



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ Β΄ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Μελέτη της επίδρασης του φαινομένου της αναζύμωσης στις μηχανικές  
ιδιότητες των αργιλικών εδαφών



Κοτρώτσιου Βασιλική Α.Μ 37141      Φραντζεσκάκη Εμμανουέλα Α.Μ 36813

Επιβλέπων Καθηγητής : Πλαστήρα Βιολέτα

Αιγάλεω, Σεπτέμβριος 2011

## *Ευχαριστίες*

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτρια μας, κυρία Βιολέτα Πλαστήρα, για το θέμα της παρούσας Πτυχιακής εργασίας που μας έδωσε την ευκαιρία να εργαστούμε και να αποκτήσουμε εμπειρίες στον τομέα της πειραματικής εδαφομηχανικής. Η καθοδήγηση και οι επιστημονικές γνώσεις που μας προσέφερε ήταν πολύτιμες καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας

## **ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η παρουσία των αργιλικών εδαφών στη γεωλογική δομή που συσχετίζεται με την κατασκευή ενός τεχνικού έργου, στις περισσότερες περιπτώσεις επηρεάζει δυσμενώς την ευστάθεια του.

Τα αργιλικά εδάφη κατατάσσονται στη κατηγορία των πλέον λεπτόκοκκων εδαφών, η δε δομή τους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς διαφέρει κατά πολύ από εκείνη των χοντρόκοκκων εδαφών .

Οι κόκκοι των αργιλικών εδαφών δημιουργούν πλέγματα στα οποία οφείλεται η ιδιαίτερη συμπεριφορά τους . Η διαταραχή του πλέγματος αυτού με την επιβολή εξωτερικών φορτίων, όπως π.χ. του φορτίου μιας θεμελίωσης, αποτελεί το φαινόμενο της αναζύμωσης.

Ο στόχος της εργασίας είναι να μελετήσει τις συνέπειες του φαινομένου όσον αφορά τη μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων των αργιλικών εδαφών, που συσχετίζονται με την ασφάλεια των κατασκευών.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

1.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά εδαφών .....	6
1.2 Βραχώδεις Σχηματισμοί .....	7
1.3 Μαλακοί Σχηματισμοί .....	8
1.4 Φάσεις Εδάφους .....	9
1.5 Ταξινόμηση Εδαφών .....	11
1.6 Δομή του Εδάφους .....	15

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ & ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

2.1 Αργιλικά Εδάφη .....	17
2.2 Αργιλικά Ορυκτά .....	18
2.3 Δομή Αργιλικών Ορυκτών.....	22
2.3.1 Συνήθη Αργιλικά ορυκτά .....	24
2.4 Ιδιότητες Αργιλικών Ορυκτών .....	30
2.5 Αναζύμωση Εδαφών .....	38
2.5.1 Σύγκριση Φυσικών και Αναζυμωμένων Υλικών.....	39
2.5.2 Συμπεριφορά Αναζυμωμένων Αργίλων .....	41

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΖΥΜΩΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

3.1 Επίδραση των Κατολισθήσεων στη διατάραξη του εδάφους.....	42
3.1.1 Είδη κατολισθήσεων.....	42
3.1.2 Αντιμετώπιση κατολισθήσεων αργιλικών εδαφών.....	45
3.1.3 Μεταβολές Μηχανικών ιδιοτήτων .....	47
που οδηγούν σε κατολίσθησεων	
3.1.4 Περιπτώσεις κατολισθήσεων αργιλικών εδαφών .....	48
3.2 Επίδραση της δειγματοληψίας στη διατάραξη του δείγματος .....	50

3.3 Επίδραση της θεμελίωσης με πασσάλους σε αργιλικά εδάφη.....	51
---	----

### *Πειραματικό Μέρος*

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

4.1 Εύρεση Περιεχόμενης Υγρασίας Εδάφους .....	53
4.1.1 Πορεία Δοκιμής .....	54
4.1.2 Μετρήσεις – Αποτελέσματα .....	55
4.1.2.1 1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	55
4.1.2.2 2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	60
4.2 Εύρεση Ειδικού Βάρους Στερεών Συστατικών .....	63
4.2.1 Πορεία Δοκιμής .....	63
4.2.2 Μετρήσεις -Αποτελέσματα .....	65
4.3 Εύρεση Υγρού φαινόμενου βάρους, Ξηρού φαινόμενου βάρους.....	66
Δείκτη κενών, Πορώδους, Βαθμού Κορεσμού	
4.3.1 Γενικά.....	66
4.3.2 Υπολογισμοί .....	69
4.3.3 Αποτελέσματα .....	72

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

5.1 Όρια Atterberg .....	73
5.1.1 Εισαγωγή .....	73
5.1.2 Δείκτες Ορίων Atterberg .....	75
5.1.3 Όριο Υδαρότητας .....	80
5.1.4 Όριο Πλαστικότητας .....	85
5.1.5 Μετρήσεις .....	87
5.1.5.1 1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	87
5.1.5.2 2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	90

5.1.6 Αποτελέσματα .....	93
5.2 Κοκκομετρική Ανάλυση .....	94
5.2.1 Εισαγωγή .....	94
5.2.2 Περιγραφή Δοκιμής .....	96
5.2.3 Μετρήσεις – Υπολογισμοί .....	99
5.2.3.1 1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	99
5.2.3.2 2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	103
5.2.4 Αποτελέσματα – Κατάταξη Εδαφών .....	108
5.3 Ενεργότητα .....	110
5.3.1 Εισαγωγή .....	110
5.3.2 Υπολογισμοί – Αποτελέσματα .....	112
5.4 Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης .....	113
5.4.1 Εισαγωγή .....	113
5.4.2 Πορεία Δοκιμής .....	118
5.4.3 Συμπεράσματα δοκιμής .....	125
5.4.4 Πειραματικό Μέρος Δοκιμής .....	128
5.4.4.1 1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	128
5.4.4.1.1 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα .....	138
5.4.4.2 2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα .....	139
5.4.4.2.1 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα .....	145
Συνολικά Συμπεράσματα Δοκιμών .....	146
Πίνακας Συγκεντρωτικών Αποτελεσμάτων .....	154
Παράρτημα .....	158
Βιβλιογραφία .....	162
Περίληψη.....	165

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

### 1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ - ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΕΔΑΦΩΝ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν το στερεό φλοιό της γης διακρίνονται από τεχνικογεωλογικής πλευράς σε **εδαφικούς** και **βραχώδεις**. Οι βραχώδεις προϋπάρχουν και οι εδαφικοί είναι τα προϊόντα των διεργασιών της διάβρωσης των βραχωδών μαζών, αλλά και της μηχανικής ή/και χημικής αποσάθρωσης αυτών.

Συνήθως τα εδάφη προέρχονται από ανάμιξη των φάσεων αυτών σε ποικίλες αναλογίες, ενώ ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού μπορεί να περιέχουν και οργανικές ύλες (π.χ. σχηματισμός σε λίμνες).

Έτσι,

#### **ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (SOILS)**

Αποτελούνται από φυσικές διατάξεις εδαφικών κόκκων, που μπορεί να περιέχουν οργανικά υλικά, ενώ τα κενά μεταξύ των κόκκων μπορεί να είναι πληρωμένα με αέρα ή/και νερό. Συνεπώς μπορούν να διαχωριστούν με απλές μηχανικές μεθόδους (π.χ. ανακίνηση σε νερό).

#### **ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ή ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (ROCKS)**

Αποτελούνται από κόκκους, που συνδέονται με ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις, ή/και την παρουσία συγκολλητικής ύλης.

## 1.2 Βραχώδης Σχηματισμοί (Πετρώματα)

Βραχώδης Σχηματισμοί - Πετρώματα είναι τα υλικά τα οποία κατά μεγάλες μάζες αποτελούν τον στερεό φλοιό της γης. Δομικά στοιχεία των πετρωμάτων είναι τα ορυκτά, πρόκειται για ανόργανα, φυσικά, στερεά ομογενή σώματα με ορισμένη χημική σύσταση και καθορισμένες φυσικές ιδιότητες.

Τα πετρώματα παρουσιάζουν στατική ομοιογένεια σε μεγάλη έκταση και ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διακρίνονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες.

*Οι Βραχώδης Σχηματισμοί διακρίνονται σε*

- **Πυριγενή ή Εκρηξιγενή πετρώματα:** Σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση της ρευστής και διάπυρης μάζας δηλαδή το μάγμα, το οποίο μετανάστευσε από το εσωτερικό της γης και στερεοποιήθηκε στους επιφανειακούς σχηματισμούς του στερεού φλοιού της.

Ανάλογα με το που συμβαίνει στερεοποίηση του μάγματος τα εκρηξιγενή χωρίζονται:

- ✓ Πλουτώνια, (το μάγμα στερεοποιείται εντός του στερεού φλοιού της γης)
  - ✓ Υποηφαιστειογενή, (το μάγμα στερεοποιείται σε μικρά βάθη)
  - ✓ Ηφαιστειακά ή ηφαιστειογενή, (το μάγμα φθάνει στην επιφάνεια της γης και στερεοποιείται πάνω σ' αυτή)
- **Ιζηματογενή πετρώματα:** Σχηματίστηκαν από τα προϊόντα αποσαθρώσεως άλλων πετρωμάτων που προϋπήρχαν. Τα πετρώματα αυτά συνήθως προέρχονται από την γεωλογική διαγένεση μαλακών ιζημάτων. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους τα Ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες:

- ✓ Κλαστικά ή μηχανικά
- ✓ Χημικά ιζήματα
- ✓ Βιογενή ή οργανογενή ιζήματα

- **Μεταμορφωσιγενή πετρώματα:** Σχηματίστηκαν από την μεταμόρφωση των πυριγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων υπό την επίδραση κυρίως υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων.

Ανάλογα με το βαθμό μεταμόρφωσης από ένα αρχικό σχηματισμό προκύπτουν διάφορα πετρώματα π.χ. άργιλος → σχιστή άργιλος → αργιλικός σχιστόλιθος → φυλλίτης → μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος.



### 1.3 Μαλακοί Σχηματισμοί

Οι μαλακοί σχηματισμοί -εδαφικά υλικά προέρχονται από την μηχανική ή και τη χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων.

Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες , όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα , οι λειτουργίες των φυτών , των ζώων και του ανθρώπου και οδηγεί σε κατατεμαχισμό και θρυμματισμό των βράχων.

Αντίστοιχα η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση των πετρωμάτων λόγω οξειδωσης , ενανθράκωσης, αναγωγής και άλλων χημικών διαδικασιών.

Γενικά, η χημική αποσάθρωση είναι ο κυριότερος παράγοντας γένεσης λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών (ιλύων και αργίλων) , ενώ η μηχανική αποσάθρωση συντελεί κυρίως στην δημιουργία των χονδρόκοκκων εδαφών ( χαλικιών και άμμων) χωρίς όμως να αποκλείεται και η μερική συμμετοχή της εναλλακτικής μεθόδου αποσάθρωσης στη γένεση εδαφικών σχηματισμών κάθε τύπου.

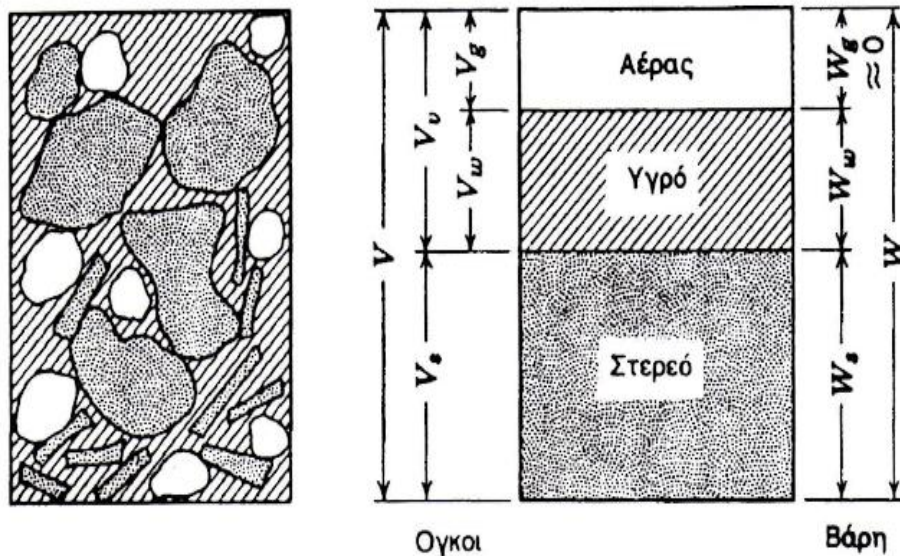
*Οι Μαλακοί Σχηματισμοί διακρίνονται σε*

- **Αλλουβιακούς:** Δηλαδή προϊόντα αποσάθρωσης βράχων που έχουν μεταφερθεί από το νερό και έχουν αποτεθεί ως ιζήματα στους πυθμένες θαλασσών και λιμνών χωρίς να έχουν υποστεί αξιόλογη διαγένεση.
- **Υπολλειματικούς :** Δηλαδή χαλαρά προϊόντα της αποσάθρωσης βραχωδών σχηματισμών που έχουν αποτεθεί επί τόπου στις βάσεις των κλιτύων , χωρίς προηγούμενη μεταφορά από το νερό.

## 1.4 ΦΑΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ - ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΑΝ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ 3 ΦΑΣΕΩΝ

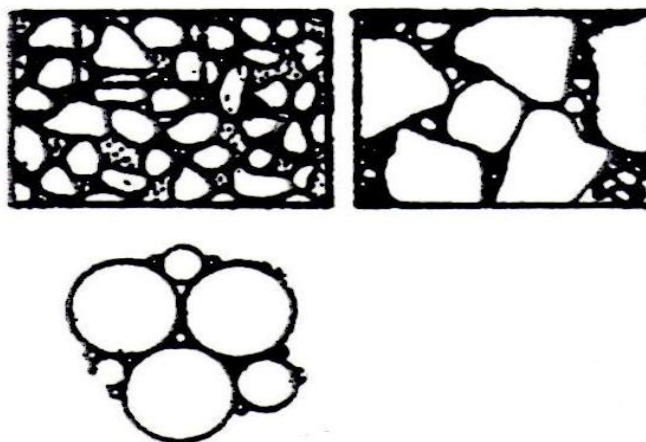
Η εδαφική μάζα είναι ένα ιδιαίτερο σύστημα που δημιουργείται από ένα πλέγμα στερεών κόκκων ορυκτής ή οργανικής προέλευσης. Ανάμεσα στους στερεούς κόκκους σχηματίζονται κενά ή πόροι με ακανόνιστη μορφή, που πληρούνται με υγρά (συνήθως νερό) και αέρια (συνήθως αέρα) ή και με τα δύο. Όταν δεν υπάρχει νερό στους πόρους μιλάμε για ξηρό έδαφος και όταν οι πόροι είναι εντελώς γεμάτοι με νερό έχουμε το κορεσμένο έδαφος.

Φάσεις Εδαφικών Υλικών



Σχήμα [1]: Φάσεις εδαφικών υλικών

Απεικόνιση Εδαφικού στοιχείου



Σχήμα [2]: Απεικόνιση Εδαφικού στοιχείου

Στο Σχήμα [2] δίνεται ένα στοιχείο εδάφους που μπορεί να προσομοιωθεί με μία συσσωμάτωση από σφαίρες μεγάλες και μικρότερες. Τα κενά που αφήνουν οι σφαίρες αυτές είναι τα κενά που γεμίζουν με αέρα και νερό.

Η μηχανική συμπεριφορά του εδάφους αφορά στην δράση αυτής της συσσωμάτωσης των εδαφικών κόκκων. Ωστόσο, οι συστατικές ιδιότητές τους επηρεάζουν πολύ τη συμπεριφορά του εδάφους, που είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης (interaction) των τριών φάσεων του εδάφους, κάτω από την επιρροή των περιβαλλοντικών συνθηκών και των συνθηκών φόρτισης.

Μπορούμε να διακρίνουμε τις ιδιότητες των εδαφών σε δύο κατηγορίες:

- ✓ *Συστατικές ιδιότητες ή χαρακτηριστικά* όπως το μέγεθος, η μορφή, η ορυκτολογική σύσταση, το φαινόμενο βάρος, το ηλεκτρικό φορτίο.
- ✓ *Ιδιότητες του συνόλου της συσσωμάτωσης* όπως η πυκνότητα η κοκκομετρική διαβάθμιση, η συνεκτικότητα, το δέσιμο των κόκκων (interlocking)

Οι ιδιότητες του συνόλου της συσσωμάτωσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε:

- **Φυσικοχημικές ιδιότητες** όπως η απορροφητικότητα, η διόγκωση, η οσμωτική πίεση, η συνεκτικότητα.
- **Φυσικές ιδιότητες** όπως η πυκνότητα, η περιεχόμενη υγρασία, η διαπερατότητα, το τριχοειδές
- **Μηχανικές ιδιότητες** όπως η διατμητική αντοχή, η συμπιεστότητα, το μέτρο παραμόρφωσης

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει το έδαφος είναι σύνολο ορυκτών κόκκων που μπορούν να διαχωριστούν με απλές μηχανικές μεθόδους. Ο βράχος είναι φυσικό σύνολο ορυκτών κόκκων που συνδέονται με ισχυρές και μόνιμες δρώσες δυνάμεις συνοχής.

## 1.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Ανάλογα με την προέλευση των συστατικών τους τα εδάφη διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες:

- ✓ Τα εδάφη που αποτελούνται από κύρια προϊόντα χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και
- ✓ Τα εδάφη οργανικής προέλευσης.

Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των εδαφών χρησιμοποιείται η ταξινόμηση **βάσει των διαστάσεων των κόκκων**, Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής γενικές κατηγορίες εδαφών:

### ο **Χάλικες και Άμμος**

Είναι εδάφη χωρίς συνοχή που αποτελούνται από στρογγυλεμένα , γωνιώδη ή υπογωνιώδη θραύσματα πετρωμάτων.

#### **Συγκεκριμένα**

**Λίθοι:** Ονομάζονται τα κομμάτια που προέρχονται από το σπάσιμο του πετρωματικού υποβάθρου και έχουν συνήθως διαστάσεις 250-300 mm ή και περισσότερο. Κομμάτια μικρότερα από τους λίθους ονομάζονται κροκάλες, οι οποίες έχουν ελάχιστο μέγεθος 60-80 mm.

**Χαλίκια (Gravel) :** Η ονομασία αυτή χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε κομμάτια βραχώδους πετρώματος που έχουν μέγεθος από 2 - 60 mm.

Ονομάζονται επίσης λιθοσύντριμα όταν είναι τεχνητά και αμμοχάλικα όταν προέρχονται από την εκσκαφή μιας φυσικής αποθέσεως και περιέχουν λεπτόκοκκα υλικά. Τα χαλίκια είναι μη συνεκτικό έδαφος , πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν δυνάμεις πρόσφυσης ή συνοχής μεταξύ των στοιχείων του.

**Άμμος ( Sand):** Ονομάζονται κομμάτια ορυκτών μικρότερου μεγέθους από τα χαλίκια που έχουν όμως διάμετρο μεγαλύτερη από 0,06 mm έως 2 mm . Ονομάζεται *ψιλή* (λεπτόκοκκος), *μέση* ή *χονδροκόκκος* ανάλογα με το μέγεθος των περισσότερων κόκκων της. Η άμμος είναι μη συνεκτικό έδαφος. Οποσδήποτε όμως , όταν είναι υγρή ή λίγο βρεγμένη οι επιφανειακές τάσεις του νερού, της δίνουν μια φαινόμενη συνοχή , η οποία όμως εξαφανίζεται όταν το υλικό στεγνώσει ή κορεσθεί τελείως με νερό.

- ο **Ιλύς ή Πυλός**

Είναι κομμάτια ορυκτών των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 0,02 mm έως 0,06 mm.

**Οργανική Ιλύς:** Είναι λεπτόκοκκο και πλαστικό έδαφος με προσμίξεις προσδιορίσιμων ποσοτήτων οργανικών ουσιών . Είναι δυνατό επίσης να περιλαμβάνει όστρακα καθώς και ορατά τεμάχια φυσικών ουσιών σε αποσύνθεση. Το χρώμα του εδάφους αυτού κυμαίνεται από ανοιχτό μέχρι σκούρο φαιό ενώ η διαπερατότητα της οργανικής ιλύς είναι μικρή και η συμπιεστότητα της πολύ μεγάλη.

**Ανόργανη Ιλύς :** Είναι λεπτόκοκκο έδαφος με μικρή ή μηδενική πλαστικότητα . Οι λιγότερο πλαστικές ποικιλίες αποτελούνται από κόκκους ομοιόμορφους και ίσης περίπου διαμέτρου χαλαζία που αναφέρονται συχνά με την ονομασία *παιπάλη*.

Οι τύποι της ιλύος με μεγαλύτερη πλαστικότητα περιλαμβάνουν αξιόλογο ποσοστό λεπτών πλακοειδών σωματιδίων και χαρακτηρίζονται σαν *πλαστική ιλύς*.

Λόγω της λείας υφής της , η ανόργανη ιλύς , εκλαμβάνεται συχνά σαν άργιλος αλλά αυτό μπορεί εύκολα να αποφευχθεί χωρίς εργαστηριακή δοκιμή με απλές πρακτικές μεθόδους. Η Ιλύς είναι σχετικά αδιαπέρατη , όταν όμως βρίσκεται σε χαλαρή κατάσταση μπορεί να ανυψωθεί σε γεωτρητική οπή ή σε ερευνητικό φρέαρ σαν ιζώδες ρευστό.

- ο **Άργιλος (Clay) :**

Είναι λεπτόκοκκο υλικό που αποτελείται από σωματίδια ορατά ή μη με το μικροσκόπιο, που προέρχονται από την αποσύνθεση των συστατικών των πετρωμάτων.

Είναι πλαστική για μέση έως μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό ενώ τα ξηρά δείγματά της είναι πολύ σκληρά και δεν αποβάλλουν σκόνη όταν η επιφάνεια τους τρίβεται με τα δάχτυλα.

Η διαπερατότητα της αργίλου είναι πολύ μικρή και το μέγεθος των κόκκων της μικρότερο από 0,002 mm. Εάν η διάμετρος των κόκκων της είναι μικρότερη από 0,001 mm τότε ονομάζεται *κολλοειδής άργιλος*.

**Οργανική Άργιλος:** Η οργανική άργιλος οφείλει μερικές από τις πιο σημαντικές φυσικές ιδιότητές της στην παρουσία λεπτά καταμερισμένων υλών.

Όταν είναι κορεσμένη έχει μεγάλη συμπιεστότητα , σε ξηρή όμως κατάσταση εμφανίζει σημαντική αντοχή. Το χρώμα της είναι συνήθως βαθύ φαιό ή μαύρο και επίσης η οργανική άργιλος είναι δυνατό να έχει ευδιάκριτη χαρακτηριστική οσμή.

ο **Τύρφη**

Η τύρφη αποτελείται από ινώδη συμπλέγματα μακροσκοπικά ή μικροσκοπικά ορατών σωματιδίων, από οργανική ύλη σε αποσύνθεση. Το χρώμα της κυμαίνεται από ανοιχτό καστανό μέχρι μαύρο. Η τύρφη είναι τόσο πολύ συμπιεστή, ώστε να αποτελεί σχεδόν πάντοτε ακατάλληλη στρώση για την έδραση των θεμελίων.

*Όρια Μεγεθών Κόκκων Εδαφικών Υλικών*

Άργιλοι	Ιλεις			Άμμοι			Χάλικες			Κροκάλες	
	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές		
0.001	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200
		0.01		0.1		1		10		100	

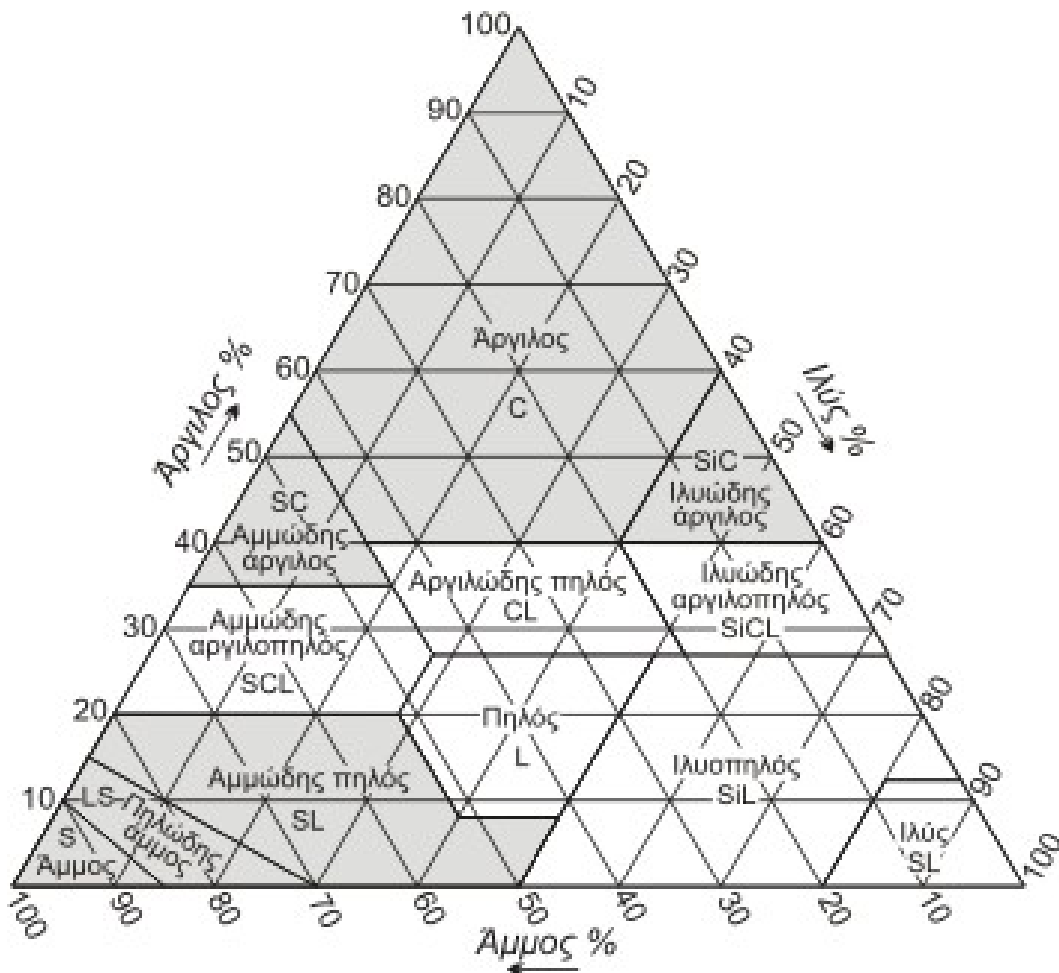
Διαστάσεις κόκκων (mm)

*Σχήμα [3]: Όρια Μεγεθών Κόκκων Εδαφικών Υλικών*

Μέγεθος ή No. κόσκινου	3 in.	3/4 in.	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	No. 270	0.005 in.	0.002 in.	0.001 in.
ASTM	Χαλίκια		Άμμος		Πηλός (ιλύς)		Άργιλος		Κολλοειδές	
FAA	Χαλίκια		Άμμος		Πηλός		Άργιλος			
Ενιαίο	Κροκάλες	Χαλίκια	Άμμος		Πηλός ή άργιλος					
AASHTO	Λίθοι	Χαλίκια	Άμμος		Πηλός		Άργιλος		Κολλοειδές	
USDA	Κροκάλες	Χαλίκια	Άμμος		Πηλός		Άργιλος			
MIT	Χαλίκια		Άμμος		Πηλός		Άργιλος			
Μέγεθος σε χιλιοστά	76.2	19.05	4.76	2.00	0.42 (a)	0.074 0.075	0.05	0.005	0.002	0.001

*Σχήμα [4] : Κλίμακα μεγέθους των κόκκων σύμφωνα με τα διάφορα συστήματα ταξινόμησης.*

Ένα έδαφος σπανίως θα είναι αμιγώς αργιλικό και σίγουρα θα περιέχει μεγάλο φάσμα διαστάσεων κόκκων γι' αυτό συχνά θεωρείται σκόπιμος και πρακτικός ο διαχωρισμός των εδαφών σε ευρύτερες κατηγορίες: Αργιλώδη, Πηλώδη, Αμμώδη με αντίστοιχες υποδιαιρέσεις ,με την χρήση του παρακάτω τριγωνικού διαγράμματος.



Σχήμα [5] : Τριγωνικό σύστημα για την κατάταξη των εδαφών

Στην φύση οι εδαφικοί σχηματισμοί είναι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μικτοί τύποι εδαφικών υλικών, οι βασικότεροι των οποίων είναι:

- ❖ Αργιλοίλυες
- ❖ Ιλυώδεις άργιλοι
- ❖ Αμμούχες άργιλοι
- ❖ Αμμοίλυες
- ❖ Ιλυώδεις άμμοι
- ❖ Αμμοχάλικα

## 1. 6 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ο τρόπος με τον οποίο μεμονωμένοι κόκκοι διατάσσονται μεταξύ τους σε ένα έδαφος αναφέρεται ως εδαφική δομή. Αυτή η δομή μερικές φορές αναφέρεται και ως *εδαφικός σκελετός*.

### ο **Κοκκώδη εδάφη**

Τα κοκκώδη εδάφη περιλαμβάνουν χονδρόκοκκες ιλύες, άμμους, χαλίκια και άλλα χονδρότερα υλικά. Τα κοκκώδη εδάφη ονομάζονται και **μη-συνεκτικά** επειδή δεν παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους.

Οι κόκκοι των άμμων και των χαλίκων είναι γενικά σφαιροειδείς, με την έννοια ότι η μέγιστη και η ελάχιστη διάσταση του κόκκου δεν διαφέρουν σημαντικά, ακόμη και στην περίπτωση πολύ πεπλατυσμένων κόκκων, ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη διάσταση δεν υπερβαίνει συνήθως το πέντε.

Η μορφή της επιφάνειας των κόκκων ποικίλλει και κυμαίνεται μεταξύ **λείας** (στην περίπτωση εδαφών που η επιφάνεια των κόκκων τους έχει λειανθεί από τη διάβρωση) και **γωνιώδους** (στην περίπτωση πρόσφατων κλαστικών ιζημάτων).

Η διάταξη των κόκκων στα κοκκώδη εδάφη καθορίζεται από το βάρος, τις διαστάσεις, τη μορφή της επιφάνειας και τις μηχανικές δυνάμεις επαφής που ασκούνται μεταξύ των κόκκων. Η μηχανική αυτή διάταξη των κόκκων δημιουργεί μια δομή με πυκνότητα που κυμαίνεται μεταξύ μιας ελάχιστης τιμής (πολύ χαλαρή δομή) και μιας μέγιστης τιμής (πολύ πυκνή δομή). Πάντως, η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης πυκνότητας δεν είναι σημαντική, επειδή σε όλες τις περιπτώσεις οι κόκκοι βρίσκονται σε επαφή. Βέβαια όσο περισσότερο το σχήμα ενός κόκκου απέχει από εκείνο της τέλει σφαίρας, τόσο μεγαλύτερη είναι η διατμητική αντίσταση και τόσο μεγαλύτερο το εύρος μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης πυκνότητας.

### ο **Συνεκτικά εδάφη**

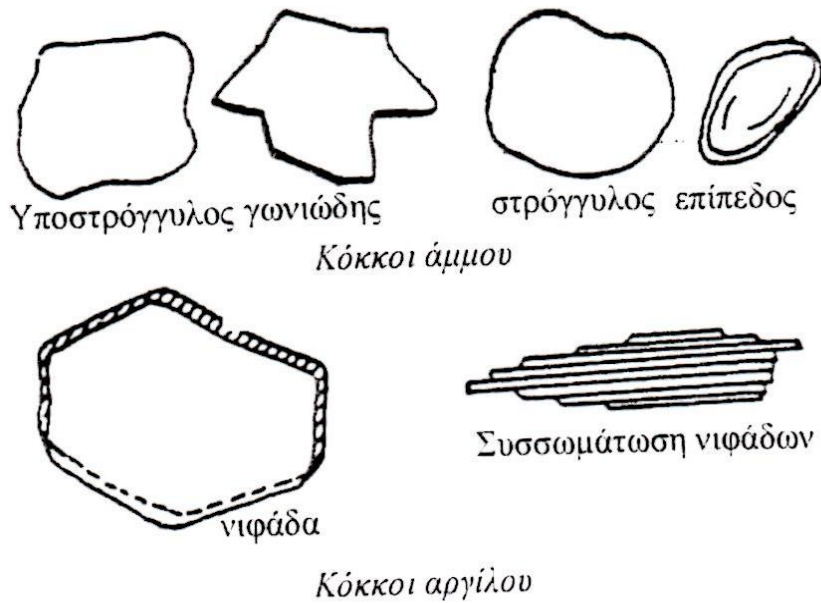
Συνεκτικά είναι τα αργιλικά εδάφη επειδή παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους (που οφείλεται στις ηλεκτρικές έλξεις μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων).

Τα αργιλικά ορυκτά έχουν μορφές δύο φύλλων και έχουν σχήματα νιφάδων. Μερικές νιφάδες στοιβάζονται η μία πάνω στην άλλη και διαμορφώνουν το μέγεθος του μορίου της αργίλου.

Εκτενέστερα για τις αργίλους θα αναφερθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.



### Σχήμα κόκκων Άμμου -Αργίλου



Σχήμα [6] : Σχήμα Κόκκων Άμμου- Αργίλου

#### ο Χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα

Τόσο τα κοκκώδη όσο και τα συνεκτικά εδάφη, μπορούν να συμπεριφερθούν με τρόπο στραγγισμένο ή αστράγγιστο. Για να αποφευχθεί η σύγχυση μεταξύ αυτών των όρων, τα εδάφη περιγράφονται ως:

- Πολύ χονδρόκοκκα εδάφη, κόκκοι μεγαλύτεροι από 60mm, πχ κροκάλες και λατύπες
- Χονδρόκοκκα εδάφη, περισσότερο από 65% άμμος ή και χαλίκια
- Λεπτόκοκκα εδάφη, περισσότερο από 35% άργιλος ή και υλής
- Οργανικά εδάφη, αποτελούνται είτε από τύρφη, είτε από λεπτόκοκκα, χονδρόκοκκα, ή πολύ χονδρόκοκκα εδάφη με οργανική σύσταση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ & ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

### 2.1 ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

Ο όρος άργιλος δεν είναι μονοσήμαντος. Είναι δυνατό να σημαίνει , είτε ένα κλάσμα ορισμένου μεγέθους κόκκων (αργιλικό κλάσμα) , είτε ένα ιζηματογενές πέτρωμα, με ορισμένο ποσοστό αργιλικού κλάσματος. Ως αργιλικό κλάσμα χαρακτηρίζεται συνήθως το υλικό το οποίο αποτελείται από κόκκους με διάμετρο μικρότερη από 2 μ (μικρά) δηλαδή 0,002 mm. Επομένως καταλήγουμε ότι τα αργιλικά εδάφη αποτελούν το πιο λεπτόκοκκο έδαφος.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες επίδρασης της αργίλου είναι:

- A) Η περιεκτικότητα σε νερό
- B) Η χημική σύνθεση των κόκκων
- Γ) Η υφή του εδάφους
- Δ) Η προϊστορία του εδάφους

Η συμπεριφορά της αργίλου εξαρτάται και από διάφορους δευτερογενής παράγοντες , όπως είναι η θερμοκρασία , η ταχύτητα, αυξήσεως των τάσεων και των παραμορφώσεων κ.α.

## 2.2 ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

Τα αργιλικά ορυκτά είναι πολύ σημαντικά από γεωτεχνικής πλευράς διότι καθορίζουν συνήθως τη γεωμηχανική συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών.

Αποτελούνται από πλακόμορφους σχηματισμούς, που δεν έχουν την ίδια σύσταση με το μητρικό πέτρωμα και παρουσιάζουν πολύ μεγάλη “ειδική επιφάνεια” Έχουν επίσης φυλλόμορφη δομή με μικρές διαστάσεις των φυλλόμορφων σωματιδίων (<0.002mm) και ηλεκτρικά φορτισμένες επιφάνειες.

### Συγκεκριμένα

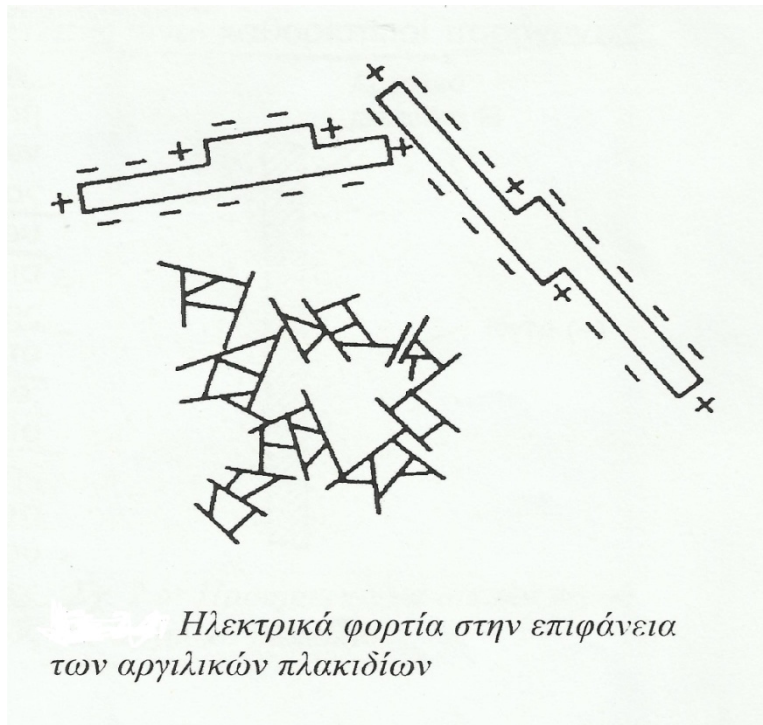
Οι κόκκοι των αργιλικών ορυκτών είναι πάρα πολύ μικροί ώστε να είναι ορατοί με γυμνό μάτι – οι διατάξεις τους αναφέρονται ως μικροδομές ή μικροπλέξεις και η γνώση μας για την δομή των κόκκων προέρχεται κυρίως από μελέτες με ηλεκτονικό μικροσκόπιο. Η μικροδομή των αργιλικών εδαφών είναι εξαιρετικά πολύπλοκη αλλά φαίνεται να επηρεάζεται κυρίως από την ποσότητα και τον τύπο των παρόντων αργιλικών ορυκτών, την αναλογία ιλύος και άμμου, το περιβάλλον της απόθεσης και την χημική φύση του νερού των πόρων.

Επίσης, οι κόκκοι των αργιλικών ορυκτών είναι πολύ πεπλατυσμένοι και έχουν την μορφή πλακιδίων (αργιλικά πλακίδια) με μικρό πάχος που είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μόριό τους.

Αντίθετα στις άλλες δύο διαστάσεις ο κρύσταλλος των αργιλικών πλακιδίων αναπτύσσεται κανονικά με την διάταξη μεγάλου αριθμού μορίων. Λόγω των ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων και της πλάκοειδούς μορφής των αργιλικών ορυκτών η αλληλεπίδραση μεταξύ των πλακιδίων διέπεται και από άλλες δυνάμεις πέραν της βαρύτητας και της τριβής μεταξύ των πλακιδίων.

Ειδικότερα έχουν επιφάνειες (έδρες και ακμές) ηλεκτρικά φορτισμένες. Η άνω και κάτω (μεγάλες) επιφάνειες φέρουν αρνητικά φορτία και η περιφέρεια (το πάχος) φέρει ίσα και αντίθετα θετικά φορτία .

Αυτό φαίνεται παρακάτω αναλυτικά στο σχήμα

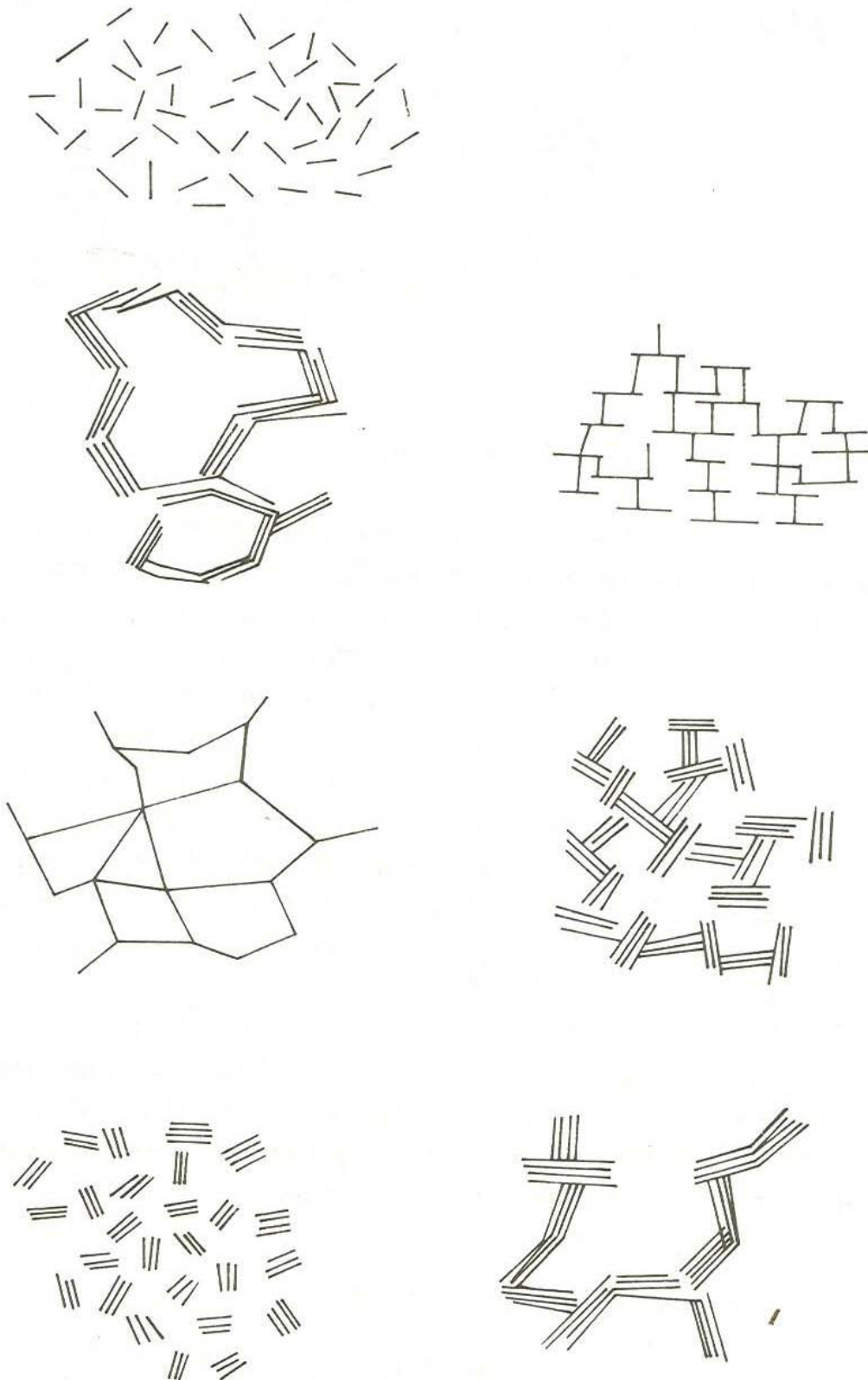


Σχήμα [7] : Αργιλικά πλακίδια

Οι επιφανειακές ηλεκτρικές δυνάμεις έλξης και άπωσης, που πρακτικά δεν εμφανίζονται στα χονδρόκοκκα εδάφη, κυριαρχούν στα λεπτόκοκκα εδάφη , επειδή η έντασή τους είναι αρκετές τάξεις μεγέθους ισχυρότερες από τις δυνάμεις βαρύτητας.

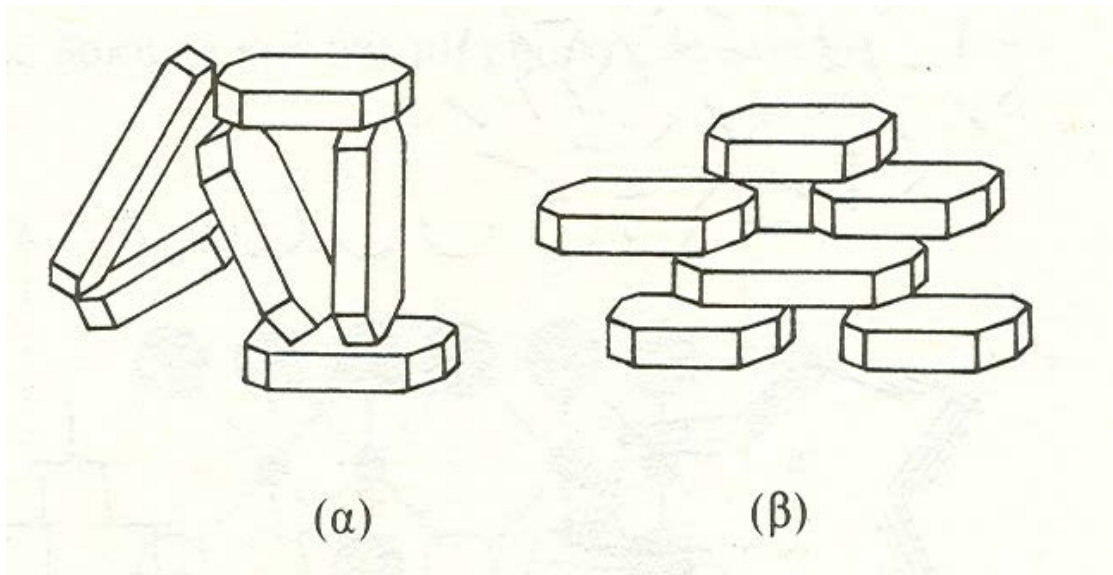
Πιο συγκεκριμένα ο λόγος των ηλεκτρικών δυνάμεων ( που είναι ανάλογες της επιφάνειας) προς τις δυνάμεις βαρύτητας (που είναι ανάλογες της μάζας ) εξαρτάται από την **ειδική επιφάνεια** , δηλαδή το λόγο της επιφάνειας προς τη μάζα του πλακιδίου.

Από το σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται οι βασικοί τρόποι με τους οποίους συνδέονται οι κόκκοι της αργίλου.



Σχήμα [8] : βασικοί τρόποι με τους οποίους συνδέονται οι κόκκοι της αργίλου.

Από πρακτική άποψη όμως δύο είναι οι τρόποι επαφής των κόκκων που ενδιαφέρουν τον μηχανικό



Σχήμα [9] : Τρόποι επαφής των κόκκων της αργίλου

Στην περίπτωση (α) οι επαφές γίνονται μεταξύ των κόκκων ενώ στην περίπτωση (β) δημιουργούνται κενά μεταξύ των κόκκων . Επίσης οι τάσεις μεταφέρονται υπό μορφή ηλεκτρικού φορτίου.

Πιο συγκεκριμένα:

Στη μορφή (α) η άργιλος παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή και μικρότερη τάση προς παραμόρφωση καθώς και αυξημένη διαπερατότητα.

