

# ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

## ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



# ΙΩΑΝΝΗΣ Ν. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ

# ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





## ΙΩΑΝΝΗΣ Ν. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5675

# ΕΚΤΊΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,

Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

## <u>Επιβλέπων</u>

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής Υδρογεωλογίας Α.Π.Θ.

#### <u>Επικουρία στην Επίβλεψη</u>

Νεραντζής Καζάκης, Δρ. Υδρογεωλογίας Α.Π.Θ.

© Ιωάννης Ν. Ιωαννίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ - Διπλωματική Εργασία

©Ioannis N. Ioannidis, School of Geology, Department of Structural, Historical and Applied Geology, 2023.

All rights reserved.

ESTIMATION OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF THE UNSATURATED ZONE IN ANTHEMOUNTA'S BASIN – Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την εκτίμηση, αλλά και τον σχολιασμό της υδραυλικής αγωγιμότητας στην ακόρεστη ζώνη της λεκάνης του Ανθεμούντα. Η υδραυλική αγωγιμότητα είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του εδάφους, καθώς επηρεάζει, σημαντικά, την υδρολογική ισορροπία της εκάστοτε περιοχής. Η έρευνα στηρίζεται σε δεδομένα, τα οποία συλλέχθηκαν μέσα από εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε 50 δείγματα από την περιοχή έρευνας. Τα δείγματα αυτά μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, όπου και έλαβε χώρα η κοκκομετρική τους ανάλυση. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν στη γεωλογία, το κλίμα, την τεκτονική και την υδρογεωλογία της περιοχής, καθώς επιδρούν καθοριστικά στην τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, αλλά και τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά από την αξιολόγησή τους.



Η υδραυλική αγωγιμότητα, ή αλλιώς υδροπερατότητα, αναφέρεται στην ικανότητα ενός υλικού να επιτρέπει τη ροή του νερού μέσα σε αυτό. Εξαρτάται άμεσα από το πορώδες, το σχήμα και τη διάταξη των κόκκων του σχηματισμού, αλλά και από τις ιδιότητες του νερού. Αποτελεί σημαντικό παράγοντα του εδάφους και του υδρολογικού συστήματος μιας περιοχής, αφού επηρεάζει τη ροή του νερού και, κατά συνέπεια, τη μεταφορά ρύπων στο υπέδαφος.

Στόχος λοιπόν αυτής της εργασίας είναι ο υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας στην ακόρεστη ζώνη της λεκάνης του Ανθεμούντα, καθώς και η κατανόηση των συνθηκών, που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή. Αυτό το πετύχαμε μέσα από εκτεταμένη έρευνα, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο, όσο και σε πρακτικό. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 50 δειγμάτων από την περιοχή του Νέου Ρυσίου με στόχο την υλοποίηση ορισμένων εργαστηριακών δοκιμών. Τα δείγματα αυτά μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, όπου και υποβλήθηκαν στις απαραίτητες μετρήσεις. Αυτές περιλάμβαναν τον υπολογισμό υγρασίας, την κοκκομετρική ανάλυση, καθώς και τον υπολογισμό των ορίων Atterberg. Παράλληλα, παρουσιάζεται η γεωλογία, η γεωμορφολογία και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας συγκεκριμένες εμπειρικές σχέσεις, προσδιορίσθηκε η υδροπερατότητα. Τέλος, αφού παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από όλες τις μεθόδους και τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, έγινε σύγκριση αυτών και εξάγονται συμπεράσματα για τη συνολική εικόνα της περιοχής.



Hydraulic conductivity, or water permeability, refers to the ability of a material to allow water to flow through it. It depends directly on the porosity, shape and particle arrangement of the geological formation and the properties of the water. It is an important factor in understanding the soil and hydrological system of a region, as it affects the flow of water and, consequently, the transport of pollutants to the subsurface.

The aim of this study was to calculate the hydraulic conductivity in the unsaturated zone of the Anthemounda basin, as well as to understand the conditions prevailing in the wider area. This was achieved through extensive research, both theoretical and practical. Initially, we sampled 50 samples from Neo Rysio in order to conduct some laboratory tests. We took these samples to the Laboratory of Technical Geology and Hydrogeology of the Aristotle University of Thessaloniki, where they were subjected to the necessary measurements. These included moisture calculation, particle size analysis as well as calculation of Atterberg limits. At the same time, we presented the geology, geography, and hydraulic features of the area. Then, by applying empirical formulas, we determined the water permeability. Finally, after presenting the results from all the methods and the laboratory tests we used, we reached our conclusions about the overall picture of the area, regarding its hydraulic conductivity.



# Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ПЕРІЛНѰН	6
ABSTRACT	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	2
2.1 Γεωγραφική θέση	2
2.2 Κλίμα περιοχής	4
3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	5
3.1 Γεωλογία και παλαιογεωγραφία	5
3.1.1 Γεωλογία ζώνης Παιονίας	6
3.1.2 Γεωλογία Περιροδοπικής ζώνης	6
3.1.3 Γεωλογία Σερβομακεδονικής μάζας	7
3.2 Τεκτονική και λιθοστρωματογραφία	8
4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	11
4.1 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών	11
4.2 Υδροφόρο υποσύστημα Νέου Ρυσίου	12
4.3 Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφορέων	13
4.4 Μηχανική σύσταση του εδάφους και πεδοσυνάρτηση περατότητας	14
5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	16
5.1 Δειγματοληψία δειγμάτων	16
5.2 Ανάλυση ιλύος με αραιόμετρο	19
5.3 Όρια Atterberg	23
5.3.1 Εργαστηριακός προσδιορισμός	23
5.3.2 Όριο υδαρότητας (LL)	24
5.3.3 Οριο πλαστικότητας (PL)	25
5.4 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα	27
5.4.1 Εργαστηριακός προσδιορισμός	27
5.5 Εφαρμογή εμπειρικών τύπων	29
6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	31
6.1 Παραδείγματα από την ανάλυση ιλύος με αραιόμετρο:	31
6.2 Παραδείγματα από την κοκκομετρική ανάλυση	
6.3 Παραδείγματα από τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg	37

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	
<b>ΟΕΟΦΡΑΣΤΟΣ''</b> 64. Υδοσυλική σχωχιμότητα	43
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54
ПАРАРТНМА	



Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε από τον προπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης Ιωαννίδη Ιωάννη με στόχο τον προσδιορισμό της περατότητας της ακόρεστης ζώνης, στην περιοχή του Νέου Ρυσίου, στη λεκάνη του Ανθεμούντα, υπό την επίβλεψη του καθηγητή Υδρογεωλογίας κ. Κωνσταντίνου Βουδούρη, καθώς και την επικουρία στην επίβλεψη του Δρ. Υδρογεωλογίας κ. Νεραντζή Καζάκη. Επίσης, καθοριστική ήταν η συμβολή του κ. Νικόλαου Χατζηγώγου, Δρ. Τεχνικής Γεωλογίας, και του μεταπτυχιακού φοιτητή Αγησίλαου Πούλιου.

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου που χρηματοδοτείται από το ΕΛΙΔΕΚ με τίτλο Groundwater depletion: Are Eco-friendly energy dams a solution? με επιστημονικά υπεύθυνο τον κ. Καζάκη Νεραντζή. Συνεπώς, οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο ΕΛΙΔΕΚ για τη χρηματοδότηση του έργου και την παροχή δεδομένων του ερευνητικού έργου.

Όπως είναι γνωστό, η υδραυλική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός σχηματισμού να επιτρέπει τη διέλευση του νερού μέσα από αυτόν. Επίσης, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια για την κατανόηση και για τον χαρακτηρισμό της υδρογεωλογίας μιας περιοχής, ενώ, παράλληλα, επηρεάζει τον τρόπο, με τον οποίο θα πρέπει να γίνει η διαχείριση των υδατικών πόρων ή οποιουδήποτε άλλου τοπικού υδρολογικού έργου. Έτσι, η εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας της ακόρεστης ζώνης, στη λεκάνη του Ανθεμούντα, συμβάλλει στην υδρογεωλογική αξιολόγηση της περιοχής και, κατ' επέκταση, μπορεί να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω μελέτες, σχετικά με την περιβαλλοντική προστασία της περιοχής.

Η έρευνα αυτή στηρίζεται σε δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πεδίο, καθώς και σε εργαστηριακές δοκιμές και αναλύσεις. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν οι εξής εργασίες:

- Συλλογή βιβλιογραφίας σχετικά με την περιοχή έρευνας.
- Δειγματοληψία υπαίθρου από 5 σημεία σε βάθος έως 2 μέτρα.
- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας δειγμάτων.
- Κοκκομετρική ανάλυση και ανάλυση ιλύος με χρήση αραιομέτρων στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ.
- Προσδιορισμός ορίων Atterberg, με τη μέθοδο πίπτοντος κώνου.
- Εφαρμογή εμπειρικών σχέσεων για τον υπολογισμό της υδροπερατότητας.
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

# 2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

#### 2.1 Γεωγραφική θέση

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΙΦΡΑΣ

Α.Π.Θ

Το Νέο Ρύσιο (Δημοτική Κοινότητα Νέου Ρυσίου - Δημοτική Ενότητα Θέρμης), ανήκει στον Δήμο Θέρμης της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης, και κατά συνέπεια στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. που βρίσκεται στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας, όπως διαμορφώθηκε με το πρόγραμμα "Καλλικράτης" (Σχήμα 1). Η επίσημη ονομασία είναι "το Νέον Ρύσιον" και, σύμφωνα με την απογραφή του 2021, έχει 2.845 μόνιμους κατοίκους. Έδρα του Δήμου είναι η Θέρμη και ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα Μακεδονίας. Το Νέο Ρύσιο είναι κωμόπολη του Δήμου Θέρμης και αποτελεί προάστιο της πόλης της Θεσσαλονίκης, καθώς βρίσκεται σε απόσταση 22 Km νότια. Το δημοτικό διαμέρισμα Νέου Ρυσίου αποτελεί τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα, καταλαμβάνει έκταση 15.068 στρέμματα και χαρακτηρίζεται ως πεδινή περιοχή με λόφους χαμηλού υψομέτρου. Το μεγαλύτερο τμήμα αποτελείται από καλλιεργούμενες εκτάσεις, ενώ αντίστοιχα οι δασικές είναι αρκετά λιγότερες. Σημαντικό κομμάτι του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής αποτελούν τα δύο ρέματα εποχικής ροής, που βρίσκονται ανατολικά και δυτικά του οικισμού.



Σχήμα 1: Θέση περιοχής έρευνας.

Η λεκάνη του Ανθεμούντα (Σχήμα 2), στην οποία ανήκει το Νέο Ρύσιο, βρίσκεται σε απόσταση, περίπου, 15 χιλιομέτρων από τη Θεσσαλονίκη και υπάγεται στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Το ανατολικό της τμήμα υπάγεται στην Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής, ενώ το κεντρικό και το δυτικό υπάγονται στην Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης και, πιο συγκεκριμένα, στον Δήμο Θέρμης και στον Δήμο Θερμαϊκού, αντίστοιχα. Εκτός από το Νέο Ρύσιο, κάποια από τα μεγαλύτερα χωριά, που περιλαμβάνει η λεκάνη του Ανθεμούντα, είναι η Γαλάτιστα, τα Βασιλικά, η Σουρωτή, η Θέρμη, η Περαία και η Αγία Τριάδα, καθώς εκτείνεται από τον Θερμαϊκό κόλπο ως την κεντρική Χαλκιδική, και το χωριό Βάβδος. Διατρέχεται από τον ποταμό Ανθεμούντα, ο οποίος έχει μήκος 38 km, πηγάζει από την περιοχή της Γαλάτιστας και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο με κατεύθυνση Α-Δ. Η συνολική έκταση της λεκάνης είναι 374,7 km<sup>2</sup>, το μέγιστο πλάτος της φτάνει τα 18,7 km με διεύθυνση Β-Ν και το μέγιστο μήκος της τα 42,5 km με διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Σχήμα 2: Λεκάνη Ανθεμούντα (1), Υπολεκάνη Περαίας (2) (Πηγή: Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2005).

