υγρού. Ισχύει :

$$k = \frac{K * \rho_w * g}{n_w} \quad (2.13)$$

όπου k είναι ο συντελεστής διαπερατότητας που αναφέρεται στο νόμο Darcy.

Η «απόλυτη διαπερατότητα», K δεν συναντάται συχνά και ο όρος «διαπερατότητα» όπως χρησιμοποιείται γενικά αναφέρεται στον «συντελεστή διαπερατότητας, k». Η σχέση μεταξύ k και K, σε μονάδες SI, όπου το k μετράται σε m/s και το K εκφράζεται σε mm², προκύπτει ως εξής

Για το νερό είναι,

$$\rho_w = 1.00 \text{ Mg /m}^3$$

$$\eta_w = \text{περίπου } 1.0 \text{ mPas (στους } 20 \text{ }^\circ\text{C)} = 10^{-3} \text{ pas}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Συνεπώς,

$$k = \frac{K}{(1000)^2} * \frac{1000 * 9.81}{10^{-3}} = 9.81K$$

ή $k(\text{m/s}) = 10K (\text{mm}^2)$ κατά προσέγγιση.

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπερατότητα

Η διαπερατότητα δεν είναι θεμελιώδης ιδιότητα του εδάφους, αλλά εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- Κοκκομετρία και πορώδες εδάφους
 - ❖ Κοκκομετρική καμπύλη εδάφους
 - ❖ Σχήμα και υφή των κόκκων
 - ❖ Ορυκτολογική σύσταση αργίλων

- Χαρακτηριστικά της δομής των εδαφικών κόκκων
 - ❖ Δείκτης πόρων, e
 - ❖ Βαθμός κορεσμού

- Κατάσταση φυσικού εδάφους
 - ❖ Στρώσεις εδάφους

- Ιδιότητες του υγρού
 - ❖ Φύση υγρού
 - ❖ Τύπος ροής
 - ❖ Θερμοκρασία

Κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες περιγράφεται εν συντομία παρακάτω.

Κοκκομετρική καμπύλη εδάφους

Η διαπερατότητα ενός κοκκώδους εδάφους επηρεάζεται από την κοκκομετρική καμπύλη και ιδιαίτερα από τους μικρότερους κόκκους. Όσο μικρότεροι είναι οι κόκκοι, τόσο μικρότερα είναι τα κενά μεταξύ τους και ως εκ τούτου η αντίσταση στην ροή νερού αυξάνεται (δηλ. μειώνεται η διαπερατότητα).

Σχήμα και υφή των κόκκων

Το σχήμα και η υφή των κόκκων επηρεάζει τη διαπερατότητα. Οι επιμήκεις ή ακανόνιστοι κόκκοι δημιουργούν διαδρομές ροής που είναι πιο ελικοειδείς από εκείνες γύρω από σχεδόν σφαιρικούς. Κόκκοι με τραχιά επιφάνεια παρέχουν μεγαλύτερη αντίσταση τριβής στη ροή από ότι τα ομαλοί και τα δύο αποτελέσματα τείνουν να μειώνουν την ταχύτητα ροής του νερού μέσω του εδάφους, δηλαδή να μειώνουν τη διαπερατότητά του.

Ορυκτολογική σύσταση αργίλων

Στα λεπτόκοκκα εδάφη η ορυκτολογική σύνθεση είναι ένας πρόσθετος παράγοντας, διότι υπάρχουν διάφοροι τύποι ορυκτών με διαφορετικά πάχη προσροφημένου νερού και κατά συνέπεια το πραγματικό μέγεθος πόρων ποικίλλει. Για το λόγο αυτό ο ορυκτός τύπος επηρεάζει τη διαπερατότητα των αργίλων σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ότι το μέγεθος των κόκκων, αλλά γενικά έχει μικρή επίδραση στη διαπερατότητα των άμμων και των χαλικιών.

Δείκτης πόρων, e

Ο τρόπος με τον οποίο το έδαφος έχει δημιουργηθεί έχει σημαντική επίδραση στο μέγεθος των κενών μεταξύ των κόκκων, και συνεπώς στη διαπερατότητα. Ο όγκος των κενών εκφράζεται σε όρους λόγου κενών, e, ή του πορώδους, n. Ο λόγος κενών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διαπερατότητας της άμμου από τον Kozeny.

Βαθμός κορεσμού

Ο βαθμός στον οποίο τα κενά είναι γεμάτα με νερό είναι μεγάλης σημασίας σε μετρήσεις διαπερατότητας. Φυσαλίδες αέρα μπορούν να μπλοκάρουν τη ροή στις διόδους γύρω από τους κόκκους, μειώνοντας έτσι αισθητά τη διαπερατότητα. Εάν ο βαθμός κορεσμού είναι μικρότερος από περίπου 85%, ο αέρας είναι πιθανόν να είναι συνεχής, αντί να βρίσκεται σε μεμονωμένες φυσαλίδες, και έτσι δεν ισχύει ο νόμος του Darcy. Σε δοκιμές διαπερατότητας καταβάλλονται προσπάθειες για την εξάλειψη του αέρα, έτσι ώστε το έδαφος να θεωρείται ότι είναι πλήρως κορεσμένο. Αυτό μπορεί να είναι δύσκολο σε μερικώς κορεσμένα λεπτόκοκκα εδάφη.

Στρώσεις εδάφους

Πολλά εδάφη στη φυσική τους κατάσταση δεν είναι ομοιογενή αλλά ανισότροπα, συχνά λόγω στρωματοποίησης, δηλαδή αποτελούνται από στρώματα διαφορετικών τύπων εδάφους. Η διαπερατότητα (k_h) μιας στρωματοποιημένης απόθεσης σε κατεύθυνση παράλληλη με τη στρωματοποίηση (συχνά κοντά στην οριζόντια) είναι συνήθως αρκετές φορές μεγαλύτερη από τη διαπερατότητα (k_v) που είναι κάθετη ως προς τη διαστρωμάτωση (k_v). Στα στρωματοποιημένα εδάφη η αναλογία των δύο συντελεστών διαπερατότητας k_h/k_v , γνωστή ως λόγος διαπερατότητας, μπορεί να είναι 100 ή περισσότερο.

Άλλα χαρακτηριστικά της ανισοτροπίας που μπορεί να επηρεάσει τη διαπερατότητα είναι οι ασυνέχειες, όπως οι σχισμές. Η διαπερατότητα των συνεκτικών εδαφών στο πεδίο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη ασυνεχειών και μπορεί να είναι μερικές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τη διαπερατότητα που μετράται σε μικρά δείγματα στο εργαστήριο. Η διαπερατότητα λεπτόκοκκων εδαφών επηρεάζεται επίσης από τη μικροδομή τους, η οποία περιλαμβάνει την κατάσταση συγκέντρωσης ή διασποράς των κόκκων, τον προσανατολισμό τους και την κατάσταση της εξωτερικής τους επιφάνειας.

Φύση του υγρού.

Η «απόλυτη» ή «ειδική» διαπερατότητα, K , είναι μια σταθερά για ένα συγκεκριμένο χρώμα σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Ο συντελεστής διαπερατότητας, k , εξαρτάται από τις ιδιότητες του υγρού διαπερατότητας. Αυτό γενικά θεωρείται το νερό και η τιμή του k θα είναι διαφορετική για άλλα υγρά. Οι ιδιότητες ενός ρευστού που σχετίζονται με τη διαπερατότητα είναι η πυκνότητα και το δυναμικό ιξώδες. Για το νερό η πυκνότητα, ρ_w , ποικίλλει ελάχιστα σε σχέση με το εύρος των θερμοκρασιών που κανονικά βιώνουν (0-40 ° C), αλλά το ιξώδες, η_w , μειώνεται κατά ένα συντελεστή περίπου 3 σε αυτό το εύρος. Συνεπώς, η θερμοκρασία της δοκιμής είναι σημαντική, όπως αναφέρεται παρακάτω.

Τύπος ροής.

Μία από τις παραδοχές στις οποίες βασίζεται ο νόμος του Darcy είναι ότι η ροή του νερού είναι «στρωτή», η οποία συμβαίνει όταν η ταχύτητα είναι σχετικά χαμηλή. Πάνω από μια

ορισμένη κρίσιμη ταχύτητα η ροή γίνεται τυρβώδης και ο νόμος του Darcy δεν ισχύει πλέον. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στην άμμο και ειδικά σε υλικά μεσαίου μεγέθους χαλικιών και πιο χονδρόκοκκα, στα οποία υπάρχει μικρό ή καθόλου λεπτόκοκκο υλικό. Στα μεγάλα κενά διαστήματα η ταχύτητα ροής μπορεί να είναι αρκετά υψηλή ώστε να δημιουργεί διατάραξη.

Θερμοκρασία.

Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του ιξώδους του νερού, το οποίο επηρεάζει την τιμή της μετρούμενης διαπερατότητας. Σε μια εργαστηριακή δοκιμή η συνήθης θερμοκρασία είναι γύρω στους 20 °C, ενώ η θερμοκρασία για μια τυπική δοκιμή διαπερατότητας πεδίου στο Ηνωμένο Βασίλειο μπορεί να είναι περίπου 10 °C.

2.5 Η επίδραση της θερμοκρασίας

Ο συντελεστής διαπερατότητας, k , δεν είναι σταθερός για ένα δεδομένο εδαφικό υλικό αλλά εξαρτάται από το δυναμικό ιξώδες, η , όπως φαίνεται και στη Σχέση 2.14. Το ιξώδες ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία και αυξάνεται κατά περίπου 30% από 20 °C σε 10 °C. Επομένως, η θερμοκρασία του νερού θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη κατά την εκτέλεση δοκιμών διαπερατότητας, στο εργαστήριο ή στο πεδίο.

Είναι βολικό να αναφέρονται τα δεδομένα διαπερατότητας σε μία τυπική θερμοκρασία 20 °C. Η αναλογία του δυναμικού ιξώδους του νερού σε οποιαδήποτε θερμοκρασία T °C (η_T) προς εκείνη στους 20 °C (η_{20}) παρουσιάζεται γραφικά στο Σχήμα 2.11. Αν μια δοκιμή διαπερατότητας που διεξάγεται σε T °C δίνει έναν συντελεστή διαπερατότητας, k_T , η αντίστοιχη τιμή στους 20 °C, k_{20} υπολογίζεται από την εξίσωση

$$k_{20} = k_T * \left(\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \right) \quad (2.14)$$

όπου $\left(\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \right)$ διαβάζεται από το γράφημα σε T °C.

2.6 Τυπικές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας

Η ταξινόμηση των εδαφών με βάση τη διαπερατότητα δίνεται στον Πίνακα 2.3, ο οποίος προέρχεται από έναν πίνακα των Terzaghi και Peck (1967).

Τα χαρακτηριστικά διαπερατότητας και αποστράγγισης των κύριων τύπων εδάφους, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.11, το οποίο περιλαμβάνει ένδειξη του τύπου δοκιμής που είναι καταλληλότερος για κάθε κατηγορία. Αυτά τα δεδομένα παρουσιάζονται με διαφορετικό τρόπο, σε σχέση με το αποτελεσματικό μέγεθος σωματιδίων, στο Σχήμα 2.12.

2.7 Εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας

Η διαπερατότητα του εδάφους μπορεί, εκτός των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών, να προσδιοριστεί έμμεσα μέσω συσχετίσεων που προτείνονται στη βιβλιογραφία. Σε αυτήν την περίπτωση, η διαπερατότητα του εδάφους μπορεί να προσδιοριστεί με ανάλυση του μεγέθους, του σχήματος και της κατανομής των κόκκων του εδάφους (κοκκομετρία εδάφους) ή με ορισμένες ιδιότητες όπως ο δείκτης κενών, e , το πορώδες, n , η κατανομή του μεγέθους των πόρων, κλπ. Αυτές οι μέθοδοι δεν παρέχουν ακριβή τιμή για τη διαπερατότητα του εδάφους αλλά, μάλλον, αποδίδουν ποσοτικές τιμές που χρησιμοποιούνται κανονικά για προκαταρκτική αξιολόγηση και σύγκριση της διαπερατότητας διαφορετικών εδαφών.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι αυτού του είδους παρατίθενται παρακάτω.

Μέθοδος του Hazen

Η παρακάτω εξίσωση προέκυψε από πειραματική δοκιμή με λεπτές, ομοιόμορφες άμμους και είναι μια προσπάθεια να συσχετιστεί η διαπερατότητα με την διάμετρο των κόκκων D_{10} . Ο τύπος όπως δόθηκε από τους Terzaghi και Peck (1948) είναι :

$$k \left(\frac{cm}{sec} \right) = C_1 (D_{10})^2 \quad (2.15)$$

όπου,

D_{10} : διάμετρος κόκκων , που αντιστοιχεί σε διερχόμενο ποσοστό κόκκων 10% (mm)

C_1 : είναι ένας εμπειρικός συντελεστής, με τιμή περίπου 100 (cm^{-1}/s^{-1})

Σύμφωνα με τον Taylor (1948) η τιμή του C_1 μπορεί να κυμαίνεται από περίπου 40 έως 150. Οι Lambe και Whitman (1979) παραθέτουν τα αποτελέσματα των δοκιμών των Lane και Washburn (1946) σε ένα ευρύ φάσμα εδαφών (χονδρόκοκκο χαλίκι έως λάσπη) που δίνουν μια μέση τιμή για αυτόν τον συντελεστή περίπου 16, ενώ οι παρατηρήσεις του Hazen περιορίζονται σε άμμο ομοιόμορφης διάστασης κόκκων.

Η μετατροπή του τύπου Hazen σε συμβατικές μονάδες SI δίνει την εξίσωση :

$$k \left(\frac{m}{s} \right) = C_1 (D_{10})^2 \times 10^{-4} \quad (2.16)$$

στην οποία το D_{10} εκφράζεται σε χιλιοστά.

Εάν ο συντελεστής C_1 είναι 100, τότε αυτή η εξίσωση γίνεται :

$$k = 0.001(D_{10})^2 \text{ m/s} \quad (2.17)$$

Εάν ο συντελεστής C_1 είναι 16 (Lambe and Whitman, 1979), τότε :

$$k = 0.0016 (D_{10})^2 \text{ m/s} \quad (2.18)$$

Οι εναλλακτικές αυτές εξισώσεις δίνουν υπολογιζόμενες τιμές που διαφέρουν κατά ένα συντελεστή περίπου 6, αλλά αυτή η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη τις σημαντικές διακυμάνσεις που οφείλονται στο δείκτη πόρων, e . Αυτές οι εξισώσεις δεν πρέπει να εφαρμόζονται σε αργιλικά υλικά.

Μέθοδος Kozeny-Carman

Η εξίσωση που προτείνεται από τον Kozeny (1927) για τη διαπερατότητα αναφέρεται στο μέγεθος και σχήμα των κόκκων, στο πορώδες (n), στην ειδική επιφάνεια (S) και στο ιξώδες του νερού (η_w). Η γενική εξίσωση είναι :

$$k = \frac{\rho_w g n^3}{C \eta_w S^2 (1 - n)^2} \quad (2.19)$$

Αυτή η εξίσωση τροποποιήθηκε από τον Carman (1939) ο οποίος αντικατέστησε το πορώδες με το δείκτη πόρων, χρησιμοποιώντας την υποκατάσταση $n=e/(1+e)$. Αυτό είναι γνωστό ως η εξίσωση Kozeny-Carman:

$$k = \frac{\rho_w g}{C h_w S^2} \times \frac{e^3}{1 + e} \quad (2.20)$$

Για ένα σύνολο σφαιρικών σωματιδίων ομοιόμορφα κατανεμημένων με διάμετρο μεταξύ των d_1 και d_2 , η ειδική επιφάνεια S , λαμβάνεται από τη σχέση:

$$S = \frac{6}{\sqrt{d_1 d_2}} \quad (2.21)$$

Ο όρος $d_1 d_2$ είναι η μέση γεωμετρική διάμετρος σωματιδίων. Η σχέση μεταξύ της ειδικής επιφάνειας και της μέσης γεωμετρικής διαμέτρου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.13.

Στις παραπάνω εξισώσεις η σταθερά C είναι ένας συντελεστής του σχήματος των κόκκων, ίσος με 5 για σφαιρικά σωματίδια. Ωστόσο, τα σωματίδια άμμου είναι σπάνια σφαιρικά, οπότε ο συντελεστής γωνίας, f, πολλαπλασιασμένος με το C, εισάγεται στις παραπάνω εξισώσεις για να ανατρέψει το ακανόνιστο σχήμα των κόκκων.

$$k = \frac{\rho_w g}{5f\eta_w S^2} \times \left(\frac{e^3}{1+e}\right) \quad (2.22)$$

όπου,

k: ο συντελεστής διαπερατότητας (m/s)

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s²)

ρ_w : η πυκνότητα του νερού (1,00 Mg/m²)

η_w : το δυναμικό ιξώδες του νερού, στους 20 °C (1 mPas)

e: ο λόγος κενών του εδάφους

S: η ειδική επιφάνεια των κόκκων (mm²/mm³=mm⁻¹)

Αντικαθιστώντας αυτές τις τιμές στην παραπάνω εξίσωση και εκτελώντας τις πράξεις, για θερμοκρασία 20 ° C προκύπτει

$$k_{20} = \frac{2}{fS^2} \left(\frac{e^3}{1+e}\right) \quad (2.23)$$

Οι τιμές που προτείνει ο Loudon (1952) για το συντελεστή f είναι οι εξής:

- Στρογγυλεμένοι κόκκοι, f = 1,1
- Ημιστρογγυλεμένοι κόκκοι, f = 1,25
- Γωνιώδεις κόκκοι, f = 1,4

Μέθοδος Chapuis

Η εξίσωση που προτάθηκε από τον Chapuis (2004) για το συντελεστή διαπερατότητας αφορά μη συνεκτικά εδάφη και είναι συναρτήσεως του δείκτη πόρων e και της ενεργού διαμέτρου D_{10} :

$$k = 2.4622 \left[\frac{e^3}{1+e} D_{10}^2 \right]^{0.7825} \quad (2.24)$$

Όπου k , ο συντελεστής διαπερατότητας είναι σε cm/sec και η διάμετρος D_{10} σε mm. Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών σε φυσικές άμμους ή χαλίκια συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που δίνει η παραπάνω εξίσωση. Ο Charuis παρατήρησε ότι η προβλεπόμενη τιμή κυμαίνεται σε εύρος 0,5 έως 2 φορές της μετρούμενης τιμής, όταν $0,003 < D_{10} < 3$ mm και $0,3 < e < 1$. Σε περιπτώσεις θραυστών υλικών η ακρίβεια της εξίσωσης μειώνεται σημαντικά και αυτό οφείλεται στην επίδραση των γωνιών που έχουν οι κόκκοι.

Terzaghi

Η εξίσωση που προτείνεται από τον Terzaghi (1925) για αμμώδη υλικά είναι η ακόλουθη:

$$k = C_0 \frac{\mu_0}{\mu_T} \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2 D_{10}^2 \quad (2.25)$$

όπου,

n : το πορώδες

D_{10} : η διάμετρος κόκκων

C_0 : 8 για ομαλά στρογγυλεμένους κόκκους και 4,6 για κόκκους ακανόνιστου σχήματος

μ_0, μ_T : το ιξώδες του νερού για θερμοκρασία 10°C και T°C αντίστοιχα

Οι δοκιμές, που πραγματοποιούνται σε θερμοκρασία 20°C, έχουν λόγο μ_0/μ_T που ισούται με 1,3. Η εξίσωση του Terzaghi δεν εφαρμόζεται σε χονδρόκοκκος άμμους (Cheng and Chen, 2007).

Πίνακας 2.1 Τυπικές τιμές πορώδους

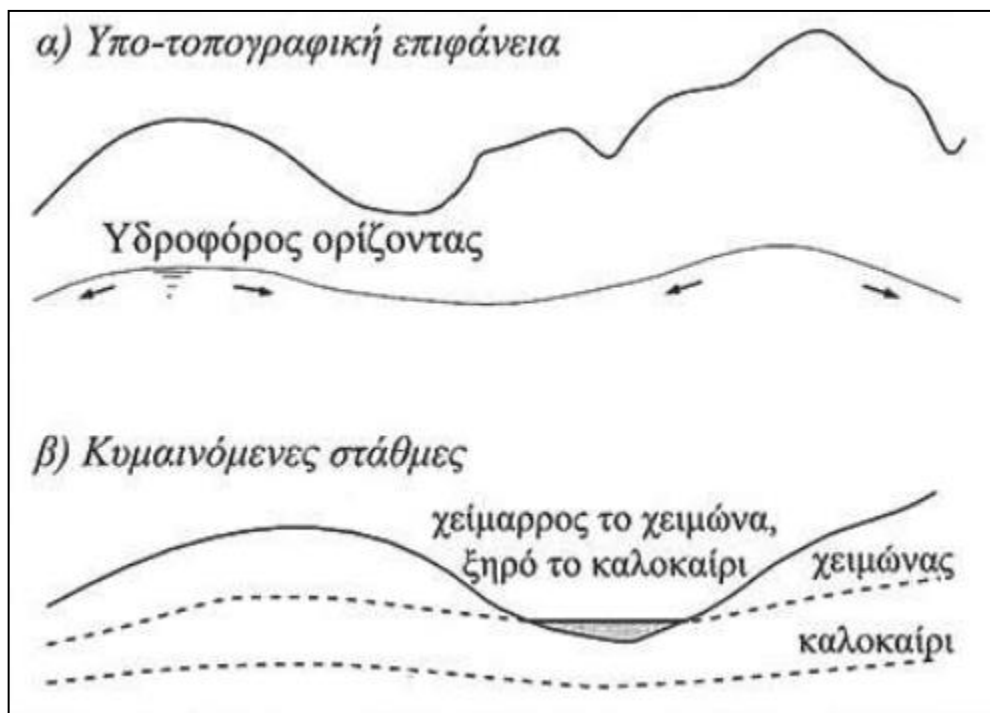
| Προσχώσεις | Πορώδες (%) | Ιζηματογενή πετρώματα | Πορώδες (%) | Κρυσταλλικά πετρώματα | Πορώδες (%) |
|-------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Μικρά χαλίκια | 24-36 | Ψαμμίτες | 5-30 | Ρωγματομέν α | 0-10 |
| Μεγάλα χαλίκια | 25-38 | Γλυόλιθοι | 21-41 | Μη ρωγματομένα | 0-5 |
| Χονδρόκοκκη άμμος | 31-48 | Ασβεστόλιθοι | 0-40 | Βασάλτες | 3-35 |
| Λεπτόκοκκη άμμος | 26-53 | Καρστοποιη μένοι ασβεστόλιθοι | 0-40 | Αποσαθρω μένοι γρανίτες | 34-57 |
| Ιλύς | 34-61 | Σχιστόλιθοι | 0-10 | | |
| Αργίλος | 34-60 | | | | |
| | | | | | |

Πίνακας 2.2 Περιγραφή εδάφους μέσω της σχετικής πυκνότητας, Dr (Καββαδάς,2005)

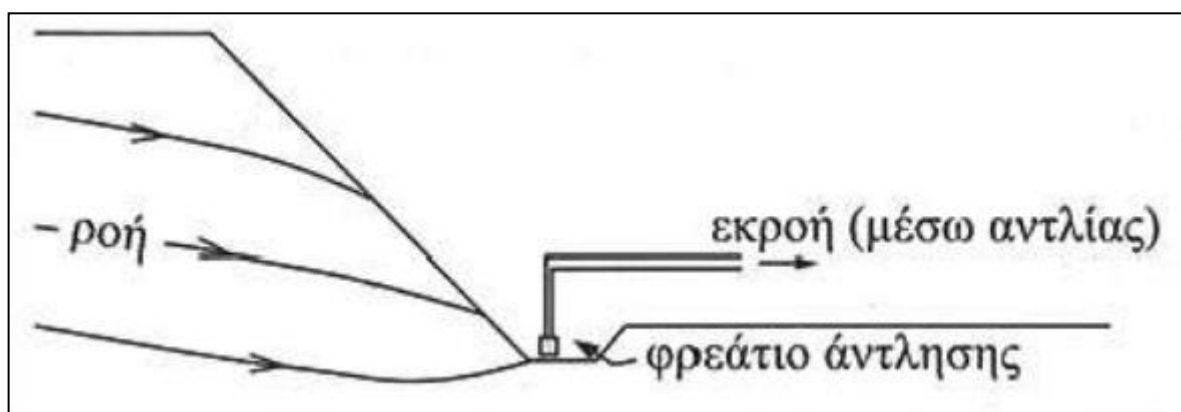
| Σχετική πυκνότητα (%) | Περιγραφή μή-συνεκτικού εδάφους |
|-----------------------|---------------------------------|
| 0 - 15 | Πολύ χαλαρό |
| 15 - 35 | Χαλαρό |
| 35 - 65 | Μέσης πυκνότητας |
| 65 - 85 | Πυκνό |
| 85 - 100 | Πολύ πυκνό |

Πίνακας 2.3 Ταξινόμηση εδάφους σύμφωνα με το συντελεστή διαπερατότητας

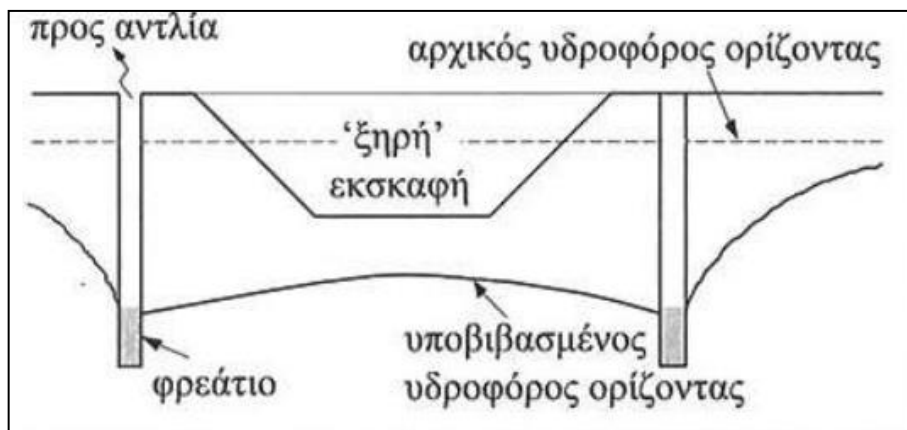
| Βαθμός διαπερατότητας | Εύρος συντελεστή διαπερατότητας, k(m/s) |
|-----------------------|---|
| Υψηλή | $> 10^{-3}$ |
| Μέση | $10^{-3}-10^{-5}$ |
| Χαμηλή | $10^{-5}-10^{-7}$ |
| Πολύ χαμηλή | $10^{-7}-10^{-9}$ |
| Πρακτικά αδιαπέρατο | $< 10^{-9}$ |



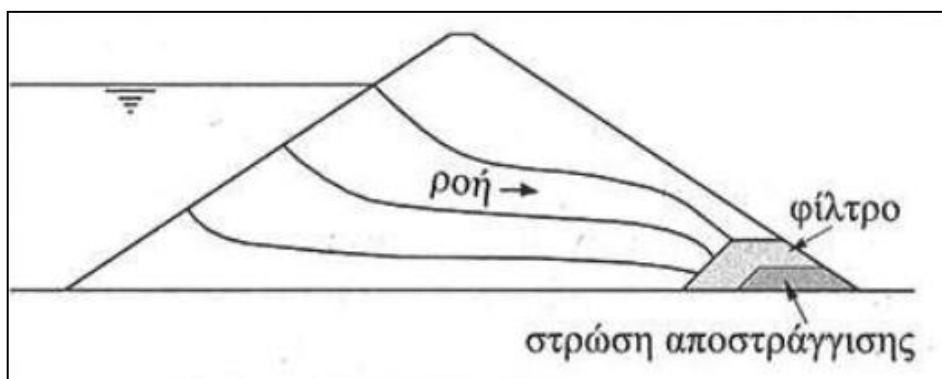
Σχήμα 2.1 Κυμαινόμενοι υδροφόροι ορίζοντες (G.E. Barnes, 2005)



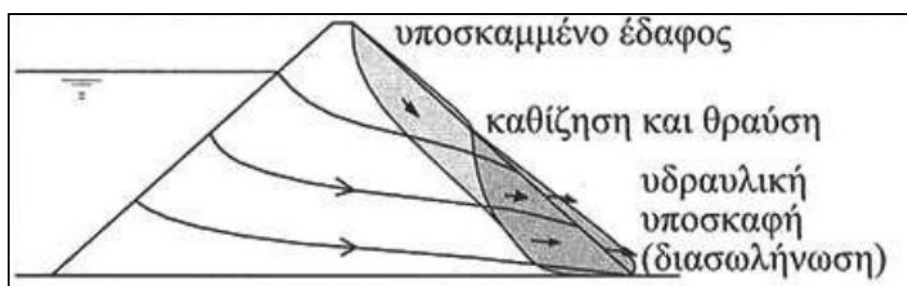
Σχήμα 2.2 Ροή μέσα σε εκσκαφές (G.E. Barnes, 2005)



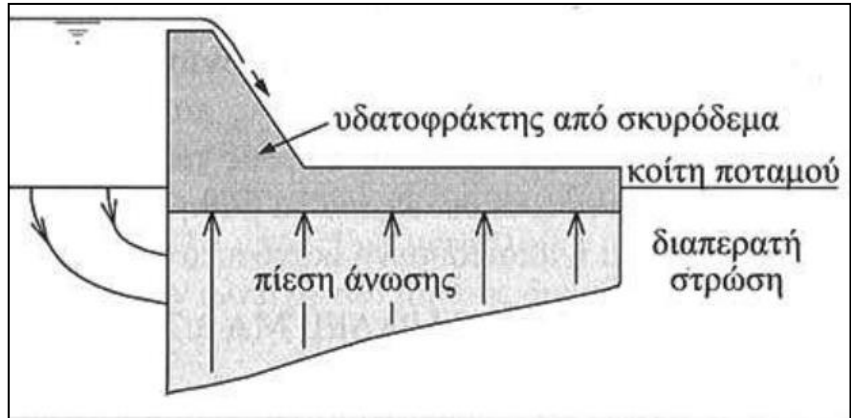
Σχήμα 2.3 Εκσκαφές αποστράγγισης (G.E. Barnes, 2005)



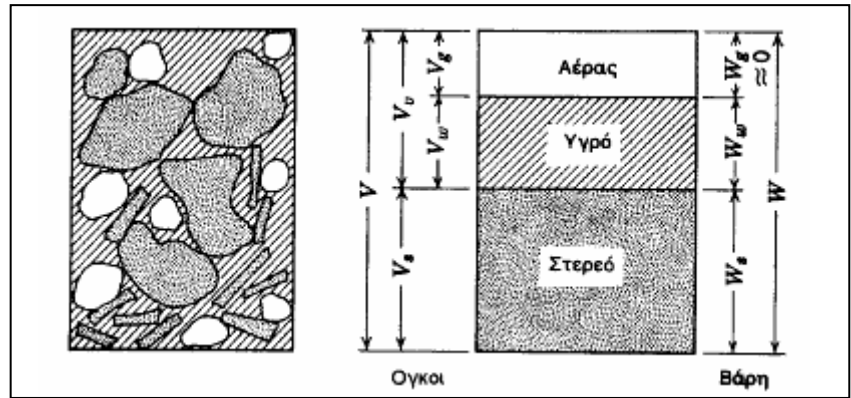
Σχήμα 2.4 Ροή μέσω γεωκατασκευής (G.E. Barnes, 2005)



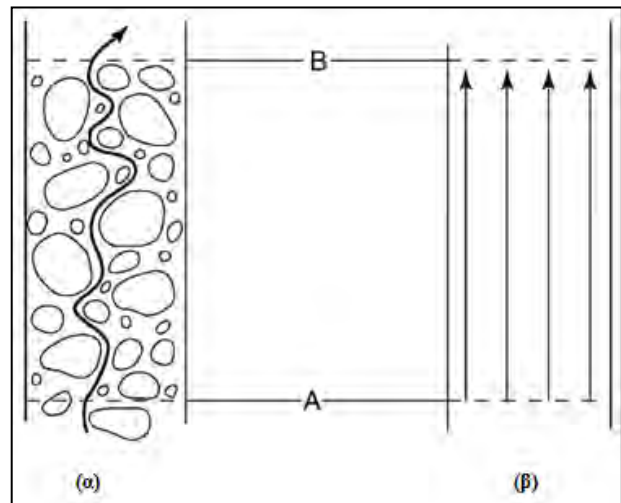
Σχήμα 2.5 Υδραυλική υποσκαφή μέσω χωμάτινου φράγματος (G.E. Barnes, 2005)



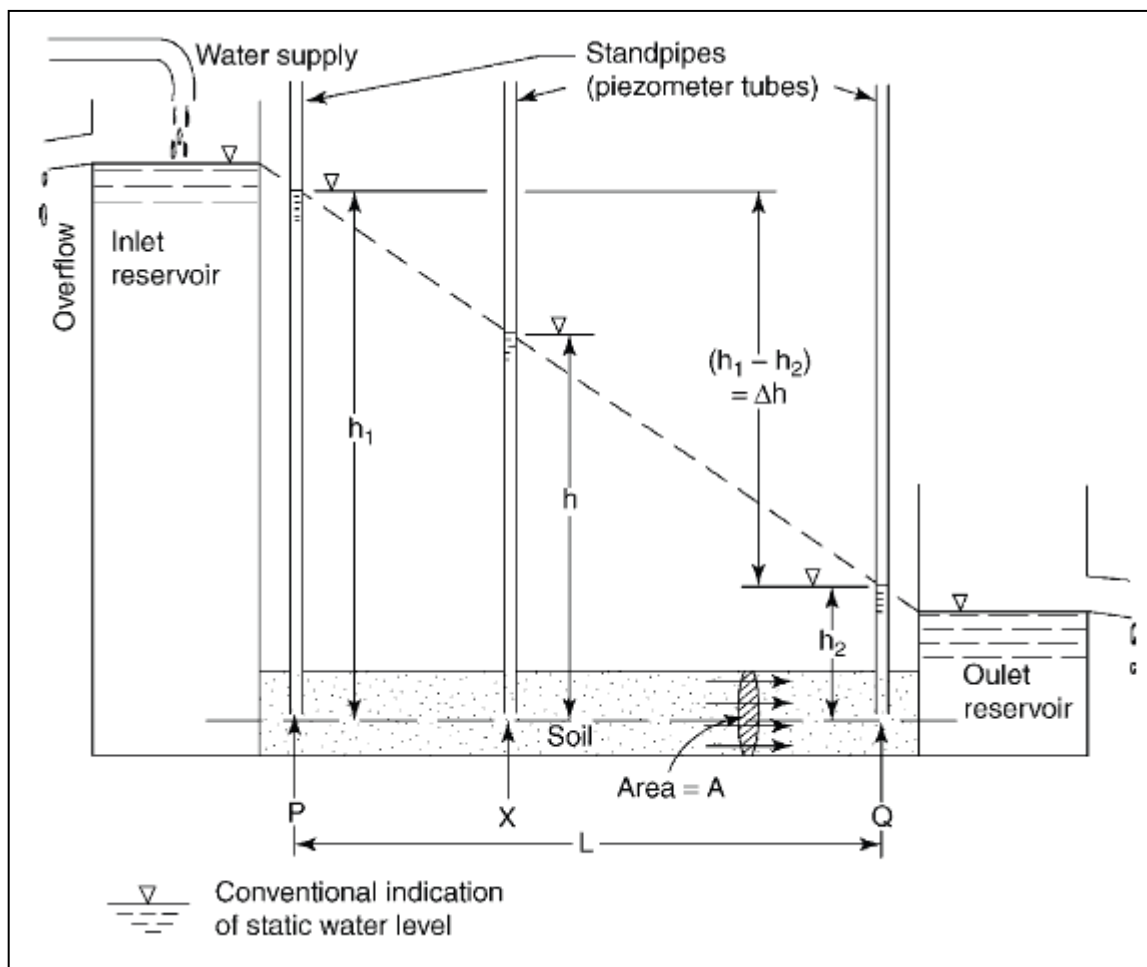
Σχήμα 2.6 Πίεση άνωσης κάτω από κατασκευές (G.E. Barnes, 2005)



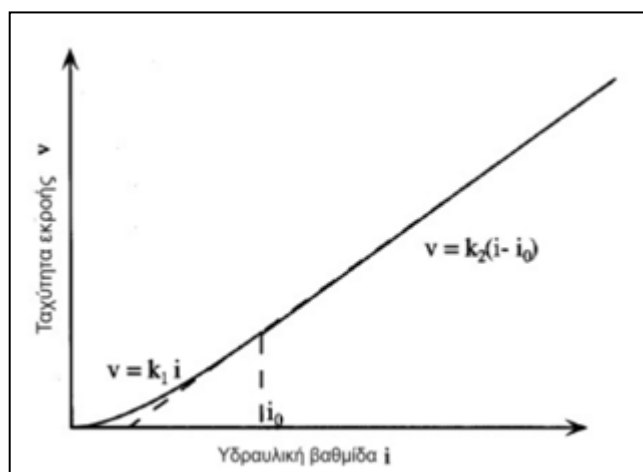
Σχήμα 2.7 Φάσεις των εδαφικών υλικών (Καββαδάς, 2005)



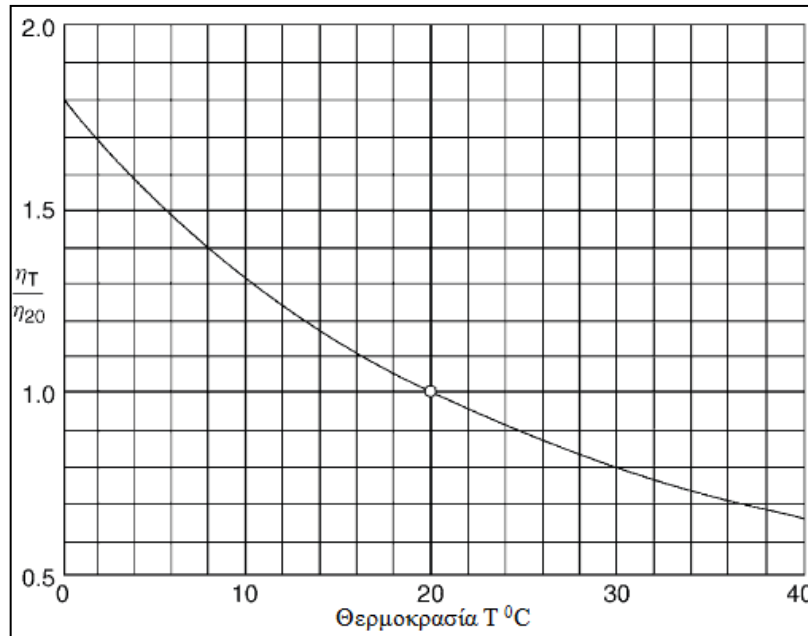
Σχήμα 2.8 Διαδρομή ροής διαμέσου του εδάφους: (α) πραγματική διαδρομή, (β) φαινόμενη διαδρομή (K.H. Head, 2006)



Σχήμα 2.9 Μονοδιάστατη ροή διαμέσου του εδάφους (K.H. Head, 2006)



Σχήμα 2.10 Απόκλιση από το νόμο του Darcy σε αργιλικά υλικά (Hansbo, 1960)

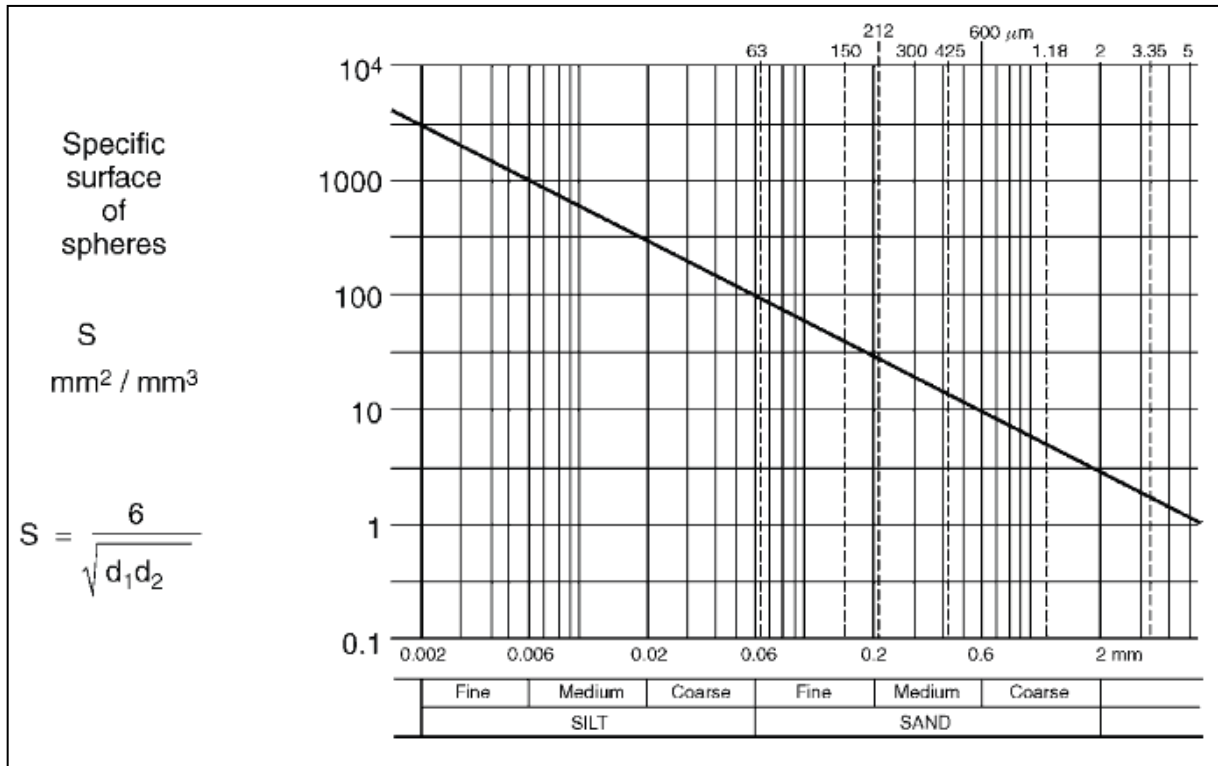


Σχήμα 2.11 Σχέση μεταξύ δυναμικού ιξώδους και θερμοκρασίας (βασισμένος σε δεδομένα των Kaye και Laby, 1973)

| Coefficient of permeability m/s | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|----------------------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | k = 1 | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁹ | 10 ⁻¹⁰ | 10 ⁻¹¹ | 10 ⁻¹² |
| Drainage characteristics | GOOD | | | POOR | | | PRACTICALLY IMPERVIOUS | | | | | | |
| Permeability classification | HIGH | | MEDIUM | | LOW | | VERY LOW | | PRACTICALLY IMPERMEABLE | | | | |
| General soil type | GRAVELS | CLEAN SANDS | | FISSURED & WEATHERED CLAYS | | | VERY FINE OR SILTY SANDS | | INTACT CLAYS | | | | |
| Test methods: direct | large CH cell | Standard CH cell | | FH cell | | | FH in oedometer | | | | | | |
| indirect | X | Computation from PSD | | | X | | | From consolidation data | | | | | |

CH = Constant head
 FH = Falling head
 PSD = particle size distribution analysis

Σχήμα 2.12 Χαρακτηριστικά διαπερατότητας και αποστράγγισης των κύριων τύπων εδάφους (K.H. Head, 2006)



Σχήμα 2.13 Ειδική επιφάνεια σφαιρικών σωματιδίων άμμου και αργίλου (K.H. Head, 2006)

Κεφάλαιο 3 Πειραματικές μέθοδοι της εδαφικής διαπερατότητας

Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας μπορεί να υπολογιστεί άμεσα με επιτόπου και εργαστηριακές δόκιμες ή έμμεσα με εμπειρικές συσχετίσεις, που προτείνονται στη βιβλιογραφία.

