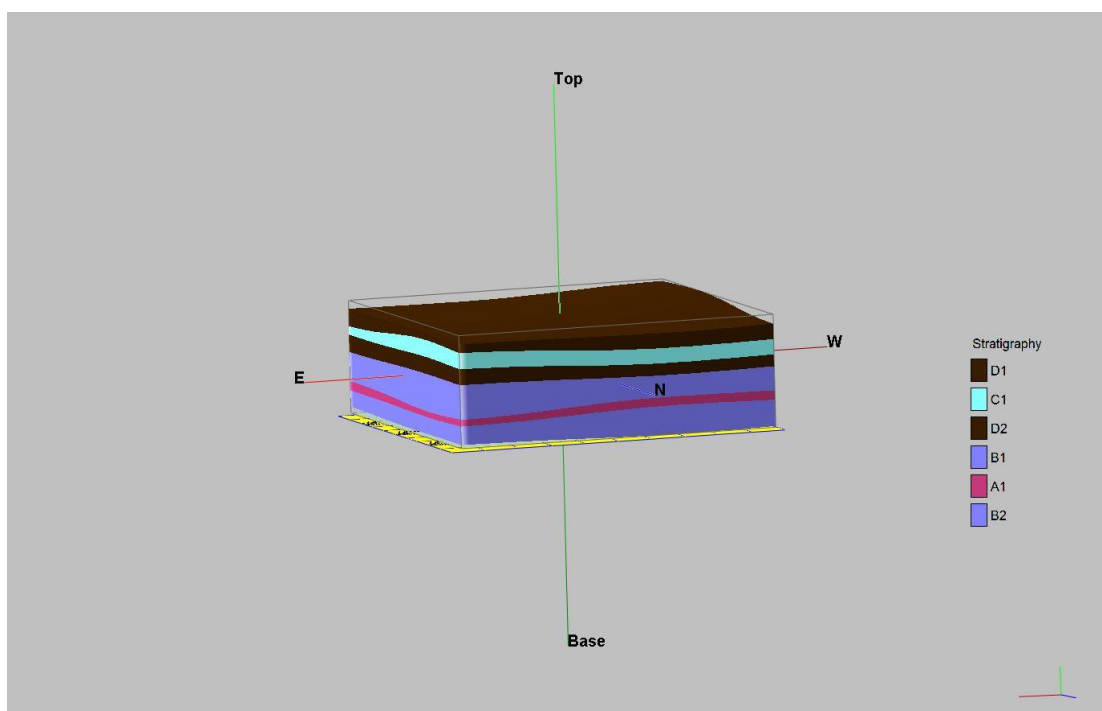




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-  
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

## Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση των Τεχνικογεωλογικών – Γεωτεχνικών συνθηκών στη λεκάνη  
Αμυνταίου του Νομού Φλώρινας.



Αντωνέριος Δημήτριος

Επιβλέπων Καθηγητής:

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επικ. Καθηγητής.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-  
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

**Διερεύνηση των Τεχνικογεωλογικών – Γεωτεχνικών συνθηκών στη  
λεκάνη Αμυνταίου του Νομού Φλώρινας.**

**Διπλωματική Εργασία**

Αντωνέριος Δημήτριος

Επιβλέπων Καθηγητής: Λουπασάκης Κωνσταντίνος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ...../...../2016

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής

(Υπογραφή).....

Ροντογιάννη – Τσιαμπαού Θεοδώρα, Καθηγήτρια

(Υπογραφή).....

Νομικός Πάυλος, Επίκουρος Καθηγητής

(Υπογραφή).....

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2016

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Διήρκησε από το Φεβρουάριο του 2014 έως το Σεπτέμβριο του 2016 υπό την επίβλεψη του κ. Λουπασάκη Κ., Επίκουρου Καθηγητή του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.

Το αντικείμενο της εργασίας ήταν η διερεύνηση των Τεχνικογεωλογικών και Γεωτεχνικών συνθηκών στη λεκάνη Αμυνταίου του Νομού Φλώρινας. Για την ολοκλήρωση της έρευνας έγινε συλλογή των βιβλιογραφικών δεδομένων από παλαιότερες μελέτες στη συγκεκριμένη περιοχή και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν επιπλέον εργαστηριακές δοκιμές στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής. Τα δεδομένα των μελετών όσο και των πειραμάτων αξιολογήθηκαν και κατασκευάστηκε τρισδιάστατο μοντέλο απεικόνισης της στρωματογραφίας της περιοχής.

Η διατριβή αυτή, μου έδωσε μια σφαιρική εικόνα της τεχνικογεωλογικής έρευνας καθώς παρακολούθησα το αντικείμενο της δουλειάς ενός Τεχνικού Γεωλόγου σε όλη την έκτασή του. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα ήταν η έρευνα και συλλογή των μελετών που αναφέρονταν στην περιοχή αυτή, η εκμάθηση του σχεδιαστικού προγράμματος Rockworks, καθώς και η πειραματική διαδικασία στο εργαστήριο.

Κλείνοντας θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Λουπασάκη Κ., Επίκουρο Καθηγητή του τομέα Γεωλογικών Επιστημών ο οποίος ήταν υπεύθυνος καθηγητής της διπλωματικής μου και με βοήθησε όποτε τον χρειάστηκα, σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής με πολύτιμες συμβουλές και παρεμβάσεις. Θέλω ακόμα να ευχαριστήσω την κα. Ροντογιάννη – Τσιαμπάου Θ. Καθηγήτρια του τομέα Γεωλογικών Επιστημών και τον κ. Νομικό Π. του τομέα Μεταλλευτικής για τις χρήσιμες συμβουλές τους. Ευχαριστώ θερμά τον κ. Τζάμπογλου Π. πτυχιούχο Μηχανικό Μεταλλείων – Μεταλλουργό και υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής για το ενδιαφέρον και την πολύτιμη βοήθεια του από την αρχή της διατριβής αυτής, τόσο στον καθορισμό των ενοτήτων των σχηματισμών, όσο και στην επί τόπου έρευνα και στις εργαστηριακές δοκιμές. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια.

# Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή .....	1
2.	Γεωμορφολογία.....	3
2.1	Εισαγωγή .....	3
2.2	Μορφολογία της περιοχής .....	3
2.3	Λιγνιτικό κοίτασμα λεκάνης Αμυνταίου .....	5
2.3.1	Λιγνιτικό κοίτασμα Απόφυσης .....	6
2.4	Εδαφικές Υποχωρήσεις.....	6
3.	Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	10
3.1	Εισαγωγή .....	10
3.2	Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής .....	10
3.3	Νεοτεκτονικό πεδίο τάσεων στη Δυτική Μακεδονία .....	16
3.4	Υδρογεωλογία.....	21
3.4.1	Υδρολογική περιγραφή.....	21
3.4.2	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα .....	21
3.4.3	Απορροή, κατείσδυση, υδρολιθολογικές συνθήκες.....	22
3.4.4	Υδροφόρος Αμυνταίου .....	23
3.5	Σεισμικότητα.....	27
3.5.1	Εισαγωγή .....	27
3.5.2	Σεισμικότητα Βορείου Ελληνικού χώρου.....	28
3.5.3	Πεδίο Ενεργών Τάσεων στη Βόρεια Ελλάδα .....	30
3.5.4	Σεισμικότητα της στενής περιοχής μελέτης Βεγορίτιδας - Αναργύρων.....	31
4.	Γεωτεχνική συμπεριφορά σχηματισμών στενής περιοχής μελέτης.....	33
4.1	Εισαγωγή .....	33
4.1.1	Παρουσίαση στενής περιοχής μελέτης και ερευνητικής διαδικασίας .....	33
4.2	Γεωλογικές συνθήκες της στενής περιοχής μελέτης .....	34
4.3	Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής .....	39

4.3.1 Φυσική υγρασία .....	41
4.3.2 Φαινόμενο βάρος .....	42
4.3.3 Ειδικό βάρος .....	43
4.3.4 Όρια Atterberg .....	45
4.3.5 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα .....	48
4.3.6 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο .....	52
4.3.7 Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης .....	57
4.4 Αποτελέσματα Εργαστηριακών Δοκιμών.....	61
4.4.1 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα και αραιόμετρα.....	64
4.4.2 Συμπεράσματα από τον υπολογισμό των ορίων Atterberg.....	68
4.4.3 Αποτελέσματα δοκιμής συμπιεστότητας.....	72
4.5 Κατηγοριοποίηση και μηχανικά χαρακτηριστικά εδαφών .....	73
4.5.1 Τρισδιάστατη Γεωλογική Προσομοίωση με πρόγραμμα Rockworks 15. ..	76
4.5.2 Επεξεργασία δεδομένων των συγκεντρωτικών πινάκων των δειγμάτων. ..	83
5. Συμπεράσματα .....	89
Βιβλιογραφία .....	91
Παράρτημα 1.....	96

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2.1: Λεκάνη Αμυνταίου.....	4
Εικόνα 2.2: Φωτογραφίες μεταβολής της εδαφικής διαρρήξεως στον οικισμό των Αναργύρων.....	8
Εικόνα 2.3. Περίφραξη οικίας που βρίσκεται στο πεδινό τμήμα της περιοχής και έχει πληγεί από τις εδαφικές διαρρήξεις.....	9
Εικόνα 2.4: Αστοχία σε τοίχο σπιτιού χτισμένο πάνω στο ρήγμα των Αναργύρων.....	9
Εικόνα 4.1: Εδαφικά δείγματα για δοκιμές εδαφομηχανικής.....	41
Εικόνα 4.2: βύθιση δείγματος για παραφίνωση.....	43
Εικόνα 4.3: Απαέρωση των δειγμάτων με θέρμανση.....	44
Εικόνα 4.4: α) Συσκευή Casagrande β) Συσκευή Casagrande πριν τη δοκιμή.....	46
Εικόνα 4.5: Κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή κοκκομετρικής ανάλυσης.....	49
Εικόνα 4.6: Ξήρανση εδαφικών δειγμάτων σε κλίβανο.....	50
Εικόνα 4.7: Παρασκευή διαλύματος πολυφωσφορικού νατρίου.....	53
Εικόνα 4.8: Δείγματα που προορίζονται για δοκιμή αραιομέτρου.....	54
Εικόνα 4.9: Δείγματα σε ογκομετρικό κύλινδρο όπου βυθίζεται το αραιόμετρο.....	54
Εικόνα 4.10: Οιδήμετρα σε φόρτιση 1 kg.....	59
Εικόνα 4.11 Δοκίμιο για τοποθέτηση στη συσκευή οιδημέτρου.....	60
Εικόνα 4.12: Καρότα γεωτρήσεων 17 και 18 ΑΗΣ Αμυνταίου.....	74
Εικόνα 4.13: Μεταφορά δεδομένων από καρότο γεώτρησης σε μιλιμετρέ χαρτί.....	75
Εικόνα 4.14: Η υποσελίδα Borehole Manager.....	76
Εικόνα 4.15: Ορισμός στρωματογραφικών ενοτήτων του τελικού μοντέλου.....	78
Εικόνα 4.16: Εισαγωγή δεδομένων από φύλλα excel στο πρόγραμμα.....	78
Εικόνα 4.17: Επιλογή τρισδιάστατου μοντέλου στρωματογραφίας.....	79
Εικόνα 4.18: Παράθυρο ρυθμίσεων παραμέτρων κατασκευής του στρωματογραφικού μοντέλου.....	79

## Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 3.1: Ευρύτερη περιοχή μελέτης από Google Earth. ....	10
Σχήμα 3.2: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων Ζωνών.....	12
Σχήμα 3.3: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική - τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης.....	13
Σχήμα 3.4: Τεκτονικός χάρτης της περιοχής με πληροφορίες για το πεδίο των νεοτεκτονικών τάσεων.....	19
Σχήμα 3.5: Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων τάσης και το πεδίο των τεκτονικών τάσεων του Ελλαδικού χώρου. ....	20
Σχήμα 3.6: Σχηματική υδρογεωλογική τομή υδροφόρου Αμυνταίου Φλώρινας .....	24
Σχήμα 3.7: Συνοπτικός υδρογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής.....	27
Σχήμα 3.8: Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο.....	28
Σχήμα 3.9: Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο για το χρονικό διάστημα 1982-2001 .....	29
Σχήμα 3.10: πληροφοριών και νεοτεκτονικά ρήγματα του Β. Ελληνικού χώρου.....	29
Σχήμα 3.11: Πεδίο τάσεων από το συνδυασμό νεοτεκτονικών και σεισμολογικών πληροφοριών και νεοτεκτονικά ρήγματα του Β. Ελληνικού χώρου .....	30
Σχήμα 3.12: δεδομένα σεισμικότητας (1900-2004) στην ευρύτερη περιοχή Βεγορίτιδας. ....	32
Σχήμα 3.13: Πλήρη δεδομένα σεισμικότητας (1900-2004) στην περιοχή της λεκάνης Βεγορίτιδας-Αναργύρων.....	32
Σχήμα 4.1: Χάρτης στενής περιοχής μελέτης.....	34
Σχήμα 4.2: Γεωλογικές τομές του κοιτάσματος Αναργύρων – Αμυνταίου.....	38
Σχήμα 4.3: Σκαρίφημα συσχέτισης των στρωματογραφικών στηλών στις περιοχές Κομνηνών – Αναργύρων – Αρδάσσας.....	38
Σχήμα 4.4: Θέσεις γεωτρήσεων ΑΗΣ Αμυνταίου στην περιοχή του εργοστασίου.....	40
Σχήμα 4.5: Θέσεις δειγματοληψίας εδαφικών υλικών για δοκιμές εδαφομηχανικής. ....	40
Σχήμα 4.6 Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας.....	47
Σχήμα 4.7: Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων από ανάλυση με κόσκινα. ....	52
Σχήμα 4.8: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ποσοστού διερχομένων – διαμέτρου κόκκων από δοκιμή ανάλυσης με πυκνόμετρο. ....	57
Σχήμα 4.9: Διάγραμμα Casagrande .....	62

Σχήμα 4.10 : Αθροιστική Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων δείγματος 1. ....	65
Σχήμα 4.11 : Αθροιστική Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων δείγματος 2. ....	66
Σχήμα 4.12: Αθροιστική Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων δείγματος 3. ....	67
Σχήμα 4.13: Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας του δείγματος 1.....	70
Σχήμα 4.14: Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας του δείγματος 2.....	70
Σχήμα 4.15: Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας του δείγματος 3.....	71
Σχήμα 4.16 Ταξινόμηση δείγματος 3 στο διάγραμμα Casagrande.....	72
Σχήμα 4.17 : Διάγραμμα δείκτη πόρων – κατακόρυφης τάσης για το δείγμα 2.....	73
Σχήμα 4.18 : Διάγραμμα δείκτη πόρων – κατακόρυφης τάσης για το δείγμα 3.....	73
Σχήμα 4.19: Θέσεις γεωτρήσεων ΑΗΣ Αμυνταίου. ....	78
Σχήμα 4.20: Rockworks: 3D μοντέλο στρωματογραφίας των οριζόντων του σχηματισμού Προαστίου στην περιοχή της Δ.Ε.Η. ....	81
Σχήμα 4.21: Rockworks: 3D μοντέλο στρωματογραφίας των οριζόντων μετά την εφαρμογή διαπλάτυνσης (stretch) επί του άξονα Top – Base. ....	82
Σχήμα 4.22 Διάγραμμα ποσοστού αργιλοϊλούς – δείκτη πλαστικότητας για τους ορίζοντες Β και C.....	88

## Πίνακες

Πίνακας 3.1: Μέσα ετήσια ύψη κατακρημνισμάτων (1981 – 2001).....	22
Πίνακας 3.2 Γενικά και Γεωμετρικά στοιχεία Υδροφόρου. ....	25
Πίνακας 3.3 Γεωλογικά στοιχεία Υδροφόρου. ....	25
Πίνακας 3.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία Υδροφόρου.....	25
Πίνακας 3.5 Υδρολογικά στοιχεία Υδροφόρου.....	25
Πίνακας 3.6: Υδραυλικά στοιχεία Υδροφόρου. ....	26
Πίνακας 3.7 Ποιοτική Κατάσταση Υδροφόρου. ....	26
Πίνακας 3.8 Πιέσεις Υδροφόρου.....	26
Πίνακας 4.1: Σχετική πυκνότητα νερού και συντελεστής αναγωγής K για διάφορες θερμοκρασίες. ....	45
Πίνακας 4.2: Μέγιστη διάμετρος κόκκων σε αιώρημα κάτω από τις δεδομένες συνθήκες. ....	56



Πίνακας 4.3 : Ταξινόμηση εδαφών με βάση το ενιαίο σύστημα εδαφικής ταξινόμησης.....	62
Πίνακας 4.4 : Ανόργανα Συνεκτικά εδάφη. Συγκρατούμενο από κόσκινο .....	63
No 200 (D = 0.074mm) <50%, LL <50%.....	63
Πίνακας 4.5 : Ανόργανα εδάφη. Συγκρατούμενο από κόσκινο.....	63
No 200 (D = 0.074mm) <50%, LL ≥ 50%.....	63
Πίνακας 4.6: Μη συνεκτικά εδάφη, κοκκώδη, συγκρατούμενο από κόσκινο.....	64
No 200 (D = 0.074mm) ≥ 50%.....	64
Πίνακας 4.7: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών του δείγματος 1.....	65
Πίνακας 4.8: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών του δείγματος 2.....	66
Πίνακας 4.9: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών του δείγματος 3.....	67
Πίνακας 4.10: Κατάταξη των εδαφών σε σχέση με την τιμή του δείκτη πλαστικότητας, σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης (USCS).....	69
Πίνακας 4.11: Κατάταξη των εδαφών σε σχέση με την τιμή του δείκτη συνεκτικότητας.....	69
Πίνακας 4.12 Κατηγορίες εδαφών με βάση την ενεργότητα.....	69
Πίνακας 4.13 Βάθη οριζόντων σε excel για εισαγωγή στο πρόγραμμα Rockworks...	76
Πίνακας 4.14: Ενδεικτικό τμήμα φύλλου Excel για τον ορίζοντα C.....	83
Πίνακας 4.15: Ορίζοντας A, Οργανική Άργιλος .....	84
Πίνακας 4.16: Ορίζοντας B, Άργιλος μέσης ως υψηλής πλαστικότητας, λίγο αμμώδης .....	84
Πίνακας 4.17: Ορίζοντας C, Αργιλοϊλύς αμμώδης με λεπτά χαλίκια .....	84
Πίνακας 4.18: Ορίζοντας D, Άμμος με χαλίκια.....	85

# Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Διήρκησε από το Φεβρουάριο του 2014 έως το Σεπτέμβριο του 2016 υπό την επίβλεψη του κ. Λουπασάκη Κ., Επίκουρου Καθηγητή του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των Τεχνικογεωλογικών και Γεωτεχνικών συνθηκών της λεκάνης Αμυνταίου του Νομού Φλώρινας. Για την πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας, έγινε επί τόπου έρευνα και συλλογή δειγμάτων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για εργαστηριακές δοκιμές. Παράλληλα, διενεργήθηκε βιβλιογραφική έρευνα για συλλογή δεδομένων από γεωτρήσεις σε υπάρχουσες μελέτες με στόχο την κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου απεικόνισης του υπεδάφους της περιοχής.

Η διατριβή διαρθρώνεται στα παρακάτω πέντε κεφάλαια

1<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Εισαγωγή

2<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης, περιγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

3<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης, στο οποίο συνοψίζεται η γεωλογία, η τεκτονική, η υδρογεωλογία και η σεισμικότητα της λεκάνης του Αμυνταίου βάσει βιβλιογραφικών δεδομένων.

4<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Γεωτεχνική συμπεριφορά των σχηματισμών μιας επιλεγμένης (στενής) περιοχής μελέτης, όπου έγινε ομαδοποίηση των εδαφικών σχηματισμών με παρόμοιες φυσικές και μηχανικές παραμέτρου, αναλυτική περιγραφή του κάθε ορίζοντα, κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου και στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών.

5<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Συμπεράσματα, σημείο στο οποίο συνοψίζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της διατριβής.

## **Abstract**

This thesis was carried out in the frame of fulfillment of the educational programme obligations of the School of Mining and Metallurgical Engineering and lasted from February of 2014 till September 2016. This thesis was supervised by C. Loupasakis, Assistant Professor on the Department of Geological Sciences, at the School of Mining and Metallurgical Engineering of the National Technical University of Athens.

The subject of this thesis is the investigation of the geotechnical conditions of the Amyntaio basin of the Florina district in northern Greece. To this direction, the physical and mechanical parameters of the geological formations were investigated and a 3D graphic array model was created.

This study consists of the following chapters:

Chapter 1: Introduction

Chapter 2: Morphology of the area, describing the main characteristics of the area.

Chapter 3: Geology, Tectonics, Hydrogeology, Seismicity of the wide area.

Chapter 4: Geotechnical behavior of the formations of the close area, 3D graphic array model of the terrain, description of the conducted Laboratory Tests based on ASTM and ISRM standards and statistic analysis of the Laboratory Tests results.

Chapter 5: Conclusion of the thesis.

# 1. Εισαγωγή

Η λεκάνη του Αμυνταίου ανήκει στο νομό Φλώρινας και αποτελεί περιοχή έρευνας για την παρούσα εργασία. Ανήκει στο δήμο Αμυνταίου, περίπου 33 χλμ. νοτιοανατολικά της πόλης της Φλώρινας. Η συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω της έντονης εδαφικής της εκμετάλλευσης, τόσο αγροτικής όσο και εξορυκτικής (ορυχεία λιγνίτη).

Στην περιοχή παρουσιάζεται αύξηση του πληθυσμού τα τελευταία 10 χρόνια και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του Δήμου Αμύνταιου, παρουσιάζουν μια περιοχή με κανονική ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στην περαιτέρω ανάπτυξη του Δήμου (<http://el.wikipedia.org/wiki/Αμύνταιο>).

Η παρούσα διπλωματική εργασία, με αφορμή την αναπτυξιακή δραστηριότητα της περιοχής, έχει ως σκοπό την διερεύνηση των χαρακτηριστικών των εδαφικών σχηματισμών που βρίσκονται εκεί καθώς και την απεικόνιση αυτών σε υπολογιστικό μοντέλο.

Για την πραγματοποίηση της παραπάνω διαδικασίας έγινε έρευνα στο Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Επιστημών (Ι.Γ.Μ.Ε.) και στο Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (Κ.Ε.Δ.Ε) όπου συλλέχθηκαν πληροφορίες γύρω από παλαιότερες μελέτες πάνω στην περιοχή που περιλαμβάνουν προφίλ γεωτρήσεων και στοιχεία δοκιμών στα διάφορα δείγματα. Επίσης έγινε επί τόπου έρευνα και συλλογή δειγμάτων και στη συνέχεια εργαστηριακή ανάλυση αυτών στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλειολόγων Μεταλλουργών.

Η παρούσα διατριβή αποτελείται από 5 κεφάλαια με 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο την Εισαγωγή. Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αφορά στη γεωμορφολογία της περιοχής βάσει βιβλιογραφικών αναφορών. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται η γεωλογία, η τεκτονική, η υδρογεωλογία και η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής μέσα από βιβλιογραφικά δεδομένα. Το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιλαμβάνει την γεωλογία της στενής περιοχής μελέτης, τα δεδομένα των εργαστηριακών δοκιμών που βρέθηκαν από την έρευνα των μελετών αλλά και αυτά

που προέκυψαν από τα δείγματα που συλλέξαμε από την περιοχή μας και την περιγραφή των εργαστηριακών δοκιμών όπως προβλέπουν τα διεθνή πρότυπα. Έπειτα παρατίθενται η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων καθώς η προβολή των ενοποιημένων σχηματισμών του προαστίου σε 3D μοντέλο. Τέλος, το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο είναι η σύνοψη όλων των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την εκπόνηση της διατριβής.

## 2. Γεωμορφολογία

### 2.1 Εισαγωγή

Το Αμύνταιο είναι κωμόπολη του νομού Φλώρινας και έδρα του ομώνυμου δήμου Αμυνταίου και σύμφωνα με την απογραφή του 2001 έχει 3,636 κατοίκους. Κατά τους ελληνιστικούς και ρωμαϊκούς χρόνους η πόλη ήλεγχε τη δίοδο από την άνω στην κάτω Μακεδονία. Η ονομασία της κωμόπολης το 15ο αιώνα ήταν Συροβίτσεβο, ενώ το 1892 η επέκταση του σιδηρόδρομου αποτελεί καθοριστική για την ανάπτυξη της, κάνοντας την ένα από τα μεγαλύτερα οικονομικά κέντρα της Δυτικής Μακεδονίας (<http://el.wikipedia.org/wiki/Αμύνταιο>).

### 2.2 Μορφολογία της περιοχής

Η λεκάνη του Αμυνταίου βρίσκεται στο κέντρο της υδρολογικής λεκάνης που σχηματίζεται ανάμεσα στα όρη Βέρνο, Βόρας, Άσκιο και Βέρμιο και περιλαμβάνει τις λίμνες Βεγορίτιδα, Πετρών και Χειμαδίτιδα και Ζάζαρη, έχοντας έκταση 354,4 km<sup>2</sup> (Εικόνα 2.1). Συγκεκριμένα, εκτείνεται νοτιοδυτικά της λιμνών Βεγορίτιδας και Πετρών και βορειοανατολικά της λίμνης Χειμαδίτιδας και της λίμνης Ζάζαρης. Η λίμνη Πετρών έχει έκταση 12,6 km<sup>2</sup> και βρίσκεται σε υψόμετρο +573 μέτρων με μέγιστο βάθος 5μ. Τροφοδοτείται με κανάλι από την λίμνη Χειμαδίτιδα (έκταση 10,8 km<sup>2</sup>, υψ. 560 μ., μέσο βάθος 1μ.) και αυτή με την σειρά της τροφοδοτεί την γειτονική της Βεγορίτιδα (έκταση 54,31 km<sup>2</sup>, μέγιστο βάθος 70μ. υψ. 540μ.) που είναι και ο τελικός αποδέκτης των νερών της περιοχής. Η λίμνη Ζάζαρη έχει έκταση περίπου 2 Km<sup>2</sup> και βρίσκεται σε υψόμετρο 602 μ. και τροφοδοτείται από το ποτάμι του Σλκήθρου. Ο ποταμός Αμύντας είναι το μοναδικό ποτάμι που διασχίζει την πεδιάδα της λεκάνης, και μέσω συστήματος καναλιών και αποχετευτικής τάφρου αποστραγγίζει το πρώην έλος της Χειμαδίτιδας, που βρίσκεται βορειοανατολικά της ομώνυμης λίμνης.



Εικόνα 2.1: Λεκάνη Αμυνταίου

Η μορφολογία της περιοχής είναι σχετικά ομαλή με υψόμετρα κυμαινόμενα μεταξύ +660 μ. και +595μ. Εντός των ορίων της περιοχής εντοπίζονται 13 οικισμοί. Από τους οικισμούς αυτούς, η Βεγόρα, το Ξινό Νερό και ο Σωτήρας βρίσκονται στα βόρεια της περιοχής. Τα Βαλτόνερα νοτιοδυτικά και οι Ανάργυροι βρίσκονται στα νότια της περιοχής στις παρυφές λοφώδους έξαρσης διαμορφωμένης από την δράση του ομώνυμου ρήγματος. Στο πεδινό κομμάτι της περιοχής βρίσκονται οι οικισμοί Ροδώνας, Φανός και Πεδινό, βορειοδυτικά της περιοχής, και οι Φιλώτας και Λεβαία ή Λακκιά ανατολικά. Στα δυτικά όρια της περιοχής βρίσκεται ο οικισμός Αετός ακριβώς στις παρυφές του όρους Βέρνου. Ο δήμος Αμυνταίου έχει έκταση 240,141 στρέμματα και η γύρω περιοχή χαρακτηρίζεται ως ορεινή – ημιορεινή, ενώ τα αγροκτήματα του Αμυνταίου και Ροδώνα είναι κυρίως πεδινά. Ο συνολικός πληθυσμός του Δήμου Αμυνταίου είναι, σύμφωνα με στοιχεία της απογραφής του 2001, 8.378 κάτοικοι. Υπολογίζεται κατά εκτίμηση ότι οι μόνιμοι κάτοικοι σήμερα ξεπερνούν τις 10.000 και ο πληθυσμός κατά την περίοδο αιχμής (καλοκαίρι) ανέρχεται περίπου σε 12.500 κάτοικους. Από την περιοχή διέρχονται οι εθνικές οδοί



Φλώρινας-Έδεσσας, Πτολεμαΐδας-Φλώρινας και η επαρχιακή οδός Φιλώτα-Άρνισσας (<http://el.wikipedia.org/wiki/Αμύνταιο>).

### **2.3 Λιγνιτικό κοίτασμα λεκάνης Αμυνταίου**

Η λιγνιτοφόρος σειρά στη λεκάνη του Αμυνταίου χωρίζεται σε δύο σειρές λιγνίτη, την ανώτερη και την κατώτερη. Η κατώτερη σειρά αποτελείται από τους σχηματισμούς Βάσης και Βεγόρας και η ανώτερη από το σχηματισμό Πτολεμαΐδας. Στα ανώτερα στρώματα του σχηματισμού Βάσης συναντώνται χαλαρά γνευσιακά κροκαλοπαγή και στη συνέχεια υπάρχουν ερυθρά προς ερυθροκίτρινα κροκαλοπαγή με αργιλούχα συνδετική ύλη.

Ο σχηματισμός Βεγόρας αποτελείται από λιγνιτοφορία τύπου ξυλίτη και συγκεκριμένα, πράσινη άμμο, εναλλαγές στρωμάτων ξυλίτη, μάργας και άμμου, τεφρές μάργες της οροφής και αμμώδεις κίτρινες μάργες με απολιθώματα (Ιορδανίδης, 2002). Ως πηγές τροφοδότησης των παραπάνω σχηματισμών θεωρούνται τα κρυσταλλικά πετρώματα των δυτικών περιθωρίων της λεκάνης και τα ανθρακικά από τα ανατολικά, τα οποία αποτέθηκαν μέσα στις λίμνες της περιοχής (λιμναία ιζηματογένεση).

Ο σχηματισμός Πτολεμαΐδας είναι αποτέλεσμα λιμναίων και λιμνοτελματικών αποθέσεων. Το πάχος του σχηματισμού είναι περίπου 250 μέτρα ενώ μειώνεται σημαντικά προς τους περιφερειακούς τομείς (70 μέτρα στο κοίτασμα Περδίκια). Η ανώτερη του στιβάδα συνίσταται από εναλλασσόμενα στρώματα αργίλων, αργιλούχων αμμών και ιλύων, και απολιθωματοφόρων με τεφρή ως τεφροπράσινη χροιά. Τα μεσαία μέλη του σχηματισμού αποτελούνται από εναλλαγές μαργαϊκών, αργιλικών – αργιλοαμμούχων και λιγνιτικών στρωμάτων (πηγή: υπόμνημα χάρτη ΠΓΜΕ φύλλο Πτολεμαΐδας). Οι λιγνιτικές στιβάδες του σχηματισμού χωρίζονται στις ανώτερη, ενδιάμεσα στεία και κατώτερη σειρά. Σύμφωνα με τον Ιορδανίδη (2002), στην ανώτερη σειρά κυριαρχεί μαργαϊκός ασβεστόλιθος με μεγάλο αριθμό απολιθωμάτων τύπου Planorbis. Για την κατώτερη σειρά αναφέρονται δύο χαρακτηριστικοί ορίζοντες οι οποίοι είναι :

- Ο ορίζοντας της *Theodoxus macedonicus* ή αλλιώς *Neritina* που περιέχει το αμμούχο απολιθώμα και λεπτή τεφρή μάργα. Συναντάται στο ανώτερο τμήμα της κατώτερης σειράς.



- Στα κατώτερα στρώματα της κατώτερης λιγνιτικής σειράς βρίσκεται ένα λεπτό στρώμα χαλαζιακής άμμου.

Τα κατώτερα μέλη του σχηματισμού Πτολεμαΐδας αποτελούνται από εναλλαγές αμμούχων αργίλων, λεπτόκοκκων αργιλούχων άμμων και άμμου με μάργες (πηγή: υπόμνημα χάρτη ΓΜΕ φύλλο Πτολεμαΐδας). Το πάχος της λιγνιτοφόρας σειράς κυμαίνεται μεταξύ των 20 και 140 μέτρων.

### **2.3.1 Λιγνιτικό κοίτασμα Απόφυσης**

Το λιγνιτικό κοίτασμα του Αμυνταίου επεκτείνεται προς τα νοτιοδυτικά σε έκταση 10 km<sup>2</sup> δημιουργώντας το λιγνιτικό κοίτασμα της Απόφυσης. Πρόκειται για μία επέκταση υπό μορφή απόφυσης, εξ αιτίας των τεκτονικών δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της απόθεσης του λιγνίτη και κυρίως μετά αυτής. Το κοίτασμα της Απόφυσης βρίσκεται ψηλότερα από το κοίτασμα του Αμυνταίου λόγω τεκτονικών γεγονότων που ανύψωσαν την περιοχή της Απόφυσης. Το πάχος (30μ.) της λιγνιτοφόρου σειράς είναι μικρότερο από εκείνο του κοιτάσματος Αμυνταίου και αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα λιγνιτών, μαργών, άμμου και αργίλου και συνδυασμοί αυτών (Ιορδανίδης Α., 2002).

## **2.4 Εδαφικές Υποχωρήσεις**

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη της περιοχής συναντάται γύρω απ' το γεγονός των εδαφικών υποχωρήσεων. Δυτικά του λιγνιτωρυχείου Αμυνταίου άρχισαν να καταγράφονται κατακόρυφες διαδοχικές παραμορφώσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα εδαφικές διαρρήξεις. Οι εδαφικές διαρρήξεις εκτίνονται κυρίως στην περιοχή ανάμεσα στους οικισμούς Αναργύρων και Βαλτόνερων. Αναφέρθηκαν πρώτη φορά το 2001 στον οικισμό των Αναργύρων και το 2006 σε όλη την περιοχή με παρόμοιες ζημιές να εμφανίζονται και στον οικισμό Φανό, 4 χλμ. από το ορυχείο.