# 2.2 Κλίμα περιοχής

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το κλίμα της ανατολικής Θεσσαλονίκης, κοντά στο αεροδρόμιο, είναι μεσογειακό με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και βροχερούς χειμώνες. Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση Köppen, η περιοχή έχει κλίμα τύπου Csa, που σημαίνει ότι έχει μεσογειακό κλίμα ζεστού καλοκαιριού. Η μέση θερμοκρασία, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, (Ιούνιο έως Αύγουστο) κυμαίνεται από 23°C έως 32°C, ενώ τους χειμερινούς μήνες, (Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο) από 2°C έως 12°C (Σχήμα 3). Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 17°C. Όσον αφορά στις βροχοπτώσεις, οι πιο υγροί μήνες είναι ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος, ενώ οι πιο ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι, περίπου, 500 mm.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), τα κλιματικά δεδομένα, για τον σταθμό του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης, δείχνουν ότι ο θερμότερος μήνας είναι, συνήθως, ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία 26,9°C και, ο πιο κρύος, είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 5,6°C. Η υψηλότερη θερμοκρασία που καταγράφηκε ήταν 43,6°C, ενώ η χαμηλότερη θερμοκρασία ήταν - 14,2°C. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 465,5 mm και ο υγρότερος μήνας, που έχει καταγραφεί, ήταν ο Δεκέμβριος του 1995 με 194,8 mm βροχόπτωσης.



Σχήμα 3: Κλιματικός Άτλαντας μέσης θερμοκρασίας (1971 - 2000) (Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

# 3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

#### 3.1 Γεωλογία και παλαιογεωγραφία

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Η υπό έρευνα περιοχή βρίσκεται κοντά στο όριο των τεκτονικών ζωνών της Περιροδοπικής και της υποζώνης της Παιονίας, η οποία ανήκει στη ζώνη Αξιού, ενώ ένα βόρειο τμήμα της λεκάνης ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα (Σχήμα 4). Ωστόσο, το όριο που χωρίζει την Περιροδοπική με την Παιονία είναι ακόμα ασαφές, καθώς τώρα καταλαβαίνουμε ότι και οι δύο ζώνες έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση μιας βαθιάς τάφρου. Η ζώνη της Περιροδοπικής είναι ιδιαίτερα σημαντική από παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σκοπιά, γιατί, κάποτε, ήταν υφαλοκρηπίδα για την ηπειρωτική ενδοχώρα και τη Σερβομακεδονική μάζα, κατά την Ιουρασική περίοδο. Αυτή η υφαλοκρηπίδα κατέληγε σε μια βαθιά τάφρο που ήταν περιφερειακή στην ηπειρωτική μάζα και ο τόπος καταβύθισης της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού κάτω από την Ευρωπαϊκή Ηπειρωτική Πλάκα. Τα περιθώρια της ευρωπαϊκής ηπειρωτικής πλάκας αποτελούνταν από τις μάζες της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής. Δυτικά της Σερβομακεδονικής συναντάται η Περιροδοπική ζώνη με πλάτος 10 - 20 km, ενώ ακόμα πιο δυτικά βρίσκεται η ζώνη της Παιονίας η οποία αντιπροσωπεύει ένα τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Η υποζώνη της Παιονίας καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, με εμφανίσεις οφιολίθων και ασβεστόλιθων Ιουρασικού (Σχηματισμός Γρίβας).



Σχήμα 4: Χάρτης γεωτεκτονικών ζωνών με την περιοχή έρευνας (Μουντράκης)

# 3.1.1 Γεωλογία ζώνης Παιονίας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Η υποζώνη της Παιονίας είναι τμήμα της ζώνης Αξιού, ενώ από γεωτεκτονικής απόψεως ανήκει στην παλιά ωκεάνια περιοχή της Τηθύος,. Χαρακτηριστικό της αποτελεί η ύπαρξη οφιολίθων που δηλώνει τον ωκεάνιό της χαρακτήρα, καθώς και τα πετρώματα της, τα οποία εμφανίζονται με τη μορφή λεπιών, αποκομμένα μεταξύ τους, γεγονός που οφείλεται στην κάλυψή τους από νεότερα ιζήματα. Κατά κύριο λόγο, η υποζώνη της Παιονίας καλύπτεται από ένα κάλυμμα νεότερων και χαλαρών ιζημάτων που αποτελείται από χερσοποτάμιες, ποταμοδελταϊκές, λιμνοδελταϊκές, λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις με τον σχηματισμό τους να πραγματοποιείται κατά την ταφρογένεση στον ευρύτερο χώρο Αξιού – Θερμαϊκού. Σχετικά με το προαλπικό της υπόβαθρο παρατηρούνται εμφανίσεις μεταμορφωμένων πετρωμάτων συμπτυχωμένα με αλπικά ιζήματα. Η τεκτονική θέση αυτών των ιζημάτων μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως πρόκειται για Παλαιοζωικά (προαλπικά) πετρώματα όπως γνεύσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, χαλαζιακοί - χλωριτικοί σχιστόλιθοι καθώς και μικρογρανιτικές και πηγματιτικές παρεμβολές. Έτσι οι λιθολογικοί τύποι όλων αυτών των αποθέσεων είναι: κροκαλοπαγή, ερυθροστρώματα, άμμους, ψαμμίτες, αργίλους, ιλυούχους αργίλους, ιλυοαργιλλούχους άμμους, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, τοφφώδεις ασβεστόλιθους, βιογενείς ασβεστόλιθους και τραβερτίνες.

## 3.1.2 Γεωλογία Περιροδοπικής ζώνης

Η Περιροδοπική ζώνη αποτελείται από μια μετά-ιζηματογενή ακολουθία πετρωμάτων ηπειρωτικού περιθωρίου σε συνδυασμό με ορισμένα ηφαιστειακά παράγωγα, τα οποία χρονικά τοποθετούνται στο Μεσοζωικό (Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό), γεγονός που αιτιολογείται από το χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης τους (Kauffmann et al., 1976, Kockel and Mollat, 1977).

Πιο συγκεκριμένα, χωρίζεται σε τρεις ενότητες, την Ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη, την Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα και την Ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά (Σχήμα 5).

- Ενότητα Ντεβέ Κοράν Δουμπιά: αποτελείται κυρίως από εναλλαγές μεταξύ ηφαιστειοιζηματογενής ακολουθίας και ανθρακικά πετρώματα νηρητικής φάσης Τριαδικής ηλικίας.
- Ενότητα Μελισοχωρίου Χολομώντα: κύριο χαρακτηριστικό της είναι ανθρακικά πετρώματα νηρητικής φάσης και Τριαδικής ηλικίας. Επίσης παρατηρείται η σειρά

- Σβούλας η οποία αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα με χαρακτηριστικά φλύσχη (Kockel & Mollat, 1977).
- Ενότητα Άσπρης Βρύσης Χορτιάτη: εδώ κυριαρχούν τα ανθρακικά πετρώματα, που πολλές φορές εναλλάσσονται με μαύρους αργίλους, ασβεστο-φυλλίτες, κερατόλιθους και θραύσματα που προέρχονται από ρυόλιθους (Μουντράκης, 1985).



1.κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Σερβομακεδονικής 2. Πρασινογνεύσιοι 3. Σχιστολιθοι και φυλλίτες 4. Πυροκλαστικά 5 Μεταψαμμιτες Χαλαζίτες 6. Μετα-κροκαλοπαγή 7. Ασβεστιτικοί Σχιστόλιθοι 8. Αργιλικοί Σχιστόλιθοι και Μάργες 9. Κερατόλιθοι 10. ολισθόλιθοι Τριαδικών Μαρμάρων 11. ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι 12. μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι 13. Ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι 14. Οφειολιθικά 15. Ηφαιστειακά υλικά VS. Ηφαιστειοιζηματογενής σειρά.

Σχήμα 5: Στρωματογραφικές στήλες των ενοτήτων της Περιροδοπικής ζώνης (Μουντράκης, 1985)

#### 3.1.3 Γεωλογία Σερβομακεδονικής μάζας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η Σερβομακεδονική μάζα αντιπροσωπεύει ηπειρωτικό φλοιό και θεωρείται πως αποτελεί κομμάτι της Ευρασίας. Αποτελείται από πυριγενή και κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα χωριζόμενη σε δύο ενότητες, αφενός την ενότητα Κερδυλλίων, η οποία είναι η αρχαιότερη και η κατώτερη, και αφετέρου την ενότητα Βερτίσκου, η οποία είναι νεότερη και ανώτερη. Ωστόσο, στη λεκάνη του Ανθεμούντα συναντάται μόνο η ενότητα Βερτίσκου, με την παρουσία γνευσίων.

#### 3.2 Τεκτονική και λιθοστρωματογραφία

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η περιοχή έρευνας ανήκει στις γεωτεκτονικές ζώνες της Παιονίας, της Περιροδοπικής και της Σερβομακεδονικής από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Με το όριο μεταξύ Παιονίας και Περιροδοπικής να παραμένει ασαφές, κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό της λεκάνης αποτελεί η εφίππευση της Σερβομακεδονικής μάζας στα δυτικά της Περιροδοπικής ζώνης, λόγω των γεωλογικών διεργασιών που πραγματοποιήθηκαν κατά το Τριτογενές.

Οι εφελκυστικές τάσεις στην περιοχή του Ανθεμούντα, κατά το Κάτω-Μέσο Πλειστόκαινο, προκάλεσαν ορισμένα κανονικά ρήγματα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός τεκτονικού βυθίσματος, δηλαδή τη λεκάνη του Ανθεμούντα, με διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ (Σχήμα 6). Την ίδια περίοδο δημιουργείται και το τεκτονικό βύθισμα του Θερμαϊκού κόλπου που αποτελεί την παράκτια περιοχή μεταξύ Περαίας και Αγίας Τριάδας. Οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων της περιοχής είναι ΒΔ - ΝΑ, ΒΑ - ΝΔ, Α - Δ, ΒΒΔ - ΝΝΑ (Tranos et al., 2004) κυρίως εντός των σχηματισμών του υποβάθρου και πιθανώς εντός των Τριτογενών - Τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής σύμφωνα και με γεωφυσικές διασκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά διαστήματα (Θανασούλας 1983, Βαργεμέζης 2010).



Σχήμα 6: Γεωλογική τομή NNΔ - BBA της ευρύτερης λεκάνης του Ανθεμούντα (Μουντράκης et al., 1996).

Πιο συγκεκριμένα οι κυριότερες τεκτονικές δομές στη Λεκάνη του Ανθεμούντα είναι οι εξής (Σχήμα 7):

#### Ενεργό ρήγμα Ανθεμούντα

Βρίσκεται στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της Θεσσαλονίκης σε απόσταση 14 km, με διεύθυνση Α-Δ και συνολικό μήκος 32 km. Εκτείνεται από

τη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Αγγελοχωρίου και φτάνει λίγο πιο μακριά από το χωριό Γαλαρινό. Είναι ένα κανονικό ρήγμα, επίμηκες, με μετάπτωση προς το Βορρά, ενώ παράλληλα αποτελεί το όριο μεταξύ Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων στα νότια.

#### • Ρήγμα Αεροδρομίου

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Θεσσαλονίκης σε απόσταση περίπου 10 km από το κέντρο της. Η διεύθυνση του είναι Α - Δ με μήκος 2 km και το δυτικό του όριο επηρεάζει την ακτογραμμή. Ανιχνεύθηκε με γεωφυσικές έρευνες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο σεισμικών κυμάτων ανάκλασης (Δρ. Δημητρόπουλος).

#### Ρήγματα Θέρμης

Η συγκεκριμένη ρηξιγενής ζώνη βρίσκεται νοτιοανατολικά της Θεσσαλονίκης και η απόσταση της κυμαίνεται από 5 μέχρι και 20 km. Χωρίζεται σε δύο ρήγματα, το ένα ενεργό και το άλλο ανενεργό.

- Το ανενεργό αποτελείται από μία ενιαία γραμμή ρήγματος με διεύθυνση BΔ -ΝΑ και ορατό μήκος 20 km, ενώ πιθανολογείται πως προεκτείνεται μέσα στο Θερμαϊκό κόλπο με την ίδια διεύθυνση. Αποτελεί το βόρειο όριο της λεκάνης του Ανθεμούντα, ενώ ο χαρακτηρισμός ως ανενεργό προκύπτει λόγω της διεύθυνσης του (Zervopoulou et al., 2007).
- 2. Όσον αφορά το ενεργό ρήγμα, αποτελείται από περίπου τέσσερα παράλληλα ρήγματα διεύθυνσης Α Δ. Το μήκος των τμημάτων του είναι 4, 5, 6 και 3 km, αντίστοιχα. Λόγω της οικιστικής ανάπτυξης αλλά και της αγροτικής δραστηριότητας τα ρήγματα αυτά δεν είναι εύκολο να γίνουν ορατά από δορυφορική εικόνα, ενώ επίσης αποτελούν και όρια μεταξύ των Μειοκαινικών και Τεταρτογενών χερσαίων ιζημάτων.



