



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ.Π.Μ.Σ "ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ"

Συμμετέχουσες Σχολές : Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

**“Πειραματική Διερεύνηση Χαρακτηριστικών  
Συμπιεστότητας της Μάργας του Ισθμού Κορίνθου”**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ  
ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αβακιάν Κεβόρκ

Επιβλέπων : Β.Ν Γεωργιάννου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ.Π.Μ.Σ "ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ"

Συμμετέχουσες Σχολές : Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

**“Πειραματική Διερεύνηση Χαρακτηριστικών  
Συμπίεστικότητας της Μάργας του Ισθμού Κορίνθου”**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ  
ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αβακιάν Κεβόρκ**

Επιβλέπων : Β.Ν Γεωργιάννου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή : .....

Γεωργιάννου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π .....

Γκαζέτας Γεώργιος, Καθηγητής Ε.Μ.Π .....

Γερόλυμος Νίκος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π .....

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου, κυρία Β.Ν. Γεωργιάννου, για το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας που μου έδωσε την ευκαιρία να εργαστώ και να αποκτήσω σημαντικές εμπειρίες στον τομέα της πειραματικής εδαφομηχανικής. Η καθοδήγηση και οι επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε ήταν πολύτιμες καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κύριο Στυλιανό Τσεντίδη, τεχνικό του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε στη διεξαγωγή όλων των πειραμάτων.

## Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία ερευνώνται τα φυσικά και εγγενή χαρακτηριστικά συμπιεστότητας της μάργας. Συγκεκριμένα το εδαφικό υλικό που εξετάσθηκε ήταν η Μάργα του Ισθμού της Κορίνθου, πάνω στην οποία πραγματοποιήθηκαν δοκιμές συμπίεσομέτρου σε φυσικά και αναζυμωμένα δείγματα. Επίσης έγινε επεξεργασία των αποτελεσμάτων παλαιότερων δοκιμών σε υλικά από τη Λαμία και τον Ισθμό Κορίνθου.

Αρχικά παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική αναφορά στη συμπεριφορά των αργιλικών υλικών, βάσει της οποίας γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια περιγράφονται οι δοκιμές κατάταξης με τις οποίες προσδιορίζονται τα όρια Atterberg, το  $G_s$  και η κοκκομετρία του υλικού.

Στη συνέχεια, αφού γίνει η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών συμπίεσομέτρου. Παρατίθενται τα διαγράμματα των καμπυλών στερεοποίησης και η κανονικοποιημένη τους μορφή με τη χρήση του δείκτη κενών  $I_v$ . Οι κανονικοποιημένες αυτές καμπύλες συγκρίνονται με την προβλεπόμενη από τη βιβλιογραφία καμπύλη για τα αργιλικά υλικά.

Τέλος, γίνεται ο σχολιασμός όλων των αποτελεσμάτων και η σύγκρισή τους με όσα προβλέπει η θεωρία για τα αναζυμωμένα εδαφικά υλικά.

## **Abstract**

In the present Diploma thesis the natural and intrinsic compressibility characteristics are studied in the oedometer apparatus. The material tested for this purpose was the Corinth Marl. Furthermore, the results from previous studies on materials from Lamia and Corinthos were processed.

First, measurements were taken to determine the physical characteristics of the Corinth Marl. Then, its behaviour under vertical pressure in the oedometer was determined, according to the extensive literature available on this subject.

Reconstituted specimens were placed in the oedometer ring at various water contents and the compression curves for the reconstituted Corinth Marl were determined. The curves were subsequently normalized with respect to the Void Index,  $I_v$ , and the Intrinsic Compression Line (ICL) was defined for the marl and was compared with the ICL of reconstituted clays present in the literature.

The compressibility characteristics of the natural material were examined based on the Intrinsic Compression Line framework of behaviour and were compared with the observed behaviour of natural clays.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
---------------	---

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός του εδάφους.....	6
1.2 Σχηματισμός του εδάφους .....	6
1.3 Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους .....	9
1.4 Δομή εδαφών – εδαφικοί δεσμοί.....	10
1.5 Σύγκριση φυσικών και αναζυμωμένων υλικών.....	12
1.6 Αναζυμωμένα (Reconstituted) υλικά.....	14
1.7 Δοκιμές σε εδαφικά υλικά.....	19
1.7.1 Δοκιμές σε άργιλο Λαμίας.....	19
1.7.2 Δοκιμές σε μάργα Ισθμού της Κορίνθου.....	25
1.7.2.1 Φυσικό υλικό.....	28

## 2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

2.1 Εδαφικά υλικά.....	32
2.2 Ειδικό βάρος $G_s$ .....	32
2.3 Όρια Atterberg .....	36
2.3.1 Όριο υδαρότητας LL.....	37
2.3.1.1 Δοκιμή Πενетроμέτρου.....	38
2.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση.....	40
2.4.1 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο.....	41