Όταν διαταραχθεί η άργιλος περνά από την μορφή (α) στην μορφή (β) των παράλληλων κόκκων, χάνεται ένα μεγάλο μέρος της αντοχής της και παρουσιάζονται τάσεις για μεγάλες παραμορφώσεις προς την διεύθυνση των κόκκων. Οι δύο δομές που μπορεί να αντιστοιχούν στον ίδιο δείκτη πόρων έχουν έτσι διαφορετική μηχανική συμπεριφορά.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ η μορφή (α) είναι πρακτικά ισότροπη, η μορφή (β) είναι ανισότροπη και η μείωση της αντοχής και η αύξηση της παραμορφώσεως αντιστοιχεί στη διεύθυνση του μεγάλου άξονα των κόκκων, ενώ στην κάθετη διεύθυνση η άργιλος θα πρέπει να παρουσιάζει αντίθετα μηχανικά χαρακτηριστικά

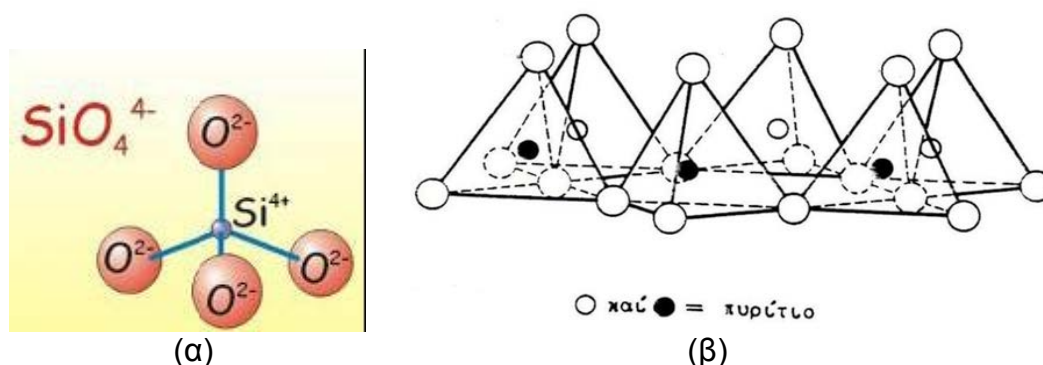
## 2.3 ΔΟΜΗ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

### ΔΟΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Δύο είναι οι βασικές δομικές μονάδες των αργιλικών ορυκτών:

- ο **Τετράεδρο του Πυριτίου**, το οποίο αποτελείται από 4 άτομα οξυγόνου (O) διατεταγμένα γύρω από ένα άτομο Πυριτίου (Si).

Συγκεκριμένα το πυρίτιο βρίσκεται στο κέντρο του τετραέδρου και στις τέσσερις κορυφές του από ένα άτομο οξυγόνου. Τα τετράεδρα αυτά συνδέονται μεταξύ τους με τα οξυγόνα των κορυφών τους και κατά τρόπο ώστε να σχηματίζουν εξαγωνικούς δακτυλίους οι οποίοι επαναλαμβάνονται απεριόριστα. Τα τετράεδρα είναι προσανατολισμένα έτσι ώστε όλες οι βάσεις τους να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και όλες οι κορυφές να έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Από την σύνδεση των τετραέδρων σχηματίζονται το λεγόμενο φύλλο πυριτίου (τετράεδρη στρώση) το οποίο απεικονίζεται συμβολικά με ένα τραπέζιο.



Σχήμα [10]: (α) Το Τετράεδρο του Πυριτίου στο χώρο, (β) Το Τετράεδρο στρώμα

- ο **Οκτάεδρο του Αργιλίου**, το οποίο συνίσταται από 6 άτομα υδροξυλίου, γύρω από ένα άτομο αργιλίου (Al).

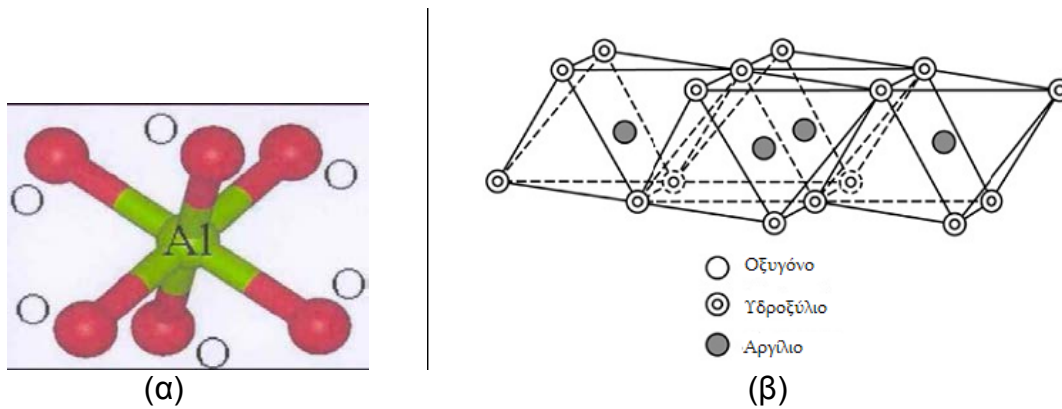
Στα οκτάεδρα του Αργιλίου έξι υδροξύλια κατέχουν τις γωνίες ενός οκταέδρου στο κέντρο του οποίου βρίσκονται ιόντα αργιλίου ή σιδήρου ή μαγνησίου ή άλλο ιόν.

Τα οκτάεδρα του αργιλίου, συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζονται το λεγόμενο φύλλο αργιλίου (οκτάεδρη στρώση) ή φύλλο του Γκιψίτη (Gibbsite) το οποίο απεικονίζεται συμβολικά με ένα ορθογώνιο.

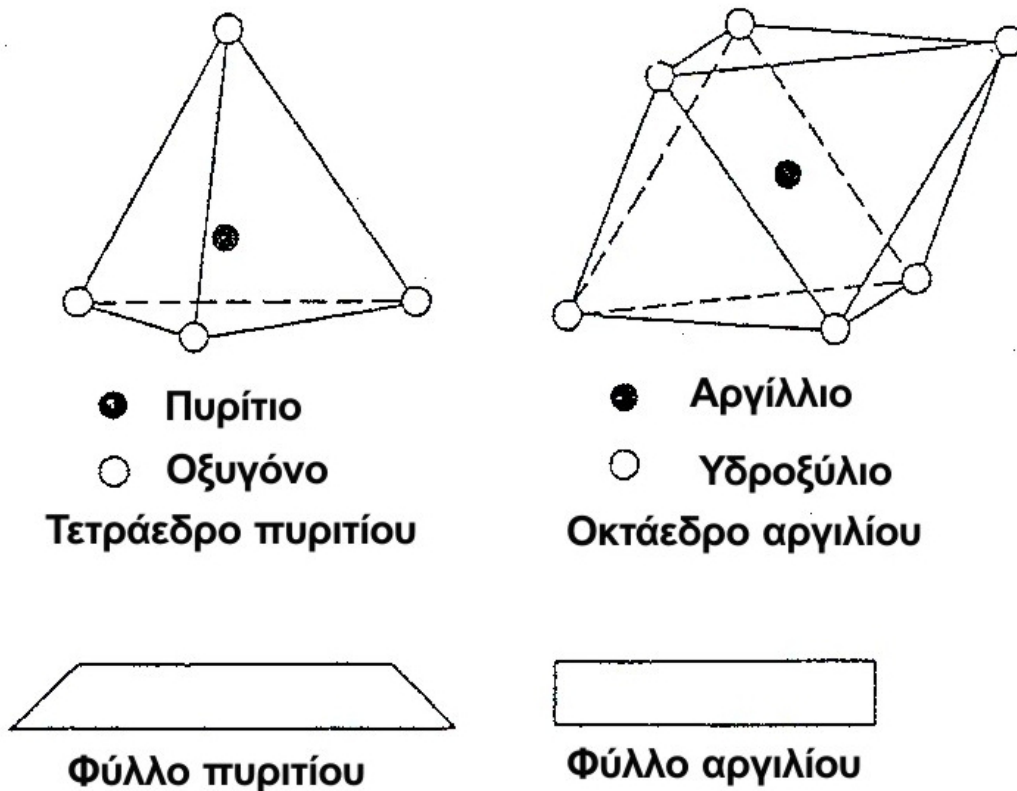
Αν αντί αργιλίου στο οκτάεδρο έχουμε μαγνήσιο (Mg) ο συνδυασμός των οκταέδρων δίνει Βρουσίτη (Brucite).

Τα ορυκτά Γκιψίτης και Βρουσίτης είναι σταθερά καθώς είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Αντίθετα οι οκταεδρικές στρώσεις δεν είναι ουδέτερες ηλεκτρικά γι' αυτό και δεν συναντώνται μόνες τους στη φύση.

Κατά την σύνδεσή τους τα επιμέρους οκτάεδρα μοιράζονται μία ακμή, όπως φαίνεται και στο σχήμα.



Σχήμα [11] : (α) Το οκτάεδρο Αργιλίου στο χώρο, (β) Το οκταεδρικό στρώμα (Murray, 2007)



Σχήμα [12] : Οι βασικές δομικές μονάδες των αργιλικών ορυκτών.



### **2.3.1 ΣΥΝΗΘΗ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ**

Πριν ξεκινήσουμε την περιγραφή των πιο σημαντικών αργιλικών ορυκτών θεωρούμε σκόπιμο να αναφέρουμε ότι τα διάφορα αργιλικά ορυκτά προέρχονται από το συνδυασμό του τετραέδρου του πυριτίου και του οκταέδρου του αργιλίου, με τη μορφή δομής **1:1 (twolayer sheets)**, με τη μορφή δομής **2:1 (three-layer sheets)**, με τη μορφή δομής **2:1:1**

Με βάση την δομή τους τα κρυσταλλικά αργιλικά ορυκτά διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

#### **❖ Τα ορυκτά 1:1 :**

Σχηματίζονται από την εναλλαγή ενός φύλλου τετραέδρων και ενός φύλλου οκταέδρων . Με κύριο εκπρόσωπο τον Καολινίτη, τον Άλλουσίτη και τον Σερπεντίτη

#### **❖ Τα ορυκτά 2:1 :**

Αυτά έχουν δύο τετράεδρα Si με ένα ενδιάμεσο φύλλο οκταέδρου Al. Στα πλακίδια των ορυκτών αυτών οι βάσεις των τετράεδρων Si είναι προς τα έξω και οι κορυφές προς τα μέσα. Στα ορυκτά 2:1 έχουμε εκτεταμένη ισόμορφη αντικατάσταση ως εξής:

- ✓ • Στα 4εδρα Si: αντικατάσταση Si από Al
- ✓ • Στα 8εδρα Al: αντικατάσταση Al από  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  ή  $Ni^{2+}$

Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν πολλά αρνητικά φορτία στις επιφάνειες των ορυκτών 2:1.

Όπως θα δούμε και παρακάτω που θα περιγράψουμε τα σημαντικότερα αργιλικά ορυκτά, η ύπαρξη αυτού του αρνητικού φορτίου λόγω της ισόμορφης αντικατάστασης επηρεάζει σημαντικά την δομή των αργιλικών ορυκτών.

Κύριοι εκπρόσωποι των 2:1 είναι ο Μοντμοριλονίτης και ο Ιλλίτης.

#### **❖ Τα ορυκτά 2:1:1**

Αυτά είναι ορυκτά παρόμοια σε μορφολογία με τα 2:1, δηλαδή 2 4εδρα Si με ενδιάμεσο φύλλο 8έδρου Al.

Εδώ όμως υπάρχει και ένα ακόμα ενδιάμεσο φύλλο, που είναι οξειδίο του Mg. Το φύλλο αυτό το ονομάζουμε **γέφυρα βρουσίτη** (γιατί το οξειδίο του Mg λέγεται βρουσίτης). Κύριος εκπρόσωπός τους είναι ο **χλωρίτης**.

Τα συνηθέστερα αργιλικά ορυκτά είναι:

- ο **Καολινίτης**

Ο καολινίτης αποτελείται βασικά από επαναλαμβανόμενες στρώσεις ενός τετραεδρικού και ενός οκταεδρικού φύλλου (ορυκτό δομής 1:1). Τα δύο φύλλα συνδέονται έτσι ώστε οι κορυφές του τετραεδρικού φύλλου να βρίσκονται σε ένα επίπεδο με τα (OH) του οκταεδρικού φύλλου. Η βασική απόσταση είναι 0.72nm.

Ο κρύσταλλος του καολινίτη αποτελείται από πολλές στρώσεις, που συγκρατούνται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των υδροξυλίων του οκταεδρικού φύλλου και των οξυγόνων του τετραεδρικού φύλλου. Επειδή ο δεσμός αυτός είναι σχετικά ισχυρός (σε σχέση με τις δυνάμεις van der Waals), εμποδίζει την προσρόφηση νερού στο διαστρωματικό χώρο και επιτρέπει στα στρώματα να στοιβάζονται και να δημιουργούν ένα σχετικά μεγάλο κρύσταλλο. Τυπικός κρύσταλλος καολινίτη μπορεί να έχει πάχος 70 έως 100 στρωμάτων.

- ο **Αλλουσίτης**

Ο Αλλουσίτης αποτελεί μέλος της οικογένειας του Καολινίτη με δομή 1:1 με ουδέτερα (χωρίς φορτίο) διοκταεδρικά φύλλα και χημικό τύπο:  $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ . Ο αλλουσίτης συνίσταται από όχι καλά διευθετημένα φύλλα τύπου καολινίτη, που χωρίζονται από ποικίλα στρώματα νερού μεταξύ των φύλλων και είναι σχήματος σωληνοειδή (tubular).

Όταν αφυδατώνεται (μετά από θέρμανση τους στους 100 °C ) παίρνουμε τον μεταλλοϋσίτη . Η αφυδάτωση του αλλοϋσίτη μπορεί να μην είναι πλήρης. Ο μεταλλοϋσίτης που προκύπτει διατηρεί ένα περιεχόμενο σε νερό που δεν είναι αμελητέο.

- ο **Μοντμοριλλονίτης**

Ο μοντμοριλλονίτης ανήκει στην ομάδα των σμεκτιτών. Αποτελείται από δύο τετραεδρικά φύλλα και ένα οκταεδρικό (ορυκτό δομής 2:1). Το οκταεδρικό φύλλο είναι μεταξύ των δύο τετραεδρικών με τις κορυφές των τετραεδρικών συνδυναζόμενες με τα υδροξύλια των οκταεδρικών ώστε να δημιουργούν ένα στρώμα. Η βασική απόσταση είναι περίπου 0.96nm.

Η σύνδεση μεταξύ των κορυφών των τετραεδρικών φύλλων είναι με δυνάμεις van der Waals που είναι ασθενείς. Τούτο σε συνδυασμό με ένα έλλειμμα αρνητικού φορτίου στο οκταεδρικό φύλλο (το οποίο αναπτύσσεται κατά την ισόμορφη αντικατάσταση) , επιτρέπει στο νερό και τα ιόντα υποκατάστασης να εισέλθουν στο διαστρωματικό χώρο και να διαχωρίσουν τα στρώματα. Έτσι οι κρύσταλλοι του μοντμοριλλονίτη μπορούν να είναι πολύ μικροί και να προσροφούν ισχυρά, μεγάλη ποσότητα νερού.

- **Ιλλίτης**

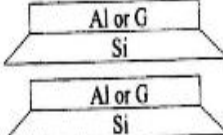
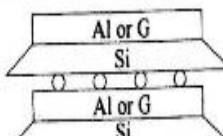
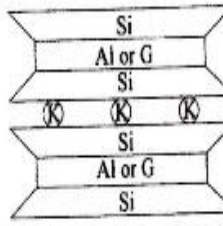
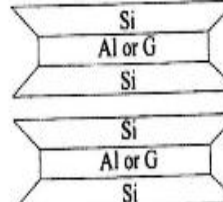
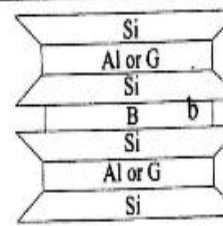
Ο ιλλίτης ή ένυδρος μίκα είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιακών ορυκτών και πρόκειται για προϊόν αποσάθρωσης των μαρμαρυγιών.

Έχει και αυτός δομή 2:1, όπως και ο μοντμοριλλονίτης, με την διαφορά ότι στον ιλλίτη πολλά από τα άτομα του πυριτίου των τετραέδρων έχουν υποκατασταθεί με άτομα αργιλίου και το αρνητικό φορτίο που προκύπτει από την ισόμορφη αυτή υποκατάσταση στις τετραεδρικές στιβάδες εξουδετερώνεται από κατιόντα καλίου. Τα κατιόντα καλίου συνδέονται με τις γειτονικές δεσμίδες με ισχυρούς δεσμούς, πράγμα που συνεπάγεται αδυναμία εισχωρήσεως μορίων νερού τα οποία προκαλούν φαινόμενα διόγκωσης όπως και στον μοντμοριλλονίτη.

- **Χλωρίτης**

Ο χλωρίτης ανήκει επίσης στα φυλλοπυριτικά ορυκτά (ομάδα των χλωριτών). Στη δομή τετραεδρικών – οκταεδρικών - τετραεδρικών φύλλων (όπως ο μοντμοριλλονίτης) προστίθεται ένα οκταεδρικό με κατιόν είτε Al (γκιμπσίτης) είτε Mg (βρουσίτης). Σύμφωνα με τη διάταξη των στρώσεων του, χαρακτηρίζεται ως τετραμορφικό ορυκτό ή δομής 2:1:1. Ο χλωρίτης δύναται να έχει σημαντική ισόμορφη υποκατάσταση και να του λείπει συχνά μία στρώση βρουσίτη ή γιμπσίτη. Ως εκ τούτου το νερό δύναται να εισχωρήσει μεταξύ των στρώσεων και να προκαλέσει διόγκωση.

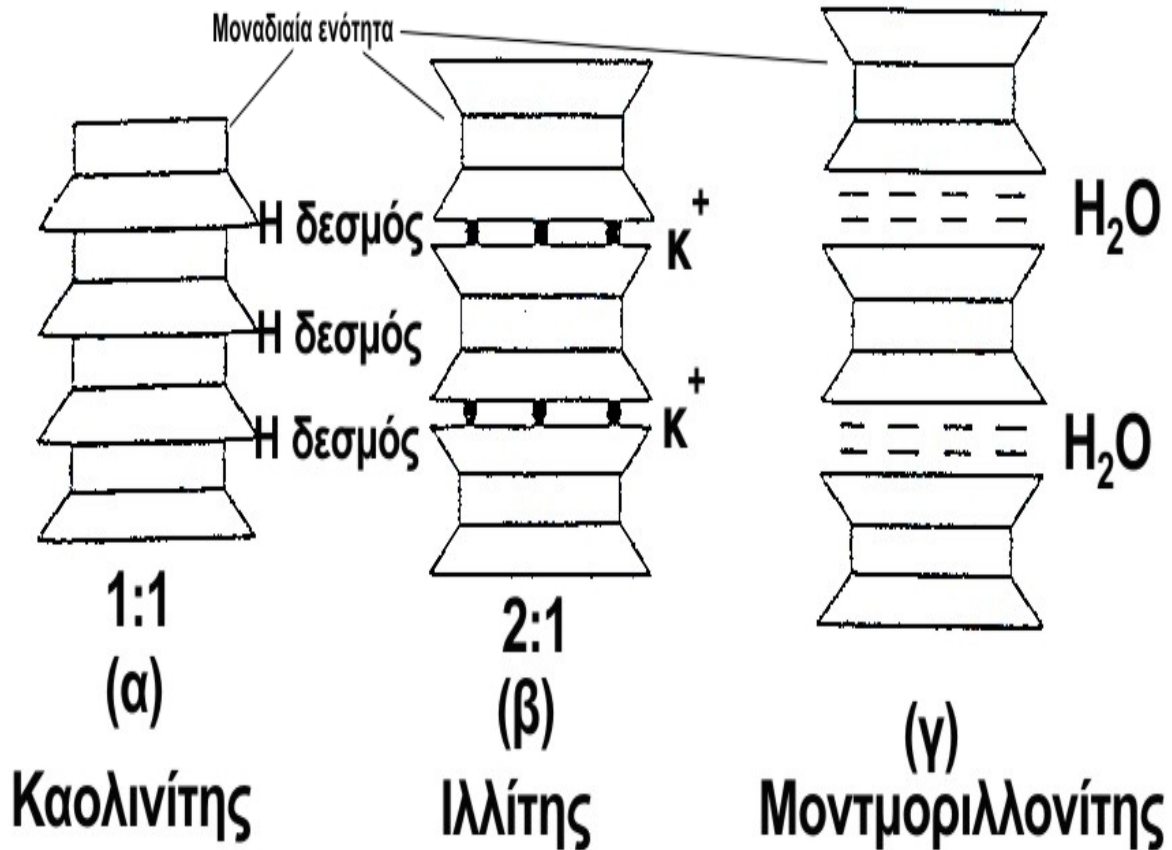
**Πίνακας 1.3** Δομή των αργιλικών ορυκτών

Ορυκτό	Δομή στρώσης	Δομή στοιβάδας	Σύνδεση μεταξύ των στρώσεων	Ικανότητα βασικής ανταλλαγής me/100g	Μορφή του ορυκτού
Καολινίτης	1:1		Δεσμοί υδρογόνου (ισχυροί)	3 – 15	Φυλλώδης Εξαγωνική
Αλλουσίτης	1:1		Ένυδρη με μόρια νερού	6 – 12	Σωληνοειδείς
Ιλλίτης	2:1		Ιόντα καλίου (ασθενέστεροι από τους δεσμούς υδρογόνων)	10 – 15	Φυλλώδης
Μοντμοριλλονίτης	2:1		Δυνάμεις van der Waals ανταλλάξιμα ιόντα μόρια νερού (ασθενείς) molecules	80 – 140	Λεπτά φύλλα
Χλωρίτης	2:1:1		Πλάκα βρουσίτη	20	Φυλλώδεις

Σχήμα [13] : Δομή των αργιλικών Ορυκτών (από Barnes)

Απομονώσαμε τα συνηθέστερα αργιλικά ορυκτά τον καολινίτη , τον ιλλίτη και τον μοντμοριλλονίτη και στο Σχήμα [14] που ακολουθεί παρουσιάζουμε τον τρόπο δημιουργίας τους, από το συνδυασμό του τετραέδρου του πυριτίου και του οκταέδρου του αργιλίου και τους δεσμούς που αναπτύσσονται.

Ενώ στον πίνακα [1], φαίνεται η χημική τους σύσταση.



Σχήμα [14] : Δομή του Καολινίτη, Ιλλίτη και Μοντμοριλλονίτη

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 14 ένα αργιλικό ορυκτό αποτελείται στην πραγματικότητα από πολύ μεγάλο αριθμό φύλλων βασικής δομής. Για παράδειγμα ένα μόριο Καολινίτη αποτελείται από 115 διπλά φύλλα δομής 1:1.

Ορυκτό	Χημική σύσταση
Καολινίτης	$Al_4 [SiO_{10}](OH)_8$ ή $2Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 4H_2O$
Ιλλίτης	$Al_4(Si_8)O_{20}(OH)_4$
Μοντμοριλλονίτης	$(K,NA,Ca_2)_m(Al,Mg)_8O_{20} \cdot nH_2O$

Πίνακας [1] : Χημική σύσταση των τριών πιο σημαντικών Αργιλικών Ορυκτών

### ΟΜΑΔΕΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Τα ορυκτά της αργίλου ανάλογα με την διάταξη των τετράεδρων και οκτάεδρων στρώσεων διακρίνονται στις εξής τρεις ομάδες όπως φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα [2].

A/A	ΟΜΑΔΑ	ΔΟΜΗ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Καολινίτη	1:1	Η κρυσταλλική δομή των ορυκτών της ομάδας αυτής αποτελείται από μία στρώση τετράεδρων του πυριτίου και μία στρώση οκταέδρων του αργιλίου
2	Μοντμοριλλονίτη και Μαρμαρυγιακών ορυκτών	2:1	Στην ομάδα αυτή, μια στρώση οκταέδρων αργίλου βρίσκεται μεταξύ δύο στρώσεων τετράεδρου πυριτίου. Οι στρώσεις συνδέονται μεταξύ τους με άτομα O και OH
3	Χλωρίτη	2:1:1.	Στην ομάδα των χλωριτών δύο στρώσεις οκταέδρων αργίλου και δύο στρώσεις τετράεδρων πυριτίου εναλλάσσονται ανά μία στο κρυσταλλικό πλέγμα το οποίο σχηματίζουν

Πίνακας [2] : Ομάδες Αργιλικών Ορυκτών

## 2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Τα αργιλικά ορυκτά παρουσιάζουν ιδιόμορφες ιδιότητες που επηρεάζουν τα εδάφη που τα περιέχουν από πλευράς γεωμηχανικής συμπεριφοράς . Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

### ο *Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων*

Μια από τις βασικές ιδιότητες των αργίλων είναι το ηλεκτρικό φορτίο στα μόρια τους, γεγονός που σημαίνει ότι οι άργιλοι θα προσροφούν κατιόντα ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  κ.α) ή και ανιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , κ.α.) που θα εξουδετερώνουν το φορτίο των φύλλων τα οποία θα είναι όμως ανταλλάξιμα.

Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να αντικαθίστανται από άλλα κατιόντα ή ανιόντα αντίστοιχα, όταν έρθουν σε επαφή με αυτά τα ιόντα σε υδατικό διάλυμα.

Το φορτίο των φύλλων είναι κατά κανόνα αρνητικό εκτός και εάν βρίσκονται σε εξαιρετικά όξινες συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι οι άργιλοι τείνουν να προσροφούν κατιόντα και έχουν μια ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων .Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, λοιπόν, χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό του ποσού των ανταλλάξιμων ιόντων που μπορούν να συγκρατηθούν σε μια αργιλική δομή. Αυτό σημαίνει ότι μετρά τα ιόντα στις εσωτερικές ή εξωτερικές επιφάνειες ενός αργιλικού ορυκτού (απορρόφηση και προσρόφηση ιόντων αντίστοιχα για την κάθε επιφάνεια).

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων μετριέται σε meq/100gr αργίλου. Το φορτίο στην επιφάνεια της αργίλου σε θέσεις προσρόφησης είναι συνήθως της τάξης των 5-10 meq/100gr. αργίλου. Το φορτίο που μετριέται ως ανταλλαγή σε θέσεις μεταξύ των φύλλων της αργίλου ή εντός της δομής ποικίλει από 40-120 meq/100gr. αργίλου (Τσώλη-Καταγά, 2007).

Οι τύποι των φορτίων είναι δύο:

Το **σταθερό ή δομικό** λόγω των ιοντικών αντικαταστάσεων ή δομικών ατελειών και το **επιφανειακό** λόγω των σπασμένων δεσμών.

Η κύρια προέλευση του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου στα μόρια των αργίλων είναι το φαινόμενο της ισόμορφης υποκατάστασης κατά το οποίο τα κατιόντα των οκταέδρων ή των τετραέδρων υποκαθίστανται από κατιόντα μικρότερου φορτίου που έχουν παρόμοιο μέγεθος ώστε να προσαρμόζονται στη δομή.

Οι σπασμένοι δεσμοί στα άκρα των μορίων μπορεί να συνεισφέρουν στην ικανότητα ανταλλαγής κυρίως στις αργίλους της ομάδας του καολινίτη . Επίσης σε αλκαλικές συνθήκες τα φορτία που οφείλονται στις ανωμαλίες των άκρων είναι θετικά, γεγονός που οδηγεί σε προσρόφηση ανιόντων παρά κατιόντων σε αυτές τις θέσεις.

Συμπερασματικά :

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων είναι από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών διότι μετρά:

- ✓ Την ειδική επιφάνεια και το φορτίο σε αυτή την επιφάνεια
- ✓ Τον αριθμό των ιόντων αυτών που έχουν απορροφηθεί μεταξύ των φύλλων της αργιλικής δομής και αυτών που έχουν προσροφηθεί στις εξωτερικές επιφάνειες

#### ο **Πλαστικότητα**

Είναι η ιδιότητα του μείγματος αργίλου-νερού να μορφοποιείται κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και να διατηρεί αυτή τη μορφή μετά την ξήρανση και το ψήσιμο. Κατά την επαφή με το νερό τα αργιλικά ορυκτά, περιβάλλονται από ένα λεπτό υδάτινο υμένιο, εξ' αιτίας του οποίου εξασθενίζουν οι δυνάμεις συνοχής και ελαττώνεται η τριβή, με αποτέλεσμα το μίγμα αργίλου-νερού να γίνεται πλαστικό.

Η πλαστικότητα εξαρτάται από:

- ✓ Τη μορφή των σωματιδίων (φυλλώδης ή πρισματική).
- ✓ Τις δυνάμεις που συνδέουν τα σωματίδια μεταξύ τους (ασθενέστερες στον μοντμοριλλονίτη, ισχυρότερες στον каоλινίτη).
- ✓ Το είδος των προσροφημένων ιόντων ( $\text{Na}^{1+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,...).
- ✓ Το πάχος των υδάτινων υμενίων.

*Μέτρο της πλαστικότητας* είναι η ποσότητα του νερού που χρειάζεται μια άργιλος για να αποκτήσει τη μέγιστη πλαστικότητά της. Λέγεται *νερό πλαστικότητας* και εκφράζεται σε  $\text{cm}^3$  επί τοις %.

Η πλαστικότητα μιας άργιλου ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε αργιλικό κλάσμα, σε μοντμοριλλονίτη, σε οργανική ουσία κλπ.

#### ο **Υδροπερατότητα.**

Το πολύ μικρό μέγεθος των αργιλικών ορυκτών και η συγκράτηση νερού στο χώρο μεταξύ των φύλλων των δομικών μονάδων, απαγορεύει τη διέλευση νερού.

Συνεπώς τα αργιλικά ορυκτά είναι μη περατά.



- ο **Προσρόφηση του ύδατος**

Η επιρροή του νερού στη μηχανική συμπεριφορά των χονδρόκοκκων εδαφών είναι πρακτικά μηδενική, εφόσον η επιβολή της φόρτισης γίνεται με επαρκώς βραδύ ρυθμό. Αντίθετα όμως, η συμπεριφορά των λεπτόκοκκων εδαφών όπως είναι τα αργιλικά εδάφη επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία και την ποσότητα του νερού στους πόρους.

Η επιρροή αυτή οφείλεται κυρίως στην ηλεκτρική αλληλεπίδραση του νερού με τις φορτισμένες επιφάνειες των αργιλικών πλακιδίων.

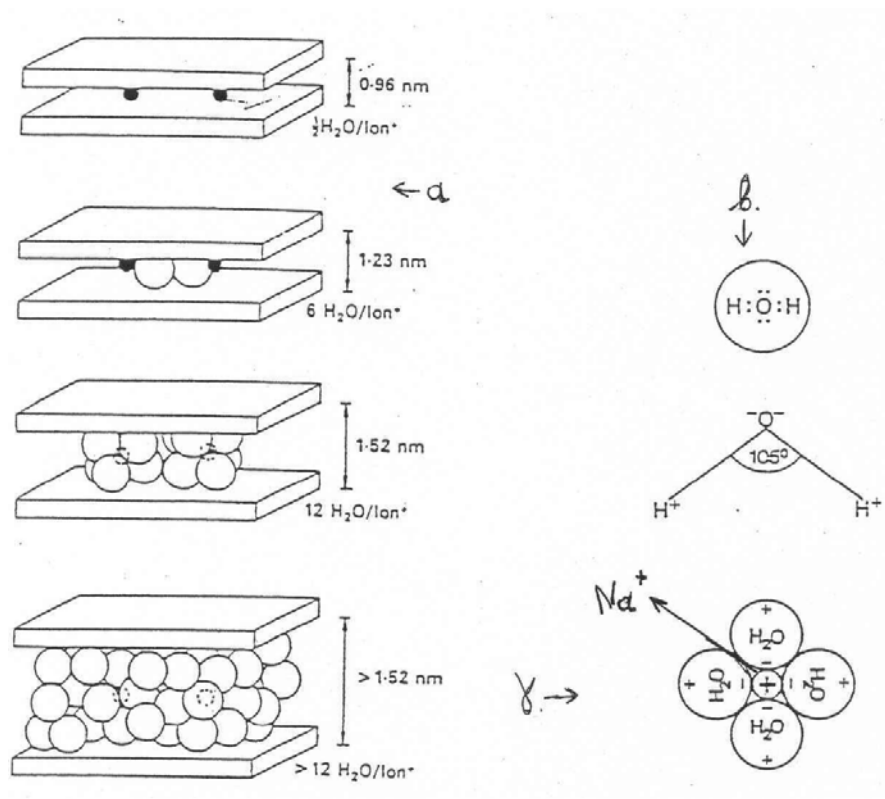
Όπως είναι γνωστό, το μόριο του νερού, αν και ηλεκτρικά ουδέτερο, παρουσιάζει τις ιδιότητες *ηλεκτρικού διπόλου*, με κέντρα θετικού και αρνητικού φορτίου που δεν ταυτίζονται.

Τα ηλεκτρικά αυτά δίπολα έλκονται προς την ηλεκτρικά φορτισμένη επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και *προσροφώνται* σε αυτή, δηλαδή συνδέονται ισχυρά με την επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και αποτελούν ενιαίο σώμα.

Η έλξη των διπόλων του νερού προς τα αργιλικά πλακίδια είναι πολύ ισχυρή κοντά στην επιφάνεια και μειώνεται ραγδαία με την απόσταση από την επιφάνεια, επειδή, ως γνωστόν, οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης.

Έτσι, δημιουργείται μια ζώνη γύρω από το αργιλικό πλακίδιο, στην οποία το προσροφημένο νερό έχει ιδιότητες πολύ διαφορετικές από το ελεύθερο νερό που βρίσκεται έξω από τη ζώνη αυτή. Η ζώνη (στρώση) του προσροφημένου νερού γύρω από το αργιλικό πλακίδιο ονομάζεται **διπλή στρώση**, επειδή αναπτύσσεται και στις δύο επιφάνειες του πλακιδίου. Η ύπαρξη και το μέγεθος της διπλής στρώσης είναι καθοριστικοί παράγοντες των μηχανικών ιδιοτήτων των αργιλικών εδαφών. (Καββαδάς<sup>1</sup>)

Προσροφημένα δίπολα νερού σε αργιλικό πλακίδιο



Σχήμα [15] : Τρόπος προσρόφησης μορίων νερού σε αργιλικό πλακίδιο

ο Διόγκωση

Ορισμένα αργιλικά συσσωματώματα επιτρέπουν στα πολικά μόρια του νερού να εισέρχονται, μέσω της ενυδάτωσης των κατιόντων, στον ενδοστρωματικό χώρο με αποτέλεσμα τη διόγκωση (swelling) της αργίλου (αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των φύλλων της κρυσταλλικής δομής των αργιλικών ορυκτών).

Η διόγκωση αυτή είναι αποτέλεσμα της επικράτησης των απωστικών δυνάμεων έναντι των ελκτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στο σύστημα αργίλου και νερού και πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια Η διαδικασία της διόγκωσης είναι αντιστρέψιμη μέσω της αφυδάτωσης του αργίλου. Υπάρχουν δύο τρόποι αφυδάτωσης, η αφυδάτωσης μέσω αέρα ή μέσω λυοφιλίωσης

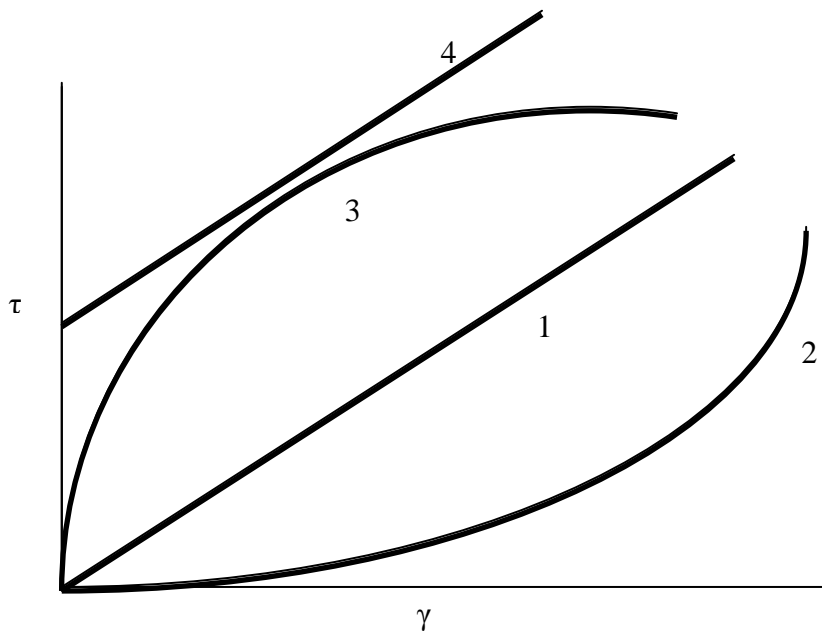
Όλες οι άργιλοι έλκουν μόρια νερού στην επιφάνεια τους (προσρόφηση-adsorption), αλλά μερικές μόνο προσλαμβάνουν τα μόρια νερού μέσα στη δομή τους (απορρόφηση-absorption).

ο **Θιξοτροπία - ευαισθησία**

Ρεολογικό προφίλ θιξότροπων ρευστών

Μια καλή απεικόνιση ρεολογικών ιδιοτήτων είναι η χρήση γραφικών παραστάσεων διατμητικής τάσεως- διατμητικού λόγου. Έτσι δημιουργούνται τέσσερις βασικές κατηγορίες ρεολογικής συμπεριφοράς ή τέσσερις τύποι ρευστών. Τα νευτώνεια ρευστά, που αυξάνουν τη διατμητική τους τάση ανάλογα του λόγου διάτμησης, τα διευρυνόμενα που αυξάνουν τη διατμητική τάση υπερβολικά, τα ψευδοπλαστικά, με ελλειπτική αύξηση, και τα πλαστικά Bingham που εμφανίζουν νευτώνειες ιδιότητες από μεγάλες τιμές διατμητικής τάσης ενώ σε μικρές τιμές καταρρέει το ρεολογικό προφίλ και σχηματίζεται πήγμα.

Ένα τέτοιο διάγραμμα εμφανίζεται στο Σχήμα [16]



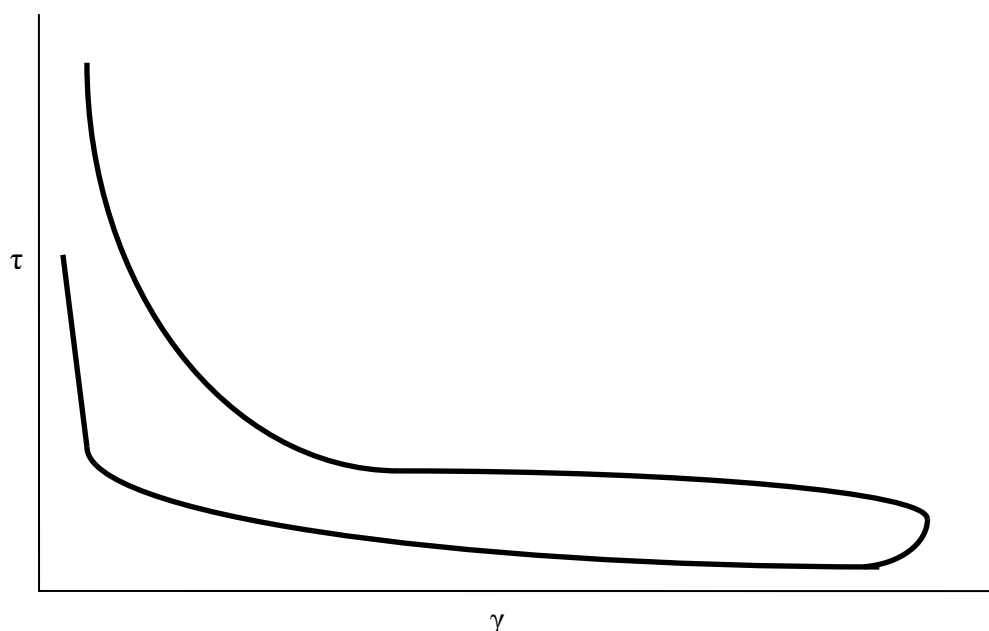
Σχήμα [16] : Απεικόνιση ρεολογικών συμπεριφορών

1. Νευτώνειο ρευστό
2. Διευρυνόμενο (πλαστικό) ρευστό
- 3 . Ψευδοπλαστικό ρευστό
4. Πλαστικό Bingham

Πολλά ρευστά εμφανίζουν ιδιότυπο ρεολογικό προφίλ, γεγονός που επιβάλλει τη χωριστή τους κατάταξη από την προαναφερθείσα και είναι ενδιαφέρουσα η ξεχωριστή τους μελέτη. Πρόκειται κυρίως για υγρά στα οποία και εμφανίζεται η ιδιότητα, σε ηρεμία να παράγουν πήγμα, ενώ με την παραμικρή άσκηση δύναμης στην επιφάνεια τους να ρευστοποιούνται. Τέτοια ρευστά ονομάζονται *θιξότροπα*, και το αντίστοιχο φαινόμενο *θιξοτροπία*.

Πρόκειται για ενδιάμεσης ρεολογικής καταστάσεως προς τα πλαστικά και ψευδοπλαστικά ρευστά, τα οποία εμφανίζουν πτώση της τιμής της τάσης διάτμησης του αυξανόμενου του λόγου διάτμησης  $\gamma$ , προσομοιάζοντας ψευδοπλαστικά ρευστά ως μίας οριακής τιμής, όπου η κατάσταση αναστρέφεται πλήρως και συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο, δηλαδή αύξηση του με πλαστικό τρόπο, ενώ μετά από την καμπή αυτή επανέρχεται το ρευστό σε ψευδοπλαστική μορφή.

Το σύνολο των παρατηρήσεων αυτών περιγράφονται στο Σχήμα [17]



Σχήμα [17] : Ρεολογικό προφίλ θιξότροπων ρευστών

Εξήγηση της συμπεριφοράς αυτής θα μπορούσε να δοθεί από τη μελέτη της χημικής δομής των ουσιών που αποτελούν ένα θιξότροπο κολλοειδές. Φαίνεται να αποτελούνται από ουσίες με γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες ώστε σε οριακές περιπτώσεις, όπως αυτές όπου οι τιμές του λόγου διατμήσεως μεγαλώνουν ή αλλιώς ελαττώνεται δραματικά ο χρόνος εφαρμογής ιξώδους δύναμης, αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις ικανές για συνένωση μυκηλιακών μορίων που εύκολα θα μπορούσαν να αντιδράσουν.

## Το φαινόμενο της Θιξοτροπίας στα Αργιλικά Ορυκτά

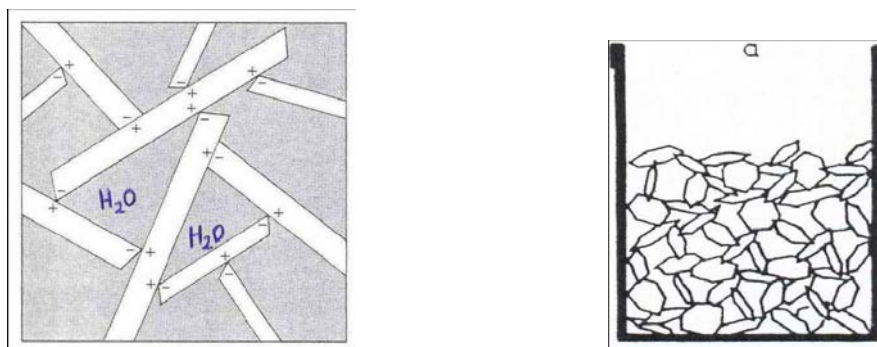
Πολλά αργιλικά ορυκτά και σε ανάμιξη με ορισμένη ποσότητα νερού σχηματίζουν αιωρήματα που με το χρόνο μεταπίπτουν σε σταθερούς πολτούς. Οι πολτοί αυτοί δεν ρέουν όταν υποστούν κλίση αλλά με σχετική δόνηση ή κτυπήματα μεταπίπτουν πάλι σε ρευστή μορφή.

Η ιδιότητα αυτή, αναστρέψιμη και επηρεαζόμενη από τον χρόνο, είναι γνωστή ως **θιξοτροπία** και οφείλεται στο ότι, τα αιωρούμενα αργιλικά σωματίδια, σταδιακά, παίρνουν τέτοιες θέσεις, έτσι ώστε τα μόρια του νερού να εγκλωβίζονται στα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στα αργιλικά ορυκτά και να μην μπορούν να κινηθούν ελεύθερα. Αναλυτικότερα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [18].

Πρόκειται για την ονομαζόμενη δομή “house of cards”, όπου τα αργιλικά σωματίδια είναι συνδεδεμένα σε ένα τρισδιάστατο δίκτυο. Κάθε δυνατό χτύπημα μπορεί να χαλάσει αυτό το σκελετό και το αιώρημα μπορεί να κινηθεί πάλι, ελεύθερα.

Ο μοντμοριλλονίτης αναπτύσσει θιξοτροπία σε μεγάλο βαθμό. Θιξοτροπία σε μικρό βαθμό είναι δυνατό να αναπτύξουν μερικοί καολίνες ιζηματογενούς προέλευσης, όταν είναι επεξεργασμένοι με  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Επίσης, στη θιξοτροπία βασίζεται η θεμελίωση με έγχυτους πασσάλους. Συγκεκριμένα για την εξασφάλιση των τοιχωμάτων της οπής είναι δυνατών να χρησιμοποιηθεί ως διάτρητικό υγρό αιώρημα μπετονίτη, ένα είδος αργίλου με μεγάλη περιεκτικότητα σε μοντμοριλονίτη, το οποίο θα πληροί την οπή μέχρι την επιφάνεια καθ' όλη την διάρκεια της εκσκαφής ( το αιώρημα έχει αντιστηρικτική δράση λόγω των θιξοτροπικών ιδιοτήτων του). Το αιώρημα μπετωνίτη είναι θιξοτροπικό, έχει την ιδιότητα να περνά από την ζελατινώδη υφή στην υγρή μορφή, για να μετατραπεί πάλι σε ζελατίνη υπο συνθήκες ηρεμίας. Η ιδιότητα αυτή επιτρέπει στο αιώρημα να δρα σταθεροποιητικά στο μέτωπο της εκσκαφής καθώς το αιώρημα διεισδύει σε κάποιο βαθμό μέσα στο έδαφος και περιβαλλόμενο από μόρια νερού και την επίδραση ηλεκτρόσμωσης που εφαρμόζεται εξασφαλίζεται η ευστάθεια του μετώπου.



Σχήμα [18] : Δομή “house of cards

## Ευαισθησία

Τα συνεκτικά εδάφη μπορούν να χάσουν ένα μέρος ή και όλη σχεδόν τη διατμητική αντοχή τους λόγω αναζυμώσεως ή αναταράξεως. Για το λόγο αυτό πρέπει να προσδιορίσουμε το λόγο  $S_t$  του εδάφους όταν οι πάσσαλοι, τα καταδυόμενα φρέατα, οι εκσκαφές, οι επιχώσεις, ή τα καταδυόμενα πέδιλα πρόκειται να διαταράξουν το έδαφος.

$$S_t = \frac{\text{Αντοχή Διατάρακτου}}{\text{Αντοχή Διαταραγμένου}} \quad S_t = \frac{q_u (\text{αδιατάρακτου})}{q_u (\text{αναζυμωμένου})}$$

Όπου  $q_u$  είναι η αντοχή κατά τη δοκιμή απλής θλίψης.

Η ευαισθησία των περισσότερων αργίλων κυμαίνεται μεταξύ 2-4. Το ευαίσθητο έδαφος έχει τιμή από 4-8 και ένα υπερευαίσθητο έδαφος έχει τιμές μεγαλύτερες του 8. Μερικά εδάφη είναι τόσο ευαίσθητα ώστε σε συνδυασμό με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό έχουν τόσο χαμηλή διατμητική αντοχή που δεν μπορεί να μετρηθεί.