3.1 Εργαστηριακές δοκιμές

Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της τιμής του συντελεστή διαπερατότητας επιτυγχάνεται καταγράφοντας το ρυθμό ροής μέσω εδαφικού δοκιμίου για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Η συσκευή που χρησιμοποιείται είναι γνωστή ως διαπερατόμετρο. Υπάρχουν δυο δοκιμές που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο, η δοκιμή σταθερού και η δοκιμή μεταβλητού υδραυλικού φορτίου (Σχήμα 3.1). Η βασική απαίτηση και των δυο δοκιμών είναι η δυνατότητα εφαρμογής ροή μέσα από το εδαφικό δείγμα.

Δοκιμή σταθερού υδραυλικού φορτίου

Η δοκιμή διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαπερατότητας κοκκωδών εδαφών. Είναι κατάλληλη για χονδρόκοκκα υλικά με ποσοστό λεπτόκοκκων μικρότερο του 10%. Αυτή η μέθοδος πραγματοποιείται για τη δοκιμή ανασυσταθέντων ή διαταραγμένων δειγμάτων εδάφους.

Στη δοκιμή διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου λαμβάνει χώρα ροή νερού μέσω στήλης κυλινδρικού δείγματος εδάφους λόγω σταθερής διαφοράς δυναμικού. Η δοκιμή διεξάγεται στο διαπερατόμετρο (Σχήμα 3.2), το οποίο μπορεί να ποικίλει σε μέγεθος ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων του εξεταζόμενου υλικού. Το συνηθέστερο διαπερατόμετρο-κυψέλη έχει διάμετρο 75 mm και χρησιμοποιείται για δοκίμιο με μέγιστη διάμετρο κόκκου 5 mm. Για δοκίμια μεγαλύτερης διαμέτρου κόκκων που δεν ξεπερνάει τα 10mm χρησιμοποιείται διαπερατόμετρο με διάμετρο 114 mm. Το δείγμα εδάφους έχει κυλινδρική μορφή και η διάμετρος του είναι αρκετά μεγάλη ώστε να είναι αντιπροσωπευτική για το εξεταζόμενο έδαφος. Κατά γενικό κανόνα, ο λόγος της διαμέτρου του διαπερατόμετρου προς τη διάμετρο του μεγαλύτερου κόκκου του δοκιμίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 12 (Head 1982). Η συσκευή της δοκιμής είναι συνδεδεμένη με μία ρυθμιζόμενη δεξαμενή εισόδου και μία δεξαμενή εξόδου, οι οποίες επιτρέπουν τη διατήρηση σταθερού υδραυλικού φορτίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Το νερό που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή είναι απαερωμένο. Το

διαπερατόμετρο μπορεί να είναι εξοπλισμένο με ένα έμβολο φόρτωσης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εφαρμόζει σταθερή αξονική τάση στο δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής κατά ASTM. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων το εδαφικό δείγμα είναι πλήρως κορεσμένο. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, η ποσότητα του νερού που ρέει μέσα από τη στήλη του εδάφους μετράται για δεδομένα χρονικά διαστήματα. Γνωρίζοντας το ύψος της στήλης (L) και τη διατομή (A) του δείγματος, τη διαφορά υδραυλικού φορτίου (Δh), τον διερχόμενο όγκο του νερού (Q) και το χρονικό διάστημα (Δt), μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής διαπερατότητας (k) ως :

$$k = \frac{Q * L}{A * \Delta h * \Delta t} \quad (3.1)$$

Δοκιμή μεταβαλλόμενου υδραυλικού φορτίου

Η δοκιμή διαπερατότητας μεταβαλλόμενου υδραυλικού φορτίου χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας των λεπτόκοκκων εδαφών με ενδιάμεση και χαμηλή διαπερατότητα, όπως οι άργιλοι. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε αδιατάρακτο δείγμα.

Η δοκιμή αυτή περιλαμβάνει ροή νερού μέσω ενός σχετικά μικρού δείγματος εδάφους συνδεδεμένου με ένα κατακόρυφο σωλήνα παροχής νερού, ο οποίος επιτρέπει τη μέτρηση του όγκου του νερού που διέρχεται διαμέσου του δείγματος. Η διάμετρος του σωλήνα εξαρτάται από τη διαπερατότητα του υπό μελέτη εδάφους. Η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαπερατόμετρο μεταβαλλόμενου φορτίου (Σχημα 3.3) ή σε κελί οιδημέτρου.

Το δοκίμιο του εδάφους θεωρείται κορεσμένο στην αρχή της δοκιμής και ο σωλήνας γεμίζει με απαερωμένο νερό σε ένα δεδομένο επίπεδο. Στη συνέχεια, η δοκιμή ξεκινάει επιτρέποντας στο νερό να ρέει μέσα από το δείγμα, μέχρις ότου το νερό στο σωλήνα κατέβει σε ένα συγκεκριμένο όριο. Ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει το νερό στο σωλήνα από το ανώτερο προς το κατώτερο επίπεδο καταγράφεται. Συχνά, ο σωλήνας επαναπληρώνεται με νερό και η δοκιμή επαναλαμβάνεται. Ο καταγεγραμμένος χρόνος πρέπει να είναι ο ίδιος για κάθε δοκιμή εντός μιας επιτρεπόμενης διακύμανσης περίπου 10% (Head 1982), διαφορετικά η δοκιμή επαναλαμβάνεται.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών, ο συντελεστής διαπερατότητας του δείγματος μπορεί να υπολογιστεί ως :

$$k = 2.3 * \frac{a * L * \log_{10} \frac{h_0}{h}}{A * t} \quad (3.2)$$

όπου,

a: η διατομή του σωλήνα

L: το ύψος της στήλης του εδαφικού δείγματος

h_0, h : η ανώτερη και η κατώτερη στάθμη νερού στον σωλήνα αντίστοιχα

A: η διατομή του δείγματος

t: ο καταγεγραμμένος χρόνος για τη ροή νερού μέσω του δείγματος

3.2 Επί τόπου δοκιμές

Η επί τόπου μέτρηση του συντελεστή διαπερατότητας δεν περιλαμβάνει τις δυσκολίες που εμφανίζονται κατά τη δειγματοληψία. Παρέχει επίσης πληροφορίες σχετικά με τη συνολική διαπερατότητα του εδαφικού σχηματισμού, και όχι απλώς τη διαπερατότητα ενός μικρού δείγματος.

Οι δοκιμές εισπίεσης νερού (Pumping in tests), αποτελούν την πλέον αποτελεσματική μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας, k , σε επιλεγμένα τμήματα γεώτρησης. Αποτελούν τον μόνο τρόπο επιτόπου υπολογισμού του συντελεστή διαπερατότητας, κυρίως για το τμήμα του υπεδάφους που βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, δηλαδή στην ακόρεστη ζώνη. Χαρακτηρίζονται από την ταχύτητα εκτέλεσής τους, τη δυνατότητα συχνής επανάληψης αυτών κατά τη διάρκεια της διάτησης, αλλά και για την καλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους.

Οι πιο σημαντικές δοκιμές εισπίεσης νερού είναι οι παρακάτω :

Δοκιμή Lefranc (σταθερού υδραυλικού φορτίου για χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά)

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής Lefranc, η γεώτρηση τροφοδοτείται με ποσότητα νερού σταθερής ροής, ώστε το ύψος της στάθμης του νερού μέσα σε αυτή να μη μεταβάλλεται. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου ενός λεπτού) καταγράφεται η διηθούμενη παροχή για προδιαγεγραμμένο χρονικό διάστημα (περίπου δέκα με είκοσι λεπτά). Ο συντελεστής k , υπολογίζεται από τον τύπο :

$$k = \frac{q}{c * h} \quad (3.3)$$

όπου,

q: η διηθούμενη παροχή του νερού σε cm^3/sec

c: συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος

h: το ύψος της φορτίζουσας στήλης, σε cm

Σαν επίπεδο αναφοράς λαμβάνεται το μέσο του δοκιμαζόμενου τμήματος, όταν η δοκιμή εκτελείται σε ξερό περιβάλλον ή η υδροστατική στάθμη, όταν η δοκιμή γίνεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

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

- $c = 4\pi r$ για σφαιρικού σχήματος δοκιμαζόμενο τμήμα, ακτίνας r
- $c = 2,75d$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι η κυκλική επιφάνεια του πυθμένα της γεώτρησης, με d την εσωτερική διάμετρο της προσωρινής σωλήνωσης στο βάθος της δοκιμής (Σχήμα 3.4 α)
- $c = 2d$ όταν η δοκιμή γίνεται στην επαφή υδροστεγανού – υδροπερατού σχηματισμού (Σχήμα 3.4 β)
- $c = (2\pi L) / \ln(2L/D)$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $L \geq 5D$ (Σχήμα 3.4 γ)
- $c = (2\pi L) / \sinh^{-1}(L/D)$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $5D > L > D/2$ (Σχήμα 3.4 γ)

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:

$$k = \frac{q}{2 * L * H} * \ln\left(\frac{2L}{D}\right) \quad (3.4)$$

όπου,

k : ο συντελεστής διαπερατότητας (cm/sec)

q : παροχή (cm³/min)

L : μήκος δοκιμαζόμενου τμήματος (cm)

h : πρόσθετο υδραυλικό φορτίο (cm)

D : η διάμετρος του υπό δοκιμή τμήματος (cm)

Η διάταξη της δοκιμής φαίνεται στο Σχήμα 3.5.

Δοκιμή Maag (μεταβλητού υδραυλικού φορτίου για λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά)

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής Maag, η γεώτρηση τροφοδοτείται με ποσότητα νερού και καταμετράται ο χρόνος που απαιτείται για τον υποβιβασμό της καινούργιας στάθμης που δημιουργείται σε χαμηλότερη 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 1, 2 ή και 5cm. Οι μετρήσεις συνεχίζονται μέχρι το πρόσθετο υδραυλικό φορτίο να μειωθεί κατά 20%. Ο συντελεστής k, υπολογίζεται από τον τύπο :

$$k = \frac{A}{c * t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3.5)$$

όπου,

A: το εμβαδό της διατομής του δοκιμαζόμενου τμήματος (cm²)

c: συντελεστής σχετιζόμενος με τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος, ακριβώς όπως αναφέρθηκε στη δοκιμή Lefranc

t: η χρονική διάρκεια του βήματος πτώσης της στάθμης (sec)

h₁: το αρχικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς (cm)

h₂: το τελικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς (cm)

Μια εφαρμόσιμη μορφή του τύπου αυτού για δοκιμαζόμενο τμήμα με μήκους πενταπλάσιου ή και μεγαλύτερο της διαμέτρου του (L ≥ 5D), ο υπολογισμός μπορεί να γίνει βάσει του παρακάτω τύπου:

$$k = \frac{A * \ln \left(\frac{2L}{D} \right) * \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)}{2 * \pi * L * t} \quad (3.6)$$

όπου,

k: ο συντελεστής υδροπερατότητας (cm/sec)

D: εξωτερική διάμετρος σωλήνα (cm)

L: το μήκος του υπό δοκιμή τμήματος (cm)

t: η χρονική διάρκεια του βήματος πτώσης της στάθμης (sec)

h₁: το αρχικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς (cm)

h₂: το τελικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς (cm)

Η διάταξη της δοκιμής φαίνεται στο Σχήμα 3.6.

Δοκιμή Lugeon (για βραχώδεις σχηματισμούς)

Η δοκιμή Lugeon, γνωστή και ως Packer, είναι μια μέθοδος επιτόπιας δοκιμής που χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση του συντελεστή διαπερατότητας της βραχομάζας. Η δοκιμή πήρε το όνομά της από τον Maurice Lugeon (1933), ελβετικό γεωλόγο που διαμόρφωσε πρώτος τη δοκιμή.

Η δοκιμή διεξάγεται σε τμήμα γεώτρησης που απομονώνεται με πεπιεσμένο αέρα. Το νερό διοχετεύεται στο απομονωμένο τμήμα της γεώτρησης χρησιμοποιώντας ένα σωλήνα με σχισμές, ο οποίος συνδέεται με παρεμβύσματα. Τα παρεμβύσματα μπορούν να διογκωθούν χρησιμοποιώντας έναν συμπιεστή αερίου στην επιφάνεια και έτσι μπορούν να απομονώσουν και να σφραγίσουν το τμήμα της γεωτρήσεως. Έτσι εμποδίζεται η διαφυγή νερού μέσα από τη γεώτρηση. Ένας ανιχνευτής πίεσης, βρίσκεται επίσης σε αυτό το τμήμα, για τη μέτρηση της πίεσης.

Καταρχήν, καθορίζεται μια μέγιστη πίεση δοκιμής (P_{max}) έτσι ώστε να μην υπερβαίνει την ελάχιστη τάση επί τόπου, αποφεύγοντας έτσι την υδραυλική θραύση. Η δοκιμή διεξάγεται σε πέντε στάδια, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης και της μείωσης της πίεσης μεταξύ μηδενικής και μέγιστης πίεσης. Σε κάθε στάδιο, εφαρμόζεται σταθερή πίεση για διάστημα 10 λεπτών ενώ αντλείται νερό. Η πίεση και η ταχύτητα ροής του νερού καταγράφονται ανά λεπτό. Τα πέντε στάδια φόρτισης και εκφόρτισης σχηματίζουν ένα βρόχο πίεσης συχνά με τα ακόλουθα διαστήματα πίεσης:

- 1ο στάδιο : Πίεση $0,50 * P_{max}$
- 2ο στάδιο : Πίεση $0,75 * P_{max}$
- 3ο στάδιο : Πίεση P_{max}
- 4ο στάδιο : Πίεση $0,75 * P_{max}$
- 5ο στάδιο : Πίεση $0,50 * P_{max}$

Χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές της πίεσης του νερού και του ρυθμού ροής που μετράται σε κάθε στάδιο, μπορεί να προσδιοριστεί η μέση τιμή του συντελεστή διαπερατότητας της μάζας του βράχου. Μετά από τον εμπειρικό αρχικό ορισμό της δοκιμής, ο συντελεστή διαπερατότητας εκφράζεται σε μονάδες Lugeon, που είναι η απαιτούμενος συντελεστή διαπερατότητας για ροή νερού ενός λίτρου ανά λεπτό ανά μέτρο του διαστήματος γεώτρησης υπό σταθερή πίεση 1 MPa. Η τιμή Lugeon για κάθε δοκιμή υπολογίζεται επομένως ως ακολούθως και στη συνέχεια επιλέγεται μια μέση αντιπροσωπευτική τιμή για την εξεταζόμενη βραχομάζα:

$$Lugeon\ Value = \frac{q}{L} * \frac{P_0}{P} \quad (3.7)$$

όπου,

q: ο ρυθμός ροής (lit/min)

L: το μήκος του υπό δοκιμή διαστήματος της γεώτρησης (m)

P_0 : η πίεση αναφοράς 1 (MPa)

P: η πίεση της δοκιμής (MPa)

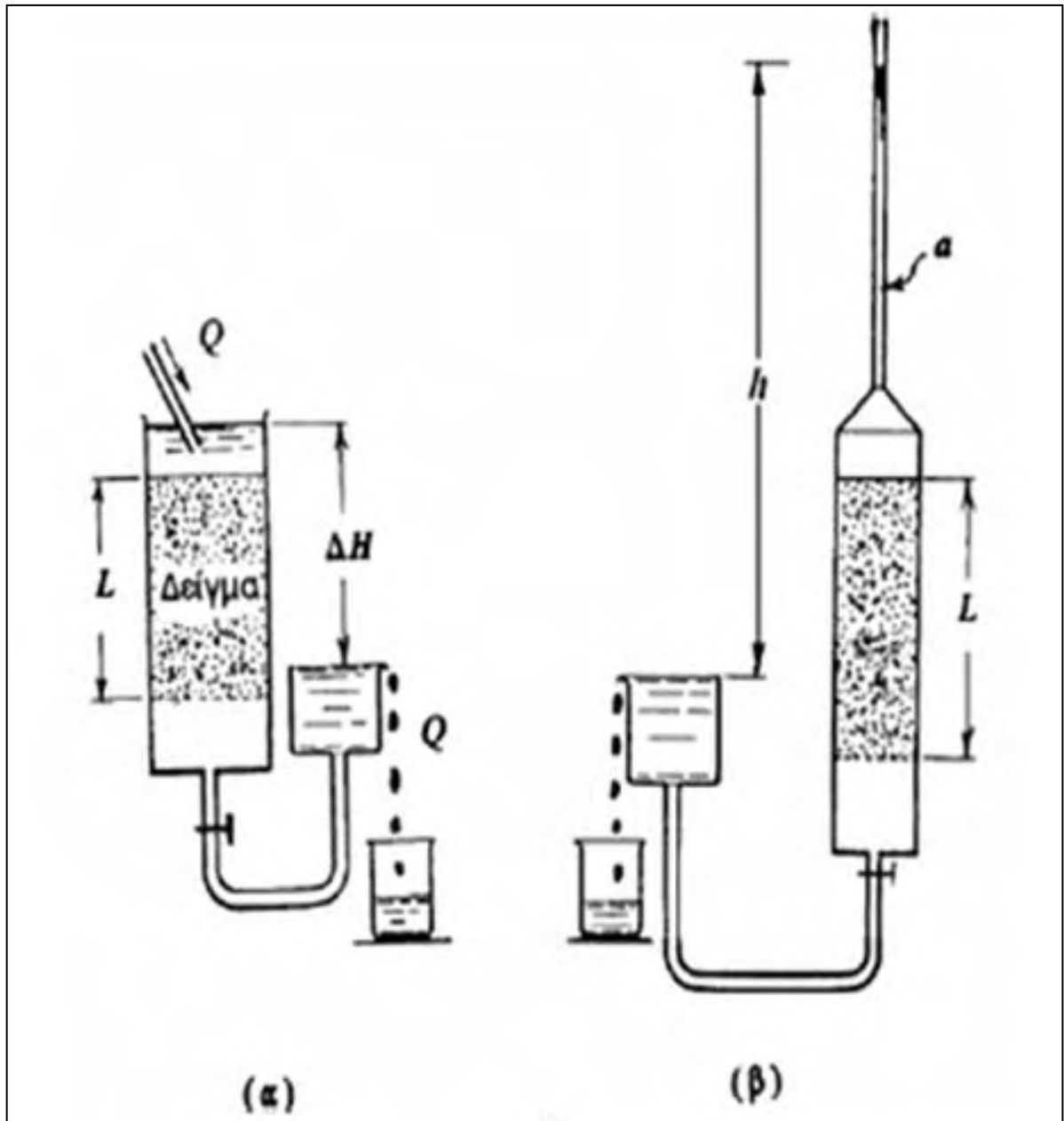
Λαμβάνοντας υπόψη μια ομοιογενή και ιστροπική κατάσταση, ένα Lugeon θα είναι ίσο με $1,3e-7$ m/s. Σε αντίθεση με τα μέσα συνεχούς ροής, η διαπερατότητα της βραχομάζας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ασυνέχειες του βράχου. Επομένως, η τιμή του Lugeon

θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει όχι μόνο την διαπερατότητα αλλά και τη συνθήκη σύνδεσης των βράχων. Το τυπικό εύρος των τιμών Lugeon και η αντίστοιχη κατάσταση του βράχου υποδεικνύονται στον Πίνακα 3.1.

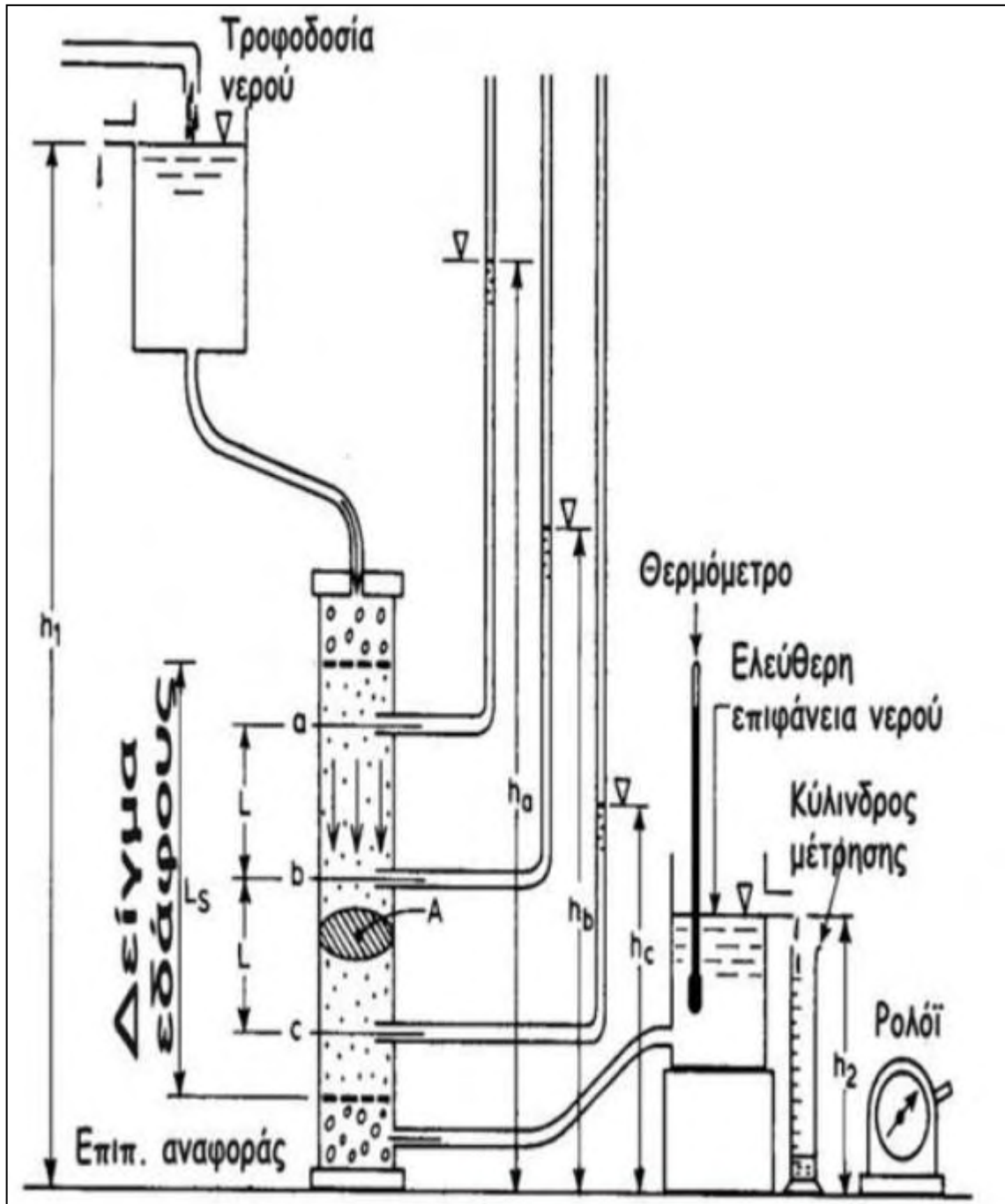
Η διάταξη της δοκιμής φαίνεται στο Σχήμα 3.7.

Πίνακας 3.1 Τυπικό εύρος τιμών Lugeon και κατάσταση βραχομάζας

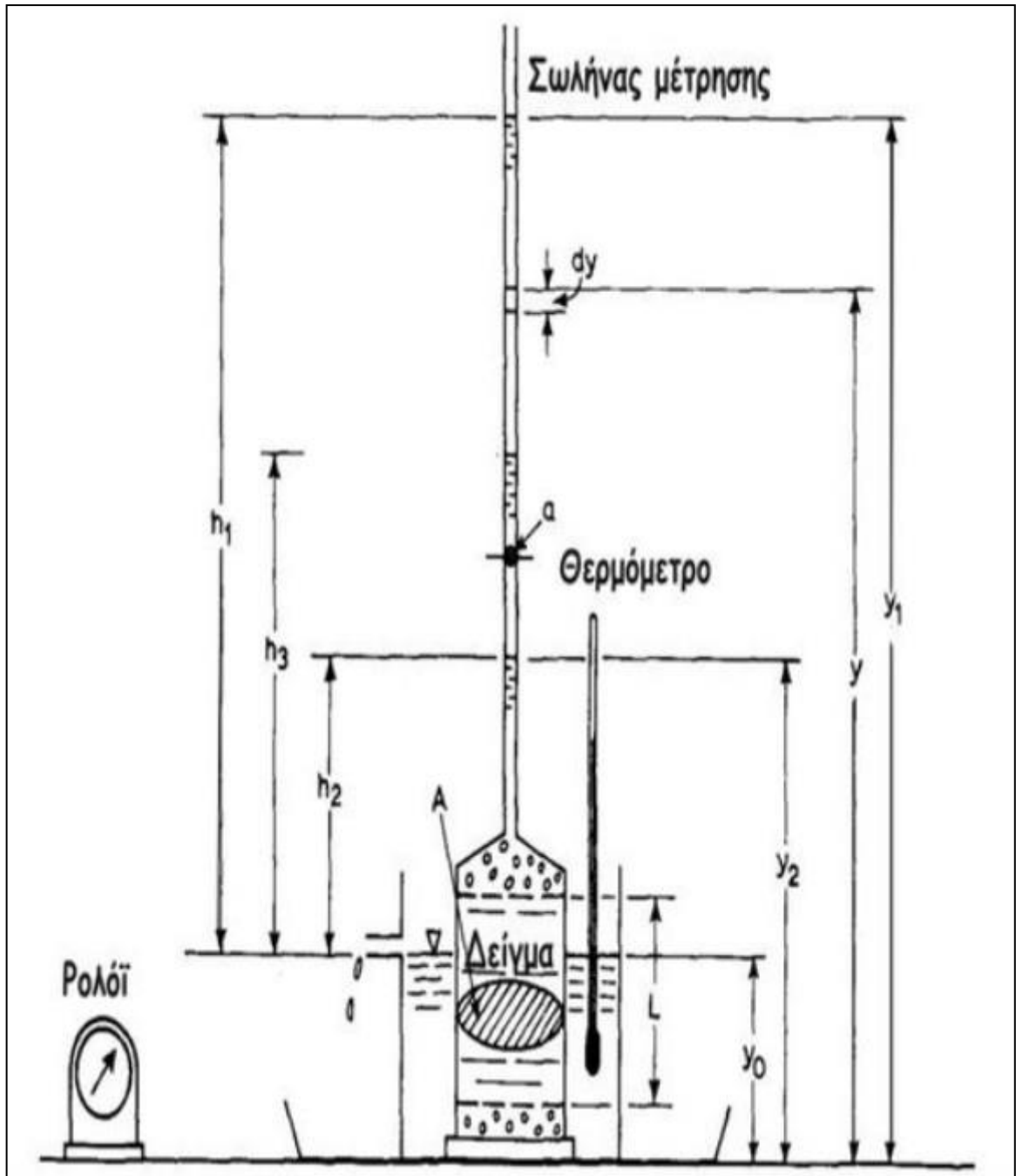
| Lugeon Value | Conductivity classification | Rock discontinuity condition |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|
| <1 | Very low | Very tight |
| 1-5 | Low | Tight |
| 5-15 | Moderate | Few partly open |
| 15-50 | Medium | Some open |
| 50-100 | High | Many open |
| >100 | Very high | Open closely spaced or voids |



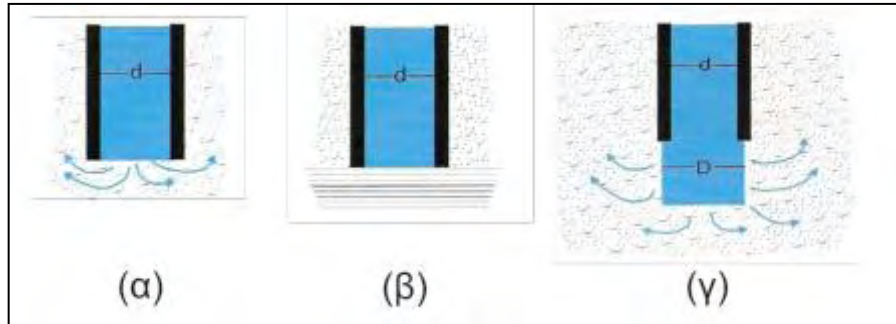
Σχήμα 3.1 Τύποι διαπερατόμετρων : (α) σταθερού υδραυλικού φορτίου, (β) μεταβαλλόμενου υδραυλικού φορτίου (Καββαδάς, 2005)



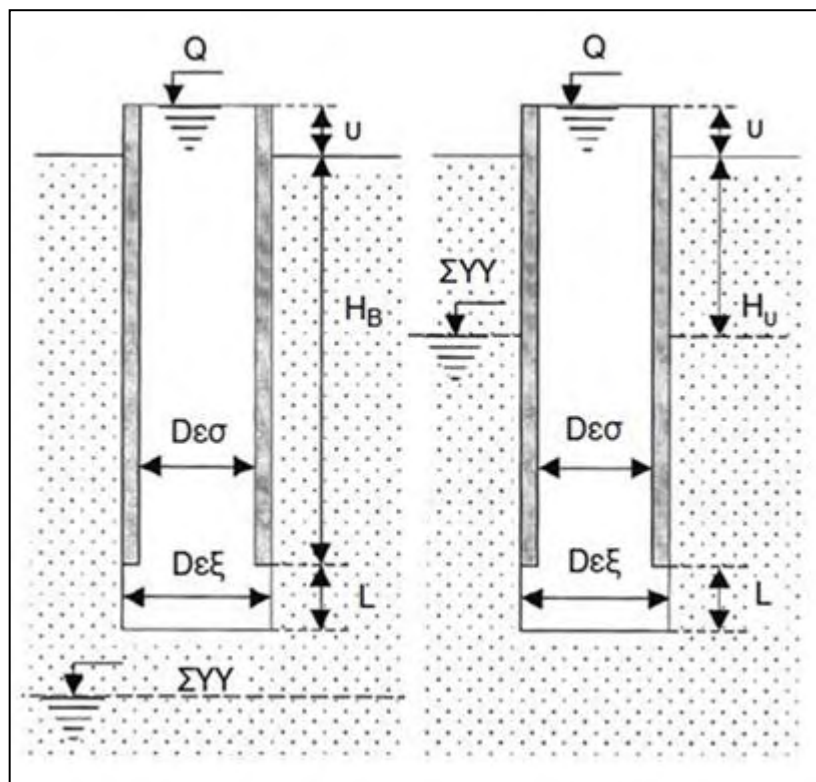
Σχήμα 3.2 Διάταξη δοκιμής διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου



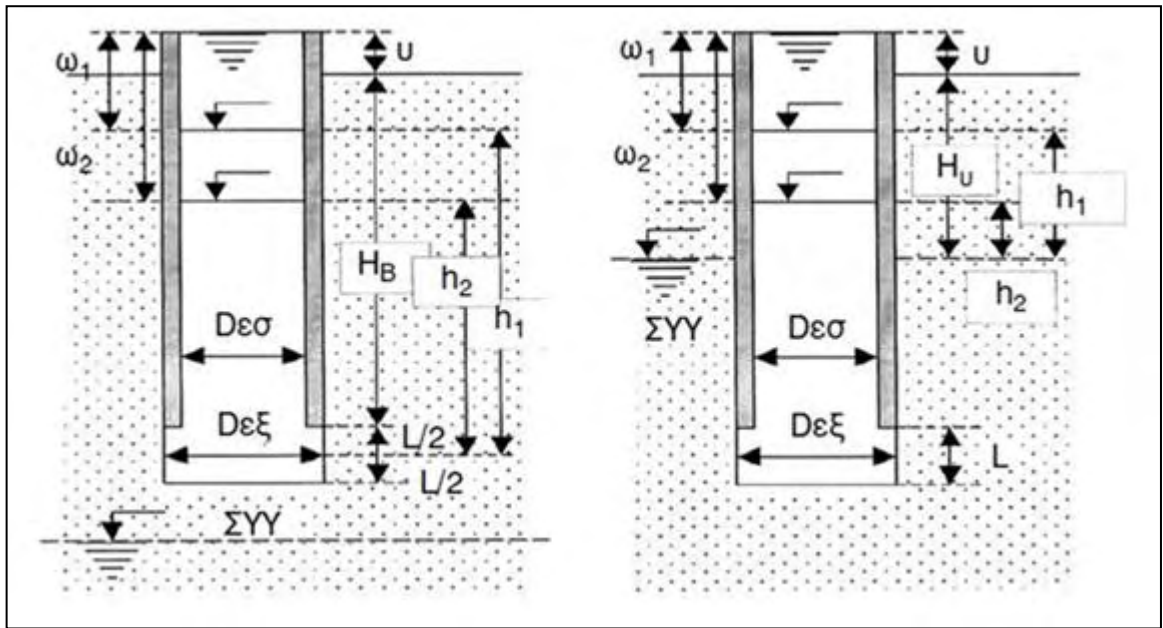
Σχήμα 3.3 Διάταξη δοκιμής διαπερατότητας μεταβαλλόμενου υδραυλικού φορτίου



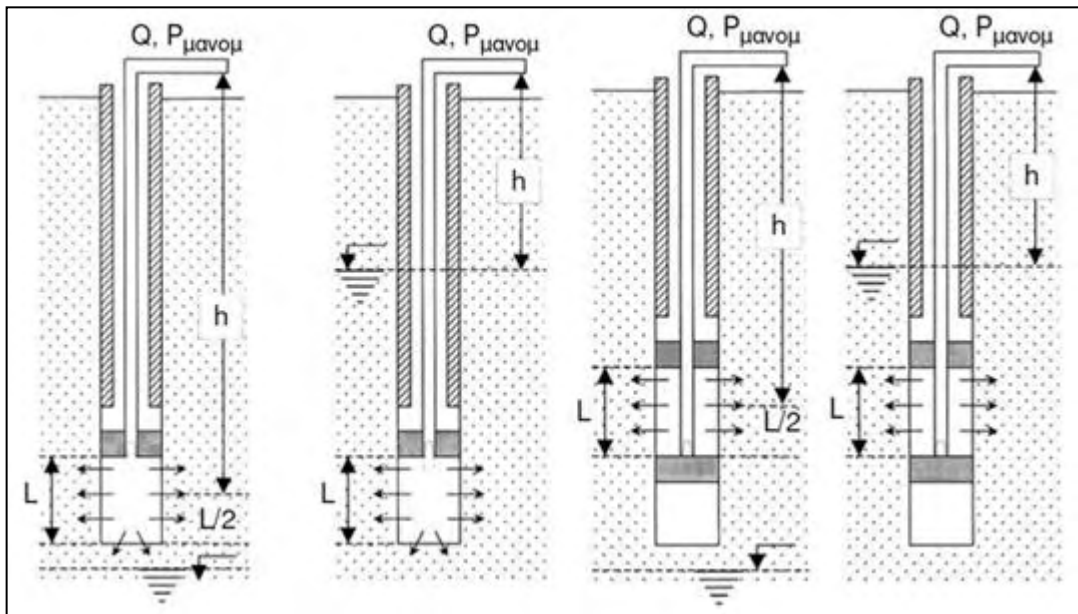
Σχήμα 3.4 Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων μορφών που μπορεί να έχει ο δοκιμαζόμενος θύλακας



Σχήμα 3.5 Τυπική διάταξη δοκιμής Lefranc (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)



Σχήμα 3.6 Τυπική διάταξη δοκιμής Maag (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)



Σχήμα 3.7 Τυπική διάταξη δοκιμής Lugeon (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)

Κεφάλαιο 4 Δοκιμή σταθερού υδραυλικού φορτίου για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαπερατότητας σε άμμο

4.1 Περιγραφή συσκευής διαπερατότητας

Παρακάτω παρουσιάζεται η διάταξη της συσκευής διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου, η οποία χρησιμοποιείται για την υλοποίηση του πειράματος. Αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Ένα σύστημα παροχής νερού με σταθερή πίεση (Σχήμα 4.1). Πρόκειται για μία δεξαμενή η οποία τροφοδοτείται με απαερωμένο νερό από κατάλληλη συσκευή απαέρωσης (Σχήμα 4.2) και με τη σειρά της τροφοδοτεί την κυψέλη του διαπερατόμετρου με αυτό. Περιέχει υπερχειλιστή ώστε να διατηρεί τη στάθμη του νερού σταθερή.
- Μια κυψέλη από Plexi-Glass (Σχήμα 4.3), όπου τοποθετείται το εδαφικό δείγμα. Έχει κυλινδρικό σχήμα και στην άνω και την κάτω βάση του, δυο διάτρητες μεταλλικές πλάκες σταθεροποιούν το δοκίμιο. Ο συνήθης τύπος κυψέλης είναι διαμέτρου 75 mm και μήκος 260 mm εσωτερικά μεταξύ των διάτρητων πλακών. Η μεγαλύτερη κυψέλη έχει διάμετρο 114 mm και εσωτερικό μήκος 460 mm. Η άνω βάση διαθέτει υποδοχή σωλήνα ροής καθώς και βαλβίδα εξαέρωσης. Κατά μήκος της κυψέλης είναι τοποθετημένες τρεις οπές με ίση απόσταση μεταξύ τους με σκοπό τη σύνδεση ισάριθμων μανομέτρων για τη μέτρηση της πτώσης του υδραυλικού φορτίου. Στην κάτω βάση υπάρχει επίσης υποδοχή σωλήνα ροής με βαλβίδα ελέγχου. Η διάταξη κλείνει αεροστεγώς με τη βοήθεια τριών σφιγκτήρων.
- Μανόμετρα (Σχήμα 4.4). Είναι κατακόρυφοι γυάλινοι σωλήνες συναρμολογημένοι σε βάση με βαθμολογημένη κλίμακα, σημειωμένη σε mm και cm. Σημαντικό είναι τα μανόμετρα να είναι τελειώς απαερωμένα.
- Φιάλη διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) (Σχήμα 4.5), η οποία κατά τη σύνδεση της στο σύστημα τροφοδοτεί το δοκίμιο από κάτω προς τα πάνω. Σκοπός της είναι η

αντικατάσταση του εγκλωβισμένου αέρα με διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο λόγω της σύστασης θα αποχωρήσει κατά τον κορεσμό.