## 3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ

3.1 Εισαγωγή .....	46
3.2 Προετοιμασία δοκιμίου .....	48
3.3 Μεθοδολογία πειράματος.....	49
3.4 Δοκιμές συμμόρφωσης.....	53

## 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ

4.1 Αποτελέσματα συμπίεσομέτρων.....	56
4.2 Καμπύλες στερεοποίησης.....	56
4.2.1 Φυσικά δείγματα.....	56
4.2.2 Αναζυμωμένα (Reconstituted) δείγματα.....	62
4.2.3 Αναζυμωμένα υλικά στο μεγάλο συμπίεσόμετρο.....	71
4.3 Κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης – ICL Burland.....	76

4.3.1 Αναζυμωμένα δείγματα.....	76
4.3.2 Αναζυμωμένα υλικά στο μεγάλο συμπιεσόμετρο.....	84
4.3.3 Φυσικά δείγματα.....	86
4.4 Επεξεργασία καμπυλών στερεοποίησης – Συνδιαστικά διαγράμματα.....	90
4.5 Ανάλυση και σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	106
4.5.1 Ανάλυση – σύγκριση διαγραμμάτων στερεοποίησης.....	106
4.5.2 Ανάλυση – σύγκριση κανονικοποιημένων διαγραμμάτων στερεοποίησης ICL.....	114
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
5.1 Συμπεράσματα.....	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	129



## Εισαγωγή

Σκοπός της Διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της απόκρισης φυσικών και αναζυμωμένων εδαφικών υλικών στο συμπιεσόμετρο. Συγκεκριμένα το εδαφικό υλικό που εξετάστηκε ήταν η Μάργα του Ισθμού της Κορίνθου. Πιο αναλυτικά έπρεπε:

- Να συγκριθούν η συμπεριφορά των φυσικών δειγμάτων με αυτή των αναζυμωμένων με τη βοήθεια των κανονικοποιημένων καμπύλων στερεοποίησης τους.
- Να μελετηθεί η επίδραση του αρχικού ποσοστού ανάμειξης νερού του εδαφικού υλικού στη μετέπειτα συμπεριφορά του σε φόρτιση στο συμπιεσόμετρο.
- Να ελεγχθεί εάν η κανονικοποιημένη μορφή της καμπύλης στερεοποίησης της Μάργας Κορίνθου διαφέρει από τις αντίστοιχες καμπύλες που εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία για αργίλους.

Επίσης έγινε η σύγκριση του εδαφικού υλικού της Διπλωματικής, της Μάργας Κορίνθου με άλλα δύο υλικά από παλαιότερες Διπλωματικές, ένα αργιλοϊλυώδες υλικό από τη Λαμία και μια μάργα εξίσου από τον Ισθμό της Κορίνθου.

Αναλυτικότερα κάθε κεφάλαιο αναφέρεται στα εξής:

**Κεφάλαιο 1:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά του εδάφους, γίνεται αναφορά στη βιβλιογραφία σχετική με τη μονοδιάστατη στερεοποίηση για τις αναζυμωμένες αργίλους και παρουσιάζονται δοκιμές συμπίεσομέτρου υλικών από παλαιότερες διπλωματικές.

**Κεφάλαιο 2:** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία των μετρήσεων για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών της Μάργας Κορίνθου, όπως τα όρια Atterberg, η πυκνότητα στερεών  $G_s$  και η κοκκομετρική διαβάθμιση και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών.

**Κεφάλαιο 3:** Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία των δοκιμών συμπίεσομέτρου και αναφέρεται όλη η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

**Κεφάλαιο 4:** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και η παρουσίαση των διαγραμμάτων στερεοποίησης φυσικών και αναζυμωμένων δειγμάτων. Έπειτα γίνεται η κανονικοποίηση όλων των καμπυλών στερεοποίησης και η παρουσίασή τους.