Οι διαταραγμένες άργιλοι με ευαισθησία μικρότερη του 16 ξαναποκτούν ένα μέρος ή και όλη την αρχική διατμητική αντοχή τους με την πάροδο του χρόνου (θιξοτροπία).

Οι πάσσαλοι πχ. που μπήχτηκαν μέσα σε άργιλο είναι δυνατόν αμέσως μετά την έμπηξη, το έδαφος να αποκτά ελάχιστη ή ίσως και μηδενική φέρουσα ικανότητα, αλλά μετά από μερικές ώρες η φέρουσα ικανότητα αναπτύσσεται και πάλι και μπορεί να φτάσει σε σημαντικές τιμές. Θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο στην θεμελίωση με πασσάλους.

Η διαταραγμένη ρέουσα άργιλος  $S_t > 16$  συνήθως ανακτά τελικά πολύ μικρό ποσοστό της αρχικής της αντοχής και ύστερα από σημαντικό χρονικό διάστημα. Ρέουσα άργιλος είναι μία άργιλος εξαιρετικά υψηλής ευαισθησίας που, κατά την αναζύμωσή της, μία μεγάλη μείωση της αντοχής μπορεί να την μετατρέψει από εδαφική μάζα με καλή αντοχή, σε ρέον υγρό. Αν και η μικροδομή των ρευστών αργίλων μοιάζει με εκείνη των πολύ λιγότερο ευαίσθητων αργίλων, ωστόσο υπάρχει σημαντική δομική αδυναμία στη ρευστή άργιλο, η οποία δικαιολογεί και την ταχεία αποδιοργάνωση που παρατηρείτε.

Έτσι λοιπόν εμφανίζεται το φαινόμενο της ευαισθησίας της άργιλου, η οποία χαρακτηρίζεται, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα τιμών:

<u>Ευαισθησία</u>	<u>Χαρακτηρισμός</u>
<2	Χωρίς ευαισθησία
2-4	Μικρή ευαισθησία
4-8	Ευαίσθητη
8-16	Πολύ ευαίσθητη
16-64	Ρέουσα
64>	Πολύ μεγάλης ρευστότητας

Πίνακας [3] : Ευαισθησίας της άργιλου σύμφωνα με τον TERZAGHI

## 2.5 ΑΝΑΖΥΜΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

### Εσαγωγή

Έχει παρατηρηθεί ότι τα περισσότερα φυσικά εδάφη έχουν να επιδείξουν κάποιας μορφής δεσμούς στον εδαφικό τους ιστό. Είναι γενικά αποδεκτό ότι οι δεσμοί αναπτύσσονται στο γεωλογικό παρελθόν λόγω μηχανικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων. Γενικά οι φορτίσεις του παρελθόντος αλλάζουν τη δομή του εδάφους αφήνοντας στο έδαφος το αποτύπωμά τους.

Έτσι σε περίπτωση καταστροφής της δομής τους τα φυσικά εδάφη χάνουν τις ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν. Ωστόσο διατηρούν κάποια χαρακτηριστικά που οφείλονται στο υλικό προέλευσής τους. Τα υλικά αυτά που έχουν χάσει πια, αυτούς τους χαρακτηριστικούς δεσμούς ονομάζονται **αναζυμωμένα**. Γι αυτό είναι απαραίτητο οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών να χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

Ο Burland (1990) θεωρεί ότι τα χαρακτηριστικά ενός εδάφους χωρίζονται σε:

- Εγγενή
- Επίκτητα

Ως εγγενείς ορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες που διατηρεί μια αναζυμωμένη άργιλος, που παρουσιάζεται με ποσοστό υγρασίας μεταξύ  $W_L$  και  $1,5 * W_L$  κατά προτίμηση  $1,5 * W_L$  , κατά τη διάρκεια μονοδιάστατης στερεοποίησης. Οι ιδιότητες αυτές χαρακτηρίζουν το κάθε εδαφικό υλικό.

Επίκτητες είναι οι ιδιότητες που αποκτά το έδαφος κατά τη γεωλογική ιστορία του με αποτέλεσμα τη δημιουργία ειδικής δοκίμης και μέσα στον εδαφικό ιστό. Αίτιο είναι συνήθως η προφόρτιση κατά το παρελθόν.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πειραματικών δεδομένων που δείχνει ότι η εδαφική δομή που προήλθε από φορτίσεις του γεωλογικού παρελθόντος, επηρεάζει την μηχανική συμπεριφορά των φυσικών εδαφών. Επίσης έχει παρατηρηθεί η ανάπτυξη εδαφικών δεσμών και σε αναζυμωμένα υλικά με την πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει υπό την επίδραση σταθερού φορτίου σε δοκίμιο και την ανάπτυξη ερπυσμού για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα.

Οι παράγοντες που δημιούργησαν τους δεσμούς είναι μηχανικοί, βιολογικοί ή χημικοί. Η δομή είναι αποτέλεσμα των συνθηκών απόθεσης του εδάφους στο παρελθόν. Επίσης είναι γενικά παραδεκτό ότι διεργασίες όπως η αποσάθρωση, η δειγματοληψία και η φόρτιση μεταβάλλουν την αρχική του δομή.

### 2.5.1 Σύγκριση φυσικών και αναζυμωμένων υλικών

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν για την εδαφική δομή των φυσικών μαλακών αργίλων και των αντίστοιχων αναζυμωμένων, από τα διαγράμματα  $e - \log \sigma_v$  είναι τα εξής:

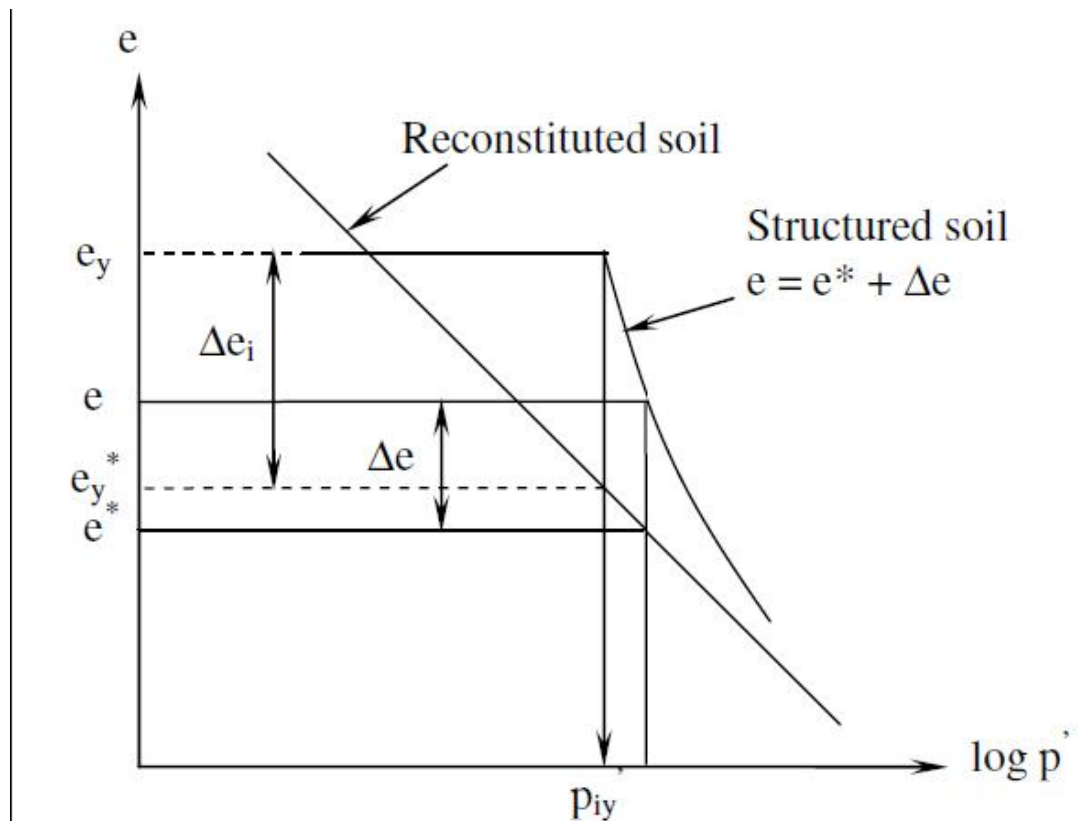
- Για δεδομένη ενεργό τάση  $\sigma_v$ , ο δείκτης κενών  $e$  για το φυσικό με δομή εδάφους είναι υψηλότερος από αυτόν του αναζυμωμένου υλικού με την ίδια ορυκτολογική σύνθεση. Όταν το φυσικό έδαφος χάνει σταδιακά τους δεσμούς του, ο επιπλέον δείκτης κενών  $e$  που συγκρατεί η δομή του εδάφους μειώνεται.
- Με την αύξηση της επιβαλλόμενης ενεργού τάσης  $\sigma_v$  η καμπύλη στερεοποίησης του φυσικού εδάφους τείνει ασυμπτωτικά στην καμπύλη του αναζυμωμένου. Η επιρροή της εδαφικής δομής μειώνεται όσο καταστρέφονται οι δεσμοί.
- Ο δείκτης κενών του φυσικού υλικού και η μεταβολή του συνδέονται με τον δείκτη κενών του αναζυμωμένου υλικού με τη σχέση:

$$e = e^* + \Delta e$$

Το  $e^*$  είναι η εγγενής επίδραση του υλικού στον δείκτη κενών, η οποία δεν εξαρτάται από την φυσική κατάσταση του εδάφους, αλλά έχει κυρίως σχέση με την ορυκτολογική σύνθεση και τις ιδιότητες του υλικού.

Το  $\Delta e$  είναι η καθαρή επίδραση του εδαφικού δεσμού. Όπως φαίνεται και στο σχήμα με την αύξηση του φορτίου και την σταδιακή καταστροφή των δεσμών οι δύο φάσεις του υλικού τείνουν να ταυτιστούν.





Σχήμα[19] : Σύγκριση φυσικών και αναζυμωμένων υλικών σε μονοδιάστατη στερεοποίηση.

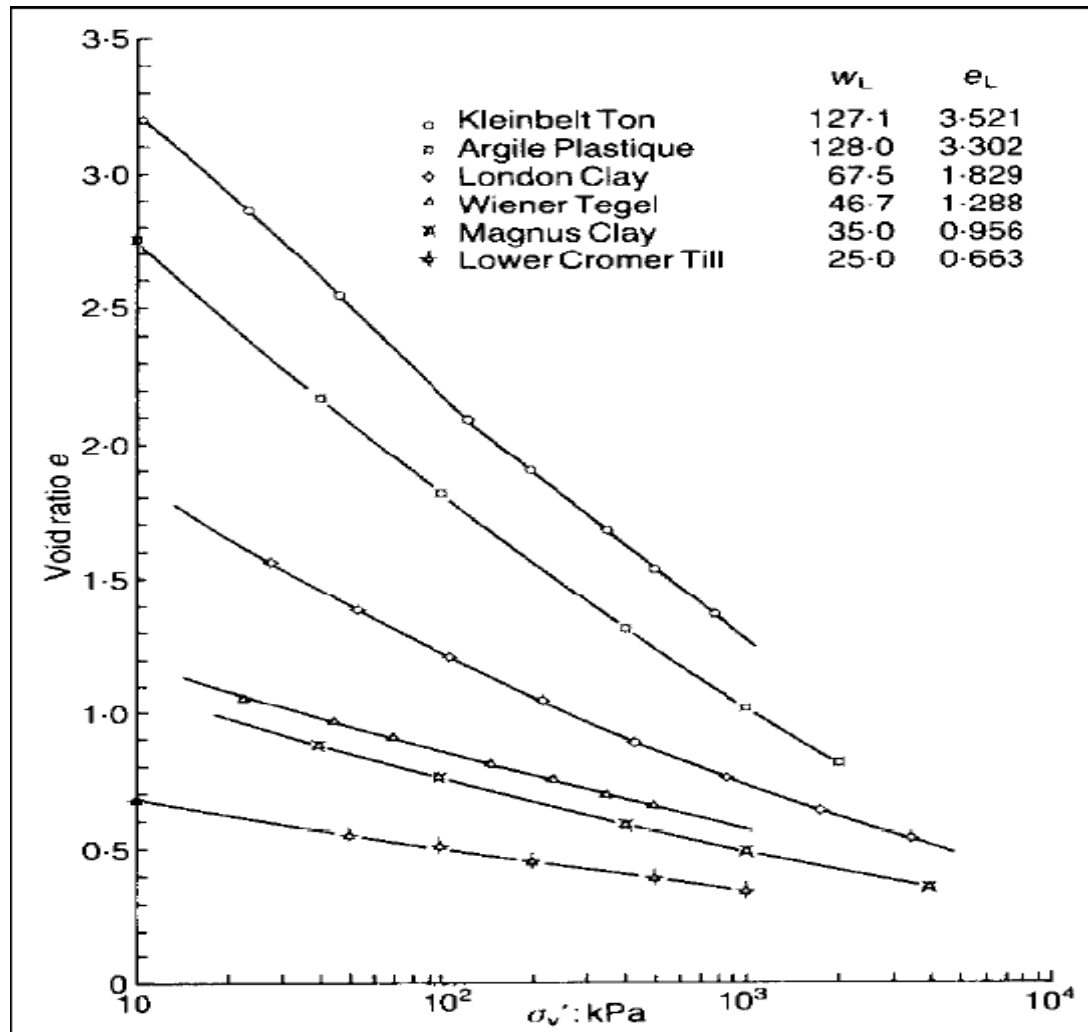
Οι διαφορές των φυσικών εδαφών από τα αντίστοιχα αναζυμωμένα είναι:

- ❖ Η εδαφική δομή δημιουργεί υλικό που είναι αρχικά σφιγρό για μικρές καταπονήσεις μέχρι το σημείο προφόρτισης.
- ❖ Έδαφος με δεσμούς στον ιστό του διατηρεί υψηλότερο δείκτη κενών από το αντίστοιχο αναζυμωμένο έδαφος.
- ❖ Η συμπεριφορά του φυσικού εδάφους πλησιάζει τη συμπεριφορά του αντίστοιχου αναζυμωμένου όταν χάνει σταδιακά τους δεσμούς του.

Η ύπαρξη των εδαφικών δεσμών, που αποτελεί την κυριότερη διαφορά μεταξύ φυσικών και αναζυμωμένων αργίλων, προκαλεί διαφορές στην μηχανική συμπεριφορά του εδαφικού υλικού.

## 2.5.2 Συμπεριφορά αναζυμωμένων αργίλων

Ο Burland αναφέρεται στην συμπεριφορά των αναζυμωμένων υλικών στα πειράματα συμπίεστρο. Εκτελώντας σειρά πειραμάτων σε αναζυμωμένους αργίλους και αποτυπώνοντας τις καμπύλες στερεοποίησης σε διάγραμμα δείκτη πόρων  $e$  και λογάριθμου ενεργού κατακόρυφης τάσης  $\sigma_v$ , παρατηρείτε ότι οι καμπύλες στερεοποίησης είναι παρόμοιες ως προς την μορφή αλλά δεν ταυτίζονται μεταξύ τους (Σχήμα 20).



Σχήμα [20]: Καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης αναζυμωμένων αργίλων.

Η διαφορετική συμπεριφορά θεωρείται ότι οφείλεται στα διαφορετικά ποσοστά υγρασίας που περιέχονται στην κάθε αναζυμωμένη άργιλο, διότι κάθε άργιλος έχει διαφορετικά όρια Atterberg και ξεχωριστό δείκτη πόρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΖΥΜΩΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

### 3.1 Επίδραση των Κατολισθήσεων στη διατάραξη του εδάφους

Η ευστάθεια των πρानών αποτελεί ένα πολύ ευρύ θέμα. Όταν το έδαφος είναι υπό κλίση μπορεί να γίνει ασταθές αν τα φορτία βαρύτητας που δρουν σε μία εδαφική μάζα υπερβούν την διατμητική αντοχή, η οποία διατίθεται στην βάση της μάζας και μέσα σε αυτή (Varnes<sup>1</sup>). Το αποτέλεσμα της αστοχίας των πρानών είναι η κατολίσθηση. Οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια και εκφράζει το αποτέλεσμα αναζήτησης μίας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους και είναι δυνατή η ανθρώπινη επέμβαση για την πλήρη παύση ή την επιβράδυνση του φαινομένου.

#### 3.1.1 Είδη κατολισθήσεων που αφορούν τα αργιλικά εδάφη

Κατά Varnes οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε καταπτώσεις, ανατροπές, ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις και ροές, κινήσεις που εκδηλώνονται στο βραχώδες υπόβαθρο, στους χονδρόκοκκους σχηματισμούς (κορήματα) και στους λεπτόκοκκους εδαφικούς σχηματισμούς (γαίες). Εμείς θα περιοριστούμε σε όσα αφορούν τα αργιλικά εδάφη.

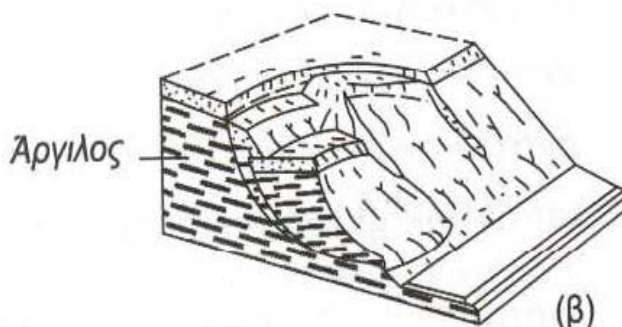
##### 1) Ανατροπές

Είναι σπάνιο φαινόμενο στα λεπτόκοκκα εδάφη και οφείλεται κυρίως σε υποσκαφή της βάσεις του πρανούς λόγω φυσικών διεργασιών (πχ διάβρωση) ή ανθρώπινων παρεμβάσεων (πχ ανασκαφές, λατομεία).

##### 2) Ολισθήσεις

###### – *Περιστροφικές ολισθήσεις :*

Είναι η πιο συνηθισμένη μορφή κατολίσθησης. Οι πρώτες ενδείξεις πριν την εκδήλωση είναι η εμφάνιση εδαφικών τοξοειδών ρωγμών κατά μήκος των οποίων θα αναπτυχθεί η κύρια κατακρήμνιση.



Σχήμα [20] : Περιστροφικές ολισθήσεις γαιών κατά VARNES 1978 γαιών (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

– **Μεταθετικές ολισθήσεις:**

Παρατηρούνται όταν σε μικρό βάθος βρίσκεται στρώμα μαλακό, το οποίο μετά από ισχυρές βροχοπτώσεις συνήθως προκαλεί τις κινήσεις της επιφανειακής στρώσης.

Συγκεκριμένα σε αυτή την κατηγορία όσο αναφορά τα αργιλικά εδάφη παρατηρούμε την *Ολίσθηση Λάσπης (mudslide)* :

Οι ολισθήσεις λάσπης είναι ένας τύπος κατολίσθησης κατά τον οποίο υλικά ολισθαίνουν κυρίως κατά μήκος επιφανειών διάτμησης, με μια σχετικά αργή κίνηση, σχηματίζοντας μια επιμήκη ή λοβοειδή μορφή (Brunsden, 1984).

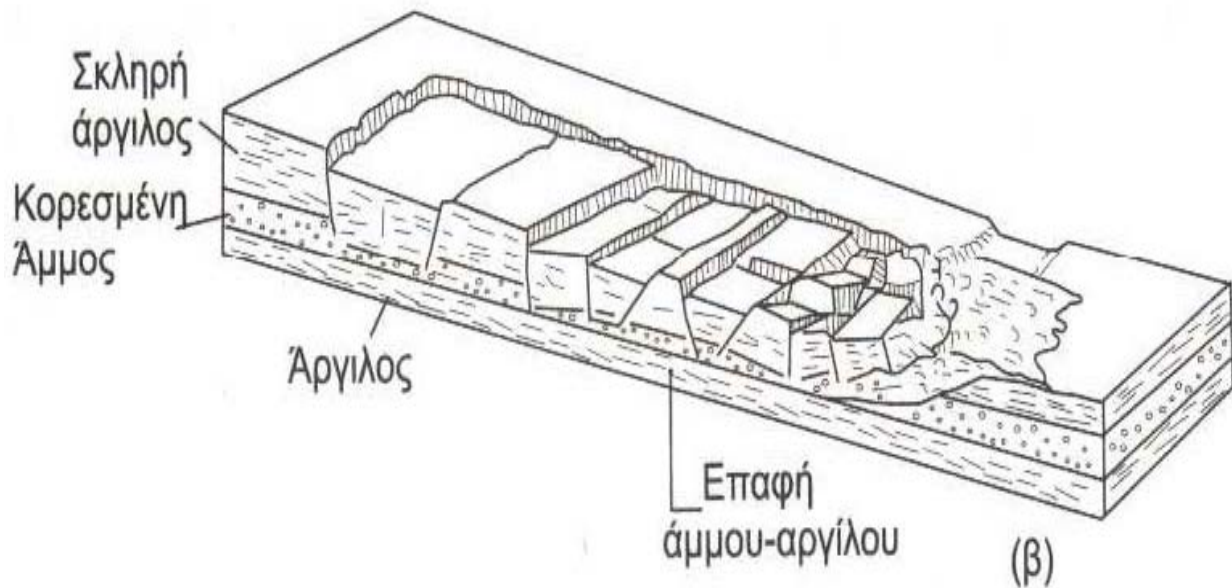
Τα υλικά στα οποία κυρίως εμφανίζονται οι ολισθήσεις λάσπης είναι κορεσμένες ή συμπαγοποιημένες άργιλοι, ιλυούχες άργιλοι κατακερματισμένοι ιλυόλιθοι, άργιλοι μέτριας πλαστικότητας, λεπτόκοκκοι άμμοι και ιλύες.

3) Εξάπλωση λόγω ρευστοποίησης

Παρατηρούνται κυρίως σε ευαίσθητες άργιλου και ιλύς, οι οποίες όταν διαταραχθούν χάνουν την εσωτερική τους δομή και παρουσιάζουν απώλεια της αντοχής τους. Πιο συγκεκριμένα η αστοχία του εδάφους προκαλείται από την διαδικασία της ρευστοποίησης κατά την οποία διαποτισμένα και χαλαρά ιζήματα συνήθως στρώσεις άμμου μετασχηματίζονται από μία στερεή σε μία υγροποιημένη κατάσταση.

Ρευστοποίηση προκαλείται όταν τα αμμώδη εδάφη που είναι κορεσμένα δεχθούν με τάξη ρυθμό φορτία όπως στην περίπτωση ενός σεισμού. Όταν συμβεί ρευστοποίηση, οι ανώτερες μονάδες του συνεκτικού υλικού συνήθως άργιλος και ιλύς που στηρίζονται στα υγροποιημένα τμήματα μπορούν να υποστούν θραύση και επέκταση και στην συνέχεια να υποχωρήσουν, να μετατεθούν, να περιστραφούν, να αποσυντεθούν ή να υγροποιηθούν, να χάσουν έτσι την αντοχή τους και να πέσουν.

Η θραύση είναι βαθμιαία, ενώ η επέκταση ξεκινάει ξαφνικά χωρίς προειδοποίηση σε μία μικρή περιοχή και κινείται με μεγάλη έως πολύ μεγάλη ταχύτητα. Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι κύρια αιτία του φαινομένου μπορεί να είναι η σύντομη επίγεια κίνηση η οποία μπορεί να προκληθεί εκτός από τον σεισμό που αναφέραμε παραπάνω, μπορεί να είναι και τεχνητά προκαλούμενη όπως κατά την διάρκεια μιας εκσκαφής.



Σχήμα [21] : Πλευρική εξάπλωση αργίλου που υπέρκειται ρευστοποιημένου στρώματος άμμου και ιλύος (VARNES 1978) (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

#### 4) Ροές

Στα λεπτόκοκκα εδάφη οι ροές παρατηρούνται σε εδάφη μικρής αντοχής όπως μαλακά εδάφη, ευαίσθητες αργίλους και έχουν μεγαλύτερη έκταση και ένταση όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αργιλικού υλικού. Προκαλούνται κυρίως από την έντονη επιφανειακή ροή του νερού, εξαιτίας της υψηλής βροχόπτωσης ή του γρήγορου λιώσιμο του χιονιού που διαβρώνει και κινητοποιεί το εδαφικό υλικό.

Έχουμε ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο στην ευαισθησία των αργιλικών εδαφών στην παρουσία του νερού. Στην περίπτωση αυτή η μετακινούμενη μάζα προσομοιάζεται με ένα παχύρευστο υγρό και η μετακίνηση είναι είτε γρήγορη ( $> 1,8 \text{ m/h}$ ) ή αργή, ενώ το σχήμα της θυμίζει κλεψύδρα.

Μετά την κατολίσθηση συνήθως παύουν να παρατηρούνται κινήσεις γιατί το έδαφος ξαναβρίσκει μία θέση ισορροπίας. Έχουν εντούτοις παρατηρηθεί περιπτώσεις που η κίνηση συνεχίζεται για πολλά χρόνια με ταχύτητα της τάξης λίγων δεκάδων εκατοστών του χρόνου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κινήσεις που δημιουργούνται πριν από τις κατολισθήσεις, οι οποίες είναι αρκετά αργές και μερικές φορές ανεπαίσθητες. Αλλά συνήθως λίγο πριν από την κατολίσθηση αυξάνονται αισθητά και αυτό μπορεί να αποτελέσει προειδοποίηση της καταστροφής και να επιτρέψει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

### **3.1.2 Αντιμετώπιση Κατολισθήσεων σε Αργιλικά πρανή**

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των κατολισθήσεων είναι απαραίτητο να γίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα η διερεύνηση των αιτιών που τις προκαλούν. Σε κάθε περίπτωση ανάλογα με την αιτία επιλέγουμε και τον κατάλληλο τρόπο αντιμετώπισης. Αλλιώς υπάρχει κίνδυνος τα προτεινόμενα μέτρα να επιδιδούν την κατάσταση. Παρακάτω παρουσιάζουμε ορισμένους από αυτούς:

- 1) Αν η κατολίσθηση οφείλεται στην ενέργεια του νερού πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για να απομακρυνθεί το νερό που βρίσκεται μέσα στην ζώνη ή για να εμποδιστεί η εισροή νέων ποσοτήτων νερού.

Ο απλούστερος τρόπος αποξήρανσης του εδάφους είναι η δημιουργία χαντακιών κατά την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης, που να απέχουν μεταξύ τους περίπου 6m και γεμίζονται με χοντρά λιθορίμματα τα οποία επιτρέπουν την απομάκρυνση του υπόγειου νερού. Υπάρχει όμως ο κίνδυνος να γεμίσουν με αργιλώδες έδαφος οπότε περιορίζεται η αποτελεσματικότητά τους. Πιο αποτελεσματική λύση είναι η εκτέλεση γεωτρήσεων με διάμετρο 70-100cm οι οποίες λειτουργούν σαν φίλτρα.

- 2) Όταν η κατολίσθηση οφείλεται στην είσοδο μέσα στο έδαφος των νερών της βροχής από της επιφανειακές ρωγμές, το καλύτερο μέτρο είναι το σφράγισμα των κενών αυτών γίνεται συνήθως χρήση των τσιμεντενέσεων. Πρέπει να δίνεται προσοχή στον προσδιορισμό της πίεσης των ενέσεων για την αποφυγή πρόσθετου κινδύνου κατολίσθησης λόγω αυτών των πιέσεων.

Αν η κατολίσθηση οφείλεται στο ερπυσμό της αργίλου ή στην μείωση της αντοχής της και όχι στην ενέργεια του νερού, η αποξήρανση έχει μικρή αποτελεσματικότητα. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται οι εξής μέθοδοι οι οποίες είναι δαπανηρές:

- *Ηλεκτροχημική στερεοποίηση.*

Διοχετεύεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα που προκαλεί μετατόπιση των ιόντων της αργίλου.

- *Ψήσιμο του εδάφους.*

Αν το έδαφος δεν είναι κορεσμένο και αποτελείται από ιλύς χωρίς πολύ άργιλο μπορεί να μεταβληθεί σε στερεό ,αν ψηθεί στους 800 °C. Έτσι αυξάνεται η αντοχή του εδάφους.

- *Πάγωμα του εδάφους.*

Το έδαφος μπορεί να στερεοποιηθεί με την μεταβολή σε πάγο του νερού των πόρων

Επιπλέον για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων εφαρμόζονται και άλλες μέθοδοι που είναι αρκετά οικονομικότερες από τις παραπάνω ενδεικτικά αναφέρουμε τις εξής:

- ✓ Τοποθέτηση χωματισμών στην βάση της ολισθαίνουσας μάζας ή αφαίρεση χωματισμών από την κεφαλή της κατολίσθησης.
- ✓ Φυτοκάλυψη του πρανούς.
- ✓ Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης στην βάση του πρανούς με ή χωρίς ακύρωση στο στερεό έδαφος.
- ✓ Μείωση της κλίσης (δημιουργία αναβαθμίδων) ή ολική μείωση της κλίσης.
- ✓ Αποφυγή εξωτερικών φορτίσεων στην κορυφή και στο σώμα του πρανούς.

### **3.1.3 Μεταβολές μηχανικών ιδιοτήτων που οδηγούν σε κατολισθήσεις**

Στα αργιλικά εδάφη η κατολισθήσεις οφείλονται κυρίως στην μείωση της αντοχής του εδάφους είτε από φυσικούς παράγοντες είτε από ανθρώπινους παράγοντες.

Η αντοχή εξαρτάται από την συνοχή. Η συνοχή μπορεί να μειωθεί με μία από τις εξής αιτίες:

- ❖ Από την ευαισθησία της:

Μία εξωτερική δυναμική καταπόνηση μπορεί να προκαλέσει μεγάλη πτώση της αντοχής όπως κατά την διάρκεια ενός σεισμού ή μίας εκσκαφής.

Οι σεισμικές δονήσεις προκαλούν αύξηση της διατμητικής τάσης καθώς οι οριζόντιες επιταχύνσεις μπορούν να μεταβάλουν αρκετά το καθεστώς των τάσεων στο έδαφος. Επίσης μία σεισμική δόνηση μπορεί να προκαλέσει μείωση της διατμητικής αντοχής λόγω μείωσης της συνεκτικότητας των υλικών.

Άλλες φορτίσεις όπως δονήσεις από εκρήξεις, λειτουργία βιομηχανιών, πασσαλόμπηξη, δυναμική συμπύκνωση για βελτίωση των εδαφών κυκλοφορία μηχανημάτων προκαλούν παροδικές τάσεις σε πολύ μικρότερη όμως κλίμακα οι οποίες όμως σε πού ευαίσθητα εδάφη μπορούν να προκαλέσουν κατάρρευση.

Βέβαια εδώ θα πρέπει να τονίσουμε και το φαινόμενο της θιξοτροπίας των αργιλικών εδαφών καθώς στην περίπτωση μια ευαίσθητης αργίλου όπου μία δόνηση ή ένα κτύπημα είναι δυνατόν να διαταράξει και να χαλάσει τον εδαφικό σκελετό με αποτέλεσμα το έδαφος να μεταπέσει από την στερεά, στην ρέουσα κατάσταση.

- ❖ Εξαιτίας της αύξησης της περιεκτικότητας σε νερό που μειώνει όπως ήδη έχουμε αναφέρει σε προηγούμενες παραγράφους. γνωστό την αντοχή.
- ❖ Εξαιτίας του ερπυσμού. Όταν η άργιλος παρουσιάζει παραμόρφωση πέρα από μία ορισμένη τιμή, χάνει ένα μεγάλο μέρος από την αντοχή της. Για μία κανονικά στερεοποιημένη άργιλο το φαινόμενο είναι λιγότερο έντονο.
- ❖ Εξαιτίας της συνεχούς ρηγματώσης των επιφανειακών στρωμάτων με την επίδραση συνήθως των κλιματικών μεταβολών αλλά και για άλλους λόγους. Οι ρηγματώδεις αυτές μειώνουν το μήκος της καμπύλης θραύσης και κατά συνέπεια και την τιμή των δυνάμεων συνοχής που εμποδίζουν τις κατολισθήσεις.



### 3.1.4 Περιπτώσεις κατολισθήσεων σε αργιλικά εδάφη

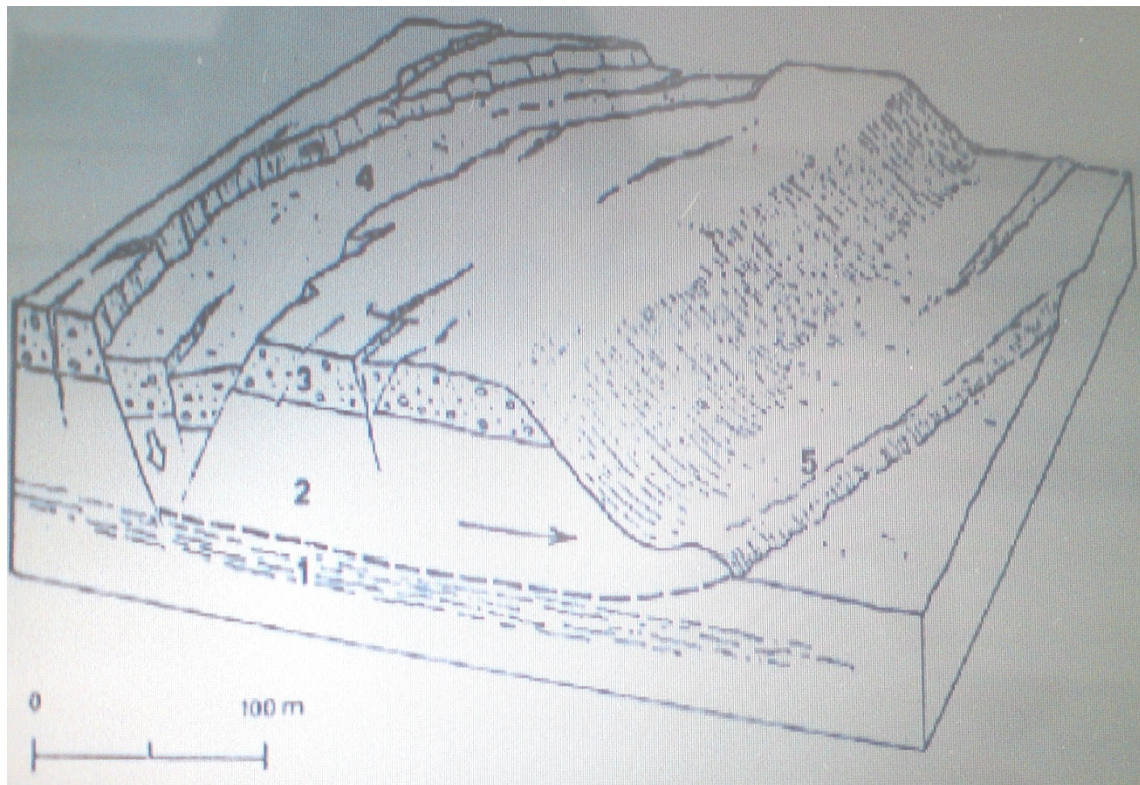
#### ο Πόλη Anchorage της Αλάσκας

Στην Αλάσκα το Μάρτιο του 1964 ένας σεισμός μεγέθους 8,5R προκάλεσε ζημιές στην πόλη Anchorage της Αλάσκας που οφείλονταν όχι στην σεισμική δόνηση, αλλά σε κατολισθήσεις που προκλήθηκαν εξαιτίας της δόνησης.

Η πόλη Anchorage βρίσκεται πάνω σε μία στρώση αμμοχάλικου πάχους 20m ενώ υποκείμενη είναι μία στρώση στριφής αργίλου και στο επίπεδο της θάλασσας υπάρχει μία στρώση ευαίσθητης αργίλου πάχους 7-10m. Η στρώση της αργίλου κατά την διάρκεια του σεισμικού κραδασμού έχασε την αντοχή της και τα υπερκείμενα εδαφικά στρώματα <<επέπλεαν>> πάνω σε αυτή. Επιπλέον υποθαλάσσιες κατολισθήσεις προκάλεσαν εκτεταμένες ζημιές στη ακτή αλλά και στο λιμάνι της πόλης. Ακολούθως στα τέλη Μαρτίου το έδαφος πάγωσε σε κάποια μέτρα κάτω από την επιφάνεια με αποτέλεσμα, να γίνεται πλέον οριζόντια μετακίνηση για αρκετά μέτρα ολόκληρων τεμαχίων που συμπίεσαν την στρώση της αργίλου και την ανασήκωσαν μπροστά από την κατολίσηση, ενώ στο φρύδι της δημιουργήθηκαν βαθιές τάφροι.

1: ευαίσθητες άργιλοι 2: στιφρές άργιλοι 3: άμμοι και χαλίκια 4: τάφροι στο φρύδι της κατολισθαίνουσας μάζας 5: συμπιεσμένο τμήμα στρώσης ευαίσθητης αργίλου

(Hansen 1965, Zaruba 1982).



Σχήμα [22] : Κατολίσηση στην πόλη Anchorage της Αλάσκας

ο Μαλακάσα

Στον Ελλαδικό χώρο η κατολίσθηση στην Μαλακάσα είναι μία από τις σημαντικότερες που εκδηλώθηκαν στον Ελλαδικό χώρο. Εκδηλώθηκε στις 18 Φεβρουαρίου του 1995 στο 360 χιλιόμετρο της Εθνικής Οδού Αθηνών – Λαμίας.

Αποτελεί κατολίσθηση που έγινε επί προϋπάρχουσας επιφάνειας ολίσθησης και προκάλεσε σημαντικές καταστροφές τόσο στην εθνική Οδό όσο και στην σιδηροδρομική γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης. Και οι δύο αυτοί άξονες κατασκευάστηκαν χωρίς να είναι γνωστοί η ύπαρξη της προϋπάρχουσας κατολίσθησης στην περιοχή. Η εκδήλωσή της προκάλεσε πολύ σημαντικές υλικές ζημιές και την προσωρινή διακοπή των μετακινήσεων επί των δυο μεταφορικών αξόνων. Στο σημείο της κατολίσθησης το μέσο βάθος της κατολισθαίνουσας μάζας ήταν περίπου 25-30 m.

Οι παράγοντες που επέδρασαν στην εκδήλωσή της είναι:

α. Τα έργα για την διαπλάτυνση της Εθνική Οδού και την παράλληλη βοηθητικού δρόμου.

β. Οι διαπτόση της ζώνης των Μυλωνιτών από τα νερά της βροχής

γ. Το είδος του πετρώματος , αργιλικοί σχιστόλιθοι και μάλιστα μαύροι που χαρακτηρίζονται από μειωμένες τιμές των παραμέτρων διατμητικής αντοχής,

δ. Η οριακή ισορροπία στην οποία βρισκόταν η πλαγιά λόγω παλαιάς κατολίσθησης.

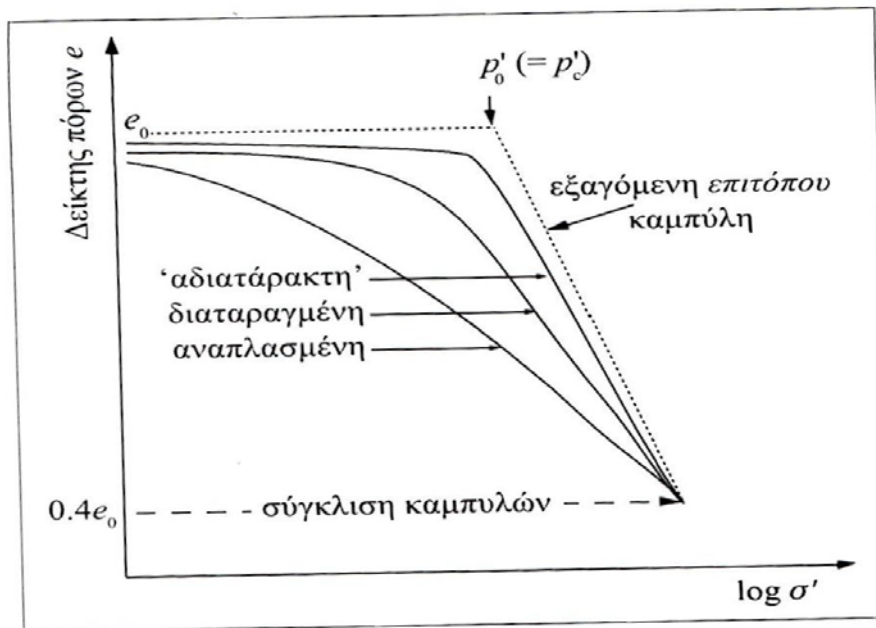
Η λύση που εφαρμόστηκε ήταν κυρίως διάνοιξη αποστραγγιστικών σηράγγων (περίπου 1400m) , επιφανειακή και βαθιά αποστράγγιση με στραγγιστικές γεωτρήσεις, εκτεταμένες χωματοουργικές επεμβάσεις (εκσκαφές του μετώπου, σφραγίσεις ρωγμών) και πάσσαλοι σταθεροποίησης.

### 3.2 Επίδραση της δειγματοληψίας στη διατάραξη του δείγματος

Η μηχανική συμπεριφορά των εδαφών εξαρτάται από τη δομή τους, δηλαδή τη διάταξη των κόκκων ( ή των αργιλικών πλακιδίων στα συνεκτικά εδάφη) , και τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των κόκκων. Και αυτό γιατί όσο η δειγματοληψία είναι πληρέστερη και αντιπροσωπευτικότερη του εδάφους που συναντάται, καθώς και με εξασφάλιση ελάχιστης κατά το δυνατόν διατάραξης της υψής (ιστού), του εδάφους, τόσο τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δειγμάτων θα πλησιάζει σε μεγάλο βαθμό τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους. Συνεπώς, κατά τη δειγματοληψία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή , ώστε να μην καταστρέφεται η εδαφική δομή και να μην μεταβάλλονται οι δυνάμεις μεταξύ των κόκκων (Αδιατάρακτη δειγματοληψία).

Ωστόσο η αδιατάρακτη δειγματοληψία είναι μια ιδεατή κατάσταση , η οποία δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί επακριβώς.

Η διατάραξη του εδάφους κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας μεταβάλλει και καταστρέφει σε ένα βαθμό τη σταθερή διάταξη των εδαφικών κόκκων και τις δυνάμεις ή τις συνδέσεις μεταξύ τους. Έχει αποδειχθεί ότι , αν διαταραχθεί ο εδαφικός σκελετός , προκύπτει ένα διάγραμμα δείκτη πόρων-ενεργού τάσης με μικρότερη κλίση, η οποία μειώνεται όσο περισσότερο διαταράσσεται το έδαφος. Επειδή η διατάραξη κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας είναι αναπόφευκτη , ειδικά για κανονικά στερεοποιημένα εδάφη, καμία εργαστηριακή δοκιμή δεν αντανακλά επακριβώς τις επιτόπου συνθήκες.



Σχήμα [23] : Επίδραση της διατάραξης του δείγματος σε κανονικά στερεοποιημένη άργιλο

### 3.3 Επίδραση της θεμελίωσης με πασσάλους στα αργιλικά εδάφη

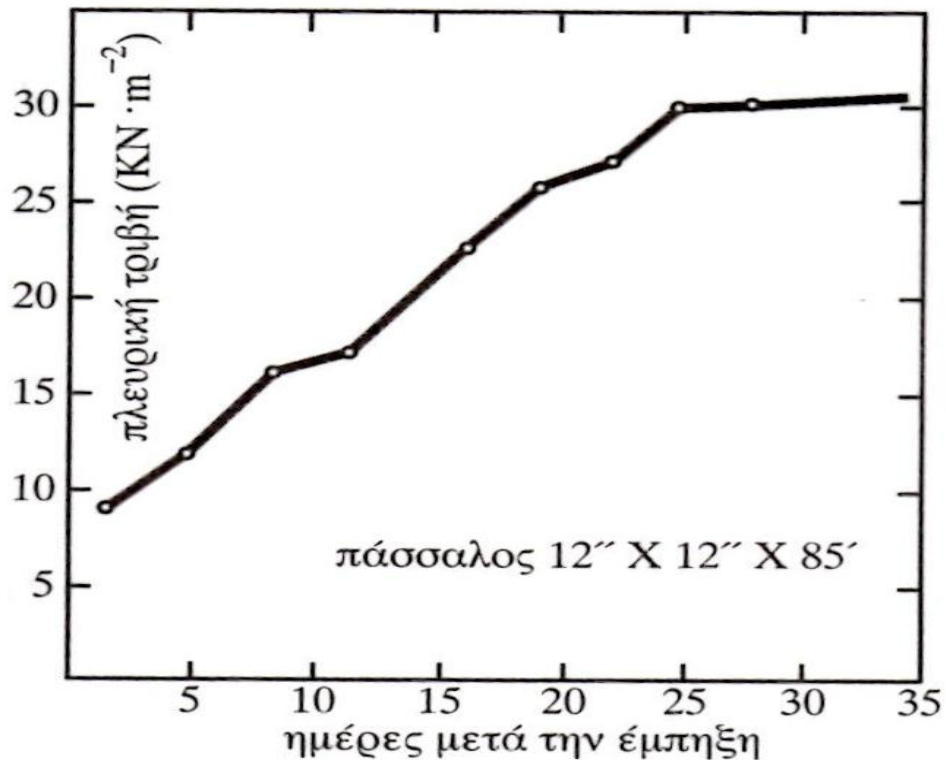
Πιο πάνω αναφερθήκαμε στην αναζύμωση των αργιλικών εδαφών στην περίπτωση μίας κατολίσθησης αλλά και κατά την δειγματοληψία. Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στην αναζύμωση που μπορεί να προκληθεί στα αργιλικά εδάφη όταν επιλεγεί ως τρόπος θεμελίωσης, η έμπηξη πασσάλων.

Όταν ένας πάσσαλος εμπηγνύεται στο έδαφος, προκαλείται διατάραξη του εδάφους καθώς ο πόδας του πασσάλου λειτουργεί ως ένα μικρό πέδιλο, το οποίο ενσωματώνει στην βάση του έναν κωνικό όγκο εδάφους που διατρυπά τον υποκείμενο εδαφικό όγκο, υποβάλλοντας το παρακείμενο έδαφος σε διαδοχικές αστοχίες. Έτσι δημιουργείται γύρω από τον πάσσαλο μια διαταραγμένη εδαφική ζώνη σε έκταση μίας ή δύο διαμέτρων του πασσάλου. Στις κορεσμένες αργίλους η έμπηξη των πασσάλων προκαλεί αύξηση των πιέσεων των πόρων. Με τον χρόνο, οι στιγμιαίως δημιουργούμενες υπερπίεσεις αποτονώνονται, ώστε η πλευρική πίεση να τείνει στην αρχική της τιμή. Η μείωση των πιέσεων των πόρων συνοδεύεται από επανάκτηση της διατμητικής αντοχής, η οποία σε μερικές περιπτώσεις ενδεχομένως υπερβαίνει την αντοχή του διαταραγμένου εδάφους.

Τα αποτελέσματα της έμπηξης δεν είναι ταυτόσημα σε διάφορα είδη αργιλικών εδαφών. Στις μαλακές, κανονικά στερεοποιημένες αργίλους προκαλείται αύξηση των ολικών τάσεων λόγω σημαντικών μετακινήσεων, με αποτέλεσμα την γένεση υψηλών υπερπίεσεων πόρων στην άμεση γειτονία του πασσάλου. Η υπερπίεση των πόρων αναμένεται υψηλότερη όταν η δομή της αργίλου είναι καταρρεύσιμη (ευαίσθητες άργιλοι). Ο χρόνος αποτόνωσης των υπερπίεσεων των πόρων εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων, την διαπερατότητα τόσο της αργίλου όσο και του υλικού του πασσάλου καθώς και από το πλήθος των πασσάλων και την μεταξύ τους απόσταση.