Οι εδαφικές διαρρήξεις συνάδουν με τις κύριες τεκτονικές γραμμές με κατεύθυνση ΒΑ – ΝΔ. Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις είναι εντονότερες δίπλα στο ορυχείο με άλματα 0.5 – 1 μέτρα ενώ μειώνονται προς τα ΝΔ.

Στις κατοικημένες περιοχές οι διαρρήξεις προκαλούν ζημιές σε κτήρια, δρόμους φράχτες, ακόμη και κατάρρευση οικοδομημάτων. Στα Βαλτόνερα ένα ρήγμα διαπερνά όλο το χωριό και προκαλεί κατακόρυφες μετατοπίσεις ως 30 εκατοστά. Στους Ανάργυρους η κατάσταση είναι πιο περίπλοκη καθώς παρατηρούνται ρήγματα

με κατευθύνσεις BA – ΝΔ και ΒΔ – ΝΑ. Από ΒΑ προς ΝΔ οι επιφανειακές μετατοπίσεις διαφέρουν από 40 ως 5 εκατοστά αντίστοιχα. Ο οικισμός των Αναργύρων είναι δομημένος σε μια ομαλή πλαγιά και επηρεάζεται από το ρήγμα των Αναργύρων και την ανάπτυξη του κώνου πτώσης στάθμης που δημιουργείται από τις αντλήσεις του ομώνυμου ορυχείου και των γεωργικών καλλιεργειών. Οι μετατοπίσεις – άλματα των διαρρήξεων διαφοροποιούνται κατά μήκος του οικισμού, τα μεγαλύτερα δε (περίπου 20cm), παρατηρούνται στο τμήμα του οικισμού που βρίσκεται πλησιέστερα στο ορυχείο (Εικόνα 2.2). Στο νοτιοανατολικό, πεδινό τμήμα του οικισμού οι διαρρήξεις κυμαίνονται μεταξύ 3 ως 10 cm (Εικόνες 2.3, 2.4) Το γεγονός ότι οι έντονες εφελκυστηκές ρωγμές είναι παράλληλες προς τις κατευθύνσεις των δύο κύριων τεκτονικών γραμμών μπορεί λανθασμένα να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι σχετίζονται με την νεοτεκτονική – σεισμική δραστηριότητα της περιοχής. Αν όμως ληφθεί υπ όψη ότι (Loupasakis, 2014):

- Οι διαρρήξεις βρίσκονται αυστηρά μέσα στα όρια του κώνου πτώσης στάθμης.
- Παρατηρείται παροδική ύφεση αυτών αναλογικά με την απόστασή τους από το ορυχείο.
- Τα στοιχεία σεισμικότητας της λεκάνης Βεγορίτιδας – Αναργύρων τα οποία δείχνουν ότι: υπολογίζονται πολύ μικροί ρυθμοί ενεργού παραμόρφωσης, οι οποίοι για το ρήγμα των Αναργύρων είναι εξαιρετικά περιορισμένοι (περίπου 2 χιλιοστά κατακόρυφης πλευρικής παραμόρφωσης τη δεκαετία, με παράγοντα αβεβαιότητας ~2) και ότι καμία ιδιαίτερη μεταβολή δεν εμφανίζεται μετά από το 1990, οπότε έχουμε εμφάνιση των φαινομένων εδαφικής υποχώρησης και των επαγόμενων βλαβών στην κοινότητα Αναργύρων.

Ο παραπάνω ισχυρισμός καθίσταται βεβαισμένος.

Η ταυτοποίηση των επιφανειακών διαρρήξεων με τα ρήγματα αποδίδονται στις μετατροπές που συμβαίνουν στη συνέχεια ή το πάχος των Τεταρτογενών αποθέσεων σε κάθε πλευρά των ρηγμάτων και οδηγούν σε κατακόρυφες μετατοπίσεις. Οι παραμορφώσεις που παρατηρούνται στο Φανό επίσης μπορούν να αποδοθούν στις εδαφικές υποχωρήσεις. Ο Φανός βρίσκεται κατά μήκος των Τεταρτογενών αποθέσεων σε απόσταση 4 χλμ. από το ορυχείο και στην πεδινή έκταση ενδιάμεσα

παρατηρείται έντονη δραστηριότητα σε καλλιέργειες με αντλήσεις από πηγάδια. Άρα στην προκειμένη περίπτωση οι ζημιές αποδίδονται τόσο σε δραστηριότητες του ορυχείου όσο και σε αγροτικές εργασίες.



Εικόνα 2.2: Φωτογραφίες μεταβολής της εδαφικής διαρρήξεως στον οικισμό των Αναργύρων, σε χρονικό διάστημα 1,5 χρόνου. Το μέγιστο άλμα κατά μήκος της διάρρηξης είναι 15 - 20 cm. (Loupasakis, 2014).



Εικόνα 2.3. Περίφραξη οικίας που βρίσκεται στο πεδινό τμήμα της περιοχής και έχει πληγεί από τις εδαφικές διαρρήξεις (μετατοπίσεις 3-10 cm) (Loupasakis, 2014).



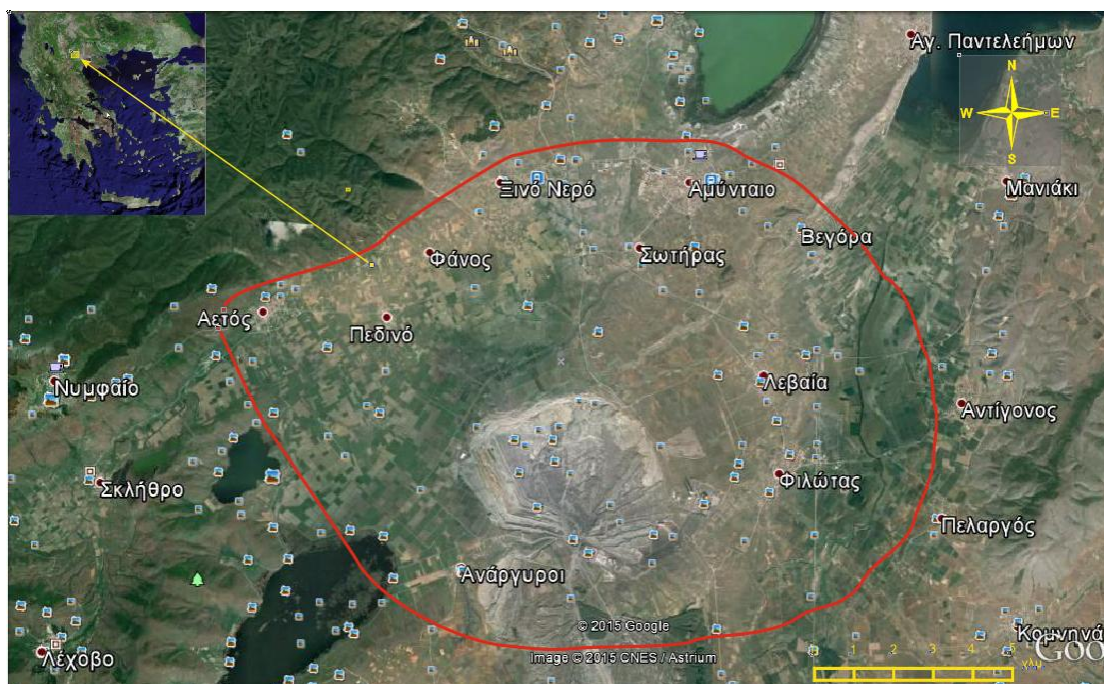
Εικόνα 2.4: Αστοχία σε τοίχο σπιτιού χτισμένο πάνω στο ρήγμα των Αναργύρων (Loupasakis 2014).



### 3. Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής μελέτης

#### 3.1 Εισαγωγή

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης οριοθετείται όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται η γεωλογία, η τεκτονική, η υδρογεωλογία και η σεισμικότητα βάσει σχετικών μελετών που έγιναν στην περιοχή.



Σχήμα 3.1: Ευρύτερη περιοχή μελέτης.

#### 3.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας - Πτολεμαΐδας εντοπίζεται εντός των ορίων της Πελαγονικής ζώνης (Σχήμα 3.2). Όπως φαίνεται και στη στρωματογραφική στήλη του σχήματος 3.3 η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υπόβαθρου, με τους γνευσιωμένους γρανίτες, πάνω στους οποίους έχουν αποθεθεί Μεσοζωικά ιζήματα. Τα Μεσοζωικά ιζήματα αποτελούνται από το Τριαδικό – Ιουρασικό ανθρακικό κάλυμμα και από τα Άνω Κρητιδικά πελαγικά ιζήματα μέσα στα οποία εντοπίζονται και οφειολιθικές μάζες. Ειδικότερα, η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από τις εξής λιθοστρωματογραφικές ενότητες (Brunn

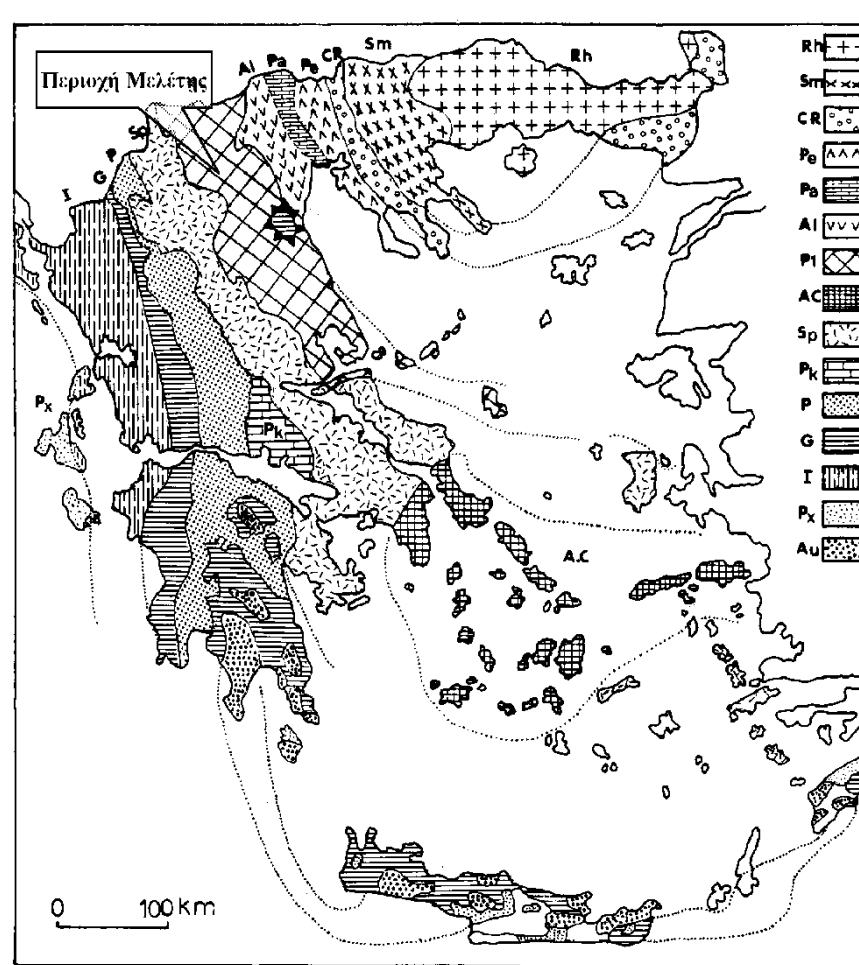
1956, Mercier 1968, Μουντράκης 1976, 1979, 1983, Μουντράκης & Σούλιος 1978, Κίλιας 1980, Kiliias & Mountrakis 1981):

#### A) Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο

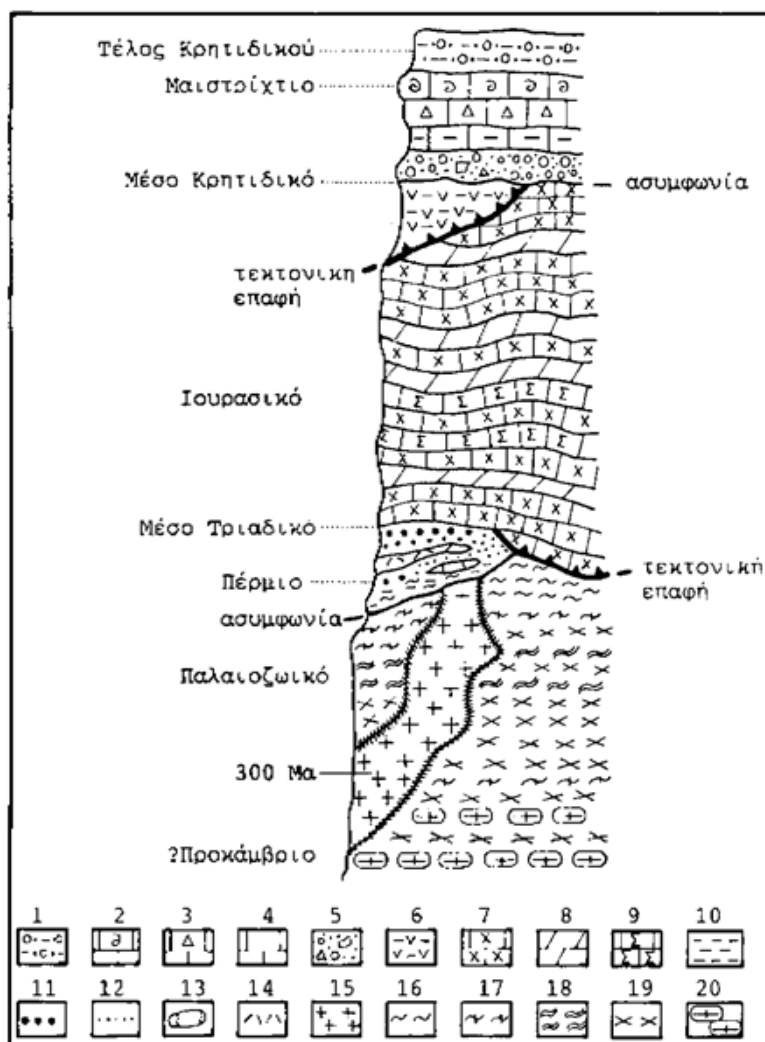
Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου έχουν μεγάλη εξάπλωση στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης, όπου και εμφανίζονται με τη μορφή αλλεπάλληλων τεκτονικών λεπιών. Παρά το γεγονός ότι διακρίνονται διάφορες λιθολογικές ενότητες, τα πετρώματα του υποβάθρου, αντιμετωπίζονται ως παράλληλες κρυσταλλοσχιστώδεις ακολουθίες που έχουν παρόμοια λιθολογική εξέλιξη και που κρυσταλλώθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες κατά τη διάρκεια του Παλαιοζωικού ή και παλαιότερα του Προκάμβριου. Η μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου έλαβε χώρα στο Παλαιοζωικό πριν από το Λιθανθρακοφόρο και έγινε σε συνθήκες βαθύτερης πρασινοσχιστολιθικής φάσης έως της ανώτερης αμφιβολιτικής.

#### B) Γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου

Οι γρανίτες αποτελούν μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής. Οι διεισδύσεις αυτές είναι παλαιές και σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις η γένεσή τους καθορίστηκε στο Άνω Λιθανθρακοφόρο. Στο μεγαλύτερο μέρος τους οι γρανίτες εμφανίζονται γνευσιωμένοι, σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης, εξαιτίας της αλπικής μεταμόρφωσης του Άνω Ιουρασικού -Κάτω Κρητιδικού. Υπάρχουν όμως και τμήματα τα οποία εμφανίζονται χωρίς μεταμόρφωση ή και τμήματα στα οποία εμφανίζονται μαγματικές διεισδύσεις να διαπερνούν η μία την άλλη. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε και νεότερες διεισδύσεις που ορισμένες από αυτές ίσως να πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης.



Σχήμα 3.2: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων Ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος Ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα << Ταλέα όρη - Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι >> πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Μουντράκης 1985).



Σχήμα 3.3: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική - τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. 1-5: Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού. 1: φλύσχης Άνω Μαιστρητίου – Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστρητίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο - λατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, 7 - 9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού - Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, 10 - 14 : πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου - Κάτω Τριαδικού, 10: μετα-πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετα - κροκαλοπαγή, 12: μετα - ψαμίτες, μετα - αρκόζες, 13: φακοί ασβεστόλιθων, 14: μετα - ρυόλιθοι, μετα - τόφφοι, 15: γενεσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16 - 20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υπόβαθρου Παλαιοζωικής ή και προ - Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί, επιδοτιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί - γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γενέσιοι, 20: οφθαλμογενέσιοι (Μουντράκης, 1985).

### Γ) Περμοτριαδικές μετακλαστικές ακολουθίες

Οι μετακλαστικές ακολουθίες αποτελούνται από κλαστικά ιζήματα που αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια του Περμίου και Κάτω Τριαδικού και στη συνέχεια



μεταμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Η μετακλαστική σειρά του περμοτριάδικου αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής και αντιπροσωπεύει τα ιζήματα της ηπειρωτικής κατωφέρειας. Η ηπειρωτική κατωφέρεια αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της ηπειρωτικής διάρρηξης που οδήγησε στη δημιουργία της ωκεάνιας περιοχής δυτικά της Πελαγονικής.

Στενά συνδεδεμένα με την ηπειρωτική διάρρηξη είναι και τα ηφαιστειακά υλικά που παρεμβάλλονται στις μετακλαστικές ακολουθίες, αφού η ηφαιστειότητα του Περμοτριάδικου εκδηλώθηκε στο χείλος της.

#### Δ) Ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού - Ιουρασικού

Η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ζώνη κατά τη διάρκεια του Τριαδικού - Ιουρασικού χαρακτηρίζεται ως νηριτική ανθρακική και αποτελεί το λεγόμενο "Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής". Σύμφωνα με τα αποτελέσματα νεώτερων ερευνών (Μουντράκης 1983, 1984) το ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής στην ουσία αποτελείται από δύο τμήματα, το ανατολικό και το δυτικό, τα οποία και αποτέθηκαν στα αντίστοιχα περιθώρια της ζώνης. Ειδικότερα, για το δυτικό περιθώριο διαπιστώθηκε ότι είναι αυτόχθονο, δηλαδή αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του Μέσου Τριαδικού - Κάτω Κρητιδικού πάνω στα Περμοτριάδικά μετακλαστικά ιζήματα όπου το συναντάμε μέχρι και σήμερα. Το πάχος του καλύμματος αυτού υπολογίζεται στα 600 - 800m. Ενώ αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και ελάχιστες λεπτές παρεμβολές πηλιτικών ενστρώσεων.

Το ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα είναι παρα-αυτόχθονο, δηλαδή αποτέθηκε πάνω στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής και στη συνέχεια επωθήθηκε προς τα δυτικά πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Και στα δύο προαναφερόμενα καλύμματα γίνεται αισθητή η μεταμόρφωση που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού και σε συνθήκες Πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Η μεταμόρφωση αυτή είναι η ίδια που επηρέασε και τα πετρώματα της Περμοτριάδικης ακολουθίας.

#### Ε) Οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα

Οι οφειολιθικές μάζες και τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας που εμφανίζονται στο χώρο της Πελαγονικής είναι αλλόχθονοι σχηματισμοί που προέρχονται από τους ωκεάνιους χώρους της Παλαιο - Τηθύος και της Νέο - Τηθύος από όπου και επωθήθηκαν πάνω στο Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα. Τα σημαντικότερα υπολείμματα των επωθημένων αυτών μαζών τα συναντάμε στο Βούρινο της Κοζάνης (Δίαυλος Κοζάνης) και στην Εύβοια (Δίαυλος Εύβοιας). Κατά την επώθηση των οφειολίθων πάνω στο ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής σχηματίστηκε ένας τεκτονικός σχηματισμός που χαρακτηρίζεται ως τεκτονικό οφειολιθικό μίγμα ή τεκτονικό οφειολιθικό melange. Ο σχηματισμός αυτός προήλθε από τη συσσωμάτωση μικρών και μεγάλων τεμαχίων του ασβεστόλιθου, τμημάτων του πέλματος των λεπιών του οφειόλιθου και μέρους των ιζημάτων βαθιάς θάλασσας και προκλήθηκε υπό την επίδραση των τεκτονικών δυνάμεων.

#### ΣΤ) Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού

Τα θαλάσσια ιζήματα της Μέσο - Άνω Κρητιδικής επίκλησης τοποθετούνται ασύμφωνα πάνω στα ήδη πτυχωμένα Τριαδικοϊουρασικά πετρώματα του ανθρακικού καλύμματος και πάνω στους οφειόλιθους και τα συνοδά πελαγικά ιζήματα, όπου αυτά υπάρχουν. Η επίκληση με την αντίστοιχη απόθεση ιζημάτων άρχισε το Κενομάνιο - Τουρώνιο του Μέσου - Άνω Κρητιδικού ή κατά περίπτωση το Σαντώνιο - Μαιστρίχτιο του Άνω Κρητιδικού.

Η στρωματογραφική διάρθρωση των Μέσο - Άνω Κρητιδικών ιζημάτων είναι η ακόλουθη:

- Κροκαλοπαγή, μικρολατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Κενομάνιο - Τουρώνιο).
- Μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι (Σαντώνιο - Μαιστρίχτιο).
- Συμπαγείς ασβεστόλιθοι με απολιθώματα *Orbitoides media* (Μαιστρίχτιο).
- Φλύσχης που στην αρχή είναι σχιστώδης ασβεστιτικός, εξελίσσεται σε ασβεστοπηλιτικό - ψαμμιτικό και καταλήγει σε πηλιτικό - κροκαλοπαγή (Άνω Μαιστρίχτιο - αρχές Παλαιοκαίνου).

## Z) Νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα

Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα αποθέτονται σε λεκάνες τεκτονικές και μη που σχηματίστηκαν μετά το τέλος των πτυχώσεων. Η λεκάνη Φλώρινας – Πτολεμαΐδας είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα τεκτονικής λεκάνης η οποία είναι πληρωμένη με ιζήματα χερσαίας, ποταμοχειμάριας και λιμναίας προέλευσης τα οποία περιλαμβάνουν και τους λιγνίτες. Τα ιζήματα της λεκάνης από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι:

- Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες και ξυλίτες Ανώτερου Μειοκαίνου – Κατώτερου Πλειοκαίνου.
- Ψαμμιτικές μάργες, μάργες, ψαμμίτες και κυρίως άργιλοι με παρεμβολές λιγνιτικών στρωμάτων ηλικίας Πλειοκαίνου.
- Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, και ερυθροπηλοί Πλειστοκαίνου.

### 3.3 Νεοτεκτονικό πεδίο τάσεων στη Δυτική Μακεδονία.

Η νεοτεκτονική και σύγχρονη τεκτονική δράση της περιοχής είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αντίστοιχη δράση του ευρύτερου Ελληνικού χώρου (Αιγαίο και γύρω περιοχές), η οποία βρίσκεται κάτω από ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο που δρα από το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα.

Η αρχική μεγάλη λεκάνη Φλώρινας-Πτολεμαΐδας, που αναπτύχθηκε κατά τη διεύθυνση του κύριου ορεογραφικού άξονα των Ελληνίδων, δηλαδή ΒΔ-ΝΑ, και οι σχεδόν κάθετες σ' αυτή υπολεκάνες έχουν τεκτονική προέλευση. Σαν πιθανότερη ηλικία της αρχικής δημιουργίας της λεκάνης θεωρείται εκείνη του Μέσου-Ανώτερου Μειόκαινου. (Παυλίδης, 1985)

Δύο κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων δεσπόζουν στην περιοχή, η πρώτη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης συνδέεται με τα αρχικά στάδια εξέλιξης της λεκάνης και η δεύτερη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με τα νεότερα στάδια. Τα ρήγματα της 1ης διεύθυνσης έχουν μεγάλο μήκος, αλλά είναι καλυμμένα στο μεγαλύτερό τους μέρος με νεότερα ιζήματα. Τα συνιζηματογενή ρήγματα με μεταβαλλόμενο άλμα που παρατηρήθηκαν στα Πλειστοκαινικά ιζήματα συνηγορούν για το ότι η περιοχή βρίσκεται σε τεκτονική δράση από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι τουλάχιστον το Μέσο Τεταρτογενές

συνεχώς, αφετέρου είναι ενδείξεις για μια πιθανή συνεχιζόμενη ενεργό τεκτονική δράση. Πέρα από αυτά όμως, για ορισμένα ρήγματα της περιοχής υπάρχουν επιπρόσθετα στοιχεία για την ενεργό δράση τους. (Μαράτος, 1960) (Ματαράγκος, 1981) (Μουντράκης 1983)

Μετά την ανάλυση των κύριων τεκτονικών δομών και τον προσδιορισμό των κινηματικών αξόνων των διαφόρων τεκτονικών κινήσεων που συνέβησαν στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας, μπορούν να διατυπωθούν γενικότερα συμπεράσματα για το πεδίο των τεκτονικών φάσεων και τη γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής.(Μουντράκης, 1982-1983) (Faugeres & Vergely, 1974) (Lyberis et al 1982) (Mercier, 1981).

Κατά τη διάρκεια του Ανωτέρου Μειοκαίνου και πριν από την απόθεση των λιμναίων ιζημάτων, εκδηλώθηκε εκτεταμένη εφελκυστική φάση, η διεύθυνση της οποίας υπολογίστηκε σε BBA-NNΔ. Αυτή ήταν υπεύθυνη για την αρχική δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος της λεκάνης και τη δημιουργία ή επαναδραστηριοποίηση κανονικών ρηγμάτων με κύρια διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Το εφελκυστικό αυτό πεδίο επηρέασε ιζήματα του Κατώτερου Πλειστοκαίνου, άρα η δράση του επεκτείνεται σ' ολόκληρο το Ανώτερο Νεογενές. Το εφελκυστικό αυτό πεδίο των τάσεων είχε σταθερή ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση σ' ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο του Αιγαίου.

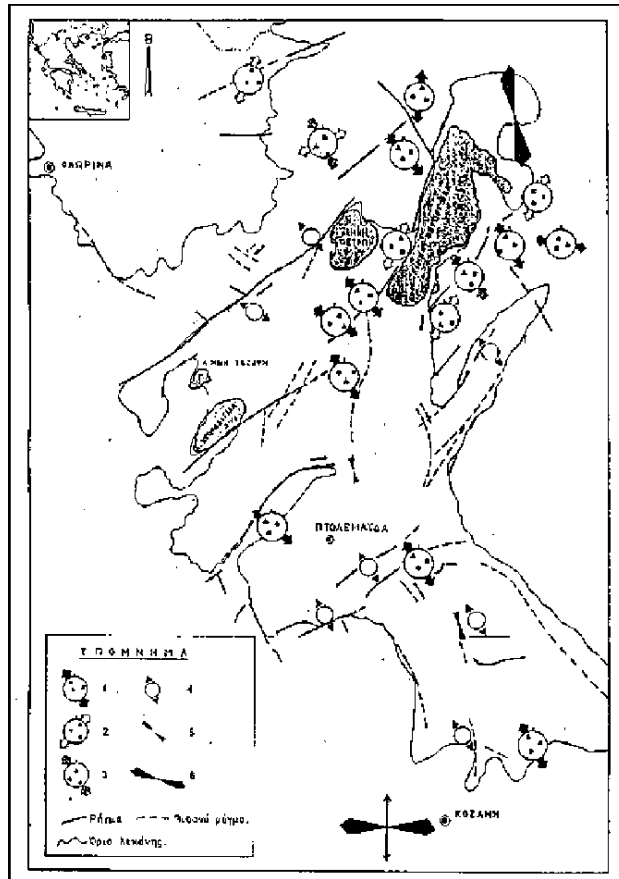
Μια μετα-Μεσομειοκαινική συμπιεστική φάση προηγήθηκε ή διέκοψε τον εφελκυσμό του Ανωτέρου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου. Η διεύθυνσή της ήταν ΑΒΑ-ΔΝΔ. Μια δεύτερη ομάδα συμπιεστικών τεκτονικών επεισοδίων (ανάστροφα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ, επιπεύσεις) τοποθετούνται μεταξύ Ανώτερου Πλειόκαινου και Κατώτερου Πλειστόκαινου. Πρόκειται για μικρής έκτασης ασθενικά φαινόμενα συμπίεσης. Η διεύθυνση των συγκεκριμένων πιθανών συμπιεστικών τάσεων είναι ΒΒΔ-ΝΝΑ με ταυτόχρονη συνιστώσα εφελκυσμού ΑΒΑ-ΔΝΔ. Για τα φαινόμενα αυτά δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα αν συγκροτούν μία ενιαία τεκτοφάση ή αποτελούν τοπικά συμπιεστικά επεισόδια.

Κατά το Πλειοπλειστόκαινο (μετά το πέρας της πλειοκαινικής ιζηματογένεσης) και μέχρι σήμερα αναπτύσσεται ένα νέο πεδίο εφελκυστικών δυνάμεων διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Το πεδίο αυτό δημιούργησε μεγάλα μεταποθετικά κανονικά ρήγματα με κύρια διεύθυνση ΒΑ- ΝΔ, τα οποία επηρέασαν τα πλειοκαινικά ιζήματα ή

επαναδραστηριοποίησαν παλαιότερες ρηξιγενείς γραμμές. Η εφελκυστική φάση του Τεταρτογενούς και τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα έπαιξαν τον πιο ουσιαστικό ρόλο στη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής. Η τεκτονική αυτή φάση συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, όπως διαπιστώνεται από πολύ πρόσφατες επαναδραστηριοποιήσεις ρηγμάτων τόσο στα ιζήματα όσο και στους ασβεστόλιθους των ανατολικών περιθωρίων της λεκάνης. Το εκτεταμένο αυτό πεδίο της Τεταρτογενούς περιόδου, το οποίο τεκμηριώνεται από τις γεωλογικές αποδείξεις, βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με μετρήσεις σύγχρονων τάσεων απευθείας (in situ) στη φύση (Paquin & Froidevaux, 1982).

Ο χάρτης του σχήματος 3.4 περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες για το είδος και τη διεύθυνση των τάσεων που έδρασαν στη λεκάνη και τις γύρω περιοχές. Με κύκλο συμβολίζεται ο άξονας  $\sigma_1$ , με τετράγωνο ο  $\sigma_2$  και με τρίγωνο ο  $\sigma_3$ .

Οι νεοτεκτονικές φάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού, που ερευνήθηκαν στη Δυτ. Μακεδονία, είναι συνέπεια μιας ευρύτερης και ανάλογης δράσης σ' ολόκληρο το χώρο του Αιγαίου. Στην περιοχή της Δυτ. Μακεδονίας δεν είναι ακόμη με μεγάλη ακρίβεια προσδιορισμένη η φάση συμπίεσης του Ανώτερου Μειοκαίνου. Δηλαδή δεν έχει προσδιορισθεί τόσο ο χρόνος δράσης της όσο και ο μηχανισμός αυτής. Η εφελκυστική φάση του Πλειόκαινου είναι παρόμοια με την αντίστοιχη που επικρατούσε στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου, τόσο στη χρονική διάρκεια όσο και στη διεύθυνση. Τα νεότερα συμπιεστικά επεισόδια στη λεκάνη τοποθετούνται χρονικά στο Ανώτερο Πλειόκαινο ή στο όριο Πλειο-πλειστόκαινου χωρίς να έχει διευκρινιστεί ακόμη η φύση τους. Τέλος, η νεότερη φάση εφελκυσμού, που εκδηλώθηκε από το Κατώτερο Τεταρτογενές, ήταν ιδιαίτερα έντονη και φαίνεται ότι συνεχίζει μέχρι σήμερα. Η γενική διεύθυνσή της και το είδος των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με το εκτεταμένο σύγχρονο εφελκυστικό πεδίο που επικρατεί στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου. Το πεδίο αυτό των εφελκυστικών τάσεων δεν είναι σταθερό στη διεύθυνσή του, αλλά μεταβάλλεται από ΒΑ διεύθυνση στη Δυτική Τουρκία σε σχεδόν Β-Ν στο Κεντρικό Αιγαίο και Κεντρική Μακεδονία και τέλος σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση στη Δυτική Μακεδονία (Σχήμα 3.5) (King et al, 1981)



Σχήμα 3.4: Τεκτονικός χάρτης της περιοχής με πληροφορίες για το πεδίο των νεοτεκτονικών τάσεων. (1)εφελκυστική φάση Τεταρτογενούς, (2) εφελκυστική φάση Ανώτερου Μειόκαινου-Πλειόκαινου, (3) μηχανισμοί ρηγμάτων με συμπιεστική συνιστώσα τάσης, (4) γενική διεύθυνση τεταρτογενούς εφελκυσμού, όπου δεν έχουν υπολογιστεί οι κινηματικοί άξονες, (5) γενική διεύθυνση συμπίεσης, (6) διεύθυνση εφελκυσμού από in situ μετρήσεις των τάσεων. (Παυλίδης, 1985) (Paquin & Froidevaux, 1982)



Σχήμα 3.5: Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων τάσης και το πεδίο των τεκτονικών τάσεων του Ελλαδικού χώρου. Σύνθεση από μηχανισμούς γένεσης επιφανειακών σεισμών, τεκτονική ανάλυση πρόσφατων και ενεργών ρηγμάτων και in situ μετρήσεις τάσεων. (1) όρια λιθοσφαιρικής βύθισης (subduction), ζώνη συμπίεσης εξωτερικά του Ελληνικού τόξου, (2) οριζόντιες προβολές των διανυσμάτων κίνησης, (3) οι κύριοι άξονες τάσεων, συμπίεση (P), ενδιάμεσος (B), εφελκυσμός (T) προσδιορισμένοι από μηχανισμούς γένεσης σεισμών, (4),(5) οι κύριοι άξονες τάσεων προσδιορισμένοι από νεοτεκτονική ανάλυση, (6) άξονες εφελκυσμού από in situ μετρήσεις τάσεων, (7) προβλεπόμενες δ/νσεις ρηγμάτων στο Β. Αιγαίο, (8) (Mercier, 1981) ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. (Παυλίδης, 1985)

Επισημαίνεται ο σημαντικός ρόλος των ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ ως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης στη σύγχρονη τεκτονική της ευρύτερης περιοχής. Τα ρήγματα αυτά δρουν σαν κύρια ρήγματα και σε συνδυασμό με τα αντιθετικά τους σχηματίζουν κλιμακωτά βυθίσματα κατά μήκος μιας αξονικής διεύθυνσης από τα βόρεια προς τα νότια. Τέλος, μόνο βάσει γεωλογικών κριτηρίων, ορισμένα από τα παραπάνω ρήγματα μπορούν να χαρακτηριστούν ενεργά. Η περιοχή στο σύνολό της παρουσιάζει έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα και ήπια σεισμική δράση με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται από γεωλογικής πλευράς ενεργή.