**Κεφάλαιο 5:** Στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύονται όλα τα αποτελέσματα των δοκιμών και τα διαγράμματα στερεοποίησης και συγκρίνονται μεταξύ τους, με τα αποτελέσματα από παλαιότερες διπλωματικές και με την κανονικοποιημένη ICL του Burland που έγινε για πλήθος αργιλικών υλικών. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Στο **Παράρτημα** παρουσιάζονται κάποια βασικά παραδείγματα υπολογισμού και παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις δοκιμές συμπίεσομέτρου.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## 1.1 Ορισμός του εδάφους

Ως εδάφη χαρακτηρίζονται οι σχηματισμοί, των οποίων τα στερεά συστατικά είναι μεταξύ τους ασύνδετα ή ελαφρώς συγκολλημένα, ενώ τα μεταξύ τους κενά είναι πληρωμένα με υγρά ή και αέρια (συνήθως νερό και αέρα). Επομένως, ως εδάφη χαρακτηρίζονται τα μη συμπαγή τριφασικά υλικά, τα οποία εκτός από στερεά φάση αποτελούνται και από υγρή ή και αέρια φάση. Τα στερεά συστατικά ή αλλιώς οι στερεοί κόκκοι του εδάφους μπορούν να διαχωριστούν με μια απλή μηχανική δράση, όπως για παράδειγμα με ανακίνηση μέσα σε νερό, και έτσι είναι φανερό πως τα εδάφη παρουσιάζουν πολύ μικρή συνοχή σε αντίθεση με τα πετρώματα στα οποία οι στερεοί κόκκοι είναι ισχυρά συνδεδεμένοι μεταξύ τους.

Το έδαφος είναι η «επιδερμίδα» του στερεού φλοιού της Γης. Αν και η σύσταση, το χρώμα, η υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους μεταβάλλονται από τόπο σε τόπο, μπορούμε να πούμε ότι σχεδόν όλα τα εδάφη αποτελούνται από ανόργανα υλικά (χαλίκια, άμμο, λάσπη, νερό, αέρα κτλ), νεκρή οργανική ύλη (υπολείμματα ριζών, φύλλων, οργανισμών κτλ) και πλήθος μικροοργανισμών (βακτήρια).

## 1.2 Σχηματισμός του εδάφους

Οι παράγοντες που θεωρείται πως επηρεάζουν το σχηματισμό του εδάφους είναι οι εξής:

α) το μητρικό υλικό, το οποίο είναι σχετικά χαλαρό υλικό, το προερχόμενο από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και από το οποίο με την επίδραση και των άλλων παραγόντων της εδαφογένεσης σχηματίζεται το έδαφος.

β) το κλίμα, το οποίο επιδρά στη βλάστηση με τη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, αλλά και σε άλλους παράγοντες εδαφογένεσης.

γ) οι ζωντανοί οργανισμοί, δηλαδή φυτικοί οργανισμοί, μικροοργανισμοί, μεγάλοι οργανισμοί και άνθρωποι που χρησιμοποιούν τη γη για αγροτικές, δασικές, κτηνοτροφικές, οικιστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες.

δ) η τοπογραφία της περιοχής, δηλαδή η μορφή της επιφάνειας της γης.

ε) ο χρόνος, δηλαδή η διάρκεια διαδικασίας σχηματισμού του εδάφους που είναι πολύ μεγάλη. Συνήθως για το σχηματισμό ενός στρώματος από χώμα μέσω φυσικών διαδικασιών αποσάθρωσης μητρικών πετρωμάτων χρειάζονται από 100 έως 1000 χρόνια, ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Για αυτό το λόγο το έδαφος δεν αποτελεί ανανεώσιμο φυσικό πόρο.

Τα εδαφικά υλικά προέρχονται είτε από μηχανική είτε από χημική αποσάθρωση ή και από το συνδυασμό και των δύο. Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα, οι μικροοργανισμοί, τα ανώτερα φυτά, οι ζωικοί οργανισμοί, και οδηγεί σε κατακερματισμό και θρυμματισμό των βράχων. Αντίστοιχα η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση πετρωμάτων λόγω οξειδωσης, ενανθράκωσης, αναγωγής και άλλων χημικών διαδικασιών.

Η χημική αποσάθρωση είναι ο κυριότερος παράγοντας δημιουργίας λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών, όπως ιλύς και άργιλος, ενώ η μηχανική αποσάθρωση συντελεί κυρίως στη δημιουργία χονδροκόκκων εδαφών όπως χαλίκια και άμμους. Βέβαια δεν αποκλείεται και οι δύο τρόποι να οδηγούν στον εδαφικό σχηματισμό κάθε τύπου.

Ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης κάθε πετρώματος και τον τρόπο που πραγματοποιείται αυτή διαμορφώνεται ένα εδαφικό στρώμα που η σύστασή του εξαρτάται από τη σύσταση του μητρικού πετρώματος και από τη διαδικασία αποσάθρωσης.