Σχήμα 7: Συνοπτικός χάρτης λεκάνης Ανθεμούντα (Ζερβοπούλου, Παυλίδης 2005)

#### 4.1 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

**ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ** 

4

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την υδρογεωλογία μιας περιοχής είναι τόσο το πορώδες των γεωλογικών σχηματισμών όσο και η τεκτονική δράση με τη συμβολή της στη γεωλογική δομή και στη ροή των υπόγειων νερών. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί κατηγοριοποιούνται βάση της δυνατότητας που παρέχουν στο νερό να διεισδύει αλλά και να κινείται μέσα σε αυτά υπό την επίδραση της βαρύτητας. Αυτές οι κατηγορίες είναι:

- Υδροπερατοί σχηματισμοί: οι γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι επιτρέπουν τη ροή του νερού στο εσωτερικό τους που διακρίνονται σε:
  - Μικροδιαπερατά: η κατηγορία υδροπερατών σχηματισμών, η οποία οφείλεται σε πρωτογενές πορώδες.
  - Μακροδιαπερατά: η κατηγορία υδροπερατών σχηματισμών που οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες.
- Αδιαπέρατοι σχηματισμοί: οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι δεν επιτρέπουν την ροή του νερού διαμέσου της μάζας τους, είτε λόγω βαρύτητας είτε λόγω υδροστατικής πίεσης

Η λεκάνη του Ανθεμούντα είναι μια περιοχή όπου έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες, κυρίως, λόγω της μικρής απόστασης της, από το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Έτσι, γνωρίζουμε πως η γεωλογική δομή της περιοχής απαρτίζεται από εναλλαγές άμμου, ιλύος, χαλικιών, αργίλων και κροκάλων με διαφορές σε κοκκομετρική σύσταση αλλά και πάχος.

Είδος σχηματισμού	Συνολικό πορώδες (%)	Ενεργό πορώδες (%)	Τάξη μεγέθους υδροπερατότητας k (m/s)
Άργιλος	45	3	<10-9
Άμμος	35	25	10-4-10-6
Χαλίκια	25	22	>10-4
Σύναγμα (άμμος & χαλίκια)	20	16	10-5-10-7

Πίνακας 1: Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά μερικών χαλαρών ιζημάτων (Καλλέργης, 1999).

#### 4.2 Υδροφόρο υποσύστημα Νέου Ρυσίου

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΞΟΦΡΑΣΤΟ

Η περιοχή του Νέου Ρυσίου ανήκει στο υδροφόρο υποσύστημα Βασιλικών – Ρυσίου – Θέρμης και απεικονίζεται με το γράμμα C (Σχήμα 84.2). Πρόκειται για μια έκταση 70 km<sup>2</sup> με πάχος 300 m η οποία βρίσκεται εντός τεταρτογενών ιζημάτων. Στο κέντρο της περιοχής, καθώς και στα επιφανειακά στρώματα μέχρι και τα 40 m παρατηρείται η ανάπτυξη ενός ελεύθερου υδροφορέα, όπου κυριαρχούν αμμούχες άργιλοι και φακοί χαλικιών, ενώ πλευρικά παρατηρούνται αργιλικά καλύμματα που μετατρέπουν τον υδροφόρο σε υπό πίεση (Σχήμα 9). Οι δύο αυτοί υδροφορείς παρουσιάζουν σε ορισμένα σημεία μικρή υδραυλική επικοινωνία, μέσω μικρών φυσικών διαύλων, γεγονός που ορισμένες φορές ενισχύεται από αρδευτικές γεωτρήσεις που πραγματοποιούνται στην περιοχή και οι περισσότερες εξ αυτών έχουν φίλτρα σε όλα τα υδροφόρα στρώματα. Η κύρια πηγή για την τροφοδοσία του ελεύθερου υδροφορέα είναι η κατείσδυση των κατακρημινισμάτων, η διήθηση των ρευμάτων καθώς και ο Ανθεμούντας, ενώ ο πλευρικός υδροφορέας τροφοδοτείται, μέσω του καρστικού συστήματος, στα νότια, και τα οφιολιθικά διερρηγμένα πετρώματα στα βόρεια.



Σχήμα 8 : Χάρτης με τα υδροφόρα συστήματα στη λεκάνη του Ανθεμούντα (Καζάκης, 2013).



Σχήμα 9: Υδρολιθολογική τομή στην περιοχή Νέου Ρυσίου – Θέρμης ( Καζάκης, 2013).

## 4.3 Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφορέων

Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά είναι αυτά τα οποία βοηθούν σε μεγάλο βαθμό στην κατηγοριοποίηση των υδροφορέων, μιας και καθορίζουν, ποσοτικά, τις ιδιότητες του κάθε υδροφορέα. Τα σημαντικότερα εξ αυτών είναι:

- Η υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k) (hydraulic conductivity), εκφράζει την ευκολία κίνησης του νερού σε έναν γεωλογικό σχηματισμό σε διαστάσεις ταχύτητας. Με βάση αυτήν, οι γεωλογικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε:
  - ο Πολύ υδροπερατοί (  $k \ge 10^{-1} \text{ m/s}$ )
  - ο Υδροπερατοί ( $10^{-6} < k < 10^{-1} \text{ m/s}$ )
  - ο Λίγο υδροπερατοί ( $10^{-9} < k < 10^{-6} \text{ m/s}$ )
  - ο Πρακτικά αδιαπέρατοι (  $k \le 10^{-9} \text{ m/s}$  )
- Η μεταβιβαστικότητα (T) (Transmissivity), ορίζεται ως το γινόμενο της υδροπερατότητας (k), με το κορεσμένο πάχος του υδροφόρου στρώματος (D), όπου T= k \* D. Εκφράζει τον όγκο του νερού, που περνά από μία μοναδιαία διατομή του υδροφόρου στρώματος, με υδραυλική κλίση που ισούται με τη μονάδα και επικράτηση του κινηματικού ιξώδους.
- Η αποθηκευτικότητα (S) (Storativity), ισούται με την ποσότητα του νερού που μπορεί να αποληφθεί, ή αποθηκευτεί, από ένα κατακόρυφο πρίσμα ενός υδροφορέα με μοναδιαία επιφάνεια ανά μονάδα μεταβολής του φορτίου. Οι τιμές της αποθηκευτικότητας είναι καθαρός αριθμός και κυμαίνονται μεταξύ 1% 30 % για τους ελεύθερους υδροφορείς και 0,0001% 0,5% για τους υπό πίεση.

Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή του Νέου Ρυσίου, σύμφωνα με δοκιμαστικές αντλήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή, ισχύει ότι η αποθηκευτικότητα (S) κυμαίνεται από 0,0045 έως και 0,0052, η μεταβιβαστικότητα (T) από 350 έως 375 m<sup>2</sup>/d, ενώ η υδραυλική αγωγιμότητα (k) από 5,30\*10<sup>-3</sup> έως 8\*10<sup>-3</sup> m/s. Έτσι, λόγω της υδραυλικής αγωγιμότητας της περιοχής, η υδροπερατότητα των σχηματισμών μπορεί να χαρακτηριστεί μέτρια – μεγάλη με τους σχηματισμούς αντίστοιχα να χαρακτηρίζονται ως υδροπερατοί. Παράλληλα, οι τιμές της αποθηκευτικότητας μας οδηγούν στο συμπέρασμα πως πρόκειται για υπό πίεση υδροφορέα.

#### 4.4 Μηχανική σύσταση του εδάφους και υδροπερατότητα

Όταν αναφερόμαστε σε μηχανική σύσταση του εδάφους, πρόκειται για τις αναλογίες μεταξύ άμμου (S), ιλύος (Si) και αργίλου (C) ενός εδαφικού δείγματος από τις οποίες μάλιστα προκύπτει και ο τύπος αυτού. Ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα συστήματα προσδιορισμού του εδαφικού τύπου είναι αυτό της USDA 2007, το οποίο είναι αμερικάνικο και αποτελείται από ένα τριγωνικό διάγραμμα που χωρίζει τα εδάφη σε 12 κατηγορίες.

Εδαφικοί τύποι:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Αργιλώδες έδαφος:
  - $\circ$  Αργιλώδες (Clay C)
  - ο Αργιλοαμμώδες (Sandy clay SC)
  - ο Ιλυοαργιλώδες (Silty clay SiC )
  - ο Αργιλοπηλώδες (Clay loam CL)
- Πηλώδες έδαφος:
  - ο Πηλοαμμώδες (Loamy sand LS)
  - ο Αμμοαργιλοπηλώδες (Sand clay loam SCL)
  - Πηλώδες (Loam L)
  - ο Ιλυοπηλώδες (Silty loam SiL)
  - ο Ιλυοαργιλοπηλώδες (Silty clay loam SiCL)
  - ο Ιλυώδες (Silt Si)
- Αμμώδες έδαφος:
  - $\circ$  Αμμώδες (Sandy S)
  - ο Αμμοπηλώδες (Sandy loam SL)

Με την αύξηση του ποσοστού της αργίλου σε ένα έδαφος, παρατηρείται ότι αυξάνεται και η ενεργός επιφάνεια της στερεής φάσης του εδάφους το οποίο έρχεται σε επαφή με την υγρή του φάση (Μήτσιος, 1999) και διευρύνεται η ικανότητα κατιοντικής ανταλλαγής (Cation Exchange Capacity - CEC). Τόσο η ποσότητα της οργανικής ουσίας, όσο και του οργανικού άνθρακα στο έδαφος, συμβάλουν στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σύμφωνα με την εμπειρική σχέση, που συνδέει το ποσοστό της αργίλου (< 2 mm) και του οργανικού άνθρακα (OC) μπορεί να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της ικανότητας κατιοντικής ανταλλαγής (Appelo and Postma, 1996):

CEC (meq/100g) = 0.7 \* (Clay %) + 3.5 (% OC)

Για τον υπολογισμό όμως του οργανικού άνθρακα (OC) χρειάζεται να γνωρίζουμε το ποσοστό της οργανικής ουσίας (OM), το οποίο προκύπτει από την πεδοσυνάρτηση του Dexter (2004) θεωρώντας αποδεκτό πως ο οργανικός άνθρακας αποτελεί περίπου το 58% της οργανικής ουσίας του εδάφους. Έτσι, έχοντας και ως γνωστό, τον συντελεστή Van Bemmelen, ο οποίος είναι 1,72 προκύπτουν οι τύποι που προσδιορίζουν την οργανική ουσία και τον οργανικό άνθρακα.

OM % = 1,58 + 0,048 \* (Clay %) OC % = 1,72 \* (OM %)

# 5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Για τον προσδιορισμό της υδροπερατότητας στην ακόρεστη ζώνη πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε διαφορετικά βάθη από πέντε θέσεις στην περιοχή έρευνας. Έπειτα έγιναν οι κατάλληλες εργαστηριακές δοκιμές καθώς και η καταγραφή και μελέτη των αποτελεσμάτων για κάθε δείγμα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά η μεθοδολογία αλλά και φωτογραφικό υλικό που αποσπάστηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο με στόχο την υλοποίηση αυτής της έρευνας.

## 5.1 Δειγματοληψία δειγμάτων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αρχικά επιλέχθηκε η περιοχή, από την οποία συλλέχθηκαν τα δείγματα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν οι πέντε γεωτρήσεις (γεωτρήσεις Α, Β, Γ, Δ και Ε) (Σχήμα 10) με τη χρήση σπαστού δειγματολήπτη εδάφους (Σχήμα 12) μέχρι τα 2 μέτρα βάθος. Καθεμία από αυτές αποτελείται από 10 δείγματα, με το καθένα τους να φτάνει σε βάθος 20 εκατοστών.



Σχήμα 10 : Φωτογραφία κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε πλαστικές συσκευασίες (Σχήμα 11) και, στη συνέχεια, μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών.