## **3.4 Υδρογεωλογία**

### **3.4.1 Υδρολογική περιγραφή**

Κατά τους Αντωνόπουλο (1996) και Σαπουνά (1998) η υπό εξέταση περιοχή ανήκει στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη της Πτολεμαΐδας, με φυσικό αποδέκτη την λίμνη Βεγορίτιδα, στην οποία καταλήγει μεγάλο μέρος της επιφανειακής και υπόγειας υδάτινης απορροής. Η συνολική λεκάνη απορροής καταλαμβάνει έκταση 1.853 Km<sup>2</sup> και περιλαμβάνει τις υπολεκάνες Πτολεμαΐδας, Σαριγκιόλ, Βεγορίτιδας, Χειμαδίτιδας και Πετρών. Η υπόγεια αποστράγγιση γίνεται μέσω καρστικών αγωγών, οι οποίοι αποτελούν τον καρστικό υδροφορέα με τον οποίο επικοινωνεί η λίμνη. Το υπόλοιπο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης αποστραγγίζεται επιφανειακά μέσω μιας σειράς μικρών ποταμών και ρεμάτων όπως ο ποταμός Εορδαίος ή Σουλού και τα ρέματα Φαραγγίου, Ζέρβης και Παναγίτσας (Ασchonίτης 2004, Σαπούνας Α. 1998, Αντωνόπουλος Β. 1996).

### **3.4.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα**

Σύμφωνα με τους υδρογεωλόγους που μελέτησαν την περιοχή (Στάμος, Ματθαίοπουλος Κοζάνη 2010), επικρατεί το ημίξερο, μεσογειακό κλίμα, που χαρακτηρίζεται από την εναλλαγή μιας θερμής- ξηρής περιόδου με μια ψυχρή- υγρή. Η τοπογραφική ανομοιογένεια της περιοχής και οι διευθύνσεις των επικρατούντων ανέμων σε διάφορες περιοχές οδηγούν σε μια σχετική ανομοιομορφία στη γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων. Οι βροχοπτώσεις είναι μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες στο ανατολικό Βέρμιο και αυτές δυτικά από τη λεκάνη (Πίνδος). Οι διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων, φαίνεται ότι ακολουθούν μια περιοδικότητα με κατώτερα και υψηλότερα ύψη βροχοπτώσεων ανά 2-3 έτη περίπου. Στον πίνακα 3.1 φαίνονται τα μέσα ετήσια ύψη κατακρημνισμάτων, η διαχρονική μεταβολή αυτών, και η συσχέτιση κατακρημνισμάτων- υψομέτρου 21ετίας τριών ενδεικτικών σταθμών από το 1980 έως το 2001.



Πίνακας 3.1: Μέσα ετήσια ύψη κατακρημνισμάτων (1981 – 2001) (Στάμος, Ματθαίοπουλος 2010).

ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	ΦΛΩΡΙΝΑ	ΑΜΥΝΤΑΙΟ	ΒΕΥΗ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	692	578,3	740
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΕΤΗ	Mm	mm	mm
1980-1981	707,2	531	582,3
1981-1982	690,7	536,2	746
1982-1983	712,8	503	562,1
1983-1984	686,8	446	457,4
1984-1985	440	354,2	360,4
1985-1986	785	386,7	536,9
1986-1987	534,1	305,2	453,6
1987-1988	406,8	288,3	363,2
1988-1989	555	435,3	346,2
1989-1990	298,1	333,3	267,6
1990-1991	904,4	633,5	595,4
1991-1992	508,9	385,4	314,9
1992-1993	452,3	415,2	267,1
1993-1994	662,6	414,4	558,9
1994-1995	736,7	496,1	704,2
1995-1996	598,8	453,8	453,3
1996-1997	467,7	315,2	205,5
1997-1998	682,5	486,3	147,4
1998-1999	603,5	473,1	202
1999-2000	445,5	344,7	235
2000-2001	322,6	430,9	297,4
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ 21ετίας	581	427	412,2

### 3.4.3 Απορροή, κατείσδυση, υδρολιθολογικές συνθήκες

Από άποψη υδρολιθολογική και περατότητας τα πετρώματα της περιοχής, κατατάσσονται γενικά σε τέσσερις κύριες κατηγορίες (Στάμος, Ματθαίοπουλος 2010):

Α) Πετρώματα με πολύ υψηλή περατότητα: Ασβεστόλιθοι Τριαδικο-Ιουρασικοί και μάρμαρα, τα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι του τεκτονικού καλύματος του Βερμίου, με έντονη αποκάρσωση. Ο συντελεστής κατείσδυσης των

πετρωμάτων αυτών κυμαίνεται από 50 έως 60 % των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Β) Πετρώματα με υψηλή περατότητα: Αμμοχαλικώδεις ενστρώσεις των Τεταρτογενών ιζημάτων. Ο συντελεστής κατείδυσης αυτών ανέρχεται στο 20% περίπου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Γ) Πετρώματα με μέτρια περατότητα: Μέρος των Τεταρτογενών ιζημάτων και ένα μέρος των Κρυσταλλοσχιστώδων και οφιολιθικών σχηματισμών. Ο συντελεστής κατείδυσης ανέρχεται στο 5% περίπου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Δ) Πετρώματα με χαμηλή περατότητα: Νεογενείς αποθέσεις, οι μολασικοί σχηματισμοί, και οι περισσότεροι από τους κρυσταλλοσχιστώδεις και οφιολιθικούς σχηματισμούς.

Στην κατηγορία των σχηματισμών αυτών η επιφανειακή απορροή είναι προεξάρχουσα και φθάνει το 35% περίπου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, αφού η περατότητα είναι σχεδόν μηδενική έως πολύ μικρή.

#### **3.4.4 Υδροφόρος Αμυνταίου**

##### **A) Γεωλογία**

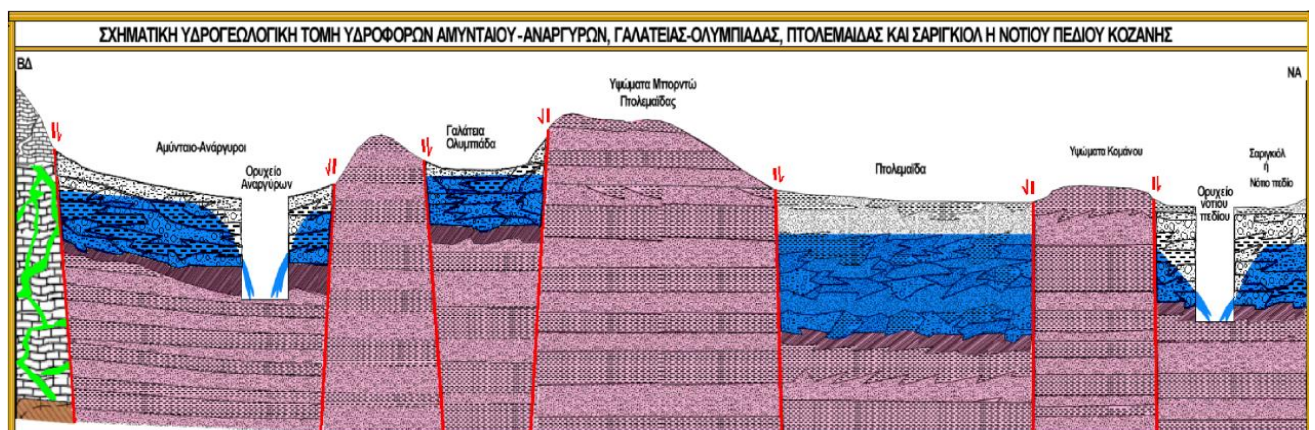
Ο υδροφόρος του Αμυνταίου χαρακτηρίζεται κοκκώδης ή προσχωματικός και βρίσκεται στην πεδιάδα του Αμυνταίου του νομού Φλώρινας, μεταξύ των οροσειρών Ασκίου και Βερμίου με έκταση 98 km<sup>2</sup> και ένα σημαντικό τμήμα του πλαισιώνει την περιοχή του ορυχείου ΑΗΣ Αμυνταίου. Αναπτύσσεται εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων οι οποίες συνίστανται από εναλλασσόμενες ή φακοειδείς και διασταυρούμενες στρώσεις, ενστρώσεις χαλαρών και συνεκτικών κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών, άμμων και αργίλων με ποικίλης σύστασης κροκάλες (ασβεστολιθικές, σχιστολιθικές, περιδοτιτικές, διαβασικές, κερατολιθικές, ανάλογα της μητρικής των προέλευσης).

##### **B) Υδρογεωλογία**

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναφέρθηκαν έχουν δημιουργήσει υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, μεγάλης παραγωγικότητας που χαρακτηρίζονται

προσχωματικοί και χρησιμοποιούνται για άρδευση και ύδρευση. Λόγω του σημαντικού πορώδους των Τεταρτογενών ιζημάτων αποθηκεύεται σ' αυτά μεγάλη ποσότητα νερού, δημιουργώντας έναν υδροφόρο με πάχος 130 μέτρα. Τα καθαρά υδροφόρα στρώματα αυτού, βρίσκονται μερικώς υπό πίεση σε στρώματα πάχους 45 μέτρων. Η στάθμη του υδροφόρου κυμαίνεται σε ευρέα όρια και εξαρτάται από την απόσταση από τα ορυχεία όπου μπορεί να ξεπεράσει και τα 50 μέτρα. Τέλος η τροφοδοσία του συγκεκριμένου υδροφόρου συντελείται από την άμεση κατείσδυση κατακρημνισμάτων από την ατμόσφαιρα αλλά και από την διήθηση των νερών του ρέματος Σούλου που διασχίζει μεγάλο μέρος του υδροφόρου (Στάμος & Γιαννόπουλος, 2010).

Μεγάλο ρόλο για τις πιέσεις που δέχεται ο υδροφόρος παίζουν οι υπεραντλήσεις σ' αυτόν, τόσο για γεωργική χρήση αλλά και για βιομηχανική (ΔΕΗ). Ο υδροφόρος του Αμυνταίου παρουσιάζει μια φθίνουσα τάση καθώς τα αποθέματα νερού παρουσιάζουν μείωση της στάθμης τους περί των 35μ. σε ακτίνα 300μ. γύρω από το λιγνιτορυχείο του Αμυνταίου (Σχήμα 3.6). Μετά την αξιολόγηση των σταθμετρήσεων που πραγματοποιήθηκε σε γεωτρήσεις, διαπιστώθηκε ότι κοντά στο ορυχείο η πρώτη στάθμη ξεπερνάει τα 70μ. Σύμφωνα με την χημική ανάλυση, παρατηρείται αυξημένη παρουσία Mn, Fe και Ba.



Σχήμα 3.6: Σχηματική υδρογεωλογική τομή υδροφόρου Αμυνταίου Φλώρινας (Στάμος & Ματθαίουπουλος 2010).

Στους πίνακες 3.2 ως 3.8 δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία του υδροφόρου (Κοκκώδες σύστημα Αμυνταίου Φλώρινας) σύμφωνα με τους Στάμο και Ματθαίου (2010).

Πίνακας 3.2 Γενικά και Γεωμετρικά στοιχεία Υδροφόρου.

<b>A. Γενικά</b>		<b>B. Γεωμετρικά</b>	
Λεκάνη απορροής	Βεγορίτιδας	Έκταση	98 km <sup>2</sup>
Χρήση	Υδρευτική	Μήκος	23,4 km
	Αρδευτική	Πλάτος	4,2 km
		Πάχος	45 m

Πίνακας 3.3 Γεωλογικά στοιχεία Υδροφόρου.

<b>Γ. Γεωλογικά</b>	
Τύπος Υδροφόρου	Αλλεπάλληλα ημιελεύθερα υδροφόρα στρώματα
Λιθολογική περιγραφή	Τεταρτογενή Ιζήματα
Ηλικία	Τεταρτογενές

Πίνακας 3.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία Υδροφόρου.

<b>Δ. Υδρογεωλογικά</b>		
Κατάσταση Υδροφόρου	Φθίνουσα λόγω υπεράνληξης	
Υπερκείμενος σχηματισμός	Έκταση	Πάχος
	98 km <sup>2</sup>	20m
Κύρια πηγή τροφοδοσίας	Κατείδυση ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και διήθηση νερών	

Πίνακας 3.5 Υδρολογικά στοιχεία Υδροφόρου.

<b>Ε. Υδρολογικά</b>		
Υδροστατική στάθμη	Μέσο υψόμετρο	570 m
	Μέσο βάθος	30 m
	Ετήσιο εύρος διακύμανσης	6 m
Ανανεώσιμα αποθέματα	35 * 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	

Πίνακας 3.6: Υδραυλικά στοιχεία Υδροφόρου.

<b>Z. Υδραυλικά</b>	
Περατότητα	$2,02 * 10^3 \text{ m}^2$ /s
Υδαγωγιμότητα	$9,09 * 10^2 \text{ m}^2$ /s
Αποθηκευτικότητα	2%

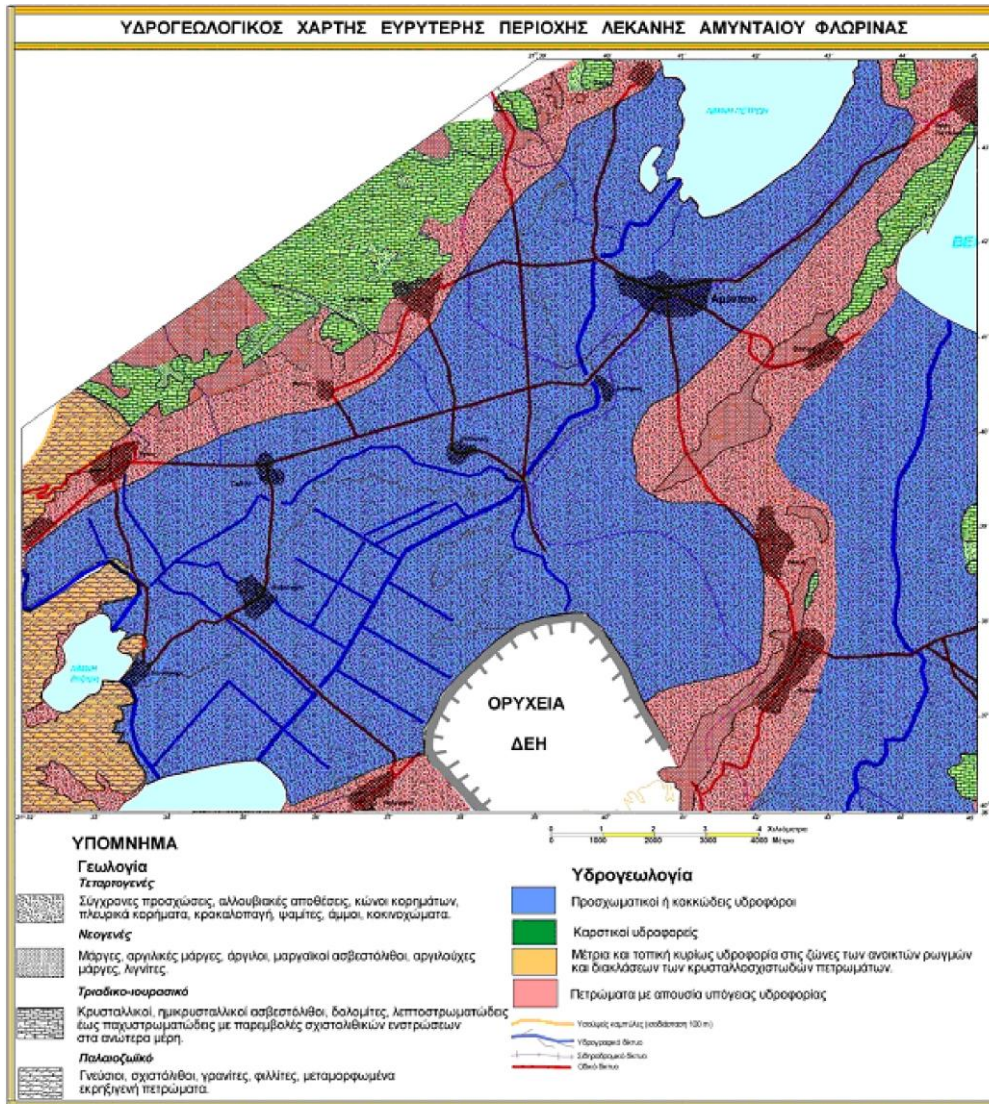
Πίνακας 3.7 Ποιοτική Κατάσταση Υδροφόρου.

<b>H. Ποιοτική Κατάσταση</b>			
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
Αγωγιμότητα (μS/cm)	514	1037	300
pH	7,2	7,8	6,2
Ολική σκληρότητα	405	663	212
Θερμοκρασία νερού	15,4	17	10
Χλωριόντα (mg/l)	24,9	103	5,3
Νιτρικά (mg/l)	9,6	37,2	3,1
Αμμωνιακά (mg/l)	<0,26		

Πίνακας 3.8 Πιέσεις Υδροφόρου.

<b>Θ. Πιέσεις</b>	
Υδροληψία	$40 * 10^6 \text{ m}^3 /$ έτος
Τεχνητός Εμπλουτισμός	Όχι





Σχήμα 3.7: Συνοπτικός υδρογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής (Στάμος & Γιαννόπουλος 2010).

## 3.5 Σεισμικότητα

### 3.5.1 Εισαγωγή

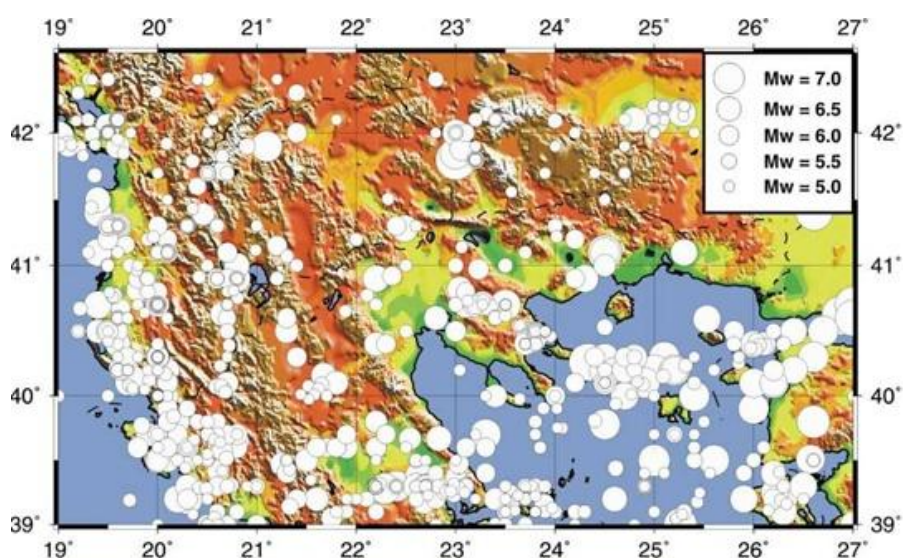
Οι σεισμοί είναι δονήσεις του εδάφους που προκαλούνται από ξαφνική απελευθέρωση ενέργειας στο φλοιό της Γης. Η ενέργεια αυτή βρίσκεται συσσωρευμένη στα πετρώματα με τη μορφή ελαστικής ενέργειας – κύματος. Ο σεισμός προκαλείται από τη διάδοση σεισμικών κυμάτων μέσω των γεωλογικών

σηματισμών, των οποίων πηγή είναι η εστία του σεισμού και εντοπίζεται πάνω στο σεισμικό ρήγμα (<http://www.earthquakenet.gr>), (<http://el.wikipedia.org>).

### 3.5.2 Σεισμικότητα Βορείου Ελληνικού χώρου

Ο Βόρειος Ελληνικός χώρος παρουσιάζει υψηλή σεισμικότητα, η οποία κυρίως εμφανίζεται κατά μήκος των κυρίων ζωνών διάρρηξης (Σερβομακεδονική ζώνη, τάφρος Βορείου Αιγαίου, κλπ.). Όμως, έστω και πιο σποραδικά έχουμε τη γένεση σημαντικών σεισμών και στην υπόλοιπη ηπειρωτική μάζα, πολλές φορές με καταστρεπτικές συνέπειες. Μάλιστα η περιοχή αυτή, αν και βρίσκεται σε σημαντική απόσταση από την ενεργό κατάδυση στο Νότιο Αιγαίο, παρουσιάζει σε μεγάλη απόσταση έντονο εφελκυσμό και σχετική σεισμικότητα (Κ. Παπαζάχος et al 2009).

Τρία παραδείγματα ισχυρών σεισμών είναι: α) σεισμός του Διδυμοτείχου (1752, 26 Ιουλίου,  $M=7.5$ ), β) σεισμός της Κοζάνης (1995,  $M=6.5$ ), γ) σεισμός στην Μυγδονία λεκάνη (1978, 20 Ιουνίου,  $M=6.6$ ). Στο σχήμα 3.7 παρουσιάζονται οι γνωστοί από την αρχαιότητα ως σήμερα σεισμοί στον βόρειο ελληνικό χώρο με μέγεθος  $M>5,0$ .

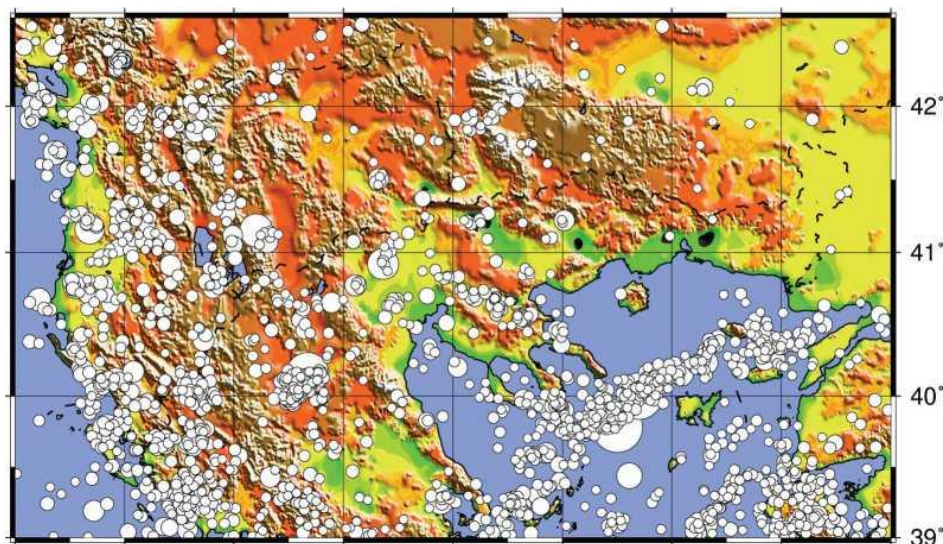


Σχήμα 3.8: Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο και είναι γνωστά από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα με μέγεθος  $M>5,0$  (Παπαζάχος et al 2009).

Η κατανομή των εστιακών βαθών των σεισμών που έγιναν στην περιοχή κατά το χρονικό διάστημα 1982-2001 (Σχήμα 3.9) έδειξε ότι αυτοί είναι επιφανειακοί με βάρη

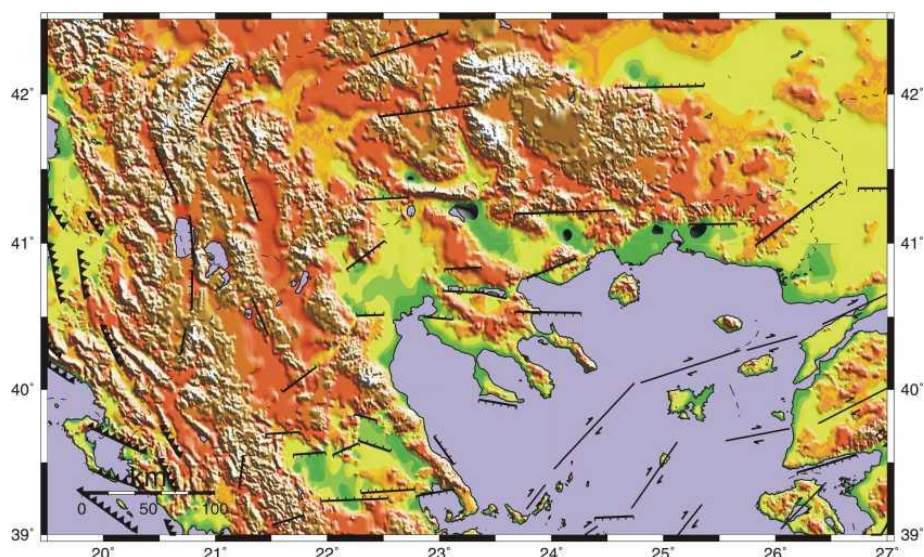


που κατά κύριο λόγο κυμαίνονται μεταξύ 5 και 15 km, ενώ το μέσο εστιακό βάθος είναι 9 km (Παπαζάχος et al 2009).



Σχήμα 3.9: Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο για το χρονικό διάστημα 1982-2001 με μέγεθος  $M > 4.0$  (Κ. Παπαζάχος et al 2009).

Σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα (Papazachos et al., 1997, Papazachos and Papazachou, 2003) στο σχήμα 3.9 παρουσιάζονται τα κυριότερα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς επιφανειακούς σεισμούς στο βόρειο ελληνικό χώρο.



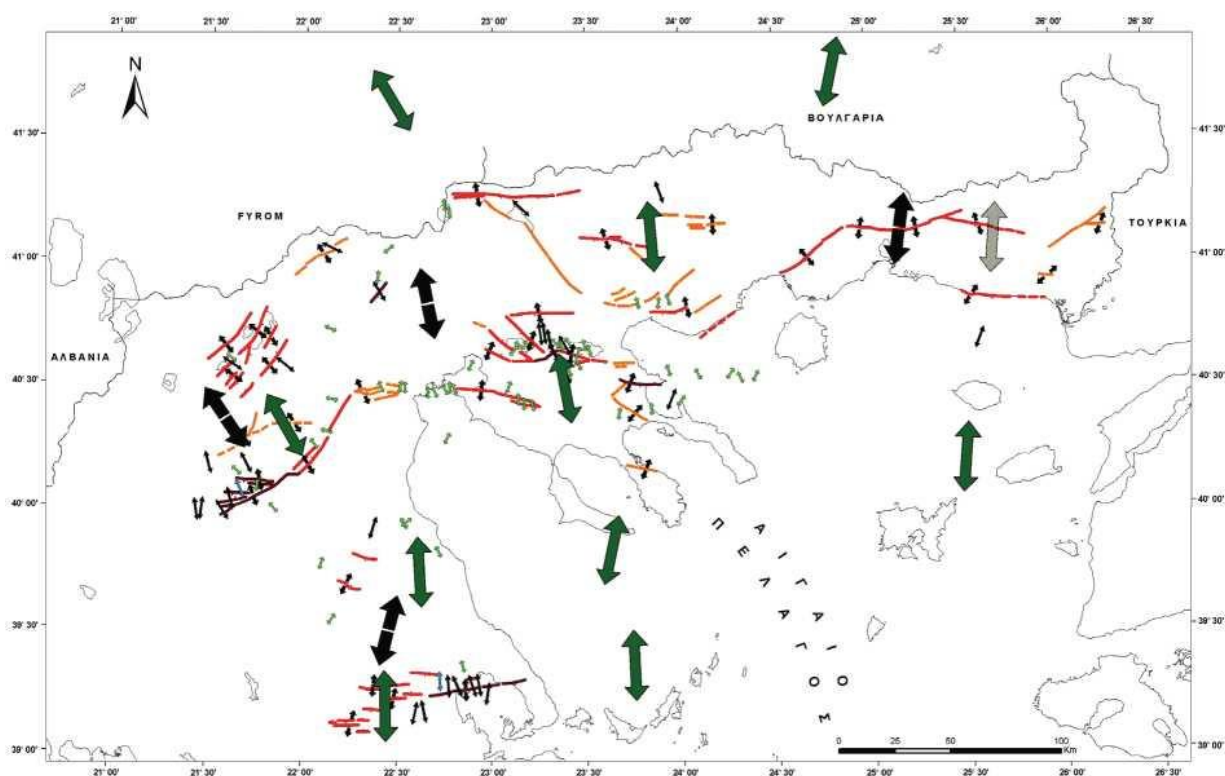
Σχήμα 3.10: πληροφοριών και νεοτεκτονικά ρήγματα του Β. Ελληνικού χώρου (τροποποιημένο από τους Παπαζάχος και συν., 2001) (Κ. Παπαζάχος et al 2009).



Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10, στη Βουλγαρία, Θράκη, κεντρική Μακεδονία και Θεσσαλία επικρατούν Α-Δ ρήγματα τα οποία, στην περιοχή της δυτικής Μακεδονίας αποκτούν μια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση. Στο δυτικό τμήμα φαίνονται κανονικά ρήγματα με Β-Ν διεύθυνση στη γύρω περιοχή των Πρεσπών και κατά μήκος των Αλβανίδων-Ελληνίδων οροσειρών.

### 3.5.3 Πεδίο Ενεργών Τάσεων στη Βόρεια Ελλάδα

Το πεδίο ενεργών τάσεων μιας περιοχής αναφέρεται συνήθως στις παραμορφώσεις και διαρρήξεις του φλοιού της Γης, καθώς και στις τεκτονικές τάσεις (δυνάμεις) που προκαλούν αυτές τις παραμορφώσεις και διαρρήξεις. Στο σχήμα 3.11 παρουσιάζεται το ενεργό πεδίο τάσεων στον Βόρειο Ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 3.11: Πεδίο τάσεων από το συνδυασμό νεοτεκτονικών και σεισμολογικών πληροφοριών και νεοτεκτονικά ρήγματα του Β. Ελληνικού χώρου (Mountrakis et al., 2006).

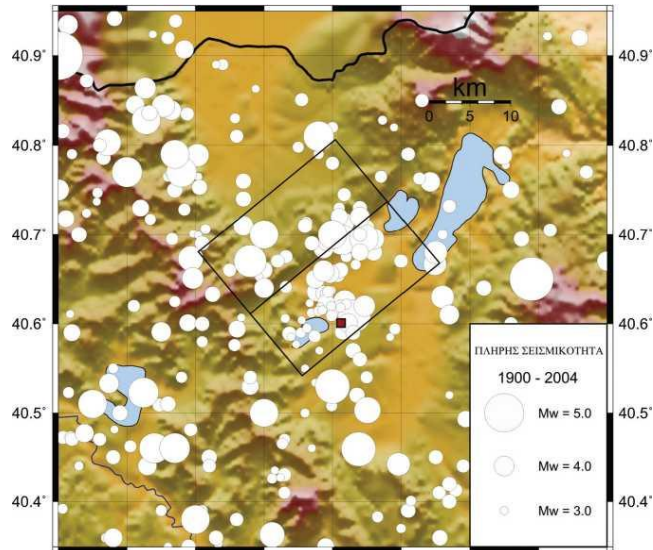
Τα μεγάλα πράσινα και μαύρα βέλη στο σχήμα αντιστοιχούν στο μέσο πεδίο τάσεων κάθε περιοχής σύμφωνα με τα νεοτεκτονικά (μαύρα) και σεισμολογικά (πράσινα) δεδομένα, ενώ τα μικρά βέλη αντιπροσωπεύουν τους τοπικούς κινηματικούς άξονες σύμφωνα με τοπικές παρατηρήσεις ή αεροφωτογραφίες. Με κόκκινα βέλη παρουσιάζονται τα ρήγματα. Όπως φαίνεται στο σχήμα οι διευθύνσεις των

νεοτεκτονικών ρηγμάτων και το ενεργό πεδίο τάσεων είναι σε καλή συμφωνία με την κατανομή της σεισμικότητας στο χώρο. Επίσης τα κύρια ρήγματα που έχουν υπολογιστεί σχετίζονται με τη δημιουργία σεισμικών δονήσεων.

Συμπέρασμα: Συγκρίνοντας τα δεδομένα των παραπάνω σχημάτων, συμπεραίνουμε ότι ακόμα και σε περιοχές με νεοτεκτονικά στοιχεία τα οποία επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ενεργού παραμόρφωσης και τεκτονικής, συναντάται σημαντική σεισμικότητα παρόλο που δεν υπάρχουν ρήγματα στο σχήμα 3.10. Αυτό συμβαίνει διότι δεν έχουν σημειωθεί ισχυροί σεισμοί με μέγεθος  $M > 6,0$  στις συγκεκριμένες περιοχές. Η ευρύτερη περιοχή Βεγορίτιδος – Αναργύρων ανήκει σ' αυτή την κατηγορία.