Τα εδαφικά υλικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα χονδροκόκκα (χάλικες και άμμοι) και τα λεπτόκοκκα (ιλίς και άργιλοι). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα χονδροκόκκα προέρχονται κυρίως από τη μηχανική αποσάθρωση των βραχώδων σχηματισμών, ενώ τα λεπτόκοκκα από τη χημική αποσάθρωση των βράχων. Γενικότερα, εδάφη στα οποία οι κόκκοι τους έχουν διάσταση μεγαλύτερη από 0.07 mm εντάσσονται στην κατηγορία των χονδροκόκκων, ενώ για διάσταση μικρότερη των 0.07 mm στην κατηγορία των λεπτόκοκκων. Πιο συγκεκριμένα τα χαλίκια έχουν διάσταση μεγαλύτερη από 2 mm, οι άμμοι κυμαίνονται από 2 mm έως 0.07 mm (είναι η μικρότερη διάσταση

που φαίνεται διά γυμνού οφθαλμού), οι ιλείς από 0.07 mm έως 0.002 mm και οι άργιλοι μικρότερη από 0.002 mm.

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. Ακόμα και στην περίπτωση πολύ πεπλατυσμένων κόκκων ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη διάσταση είναι σχετικά μικρός. Η διάταξη των κόκκων των χονδρόκοκκων εδαφών 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 και μιας μέγιστης τιμής. Σε αντίθεση με τα χονδρόκοκκα υλικά, τα λεπτόκοκκα έχουν πολύ πεπλατυσμένους κόκκους σε μορφή πλακιδίων με μικρό πάχος. Λόγω των ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων και της πλακοειδούς μορφής των αργιλικών ορυκτών, η αλληλεπίδραση μεταξύ των πλακιδίων διέπεται και από άλλες δυνάμεις εκτός της βαρύτητας και της τριβής μεταξύ των πλακιδίων. Ειδικότερα, η επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων είναι ηλεκτρικά φορτισμένη, η άνω και κάτω επιφάνειες φέρουν αρνητικά φορτία, και η περιφέρεια (το πάχος) φέρει ίσα και αντίθετα θετικά φορτία. Οι επιφανειακές ηλεκτρικές δυνάμεις, που πρακτικά δεν εμφανίζονται στα χονδρόκοκκα εδάφη, κυριαρχούν στα λεπτόκοκκα εδάφη, επειδή η έντασή τους είναι ισχυρότερη από τις δυνάμεις βαρύτητας. Η μεγάλη διαφορά στην ειδική επιφάνεια των κόκκων μεταξύ των χονδρόκοκκων και των λεπτόκοκκων εδαφών καθορίζει την τελείως διαφορετική δομή τους και τις διαφορές της μηχανικής τους συμπεριφοράς. Τα λεπτόκοκκα εδάφη ονομάζονται επίσης και συνεκτικά, επειδή παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους (που οφείλεται στις ηλεκτρικές έλξεις μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων). Αντίστοιχα, τα χονδρόκοκκα εδάφη ονομάζονται και μη-συνεκτικά, επειδή δεν παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους.

### 1.3 Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Μερικές βασικές φυσικές ιδιότητες του εδάφους αναφέρονται παρακάτω:

α) Σύσταση: η σύσταση του εδάφους διαμορφώνεται από την αναλογία των υλικών που το αποτελούν (μίγμα ανόργανων – άμμου, ιλύος αργίλου – και οργανικών υλικών, νερού, αέρα).

β) Υφή: το μέγεθος των ανόργανων υλικών καθορίζει την υφή του εδάφους.

γ) Πορώδες και ειδικό βάρος: το πορώδες καθορίζεται από τον όγκο που έχουν τα διάκενα του εδάφους. Το πραγματικό ειδικό βάρος (λόγος του βάρους ενός όγκου κόκκων εδάφους προς ίσο όγκο αποσταγμένου νερού στους 4<sup>0</sup>C) είναι γύρω στα 2,5.

δ) Υγροσκοπικότητα: η υγροσκοπικότητα του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητα πρόσληψης και απόδοσης υγρασίας. Με άλλα λόγια σχετίζεται με τη συγκράτηση του νερού και το ρυθμό απορρόφησης της υγρασίας. Όταν όλα τα διάκενα του εδάφους είναι γεμάτα νερό η υγροσκοπικότητα του εδάφους φτάνει το μέγιστο.

ε) Ειδική θερμότητα: αφορά στην ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1<sup>0</sup>C. Η θερμοκρασία είναι ένας από τους συντελεστές της ανάπτυξης των φυτών και εξαρτάται από τα συστατικά του εδάφους, το χρώμα του, την υγρασία του κλπ.

Κάποιες περαιτέρω φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι το βάθος του προφίλ, τα χαρακτηριστικά των οριζόντων, η δομή, η ελεύθερη κίνηση του αέρα, το χρώμα του εδάφους και ο βαθμός συνεκτικότητας του εδάφους. Εξαρτώνται κυρίως από το κλίμα, το μητρικό υλικό και το χρόνο.