Η πρώτη διαδικασία, που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο, ήταν αυτή του προσδιορισμού της φυσικής υγρασίας των δειγμάτων, καθώς η μέτρηση αναφέρεται σε δείγματα προερχόμενα από φυσική θέση. Η δοκιμή αυτή έχει ως στόχο τον υπολογισμό της μάζας του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Ως υγρασία ορίζεται ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους (W<sub>w</sub>) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους (W<sub>s</sub>) δηλαδή:

$$\mathrm{m} = \frac{W - Ws}{Ws} * 100(\%)$$



Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σχήμα 11 : Καταγραφή συσκευασμένων δειγμάτων



Σχήμα 12 : Απεικόνιση δειγματολήπτη εδάφους

Για τον υπολογισμό της φυσικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκε ο τρόπος εργασίας ASTM D-2216/80. Έτσι αποσπάστηκε ένα τμήμα από κάθε δείγμα και τοποθετήθηκε σε μια κάψα. Στη συνέχεια, μετρήθηκε η μάζα της κάψας ξεχωριστά από το δείγμα και, κατόπιν, μαζί με αυτό. Τα δείγματα ζυγίστηκαν με ακρίβεια (W), όσο το δυνατό γρηγορότερα, μετά την έναρξη της δοκιμής, έτσι ώστε οι επιδράσεις από την επιφανειακή ξήρανση, να μειωθούν στο ελάχιστο. Επόμενο βήμα αποτελεί η ξήρανση των δειγμάτων σε ειδικό φούρνο ξηράνσεως με τις θερμοκρασίες να κυμαίνονται μεταξύ 105 -110 °C για 24 ώρες. Μετά το πέρας των 24 ωρών τα δείγματα απομακρύνονται από τον φούρνο και ζυγίζονται εκ νέου (W<sub>s</sub>) και η περιεκτικότητα σε νερό υπολογίζεται ως:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

JOPAS

$$m = \frac{W - Ws}{Ws} * 100 \,(\%)$$

A/A	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
A 0-0.2	12.8
A 0.2-0.4	12.6
A 0.4-0.6	6.8
A 0.6-0.8	1.9
A 0.8-1	6
A 1-1.2	8.4
A 1.2-1.4	14.8
A 1.4-1.6	15.9
A 1.6-1.8	15.9
A 1.8-2	16.2
B 0-0.2	10
B 0.2-0.4	11.3
B 0.4-0.6	10
B 0.6-0.8	3.9
B 0.8-1	3
B 1-1.2	3.3
B 1.2-1.4	16.5
B 1.4-1.6	20.7
B 1.6-1.8	17.3
B 1.8-2	13.2
Г 0-0.2	11.9
Г 0.2-0.4	11.9
Г 0.4-0.6	8.6
Г 0.6-0.8	2.9
Г 0.8-1	3.2
Г 1-1.2	2.8
Г 1.2-1.4	11.1
Г 1.4-1.6	19.1
Г 1.6-1.8	16.9

Πίνακας 2: Περιεχόμενη υγρασία δειγμάτων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	9		
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ			
Tunua Femboyian	Г 1.8-2	15.7	
	Δ 0-0.2	12.1	
Allio	Δ 0.2-0.4	12.9	
	Δ 0.4-0.6	7.9	
	$\Delta$ 0.6-0.8	2.5	
	Δ 0.8-1	4.2	
	Δ 1-1.2	3.9	
	Δ 1.2-1.4	9.3	
	Δ 1.4-1.6	16	
	Δ 1.6-1.8	11.5	
	Δ 1.8-2	11.2	
	E 0-0.2	10.4	
	Е 0.2-0.4	10.4	
	E 0.4-0.6	9.2	
	E 0.6-0.8	2.4	
	E 0.8-1	1.9	
	E 1-1.2	1.7	
	E 1.2-1.4	9.1	
	E 1.4-1.6	16.3	
	E 1.6-1.8	13.7	
	E 1.8-2	14	
	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	1.7	
	ΜΕΓΙΣΤΟ	20.7	
	M.O	10.1	

## 5.2 Ανάλυση ιλύος με αραιόμετρο

Παράλληλα με τις μετρήσεις της υγρασίας πραγματοποιήθηκε και κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο και βρέθηκαν τα όρια Atterberg στα λεπτόκοκκα δείγματα. Σκοπός της ανάλυσης με το αραιόμετρο είναι να γίνει ο ποσοτικός προσδιορισμός τής, κατά μέγεθος, κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, γίνεται η χρήση αραιομέτρου (ή υδρόμετρου ή πυκνόμετρου) τύπου 152H. Η κλίμακα του υποδιαιρείται από 0 έως 60 gr/lt και βαθμονομείται βάση της παραδοχής ότι το αποσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1,0 στους 20 °C και ότι το έδαφος που βρίσκεται σε διασπορά έχει ειδικό βάρος 2,65 gr/cm<sup>3</sup>. Το αραιόμετρο μετράει την πυκνότητα του στερεού υλικού που αιωρείται, μέσα σε ένα υγρό μέσο, αποτελούμενο από ένα κυλινδρικό μέσο και ένα στέλεχος. Όταν η συγκέντρωση του υλικού, που αιωρείται, είναι μεγάλη, τότε το στέλεχος του αραιόμετρου συναντά την επιφάνεια του νερού, μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο, στο κατώτερο τμήμα του, δηλαδή, δίνει μεγάλες τιμές πυκνότητας. Αντιθέτως, στην περίπτωση που η συγκέντρωση είναι μικρή, τότε το στέλεχος βυθίζεται μέσα στο αιώρημα με αποτέλεσμα να έχουμε μικρές τιμές πυκνότητας. Όσον αφορά, στην ταχύτητα καθίζησης των κόκκων μέσα στο νερό του ογκομετρικού κυλίνδρου, αυτή επηρεάζεται από το μέγεθος τους, όσο μεγαλύτερος είναι ο κόκκος, τόσο πιο γρήγορα θα καθιζάνει στον πυθμένα του κυλίνδρου. Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι διαφορές στης πυκνότητας του υλικού που αιωρείται, οι οποίες αναγράφονται ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα, μας δείχνουν την καθίζηση των κόκκων που αιωρούνται και κατά συνέπεια και το μέγεθος τους (Χρηστάρας, 2006).

Περιγραφή εργασίας:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιείται ένα μικρό κομμάτι του δείγματος το οποίο έχει περάσει από το κόσκινο No.10 (2 mm). Η ποσότητα αυτή συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 50 με 100gr, όσο μεγαλύτερο το βάρος τόσο πιο αμμώδες το έδαφος. ανέρχεται περίπου στα 50 gr για τα περισσότερα εδάφη ή 100 gr για τα αμμώδη εδάφη.
- Το δείγμα τοποθετείται σε δοχείο 250 ml όπου προσθέτουμε 125 ml διαλύματος του παράγοντα διασποράς, στην περίπτωση μας πολυφωσφορικό νάτριο (Na<sub>12</sub>P<sub>10</sub>O<sub>31</sub>, 21.6 gr/lt). Το δείγμα αναμιγνύεται μαζί με το διάλυμα και αφήνεται για διάστημα περίπου 12 ωρών έτσι ώστε να αποσσυσωματωθούν οι κόκκοι του (Σχήμα 14).
- Μετά το πέρα των 12 ωρών το περιεχόμενο μεταφέρεται από το δοχείο σε ένα ποτήρι διασποράς προσθέτοντας αποσταγμένο νερό και αναμιγνύεται σε mixer για περίπου 1 λεπτό με στόχο να επιτευχθεί διασπορά.
- Στη συνέχεια το αναμιγμένο πλέον περιεχόμενο μεταβιβάζεται σε έναν γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο και προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρι την ένδειξη των 1000 ml. Αναταράσσετε καλά ο κύλινδρος με τα χέρια για 1 λεπτό, και ξεκινάει η χρονομέτρηση καταγράφοντας παράλληλα τις ενδείξεις του αραιομέτρου το οποίο βυθίζεται στον κύλινδρο με το διάλυμα μας. Το αραιόμετρο έχει βαθμονομημένη κλίμακα κατά προσέγγιση 0,5 gr/lt των 1, 2, 5, 30, 60, 250 και 1440 min από την στιγμή που αρχίζει η κατακάθιση. Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις του αραιομέτρου πραγματοποιείται και η μέτρηση της θερμοκρασίας του εδαφικού αιωρήματος χρησιμοποιώντας υδραργυρικό θερμόμετρο. (Σχήμα 16).
- Μεταξύ των μετρήσεων το αραιόμετρο τοποθετείται σε ογκομετρικό κύλινδρο ο οποίος περιέχει νερό, και περίπου 30 sec πριν την επόμενη μέτρηση βυθίζεται ξανά στο εδαφικό αιώρημα.

Τέλος αφού καταγραφεί και η τελευταία μέτρηση το αιώρημα κοσκινίζεται στο κόσκινο Νο. 200. Η ποσότητα που συγκρατείται από το κόσκινο ξεραίνεται και υποβάλλεται σε κοκκομετρική ανάλυση με τα: Νο. 40, Νο. 100 και Νο.200 (Χρηστάρας και Χατζηαγγέλου, 2011).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Σχήμα 13 : Ζύγιση δείγματος με την προσθήκη πολυφωσφορικού νατρίου.



Σχήμα 14 : Διαδικασία αποσυσσωμάτωσης κόκκων.



Σχήμα 15 : Μετρήσεις με αραιόμετρο.



Σχήμα 16 : Απομάκρυνση αραιομέτρου και θερμομέτρηση.

## 5.3 Όρια Atterberg

#### 5.3.1 Εργαστηριακός προσδιορισμός

Ένα έδαφος χαρακτηρίζεται ως πλαστικό, όταν τα μικροτεμαχίδια του βρίσκονται κατά κύριο λόγο μεταξύ της κοκκομετρικής περιοχής της αργίλου και της ιλύος και απαρτίζονται από πλαστικά ορυκτά που μπορούν και προσλαμβάνουν νερό. Η περιεκτικότητα σε νερό συμβάλλει καθοριστικά στην αντοχή και στερεότητα κάθε υλικού. Όσον αφορά τα κοκκώδη εδάφη, οι διακυμάνσεις του περιεχόμενου νερού δεν επηρεάζουν σημαντικά την αντοχή του, ενώ στα συνεκτικά εδάφη, πιθανόν να αποτελέσουν την αιτία για αξιοσημείωτες αλλαγές. Η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών, ανάλογα με την περιεκτικότητα τους σε νερό, προκύπτει από τον καθορισμό των ορίων Atterberg (Χρηστάρας, 2006).

Όσον αφορά τα όρια Atterberg, στόχος αυτής της δοκιμής είναι να βρούμε τόσο το όριο υδαρότητας (LL), όσο και το όριο πλαστικότητας (PL). Ως όριο υδαρότητας (LL) ορίζεται το ποσοστό νερού που περιέχει το έδαφος κατά τη χρονική στιγμή που το έδαφος μετατρέπεται από την πλαστική του κατάσταση στην υδαρή (ρευστή). Ενώ, το όριο πλαστικότητας (PL) ορίζεται ως το χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας, στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την

πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς αυτός να θραύεται.

Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η μέθοδος πενετρόμετρου πίπτοντος κώνου, η οποία αποτελεί μια εργαστηριακή μέθοδο, η χρήση της οποίας πραγματοποιείται κυρίως σε λεπτόκοκκα εδάφη. Η διαδικασία εφαρμογής αυτής της μεθόδου αποτελείται από ένα κωνικό βαρίδιο συγκεκριμένου βάρους και γωνίας ανοίγματος το οποίο κρέμεται από την κορυφή ενός κώνου σε επαφή με το εδαφικό δείγμα. Απελευθερώνεται το βαρίδιο και εισχωρεί μέσα στο εδαφικό δείγμα. Η διείσδυση του κώνου είναι ανάλογη με το βάρος του και σχετίζεται με τη διατμητική αντοχή του εδάφους με την παρακάτω σχέση του Hansbo (Hansbo, 1957):

$$Cu = 9.8 * \frac{K * M}{p^2} (KPa)$$

Όπου: Μ η μάζα του κώνου (gr), p το βάθος διείσδυσης του κώνου μέσα στο έδαφος και Κ σταθερά που εξαρτάται από τη γωνία ανοίγματος του κώνου.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό υδαρότητας (Leroueil et al., 1985; BNQ-2501-092). Κατά τη διαδικασία αυτή, χρησιμοποιείται κωνικό βαρίδιο με βάρος 60 gr και γωνία 60° και εκτελείται η δοκιμή για διάφορα ποσοστά υγρασίας. Κατασκευάζεται, στη συνέχεια, ένα δεκαδικό διάγραμμα βάθους διείσδυσης (mm) και περιεκτικότητας σε νερό (%) με το όριο υδαρότητας να υπολογίζεται από την περιεκτικότητα σε νερό που αντιστοιχεί σε 10 mm βάθους διείσδυσης.