Στις στριφές προφορισμένες αργίλους η έμπηξη των πασσάλων συνεπάγεται διόγκωση της αργίλου γύρω από τον πάσσαλο και την δημιουργία ρωγμών και μακροδομικών ασυνεχιών, ώστε να διευκολύνεται η αποτόνωση των αναπτυσσόμενων υπερπίεσεων πόρων καθώς και ανύψωση και πλευρική μετατόπιση της αργίλους γύρω από τον πάσσαλο.

Η αύξηση της διατμητικής αντοχής γύρω από έναν πάσσαλο εμπηγνυόμενο σε άργιλο παρουσιάζεται στο σχήμα [24] που ακολουθεί.



Σχήμα [24] : Αύξηση της διατμητικής αντοχής αργίλου περί πάσσαλο συναρτήσει του χρόνου (Terzaghi, 1942)

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε ότι στην περίπτωση θεμελίωσης με έγχυτους πασσάλους, η διατάραξη του εδάφους είναι μικρότερη από αυτή που υφίσταται στην περίπτωση των εμπτηγνυόμενων πασσάλων.

Στους έγχυτους πασσάλους το έδαφος διαταράσσεται και το αρχικό τασικό πεδίο διαφοροποιείται λόγω της εκσκαφής. Το εδαφικό στοιχείο μπορεί να μετακινηθεί προς το εσωτερικό της οπής λόγω αποτόνωσης των τάσεων, φαινόμενο το οποίο αποδιοργανώνει την δομή των αργίλων. Η εν συνεχεία έγχυση σκυροδέματος στην οπή εξαναγκάζει μερικώς το έδαφος να επανέλθει στην προηγούμενη κατάσταση, αμβλύνοντας την διατάραξη του εδαφικού ιστού.

## Πειραματικό Μέρος

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

#### 4.1 ΕΥΡΕΣΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Με την δοκιμή αυτή μετρείται η αναλογία του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Η αναλογία αυτή επιδρά σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες ορισμένου τύπου εδαφών (πχ. Τα λεγόμενα συνεκτικά εδάφη).

Ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στο εδαφικό δείγμα  $B_{\text{νερ}}$  προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους  $B_{\text{ξηρ.εδ}}$ .

Δηλαδή :

$$W = \frac{B_{\text{νερ}}}{B_{\text{ξηρ.εδ}}}$$

Για την ορθή πραγματοποίηση της δοκιμής αυτής χρειάστηκαν:

- Κάψες αλουμινένιες
- Ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας
- Κλίβανος ξήρασης ρυθμιζόμενος στους  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$



Εικόνα [1] : Ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας



Εικόνα [2] : Κλίβανος – Αλουμινένιες κάψες

#### 4.1.1 ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

- ο Λαμβάνουμε αντιπροσωπευτικό δείγμα από το έδαφος
- ο Ζυγίζουμε τις κάψες . Στη συνέχεια ζυγίζουμε την κάψα μαζί με το υγρό έδαφος (Bκ+υ). Η συγκεκριμένη ζύγιση πρέπει να γίνει γρήγορα ώστε να μην έχουμε επιφανειακή ξήρανση του δείγματος.
- ο Τοποθετούμε την κάψα μέσα στον κλίβανο που προαναφέρθηκε όπου και παραμένει μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος της . Αυτό εξασφαλίζεται με την πραγματοποίηση διαδοχικών ζυγίσεων μέχρις ότου οι δύο τελευταίες ζυγίσεις να είναι ίδιες.
- ο Η ζύγιση αυτή λαμβάνεται και ως το βάρος της κάψας και ξηρού εδάφους. (Bκ+ξ)

Παρακάτω παραθέτουμε τον βοηθητικό πίνακα για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας εδαφικών δοκιμών.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ			
A	Βάρος Κάψας	Bκ	
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ	
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ	
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$
Z	Περιεχόμενη Υγρασία	W	$Z = \Delta / E$

Πίνακας [4] :Τυπολόγιο υπολογισμού περιεχόμενης υγρασίας

## 4.1.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παραθέτουμε τα αποτελέσματα για τα δύο εδαφικά δείγματα που εξετάσαμε σε διάφορες χρονικές περιόδους.

### 4.1.2.1 1<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

#### ο **Αδιατάρακτο Δοκίμιο**

**Στοιχειά αδιατάρακτου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38\text{mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 82\text{mm} = 8,2 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα Νο 41 – Νο 51 – Νο 53

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>41</b> 21,24	<b>51</b> 22,90	<b>53</b> 22,21
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		41,20	44,21	35,23
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		34,42	36,83	30,81
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	6,78	7,38	4,42
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	13,18	13,93	8,60
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>51,442</b>	<b>52,979</b>	<b>51,395</b>

Πίνακας [5] : Υπολογισμοσπεριεχόμενης υγρασίας Αδιατάρακτου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία Αδιατάρακτου Δοκιμίου **W % = 51,939 %**



ο **1<sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο**

1<sup>η</sup> Δοκιμή

**Στοιχεία Αναζυμωμένου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 83 \text{ mm} = 8,3 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα No 43 – No 49 – No 52

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>43</b> 22,06	<b>49</b> 21,42	<b>52</b> 22,52
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		30,71	28,84	32,99
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		27,78	26,43	29,58
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	2,93	2,41	3,41
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	5,72	5,01	7,06
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>51,224</b>	<b>48,104</b>	<b>48,300</b>

Πίνακας [6] : Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου **W % = 49,209 %**

## 2<sup>η</sup> Δοκιμή

Μετά το πέρας ενός περίπου μηνά και αφού το δείγμα βρισκόταν σε ιδανικές συνθήκες μέσα σε υγραντήρα, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ο προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας του 1<sup>ου</sup> αναζυμωμένου δοκιμίου. Το ιδανικό και ποθητό αποτέλεσμα είναι να βρεθεί η περιεχόμενη υγρασία περίπου ίδια με την αρχική που βρήκαμε.

### **Στοιχεία Αναζυμωμένου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 52 \text{ mm} = 5,2 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα No 50 – No 51 – No 53

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>50</b> 22,07	<b>51</b> 22,17	<b>53</b> 22,18
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		30,31	32,64	39,44
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		27,74	29,45	33,97
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	2,57	3,19	5,47
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	5,67	7,28	11,79
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>45,326</b>	<b>43,819</b>	<b>46,395</b>

Πίνακας [7] : Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου **W % = 45,180 %**

### **Σχόλιο:**

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας του αναζυμωμένου δοκιμίου μετά το πέρας του ενός μηνά μειώθηκε κατά περίπου 4%. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το επιθυμητό αποτέλεσμα θα ήταν να βγει ίδιο, όμως δεχόμαστε το αποτέλεσμα ως έγκυρο αφού το σφάλμα είναι σχετικά μικρό.

ο **2<sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο**

1<sup>η</sup> Δοκιμή

**Στοιχεία Αναζυμωμένου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 66 \text{ mm} = 6,6 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα No 40 – No 46 – No 50

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>40</b> 22,30	<b>46</b> 21,14	<b>50</b> 22,09
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		33,86	34,48	33,80
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		30,22	30,32	30,06
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	3,64	4,16	3,74
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	7,92	9,18	7,97
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>45,960</b>	<b>45,316</b>	<b>46,926</b>

Πίνακας [8] : Υπολογισμος περιεχόμενης υγρασίας 2<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία 2<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου **W % = 46,067 %**

## 2<sup>η</sup> Δοκιμή

Όμοια με το 1<sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο έχουμε:

### **Στοιχεία Αναζυμωμένου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 76 \text{ mm} = 7,6 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα Νο 33 – Νο 34 – Νο 37

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>33</b> 32,74	<b>43</b> 35,91	<b>37</b> 34,17
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		57,14	89,01	79,12
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		50,21	73,70	66,36
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	6,93	15,31	12,76
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	17,47	37,79	32,19
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>39,668</b>	<b>40,513</b>	<b>39,640</b>

Πίνακας [9] : Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας 2<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου **W % = 39,940 %**

### **Σχόλια - Αποτελέσματα:**

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας του 2<sup>ου</sup> αναζυμωμένου δοκιμίου μετά το πέρας του ενός μηνά μειώθηκε ομοίως με το 1<sup>ο</sup> κατά περίπου 6%. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το επιθυμητό αποτέλεσμα θα ήταν να βγει ίδιο, όμως δεχόμαστε το αποτέλεσμα ως έγκυρο αφού το σφάλμα είναι σχετικά μικρό.

#### 4.1.2.2 2<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ (ΟΒΡΥΑ)

ο **Αδιατάρακτο Δοκίμιο**

**Στοιχεία αδιατάρακτου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 39\text{mm} = 3,9 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 76\text{mm} = 7,6 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα No 20 – No 27 – No 30

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>20</b> 33,96	<b>27</b> 34,47	<b>30</b> 34,41
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		68,84	86,24	61,19
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		61,97	75,47	55,62
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	6,87	10,77	5,57
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	28,01	41,00	21,21
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>24,527</b>	<b>26,268</b>	<b>26,261</b>

Πίνακας [10] : Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας Αδιατάρακτου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία Αδιατάρακτου Δοκιμίου **W % = 25,685 %**

ο **Αναζυμωμένο Δοκίμιο**

1<sup>η</sup> Δοκιμή

**Στοιχεία Αναζυμωμένου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 80 \text{ mm} = 8,0 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα No 5 – No 7 – No 11

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>5</b> 35,69	<b>7</b> 38,55	<b>11</b> 35,58
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		112,64	72,88	78,47
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		96,04	65,58	69,27
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	16,60	7,30	9,20
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	60,35	27,03	33,69
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>27,506</b>	<b>27,007</b>	<b>27,308</b>

Πίνακας [11] : Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας Αναζυμωμένου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου **W % = 27,274 %**

## 2<sup>η</sup> Δοκιμή

Μετά το πέρας ενός περίπου μηνά και αφού το δείγμα βρισκόταν σε ιδανικές συνθήκες μέσα σε υγραντήρα, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ο προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας του 1<sup>ου</sup> αναζυμωμένου δοκιμίου. Το ιδανικό και ποθητό αποτέλεσμα είναι να βρεθεί η περιεχόμενη υγρασία περίπου ίδια με την αρχική που βρήκαμε.

### **Στοιχεία Αναζυμωμένου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 36 \text{ mm} = 3,6 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 59 \text{ mm} = 5,9 \text{ cm}$

Για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας του αδιατάρακτου δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν 3 κάψες, οι οποίες είναι οι εξής : Κάψα No 40 – No 43– No 45

A	Αριθμός Κάψας Βάρος Κάψας	Bκ		<b>40</b> 22,28	<b>43</b> 22,03	<b>45</b> 22,64
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	Bκ+υ		44,79	37,61	42,17
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	Bκ+ξ		40,00	34,46	38,11
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	Bν	$\Delta = B - \Gamma$	4,79	3,15	4,06
E	Βάρος ξηρού δείγματος	Bξ	$E = \Gamma - A$	17,72	12,43	15,47
Z	<b>Περιεχόμενη Υγρασία %</b>	W	$Z = \Delta / E$ %	<b>27,032</b>	<b>25,342</b>	<b>26,244</b>

Πίνακας [12] : Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας Αναζυμωμένου δοκιμίου

Επομένως ως περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ο Μέσος Όρος των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Δηλαδή

Περιεχόμενη Υγρασία Αναζυμωμένου Δοκιμίου **W % = 26,206 %**

### **Σχόλια - Αποτελέσματα:**

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας του αναζημωμένου δοκιμίου μετά το πέρας του ενός μηνά ( $W \% = 26,206 \%$ ) έχει πολύ μικρή διαφορά από το αντίστοιχο αρχικό ποσοστό ( $W \% = 27,274\%$ ) ,οπότε πετύχαμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

## 4.2 ΕΥΡΕΣΗ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ $\gamma_s$

### Γενικά

**Ειδικό βάρος στερεών συστατικών** είναι ο λόγος του ξηρού βάρους (χωρίς υγρασία ) εδαφικού δείγματος προς τον όγκο των κόκκων ( δεν περιλαμβάνεται ο όγκος των κενών ή πόρων) του αυτού εδαφικού δείγματος.

$$\gamma_s = \frac{B_{\xi\eta\rho}}{V_s}$$

Το ειδικό βάρος στερεών συστατικών ενός εδάφους χρησιμοποιείται για τον συσχετισμό του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του. Συνήθως οι τιμές του, για διάφορους τύπους εδαφών (πλήν των οργανικών) κυμαίνονται από  $2,5 \text{ gr/cm}^3 - 2,8 \text{ gr/cm}^3$ .

Τα οργανικά εδάφη μπορεί να έχουν  $\gamma_s$  πολύ μικρότερο από  $2,5 \text{ gr/cm}^3$ .

### 4.2.1 ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

#### **Εργαστηριακός Εξοπλισμός**

- Κλίβανος
- Κάψες αλουμινένιες
- Γουδί, γουδοχέρι
- Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
- Κόσκινο Νο10
- Πυκνόμετρο χωρητικότητας 100 ml
- Απεσταγμένο νερό
- Αντλία κενού



## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

- Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του εδάφους. Ξηραίνεται στον κλίβανο και κατόπιν τρίβεται στο γουδί με το γουδοχέρι. Το υλικό αυτό κοσκινίζεται στο κόσκινο Νο10 (2mm) και από το διερχόμενο υλικό λαμβάνετε δείγμα 50 gr.
- Το πυκνόμετρο καθαρίζεται, ξηραίνεται και ζυγίζεται,  $B_{\pi}$
- Στη συνέχεια τοποθετείται το ξηρό εδαφικό δείγμα μέσα στο πυκνόμετρο και το ξαναζυγίζουμε μαζί με το πυκνόμετρο,  $B_{\pi+\xi}$ .
- Κατόπιν προστίθεται απεσταγμένο νερό περίπου μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  της φιάλης. Ο αέρας που έχει παγιδευτεί στο μίγμα νερού – εδάφους απομακρύνετε με την βοήθεια μιας αντλίας κενού.



Εικόνα [9]: Γυάλινη φιάλη κατά την απομάκρυνση του εγκλωβισμένου αέρα.

- Στην συνέχεια συμπληρώνουμε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης και ζυγίζουμε ξανά,  $B_{\pi+\xi+v}$ .
- Αφαιρούμε το περιεχόμενο του πυκνομέτρου, ξεπλένουμε καλά το πυκνόμετρο και το γεμίζουμε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και το ξαναζυγίζουμε,  $B_{\pi+v}$ .

#### 4.2.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το ειδικό βάρος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\gamma_s = \frac{B_\xi}{B_\xi + (B_{\pi+\xi} + B_{\pi+\xi+v})}$$

Από την εκτέλεση των εργασιών που περιγράψαμε παραπάνω πήραμε τα εξής αποτελέσματα:

	1 <sup>ο</sup> ΔΕΙΓΜΑ	2 <sup>ο</sup> ΔΕΙΓΜΑ	
	1 <sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ	1 <sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ	2 <sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ
<b>B<sub>π</sub> (gr)</b>	85,15	85,14	92,53
<b>B<sub>π+ξ</sub> (gr)</b>	135,22	110,11	117,08
<b>B<sub>π+ξ+v</sub> (gr)</b>	362,55	351,02	357,53
<b>B<sub>π+v</sub> (gr)</b>	335,57	335,27	342,00
<b>B<sub>ξ</sub> = B<sub>π+ξ</sub> - B<sub>π</sub> (gr)</b>	50,07	24,97	24,55
<b>γ<sub>s</sub> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,17	2,708	2,722
		2,715	

Πίνακας [26] : Μετρήσεις -Αποτελέσματα για την εύρεση του ειδικού βάρους γ<sub>s</sub>

#### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στον Πίνακα [27] που ακολουθεί, παρουσιάζεται το ειδικό βάρος στερεών συστατικών για τα δύο εδάφη:

Εδάφη	γ <sub>s</sub>
1 <sup>ο</sup> ΕΔΑΦΟΣ	2,17
2 <sup>ο</sup> ΕΔΑΦΟΣ	2,715

Πίνακας [27] : Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα ειδικού βάρους γ<sub>s</sub> 1ου και 2<sup>ου</sup> εδαφικού δείγματος

### **4.3 ΕΥΡΕΣΗ ΥΓΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ $\gamma$ , ΞΗΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ $\gamma_d$ , ΔΕΙΚΤΗ – ΛΟΓΟ ΚΕΝΩΝ $e$ , ΠΟΡΩΔΕΣ $n$ και ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ $S_r$**

#### **4.3.1 Γενικά**

- **Υγρό φαινόμενο βάρος  $\gamma$**

Υγρό φαινόμενο βάρος εδάφους είναι ο λόγος του βάρους του υγρού εδαφικού δείγματος προς τον συνολικό όγκο.

$$\gamma = \frac{B_{υγρ}}{V_{ολ}}$$

- **Το ξηρό φαινόμενο βάρος  $\gamma_d$**

Ξηρό φαινόμενο βάρος εδάφους είναι ο λόγος του βάρους του ξηρού εδαφικού δείγματος προς τον συνολικό όγκο.

$$\gamma_d = \frac{B_{ξηρ}}{V_{ολ}}$$

- **Ο δείκτης ή λόγος κενών  $e$**

Ο δείκτης ή λόγος κενών ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών του εδαφικού δείγματος προς τον όγκο των στερεών κόκκων.

$$e = \frac{V_k}{V_s}$$

Επειδή θεωρείται ότι οι κόκκοι παραμένουν απαραμόρφωτοι η μεταβολή του δείκτη κενών χαρακτηρίζει την παραμόρφωση του εδάφους.

	Λόγος κενών		Πορώδες %	
	e max	e min	n max	n min
	χαλαρή	πυκνή	χαλαρή	πυκνή
Μικτές φάσεις				
- Αμώδης ή ιλυώδης άργιλος	1.8	0.25	64	20
- Καλά διαβαθμισμένοι χάλικες, άμμος, ιλύς και άργιλος	0.70	0.13	41	11
Αργιλικά εδάφη				
Αργίλος (30%-50% μεγέθη αργίλου)	2.4	0.50	71	33
Κολλοειδής άργιλος (-0.002 mm: 50%)	12.0	0.60	92	37
Οργανικά εδάφη				
- Οργανική ιλύς	3.0	0.55	7.5	35
- Οργανική άργιλος (30%-50% μεγέθη αργίλου)	4.4	0.70	81	41

Πίνακας[28] : Ενδεικτικές τιμές πορώδους και λόγου κενών για διαφορετικά εδάφη (από JOHNSON and DE GRAFF, 1988)

ο **Το πορώδες n**

Το **πορώδες n**, είναι ο λόγος του όγκου των κενών προς τον ολικό όγκο του εδάφους.

$$n = \frac{V_k}{V_{ολ}}$$

Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι το πορώδες δεν εκφράζει την διαπερατότητα ενός εδάφους και αυτό γιατί για να είναι δυνατή η ροή του νερού μέσα από τα κενά του εδάφους, θα πρέπει τουλάχιστον μερικά από τα κενά να είναι συνεχή.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός, ότι το πορώδες μίας αργίλου είναι συνήθως μεγαλύτερο από αυτό της άμμου, αλλά η άργιλος είναι εκατομμύρια φορές λιγότερο διαπερατή από την άμμο. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο ότι τα πλακοειδή σωματίδια της αργίλου συνδέονται με ισχυρές δυνάμεις και έτσι τα κενά της αργίλου είναι μικρότερα, περισσότερο ελικοειδή και μη συνεχή.

Στην περίπτωση που το πορώδες και ο δείκτης κενών ελαττώνονται η αντοχή αυξάνει.

ο **Βαθμός κορεσμού  $S_r$**

Ο **βαθμός κορεσμού**, που είναι ο λόγος του όγκου του νερού των πόρων προς τον όγκο των κενών

$$S_r = \frac{V_w}{V_k}$$

Εκφράζει το ποσοστό (συνήθως επί τοις εκατό) του όγκου των πόρων που πληρούνται με νερό. Οι πιθανές τιμές του βαθμού κορεσμού ενός εδαφικού υλικού κυμαίνονται μεταξύ 0 και 100%.

Ένα ξηρό εδαφικό υλικό έχει βαθμό κορεσμού μηδέν, ενώ ένα εδαφικό υλικό του οποίου το σύνολο των πόρων πληρούνται με νερό (κορεσμένο) έχει βαθμό κορεσμού 1 (100%).

Στον Πίνακα [29], που ακολουθεί συσχετίζεται η κατάσταση ενός εδάφους με τον βαθμό κορεσμού.

Κατάσταση Εδάφους	Βαθμός κορεσμού $S_r$ (%)
Ξηρό	0
Υφυγρό	1 – 25
Υγρό	25 – 50
Πολύ υγρό	50 – 75
Βρεγμένο	75 – 99
Κορεσμένο	100

*Πίνακας[29]: Κατάσταση εδάφους από άποψη βαθμού κορεσμού (Παπαχαρήσης)*

**Σημείωση:**

Αργιλικά εδάφη με βαθμό κορεσμού 90% είναι δυνατόν να είναι τόσο σκληρά ώστε να εκλαμβάνονται ως σκληρά .

Η άργιλος είναι πάντοτε σχεδόν κορεσμένη ή τελείως κορεσμένη, με εξαίρεση την επιφανειακή στρώση, που υπόκεινται σε εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας.

*(Παπαχαρήσης<sup>4</sup>)*

### 4.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι φυσικές ιδιότητες που αφορούν το υγρό φαινόμενο βάρος  $\gamma$ , το ξηρό φαινόμενο βάρος  $\gamma_d$ , το δείκτη ή λόγο κενών  $e$ , το πορώδες  $n$  και το βαθμό κορεσμού, παρατίθενται μαζί σε αυτό το υποκεφάλαιο, για το λόγο του έμμεσου προσδιορισμού των τιμών τους, από συσχετίσεις και εμπειρικούς τύπους άλλων φυσικών ιδιοτήτων. Οι ιδιότητες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτές του ειδικού βάρους στερεών συστατικών  $\gamma_s$  και της φυσικής υγρασίας.

Οι φυσικές παράμετροι που ακολουθούν προσδιορίστηκαν στη παρούσα μελέτη από τα δοκίμια κανονικού γεωμετρικού σχήματος, τα οποία διαμορφώθηκαν με σκοπό να υποβληθούν στη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης.

#### 1<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

Στοιχεία αδιατάρακτου δοκιμίου:

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38\text{mm} = 3,8\text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 82\text{mm} = 8,2\text{ cm}$

Υγρό Βάρος δοκιμίου:  $B_{υγρ} = 166,08\text{ gr}$

- **Ο ολικός όγκος του δοκιμίου (όγκος κενών και όγκος κόκκων) είναι:**

$$V_{ολ} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h = \frac{\pi \times (3,8\text{cm})^2}{4} \times 8,2\text{cm} = 92,997\text{ cm}^3$$

- **Υγρό φαινόμενο βάρος**

$$\gamma = \frac{B_{υγρ}}{V_{ολ}} = \frac{166,08\text{gr}}{92,997\text{ cm}^3} = 1,786\text{ gr} / \text{cm}^3$$

- **Το ξηρό φαινόμενο βάρος υπολογίστηκε έμμεσα με τον παρακάτω τύπο:**

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{1,786\text{cm}^3}{1 + 0,51939} = 1,175\text{ gr} / \text{cm}^3$$

- ❖ **Στον τύπο χρησιμοποιήσαμε την φυσική υγρασία  $W=51,939\%$ , που βρήκαμε πειραματικά με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων, για το αδιατάρακτο δοκίμιο.**

- Ο δείκτης κενών, βρέθηκε:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{2,17 \text{ gr} / \text{cm}^3}{1,175 \text{ gr} / \text{cm}^3} - 1 = 0,847$$

- Το πορώδες, υπολογίστηκε με την χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = 1 - \frac{1,175 \text{ gr} / \text{cm}^3}{2,17 \text{ gr} / \text{cm}^3} = 0,458$$

## 2<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

Στοιχεία αδιατάρακτου δοκιμίου:

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 39\text{mm} = 3,9 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 76\text{mm} = 7,6 \text{ cm}$

Υγρό Βάρος δοκιμίου:  $B_{υγρ} = 184,17 \text{ gr}$

- Ο ολικός όγκος του δοκιμίου (όγκος κενών και όγκος κόκκων) είναι:

$$V_{ολ} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h = \frac{\pi \times (3,9\text{cm})^2}{4} \times 7,6\text{cm} = 90,789\text{cm}^3$$

- Υγρό φαινόμενο βάρος

$$\gamma = \frac{B_{υγρ}}{V_{ολ}} = \frac{184,17 \text{ gr}}{90,789\text{cm}^3} = 2,028 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

- Το ξηρό φαινόμενο βάρος υπολογίστηκε έμμεσα με τον παρακάτω τύπο:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{2,028\text{cm}^3}{1 + 0,2569} = 1,613 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

❖ Στον τύπο χρησιμοποιήσαμε την φυσική υγρασία  $W=25,685\%$ , που βρήκαμε πειραματικά με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων, για το αδιατάρακτο δοκίμιο.

○ Ο δείκτης κενών, βρέθηκε:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{2,715 \text{ gr/cm}^3}{1,613 \text{ gr/cm}^3} - 1 = 0,683$$

○ Το πορώδες, υπολογίστηκε με την χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = 1 - \frac{1,613 \text{ gr/cm}^3}{2,715 \text{ gr/cm}^3} = 0,406$$

○ Ο βαθμός κορεσμού υπολογίστηκε με βάση την παρακάτω σχέση:

$$S_r = \frac{\gamma_s \times W}{\gamma_w \times e} = \frac{2,715 \text{ gr/cm}^3 \times 0,2569}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 0,683} = 1$$

**Οπότε:  $S_r=100\%$**



### 4.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά το τέλος των παραπάνω δοκιμών καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

	<u>1<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ</u>	<u>2<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ</u>
Ολικός όγκος του δοκιμίου $V_{ολ}$ (cm <sup>3</sup> )	92,997	90,789
Υγρό φαινόμενο βάρος $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,786	2,028
ξηρό φαινόμενο βάρος $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,175	1,613
Δείκτης κενών $e$	0,847	0,683
Πορώδες $n$	0,458	0,406
Βαθμός κορεσμού $S_r$ %		100 %

*Πίνακας [30]: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα που αφορούν τα φυσικά χαρακτηριστικά των 2 εδαφικών δειγμάτων.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

### 5.1 ΟΡΙΑ ATTERBERG

#### 5.1 1 Εισαγωγή

Η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών μεταβάλλεται έντονα με την μεταβολή της περιεκτικότητας σε νερό καθώς η συνεκτικότητα τους (αντίσταση του εδάφους στην πλαστική ροή) , μεταβάλλεται μερικώς με την περιεχόμενη υγρασία και τον βαθμό κορεσμού . Συνεπώς η παρουσία νερού είναι καθοριστική στα συνεκτικά εδάφη, γιατί επηρεάζει τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Όσο αυξάνει το ποσοστό της υγρασίας, τόσο μειώνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των κόκκων του εδαφικού υλικού και η συμπεριφορά του προσομοιάζει τη συμπεριφορά των ρευστών.

Πιο συγκεκριμένα με την βαθμιαία μείωση της περιεχόμενης υγρασίας, ενώ το έδαφος βρίσκεται στην υδαρή κατάσταση, μεταπίπτει στην πλαστική, μετά στην ημιστερεή και τελικά στη στερεή κατάσταση. Βέβαια οι τιμές τις περιεχόμενης υγρασίας για τις οποίες τα διάφορα αργιλικά εδάφη μεταπίπτουν από την μία κατάσταση στην άλλη ποικίλουν σημαντικά. Έχει διαπιστωθεί ότι με την ίδια περιεκτικότητα σε νερό, μία άργιλος είναι δυνατόν να είναι σχετικά μαλακή, ενώ μια άλλη είναι δυνατόν να είναι σκληρή.

Ανάλογα λοιπόν, με το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας υπάρχουν τέσσερις καταστάσεις στις οποίες μπορεί να εμφανιστεί ένα συνεκτικό έδαφος.

- ✓ **Ρευστή (υδαρή)** : Σε αυτή την κατάσταση, το έδαφος εμφανίζεται ως παχύρρευστο υγρό και αδυνατεί να παραλάβει διαμητικές τάσεις. Αν το ποσοστό υγρασίας αυξηθεί περισσότερο, τότε υπάρχει όλο και μικρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ των κόκκων του εδάφους και σχηματίζεται ένα γαλακτώδες εναιώρημα (έχουμε πραγματική ροή).
- ✓ **Πλαστική** : Στην κατάσταση αυτή το έδαφος μπορεί να πλάθεται και να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις χωρίς ρηγματώσεις και θράση, ενώ διατηρεί το σχήμα του και μετά την απομάκρυνση του αιτίου.
- ✓ **Ημιστερεή** : Τα ο έδαφος ενώ παραμορφώνεται ρηγματώνεται ή θραύεται.

- ✓ **Στερεή** : Στην κατάσταση αυτή το έδαφος παρουσιάζει μικρές παραμορφώσεις, η θραύση είναι απότομη και ψαθυρή και ονομάζεται εύθρυπτο στερεό.

Για τον διαχωρισμό των τεσσάρων καταστάσεων συνεκτικότητας , έχουν προσδιοριστεί όρια ποσοστού υγρασίας , γνωστά ως όρια Atterberg.

Δείχνουν ουσιαστικά την συμπεριφορά του εδάφους ανάλογα με την μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας του, και καταδεικνύουν αν κάποιο έδαφος είναι ευαίσθητο στις μεταβολές τις υγρασίας.

Συνεπώς, τα όρια Atterberg αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες κάθε συνεκτικού εδάφους και προσδιορίζονται με πρότυπες εργαστηριακές δοκιμές τις οποίες θα περιγράψουμε στην συνέχεια.

❖ **Όριο Υδαρότητας ( $LL$  ή  $W_L$ ) :**

Είναι η περιεχόμενη υγρασία κατά την οποία το έδαφος αφού χάσει νερό, μεταφέρεται από την υδαρή κατάσταση στην πλαστική.

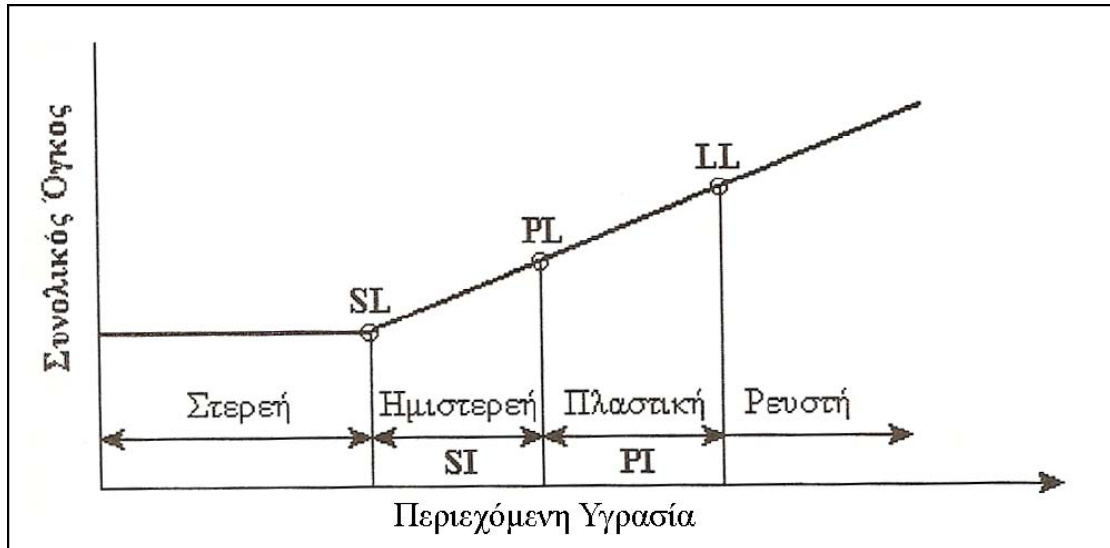
❖ **Όριο Πλαστικότητας ( $PL$  ή  $W_P$ ) :**

Είναι η ελάχιστη περιεκτικότητα σε νερό για την οποία το έδαφος παραμένει πλαστικό.

❖ **Όριο Συρρίκνωσης ( $SL$  ή  $W_s$ ) :**

Είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας κάτω από την οποία ο όγκος του εδάφους παραμένει σταθερός δηλαδή παραπέρα μείωση της φυσικής υγρασίας δεν επιφέρει μεταβολή όγκου.

Έτσι για μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό το έδαφος παύει να είναι κορεσμένο. Ουσιαστικά χαρακτηρίζει τη κατάσταση μετάβασης του εδάφους από τη στερεά με παραμορφώσεις, σε στερεά χωρίς παραμορφώσεις.



Σχήμα[27] . Καταστάσεις και όρια Atterberg λεπτόκοκκων εδαφών

### 5.1.2 Δείκτες ορίων Atterberg

Με βάση τα ανωτέρω όρια, ορίζονται οι λεγόμενοι δείκτες συνεκτικότητας, οι οποίοι δεν έχουν θεμελιώδη ποσοτική έννοια καθώς έχουν προσδιοριστεί εμπειρικά, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν για μία ποιοτική περιγραφή των συνεκτικών υλικών και για την κατάταξή τους σε κατηγορίες.

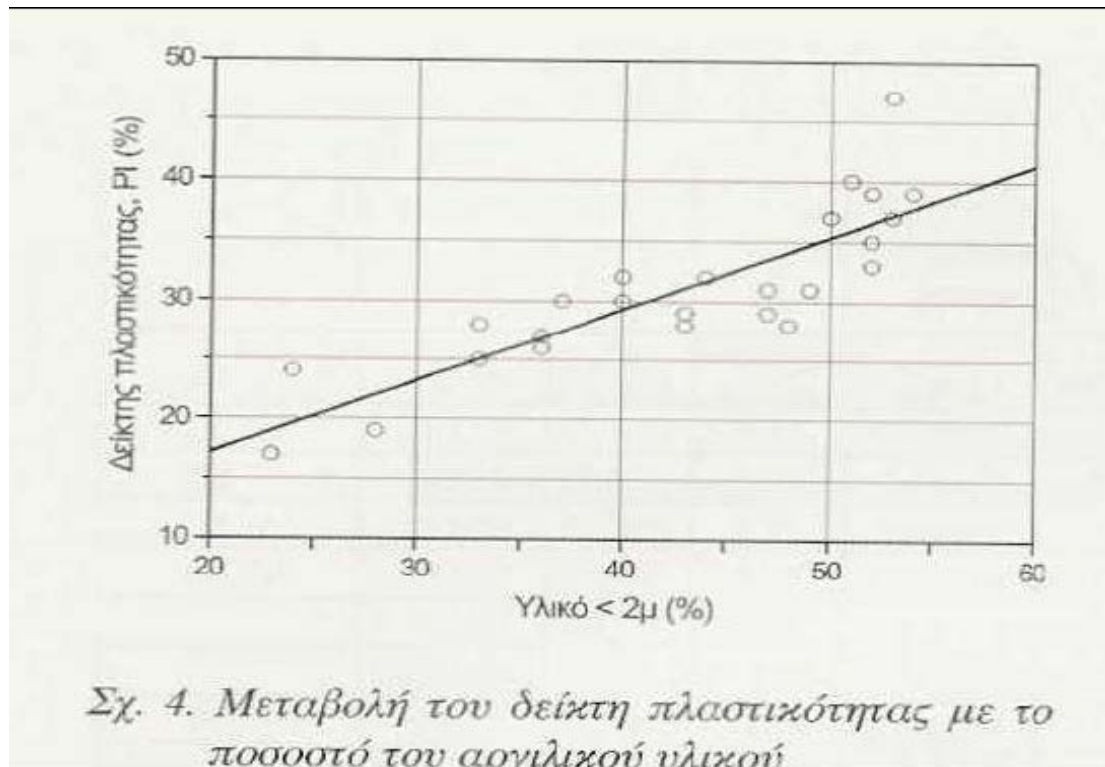
Αναλυτικά έχουμε τους εξής δείκτες ορίων Atterberg :

- **Δείκτης Πλαστικότητας** : Είναι το φάσμα των υγρασιών για τις οποίες το έδαφος παραμένει σε πλαστική κατάσταση και είναι η διαφορά του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας.

$$I_P = W_L - W_P$$

Όσο πιο ενεργά είναι τα αργιλικά πλακίδια του εδαφικού υλικού, δηλαδή όσο περισσότερο νερό μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια τους χωρίς να μειωθεί σημαντικά ο βαθμός της ηλεκτροχημικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των πλακιδίων τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας.

Οι τυπικές τιμές του είναι **LL<100%** και **PL<40%**. Συνήθως ο δείκτης πλαστικότητας συσχετίζεται με το ποσοστό αργίλου σε ένα έδαφος με βάση το διάγραμμα του σχήματος.



Σχήμα [28] : Μεταβολή του δείκτη πλαστικότητας με το ποσοστό του αργιλικού υλικού

Ο δείκτης πλαστικότητας καταδεικνύει το ποσοστό αργίλου σε ένα έδαφος.

Όσο πιο λεπτομερές είναι το υλικό, τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας.

Τέτοια εδάφη είναι τα ιλυώδη και αργιλικά και είναι ανεπαρκή και είναι ακατάλληλα για την έδραση οδοστρωμάτων. Γι' αυτό στην οδοποιία χρησιμοποιούνται μόνο εδάφη μικρής πλαστικότητας.

Βέβαια για  $I_p < 5$  η άργιλος σε περίπτωση ξηρασίας ρηγματώνεται εύκολα και χάνει την αντοχή της όταν ενεργούν τα φορτία των τροχοφόρων.

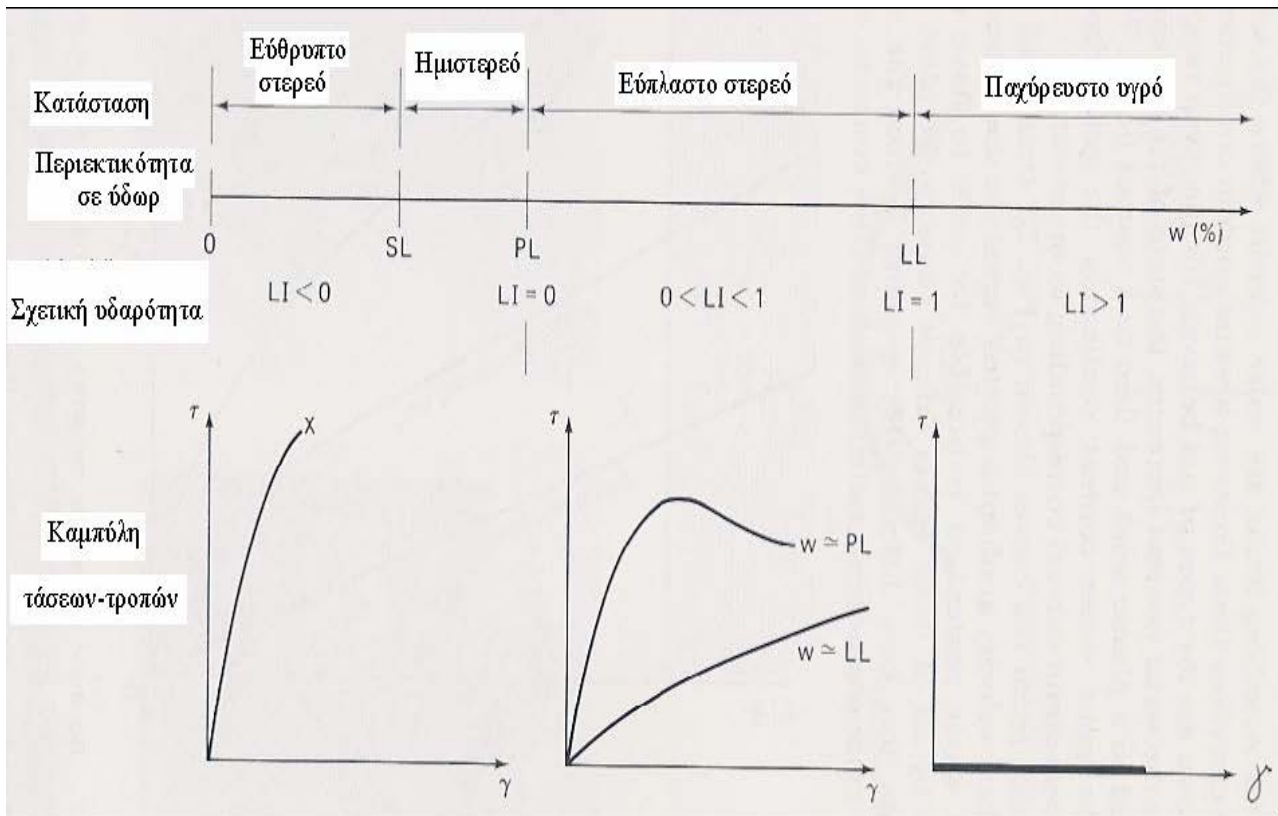
Στον Πίνακα [31] που ακολουθεί δίνεται η κατάταξη των εδαφών ως προς την πλαστικότητα.

Βαθμός Πλαστικότητας	Δείκτης Πλαστικότητας $I_p$
Έδαφος μη πλαστικό	0
Έδαφος ελαφράς πλαστικότητας	1 – 5
Έδαφος μικρής πλαστικότητας	5 – 10
Έδαφος μέσης πλαστικότητας	10 – 20
Έδαφος μεγάλης πλαστικότητας	20 – 40
Έδαφος πολύ μεγάλης πλαστικότητας	>40

Πίνακας[31]: Κατάταξη εδαφών σε σχέση με το δείκτη πλαστικότητας κατά τον *Burmister*.

- ο **Δείκτης Υδαρότητας ( LI ή I<sub>L</sub> )** : Καθορίζει τη σχέση μεταξύ των ορίων Atterberg και της φυσικής υγρασίας ενός εδάφους. Οι τιμές το LI μεταξύ 0 και 1 αντιστοιχούν στην πλάσιμη περιοχή , οι τιμές <0 αντιστοιχούν στην ημιστερεά και στερεά κατάσταση και οι τιμές >1 στην υδαρή κατάσταση. Δίνεται από την σχέση:

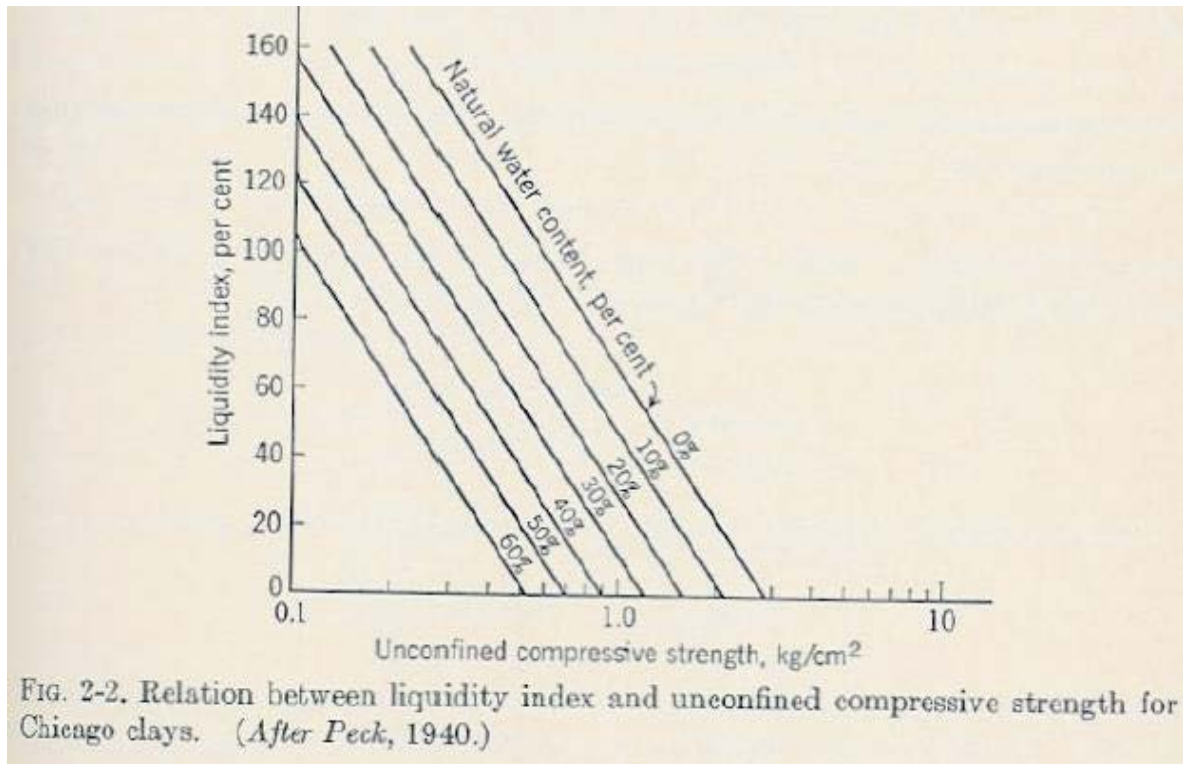
$$LI = \frac{W - PL}{LL - PL} = \frac{W - PL}{I_p}$$



Σχήμα [29]: Μεταβολή της συνεκτικότητας και της μηχανικής συμπεριφοράς των αργίλων με το ποσοστό υγρασίας (Καβαδάς 2007)

### Συσχετισμός του δείκτη σχετικής υδαρότητας με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ενός αργιλικού υλικού

Εμπειρικά φαίνεται ότι υπάρχει εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη υδαρότητας και της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα [30].



Σχήμα [30] :Τυπικό διάγραμμα συσχετισμού του δείκτη σχετικής υδαρότητας με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ενός αργιλικού υλικού ( I.Βουρδουλάκης 2004)

- **Δείκτης Αντίστασης  $I_C$**  : Καθορίζει τη σχέση μεταξύ Ορίων Atterberg και φυσικής υγρασίας  $W$  ενός εδάφους και δίνεται από την σχέση :

$$I_C = \frac{LL - W}{LL - LP} = \frac{LL - W}{I_p}$$

Από την σχέση αυτή προκύπτει ότι:

- ✓ Αν η φυσική υγρασία είναι ίση με το όριο **υδαρότητας** τότε ο δείκτης αντίστασης προκύπτει ίσος με μηδέν, ενώ
- ✓ Αν η φυσική υγρασία βρεθεί ίση με το όριο **πλαστικότητας** τότε ο δείκτης αντίστασης προκύπτει ίσος με τη μονάδα.

Όσο μικραίνει η τιμή της φυσικής υγρασίας  $W$  τόσο μεγαλώνει η τιμή του δείκτη αντίστασης.  
Επομένως όσο μεγαλύτερη τιμή του  $I_c$  τόσο πιο σκληρό(ανθεκτικό) είναι το έδαφος.

Έχουμε:

- Για τιμές της φυσικής υγρασίας:  $W > LL$  και μέχρι την τιμή που  $W = LL$  έχουμε κατάσταση εδάφους υδαρή και δείκτη συνεκτικότητας  $I_c \ll 1$ .
- Για τιμές της φυσικής υγρασίας:  $W < LL$  και μέχρι την τιμή που  $W = LP$  έχουμε κατάσταση εδάφους πλαστική προς ημιστερεά, όσο πλησιάζουμε προς το όριο πλαστικότητας  $LP$  και δείκτη συνεκτικότητας  $I_c < 1$ .
- Για τιμές της φυσικής υγρασίας:  $W < LP$  και μέχρι την τιμή που  $W = SL$  έχουμε κατάσταση εδάφους υπερστερεοποιημένη και δείκτη συνεκτικότητας  $I_c > 1$ .
- Τέλος όταν  $W = 0$  προκύπτει  $I_c \gg 1$ .