Όσον αφορά τις χημικές ιδιότητες του εδάφους, αυτές είναι το pH και η οργανική ουσία του εδάφους. Ο δείκτης pH του εδάφους καθορίζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, εκφράζει τον αρνητικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα, δηλαδή πόσα ιόντα υδρογόνου βρίσκονται μέσα σε αυτό. Όταν το pH παίρνει τιμές κάτω από 7, το διάλυμα λέγεται όξινο, ενώ όταν οι τιμές είναι πάνω από 7, αλκαλικό. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το pH είναι η βροχόπτωση, το είδος των καλλιεργούμενων φυτών και η χρησιμοποίηση λιπασμάτων.

#### 1.4 Δομή εδαφών – Εδαφικοί δεσμοί

Οι δυνάμεις που καθορίζουν τον τρόπο εναπόθεσης των εδαφικών κόκκων και κατά συνέπεια ορίζουν τη δομή των εδαφών είναι οι εξής:

α) Οι δυνάμεις βαρύτητας. Οι δυνάμεις αυτές υπερισχύουν στα αδρομερή εδαφικά υλικά (άμμος, χαλίκια, κροκάλες).

β) Οι μοριακές δυνάμεις. Είναι οι δυνάμεις συνοχής και συνάφειας οι οποίες αναπτύσσονται σε μοριακό επίπεδο και προκαλούν τη συνένωση των κόκκων διαστάσεως ιλύος, σε αλυσιδωτές δομές, αυξάνοντας έτσι το συνολικό τους βάρος και επιτρέποντάς τους να καθιζάνουν.

γ) Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις. Είναι οι ελκτικές ή απωθητικές δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται μεταξύ των σωματιδίων της αργίλου και οδηγούν στην κροκίδωσή τους, αυξάνοντας έτσι το συνολικό τους βάρος και επιτρέποντάς τους να καθιζάνουν.

Έχει παρατηρηθεί ότι τα περισσότερα φυσικά εδάφη παρουσιάζουν κάποια μορφή δεσμούς στον εδαφικό τους ιστό. Οι δεσμοί αυτοί σε γενικές γραμμές δημιουργούνται στο γεωλογικό παρελθόν λόγω μηχανικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων. Γενικά οι φορτίσεις του παρελθόντος αλλάζουν τη δομή του εδάφους αφήνοντας έτσι στο έδαφος το αποτύπωμά τους. Η δομή των φυσικών εδαφών έχει σχέση με τη σύσταση του εδάφους, τους δεσμούς μεταξύ των κόκκων και τη διάταξή τους στο χώρο. Η τελική δομή μπορεί να αλλάξει και εξαιτίας της αποσάθρωσης, της δειγματοληψίας και της μετέπειτα φόρτισης.

Έτσι λοιπόν 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 τους εδαφικούς δεσμούς τους ονομάζονται αναζυμωμένα. Τα αναζυμωμένα υλικά μπορούν να παρασκευαστούν με ανάδευση μέσα σε νερό. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητο οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών να χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

Ο Burland (1990) χωρίζει τα χαρακτηριστικά ενός εδαφικού υλικού σε δύο κατηγορίες: εγγενή και επίκτητα. Εγγενείς μηχανικές ιδιότητες είναι εκείνες



που διατηρεί ένα αναζυμωμένο εδαφικό υλικό ύστερα από μονοδιάστατη στερεοποίηση. Οι ιδιότητες αυτές χαρακτηρίζουν κάθε εδαφικό υλικό. Επίκτητες είναι οι ιδιότητες εκείνες που αποκτά το έδαφος κατά τη γεωλογική του ιστορία, όπου και διαμορφώνεται η δομή και οι δεσμοί του. Αυτές οφείλονται στην προφόρτιση του εδάφους στο παρελθόν.

Σύμφωνα με τον Mitchell (1976) λέγοντας εδαφική δομή εννοούμε τους εδαφικούς δεσμούς της μικροδομής του εδαφικού ιστού αλλά και τη διάταξη των εδαφικών κόκκων/πλακιδίων στο χώρο. Έχει αποδειχθεί αρκετές φορές από δοκιμές και πειράματα πως η εδαφική δομή που δημιουργήθηκε σε ένα έδαφος κατά τις φορτίσεις του παρελθόντος επηρεάζει τη μηχανική συμπεριφορά του. Επίσης έχει αποδειχθεί η ανάπτυξη εδαφικών δεσμών σε αναζυμωμένα υλικά με την πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει λόγω του σταθερού φορτίου που δέχεται ένα δοκίμιο και την ανάπτυξη ερπυσμού για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Ένα αντιπροσωπευτικό φυσικό υλικό στο οποίο η εδαφική δομή επηρεάζει άμεσα τη μηχανική του συμπεριφορά είναι η μάργα.