- Διάταξη μέτρησης της παροχής (Σχήμα 4.6). Ο σωλήνας εκροής της κάτω βάσης της κυψέλης καταλήγει σε έναν βαθμονομημένο ογκομετρικό κύλινδρο, όπου καταγράφεται ο όγκος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές με την βοήθεια χρονομέτρου.

4.2 Βαθμονόμηση συσκευής διαπερατότητας

Η διαδικασία της βαθμονόμησης στοχεύει στον προσδιορισμό των αβεβαιοτήτων της δοκιμής. Ποσοτικοποιεί τα σφάλματα και ελέγχει τις αβεβαιότητες.

Εξοπλισμός

- Σύριγγα
- Ογκομετρικός σωλήνας

Διαδικασία

Κατά τη διαδικασία συνδέεται η κυψέλη με τη δεξαμενή νερού. Η κυψέλη γεμίζει με νερό και έπειτα η βάνα εισροής κλείνει. Βεβαιώνεται ότι η βάνα εξόδου είναι κλειστή καθώς και οι σφικτήρες από τα μανόμετρα εμποδίζουν τη ροή του νερού σε αυτά. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία ροής νερού στα μανόμετρα είναι σημαντικό να μην υπάρχει εγκλωβισμένος αέρας στους σωλήνες. Με σειρά από πάνω προς τα κάτω συνδέεται το πρώτο μανόμετρο, ανοίγεται ο σφικτήρας και το νερό σταθεροποιείται σε κάποια στάθμη. Καταγράφεται η τιμή της αρχικής στάθμης του μανομέτρου. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με την βοήθεια γνώμονα κατάλληλης κλίμακας, ο οποίος είναι τοποθετημένος κατά μήκος του μανομέτρου. Ύστερα προστίθεται συγκεκριμένος όγκος νερού με την χρήση σύριγγας από το πάνω άνοιγμα του μανομέτρου. Καταγράφεται η νέα τιμή και επαναλαμβάνεται η διαδικασία, έως ότου γεμίσει πλήρως το μανόμετρο. Το ίδιο συμβαίνει και για τα άλλα δύο μανόμετρα. Τα μανόμετρα τα οποία δεν ελέγχουμε πρέπει να είναι αποσυνδεδεμένα με τη συσκευή διαπερατότητας (κλειστοί σφικτήρες).

Ο εξοπλισμός και η διαδικασία παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.7-4.9

4.3 Σχεδιασμός και δημιουργία εδαφικών φίλτρων

Ως φίλτρο ορίζεται ένα στρώμα υλικού το οποίο τοποθετείται στα άκρα ενός εδαφικού στρώματος ή ανάμεσα σε δυο εδάφη και αποσκοπεί στον έλεγχο ροής του νερού, στην

παρεμπόδιση της μεταφοράς των εδαφικών κόκκων και στην αποτροπή της εδαφικής διάβρωσης των εδαφικών σχηματισμών. Για την σύνθεση των φίλτρων επιλέγονται χονδρόκοκκα εδάφη μεγάλης διαπερατότητας, όπως για παράδειγμα φυσικά διαβαθμισμένες άμμοι και χαλίκια. Αρχικά η σύσταση των φίλτρων ερευνήθηκε από τον Bertram (1940). Οι Terzaghi και Peck το 1948 ανέφεραν εμπειρικούς κανόνες για το σχεδιασμό των φίλτρων οι οποίοι βασίζονται στις καμπύλες κατανομής μεγέθους σωματιδίων για τα υλικά. Επίσης οι Lambe και Whitman (1979) πρότειναν ένα εκτεταμένο σύνολο κριτηρίων. Ως συμπέρασμα των παραπάνω κριτηρίων προκύπτει ότι για τον ακριβή προσδιορισμό ενός φίλτρου, θα πρέπει η κοκκομετρική καμπύλη του φίλτρου να βρίσκεται σε παραλληλία με την κοκκομετρική καμπύλη του αποστραγγιζόμενου εδάφους.

Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την δοκιμή, περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Σειρά κοσκίνων
- Ζυγό με ακρίβεια 1% της μετρούμενης μάζας
- Μεταλλικές βούρτσες
- Υποδοχείς και δίσκους

Διαδικασία

Ο σχεδιασμός των φίλτρων αποτελείται από δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη του φίλτρου, βάσει της κοκκομετρικής καμπύλης του προς μελέτη εδαφικού υλικού, σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες. Από αυτούς προκύπτουν δυο σημεία στα οποία σχεδιάζεται στο κάθε ένα μια καμπύλη που διέρχεται από αυτά και είναι παράλληλες με την κοκκομετρική του υλικού. Στην συνέχεια σχεδιάζεται ο μέσος όρος τους ο οποίος αποτελεί τη κοκκομετρική καμπύλη του φίλτρου.

Το δεύτερο στάδιο ασχολείται με τη σύνθεση του φίλτρου. Αρχικά επιλέγεται εδαφικό δείγμα και τοποθετούνται σε σειρά τα κατάλληλα κόσκινα. Έπειτα ακολουθεί η διαδικασία ανακίνησης των κοσκίνων (Σχήμα 4.10) και αφού ολοκληρωθεί συλλέγεται το συκρατούμενο δείγμα του καθενός σε ξεχωριστούς υποδοχείς (Σχήμα 4.11). Τέλος υπολογίζεται το ανάλογο ποσοστό τους σε μία ορισμένη ποσότητα βάση της κοκκομετρίας του φίλτρου και αναμιγνύονται ώστε να δημιουργηθεί το φίλτρο. (Σχήμα 4.12)

Υπολογισμοί

Οι κανόνες που ανέφεραν οι Terzaghi και Peck ορίζουν τους εξής ελάχιστους περιορισμούς :

$$D_{15, F} > 4 (D_{15, B}) \quad (4.1)$$

$$D_{15, F} \leq 4 (D_{85, B}) \quad (4.2)$$

Όπου το υλικό που προστατεύεται ορίζεται σαν υλικό βάσης (base) και συμβολίζεται με B και το φίλτρο (filter) συμβολίζεται με F.

- **D_{15,F}**: διάμετρος κόκκων του φίλτρου που αντιστοιχεί σε διερχόμενο ποσοστό 15%
- **D_{85,B}**: διάμετρος κόκκων υλικού βάσης που αντιστοιχεί σε διερχόμενο ποσοστό 85%

Τα επιπλέον κριτήρια που πρότειναν οι Lambe και Whitman είναι τα εξής :

$$4 < \frac{D_{15,F}}{D_{15,B}} < 20 \quad (4.3)$$

$$D_{15,F} < 5 (D_{85,B}) \quad (4.4)$$

$$\frac{D_{50,F}}{D_{50,B}} < 25 \quad (4.5)$$

Οι παραπάνω απαιτήσεις απεικονίζονται στο Σχήμα 4.13.

Ίσως απαιτείται για μεγάλα φίλτρα να χρησιμοποιούνται παραπάνω στρώσεις του υλικού του φίλτρου. Η κάθε μια πρέπει όμως να συμπεριφέρεται βάσει των παραπάνω. Κάτι τέτοιο ορίζεται ως ταξινομημένο φίλτρο.

Επιπλέον ο πρώτος κανόνας του Terzhaghi αναφέρεται ως “κρίσιμη αναλογία” ή ‘critical ratio’. Η αστάθεια ξεκινά σε μια κρίσιμη αναλογία περίπου 8 για τα καλά ταξινομημένα υλικά, αλλά ο λόγος μειώνεται καθώς αυξάνεται ο συντελεστής ομοιομορφίας D_{60}/D_{10} του φίλτρου. Για πρακτικούς λόγους, η συμβατική αναλογία 4 παρέχει επαρκές περιθώριο ασφαλείας.

4.4 Εξοπλισμός δοκιμής διαπερατότητας

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται κατά τη δοκιμή είναι ο εξής :

- Χρονόμετρο
- Βερνιέρος και Βαθύμετρο
- Μέσο συμπύκνωσης (σφύρα)
- Ζυγός ακριβείας
- Φούρνος ξήρανσης
- Μεταλλικοί υποδοχείς
- Ογκομετρικοί κύλινδροι
- Σέσουλα

4.5 Διαδικασία δοκιμής

Η διαδικασία της δοκιμής διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου περιγράφεται ως εξής:

Προετοιμασία κυψέλης

- Μετριέται η εσωτερική διάμετρος της κυψέλης με τη χρήση ηλεκτρονικού βερνιέρου και υπολογίζεται η επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής του (Σχήμα 4.14).
- Εξετάζεται αν είναι απαραίτητη η χρήση και εδαφικού και χάρτινου φίλτρου. Για την εξακρίβωση του πραγματοποιούνται τρεις μετρήσεις. Με άδεια την κυψέλη και κλειστή τη βάνα εξόδου στην κάτω βάση, τοποθετείται κατάλληλη ποσότητα νερού έως το ύψος της πρώτης οπής μανομέτρου. Ανοίγει η βάνα και καταγράφεται ο χρόνος μέχρι να αδειάσει η κυψέλη. Αυτό επαναλαμβάνεται άλλες δυο φορές με τις εξής διαφοροποιήσεις. Στη δεύτερη μέτρηση τοποθετείται χάρτινο φίλτρο (Whatman No 50) ενώ στην τρίτη χάρτινο φίλτρο που καλύπτεται από εδαφικό φίλτρο (Σχήμα 4.15).
- Μετριοούνται οι διαδοχικές αποστάσεις μεταξύ των οπών που συνδέονται τα μανόμετρα. για τον προσδιορισμό της απόστασης Δs που χρησιμοποιείται στην υδραυλική κλίση. (Σχήμα 4.16)

Προετοιμασία εδαφικού δοκιμίου

Αρχικά λαμβάνεται κατάλληλη ποσότητα εδαφικού δείγματος με τη διαδικασία του τετραμερισμού (Σχήμα 4.17) και επιλέγεται δείγμα γνωστής μάζας, το οποίο τοποθετείται στο φούρνο για να προσδιοριστεί η υγρασία του. Έπειτα τοποθετείται στη βάση της κυψέλης το χάρτινο φίλτρο (Σχήμα 4.18) και μετριέται το βάθος από την κορυφή της κυψέλης. Εναποτίθεται με τη χρήση σέσουλας στρώση εδαφικού φίλτρου πάχους περίπου 4cm, το οποίο συμπυκνώνεται με κατάλληλο μέσο συμπύκνωσης (σφύρα, Σχήμα 4.19). Καλύπτεται με χάρτινο φίλτρο και μετριέται το βάθος με βαθύμετρο (Σχήμα 4.20). Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας κουτάλι τοποθετείται το ξηρό εδαφικό δείγμα σε διαδοχικές στρώσεις (Σχήματα 4.21, 4.22). Το πάχος και ο αριθμός των στρώσεων καθορίζεται από την κοκκομετρία του εδάφους. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται (15 χτύπους). Αφού ολοκληρωθούν όλες οι στρώσεις καταγράφεται το βάθος και υπολογίζεται το ύψος του συνολικού δοκιμίου. Τοποθετείται χάρτινο φίλτρο και από πάνω του το εδαφικό φίλτρο το οποίο συμπυκνώνεται (Σχήμα 4.23). Τέλος η κυψέλη κλείνει αεροστεγώς με τη βοήθεια τριών σφικτήρων. (Σχήματα 4.24, 4.25).

Απαέρωση και κορεσμός

Η διαδικασία ξεκινάει με τη σύνδεση της φιάλης του διοξειδίου του άνθρακα και της κυψέλης του διαπερατόμετρου. Η φορά ροής του διοξειδίου στην κυψέλη είναι από κάτω προς τα

επάνω. Ταυτόχρονα ελέγχεται να είναι σφραγισμένες οι τρεις οπές που συνδέονται με τα μανόμετρα και ανοιχτή αυτή στο άνω μέρος της κυψέλης. Η παροχή πρέπει να έχει σταθερή ροή, η οποία δεν είναι ικανή να διαταράξει το δοκίμιο. Με την είσοδο του CO₂ στο δοκίμιο απομακρύνεται ο εγκλωβισμένος αέρας από τους πόρους του δοκιμίου. Η διαδικασία έχει διάρκεια περίπου δεκαπέντε λεπτά. Με την ολοκλήρωσή της, κλείνει η βαλβίδα ρύθμισης στη βάση της κυψέλης και αποσυνδέεται η δεξαμενή του διοξειδίου του άνθρακα. (Σχήμα 4.26)

Ύστερα, συνδέεται η κυψέλη στη δεξαμενή νερού. Ανοίγουν οι βάνες και ξεκινάει με την ίδια φορά η διαδικασία κορεσμού, δηλαδή από κάτω προς τα επάνω (Σχήμα 4.27). Μόλις το δοκίμιο κορεστεί πλήρως, χαλαρώνει η βαλβίδα απαέρωσης στο άνω μέρος της κυψέλης, ώστε να απομακρυνθεί το υπολειπόμενο διοξείδιο του άνθρακα (Σχήμα 4.28). Αυτό διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα. Τέλος διακόπτεται η παροχή νερού και κλείνει η βαλβίδα ρύθμισης στην βάση για να διατηρηθεί κορεσμένο το δοκίμιο.

Ενώνονται οι κατά μήκος οπές της κυψέλης με τα μανόμετρα. Όταν ολοκληρωθεί ο κορεσμός του δοκιμίου ανοίγουν ξεχωριστά οι σφιγκτήρες των μανομέτρων (αρχικά το πάνω και στο τέλος το κάτω) ώστε να γεμίσουν με νερό και να φύγει ο αέρας.

Μέτρηση όγκου

Αρχικά αλλάζει η σύνδεση της δεξαμενής νερού από την βάση στο άνω μέρος της κυψέλης. Συνδέεται ένας σωλήνας στο κάτω μέρος ο οποίος καταλήγει σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο. Απαραίτητη προϋπόθεσή είναι οι συνδέσεις και οι σωλήνες να μην έχουν αέρα.

Ξεκινάει η παροχή νερού στην κυψέλη από πάνω προς τα κάτω. Με τη βοήθεια χρονομέτρου καταγράφονται ο διηθούμενος όγκος νερού καθώς και οι εκάστοτε τιμές των τριών μανομέτρων σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Επιπροσθέτως, μετριέται η θερμοκρασία του νερού με θερμομέτρο, που βρίσκεται εκτός ογκομετρικού κυλίνδρου, που περιέχει νερό ίδιας θερμοκρασίας με αυτό που διέρχεται από το δοκίμιο (Σχήμα 4.29). Τέλος μετριέται η διαφορά στη στάθμη ΔΗ μεταξύ της στάθμης ύδατος στη δεξαμενή και στην κυψέλη. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία για διαφορετικές τιμές του ΔΗ .

Στο Σχήμα 4.30 φαίνεται η πλήρης διάταξη της δοκιμής διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου.

4.6 Υπολογισμός του συντελεστή διαπερατότητας, k

Ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας k επιτυγχάνεται με τον τύπο του Darcy :

$$k = \frac{Q * L}{A * t * \Delta h} \quad (4.6)$$

όπου,

k: ο συντελεστής διαπερατότητας (m/s)

Q: η παροχή διήθησης (m³/s)

L: απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών μανομέτρων

A: η διατομή

Δh: διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο διαδοχικών μανομέτρων

t: διερχόμενος χρόνος

Υδραυλική Βαθμίδα (ή Κλίση)

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (4.7)$$

όπου,

Δh: διαφορά δυναμικού μεταξύ μανομέτρων

ΔL: απόσταση μεταξύ των μανομέτρων

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε λογιστικό φύλλο EXCEL. Συγκεκριμένα υπολογίζεται η υδραυλική κλίση για τους συνδυασμούς των τριών μανομέτρων σύμφωνα με την παραπάνω σχέση και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Έπειτα υπολογίζεται, βάσει των καταγεγραμμένων όγκων, η παροχή q για τις εκάστοτε χρονικές στιγμές σύμφωνα με τον τύπο $q = \Delta V / \Delta t$. Υπολογίζεται σύμφωνα με το νόμο του Darcy ο συντελεστής διαπερατότητας k και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Τέλος σχεδιάζονται τα διαγράμματα q-t για την κάθε δοκιμή.

4.7 Έντυπο δοκιμής

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το έντυπο που δημιουργήθηκε και χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου :



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

| | |
|---|--|
| Τίτλος: Έντυπο καταγραφής δεδομένων δοκιμής | Δοκιμή Προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας (Μέθοδος Σταθερού Υδραυλικού Φορτίου) |
| Ημερομηνία | |
| Περιγραφή εδάφους | |
| Κανονισμοί | ASTMD 2434 <input type="checkbox"/> BS <input type="checkbox"/> |

ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕ ΚΥΨΕΛΗ

| | |
|--|------------------------------|
| Εσωτερική διάμετρος D (mm) | |
| Διατομή A (mm) | |
| Αριθμός μανομέτρων | |
| Απόσταση μεταξύ διαδοχικών μανομέτρων (mm) | $DS_{1-2} =$ $DS_{2-3} =$ |

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

| | |
|---|------------|
| D_{max} – εδάφους (mm) | |
| D_{min} – εδάφους (mm) | |
| Για $D_{ap} = 76mm$, D_{max} – εδάφους = 2.00mm ASTM | |
| F.C. (%) ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ $D < 75 \mu m$ (No 200) | |
| maxF.C. (%) | ASTM (10%) |
| Ποσοστό (%) με $D > 2mm$ | |
| Gs | |
| e_{min} | |
| e_{max} | |

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

| | |
|--|---|
| Ξηρή κατάσταση (αέρας) <input type="checkbox"/> | Υγρή κατάσταση <input type="checkbox"/> |
| Μέθοδος Κοσκίνων / Αφαίρεση ($D_{max} < 2mm$) <input type="checkbox"/> | Μέθοδος Τετραερισμού <input type="checkbox"/> |
| Αρχική ξηρή μάζα εδαφικού δείγματος M_d (gr) | |
| Αρχική μάζα χρησιμοποιημένου δείγματος M_{in} (gr) | ASTM ($M_{in} \approx 2 * M_{sp}$) |

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (105°C)

| | |
|--|--|
| Αριθμός υποδοχεία | |
| Μάζα υποδοχεία (gr) | |
| Μάζα υποδοχεία + Εδαφικού δείγματος (gr) | |
| Μάζα υποδοχεία + Ξηρού εδαφικού δείγματος (gr) | |
| Υγρασία δείγματος w (%) | |

ΕΔΑΦΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΤΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
|---|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|------|
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | | (≈40mm Head) | | | |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | | Άνω <input type="checkbox"/> | | Κάτω <input type="checkbox"/> | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{in} (mm) | | | | | |
| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΑΝΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | | (≈40mm Head) | | | |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | | Άνω <input type="checkbox"/> | | Κάτω <input type="checkbox"/> | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{fin} (mm) | | | | | |

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΟΚΙΜΟΥ

| | | |
|---|------------------------------------|--|
| Εναπόθεση με χωνί <input type="checkbox"/> | Στον αέρα <input type="checkbox"/> | Στο νερό <input type="checkbox"/> |
| Συμπύκνωση σε στρώσεις <input type="checkbox"/> | Ξηρή <input type="checkbox"/> | Με αρχική υγρασία <input type="checkbox"/> |
| Περιγραφή μέσου συμπύκνωσης | | |
| Μάζα μέσου συμπύκνωσης (gr) | | |
| Πάχος εδαφικής στρώσης (mm) | | (ASTM, >15mm, D _{max} =1mm) |
| Μάζα εδαφικής στρώσης (gr) | | |
| Αριθμός στρώσεων | | |
| Αριθμός κτύπων ανά στρώση | | |
| Μάζα δοκιμίου M _{sp} (gr) | | (M _{sp} =Min-M _{rest}) |
| Ύψος δοκιμίου H _{sp} (mm) | | (H _{sp} =H _{in} -H _{fin} + Πάχος χάρτ. Φίλτρου) |
| Απόσταση άνω βάσης δοκιμίου από την έξοδο του άνω μανομέτρου (mm) | | |
| Σημείωση στην κυψέλη το ύψος του δοκιμίου | | <input type="checkbox"/> |

ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

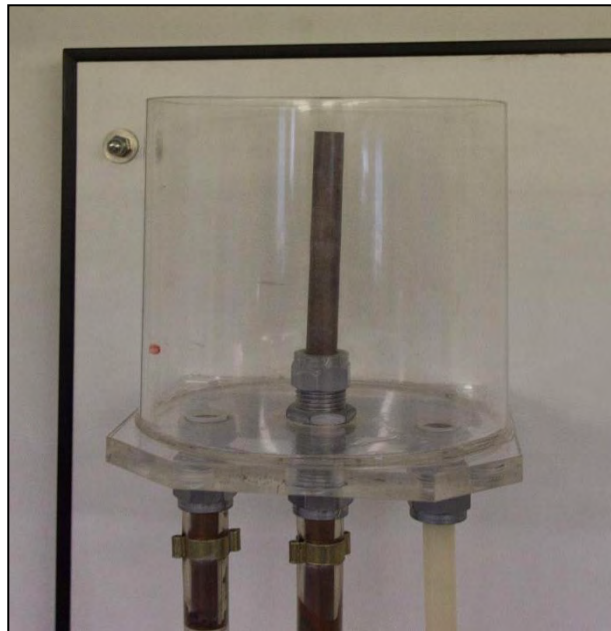
ASTM (minimum 15min)

| | | | |
|---|---|---|--------------|
| Μέθοδος CO ₂ <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : |
| Μέθοδος Κενού <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : |
| Εισροή απαερομένου νερού | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Όγκος νερού: |
| Ύψος δοκιμίου μετά τον κορεσμό H _{sat} (mm) | | | |
| Μεταβολή ύψους δοκιμίου κατά τον κορεσμό (ΔH _s =H _{sp} -H _{sat}) (mm) | | | |

ΔΟΚΙΜΗ;

| | |
|--|---|
| Αριθμός δοκιμής | |
| Ροή διαμέσου του εδάφους | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> |
| Ξηρή μάζα δοκιμίου Md (gr) (Md= Msp/(1+w)) | |
| Αρχικό ύψος δοκιμίου Hsat (mm) | |
| Τελικό ύψος δοκιμίου Hfin (mm) | |
| $\Delta H = H_{sat} - H_{fin}$ (mm) | |
| γ_d (kN/m ³) | |
| e | |
| Dr | |

| Υψος κυψέλης : | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|---------|---------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|--------|----------|-----------------------|--------|
| t (s) | ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s ²) | T (°C) |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | |
| 0' | | | | | | | | | | | | |
| 60' | | | | | | | | | | | | |
| 120' | | | | | | | | | | | | |
| 180' | | | | | | | | | | | | |
| 240' | | | | | | | | | | | | |
| 300' | | | | | | | | | | | | |
| 360' | | | | | | | | | | | | |
| 420' | | | | | | | | | | | | |
| 480' | | | | | | | | | | | | |
| 540' | | | | | | | | | | | | |
| 600' | | | | | | | | | | | | |
| ΔH | | | | | | | | | | | | |



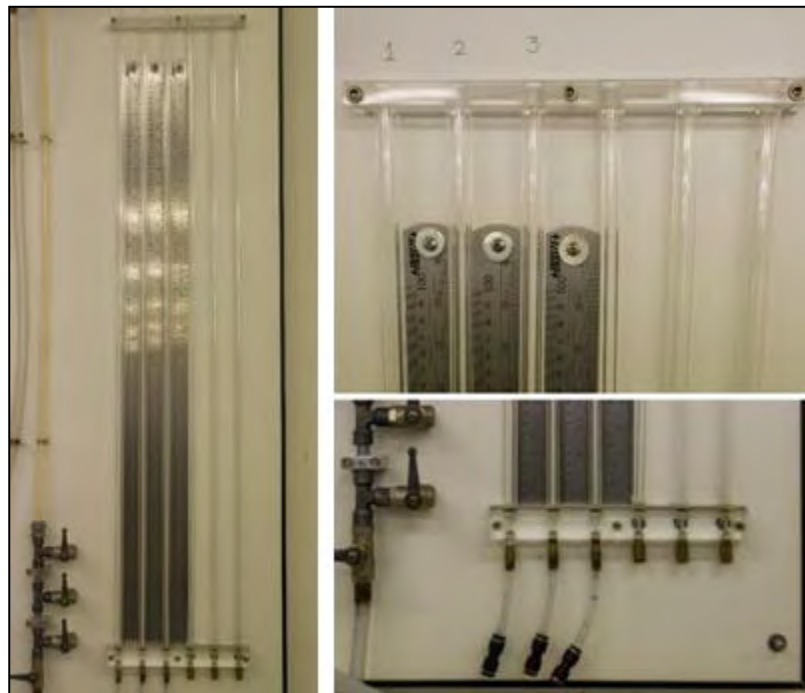
Σχήμα 4.1 Σύστημα παροχής νερού



Σχήμα 4.2 Συσκευή παραγωγής απερωμένου νερό



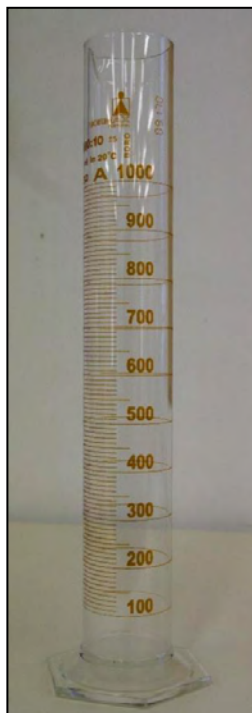
Σχήμα 4.3 Διαπερατόμετρο-Κυψέλη



Σχήμα 4.4 Διάταξη μανομέτρων



Σχήμα 4.5 Φιάλη διοξειδίου του άνθρακα CO₂



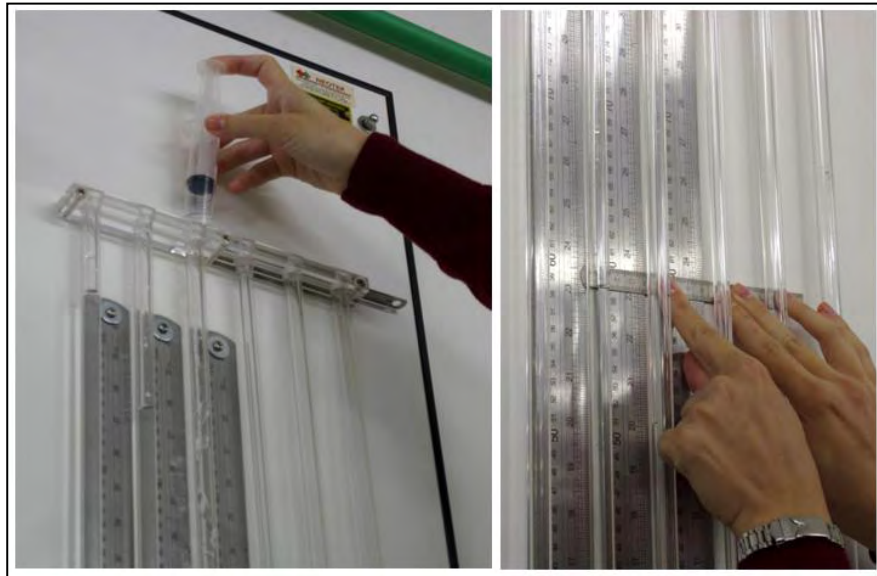
Σχήμα 4.6 Διάταξη μέτρησης της παροχής (βαθμονομημένος ογκομετρικός κύλινδρος)



Σχήμα 4.7 Ογκομετρικός κύλινδρος και σύριγγα



Σχήμα 4.8 Διαπερατόμετρο γεμάτο με νερό κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης



Σχήμα 4.9 Τοποθέτηση συγκεκριμένου όγκου νερού με σύριγγα και λήψη μέτρησης



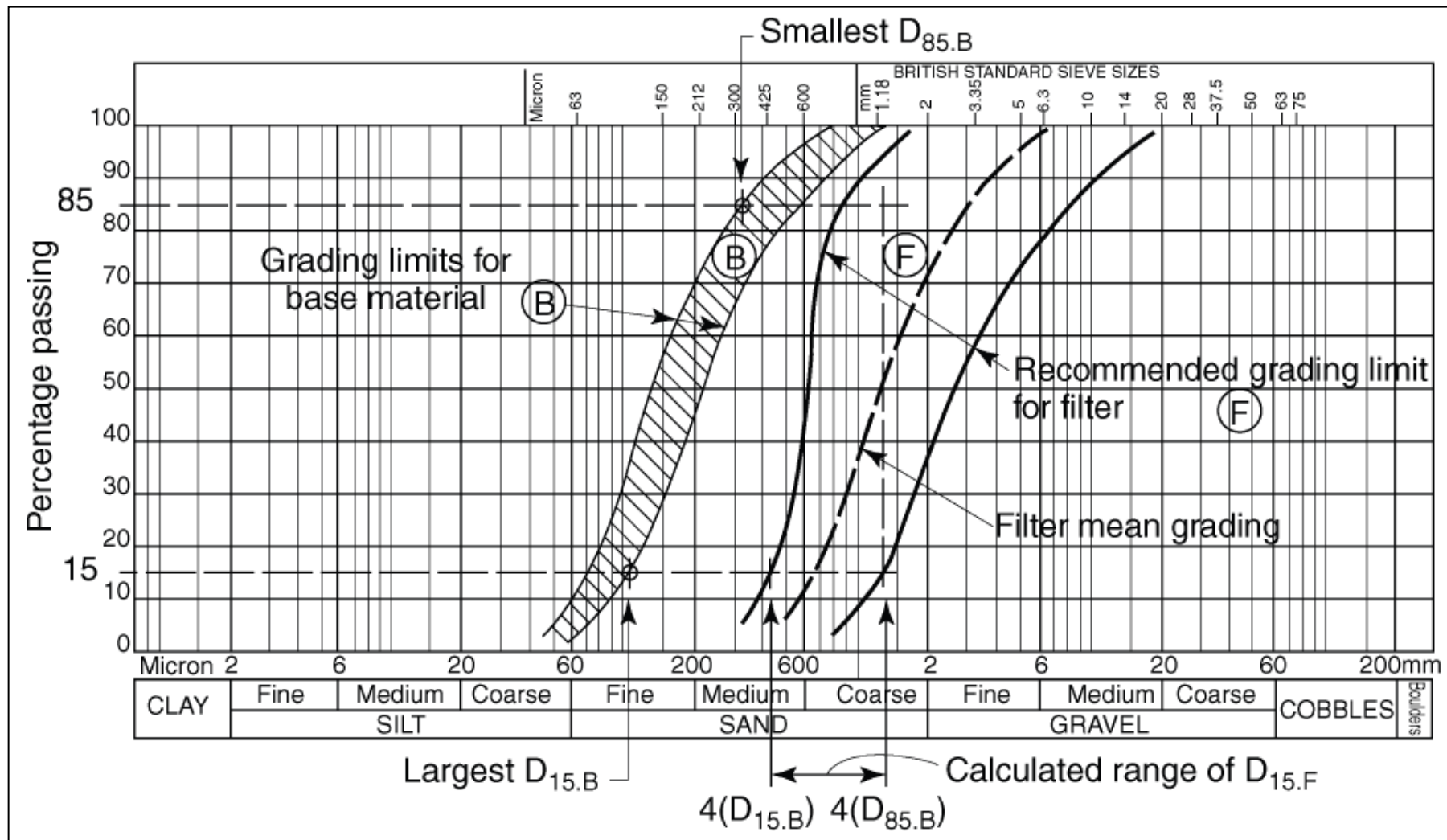
Σχήμα 4.10 Διαδικασία ανακίνησης των κοσκίνων



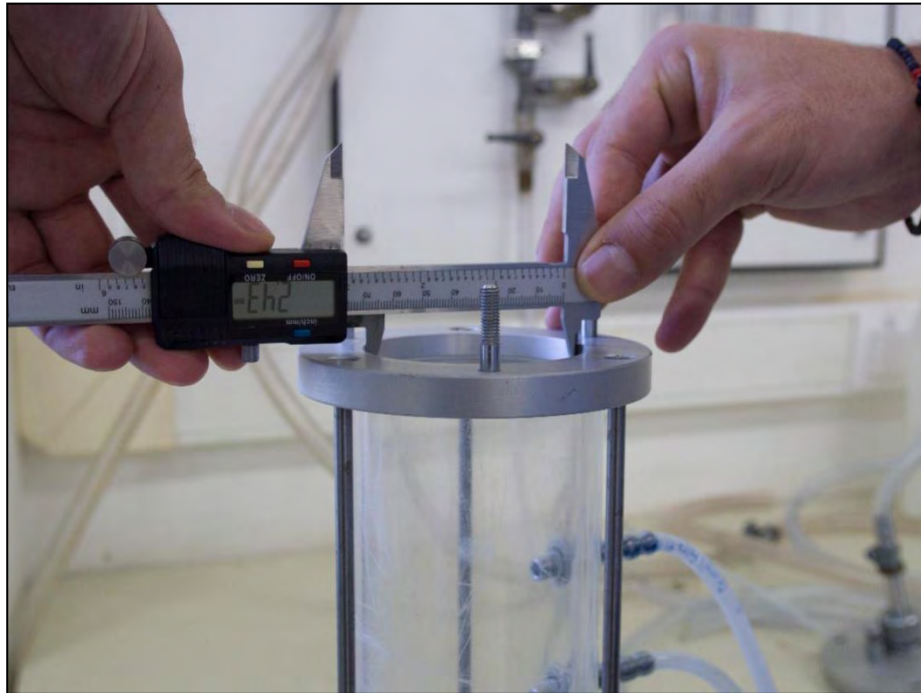
Σχήμα 4.11 Συλλογή συγκρατούμενων κόκκων από τη διαδικασία ανακίνησης



Σχήμα 4.12 Τελικό εδαφικό φίλτρο το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση των παραπάνω κόκκων σε κατάλληλη αναλογία



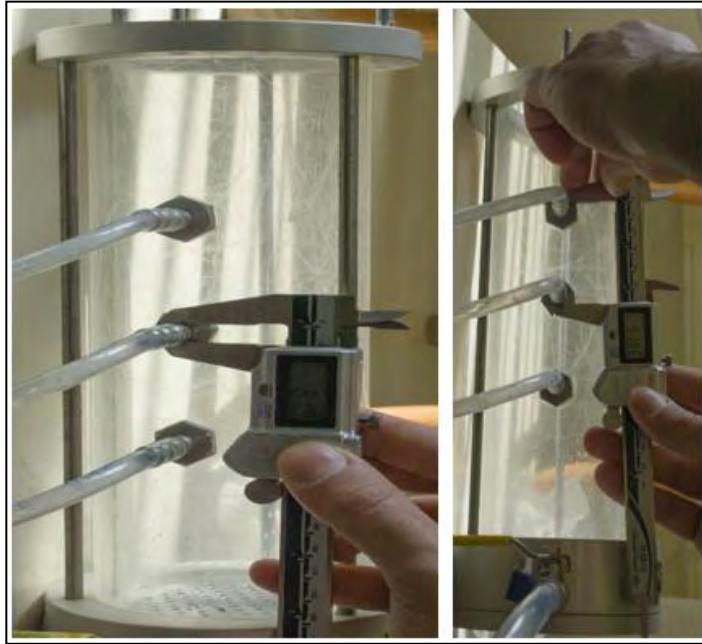
Σχήμα 4.13 Τυπικές απαιτήσεις μεγέθους σωματιδίων για ένα υλικό φίλτρου (K.H. Head, 2006)