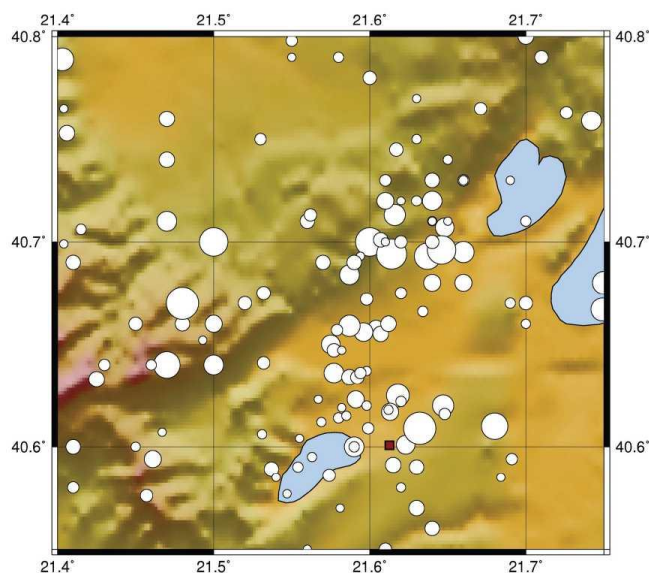
#### **3.5.4 Σεισμικότητα της στενής περιοχής μελέτης Βεγορίτιδας - Αναργύρων**

Στην περιοχή Βεγορίτιδας – Αναργύρων παρατηρείται μικροσεισμικότητα, με σεισμούς μεγέθους  $M < 5,0$  με γενική διεύθυνση ΒΑ–ΝΔ. Ο αριθμός αυτών των σεισμών είναι μεγάλος, ειδικότερα στο βόρειο τμήμα της περιοχής και νότια του ρήγματος που βρίσκεται εκεί, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η ρηξιγενής ζώνη κλίνει προς τα ΝΑ και στο μικρό βάθος (1-10 χλμ.) αυτών. Ειδικότερα για την περιοχή ενδιαφέροντος, κυριαρχούν νεοτεκτονικά ρήγματα με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση , καθώς και ένα ενεργό ΒΔ-ΝΑ εφελκυστικό πεδίο τάσεων, το οποίο οδηγεί σε κανονικές ολισθήσεις στα ρήγματα αυτά. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.12 , υπάρχει σημαντική διασπορά ανάμεσα στα επίκεντρα των σεισμών εξαιτίας του μέσου σφάλματος προσδιορισμού αυτών από το εθνικό δίκτυο. Το σφάλμα αυτό είναι της τάξης των 10-15 χλμ. (Παπαζάχος et al 2009).



Σχήμα 3.12: δεδομένα σεισμικότητας (1900-2004) στην ευρύτερη περιοχή Βεγορίτιδας. Με ορθογώνιο πλαίσιο παρουσιάζεται η περιοχή που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ενεργού παραμόρφωσης (Κ. Παπαζάχος et al 2009).

Στο σχήμα 3.13 παρουσιάζονται τα δεδομένα για την περιοχή των Αναργύρων σχετικά με την πλήρη σεισμικότητα στην λεκάνη. Στο βόρειο τμήμα της, και συγκεκριμένα στην περιοχή Φανού – Ξυνού Νερού διακρίνεται αυξημένη μικροσεισμικότητα, αλλά και γύρω από τον οικισμό των Αναργύρων (βόρεια και ανατολικά).



Σχήμα 3.13: Πλήρη δεδομένα σεισμικότητας (1900-2004) στην περιοχή της λεκάνης Βεγορίτιδας-Αναργύρων. Με τετράγωνο σημειώνεται η θέση της κοινότητας Αναργύρων (Παπαζάχος et al 2009).

## **4. Γεωτεχνική συμπεριφορά σχηματισμών στενής περιοχής μελέτης**

### **4.1 Εισαγωγή**

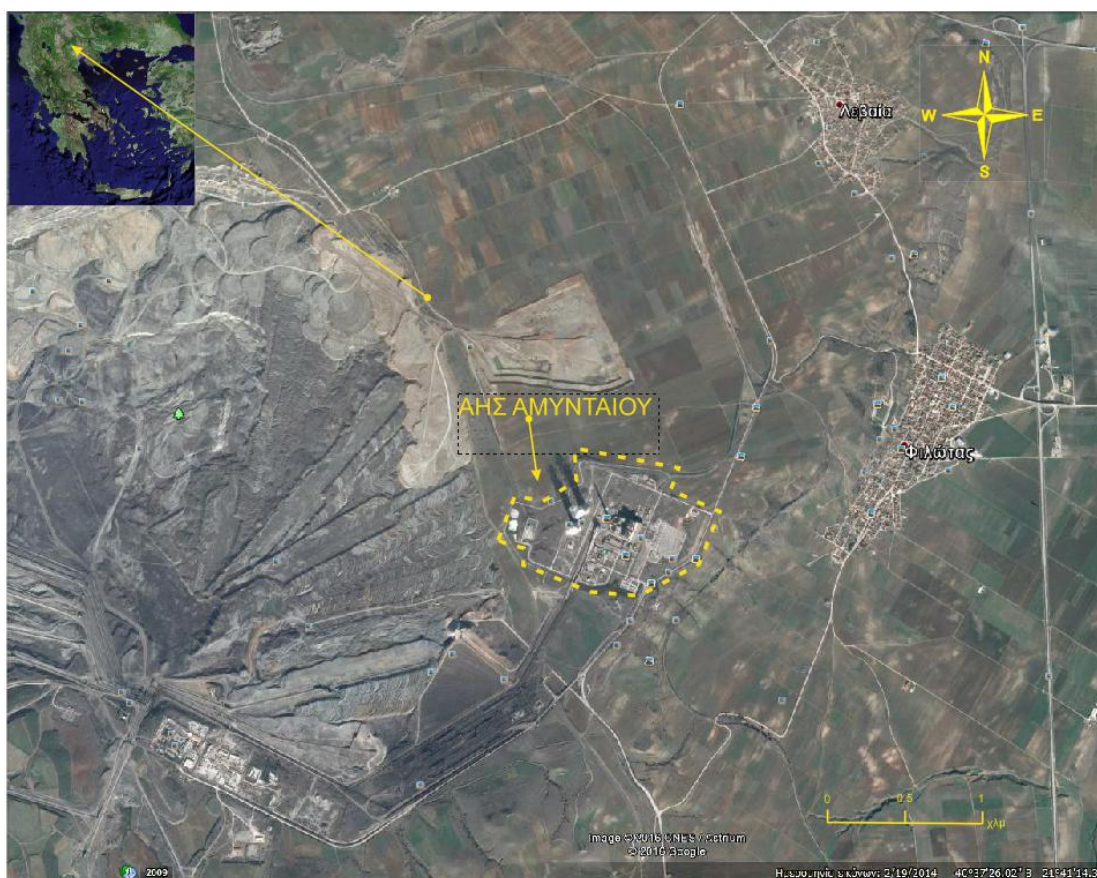
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά μιας επιλεγμένης (στενής) περιοχής μελέτης εστιάζοντας στο γεωλογικό σχηματισμό του Προαστίου που συναντάται στη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής. Λαμβάνοντας δεδομένα από υπάρχουσες γεωτρήσεις δημόσιων έργων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή έγινε ανάλυση των διαφόρων στρωμάτων του σχηματισμού Προαστίου και ομαδοποίηση αυτών. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από το Κ.Ε.Δ.Ε (Κεντρικό Εργαστήριο Δημόσιων Έργων) και το Ι.Γ.Μ.Ε (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών). Στη συνέχεια τα δεδομένα από τα προφίλ των γεωτρήσεων εισήχθησαν σε πρόγραμμα σχεδιασμού ώστε να κατασκευαστεί 3D μοντέλο απεικόνισης της στρωματογραφίας της περιοχής. Τέλος δίνονται στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από τις ήδη υπάρχουσες μελέτες αλλά και από αντιπροσωπευτικά δείγματα που συλλέχτηκαν από την περιοχή. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών. Κατά την εκτέλεση δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην τήρηση των ελληνικών και διεθνών προτύπων και οδηγιών.

#### **4.1.1 Παρουσίαση στενής περιοχής μελέτης και ερευνητικής διαδικασίας**

Η στενή περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε οριοθετείται μεταξύ του λιγνιτωρυχείου και των οικισμών Λεβαΐας και Φιλώτα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1, στην περιοχή αυτή βρίσκεται το εργοστάσιο της Δ.Ε.Η δίπλα στο ορυχείο. Για την κατασκευή του έγιναν 33 γεωτρήσεις, στοιχεία για τις οποίες συλλέχτηκαν από υπάρχουσες μελέτες που βρίσκονται στο Κ.Ε.Δ.Ε. Έπειτα τα δεδομένα αυτά καταχωρήθηκαν σε έγγραφο τύπου excel για περαιτέρω ανάλυση. Επιπλέον, συνδυάζοντας τα δεδομένα από τις



ήδη υπάρχουσες γεωτρήσεις και τα δείγματα που συγκεντρώθηκαν από την περιοχή, πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία και σχεδιάστηκε ενοποιημένος χάρτης παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Με το πρόγραμμα Rockworks χρησιμοποιήθηκαν τα παραπάνω δεδομένα για την κατασκευή μοντέλου απεικόνισης των σημείων που έγιναν οι γεωτρήσεις (2D) και ένα τρισδιάστατο μοντέλο απεικόνισης των διαφόρων στρωμάτων του Προαστίου σε 3D.



Σχήμα 4.1: Χάρτης στενής περιοχής μελέτης. Αριστερά φαίνεται το ορυχείο και στο κέντρο το εργοστάσιο της Δ.Ε.Η.

## 4.2 Γεωλογικές συνθήκες της στενής περιοχής μελέτης

Η στρωματογραφία των νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων της περιοχής μελέτης διέπεται από τους νόμους που καταγράφονται στο σύνολο των υπολεκανών που απαρτίζουν την μεταξύ Κοζάνης και Αμύνταιου περιοχής.

Επομένως η στρωματογραφία των αποθέσεων που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης διαμορφώνονται ως εξής:

#### Νεογενείς Αποθέσεις

Τα νεογενή ιζήματα αποτέθηκαν μετά τη δημιουργία της μεγάλης τεκτονικής τάφρου που εκτείνεται από τα Σέρβια Κοζάνης, στα νότια, μέχρι τη Γιουγκοσλαβία, στα βόρεια. Οι αποθέσεις αυτές διαχωρίζονται σε τρεις διακεκριμένες κατηγορίες ιζημάτων, όπως επικράτησε στις μελέτες της Διεύθυνσης λιγνιτικών ερευνών του ΙΓΜΕ (Λουπασάκης et al, 2010).

A) την Ανώτερη σειρά (υπερκείμενη των λιγνιτών)

B) τη Λιγνιτοφόρο σειρά

Γ) την Κατώτερη σειρά (υποκείμενη των λιγνιτών)

#### A) Ανώτερη σειρά

Η ανώτερη σειρά υπέρκειται της λιγνιτοφόρου σειράς και περιλαμβάνει δύο διαφορετικές στοιβάδες ιζημάτων διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης αλλά και διαφορετικού χρωματισμού. Οι στοιβάδες αυτές είναι:

- Η ανώτατη στοιβάδα των κιτρινόφαιων λεπτομερών κλαστικών ιζημάτων η οποία αποτελείται από εναλλαγές ασβεστούχων άμμων, αργίλων και αμμούχων μαργών, καθώς και από φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Η σειρά αυτή ανήκει στην ποταμολιμναία φάση ιζηματογένεσης και υπέρκειται ασύμφωνα επί της επόμενης στοιβάδας.
- Η στοιβάδα των πρασινότεφων αργιλομαργαϊκών αποθέσεων. Η στοιβάδα αυτή συνίσταται από εναλλαγές αργίλων και αμμούχων ή αργιλούχων μαργών. Οι άμμοι σχεδόν απουσιάζουν από τα ιζήματα της φάσης αυτής η οποία ανήκει στη λιμναία φάση ιζηματογένεσης και επίκειται σύμφωνα της υποκείμενης λιγνιτοφόρου σειράς.

Το πάχος της σειράς κυμαίνεται στα 100 περίπου μέτρα.



## B) Λιγνιτοφόρος σειρά

Η λιγνιτοφόρος σειρά περιλαμβάνει την ανώτερη και κατώτερη λιγνιτοφόρο στοιβάδα καθώς και την μεταξύ των δύο αυτών στοιβάδων ενδιάμεση σειρά των αποκαλούμενων ως "στείων" ιζημάτων.

Οι δύο λιγνιτοφόρες στοιβάδες αποτελούνται, όπως είναι λογικό, από το λιγνίτη και η ενδιάμεση από ανοικτότεφρες κυρίως μάργες, πάχους μέχρι 15 μέτρων. Το συνολικό πάχος της λιγνιτοφόρου σειράς κυμαίνεται μέχρι τα 150 περίπου μέτρα και δεν παρουσιάζει κανένα υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

## Γ) Κατώτερη σειρά

Η κατώτερη σειρά περιλαμβάνει ένα ανώτερο και ένα κατώτερο τμήμα. Το ανώτερο τμήμα δομείται από τεφρές αργιλούχες μάργες κατά τόπους αμμούχες στις οποίες εντοπίζονται φακοειδείς ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων. Ενώ, το κατώτερο τμήμα αποτελείται από αμμώδεις αργίλους με μαργαϊκές ενστρώσεις. Το πάχος της σειράς αυτής υπερβαίνει τα 200 μέτρα. Πάνω από το στερεό υπόβαθρο της τεκτονικής λεκάνης τοποθετείται ερυθρό κροκαλοπαγές βάσης.

## Τεταρτογενείς Αποθέσεις

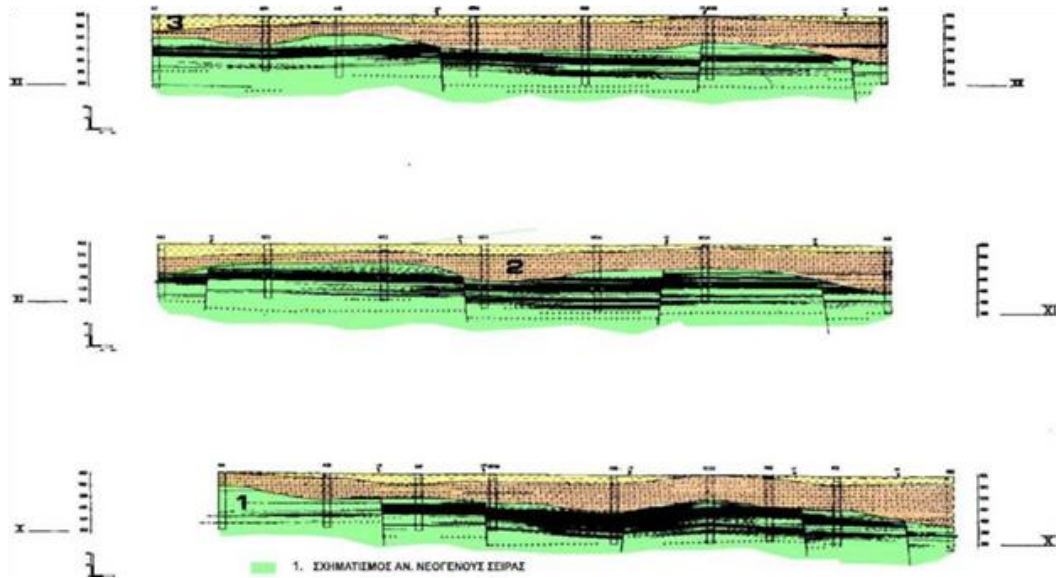
Μετά την απόθεση των νεογενών ιζημάτων και τη δημιουργία των λιγνιτών, στις αρχές πλειστοκαίνου, εκδηλώθηκαν νέες τεκτονικές διαταράξεις οι οποίες προκάλεσαν κατακόρυφες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις τμημάτων της λεκάνης. Οι νέες ταφροειδείς υπολεκάνες και τα εξάρματα που δημιουργήθηκαν προκάλεσαν την αφορμή για την έναρξη έντονων διαθρωπτικών και αποσαθρωπτικών διεργασιών. Οι διεργασίες αυτές τροφοδότησαν τις νέες ταφροειδείς υπολεκάνες με άφθονο υλικό. Το συγκεκριμένο υλικό συνιστά τις τεταρτογενείς ποταμοχειμμάριας αποθέσεις και τους ριπιδοειδείς κώνους των λεκανών. Τα τεταρτογενή ιζήματα αποτελούνται από εναλλασσόμενες ενστρώσεις κροκαλοπαγών χαλαρών και συνεκτικών, ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών, άμμων, αργίλων με ποικίλης σύστασης κροκάλες ασβεστολιθικές, σχιστολιθικές, περιδοιτικές, διαβασικές και κερατολιθικές. Σε όλους σχεδόν τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της ευρύτερης περιοχής μέχρι Φλώρινα αναπτύσσονται υδροφόροι ορίζοντες. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις διακρίνονται, από τα βαθύτερα

προς τα επιφανειακά στρώματα, στους ακόλουθους σχηματισμούς (Κούκουζας κ.α., 1979):

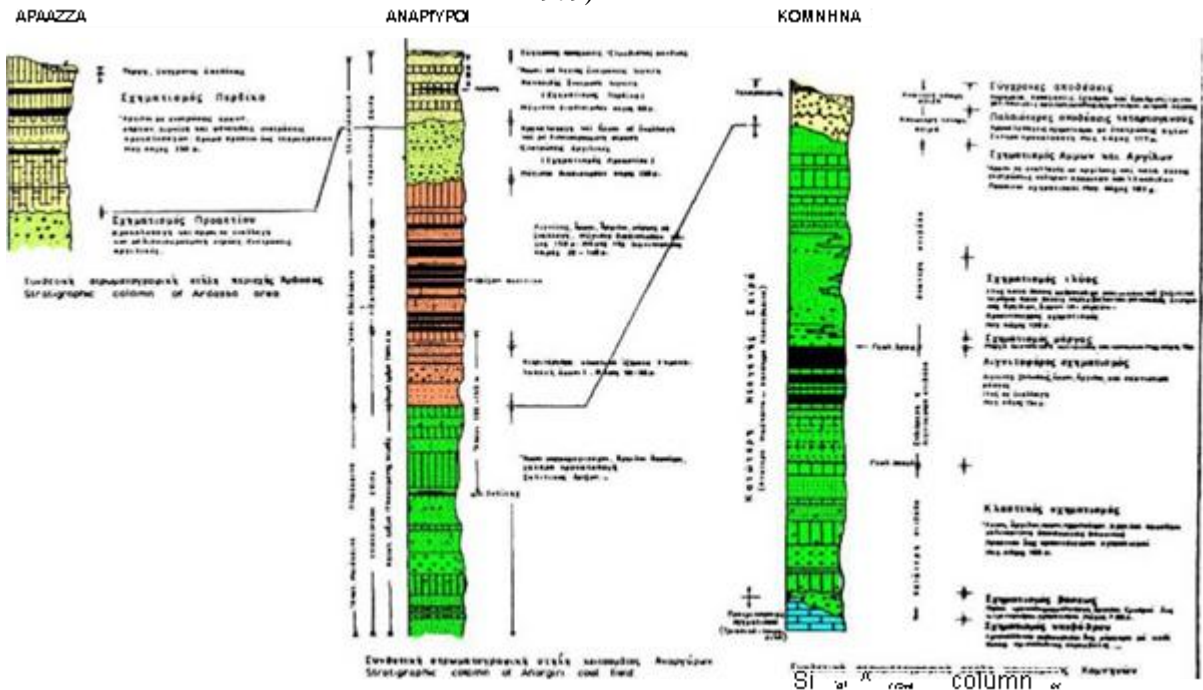
Σχηματισμό Προαστίου: Πρόκειται για ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, Κάτω – Μέσο Πλειστοκαινικής ηλικίας (Βιλλαφράγκιο) (ΙΓΜΕ, 1997) οι οποίες επικάθονται ασύμφωνα πάνω στους λιγνιτοφόρους Νεογενείς σχηματισμούς. Γενικά, στο σύνολο της λεκάνης, ο συγκεκριμένος σχηματισμός αποτελείται από εναλλαγές χαλαρών κροκαλοπαγών και άμμων με ερυθρές αργίλους.

Σχηματισμός Περδίκας: Πρόκειται για ποταμολιμναία ιζήματα, Κάτω – Μέσο Πλειστοκαινικής ηλικίας (ΙΓΜΕ, 1997). Στο σύνολο της λεκάνης ο σχηματισμός Περδίκας αποτελείται από ενστρώσεις λεπτόκοκκης άμμου με εναλλαγές ενστρώσεων αμμούχων αργίλων και μαργών ως και φακοειδείς ενστρώσεις ψηφιδωπαγών κροκαλοπαγών με κροκάλες μικρού μεγέθους (Κούκουζας κ.α., 1979).

Σχηματισμός Αναργύρων: Πρόκειται για ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, Μέσο-Πλειστοκαινικής ηλικίας, οι οποίες, όπως αναφέρεται και στο γεωλογικό χάρτη (ΙΓΜΕ, 1997), στο εσωτερικό της λεκάνης εμφανίζονται περισσότερο λεπτοκλαστικές σε σχέση με τα περιθώρια της λεκάνης. Η προαναφερόμενη στρωματογραφική δομή της λεκάνης παρουσιάζεται στις τομές των σχημάτων 4.2 και 4.3.



Σχήμα 4.2: Γεωλογικές τομές του κοιτάσματος Αναργύρων – Αμυνταίου (Κούκουζας κ.α., 1979)



Σχήμα 4.3: Σκαρίφημα συσχέτισης των στρωματογραφικών στηλών στις περιοχές Κομνηνών – Αναργύρων – Αρδάσσας (Κούκουζας κ.α., 1979).

### **4.3 Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής**

#### **Εισαγωγή**

Για τη διερεύνηση και τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Οι δοκιμές αυτές αναφέρονται σε τρία δείγματα τα οποία λήφθηκαν από την περιοχή έρευνας στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας καθώς και σε δείγματα που συλλέχθηκαν από τις 33 γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για όλα τα δείγματα παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙ.

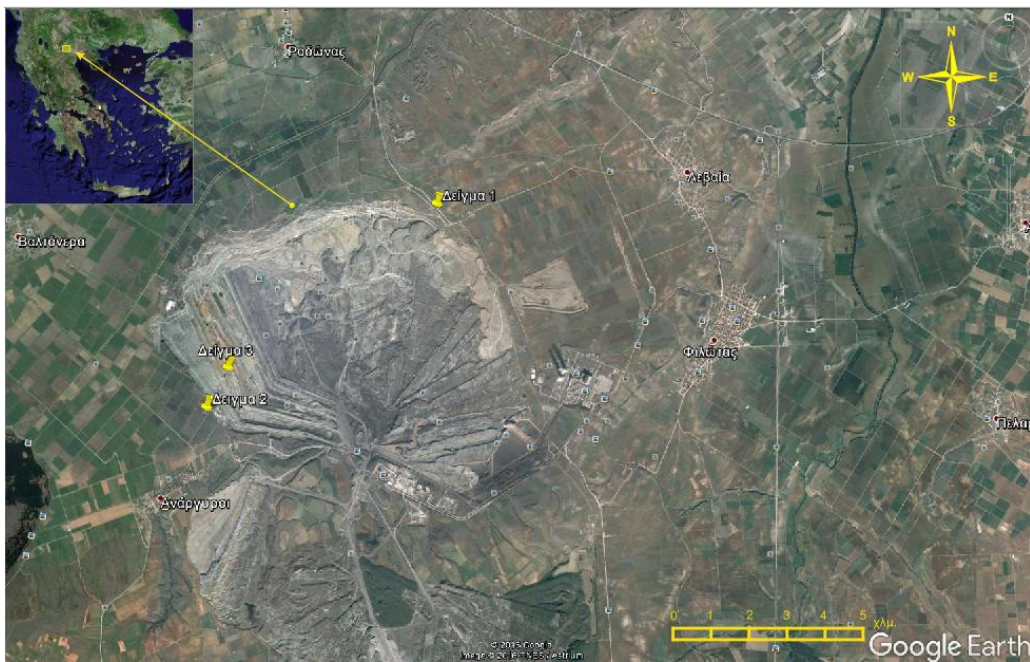
#### **Περιοχή δειγματοληψίας**

Στο θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο Αμυνταίου οι δευτερεύουσες εγκαταστάσεις του ΑΗΣ κατασκευάστηκαν σε οικόπεδο που διαμορφώθηκε στη στάθμη +660,00 μ. δίπλα στο οικόπεδο όπου εγκαταστάθηκαν οι μονάδες και οι πύργοι ψύξεως. Έγιναν 33 γεωτρήσεις περιστροφικές, πηρυνοληψίας από 10 ως 60 μ. βάθους η κάθε μια στις θέσεις που φαίνονται στο σχήμα 4.4. Οι θέσεις των δειγμάτων τα οποία ελήφθησαν από την περιοχή του ορυχείου για τους σκοπούς της διατριβής φαίνονται στο σχήμα 4.5. (Γεωερευνητική ΕΠΕ, 1980).





Σχήμα 4.4: Θέσεις γεωτρήσεων ΑΗΣ Αμυνταίου στην περιοχή του εργοστασίου.



Σχήμα 4.5: Θέσεις δειγματοληψίας εδαφικών υλικών για δοκιμές εδαφομηχανικής.

Οι εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο σύνολο των δειγμάτων είναι:

- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας, φαινόμενου βάρους και ειδικού βάρους
- Προσδιορισμός ορίων Atterberg (όρια υδαρότητας, πλαστικότητας και δείκτης πλαστικότητας)
- Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα και αραιόμετρο.
- Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης.



Εικόνα 4.1: Εδαφικά δείγματα για δοκιμές εδαφομηχανικής

#### 4.3.1 Φυσική υγρασία

Σκοπός της δοκιμής αυτής είναι να προσδιοριστεί η μάζα του νερού που βρίσκεται στους πόρους του δείγματος ενός εδαφικού σχηματισμού. Η φυσική υγρασία είναι η περιεκτικότητα σε νερό ενός δείγματος προερχόμενο από τη φυσική του θέση και ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού ( $W_w$ ) προς το βάρος των στερεών ξηρών κόκκων του σχηματισμού ( $W_s$ ):

$$m = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Τρόπος εργασίας (ASTM D-2216/80). Επιλέγουμε κατάλληλο δείγμα προσέχοντας να μην έχει υποστεί ξήρανση η εξωτερική του επιφάνεια. Ζυγίζουμε το δείγμα και υπολογίζουμε το συνολικό βάρος του δείγματος ( $W$ ). Η μέτρηση του βάρους ( $W$ )



πρέπει να γίνει αμέσως πριν την τοποθέτηση των δοκιμίων στο φούρνο ώστε να αποφευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η επιφανειακή ξήρανση στα δοκίμια. Ανάλογα με τον τύπο του κάθε σχηματισμού, επιλέγουμε διαφορετική ποσότητα εδάφους και γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του δοκιμίου, τόσο ακριβέστερη θα είναι και η μέτρηση της φυσικής υγρασίας. Η ξήρανση στο φούρνο διαρκεί μία μέρα και γίνεται υπό σταθερή θερμοκρασία 110 °C μέχρι σταθερού βάρους. Στη συνέχεια μετράμε το βάρος του δείγματος, αφού πρώτα το αφήσουμε να ψυχθεί σε φυσικό περιβάλλον, το οποίο ορίζουμε ως  $W_s$ . Η περιεκτικότητα σε νερό μετριέται από των παραπάνω τύπο όπου  $W_w = W - W_s$  (Χρηστάρας Β., 2006).

#### 4.3.2 Φαινόμενο βάρος

Το φαινόμενο βάρος ( $\gamma$ ) ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους προς τον όγκο του εδάφους με τη σχέση:  $\gamma = \frac{W}{V}$  ( $\text{g/cm}^3$ ), όπου

$W$  είναι το συνολικό βάρος του υγρού εδάφους (αέρας και νερό στους πόρους) και  $V$  ο συνολικός όγκος του δείγματος.

Τρόπος εργασίας (AASHTO T-147, ASTM C-29) Για τον υπολογισμό του όγκου του δοκιμίου χρησιμοποιούμε έναν καθαρό ογκομετρικό σωλήνα τον οποίο γεμίζουμε ως τα 3/4 περίπου με αποσταγμένο νερό και καταγράφουμε την ένδειξη. Έπειτα παίρνουμε το δείγμα το οποίο ζυγίζουμε με ακρίβεια 0,01 γραμμαρίου, αφαιρώντας υλικό μέχρι το βάρος του να γίνει 100 γραμμάρια. Επιλέγουμε δείγμα κατάλληλο ώστε να χωράει άνετα στον ογκομετρικό σωλήνα και το βυθίζουμε σε λειωμένη παραφίνη (Εικόνα 4.2) ως ότου δημιουργηθεί με λεπτή στρώση παραφίνης σε όλη την επιφάνεια του δείγματος. Αφού ψυχθεί το παραφινωμένο δείγμα, το ζυγίζουμε και καταγράφουμε το βάρος της παραφίνης και το βυθίζουμε στον ογκομετρικό σωλήνα και παίρνουμε τη νέα ένδειξη της στάθμης. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία της βύθισης τρεις φορές και κρατάμε το μέσο όρο των τιμών για τον όγκο του παραφινωμένου δείγματος. Για τον όγκο του εδάφους, αφαιρούμε τον όγκο της παραφίνης από τον συνολικό όγκο του δείγματος τον οποίο υπολογίζουμε διαιρώντας το βάρος της παραφίνης με το ειδικό της βάρος ( $0,89 \text{ g/cm}^3$ ). Τέλος υπολογίζουμε το φαινόμενο βάρος του εδαφικού δείγματος διαιρώντας το βάρος με τον όγκο του (ΦΕΚ αριθμός;, 1986).



Εικόνα 4.2: βύθιση δείγματος για παραφίνωση

### 4.3.3 Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος ( $\gamma_s$ ) ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους συγκεκριμένου όγκου εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού σε θερμοκρασία 4 °C επί το ειδικό βάρος του νερού ( $\gamma_w$ ). Ορίζεται από τη σχέση:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_w}, \text{ όπου } \gamma_w = 1 \text{ σε κανονικές θερμοκρασίες.}$$

Τρόπος εργασίας (ASTM D-854/83, AASHTO T-100/75). Ο ογκομετρικός κύλινδρος ή πυκνόμετρο κατά (ΦΕΚ) καθαρίζεται με αποσταγμένο νερό, ξηραίνεται, ζυγίζεται και το βάρος του καταγράφεται. Γεμίζουμε τον κύλινδρο με αποσταγμένο νερό σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι τα 100 ml. Στη συνέχεια μετράμε το βάρος του ογκομετρικού κυλίνδρου με νερό και το ονομάζουμε ( $W_a$ ). Το εδαφικό δείγμα που τα χρησιμοποιήσουμε για τη δοκιμή μπορεί είτε να περιέχει τη φυσική του υγρασία είτε να έχει ξηραθεί στον κλίβανο, πρέπει ωστόσο το βάρος του να ξεπερνά τα 25 g. ακόμη και μετά τη ξήρανση αν έχει γίνει.

Το δείγμα τοποθετείται σε καθαρό ογκομετρικό κύλινδρο και έπειτα συμπληρώνουμε αποσταγμένο νερό ως τη στάθμη των 100 ml. Αφού θερμάνουμε για την απομάκρυνση αερίων από το δείγμα (Εικόνα 4.3), ζυγίζουμε το κύλινδρο μαζί με το

περιεχόμενο του και το βάρος ( $W_b$ ) αναγράφεται. Βυθίζουμε κατόπιν ένα θερμόμετρο στον κύλινδρο και παίρνουμε τη θερμοκρασία  $T_x$  του περιεχομένου σε  $^{\circ}\text{C}$ .



Εικόνα 4.3: Απαέρωση των δειγμάτων με θέρμανση

Το ειδικό βάρος εδάφους ως προς νερό θερμοκρασίας  $T_x$  υπολογίζεται:

$$\frac{T_x}{T_y} = \frac{W_0}{W_0 + (W_a - W_b)}, \quad T_x, T_y \text{ σε } ^{\circ}\text{C}$$

όπου

$W_0$  το βάρος του ξηρού δείγματος εδάφους

$W_a$  το βάρος του δοχείου γεμάτου με αποσταγμένο νερό

$W_b$  το βάρος του δοχείου γεμάτου με αποσταγμένο νερό και ξηρό δείγμα σε θερμοκρασία  $T_x$ .

$T_x$  η θερμοκρασία του περιεχομένου του δοχείου κατά τη μέτρηση  $W_b$ .

Οι τιμές του ειδικού βάρους πρακτικά αναφέρονται σε θερμοκρασία νερού  $20^{\circ}\text{C}$ . Η τιμή ως προς νερό  $20^{\circ}\text{C}$  υπολογίζεται από την τιμή για το νερό σε θερμοκρασία  $T_y$  που μετρήθηκε, με τη σχέση:

$$\frac{T_x}{T_{20}} = K \times \frac{T_x}{T_y} \text{ σε } ^\circ\text{C}$$

Ο αριθμός K προκύπτει από τη διαίρεση της σχετικής πυκνότητας του νερού θερμοκρασίας  $T_x$  διά της σχετικής πυκνότητας του νερού στους  $20^\circ\text{C}$  και οι τιμές του λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.1: Σχετική πυκνότητα νερού και συντελεστής αναγωγής K για διάφορες θερμοκρασίες.

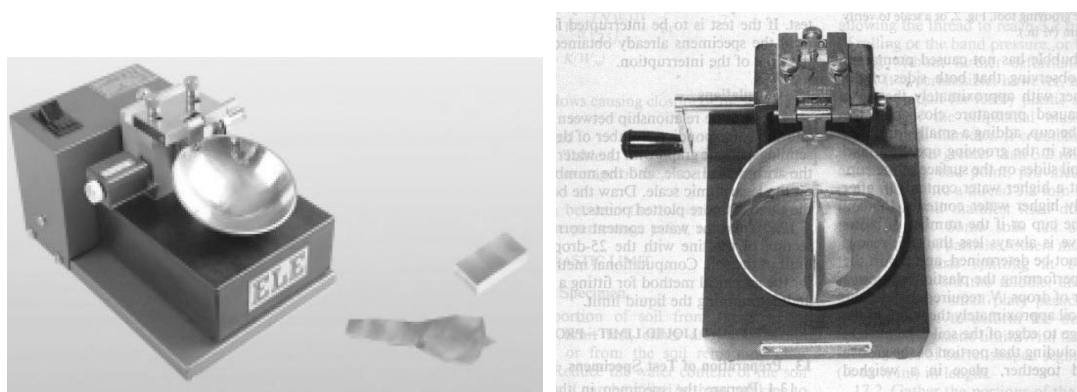
Θερμοκρασία $^\circ\text{C}$	Σχετική πυκνότητα νερού	Συντελεστής αναγωγής K
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978019	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9989
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,9980
29	0,9959761	0,9977
30	0,9956780	0,9974

#### 4.3.4 Όρια Atterberg

Ο όρος πλαστικό αναφέρεται για ένα έδαφος, όταν οι κόκκοι αυτού (άργιλος, ιλύς) αποτελούνται από υλικά που απορροφούν και συγκρατούν νερό. Η περιεκτικότητα σε νερό παίζει σημαντικό ρόλο στις ιδιότητες αντοχής ενός συνεκτικού εδάφους και στη

στερεότητα του υλικού του. Για κοκκώδη εδάφη η μεταβολή στο περιεχόμενο νερό δεν επηρεάζει τόσο. Τα όρια Atterberg προσδιορίζουν τη συμπεριφορά των αργλικών εδαφών σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε νερό.