Η μάργα είναι μίγμα αργίλων και ανθρακικού ασβεστίου. Μπορεί να περιέχει 35-65% αργιλικό υλικό, και αντίστοιχα κατά το υπόλοιπο 35-65% αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο. Το ανθρακικό ασβέστιο αντιδρά με το αργιλικό περιεχόμενο της μάργας και διαμορφώνονται δεσμοί, οδηγώντας στην ανάπτυξη δομής στο σώμα του εδάφους. Τα είδη των εμπλεκόμενων ορυκτών, τόσο από την πλευρά της αργίλου όσο και από την πλευρά των ασβεστιτικών, σε συνδυασμό τόσο με τις συνθήκες φόρτισης (πίεσης) και θερμοκρασίας στις οποίες υπόκειται το υλικό, όσο και με άλλους παράγοντες όπως η περιεχόμενη υγρασία, η ροή νερού διαμέσου του εδάφους, η περιεκτικότητα του νερού σε ορυκτά, η αλληλουχία φορτίσεων, κ.α., επηρεάζουν καθοριστικά τη διαδικασία ανάπτυξης της δομής της μάργας. Άλλος κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τη διαμόρφωση δεσμών είναι ο χρόνος. Έτσι, το αποτέλεσμα των διεργασιών αυτών μπορεί να είναι πολύ διαφορετικό.

Πάντως, τα χαρακτηριστικά και η μηχανική συμπεριφορά του μίγματος είναι ανάμεσα σε αυτά των αργίλων και σε αυτά των ασβεστολίθων. Στην περίπτωση που επικρατεί το αργιλικό στοιχείο η συμπεριφορά πλησιάζει περισσότερο αυτή των αργιλικών εδαφών, ενώ στην περίπτωση που επικρατεί

το ασβεστιτικό στοιχείο η συμπεριφορά πλησιάζει περισσότερο αυτή των ασβεστολίθων. Έτσι, η συμπεριφορά των μαργών παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις και δεν υπάρχει ενιαία μαργαϊκή ταυτότητα. Οι ιδιότητες των μαργών είναι ίδιες με αυτές των αργιλικών εδαφών, με διαφοροποίηση ανάλογη του περιεχομένου ασβεστιτικών. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάζεται η μάργα της Κορίνθου που προσομοιάζει περισσότερο σε αργιλικό έδαφος παρά σε ασβεστολιθικό βράχο.

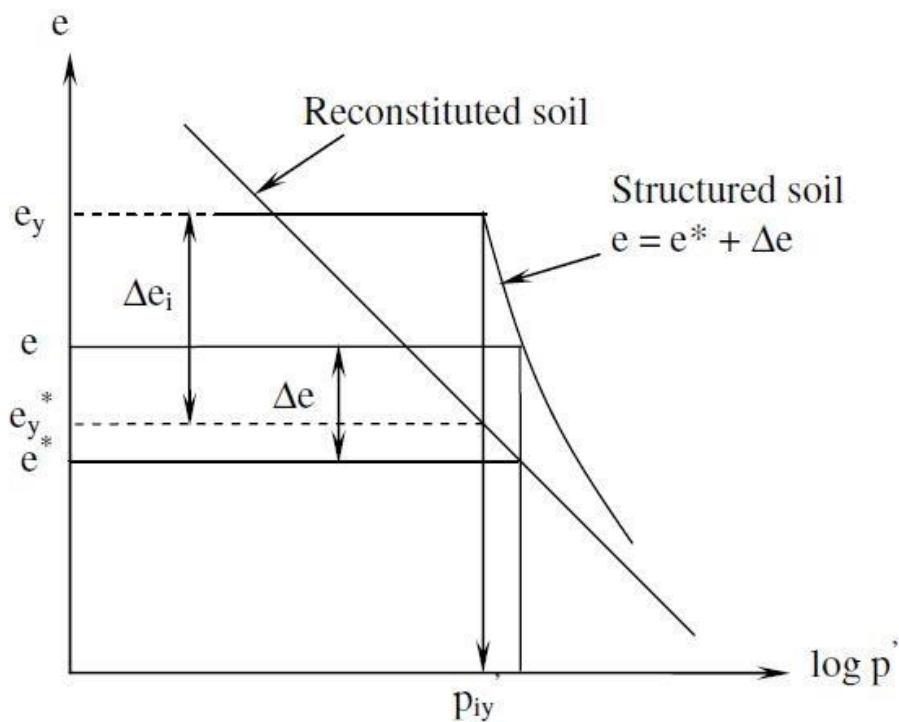
### 1.5 Σύγκριση φυσικών και αναζυμωμένων υλικών