Σχήμα 4.14 Μέτρηση της εσωτερικής διαμέτρου της κυψέλης



Σχήμα 4.15 Διαδικασία εξέτασης αναγκαιότητας χρήσης και χάρτινου και εδαφικού φίλτρου



Σχήμα 4.16 Μέτρηση αποστάσεων μεταξύ των οπών που συνδέονται τα μανόμετρα



Σχήμα 4.17 Μέθοδος τετραμερισμού



Σχήμα 4.18 Τοποθέτηση χάρτινου φίλτρου



Σχήμα 4.19 Τοποθέτηση και συμπύκνωση εδαφικού φίλτρου



Σχήμα 4.20 Εκ νέου τοποθέτηση χάρτινου φίλτρου και καταγραφή βάθους



Σχήμα 4.21 Τοποθέτηση και συμπύκνωση δοκιμίου σε στρώσεις



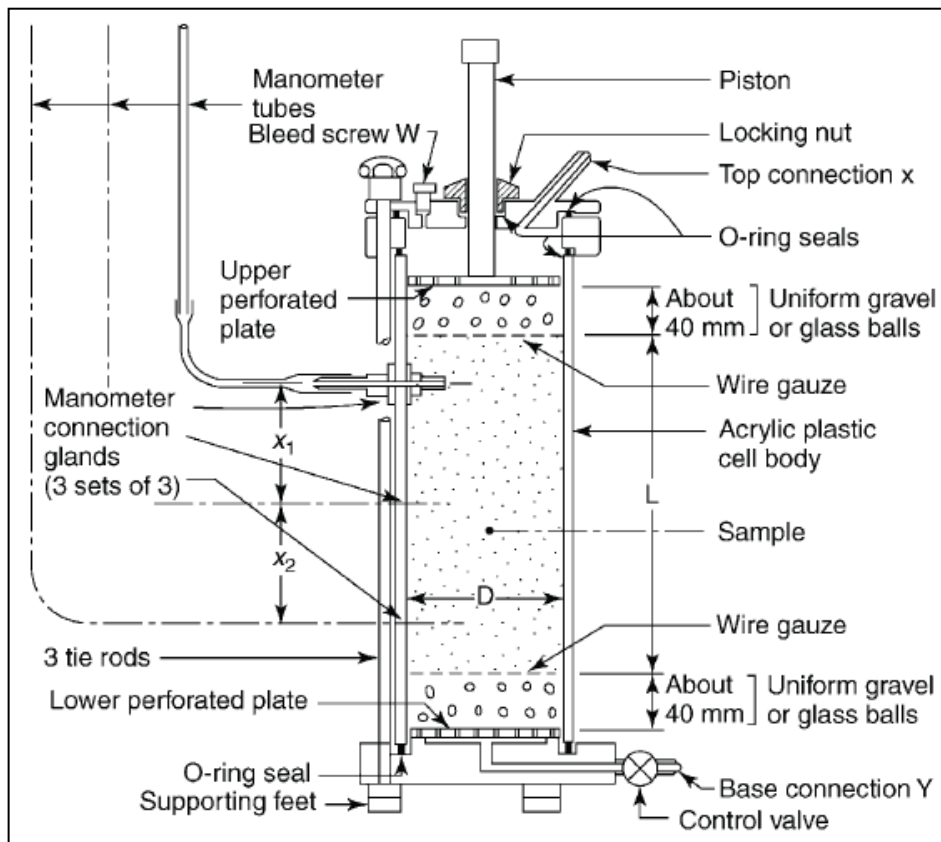
Σχήμα 4.22 Ολοκλήρωση τοποθέτησης δοκιμίου



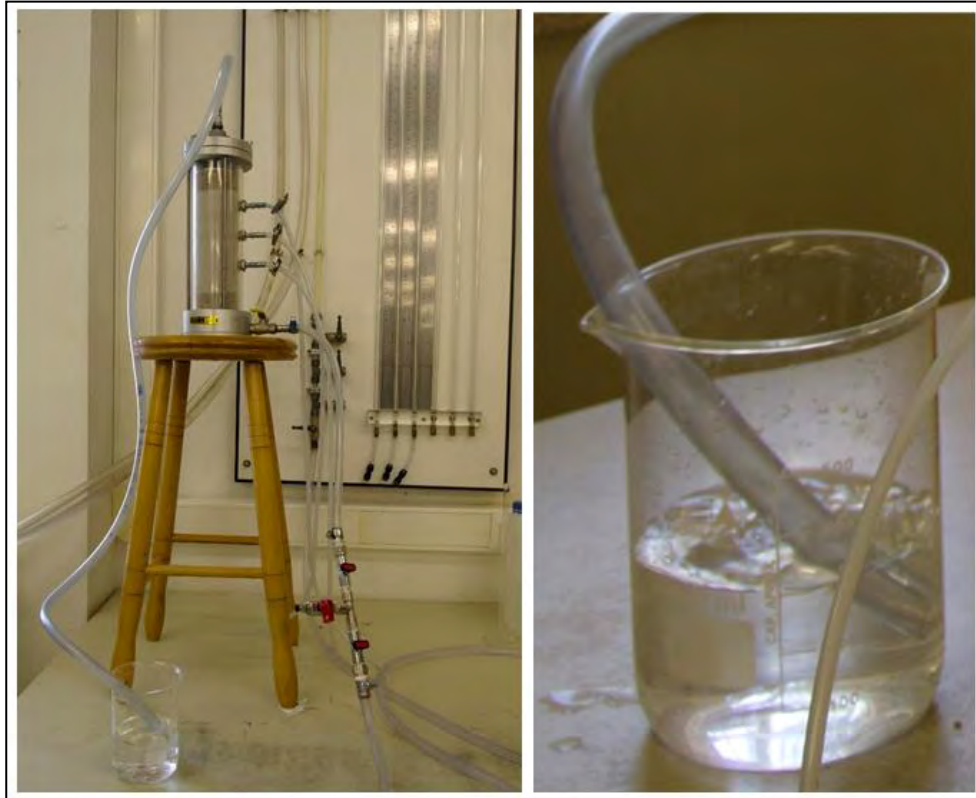
Σχήμα 4.23 Τοποθέτηση χάρτινου και εδαφικού φίλτρου στο άνω μέρος του δοκιμίου



Σχήμα 4.24 Αεροστεγώς κλείσιμο της κυνέλης



Σχήμα 4.25 Διάταξη διαπερατόμετρου σταθερού υδραυλικού φορτίου (Κ.Η. Head, 2006)



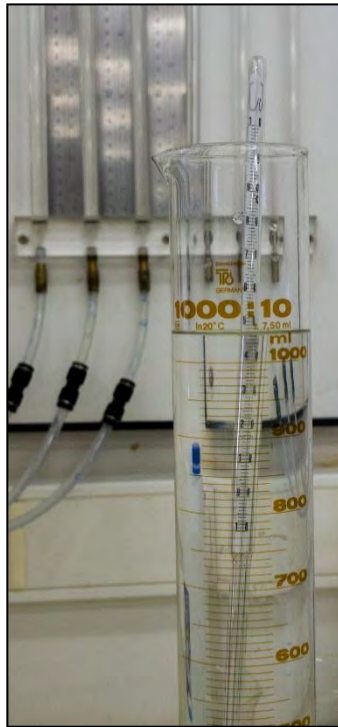
Σχήμα 4.26 Διοχέτευση διοξειδίου του άνθρακα στη κυψέλη με φορά από κάτω προς τα πάνω



Σχήμα 4.27 Κορεσμός δοκιμίου με φορά από κάτω προς τα πάνω



Σχήμα 4.28 Ολοκλήρωση κορεσμού και απαέρωση της κυψέλης



Σχήμα 4.29 Καταγραφή του διηθούμενου όγκου και της θερμοκρασίας του νερού



Σχήμα 4.30 Διάταξη συσκευής διαπερατότητας

Κεφάλαιο 5 Μελετηθέν έδαφος

Το εδαφικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι η καθαρή άμμος M31. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία σχετικά με τη ορυκτολογική σύσταση και την προέλευση του εδάφους, οι φυσικές του ιδιότητες ,καθώς και οι δοκιμές κατάταξης.

5.1 Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφικού υλικού

Η άμμος M31 είναι μία φυσική χαλαζιακή άμμος από το Βέλγιο (Βράννα Α. 2016). Μετά από εξέτασή της σε μικροσκόπιο, διαπιστώθηκε πως πρόκειται για καθαρή άμμο με σχετικά ομοιόμορφους στίλβωμένους κόκκους, με ανομοιόμορφη στρογγυλότητα και σφαιρικότητα, Σχήματα 5.1 και 5.2.

Η στίλβωση αποτελεί ένδειξη προέλευσης από υδατικό περιβάλλον. Οι κόκκοι στην πλειονότητά τους είναι διαυγείς, ενώ ένα ποσοστό 5-10% είναι γαλακτόχρωμοι (ημιδιαφανείς) και άλλης γενετικής προέλευσης. Υπάρχει απειροελάχιστη ποσότητα (<1‰) μαύρων κόκκων σιδηροξειδίων άγνωστης προέλευσης (Βράννα, 2016).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών κατάταξης :

Κοκκομετρική ανάλυση

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο των κόσκινων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 και οι αντίστοιχες κοκκομετρικές καμπύλες τους στο Σχήμα 5.3. Η απόκλιση τους είναι ελάχιστη οπότε επιλέγεται η καμπύλη του μέσου όρου των τριών καμπυλών. (Σχήμα 5.4)

Από την κοκκομετρική καμπύλη λαμβάνονται τα εξής συμπεράσματα:

- Λιγότερο από 50% του υλικού διέρχεται το κόσκινο Νο. 200, άρα είναι χονδρόκοκκο υλικό
- Λιγότερο από 5% του υλικού διέρχεται το κόσκινο Νο. 200, άρα είναι αμμώδες υλικό
- Συντελεστής ομοιομορφίας $C_u = (D_{60}/D_{10}) = 1.52 < 6$
- Συντελεστής καμπυλότητας $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60}) = 1.23 \geq 1$
- Δεν ισχύει $C_u \leq 6$ και $1 \leq C_u \leq 3$.

Το εδαφικό υλικό επομένως, είναι μια ομοιόμορφη άμμος (SP) χωρίς την παρουσία λεπτοκόκκων. Η καμπύλη δείχνει ότι το έδαφος έχει κακή διαβάθμιση, καθώς επικρατεί ένα μέγεθος διαμέτρου, με συνέπεια να παρουσιάζει μεγάλα κενά.

Ειδικό Βάρος στερεών κόκκων

Τα αποτελέσματα της δοκιμής παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Υπολογίζονται οι τιμές των τριών ειδικών πυκνοτήτων, ο μέσος όρος των οποίων αποτελεί τον δείκτη Gs. Η τιμή του είναι 2,660 και η διαφορά του από τις τιμές των ειδικών πυκνοτήτων είναι μικρότερη από το επιτρεπτό σφάλμα 0,03 Mg/ m³.

Ελάχιστη πυκνότητα (Ξηρή απόθεση σε ογκομετρικό κύλινδρο)

Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής ελάχιστης πυκνότητας με ξηρή απόθεση σε ογκομετρικό κύλινδρο. Επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη πόρων $e_{max} = 0.844$ η οποία προκύπτει από την αργή εναπόθεση σε κύλινδρο των 2000 cm³.

Δοκιμή Proctor (Στατική συμπίκνωση)

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής Proctor (συμπύκνωση) και στο Σχήμα 5.5 η καμπύλη συμπίκνωσης.

5.2 Δοκιμές κατάταξης

5.2.1 Κοκκομετρική ανάλυση

Το πείραμα που περιγράφεται παρακάτω αφορά την κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους (άμμος M31, Σχήμα 5.6) και έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής καμπύλης. Η σημασία του θεωρείται μεγάλη γιατί αποτελεί την πλέον καταλληλότερη εργαστηριακή δοκιμή για την μηχανική κατάταξη των εδαφών. Οι πληροφορίες που μπορούν να αντλήθουν, συμβάλουν στην πρόβλεψη της εδαφικής συμπεριφοράς σε ό,τι αφορά την αντοχή, τη διαπερατότητα και τη συμπιεστότητα του εδάφους.

Κοκκομετρική καμπύλη ονομάζεται η καμπύλη του διερχόμενου ή συγκρατούμενου ποσοστού ως προς την αντιπροσωπευτική διάσταση των κόκκων. Ο σχεδιασμός της μπορεί να γίνει με τη μέθοδο των κοσκίων για χονδρόκοκκα εδάφη (χαλίκια, άμμος) και την μέθοδο του αραιόμετρου για λεπτόκοκκα εδάφη (ιλύς, άργιλος).

Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την δοκιμή, περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Σειρά κόσκινων
- Ηλεκτρικό φούρνο με ελεγχόμενη θερμοκρασία 105-110 °C
- Ζυγό με ακρίβεια 1% της μετρούμενης μάζας
- Μεταλλικές βούρτσες
- Υποδοχείς και δίσκους
- Έντυπο δοκιμής

Ο εξοπλισμός της δοκιμής φαίνεται στα Σχήματα 5.7-5.9.

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πεπλεγμένο σύρμα τετραγωνικών ανοιγμάτων, των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 75 μέχρι 0,063 mm. Το κόσκινο με διάμετρο 0,075mm διαχωρίζει τα λεπτόκοκκα από τα χονδρόκοκκα εδάφη κατά ASTM.

Διαδικασία

Αρχικά, τοποθετείται το δείγμα στο φούρνο ώστε να ξηρανθεί σε θερμοκρασία 105°C-110°C. Αφού γίνει αυτό επιλέγεται η κατάλληλη ποσότητα αντιπροσωπευτικού εδαφικού δείγματος η οποία ζυγίζεται (Σχήμα 5.10). Στη συνέχεια τοποθετούνται τα κόσκινα σε κατακόρυφη στήλη, με σωστή σειρά (από το μεγαλύτερο βρόχο προς το μικρότερο), η οποία καταλήγει σε τυφλό κόσκινο. Ρίχνεται το έδαφος στην κορυφή της στήλης και τοποθετείται καπάκι ώστε να ξεκινήσει η ανακίνησή της (Σχήμα 5.11). Η διαδικασία γίνεται με το χέρι, με περιστροφικές κινήσεις και διαρκεί για 7 – 10 λεπτά. Όταν ολοκληρωθεί, ζυγίζεται προσεκτικά η συγκεντρωμένη μάζα σε κάθε κόσκινο (Σχήμα 5.12). Υπολογίζεται το συγκρατούμενο ποσοστό ή το διερχόμενο ποσοστό κάθε κόσκινου και σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 3 φορές και προκύπτουν 3 κοκκομετρικές καμπύλες, οι οποίες προδίδουν και το εύρος του εδάφους.

Υπολογισμοί

Προσδιορίζεται για κάθε κόσκινο με διάσταση βρόγχου (αντιπροσωπευτική διάμετρος κόκκων), d_i , το διερχόμενο ποσοστό:

$$S_i(\%) = \frac{B_{ολ} - \Sigma(B_i)}{B_{ολ}} \quad (5.1)$$

όπου,

$B_{ολ}$: συνολικό βάρος, και

$\Sigma(B_i)$: συνολικό βάρος του συγκρατηθέντος δείγματος στα κόσκινα με διάμετρο $> d_i$

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε λογιστικό φύλλο EXCEL. Συγκεκριμένα υπολογίζεται το διερχόμενο και το συγκρατούμενο ποσοστό από το κάθε κόσκινο συναρτήσει της μάζας του δείγματος σύμφωνα με την παραπάνω σχέση. Βάσει των αποτελεσμάτων της κάθε δοκιμής σχεδιάζεται η αντίστοιχη κοκκομετρική καμπύλη καθώς και ο μέσος όρος τους. Τέλος υπολογίζεται ο συντελεστής ομοιομορφίας (C_u) και ο συντελεστής καμπυλότητας (C_c):

$$C_u = D_{60}/D_{10} = 1.52 \quad (5.2)$$

&

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60}) = 1.23 \quad (5.3)$$

όπου,

D_{10} : η διάμετρος των κοσκίων από τα οποία διέρχεται το 10% του δείγματος

D_{30} : η διάμετρος των κοσκίων από τα οποία διέρχεται το 30% του δείγματος

D_{60} : η διάμετρος των κοσκίων από τα οποία διέρχεται το 60% του δείγματος

5.2.2 Ειδικό βάρος στερεών κόκκων

Το ακόλουθο πείραμα αφορά στον προσδιορισμό του ειδικού βάρους στερεών κόκκων ενός εδαφικού δείγματος. Το ειδικό βάρος ή ειδική βαρύτητα G_s είναι μια αδιάστατη παράμετρος και ορίζεται ο λόγος της μάζας των στερεών κόκκων προς τη μάζα του ίδιου όγκου ύδατος (νερό). Κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2.55 –2.75, αλλά υπάρχουν τιμές μεγαλύτερες και μικρότερες από αυτές.

Εξοπλισμός

- Τρεις Λήκυθοι όγκου 50ml με διάτρητο πώμα.
- Ηλεκτρικό φούρνο με ελεγχόμενη θερμοκρασία 105-110 °C
- Ζυγός με ακρίβεια 0,001 gr
- Θάλαμος κενού (κυψέλη συνδεδεμένη με αντλία κενού)
- Εστία θερμάνσεως
- Δοχεία ζέσεως
- Χωνί
- Σταγονόμετρο
- Αποσταγμένο νερό
- Έντυπο δοκιμής

Διαδικασία

Σε αρχικό στάδιο καθαρίζονται, στεγνώνουν και ζυγίζονται με ακρίβεια 0,001 gr οι λήκυθοι (Σχήμα 5.13 α). Μέσα στις ληκύθους τοποθετούνται εδαφικά δείγματα των 10 gr, τα οποία έχουν ξηραθεί σε ηλεκτρικό φούρνο σε θερμοκρασία 105-110°C, και καταγράφονται οι μάζες τους (Σχήμα 5.13 β). Ταυτόχρονα βράζεται για περίπου 10 λεπτά το αποσταγμένο νερό ώστε να απομακρυνθεί τυχόν εγκλωβισμένος αέρας και αφήνεται να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου (Σχήμα 5.14). Στην συνέχεια οι λήκυθοι γεμίζονται με απεσταγμένο νερό, περίπου ως την μέση, ώστε να καλύπτεται το έδαφος (Σχήμα 5.15). Τοποθετούνται μέσα στο θάλαμο κενού χωρίς τα καπάκια τους, όπου και παραμένουν για μία ημέρα (Σχήμα 5.16). Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας οι λήκυθοι γεμίζονται πλήρως με απεσταγμένο νερό, τοποθετούνται τα αντίστοιχα πώματα και ζυγίζονται οι μάζες τους. Τέλος αδειάζεται το περιεχόμενο των ληκύθων και ζυγίζονται οι καθαρές λήκυθοι με αποσταγμένο νερό μαζί με το πώμα. (Σχήμα 5.17)

Υπολογισμοί

Ο προσδιορισμός του ειδικού βάρους κόκκων χονδρόκοκκου εδαφικού δείγματος επιτυγχάνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$G_s = \frac{m_A}{m_B - m_F} \quad (5.4)$$

όπου,

m_A : η ξηρή μάζα του εδάφους (gr)

m_B : η μάζα του νερού σε γεμάτη λήκυθο (gr)

m_F : η μάζα του νερού που χρησιμοποιείται στην λήκυθο με το έδαφος (gr)

5.2.3 Ελάχιστη πυκνότητα (Ξηρή απόθεση σε ογκομετρικό κύλινδρο)

Η δοκιμή αναφέρεται στο μέγιστο δείκτη πόρων (e_{max}), ο οποίος προϋποθέτει τον υπολογισμό της ελάχιστης ξηρής πυκνότητας. Απώτερος σκοπός της είναι δηλαδή η δημιουργία του μέγιστου όγκου κενών μεταξύ των κόκκων του εδάφους. Προϋπόθεση είναι το επιλεγμένο δείγμα να μην περιέχει ποσοστό λεπτοκόκκων μεγαλύτερο από 10%.

Εξοπλισμός

- Δύο γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι χωρητικότητας 1000cm³ και 2000 cm³ με βαθμονόμηση ανά 10 ml και 20 ml αντίστοιχα

- Πώμα κατάλληλο για την διατομή του σωλήνα
- Πλαστικά λαστιχάκια που να εφαρμόζουν στον κύλινδρο
- Ηλεκτρικός φούρνος με ελεγχόμενη θερμοκρασία 105-110 °C
- Ζυγός με ακρίβεια 0,1 gr
- Έντυπο Δοκιμής

Διαδικασία

Αρχικά τοποθετείται στον ογκομετρικό κύλινδρο ξηρό εδαφικό αμμώδες δείγμα, το οποίο καλύπτεται με το πώμα (Σχήμα 5.18). Ανακινείται ο κύλινδρος 5 φορές πάνω κάτω (γρήγορα με τον κύλινδρο των 1000cm³ και αργά με τον 2000cm³). Κατά την τελευταία επαναφορά τοποθετείται στον πάγκο με προσοχή ώστε να μη διαταραχθεί η άμμος. Αν η επιφάνεια του εδάφους είναι επίπεδη καταγράφεται κατευθείαν η ένδειξη του όγκου της άμμου, αλλιώς προσαρμόζονται το πλαστικό λάστιχο στον κύλινδρο στο ύψος της μέσης επιφάνειας του εδάφους και καταγράφεται η ένδειξη του (Σχήμα 5.19). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται 10 φορές. Έπειτα αφαιρείται το πώμα και ζυγίζεται ο κύλινδρος. Τέλος αδειάζεται το δείγμα και ζυγίζεται ο κύλινδρος μόνος του. (Σχήμα 5.20)

Υπολογισμοί

Η ελάχιστη ξηρή πυκνότητα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\rho_{Dmin} = \frac{m_d}{V} \quad (5.5)$$

όπου,

m_d : η μάζα του ξηρού εδαφικού δείγματος

V : ο όγκος του εδαφικού του δείγματος

Και ο μέγιστος δείκτης πόρων υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$e_{max} = \frac{G_s}{\rho_{Dmin}} - 1 \quad (5.6)$$

όπου,

G_s : το ειδικό βάρος του δείγματος

ρ_{Dmin} : η ελάχιστη ξηρή πυκνότητα

5.2.4 Δοκιμή Proctor (συμπύκνωση)

Η συμπύκνωση είναι μια μηχανική διαδικασία με σκοπό την αύξηση της πυκνότητας, μειώνοντας τα μεταξύ των εδαφικών κόκκων κενά. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του νερού που λειτουργεί ως «λιπαντικό». Ο βαθμός συμπύκνωσης κατατάσσεται βάση του ξηρού φαινομένου βάρους και εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, την περιεκτικότητα σε νερό και τη διαδικασία συμπύκνωσης. Η συμβολή της επιδρά τόσο στην αύξηση της διατμητικής αντοχής, όσο και στην μείωση των καθιζήσεων, της διαπερατότητας και της διάβρωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα δοκιμής συμπύκνωσης αποτελεί η μέθοδος Proctor.

Εξοπλισμός

- Μήτρα καθορισμένων διαστάσεων
- Ανοξείδωτοι υποδοχείς
- Νερό
- Ζυγός με ακρίβεια 0.1 gr
- Ηλεκτρικός φούρνος με ελεγχόμενη θερμοκρασία 105-110° C
- Ξηραντήρας (θάλαμος με άνυδρο silica gel)
- Βερνιέρος ακριβείας 0.01mm
- Σπάτουλα-Κουτάλι
- Σφύρα βάρους 2.4948 kg
- Πινέλο καθαρισμού
- Έντυπο Δοκιμής

Διαδικασία

Αρχικά μετρούνται το ύψος και η διάμετρος του σταθερού τμήματος της μήτρας με τη χρήση βερνιέρου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τέσσερις φορές και καταγράφεται ο μέσος όρος τους. Μετράται το βάρος του σταθερού τμήματος και της βάσης της μήτρας με ακρίβεια 0.01 gr. Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό ξηρό δείγμα εδαφικού υλικού (λεπτότερο από το κόσκινο Νο.4), στο οποίο προστίθεται κατάλληλη ποσότητα νερού ώστε η υγρασία του να φτάνει την αρχική τιμή $w=5\%$. Αναμιγνύεται καλά και διαχωρίζεται σε 3 ισόποσα μέρη. Ύστερα συναρμολογείται η μήτρα και τοποθετείται το πρώτο δείγμα. Με τη χρήση της σφύρας, συμπυκνώνεται με εικοσιπέντε κτύπους (ταχύτερα από 1.5sec/κτύπο) περιμετρικά και στο κέντρο της επιφάνειας του εδαφικού υλικού εντός της μήτρας. Ο άξονας της σφύρας πρέπει να είναι κάθετος με αυτόν της επιφάνειας της βάσης της μήτρας. Στη συνέχεια τοποθετείται το δεύτερο δείγμα πάνω στο ήδη συμπυκνωμένο και ακολουθεί η ίδια διαδικασία κτύπων. Ακολουθεί και το τρίτο δείγμα με τον ίδιο τρόπο. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το ολικό συμπυκνωμένο υλικό να υπερβαίνει το ύψος του σταθερού τμήματος της μήτρας αλλά όχι του συνολικού. Εφόσον ισχύουν τα παραπάνω, αφαιρείται το μη σταθερό τμήμα και "ξυρίζεται" το υπερβάλλον κομμάτι, αλλιώς επαναλαμβάνεται η διαδικασία των κτύπων. Ζυγίζεται η μήτρα με το συμπυκνωμένο έδαφος. Λαμβάνονται δείγματα από το άνω, μέσο και κάτω τμήμα του, των οποίων καταγράφονται οι μάζες, και τοποθετούνται στο φούρνο για 24 ώρες.

Μετά την ξήρανσή τους, τα δείγματα τοποθετούνται εντός του ξηραντήρα για μισή ώρα προκειμένου να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και κατόπιν ζυγίζονται για τον προσδιορισμό της υγρασίας. Τέλος αδειάζεται και καθαρίζεται η μήτρα. Η μέθοδος επαναλαμβάνεται αυξάνοντας κάθε φορά την υγρασία του δείγματος.

Η διαδικασία της δοκιμής αποτυπώνεται στα Σχήματα 5.21-5.29.

Υπολογισμοί

Υπολογίζεται η υγρασία του εδάφους με τη χρήση του παρακάτω τύπου :

$$w(\%) = \frac{\text{Μάζα περιεχομένου ύδατος}}{\text{Μάζα ξηρού δείγματος}} * 100 \quad (5.7)$$

Η ξηρή φαινόμενη πυκνότητα ορίζεται ως :

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} \quad (5.8)$$

όπου,

ρ : η υγρή πυκνότητα

w : η υγρασία

Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης σε καθαρή άμμο Μ31

| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | | | | | | | | |
|---|---------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|------------------------|
| ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑΣ ΕΛΑΦΟΥΣ | | | | | (Μέθοδος Κοσκίνων) | | | |
| Έργο: | | | | | Αρ. Έργου: | | | |
| Περιγραφή εδάφους: | Μ31- Γκρι Άμμος Χαλαζιακή | | | | Γεώτρηση: | | | |
| | | | | | Αρ. δείγματος: | 1 | | |
| | | | | | Βάθος: | | | |
| Εκτελέσας: | Άγγελος & Γιώργος | | | | Ημερομηνία: | 28/2/2019 | | |
| Μέθοδος δοκιμής: Ξηρή | | | | | | | | |
| Προετοιμασία εδάφους : 24 ώρες στους 40°C | | | | | | | | |
| Πρότυπο αναφοράς : BS1377: 1990-2, ASTM D422 | | | | | | | | |
| Όνομαστική διάμετρος μεγαλύτερου κόκκου: | | | | | Ελάχιστη μάζα δείγματος (gr): | | | |
| No. 10 (2,00mm) | | | | | 200 | | | |
| No. 4 (4,75mm) | | | | | 500 | | | |
| No. 3/4in. (19mm) | | | | | 1500 | | | |
| Μάζα ξηρού δείγματος και υποδοχέα: | | | | | 371,2 | | | |
| Μάζα υποδοχέα: | | | | | 118,32 | | | |
| Μάζα ξηρού δείγματος (g): | | | | | 252,88 | | | |
| Αρ. κοσκίνου | Διάμετρος (mm) | Αρ. υποδοχέα | Βάρος υποδοχέα (gr) | Υποδοχέας και ξηρό δείγμα (gr) | Βάρος ξηρού δείγματος (gr) | Συγκρατούμενο ποσοστό (%) | Βάρος διερχομένου ξηρού δείγματος (gr) | Διερχόμενο ποσοστό (%) |
| 3in | 75,000 | | | | 0 | 0,00 | 252,88 | 100 |
| 1,5 in | 37,500 | | | | 0 | 0,00 | 252,88 | 100 |
| 3/4 in | 19,000 | | | | 0 | 0,00 | 252,88 | 100 |
| 3/8 in | 9,500 | | | | 0 | 0,00 | 252,88 | 100 |
| No. 4 | 4,750 | | | | 0 | 0,00 | 252,88 | 100 |
| No. 8 | 2,360 | | | | 0 | 0,00 | 252,88 | 100 |
| No. 10 | 2,000 | | | | 0 | 0,00 | 252,88 | 100,00 |
| No. 18 | 1 | 4B | 26,17 | 26,67 | 0,5 | 0,20 | 252,38 | 99,80 |
| No. 20 | 0,85 | 1B | 23,07 | 24,75 | 1,68 | 0,86 | 250,7 | 99,14 |
| No. 30 | 0,6 | 3A | 26,69 | 40,64 | 13,95 | 6,38 | 236,75 | 93,62 |
| No. 40 | 0,425 | 2A | 18,72 | 54,58 | 35,86 | 20,56 | 200,89 | 79,44 |
| No. 50 | 0,3 | 5B | 25,76 | 172,03 | 146,27 | 78,40 | 54,62 | 21,60 |
| No. 100 | 0,15 | 5A | 25 | 78,1 | 53,1 | 99,40 | 1,52 | 0,60 |
| No. 200 | 0,075 | 3B | 26,13 | 27,4 | 1,27 | 99,90 | 0,25 | 0,10 |
| | 0,063 | 3 | 116,57 | 116,59 | 0,02 | 99,91 | 0,23 | 0,09 |
| | | A4 | 118,14 | 118,18 | 0,04 | 99,92 | 0,19 | 0,08 |

(Συνέχεια) Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης σε καθαρή άμμο Μ31

| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|------------------------|------------------------------------|-------|----------------|-------|----------------------------------|------------|
| ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ | | | | | (Μέθοδος Κοσκίνων) | | | | | | | | | |
| Έργο: | | Αρ. Έργου: | | | | | | | | | | | | |
| Περιγραφή εδάφους: | Μ31- Γκρι Άμμος Χαλαζιακή | Γεώτρηση: | | | | | | | | | | | | |
| | | Αρ. δείγματος: | | | | | 2 | | | | | | | |
| | | Βάθος: | | | | | | | | | | | | |
| Εκτελέσας: | Άγγελος & Γιώργος | Ημερομηνία: | | | | | 28/2/2019 | | | | | | | |
| Μέθοδος δοκιμής: Ξηρή | | | | | | | | | | | | | | |
| Προετοιμασία εδάφους : 24 ώρες στους 40°C | | | | | | | | | | | | | | |
| Πρότυπο αναφοράς : BS1377: 1990-2, ASTM D422 | | | | | | | | | | | | | | |
| Ονομαστική διάμετρος μεγαλύτερου κόκκου: | | | | | Ελάχιστη μάζα δείγματος (gr): | | | | | | | | | |
| No. 10 (2,00mm) | | | | | 200 | | | | | | | | | |
| No. 4 (4,75mm) | | | | | 500 | | | | | | | | | |
| No. 3/4in. (19mm) | | | | | 1500 | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Μάζα ξηρού δείγματος και υποδοχέα:</td> <td style="text-align: center;">513,1</td> </tr> <tr> <td>Μάζα υποδοχέα:</td> <td style="text-align: center;">263,1</td> </tr> <tr> <td>Μάζα ξηρού δείγματος (g):</td> <td style="text-align: center;">250</td> </tr> </table> | | | | | | | | | Μάζα ξηρού δείγματος και υποδοχέα: | 513,1 | Μάζα υποδοχέα: | 263,1 | Μάζα ξηρού δείγματος (g): | 250 |
| Μάζα ξηρού δείγματος και υποδοχέα: | 513,1 | | | | | | | | | | | | | |
| Μάζα υποδοχέα: | 263,1 | | | | | | | | | | | | | |
| Μάζα ξηρού δείγματος (g): | 250 | | | | | | | | | | | | | |
| Αρ. κοσκίνου | Διάμετρος (mm) | Αρ. υποδοχέα | Βάρος υποδοχέα (gr) | Υποδοχέας και ξηρό δείγμα (gr) | Βάρος ξηρού δείγματος (gr) | Συγκρατούμενο ποσοστό (%) | Βάρος διερχομένου ξηρού δείγματος (gr) | Διερχόμενο ποσοστό (%) | | | | | | |
| 3in | 75,000 | | | | 0 | 0 | 250 | 100,00 | | | | | | |
| 1,5 in | 37,500 | | | | 0 | 0,00 | 250 | 100,00 | | | | | | |
| 3/4 in | 19,000 | | | | 0 | 0,00 | 250 | 100,00 | | | | | | |
| 3/8 in | 9,500 | | | | 0 | 0,00 | 250 | 100,00 | | | | | | |
| No. 4 | 4,750 | | | | 0 | 0,00 | 250 | 100,00 | | | | | | |
| No. 8 | 2,360 | | | | 0 | 0,00 | 250 | 100,00 | | | | | | |
| No. 10 | 2,000 | | | | 0 | 0,00 | 250 | 100,00 | | | | | | |
| No. 18 | 1 | 4B | 26,17 | 26,65 | 0,48 | 0,19 | 249,52 | 99,81 | | | | | | |
| No. 20 | 0,85 | 1B | 23 | 24,55 | 1,55 | 0,81 | 247,97 | 99,19 | | | | | | |
| No. 30 | 0,6 | 3A | 26,68 | 39,77 | 13,09 | 6,05 | 234,88 | 93,95 | | | | | | |
| No. 40 | 0,425 | 2A | 18,71 | 48,69 | 29,98 | 18,04 | 204,9 | 81,96 | | | | | | |
| No. 50 | 0,3 | 5B | 25,76 | 156,18 | 130,42 | 70,21 | 74,48 | 29,79 | | | | | | |
| No. 100 | 0,15 | 5A | 25 | 97,61 | 72,61 | 99,25 | 1,87 | 0,75 | | | | | | |
| No. 200 | 0,075 | 3B | 26,12 | 27,72 | 1,6 | 99,89 | 0,27 | 0,11 | | | | | | |
| | 0,063 | 3 | 116,57 | 116,59 | 0,02 | 99,90 | 0,25 | 0,10 | | | | | | |
| | | A4 | 118,14 | 118,16 | 0,02 | 99,91 | 0,23 | 0,09 | | | | | | |

(Συνέχεια) Αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης σε καθαρή άμμο M31

| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | | | | | | | | |
|---|---------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|------------------------|
| ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ | | | | | (Μέθοδος Κοσκίνων) | | | |
| Έργο: | | | | | Αρ. Έργου: | | | |
| Περιγραφή εδάφους: | M31- Γκρι Άμμος Χαλαζιακή | | | | Γεώτρηση: | | | |
| | | | | | Αρ. δείγματος: | 3 | | |
| | | | | | Βάθος: | | | |
| Εκτελέσας: | Άγγελος & Γιώργος | | | | Ημερομηνία: | 28/2/2019 | | |
| Μέθοδος δοκιμής: Ξηρή | | | | | | | | |
| Προετοιμασία εδάφους : 24 ώρες στους 40°C | | | | | | | | |
| Πρότυπο αναφοράς : BS1377: 1990-2, ASTM D422 | | | | | | | | |
| Ονομαστική διάμετρος μεγαλύτερου κόκκου: | | | | | Ελάχιστη μάζα δείγματος (gr): | | | |
| No. 10 (2,00mm) | | | | | 200 | | | |
| No. 4 (4,75mm) | | | | | 500 | | | |
| No. 3/4in. (19mm) | | | | | 1500 | | | |
| Μάζα ξηρού δείγματος και υποδοχέα: | | | | | 493,1 | | | |
| Μάζα υποδοχέα: | | | | | 263,1 | | | |
| Μάζα ξηρού δείγματος (g): | | | | | 230 | | | |
| Αρ. κοσκίνου | Διάμετρος (mm) | Αρ. υποδοχέα | Βάρος υποδοχέα (gr) | Υποδοχέας και ξηρό δείγμα (gr) | Βάρος ξηρού δείγματος (gr) | Συγκρατούμενο ποσοστό (%) | Βάρος διερχομένου ξηρού δείγματος (gr) | Διερχόμενο ποσοστό (%) |
| 3in | 75,000 | | | | 0,00 | 0,00 | 230,00 | 100,00 |
| 1,5 in | 37,500 | | | | 0,00 | 0,00 | 230,00 | 100,00 |
| 3/4 in | 19,000 | | | | 0,00 | 0,00 | 230,00 | 100,00 |
| 3/8 in | 9,500 | | | | 0,00 | 0,00 | 230,00 | 100,00 |
| No. 4 | 4,750 | | | | 0,00 | 0,00 | 230,00 | 100,00 |
| No. 8 | 2,360 | | | | 0,00 | 0,00 | 230,00 | 100,00 |
| No. 10 | 2,000 | | | | 0,00 | 0,00 | 230,00 | 100,00 |
| No. 18 | 1 | 4B | 26,17 | 26,59 | 0,42 | 0,18 | 229,58 | 99,82 |
| No. 20 | 0,85 | 1B | 23,00 | 24,49 | 1,49 | 0,83 | 228,09 | 99,17 |
| No. 30 | 0,6 | 3A | 26,67 | 38,84 | 12,17 | 6,12 | 215,92 | 93,88 |
| No. 40 | 0,425 | 2A | 18,71 | 45,32 | 26,61 | 17,69 | 189,31 | 82,31 |
| No. 50 | 0,3 | 5B | 25,76 | 183,23 | 157,47 | 86,16 | 31,84 | 13,84 |
| No. 100 | 0,15 | 5A | 25,00 | 55,99 | 30,99 | 99,63 | 0,85 | 0,37 |
| No. 200 | 0,075 | 3B | 26,12 | 26,84 | 0,72 | 99,94 | 0,13 | 0,06 |
| | 0,063 | 3 | 116,56 | 116,58 | 0,02 | 99,95 | 0,11 | 0,05 |
| | | A4 | 118,14 | 118,15 | 0,01 | 99,96 | 0,10 | 0,04 |

Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα δοκιμής προσδιορισμού ειδικού βάρους στερεών κόκκων σε καθαρή άμμο Μ31

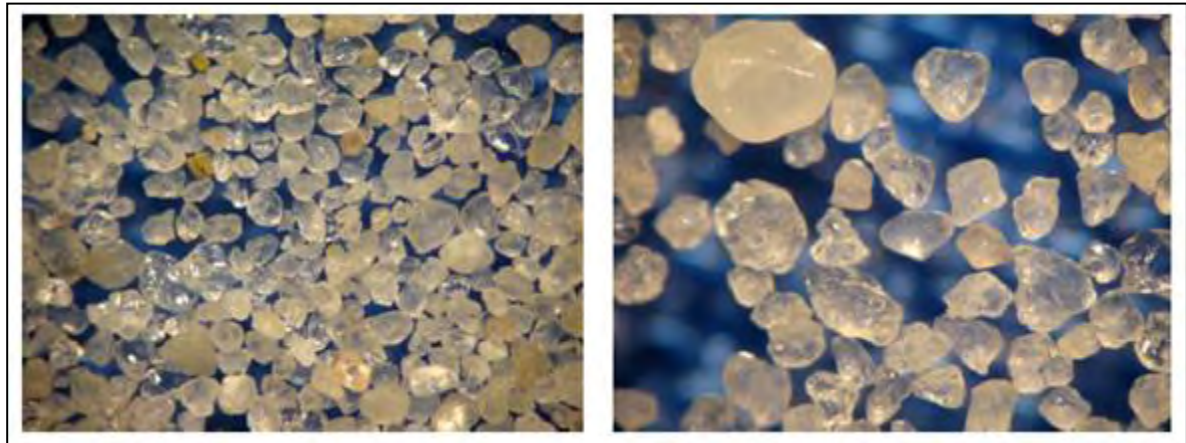
| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | | | | |
|---|------------------------------|------------------------|--------|-------------------|
| ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΟΚΚΩΝ | | | | |
| Κωδικός έργου: | | Γεώτρηση: | | |
| Περιγραφή εδάφους: | Μ31- Γκρι Άμμος Χαλαζιακή | Βάθος: | | |
| Προετοιμασία εδάφους: | 24 ώρες στους 105-110 °C | Ημερομηνία: | | 1/3/2019 |
| Ονομαστική διάμετρος μέγιστου κόκκου (mm): | 1 | Όγκος ληκύθων (ml): | | 50 |
| Εκτελέσαντες: | Μαρτίδης Α. & Λώλος Γ. | Πρότυπο αναφοράς: | | BS1377: 1990-2 |
| | Αριθμός Ληκύθου | 1 | 2 | 3 |
| Μάζα ληκύθου + έδαφος + νερό | M3 | 87,500 | 87,669 | 87,804 |
| Μάζα ληκύθου + έδαφος | M2 | 41,078 | 41,341 | 41,656 |
| Μάζα ληκύθου γεμάτη με νερό | M4 | 81,692 | 81,414 | 81,580 |
| Μάζα ληκύθου | M1 | 31,755 | 31,319 | 31,703 |
| Μάζα εδάφους | M2-M1 | 9,323 | 10,023 | 9,952 |
| Μάζα νερού σε γεμάτη λήκυθο | M4-M1 | 49,937 | 50,096 | 49,876 |
| Μάζα νερού που χρησιμοποιήθηκε | M3-M2 | 46,422 | 46,327 | 46,148 |
| Όγκος εδαφικών κόκκων | (M4-M1)-(M3-M2) | 3,515 | 3,768 | 3,728 |
| Ειδική πυκνότητα, ρ _s (mg/m ³) | (M2-M1)/((M4-M1)-(M3-M2)) | 2,653 | 2,660 | 2,669 |
| Αποκλείσεις μεταξύ των τιμών ρ _s | | <0,03 | <0,03 | <0,03 |
| Μέση τιμή | G _s | | 2,661 | |

Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα δοκιμής προσδιορισμού ξηρής πυκνότητας σε καθαρή άμμο Μ31

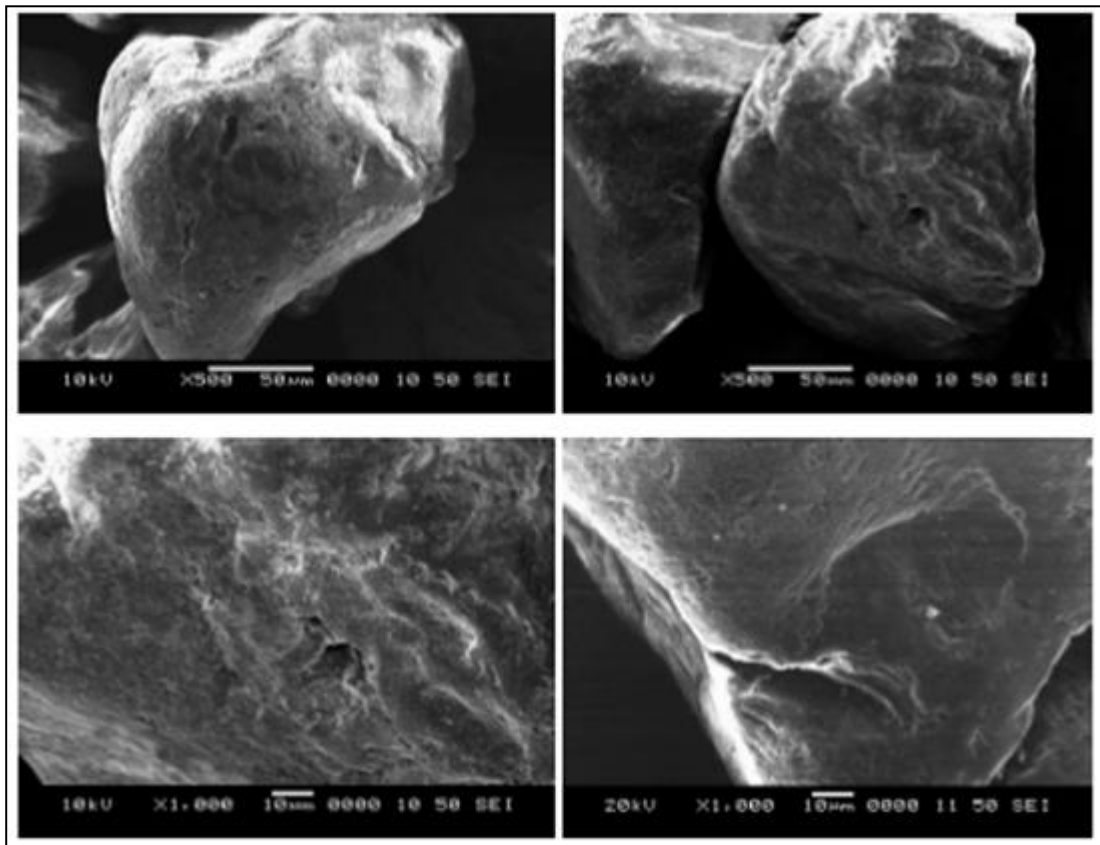
| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΑΜΜΟΥ | | | | | | | | | | | |
| Κωδικός έργου: | | Γεώτρηση: | | | | | | | | | |
| Περιγραφή εδάφους: | | Μ31- Γκρι Άμμος Χαλαζιακή | | | | | | Βάθος (m): | | | |
| Προετοιμασία εδάφους: | | 24 ώρες στους 105-110 °C | | | | | | Ημερομηνία: | | | |
| Εκτελέσαντες: | | Μαρτίδης Α. & Λώλος Γ. | | | | | | Πρότυπα αναφοράς: | | | |
| Ονομαστική διάμετρος μέγιστου κόκκου (mm): | | 1 | | | | | | Ποσοστό λεπτόκοκκων, FC(%), <63μm | | | |
| | | 7.02 | | | | | | | | | |
| Όγκος σωλήνα (cm³) | 1000 | | | | | | | | | | |
| Μέγεθος | Μονάδες | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Μάζα ξηρού δοκιμίου Md | g | 923.560 | 923.560 | 923.560 | 923.560 | 923.560 | 923.560 | 923.560 | 923.560 | 923.560 | 923.560 |
| Όγκος εδάφους V | cm ³ | 625.000 | 630.000 | 630.000 | 640.000 | 635.000 | 630.000 | 635.000 | 630.000 | 635.000 | 635.000 |
| Ξηρή πυκνότητα ρd | g/cm³ | 1.478 | 1.466 | 1.466 | 1.443 | 1.454 | 1.466 | 1.454 | 1.466 | 1.454 | 1.454 |
| Ειδική βαρύτητα στερεών κόκκων Gs | | 2.661 | | | | | | | | | |
| Δείκτης πόρων e | | 0.801 | 0.815 | 0.815 | 0.844 | 0.829 | 0.815 | 0.829 | 0.815 | 0.829 | 0.829 |
| ελάχιστη ξηρη πυκνότητα ρdmin | g/cm ³ | 1.443 | | | | | | | | | |
| Μέγιστος Δείκτης πόρων e _{max} | | 0.844 | | | | | | | | | |
| Όγκος σωλήνα (cm³) | 2000 | | | | | | | | | | |
| Μέγεθος | Μονάδες | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Μάζα ξηρού δοκιμίου Md | g | 1056.600 | 1053.190 | 1051.450 | 1048.450 | 1047.530 | 1045.890 | 1040.240 | 1038.820 | 1036.610 | 1033.810 |
| Όγκος εδάφους V | cm ³ | 720.000 | 730.000 | 725.000 | 710.000 | 710.000 | 710.000 | 710.000 | 705.000 | 700.000 | 705.000 |
| Ξηρη πυκνότητα ρd | g/cm ³ | 1.468 | 1.443 | 1.450 | 1.477 | 1.475 | 1.473 | 1.465 | 1.474 | 1.481 | 1.466 |
| Ειδική βαρύτητα στερεών κόκκων Gs | | 2.661 | | | | | | | | | |
| Δείκτης πόρων e | | 0.813 | 0.844 | 0.835 | 0.802 | 0.803 | 0.806 | 0.816 | 0.806 | 0.797 | 0.814 |
| ελάχιστη ξηρη πυκνότητα ρdmin | g/cm ³ | 1.443 | | | | | | | | | |
| Μέγιστος Δείκτης πόρων e _{max} | | 0.844 | | | | | | | | | |

Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα δοκιμής συμπίκνωσης με τη μέθοδο Proctor σε καθαρή άμμο M31

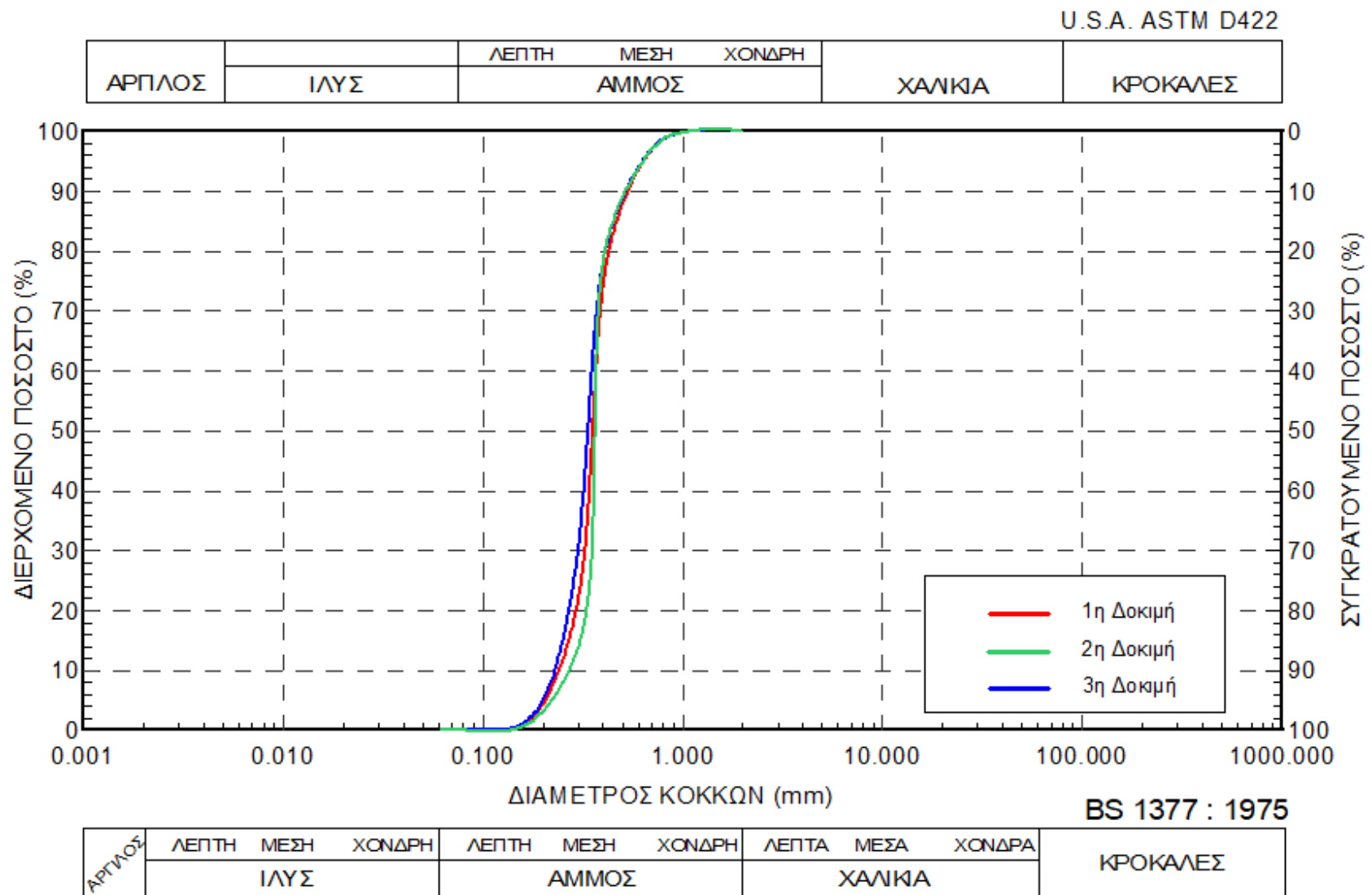
| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------|----------|-------------------|-------------|-------|----------|--------|
| ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PROCTOR | | | | | | | | |
| Κωδικός έργου: | | | | Γεώτρηση: | | | | |
| Περιγραφή εδάφους: | M31- Γκρι Άμμος Χαλαζιακή | | | Βάθος: | | | | |
| Προετοιμασία εδάφους: | 24 ώρες στους 40°C | | | Ημερομηνία: | 3/22/2019 | | | |
| Εκτελέσαντες: | Μαρτίδης Α. & Λώλος Γ. | | | Πρότυπο αναφοράς: | ASTM D- 698 | | | |
| Μέθοδος δοκιμής: | | | | standard | | | | |
| Χαρακτηριστικά Μήτρας: | | | | | | | | |
| Διάμετρος D (mm) : | | | | 101.7 | | | | |
| Ύψος H (mm) : | | | | 116.65 | | | | |
| Μάζα M (gr) : | | | | 3400 | | | | |
| Έπιφάνεια βάσης A (cm ²) : | | | | 81.2319 | | | | |
| Όγκος V (cm ³) | | | | 947.5814 | | | | |
| ΔΟΚΙΜΕΣ | | | | | | | | |
| Αρ. δοκιμής | Δοκιμή 1 | | Δοκιμή 2 | | Δοκιμή 3 | | Δοκιμή 4 | |
| Εισαγωγή Υγρασίας (%) | 5 | | 4 | | 3 | | 2 | |
| Μάζα εδάφους + μήτρας (gr) | 4982 | | 5058 | | 5125 | | 5184 | |
| Μάζα εδάφους (gr) | 1582.00 | | 1658.00 | | 1725.00 | | 1784.00 | |
| Φαινόμενη πυκνότητα, ρ (gr/cm ³) | 1.6695 | | 1.7497 | | 1.8204 | | 1.8827 | |
| ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ | | | | | | | | |
| Επιφάνεια | άνω | κάτω | άνω | κάτω | άνω | κάτω | άνω | κάτω |
| Αρ. υποδοχέα | 3A | 1B | 5B | 2A | 5A | B | 4B | - |
| Μάζα υποδοχέα | 26.66 | 23 | 25.76 | 18.71 | 25 | 19.05 | 26.17 | 120.02 |
| Μάζα υποδοχέα + υγρού δείγματος (g) | 56.98 | 63.01 | 72.88 | 59.74 | 77.04 | 72.21 | 63.28 | 175.85 |
| Μάζα υποδοχέα + ξηρού δείγματος (g) | 55.72 | 61.28 | 69.52 | 56.24 | 71.79 | 65.75 | 58.64 | 168.89 |
| Μάζα περιεχόμενου ύδατος | 1.26 | 1.73 | 3.36 | 3.5 | 5.25 | 6.46 | 4.64 | 6.96 |
| Μάζα ξηρού δείγματος | 29.06 | 38.28 | 43.76 | 37.53 | 46.79 | 46.7 | 32.47 | 48.87 |
| Υγρασία, w(%) | 4.34 | 4.52 | 7.68 | 9.33 | 11.22 | 13.83 | 14.29 | 14.24 |
| Μέσος όρος Υγρασίας, w(%) | 4.4276 | | 8.5021 | | 12.5267 | | 14.2660 | |
| Ξηρή φαινόμενη πυκνότητα, ρd (gr/cm ³) | 1.5987 | | 1.6126 | | 1.6178 | | 1.6476 | |
| Δείκτης πόρων, e | 0.6642 | | 0.6499 | | 0.6447 | | 0.6148 | |



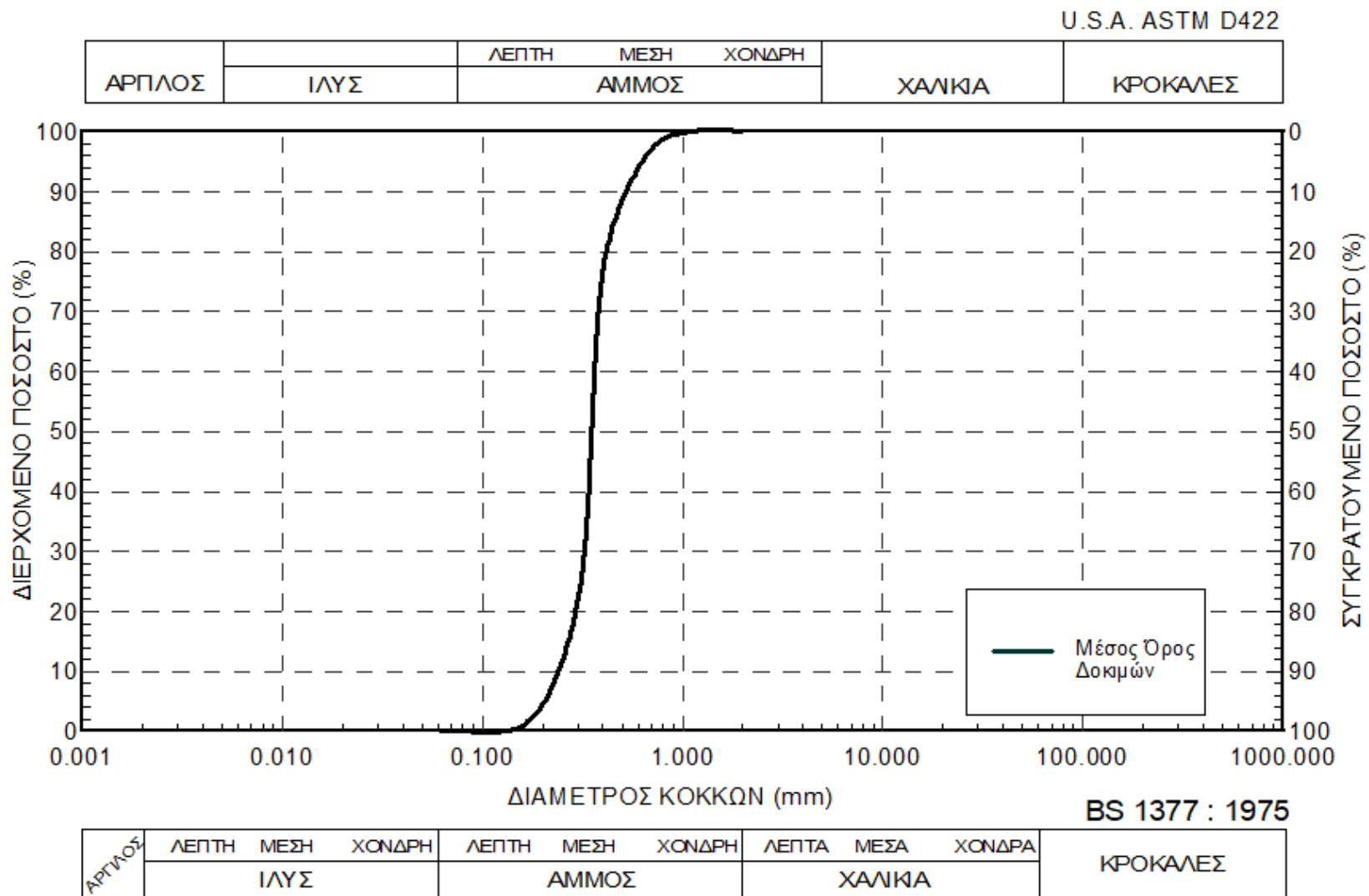
Σχήμα 5.1 Άποψη του σχήματος και της μορφής των κόκκων της καθαρής άμμου M31 (Βράννα Α., 2016)



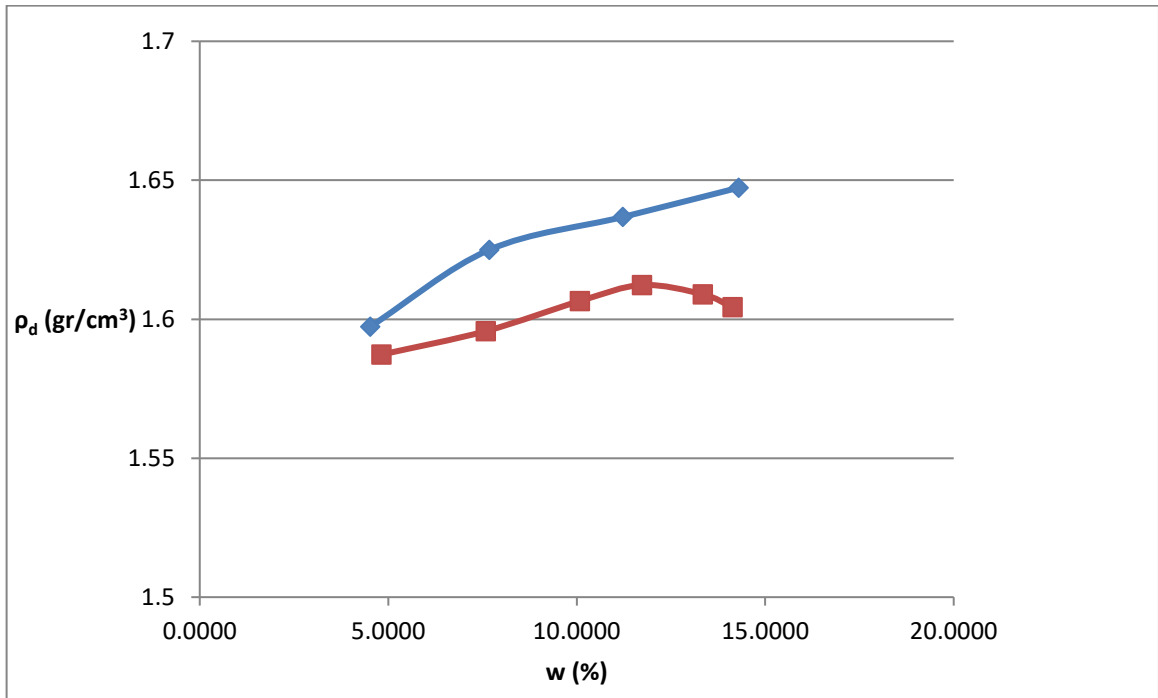
Σχήμα 5.2 Κόκκοι καθαρής άμμου M31 στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) σε διάφορες μεγεθύνσεις (Βράννα Α., 2016)



Σχήμα 5.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση των τριών δοκιμών της άμμου M31



Σχήμα 5.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση του μέσου όρου των τριών δοκιμών της άμμου M31



Σχήμα 5.5 Καμπύλη συμπίκνωσης άμμου M31 που προέκυψε από τη δοκιμή Proctor της παρούσας διπλωματικής εργασίας (Μπλε καμπύλη) σε σύγκριση με καμπύλη συμπίκνωσης άμμου M31 άλλης διπλωματικής εργασίας (Κόκκινη καμπύλη) (Κουλαουζίδου Κυριακή, 2016)



Σχήμα 5.6 Άμμος M31



Σχήμα 5.7 Σειρά κοσκίνων



Σχήμα 5.8 Ηλεκτρικός φούρνος με ελεγχόμενη θερμοκρασία



Σχήμα 5.9 Ζυγός με ακρίβεια 0,01 και υποδοχέας



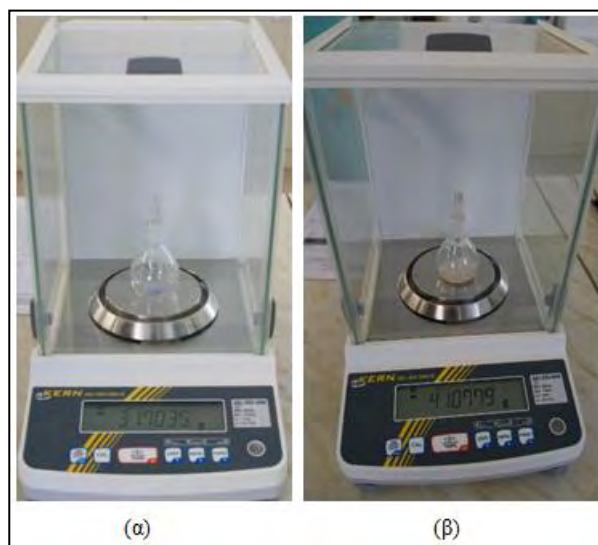
Σχήμα 5.10 Μέτρηση μάζας επιλεγμένου δείγματος άμμου M31



Σχήμα 5.11 Τοποθέτηση δείγματος στη σειρά κοσκίνων και διαδικασία ανακίνησης



Σχήμα 5.12 Ζύγιση συγκεντρωμένης μάζας σε κάθε κόσκινο



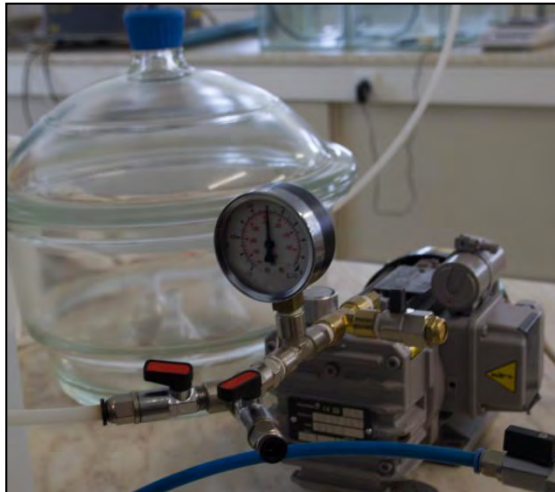
Σχήμα 5.13 Ζύγιση ληκύθου : (α) άδεια, (β) με εδαφικό υλικό



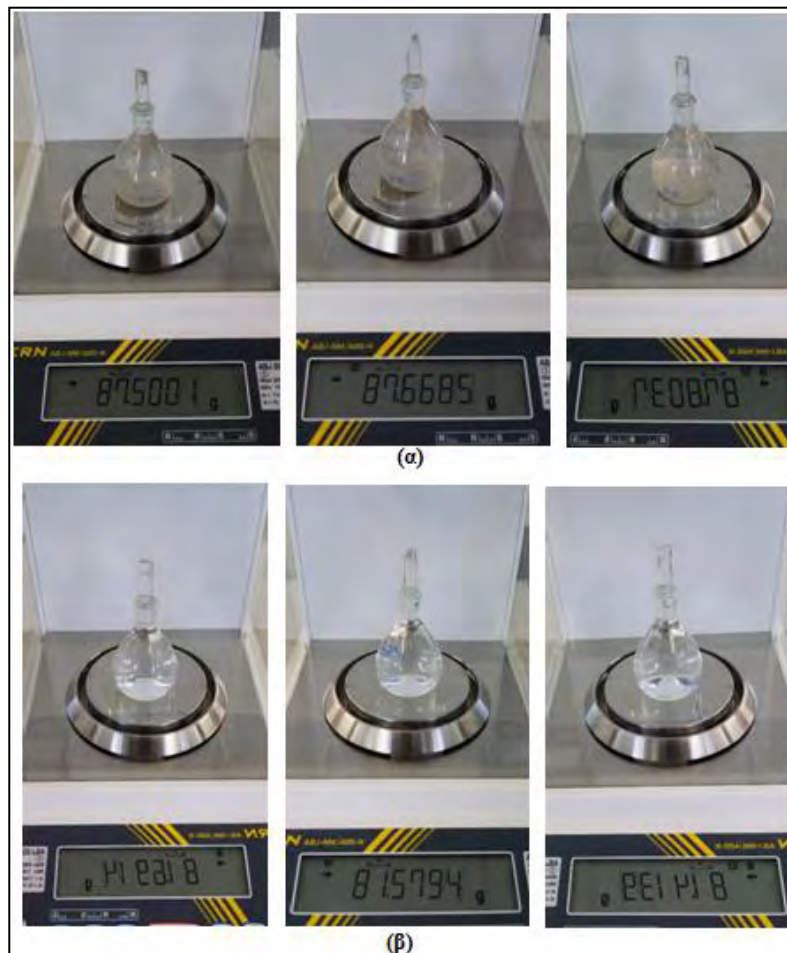
Σχήμα 5.14 Διαδικασία απαερισμού του αποσταγμένου νερού



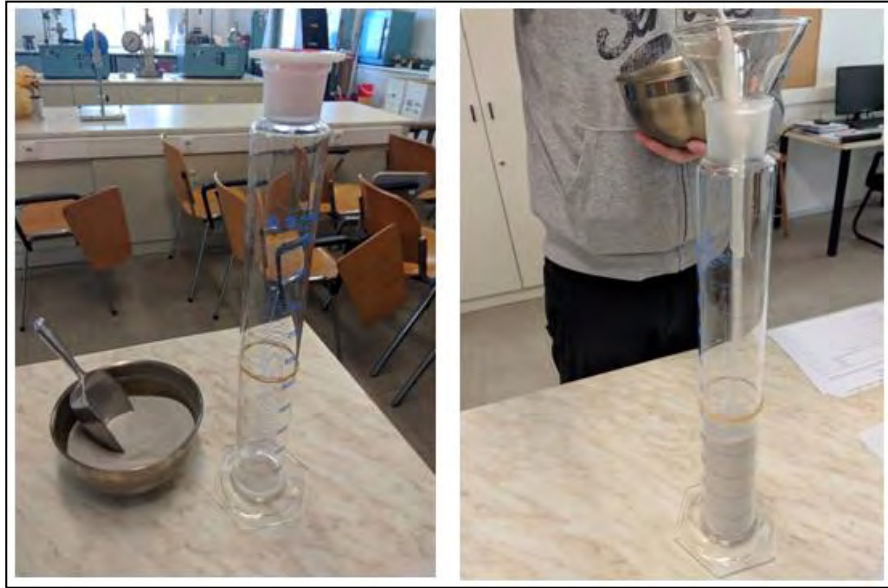
Σχήμα 5.15 Γέμισμα ληκύθων με απαερωμένο νερό περίπου ως τη μέση (να καλύπτεται το έδαφος)



Σχήμα 5.16 Θάλαμος κενού (ξηραντήρας συνδεδεμένος με αντλία κενού)



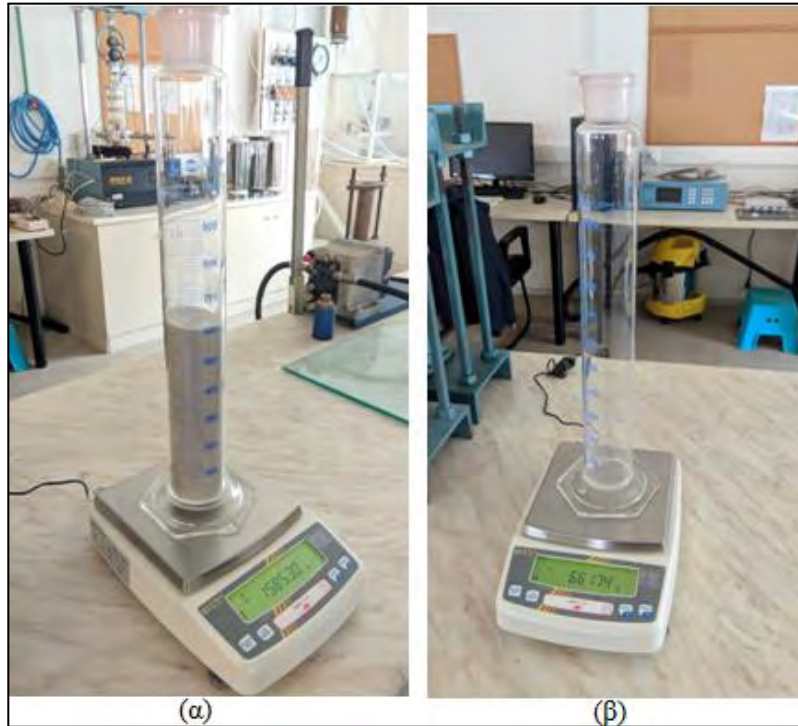
Σχήμα 5.17 Ζύγιση ληκύθων : (α) με απαερωμένο νερό και εδαφικό υλικό, (β) γεμάτες με απαερωμένο νερό



Σχήμα 5.18 Τοποθέτηση ξηρού εδαφικού δείγματος στον ογκομετρικό κύλινδρο



Σχήμα 5.19 Ανακίνηση κυλίνδρου πάνω-κάτω, τοποθέτηση στο πάγκο και προσαρμογή του πλαστικού λάστιχου



Σχήμα 5.20 Ζύγιση ογκομετρικού κυλίνδρου : (α) με το εδαφικό δείγμα και χωρίς το καπάκι, (β) χωρίς το εδαφικό δείγμα και τ καπάκι (άδεια)



Σχήμα 5.21 Εξοπλισμός δοκιμής Proctor



Σχήμα 5.22 Μήτρα δοκιμής Proctor



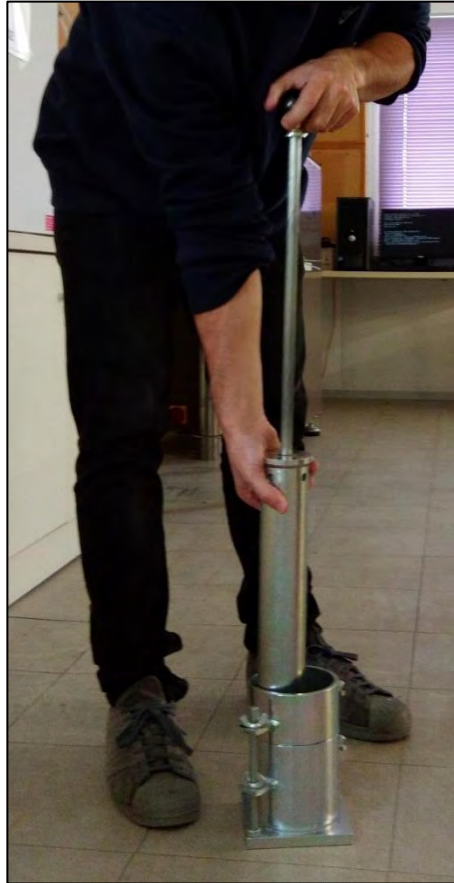
Σχήμα 5.23 Ζύγιση της βάσης της μήτρας



Σχήμα 5.24 Λήψη αντιπροσωπευτικού ξηρού δείγματος και προσθήκη υγρασίας 5%



Σχήμα 5.25 Τοποθέτηση του δείγματος στη μήτρα



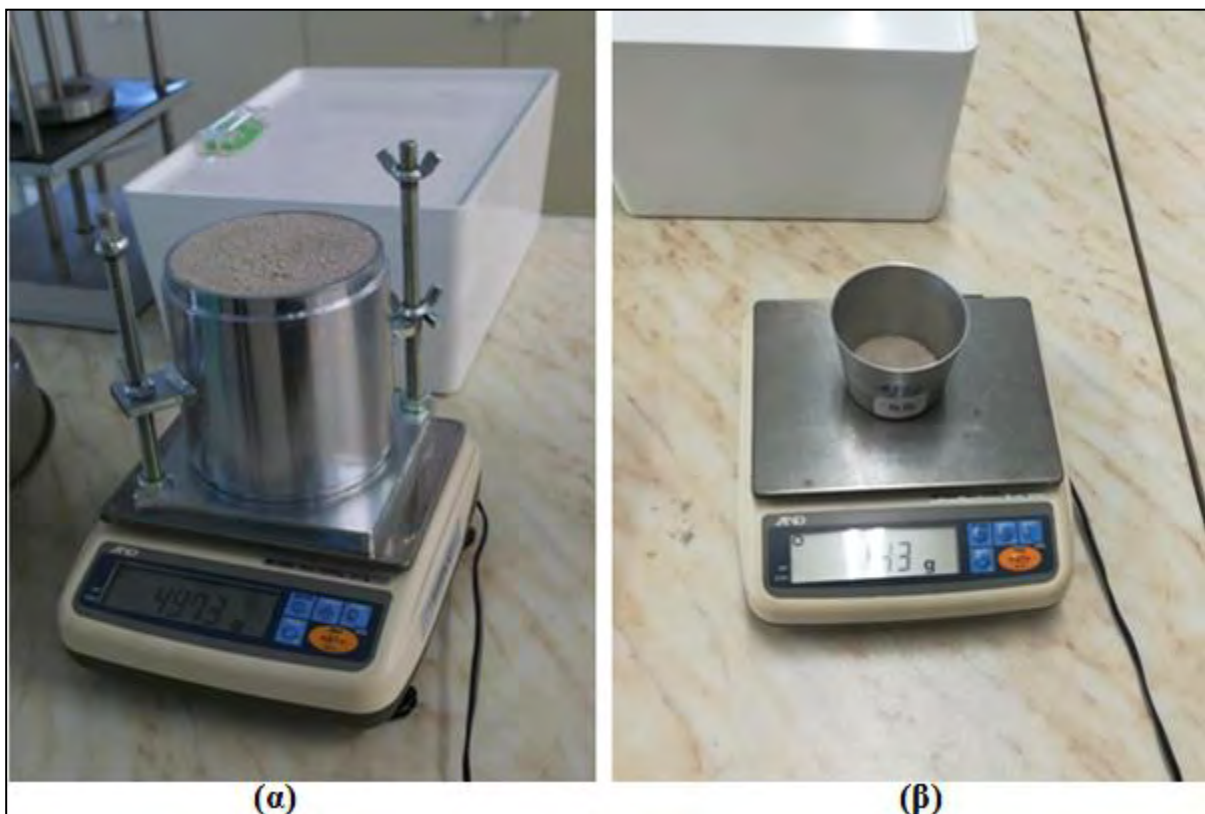
Σχήμα 5.26 Διαδικασία συμπίκνωσης με τη χρήση σφύρας



Σχήμα 5.27 Κάτοψη συμπυκνωμένου δείγματος



Σχήμα 5.28 "Ξύρισμα" του συμπυκνωμένου δείγματος



Σχήμα 5.29 Ζύγιση : (α) της μήτρας με το συμπυκνωμένο υλικό, (β) του δείγματος για τον προσδιορισμό της υγρασίας

Κεφάλαιο 6 Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων της δοκιμής διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου, της βαθμονόμησης των μανομέτρων και του σχεδιασμού των εδαφικών φίλτρων.