### **Σύγκριση φυσικής υγρασίας αργιλικού εδάφους και Ορίων Atterberg**

Ένα παράδειγμα που σαφώς χαρακτηρίζει ένα έδαφος συνεκτικό, ως προς τη στερεοποίησή του, είναι η σχέση της τιμής της φυσικής υγρασίας του με τις τιμές των Ορίων Atterberg.

Από την σύγκριση αυτή έχουμε ότι, τιμές της φυσικής υγρασίας αργιλικού εδάφους

- Μικρότερες του ορίου πλαστικότητας ( $LP$ ), δείχνουν συνεκτικά εδάφη, σκληρά και υπερστερεοποιημένα
- Μεταξύ των ορίων Atterberg, εδάφη κανονικά στερεοποιημένα για ένα σχετικό φορτίο και σε κατάσταση στιφρή, πλαστική, μαλακή και πολύ μαλακή.
- Για τιμές μεγαλύτερες του ορίου υδαρότητας ( $LL$ ) εδάφη υπερστερεοποιημένα σε κατάσταση ρευστή, υδαρή.



### 5.1.3 ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ LL

#### Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Δοχείο από πορσελάνη με διάμετρο 120mm
- Σπάτουλα με διαστάσεις : μήκος περίπου 80mm και πλάτος 20 mm.
- Συσκευή CASAGRANDE με προδιαγεγραμμένες διαστάσεις που φαίνονται στο Σχήμα [31]
- Όργανο για τη χάραξη
- Δοχεία
- Ζυγαριά με ευαισθησία 0,01 gr
- Κλίβανος 110°C , κάψες αλουμινένιες
- Κόσκινο Νο40 (0,42mm)

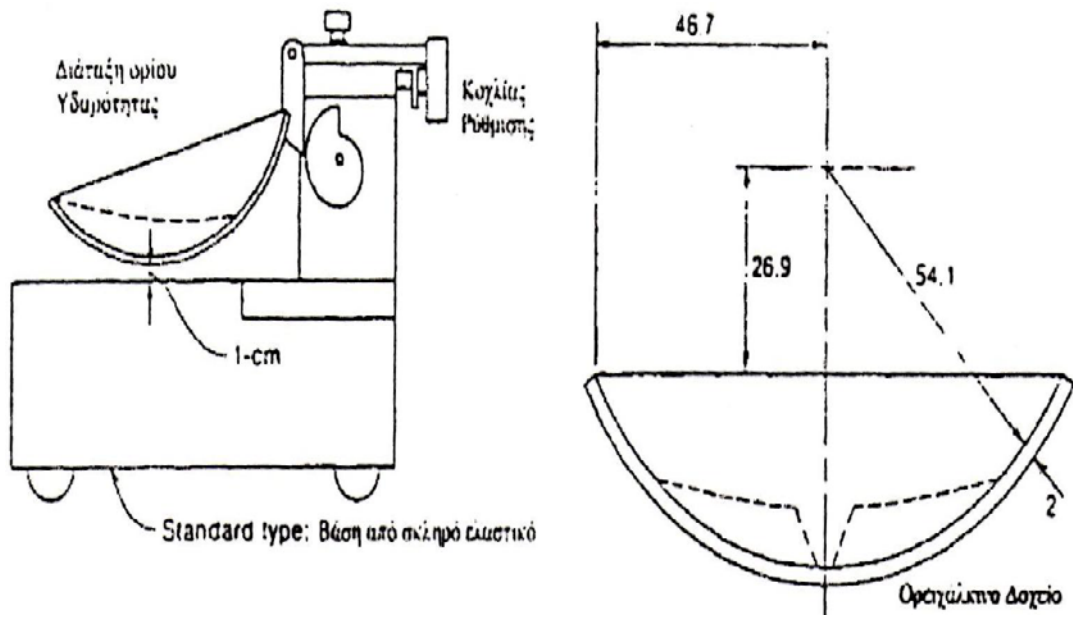
#### ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Η συσκευή CASAGRANDE επιθεωρείτε για να διαπιστώσουμε ότι δεν έχει επέλθει κάποια φθορά.

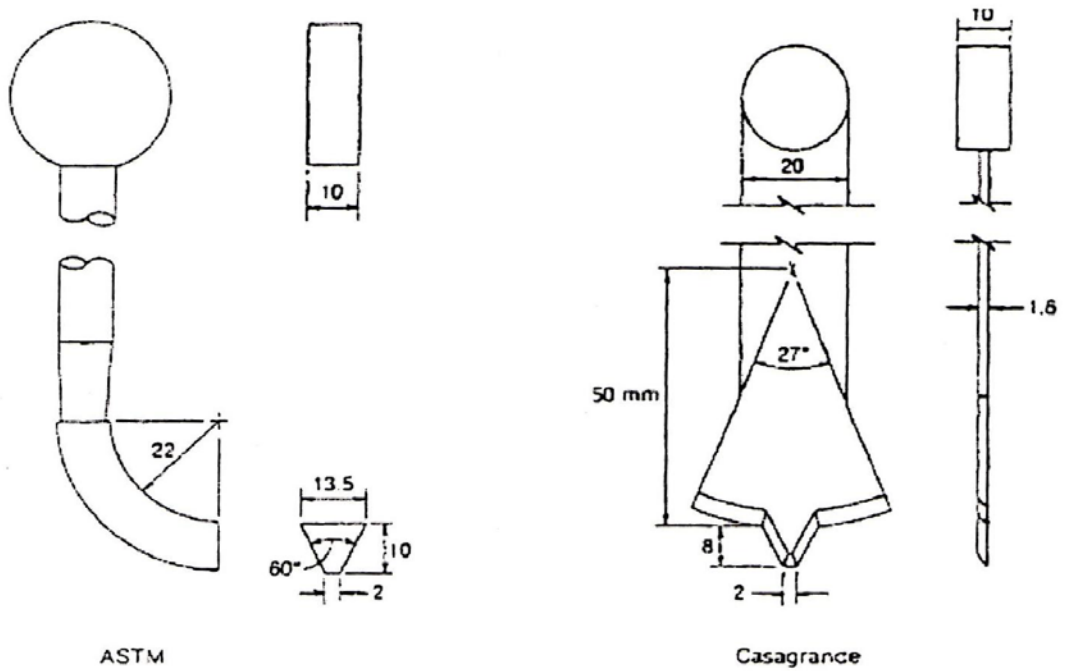
Στην συνέχεια με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χαράξεως ρυθμίζουμε το ύψος στο οποίο ανυψώνεται το κύπελλο έτσι ώστε το σημείο του κυπέλλου που έρχεται σε επαφή με την βάση της συσκευής να είναι ακριβώς 1cm πάνω από την βάση.

Στη συνέχεια σταθεροποιούμε την πλάκα ρυθμίσεως σφίγγοντας τους κοχλίες. Με τον μετρητή ακόμη στη θέση ελέγχουμε την ρύθμιση περιστρέφοντας τον στρόφαλο μερικές φορές. Εάν η ρύθμιση είναι καλή θα ακούγεται ένας ελαφρύς ήχος, όταν η προεξοχή του στροφάλου εφάπτεται της προεξοχής του κυπέλλου. Εάν το κύπελλο ανυψώνεται ή δεν ακούγεται ο ελαφρύς ήχος πρέπει να ξαναγίνει η ρύθμιση.

Το όργανο χάραξης είναι διαμορφωμένο στο ένα άκρο του με διαστάσεις 1cm1cm ώστε να ρυθμίζεται εύκολα το ύψος πτώσεως της συσκευής, ενώ το άλλο άκρο του εμφανίζει οξεία τριγωνική διατομή για την διαμόρφωση της εγκοπής εικόνα.



Σχήμα [31] Περιγραφή συσκευής Casagrande



Σχήμα [32] Περιγραφή εργαλείων χάραξης

## ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παίρνουμε δείγμα βάρους περίπου 100 gr από το υλικό το διερχόμενο από το κόσκινο Νο40, αφού προηγουμένα το έχουμε ξηράνει στον κλίβανο στους 60°C.

Αναμιγνύουμε το δείγμα με 15-20 cm<sup>3</sup> απεσταγμένο νερό.

Ανακατεύουμε πάρα πολύ καλά με την σπάτουλα μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα.



*Εικόνα [10]: Ανάμιξη εδαφικού δείγματος με απεσταγμένο νερό.*

Παραπάνω προσθήκη νερού, γίνεται σε ποσότητα 1–3 cm<sup>3</sup> και επακολουθεί η ανάμιξη ως ανωτέρου, πριν προστεθεί, αν χρειαστεί, άλλη ποσότητα νερού

Όταν ολοκληρωθεί η ανάμιξη και σχηματιστεί ομοιόμορφη πηχτή μάζα το μείγμα τοποθετείται στον υγραντήρα επί 30 min για ωρίμανση.

Στην συνέχεια παίρνουμε μέρος της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και την τοποθετούμε στο κύπελλο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά το κύπελλο στη βάση της συσκευής. Απλώνουμε το υλικό με την βοήθεια της σπάτουλας καταβάλλοντας προσπάθεια να μην εγκλείσουμε φυσαλίδες μέσα στο δείγμα.

Μετά την ισοπέδωση το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος πρέπει να είναι 1cm. Με το όργανο χάραξης, χωρίζουμε την μάζα σε δύο τμήματα κατά τον άξονα της συσκευής. Η χαραγή πρέπει να είναι καθαρή, απότομη και να φτάνει μέχρι τον πυθμένα του κυπέλλου. Για την χαραγή επιτρέπονται μέχρι 6 τέτοιοι χειρισμοί.



*Εικόνα [11]: Το εδαφικό δείγμα έχει τοποθετηθεί στην συσκευή Casagrande και είναι έτοιμο να ξεκινήσουμε την δοκιμή.*

Με περιστροφή του στροφάλου με ταχύτητα δύο στροφών ανα δευτερόλεπτο, ανυψώνεται και πέφτει το κύπελλο με το παρασκεύασμα, μέχρις ότου οι δύο πλευρές του δείγματος ενωθούν στον πυθμένα της χαραγής και σε μήκος 12,7 mm περίπου. Ο αριθμός των στροφών που πραγματοποιήθηκε καταγράφεται.

Στην συνέχεια το τμήμα του εδάφους κάθετα προς τη χαραγή αφαιρείται με τη σπάτουλα, ζυγίζεται, ξηραίνεται για 24h σε κλίβανο στους 110° C, ξαναζυγίζεται και προσδιορίζεται η υγρασία με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων.

Η πιο πάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται σε δύο τουλάχιστον επιπλέον τμήματα του δείγματος στα οποία έχει προστεθεί αρκετό νερό για να γίνει το δείγμα περισσότερο ρευστό.

Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η επίτευξη δειγμάτων τέτοιας συστάσεως ώστε να γίνεται τουλάχιστον ένας προσδιορισμός σε κάθε μια από τις ακόλουθες περιοχές κτύπων:

1 <sup>η</sup> Περιοχή	2 <sup>η</sup> Περιοχή	3 <sup>η</sup> Περιοχή
25-35	20-30	15-25

Σε ένα ημιλογαριθμικό χαρτί, απεικονίζουμε τα ζεύγη των τιμών των κτύπων με τις αντίστοιχες περιεχόμενες υγρασίες. Στον άξονα των τετμημένων τοποθετούμε τον αριθμό των κτύπων και στον άξονα των τεταγμένων τις τιμές των υγρασιών. Σχεδιάζουμε ένα ευθύγραμμο τμήμα, όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς τια ανωτέρω συντεταγμένες.

**Η υγρασία που αντιστοιχεί στο σημείο εκείνη του ευθύγραμμου τμήματος που έχει τετμημένη τους 25 κτύπους, είναι το όριο υδαρότητας του εδάφους.**

#### **ΣΗΜΕΙΩΣΗ**

Για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας εκτός από την μέθοδο που ανέπτυξε ο A. Casagrande , υπάρχει και μια πιο αξιόπιστη μέθοδος, αυτή του πενετρομέτρου.

## 5.1.4 ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

### Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Δοχείο από πορσελάνη με διάμετρο 120mm
- Σπάτουλα με διαστάσεις : μήκος περίπου 80mm και πλάτος 20 mm.
- Επιφάνεια για την κυλίνδρωση: Γυάλινη πλάκα σμυριδωμένη ή κομμάτι ομαλού και αστίλβωτου χαρτιού για κυλίνδρωση του δείγματος
- Δοχεία
- Ζυγαριά με ευαισθησία 0,01 gr
- Κλίβανος 110°C , κάψες αλουμινένιες
- Κόσκινο Νο40 (0,42mm)

### ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20gr από μέρος του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο40. Με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας παρασκευάζεται αρκετά πλαστική μάζα που να μορφώνεται εύκολα σβόλος. Αυτή τη φορά όμως με μικρότερο ποσοστό υγρασίας καθώς η απαιτούμενη υγρασία είναι σημαντικά μικρότερη.

Από αυτή την πλαστική μάζα παίρνουμε 8 gr και του δίνουμε σχήμα ελλειψοειδές. Το δείγμα κυλινδρώνεται ανάμεσα στα δάχτυλα και στην επιφάνεια κυλίνδρωσης, με πίεση ώστε να κυλινδρωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφου διαμέτρου σε όλο το μήκος του. Ο αριθμός των κυλινδρώσεων πρέπει να είναι μεταξύ 80-90 κινήσεων ανα λεπτό. Η πλήρης κυλίνδρωση συμπληρώνεται με την επιστροφή του χεριού – ραβδίσκου στην αρχική θέση.

Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3mm ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε 6 ή 8 τεμάχια. Τα τεμάχια συμπιέζονται με τα δάχτυλα σε ομοιόμορφη μάζα, χονδρικά ελλειψοειδούς σχήματος και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση για σχηματισμό νέου ραβδίσκου 3mm. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι ο ραβδίσκος να θρυμματιστεί σε διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 3mm. όταν συμβεί αυτό η διαδικασία σταματά. Η μάζα του θρυμματισμένου ραβδίσκου τοποθετείτε σε προζυγισμένη κάψα . Η κάψα με το έδαφος ζυγίζεται και τοποθετείται για ξήρανση στον κλίβανο στους 110°C μέχρι σταθεροποίησης του βάρους.



*Εικόνα [12]: Ραβδίσκος κατά την εκτέλεση της δοκιμής για τον υπολογισμό του ορίου πλαστικότητας.*

Στην συνέχεια υπολογίζεται η περιεχόμενη υγρασία η οποία θα είναι και το όριο πλαστικότητας του εδάφους.

Γίνονται δύο- τρεις δοκιμές και σαν όριο πλαστικότητας υπολογίζεται ο μέσος όρος.

## 5.1.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1.5.1 1<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

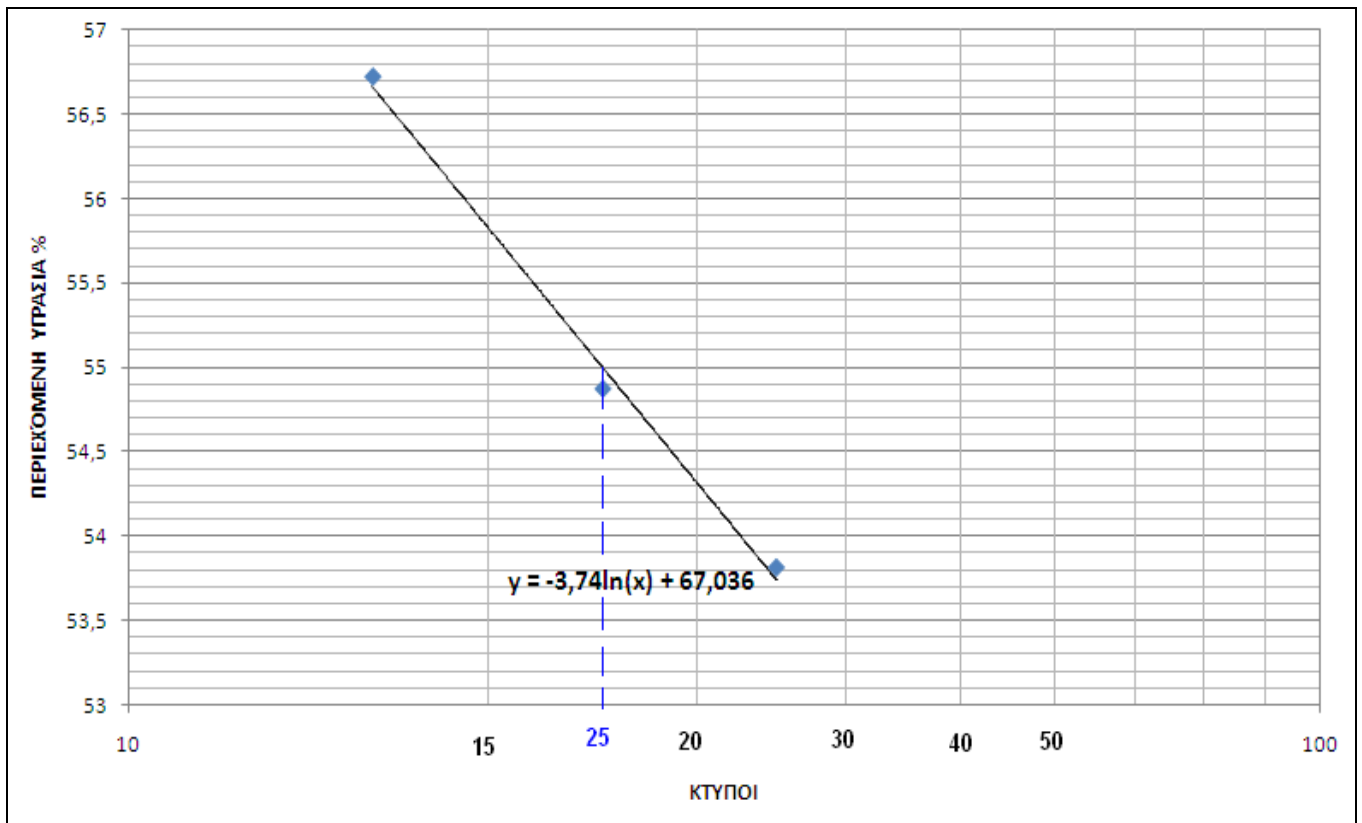
#### ο ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες και τα διαγράμματα υπολογισμού του ορίου υδαρότητας.

ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL) 1 <sup>ο</sup> ΔΟΚΙΜΙΟ				
	Α/Α ΔΟΚΙΜΗΣ	1	2	3
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ	35	25	16
	ΑΡΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ	40	43	50
A	ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	22,29	22,05	22,10
B	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ	31,78	29,84	31,66
Γ	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ	28,46	27,08	28,20
Δ=B-Γ	ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ	3,32	2,76	3,46
Ε=Γ-A	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	6,17	5,03	6,10
Z=(Δ/Ε)×100%	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %	53,81	54,87	56,72

Πίνακας[32]: Υπολογισμός ορίου υδαρότητας 1<sup>ου</sup> Δείγματος





Διάγραμμα υπολογισμού του Ορίου Υδαρότητας 1<sup>ου</sup> Δοκιμίου

Η υγρασία που αντιστοιχεί στο σημείο εκείνη του ευθύγραμμου τμήματος που έχει τετμημένη τους 25 κτύπους, είναι το όριο υδαρότητας του εδάφους.

Οπότε **Όριο Υδαρότητας LL= 55%**

**Σημείωση:**

Το Όριο Υδαρότητας αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες στρογγυλοποιημένο στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Για υλικά με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 το όριο υδαρότητας εκφράζεται με ακρίβεια 0,1.

ο ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στη συνέχεια παραθέτουμε τον πίνακα υπολογισμού του ορίου πλαστικότητας.

ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LP) 1 <sup>ο</sup> ΔΟΚΙΜΙΟ				
	ΑΡΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ	53	55	48
A	ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	22,21	21,99	22,96
B	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ	27,51	28,10	28,01
Γ	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ	26,27	26,53	26,66
Δ=B-Γ	ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ	1,24	1,57	1,35
Ε=Γ-A	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	4,06	4,54	3,70
Z=(Δ/Ε)×100 %	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %	30,54	34,58	36,48

Πίνακας [33]: Υπολογισμός του Ορίου Πλαστικότητας για το εδαφικό υλικό του 1<sup>ου</sup> Δείγματος.

- ❖ Ως Όριο Πλαστικότητας LP ορίζεται ο Μέσος Όρος των δοκιμών που πραγματοποιηθήκαν για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας W %.

Δηλαδή

Όριο Πλαστικότητας LP = 33,87 %

ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΟΡΙΩΝ Atterberg

- ✓ Δείκτης Πλαστικότητας  $I_p$ :

$$I_p = LL - LP = 55,00\% - 33,87\% = 21,03\%$$

- ✓ Δείκτης Υδαρότητας  $I_L$ :

$$I_L = \frac{W - PL}{LL - PL} = \frac{W - LP}{I_p} = \frac{51,939\% - 33,87\%}{21,03\%} = 0,86$$

- ✓ Δείκτης Συνεκτικότητας  $I_c$ :

$$I_c = \frac{LL - W}{LL - LP} = \frac{LL - W}{I_p} = \frac{55,00\% - 51,939\%}{21,03\%} = 0,15$$

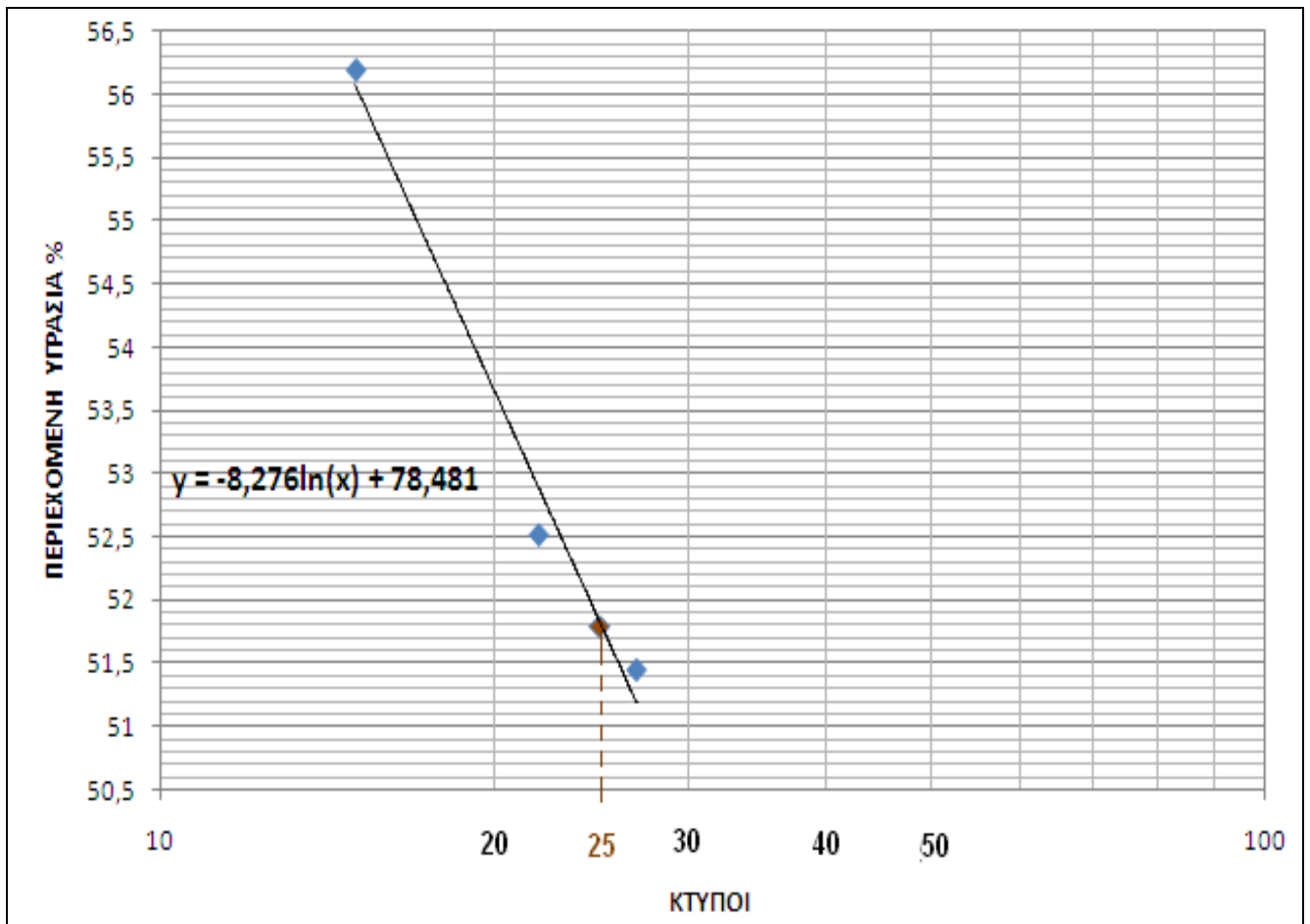
### 5.1.5.2 2<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

#### ο ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες και τα διαγράμματα υπολογισμού του ορίου υδαρότητας.

<b>ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ 2<sup>ο</sup> ΔΟΚΙΜΙΟ</b>				
	<b>Α/Α ΔΟΚΙΜΗΣ</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ</b>	27	22	15
	<b>ΑΡΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ</b>	9	50	45
<b>A</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ</b>	34,02	22,10	22,64
<b>B</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ</b>	44,44	31,48	32,09
<b>Γ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ</b>	40,90	28,25	28,69
<b>Δ=B-Γ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ</b>	3,54	3,23	3,40
<b>Ε=Γ-A</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ</b>	6,88	6,15	6,05
<b>Z=(Δ/Ε)×100 %</b>	<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %</b>	51,45	52,52	56,20

Πίνακας[34]: Υπολογισμός ορίου υδαρότητας 2<sup>ου</sup> Δείγματος



Διάγραμμα υπολογισμού του Ορίου Υδαρότητας 2<sup>ου</sup> Δοκιμίου

Η υγρασία που αντιστοιχεί στο σημείο εκείνη του ευθύγραμμου τμήματος που έχει τετμημένη τους 25 κτύπους, είναι το όριο υδαρότητας του εδάφους.

Οπότε      **Όριο Υδαρότητας**      **LL= 51,79%**

ο ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στη συνέχεια παραθέτουμε τον πίνακα υπολογισμού του ορίου πλαστικότητας.

ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ 2ο ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ	40	53
A	ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	22,30	22,21
B	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ	25,85	26,98
Γ	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ	24,98	25,80
Δ=B-Γ	ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ	0,87	1,18
Ε=Γ-A	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	2,68	3,59
Z=(Δ/Ε)×100 %	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %	32,46	32,87

Πίνακας [35]: Υπολογισμός του Ορίου Πλαστικότητας για το εδαφικό υλικό του 2<sup>ου</sup> Δείγματος

- ❖ Ως Όριο Πλαστικότητας LP ορίζεται ο Μέσος Όρος των δοκιμών που πραγματοποιηθήκαν για την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας W %.

Δηλαδή Όριο Πλαστικότητας LP = 32,67 %

ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΟΡΙΩΝ Atterberg

- ✓ Δείκτης Πλαστικότητας  $I_p$ :

$$I_p = LL - LP = 51,79\% - 32,67\% = 19,12\%$$

- ✓ Δείκτης Υδαρότητας  $I_L$  :

$$I_L = \frac{W - PL}{LL - PL} = \frac{W - LP}{I_p} = \frac{25,683\% - 32,67\%}{19,12\%} = -0,35\%$$

- ✓ Δείκτης Συνεκτικότητας  $I_c$  :

$$I_c = \frac{LL - W}{LL - LP} = \frac{LL - W}{I_p} = \frac{51,79\% - 25,683\%}{19,12\%} = 1,37\%$$

### 5.1.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά το τέλος των παραπάνω δοκιμών καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

	<u>1<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ</u>	<u>2<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ</u>
<b>Όριο Υδαρότητας <math>LL</math></b>	55,00 %	51,79 %
<b>Όριο Πλαστικότητας <math>LP</math></b>	33,87 %	32,67 %
<b>Δείκτης Πλαστικότητας <math>I_P</math></b>	21,03	19,12
<b>Δείκτης Υδαρότητας <math>I_L</math></b>	0,86	-0,35
<b>Δείκτης Συνεκτικότητας <math>I_C</math></b>	0,15	1,37

*Πίνακας[36]: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελεσμάτων των ορίων Atterberge και των δεικτών Atterberg..*

## 5.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 5.2.1 Εισαγωγή

**Κοκκομετρική ανάλυση** είναι ο προσδιορισμός της σχέσης του μεγέθους του ανοίγματος των βροχίδων κόσκινων και του ποσοστού κατά βάρος της εδαφικής ποσότητας που διέρχεται από τα κόσκινα αυτά.

Η κοκκομετρική ανάλυση γίνεται σε τρεις φάσεις:

- A. Στην κοσκίνισμα του χονδρόκοκκου υλικού (συγκρατούμενου στο κόσκινο No10)
- B. Στη φάση της καθίζησης (ανάλυση δια του αραιομέτρου). Αναλύεται το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No200 (δηλαδή η ιλύς και η άργιλος).
- C. Στη κοσκίνιση του λεπτόκοκκου. Κοσκινίζεται το υλικό ανάμεσα στο κόσκινο No10 και No200 δηλαδή η άμμος.

**Επειδή συγκρατούμενο στο κόσκινο No10 δεν είχαμε σημαίνει ότι το έδαφος μας δεν έχει χονδρόκοκκο υλικό.**

Παρακάτω περιγράφουμε την διαδικασία που ακολουθήσαμε για την κοκκομετρική διαβάθμιση του λεπτόκοκκου υλικού η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση με αραιόμετρο και την κοσκίνιση του λεπτόκοκκου.

## **1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ (ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ)**

### **Με την Μέθοδο καθίζησης Stokes'**

Η μέθοδος αυτή περιγράφει τον τρόπο εργασίας για τον προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη.

#### **Εργαστηριακός Εξοπλισμός**

- Ζυγός ακριβείας 0,1gr
- Γυάλινο ποτήρι 250ml
- Παράγοντας διασποράς
- Συσκευή αναδέυσεως , μηχανική
- Αραιόμετρο (Πυκνόμετρο) για την μέτρηση του ειδικού βάρους
- Γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000ml
- Θερμόμετρο ακριβείας 0,5°C
- Κόσκινο Νο10, τετραγωνικών οπών 2mm
- Υδατόλουτρο ή χώρος σταθερής θερμοκρασίας, για την διατήρηση σε σταθερή θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος κατά την διάρκεια της εκτέλεσης της δοκιμής.



## 5.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ

Από το δείγμα που διέρχεται από το κόσκινο Νο10 λαμβάνονται περίπου 50gr για τα περισσότερα εδάφη (για τα αμμώδη λαμβάνουμε 100gr).

Το δείγμα ζυγίζεται, τοποθετείται μέσα σε ποτήρι των 250 ml, καλύπτεται με 125ml από το έτοιμο διάλυμα του παράγοντα διασποράς (τον οποίο παρασκευάσαμε διαλύοντας 45,7gr άλατος σε απεσταγμένο νερό ώστε να παρασκευάσουμε 1lt διαλύματος  $\text{NaPO}_3$ ) αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί επί 12 τουλάχιστον ώρες .

Μετά την διαβροχή, το περιεχόμενο του ποτηριού μεταφέρεται με επίπλυση μέσα σε ένα κύπελλο διασποράς , προστίθεται απεσταγμένο νερό μέχρις ότου πληρωθεί το κύπελο περισσότερο από το μισό και το περιεχόμενο αναδεύεται με τη μηχανή συσκευή αναδέυσεως επί 1min ώστε να επιτευχθεί διασπορά.

Στη συνέχεια το μείγμα μεταφέρεται στο γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο όπου προστίθεται απεσταγμένο νερό, της ίδιας θερμοκρασίας με αυτή του υδατόλουτρου, μέχρι τελικού όγκου 1000ml.

Τότε ο ογκομετρικός κύλινδρος τοποθετείται μέσα στο υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας.

Όταν το εδαφικό αιώρημα αποκτήσει την θερμοκρασία του υδατόλουτρου, εξάγεται ο κύλινδρος και το περιεχόμενό του αναταράσσεται επί 1min κλείνοντάς τον με την παλάμη μας.

Σημειώνεται ο χρόνος περάτωσης της ανατάραξης, τοποθετείται ο κύλινδρος μέσα στο υδατόλουτρο και διαβάζεται η ένδειξη του αραιόμετρου στο τέλος των 2min. Παράλληλα παίρνουμε μετρήσεις και της θερμοκρασίας του αιωρήματος.

Οι επόμενες ενδείξεις παίρνονται στα 5, 15, 30,60, 250, 1440 min.

Μετά το πέρας της κάθε μέτρησης, το αραιόμετρο απομακρύνεται προσεκτικά από το εδαφικό αιώρημα και τοποθετείται με περιστροφική κίνηση μέσα σε ογκομετρικό κύλινδρο γεμάτο νερό.

Περίπου 20 ή 30 sec πριν την επόμενη ανάγνωση, το αραιόμετρο από το καθαρό νερό βυθίζεται αργά μέσα στο εδαφικό αιώρημα έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η ακινητοποίησή του πριν από τον καθορισμένο χρόνο ανάγνωσης.



*Εικόνα [13] Κατά την διαδικασία λήψης των μετρήσεων με το πυκνόμετρο*

## **2. ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ**

### **Εργαστηριακός Εξοπλισμός**

- Κόσκινα Νο10 – Νο200
- Κλίβανος
- Ζυγός

### **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Μετά το πέρας της ανάλυσης με το αραιόμετρο, το δείγμα που βρίσκεται μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο (άμμος, ιλύς και άργιλος) αδειάζεται πάνω στο κόσκινο Νο200 και ξεπλένεται καλά μέχρι το νερό που τρέχει να είναι καθαρό, ώστε να απομακρυνθούν η ιλύς και η άργιλος που έχουν ήδη αναλυθεί.

Με αυτόν τον τρόπο παραμένει η άμμος πάνω στο κόσκινο Νο200 , που είναι το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση.

Το υλικό ξηραίνεται στον κλίβανο. Στην συνέχεια ακολουθεί το κοσκίνισμα για το οποίο χρησιμοποιούνται κόσκινα ανάμεσα στο Νο10 και το Νο200.

## 5.2.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

### 5.2.3.1 1<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

Η ποσότητα του δείγματος που χρησιμοποιήσαμε για την εκτέλεση της δοκιμής είναι 50 gr.

#### ο Ανάλυση με Πυκνόμετρο

ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ 151 Η

Παράγοντας διασποράς: Εξαμεταφωσφορικό νάτριο με Ανθρακικό νάτριο ως ρυθμιστικό (χημικός τύπος:  $\text{NaPO}_3$ )

Ειδικό βάρος κόκκων  $\gamma_s = 2,168$  & Συντελεστής διόρθωσης  $a = 1,05$

Βάρος υγρού εδάφους:  $W=50\text{gr}$

Βάρος ξηρού εδάφους  $W_s = 48,24$  gr (Ο υπολογισμός παρουσιάζεται)

Ποσοστό διερχόμενο από το Νο10:  $W_{10} = 100\%$

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ								
Χρόνος s Min	Μέγιστη διάμετρο ο κόκκων	Θερμοκρασία °C	Ενδείξεις Πυκνομέτρου R <sub>i</sub>	Σύμθετη διόρθωση ένδειξης πυκνομέτρου c	Διορθωμένη ένδειξη $R=R_i+c$	Παράγοντας R-1	Ποσοστό κόκκων σε αραίωση P <sub>o</sub> %	Ποσοστό επί του συνολικού δείγματος
1	2	3	4	5	6	7	8 *	9
0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,041	23	1,031	- 0,00354	1,02746	0,02746	95,99	95,99
5	0,026	22	1,027	- 0,00399	1,02301	0,02301	80,43	80,43
15	0,015	23	1,024	- 0,00354	1,02046	0,02046	71,52	71,52
30	0,011	23	1,022	- 0,00354	1,01846	0,01846	64,52	64,52
60	0,007	23	1,020	- 0,00354	1,01646	0,01646	57,54	57,54
250	0,004	23	1,017	- 0,00354	1,01346	0,01346	47,05	47,05
1440	0,002	22	1,014	- 0,00399	1,01001	0,01001	34,99	34,99

Πίνακας [39] :Μετρήσεις δοκιμής ανάλυσης με πυκνόμετρο 1ου εδαφικού δείγματος

\* Τρόπος συμπλήρωσης της στήλης 8:

Για το υδρόμετρο 151 Η που χρησιμοποιήσαμε, το ποσοστό του εδάφους που παραμένει σαν αιώρημα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P\% = \frac{1606 \times (R - 1) \times \alpha}{P_{\text{δειγμα}} \cdot \xi_{\eta\rho}}$$

- ✓ Η τιμή της σταθεράς  $\alpha$  η οποία εξαρτάται από την πυκνότητα του αιωρήματος υπολογίζεται από το πίνακα (παράρτημα)
- ✓ Το  $P_{\text{δειγμα}} \cdot \xi_{\eta\rho}$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P_{\text{δειγμα}} \cdot \xi_{\eta\rho} = \frac{50 \text{ gr}}{1 + W}$$

Υπολογισμός υγροσκοπικής υγρασίας  $W$ , με την μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων :

Υπολογισμός υγροσκοπικής υγρασίας	
Αριθμός Κάψας	25
Βάρος κάψας	36,11
Βάρος κάψας + δείγμα	46,35
Βάρος κάψας + ξηρό δείγμα	45,99
Περιεχόμενο νερό	0,36
Βάρος ξηρού δείγματος	9,88
Περιεχόμενη υγρασία %	3,64

Πίνακας [40] : Υπολογισμός υγροσκοπικής υγρασίας 1<sup>ου</sup> εδαφικού δείγματος

Επομένως

$$P_{\xi_{\eta\rho} \cdot \text{δειγμ}} = \frac{50 \text{ gr}}{1 + 0,0364} = 48,24 \text{ gr}$$

- ο Υπολογισμός του **D** εκ του τύπου  $D = D' \times K_L \times K_G \times K_N$

Χρόνος (min)	D' (mm)	K <sub>L</sub>	K <sub>G</sub>	K <sub>N</sub>	D (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2	0,041	0,718	1,016	0,956	0,02859
5	0,026	0,752	1,016	0,967	0,01921
15	0,015	0,778	1,016	0,956	0,01133
30	0,011	0,796	1,016	0,956	0,00850
60	0,007	0,817	1,016	0,956	0,00555
250	0,004	0,841	1,016	0,956	0,00327
1440	0,002	0,868	1,016	0,967	0,00171

Πίνακας [41]: Υπολογισμός D 1<sup>ου</sup> εδαφικού δείγματος

- ο Κοκκομετρική ανάλυση λεπτόκοκκου υλικού

Κόσκινο	Βάρος κόσκινου χωρίς υλικό (gr)	Βάρος κόσκινου + ξηρό υλικό	Συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο (gr)	Διερχόμενο % *
No10 (2mm)	572,51	572,51	-	48,24	100
No30 (0,6mm)	502,90	503,73	0,83	47,41	98,28
No40 (0,425mm)	499,65	499,86	0,21	47,20	97,84
No50 (0,3mm)	473,44	473,44	0,20	47,00	97,43
No70 (0,212mm)	470,67	470,67	0,10	46,90	97,22
No100 (0,149mm)	458,76	458,76	0,06	46,84	97,10
No200 (0,074mm)	371,89	371,89	0,22	46,62	96,64

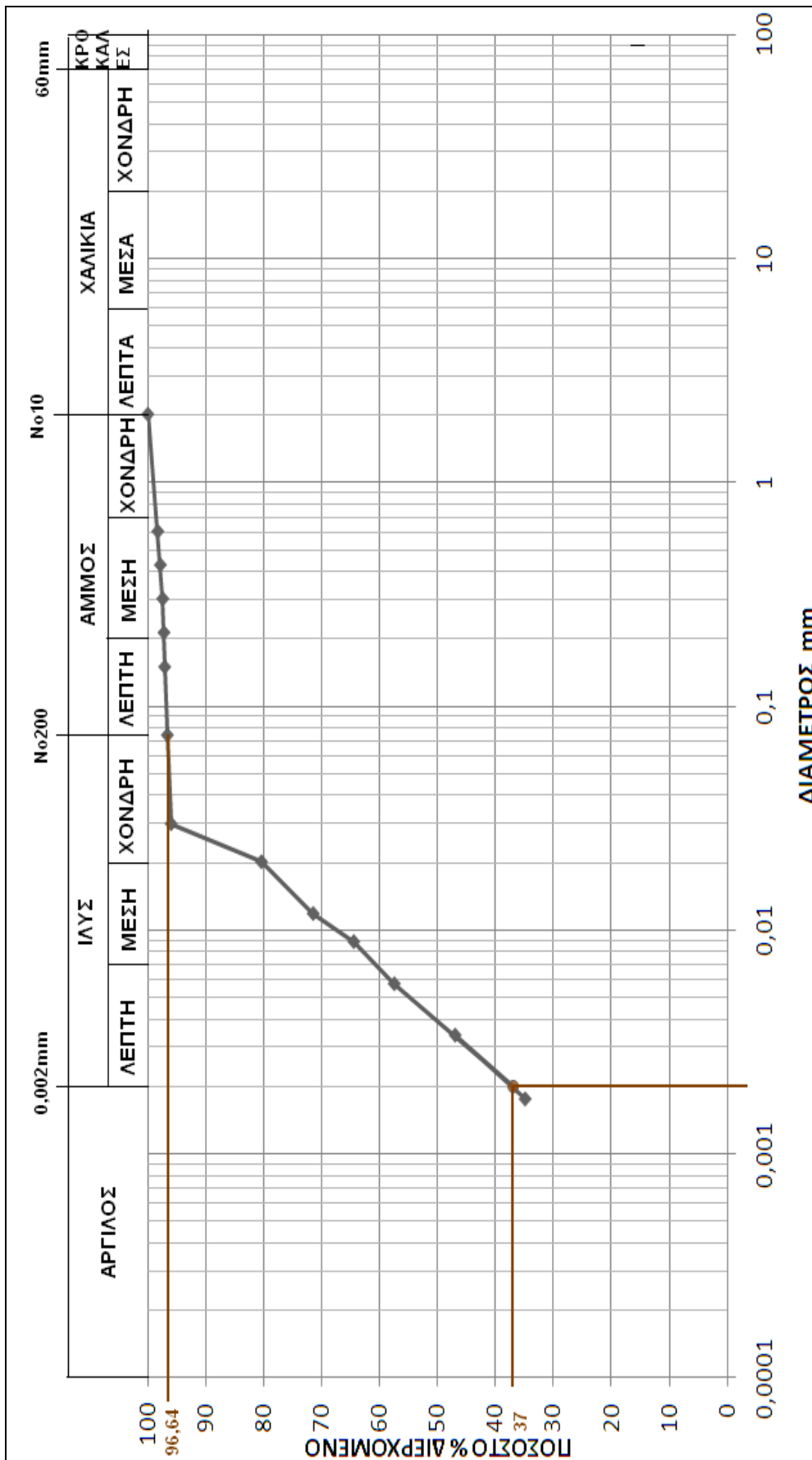
Πίνακας [42]: Μετρήσεις Κοκκομετρική ανάλυση λεπτόκοκκου υλικού 1<sup>ου</sup> εδαφικού Δείγματος

\* Το Διερχόμενο P% υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P\% = \frac{\text{Διερχόμενο}(gr)}{\text{Βάρος}(\text{ξηρού δείγματος})}$$

Όπου Β (ξηρού δείγματος)= 48,24

Ακολουθεί η κοκκομετρική καμπύλη του 1<sup>ου</sup> εδαφικού δείγματος.



### 5.2.3.2 2<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

Η ποσότητα του δείγματος που χρησιμοποιήσαμε για την εκτέλεση της δοκιμής είναι 49 gr.

#### ο **Ανάλυση με Πυκνόμετρο**

ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ 151<sup>H</sup>

Παράγοντας διασποράς: Εξαμεταφωσφορικό νάτριο με Ανθρακικό νάτριο ως ρυθμιστικό (χημικός τύπος: NaPO<sub>3</sub>)

Ειδικό βάρος κόκκων  $\gamma_s = 2,715 \text{ gr/cm}^3$  & Συντελεστής διόρθωσης  $a = 0,99$

Βάρος υγρού εδάφους:  $W=(-)\text{gr}$

Βάρος ξηρού εδάφους  $W_s = 49 \text{ gr}$  (Ο υπολογισμός παρουσιάζεται αναλυτικά)

Ποσοστό διερχόμενο από το Νο10:  $W_{10} = 100\%$

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ								
Χρόνος $\zeta$ min	Μέγιστη διάμετρο ο κόκκων	Θερμοκρασία °C	Ενδείξεις Πυκνομέτρου Ri	Σύνθετη διόρθωση ένδειξης πυκνομέτρου c	Διορθωμένη ένδειξη $R=Ri+c$	Παράγοντας R-1	Ποσοστό κόκκων σε αραιώση P%	Ποσοστό επί του συνολικού δείγματος
1	2	3	4	5	6	7	8*	9
0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,041	22	1,033	- 0,00399	1,02901	0,02901	94,13	94,13
5	0,026	24	1,032	- 0,00329	1,02871	0,02871	93,16	93,16
15	0,015	26	1,030	- 0,00280	1,02720	0,02720	88,26	88,26
30	0,011	27	1,027	- 0,00255	1,02445	0,02445	79,33	79,33
60	0,007	24	1,025	- 0,00329	1,02171	0,02171	70,44	70,44
250	0,004	23	1,022	- 0,00354	1,01846	0,01846	59,90	59,90
1440	0,002	26	1,016	- 0,00280	1,01320	0,01320	42,83	42,83

Πίνακας [43] :Μετρήσεις δοκιμής ανάλυσης με πυκνόμετρο 1ου εδαφικού δείγματος



\* Τρόπος συμπλήρωσης της στήλης 8:

Για το υδρόμετρο 151 H που χρησιμοποιήσαμε, το ποσοστό του εδάφους που παραμένει σαν αιώρημα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P\% = \frac{1606 \times (R-1) \times \alpha}{P_{\text{δειγμα} \cdot \xi\eta\rho}}$$

- ✓ Το α υπολογίζεται από το πίνακα με βάσει το ειδικό βάρος στερεών συστατικών του εδάφους (παράρτημα πίνακας 2 )
- ✓ Το  $P_{\text{δειγμα} \cdot \xi\eta\rho}$  είναι :

$$P_{\text{δειγμα} \cdot \xi\eta\rho} = 49 \text{ gr}$$

Εδώ το δείγμα του εδάφους που χρησιμοποιήσαμε το πήραμε από τον κλίβανο την ώρα της δοκιμής, οπότε δεν χρειάστηκε να βρούμε υγρασκοπική υγρασία.