Οι Liu και Carter αναφέρονται σε φυσικές μαλακές αργίλους και σε αντίστοιχες αναζυμωμένες αργίλους. Προσπαθούν να εκφράσουν την εδαφική δομή στα διαγράμματα  $e-\log s_v$  χωρίς την χρήση κάποιας κανονικοποίησης και προτείνουν τη σχέση που περιγράφει την καμπύλη στερεοποίησης και για φυσικά και για αναζυμωμένα υλικά. Με τη συγκέντρωση 32 αποτελεσμάτων πειραμάτων συμπιεσομέτρου 12 διαφορετικών υλικών κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- Για δεδομένη ενεργό τάση  $s_v$ , ο δείκτης κενών  $e$  για το έδαφος με φυσική δομή 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  $s_v$  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 1.1 παρακάτω με την αύξηση του φορτίου και την σταδιακή καταστροφή των δεσμών οι δύο φάσεις του υλικού τείνουν να ταυτιστούν.



**Σχήμα 1.1** Σύγκριση φυσικών και αναζυμωμένων υλικών σε μονοδιάστατη στερεοποίηση

Όπως αναφέρεται και στα British Standards 1377, οι διαφορές των φυσικών εδαφών από τα αντίστοιχα αναζυμωμένα είναι:

- Η εδαφική δομή δημιουργεί υλικό που είναι αρχικά στιφρό 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.

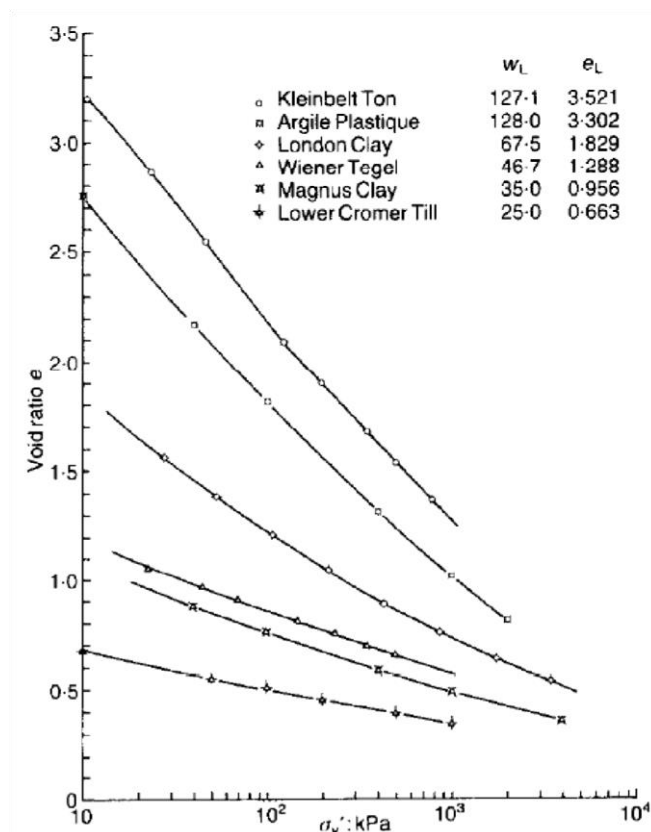
### **1.6 Αναζυμωμένα (Reconstituted) υλικά**

Όσον αφορά τα αργιλικά υλικά, τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, με επίκεντρο τη συμπίεστικότητα και τη διατμητική τους αντοχή, εξαρτώνται από ποικίλες παραμέτρους, πολλές από τις οποίες έχουν να κάνουν με τη φυσική κατάσταση του υλικού, η οποία περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως είναι η προφόρτιση, η υγρασία, κ.α. Έτσι κατά τη δεκαετία του 1930 ξεκίνησε μία προσπάθεια προσδιορισμού χαρακτηριστικών των αργιλικών υλικών τα οποία θα ήταν αναλλοίωτα για ένα υλικό, ανεξαρτήτως της φυσικής του κατάστασης και ιστορίας. Αυτό οδήγησε στη διαμόρφωση η Θεωρία Εδαφομηχανικής Κρίσιμης Κατάστασης κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών.