6.1 Αποτελέσματα βαθμονόμησης των τριών μανομέτρων

Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης των μανομέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1. Υπολογίζεται η εκάστοτε διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην αρχική τιμή της στάθμης του μανομέτρου και σε αυτή που προκύπτει με τη πρόσθεση συγκεκριμένου όγκου νερού. Η γραφική τους απεικόνιση φαίνεται στα Σχήματα 6.1, 6.2, 6.3 και ακολουθεί γραμμική πορεία, η οποία είναι η επιθυμητή.

6.2 Αποτελέσματα δοκιμής σχεδιασμού και δημιουργίας εδαφικού φίλτρου

Αρχικά, υπολογίζονται τα όρια, τα οποία ορίζουν την "περιοχή" της κοκκομετρικής καμπύλης του εδαφικού φίλτρου, σύμφωνα με τις ανισότητες που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4 ως εξής:

- Κατά Terzaghi και Peck

$$D_{15, F} > 4 (D_{15, B}) = 4 * 0,267 = 1,069$$

$$D_{15, F} \leq 4 (D_{85, B}) = 4 * 0,456 = 1,825$$

- Κατά Lambe και Whitman

$$4 < \frac{D_{15, F}}{D_{15, B}} = \frac{1,567}{0,267} = 5,86 < 20$$

$$D_{15.F} < 5 (D_{85.B}) = 5 * 0,456 = 2,28$$

$$\frac{D_{50.F}}{D_{50.B}} = \frac{1,489}{0,355} = 4,20 < 25$$

Τα όρια αυτά παρουσιάζονται με κόκκινα και πράσινα βέλη, αντίστοιχα, στο Σχήμα 6.4. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό και με το μάτι, τα όρια σύμφωνα με τους Terzaghi και Peck εντάσσονται μέσα στα όρια των Lambe και Whitman. Για το λόγο αυτό, λαμβάνεται ως ζώνη της κοκκομετρικής καμπύλης του φίλτρου, αυτήν που ορίζουν τα όρια των Terzaghi και Peck. Η καμπύλη σχεδιάζεται βάσει του μέσου όρου των τιμών που εμπεριέχονται σε αυτή. Τέλος, υπολογίζεται το ποσοστό των κόκκων, που θα συνθέσουν το φίλτρο, ανάλογα με τη διάμετρό τους. (Πίνακας 6.2)

6.3 Αποτελέσματα δοκιμής σταθερού υδραυλικού φορτίου

Η δοκιμή πραγματοποιείται συνολικά τρεις φορές, κατά τις οποίες εφαρμόζεται διαφορετική υδραυλική βαθμίδα. Χαρακτηριστικά για την πρώτη δοκιμή, αρχικά υπολογίζεται η τιμή της σχετικής πυκνότητας, D_r , όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3. Στη συνέχεια στους Πίνακες 6.4-6.6 υπολογίζεται ο συντελεστής διαπερατότητας, k , στους 20 °C, υπό διαφορετικές υδραυλικές βαθμίδες, με δύο τρόπους. Κατά τον πρώτο, στον υπολογισμό της διηθούμενης παροχής, q , λαμβάνεται υπόψη η διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή, ενώ κατά το δεύτερο σε σχέση με την αρχική τιμή (τιμή μανομέτρων σε ηρεμία πριν από την έναρξη του τελικού σταδίου καταγραφής όγκου). Οι υπολογισμοί ολοκληρώνονται με τη γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο, για τον αντίστοιχο πίνακα. (Σχήματα 6.5-6.7). Οι Πίνακες 6.7-6.10 και τα Σχήματα 6.8-6.10 αφορούν στη δεύτερη δοκιμή ενώ οι Πίνακες 6.11-6.15 και τα Σχήματα 6.11-6.14 στην τρίτη. Τέλος, στο Σχήμα 6.15 παρουσιάζονται οι παραπάνω τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε υδραυλική βαθμίδα (για όλες τις δοκιμές).

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα δοκιμής βαθμονόμησης μανομέτρων

| ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ | | |
|--------------|---------|---------|
| H (cm) | ΔH (cm) | ΔV (ml) |
| 1ο Μανόμετρο | | |
| 80.8 | 0 | 0 |
| 91.1 | 10.3 | 5 |
| 2ο μανόμετρο | | |
| 9.2 | 0 | 0 |
| 33.8 | 24.6 | 10 |
| 58.6 | 24.8 | 10 |
| 83.1 | 24.5 | 10 |
| 94.7 | 11.6 | 5 |
| 3ο μανόμετρο | | |
| 9.6 | 0 | 0 |
| 34.3 | 24.7 | 10 |
| 59.2 | 24.9 | 10 |
| 71.4 | 12.2 | 5 |
| 83.4 | 12 | 5 |
| 95 | 11.6 | 5 |

Πίνακας 6.2 Συγκρατούμενο ποσοστό ανάλογα με το μέγεθος κάθε κόσκινου, για τη σύνθεση του εδαφικού φίλτρου

| | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|
| Διάμετρος (mm) | 0,85 | 1,00 | 2,00 | 2,80 | 4,75 |
| Συγκρατούμενο ποσοστό (%) | 100 | 96 | 24 | 10 | 1 |

Πίνακας 6.3 Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, D_r, για τη πρώτη δοκιμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

| | |
|---|--|
| Τίτλος: Έντυπο καταγραφής δεδομένων δοκιμής | Δοκιμή Προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας (Μέθοδος Σταθερού Υδραυλικού Φορτίου) |
| Ημερομηνία | 08/05/2019 |
| Περιγραφή εδάφους | Καθαρή ομοιόμορφη χαλαζιακή άμμος M31 |
| Κανονισμοί | ASTMD 2434 <input checked="" type="checkbox"/> BS <input type="checkbox"/> |

ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕ ΚΥΨΕΛΗ

| | |
|--|--|
| Εσωτερική διάμετρος D (mm) | 75,8 |
| Διατομή A (mm) | 4512,6151 |
| Αριθμός μανομέτρων | 3 (1, 2, 3) |
| Απόσταση μεταξύ διαδοχικών μανομέτρων (mm) | DS ₁₋₂ = 45,91 DS ₂₋₃ = 45,88 |

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

| | | |
|--|-------|------------|
| D _{max} – εδάφους (mm) | 1 | |
| D _{min} – εδάφους (mm) | 0,063 | |
| Για D _{ap} = 76mm, D _{max} – εδάφους = 2.00mm ASTM | | |
| F.C. (%) ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ D < 75 μm (No 200) | 0,085 | |
| maxF.C. (%) | 0,11 | ASTM (10%) |
| Ποσοστό (%) με D > 2mm | 0 | |
| G _s | 2,661 | |
| e _{min} | 0,558 | |
| e _{max} | 0,844 | |

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

| | |
|--|---|
| Ξηρή κατάσταση (αέρας) <input checked="" type="checkbox"/> | Υγρή κατάσταση <input type="checkbox"/> |
| Μέθοδος Κοσκίνων / Αφαίρεση (D _{max} <2mm) <input type="checkbox"/> | Μέθοδος Τετραμερισμού <input checked="" type="checkbox"/> |
| Αρχική ξηρή μάζα εδαφικού δείγματος M _d (gr) | 2630,78 |
| Αρχική μάζα χρησιμοποιημένου δείγματος Min (gr) | ASTM (Min ≈ 2* M _{sp}) |

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (105°C)

| | |
|---|---------|
| Αριθμός υποδοχέα | 1B |
| Μάζα υποδοχέα (gr) | 23,08 |
| Μάζα υποδοχέα + Εδαφικού δείγματος (gr) | 57,02 |
| Μάζα υποδοχέα + Ξηρού εδαφικού δείγματος (gr) | 56,8145 |
| Υγρασία δείγματος w (%) | 0,36 |

(Συνέχεια) Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, Dr, για τη πρώτη δοκιμή

ΕΔΑΦΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΤΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
|---|---|----------------|--|----------------|--------|
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | (≈40mm Head) | | 35 | | |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | Άνω <input checked="" type="checkbox"/> | | Κάτω <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | 0,1 | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{in} (mm) | 233,56 | 233,78 | 233,15 | 233,31 | 233,45 |
| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΑΝΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | (≈40mm Head) | | | | |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | Άνω <input type="checkbox"/> | | Κάτω <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | 0,1 | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{fin} (mm) | 67,38 | 67,79 | 67,88 | 67,77 | 67,70 |

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

| | | |
|---|--|--|
| Εναπόθεση με χωνί <input type="checkbox"/> | Στον αέρα <input type="checkbox"/> | Στο νερό <input type="checkbox"/> |
| Συμπύκνωση σε στρώσεις <input checked="" type="checkbox"/> | Ξηρή <input checked="" type="checkbox"/> | Με αρχική υγρασία <input type="checkbox"/> |
| Περιγραφή μέσου συμπύκνωσης | Ράβδος συμπύκνωσης | |
| Μάζα μέσου συμπύκνωσης (gr) | 263,55 | |
| Πάχος εδαφικής στρώσης (mm) | 16,35 (ASTM, >15mm, D _{max} =1mm) | |
| Μάζα εδαφικής στρώσης (gr) | 120 | |
| Αριθμός στρώσεων | 10 στρώσεις των 120 gr και 1 των 42 gr | |
| Αριθμός κτύπων ανά στρώση | 15 | |
| Μάζα δοκιμίου M _{sp} (gr) | (M _{sp} =Min-M _{rest}) | 1276,05 |
| Ύψος δοκιμίου H _{sp} (mm) | (H _{sp} =H _{in} -H _{fin} + Πάχος χάρτ. Φίλτρου) | 165,65 |
| Απόσταση άνω βάσης δοκιμίου από την έξοδο του άνω μανομέτρου (mm) | 18,76 | |
| Σημείωση στην κυψέλη το ύψος του δοκιμίου | <input checked="" type="checkbox"/> | |

ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

ASTM (minimum 15min)

| | | | | |
|---|--|---|--------------|-------|
| Μέθοδος CO ₂ <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : | 15min |
| Μέθοδος Κενού <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : | |
| Εισροή απαερομένου νερού | Ροή προς τα πάνω <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Όγκος νερού: | 3lt |
| Ύψος δοκιμίου μετά τον κορεσμό H _{sat} (mm) | 165,65 | | | |
| Μεταβολή ύψους δοκιμίου κατά τον κορεσμό (ΔH _s =H _{sp} -H _{sat}) (mm) | 0 | | | |

(Συνέχεια) Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, D_r , για τη πρώτη δοκιμή

ΔΟΚΙΜΗ

| | | |
|--|---|--|
| Αριθμός δοκιμής | 1 | |
| Ροή διαμέσου του εδάφους | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input checked="" type="checkbox"/> |
| Ξηρή μάζα δοκιμίου M_d (gr) ($M_d = M_{sp}/(1+w)$) | 1271,47 | |
| Αρχικό ύψος δοκιμίου H_{sat} (mm) | 155,75 | |
| Τελικό ύψος δοκιμίου H_{fin} (mm) | 155,75 | |
| $\Delta H = H_{sat} - H_{fin}$ (mm) | 0 | |
| γ_d (kN/m ³) | 17,08 | |
| e | 0,558033 | |
| D_r (%) | 99,99 | |

Πίνακας 6.4 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη πρώτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 1η Επανάληψη : | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|--|---------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|----------------------|--------|------------|-----------------|-------------|--------------|
| Ύψος κυψέλης : | | 269.2 | | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm^2 , | 0.004512615 | m^2 |
| t (s) | MANOMETRA | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | 132 | 140 | 2.88 | 3.05 | 2.96 | 212 | 0 | 0.000000 | 23.8 | |
| 62 | | | | 132 | 140 | 2.88 | 3.05 | 2.96 | 480 | 4.32 | 0.000323 | 23.8 | |
| 115 | | | | 132 | 140 | 2.88 | 3.05 | 2.96 | 750 | 5.09 | 0.000381 | 23.8 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 205 | | | | 132 | 140 | 2.88 | 3.05 | 2.96 | 1190 | 5.80 | 0.000434 | 23.8 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 308 | | | | 132 | 140 | 2.88 | 3.05 | 2.96 | 1670 | 5.42 | 0.000405 | 23.8 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 340 | | | | 132 | 140 | 2.88 | 3.05 | 2.96 | 1930 | 5.68 | 0.000424 | 23.8 | |
| M.O. : | 340 | 836 | 704 | 564 | 132 | 140 | 2.88 | 3.05 | 2.96 | 1930 | 5.68 | 0.000424 | 23.8 |
| | | | | | | | | $\eta_T/\eta_{20} =$ | 0.9 | $k_{20} =$ | 0.000382 | | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 7.74 | 0.000521 |
| 6.52 | 0.000439 |
| | |
| 5.80 | 0.000391 |
| | |
| 5.42 | 0.000365 |
| | |
| 5.68 | 0.000382 |
| M.O. : | 0.000420 |

Πίνακας 6.5 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη πρώτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 2η Επανάληψη : | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|--|---------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|----------------------|----------|-----------------|-------------|--------------|
| Υψος κυψέλης : | | 269.2 | | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm^2 , | 0.004512615 | m^2 |
| t (s) | ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 0 | 0 | 0.000000 | 23.8 | |
| 60 | | | 542 | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 310 | 5.17 | 0.000349 | 23.8 | |
| 79 | | | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 405 | 5.00 | 0.000338 | 23.8 | |
| 137 | 835 | 691 | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 700 | 5.09 | 0.000343 | 23.8 | |
| 240 | | | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 1245 | 5.29 | 0.000357 | 23.8 | |
| 300 | 841 | 696 | 542 | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 1565 | 5.33 | 0.000360 | 23.8 | |
| 360 | | | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 1885 | 5.33 | 0.000360 | 23.8 | |
| 420 | 847 | 701 | 544 | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 2190 | 5.08 | 0.000343 | 23.8 | |
| 480 | | | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 2500 | 5.17 | 0.000349 | 23.8 | |
| 540 | 853 | | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 2810 | 5.17 | 0.000349 | 23.8 | |
| 600 | | 706 | | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 3125 | 5.25 | 0.000354 | 23.8 | |
| M.O. : | 600 | 844 | 698.5 | 542.67 | 145.5 | 155.83 | 3.17 | 3.40 | 3.28 | 3125 | 5.21 | 0.000352 | 23.8 |
| | | | | | | | | | $\eta_1/\eta_{20} =$ | 0.9 | $k_{20} =$ | 0.000316 | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 5.17 | 0.000314 |
| 5.13 | 0.000311 |
| 5.11 | 0.000310 |
| 5.19 | 0.000315 |
| 5.22 | 0.000317 |
| 5.24 | 0.000318 |
| 5.21 | 0.000317 |
| 5.21 | 0.000316 |
| 5.20 | 0.000316 |
| 5.21 | 0.000316 |
| M.O. : | 0.000315 |

Πίνακας 6.6 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη πρώτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 3η Επανάληψη : | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|--|---------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|----------------------|----------|-----------------|--------------------------|--------------|
| Υψος κυψέλης : | | 269.2 | | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm^2 , | 0.004512615 | m^2 |
| t (s) | ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T ($^{\circ}\text{C}$) | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 0 | 0 | 0.000000 | 23.8 | |
| 59 | 832 | 687.2 | 521 | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 320 | 5.42 | 0.000349 | 23.8 | |
| 119 | | | | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 665 | 5.75 | 0.000370 | 23.8 | |
| 177 | | | | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 1000 | 5.78 | 0.000371 | 23.8 | |
| 236 | | | | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 1340 | 5.76 | 0.000371 | 23.8 | |
| 300 | 831 | 678 | | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 1685 | 5.39 | 0.000347 | 23.8 | |
| 355 | | | 512 | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 1990 | 5.55 | 0.000357 | 23.8 | |
| 420 | | | | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 2350 | 5.54 | 0.000356 | 23.8 | |
| 480 | 831 | 678 | 512 | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 2680 | 5.50 | 0.000354 | 23.8 | |
| | | | | 150.2667 | 166.07 | | | | | | | | |
| | | | | 150.2667 | 166.07 | | | | | | | | |
| M.O. : | 480 | 831.33 | 681.07 | 515.00 | 150.2667 | 166.07 | 3.27 | 3.62 | 3.45 | 2680 | 5.58 | 0.000359 | |
| | | | | | | | | | $\eta_1/\eta_{20} =$ | 0.9 | $k_{20} =$ | 0.000323 | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 5.42 | 0.000314 |
| 5.59 | 0.000323 |
| 5.65 | 0.000327 |
| 5.68 | 0.000329 |
| 5.62 | 0.000325 |
| 5.61 | 0.000324 |
| 5.60 | 0.000324 |
| 5.58 | 0.000323 |
| | |
| | |
| M.O. : | 0.000324 |

Πίνακας 6.7 Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, Dr, για τη δεύτερη δοκιμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

| | |
|---|--|
| Τίτλος: Έντυπο καταγραφής δεδομένων δοκιμής | Δοκιμή Προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας (Μέθοδος Σταθερού Υδραυλικού Φορτίου) |
| Ημερομηνία | 16/05/2019 |
| Περιγραφή εδάφους | Καθαρή ομοιόμορφη χαλαζιακή άμμος M31 |
| Κανονισμοί | ASTMD 2434 <input checked="" type="checkbox"/> BS <input type="checkbox"/> |

ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕ ΚΥΨΕΛΗ

| | |
|--|--|
| Εσωτερική διάμετρος D (mm) | 75,8 |
| Διατομή A (mm) | 4512,6151 |
| Αριθμός μανομέτρων | 3 (1, 2, 3) |
| Απόσταση μεταξύ διαδοχικών μανομέτρων (mm) | DS ₁₋₂ = 45,91 DS ₂₋₃ = 45,88 |

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

| | | |
|--|-------|------------|
| D _{max} – εδάφους (mm) | 1 | |
| D _{min} – εδάφους (mm) | 0,063 | |
| Για D _{ap} = 76mm, D _{max} – εδάφους = 2.00mm ASTM | | |
| F.C. (%) ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ D < 75 μm (No 200) | 0,085 | |
| maxF.C. (%) | 0,11 | ASTM (10%) |
| Ποσοστό (%) με D > 2mm | 0 | |
| Gs | 2,661 | |
| e _{min} | 0,558 | |
| e _{max} | 0,844 | |

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

| | | |
|--|---|--------------------|
| Ξηρή κατάσταση (αέρας) <input checked="" type="checkbox"/> | Υγρή κατάσταση <input type="checkbox"/> | |
| Μέθοδος Κοσκίνων / Αφαίρεση (D _{max} <2mm) <input type="checkbox"/> | Μέθοδος Τετραμερισμού <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Αρχική ξηρή μάζα εδαφικού δείγματος Md (gr) | | |
| Αρχική μάζα χρησιμοποιημένου δείγματος Min (gr) | 1539.6 | ASTM (Min≈ 2* Msp) |

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (105°C)

| | |
|---|-------|
| Αριθμός υποδοχέα | 2A |
| Μάζα υποδοχέα (gr) | 18.77 |
| Μάζα υποδοχέα + Εδαφικού δείγματος (gr) | 59.39 |
| Μάζα υποδοχέα + Ξηρού εδαφικού δείγματος (gr) | 59.39 |
| Υγρασία δείγματος w (%) | 0 |

(Συνέχεια) Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, Dr, για τη δεύτερη δοκιμή

ΕΔΑΦΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΤΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
|---|---|----------------|--|----------------|---------|
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | (≈40mm Head) | | | | 34,86 |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | Άνω <input checked="" type="checkbox"/> | | Κάτω <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | 0,1 | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{in} (mm) | 233,05 | 233,64 | 233,69 | 233,32 | 233,675 |
| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΑΝΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | (≈40mm Head) | | | | 33,03 |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | Άνω <input type="checkbox"/> | | Κάτω <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | 0,1 | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{fin} (mm) | 67,52 | 67,46 | 67,58 | 67,67 | 67,557 |

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

| | | |
|---|--|--|
| Εναπόθεση με χωνί <input type="checkbox"/> | Στον αέρα <input type="checkbox"/> | Στο νερό <input type="checkbox"/> |
| Συμπύκνωση σε στρώσεις <input checked="" type="checkbox"/> | Ξηρή <input checked="" type="checkbox"/> | Με αρχική υγρασία <input type="checkbox"/> |
| Περιγραφή μέσου συμπύκνωσης | Ράβδος συμπύκνωσης | |
| Μάζα μέσου συμπύκνωσης (gr) | 263,55 | |
| Πάχος εδαφικής στρώσης (mm) | 16,35 (ASTM, >15mm, D _{max} =1mm) | |
| Μάζα εδαφικής στρώσης (gr) | 120 | |
| Αριθμός στρώσεων | 10 στρώσεις των 120 gr και 1 των 42 gr | |
| Αριθμός κτύπων ανά στρώση | 15 | |
| Μάζα δοκιμίου M _{sp} (gr) | (M _{sp} =Min-M _{rest}) | 1260 |
| Ύψος δοκιμίου H _{sp} (mm) | (H _{sp} =H _{in} -H _{fin} + Πάχος χάρτ. Φίλτρου) | 166,02 |
| Απόσταση άνω βάσης δοκιμίου από την έξοδο του άνω μανομέτρου (mm) | 18,16 | |
| Σημείωση στην κυψέλη το ύψος του δοκιμίου | <input checked="" type="checkbox"/> | |

ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

ASTM (minimum 15min)

| | | | | |
|---|--|---|--------------|-------|
| Μέθοδος CO ₂ <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : | 15min |
| Μέθοδος Κενού <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : | |
| Εισροή απαερομένου νερού | Ροή προς τα πάνω <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Όγκος νερού: | |
| Ύψος δοκιμίου μετά τον κορεσμό H _{sat} (mm) | 166,02 | | | |
| Μεταβολή ύψους δοκιμίου κατά τον κορεσμό (ΔH _s =H _{sp} -H _{sat}) (mm) | 0 | | | |

(Συνέχεια) Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, D_r , για τη δευτέρα δοκιμή

ΔΟΚΙΜΗ

| | | |
|--|---|--|
| Αριθμός δοκιμής | 2 | |
| Ροή διαμέσου του εδάφους | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input checked="" type="checkbox"/> |
| Ξηρή μάζα δοκιμίου M_d (gr) ($M_d = M_{sp}/(1+w)$) | 1260 | |
| Αρχικό ύψος δοκιμίου H_{sat} (mm) | 166,02 | |
| Τελικό ύψος δοκιμίου H_{fin} (mm) | 166,02 | |
| $\Delta H = H_{sat} - H_{fin}$ (mm) | 0 | |
| γ_d (kN/m ³) | 16,82 | |
| e | 0,582206 | |
| D_r (%) | 91,54 | |

Πίνακας 6.8 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη δεύτερη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 1η Επανάληψη : | | | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|---------|---------|--|--------------------------|-------------------|-----------|-------|----------------------|----------|------------|-----------------|----------|--------------|
| Υψος κυψέλης : | | | | 269.2 | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm^2 , | 0.004513 | m^2 |
| t (s) | MANOMETRA | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | 38 | | 0.83 | | 0 | 0 | 0.000000 | 26 | | |
| 60 | | | | | 38 | | 0.83 | | 107 | 1.78 | 0.000477 | 26 | | |
| 120 | | | | | 38 | | 0.83 | | 235 | 2.13 | 0.000571 | 26 | | |
| 180 | | | | | 38 | | 0.83 | | 365 | 2.17 | 0.000580 | 26 | | |
| 240 | | | | | 38 | | 0.83 | | 475 | 1.83 | 0.000491 | 26 | | |
| 300 | | | | | 38 | | 0.83 | | 595 | 2.00 | 0.000535 | 26 | | |
| 360 | | | | | 38 | | 0.83 | | 715 | 2.00 | 0.000535 | 26 | | |
| 420 | | | | | 38 | | 0.83 | | 840 | 2.08 | 0.000557 | 26 | | |
| 480 | | | | | 38 | | 0.83 | | 960 | 2.00 | 0.000535 | 26 | | |
| 540 | | | | | 38 | | 0.83 | | 1090 | 2.17 | 0.000580 | 26 | | |
| 600 | | | | | 38 | | 0.83 | | 1208 | 1.97 | 0.000526 | 26 | | |
| M.O. : | 600 | | 635 | 597 | | 38 | | 0.83 | | 1208 | 2.01 | 0.000539 | 26 | |
| | | | | | | | | | $\eta_T/\eta_{20} =$ | 0.88 | $k_{20} =$ | 0.000474 | | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 1.78 | 0.000420 |
| 1.96 | 0.000461 |
| 2.03 | 0.000477 |
| 1.98 | 0.000466 |
| 1.98 | 0.000467 |
| 1.99 | 0.000468 |
| 2.00 | 0.000471 |
| 2.00 | 0.000471 |
| 2.02 | 0.000475 |
| 2.01 | 0.000474 |
| M.O. : | 0.000465 |

Πίνακας 6.9 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη δεύτερη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 2η Επανάληψη : | | | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|---------|---------|--|--------------------------|-------------------|-----------|-------|--------|----------------------|----------|-----------------|----------|--------------|
| Υψος κυψέλης : | | | | 269.2 | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm^2 , | 0.004513 | m^2 |
| t (s) | MANOMETRA | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0.000000 | 26 | | |
| 60 | | | | 29 | 31.00 | 0.63 | 0.68 | 0.65 | 72 | 1.20 | 0.000407 | 26 | | |
| 120 | 197 | 168 | 137 | 29 | 31.00 | 0.63 | 0.68 | 0.65 | 142 | 1.17 | 0.000396 | 26 | | |
| 180 | | | | 29 | 31.00 | 0.63 | 0.68 | 0.65 | 205 | 1.05 | 0.000356 | 26 | | |
| 240 | 271 | 241 | 218 | 30 | 23.00 | 0.65 | 0.50 | 0.58 | 260 | 0.92 | 0.000352 | 26 | | |
| 300 | | | | 30 | 23.00 | 0.65 | 0.50 | 0.58 | 322 | 1.03 | 0.000397 | 26 | | |
| 360 | 283 | 258 | 235 | 25 | 23.00 | 0.54 | 0.50 | 0.52 | 385 | 1.05 | 0.000445 | 26 | | |
| 420 | | | | 25 | 23.00 | 0.54 | 0.50 | 0.52 | 445 | 1.00 | 0.000424 | 26 | | |
| 480 | | | | 25 | 23.00 | 0.54 | 0.50 | 0.52 | 510 | 1.08 | 0.000459 | 26 | | |
| 540 | 288 | 260 | 244 | 28 | 16.00 | 0.61 | 0.35 | 0.48 | 572 | 1.03 | 0.000478 | 26 | | |
| 600 | | | | 28 | 16.00 | 0.61 | 0.35 | 0.48 | 636 | 1.07 | 0.000493 | 26 | | |
| M.O. : | 600 | 259.75 | 231.75 | 208.50 | 28 | 23.25 | 0.61 | 0.51 | 0.56 | 636 | 1.06 | 0.000421 | 26 | |
| | | | | | | | | | | $\eta_7/\eta_{20} =$ | 0.88 | $k_{20} =$ | 0.000370 | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 1.20 | 0.000358 |
| 1.18 | 0.000353 |
| 1.14 | 0.000340 |
| 1.08 | 0.000366 |
| 1.07 | 0.000363 |
| 1.07 | 0.000399 |
| 1.06 | 0.000395 |
| 1.06 | 0.000396 |
| 1.06 | 0.000431 |
| 1.06 | 0.000431 |
| M.O. : | 0.000383 |

Πίνακας 6.10 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη δεύτερη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 3η Επανάληψη : | | | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|---------|---------|--|--------------------------|-------------------|-----------|-------|--------|----------------------|----------|-----------------|----------|--------------|
| Υψος κυψέλης : | | | | 269.2 | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm^2 , | 0.004513 | m^2 |
| t (s) | MANOMETRA | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | 38 | 27.00 | 0.83 | 0.59 | 0.71 | 0 | 0 | 0.000000 | 26 | | |
| 60 | 240 | 202 | 175 | 38 | 27.00 | 0.83 | 0.59 | 0.71 | 72 | 1.20 | 0.000376 | 26 | | |
| 120 | | | | 38 | 27.00 | 0.83 | 0.59 | 0.71 | 140 | 1.13 | 0.000355 | 26 | | |
| 180 | 232.3 | 200 | 169 | 32.3 | 31.00 | 0.70 | 0.68 | 0.69 | 200 | 1.00 | 0.000321 | 26 | | |
| 240 | | | | 32.3 | 31.00 | 0.70 | 0.68 | 0.69 | 270 | 1.17 | 0.000375 | 26 | | |
| 300 | 274 | 261 | 236 | 13 | 25.00 | 0.28 | 0.54 | 0.41 | 335 | 1.08 | 0.000580 | 26 | | |
| 360 | | | | 13 | 25.00 | 0.28 | 0.54 | 0.41 | 395 | 1.00 | 0.000535 | 26 | | |
| 420 | | | | 13 | 25.00 | 0.28 | 0.54 | 0.41 | 460 | 1.08 | 0.000580 | 26 | | |
| 480 | 294 | 270 | 253 | 24 | 17.00 | 0.52 | 0.37 | 0.45 | 520 | 1.00 | 0.000496 | 26 | | |
| 540 | | | | 24 | 17.00 | 0.52 | 0.37 | 0.45 | 580 | 1.00 | 0.000496 | 26 | | |
| 600 | | | | 24 | 17.00 | 0.52 | 0.37 | 0.45 | 650 | 1.17 | 0.000579 | 26 | | |
| M.O. : | 600 | 260.08 | 233.25 | 208.25 | 26.83 | 25.00 | 0.58 | 0.54 | 0.56 | 650 | 1.08 | 0.000425 | 26 | |
| | | | | | | | | | | $\eta_1/\eta_{20} =$ | 0.88 | $k_{20} =$ | 0.000374 | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 1.20 | 0.000330 |
| 1.17 | 0.000321 |
| 1.11 | 0.000314 |
| 1.13 | 0.000318 |
| 1.12 | 0.000526 |
| 1.10 | 0.000517 |
| 1.10 | 0.000516 |
| 1.08 | 0.000473 |
| 1.07 | 0.000469 |
| 1.08 | 0.000473 |
| M.O. : | 0.000426 |

Πίνακας 6.11 Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, Dr, για τη τρίτη δοκιμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

| | |
|---|--|
| Τίτλος: Έντυπο καταγραφής δεδομένων δοκιμής | Δοκιμή Προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας (Μέθοδος Σταθερού Υδραυλικού Φορτίου) |
| Ημερομηνία | 23/05/2019 |
| Περιγραφή εδάφους | Καθαρή ομοιόμορφη χαλαζιακή άμμος M31 |
| Κανονισμοί | ASTMD 2434 <input checked="" type="checkbox"/> BS <input type="checkbox"/> |

ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕ ΚΥΨΕΛΗ

| | |
|--|--|
| Εσωτερική διάμετρος D (mm) | 75,8 |
| Διατομή A (mm) | 4512,6151 |
| Αριθμός μανομέτρων | 3 (1, 2, 3) |
| Απόσταση μεταξύ διαδοχικών μανομέτρων (mm) | DS ₁₋₂ = 45,91 DS ₂₋₃ = 45,88 |

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

| | | |
|--|-------|------------|
| D _{max} – εδάφους (mm) | 1 | |
| D _{min} – εδάφους (mm) | 0,063 | |
| Για D _{ap} = 76mm, D _{max} – εδάφους = 2.00mm ASTM | | |
| F.C. (%) ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ D < 75 μm (No 200) | 0,085 | |
| maxF.C. (%) | 0,11 | ASTM (10%) |
| Ποσοστό (%) με D > 2mm | 0 | |
| Gs | 2,661 | |
| e _{min} | 0,558 | |
| e _{max} | 0,844 | |

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

| | |
|--|---|
| Ξηρή κατάσταση (αέρας) <input checked="" type="checkbox"/> | Υγρή κατάσταση <input type="checkbox"/> |
| Μέθοδος Κοσκίνων / Αφαίρεση (D _{max} <2mm) <input type="checkbox"/> | Μέθοδος Τετραμερισμού <input checked="" type="checkbox"/> |
| Αρχική ξηρή μάζα εδαφικού δείγματος Md (gr) | |
| Αρχική μάζα χρησιμοποιημένου δείγματος Min (gr) | ASTM (Min ≈ 2* Msp) |

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (105°C)

| | |
|---|------|
| Αριθμός υποδοχέα | 2A |
| Μάζα υποδοχέα (gr) | 22.4 |
| Μάζα υποδοχέα + Εδαφικού δείγματος (gr) | 56.3 |
| Μάζα υποδοχέα + Ξηρού εδαφικού δείγματος (gr) | 56.3 |
| Υγρασία δείγματος w (%) | 0 |

(Συνέχεια) Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, Dr, για τη τρίτη δοκιμή

ΕΔΑΦΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΤΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
|---|---|----------------|--|----------------|-------|
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | (≈40mm Head) | | 32,31 | | |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | Άνω <input checked="" type="checkbox"/> | | Κάτω <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | 0,1 | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{in} (mm) | 236,38 | 236,86 | 236,58 | 236,58 | 236,6 |
| ΕΔΑΦΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΑΝΩ ΒΑΣΗΣ | | | | | |
| Πάχος Εδαφικού Φίλτρου (mm) | (≈40mm Head) | | 23,49 | | |
| Χρήση χάρτινων φίλτρων | Άνω <input type="checkbox"/> | | Κάτω <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Πάχος χάρτινου φίλτρου (mm) | 0,1 | | | | |
| Απόσταση μεταξύ της άνω βάσης του χάρτινου φίλτρου και της κορυφής της κυψέλης του δοκιμίου | | | | | |
| Μετρήσεις | 1 ^η | 2 ^η | 3 ^η | 4 ^η | M.O. |
| H _{fin} (mm) | 56,10 | 56,9 | 56,28 | 56,10 | 56,35 |

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

| | | |
|---|--|--|
| Εναπόθεση με χωνί <input type="checkbox"/> | Στον αέρα <input type="checkbox"/> | Στο νερό <input type="checkbox"/> |
| Συμπύκνωση σε στρώσεις <input checked="" type="checkbox"/> | Ξηρή <input checked="" type="checkbox"/> | Με αρχική υγρασία <input type="checkbox"/> |
| Περιγραφή μέσου συμπύκνωσης | Ράβδος συμπύκνωσης | |
| Μάζα μέσου συμπύκνωσης (gr) | 263,55 | |
| Πάχος εδαφικής στρώσης (mm) | 16,35 (ASTM, >15mm, D _{max} =1mm) | |
| Μάζα εδαφικής στρώσης (gr) | 120 | |
| Αριθμός στρώσεων | 11 στρώσεις των 120 gr και 1 των 50 gr | |
| Αριθμός κτύπων ανά στρώση | 15 | |
| Μάζα δοκιμίου M _{sp} (gr) | (M _{sp} =Min-M _{rest}) | 1370 |
| Ύψος δοκιμίου H _{sp} (mm) | (H _{sp} =H _{in} -H _{fin} + Πάχος χάρτ. Φίλτρου) | 180,15 |
| Απόσταση άνω βάσης δοκιμίου από την έξοδο του άνω μανομέτρου (mm) | 2,68 | |
| Σημείωση στην κυψέλη το ύψος του δοκιμίου | <input checked="" type="checkbox"/> | |

ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

ASTM (minimum 15min)

| | | | | |
|---|--|---|--------------|-------|
| Μέθοδος CO ₂ <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : | 15min |
| Μέθοδος Κενού <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Διάρκεια : | |
| Εισροή απαερομένου νερού | Ροή προς τα πάνω <input checked="" type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input type="checkbox"/> | Όγκος νερού: | |
| Ύψος δοκιμίου μετά τον κορεσμό H _{sat} (mm) | 180,15 | | | |
| Μεταβολή ύψους δοκιμίου κατά τον κορεσμό (ΔH _s =H _{sp} -H _{sat}) (mm) | 0 | | | |

(Συνέχεια) Συμπληρωμένο έντυπο δοκιμής-Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας, D_r , για τη τρίτη δοκιμή

ΔΟΚΙΜΗ

| | | |
|--|---|--|
| Αριθμός δοκιμής | 3 | |
| Ροή διαμέσου του εδάφους | Ροή προς τα πάνω <input type="checkbox"/> | Ροή προς τα κάτω <input checked="" type="checkbox"/> |
| Ξηρή μάζα δοκιμίου M_d (gr) ($M_d = M_{sp}/(1+w)$) | 1370 | |
| Αρχικό ύψος δοκιμίου H_{sat} (mm) | 180,15 | |
| Τελικό ύψος δοκιμίου H_{fin} (mm) | 180,15 | |
| $\Delta H = H_{sat} - H_{fin}$ (mm) | 0 | |
| γ_d (kN/m ³) | 16,85 | |
| e | 0,579017 | |
| D_r (%) | 92,65 | |