#### 5.3.2 Όριο υδαρότητας (LL)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ξεκινώντας με την εύρεση του ορίου υδαρότητας (LL) χρησιμοποιήσαμε περίπου 100 gr από το προηγούμενο δείγμα μας, δηλαδή αυτού που είχε ξηρανθεί και είχε περάσει από τα κόσκινα No 6.3, 4 και 10. Για τη συγκεκριμένη δοκιμή, θα χρειαστεί να περαστεί το δείγμα μας από το κόσκινο No 40. Το υλικό, το οποίο πέρασε από αυτό το κόσκινο, τοποθετείται σε μια νέα κάψα, στην οποία προστέθηκε, σιγά – σιγά, νερό με στόχο τη δημιουργία μιας μαλακής μάζας. Μόλις το υλικό φτάσει σε αυτή τη μαλακή κατάσταση, το μεταφέραμε σε ένα ειδικό δοχείο το οποίο τοποθετήσαμε κάτω από τη συσκευή πίπτοντος κώνου, έπειτα κατεβάσαμε το κωνικό βαρίδιο, το οποίο βυθίζεται μέσα στο υλικό μας, και καταγράψαμε την ένδειξη που δείχνει η συσκευή, με το βάθος διείσδυσης του κώνου να σχετίζεται με την διατμητική αντοχή του δείγματος (Σχήμα 17). Αποσπάσαμε ένα κομμάτι από το υλικό, συνήθως από το σποίο, έπεσε ο κώνος, και το τοποθετήσαμε σε μία κάψα, την οποία, στη συνέχεια, ξηράναμε

σε φούρνο για 24 ώρες, ζυγίζοντας το δείγμα πριν και μετά, παίρνοντας μέτρηση, τόσο για την υγρή, όσο και την ξηρή κατάσταση του.



Σχήμα 17: Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας με τη μέθοδο πίπτοντος κώνου.

#### 5.3.3 Όριο πλαστικότητας (PL)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το όριο πλαστικότητας αποτελεί το χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας, στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από πλαστική σε ημιστερεή κατάσταση, ώστε μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς αυτός να θραύεται (AASHO T-90/70, ASTM D-4318/83).

Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα κάποιου δείγματος σε νερό ξεκινήσει να μειώνεται, τότε τα τεμαχίδια του εδάφους πλησιάζουν το ένα με το άλλο και προκαλείται η συμπύκνωση του εδάφους και η συρρίκνωση του υλικού. Έτσι, παρατηρείται αύξηση στη συνοχή του εδάφους αλλά και στην αντοχή του στην πίεση. Όταν η υγρασία συνεχίζει να μειώνεται, τότε εισέρχεται αέρας μέσα στους πόρους του εδάφους. Αν το δείγμα μας ζυμωθεί με το χέρι και κόβεται σε μικρότερους κυλίνδρους, αυτό είναι και το σημείο στο οποίο πλέον έχει χάσει την πλαστική του ιδιότητα και προσδιορίζεται η περιεκτικότητα του σε νερό σύμφωνα με το όριο πλαστικότητας του υλικού. Λαμβάνεται ένα ποσοστό εδάφους περίπου στα 20 gr από το υλικό το οποίο διήλθε από το κόσκινο Νο. 40. Το δείγμα αυτό αναμιγνύεται με αποσταγμένο νερό, μέχρι η μάζα του να είναι αρκετά πλαστική, έτσι ώστε να πλάθεται σε σβώλο. Ως δείγμα προς δοκιμή, αποσπάται τμήμα αυτού με βάρος κοντά στα 8 gr. Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται με τα δάχτυλα πάνω στο σμυριδωμένο χαρτί με τέτοια πίεση, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας ραβδίσκος, με ομοιόμορφη διάμετρο, σε όλο το μήκος του. Όταν η διάμετρος φτάσει στα 3 mm, ο ραβδίσκος θραύεται ξανά, σε έξι ή οχτώ τεμάχια. Αυτά τα τεμάχια συμπιέζονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μια ομοιόμορφη μάζα και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση μέχρι του σημείου όπου το έδαφος δεν μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να επέλθει, όταν η διάμετρος του ραβδίσκου είναι μεγαλύτερη από 3 mm. Αυτό θεωρείται ικανοποιητικό σημείο περατώσεως, προϋποθέτοντας όμως ότι το έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm. Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται ως περιεχόμενη υγρασία που περιέχουν οι ραβδίσκοι των 3 mm και προέρχεται από τον μέσο όρο δύο ή τριών δοκιμών (Σχήμα 18).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Σχήμα 18: Φούρνος ξήρανσης με δείγματα προερχόμενα από τη διαδικασία εύρεσης του ορίου πλαστικότητας (πάνω ράφι).

#### 5.4 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα

# 5.4.1 Εργαστηριακός προσδιορισμός

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το μέγεθος που έχουν οι κόκκοι ενός εδάφους αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό για την ονομασία και την ταξινόμηση αυτού. Τα μεγέθη των κόκκων χωρίζονται σε ομάδες, με τα μέρη βάρους κάθε ομάδας να προσδιορίζονται με τη μέθοδο των κοσκίνων ή με την ανάλυση λεπτόκοκκων. Το όριο μεταξύ των δύο μεθόδων βρίσκεται στους κόκκους με διάμετρο 0,075 mm (όριο άμμου- ιλύος). Έτσι σε περίπτωση που έχουμε κόκκους με d > 0,075 mm χρησιμοποιείται η μέθοδος με τα κόσκινα, ενώ για δείγματα με d < 0,075 mm χρησιμοποιείται η μέθοδος με τα κόσκινα, ενώ για δείγματα με d < 0,075 mm χρησιμοποιείται η μέθοδος με τα κόσκινα, ενώ για δείγματα με d < 0,075 mm χρησιμοποιείται η μέθοδος με τα κόσκινα. Στο εργαστήριο υπολογίζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση με στόχο την ταξινόμηση των εδαφών (Unified Soil Classification System (USCS) - USAE, 1953, AASHO, 1961,IAEG, 1981).

Γενικότερα τα εδάφη διακρίνονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες: στα λεπτόκοκκα, στα χονδρόκοκκα και στα οργανικά. Στα λεπτόκοκκα εδάφη συναντάται ποσοστό άνω του 35% με υλικά λεπτότερα των 0,075 mm και χωρίζονται σε ιλύ και άργιλο. Στα χονδρόκοκκα εδάφη περιέχεται λιγότερο από 35% εδάφους με κοκκομετρία μικρότερη των 0,075 mm.

Έτσι τα εδαφικά υλικά λαμβάνουν τις παρακάτω ονομασίες, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους (ASTM, 1989):

- Κροκάλες Λίθοι (boulders stones) 76.2 mm (3 in)
- Χάλικες (gravel) G
  - Χονδροί (coarse): 76,2 mm 19 mm (<sup>3</sup>/<sub>4</sub> in, ASTM)
  - Λεπτοί (fine): 19 mm 4,76 mm (No.4, ASTM)
- Άμμος (sand) S
  - Χονδρή (coarse): 4,76 mm-2 mm (No.10, ASTM)
  - Μέση (medium): 2mm 0,425 mm (No.40, ASTM)
  - Λεπτή (fine): 0,425 mm 0,075 mm (No.200, ASTM)
- Ιλύς (silt): 0,075 mm 0,002 mm
- Άργιλος (clay) C: < 0,002 mm
Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων, σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά, με τη χρησιμοποίηση πρότυπων κόσκινων τετραγωνικών οπών (AASHO T-27/66, ASTM C -136).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η ποσότητα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση κάθε δείγματος εξαρτάται από το υλικό που έχουμε να εξετάσουμε. Έτσι, για λεπτή ως μέση άμμο, χρειαζόμαστε 100-200 gr, για χονδρή άμμο ως λεπτά χαλίκια χρειαζόμαστε 0,5 kgr και για χονδρά χαλίκια και κροκάλες χρειαζόμαστε από 5 kg και πάνω. Τα κόσκινα τοποθετούνται από κάτω προς τα πάνω, με αυξανόμενη σειρά μεγέθους: 0,075 (No.200), 0,15 (No.100), 0,425 (No.40), 2,0 (No.10), 4,75 (No.4), 6,30 (1/4<sup>''</sup>), 12,50 (1/2<sup>''</sup>), 19,0 (3/4<sup>''</sup>).



Σχήμα 19: Στήλη κοσκίνων κατά τη διάρκεια της κοκκομετρικής ανάλυσης.

Για τη σωστή ανάλυση των δειγμάτων, θα πρέπει το δείγμα μας να αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά, στεγνά, με χωρισμένους κόκκους και χωρίς ξένα σώματα. Έτσι το δείγμα θερμαίνεται στους 105° C και, αφού ξηραθεί, ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας. Στη συνέχεια, αδειάζουμε το υλικό του δείγματος στη στήλη κοσκίνων, που αναφέραμε νωρίτερα. Το τελευταίο κόσκινο, δηλαδή το No.200, αντιπροσωπεύει το τελευταίο κλάσμα της άμμου. Μεταφέρουμε τη στήλη σε αυτόματη συσκευή κοσκινίσματος, όπου και την αφήνουμε για περίπου 15΄. Το κοσκίνισμα πραγματοποιείται με πλευρικές κινήσεις του κοσκίνου, έτσι ώστε το δείγμα να είναι σε συνεχή κίνηση, πάνω από την επιφάνειά του. Το υλικό που έχει μείνει, πάνω σε κάθε κόσκινο, ζυγίζεται και μετατρέπεται σε ποσοστό (%) του συνολικού βάρους του δείγματος (Σχήμα 19). Τέλος, κάτω και από το τελευταίο κόσκινο, βρίσκονται όλα τα λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος) τα οποία και ζυγίζουμε. Για να θεωρηθεί επιτυχής η ανάλυση μας, δεν θα πρέπει η διαφορά βάρους, μεταξύ του αρχικού ζυγίσματος, και του αθροίσματος των συγκρατούμενων υλικών, να είναι μεγαλύτερη του 1% του αρχικού βάρους.

## 5.5 Εφαρμογή εμπειρικών τύπων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας εφαρμόσθηκαν ορισμένες εμπειρικές σχέσεις. Βασικό παράγοντα για την εφαρμογή αυτών των τύπων αποτελούν τα αποτελέσματα από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Οι εμπειρικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- <u>Hazen:</u> αποτελεί ίσως τον πιο διαδεδομένο τύπο για υπολογισμό υδροπερατότητας και ορίζεται ως: k (cm/sec) = C \* d<sub>εv</sub><sup>2</sup> όπου :
  - k: συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητα (cm/sec)
  - d<sub>εν</sub>: ενεργός διάμετρος κόκκων (mm) (d<sub>εν</sub> = d<sub>10</sub>, δηλαδή η διάμετρος του κοσκίνου όπου περνάει το 10% του υλικού)
  - C: είναι η συνάρτηση του σχήματος των κόκκων, του πορώδους, του κινηματικού
    ιξώδους του νερού και της ανισοτροπίας του μέσου είναι σταθερά και είναι ίση με
    100
- <u>Biallas</u>: k (m/sec) =  $0,0036 * d_{20}^{2,3}$

όπου :

- k: συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητα (cm/sec)
- d<sub>20</sub>: η διάμετρος του κοσκίνου όπου περνάει το 20% του υλικού
- Seelheim:  $k (m/sec) = 0,00357 * d_{50}^2$



- d<sub>50</sub>: η διάμετρος του κοσκίνου όπου περνάει το 50% του υλικού (mm)
- <u>Harleman</u>: k (cm/s) =  $(6,54 \times 10^{-4}) \times d_{\varepsilon v^2}$

όπου :

- k: συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητα (cm/sec)
- d<sub>ev</sub>: ενεργός διάμετρος κόκκων (mm) (d<sub>ev</sub> = d<sub>10</sub>, δηλαδή η διάμετρος του κοσκίνου όπου περνάει το 10% του υλικού)



Τα πενήντα δείγματα που συλλέχθηκαν, συνολικά, μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο εδαφομηχανικής και υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για τις εργαστηριακές δοκιμές. Έτσι, σε 34 από αυτά πραγματοποιήθηκε, τόσο ο εργαστηριακός προσδιορισμός των ορίων Atterberg, όσο και κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο. Στα υπόλοιπα 16 πραγματοποιήθηκε μόνο κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε χαλίκια και άμμο. Παρακάτω, παρουσιάζονται ορισμένα

## 6.1 Παραδείγματα από την ανάλυση ιλύος με αραιόμετρο

#### <u>Δείγμα Α 0,4 - 0,6 m</u>

Το δείγμα A 0,4 – 0,6 m χαρακτηρίζεται ως πηλώδες (Loamy – L), έχει περιεχόμενη υγρασία 6,8% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 41% και 16% αντίστοιχα.