ο **Υπολογισμός του D εκ του τύπου**

$$D = D' \times K_L \times K_G \times K_N$$

Χρόνος (min)	D' (mm)	K <sub>L</sub>	K <sub>G</sub>	K <sub>N</sub>	D (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2	0,041	0,699	0,983	0,967	0,02724
5	0,026	0,708	0,983	0,946	0,01712
15	0,015	0,728	0,983	0,925	0,00993
30	0,011	0,752	0,983	0,920	0,00748
60	0,007	0,770	0,983	0,946	0,00501
250	0,004	0,796	0,983	0,956	0,00299
1440	0,002	0,850	0,983	0,925	0,00155

Πίνακας [44] : Υπολογισμός D 2<sup>ου</sup> εδαφικού δείγματος

ο **Κοκκομετρική ανάλυση λεπτόκοκκου**

<b>Κόσκινο</b>	<b>Βάρος κόσκινου χωρίς υλικό (gr)</b>	<b>Βάρος κόσκινου + ξηρό υλικό</b>	<b>Συγκρατούμενο (gr)</b>	<b>Διερχόμενο (gr)</b>	<b>Διερχόμενο* %</b>
No10 (2mm)	-	-	-	49	100
No16 (1,18mm)	527,68	527,76	0,08	48,92	99,84
No40 (0,425mm)	499,61	499,66	0,05	48,87	99,73
No50 (0,3mm)	473,40	473,48	0,08	48,79	99,57
No100 (0,149mm)	458,75	458,82	0,07	48,72	99,43
No230 (0,063mm)	461,57	461,71	0,14	48,58	99,14
No200 (0,074mm)	445,93	445,93	-	48,58	99,14

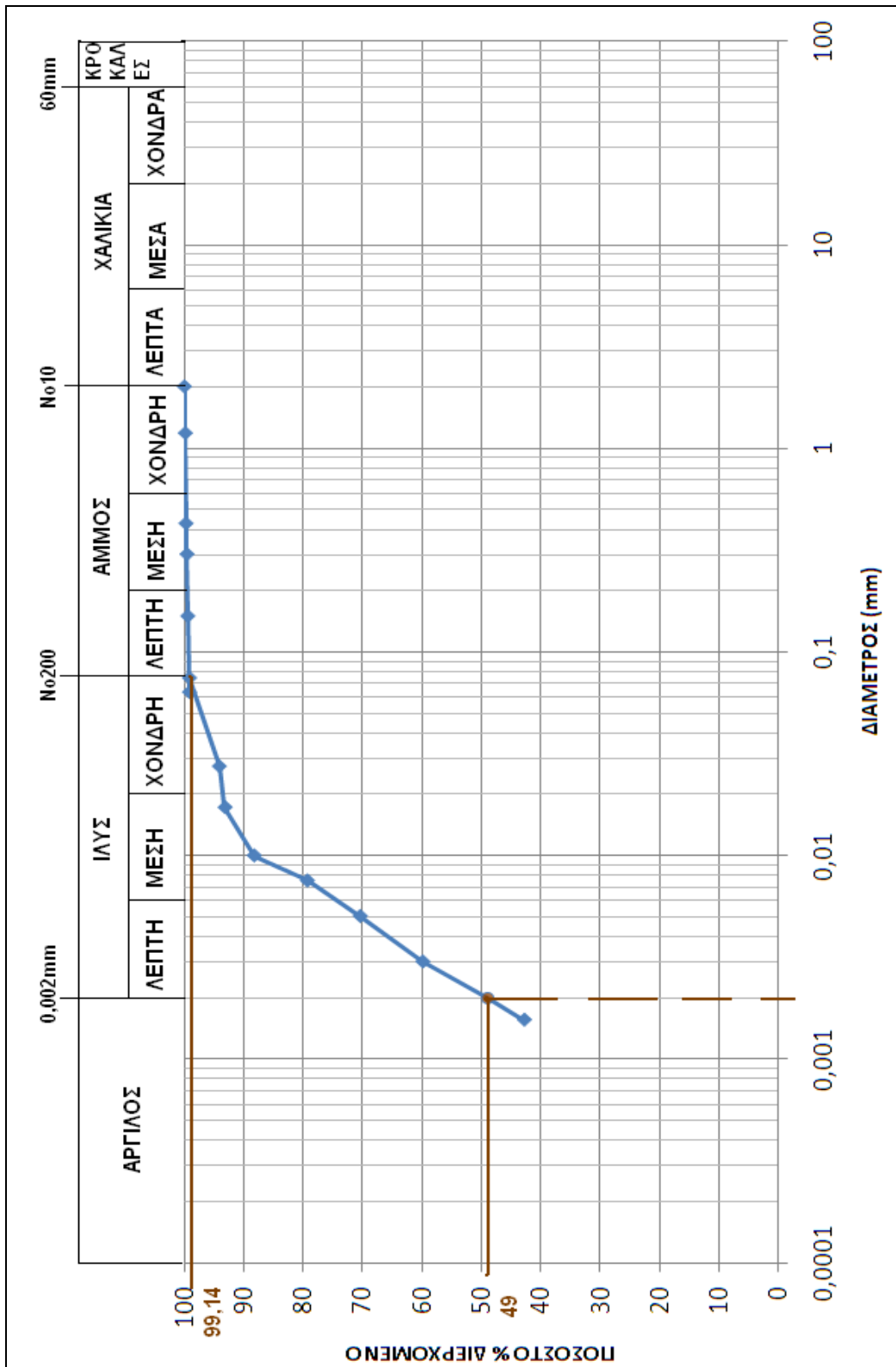
*Πίνακας [45] : Μετρήσεις Κοκκομετρική ανάλυση λεπτόκοκκου υλικού 1<sup>ου</sup>  
εδαφικού Δείγματος*

\*Το Διερχόμενο Ρ% υπολογίζεται από τον τύπο:

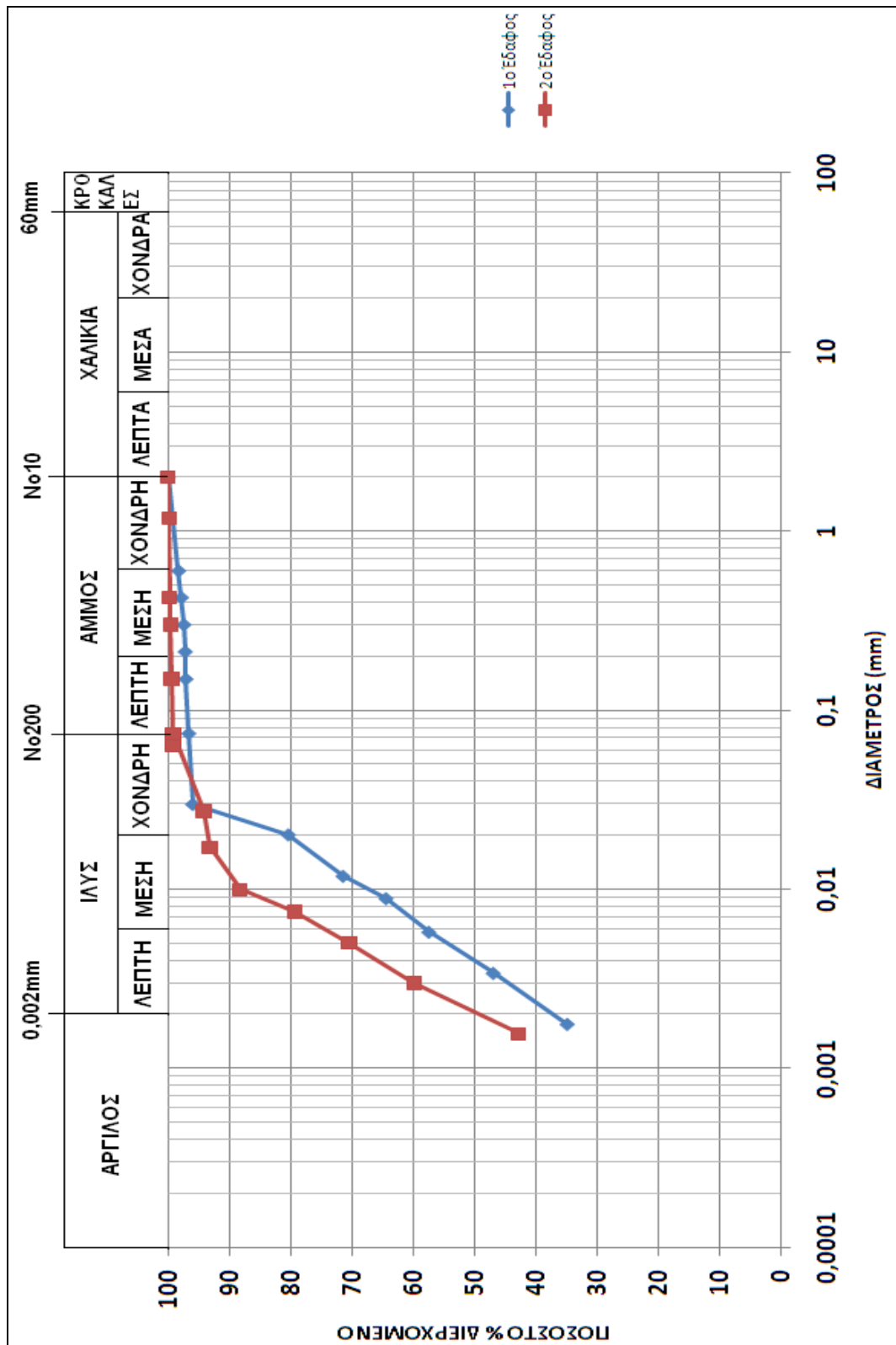
$$P\% = \frac{\text{Διερχόμενο}(gr)}{\text{Βάρος}(\text{ξηρού δείγματος})}$$

Όπου Β(ξηρού δείγματος)=48,24gr

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η κοκκομετρική καμπύλη του 2<sup>ου</sup> εδαφικού δείγματος.



## Ακολουθεί η κοκκομετρική καμπύλη και των δύο Εδαφικών Δειγμάτων



## 5.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Με βάση την κοκκομετρική καμπύλη των εδαφών προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για τα ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου, τα οποία παραθέτουμε στον πίνακα που ακολουθεί.

	ΑΜΜΟΣ	ΙΛΥΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ
1 <sup>ο</sup> Εδαφικό δείγμα	3,36%	59,64%	37%
2 <sup>ο</sup> Εδαφικό δείγμα	0,86%	50,14%	49%

Πίνακας [46] : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης

### ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ

Επειδή η κατάταξη των εδαφών με βάση μόνο το μέγεθος των κόκκων οδηγεί μερικές φορές σε παρερμηνεία γιατί οι ιδιότητες των λεπτόκοκκων εδαφών επηρεάζονται εκτός από το μέγεθος των κόκκων και από την ορυκτολογική τους σύσταση. Έτσι για την καλύτερη ταξινόμηση εφαρμόστηκε το ενοποιημένο σύστημα ταξινόμησης εδαφών με βάση τις Αμερικανικές προδιαγραφές της ASTM D2487-90

#### 1ο Εδαφικό δείγμα

Κόσκινο	Διερχόμενο	
No10	100%	LL=55%
No40	97,84%	I <sub>p</sub> =21,03%
No200	96,64%	

Πίνακας [47] : Κατάταξη 1ου Εδαφικού Δείγματος

- 1)  $P=96,64\% > 50\%$  --> Λεπτόκοκκο
- 2) Για  $LL=55\% > 50\%$  ομάδα MH ή CH ή OH
- 3) Για  $LL=55\%$  και  $I_p=21,03\%$  βρισκόμαστε κάτω από την γραμμή A . Άρα MH (Ανόργανη ιλύς) ή OH (Οργανική άργιλος)

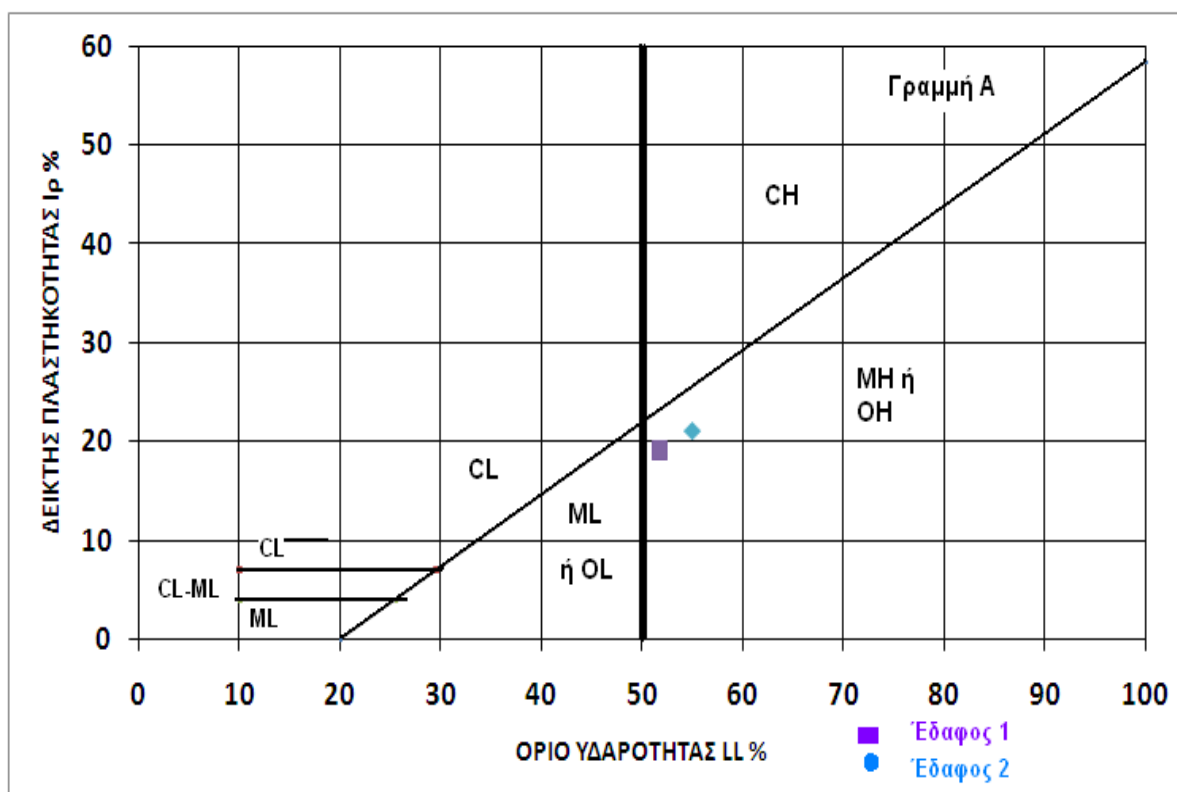
## 2ο Εδαφικό δείγμα

Κόσκινο	Διερχόμενο	LL=51,79%
No10	100%	
No40	99,73%	I <sub>p</sub> =19,12%
No200	99,14%	

Πίνακας [48] : Κατάταξη 1ου Εδαφικού Δείγματος

- 1)  $P=99,14\% > 50\%$  --> Λεπτόκοκκο
- 2) Για  $LL=51,79\% > 50\%$  ομάδα MH ή CH ή OH
- 3) Για  $LL=51,79\%$  και  $I_p=19,12\%$  βρισκόμαστε κάτω από την γραμμή A .  
Άρα MH (Ανόργανη ιλύς) ή OH (Οργανική άργιλος)

## Διάγραμμα Πλαστικότητας.



## 5.3 ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ A

### 5.3.1 Εισαγωγή

Τα όρια Atterberg και το ποσοστό αργίλου μπορούν να συνδυαστούν με μία παράμετρο η οποία καλείται Ενεργότητα.

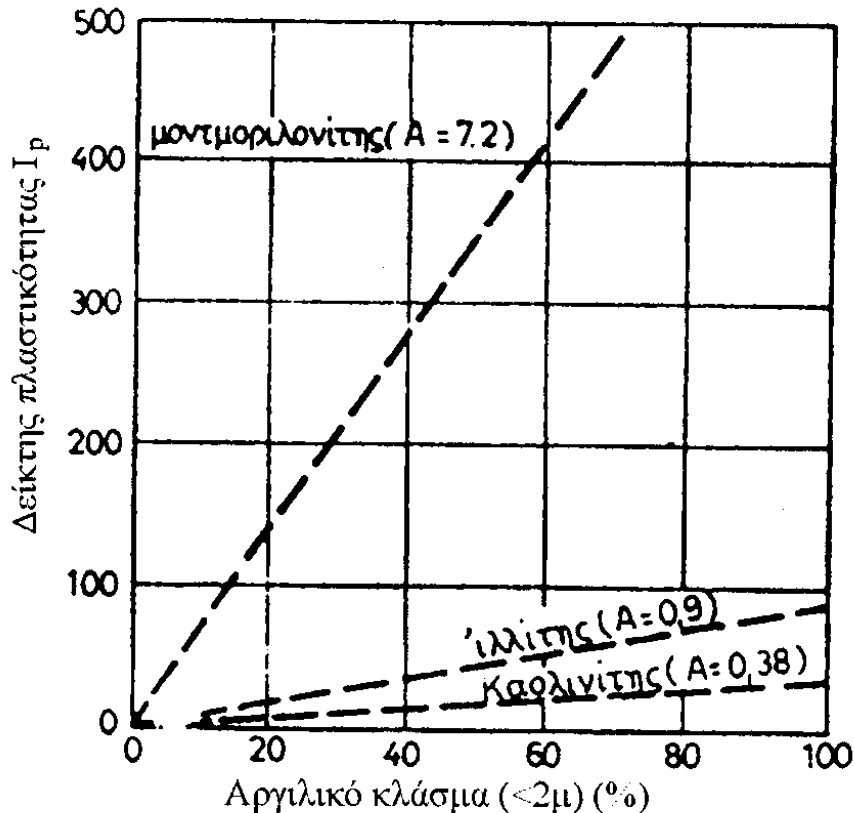
Η Ενεργότητα A ενός εδάφους που περιέχει N% ποσοστό αργίλου με δείκτη πλαστικότητας  $I_p$ , δίνεται από την σχέση:

$$A = \frac{I_p}{N\%}$$

Η Ενεργότητα ορυκτών της αργίλου εξαρτάται από την χημική σύστασή τους.

Στο σχήμα[33], δίνεται η συσχέτιση των τιμών του δείκτη πλαστικότητας  $I_p$  και της ενεργότητας για διάφορα αργιλικά ορυκτά, σε συνάρτηση του επί % αργιλικού κλάσματος, με διάμετρο  $D < 2\mu$ .

Κατ' εξαίρεση οι χαλαζιακοί κόκκοι είναι ουδέτεροι έστω και με διάμετρο  $< 2\mu$ , όπως φαίνεται στον πίνακα.



Σχήμα[33] : Σχέση δείκτη πλαστικότητας  $I_p$  με την ενεργότητα σε συνάρτηση του επί % αργιλικού κλάσματος ενός εδαφικού υλικού

**Πίνακας Ενεργότητας διαφόρων ορυκτών αργίλων εδαφών (Holtz & Kovacs 1981)**

<b>Ορυκτό Αργίλου</b>	<b>Ενεργότητα</b>
Μοντμοριλλονίτης	4 – 7
Ασβεστοχικός Μοντμοριλλονίτης	1,5
Ιλλίτης	0,5 – 1,3
Καολινίτης	0,3 – 0,5
Αλλουσίτης (ανυδρίτης)	0,5
Αλλουσίτης (υδρίτης)	0,1
Ατταπουλγίτης	0,5 – 1,2
Αλλοφάνης	0,5 – 1,2
Μοσχοβίτης	0,2
Ασβεσίτης	0,2
Χαλαζίτης	0,0

*Πίνακας [36] : Ενεργότητα διαφόρων ορυκτών αργίλων εδαφών (Holtz & Kovacs 1981)*

Η χρήση των Ορίων Atterberg είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για εδάφη ενεργότητας  $0,75 < A < 1,25$  που είναι τα κανονικά ενεργά εδάφη, όπως φαίνεται και από τον πίνακα [37].

**Πίνακας Χαρακτηρισμός του βαθμού ενεργότητας των αργιλικών εδαφών**

<b>Ενεργότητα</b>	0,75<	0,75 – 1,25	>1,25
<b>Χαρακτηρισμός εδάφους</b>	Μη ενεργό	Κανονικό	Ενεργό

*Πίνακας [37] : Χαρακτηρισμός του βαθμού ενεργότητας των αργιλικών εδαφών*

Για τα εδάφη αυτά έχουν βρεθεί εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν τα όρια Atterberg με διάφορα χαρακτηριστικά εδάφη.



### 5.3.2 ΕΥΡΕΣΗ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑΣ

- 1<sup>ο</sup> Εδαφικό δείγμα

$$A = \frac{I_p}{N\%} = \frac{21,03\%}{37\%} = 0,43$$

- 2<sup>ο</sup> Εδαφικό δείγμα

$$A = \frac{I_p}{N\%} = \frac{19,12\%}{49\%} = 0,39$$

#### **Πίνακας Αποτελεσμάτων**

	<b>Ενεργότητα</b>	<b>Χαρακτηρισμός</b>
1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα	0,43<0,75	Μη ενεργό
2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα	0,39<0,75	Μη ενεργό

*Πίνακας [38] Συγκεντρωτικά αποτελέσματα -Χαρακτηρισμός του βαθμού ενεργότητας  
1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> Εδαφικού Δείγματος*

## 5.4 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

### 5.4.1 Εισαγωγή

Η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης αποτελεί την πιο απλή εργαστηριακή μέθοδο κατά την οποία ένα κυλινδρικό εδαφικό δείγμα φορτίζεται με ταχύ ρυθμό στην κατακόρυφη διεύθυνση χωρίς πλευρική ένταση και χωρίς έλεγχο της πίεσης πόρων και γι' αυτό διεξάγεται μόνο στα συνεκτικά εδάφη, επειδή αυτά μπορούν να μορφοποιηθούν και να διατηρήσουν το σχήμα τους χωρίς την βοήθεια εγκιβωτισμού.

Συνεπώς, η δοκιμή της ανεμπόδιστης (μονοαξονικής) θλίψης είναι μια ταχεία δοκιμή με σκοπό τον γρήγορο προσδιορισμό της θλιπτικής **αντοχής** και κατά συνέπεια της **συνοχής** των εδαφών.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι αστράγγιστες συνθήκες σημαίνει ότι η φόρτιση στην οποία υποβάλλεται το δοκίμιο είναι πολύ ταχεία ώστε το νερό των πόρων να μην προλαβαίνει να διαφύγει, το έδαφος παραμορφώνεται διατηρώντας σταθερό όγκο, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσονται υπερπιέσεις πόρων.

Η γνώση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση πολλών γεωτεχνικών προβλημάτων, όπως για παράδειγμα ο σχεδιασμός ορυχείων και εκσκαφών και ο προσδιορισμός της φέρουσας ικανότητας των θεμελίων.

Για τους γεωτεχνικούς μηχανικούς η κρίσιμη κατάσταση στο έδαφος εμφανίζεται συνήθως μετά την κατασκευή ενός έργου και αντιστοιχεί σε συνθήκες μη στραγγίσεως, οπότε η γωνία τριβείας είναι ίση με μηδέν. Τότε η διατμητική αντοχή ενός συνεκτικού εδάφους λαμβάνεται ίση με το μισό της ανεμπόδιστης θλιπτικής αντοχής ( $q_u$ ). Μετά το στάδιο κατασκευής και κατά το στάδιο λειτουργίας του έργου η πίεση του ύδατος πόρων διαχέεται σταδιακά και τα φορτία αρχίζουν να μεταβιβάζονται στους κόκκους του εδάφους, οπότε αναπτύσσονται οι δυνάμεις τριβής και ισχύει πλέον το κριτήριο θραύσεως του Coulomb.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM, η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ( $q_u$ ) ορίζεται ως η θλιπτική πίεση για την οποία ένα κυλινδρικό αδιατάρακτο ή αναζυμωμένο εδαφικό δοκίμιο μη υποστηριζόμενο πλευρικά θα αστοχήσει σε μία δοκιμή απλής συμπίεσεως υπό έλεγχο τάσεων ή παραμορφώσεων. Αναλυτικά θα αναφερθούμε σε επόμενες παραγράφους.

Η δοκιμή αυτή γίνεται μόνο κάτω από της παρακάτω **προϋποθέσεις**:

- ✓ Να είναι το έδαφος **συνεκτικό**, γιατί το δοκίμιο είναι ελεύθερο πλευρικά
- ✓ Η γωνία εσωτερικής τριβής να είναι μηδέν  $\phi = 0$
- ✓ Η δοκιμή να ολοκληρώνεται μέσα σε **15 min** το πολύ, για να μην χάνει υγρασία το δοκίμιο, οπότε η  $\phi$  να διατηρείται ίση με μηδέν

Συνεπώς η δοκιμή γίνεται σε **κορεσμένα αργιλικά δοκίμια**

## **Εργαστηριακός εξοπλισμός**

Για την ορθή εκτέλεση της δοκιμής χρειάστηκε ο παρακάτω **εργαστηριακός εξοπλισμός**

Συσκευή για την εκτέλεση της δοκιμής, εφοδιασμένη με:

- Μετρητή παραμορφώσεως, που έχει ικανότητα ανάγνωσης 0,01 mm.
- Δακτύλιο ανάγνωσης των ασκούμενων φορτίων.
- Παχύμετρο.
- Χρονόμετρο.
- Κλίβανο θερμοκρασίας  $105 \pm 5$  °C.
- Ζυγαριές με ακρίβεια 0,1 gr και 0,01 gr.
- Δοχεία, εργαλεία κοπής και αναζύμωσης, εξολκέας.



Εικόνα [3] :Συσκευή (πρέσα) Δοκιμών Ανεμπόδιστης Θλίψης



*Εικόνα [4] : Χρονόμετρο  
(χρησιμοποιείται για να μην ξεπεράσει η δοκιμή τα 10 λεπτά αλλά και για την χειροκίνητη λειτουργία της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης ώστε να κρατάμε σταθερή ταχύτητα σε αναλογία με τον χρόνο)*



*Εικόνα [5]: Παχύμετρο  
( χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις του ύψους και της διαμέτρου του δοκιμίου)*



Εικόνα[6] :Μορφοποιητής αδιατάρακτου δοκιμίου (τόρνος εδάφους) & εργαλείο κοπής εδάφους

## Δοκίμιο

Το δοκίμιο μπορεί να είναι είτε *Αδιατάραχτο* είτε *Αναζυμώμενο*

Τα αδιατάραχτα δοκίμια παρασκευάζονται από μεγάλα αδιατάραχτα δοκίμια τα οποία παίρνονται με δειγματοληπτικούς σωλήνες λεπτών τοιχωμάτων. Συχνά τα δοκίμια κατελώνονται με ειδικό υλικό (γύψο) σε περίπτωση που οι βάσεις τους είναι ανώμαλες.

Τα αναζυμώμενα δοκίμια παρασκευάζονται με αναζύμωση του αδιατάραχτου δείγματος μέσα σε λεπτή ελαστική μεμβράνη με τα δάχτυλα για να διατηρηθεί η υγρασία.

Το δοκίμιο που θα προκύψει πρέπει:

- Να μην έχει εγκλωβισμένο αέρα.
- Να έχει ομοιόμορφη πυκνότητα.
- Να έχει την φυσική του υγρασία και το φυσικό λόγω κενών.

Το δοκίμιο στην συνέχεια συμπυκνώνεται σε κυλινδρικό τύπο με τους παρακάτω περιορισμούς:

- Η ελάχιστη διάμετρος του δοκιμίου θα είναι 3,30 cm.
- Ο μεγαλύτερος κόκκος του δοκιμίου πρέπει να είναι μικρότερος από το 1 / 10 της διαμέτρου του δοκιμίου.
- Για δοκίμια με διάμετρο μεγαλύτερη από 7,15 cm, το μέγεθος του μεγαλύτερου κόκκου πρέπει να είναι μικρότερο από το 1 / 6 της διαμέτρου.
- Ο λόγος του ύψους του δοκιμίου (H) προς τη διάμετρό του (D) πρέπει να είναι  $2 \leq H / D \leq 3$  , για να μη γίνεται λυγισμός.

## 5.4.2 ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Για να γίνει η δοκιμή αντοχής ενός δείγματος σε μονοαξονική – ανεμπόδιστη θλίψη χρησιμοποιούμε μια χειροκίνητη συσκευή φορτίσεως (θλίψεως) . Αυτή αποτελείται από μια πρέσα μέσα στην οποία το εδαφικό δείγμα πιέζεται κατακόρυφα. Σημειώνεται ότι η πρέσα των δοκιμών θλίψης λειτουργεί χειροκίνητα με την βοήθεια μια χειρολαβής , οποία πρέπει να περιγράφει κυκλική κίνηση με σταθερή ταχύτητα 5 sec.

Έτσι, το δείγμα τοποθετείται σε μία πρέσα δοκιμών θλίψης. Εφαρμόζεται το φορτίο ώστε να προσδίνεται ανηγμένη αξονική παραμόρφωση  $\frac{1}{2}\%$  μέχρι 2% ανά λεπτό και καταγράφονται αυτόματα οι τιμές του θλιπτικού αξονικού φορτίου που επιφέρεται και οι παραμορφώσεις κάθε 30 sec.

*Για παράδειγμα:*

Για δοκίμιο με ύψος περίπου 76 mm η παραμόρφωση (ΔΗ) ανά λεπτό μπορεί να είναι μεταξύ 0,38 mm και 1,52 mm.

Λόγω της σχετικής υψηλής παραμορφωσιμότητας των δοκιμών έναντι των δύσκαμπτων πλακών της συσκευής (από χάλυβα), το πείραμα γίνεται ουσιαστικά με έλεγχο των παραμορφώσεων (strain controlled).

Η ταχύτητα παραμόρφωσης ρυθμίζεται έτσι ώστε ο χρόνος θραύσης για τα μη καλυμμένα δοκίμια να μην ξεπερνάει τα 10 λεπτά. Ενώ η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι να παρατηρηθεί μείωση της τιμής του φορτίου ή μέχρι να εμφανιστεί ανηγμένη παραμόρφωση ίση με 20 %.

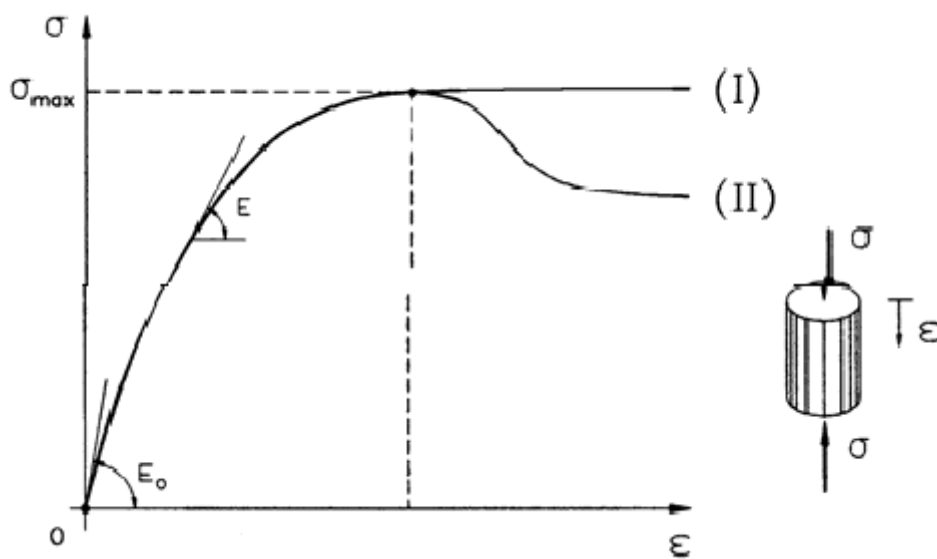
Όταν τελειώσει η δοκιμή πρέπει να σχεδιαστεί σκαρίφημα που να δείχνει τον τρόπο θραύσης του δοκιμίου.

Το Σχήμα [24] που ακολουθεί παρουσιάζει τη μορφή μιας τυπικής καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων που προκύπτει κατά τη μονοαξονική θλίψη ενός κυλινδρικού δοκιμίου αργίλου.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων ενώ αρχικά είναι γραμμική στην συνέχεια γίνεται μη γραμμική. Επιπλέον ένα σημαντικό τμήμα της παραμόρφωσης είναι ανελαστικό, δηλαδή δεν αναιρείται αμέσως μετά την αφαίρεση του φορτίου (ακόμη και αν το έδαφος δεν φτάσει στην κατάσταση αστοχίας).



Το αρχικό τμήμα της είναι πρακτικά ευθύγραμμο με μέτρο ελαστικότητας  $E_0$ , ενώ στη συνέχεια η θλιπτική τάση αυξάνει με βαθμιαία **μειούμενο** ρυθμό, οπότε το μέτρο ελαστικότητας  $E$  μικραίνει. Με περαιτέρω αύξηση της παραμόρφωσης, το υλικό φθάνει σε μία κατάσταση στην οποία η παραμόρφωση δεν συνοδεύεται πλέον από αντίστοιχη αύξηση της τάσης, αλλά είτε η τάση παραμένει σταθερή (I) είτε βαθμιαία μειώνεται (II). Η κατάσταση αυτή ονομάζεται **κατάσταση αστοχίας** και αντιστοιχεί στη μέγιστη φόρτιση που μπορεί να αναληφθεί από το υλικό. Η κατάσταση αστοχίας του εδάφους έχει καταστροφικές συνέπειες στα έργα Πολιτικού Μηχανικού, επειδή συνοδεύεται από σημαντικές παραμορφώσεις που υπερβαίνουν τις ανοχές των συνήθων κατασκευών.



Σχήμα [24]: Καμπύλη φόρτισης αργίλου



*Εικόνα [7]: Κυλινδρικό δοκίμιο μετά από δοκιμή*



*Εικόνα [8]: Κυλινδρικό δοκίμιο κατά την διάρκεια δοκιμής σε κατάσταση θράυσης*

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η ανηγμένη παραμόρφωση ορίστηκε ως:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0}$$

Ο αρχικός όγκος του δοκιμίου είναι:  $V = A \cdot H_0$

Συγκεκριμένα:

**A:** το εμβαδό τη κάθετης επιφάνειας στον άξονα του κυλίνδρου (βάση).

Δεχόμαστε ότι η δοκιμή συμβαίνει δίχως μεταβολή του όγκου του δοκιμίου.

Αν το βαρελάκι του δοκιμίου εξομοιωθεί με κύλινδρο βάσης  $A'$  και ίσου ύψους, τότε ο όγκος του θα δίνεται από τη σχέση:

$$V' = A' \cdot (H_0 - \Delta H)$$

Άλλα είναι αμετάβλητος ο όγκος:  $V = V'$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι:

$$A' = \frac{A}{1 - \varepsilon}$$

Η τελευταία σχέση δίνει τη διατομή του κυλίνδρου σε συνάρτηση με την ανηγμένη αξονική παραμόρφωση ( $\varepsilon$ ).

Από το δοκίμιο είναι γνωστά τα μεγέθη **A**, **H<sub>0</sub>** (αφού υπάρχει δυνατότητα μέτρησης του ύψους και της διαμέτρου του δοκίμια με το παχύμετρο που αναφέρθηκε στον απαραίτητο εργαστηριακό εξοπλισμό)

Για κάθε μέτρηση είναι γνωστά τα:  **$\Delta H$** ,  **$P$**

Ενώ θα προσδιορίζονται τα:  $\varepsilon$ ,  $\sigma$  από τις σχέσεις:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \quad \sigma = \frac{P}{A'} \quad A' = \frac{A}{1 - \varepsilon}$$

Και θα προκύπτουν σημεία Κ με συντεταγμένες Κ (ε, σ) στο διάγραμμα με άξονες

(ε %) και (σ).

Τα διάφορα σημεία Κ θα ενώνονται με συνεχή γραμμή και από την καμπύλη που προκύπτει θα καθορίζεται η αντοχή στην ανεμπόδιστη θλίψη.

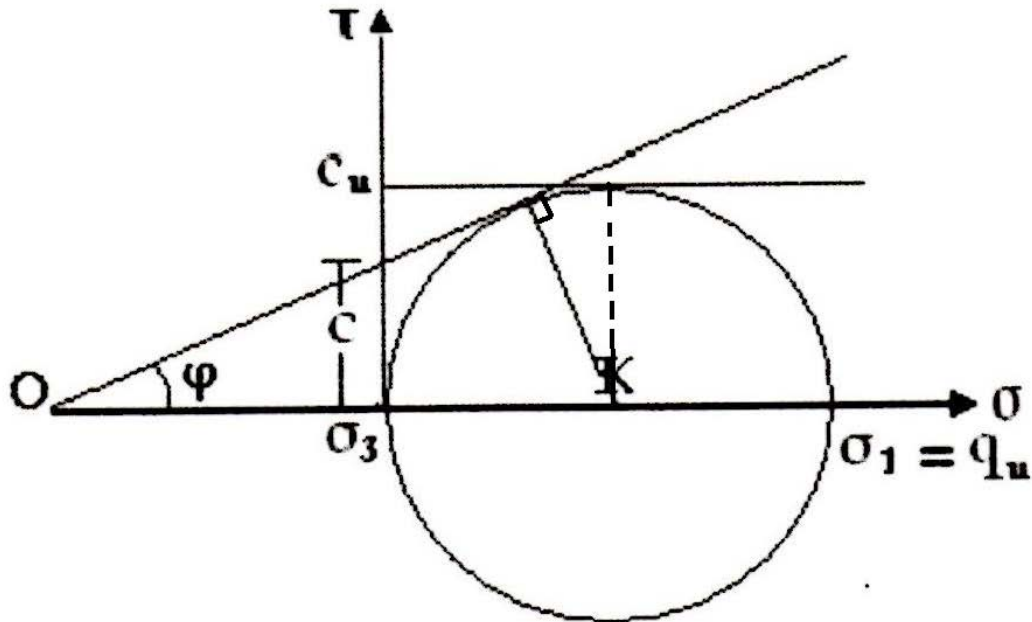
**Σαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ( $q_u$ )** του εδάφους ορίζεται η τάση η (σ) που αντιστοιχεί σε μία από τις ακόλουθες καταστάσεις:

- 1) στην θραύση (όταν αρχίζει να παρουσιάζει επιφάνεια θραύσης δηλαδή το Α αρχίζει να μικραίνει ή όταν η παραμόρφωση συνεχίζεται χωρίς την αύξηση του φορτίου)
- 2) όταν η παραμόρφωση γίνεται  $\varepsilon = 20 \%$  (χωρίς να προηγηθεί θραύση).

Επίσης, από το ίδιο διάγραμμα μπορεί να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους Ε που είναι η κλίση της ευθείας στις αρχικές παραμορφώσεις.

### 5.4.3 Συμπεράσματα Δοκιμής

Η εντατική κατάσταση (κύκλος του Mohr) κατά την δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης φαίνεται στο σχήμα [25].



Σχήμα [25]: Ο κύκλος του Mohr που απεικονίζει την κατάσταση τάσεων κατά την δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης.

Κατά την αστράγγιστη δοκιμή των κορεσμένων δοκιμίων δεν κινητοποιείται τριβή μεταξύ των κόκκων, η γωνία τριβής είναι ίση με μηδέν, η μέγιστη αντοχή  $q_u$  είναι ίση με την μέγιστη κύρια τάση  $\sigma_1$ . Από το διάγραμμα του Mohr προκύπτει ότι η συνοχή  $C$  ισούνται με το μισό της αντοχής στην ανεμπόδιστη θλίψη

$$C = \frac{q_u}{2}$$

Επειδή η παραδοχή αυτή είναι προσεγγιστική και συνήθως κινητοποιείται κάποια τριβή μεταξύ των κόκκων, μπορεί η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη να διορθωθεί από την κλίση του επιπέδου θραύσεως ( $45^\circ + \phi/2$ ) ως προς την κατακόρυφο. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q_u = 2 \times C_u \times \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Η τιμή του  $q_u$  σύμφωνα με τους Terzaghi- Peck συνδέεται με την συνεκτικότητα της αργίλου. Πίνακας [13]

Τα σιφρά έως σκληρά αργιλικά εδάφη σπανίως παρουσιάζουν προβλήματα κατά την θεμελίωση των κατασκευών, ενώ τα πολύ μαλακά έως μεσαίας συνεκτικότητας εδάφη δημιουργούν προβλήματα κατά τις εκσκαφές και είναι ακατάλληλα για θεμελιώσεις κάποιον κατασκευών.

Η διατάραξη η οποία συμβαίνει στα συνεκτικά εδάφη εξ' αιτίας της αναζύμωσης είναι δυνατόν να έχει μεγαλύτερη επίδραση στην αντοχή τους. Ο Terzaghi το 1944 καθόρισε σαν ευαισθησία της αργίλου:

$$S_t = \frac{q_u(\text{αδιατάρακτου})}{q_u(\text{αναζυμωμένου})}$$

,όπου  $q_u$  η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη.

ΣΗΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΤΟ ΧΕΡΙ	ΑΝΤΟΧΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΕΩΣ (kg/cm <sup>2</sup> )
ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΗ	ΕΥΚΟΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΗΣ ΠΥΓΜΗΣ ΤΟΥ ΧΕΡΙΟΥ	< 0,25
ΜΑΛΑΚΗ	ΕΥΚΟΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΟΣ	0,25 – 0,5
ΜΕΣΗ	ΜΕ ΜΕΤΡΙΑ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΟΣ	0,5 – 1
ΣΚΛΗΡΗ	ΕΥΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ ΑΛΛΑ ΔΙΕΙΣΔΥΕΙ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ	1 – 2
ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΗ	ΕΥΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟ ΝΥΧΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ	2 – 4
ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΗ	ΔΥΣΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΝΥΧΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ	> 4

Πίνακας [13]: Χαρακτηρισμός συνεκτικότητας με βάση την αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη

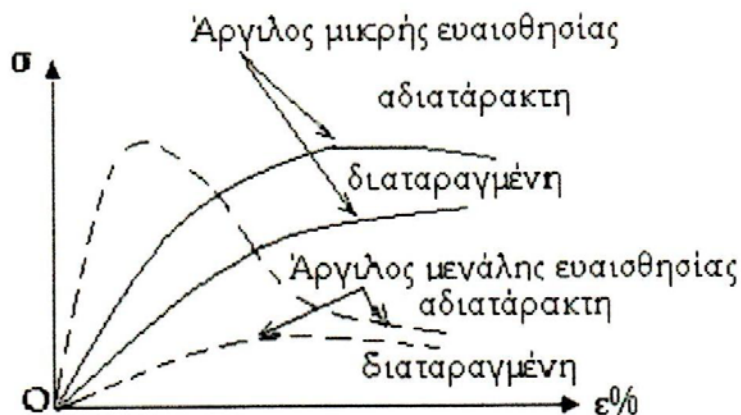
<u>Ευαισθησία</u>	<u>Χαρακτηρισμός</u>
<2	Χωρίς ευαισθησία
2-4	Μικρή ευαισθησία
4-8	Ευαίσθητη
8-16	Πολύ ευαίσθητη
16-64	Ρέουσα
64>	Πολύ μεγάλης ρευστότητας

Πίνακας [14] : Χαρακτηρισμός εδάφους με βάση την ευαισθησία του

Η ευαισθησία των περισσότερων αργίλων είναι μικρότερη του 4.

Οι αναζυμωμένες άργιλοι με ευαισθησία μικρότερη του 16 συνήθως αναλαμβάνουν σημαντικό μέρος της αρχικής αντοχής του με την πάροδο του χρόνου λόγω του φαινομένου της θιξοτροπίας.

Για αδιατάρακτα δείγματα αργίλου μικρής ευαισθησίας η κλίση της καμπύλης τάσεων- παραμορφώσεων μειώνεται με αύξηση της παραμόρφωσης ενώ για αργίλους μεγαλύτερης ευαισθησίας η κλίση της καμπύλης παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι την θραύση.



Σχήμα[26]: Η σχέση τάσεων – παραμορφώσεων, για αδιατάρακτες και διαταραγμένες αργίλους μικρής και μεγάλης ευαισθησίας.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω Σχήμα[26] συνέπεια της ανάπτυξης δεσμών μεταξύ των κόκκων των εδαφικών υλικών είναι ότι το ίδιο υλικό σε αδιατάρακτη μορφή (δηλαδή όπως συναντώνται στην φύση) παρουσιάζουν τελείως διαφορετική συμπεριφορά απ' ότι μετά από αναμόχλευση και καταστροφή των δεσμών, ωστόσο μέρος της αρχικής αντοχής θα ανακτηθεί λόγω του φαινομένου της θιξοτροπίας.



## 5.4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παραθέτω τα αποτελέσματα για τα δύο εδαφικά δείγματα που εξετάσαμε σε διάφορες χρονικές περιόδους.

### 5.4.4.1 1<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

#### ο **Αδιατάρακτο Δοκίμιο**

**Στοιχεία αδιατάρακτου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38\text{mm} = 3,8\text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 82\text{mm} = 8,2\text{ cm}$

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Εμβαδόν δοκιμίου :  $A = 11,341\text{ cm}^2$

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου  $CRP = 40\text{ kg / cm}^2$

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή  $CRP$  βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται στο δοκίμιο.