Πίνακας 6.12 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 1η Επανάληψη : | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|--|---------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|----------------------|----------|-------------------|----------|----------------|
| Υψος κυψέλης : | | 269.2 | | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm ² , | 0.004513 | m ² |
| t (s) | ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | |
| 0 | 546 | 524 | 500 | 22 | 24 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 0 | 0 | 0.000000 | 24.8 | |
| 60 | 555 | 532 | 508 | 23 | 24 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 52 | 0.87 | 0.000375 | 25 | |
| 120 | 555 | 532 | 508 | 23 | 24 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 100 | 0.80 | 0.000346 | 25 | |
| 180 | 556 | 534 | 509 | 22 | 25 | 0.48 | 0.54 | 0.51 | 148 | 0.80 | 0.000346 | 25 | |
| 240 | 558 | 535 | 511 | 23 | 24 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 200 | 0.87 | 0.000375 | 25 | |
| 300 | 561 | 538 | 514 | 23 | 24 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 250 | 0.83 | 0.000361 | 25 | |
| 360 | 563 | 539 | 515 | 24 | 24 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 290 | 0.67 | 0.000283 | 25 | |
| 420 | 564 | 541 | 516 | 23 | 25 | 0.50 | 0.54 | 0.52 | 350 | 1.00 | 0.000424 | 25 | |
| 480 | 565 | 541 | 517 | 24 | 24 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 400 | 0.83 | 0.000353 | 25 | |
| 540 | 564 | 542 | 517 | 22 | 25 | 0.48 | 0.54 | 0.51 | 450 | 0.83 | 0.000361 | 25 | |
| 600 | 565 | 541 | 517 | 24 | 24 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 500 | 0.83 | 0.000353 | 25 | |
| M.O. : | 600 | 559.27 | 536.27 | 512 | 23 | 24.27 | 0.50 | 0.53 | 0.52 | 500 | 0.83 | 0.000359 | 25 |
| | | | | | | | | | $\eta_7/\eta_{20} =$ | 0.895 | $k_{20} =$ | 0.000321 | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 0.87 | 0.000329 |
| 0.83 | 0.000316 |
| 0.82 | 0.000299 |
| 0.83 | 0.000316 |
| 0.83 | 0.000316 |
| 0.81 | 0.000305 |
| 0.83 | 0.000303 |
| 0.83 | 0.000316 |
| 0.83 | 0.000303 |
| 0.83 | 0.000316 |
| M.O. : | 0.000312 |

Πίνακας 6.13 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 2η Επανάληψη : | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|--|---------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|----------------------|----------|-------------------|----------|----------------|
| Υψος κυψέλης : | | 269.2 | | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm ² , | 0.004513 | m ² |
| t (s) | ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | |
| 0 | 532 | 513 | 498 | 19 | 15.00 | 0.41 | 0.33 | 0.37 | 0 | 0 | 0.000000 | 26 | |
| 60 | 550 | 526 | 502 | 24 | 24.00 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 54 | 0.90 | 0.000381 | 26 | |
| 120 | 551 | 527 | 504 | 24 | 23.00 | 0.52 | 0.50 | 0.51 | 106 | 0.87 | 0.000375 | 26 | |
| 180 | 551 | 529 | 504 | 22 | 25.00 | 0.48 | 0.54 | 0.51 | 154 | 0.80 | 0.000346 | 26 | |
| 240 | 552 | 528 | 504 | 24 | 24.00 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 204 | 0.83 | 0.000353 | 26 | |
| 300 | 548 | 522 | 496 | 26 | 26.00 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 260 | 0.93 | 0.000365 | 26 | |
| 360 | 527 | 501 | 476 | 26 | 25.00 | 0.57 | 0.54 | 0.56 | 310 | 0.83 | 0.000332 | 26 | |
| 420 | 517 | 492 | 467 | 25 | 25.00 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 360 | 0.83 | 0.000339 | 26 | |
| 480 | 512 | 488 | 463 | 24 | 25.00 | 0.52 | 0.54 | 0.53 | 410 | 0.83 | 0.000346 | 26 | |
| 540 | 510 | 486 | 462 | 24 | 24.00 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 460 | 0.83 | 0.000353 | 26 | |
| 600 | 509 | 484 | 460 | 25 | 24.00 | 0.54 | 0.52 | 0.53 | 510 | 0.83 | 0.000346 | 26 | |
| M.O. : | 600 | 532.64 | 508.73 | 485.09 | 23.91 | 23.64 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 510 | 0.85 | 0.000364 | 26 |
| | | | | | | | | | $\eta_7/\eta_{20} =$ | 0.895 | $k_{20} =$ | 0.000325 | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 0.90 | 0.000341 |
| 0.88 | 0.000342 |
| 0.86 | 0.000331 |
| 0.85 | 0.000322 |
| 0.87 | 0.000303 |
| 0.86 | 0.000307 |
| 0.86 | 0.000312 |
| 0.85 | 0.000317 |
| 0.85 | 0.000323 |
| 0.85 | 0.000316 |
| M.O. : | 0.000322 |

Πίνακας 6.14 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

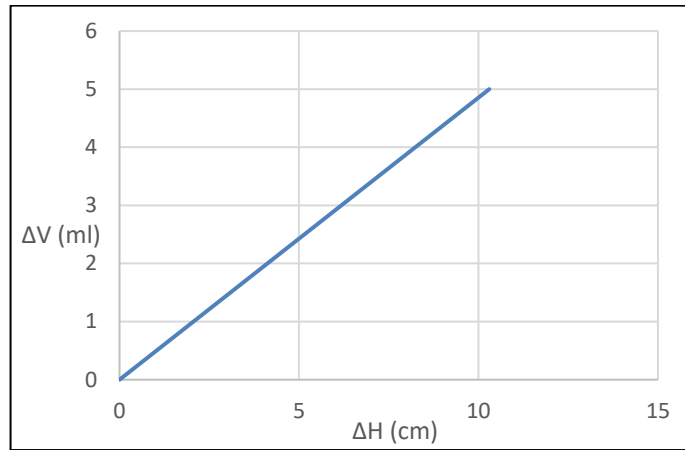
| 3η Επανάληψη : | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|--|---------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|----------------------|----------|-------------------|----------|----------------|
| Υψος κυψέλης : | | 269.2 | | | Δs (mm) : | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm ² , | 0.004513 | m ² |
| t (s) | ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | |
| 0 | 494 | 469 | 444 | 25 | 25 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0 | 0 | 0.000000 | 26 | |
| 60 | 492 | 467 | 443 | 25 | 24 | 0.54 | 0.52 | 0.53 | 58 | 0.97 | 0.000401 | 26 | |
| 120 | 491 | 466 | 443 | 25 | 23 | 0.54 | 0.50 | 0.52 | 110 | 0.87 | 0.000367 | 26 | |
| 180 | 490 | 466 | 442 | 24 | 24 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 160 | 0.83 | 0.000353 | 26 | |
| 240 | 490 | 466 | 442 | 24 | 24 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 212 | 0.87 | 0.000367 | 26 | |
| 300 | 500 | 476 | 451 | 24 | 25 | 0.52 | 0.54 | 0.53 | 270 | 0.97 | 0.000401 | 26 | |
| 360 | 504 | 480 | 455 | 24 | 25 | 0.52 | 0.54 | 0.53 | 320 | 0.83 | 0.000346 | 26 | |
| 420 | 507 | 483 | 459 | 24 | 24 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 370 | 0.83 | 0.000353 | 26 | |
| 480 | 509 | 484 | 459 | 25 | 25 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 430 | 1.00 | 0.000407 | 26 | |
| 540 | 509 | 485 | 460 | 24 | 25 | 0.52 | 0.54 | 0.53 | 470 | 0.67 | 0.000277 | 26 | |
| 600 | 509 | 485 | 460 | 24 | 25 | 0.52 | 0.54 | 0.53 | 530 | 1.00 | 0.000415 | 26 | |
| M.O. : | 600 | 499.55 | 475.18 | 450.73 | 24.36 | 24.45 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 530 | 0.88 | 0.000368 | 26 |
| | | | | | | | | | $\eta_7/\eta_{20} =$ | 0.895 | $k_{20} =$ | 0.000329 | |

| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 0.97 | 0.000359 |
| 0.92 | 0.000348 |
| 0.89 | 0.000337 |
| 0.88 | 0.000335 |
| 0.90 | 0.000334 |
| 0.89 | 0.000330 |
| 0.88 | 0.000334 |
| 0.90 | 0.000326 |
| 0.87 | 0.000323 |
| 0.88 | 0.000328 |
| M.O. : | 0.000336 |

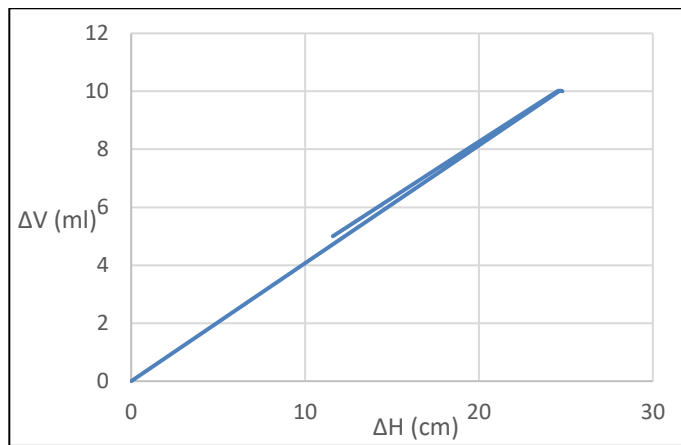
Πίνακας 6.15 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας, k , για τη τρίτη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και σε σχέση με την αρχική τιμή

| 4η Επανάληψη : | | | | Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|---------|---------|--|--------------------------|-----------|-------------------|-------|----------------------|----------|------------|----------|---------|-------------------|----------|----------------|
| Υψος κυψέλης : | | | | 269.2 | | | Δs (mm) : | | | 45.91 | 45.88 | A | 4512.62 | mm ² , | 0.004513 | m ² |
| t (s) | ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ | | | ΔH_{1-2} (mm) | ΔH_{2-3} (mm) | i_{1-2} | i_{2-3} | i^* | V (ml) | q (ml/s) | k (m/s) | T (°C) | | | | |
| | H1 (mm) | H2 (mm) | H3 (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 542 | 523 | 500 | 19 | 23 | 0.41 | 0.50 | 0.46 | 0 | 0 | 0.000000 | 26 | | | | |
| 60 | 556 | 535 | 513 | 21 | 22 | 0.46 | 0.48 | 0.47 | 52 | 0.87 | 0.000410 | 26 | | | | |
| 120 | 565 | 543 | 519 | 22 | 24 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 102 | 0.83 | 0.000368 | 26 | | | | |
| 180 | 569 | 547 | 523 | 22 | 24 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 150 | 0.80 | 0.000354 | 26 | | | | |
| 240 | 570 | 548 | 525 | 22 | 23 | 0.48 | 0.50 | 0.49 | 198 | 0.80 | 0.000362 | 26 | | | | |
| 300 | 575 | 553 | 529 | 22 | 24 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 250 | 0.87 | 0.000383 | 26 | | | | |
| 360 | 575 | 552 | 529 | 23 | 23 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 300 | 0.83 | 0.000368 | 26 | | | | |
| 420 | 575 | 553 | 529 | 22 | 24 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 350 | 0.83 | 0.000368 | 26 | | | | |
| 480 | 575 | 553 | 530 | 22 | 23 | 0.48 | 0.50 | 0.49 | 400 | 0.83 | 0.000377 | 26 | | | | |
| 540 | 576 | 554 | 530 | 22 | 24 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 450 | 0.83 | 0.000368 | 26 | | | | |
| 600 | 576 | 554 | 530 | 22 | 24 | 0.48 | 0.52 | 0.50 | 500 | 0.83 | 0.000368 | 26 | | | | |
| M.O. : | 600 | 568.55 | 546.82 | 523.36 | 21.73 | 23.45 | 0.47 | 0.51 | 500 | 0.83 | 0.000375 | 26 | | | | |
| | | | | | | | | | $\eta_7/\eta_{20} =$ | 0.895 | $k_{20} =$ | 0.000336 | | | | |

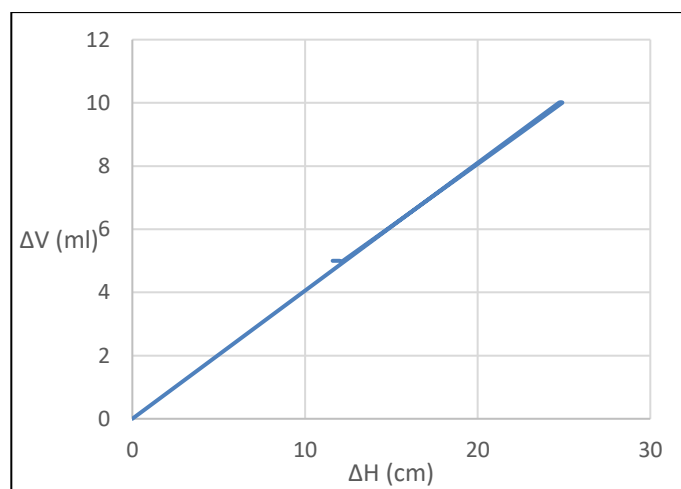
| Υπολογισμός k , με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή | |
|---|----------------|
| q_{20} (ml/s) | k_{20} (m/s) |
| 0 | 0 |
| 0.87 | 0.000367 |
| 0.85 | 0.000336 |
| 0.83 | 0.000330 |
| 0.83 | 0.000334 |
| 0.83 | 0.000330 |
| 0.83 | 0.000330 |
| 0.83 | 0.000330 |
| 0.83 | 0.000330 |
| 0.83 | 0.000337 |
| 0.83 | 0.000330 |
| 0.83 | 0.000330 |
| M.O. : | 0.000335 |



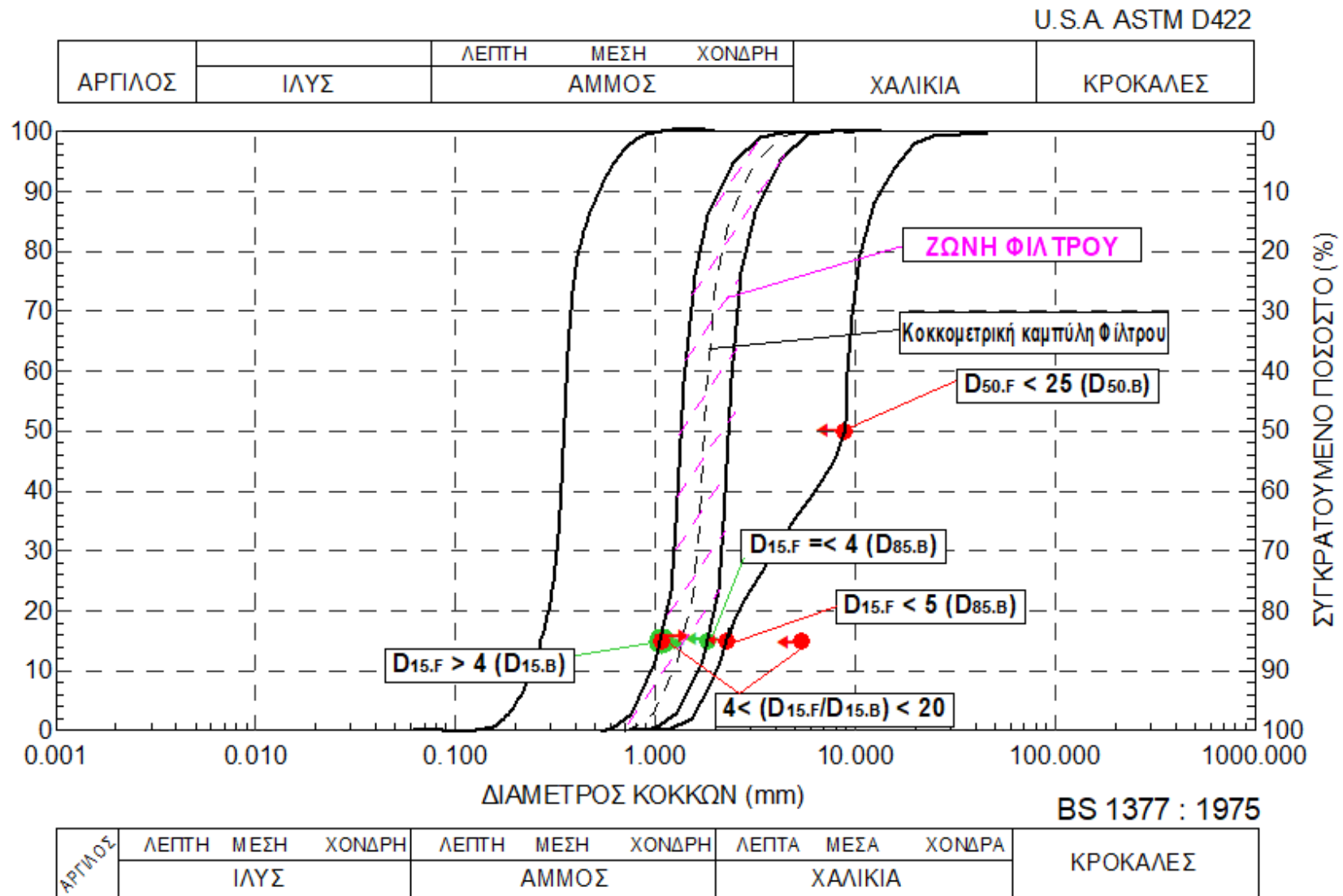
Σχήμα 6.1 Γραφική απεικόνιση διαφοράς δυναμικού με διαφορά όγκου νερού για το πρώτο μανόμετρο



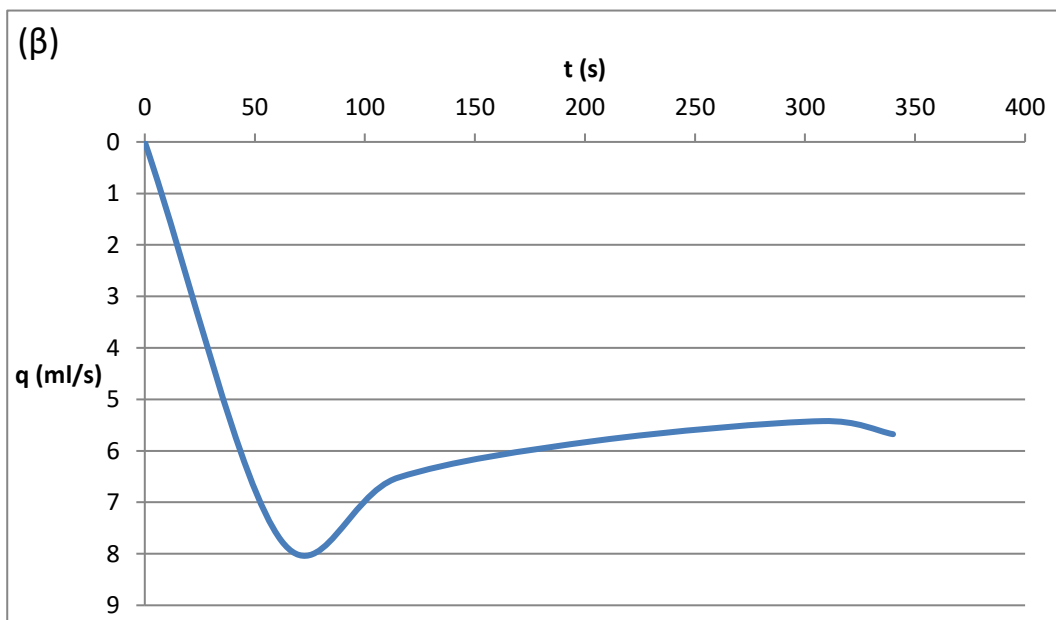
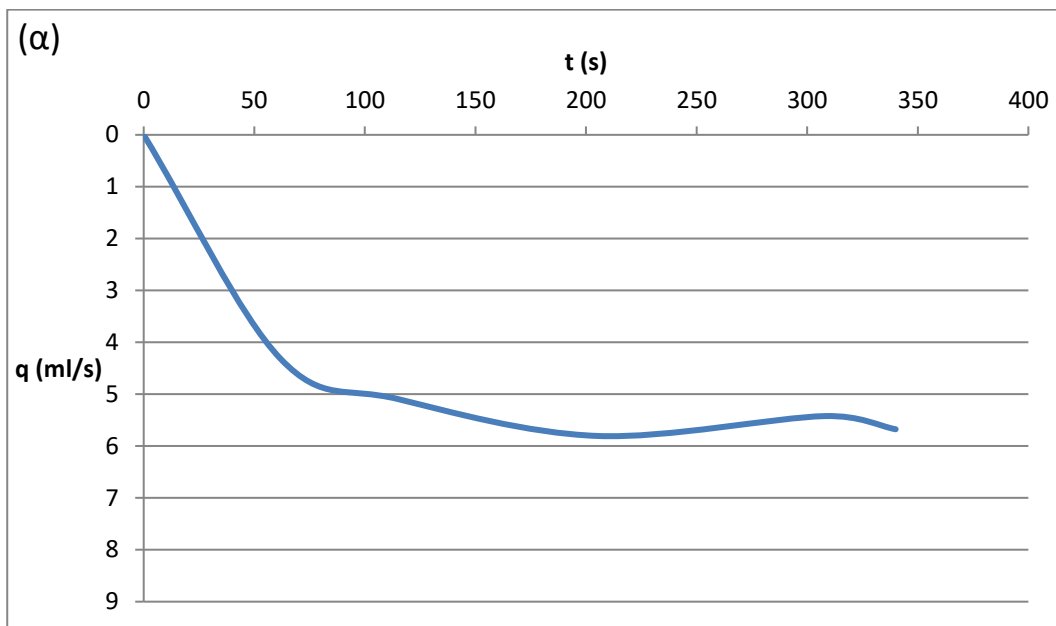
Σχήμα 6.2 Γραφική απεικόνιση διαφοράς δυναμικού με διαφορά όγκου νερού για το δεύτερο μανόμετρο



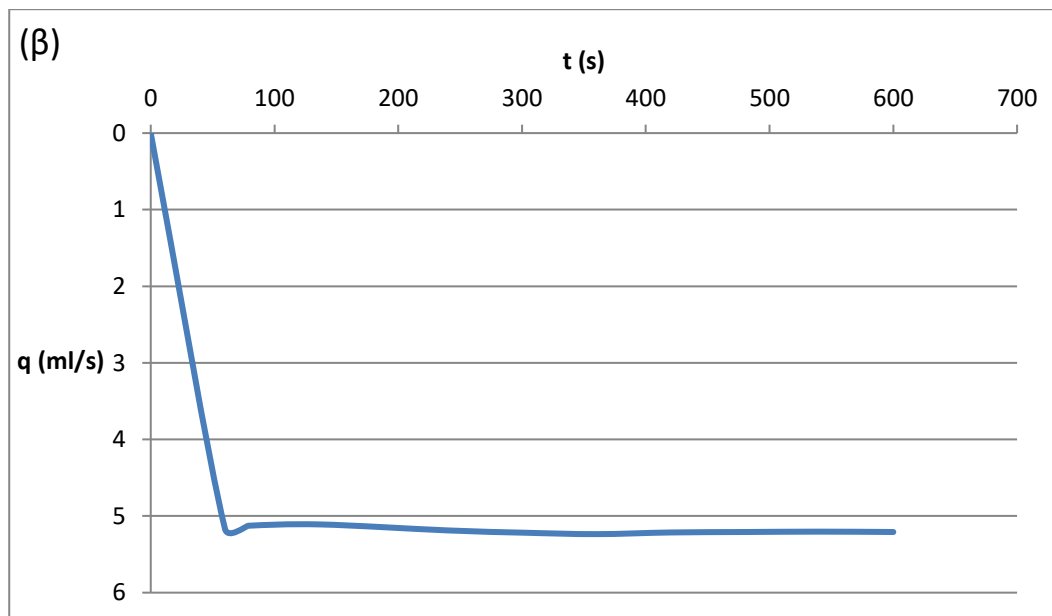
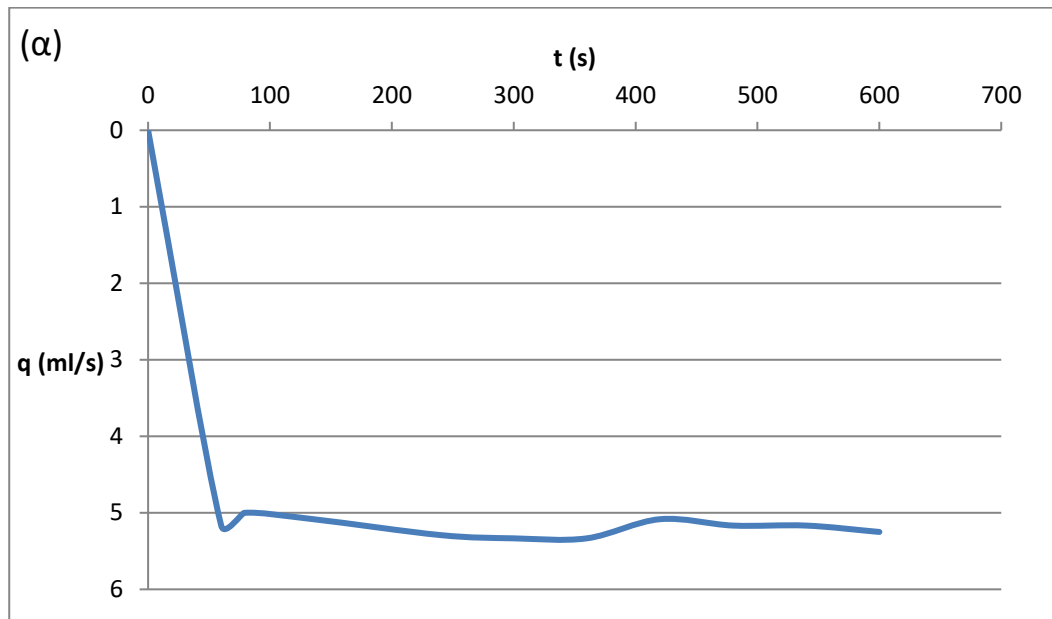
Σχήμα 6.3 Γραφική απεικόνιση διαφοράς δυναμικού με διαφορά όγκου νερού για το τρίτο μανόμετρο



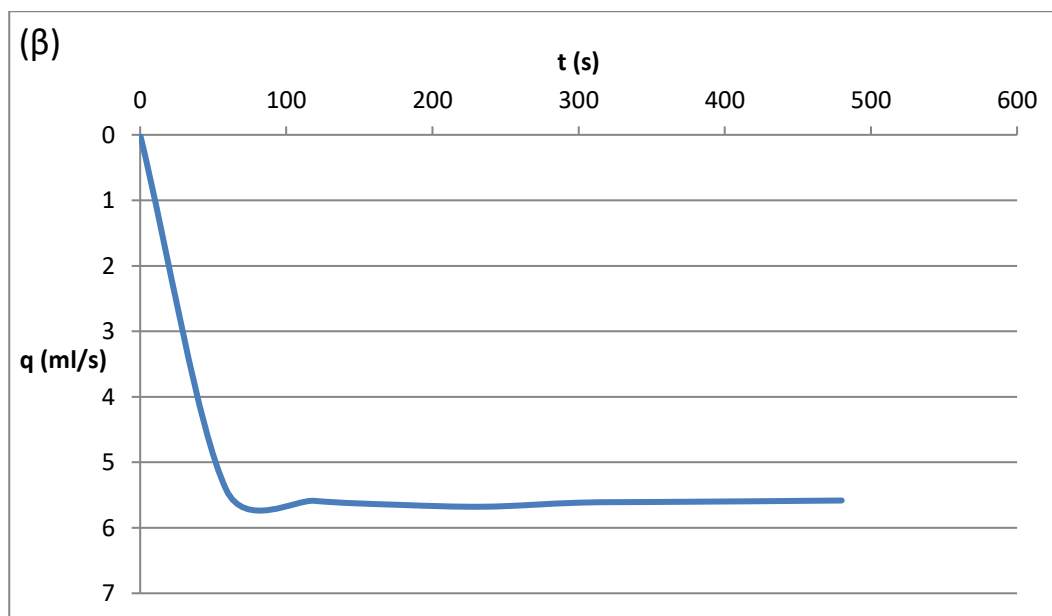
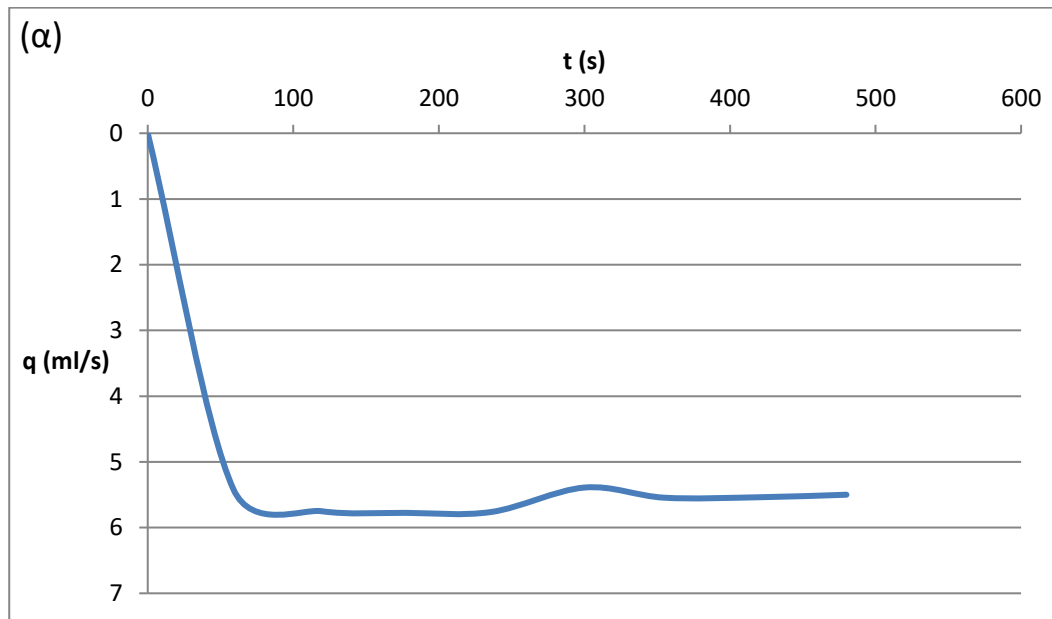
Σχήμα 6.4 Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού φίλτρου



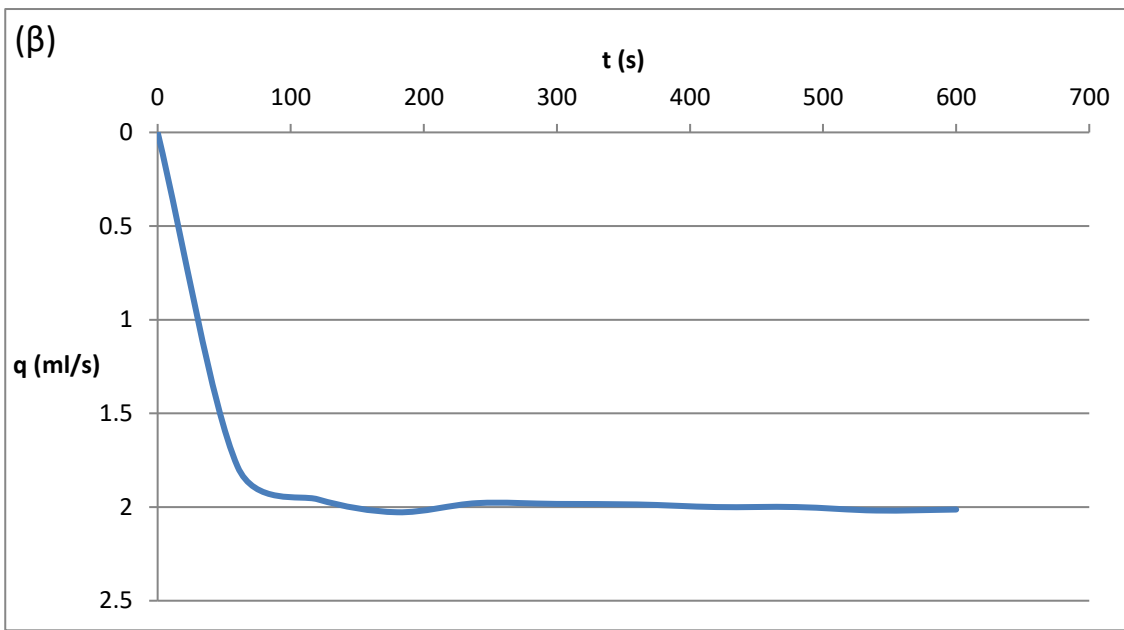
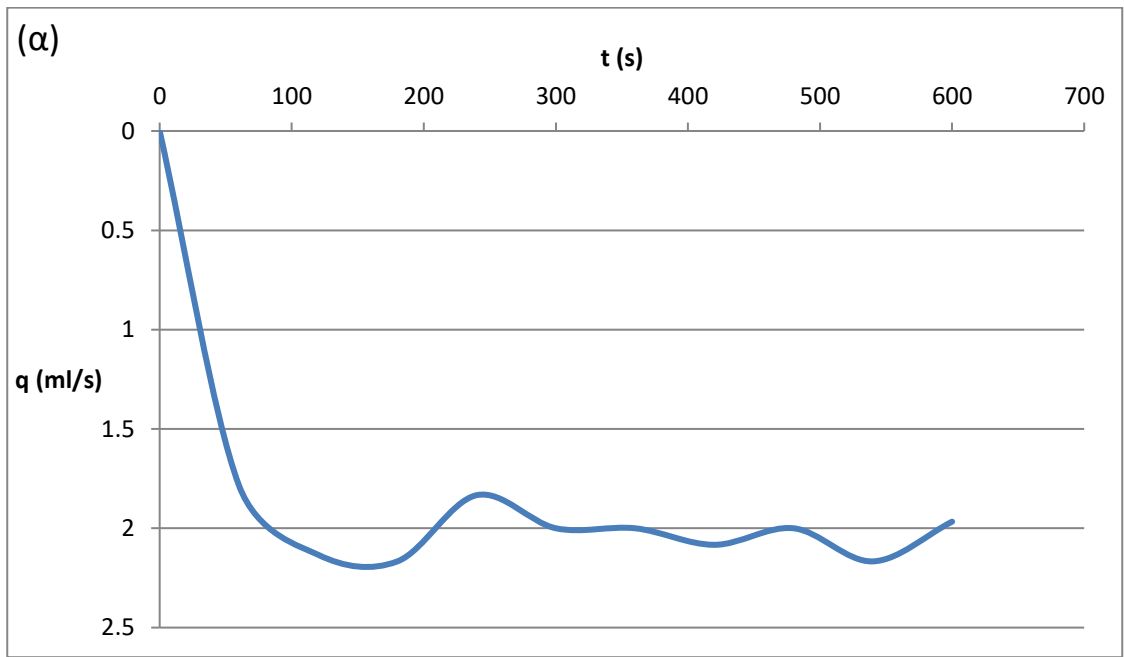
Σχήμα 6.5 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (πρώτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



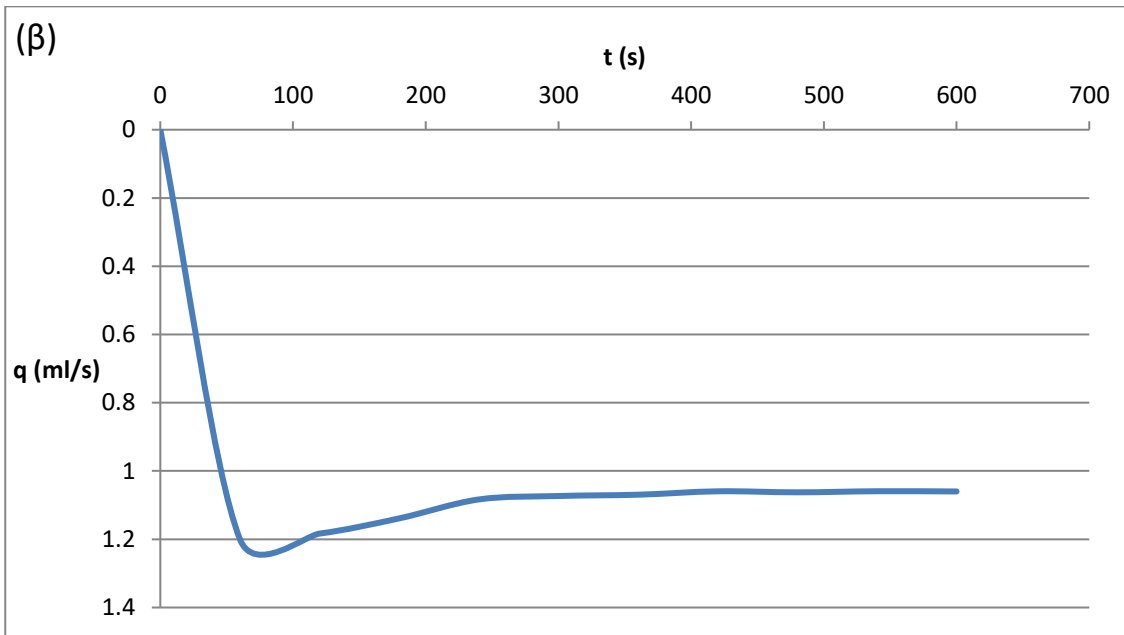
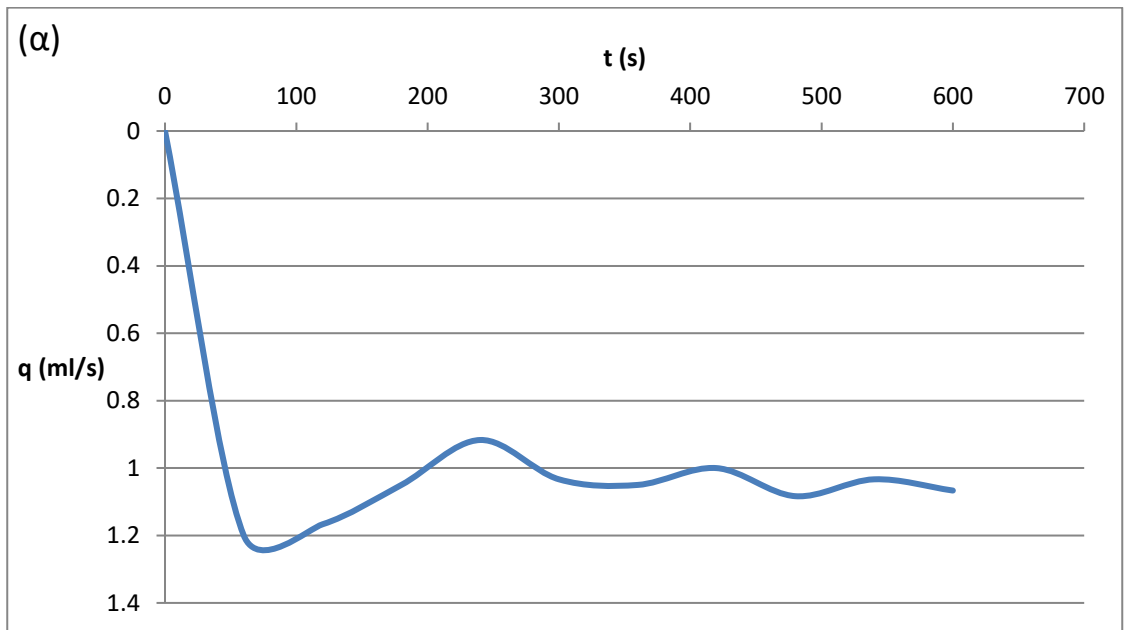
Σχήμα 6.6 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (πρώτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