Σχήμα 20: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Α 0,4 - 0,6 m

Ψηφιακή σ Βιβλιοθ "ΘΕΟΦΡΑ Τμήμα Γεο	ολογή Οήκη ΣΤΟΣ" Πίνακο Ολογίας	ας 3: Ποσοστιαία κατ	ανομή του υλικού			
P.S.D. according to ASTM D2487						
	Gravel Sand Silt Clay					
	18.76	25.48	36.02	19.73		

## <u>Δείγμα Β 0,2 - 0,4 m</u>

Το δείγμα B 0,2 – 0,4 m χαρακτηρίζεται ως ιλυοαργιλώδες (Silty Clay – SiC), έχει περιεχόμενη υγρασία 11,3% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 48% και 22% αντίστοιχα.



Σχήμα 21 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Β 0,2 - 0,4 m

|--|

P.S.D. according to ASTM D2487				
Gravel Sand Silt Clay				
0.00	8.96	50.65	40.39	



Το δείγμα Γ 1,8 – 2 m χαρακτηρίζεται ως πηλώδες (Loamy – L), έχει περιεχόμενη υγρασία 15,7% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 33% και 17% αντίστοιχα.



Σχήμα 22 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ 1,8 - 2 m

Πίνακας 5 : Ποσοστιαία κατανομή του υλικού

P.S.D. according to ASTM D2487				
Gravel	Sand	Silt	Clay	
1.62	39.00	37.49	21.90	



Το δείγμα Δ 1,2 – 1,4 m χαρακτηρίζεται ως πηλώδες (Silty Loam – SiL), έχει περιεχόμενη υγρασία 9,3% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 29% και 19% αντίστοιχα.



Σχήμα 23 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ 1,2 - 1,4 m

Πίνακας 6 : Ποσοστιαία κατανομή του υλικού

P.S.D. according to ASTM D2487				
Gravel	Sand	Silt	Clay	
0.00	30.70	55.91	13.39	



Το δείγμα Ε 0,4 – 0,6 m χαρακτηρίζεται ως αργιλοπηλώδες (Clay Loam – CL), έχει περιεχόμενη υγρασία 9,2% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 40% και 17% αντίστοιχα.



Σχήμα 24 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε $0,\!4$  -  $0,\!6~m$ 

Πίνακας 7 : Ποσοστιαία κατανομή του υλικού

P.S.D. according to ASTM D2487				
Gravel	Sand	Silt	Clay	
0.00	25.47	46.55	27.98	



Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα δείγματα για τα οποία ισχύει ότι περιέχεται μικρότερο ποσοστό του 35% από έδαφος με κοκκομετρία μικρότερη από 0,075 mm, έτσι η κατάλληλη μέθοδος για την κοκκομετρική τους ανάλυση είναι αυτή των κοσκίνων.

### <u>Δείγμα Β 1 - 1,2 m</u>

Το δείγμα B 1 – 1,2 m χαρακτηρίζεται ως αμμώδες (Sandy – S) και έχει περιεχόμενη υγρασία 3,3%.



Σχήμα 25 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος B $1-1,2\ m$ 

Πίνακας 8 : Πο	οσοστιαία κατανομι	ί του υλικού
----------------	--------------------	--------------

P.S.D. according to ASTM D2487				
Gravel Sand Silt Clay				
9.71	82.47	7.82		



Το δείγμα Δ 0,8 – 1 m χαρακτηρίζεται ως αμμώδες (Sandy – S) και έχει περιεχόμενη

υγρασία 4,2%.



Σχήμα 26 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος <br/>Δ $0.8-1~{\rm m}$ 

P.S.D. according to ASTM D2487					
Gravel Sand Silt Clay					
3.06	82.01	14.93			

## 6.3 Παραδείγματα από τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε παρακάτω, στο διάγραμμα με το όριο υδαρότητας, η περιεχόμενη υγρασία κυμαίνεται από 30% έως 50%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ορισμένα διαγράμματα να μην εμφανίζουν το όριο υδαρότητας του δείγματος για τιμές μικρότερες του 30% και μεγαλύτερες του 50%.

#### <u>Δείγμα Α 0,2 - 0,4 m</u>

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το δείγμα A 0,2 – 0,4 m χαρακτηρίζεται ως ιλυοαργιλώδες (Silty Clay – SiC), έχει περιεχόμενη υγρασία 12,6% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 50% και 21% αντίστοιχα.



Σχήμα 27 : Όριο υδαρότητας δείγματος <br/>Α $0,\!2-0,\!4\ m$ 

Πίνακας	10 :	Προσδιο	ρισμός	ορίων	Atterberg
		1100000	p	op	1 1000 0000

	OPIO	OPIO	ΔΕΙΚΤΗΣ
A/A	ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΙΡ)
	(%)	(%)	(%)
A 0.2 - 0.4	50	21	29



Το δείγμα B 1,4 – 1,6 m χαρακτηρίζεται ως ιλυοπηλώδες (Silty Loam – SiL), έχει περιεχόμενη υγρασία 20,7% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 36% και 14% αντίστοιχα.



Σχήμα 28 : Όριο υδαρότητας δείγματος <br/>B $1,\!4-1,\!6$  m

	OPIO	OPIO	ΔΕΙΚΤΗΣ		
A/A	ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΙΡ)		
	(%)	(%)	(%)		
B 1.4 - 1.6	36	14	22		



Το δείγμα Γ 0,2 – 0,4 m χαρακτηρίζεται ως ιλυοαργιλοπηλώδες (Silty Clay Loam – SiCL), έχει περιεχόμενη υγρασία 11,9% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 46% και 22% αντίστοιχα.



Σχήμα 29 : Όριο υδαρότητας δείγματος Γ $0,\!2-0,\!4~m$ 

Πίνακας 12 :	Προσδιορ	π <del>σ</del> μός ορίων	Atterberg
--------------	----------	--------------------------	-----------

	OPIO	OPIO	ΔΕΙΚΤΗΣ		
A/A	ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΙΡ)		
	(%)	(%)	(%)		
Γ 0.2 - 0.4	46	22	24		



Το δείγμα Δ 1,4 – 1,6 m χαρακτηρίζεται ως ιλυοπηλώδες (Silty Loam – SiL), έχει περιεχόμενη υγρασία 16% ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 38% και 15% αντίστοιχα.



Σχήμα 30 : Όριο υδαρότητας δείγματος <br/>Δ $1,\!4-1,\!6$  m

	OPIO	OPIO	ΔΕΙΚΤΗΣ		
A/A	ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΙΡ)		
	(%)	(%)	(%)		
Δ 1.4 - 1.6	38	15	23		



Το δείγμα Ε 1,8 – 2 m χαρακτηρίζεται ως πηλώδες (Loam – L), έχει περιεχόμενη υγρασία 14 % ενώ τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας είναι 32 % και 15 % αντίστοιχα.



Σχήμα 31 : Όριο υδαρότητας δείγματος Ε $1,\!8-2\ m$ 

Πίνακας 14 :	Προσδιορισμός	ορίων Atterberg
--------------	---------------	-----------------

	OPIO	OPIO	ΔΕΙΚΤΗΣ		
A/A	ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΙΡ)		
	(%)	(%)	(%)		
E 1.8 - 2	32	15	17		

## 6.4 Υδραυλική αγωγιμότητα

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

JOP A >

Μετά από την ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αποτέλεσαν τη βάση για την υλοποίηση των κοκκομετρικών καμπυλών. Μέσω των κοκκομετρικών καμπυλών, προκύπτουν οι απαραίτητες μεταβλητές που χρειάζονται για την επίλυση των εμπειρικών τύπων, και κατά συνέπεια τον προσδιορισμό της υδροπερατότητας. Έτσι, στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που συνέβαλαν στον τελικό υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας, συγκεντρωμένα σε πίνακες.

A/A	Ποσ δείγ	οστά στα γματος τ	ο σύνολα ων G, S,	ο του Si, C	Ποσοστά των S, Si, C			Εδαφικός τύπος
	G	S	Si	С	S	Si	С	(USDA)
A 0-0.2	0.1	11.24	49.79	38.86	11.25	49.84	38.90	SiCL
A 0.2-0.4	0.1	11.74	47.81	40.45	11.74	47.81	40.45	SiC
A 0.4-0.6	18.76	25.48	36.2	19.73	31.30	44.47	24.24	L
A 0.6-0.8	11	74.31	14	.69	83.49	16	.51	LS
A 0.8-1	16.28	71.72	1	.2	85.67	14	.33	LS
A 1-1.2	7.3	60.91	31.79		65.71	34.29		SL
A 1.2 -1.4	9.86	4.43	63.67	22.04	4.91	70.63	24.45	SiL
A 1.4-1.6	3.94	16.89	54.7	24.47	17.58	56.94	25.47	SiL
A 1.6-1.8	0.32	17.03	57.95	24.7	17.08	58.14	24.78	SiL
A 1.8-2	1.08	14.9	67.7	16.31	15.06	68.45	16.49	SiL
В 0-0.2	0	9.73	52.44	37.82	9.73	52.45	37.82	SiCL
B 0.2-0.4	0	8.96	50.65	40.39	8.96	50.65	40.39	SiC
B 0.4-0.6	0	22.73	48.07	29.2	22.73	48.07	29.20	CL
B 0.6-0.8	8.76	64.8	26	.44	71.02	28	.98	SL
B 0.8-1	13.18	76.72	10	0.1	88.37	11	.63	S
B 1-1.2	9.71	82.47	7.	82	91.34	8.	66	S
B 1.2-1.4	1.24	28.61	50.65	19.49	28.97	51.29	19.74	SiL
B 1.4-1.6	5.92	22.55	49.07	22.46	23.97	52.16	23.87	SiL
B 1.6-1.8	1.09	34	43.02	21.89	34.37	43.49	22.13	L
B 1.8-2	3.58	33.79	42.67	19.95	35.05	44.26	20.69	L
Г 0-0.2	0	10.04	47.85	42.11	10.04	47.85	42.11	SiC
Г 0.2-0.4	0	12.48	52.26	35.26	12.48	52.26	35.26	SiCL

Πίνακας 15 : Συνοπτικός πίνακας με τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων και της εφαρμογής πεδοσυναρτήσεων. G : χαλίκια, S : άμμος, Si : ιλύς, C : άργιλος

Ψηφι	ακή συλλογή λιοθήκη		9						
o	ΡΑΣΤ	יזח							
Linu	Г 0.4-0.6	1.43	32.08	39.01	26.89	32.74	39.81	27.44	CL
hilb	Г 0.6-0.8	9.58	69.71	20	.72	77.09	22	.91	SL
1	Г 0.8-1	15.92	62.14	21	.94	73.91	26	.09	SL
	Г 1-1.2	18.07	69.19	12	.73	84.46	15	.54	LS
	Г 1.2-1.4	4.09	28.52	54.18	13.21	29.74	56.49	13.77	SiL
	Г 1.4-1.6	0.89	15.98	54.31	28.83	16.12	54.79	29.09	SiCL
	Г 1.6-1.8	0.16	29.7	54.56	15.58	29.75	54.65	15.60	SiL
	Г 1.8-2	1.62	39	37.49	21.9	39.64	38.10	22.26	L
	∆ 0-0.2	0	11.73	55.46	32.81	11.73	55.46	32.81	SiCL
	∆ 0.2-0.4	0.12	36.82	40.33	22.73	36.86	40.38	22.76	L
	∆ 0.4-0.6	0.26	11.2	51.94	36.6	11.23	52.08	36.70	SiCL
	Δ 0.6-0.8	5.38	79.31	15	5.3	83.83	16	.17	LS
	Δ 0.8-1	3.06	82.01	14	.93	84.60	15	.40	LS
	Δ 1-1.2	4.41	77.89	17	'.7	81.48	18	.52	LS
	Δ 1.2-1.4	0	30.7	55.91	13.39	30.70	55.91	13.39	SiL
	Δ1.4-1.6	0	17.11	58.61	24.28	17.11	58.61	24.28	SiL
	Δ 1.6-1.8	0.44	34.23	48.71	16.62	34.38	48.93	16.69	L
	Δ 1.8-2	0.49	42.26	41.62	15.64	42.46	41.82	15.72	L
	E 0-0.2	0	14.42	50.06	35.52	14.42	50.06	35.52	SiCL
	E 0.2-0.4	0	16.42	46.65	36.94	16.42	46.65	36.94	SiCL
	E 0.4-0.6	0	25.47	46.55	27.98	25.47	46.55	27.98	CL
	E 0.6-0.8	4.42	74.99	20	.59	78.46	21	.54	SL
	E 0.8-1	4.11	73.47	22.	.42	76.62	23	.38	SL
	E 1-1.2	7.31	82.84	9.	86	89.36	10	.64	S
	E 1.2-1.4	9.04	59.29	31	.67	65.18	34	.82	SL
	E 1.4-1.6	0.3	12.85	57.69	29.17	12.89	57.86	29.25	SiCL
	E 1.6-1.8	2.69	30.89	46.16	20.27	31.74	47.43	20.83	L
	E 1.8-2	2.46	33.41	46.75	17.38	34.25	47.93	17.82	L
	Ελάχιστο	0	4.43	36.2	13.21	4.91	38.1	13.77	-
	Μέγιστο	18.76	82.84	67.7	42.11	91.34	70.63	42.11	-