Όριο υδαρότητας (LL). Ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά την χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση. Για τη μέτρηση του ορίου υδαρότητας χρησιμοποιήθηκε συσκευή Casagrande (Εικόνα 4.4) (AASHTO T-89/76, ASTM D-4318/83).



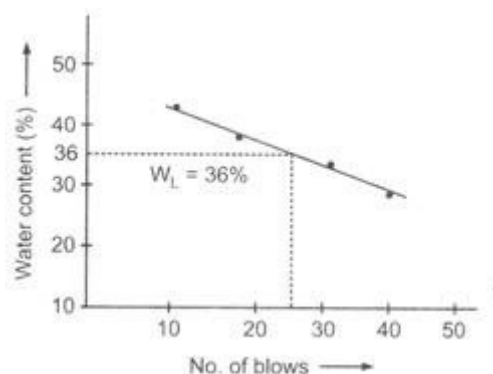
Εικόνα 4.4: α) Συσκευή Casagrande (Μαραγκός Ν., 2009) β) Συσκευή Casagrande πριν τη δοκιμή (Σακελλαρίου Μ., 2003).

Ο μετρητής που βρίσκεται στο πίσω μέρος του οργάνου ρυθμίζει ακριβώς το ύψος από το οποίο θα πέφτει η κάψα και αυτό πρέπει να είναι 1cm πάνω από τη βάση. Έπειτα σταθεροποιούμε την πλάκα στήριξης σφίγγοντας τους κοχλίες και ελέγχουμε, περιστρέφοντας τον στρόφαλο, ότι η κάψα δεν ανυψώνεται και ότι ακούγεται ένας ελαφρύς κτύπος όταν η κάψα εφάπτεται στην προεξοχή του στροφάλου.

Το εδαφικό δείγμα που χρησιμοποιούμε είναι περίπου 100g. Αρχικά κοσκινίζουμε με κόσκινο No.40, δηλαδή απομακρύνονται όλα τα τεμάχια που είναι μεγαλύτερα από 0,4mm. Παίρνουμε το δείγμα από το κόσκινο και ζυμώνουμε με νερό 15-20cm<sup>3</sup>, ώστε να σχηματιστεί μια μαλακή μάζα. Στη συνέχεια τοποθετούμε μέρος του δείγματος αυτού στο πάνω μέρος της κάψας και απλώνουμε έτσι ώστε το μέγιστο πάχος του να μην ξεπερνά το 1cm. Το έδαφος στο κύπελλο της συσκευής διαιρείται κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου, από το όργανο χάραξης δημιουργώντας μια καθαρή και απότομη χαραγή στο έδαφος. Γίνονται ως έξι τέτοιοι χειρισμοί μετά τους οποίους πρέπει να φαίνεται ο μεταλλικός

πυθμένας της κάνας. Γυρίζοντας το στρόφαλο περίπου δύο φορές το δευτερόλεπτο, το κύπελλο πέφτει ρυθμικά στο βάθρο της συσκευής ως ότου να κλείσει η χαραγή που κάναμε προηγουμένως σε μήκος 12,7mm και καταγράφουμε τους κτύπους. Σε αυτό το σημείο προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό. Για κάθε δείγμα επαναλαμβάνουμε τη δοκιμή τρεις φορές για διαφορετικές περιεκτικότητες σε νερό και κτύπους >10 και <40.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών εισάγονται σε διάγραμμα (λογαριθμική κλίμακα αριθμών κτύπων και περιεχόμενη υγρασία, Σχήμα 4.6) και η σύνδεση των σημείων μας δίνει ευθεία γραμμή. Το όριο υδαρότητας είναι η περιεκτικότητα σε νερό που προκύπτει από την τομή της ευθείας με την τεταγμένη των 25 κτύπων και αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες (Σακελλαρίου Μ., 2003), (Χρηστάρας Β. , 2006).



Σχήμα 4.6 Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας. (Khan Z.)

Όριο πλαστικότητας (PL). Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί με ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς αυτός να θραύεται (AASHTO T-90/70, ASTM D-4318/83).

Το δείγμα που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή είναι υλικό περίπου 8g από το δείγμα για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας(LL). Πλάθουμε αρχικά τη μάζα, μορφώνοντας την σε ραβδίσκο και κυλινδρώνουμε με τα δάχτυλα μέχρι η διάμετρος του ραβδίσκου να καταστεί 3 mm. Έπειτα ο ραβδίσκος θραύεται σε τεμάχια τα οποία ενώνονται ξανά και επαναλαμβάνουμε την κυλινδρωση μέχρις ότου ο ραβδίσκος θρυμματιστεί με την απαιτούμενη πίεση για την κυλινδρωσή του. Ο θρυμματισμός μπορεί να συμβεί όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3 mm, κάτι το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό σημείο περατώσεως. Το όριο πλαστικότητας



υπολογίζεται σαν την υγρασία που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3 mm και προκύπτει από τον μέσο όρο τριών δοκιμών.

Δείκτης πλαστικότητας PI. Ορίζεται ως η περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας (LL) και το όριο πλαστικότητας (PL), δηλαδή:  $PI=LL-PL$ . Για τα συνεκτικά εδάφη, όσο πιο λεπτόκοκκα τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας.

Σε περιπτώσεις που το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιοριστούν, ο δείκτης πλαστικότητας αναγράφεται ως NP (μη πλαστικό). Σε ένα εξαιρετικά αμμώδες έδαφος εκτελείται πρώτα η δοκιμή του ορίου πλαστικότητας και αν δεν μπορεί να προσδιοριστεί τότε το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας αναφέρονται ως NP. Τέλος όταν  $PL>LL$  ο δείκτης πλαστικότητας επίσης αναφέρεται σαν NP.

#### **4.3.5 Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα**

Το μέγεθος των κόκκων ενός εδάφους εξετάζεται για τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση του. Όταν οι κόκκοι ενός εδάφους έχουν διάμετρο  $d > 0,075$  mm (όριο άμμου-ιλύος) χρησιμοποιούμε την μέθοδο με τα κόσκινα, ενώ για  $d < 0.075$  mm χρησιμοποιούμε τη μέθοδο με την ανάλυση της ιλύος. Σε δείγμα που περιέχει κόκκους με  $d < 0.075$  mm σε ποσοστό πάνω από 25% χρησιμοποιούμε συνδυασμό των δύο μεθόδων. Ο διαχωρισμός λεπτόκοκκου - χονδρόκοκκου εδάφους γίνεται βάσει της περιεκτικότητας του κάθε εδάφους σε κόκκους με  $d < 0.075$  mm. Όταν λοιπόν ένα έδαφος περιέχει περισσότερο από 35% κόκκους με  $d < 0.075$  mm τότε χαρακτηρίζεται ως λεπτόκοκκο και χωρίζεται σε ιλύ και άργιλο. Για λιγότερο από 35%, χαρακτηρίζεται χονδρόκοκκο και χωρίζεται σε άμμους και χάλικες.

Τα εδαφικά υλικά λαμβάνουν τα παρακάτω ονόματα ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων (ASTM, 1989):

A) Κροκάλες – Λίθοι 76.2 mm (3in)

B) Χαλίκια – G, χονδροί : 76.2-19.0 mm (3/4 in ASTM), λεπτοί: 19.0-4,76 mm (No. 4, ASTM)

Γ) Άμμος – S , χονδρή: 4.76-2.0 mm (No 10, ASTM), μέση: 2.0-0.425 mm (No. 40, ASTM), λεπτή: 0.425-0.075 mm (No. 200, ASTM)

Δ) Ιλύς – M : 0.075-0.002 mm

Ε) Άργιλος – C : <0.002 mm

Η μέθοδος κοσκινίσματος γίνεται με τη χρήση πρότυπων κόσκινων τετραγωνικών οπών (AASHTO T-27/66, ASTM C-136) (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή κοκκομετρικής ανάλυσης.

Ανάλογα με την κοκκομετρία του εδάφους που χρησιμοποιείται, λαμβάνονται διαφορετικές ποσότητες δείγματος: για λεπτή ως μέση άμμο 100-200 g, για χοντρή άμμο μέχρι λεπτά χαλίκια 0.5 kg και για χοντρά χαλίκια με κροκάλες 5 kg ή περισσότερο. Τα κόσκινα χρησιμοποιούνται με σειρά μεγέθους αυξανόμενη από κάτω προς τα πάνω: 0.075 (No. 200), 0.15 (No. 100), 0.18 (No. 80), 0.30 (No. 50), 0.425 (No. 40), 0.60 (No.30), 1.18 (No. 16), 2.0 (No. 10), 2.36 (No. 8), 4.75 (No. 4), 6.30 (1/4"), 12.50 (1/2"), 19.0 (3/4"), 25.0 (1"), 31.75 (1 1/4"), 38.10 (1 1/2 "), 50.80 (2"), 63.50 (2 1/2 "), 76.20 (3").

Ξηραίνουμε το δείγμα στους 105°C και ζυγίζουμε σε ζυγό ακριβείας. (Εικόνα 4.6). Στη συνέχεια αδειάζουμε το υλικό στα κόσκινα και κοσκινίζουμε για 15' περίπου με πλευρικές κινήσεις. Το υλικό που παραμένει πάνω σε κάθε κόσκινο ζυγίζεται και αναγράφεται ως ποσοστό επί του συνολικού όγκου του δείγματος. Επίσης ζυγίζουμε και το υλικό που πέρασε από όλα τα κόσκινα (παιπάλη). Η διαφορά βάρους όλων των συκρατούμενων με το αρχικό βάρος δεν πρέπει να ξεπερνά το 1% του αρχικού βάρους.



Εικόνα 4.6: Ξήρανση εδαφικών δειγμάτων σε κλίβανο.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αναγράφονται:

A) με τα ποσοστά % του υλικού που συγκρατείται στα κόσκινα από το συνολικό βάρος του δείγματος.

B) με τα ποσοστά % των διερχομένων από κάθε κόσκινο.

Η κοκκομετρική ανάλυση παριστάνεται με την κοκκομετρική καμπύλη η οποία είναι μια αθροιστική καμπύλη των μερών που παίρνουμε από τα κόσκινα εκφρασμένα σε ποσοστά % αθροιστικά επί του συνόλου του δείγματος. Στην τεταγμένη του

διαγράμματος αναγράφονται οι αντίστοιχες διάμετροι των κόκκων (σε λογαριθμική κλίμακα) για τα αθροιστικά βάρη. Η καμπύλη κινείται από κάτω αριστερά προς τα πάνω δεξιά και μέσω αυτής χαρακτηρίζουμε το έδαφος βάσει του κυρίαρχου συστατικού του. Η ομοιομορφία του εδάφους εκφράζεται μέσω του συντελεστή ομοιομορφίας ( $U$  ή  $C_u$ ) που υπολογίζεται:  $U = d_{60}/d_{10}$ , όπου  $d_{60}$  και  $d_{10}$  είναι οι διάμετροι των κόκκων σε ποσοστά διερχομένων αντίστοιχα 60% και 10% του βάρους πάνω στην κοκκομετρική καμπύλη. (Χρηστάρας Β., 2006)

A) για  $U < 5$ , το έδαφος χαρακτηρίζεται ομοιόμορφο

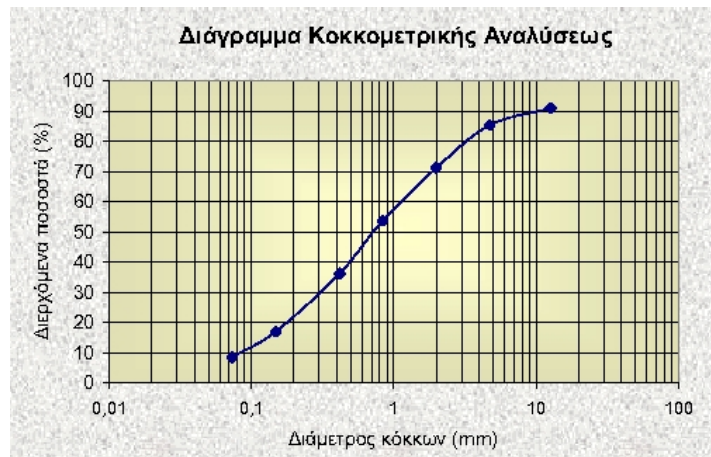
B) για  $U = 5$  ως  $U = 15$ , ανομοιόμορφο

Γ) για  $U > 15$ , πολύ ανομοιόμορφο.

Με το συντελεστή ομοιομορφίας χωρίζουμε τα εδάφη σε συνεκτικά και μη συνεκτικά. Τα συνεκτικά εδάφη συμπυκνώνονται σε μεγάλο βαθμό, άρα ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων ορίζουμε ένα έδαφος ως περισσότερο ή λιγότερο πλαστικό (όσο πιο λεπτόκοκκο τόσο πιο πλαστικό).

Η κοκκομετρική καμπύλη δίνει επίσης πληροφορίες για τη διαβάθμιση του εδάφους, δηλαδή σχετικά με το πόσο σταθερό είναι, την αντοχή του σε φθορά και διάβρωση και το μέγεθος της συμπύκνωσης του. Τα συνεκτικά εδάφη αποκτούν μεγαλύτερη πυκνότητα με αποτέλεσμα μεγάλη αντοχή στη διάτμηση και μεγάλη φέρουσα ικανότητα μέσω της συμπύκνωσης τους. Σε εδάφη κακής διαβάθμισης δεν υπάρχει επαρκής ποσότητα λεπτόκοκκων κλασμάτων για να πληρώσει τα κενά των μεγαλύτερων κόκκων. (Χρηστάρας, 2006)

$$\text{Ο βαθμός διαβάθμισης υπολογίζεται: } C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}}$$



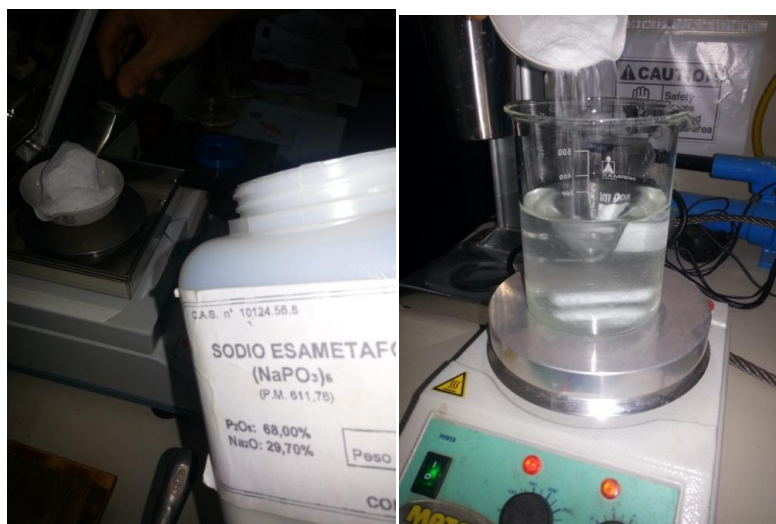
Σχήμα 4.7: Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων από ανάλυση με κόσκινα.  
(<http://diocles.civil.duth.gr>)

#### 4.3.6 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει την κατανομή των κόκκων ενός λεπτόκοκκου εδάφους βάσει του μεγέθους τους. Το όργανο που χρησιμοποιείται ονομάζεται αραιόμετρο τύπου 152H ή 151H το οποίο μετράει την πυκνότητα του στερεού υλικού που αιωρείται σε ένα υγρό μέσο. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα και ένα στέλεχος. Η κλίμακα του στελέχους έχει υποδιαιρέσεις από 0-60 g και η βαθμονόμηση του βασίζεται στην παραδοχή ότι το αποσταγμένο νερό στους 20°C έχει ειδικό βάρος 1.000 g/cm<sup>3</sup> και ότι ένα έδαφος σε διασπορά έχει ειδικό βάρος 2.65 g/cm<sup>3</sup>. Για μεγάλη συγκέντρωση υλικού στο αιώρημα το στέλεχος συναντά την επιφάνεια του υγρού και δίνει μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας. Αντίθετα για μικρές συγκεντρώσεις το στέλεχος βυθίζεται στο αιώρημα και δίνει μικρές τιμές πυκνότητας.

Τρόπος εργασίας (AASHTO T-88/78, ASTM D-422/72). Το δείγμα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No. 10 (2mm), περίπου 50 g ενώ για αμμώδη εδάφη 100 g. Υπολογίζουμε τη φυσική του υγρασία και στη συνέχεια τοποθετείται σε ποτήρι 250 ml όπου καλύπτεται με έτοιμο διάλυμα διασποράς (πολυφωσφορικό νάτριο) (Εικόνα 4.7). Αναδεύεται καλά και αφήνεται τουλάχιστον 12 ώρες για να αποσυσσωματωθούν οι κόκκοι. Το περιεχόμενο του ποτηριού μεταφέρεται με επίπλυση σε κύπελλο διασποράς, προστίθεται αποσταγμένο νερό και γίνεται ανάδευση για ένα λεπτό ώστε να επιτευχθεί η διασπορά. (Εικόνα 4.8). Έπειτα τοποθετούμε το αιώρημα σε ογκομετρικό κύλινδρο, συμπληρώνουμε με

νερό ως τα 1000 ml και αναταράζουμε για ένα λεπτό με τα χέρια.(Εικόνα 4.9). Αμέσως μετά βάζουμε σε λειτουργία το χρονόμετρο και διαβάζουμε τις ενδείξεις του αραιομέτρου με προσέγγιση 0.5 g/L στους χρόνους 1,2,5,30,60,250 και 1440 λεπτών από την έναρξη της καθιζήσεως. Για κάθε μέτρηση καταγράφουμε ταυτόχρονα τη θερμοκρασία του αιωρήματος με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου. Μετά από κάθε μέτρηση το αραιόμετρο αφαιρείται και τοποθετείται σε άλλο ογκομετρικό κύλινδρο που περιέχει μόνο αποσταγμένο νερό και 30 δευτερόλεπτα πριν κάθε μέτρηση βυθίζουμε αργά το αραιόμετρο στο αιώρημα ώστε να έχει σταθεροποιηθεί στο χρόνο της μέτρησης. Στο τέλος των μετρήσεων το αιώρημα πλένεται πάνω σε κόσκινο No. 200, ξηραίνεται και πραγματοποιείται ανάλυση σε κόσκινα No. 40, No. 100 και No. 200 (Κουλούρης, 2005).



Εικόνα 4.7: Παρασκευή διαλύματος πολυφωσφορικού νατρίου.





Εικόνα 4.8: Δείγματα που προορίζονται για δοκιμή αραιομέτρου



Εικόνα 4.9: Δείγματα σε ογκομετρικό κύλινδρο όπου βυθίζεται το αραιόμετρο.

Οι ενδείξεις του αραιομέτρου διορθώνονται με πίνακες που εφαρμόζονται για διάφορους παράγοντες διασποράς, για αποκλίσεις της θερμοκρασίας και για το ύψος του μνηίσκου πάνω στο στέλεχος του στελέχους. Το ποσοστό του εδάφους που παραμένει σαν αιώρημα υπολογίζεται από τον τύπο:  $P = \frac{R \times a}{W_s} \times 100\%$ , όπου

P= ποσοστό % του αρχικού δείγματος εδάφους που αναμείχθηκε και παραμένει σαν αιώρημα, R= η διορθωμένη ένδειξη του αραιομέτρου,  $W_s$ = το βάρος του αρχικού δείγματος του εδάφους μείων την υγρασία του και  $a$ = σταθερά που εξαρτάται από την πυκνότητα του αιωρήματος και δίνεται από τον πίνακα (για  $\gamma_s=2.65 \Rightarrow a=1.00$ ).

Για τη μετατροπή του % ποσοστού του εδάφους που αιωρείται σε ποσοστό % του ολικού προς εξέταση δείγματος, συμπεριλαμβάνοντας και το υλικό που συγκρατήθηκε στο κόσκινο Νο. 10 χρησιμοποιούμε:

$(100 - \text{ποσοστό \% συγκρατούμενου στο Νο. 10})/100$  και το πολλαπλασιάζουμε με το ποσοστό % του αρχικού <<εν αιωρήσει>> δείγματος.

Η μέγιστη διάμετρος των κόκκων σε ένα αιώρημα για κάποιο % ποσοστό παρεχόμενο από τις ενδείξεις του αραιομέτρου, υπολογίζεται με το νόμο του Stokes:

$$d_0 = \sqrt{\frac{30 \times n \times L}{980 \times (G - G_1) \times T}}, \text{ όπου:}$$

$d_0$  είναι η μέγιστη διάμετρος (mm)

n ο συντελεστής ιξώδους του μέσου διασποράς (νερό) που μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του αιωρήματος (0.01005 Poises στους 20°C)

L η απόσταση που διατρέχουν οι κόκκοι του εδάφους σε μια ορισμένη χρονική περίοδο κατά την καθίζηση (θεωρείται σταθερή = 17.5 cm)

T ο χρόνος σε λεπτά περιόδου καθιζήσεως

G το ειδικό βάρος των κόκκων του εδάφους ( $\gamma_s=2.65$ )

G1 το ειδικό βάρος του μέσου διασποράς ( $\gamma_w=1$ )

Οι μέγιστες διάμετροι των κόκκων στο αιώρημα κάτω από δεδομένες συνθήκες, από αντιστοιχούν σε καθορισμένες περιόδους καθιζήσεων δίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Μέγιστη διάμετρος κόκκων σε αιώρημα κάτω από τις δεδομένες συνθήκες.

Χρόνος (min)	Μέγιστη διάμετρος κόκκων (mm)
1	0.058
2	0.040
5	0.026
15	0.015
30	0.010
60	0.0074
250	0.0036
1440	0.0015

Οι διάμετροι των κόκκων διορθώνονται για συνθήκες διάφορες των παραδοχών σύμφωνα με τον τύπο:  $d = d_0 \times K_L \times K_G \times K_n$ , όπου:

$d$  είναι διορθωμένη διάμετρος κόκκων σε mm

$d_0$  είναι η μέγιστη διάμετρος κόκκων που υπολογίζεται με το νόμο του Stokes

$K_L$  ο συντελεστής διορθώσεως σε συνάρτηση με την ανάγνωση του υδρομέτρου χωρίς τη σύνθετη διόρθωση

$K_G$  ο συντελεστής διορθώσεως σε συνάρτηση με το ειδικό βάρος του εδάφους

$K_n$  ο συντελεστής διόρθωσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

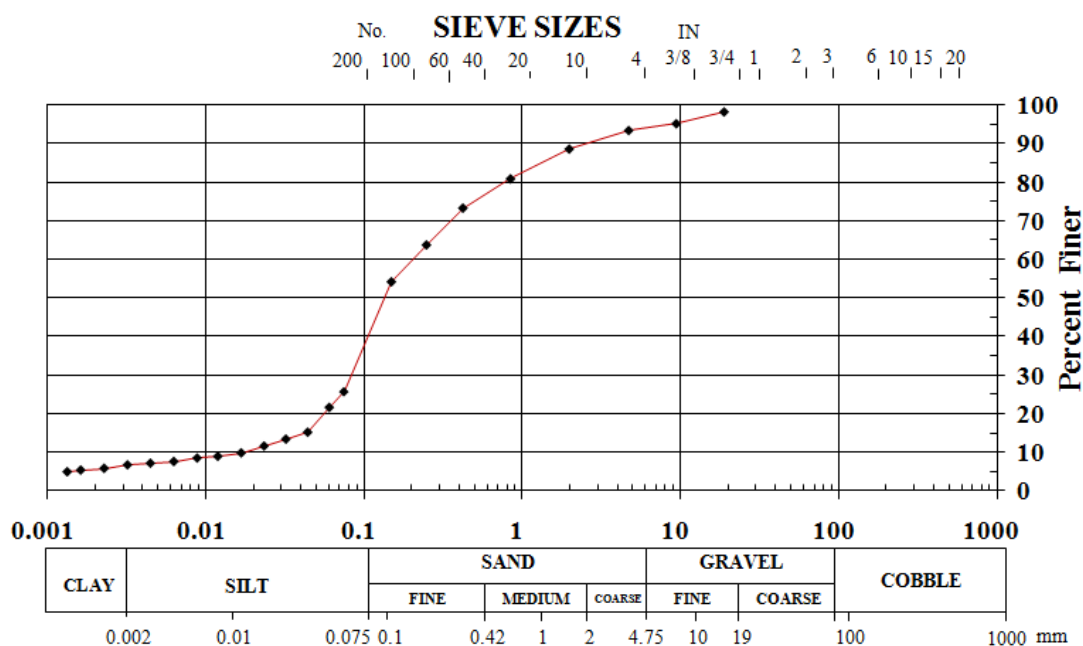
Οι συντελεστές  $K_G$  και  $K_n$  είναι ανεξάρτητοι από το σχήμα και τη θέση του υδρομέτρου ενώ ο  $K_L$  εξαρτάται από αυτό. Λαμβάνονται από πίνακες.

Κατά την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού που πλύθηκε στο κόσκινο Νο. 200, τα % ποσοστά του δείγματος για κάθε κόσκινο υπολογίζονται διαιρώντας το βάρος αυτών με το βάρος του εδάφους που υποβλήθηκε σε διασπορά και μετά ξηράνθηκε σε κλίβανο και πολλαπλασιάζοντας με 100. Τα ποσοστά % επί του συνολικού δείγματος

, συμπεριλαμβάνοντας και το συγκρατούμενο στο κόσκινο No. 10 υπολογίζονται με πολλαπλασιασμό των πιο πάνω τιμών με:

$$(100 - \text{ποσοστό \% συγκρατούμενου στο No. 10})/100$$

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με τη μορφή κοκκομετρικής καμπύλης (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.8: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ποσοστού διερχομένων – διαμέτρου κόκκων από δοκιμή ανάλυσης με πυκνόμετρο. (Rabbani, 2012)

#### 4.3.7 Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης

Καθίζηση είναι η υποχώρηση του επιπέδου έδρασης μιας κατασκευής λόγω παραμόρφωσης του υποκείμενου εδάφους. Εφόσον δεν παρουσιάζεται πλευρική διόγκωση του εδάφους, η καθίζηση οφείλεται μόνο στην αναδιάταξη των κόκκων με απομάκρυνση του νερού των πόρων. Η εκροή του νερού των πόρων απαιτεί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθεί, άρα για κάθε χρονική στιγμή μετά τη φόρτιση του εδάφους θα συντελείται ένα μέρος της ολικής καθίζησης (Χρηστάρας, 2006).

Η διαδικασία της καθίζησης χωρίζεται σε τρία στάδια:

A) Την αρχική καθίζηση, η οποία είναι αποτέλεσμα των διατμητικών τάσεων και πραγματοποιείται αμέσως μετά την εφαρμογή του φορτίου κυρίως λόγω απομάκρυνσης του αέρα. Το μέγεθος της είναι συνήθως μικρό.

B) Τη καθίζηση λόγω στερεοποίησης, που πραγματοποιείται σταδιακά με το χρόνο και ανάλογα με τη βαθμιαία απομάκρυνση του νερού από τους πόρους του εδάφους. Η παρακολούθηση του φαινομένου γίνεται με τη μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων και τελειώνει όταν η πίεση του νερού των πόρων εξισωθεί με τις υπάρχουσες οριακές υδραυλικές συνθήκες. Το μέγεθος της καθίζησης είναι μεγάλο, ιδιαίτερα για συνεκτικά εδάφη, μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και χρειάζεται μακρύ χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθεί.

Γ) Τη δευτερογενή καθίζηση η οποία δεν έχει σχέση με την πίεση των πόρων. Παρατηρείται συναρτήσει με το χρόνο, ενώ τα αίτια και ο μηχανισμός της ποικίλουν στα διάφορα εδάφη.

Με τη δοκιμή της μονοδιάστατης στερεοποίησης υπολογίζεται η συμπιεστότητα και ο βαθμός στερεοποίησης σε αξονική φόρτιση. Η μεταβολή στον όγκο του δοκιμίου είναι ανάλογη με τη μεταβολή στον δείκτη πόρων. Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις των εδαφών προσδιορίζονται με τη συσκευή του οιδημέτρου.



Εικόνα 4.10: Οιδήμετρα σε φόρτιση 1 kg.

Το οιδήμετρο αποτελείται από:

- A) Τη συσκευή φόρτισης για την εφαρμογή κατακόρυφων παραμορφώσεων στο δοκίμιο.
- B) Τη συσκευή στερεοποίησης όπου τοποθετείται δοκίμιο ύψους 2 cm, διαμέτρου 50.8 mm και συγκρατείται σε δακτύλιο που συνδέεται με τη βάση της συσκευής. Η συσκευή στερεοποίησης επιτρέπει το συνεχή κορεσμό του δοκιμίου μέσω επιβολής κατακόρυφου φορτίου.
- Γ) Τους πορόλιθους οι οποίοι είναι υλικά που δεν διαβρώνονται από την υγρασία και τοποθετούνται άνω και κάτω του δοκιμίου.
- Δ) Το μκηνσιόμετρο που μετρά τη μεταβολή του ύψους κατά τη στερεοποίηση με ακρίβεια 0.0025 mm.

Τρόπος εργασίας (ASTM D-2435/80): Αρχικά παρασκευάζουμε το δοκίμιο, τοποθετώντας το έδαφος σε μεταλλικό δακτύλιο με κοφτερές ακμές και ζυγίζουμε



(Εικόνα 4.11). Στη συνέχεια υγραίνουμε τους πορόλιθους ώστε να μην απορροφήσουν νερό από το έδαφος και αφού συναρμολογηθούν με το δακτύλιο, καλύπτουμε με αεροστεγή μεμβράνη, αποτρέποντας την εξάτμιση του νερού. Στη συσκευή το δοκίμιο φορτίζεται αξονικά με διπλασιαζόμενα φορτία (0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8 και 16 kg) αφήνοντας κάθε ένα από αυτά 24 ώρες. Οι μετρήσεις καταγράφονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για κάθε διαφορετική αλλάζουμε βαθμίδα φόρτισης. Μετά τη φόρτιση των 16 kg αφαιρούμε βάρος και μετράμε την αποσυμπίεση του δείγματος. Τέλος εξάγουμε το δοκίμιο από τη συσκευή και ζυγίζουμε, ξηραίνουμε και ζυγίζουμε ξανά για τον υπολογισμό του ξηρού βάρους των κόκκων και της φυσικής υγρασίας.



Εικόνα 4.11 Δοκίμιο για τοποθέτηση στη συσκευή οιδιμέτρου.

### Υπολογισμοί

A) Για το αντίστοιχο βάρος κάθε βαθμίδας φόρτισης η πίεση υπολογίζεται από τον τύπο:  $P = \frac{W \times 10}{A}$ , όπου:

W είναι το βάρος και A η επιφάνεια δοκιμίου (20 cm<sup>2</sup>)

B) Ο δείκτης πόρων e για 100% στερεοποίηση σε κάθε βαθμίδα φόρτισης ή αποφόρτισης είναι:  $= \frac{V_V}{V_S} = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$ , όπου:

H<sub>0</sub> είναι το αρχικό ύψος του δοκιμίου,

H<sub>s</sub> είναι το ισοδύναμο των στερεών κόκκων  $H_s = V_s / A$

V<sub>s</sub> είναι ο όγκος των στερεών κόκκων που είναι ίσος με το λόγο του ξηρού βάρους (W<sub>s</sub>) προς το ειδικό βάρος των κόκκων (γ<sub>s</sub>) και

Α η επιφάνεια του δοκιμίου

Από το ποσοστό της υγρασίας που απορρόφησε κατά την αποφόρτιση, βρίσκουμε το αρχικό πορώδες από τον τύπο:  $e_0 = m \times \gamma_s$

και από τη σχέση:  $\Delta e_i = \frac{1+e_0}{H_0} \times \Delta H_i$  τη μεταβολή του δείκτη πόρων ( $\Delta e_i = e_0 - e_i$ ) για κάθε βαθμίδα φόρτισης.

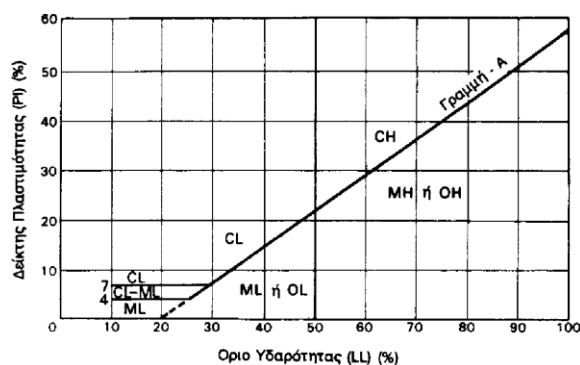
Γ) Από το λογαριθμικό διάγραμμα δείκτη πόρων (e) – πίεσης (p) υπολογίζουμε το δείκτη συμπίεσης  $C_c$  από την κλίση της καμπύλης στο τμήμα που είναι σχεδόν ευθύγραμμη.

$$\text{Σχέση: } C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta(\log p)}$$

Δ) Από το διάγραμμα δείκτη πόρων – πίεσης υπολογίζουμε το συντελεστή συμπίεστικότητας  $a_v$  μέσω της κλίσης της καμπύλης:  $a_v = \Delta e / \Delta p$  (cm<sup>2</sup>/kg) και το συντελεστή μεταβολής όγκου  $m_v$  από:  $m_v = \frac{a_v}{1+e_0}$  (cm<sup>2</sup>/kg). Ο συντελεστής αυτός είναι αντίστροφος του μέτρου συμπίεστικότητας ( $E = \Delta p / (\Delta H / H_0)$ ). Ο  $a_v$  υπολογίζεται και από τη σχέση:  $a_v = 0.435 \times C_c / p$  (Χρηστάρας, 2006).