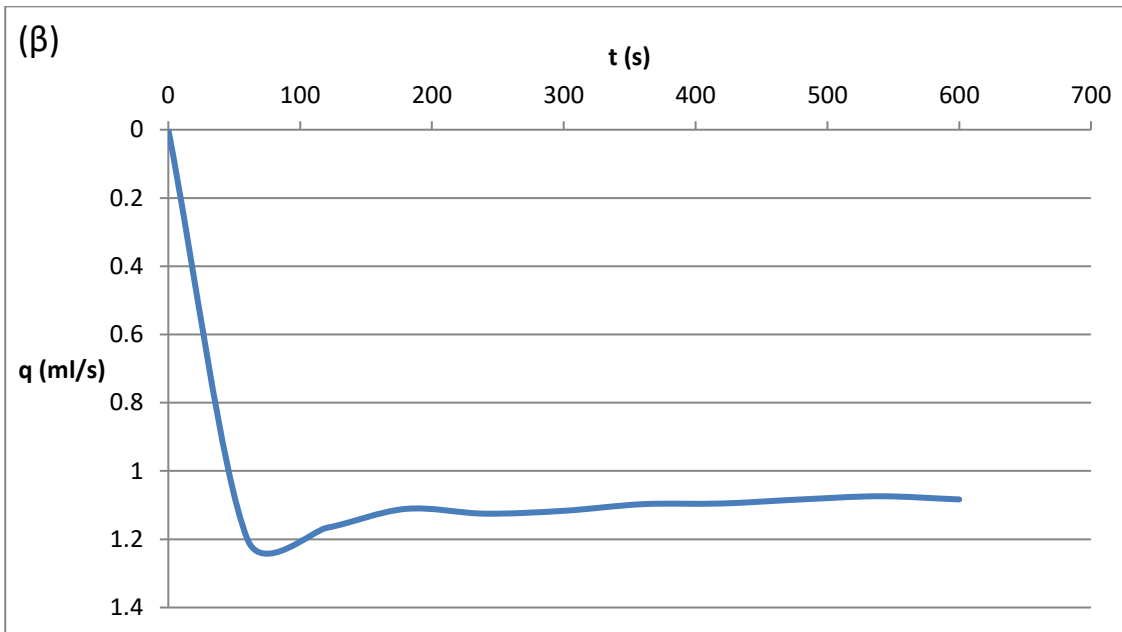
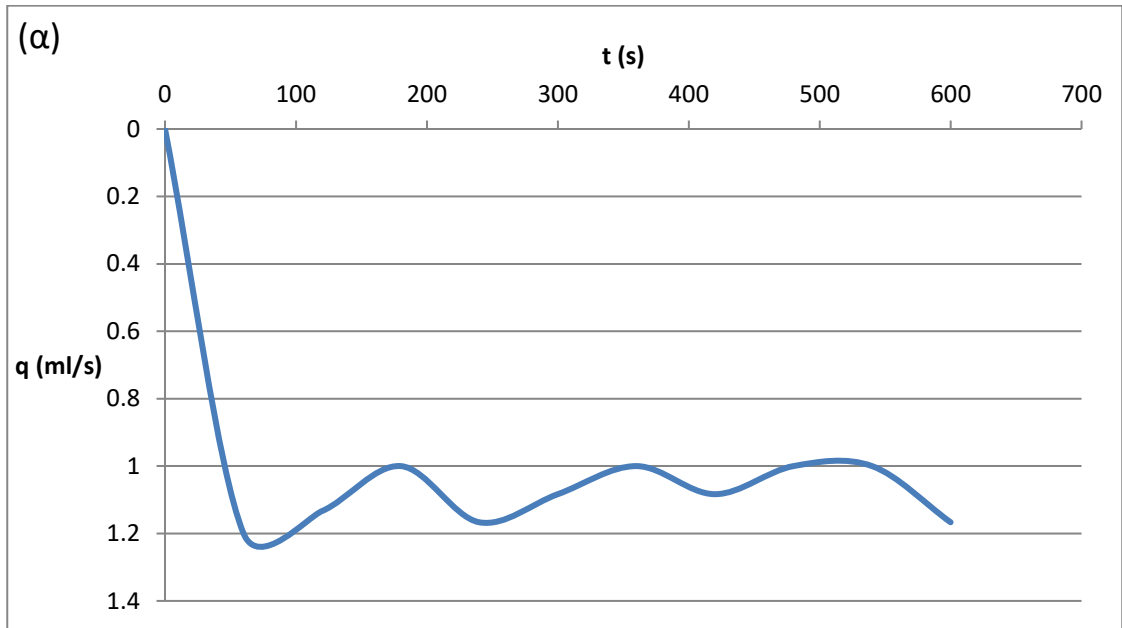
Σχήμα 6.7 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (πρώτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



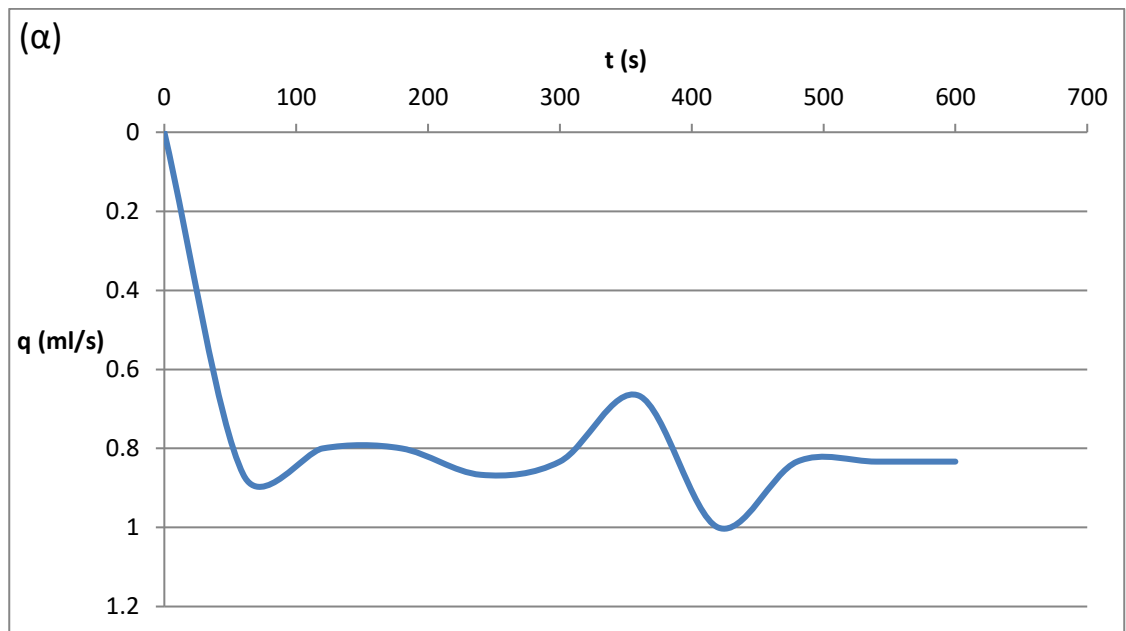
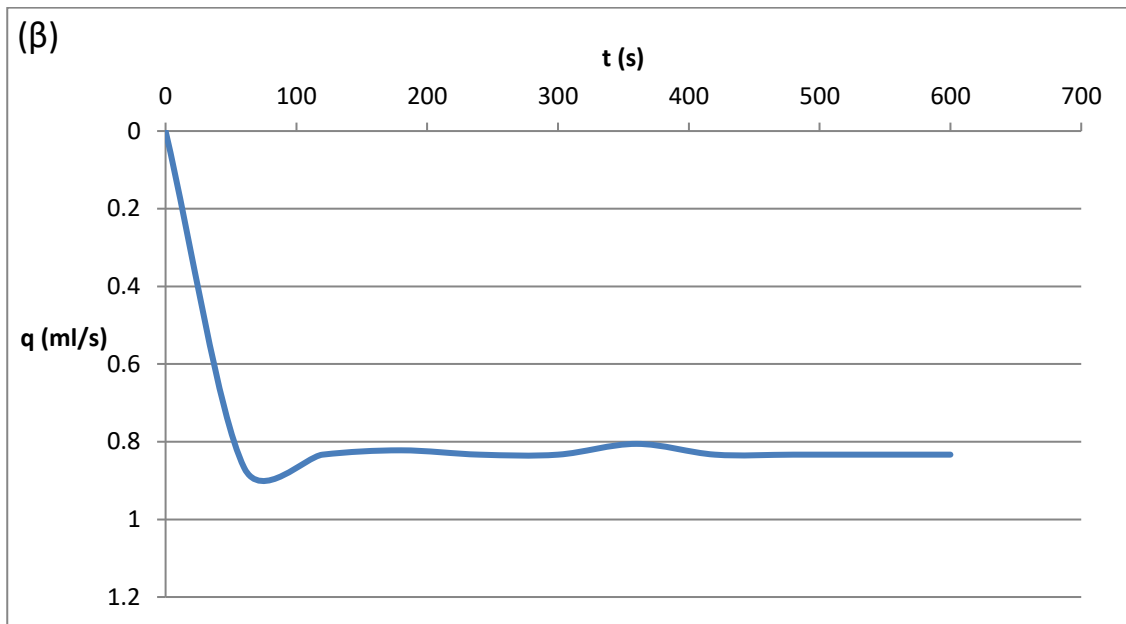
Σχήμα 6.8 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (δεύτερη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



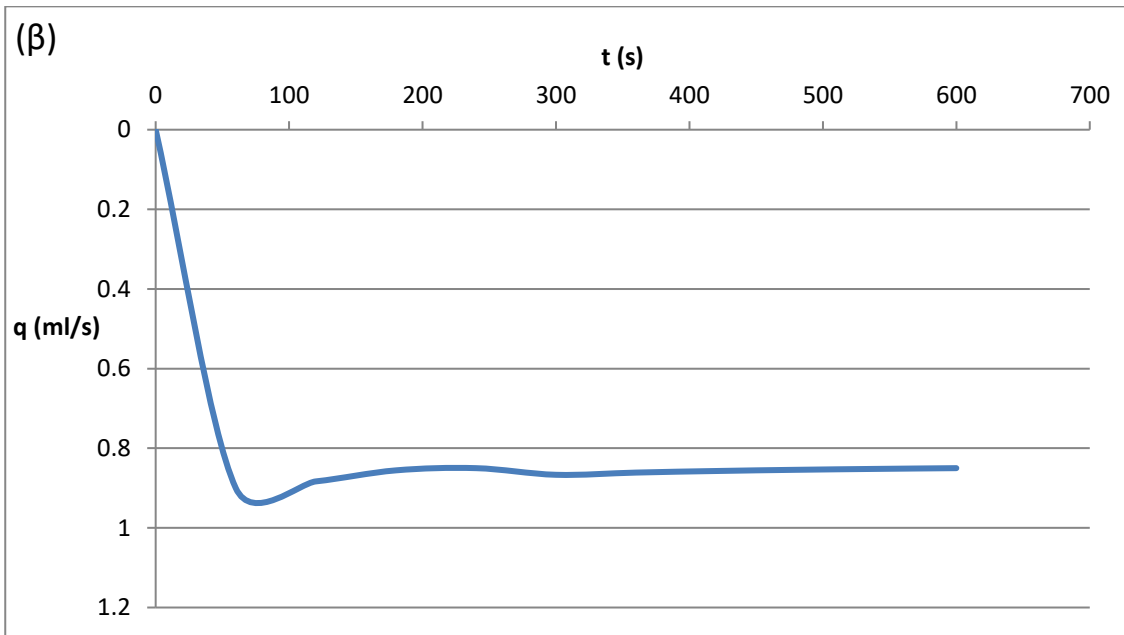
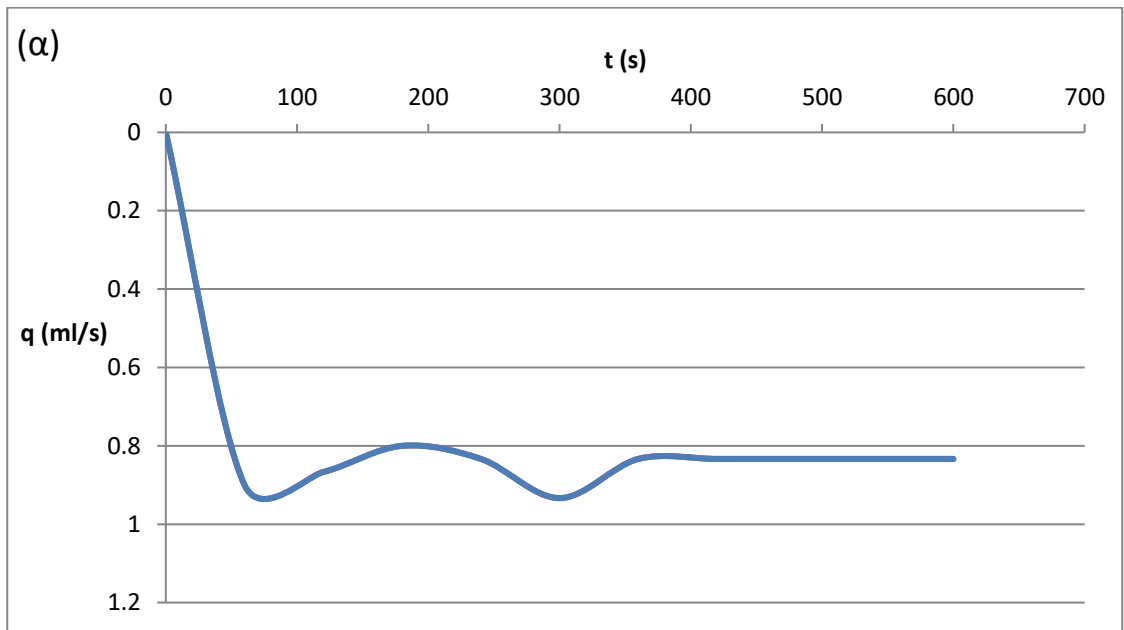
Σχήμα 6.9 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (δεύτερη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



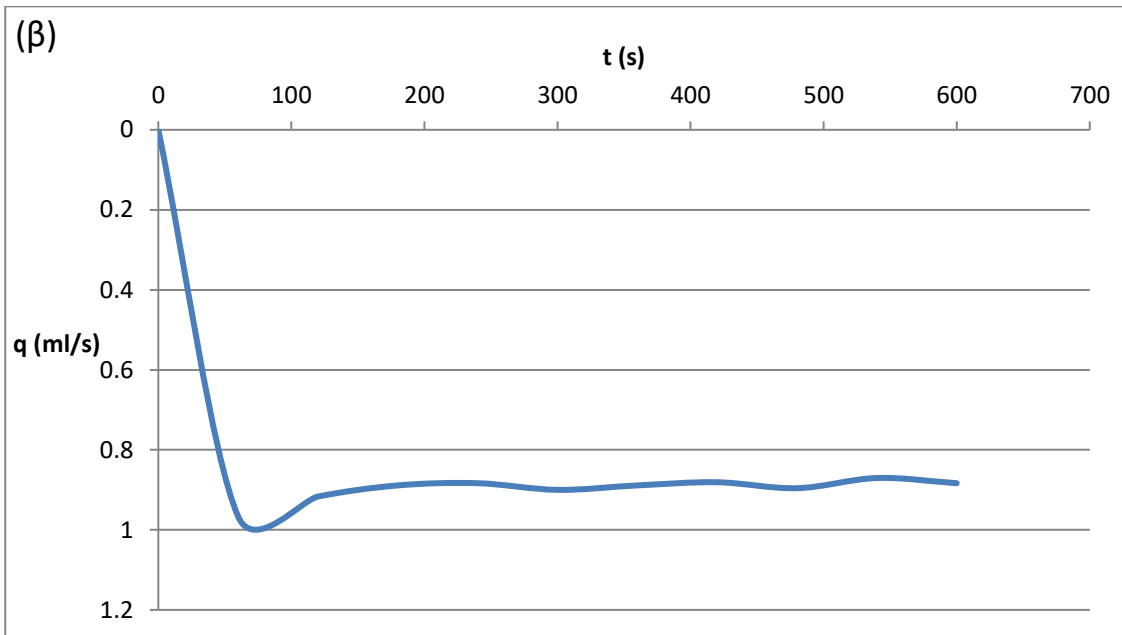
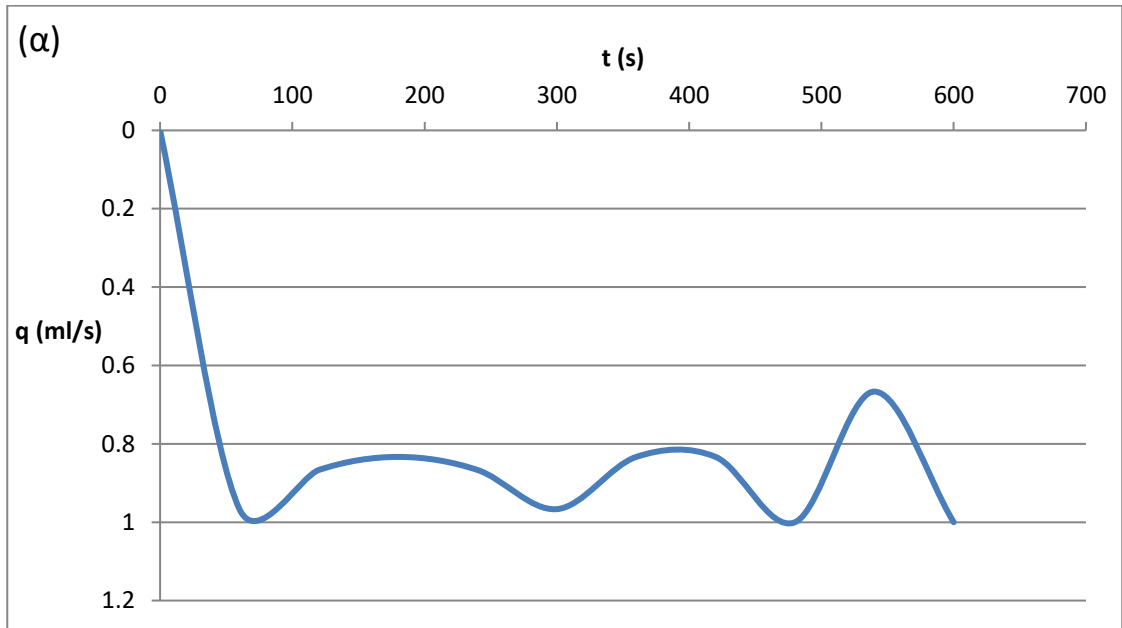
Σχήμα 6.10 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (δεύτερη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



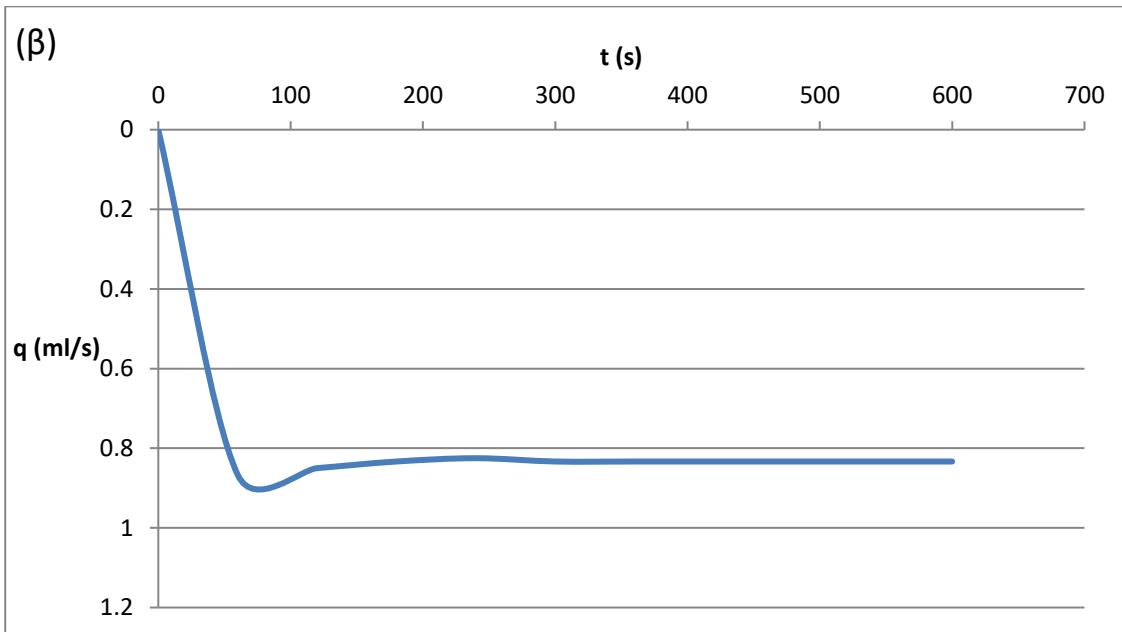
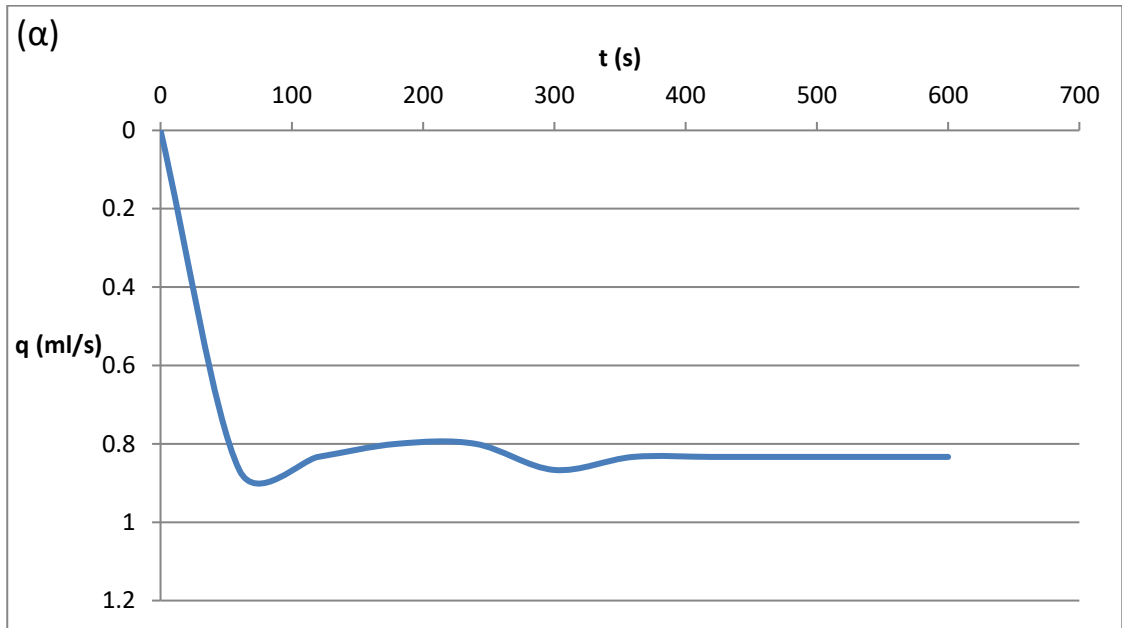
Σχήμα 6.11 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



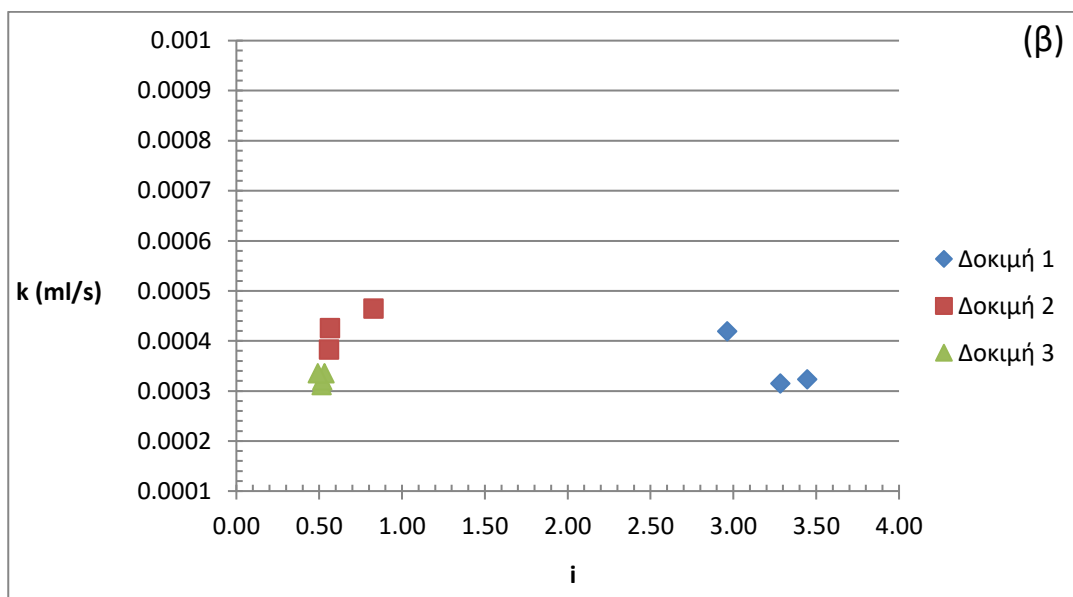
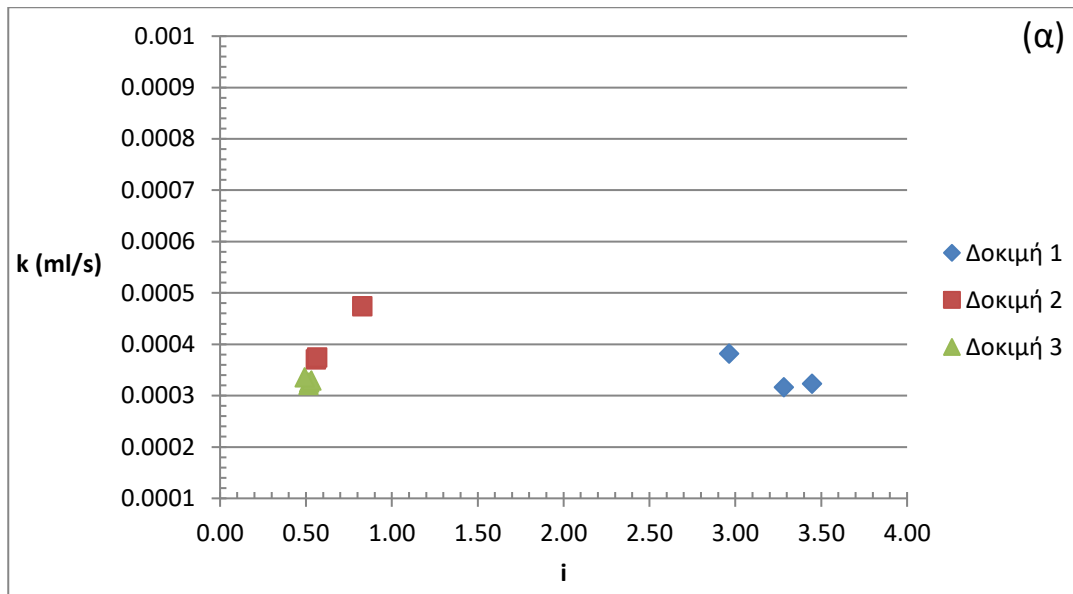
Σχήμα 6.12 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



Σχήμα 6.13 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



Σχήμα 6.14 Γραφική συσχέτιση της διηθούμενης παροχής με το χρόνο (τρίτη δοκιμή) λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή



Σχήμα 6.15 Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε υδραυλική βαθμίδα λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά όγκου, ΔV , : (α) σε σχέση με την ακριβώς προηγούμενη τιμή και (β) σε σχέση με την αρχική τιμή

Κεφάλαιο 7 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας, k , μιας πλήρως κορεσμένης, καθαρής, ομοιόμορφης άμμου στην πολύ πυκνή κατάσταση, στη συσκευή σταθερού υδραυλικού φορτίου.

Εκτελούνται τρεις δοκιμές σε διαφορετικές πυκνότητες, κατά τις οποίες εφαρμόζονται διαφορετικές υδραυλικές βαθμίδες. Η τιμή της σχετικής πυκνότητας D_r είναι 99,99 % , 91,54 % και 92,65 % αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας, k , έχει σχετικά μικρή διακύμανση στις διάφορες υδραυλικές βαθμίδες των δοκίμων. Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ $3,16 \times 10^{-4}$ και $4,74 \times 10^{-4}$, για την περίπτωση που υπολογίζεται η διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την προηγούμενη τιμή, και μεταξύ $3,12 \times 10^{-4}$ και $4,65 \times 10^{-4}$, για την περίπτωση που υπολογίζεται η διαφορά όγκου, ΔV , σε σχέση με την αρχική τιμή. (Πίνακας 7.1). Η μέση τιμή του είναι $3,55 \times 10^{-4}$ και $3,64 \times 10^{-4}$ αντίστοιχα, οι οποίες συμφωνούν με τις συνήθεις τιμές για καθαρή άμμο (10^{-5} - 10^{-2} m/s Σχήμα 2.12) και ο βαθμός διαπερατότητας χαρακτηρίζεται ως μέσος (Κεφάλαιο 2, Πίνακας 2.3).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι για δοκίμια στην πολύ πυκνή κατάσταση, η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας είναι ανεξάρτητη της υδραυλικής βαθμίδας. ($i=0,5$ - $3,5$, Σχήμα 7.1)

Στη συνέχεια, προσδιορίζεται ο συντελεστής διαπερατότητας, k , σύμφωνα με τις εμπειρικές συσχετίσεις που αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 2.7). Ως τιμή του δείκτη πόρων, e , χρησιμοποιείται η τιμή που προέκυψε από τη τρίτη δοκιμή, στην οποία η υδραυλική βαθμίδα ισούται με 0,5 (που ορίζει ο κανονισμός).

➤ Εξίσωση Hazen σε συμβατικές μονάδες SI:

❖ Εάν ο συντελεστής C_1 είναι 100, τότε :

$$k = C_1(D_{10})^2 \times 10^{-4} = 0.001(D_{10})^2 = 0.001(0.238)^2 = 5,66 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$$

❖ Εάν ο συντελεστής C_1 είναι 16 (Lambe and Whitman, 1979), τότε :

$$k = C_1(D_{10})^2 \times 10^{-4} = 0.0016 (D_{10})^2 = 0.0016 (0.238)^2 = 9,06 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$$

➤ Εξίσωση Kozeny-Carman για θερμοκρασία 20 °C :

❖ Για στρογγυλεμένους κόκκους, $f=1,1$, $S=25 \text{ mm}^{-1}$

$$k_{20} = \frac{2}{fS^2} \left(\frac{e^3}{1+e} \right) = \frac{2}{1,1 \times 25^2} \left(\frac{0.579^3}{1+0.579} \right) = 3,58 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

➤ Εξίσωση Charuis :

$$k = 2.4622 \left[\frac{e^3}{1+e} D_{10}^2 \right]^{0.7825} = 2.4622 \left[\frac{0.579^3}{1+0.579} * 0.238^2 \right]^{0.7825} = 5,05 * \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

➤ Εξίσωση Terzaghi :

❖ Για ομαλά στρογγυλεμένους κόκκους, $C_0=8$ και ο λόγος $\mu_{10}/\mu_T=1,3$

$$k = C_0 \frac{\mu_{10}}{\mu_T} \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1-n}} \right)^2 D_{10}^2 = 8 \times 1,3 \times \left(\frac{0,358 - 0.13}{\sqrt[3]{1 - 0,358}} \right)^2 \times 0.238^2 = 4,47 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

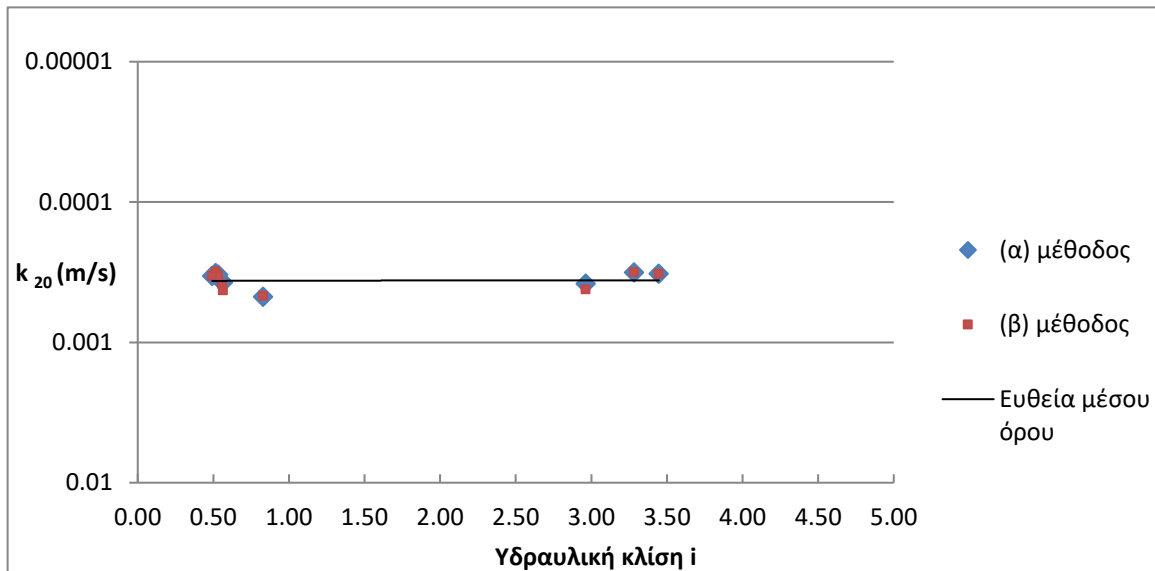
όπου,

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.579}{1+0.579} = 0,367$$

Από τη σύγκριση του συντελεστή διαπερατότητας, που προκύπτει από τη τρίτη δοκιμή, με τα αποτελέσματα των παραπάνω εμπειρικών συσχετίσεων παρατηρείται ότι, ο συντελεστής της δοκιμής είναι σχεδόν ίσος με το συντελεστή σύμφωνα με τους Kozeny-Carman.

Πίνακας 7.1 Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε υδραυλική βαθμίδα

| Dr(%) | i | k (ml/s) Με ΔV σε σχέση με την προηγούμενη τιμή | k (ml/s) Με ΔV σε σχέση με την αρχική τιμή |
|----------|------|---|--|
| Δοκιμή 1 | | | |
| 99,99 | 2,96 | 0,000382 | 0,000420 |
| | 3,28 | 0,000316 | 0,000315 |
| | 3,45 | 0,000323 | 0,000324 |
| Δοκιμή 2 | | | |
| 91,54 | 0,83 | 0,000474 | 0,000465 |
| | 0,56 | 0,000370 | 0,000383 |
| | 0,56 | 0,000374 | 0,000426 |
| Δοκιμή 3 | | | |
| 92,65 | 0,52 | 0,000321 | 0,000312 |
| | 0,52 | 0,000325 | 0,000322 |
| | 0,53 | 0,000329 | 0,000336 |
| | 0,49 | 0,000336 | 0,000335 |
| M.O. | | 0,000355 | 0,000364 |



Σχήμα 7.1 Γραφική απεικόνιση του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε υδραυλική βαθμίδα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βράννα Α., (2016), Εργαστηριακή Μελέτη της Μονοτονικής και Ανακυκλικής Συμπεριφοράς Βελτιωμένων Ρευστοποιήσιμων Εδαφών Τόμος 1, Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- [2] Καββαδά Μ., (2005), Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα
- [3] Καλλιόγλου Π., (2015), Εδαφομηχανική 2 Σημειώσεις μαθημάτων, Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος.
- [4] Καλλιόγλου Π., (2016), Πειραματική Εδαφομηχανική Σημειώσεις μαθημάτων, Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Εργαστήριο Εδαφομηχανικής, Βόλος.
- [5] Κούκης Χ. Γ., Σαμπατακάκης ΣΤ. Ν, (2002), Τεχνική Γεωλογία, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ
- [6] Κουλαουζίδου Κυριακή, (2016), Η Επίδραση των Λεπτόκοκκων στη Διατμητική Αντοχή Άμμου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος
- [7] Κωστόπουλος Σ., (2005), Πειραματική Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [8] Λουπασάκης Κ., (2014), Τεχνική Γεωλογία 1 Σημειώσεις μαθημάτων, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας - Υδρογεωλογίας, Αθήνα.
- [9] Τίκα, Θ., (2006), Σημειώσεις Εδαφομηχανικής, Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη
- [10] Barnes G.E., (2005), Εδαφομηχανική Αρχές και Εφαρμογές, Εκδοσεις ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- [11] ASTM D 422-63, (1998), Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA

- [12] ASTM D2434-68(2006) Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) (Withdrawn 2015)
- [13] ASTM Standard D698, (2007), Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM International, West Conshohocken, PA
- [14] Bertram G. E., (1940), An experimental investigation of protective filters, Harvard University, Graduate School of Engineering, Soil Mechanics Series 7
- [15] BS 1377-2, (1990), Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Classification Tests, British Standards Institution.
- [16] BS 1377-4, (1990), Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes. Compaction-related Tests, British Standards Institution.
- [17] Carman P. C., (1956), "Flow of gases through porous media", Butterworths Scientific
- [18] Carman P.C., (1938), "Fluid flow through a granular bed", Transaction of the Institution of Chemical Engineers
- [19] Chapuis R.P., (2004), "Predicting the Saturated Hydraulic Conductivity of Sand and Gravel Using Effective Diameter and Void Ratio", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 41
- [20] Cheng C. and Chen X., (2007), "Evaluation of methods for determination of hydraulic properties in an aquifer-aquitard system hydrologically connected to river", Hydrogeology Journal, Vol. 15
- [21] Darcy H., (1856), Les fontaines publique de la ville de Dijon, Dalmont, Paris
- [22] Dewitt W.M. (1950), A Field Method of Determining Permeability, The Rice Institute, Houston Texas
- [23] Geotechdata.info (2008), Geotechnical testing methods
- [24] Hansbo S., (1960), Consolidation of Clay, with Special Reference to Influence of Vertical Sand Drains, Sweden
- [25] Hazen A., (1982), Some physical properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration, 24th Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Boston, MA, USA

- [26] Head K.H., and Epps R. J., (2006), Manual of Soil Laboratory Testing: Volume 2 - Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests (Volume 2), Whittles Publishing.
- [27] Kaye G. W. C. and Laby T. H., (1973), Tables of Physical and Chemical Constants (14th edition), Longman, London
- [28] Kozeny J., (1927), Über kapillare Leitung des Wassers in Boden, Ber, Wien Akad
- [29] Lambe T. W. and Whitman R. V., (1979), Soil Mechanics, S.I. Version, Wiley, New York
- [30] Lane K. S. and Washburn D. E., (1946), Capillarity tests by capillarimeter and soil filled tubes, Proc. Highw, Res. Board, Vol. 26
Publications, London
- [31] Taylor D. W., (1948), Fundamentals of Soil Mechanics, Chapman & Hall, London
- [32] Terzaghi C., (1925), "Principles of soil mechanics: III. Determination of permeability of clay", Engineering News Records, Vol. 95
- [33] Terzaghi K. and Peck R. B., (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, New York