Πίνακας 17 : Συνοπτικός πίνακας με την οργανική ουσία (OM), τον οργανικό άνθρακα (OC), και την ικανότητα κατιοντικής ανταλλαγής (CEC)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΦΡ

	1		
A/A	OM (%)	OC(%)	CEC (meq/100g)
A 0-0.2	3.45	5.93	47.98
A 0.2-0.4	3.52	6.06	49.52
A 0.4-0.6	2.74	4.72	33.48
A 0.6-0.8	2.37	4.08	25.83
A 0.8-1	2.27	3.90	23.69
A 1-1.2	3.23	5.55	43.43
A 1.2 -1.4	2.75	4.74	33.69
A 1.4-1.6	2.80	4.82	34.70
A 1.6-1.8	2.77	4.76	34.02
A 1.8-2	2.37	4.08	25.82
B 0-0.2	3.40	5.84	46.92
B 0.2-0.4	3.52	6.05	49.46
B 0.4-0.6	2.98	5.13	38.39
B 0.6-0.8	2.97	5.11	38.17
B 0.8-1	2.14	3.68	21.02
B 1-1.2	2.00	3.43	18.08
B 1.2-1.4	2.53	4.35	29.03
B 1.4-1.6	2.73	4.69	33.12
B 1.6-1.8	2.64	4.54	31.40
B 1.8-2	2.57	4.43	29.98
Г 0-0.2	3.60	6.19	51.16
Г 0.2-0.4	3.27	5.63	44.38
Г 0.4-0.6	2.90	4.98	36.65
Г 0.6-0.8	2.68	4.61	32.17
Г 0.8-1	2.83	4.87	35.32
Г 1-1.2	2.33	4.00	24.88
Г 1.2-1.4	2.24	3.85	23.13
Г 1.4-1.6	2.98	5.12	38.28
Г 1.6-1.8	2.33	4.01	24.94
Г 1.8-2	2.65	4.56	31.52
Δ 0-0.2	3.15	5.43	41.96
Δ 0.2-0.4	2.67	4.60	32.02
Δ 0.4-0.6	3.34	5.75	45.80
Δ 0.6-0.8	2.36	4.05	25.50
Δ 0.8-1	2.32	3.99	24.74
Δ 1-1.2	2.47	4.25	27.82
Δ 1.2-1.4	2.22	3.82	22.75
Δ 1.4-1.6	2.75	4.72	33.52

Βιβλιοθήκη				
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟ	ΟΣ"			
Τυήμα Γεωλογία	Δ 1.6-1.8	2.38	4.10	26.02
АПО	Δ 1.8-2	2.33	4.02	25.05
	E 0-0.2	3.28	5.65	44.64
	E 0.2-0.4	3.35	5.77	46.04
	E 0.4-0.6	2.92	5.03	37.18
	E 0.6-0.8	2.61	4.50	30.82
	E 0.8-1	2.70	4.65	32.63
	E 1-1.2	2.09	3.60	20.03
	E 1.2-1.4	3.25	5.59	43.94
	E 1.4-1.6	2.98	5.13	38.44
	E 1.6-1.8	2.58	4.44	30.11
	E 1.8-2	2.44	4.19	27.13
	Ελάχιστο	2.00	3.43	18.08
	Μέγιστο	3.60	6.19	51.16



Σχήμα 31 : Ταξινόμηση εδαφικών δειγμάτων σε τριγωνικό διάγραμμα κατά USDA από την περιοχή έρευνας (Δείγματα από κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο)



Σχήμα 32 : Ταξινόμηση εδαφικών δειγμάτων σε τριγωνικό διάγραμμα κατά USDA από την περιοχή έρευνας (Δείγματα από την κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα)

A/A	Κατάταξη εδάφους κατά USDA		Αριθμός Δειγμάτων	Ποσοστό (%)	Βασικές ομάδες εδαφών	
1	SiC	Ιλυοαργιλώδες	3	6	Amplésee	
2	CL	Αργιλοπηλώδες	3	6	Αργιλωσες	
3	L	Πηλώδες	9	18		
4	SiL	Ιλυοπηλώδες	10	20	Πηλάδος	
5	SiCL	Ιλυοαργιλοπηλώδες	9	18	Πηλωσες	
6	LS	Πηλοαμμώδες	6	12		
7	S	Αμμώδες	3	6	A	
8	SL	Αμμοπηλώδες	7	14	Αμμωσες	

Πίνακας 17 : Αριθμός δειγμάτων και ποσοστά κάθε εδαφικού τύπου

Πίνακας 18 : Συνοπτικός πίνακας με τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

А.П.О	OPIO	OPIO	ΔΕΙΚΤΗΣ
A/A	ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
	(LL) (%)	(PL) (%)	(IP) (%)
A 0-0.2	49	23	26
A 0.2-0.4	50	21	29
A 0.4-0.6	41	16	25
A 1.2-1.4	34	16	18
A 1.4-1.6	38	14	24
A 1.6-1.8	31	14	18
A 1.8-2	31	14	17
В 0-0.2	50	18	32
B 0.2-0.4	48	22	26
B 0.4-0.6	38	17	21
B 1.2-1.4	30	16	14
B 1.4-1.6	36	14	22
B 1.6-1.8	32	15	17
B 1.8-2	31	15	16
Г 0-0.2	51	22	29
Г 0.2-0.4	46	22	24
Γ 0.4-0.6	38	15	23
Г 1.2-1.4	29	13	16
Г 1.4-1.6	39	17	22
Г 1.6-1.8	32	14	18
Г 1.8-2	33	17	16
Δ 0-0.2	51	17	34
$\Delta$ 0.2-0.4	49	13	16
$\Delta 0.4$ -0.6	34	11	23
Δ 1.2-1.4	29	19	10
Δ 1.4-1.6	38	15	23
Δ 1.6-1.8	31	10	21
Δ 1.8-2	30	15	15
E 0-0.2	48	20	28
E 0.2-0.4	47	19	28
E 0.4-0.6	40	17	23
E 1.4-1.6	42	17	25
E 1.6-1.8	33	15	18
E 1.8-2	32	15	17

Πίνακας 19 : Συνοπτικός πίνακας με τα αποτελέσματα από τις εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

А.П.Ө				
Αριθμός	Hazen	Biallas	Seelheim	Harleman
Δείγματος	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
A 0-0.2	4.00E-10	5.51E-15	8.93E-12	2.62E-15
A 0.2-0.4	4.00E-10	4.90E-15	8.93E-12	2.62E-15
A 0.4-0.6	1.00E-08	2.23E-13	1.29E-09	6.54E-14
A 0.6-0.8	1.60E-05	1.80E-09	5.71E-08	1.05E-10
A 0.8-1	3.60E-05	4.58E-09	1.29E-07	2.35E-10
A 1-1.2	2.50E-07	9.04E-12	1.43E-08	1.64E-12
A 1.2 -1.4	1.60E-09	1.15E-13	3.21E-10	1.05E-14
A 1.4-1.6	2.50E-09	4.53E-14	3.21E-10	1.64E-14
A 1.6-1.8	4.90E-09	1.15E-13	1.43E-10	3.20E-14
A 1.8-2	6.40E-09	1.84E-12	7.23E-10	4.19E-14
B 0-0.2	9.00E-10	2.71E-14	8.93E-12	5.89E-15
B 0.2-0.4	9.00E-10	4.53E-14	5.71E-12	5.89E-15
B 0.4-0.6	4.00E-10	2.71E-14	8.03E-11	2.62E-15
B 0.6-0.8	6.40E-07	4.45E-11	1.43E-08	4.19E-12
B 0.8-1	4.90E-05	8.89E-09	1.29E-07	3.20E-10
B 1-1.2	1.00E-04	6.97E-09	3.66E-08	6.54E-10
B 1.2-1.4	3.60E-09	2.23E-13	3.21E-10	2.35E-14
B 1.4-1.6	2.50E-09	1.15E-13	2.80E-10	1.64E-14
B 1.6-1.8	1.60E-09	1.15E-13	8.93E-10	1.05E-14
B 1.8-2	9.00E-10	2.23E-13	1.29E-09	5.89E-15
Г 0-0.2	4.00E-10	5.51E-15	5.71E-12	2.62E-15
Г 0.2-0.4	9.00E-10	5.51E-15	1.75E-11	5.89E-15
Г 0.4-0.6	3.60E-09	4.53E-14	8.93E-10	2.35E-14
Г 0.6-0.8	4.90E-07	5.57E-10	3.21E-08	3.20E-12
Г 0.8-1	1.00E-06	7.94E-10	4.37E-08	6.54E-12
Г 1-1.2	9.00E-06	4.58E-09	1.29E-07	5.89E-11
Г 1.2-1.4	1.00E-08	5.41E-12	5.71E-10	6.54E-14
Г 1.4-1.6	4.90E-09	4.53E-14	1.43E-10	3.20E-14
Г 1.6-1.8	1.00E-08	2.79E-12	1.08E-09	6.54E-14
Г 1.8-2	1.60E-09	1.15E-13	8.93E-10	1.05E-14
$\Delta$ 0-0.2	2.50E-09	4.53E-14	2.28E-11	1.64E-14
$\Delta 0.2$ -0.4	4.00E-10	4.53E-14	8.93E-10	2.62E-15
$\Delta 0.4$ -0.6	4.00E-10	9.20E-15	8.93E-12	2.62E-15
$\Delta 0.6-0.8$	1.00E-06	4.58E-09	3.21E-08	6.54E-12
$\Delta 0.8$ -1	9.00E-06	4.58E-09	3.21E-08	5.89E-11
Δ 1-1.2	4.00E-06	1.42E-09	3.21E-08	2.62E-11
Δ 1.2-1.4	2.25E-08	1.10E-12	8.93E-10	1.47E-13
Δ 1.4-1.6	4.90E-09	4.53E-14	8.03E-11	3.20E-14
Δ 1.6-1.8	1.00E-08	5.67E-13	8.93E-10	6.54E-14
$\Delta$ 1.8-2	1.00E-08	1.10E-12	1.29E-09	6.54E-14

Ψησ	ριακή συλλογή	10
BI	βλιοθήκη	
Ch- wet	a contraction of the second se	
HOFO	ΦΡΑΣΤΟ	)Σ"

-		Cleans and a second sec			
	E 0-0.2	1.60E-09	3.56E-14	1.75E-11	1.05E-14
1	E 0.2-0.4	1.00E-10	2.84E-15	1.75E-11	6.54E-16
1	E 0.4-0.6	9.00E-10	4.53E-14	1.43E-10	5.89E-15
	E 0.6-0.8	4.00E-06	7.94E-10	1.43E-08	2.62E-11
	E 0.8-1	1.00E-06	1.08E-09	1.43E-08	6.54E-12
	E 1-1.2	3.60E-05	8.89E-09	8.93E-08	2.35E-10
	E 1.2-1.4	1.00E-06	1.13E-10	1.43E-08	6.54E-12
	E 1.4-1.6	4.00E-10	9.20E-15	6.03E-11	2.62E-15
	E 1.6-1.8	1.60E-09	1.15E-13	5.71E-10	1.05E-14
	E 1.8-2	8.10E-09	5.67E-13	8.93E-10	5.30E-14



Στη συνέχεια συνοψίζονται τα συμπεράσματα από την ολοκλήρωση της έρευνας που αφορά στις μηχανικές ιδιότητες και την υδροπερατότητα της ακόρεστης ζώνης της λεκάνης του Ανθεμούντα:

- Το Νέο Ρύσιο ανήκει στο υδροφόρο υποσύστημα Βασιλικών Ρυσίου Θέρμης, βρίσκεται εντός τεταρτογενών ιζημάτων και μέχρι τα 40 m παρατηρείται η ανάπτυξη ενός ελεύθερου υδροφορέα, ενώ πλευρικά παρατηρούνται αργιλικά καλύμματα που μετατρέπουν τον υδροφορέα σε υπό πίεση.
- Η περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων φτάνει μέχρι το 20,7%, ενώ ως ελάχιστη τιμή φτάνει μέχρι το 1,7%. Αξίζει να αναφερθεί πως για τα δείγματα μεταξύ 0,6 έως 1,2 m η περιεχόμενη υγρασία έχει μέσο όρο 3,47%, ενώ για τα υπόλοιπα δείγματα τόσο μικρότερου όσο και μεγαλύτερου βάθους ο μέσος όρος υγρασίας είναι 13,06%, έχοντας μάλιστα ως κατώτερη τιμή το 6,8%.
- Σύμφωνα με τις κοκκομετρικές αναλύσεις προκύπτει ότι: η μέγιστη τιμή αργίλου είναι 42,11% ενώ η ελάχιστη 13,77%, η οργανική ουσία κυμαίνεται μεταξύ 2% και 3,6%, ο οργανικός άνθρακας κυμαίνεται από 3,43% μέχρι 6,19% και τέλος η κατιοντική ανταλλαγή από 18,08 (meq/100g) μέχρι και 51,16 (meq/100g).
- Επίσης, από τις κοκκομετρικές αναλύσεις αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρείται μια διαβάθμιση ανάλογα με το βάθος του δείγματος, όπως παρακάτω:
  - από 0 ως 0,6 m η μέγιστη τιμή της αργίλου είναι 42,11% και η ελάχιστη είναι
    22,76% με μέσο όρο 33,9%, σε αντίθεση με τα βάθη από 1,2 ως 2 m όπου οι
    τιμές της κυμαίνονται από 13,39% μέχρι και 29,25% με μέσο όρο 20,86%.
  - αντίστοιχα όπως είναι λογικό μαζί με τη μείωση της αργίλου παράλληλα παρατηρείται και μείωση της κατιοντικής ανταλλαγής, η οποία έχει μέσο όρο 43,04 (meq/100g) στα βάθη από 0 έως 0,6 m ενώ για τα βάθη από 1,2 μέχρι τα 2 m ο μέσος όρος πέφτει στο 30,14 (meq/100g).
- Στην περιοχή παρατηρήθηκαν 8 εδαφικοί τύποι εκ των οποίων το 12% χαρακτηρίζεται ως αργιλώδη, το 68% ως πηλώδη και το 20% ως αμμώδη. Το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα ιλυοπηλώδη εδάφη τα οποία εμφανίζονται σε ποσοστό 20% και συνολικά 10 δείγματα.

Όσον αφορά τα όρια Atterberg το μέγιστο όριο υδαρότητας (LL) είναι 51% ενώ το ελάχιστο είναι 29%, αντίστοιχα το μέγιστο όριο πλαστικότητας (PL) είναι 23% και το ελάχιστο είναι 10%.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Ομοίως με προηγουμένως και τα όρια Atterberg εμφανίζουν διακυμάνσεις ανάλογα με το βάθος, δηλαδή:
  - Από τα βάθη 0 ως 0,6 m το όριο υδαρότητας είναι κατά μέσο όρο 12,09% μεγαλύτερο από ότι στα βάθη από 1,2 έως 2 m. Πιο συγκεκριμένα στα μεγαλύτερα βάθη ο μέσος όρος είναι 33,21%, σε αντίθεση με τα επιφανειακά υλικά όπου ο μέσος όρος είναι 45,3%.
  - Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και για το όριο πλαστικότητας, αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Καθώς, στα ανώτερα δείγματα παρουσιάζεται όριο πλαστικότητας με μέσο όρο 18,2%, ενώ βαθύτερα ο μέσος όρος είναι 15%.
- Ο εμπειρικός τύπος του Hazen είναι αυτός που εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, καθώς εμφανίζει τιμές της τάξης 10<sup>-9</sup> 10<sup>-5</sup> m/s γεγονός που χαρακτηρίζει την υδροπερατότητα της περιοχής ως μέτρια.
- Εκτός από τη μέθοδο του Hazen, οι υπόλοιπες τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν δίνουν τιμές κατά κύριο λόγο μεγαλύτερες από 10<sup>-10</sup>, γεγονός που καθιστά την τιμή της υδροπερατότητας στην περιοχή πολύ μικρή.
- Κοινό χαρακτηριστικό και των τεσσάρων μεθόδων αποτελεί το γεγονός ότι παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στις τιμές της υδροπερατότητας για τα βάθη από 0,6 έως 1,2 m. Το συγκεκριμένο φαινόμενο αποδίδεται στη σύσταση των συγκεκριμένων δειγμάτων, μιας και πρόκειται κατά κύριο λόγο για αμμώδη υλικά, και όπως είναι αναμενόμενο η άμμος παρουσιάζει μεγαλύτερη υδροπερατότητα σε σχέση με τα πηλώδη και τα αργιλώδη υλικά, εξαιτίας των μεγάλων ανοιγμάτων μεταξύ των σωματιδίων της.





**Βουδούρης Κ., 2009**. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

**Βουδούρης, Κ., 2021.** Τεχνική Υδρογεωλογία- Υπόγεια Νερά, Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη

Δεβετζή Στυλιανή, 2021. Εκτίμηση της τρωτότητας του υπογείου νερού με την μέθοδο DRASTIC στον πορώδη υδροφορέα Νέας Τρίγλιας στη Χαλκιδική

**Ζαβρίδου Ευθυμία, 2012**. Σύγκριση του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας με εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές σε τμήμα της ακόρεστης ζώνης στην περιοχή του Γαλαρινού στη λεκάνη του Ανθεμούντα

**Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ., 2005.** Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσ/νίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων, Αθήνα, τομ. ΧΧΧVΙΙΙ. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας

**Καζάκης Ν., 2013**. Εκτίμηση της διακινδύνευσης εσωτερικής ρύπανσης των υπογείων νερών, Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Καζάκης Ν., Βουδούρης Κ., Τζόλλας Ν., Παύλου Α., Σωτηριάδης Μ. και Καντηράνης Ν., 2015. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπογείου νερού στη λεκάνη του Ανθεμούντα, Βόρεια Ελλάδα. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας, Ειδικός Τόμος 103

**Καϊοπούλου Μαρίνα, 2019**. Επεξεργασία δεδομένων παροχής, pH, θερμοκρασίας και αγωγιμότητας των πηγών 'Αγίασμα' και 'Βοσκίνα', στη λεκάνη του Ανθεμούντα

**Μουντράκης Δ., 2010**. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press A.E.

**Τσιώκος Λεωνίδας, 2007**. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΠΕΡΑΙΑΣ, ΔΗΜΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ, ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

**Τσουτάνης Απόστολος, 2020**. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΒΟΣΚΙΝΑ ΚΑΙ ΑΓΙΑΣΜΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2019-2020

**Φίκος Η., 2010**. Διδακτορική Διατριβή, Αντιστροφή γεωηλεκτρικών τομογραφικών Δεδομένων: Εφαρμογή στη λεκάνη Ανθεμούντα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

**Φλώρου Λυδία, 2017.** ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ, ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΧΑΒΡΙΑ (ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ, ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

**Χρηστάρας Β., Χατζηαγγέλου Μ., 2011.** Απλά Βήματα στην Εδαφομηχανική, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη

# ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<u>http://www.emy.gr/emy/el/</u> (Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) <u>https://earth.google.com/web</u>

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΔΥΦΙ



Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 33 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος A 0-0,2 m



Σχήμα 34 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος <br/>Α $0,\!2\text{-}0,\!4$  m



Σχήμα 35 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Α 1,2-1,4 m



Σχήμα 36 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Α 1,4-1,6 m



Σχήμα 37 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Α 1,6-1,8 m



Σχήμα 38 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος A 1,8-2 m



Σχήμα 39 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος B $0-0,2\ m$ 



Σχήμα 40 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος B 0,4 - 0,6 m



Σχήμα 41 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Β 1,2 -1,4 m



Σχήμα 42 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Β 1,4 - 1,6 m



Σχήμα 43 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος B 1,6 - 1,8 m



Σχήμα 44 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος <br/>Β 1,8 - 2 m



Σχήμα 45 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ<br/> 0 - 0,2 m



Σχήμα 46 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ $0,\!2$  -  $0,\!4~\mathrm{m}$ 



Σχήμα 47 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ 0,4 - 0,6 m



Σχήμα 48 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ 1,2 - 1,4 m


Σχήμα 49 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ 1,4 - 1,6 m



Σχήμα 50 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ 1,6 - 1,8 m



Σχήμα 51 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ<br/> 0 - 0,2 m



Σχήμα 52 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ $0,\!2$  - 0,4 m



Σχήμα 53 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ $0,\!4$  - 0,6 m



Σχήμα 54 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ 1,4 - 1,6 m



Σχήμα 55 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ 1,6 - 1,8 m



Σχήμα 56 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ 1,8 - 2 m



Σχήμα 57 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε0 - 0,2 m



Σχήμα 58 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε $0,\!2$  -  $0,\!4~m$ 



Σχήμα 59 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε 1,4 - 1,6 m



Σχήμα 60 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε 1,6 - 1,8 m



Σχήμα 61 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε<br/> 1,8 - 2 m



Σχήμα 62 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος A 0,6 - 0,8 m



Σχήμα 63 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Α 0,8 - 1 m



Σχήμα 64 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Α 1 - 1,2 m



Σχήμα 65 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος B 0,6 - 0,8 m



Σχήμα 66 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Β 0,8 - 1 m



Σχήμα 67 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ 0,6 - 0,8 m



Σχήμα 68 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ $0,\!8$  - 1 m



Σχήμα 69 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Γ<br/> 1 - 1,2 m



Σχήμα 70 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ $0,\!6$  -  $0,\!8$ 



Σχήμα 71 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Δ1 - 1,2 m



Σχήμα 72 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε 0,6 - 0,8 m



Σχήμα 73 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε 0,8 - 1 m



Σχήμα 74 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε 1 - 1,2 m



Σχήμα 75 : Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος Ε 1,2 - 1,4 m



Σχήμα 76 : Όριο υδαρότητας A $0-0,\!2\ m$ 





Σχήμα 77 : Όριο υδαρότητας Α $0{,}4-0{,}6~m$ 



Σχήμα 78 : Όριο υδαρότητας Α $1,2-1,4~{\rm m}$ 



Σχήμα 79 : Όριο υδαρότητας Α $1,\!4-1,\!6~m$ 





Σχήμα 80 : Όριο υδαρότητας Α $1{,}6{-}1{,}8~{\rm m}$ 



Σχήμα 81 : Όριο υδαρότητας <br/> A $1,\!8-2\ m$ 





Σχήμα 82 : Όριο υδαρότητας B $0-0,2\ m$ 



Σχήμα 83 : Όριο υδαρότητας B $0,\!2-0,\!4~m$ 





Σχήμα 84 : Όριο υδαρότητας B $0{,}4-0{,}6~m$ 

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Σχήμα 85 : Όριο υδαρότητας B 1,2 – 1,4 m



#### Σχήμα 86 : Όριο υδαρότητας Β 1,6 -1,8 m



Σχήμα 87 : Όριο υδαρότητας B $1{,}8-2~m$ 





Σχήμα 88 : Όριο υδαρότητας Γ $0{,}4-0{,}6~m$ 





Σχήμα 89 : Όριο υδαρότητας Γ $1,\!4-1,\!6~m$ 



Σχήμα 90 : Όριο υδαρότητας Γ $1,\!6-1,\!8~\mathrm{m}$ 



Γμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 91 : Όριο υδαρότητας Γ<br/> 1,8 - 2 m



Σχήμα 92 : Όριο υδαρότητας Δ0-0,2~m





Σχήμα 93 : Όριο υδαρότητας <br/>  $\Delta$  0,2 – 0,4 m



Σχήμα 94 : Όριο υδαρότητας <br/>  $\Delta$  0,4 – 0,6 m



ιήμα Γεωλογίας



Σχήμα 95 : Όριο υδαρότητας Δ $1,6-1,8~{\rm m}$ 



Σχήμα 96 : Όριο υδαρότητας Δ $1,8-2\ m$ 

<u>Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη</u>87



Γμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 97 : Όριο υδαρότητας Ε $0-0,2\ m$ 



Σχήμα 98 : Όριο υδαρότητας Ε $0,\!2-0,\!4~m$ 





Σχήμα 99 : Όριο υδαρότητας Ε $0,\!4-0,\!6~{\rm m}$ 



Σχήμα 100 : Όριο υδαρότητας Ε $1,\!4-1,\!6~{\rm m}$ 



Σχήμα 101 : Όριο υδαρότητας Ε 1,6 – 1,8 m