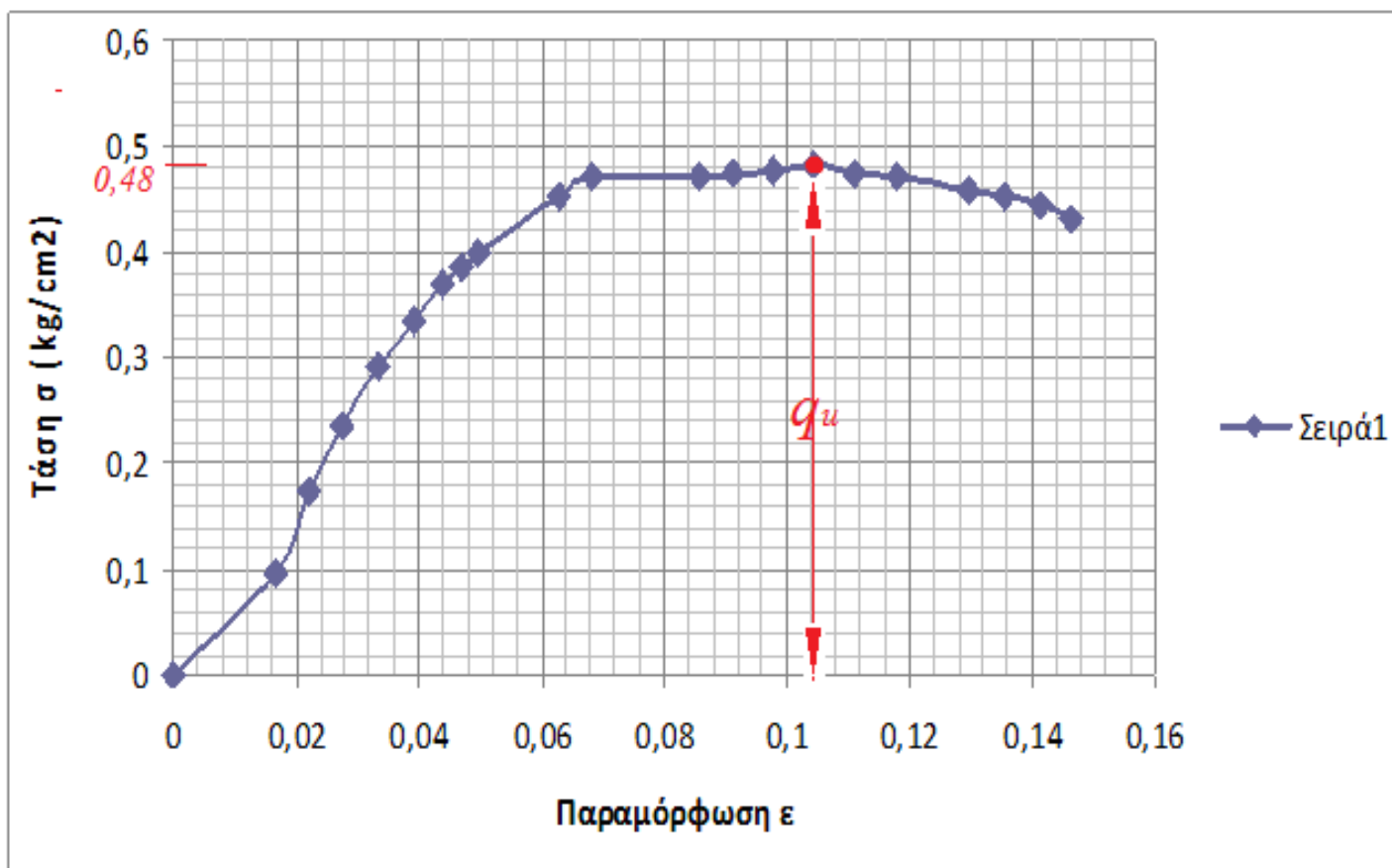
#### Πίνακας Αποτελεσμάτων

Αρχικό Ύψος: $H = 82\text{mm}$ Διάμετρος $= 38\text{mm}$ , $A = 11.341\text{ cm}^2$						
	ΒΡΑΧΥΝΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
A/A	$\Delta H$ (mm)	$\epsilon = \Delta H / H$	$A' = A / (1 - \epsilon)$	RP	$P(\text{kgr}) = RP * CRP$	$\sigma = P/A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,000	0,000	11,341	0,000	0,000	0,000
2	1,376	0,017	11,535	0,027	1,099	0,095
3	1,800	0,022	11,596	0,050	2,015	0,174
4	2,259	0,028	11,662	0,069	2,747	0,236
5	2,735	0,033	11,732	0,085	3,419	0,291
6	3,221	0,039	11,805	0,099	3,968	0,336
7	3,606	0,044	11,863	0,110	4,396	0,371
8	3,859	0,047	11,901	0,114	4,579	0,385
9	4,083	0,050	11,936	0,119	4,762	0,399
10	5,158	0,063	12,102	0,137	5,495	0,454
11	5,615	0,068	12,175	0,143	5,739	0,471
12	7,042	0,086	12,407	0,147	5,861	0,472

13	7,475	0,091	12,479	0,148	5,922	0,475
14	8,026	0,098	12,572	0,150	5,983	0,476
15	8,569	0,104	12,665	0,153	6,105	0,480
16	9,122	0,111	12,761	0,151	6,044	0,474
17	9,668	0,118	12,857	0,151	6,044	0,470
18	10,624	0,130	13,029	0,150	5,983	0,459
19	11,102	0,135	13,117	0,148	5,922	0,451
20	11,584	0,141	13,207	0,147	5,861	0,444
21	12,000	0,146	13,285	0,143	5,739	0,432

Πίνακας [15] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης Αδιατάρακτου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων . Δηλαδή :



Από το παραπάνω διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων βρήκαμε γραφικά την τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη

$$q_u = 0,48 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με  $C = \frac{q_u}{2}$

Δηλαδή  $C = 0,240 \text{ kg/cm}^2$

ο 1<sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο

1<sup>η</sup> Δοκιμή

Στοιχεία αναζυμωμένου δοκιμίου:

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38\text{mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 83\text{mm} = 8,3 \text{ cm}$

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Εμβαδόν δοκιμίου : } A = 11,341 \text{ cm}^2$$

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου  $CRP = 40 \text{ kg / cm}^2$

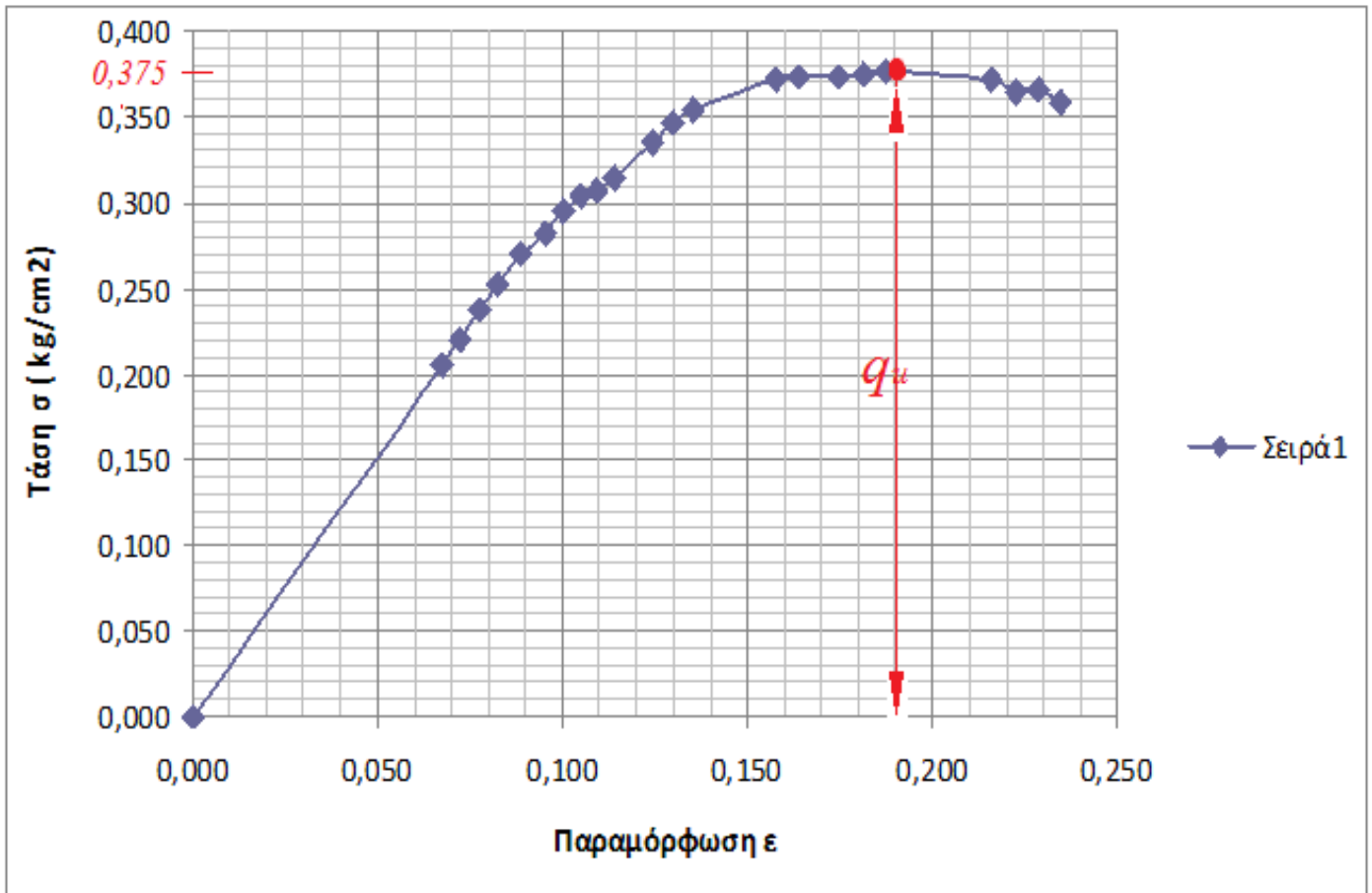
Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή  $CRP$  βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται στο δοκίμιο.

Πίνακας Αποτελεσμάτων

Αρχικό Ύψος: $H = 83\text{mm}$ Διάμετρος $= 38\text{mm}$ , $A = 11.341 \text{ cm}^2$						
	ΒΡΑΧΥΝΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
A/A	$\Delta H$ (mm)	$\epsilon = \Delta H / H$	$A' = A / (1 - \epsilon)$	RP	P(kgr) = RP*CRP	$\sigma = P/A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,000	0,000	11,341	0,000	0,000	0,000
2	2,567	0,031	11,703	0,002	0,061	0,005
3	4,039	0,049	11,921	0,035	1,404	0,118
4	4,510	0,054	11,993	0,046	1,832	0,153
5	6,000	0,072	12,225	0,067	2,686	0,220
6	7,357	0,089	12,444	0,084	3,358	0,270
7	7,893	0,095	12,533	0,089	3,541	0,283
8	9,086	0,109	12,735	0,098	3,907	0,307
9	9,452	0,114	12,799	0,101	4,029	0,315
10	9,904	0,119	12,878	0,099	3,968	0,308
11	10,335	0,125	12,954	0,108	4,335	0,335
12	11,752	0,142	13,212	0,118	4,701	0,356
13	13,075	0,158	13,462	0,125	5,006	0,372
14	14,030	0,169	13,648	0,124	4,945	0,362
15	15,558	0,187	13,957	0,131	5,250	0,376
16	15,993	0,193	14,048	0,128	5,128	0,365
17	16,448	0,198	14,144	0,130	5,189	0,367
18	16,921	0,204	14,245	0,130	5,189	0,364
19	17,412	0,210	14,352	0,131	5,250	0,366
20	17,941	0,216	14,469	0,134	5,372	0,371
21	18,962	0,228	14,699	0,134	5,372	0,365
22	19,467	0,235	14,816	0,133	5,311	0,358

Πίνακας [16] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιση θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων . Δηλαδή :



Από το παραπάνω διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων βρήκαμε γραφικά την τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιση θλίψη

$$q_u = 0,375 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με  $C = \frac{q_u}{2}$

Δηλαδή  $C = 0,188 \text{ kg/cm}^2$

## 2<sup>η</sup> Δοκιμή

Μετά το πέρας ενός περίπου μηνά και αφού το δείγμα βρισκόταν σε ιδανικές συνθήκες μέσα σε υγραντήρα, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ο προσδιορισμός της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του 1<sup>ου</sup> αναζυμωμένου δοκιμίου.

### Στοιχεία αναζυμωμένου δοκιμίου:

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38\text{mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 52\text{mm} = 5,2 \text{ cm}$

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Εμβαδόν δοκιμίου : } A = 11,341 \text{ cm}^2$$

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου  $CRP = 40 \text{ kg / cm}^2$

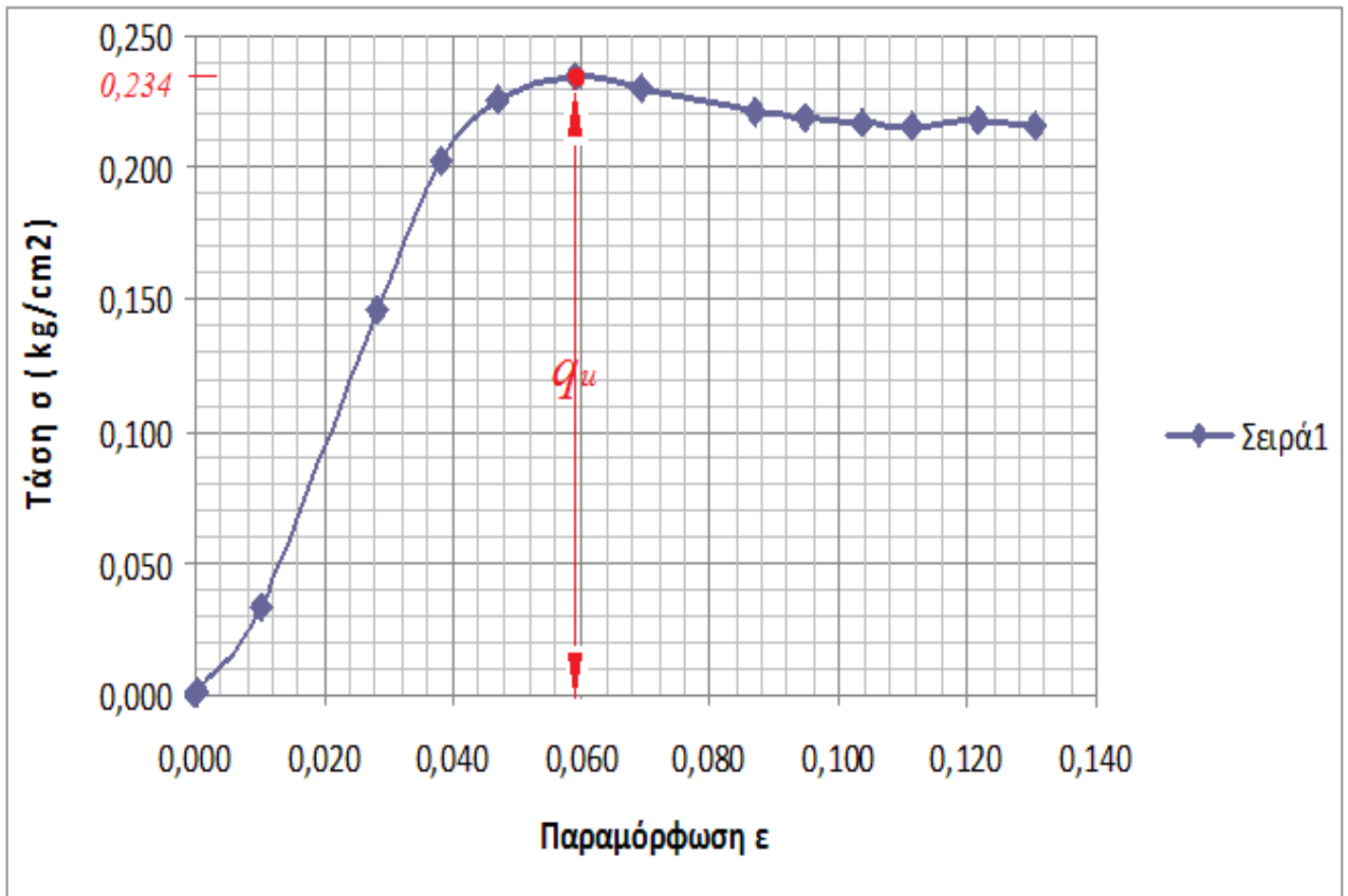
Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή  $CRP$  βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται στο δοκίμιο.

### Πίνακας Αποτελεσμάτων

Αρχικό Ύψος: $H = 52\text{mm}$ Διάμετρος $= 38\text{mm}$ , $A = 11.341 \text{ cm}^2$						
	ΒΡΑΧΥΝΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
A/A	$\Delta H$ (mm)	$\epsilon = \Delta H / H$	$A' = A / (1 - \epsilon)$	RP	$P(\text{kgf}) = RP * CRP$	$\sigma = P/A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,000	0,000	11,341	0,000	0,000	0,000
2	0,022	0,000	11,346	0,000	0,008	0,001
3	0,535	0,010	11,459	0,010	0,380	0,033
4	1,467	0,028	11,670	0,043	1,709	0,146
5	1,992	0,038	11,793	0,060	2,381	0,202
6	2,450	0,047	11,902	0,067	2,686	0,226
7	3,070	0,059	12,053	0,071	2,824	0,234
8	3,609	0,069	12,187	0,070	2,808	0,230
9	4,526	0,087	12,422	0,069	2,747	0,221
10	4,929	0,095	12,529	0,069	2,747	0,219
11	5,391	0,104	12,653	0,069	2,747	0,217
12	5,791	0,111	12,762	0,069	2,747	0,215
13	6,332	0,122	12,914	0,070	2,808	0,217
14	6,780	0,130	13,042	0,070	2,808	0,215

Πίνακας [17] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 1<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων . Δηλαδή :



Από το παραπάνω διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων βρήκαμε γραφικά την τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη

$$q_u = 0,234 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με  $C = \frac{q_u}{2}$

Δηλαδή  $C = 0,117 \text{ kg/cm}^2$

ο 2<sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο

1<sup>η</sup> Δοκιμή

Στοιχεία αναζυμωμένου δοκιμίου:

Διάμετρος δοκιμίου : d = 38mm = 3,8 cm

Ύψος δοκιμίου: h = 66mm = 6,6 cm

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Εμβαδόν δοκιμίου : A = 11,341 cm<sup>2</sup>

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου CRP = 40 kg / cm<sup>2</sup>

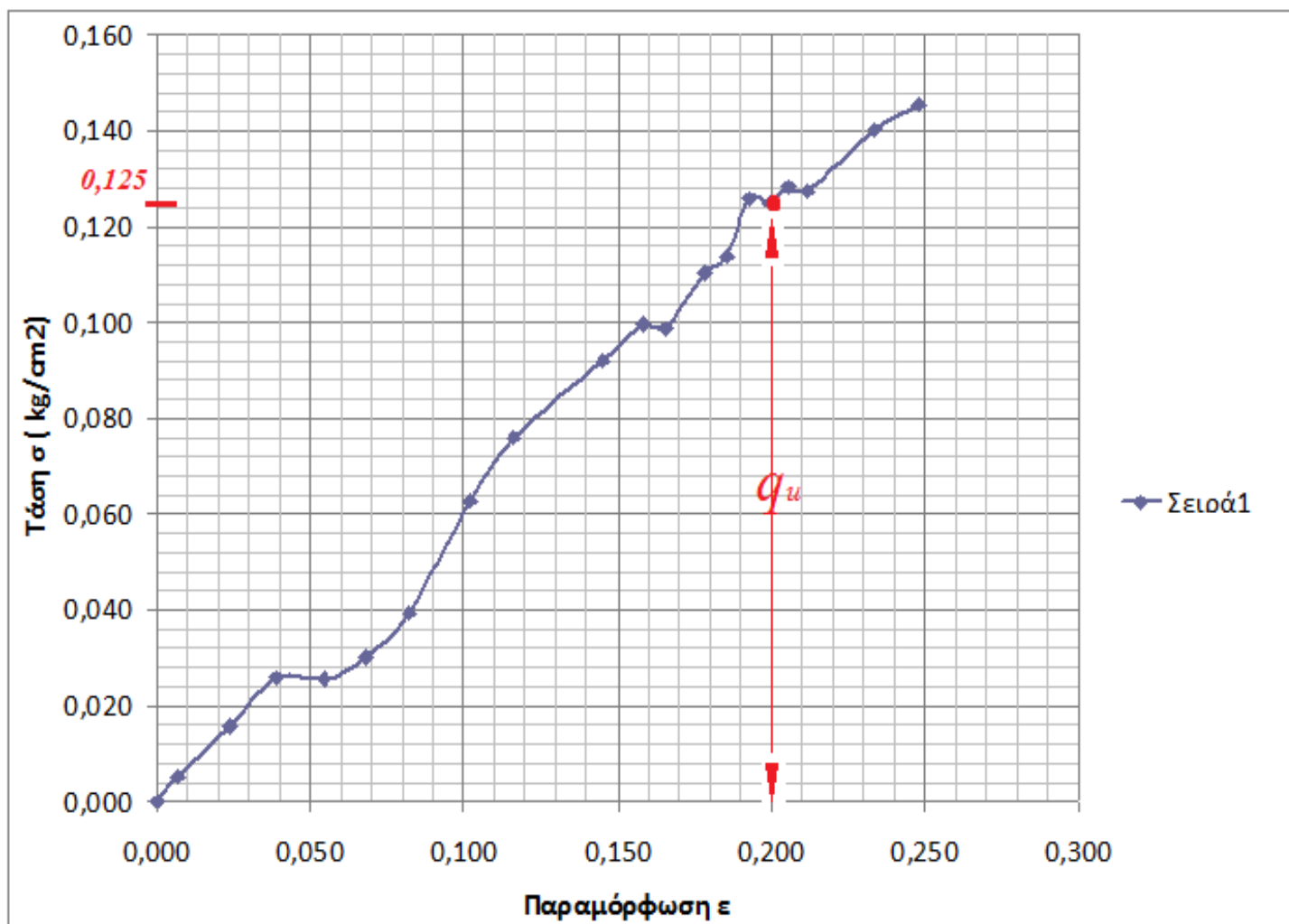
Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή CRP βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται στο δοκίμιο.

Πίνακας Αποτελεσμάτων

Αρχικό Ύψος: H =66mm Διάμετρος =38mm , A=11.341 cm <sup>2</sup>						
	ΒΡΑΧΥΝΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
A/A	ΔH (mm)	ε = ΔH / H	A' = A / (1-ε)	RP	P(kgr)= RP*CRP	σ = P/A' (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,000	0,000	11,341	0,000	0,000	0,000
2	0,459	0,007	11,421	0,002	0,061	0,005
3	1,554	0,024	11,615	0,005	0,183	0,016
4	2,572	0,039	11,801	0,008	0,305	0,026
5	3,590	0,054	11,994	0,008	0,305	0,025
6	4,479	0,068	12,167	0,009	0,366	0,030
7	5,434	0,082	12,359	0,012	0,488	0,040
8	6,735	0,102	12,630	0,020	0,794	0,063
9	7,655	0,116	12,829	0,024	0,977	0,076
10	9,583	0,145	13,267	0,031	1,221	0,092
11	10,440	0,158	13,472	0,034	1,343	0,100
12	10,941	0,166	13,595	0,034	1,343	0,099
13	11,774	0,178	13,804	0,038	1,526	0,111
14	12,265	0,186	13,930	0,040	1,587	0,114
15	12,739	0,193	14,054	0,044	1,770	0,126
16	13,193	0,200	14,175	0,044	1,770	0,125
17	13,564	0,206	14,275	0,046	1,832	0,128
18	13,980	0,212	14,389	0,046	1,832	0,127
19	15,436	0,234	14,803	0,052	2,076	0,140
20	16,396	0,248	15,090	0,055	2,198	0,146
21	16,921	0,256	15,251	0,056	2,259	0,148

Πίνακας [18] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 2<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων . Δηλαδή :



Παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα των μετρήσεων ότι ενώ η τιμή της παραμόρφωσης έχει ξεπεράσει το 20% το φορτίο δεν μειώνεται δηλαδή δεν έχει πραγματοποιηθεί θραύση του δοκιμίου.

**Επομένως η τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη δεν υπολογίζεται γραφικά αλλά ως αντοχή  $q_u$  λαμβάνεται η τιμή της τάσης για την οποία η παραμόρφωση  $\epsilon$  ισούται με 20%.**

$$\text{Δηλαδή για } \epsilon = 20\% = 0,200 \quad q_u = 0,125 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με 
$$C = \frac{q_u}{2}$$

$$\text{Δηλαδή } C = 0,063 \text{ kg/cm}^2$$



## 2<sup>η</sup> Δοκιμή

Μετά το πέρας ενός περίπου μηνά και αφού το δείγμα βρισκόταν σε ιδανικές συνθήκες μέσα σε υγραντήρα, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ο προσδιορισμός της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του 1<sup>ου</sup> αναζυμωμένου δοκιμίου.

### Στοιχεία αναζυμωμένου δοκιμίου:

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38\text{mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 76\text{mm} = 7,6 \text{ cm}$

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Εμβαδόν δοκιμίου :  $A = 11,341 \text{ cm}^2$

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου  $CRP = 40 \text{ kg / cm}^2$

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή  $CRP$  βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται

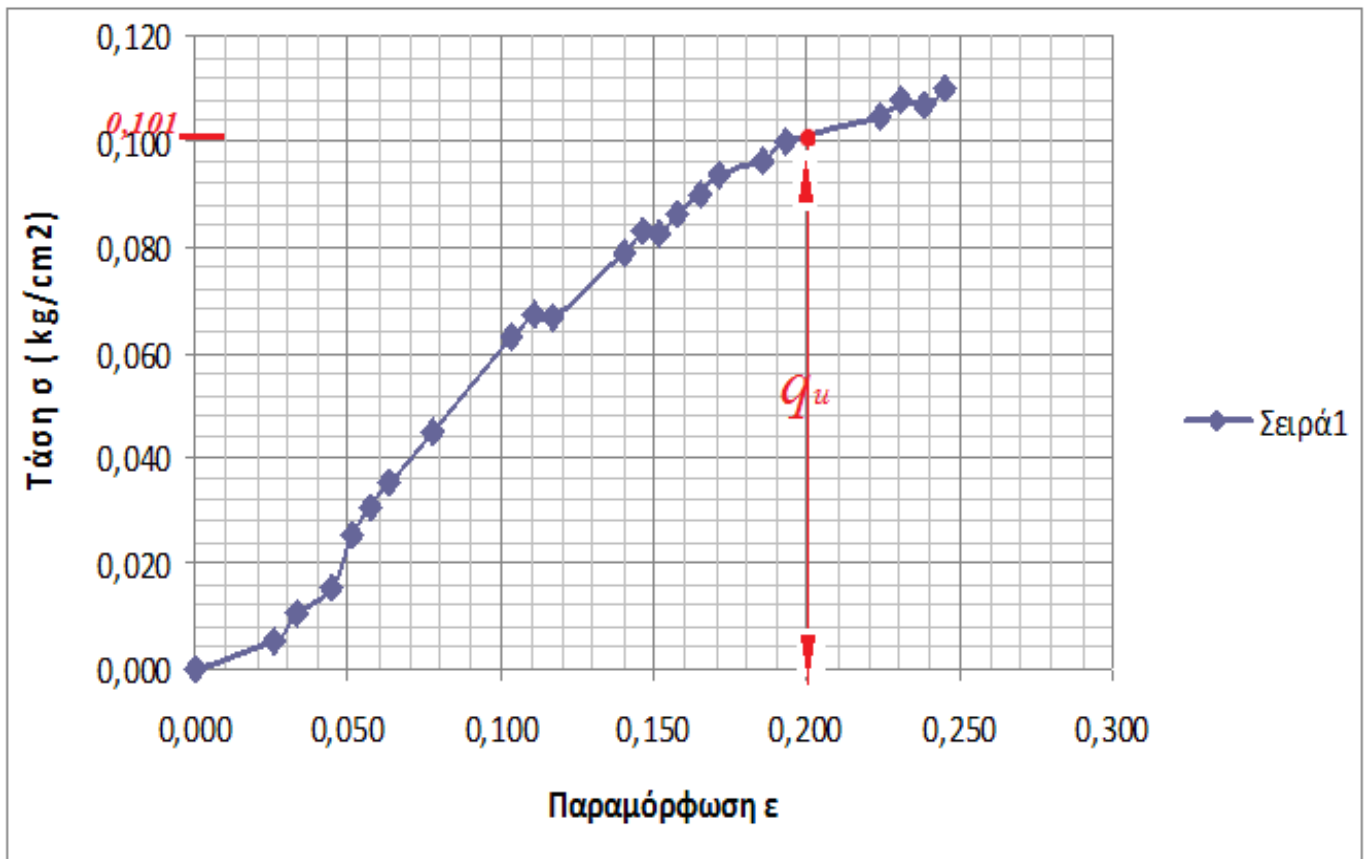
### Πίνακας Αποτελεσμάτων

Αρχικό Ύψος: $H = 76\text{mm}$ Διάμετρος $= 38\text{mm}$ , $A = 11,341 \text{ cm}^2$						
	ΒΡΑΧΥΝΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
A/A	$\Delta H$ (mm)	$\epsilon = \Delta H / H$	$A' = A / (1 - \epsilon)$	RP	$P(\text{kg}) = RP * CRP$	$\sigma = P/A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,000	0,000	11,341	0,000	0,000	0,000
2	1,939	0,026	11,638	0,002	0,061	0,005
3	2,509	0,033	11,728	0,003	0,122	0,010
4	3,406	0,045	11,873	0,005	0,183	0,015
5	3,899	0,051	11,954	0,008	0,305	0,026
6	4,338	0,057	12,028	0,009	0,366	0,030
7	4,833	0,064	12,111	0,011	0,427	0,035
8	5,892	0,078	12,294	0,014	0,549	0,045
9	7,840	0,103	12,646	0,020	0,794	0,063
10	8,405	0,111	12,751	0,021	0,855	0,067
11	8,884	0,117	12,842	0,021	0,855	0,067
12	10,640	0,140	13,187	0,026	1,038	0,079
13	11,088	0,146	13,278	0,027	1,099	0,083
14	11,518	0,152	13,367	0,027	1,099	0,082
15	11,990	0,158	13,466	0,029	1,160	0,086
16	12,526	0,165	13,579	0,031	1,221	0,090
17	13,029	0,171	13,688	0,032	1,282	0,094
18	14,112	0,186	13,927	0,034	1,343	0,096

19	14,665	0,193	14,053	0,035	1,404	0,100
20	17,013	0,224	14,612	0,038	1,526	0,104
21	17,530	0,231	14,741	0,040	1,587	0,108
22	18,101	0,238	14,887	0,040	1,587	0,107
23	18,618	0,245	15,021	0,041	1,648	0,110

Πίνακας [18] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 2<sup>ου</sup> Αναζυμωμένου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων . Δηλαδή :



Παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα των μετρήσεων ότι ενώ η τιμή της παραμόρφωσης έχει ξεπεράσει το 20 % το φορτίο δεν μειώνεται δηλαδή δεν έχει πραγματοποιηθεί θραύση του δοκιμίου.

**Επομένως η τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη δεν υπολογίζεται γραφικά αλλά ως αντοχή  $q_u$  λαμβάνεται η τιμή της τάσης για την οποία η παραμόρφωση  $\epsilon$  ισούται με 20%.**

$$\text{Δηλαδή για } \epsilon = 20\% = 0,200 \quad q_u = 0,101 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με  $C = \frac{q_u}{2}$

Δηλαδή  $C = 0,051 \text{ kg/cm}^2$

#### 5.4.4.1.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Μετά το τέλος των παραπάνω δοκιμών καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

- ✓ Αντοχή σε ανεμπόδιστη Θλίψη

1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα		Αντοχή σε Ανεμπόδιστη Θλίψη $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Χαρακτηρισμός αργίλου σε σχέση με την αντοχή $q_u$
Αδιατάρακτο Δοκίμιο		0,48	Μαλακή ( 0,25-0,50 kg/cm <sup>2</sup> )
1 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,375	Μαλακή ( 0,25-0,50 kg/cm <sup>2</sup> )
	2 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,234	Πολύ μαλακή ( < 0,25 kg/cm <sup>2</sup> )
2 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,125	Πολύ μαλακή ( < 0,25 kg/cm <sup>2</sup> )
	2 <sup>η</sup> Δοκιμή	0.101	Πολύ μαλακή ( < 0,25 kg/cm <sup>2</sup> )

Πίνακας [19] : Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 1ου Εδαφικού Δείγματος

#### Σχόλια

Παρατηρούμε ότι μετά το πέρας ενός μήνα τα δύο αναζυμωμένα εδαφικά δείγματα δεν ανέκτησαν μέρος της αρχικής τους αντοχής, αντίθετα παρουσίασαν μεγαλύτερη μείωση.

- ✓ Βαθμός Ευαισθησίας

1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα		Βαθμός Ευαισθησίας $S_t = \frac{q_u(\text{αδιατάρακτου})}{q_u(\text{αναζυμωμένου})}$	Χαρακτηρισμός αργίλου σε σχέση με τον βαθμό ευαισθησίας
1 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	1,28	Χωρίς ευαισθησία < 2
	2 <sup>η</sup> Δοκιμή	2,051	Με μικρή ευαισθησία 2 – 4
2 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	3,840	Με μικρή ευαισθησία 2 – 4
	2 <sup>η</sup> Δοκιμή	4,752	Ευαίσθητη 4-8

Πίνακας [20] : Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 1ου Εδαφικού Δείγματος

#### Σχόλια

Για το 1<sup>ο</sup> αναζυμωμένο υπολογίσαμε βαθμό ευαισθησίας 1,28 < 16 και για το 2<sup>ο</sup> αναζυμωμένο 3,840 < 16 οπότε αναμέναμε και τα δύο δοκίμια να ανακτήσουν μέρος της αντοχής του μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος και μείωση του βαθμού ευαισθησίας. Όμως μετά από ένα μήνα και ενώ διατηρήσαμε τα δείγματα σε πρότυπες συνθήκες δεν είχαμε τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

#### 5.4.4.2 2<sup>ο</sup> ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ (ΟΒΡΥΑ)

ο **Αδιατάρακτο Δοκίμιο**

**Στοιχεία αδιατάρακτου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 39\text{mm} = 3,9 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 76 \text{ mm} = 7,6 \text{ cm}$

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Εμβαδόν δοκιμίου :  $A = 11,946 \text{ cm}^2$

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου  $CRP = 40 \text{ kg / cm}^2$

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή  $CRP$  βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται στο δοκίμιο.

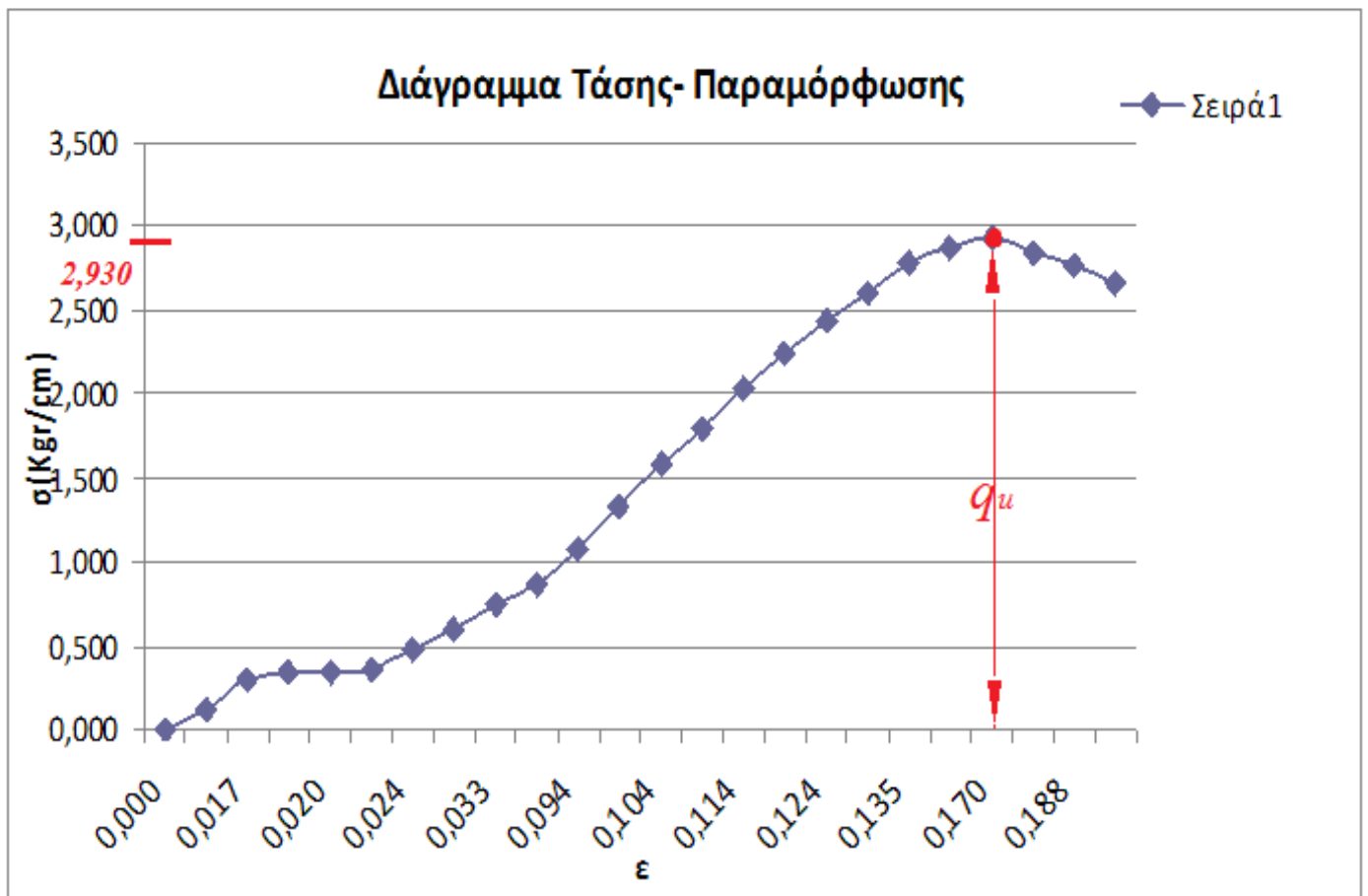
#### Πίνακας Αποτελεσμάτων

Αρχικό Ύψος: $H = 76\text{mm}$ Διάμετρος $= 389\text{mm}$ , $A = 11,946 \text{ cm}^2$						
	ΒΡΑΧΥΝΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
A/A	$\Delta H$ (mm)	$\epsilon = \Delta H / H$	$A' = A / (1 - \epsilon)$	RP	$P(\text{kg}) = RP * CRP$	$\sigma = P/A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,000	0,000	11,946	0,000	0,000	0,000
2	0,707	0,009	12,058	0,035	1,404	0,116
3	1,309	0,017	12,155	0,092	3,663	0,301
4	1,474	0,019	12,182	0,105	4,212	0,346
5	1,503	0,020	12,187	0,104	4,151	0,341
6	1,516	0,020	12,189	0,110	4,396	0,361
7	1,831	0,024	12,241	0,148	5,922	0,484
8	2,203	0,029	12,302	0,183	7,326	0,595
9	2,523	0,033	12,356	0,230	9,219	0,746
10	2,904	0,038	12,421	0,270	10,806	0,870
11	7,159	0,094	13,188	0,357	14,286	1,083
12	7,522	0,099	13,258	0,443	17,705	1,335
13	7,931	0,104	13,338	0,530	21,184	1,588
14	8,305	0,109	13,412	0,601	24,054	1,794
15	8,696	0,114	13,489	0,688	27,534	2,041
16	9,058	0,119	13,562	0,763	30,525	2,251
17	9,454	0,124	13,643	0,832	33,272	2,439
18	9,858	0,130	13,726	0,894	35,775	2,606
19	10,234	0,135	13,805	0,960	38,400	2,782

20	11,583	0,152	14,094	1,012	40,476	2,872
21	12,950	0,170	14,400	1,055	42,186	2,930
22	13,874	0,183	14,614	1,041	41,636	2,849
23	14,297	0,188	14,714	1,020	40,781	2,772
24	14,742	0,194	14,821	0,986	39,438	2,661

Πίνακας [21] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης Αδιατάρακτου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων . Δηλαδή :



Από το παραπάνω διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων βρήκαμε γραφικά την τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη

$$q_u = 2,930 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με  $C = \frac{q_u}{2}$

Δηλαδή  $C = 1,465 \text{ kg/cm}^2$

ο **Αναζυμωμένο Δοκίμιο**

1<sup>η</sup> Δοκιμή

**Στοιχεία αναζυμωμένου δοκιμίου:**

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 38\text{mm} = 3,8 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 80 \text{ mm} = 8,0 \text{ cm}$

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Εμβαδόν δοκιμίου :  $A = 11,341 \text{ cm}^2$

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου  $CRP = 40 \text{ kg / cm}^2$

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή  $CRP$  βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται στο δοκίμιο.

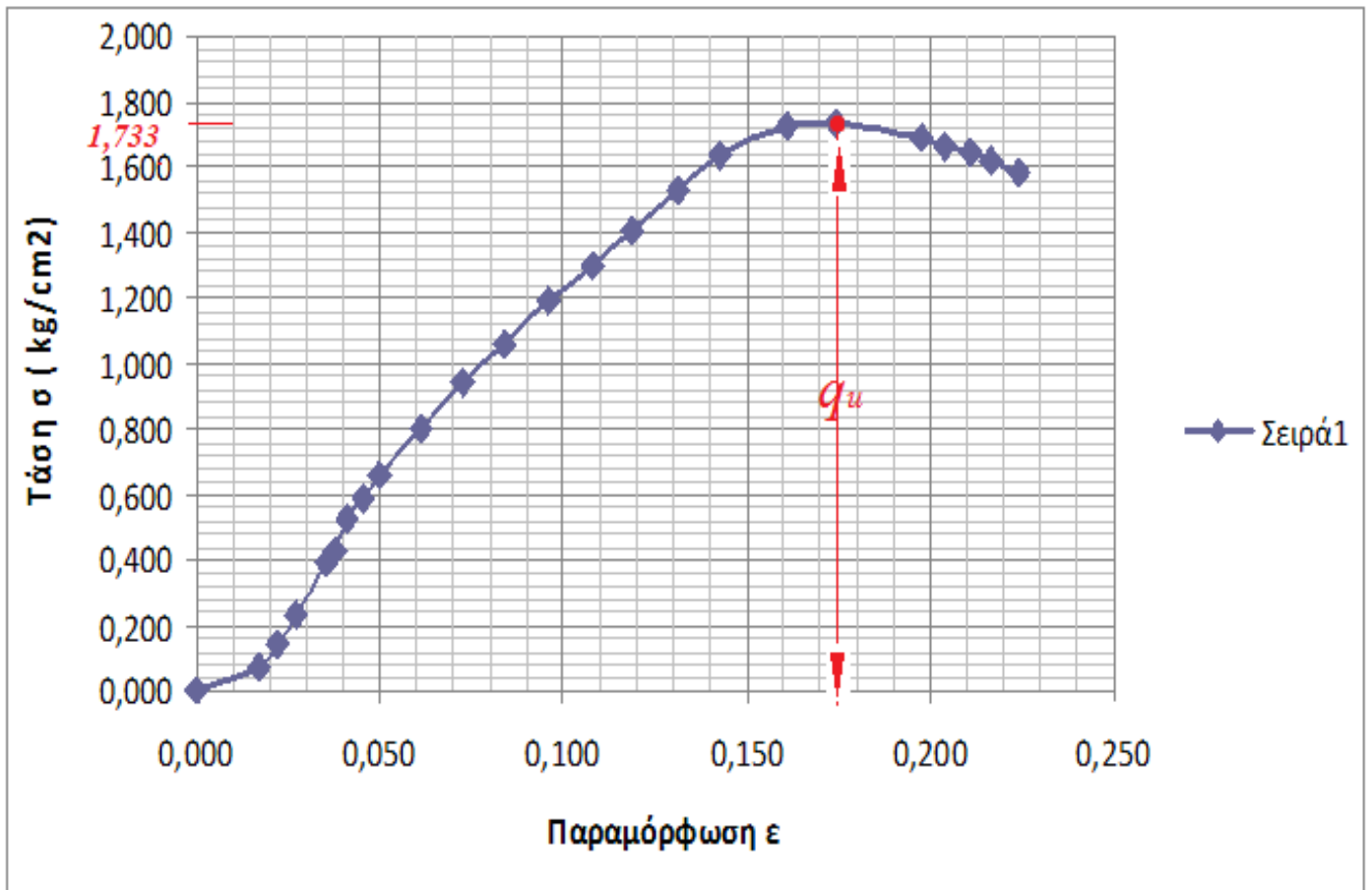
**Πίνακας Αποτελεσμάτων**

Αρχικό Ύψος: $H = 80\text{mm}$ Διάμετρος $= 38\text{mm}$ , $A = 11,341 \text{ cm}^2$						
	<b>ΒΡΑΧΥΝΣΗ</b>	<b>ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ</b>	<b>ΔΙΑΤΟΜΗ</b>	<b>ΦΟΡΤΙΟ</b>		<b>ΤΑΣΗ</b>
<b>A/A</b>	<b><math>\Delta H</math> (mm)</b>	<b><math>\epsilon = \Delta H / H</math></b>	<b><math>A' = A / (1 - \epsilon)</math></b>	<b>RP</b>	<b>P(kgr) = RP*CRP</b>	<b><math>\sigma = P/A'</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	0,000	0,000	11,341	0,000	0,000	0,000
2	1,352	0,017	11,536	0,020	0,794	0,069
3	1,788	0,022	11,600	0,041	1,648	0,142
4	2,163	0,027	11,656	0,067	2,686	0,230
5	2,831	0,035	11,757	0,116	4,640	0,395
6	3,007	0,038	11,784	0,127	5,067	0,430
7	3,270	0,041	11,825	0,154	6,166	0,521
8	3,632	0,045	11,880	0,176	7,021	0,591
9	4,006	0,050	11,939	0,197	7,875	0,660
10	4,903	0,061	12,082	0,243	9,707	0,803
11	5,791	0,072	12,226	0,288	11,538	0,944
12	6,721	0,084	12,381	0,328	13,126	1,060
13	7,674	0,096	12,544	0,372	14,896	1,187
14	8,612	0,108	12,709	0,412	16,484	1,297
15	9,476	0,118	12,865	0,452	18,071	1,405
16	10,481	0,131	13,051	0,498	19,902	1,525
17	11,422	0,143	13,230	0,540	21,612	1,634
18	12,899	0,161	13,521	0,582	23,260	1,720
19	13,958	0,174	13,738	0,595	23,810	1,733
20	15,784	0,197	14,129	0,595	23,810	1,685

21	16,337	0,204	14,251	0,594	23,748	1,666
22	16,881	0,211	14,374	0,592	23,687	1,648
23	17,338	0,217	14,479	0,585	23,382	1,615
24	17,930	0,224	14,617	0,578	23,138	1,583

Πίνακας [22] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης Αναζυμωμένου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος **τάσεων - παραμορφώσεων** . Δηλαδή :



Από το παραπάνω διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων βρήκαμε γραφικά την τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη

$$q_u = 1,733 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με 
$$C = \frac{q_u}{2}$$

Δηλαδή 
$$C = 0,867 \text{ kg/cm}^2$$

## 2<sup>η</sup> Δοκιμή

Μετά το πέρας ενός περίπου μηνά και αφού το δείγμα βρισκόταν σε ιδανικές συνθήκες μέσα σε υγρανήρα, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ο προσδιορισμός της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του 1<sup>ου</sup> αναζυμωμένου δοκιμίου. Το ιδανικό και ποθητό αποτέλεσμα είναι να βρεθεί η αντοχή του  $q_u$  μεγαλύτερη από την αρχική που βρήκαμε.