#### 4.4 Αποτελέσματα Εργαστηριακών Δοκιμών

Τα δεδομένα των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, παρατίθενται συγκεντρωτικά στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζοντας τα φυσικά χαρακτηριστικά και την κατάταξη του κάθε δείγματος. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τις δοκιμές εδαφομηχανικής στο σχήμα 4.9 και στους πίνακες 4.3 - 4.6 γίνεται η κατάταξη των εδαφών κατά τους κανονισμούς ASTM.



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα Casagrande (<http://users.ntua/mgsakel>)

Πίνακας 4.3 : Ταξινόμηση εδαφών με βάση το ενιαίο σύστημα εδαφικής ταξινόμησης. (<http://www.geo.auth.gr>)

Περιγραφή		Σύμβολο	Τυπική Ονομασία
Χονδρόκοκκα Εδάφη	Χαλίκια Άνω του 50% του κλάσματος έξα μέτρου >4,699 mm	Καθαρά χαλίκια	GW Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια
		Χαλίκια με λεπτόκοκκες προσμίξεις	GP Χαλίκια χωρίς διαβάθμιση ή κακά διαβαθμισμένα
			GM Γλυκομηγή χαλίκια
		GC Αργυλομηγή χαλίκια	
	Άμμοι Άνω του 50% του κλάσματος έξα μέτρου <4,699 mm	Καθαρές άμμοι	SW Καλά διαβαθμισμένες άμμοι
		Άμμοι με λεπτόκοκκες προσμίξεις	SP Κακά διαβαθμισμένες άμμοι
			SM Πυρομηγείς άμμοι
		SC Αργιλομηγείς άμμοι	
Λεπτόκοκκα Εδάφη	LL < 50	ML Ανόργανες ιλύες και πολύ λεπτόκοκκες άμμοι, ελαφρά πλαστικότητα	
		CL Ανόργανες άργιλοι χαμηλής ως μέτριας πλαστικότητας	
		OL Οργανικές ιλύες και ιλυοχυαί άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας	
	LL > 50	MH Ανόργανες ιλύες, ελαστικές ιλύες	
		CH Ανόργανες ιλύες υψηλής πλαστικότητας	
		OH Οργανικές άργιλοι μέτριας ως υψηλής πλαστικότητας	
		PT Τύρφη και άλλα οργανικά εδάφη	

Πίνακας 4.4 : Ανόργανα Συνεκτικά εδάφη. Συγκρατούμενο από κόσκινο No 200 (D = 0.074mm) <50%, LL <50% (Σακελλαρίου Μ., <http://users.ntua/mgsakel>)

ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ		ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΚΟΚΚΙΜΕΤΡΙΑ			ΟΝΟΜΑΣΙΑ
			ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ No 200		ΑΜΜΟΣ - ΧΑΛΙΚΙΑ	
LL<50	PI > 7 Και σημεία επάνω στη η επάνω από τη γραμμή «A»	CL	< 30%	< 15% συγκρ. No 200	% άμμου > % χαλικιών	Ισχνή άργιλος
				15-29% συγκρατ. No 200	% άμμου < % χαλικιών	Ισχνή άργιλος με άμμο
			≥ 30%	% άμμου > % χαλικιών	< 15% χαλίκια	Αμμώδης ισχνή άργιλος
				% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% χαλίκια	Αμμώδης ισχνή άργιλος με χαλίκια
				% άμμου > % χαλικιών	< 15% άμμος	Χαλικώδης ισχνή άργιλος
				% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% άμμος	Χαλικώδης ισχνή άργιλος με άμμο
	4 < PI < 7 Και σημεία επάνω στη η επάνω από τη γραμμή «A»	CL - ML	< 30%	< 15% συγκρ. No 200	% άμμου > % χαλίκια	Ιλιώδης άργιλος
				15-29% συγκρατ. No 200	% άμμου < % χαλίκια	Ιλιώδης άργιλος με άμμο
			≥ 30%	% άμμου > % χαλικιών	< 15% χαλίκια	Αμμώδης-ιλιώδης άργιλος
			% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% χαλίκια	Αμμώδης - ιλιώδης άργιλος με χαλίκια	
			% άμμου > % χαλικιών	< 15% άμμος	Χαλικώδης - ιλιώδης άργιλος	
			% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% άμμος	Χαλικώδης - ιλιώδης άργιλος με άμμο	
PI < 4 Ή σημεία κάτω από τη γραμμή «A»	ML	< 30%	< 15% συγκρ. No 200	% άμμου > % χαλίκια	Ιλύς	
			15-29% συγκρατ. No 200	% άμμου < % χαλίκια	Ιλύς με άμμο	
		≥ 30%	% άμμου > % χαλικιών	< 15% χαλίκια	Αμμώδης ιλύς	
			% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% χαλίκια	Αμμώδης ιλύς με χαλίκια	
			% άμμου > % χαλικιών	< 15% άμμος	Χαλικώδης ιλύς	
			% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% άμμος	Χαλικώδης ιλύς με άμμο	

Πίνακας 4.5 : Ανόργανα εδάφη. Συγκρατούμενο από κόσκινο No 200 (D = 0.074mm) <50%, LL ≥ 50% (<http://users.ntua/mgsakel>)

ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ		ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΚΟΚΚΙΜΕΤΡΙΑ			ΟΝΟΜΑΣΙΑ
			ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ No 200		ΑΜΜΟΣ - ΧΑΛΙΚΙΑ	
LL≥50	Σημεία επάνω στη η επάνω από τη γραμμή «A»	CH	< 30%	< 15% συγκρ. No 200	% άμμου > %χαλικιών	Παχιά άργιλος
				15 - 29% συγκρατ. No 200	% άμμου < % χαλικιών	Παχιά άργιλος με άμμο
			≥ 30%	% άμμου > % χαλικιών	< 15% χαλίκια	Αμμώδης παχιά άργιλος
				% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% χαλίκια	Αμμώδης παχιά άργιλος με χαλίκια
				% άμμου > % χαλικιών	< 15% άμμος	Χαλικώδης παχιά άργιλος
				% άμμου < % χαλικιών	≥ 15% άμμος	Χαλικώδης παχιά άργιλος με άμμο
	Σημεία κάτω από τη γραμμή «A»	MH	< 30%	< 15% συγκρ. No 200	% άμμου > % χαλικιών	Ελαστική ιλύς
				15 - 29% συγκρατ. No 200	% άμμου < % χαλικιών	Ελαστική ιλύς με άμμο
			≥ 30%	% άμμου > % χαλικιών	< 15% χαλίκια	Αμμώδης ελαστική ιλύς
% άμμου < % χαλικιών				≥ 15% χαλίκια	Αμμώδης ελαστική ιλύς με χαλίκια	
% άμμου > % χαλικιών				< 15% άμμος	Χαλικώδης ελαστική ιλύς	
% άμμου < % χαλικιών				≥ 15% άμμος	Χαλικώδης ελαστική ιλύς με άμμο	

Πίνακας 4.6: Μη συνεκτικά εδάφη, κοκκώδη, συγκρατούμενο από κόσκινο No 200 (D = 0.074mm)  $\geq 50\%$  (<http://users.ntua/mgsakel>)

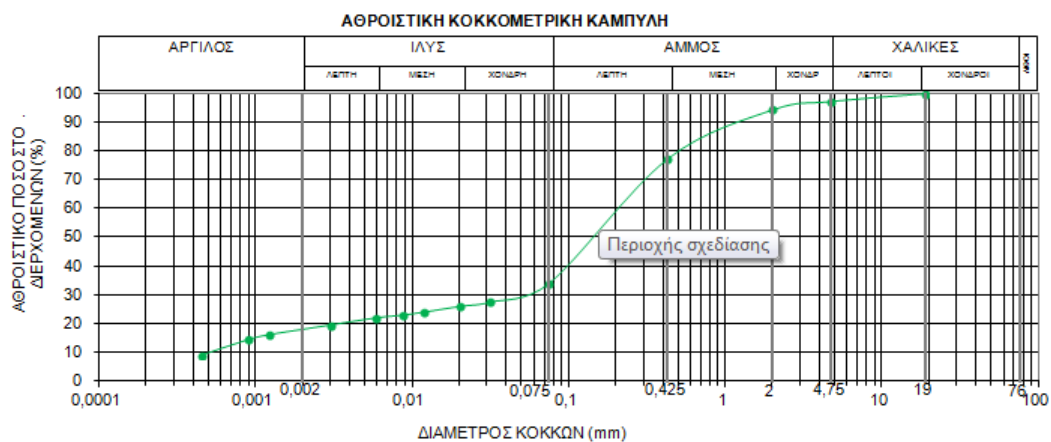
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΑΜΜΟΣ	ΩΝΟΜΑΣΙΑ
ΧΑΛΙΚΙΑ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ				
% αμμου< %χαλίκων	Λεπτά χαλίκια (d=4,75mm) ≤5%	C <sub>u</sub> >4 και 1≤C <sub>c</sub> ≤3		GW	<15%	Χαλίκια καλά διαβαθμισμένα
				GP	≥15%	Χαλίκια καλά διαβαθμισμένοι με άμμο
		C <sub>u</sub> <4 και / ή C <sub>c</sub> <1 ή C <sub>c</sub> >3		GP	<15%	Χαλίκια κακής διαβαθμίσης
				GW – GM	≥15%	Χαλίκια κακής διαβαθμίσης με άμμο
	Λεπτά χαλίκια (d=4,75mm) 5<12%	C <sub>u</sub> >4 και 1≤C <sub>c</sub> ≤3 (1 <sup>ο</sup> )	ML η MH	GW – GM	<15%	Χαλίκια καλά διαβαθμισμένοι με ιλύ
				GW – GC	≥15%	Χαλίκια καλά διαβαθμισμένοι με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο)
			CL, CH η (CL – ML)	GW – GM	<15%	Χαλίκια καλά διαβαθμισμένοι με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο) και άμμο
				GW – GC	≥15%	Χαλίκια καλά διαβαθμισμένοι με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο) και άμμο
		C <sub>u</sub> <4 και / ή C <sub>c</sub> <1 ή C <sub>c</sub> >3 (1 <sup>ο</sup> )	ML η MH	GP – GM	<15%	Χαλίκια κακής διαβαθμίσης με ιλύ
				GP – GM	≥15%	Χαλίκια κακής διαβαθμίσης με ιλύ και άμμο
			CL, CH η (CL – ML)	GP – GM	<15%	Χαλίκια κακής διαβαθμίσης με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο)
				GP – GC	≥15%	Χαλίκια κακής διαβαθμίσης με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο) και άμμο
Λεπτά χαλίκια (d=4,75mm) >12%		ML η MH	GM	<15%	Ιλυώδη χαλίκια	
			GM	≥15%	Ιλυώδη χαλίκια με άμμο	
		CL η CH	GC	<15%	Αργιλώδη χαλίκια	
	CL η CH	GC	≥15%	Αργιλώδη χαλίκια με άμμο		
		CL – ML	GC – GM	<15%	Ιλυοαργιλώδη χαλίκια	
			GC – GM	≥15%	Ιλυοαργιλώδη χαλίκια με άμμο	

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΧΑΛΙΚΕΣ	ΩΝΟΜΑΣΙΑ
ΑΜΜΟΣ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ				
% αμμου> %χαλίκων	Λεπτή άμμος (d=0,425mm) ≤5%	C <sub>u</sub> >6 και 1≤C <sub>c</sub> ≤3		SW	<15%	Άμμος καλά διαβαθμισμένη
				SP	≥15%	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με χαλίκια
		C <sub>u</sub> <6 και / ή C <sub>c</sub> <1 ή C <sub>c</sub> >3		SP	<15%	Άμμος κακής διαβαθμίσης
				SW – SM	≥15%	Άμμος κακής διαβαθμίσης με χαλίκια
	Λεπτή άμμος (d=0,425mm) 5<12%	C <sub>u</sub> >6 και 1≤C <sub>c</sub> ≤3 (1 <sup>ο</sup> )	ML η MH	SW – SM	<15%	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με ιλύ
				SW – SC	≥15%	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με ιλύ και χαλίκια
			CL, CH η (CL – ML)	SW – SM	<15%	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο)
				SW – SC	≥15%	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο) και χαλίκια
		C <sub>u</sub> <6 και / ή C <sub>c</sub> <1 ή C <sub>c</sub> >3 (1 <sup>ο</sup> )	ML η MH	SP – SM	<15%	Άμμος κακής διαβαθμίσης με ιλύ
				SP – SM	≥15%	Άμμος κακής διαβαθμίσης με ιλύ και χαλίκια
			CL, CH η (CL – ML)	SP – SM	<15%	Άμμος κακής διαβαθμίσης με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο)
				SP – SC	≥15%	Άμμος κακής διαβαθμίσης με άργιλο (ή ιλυώδη άργιλο) και χαλίκια
Λεπτή άμμος (d=0,425mm) >12%		ML η MH	SM	<15%	Ιλυώδης άμμος	
			SM	≥15%	Ιλυώδης άμμος με χαλίκια	
		CL η CH	SC	<15%	Αργιλώδης άμμος	
	CL η CH	SC	≥15%	Αργιλώδης άμμος με χαλίκια		
		CL – ML	SC – SM	<15%	Ιλυοαργιλώδης άμμος	
			SC – SM	≥15%	Ιλυοαργιλώδης άμμος με χαλίκια	

#### 4.4.1 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα και αραιόμετρα.

Η αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη προκύπτει από το συνδυασμό των αναλύσεων με κόσκινα και αραιόμετρο. Η περιοχή της καμπύλης από 0,075 mm ως και 25 mm αντλείται από το διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα. Η περιοχή από 0 ως 0,074 mm καλύπτεται από το διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης με αραιόμετρο. Στα σχήματα 4.10 – 4.12 παρουσιάζονται οι αθροιστικές καμπύλες κοκκομετρικής

ανάλυσης για τα τρία δείγματα και στους πίνακες 4.7 - 4.9 το σύνολο των αποτελεσμάτων των δοκιμών εδαφομηχανικής.



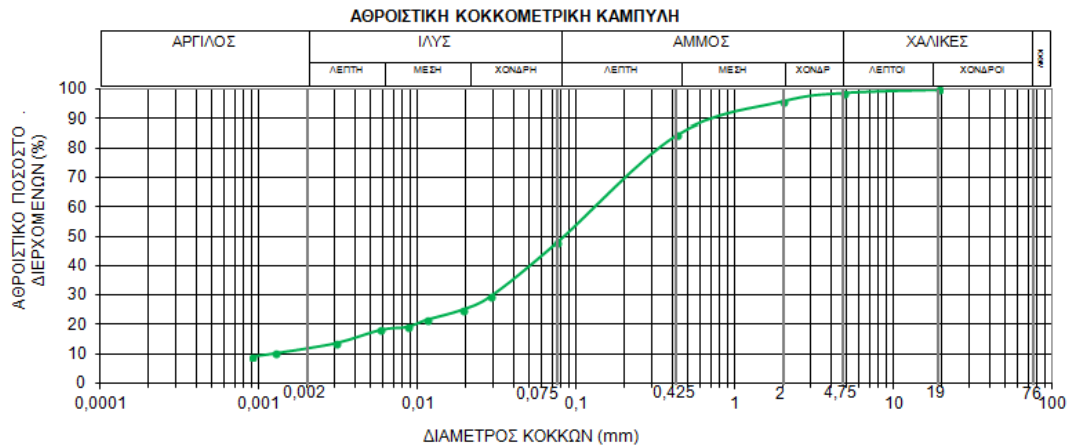
Σχήμα 4.10 : Αθροιστική Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων δείγματος 1.

Πίνακας 4.7: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των εγραστηριακών δοκιμών του δείγματος 1.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)				ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ Cu	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ Cc
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ (%)			
3	63	34		417	17,97
		ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)		
		16	18		

ΟΡΙΑ ATTERBERG (%)			ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ W (%)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜ. ΒΑΡΟΣ γ (kN/m <sup>3</sup> )	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ Gs	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.
LL	PL	PI				
21,79	16,36	5,43	9,43	18,54	2,67	SM-SC





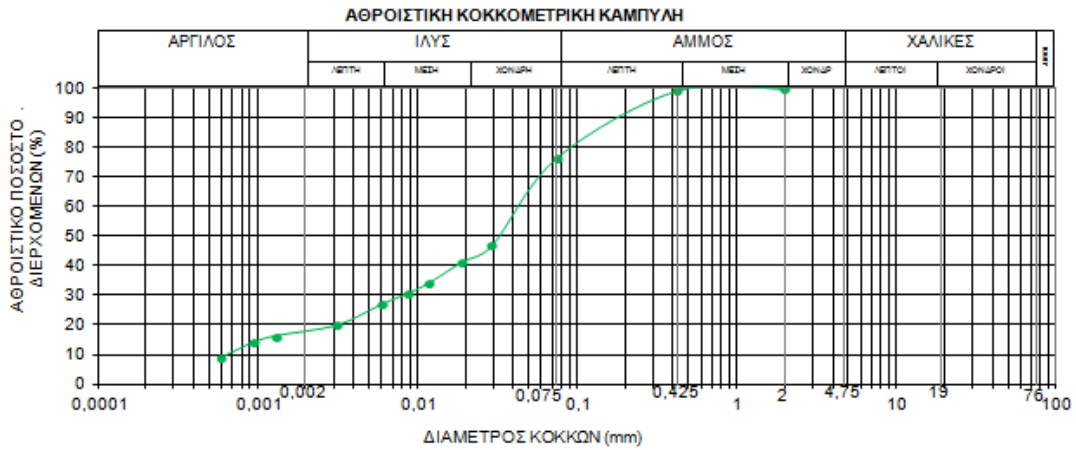
Σχήμα 4.11 : Αθροιστική Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων δείγματος 2.

Πίνακας 4.8: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών του δείγματος 2.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)				ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ Cu	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ Cc
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ (%)			
1	51	48		117	5,67
		ΙΛΥΣ (%)	ΑΡΓΙΛΟΣ (%)		
		36	12		

ΟΡΙΑ ATTERBERG (%)			ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ W (%)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜ. ΒΑΡΟΣ γ (kN/m <sup>3</sup> )	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ Gs	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.
LL	PL	PI				
21,16	18,59	2,56	16,10	19,12	2,71	SM



Σχήμα 4.12: Αθροιστική Κοκκομετρική Καμπύλη διερχομένων δείγματος 3.

Πίνακας 4.9: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών του δείγματος 3.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ (%)			ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ Cu	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ Cc	
ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ (%)			
0	23	77	68	2,29	
		ΙΛΥΣ (%)			ΑΡΓΙΛΟΣ (%)
		59			18

ΟΡΙΑ ATTERBERG (%)			ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ W (%)	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜ. ΒΑΡΟΣ γ (kN/m <sup>3</sup> )	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ Gs	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.
LL	PL	PI				
23,97	22,75	1,22	23,67	18,34	2,60	ML

#### A) Δείγμα 1

Με βάση το σχήμα 4.10 το δείγμα 1 έχει ποσοστό αργίλου 18%, ιλύος 16%, άμμου 63% και χαλικιών 3%. Από την κοκκομετρική διαβάθμιση προκύπτει ότι το ποσοστό

% άμμου είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό % χαλικιών. Επίσης το ποσοστό % που συγκρατείται στο Νο 200 είναι  $76\% > 50\%$  άρα το δείγμα 1 υπάγεται στον πίνακα 4.6 των μη συνεκτικών εδαφών. Το ποσοστό διερχομένων από το κόσκινο Νο 40 ( $D = 0.425\text{mm}$ ) είναι  $77\% > 12\%$ . Η πλαστικότητα των λεπτόκοκκων είναι  $PI = 5,43\%$  (Πίνακας 4.8) άρα  $4 < PI < 7$  και  $LL = 21,7\% < 50$  οπότε από πίνακα 4.4 αντιστοιχεί σε CL – ML. Από τον πίνακα 4.6 έχοντας ποσοστό χαλικιών  $3\% < 15\%$  το δείγμα λαμβάνει το συμβολισμό SC – SM και την ονομασία ιλυοαργιλώδης άμμος.

#### B) Δείγμα 2

Στο δείγμα 2 το ποσοστό της αργίλου είναι 12%, της ιλύος 36% ενώ της άμμου και των χαλικιών είναι 51% και 1% αντίστοιχα (Σχήμα 4.11). Το ποσοστό των συγκρατούμενων στο κόσκινο Νο 200 είναι  $52\% > 50\%$  και % άμμου  $>$  % χαλικιών άρα και αυτό το δείγμα καλύπτεται από τον πίνακα 4.6. Το διερχόμενο υλικό από το κόσκινο Νο 40 αντιστοιχεί σε ποσοστό  $84\% > 12\%$ . Όσον αφορά την πλαστικότητα των λεπτόκοκκων ο δείκτης πλαστικότητας ισούται με  $2,56\% < 4$  και  $LL = 21.1\% > 50$  (Πίνακας 4.8) το οποίο δηλώνει ότι κρατάμε το συμβολισμό ML από τον πίνακα 4.4. Το ποσοστό των χαλικιών είναι  $1\% < 15\%$  οπότε από πίνακα 4.6, στο δείγμα 2 προσδίδεται ο χαρακτηρισμός SM και ονομάζεται ιλυώδης άμμος.

#### Γ) Δείγμα 3

Στο δείγμα 3 σύμφωνα με το διάγραμμα της αθροιστικής κοκκομετρικής καμπύλης (Σχήμα 4.12) , η αργιλοϊλός καταλαμβάνει το 77% και η άμμος το 23% του συνολικού δείγματος ενώ το ποσοστό σε χαλίκια είναι 0%. Τα συγκρατούμενα στο κόσκινο Νο 200 ανέρχονται σε ποσοστό  $24\% < 50\%$  και το όριο υδαρότητας ισούται με 24% (Πίνακας 4.9) οπότε χρησιμοποιείται ο πίνακας 4.4 για το δείγμα 3. Για δείκτη πλαστικότητας  $1.22\% < 4$  και συγκρατούμενο υλικό στο κόσκινο Νο 200  $24\% < 30\%$  ο συμβολισμός του εδάφους είναι ML. Το ποσοστό % της άμμου είναι μεγαλύτερο από αυτό των χαλικιών άρα το δείγμα χαρακτηρίζεται ιλύς με άμμο.

#### 4.4.2 Συμπεράσματα από τον υπολογισμό των ορίων Atterberg.

Ο δείκτης πλαστικότητας PI εκφράζει την περιοχή περιεχόμενης υγρασίας στην οποία το έδαφος αποκτά πλαστικές ιδιότητες και συμπεριφέρεται σαν πλάσιμο υλικό (Κούκης, 2002). Βάσει του δείκτη πλαστικότητας τα εδάφη κατατάσσονται όπως φαίνεται στον πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10: Κατάταξη των εδαφών σε σχέση με την τιμή του δείκτη πλαστικότητας, σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης (USCS)

Έδαφος μη πλαστικό	$PI < 1$
Έδαφος χαμηλής πλαστικότητας	$1 < PI < 7$
Έδαφος μέσης πλαστικότητας	$7 < PI < 17$
Έδαφος υψηλής πλαστικότητας	$17 < PI < 35$
Έδαφος εξαιρετικά υψηλής πλαστικότητας	$PI > 35$

Δείκτης συνεκτικότητας  $I_c$  ονομάζεται το πηλίκο  $I_c = \frac{LL-W}{PI}$ . Η αντοχή σε διάτμηση ενός εδαφικού υλικού αυξάνεται ανάλογα με το δείκτη συνεκτικότητας  $I_c$ . (Πίνακας 4.11)

Πίνακας 4.11: Κατάταξη των εδαφών σε σχέση με την τιμή του δείκτη συνεκτικότητας (Κούκης, 2002)

Έδαφος σε πολτώδη κατάσταση	$I_c: 0 - 0,25$
Έδαφος μαλακό	$I_c: 0,25 - 0,50$
Έδαφος στιφρό	$I_c: 0,50 - 0,75$
Έδαφος ημίσκληρο	$I_c: 0,75 - 1$
Έδαφος σκληρό	$I_c: >1$

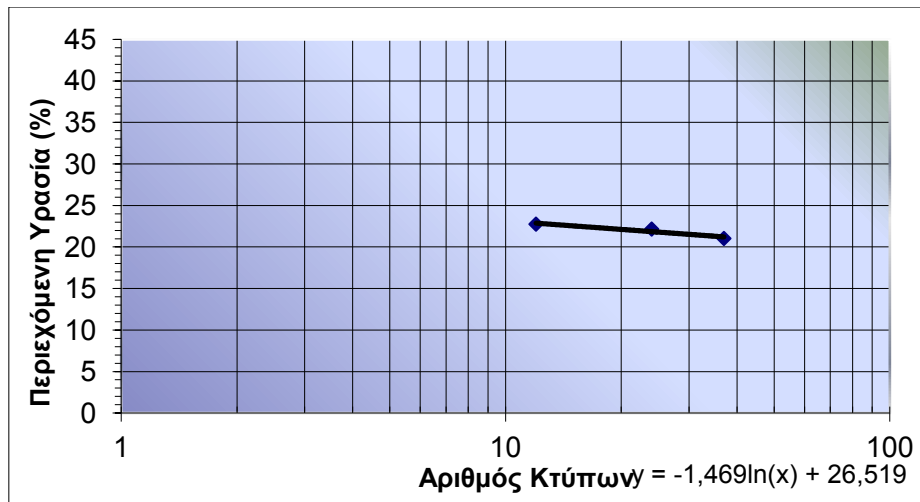
Σύμφωνα με τον Skempton (1953), η ενεργότητα  $A$  ενός αργιλικού εδάφους ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη πλαστικότητας προς το ποσοστό του αργιλικού κλάσματος δηλαδή:  $A = \frac{PI}{\% \text{ Αργιλικό κλάσμα}}$

Πίνακας 4.12 Κατηγορίες εδαφών με βάση την ενεργότητα (Skempton, 1953).

$A \geq 1,25$	Ενεργό έδαφος
$A: 0,75 - 1,25$	Κανονικό έδαφος
$A \leq 0,75$	Ανενεργό έδαφος

#### A) Δείγμα 1

$LL = 21,7\%$  όπως υπολογίστηκε από το σχήμα 4.15,  $PL = 16,3\%$ ,  $PI = 5,43\%$ ,  $I_c = 2,27$  και  $A = 0,30$

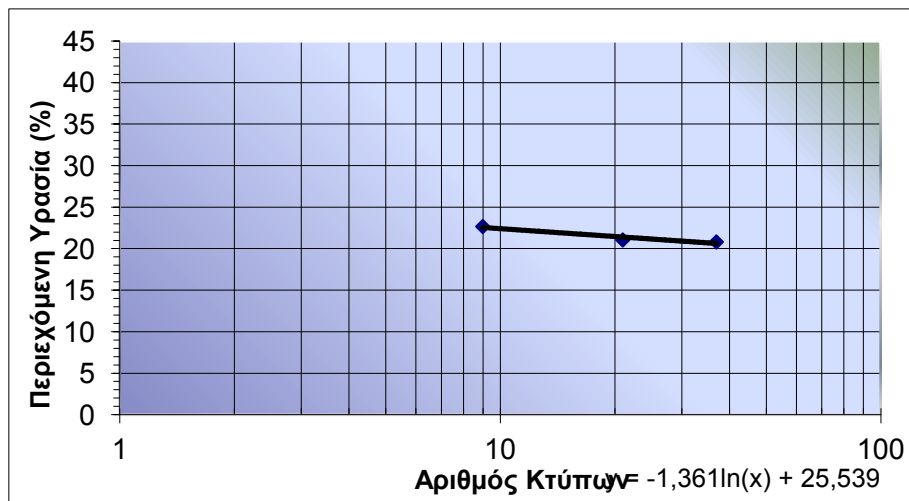


Σχήμα 4.13: Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας του δείγματος 1.

Άρα βάσει των πινάκων 4.10, 4.11 και 4.12 το έδαφος χαρακτηρίζεται χαμηλής πλαστικότητας, σκληρό και ανενεργό.

#### B) Δείγμα 2

LL = 21,16% όπως υπολογίστηκε από το σχήμα 4.14 , PL = 18,59% , PI = 2,56% ,  $I_c = 1,97$  και  $A = 0,21$

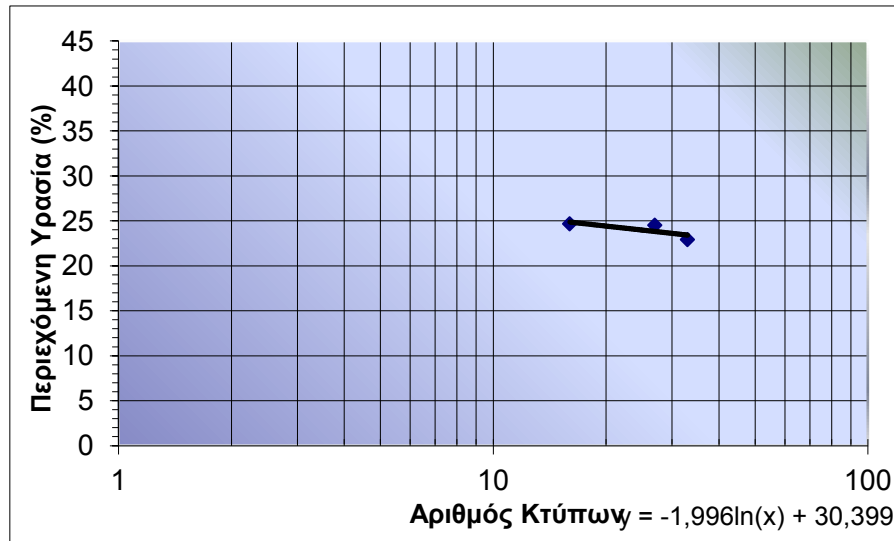


Σχήμα 4.14: Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας του δείγματος 2

Από τους πίνακες με τις κατηγοριοποιήσεις, για PI = 2,56%,  $I_c = 1,97$  και  $A = 0,21$  το έδαφος χαρακτηρίζεται χαμηλής πλαστικότητας, σκληρό και ανενεργό.

Γ) Δείγμα 3

LL = 23,97% όπως υπολογίστηκε από το σχήμα 4.15 , PL = 22,75% , PI = 1,22% ,  $I_c$  = 0,25 και A = 0,06

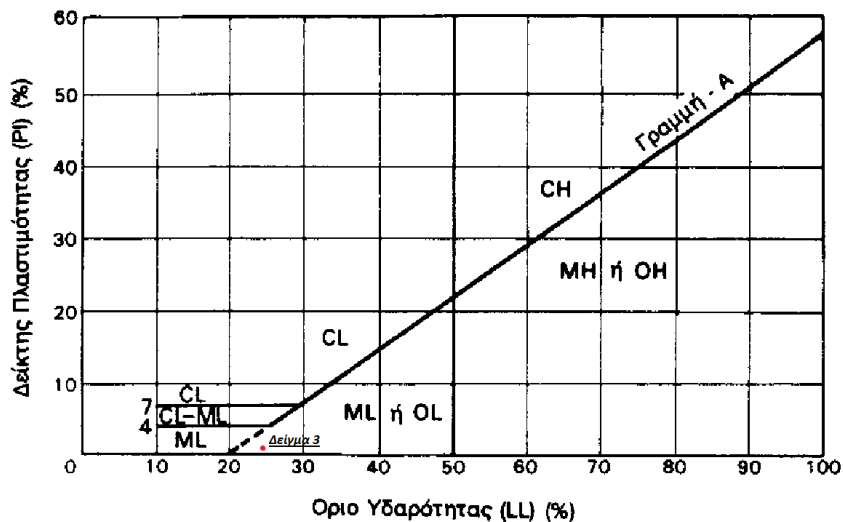


Σχήμα 4.15: Διάγραμμα υπολογισμού ορίου υδαρότητας του δείγματος 3.

Ο δείκτης πλαστικότητας PI είναι 1,22% άρα  $1 < PI < 7$  που δηλώνει έδαφος με χαμηλή πλαστικότητα. Από το δείκτη συνεκτικότητας  $I_c$  συμπεραίνεται ότι το έδαφος είναι μαλακό και από την τιμή της ενεργότητας A ότι είναι ανενεργό.

Τα δείγματα 1 και 2 ανήκουν στα μη συνεκτικά εδάφη ενώ το δείγμα 3 ανήκει στα ανόργανα συνεκτικά. Στο διάγραμμα Casagrande (Σχήμα 4.16) το δείγμα 3 αντιστοιχεί σε σημείο κάτω από τη γραμμή A με  $LL < 50\%$ . Χαρακτηρίζεται λοιπόν ως ιλύς (M) χαμηλής πλαστικότητας (L).



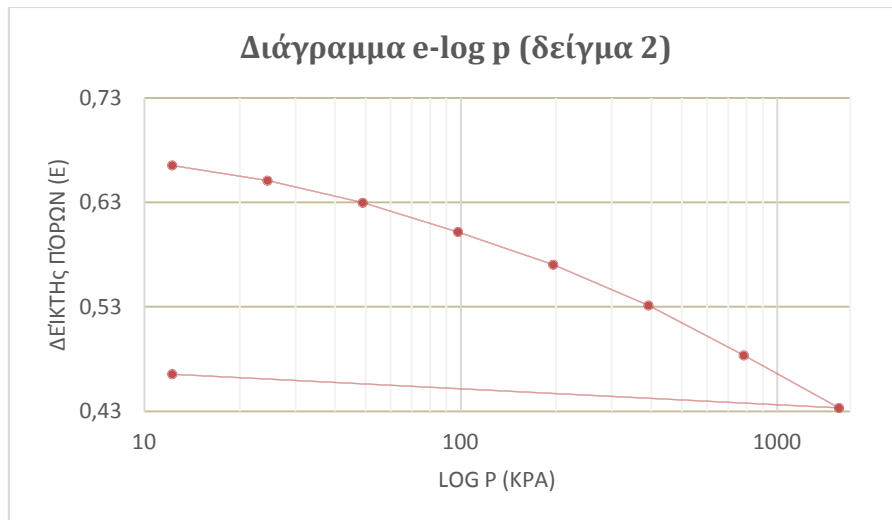


Σχήμα 4.16 Ταξινόμηση δείγματος 3 στο διάγραμμα Casagrande.

#### 4.4.3 Αποτελέσματα δοκιμής συμπίεστικότητας

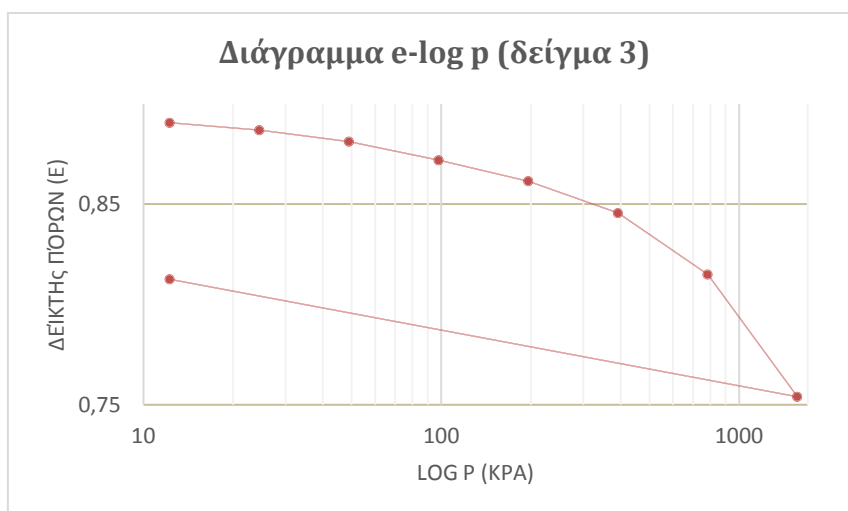
Η δοκιμή συμπίεστικότητας πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα 2 και 3. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του οιδιμέτρου κατασκευάστηκε ημιλογαριθμικό διάγραμμα δείκτη πόρων ( $e$ ) – επιβαλλόμενης πίεσης ( $\sigma'$ ). Σε κάθε σημείο της καμπύλης αντιστοιχεί μία φόρτιση  $\sigma'$  και ένας δείκτης  $e$ , που αντιπροσωπεύει το 100% της στερεοποίησης του δοκιμίου υπό τη φόρτιση αυτή. Από την κλίση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης  $e - \log \sigma'_v$ , της φόρτισης, εκτιμήθηκε ο συντελεστής ή δείκτης συμπίεστικότητας  $C_c$ , ο οποίος είναι αδιάστατος αριθμός (Σχήμα 4.17 , 4.18). Όσο αυξάνεται ο συντελεστής συμπίεστικότητας, τόσο αυξάνεται η συμπίεστικότητα του εδαφικού υλικού.

Τα δείγματα 2 και 3 ελήφθησαν από μεγάλα βάθη. Στη δοκιμή συμπίεστικότητας χρησιμοποιήθηκαν μεγάλα βάρη για τον προσδιορισμό του  $C_c$  για την αποφυγή υπολογισμού φαινομένου  $C_c$ .



Σχήμα 4.17 : Διάγραμμα δείκτη πόρων – κατακόρυφης τάσης για το δείγμα 2.

Ο αρχικός λόγος κενών είναι 0,66. Από την κλίση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης ο δείκτης συμπίεστικότητας υπολογίστηκε ίσος με 0,16.



Σχήμα 4.18 : Διάγραμμα δείκτη πόρων – κατακόρυφης τάσης για το δείγμα 3.

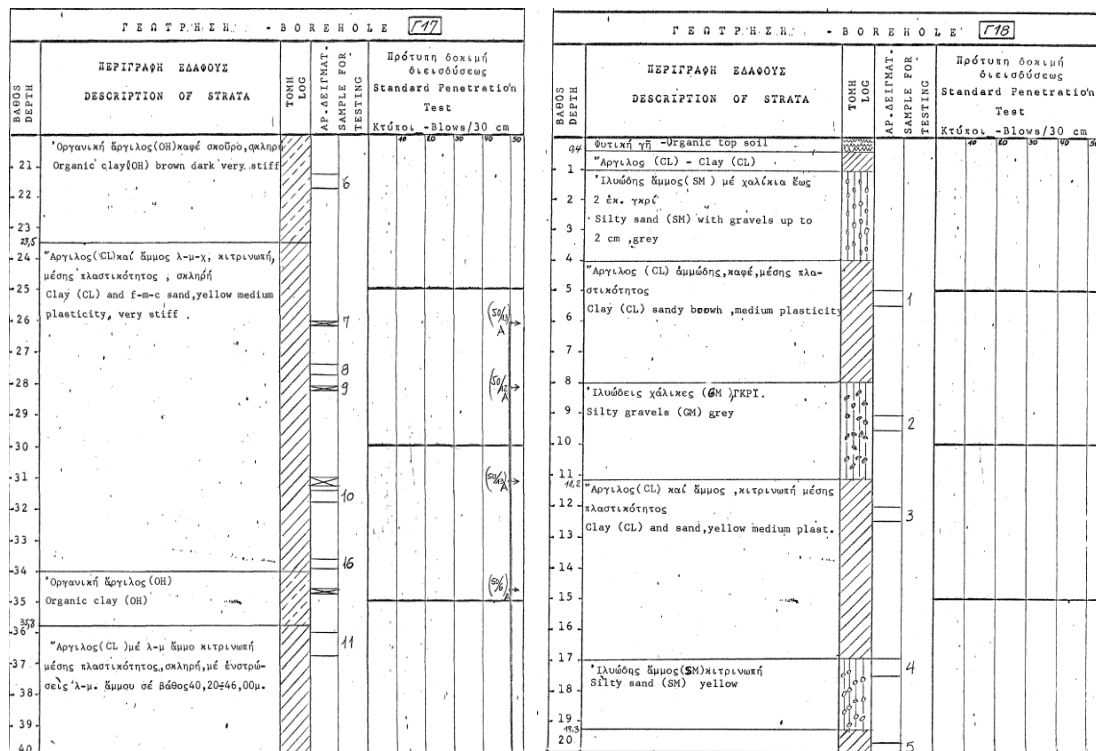
Ο αρχικός λόγος κενών είναι 0,89 και ο δείκτης συμπίεστικότητας 0,20.

#### 4.5 Κατηγοριοποίηση και μηχανικά χαρακτηριστικά εδαφών

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις μελέτες των 33 γεωτρήσεων της Δ.Ε.Η και τα 3 δείγματα που εξήφθησαν από την περιοχή για την εκπόνηση της διατριβής εκπροσωπούν το σχηματισμό του Προαστίου ο οποίος συναντάται στην επιφάνεια

μεγάλου τμήματος της στενής περιοχής μελέτης. Το σύνολο των δειγμάτων είναι 446. Από τα καρότα των γεωτρήσεων (Εικόνα 4.12) που μελετήθηκαν και από τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψε διαχωρισμός του σχηματισμού σε 4 οριζόντες ως εξής:

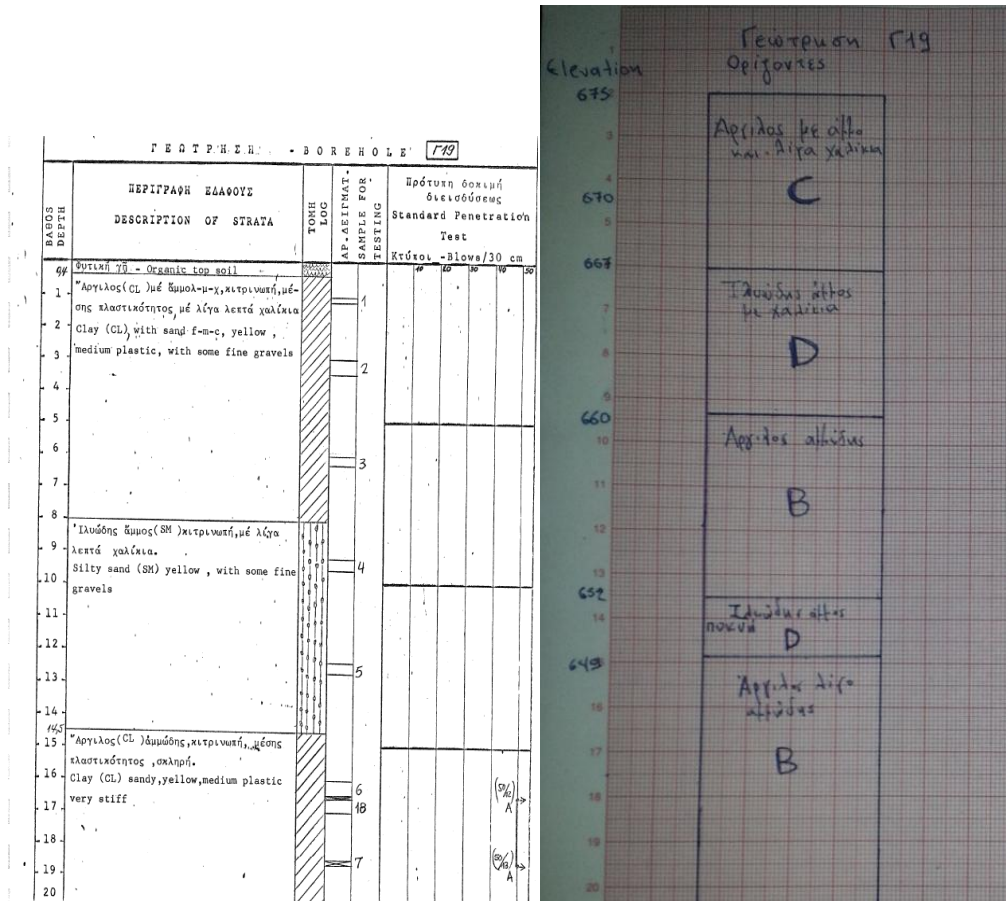
- Οργανική άργιλος, ανόργανες άργιλοι και ιλύες μεγάλης πλαστικότητας. (A)
- Άργιλος υψηλής ως μέσης πλαστικότητας, λίγο αμμώδης. (B)
- Αργιλοίλος αμμώδης με λίγα λεπτά χαλίκια, στιφρή. (C)
- Άμμος με χαλίκια, χονδρόκοκκη άμμος αργιλούχος με κροκάλες. (D)



Εικόνα 4.12: Καρότα γεωτρήσεων 17 και 18 ΑΗΣ Αμυνταίου. Στην κεντρική στήλη οι αριθμοί που φαίνονται αντιστοιχούν σε δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής (Γεωερευνητική ΕΠΕ, 1980).

Στο αριστερό μέρος του καρότου της γεώτρησης (Εικόνα 4.12) αναγράφεται η περιγραφή του εδάφους η οποία δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για τον κάθε οριζόντα του σχηματισμού, καθώς και το βάθος στο οποίο βρίσκεται. Η ομαδοποίηση των διαφόρων οριζόντων βασίστηκε στην περιγραφή και το βάθος στο οποίο συναντώνται στις διάφορες γεωτρήσεις. Έχοντας χαρακτηρίσει όλα τα μέρη των γεωτρήσεων με ίδιες ή παρόμοιες περιγραφές εδαφών, με τον αντίστοιχο οριζόντα, τα

καρότα μεταφέρθηκαν σε φύλλα μιλιμετρέ για να μελετηθεί με ακρίβεια η συνέχεια του κάθε ορίζοντα στο χώρο, από τη μια γεώτρηση προς τις άλλες (Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13: Μεταφορά δεδομένων από καρότο γεώτρησης σε μιλιμετρέ χαρτί και αντικατάσταση της περιγραφής εδάφους με τον ορίζοντα στον οποίο ανήκει (Γεωερευνητική ΕΠΕ, 1980).

Έπειτα τα στοιχεία των γεωτρήσεων εισήχθησαν σε φύλλα Excel (Πίνακας 4.13), τα οποία λειτούργησαν ως βάσει δεδομένων για το σχεδιαστικό πρόγραμμα Rockworks. Στον πίνακα αυτό φαίνονται τα βάθη στα οποία βρίσκεται το ανώτερο και το κατώτερο τμήμα κάθε ορίζοντα

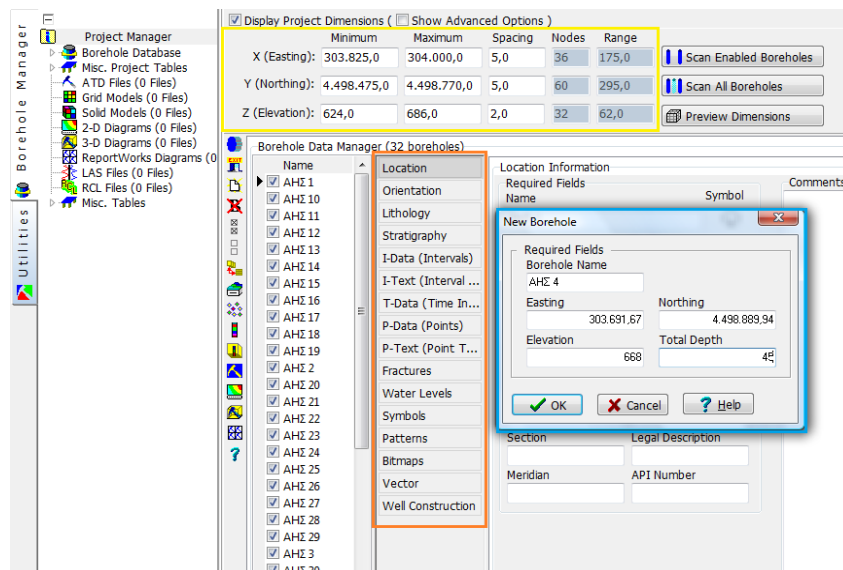
Πίνακας 4.13 Βάθη οριζόντων σε excel για εισαγωγή στο πρόγραμμα Rockworks.

Γεώτρηση 17		
depth to TOP	depth to BASE	formation
0	5,5	D
5,5	10,5	C
10,5	12	D
12	19,5	B
19,5	23,5	A
23,5	34	B
34	35,8	A
35,8	51	B
51	60	C

#### 4.5.1 Τρισδιάστατη Γεωλογική Προσομοίωση με πρόγραμμα Rockworks 15.

Το σύνολο των εργασιών για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Rockworks 15 που εκδόθηκε το 2009. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται στη μεταλλευτική και στη πετρελαϊκή βιομηχανία καθώς και σε γεωλογικές και περιβαλλοντικές μελέτες για την δημιουργία διάφορων μοντέλων απεικόνισης μέσω βάσεων δεδομένων. Το κύριο εργαλείο λειτουργίας του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη διατριβή είναι το Borehole Data manager.

Η υποσελίδα Borehole Data (Εικόνα 4.14) manager χρησιμεύει στην εισαγωγή δεδομένων γεωτρήσεων, γεωφυσικών και γεωτεχνικών μετρήσεων, λιθολογικών περιγραφών κ.α , με σκοπό την κατασκευή χαρτών, την απεικόνιση γεωτρήσεων στο χώρο και τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων στρωματογραφίας.

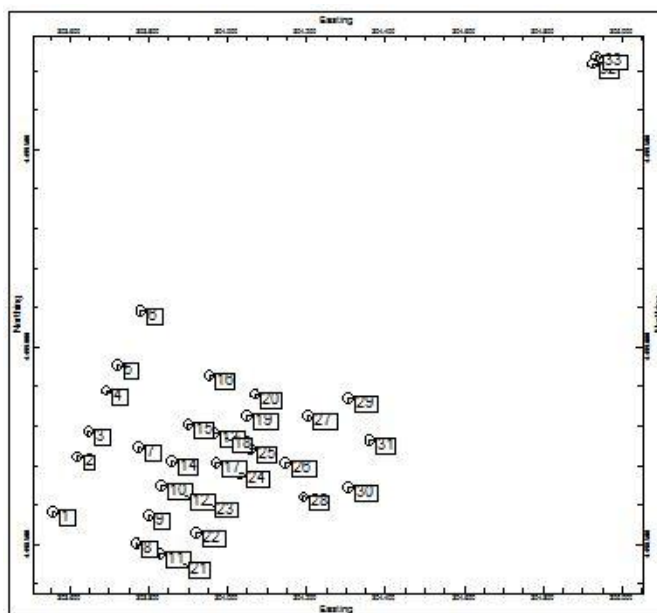


Εικόνα 4.14: Η υποσελίδα Borehole Manager.

Το κίτρινο περίγραμμα στην Εικόνα 4.14 περικλείει τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των συντεταγμένων και των υψομέτρων των γεωτρήσεων ενώ το πορτοκαλί όλες τις καρτέλες δεδομένων:

- Πεδίο Location: Γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε γεώτρησης με το υψόμετρο και το συνολικό βάθος.
- Πεδίο Orientation: Προσανατολισμός της γεώτρησης όταν αυτές δεν είναι κατακόρυφες.
- Πεδίο Lithology: Λιθολογικά δεδομένα κάθε γεώτρησης.
- Πεδίο Stratigraphy: Στρωματογραφική περιγραφή κάθε γεώτρησης.
- Πεδίο I-data: Γεωχημικές αναλύσεις.
- Πεδίο P-data: Γεωφυσικές διαγραφίες που αντιστοιχούν σε σημεία της γεώτρησης.
- Πεδίο Fractures: Στοιχεία προσανατολισμού ρηγμάτων.
- Πεδίο Symbols, Patterns, Bitmaps: Στοιχεία με τα οποία παριστάνονται οι γεωτρήσεις.

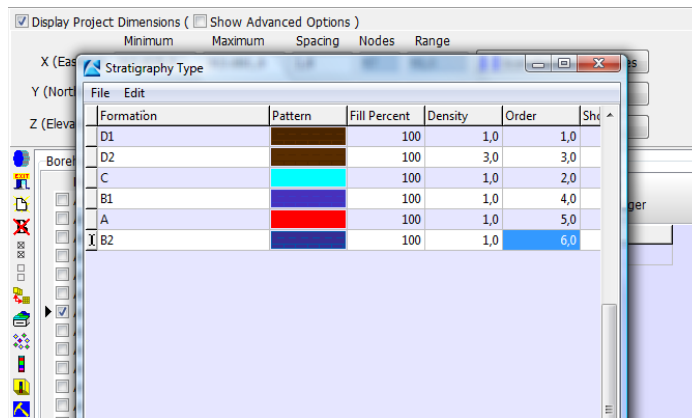
Στο μπλε πλαίσιο φαίνονται τα πρώτα στοιχεία που εισάγονται στο πρόγραμμα κατά τη δημιουργία μιας νέας γεώτρησης. Μετά την καταχώριση όλων των γεωτρήσεων μ' αυτόν τον τρόπο κατασκευάζεται το απλό δισδιάστατο μοντέλο που παρουσιάζει τα σημεία των γεωτρήσεων στο χώρο (Σχημα 4.18).





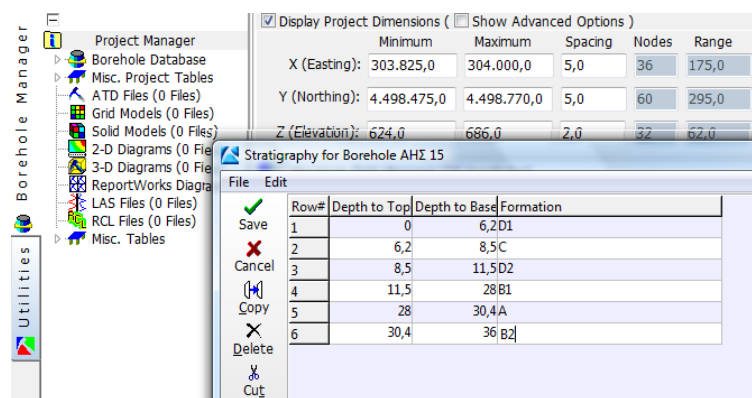
Σχήμα 4.19: Θέσεις γεωτρήσεων ΑΗΣ Αμυνταίου.

Το μενού Stratigraphy Type είναι το βασικό εργαλείο για την τρισδιάστατη στρωματογραφική μοντελοποίηση καθώς σε αυτό εισάγονται τα δεδομένα για τα στρώματα τα οποία θα παρουσιάζονται στο μοντέλο. Στην εικόνα 4.15 φαίνονται οι ορίζοντες, τα χρώματα που αντιστοιχούν και η σειρά με την οποία εμφανίζονται στο μοντέλο.



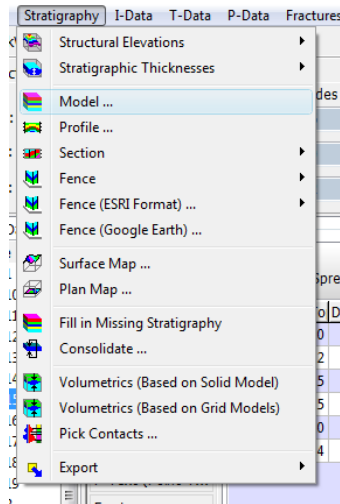
Εικόνα 4.15: Ορισμός στρωματογραφικών ενότητων του τελικού μοντέλου.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα ενημερώνεται με τα δεδομένα στρωματογραφίας κάθε γεώτρησης ξεχωριστά τα οποία πρέπει να είναι ακριβώς όμοια με αυτά που ορίστηκαν στο μενού Strtigraphy Types. (Εικόνα 4.16)

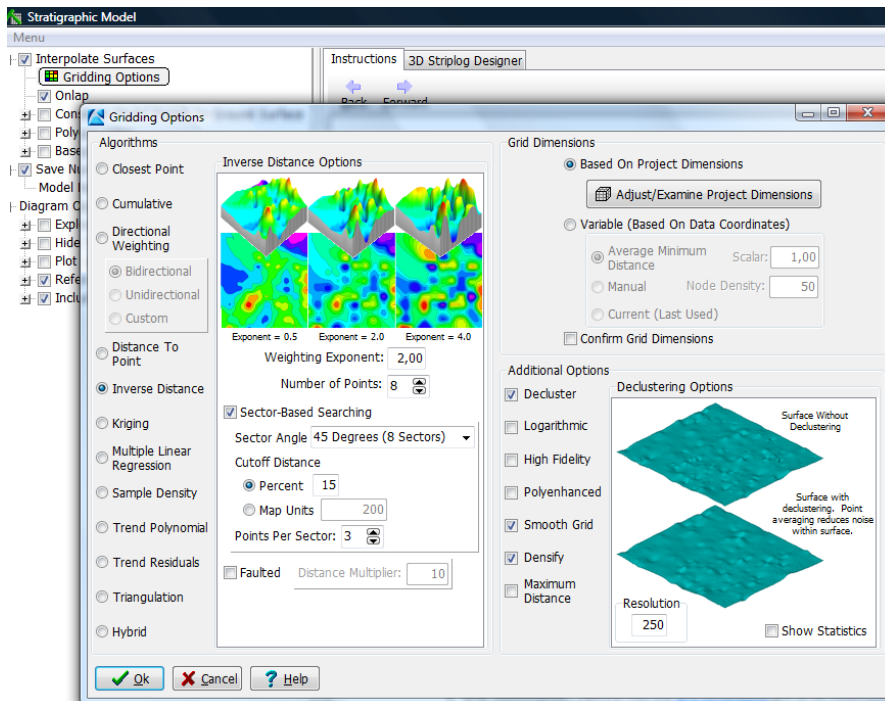


Εικόνα 4.16: Εισαγωγή δεδομένων από φύλλα excel στο πρόγραμμα.

Για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου επιλέγουμε από το μενού εντολών διαδοχικά Stratigraphy → Model (εικόνα 4.17), το οποίο δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής του. (Εικόνα 4.18)



Εικόνα 4.17: Επιλογή τρισδιάστατου μοντέλου στρωματογραφίας



Εικόνα 4.18: Παράθυρο ρυθμίσεων παραμέτρων κατασκευής του στρωματογραφικού μοντέλου.

### Σημαντικές παράμετροι:

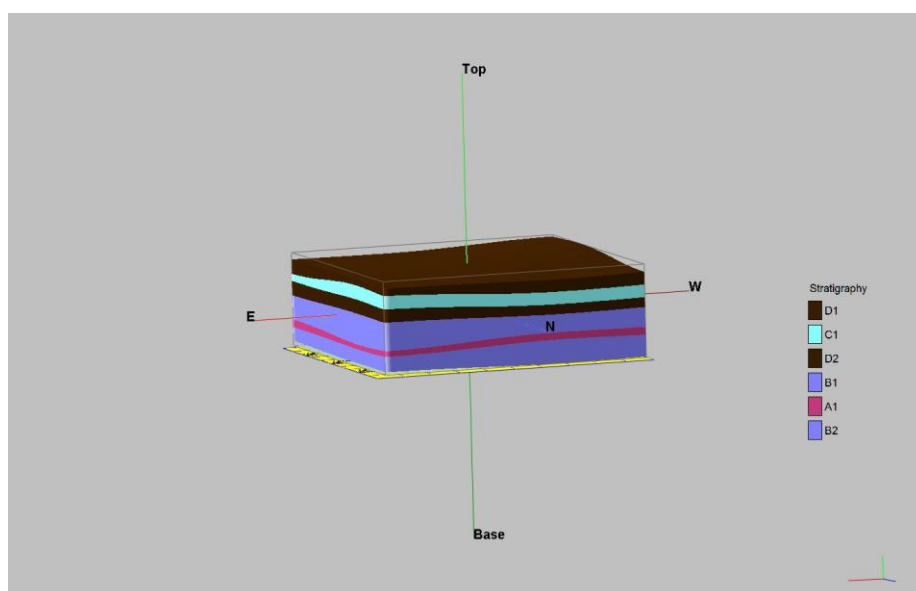
- Onlap: Η ενεργοποίηση αυτής της εφαρμογής διορθώνει τα όποια τμήματα μιας ανώτερης στρωματογραφικά σειράς εκτείνονται κάτω από τη βάση μιας χαμηλότερης ενότητας. Κατασκευάζοντας το μοντέλο από κάτω προς τα πάνω το πρόγραμμα δίνει προτεραιότητα στο σχεδιασμό των κατώτερων οριζόντων.

### Gridding Options → Inverse Distance

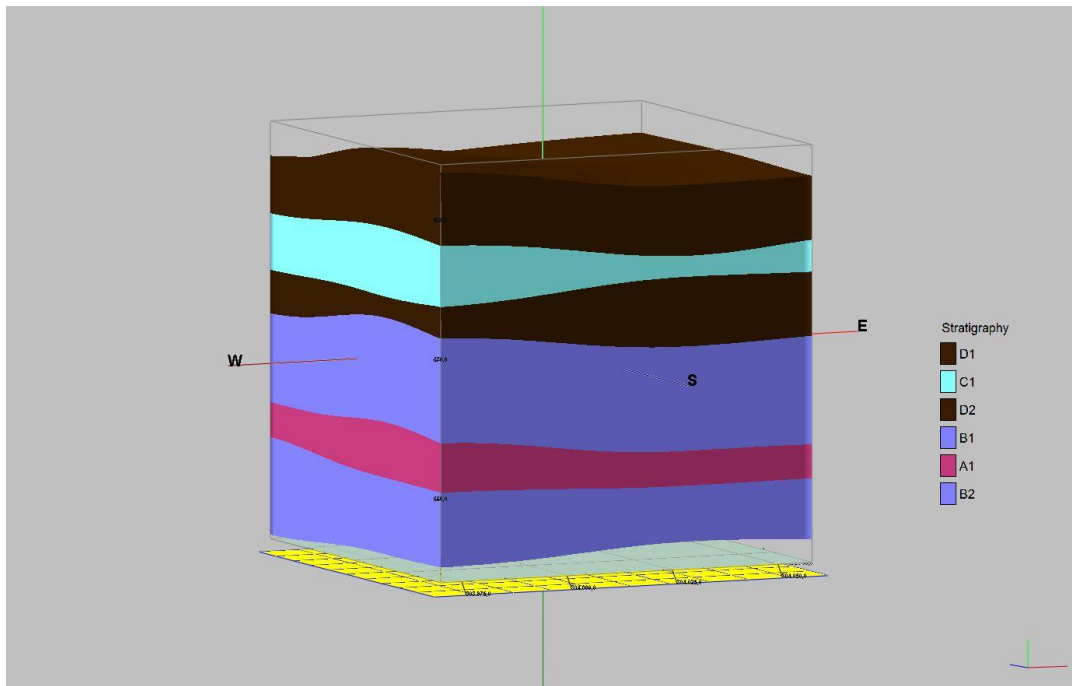
- Weighting Exponent: Ο εκθέτης (2.0) που χρησιμοποιείται δηλώνει μια πιο τοπική και όχι γενικευμένη εκτίμηση. Ο εκθέτης δεν πρέπει να ξεπερνά τη τιμή (5.0).
- Smooth Grid: Μ' αυτό το εργαλείο υπολογίζονται οι μέσοι όροι των τιμών Z των δεδομένων ώστε να τονίζονται οι τοπικές τάσεις μέσω φίλτρου.
- Densify: Εφαρμογή πύκνωσης των δεδομένων, που είναι σημαντική σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα. Χρησιμοποιώντας μία μέθοδο τριγωνισμού δημιουργείται ένα δίκτυο και τα κέντρα των τριγώνων προσθέτουν δεδομένα σε περιοχές που δεν καλύπτονται από στοιχεία μελετών.
- Decluster: Ενεργοποιώντας αυτό το πεδίο αποφεύγονται οι συγκεντρώσεις διπλών σημείων. Το μοντέλο χωρίζεται σε τμήματα και δίνονται μέσοι όροι για τα δεδομένα αυτών των τμημάτων.

Με τις παραπάνω επιλογές κατασκευάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο στρωματογραφίας για τη στενή περιοχή μελέτης. Στα σχήματα 4.20 και 4.21 φαίνεται προσεγγιστικά η ακολουθία των οριζόντων του σχηματισμού Προαστίου περίπου ως το βάθος της θεμελίωσης των μονάδων του εργοστασίου (υψόμετρο 660μ.). Γενικά παραιτείται ένα στρώμα αμμοχάλικου καλά διαμορφωμένου στα μικρότερα βάθη (D). Στο μέσο περίπου της ανώτερης σειράς η άμμος επικρατεί και τα χαλίκια λιγοστεύουν τόσο σε πλήθος όσο και σε μέγεθος διαμορφώνοντας τον ορίζοντα C. Το ταβάνι του ορίζοντα C βρίσκεται στα 5 μέτρα βάθος και η βάση του περίπου στα 10 μέτρα. Ο επικρατέστερος σε έκταση ορίζοντας B αποτελείται από λεπτόκοκκες ως μεσόκοκκες ερυθρό - κίτρινες αργίλους ψηλής ως μέσης πλαστικότητας με ενστρώσεις λεπτής άμμου κυρίως στο ανώτερο τμήμα του ορίζοντα. Ο ορίζοντας A

περιέχει κατά κύριο λόγο οργανικές αργίλους οι οποίες συναντώνται σε μεγάλο εύρος και διάφορα βάθη του σχηματισμού B. Στα 22-25 μέτρα βάθος όμως παρατηρείται μια πολύ σταθερή παρουσία οργανικών αργίλων σε αρκετές γεωτρήσεις, οπότε συντελείται ο ορίζοντας A. Σε βάθη μεγαλύτερα των 30 μέτρων, που είναι η βάση της θεμελίωσης, παρατηρούνται εναλλαγές αργιλοϊλύων μέσης ως υψηλής πλαστικότητας και αργιλοάμμων μέσης πλαστικότητας, με κατά τόπους ενστρώσεις λίγων οργανικών αργίλων. Τα στοιχεία από τις μελέτες που εξετάστηκαν για την κατασκευή του μοντέλου ήταν πολύ γενικευμένα για βάθη μεγαλύτερα από 30-35 μέτρα. Επίσης πολλές από τις γεωτρήσεις της μελέτης δεν ξεπερνούν τα 30 μέτρα σε βάθος. Αποτέλεσμα των ανωτέρω ήταν να περιοριστεί το μοντέλο σε βάθος 30 μέτρων.



Σχήμα 4.20: Rockworks: 3D μοντέλο στρωματογραφίας των οριζόντων του σχηματισμού Προαστίου στην περιοχή της Δ.Ε.Η. Δεξιά φαίνονται με γράμματα οι ορίζοντες (A,B,C,D), ενώ οι αριθμοί εξυπηρετούν την αναγνώριση της σειράς με την οποία συναντάμε τον ίδιο ορίζοντα σε διαφορετικά βάθη.



Σχήμα 4.21: Rockworks: 3D μοντέλο στρωματογραφίας των οριζόντων μετά την εφαρμογή διαπλάτυνσης (stretch) επί του άξονα Top – Base.

Αναγκαία εδώ είναι η παραδοχή πως είναι πρακτικά αδύνατο να συμπίπτουν όλα τα καρτότα των γεωτρήσεων με ακρίβεια στο σχήμα για δύο κυρίως λόγους:

A) Οι οριζόντες ανήκουν στον ίδιο σχηματισμό οπότε υπάρχουν ομοιότητες και συχνά ταυτίσεις μεταξύ συγγενών οριζόντων (π.χ ο C με τον B) καθιστώντας αδύνατο τον ακριβή διαχωρισμό τους σε όλες τις περιπτώσεις.

B) Οι κατακόρυφες γεωτρήσεις μπορεί να αποκλίνουν σχετικά με την ακρίβεια στην καθετότητα, ιδιαίτερα σε μεγαλύτερα βάθη, οπότε τα στοιχεία από τα καρτότα δεν είναι δυνατό να έχουν απόλυτη ακρίβεια. Ειδικότερα στη συγκεκριμένη απεικόνιση, οι γειτονικές γεωτρήσεις απέχουν κατά μέσω όρο 70 μέτρα, απόσταση αρκετά μικρή ώστε το παραμικρό σφάλμα να επιφέρει μεγάλη απόκλιση.