### Στοιχεία αναζυμωμένου δοκιμίου:

Διάμετρος δοκιμίου :  $d = 36 \text{ mm} = 3,6 \text{ cm}$

Ύψος δοκιμίου:  $h = 59 \text{ mm} = 5,9 \text{ cm}$

Το Δοκίμιο είναι κυλινδρικό επομένως το εμβαδόν του δίνεται από τον τύπο

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Εμβαδόν δοκιμίου :  $A = 10,179 \text{ cm}^2$

Συντελεστής Βράχυνσης Δοκιμίου  $CRP = 40 \text{ kg} / \text{cm}^2$

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι γνωστές μετρήσεις που πήραμε με την βοήθεια της συσκευής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η βράχυνση  $\Delta H$  του δοκιμίου και η μέτρηση  $RP$  όπου με την βοήθεια του συντελεστή  $CRP$  βρίσκουμε το αξονικό θλιπτικό φορτίο  $P$  που ασκείται

### Πίνακας Αποτελεσμάτων

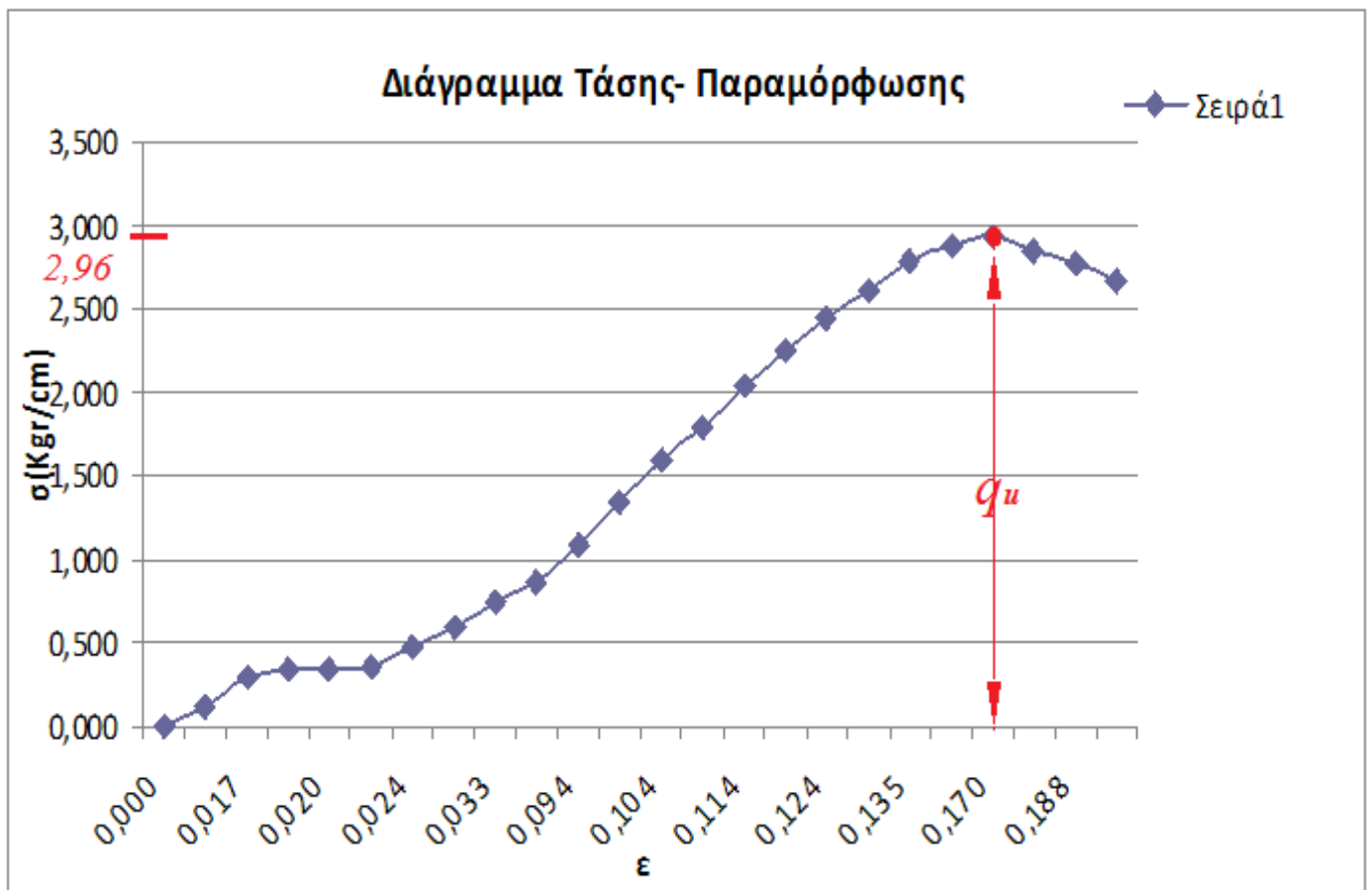
Αρχικό Ύψος: $H = 59\text{mm}$ Διάμετρος $= 36\text{mm}$ , $A = 10,179 \text{ cm}^2$						
	ΒΡΑΧΥΝΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ		ΤΑΣΗ
A/A	$\Delta H$ (mm)	$\epsilon = \Delta H / H$	$A' = A / (1 - \epsilon)$	RP	$P(\text{kgr}) = RP * CRP$	$\sigma = P/A'$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
1	0,000	0,000	10,179	0,000	0,000	0,000
2	0,402	0,007	10,249	0,002	0,061	0,006
3	0,893	0,015	10,335	0,023	0,916	0,089
4	1,340	0,023	10,415	0,049	1,954	0,188
5	2,045	0,035	10,544	0,111	4,457	0,423
6	2,394	0,041	10,609	0,150	5,983	0,564
7	2,851	0,048	10,696	0,205	8,181	0,765
8	3,207	0,054	10,764	0,238	9,524	0,885
9	3,936	0,067	10,906	0,310	12,393	1,136
10	4,402	0,075	10,999	0,353	14,103	1,282
11	4,802	0,081	11,081	0,385	15,385	1,388
12	5,227	0,089	11,168	0,421	16,850	1,509
13	6,500	0,110	11,439	0,540	21,612	1,889
14	6,871	0,116	11,520	0,571	22,833	1,982
15	7,244	0,123	11,603	0,607	24,298	2,094
16	7,631	0,129	11,691	0,643	25,702	2,198
17	8,447	0,143	11,879	0,720	28,816	2,426



18	8,880	0,151	11,982	0,757	30,281	2,527
19	9,246	0,157	12,070	0,786	31,441	2,605
20	9,564	0,162	12,148	0,803	32,112	2,643
21	10,707	0,181	12,435	0,907	36,264	2,916
22	11,129	0,189	12,545	0,929	37,179	2,964
23	11,540	0,196	12,654	0,955	38,217	3,020
24	12,001	0,203	12,778	0,986	39,438	3,086
25	12,369	0,210	12,879	1,001	40,049	3,110
26	13,229	0,224	13,121	1,049	41,941	3,197
27	13,610	0,231	13,231	1,062	42,491	3,212
28	14,043	0,238	13,358	1,072	42,880	3,210

Πίνακας [23] : Μετρήσεις δοκιμής ανεμπόδιστη θλίψης Αναζυμωμένου Δοκιμίου

Για την εύρεση της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι απαραίτητο η χάραξη του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων . Δηλαδή :



Από το παραπάνω διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων βρήκαμε γραφικά την τιμή της αντοχής του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη

$$q_u = 2,960 \text{ kg/cm}^2$$

Επίσης η συνοχή ισούται με  $C = \frac{q_u}{2}$

Δηλαδή  $C = 1,480 \text{ kg/cm}^2$

#### 5.4.4.2.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Μετά το τέλος των παραπάνω δοκιμών καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

- ✓ Αντοχή σε ανεμπόδιση Θλίψη

2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα		Αντοχή σε Ανεμπόδιση Θλίψη $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Χαρακτηρισμός αργίλου σε σχέση με την αντοχή $q_u$
Αδιατάρακτο Δοκίμιο		2,930	Πολύ στριφή-σκληρή ( 2,00 - 4,00 kg/cm <sup>2</sup> )
Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	1,733	Στριφή – σκληρή ( 1,00 -2,00 kg/cm <sup>2</sup> )
	2 <sup>η</sup> Δοκιμή	2,960	Πολύ στριφή-σκληρή ( 2,00 - 4,00 kg/cm <sup>2</sup> )

Πίνακας [24] : Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 2ου Εδαφικού Δείγματος

#### Σχόλια

Παρατηρούμε ότι η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη του αναζυμωμένου δοκίμιου που πραγματοποιήθηκε μετά από 1 περίπου μηνά και ενώ το δοκίμιο βρισκόταν σε κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες ( υγραντήρας εργαστηρίου) , είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αρχική του αντοχή.  $q_{u(2)} = 2,960 \text{ kg/cm}^2 > q_{u(\text{αδιαταρ.})} = 2,930 \text{ kg/cm}^2$ . Επομένως το αναζυμωμένο εδαφικό δείγμα ανέκτησε πλήρως την αντοχή του.

- ✓ Βαθμός Ευαισθησίας

2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα		Βαθμός Ευαισθησίας $S_t = \frac{q_u(\text{αδιατάρακτου})}{q_u(\text{αναζυμωμένου})}$	Χαρακτηρισμός αργίλου σε σχέση με τον βαθμό ευαισθησίας
1 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	1,691	Χωρίς ευαισθησία < 2
	2 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,990	Χωρίς ευαισθησία < 2

Πίνακας [25] : Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης 1ου Εδαφικού Δείγματος

#### Σχόλια

Το αναζυμωμένο εδαφικό δείγμα στη δεύτερη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε μετά το πέρας ενός περίπου μήνα, παρουσίασε μείωση του βαθμού ευαισθησίας. Το αποτέλεσμα είναι αποδεκτό και αναμενόμενο, αφού περιμέναμε αύξηση της αντοχής και συνεπώς μείωση της ευαισθησίας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

### **Αντιπαράθεση φυσικών-μηχανικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων εδαφών**

Πριν ξεκινήσουμε τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο υπολογισμός των φυσικών χαρακτηριστικών αποτελεί μία καλή απεικόνιση της συμπεριφοράς των λεπτόκοκκων εδαφών, γιατί εξαρτώνται από παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή. Η διαπίστωση αυτή όμως βασίζεται στην μέχρι τώρα εμπειρία παρά σε μία αυστηρά επιστημονική ανάλυση.

Παρακάτω καταγράφουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση των δοκιμών.

#### **1) Ειδικά βάρη, πορώδες, δείκτης κενών, βαθμός κορεσμού**

Το ειδικό βάρος  $\gamma_s$  του 2<sup>ου</sup> εδάφους υπολογίστηκε  $2,715 \text{ gr/cm}^3$  δείχνει έδαφος αμμώδες και έρχεται σε αντίθεση με την κοκκομετρική ανάλυση όπου το ποσοστό του κλάσματος της άμμου βρέθηκε 0,86%.

Η μεγάλη τιμή πιθανότατα να οφείλεται σε κάποιο συστατικό του εδάφους, για την εύρεση του οποίου κρίνεται απαραίτητη η χημική ανάλυση του εδάφους και δεν σχετίζεται με την παρούσα μελέτη.

Το 1<sup>ο</sup> έδαφος έχει τιμές δείκτη κενών  $e = 0,847$  και πορώδες  $n = 0,458$  ενώ το 2<sup>ο</sup> έδαφος  $e = 0,683$  και  $n = 0,406$  αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα [28] με ενδεικτικές τιμές για διαφορετικά εδάφη διαπιστώνουμε ότι οι τιμές που βρέθηκαν είναι κοντά σε αυτές των αργιλικών εδαφών.

Επιπλέον συγκρίνοντας τις τιμές του 1<sup>ου</sup> εδάφους με αυτές του 2<sup>ου</sup> εδάφους διαπιστώνουμε ότι το 2<sup>ο</sup> έδαφος φαίνεται να έχει μεγαλύτερη αντοχή από το 1<sup>ο</sup>, γεγονός που αποδεικνύεται και από τα αποτελέσματα που πήραμε από την δοκιμή σε ανεμπόδιστη θλίψη.

Το 2<sup>ο</sup> έδαφος βρέθηκε ότι είναι πλήρως κορεσμένο, καθώς ο βαθμός κορεσμού υπολογίστηκε  $S_r = 100\%$

## 2) Όρια και δείκτες Atterberg

Για ένα συνεκτικό έδαφος η συσχέτιση της φυσικής υγρασίας με τα Όρια Atterberg αποτελεί έναν χαρακτηριστικό δείκτη ως προς την στερεοποίηση του.

( Παπαχαρήσης<sup>4</sup> )

Επιπλέον από την σύγκριση αυτή, μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα και για την κατάσταση των δύο εδαφών. Έτσι για τα δύο εδάφη προκύπτουν τα εξής:

- ✓ Για το 1<sup>ο</sup> έδαφος ισχύει  $LP < W < LL$  , επομένως πρόκειται για ένα έδαφος κανονικά στερεοποιημένο για ένα σχετικό φορτίο και βρίσκεται στην πλαστική κατάσταση.
- ✓ Για το 2<sup>ο</sup> έδαφος ισχύει  $W < LP$ , επομένως πρόκειται για ένα έδαφος υπερστερεοποιημένο και βρίσκεται στην ημιστερεή κατάσταση.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από μία απλή παραπομπή στον Πίνακα [31] που δείχνει τον βαθμό πλαστικότητας ενός εδάφους σε σχέση με τον δείκτη πλαστικότητας κατά τον Burmister είναι ότι το 1<sup>ο</sup> έδαφος είναι έδαφος μεγάλης πλαστικότητας ενώ το 2<sup>ο</sup> είναι έδαφος μέσης πλαστικότητας.

Ο δείκτης υδαρότητας για το 2<sup>ο</sup> έδαφος υπολογίστηκε με αρνητική τιμή  $I_L = - 0,35$  , η οποία είναι αποδεκτή δεδομένου ότι από τον υπολογισμό και τον άλλων φυσικών παραμέτρων για το έδαφος (φυσική υγρασία και όρια Atterberg) δείχνουν έδαφος υπερστερεοποιημένο.

Ο δείκτης συνεκτικότητας καταδεικνύει το 1<sup>ο</sup> έδαφος ως μαλακό προς πολύ μαλακό και τα 2<sup>ο</sup> έδαφος ως πολύ σφιχτό.

Επιπλέον σύμφωνα με όσα αναφέρει και ο Παπαχαρήσης<sup>4</sup> στο βιβλίο Τεχνική Γεωλογία ο δείκτης συνεκτικότητας αποτελεί και δείκτη της αντοχής ενός εδάφους, έτσι το 1<sup>ο</sup> έδαφος παρουσιάζει μικρότερη αντοχή από το 2<sup>ο</sup> γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της δοκιμής σε ανεμπόδιστη θλίψη στην οποία υποβάλαμε τα εδαφικά δοκίμια και τα οποία θα σχολιάσουμε εκτενώς στις επόμενες παραγράφους.

### 3) Κοκκομετρική Ανάλυση

Από την κοκκομετρική διαβάθμιση, καταγράφεται μία επικράτηση του κλάσματος της ιλύος και στα δύο εδάφη. Αξιοσημείωτο κλάσμα της άμμου βρέθηκε στο 1<sup>ο</sup> εδαφικό δείγμα 3,36% ενώ στο 2<sup>ο</sup> ήταν πολύ χαμηλό 0,86% . Η ιλύς βρέθηκε στο 1<sup>ο</sup> έδαφος 59,64% και στο 2<sup>ο</sup> έδαφος 50,14% , ενώ το ποσοστό της αργίλου στο 1<sup>ο</sup> ήταν 37% και στο 2<sup>ο</sup> βρέθηκε μεγαλύτερο και ίσο με 49%.

Από την κοκκομετρική καμπύλη φαίνεται ότι το 2<sup>ο</sup> έδαφος χαρακτηρίζεται ως καλύτερα διαβαθμισμένο από άποψη μεγέθους κόκκων καθώς παρουσιάζει καμπύλη ομαλότερη από αυτή του 1<sup>ου</sup> .

Και τα 2 εδάφη κατατάσσονται ως ΜΗ ή ΟΗ.

### 4) Ενεργότητα

Από τον υπολογισμό της ενεργότητας για τα 2 εδαφικά δείγματα βρήκαμε ότι  $A < 0,75$  επομένως και τα δύο εδάφη χαρακτηρίζονται ως μη ενεργά.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί.

	Ενεργότητα	Χαρακτηρισμός
1 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα	0,43<0,75	Μη ενεργό
2 <sup>ο</sup> Εδαφικό Δείγμα	0,39<0,75	Μη ενεργό

Επιπλέον από μία απλή παραπομπή στον Πίνακα [36] με τις ενεργότητες των αργιλικών ορυκτών παρατηρούμε ότι οι τιμές της ενεργότητας των δύο εδαφών είναι ανάμεσα στις τιμές του Καολινήτη.

## 5) Ανεμπόδιστη θλίψη

Η μηχανική συμπεριφορά των εξεταζόμενων δειγμάτων διερευνήθηκε με την πραγματοποίηση ανεμπόδιστης (μονοαξονικής) θλίψης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και αφορούν τις παραμέτρους της αντοχής και της ευαισθησίας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

		Αντοχή σε Ανεμπόδιστη Θλίψη (Kg/cm <sup>2</sup> )	Βαθμός Ευαισθησία ς
1 <sup>ο</sup> Έδαφος	Αδιατάρακτο Δοκίμιο		0,48
	1 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,375
		2 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,234
	2 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,125
		2 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,101
2 <sup>ο</sup> Έδαφος	Αδιατάρακτο Δοκίμιο		2,930
	1 <sup>ο</sup> Αναζυμωμένο Δοκίμιο	1 <sup>η</sup> Δοκιμή	1,733
		2 <sup>η</sup> Δοκιμή	2,960
		3 <sup>η</sup> Δοκιμή	0,990

Πίνακας[49] : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων που βρήκαμε υποβάλλοντας τα εδαφικά δείγματα στην δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, διαπιστώνουμε ότι το 2<sup>ο</sup> έδαφος παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή από το 1<sup>ο</sup> έδαφος.

Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας αναφέραμε ότι η αναζύμωση ενός εδάφους οδηγεί σε μείωση της αντοχής του και όσο μεγαλύτερη η αναζύμωση τόσο μεγαλύτερη η μείωση της αντοχής. Από τα αποτελέσματα που υπολογίσαμε φαίνεται ότι και τα δύο εδάφη παρουσίασαν μείωση της αντοχής τους μετά την αναζύμωσή τους. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι στο 1<sup>ο</sup> Έδαφος, το 1<sup>ο</sup> αναζυμωμένο δείγμα παρουσιάζει μικρότερη αναζύμωση από το 2<sup>ο</sup> αναζυμωμένο δείγμα. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα διότι κατά την εκτέλεση των δοκιμών αναζυμώσαμε περισσότερο το 2<sup>ο</sup> αναζυμωμένο δείγμα με σκοπό να διαπιστώσουμε εκ των αποτελεσμάτων την σχέση αντοχής – αναζύμωσης που περιγράψαμε παραπάνω.

Για το 1<sup>ο</sup> Έδαφος υπολογίσαμε για τα δύο αναζυμωμένα δείγματα βαθμό ευαισθησίας <16, συνεπώς αναμέναμε αύξηση της αντοχής μετά το πέρας ενός μήνα. Όμως τα αποτελέσματα που πήραμε από την δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης στην οποία υποβάλαμε τα δείγματα ένα μήνα μετά την αναζύμωση, δεν ήταν τα αναμενόμενα .  
Συγκεκριμένα,

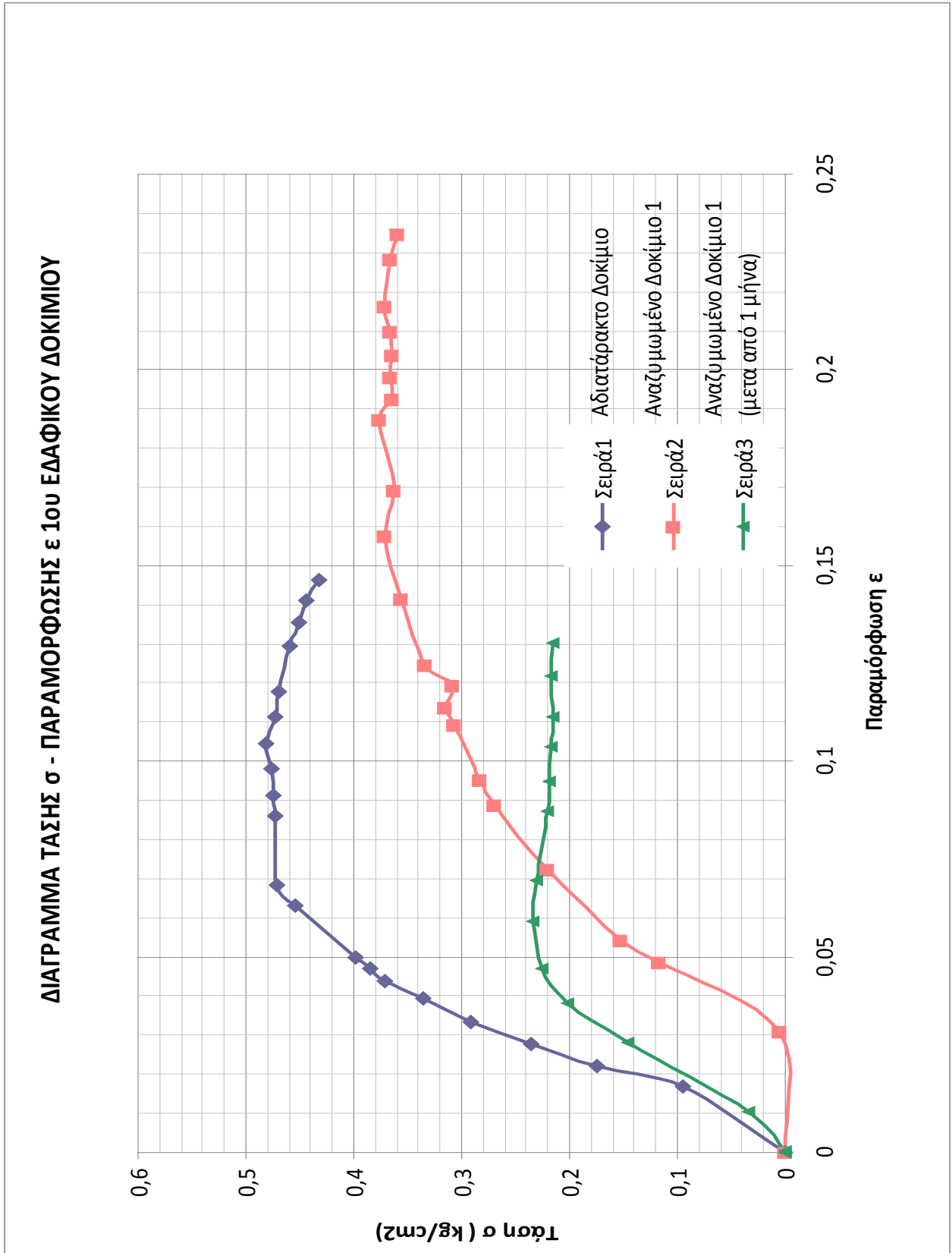
Τα δύο αναζυμωμένα δείγματα όχι μόνο δεν ανάκτησαν μέρος της αντοχής τους αλλά παρουσίασαν σημαντική μείωση.  
Να σημειώσουμε ότι τα αναζυμωμένα δείγματα διατηρήθηκαν σε πρότυπες συνθήκες (σε υγραντήρα).

Για το 2<sup>ο</sup> Έδαφος τα αποτελέσματα ήταν τα αναμενόμενα , καθώς το αναζυμωμένο δείγμα ανάκτησε πλήρως την αρχική αντοχή που είχε πριν την αναζύμωση.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα Τάσης – Παραμόρφωσης για κάθε εδαφικό δείγμα ξεχωριστά, ώστε να δείξουμε την σύγκριση που περιγράφεται παραπάνω μεταξύ του αδιατάρακτου και των αναζυμωμένων δοκιμίων.

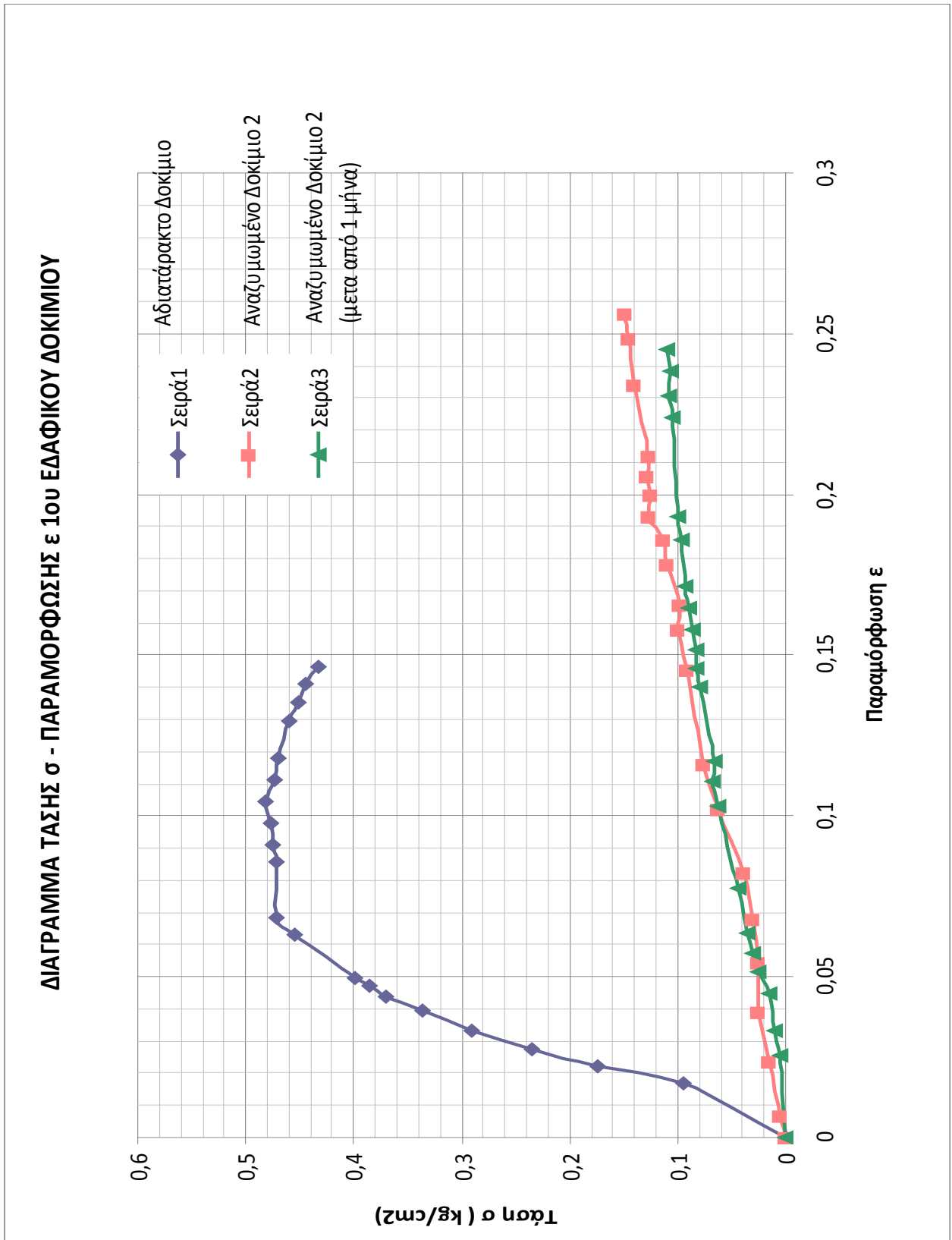
# ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ 1<sup>ΟΥ</sup> ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

(Αδιατάρακτο Δοκίμιο – Αναζυμωμένο Δοκίμιο 1)



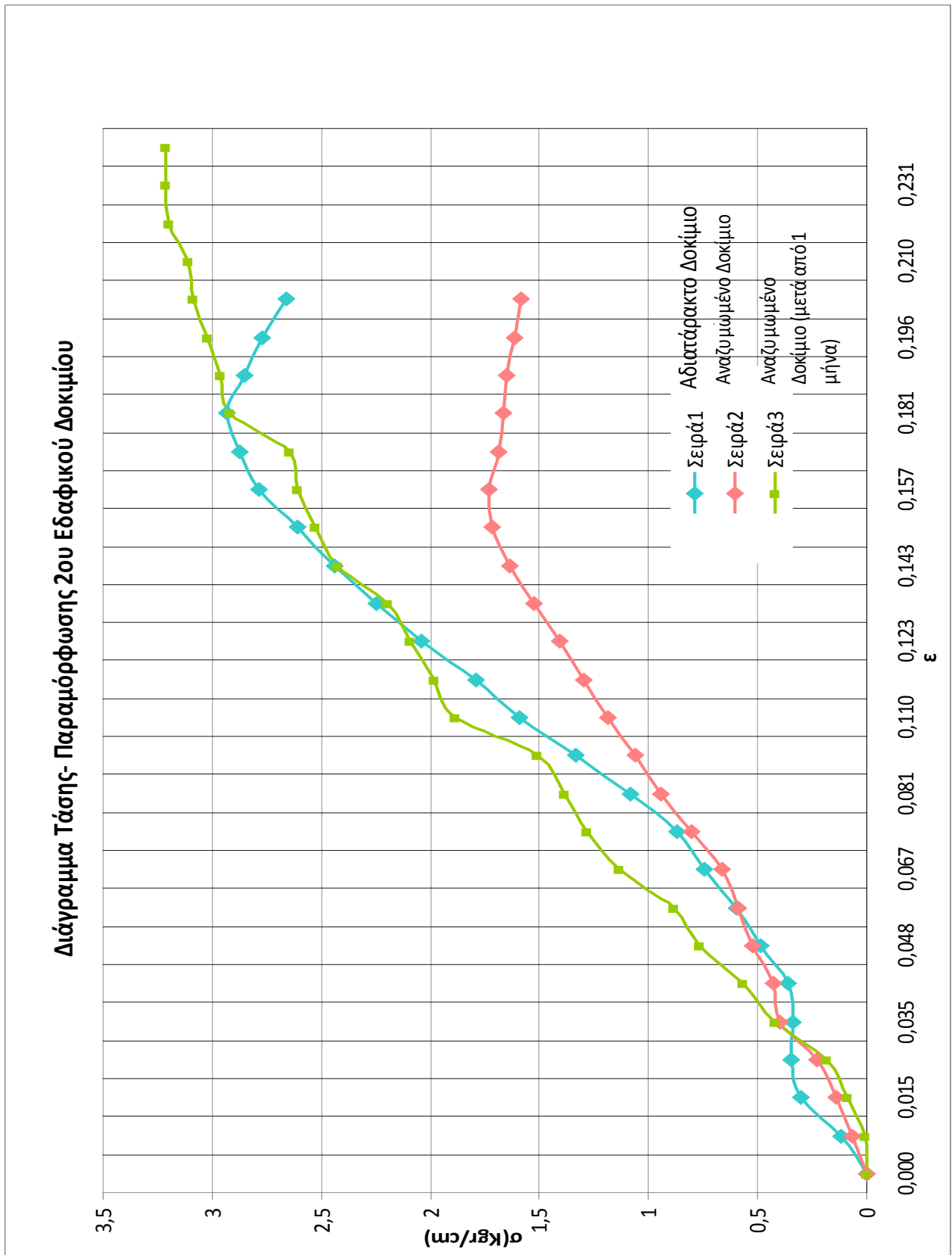


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ 1<sup>ΟΥ</sup> ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ  
(Αδιατάρακτο Δοκίμιο – Αναζυμωμένο Δοκίμιο 2)**



## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ 2<sup>ΟΥ</sup> ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

(Αδιατάρακτο Δοκίμιο – Αναζυμωμένο Δοκίμιο )



**ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ**

<b>1° ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ</b>					
<b>Δομική Περιεχόμενης Υγρασίας</b>					
	<i>Αδιατάρακτο Δοκίμιο</i>	<i>1° Ανανζυμωμένο Δοκίμιο</i>		<i>2° Ανανζυμωμένο Δοκίμιο</i>	
<b>Υγρασία W%</b>	51,939 %	<i>α' δοκιμή</i>	<i>β' δοκιμή</i>	<i>α' δοκιμή</i>	<i>β' δοκιμή</i>
		49,209 %	45,180 %	46,067 %	39,940 %
<b>Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης</b>					
	<i>Αδιατάρακτο Δοκίμιο</i>	<i>1° Ανανζυμωμένο Δοκίμιο</i>		<i>2° Ανανζυμωμένο Δοκίμιο</i>	
<b>Αντοχή <math>q_u</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,48	<i>α' δοκιμή</i>	<i>β' δοκιμή</i>	<i>α' δοκιμή</i>	<i>β' δοκιμή</i>
		0,375	0,234	0,125	0,101
<b>Συνοχή C (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,24	0,188	0,117	0,063	0,051
	<i>Μαλακή Άργιλος – Χωρίς ευαισθησία</i>	<i>Μαλακή Άργιλος – Με μικρή ευαισθησία</i>	<i>Πολύ μαλακή Άργιλος – Με μικρή ευαισθησία</i>	<i>Πολύ μαλακή Άργιλος – Με μικρή ευαισθησία</i>	<i>Πολύ μαλακή Άργιλος – Ευαίσθητη</i>
<b>Δοκιμή Εύρεσης Ειδικού Βάρους Στερεών Συστατικών <math>\gamma_s</math></b>					
<b>Ειδικό Βάρος <math>\gamma_s</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,17				
<b>Υγρό φαινόμενο βάρος <math>\gamma</math> - Ξηρό φαινόμενο βάρος <math>\gamma_d</math> - Λόγος κενών <math>e</math> - Πορώδες <math>n</math> - Βαθμός κορεσμού <math>S_r</math></b>					
<b><math>\gamma</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,786				

$\gamma_d$ ( $gr/cm^3$ )	1,175			
e	0,847			
n	0,458			
<b>Δοκιμή Ορίων Atterberg</b>				
Όριο Υδαρότη- -τας LL%	55 %			
Όριο Πλαστικ ό-τητας LP%	33,87 %			
<b>Δείκτης Πλαστικότητας <math>I_P</math></b>	<b>Δείκτης Υδαρότητας <math>I_L</math></b>		<b>Δείκτης Συνεκτικότητας <math>I_c</math></b>	
21,03 %	0,86 %		0,15 %	
<b>Δοκιμή Ενεργότητας</b>				
Ενεργό -τητα A	0,43		< 0,75 Μη ενεργό	
<b>Δοκιμή Κοκκομετρικής Διαβάθμισης – Κατάταξης Εδαφών</b>				
Άμμος	3,36 %	Κόσκινο	Διερχόμενο	LL = 55% > 50%
		No10	100%	
Ιλύς	59,64	No40	97,84% > 50 %	$I_P = 21,03\%$
		No200	96,64%	
Άργιλο ς	37%	Λεπτόκοκκο Υλικό – Ανόργανη Ιλύς ή Οργανική Άργιλος		

<b>2° ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ</b>			
<b>Δομική Περιεχόμενης Υγρασίας</b>			
	<i>Αδιατάρακτο Δοκίμιο</i>	<i>Ανανζυμωμένο Δοκίμιο</i>	
<b>Υγρασία W%</b>	25,685 %	<i>α' δοκιμή</i>	<i>β' δοκιμή</i>
		27,274 %	26,206 %
<b>Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης</b>			
	<i>Αδιατάρακτο Δοκίμιο</i>	<i>Ανανζυμωμένο Δοκίμιο</i>	
<b>Αντοχή <math>q_u</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2,930	<i>α' δοκιμή</i>	<i>β' δοκιμή</i>
		1,733	2,960
<b>Συνοχή C (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1,465	0,867	1,480
	<i>Πολύ Σκληρή Άργιλος</i>	<i>Στριφή /Σκληρή Άργιλος – Χωρίς ευαισθησία</i>	<i>Πολύ μαλακή Άργιλος – Χωρίς ευαισθησία</i>
<b>Δοκιμή Εύρεσης Ειδικού Βάρους Στερεών Συστατικών <math>\gamma_s</math></b>			
<b>Ειδικό Βάρος <math>\gamma_s</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,715		
<b>Υγρό φαινόμενο βάρος <math>\gamma</math> - Ξηρό φαινόμενο βάρος <math>\gamma_d</math> - Λόγος κενών <math>e</math> - Πορώδες <math>n</math> - Βαθμός κορεσμού <math>S_r</math></b>			
<b><math>\gamma</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,028		
<b><math>\gamma_d</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,613		

<b>e</b>	0,683			
<b>n</b>	0,406			
<b>S<sub>r</sub></b>	100 %			
<b>Δοκιμή Ορίων Atterberg</b>				
<b>Όριο Υδαρότη -τας LL%</b>	51,79 %			
<b>Όριο Πλαστικ ό-τητας LP%</b>	32,67 %			
<b>Δείκτης Πλαστικότητας I<sub>P</sub></b>	<b>Δείκτης Υδαρότητας I<sub>L</sub></b>		<b>Δείκτης Συνεκτικότητας I<sub>C</sub></b>	
19,02 %	-0,35 %		1,37 %	
<b>Δοκιμή Ενεργότητας</b>				
<b>Ενεργό -τητα A</b>	0,39		< 0,75 Μη ενεργό	
<b>Δοκιμή Κοκκομετρικής Διαβάθμισης – Κατάταξης Εδαφών</b>				
<b>Άμμος</b>	0,86 %	Κόσκινο	Διερχόμενο	LL = 51,79 % > 50%
		No10	100%	
<b>Ιλύς</b>	50,14 %	No40	99,73 % > 50 %	I <sub>P</sub> = 19,12%
		No200	99,14%	
<b>Άργιλο ς</b>	49 %	Λεπτόκοκκο Υλικό – Ανόργανη Ιλύς ή Οργανική Άργιλος		

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Πίνακας 2

Οι τιμές  $a$  δίνονται στον πιο κάτω πίνακα 2 με ακρίβεια εκατοστού.

Πίνακας 2. Τιμές του  $a$  για διάφορα ειδ. βάρη.

Ειδικό βάρος	σταθερά, $a$
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

Για τις τρέχουσες μετρήσεις έχουμε ικανοποιητική ακρίβεια διαλέγοντας τη σταθερά  $a$  για το ειδ. βάρος το πλησιέστερο προς το ειδ. βάρος του προς εξέταση δείγματος.

Πίνακας 4

Σύνθετες διορθώσεις επί των ενδείξεων που διαβάζονται στο πρότυπο, κατά Α.Α.Σ.Η.Ο., υδρομέτρο εδάφους 151 Η, για τις αναγραφόμενες θερμοκρασίες και διαλύματα διασποράς (1), ώστε να γίνει αναγωγή αυτών σε ενδείξεις μέσα σε αποσταγμένο νερό θερμοκρασίας 20°C.

Θερμοκρασία του διαλύματος Βαθμοί °C	Διόρθωση της ενδείξεως του υδρομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	NaPO <sub>3</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>12</sub> P <sub>10</sub> O <sub>31</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>3</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>6</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub> Ειδ. Βάρος
19	-0.00456	-0.00214	-0.00214	-0.00342
19 1/2	-0.00443	-0.00204	-0.00204	-0.00330
20	-0.00430	-0.00193	-0.00193	-0.00318
20 1/2	-0.00418	-0.00183	-0.00183	-0.00308
21	-0.00404	-0.00173	-0.00173	-0.00298
21 1/2	-0.00392	-0.00162	-0.00162	-0.00286
22	-0.00399	-0.00151	-0.00151	-0.00276
22 1/2	-0.00367	-0.00141	-0.00141	-0.00265
23	-0.00354	-0.00131	-0.00131	-0.00254
23 1/2	-0.00342	-0.00120	-0.00120	-0.00243
24	-0.00329	-0.00110	-0.00110	-0.00232
24 1/2	-0.00316	-0.00100	-0.00100	-0.00222
25	-0.00304	-0.00089	-0.00089	-0.00211
25 1/2	-0.00292	-0.00079	-0.00079	-0.00200
26	-0.00280	-0.00068	-0.00068	-0.00190
26 1/2	-0.00267	-0.00058	-0.00058	-0.00179
27	-0.00255	-0.00067	-0.00047	-0.00168
27 1/2	-0.00244	-0.00037	-0.00037	-0.00158
28	-0.00232	-0.00027	-0.00027	-0.00148
28 1/2	-0.00220	-0.00017	-0.00017	-0.00137
29	-0.00207	-0.00006	-0.00006	-0.00125
29 1/2	-0.00195	+0.00004	+0.00004	-0.00115
30	-0.00184	+0.00014	+0.00014	-0.00106
30 1/2	-0.00171	+0.00025	+0.00025	-0.00094
31	-0.00158	+0.00035	+0.00035	-0.00083
31 1/2	-0.00146	+0.00046	+0.00046	-0.00073
32	-0.00134	+0.00057	+0.00057	-0.00062
32 1/2	-0.00122	+0.00068	+0.00068	-0.00051
33	-0.00110	+0.00079	+0.00079	-0.00040
33 1/2	-0.00097	+0.00089	+0.00089	-0.00030

Πίνακας 4

Θερμοκρασία του διαλύματος Βαθμοί °C	Διόρθωση της ενδείξεως του υδρομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	NaPO <sub>3</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>12</sub> P <sub>10</sub> O <sub>31</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>3</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>6</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub> Ειδ. Βάρος
34	-0.00085	+0.00099	+0.00099	-0.00019
34 1/2	-0.00073	+0.00110	+0.00110	-0.00009
35	-0.00061	+0.00121	+0.00121	-0.00002

(1) Τα διαλύματα αυτά παρασκευάζονται δι' αραιώσεως 125 mL ετοιμού διαλύματος, όπως περιγράφεται στη παράγραφο 3.3., μέχρι συμπληρώσεως 1000 mL.



Πίνακας 6  
Εξέλιξη συντελεστού  $K_L$  για το πυκνόμετρο 151 Η

Πυκνότητα	$K_L$	Πυκνότη.	$K_L$	Πυκνότη.	$K_L$
1065	0.408	1036	0.672	1010	0.907
1064	0.415	1035	0.680	1009	0.918
1063	0.424	1034	0.690	1008	0.927
1062	0.433	1033	0.699	1007	0.938
1061	0.442	1032	0.708	1006	0.946
1060	0.450	1031	0.718	1005	0.955
1059	0.459	1030	0.728	1004	0.962
1058	0.467	1029	0.737	1003	0.971
1057	0.478	1028	0.743	1002	0.980
1056	0.489	1027	0.752	1001	0.990
1055	0.500	1026	0.760	1000	1.000
1054	0.510	1025	0.770		
1053	0.518	1024	0.778		
1052	0.526	1023	0.788		
1051	0.535	1022	0.796		
1050	0.544	1021	0.805		
1049	0.552	1020	0.817		
1048	0.562	1019	0.825		
1047	0.572	1018	0.833		
1046	0.581	1017	0.841		
1045	0.590	1016	0.850		
1044	0.600	1015	0.860		
1043	0.608	1014	0.868		
1042	0.619	1013	0.878		
1041	0.628	1012	0.888		
1040	0.637	1011	0.896		
1039	0.643				
1038	0.652				
1037	0.662				



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) Εδαφομηχανική Αρχές και Εφαρμογές, G.E. Barnes Εκδόσεις: Κλειδάριθμος,2005
- 2) Εδαφομηχανική Δημήτριος Θ. Βαλαλάς, Εκδόσεις: Αφοί Κυριακίδη Α.Ε, 2001
- 3) Εδαφομηχανική Ασκήσεις και προβλήματα, Γ. Γραμματικόπουλος – Ν. Μάνου – Ανδρέου Θ. Χατζηγώγος, Εκδόσεις: Αφοί Κυριακίδη Α.Ε
- 4) Γεωτεχνική Μηχανική , Ν. Παπαχαρίσις , Γ. Γραμματικόπουλος, Ν. Μάνου - Ανδρεάδη, Εκδόσεις: Αφοί Κυριακίδη Α. Ε
- 5) Θεμελιώσεις , Joseph E. Bowles Τόμος Ι, Εκδόσεις : Γρηγ. Χρ. Φούντας
- 6) Στοιχεία Γεωλογίας – Ορυκτολογίας, Παντελόπουλος Παντελής
- 7) Γεωτεχνικές Κατασκευές Ανάλυση των Αρχών Σχεδιασμού & Κατασκευής Ι, Σ.Δ. Κωστόπουλος, Εκδόσεις: Ίων ( 2<sup>η</sup> Έκδοση)
- 8) Από την Βιβλιοθήκη του Ε. Μ. Π , η Διπλωματική Εργασία του Καραγιαννόπουλου Ναλοπέωντα, με τίτλο : Πειραματική Διερεύνηση Ιδιοτήτων Αργίλων στο συμπιεσόμετρο, Αθήνα Μάρτιος 2011
- 9) Προδιαγραφές Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής (Φ.Ε.Κ υπ' αρ. 955/31-12-86) Τεύχος Δεύτερο

## ΔΙΑΔΙΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- 1) Ηλεκτρονικές Σημειώσεις του Μ. Καββαδά, Καθηγητής του Ε.Μ.Π  
<http://www.civil.htua.gr/kavvadas/Books/books.htm>
  
- 2) Σημειώσεις Ε.Μ.Π Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών
  - I. [http://www.metal.ntua.gr/uploads/2629/THEORIA -  
\\_ASKISI\\_1.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/2629/THEORIA_-_ASKISI_1.pdf)
  - II. [http://www.metal.ntua.gr/uploads/2675/6\\_DIALEXI-.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/2675/6_DIALEXI-.pdf)
  - III. <http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/texti/1D.pdf>
  
- 3) Σημειώσεις Εδαφομηχανικής- Μαραγκός Ν.(2009)
  - I. <http://edafomichaniki.weebly.com/uploads/5/3/4/7/5347998/kefaliao2.pdf>
  - II. <http://edafomichaniki.weebly.com/uploads/5/3/4/7/5347998/kefaliao1.pdf>
  
- 4) Σημειώσεις του καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Χρηστάρα  
<http://1tee-vront.chi.sch.sch.gr/domiko/53AtterbergLimits.pdf>
  
- 5) Σημειώσεις Μετσόβιου τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων  
<http://portal.survey.ntua.gr/main/abs/struct/LabTest.pdf> Σημειώσεις Βουρδουλάκη  
<http://mechan.ntua.gr/teaching/lectnotes/solimech/geotechnical-A1-1-Spring-05.pdf>
  
- 6) Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Θεσσαλίας  
[http://www.clv.uth.gr/lessons/46\Notes\\_06\\_07\\_EPEAEK.pdf](http://www.clv.uth.gr/lessons/46\Notes_06_07_EPEAEK.pdf)
  
- 7) Σημειώσεις στο Μάθημα Εδαφολογίας του Αντωνιάδη  
<http://www3.aegean.gr/environment/antoniadis/courses/soliScience/soliScience.pdf>
  
- 8) <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/edafomiLanik/thlipsi/P002.html>

- 9) [http://www.clv.uth.gr/lessons/52\kefalaio\\_11.pdf](http://www.clv.uth.gr/lessons/52\kefalaio_11.pdf)
- 10) Διπλωματική Εργασία της Σόνια – Σοφία Δ.Μαργαρίτη  
[http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/372313/margaritis\\_lignite.pdf](http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/372313/margaritis_lignite.pdf)
- 11) Διπλωματική Εργασία του Πολυκρέτη Χρήστου  
[http://195.251.30.202.8080/dspace/bitstream/123456789/1145/1/polykr eth\\_xrhstos.pdf](http://195.251.30.202.8080/dspace/bitstream/123456789/1145/1/polykr eth_xrhstos.pdf)
- 12) Πτυχιακή του Ρήγα Ιωάννη  
[http://eprints.telkoz.gr/2/3/1/GEW.PE72\\_2010.pdf](http://eprints.telkoz.gr/2/3/1/GEW.PE72_2010.pdf)

## Περίληψη

Στην παρούσα Πτυχιακή εργασία ερευνάται η επίδραση του φαινομένου της αναζύμωσης στις μηχανικές ιδιότητες των αργιλικών εδαφών. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης σε αδιατάρακτα και αναζυμωμένα αργιλικά εδάφη και έγινε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Αρχικά παρουσιάζεται μια αναφορά στη δομή και στις ιδιότητες των αργιλικών εδαφών, βάσει της οποίας γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια περιγράφονται οι δοκιμές με τις οποίες προσδιορίζονται η περιεχόμενη υγρασία των εδαφών, το ειδικό βάρος στερεών συστατικών και τα υπόλοιπα φυσικά χαρακτηριστικά, τα όρια Atterberg και η κοκκομετρία του κάθε υλικού.

Έπειτά, αφού πραγματοποιήθηκε η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης και παρατίθενται τα διαγράμματα Τάσης – Παραμόρφωσης. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι για το κάθε εδαφικό δείγμα υποβάλλαμε σε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης ένα αδιατάρακτο δοκίμιο και στη συνέχεια ένα αναζυμωμένο. Μετά το πέρας ενός μήνα και αφού το αναζυμωμένο δοκίμιο βρισκόταν σε πρότυπες συνθήκες εργαστηρίου επαναλάβαμε την παραπάνω πειραματική διαδικασία. Τα υλικά αυτά τοποθετήθηκαν στον χάρτη πλαστικότητας, από τον οποίο προσδιορίζεται η αναμενόμενη συμπεριφορά του κάθε υλικού.

Τέλος, γίνεται ο σχολιασμός όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων και η σύγκρισή τους με όσα προβλέπει η θεωρία για τα αναζυμωμένα εδαφικά υλικά.

## Summary

This dissertation investigates the phenomenon of re-fermentation in the mechanical properties of clay soils. Because this phenomenon reduces the strength of the clay, it has a negative effect on the stability of slopes, weakening their structural foundations and making them prone to landslides. In order to investigate the phenomenon we carried out a series of uninterrupted sorrow tests in undisturbed clay soils and compared the results.

Firstly, we will present a summary of the structure and properties of clay soils, on the basis of which we analyzed our results. This is followed by a description of the tests including details of the soil's moisture content, the specific gravity of the solids involved and their physical characteristics including Atterberg limits and the granulometry of each material.

After describing the experimental procedure, the results of our uninterrupted sorrow tests and charts of Voltage – Intrusion are presented.

It should be pointed out that we set up an undisturbed sample in an uninterrupted sorrow test for each soil sample; we also set up a re-fermented sample in the same test. The experiment described above was repeated one month later when the re-fermented sample was tested under standard laboratory conditions. These materials were placed in centralized charts, in which the behavior of each material is described.

Finally, we comment on the results of all the above and compare them with what the theory states about re-fermented soil materials.