#### 4.5.2 Επεξεργασία δεδομένων των συγκεντρωτικών πινάκων των δειγμάτων.

Τα 446 δείγματα που συλλέχθηκαν από τις γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η και των τριών δειγμάτων που συγκεντρώθηκαν από την περιοχή του ορυχείου κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τον ορίζοντα που ανήκουν σε φύλλα Excel.

Στον πίνακα 4.14 αναγράφονται αναλυτικά τα φυσικά χαρακτηριστικά κάθε δείγματος, όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές. Επίσης αναφέρονται τα βάθη από τα οποία προήλθαν τα δοκίμια, ο αριθμός της γεώτρησης και ο χαρακτηρισμός εδάφους AUSCS. Στο παράρτημα II υπάρχει όλη η βάση δεδομένων από τα excel που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 4.14: Ενδεικτικό τμήμα φύλλου Excel για τον ορίζοντα C. (δεδομένα μελέτης ΑΗΣ Αμυνταίου) (Γεωερευνητική ΕΠΕ, 1980).

C = Αργιλοίλος αμμόδης με λεπτά χαλίκια				ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΩΝ															
ΒΑΘΟΣ	ορίζοντας γεώτρησης	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ AUSCS	Κοκκομετρία διεργόμενων %			Όρια Atterberg %				ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ%	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ *	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ*	ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ						Δείκτης συμπίεστασης Cc
			Άμμος	Χαλίκια	Αργιλοίλος	Όριο υδαρότητας LL	Όριο πλαστικότητας PL	Δείκτης πλαστικότητας PI	Μέτρο Συμπέσεως Es (Kg/cm2)										
									0,00 - 0,25				0,25 - 0,5	0,5 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00	4,00 - 8,00		
1,20-1,40	C1	CL	20	5	75	46,2	26	20,2											
2-2,3	C2	SC	30	29	41	46,7	25,5	21,2											
33-33,8	C2	CL	24	21	55	47,2	27,5	19,7	14,8	0,59	2,5				87	132	0,15		
34-34,8	C2	CL	28	10	62	40,6	23,1	17,5	19,1										
44-44,2	C2	CL	29	0	71	32,4	21,7	10,7											
0,7-0,9	C3	CH	28	9	63	50,4	28,4	22											
18,2-18,5	C3	ML	18	0	82	36,5	29,6	6,9	18										
20,5-20,8	C3	ML	25	0	75	46,8	29,9	16,9	24,8	0,63	2,54	23	23	27	43	62	114	0,18	
20,8-21,3	C3	ML	42	0	58	32,3	26,9	5,4	26,6	0,79	2,67	9	24	24	34	57	99	0,23	
23-23,5	C3	CL	19	1	80	36,2	22,8	13,4	27,3	0,71	2,61	15	15	19	32	57	101	0,21	
24,05-24,3	C3	CH-MH	10	3	87	57,1	30,2	24,9	24,9	0,68	2,55			41	93	100	310	0,09	
24,3-24,52	C3		17	3	80														
25,5-25,8	C3	CL	30	0	70	38,8	24,9	13,9											
28,2-28,4	C3	CL	26	0	74	41,9	23,9	18,2											
32-32,2	C3	ML	10	0	90	41,4	27,2	14,2	29,2										
32,2-32,5	C3	CL-ML	10	0	90	33,4	24,3	9,1	20,8										
0,7-0,8	C4	CL	22	1	77	47,2	27,2	20											
1,5-1,7	C4	CL	25	2	73	38,7	24,5	14,2											

Τα δεδομένα από την κοκκομετρική ανάλυση και από τους υπολογισμούς των ορίων Atterberg δίνονται για σχεδόν όλα τα δείγματα. Τα στοιχεία για τη φυσική υγρασία, το δείκτη πόρων, το ειδικό βάρος και τη δοκιμή συμπίεστασης αναγράφονται μόνο σε μερικά δείγματα της κάθε γεώτρησης. Επισημαίνεται ότι στη μελέτη της Δ.Ε.Η η κοκκομετρία της αργίλου και της ιλύος παρατίθεται ενιαία ως αργιλοίλος.

Η στατιστική επεξεργασία των συγκεντρωτικών πινάκων έγινε για τον κάθε ορίζοντα ξεχωριστά δίνοντας τα ακόλουθα αποτελέσματα:



Πίνακας 4.15: Ορίζοντας Α, Οργανική Άργιλος

A = Οργανική Άργιλος αριθμός δειγμάτων: 71																
	ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΩΝ															
	Κοκομετρία διερχόμενων %			Όρια Atterberg %			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ%	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ*	ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ						Δείκτης συμπίεσιότητας s <sub>c</sub>
	Άμμος	Χαλίκια	Αργιλοίλους	Όριο υδαρότητας LL	Όριο πλαστικότητας PL	Δείκτης πλαστικότητας PI				Μέτρο Συμπίεσεως Es (Kg/cm <sup>2</sup> )						
										0,00 - 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00	4,00 - 8,00	
MIN	0,00	0,00	66,00	29,40	14,80	10,30	13,30	0,38	1,96	10,00	20,00	26,00	41,00	57,00	61,00	0,07
MAX	34,00	23,00	100,00	84,20	57,10	43,70	59,30	1,43	2,74	90,00	90,00	104,00	151,00	212,00	375,00	0,32
Μέση Τιμή	8,61	0,42	91,06	58,21	32,51	25,76	30,58	0,75	2,53	36,60	41,80	49,09	61,68	90,22	141,43	0,18
Εύρος Τιμών	34,00	23,00	34,00	54,80	42,30	33,40	46,00	1,05	0,78	80,00	70,00	78,00	110,00	155,00	314,00	0,25
Επικρατέστερη Τιμή	0,00	0,00	100,00	64,30	27,00	26,00	22,50	0,78	2,58		39,00	49,00	54,00	81,00	110,00	0,16
Διακύμανση	66,18	7,58	73,55	114,96	53,11	38,82	131,42	0,08	0,03	558,74	560,18	617,33	574,74	925,04	3627,72	0,00

Πίνακας 4.16: Ορίζοντας Β, Άργιλος μέσης ως υψηλής πλαστικότητας, λίγο αμμώδης

B = Άργιλος μέσης πλαστικότητας, λίγο αμμώδης αριθμός δειγμάτων: 196																
	ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΩΝ															
	Κοκομετρία διερχόμενων %			Όρια Atterberg %			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ%	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ*	ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ						Δείκτης συμπίεσιότητας s <sub>c</sub>
	Άμμος	Χαλίκια	Αργιλοίλους	Όριο υδαρότητας LL	Όριο πλαστικότητας PL	Δείκτης πλαστικότητας PI				Μέτρο Συμπίεσεως Es (Kg/cm <sup>2</sup> )						
										0,00 - 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00	4,00 - 8,00	
MIN	0,00	0,00	52,00	26,40	9,50	9,00	12,60	0,37	2,36	6,00	14,00	19,00	32,00	52,00	96,00	0,04
MAX	46,00	7,00	100,00	68,50	46,80	35,00	59,70	1,45	2,80	78,00	195,00	223,00	253,00	357,00	360,00	0,26
Μέση Τιμή	17,08	0,29	83,01	42,56	24,01	18,88	25,15	0,72	2,64	29,05	39,60	49,15	68,62	101,97	159,69	0,15
Εύρος Τιμών	46,00	7,00	48,00	42,10	37,30	26,00	47,10	1,08	0,44	72,00	181,00	204,00	221,00	305,00	264,00	0,22
Επικρατέστερη Τιμή	20,00	0,00	80,00	40,20	23,60	20,20	30,20	0,70	2,70	29,00	29,00	32,00	49,00	95,00	159,00	0,14
Διακύμανση	87,73	1,25	98,56	56,96	15,80	26,72	31,39	0,04	0,01	254,76	836,57	1095,41	1314,96	2290,69	3447,21	0,00

Πίνακας 4.17: Ορίζοντας C, Αργιλοίλους αμμώδης με λεπτά χαλίκια

C = Αργιλοίλους αμμώδης με λεπτά χαλίκια αριθμός δειγμάτων: 122																
	ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΩΝ															
	Κοκομετρία διερχόμενων %			Όρια Atterberg %			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ%	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ*	ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ						Δείκτης συμπίεσιότητας s <sub>c</sub>
	Άμμος	Χαλίκια	Αργιλοίλους	Όριο υδαρότητας LL	Όριο πλαστικότητας PL	Δείκτης πλαστικότητας PI				Μέτρο Συμπίεσεως Es (Kg/cm <sup>2</sup> )						
										0,00 - 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00	4,00 - 8,00	
MIN	1,00	0,00	23,00	23,80	10,00	1,20	13,60	0,49	2,50	9,00	15,00	19,00	29,00	54,00	99,00	0,09
MAX	58,00	49,00	100,00	57,10	33,50	28,90	32,00	0,92	2,78	54,00	62,00	79,00	123,00	152,00	335,00	0,23
Μέση Τιμή	22,84	3,41	73,98	38,58	23,65	14,75	23,04	0,69	2,66	25,20	31,56	38,87	57,72	90,88	157,68	0,16
Εύρος Τιμών	57,00	49,00	77,00	33,30	23,50	27,70	18,40	0,43	0,28	45,00	47,00	60,00	94,00	98,00	236,00	0,14
Επικρατέστερη Τιμή	10,00	0,00	80,00	40,00	23,10	14,20	25,00	0,71	2,70	29,00	23,00	41,00	54,00	62,00	99,00	0,13
Διακύμανση	92,81	59,47	162,74	39,15	11,59	22,70	15,21	0,03	0,18	162,79	251,67	284,09	832,25	1212,87	3730,35	0,00

Πίνακας 4.18: Ορίζοντας D, Άμμος με χαλίκια

D = Άμμος με Χαλίκια αριθμός δειγμάτων: 57																
	ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΩΝ															
	Κοκκομετρία διερχόμενων %			Όρια Atterberg %			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ%	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ &	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ <sub>s</sub>	ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ						
	Άμμος	Χαλίκια	Αργιλοΐλους	Όριο υδαρότητας LL	Όριο πλαστικότητας PL	Δείκτης πλαστικότητας PI				Μέτρο Συμπέσεως Es (Kg/cm <sup>2</sup> )						
0,00 - 0,25							0,25 - 0,5	0,5 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00	4,00 - 8,00	Δείκτης συμπίεσεως 5 C <sub>e</sub>				
MIN	26,00	0,00	7,00	16,30	7,60	1,10	16,30	0,58	2,67							
MAX	91,00	60,00	50,00	35,60	25,20	12,20	21,40	0,58	2,67							
Μέση Τιμή	54,74	26,14	18,95	26,30	18,92	7,48	18,30	0,58	2,67							
Εύρος Τιμών	65,00	60,00	43,00	19,30	17,60	11,10	5,10	0,00	0,00							
Επικρατέστερη Τιμή	46,00	0,00	12,00			7,20			2,67							
Διακύμανση	328,92	461,02	118,64	79,57	44,68	10,09	31,71	0,08	1,35							

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα δεδομένα της στατιστικής ανάλυσης, βάσει των ανωτέρω πινάκων, είναι τα εξής:

Σχετικά με τη φυσική υγρασία:

Στον ορίζοντα A η μέση τιμή της φυσικής υγρασίας είναι 30,6% και της αργιλοΐλους 91%.

Στον ορίζοντα B τα ποσοστά αντιστοίχως είναι 25,1% και 83%.

Στον ορίζοντα C τα ποσοστά αντιστοίχως είναι 23% και 74%.

Στον ορίζοντα D τα ποσοστά αντιστοίχως είναι 18,3% και 19%.

Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αργιλοΐλους τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό φυσικής υγρασίας στον κάθε ορίζοντα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ιδιότητα της αργίλου να συγκρατεί νερό στους πόρους της.

Σχετικά με την κοκκομετρία διερχομένων:

Τα δεδομένα της κοκκομετρίας διερχομένων, δηλαδή τα ποσοστά άμμου, χαλικιών και αργιλοΐλους συμφωνούν κατά κύριο λόγο με τον χαρακτηρισμό του κάθε ορίζοντα.

Στον ορίζοντα A που χαρακτηρίζεται ως Οργανική Άργιλος παρατηρείται πολύ υψηλό ποσοστό % σε άργιλο (μέση τιμή 91%), πολύ χαμηλό σε άμμο (μέση τιμή 8,61%) και αμελητέο ποσοστό % χαλικιών.

Ο ορίζοντας B με ονομασία Άργιλος μέσης ως υψηλής πλαστικότητας, λίγο αμμώδης έχει επίσης πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο (μέση τιμή 83%) και αμελητέο ποσοστό χαλικιών, αλλά παρουσιάζει αυξημένα ποσοστά άμμου σε σχέση με τον A (μέση τιμή 17%).

Η ενότητα C, που χαρακτηρίζεται ως Αργιλοϊλός αμμώδης με λεπτά χαλίκια, περιέχει 74% αργιλοϊλό (μέση τιμή) και υψηλότερα ποσοστά σε άμμο και χαλίκια σε σχέση με τους ορίζοντες A και B, με μέσες τιμές 22% και 3,4% αντιστοίχως.

Ο ορίζοντας D, που ονομάζεται Άμμος και χαλίκια, παρουσιάζει σε σχέση με τους άλλους τρεις ορίζοντες τη χαμηλότερη μέση τιμή σε αργιλοϊλό με ποσοστό 19%, αλλά και τα υψηλότερα ποσοστά σε άμμο (55%) και σε χαλίκια (26%). Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και η μέση περιεκτικότητα σε χαλίκια κυμαίνεται γύρω στο 26%, η επικρατέστερη τιμή παραμένει μηδέν. Αυτό δικαιολογείται από την επικράτηση της άμμου, τα ποσοστά της οποίας σε αρκετά δείγματα ξεπερνούν το 80%. Υπήρχαν επίσης περιπτώσεις όπου από τρία δείγματα που συλλέχθηκαν από το ίδιο τμήμα του καρότου μιας γεώτρησης του ορίζοντα D μόνο το ένα περιείχε χαλίκια, ενώ στα άλλα δύο κυριαρχούσε η άμμος με απόλυτη απουσία χαλικιών. Αυτό συμβαίνει στα κατώτερα στρώματα του ορίζοντα D (βάθη 14-17μ.) στα όρια που αυτός συναντά τον B.

#### Σχετικά με τον δείκτη συμπίεστικότητας $C_c$ :

Γενικά όσο αυξάνεται ο δείκτης συμπίεστικότητας, τόσο αυξάνεται η συμπίεστικότητα του εδαφικού υλικού. Στους ορίζοντες A,B,C παρατηρείται ότι η μέση και η επικρατέστερη τιμή κυμαίνεται από 0,13 έως 0,18. Η ελάχιστη τιμή για το δείκτη συμπίεστικότητας είναι 0,07 για τον A, 0,04 για τον B και 0,09 για τον C, ενώ η μέγιστη τιμή είναι 0,32, 0,26, 0,23 αντιστοίχως. Για τον ορίζοντα D δεν δίνονται στοιχεία, καθώς δεν δυνατή η πραγματοποίηση της δοκιμής στο συγκεκριμένο ορίζοντα.

### Σχετικά με τα όρια Atterberg:

Γενικά όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας (PI) τόσο μεγαλύτερης πλαστικότητας θεωρείται το έδαφος.

Συνεπώς, οι σχηματισμοί που απαρτίζουν τον ορίζοντα A είναι υψηλής πλαστικότητας, καθώς ο δείκτης πλαστικότητας έχει μέση τιμή 25%.

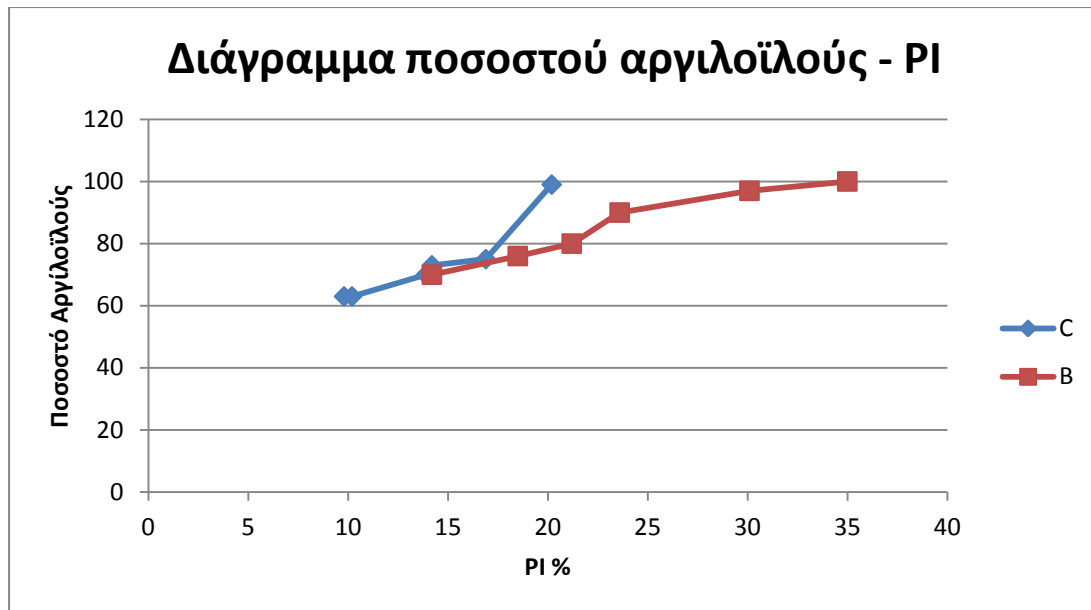
Ο ορίζοντας B θεωρείται μέσης ως υψηλής πλαστικότητας με μέση τιμή δείκτη πλαστικότητας 19%.

Η μέση τιμή του PI για τον ορίζοντα C είναι 14,7% και χαρακτηρίζεται ως έδαφος με μέση πλαστικότητα.

Στο σχηματισμό D, που περιέχει μεγάλο ποσοστό σε χαλίκια (D μέση τιμή 26%), παρότι υπάρχουν στοιχεία στον πίνακα 4.10 για τα όρια Atterberg, τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας δεν υπολογίζονται για ποσοστό περίπου ίσο με 85% των δειγμάτων. Τα στοιχεία για τα όρια Atterberg του πίνακα οφείλονται στα υπόλοιπα δείγματα που περιέχουν πολύ μεγάλο ποσοστό άμμου και μικρό ποσοστό σε χαλίκια. Στον ορίζοντα D παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές για τα όρια Atterberg σε σχέση με τους άλλους τρεις ορίζοντες.

Με συνδυασμό των δεδομένων της κοκκομετρίας και των στοιχείων από τα όρια Atterberg, συμπεραίνεται ότι σε αργιλοαμμώδεις σχηματισμούς όσο μεγαλύτερο το ποσοστό της αργίλου σε ένα σχηματισμό τόσο μεγαλύτερες θα είναι οι τιμές των ορίων Atterberg. Γ' αυτό ο ορίζοντας A που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό αργιλοϊλούς παρουσιάζει τη μεγαλύτερη πλαστικότητα.

Στο διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού αργιλοϊλούς – δείκτη πλαστικότητας του σχήματος 4.22 φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των οριζόντων B και C. Για την κατασκευή του διαγράμματος ελήφθησαν ενδεικτικές τιμές από δείγματα που ανήκουν σ' αυτούς τους ορίζοντες.



Σχήμα 4.22 Διάγραμμα ποσοστού αργιλοϊλούς – δείκτη πλαστικότητας για τους ορίζοντες B και C.

Σχετικά με τα ειδικά βάρη στερεών:

Η μέση τιμή για τα ειδικά βάρη στερεών στον ορίζοντα A είναι 2,53, στον ορίζοντα B 2,64, στον ορίζοντα C 2,66 και στον ορίζοντα D 2,67. Όλοι οι ορίζοντες εμφανίζουν σχεδόν τις ίδιες τιμές με επικρατέστερες τιμές από 2,58 ως 2,70. Αυτό συμβαίνει, διότι και οι τέσσερις ορίζοντες ανήκουν στον ίδιο σχηματισμό, αυτόν του Προαστίου.

## 5. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την παρουσίαση της λεκάνης του Αμυνταίου που ανήκει στο Νομό Φλώρινας και συγκεκριμένα της περιοχής που εκτίνεται μεταξύ του λιγνιτωρυχείου και των οικισμών Λεβαΐας και Φιλώτα. Στην περιοχή αυτή η μελέτη είχε ως επίκεντρο το σχηματισμό του Προαστίου ο οποίος καλύπτει επιφανειακά τη στενή περιοχή μελέτης. Ο σχηματισμός Προαστίου χωρίστηκε σε τέσσερις ενότητες βάσει δεδομένων που εξήφθησαν από ήδη υπάρχουσες μελέτες σε γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή.

- Οργανική άργιλος, ανόργανες άργιλοι και ιλύες μεγάλης πλαστικότητας (A).
- Άργιλος υψηλής ως μέσης πλαστικότητας, λίγο αμμώδης (B).
- Αργιλοϊλύς αμμώδης με λίγα λεπτά χαλίκια, στιφρή (C).
- Άμμος με χαλίκια, χονδρόκοκκη άμμος αργιλούχος με κροκάλες (D).

Η ενοποίηση αυτών των οριζόντων πραγματοποιήθηκε με προσεκτική παρατήρηση και ομαδοποίηση των διαφόρων τμημάτων των καρótων κάθε γεώτρησης. Τα δοκίμια που αντιστοιχούν σε κάθε τμήμα απαντούν στον αντίστοιχο ορίζοντα που ανήκει το τμήμα αυτό του καρότου.

Το κύριο προϊόν αυτής της διατριβής είναι η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου απεικόνισης των διαφόρων στρωμάτων του σχηματισμού Προαστίου. Το μοντέλο συγκεκριμένο παρέχει όσο το δυνατό πιο ακριβή παρουσίαση της διαδοχής των στρωμάτων στον επί εξέταση σχηματισμό. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τους συγκεντρωτικούς πίνακες για τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, αποσκοπούν στην αναλυτική παρουσίαση των φυσικομηχανικών παραμέτρων των οριζόντων του σχηματισμού Προαστίου.

Επισημαίνεται ότι για την κατασκευή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα καρότα των γεωτρήσεων και όχι τα δειγματοληπτικά δεδομένα. Οι τέσσερις ενότητες του σχηματισμού καθορίστηκαν από τα καρότα και τα δείγματα τοποθετήθηκαν αυτομάτως στον εκάστοτε ορίζοντα με μοναδικό κριτήριο την περιγραφή εδάφους που περιέχουν οι γεωτρήσεις των υπάρχουσών μελετών. Ακολουθώντας αυτόν τον τρόπο εργασίας η στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων λειτούργησε και ως μια μορφή επαλήθευσης της ορθότητας του 3D μοντέλου. Τα αποτελέσματά της στατιστικής επεξεργασίας επιβεβαιώνουν πως οι ορίζοντες χωρίστηκαν σωστά και ο



καθένας από αυτούς έχει διακριτέα χαρακτηριστικά όπως φαίνεται από τα στοιχεία των δοκιμών εδαφομηχανικής.

## Βιβλιογραφία

AASHTO (1961). The classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes, *In standard specifications for highway materials and methods of sampling and testing*, 8<sup>th</sup> ed., Part 1, Specifications, Am. Assoc. State Highway Officials, pp 45-51.

ASTM (1983). Standard test method for classification of soils for engineering purposes: Am. Soc. For Testing and Mater., ASTM Designation D 2487-69, *Annual book of ASTM standards*, Sec. 4, Vol. 04.08, pp.392-396.

ASTM (1985). Standard test method for classification of soils for engineering purposes: Am. Soc. For Testing and Mater., ASTM Designation D 2487-83, *Annual book of ASTM standards*, Sec. 4, Vol. 04.08, pp. 395-408.

ASTM (1989). *Annual book of ASTM Standards*. Sec 4 Construction, Vol. 04.08, Soil and Rock Building Stones, Geotextiles, Philadelphia, 997 p.

Brunn J.H., (1956), Contribution a l' etude geologique du Pinde septentrional et de la Macedoine occidentale. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 7, pp. 1-358.

Faugeres L. , Vergely P. , (1974), Existence de deformations en compression d'age quaternaire ancien (Villafranchien superieur) dans de Massif du Vourinos (Macedoine occidentale, Grece). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 278, 1313 – 1316.

Khan Z., Soil Classification and Identification, <http://www.yourarticlelibrary.com> .

Kilias A., Mountrakis D., (1981), Das profil von Kaimaktsalan bis Kleinen Prespa see. Die kristallinen systeme des Varnous und des W. Kaimaktsalans (NW Makedonien) (Beitrag zur Geologie des Inneren Helleniden). *Sci. Ann. Fac. Phys. Math. Univ. Thessaloniki*, 21, pp. 95-110.

King G.C.P., Tselentis A., Gomberg J., Molnar P., Roecker S.W., Sinvhal H., Soufleris C., Stock J.M., 1983. Microearthquake Seismicity and Active Tectonics of Northwestern Greece. *Earth Planet. Soi . Lett.* 66, 279 – 288.

Loupasakis, C., Angelitsa, V., Rozos, D., Spanou, N, (2014). Mining geohazards-land subsidence caused by the dewatering of opencast coal mines: The case study of the Amyntaio coal mine, Florina, Greece. *Natural Hazards*, 70(1), 675–691. doi:10.1007/s11069-013-0837-1

Lyberis N., Angelier J., Barrier E., Lallemand S., (1982), Active deformation of a segment of arc: the strait of Kythira, Hellenic arc, Greece. *J. Struat. Geol.* 4, 299 - 311

Mercier J., (1968), Etude geologique des zones Internes des Hellenides en Macedoine centrale (Grece). Contribution a l' etude du metamorphisme ett de l' evolution magmatique des zones internes des Hellenides. *Theses, Paris 1966, Ann. Geol. Pays Hell.*, 20, pp. 1-792.

Mercier J., (1981), Extensional – compressional tectonics associated with the Aegean Arc: comparison with the Andean Cordillera of south Peru – north Bolivia. *Phil Trans. R. Soc. Lond.*, A 300, 337-355.

Mountrakis D., 1982. Etude geologique des terrains metamorphiques de Macedoine occidentale (Grece). *Bull. Soc. Geol. France*, 24, 697 – 704.

Mountrakis D., (1984), Structural evolution of the Pelagonian zone in Northwestern Macedonia. *Journal of Geol. Society, sp. Publ.*, 17, pp. 581-590.

Mountrakis D., Tranos M., Papazachos C., Thomaidou E., Karagianni E. and Vamvakaris, D., (2006). Neotectonic and seismological data concerning major active faults, and the stress regimes of Northern Greece, *Publ. Geol. Soc. London*, 260, 649-670.

Papazachos C.B. and Nolet G., (1997), P and S deep velocity structure of the Hellenic area obtained by robust nonlinear inversion of travel times. *J. Geophys. Res.*, 102, 8349-8367.

Papazachos B.C. & Papazachou C.C., (2003), The earthquakes of Greece (3rd Edition-in Greek), Ziti Publications, Thessaloniki, 286pp.

Paquin C., Froidevaux C., Bloyet J., Ricard Y., Angelidis C., (1982), Tectonic stresses on the mainland of Greece: In situ measurements by over coring. *Tectonophysics*, 86, 17-26.

Rockware, (2008), Rockworks 15 User's Manual, 2221 East St., Suite 101 Golden, CO 80401 USA.

Rabbani P, Daghigh Y., Reza M., Karimi M., Tolooiyan A., (2012), the Potential of Lime and Grand Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) Mixture for Stabilisation of Desert Silty Sands.

Skempton, A. W. (1953), "The colloidal activity of clays". Proc. 3rd Conf. Soil Mech. Found. Eng., Switzerland. Vol. 1:57-58.

Αντωνόπουλος Β., Διαμαντίδης Γ., Τσιούρης Σ., (1996). Λίμνη Βεγορίτιδα – Διαχρονική εξέλιξη των υδρολογικών και ποιοτικών παραμέτρων της, *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Τόμος 7, Τεύχος 1/1996, σελ. 63-78.

Γεωερευνητική ΕΠΕ, (1980), Προκαταρκτική Γεωτεχνική Έρευνα ΑΗΣ Αμυνταίου, *Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Έρευνες Εργαστήριο Εδαφομηχανικής*, Αθήνα.

Εφημερίδα της Κυβέρνησης της Ελληνικής Δημοκρατίας, (1986), Προδιαγραφές Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής, τεύχος δεύτερο, αριθμός φύλλου 955, σελ. 9048-9056.

ΙΓΜΕ, (1997), Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος κλίμακας 1:50.000, φύλλο Πτολεμαΐδας, Αθήνα.

Ιορδανίδης Α., (2002), Οργανική Γεωχημεία και Πετρολογία του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αμυνταίου, *Διδακτορική Διατριβή*, Θεσσαλονίκη. σελ. 19-24.

Κίλιας Α., (1980), Γεωλογική και τεκτονική μελέτη της περιοχής του Ανατολικού Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία). *Διδακτορική Διατριβή*, Παν/μιο Θεσ/νίκης, 271 σελ.

Κούκης Γ, Σταμπατάκης Ν., 2002, Τεχνική Γεωλογία. Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Κούκουζας Κ., Κώτης Θ., Πλουμίδης Μ., Μεταξάς Α., (1979), Γεωλογική – Κοιτασματολογική Μελέτη Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αναργύρων – Αμυνταίου. Κοιτασματολογικές Έρευνες Νο 9, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Κουλούρης Σ., (2005), Παράμετροι Διατμητικής Αντοχής στους Ανώτερους Μαργαϊκούς Ορίζοντες του Νομού Αχαΐας, *Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης*, Πάτρα, σελ 28-30.

Λουπασάκης Κ., Σπανού Ν., Κοντογιάννη Β., (2010), Γεωτεχνικές Εργασίες στο Δημοτικό Διαμέρισμα Αναργύρων του Δήμου Αετού του Νομού Φλώρινας.

Λουπασάκης Κ., (2013), Σημειώσεις διαλέξεων μαθήματος «Εδαφομηχανική και Στοιχεία Θεμελιώσεων» ακαδημαϊκό έτος 2013-2014, Αθήνα.

Μαραγκός Ν. (2009), Προσθήκες Κίρτας Ε. (2010), Εδαφομηχανική. σελ. 1.26.

Μαράτος Γ., (1960), Λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου – Βεύης – Φλώρινης. 1 – 46

Ματαράγκος Δ., (1981). Γεολογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο Βεύη, κλ. 1: 50.000, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Μουντράκης Δ., (1976), Συμβολή εις την γνώσιν της γεωλογίας του βορείου ορίου των ζωνών Αξιού και Πελαγονικής εις την περιοχήν Κ. Λουτρακίου-Όρμας (Αλμωπίας). *Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Θεσ/νίκης*, 164 σελ.

Μουντράκης Δ., Σούλιος Γ. (1978), Περί μιας επωθημένης σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφειολίθους και της παρουσίας οφειολιθικών μιγμάτων στην περιοχή της Άρνισσας. Η σημασία αυτών για την τεκτο-ορογενετική εξέλιξη της Πελαγονικής ζώνης. *Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.*, XIII/2, σελ. 18-33.

Μουντράκης Δ., (1979), Resultats preliminaires de l' etude stratigraphique de la region de Kastoria (NW Macedoine, Grece). *Sci. Ann. Fac. Phys. Math., Univ. Thessaloniki*, 19, pp. 163-173.

Μουντράκης Δ., (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. *Πραγματεία για Υψηγεία, Παν/μιο Θεσ/νίκης*, 289 σελ.

Μουντράκης Δ., (1985), Γεωλογία της Ελλάδος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 207.

Παπαζάχος Β.Κ., Μουντράκης Δ.Μ., Παπαζάχος Κ.Β., Τρανός Μ.Δ., Καρακαϊσης Γ.Φ. και Σαββαϊδης Α.Σ. (2001), “Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς

ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα”, 2ο Π. Σ. Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Τ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 28-30 Σεπτεμβρίου 2001, 1, σελ. 17-26.

Παπαζάχος Κ., Τσόκας Γ., Τσούρλος Π., Βαργεμέζης Γ., Σταμπολίδης Α., Μπογιατζής Π., Καραούλης Μ., Σιμυρδάνης Κ., Τάσσης Γ., Βεντούζη Χ., Φίκος Η., Κκάλλας Χ., (2009), Μελέτη Σεισμικότητας – Σεισμοτεκτονικής της περιοχής Αναργύρων – Φανού, Α.Π.Θ Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Γεωφυσικής, Θεσσαλονίκη. σελ. 9-20.

Παυλίδης Σ., (1985), Νεοτεκτονική Εξέλιξη της Λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία), Θεσσαλονίκη.

Σακελλαρίου Μ., (2003), Φερεντίνου Μ., Ανδριτσάκης Ι., Ντούλης Γ., Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής, *Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής*, Αθήνα, σελ. 17-19.

Σακελλαρίου Μ., Φυσικά Χαρακτηριστικά Εδαφών, από: <http://users.ntua.gr/mgsakel/Classification.pdf>

Σαπούνας Α., (1998). Υδατικό ισοζύγιο και ποιοτική κατάσταση της λίμνης Βεγορίτιδας την περίοδο 1981 – 1992, Πτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Στάμος Α. & Γιαννόπουλος Π.,(2010), Γεωτεχνικές Εργασίες στο Δ.Δ. Αναργύρων του Δ. Αετού του Ν. Φλώρινας. σελ 7-9, 22-25.

Στάμος Α. & Ματθαίοπουλος Δ., (2010), Υδρογεωλογική Μελέτη στο Υδατικό Διαμέρισμα Δ. Μακεδονίας (09), Κοζάνη. σελ 41-42, 160-166.

Χρηστάρας Β., (2006), Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής, Αθήνα, σελ. 13-15, 16-20, 25-27, 33-35, 49-54.

**Βιβλιογραφικά δεδομένα αντλήθηκαν και από τους παρακάτω ιστότοπους:**



<http://el.wikipedia.org/wiki/Αμόνταιο>

<http://www.earthquakenet.gr>

[http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_2.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_2.pdf)

<http://diocles.civil.duth.gr>

## **Παράρτημα Ι**

Χάρτης ΙΓΜΕ Φύλλο Πτολεμαΐδας.

## **Παράρτημα II**

Βάση δεδομένων excel από μελέτη ΑΗΣ Αμυνταίου.