Κατά τον Burland, ο οποίος εξέτασε τη μηχανική συμπεριφορά αργιλικών υλικών κατά τη συμπίεσή τους, ένα αναζυμωμένο (reconstituted) υλικό ορίζεται ως ένα υλικό το οποίο έχει αναμειχθεί διεξοδικά με ποσοστό υγρασίας μεγαλύτερο ή ίσο του ορίου υδαρότητας (LL). Τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός αναζυμωμένου υλικού με ποσοστό υγρασίας από LL έως 1,5LL (κατά προτίμηση ίσο με 1,25LL) το οποίο δεν έχει υποστεί ξήρανση, που προκύπτουν από τη δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης, αποκαλούνται «εγγενή» (intrinsic) χαρακτηριστικά, ακριβώς επειδή απορρέουν από μια τυποποιημένη διαδικασία και δεν εξαρτώνται από τη φυσική κατάσταση του υλικού. Μπορούν να διαφοροποιούνται εντόνως από τα χαρακτηριστικά ενός υλικού στη φυσική του κατάσταση, έχουν αποδειχθεί όμως ιδιαίτερα χρήσιμα,

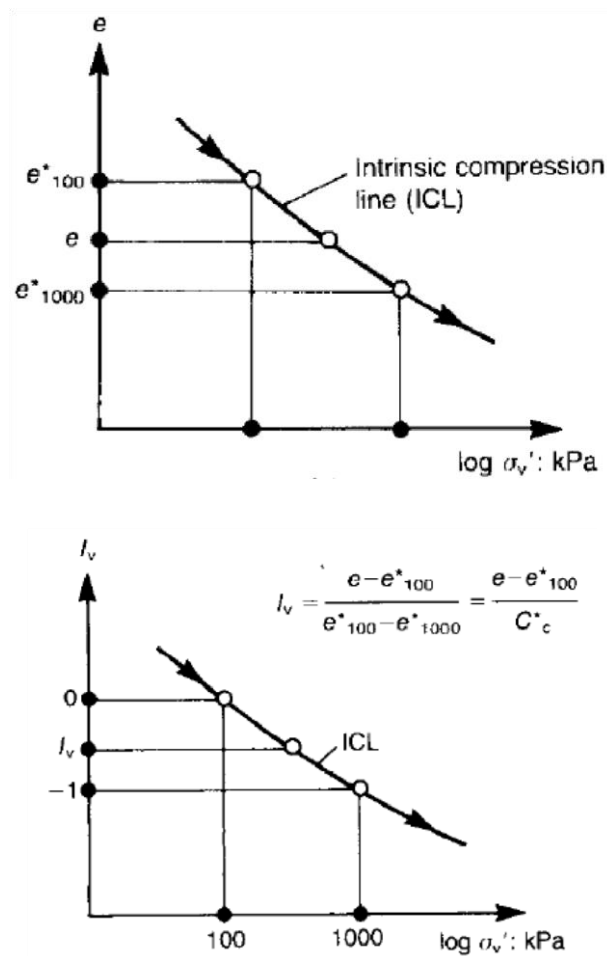
καθότι παρέχουν ένα σύστημα αναφοράς για τον έλεγχο και την κατανόηση της κατάστασης του επιτόπου υλικού και τη δομή αυτού, καθώς και τα μετρούμενα μηχανικά χαρακτηριστικά αδιατάρακτων δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση, τα εγγενή χαρακτηριστικά δε θα πρέπει να συγχέονται με τα χαρακτηριστικά του φυσικού υλικού.

Ο Burland (1990) αναφέρεται εκτενώς στη συμπεριφορά των αναζυμωμένων υλικών στα πειράματα συμπίεσομέτρου. Εκτελώντας μια σειρά από πειράματα σε αναζυμωμένες αργίλους και αποτυπώνοντας τις καμπύλες στερεοποίησης σε διαγράμματα δείκτη πόρων  $e$  και λογάριθμου ενεργού κατακόρυφης τάσης  $\sigma_v'$ , παρατηρείται ότι οι καμπύλες στερεοποίησης είναι παρόμοιες ως προς τη μορφή, αλλά δεν ταυτίζονται μεταξύ τους. Οι εν λόγω καμπύλες στερεοποίησης φαίνονται στο αμέσως επόμενο σχήμα (Σχήμα 1.2).



**Σχήμα 1.2** Καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης αναζυμωμένων αργίλων (Burland, 1990)

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. Για να μπορέσει να παρακάμψει τα διαφορετικά ποσοστά υγρασίας και να γενικεύσει τη σχέση για όλα τα αναζυμωμένα υλικά, κανονικοποιεί τα αποτελέσματα με τον δείκτη κενών  $I_v$ , όπως δείχνει και το Σχήμα 1.3.



**Σχήμα 1.3** Χρήση του δείκτη κενών  $I_v$  για την κανονικοποίηση της καμπύλης μονοδιάστατης συμπίεσης αναζυμωμένων υλικών (ICL) (Burland, 1990)

Τα εγγενή χαρακτηριστικά, δηλαδή οι ιδιότητες που αφορούν τα αναζυμωμένα υλικά συμβολίζονται με αστερίσκο. Για παράδειγμα,  $C_c^*$  συμβολίζεται ο εγγενής συντελεστής συμπιεστότητας, κ.ο.κ. Επίσης, για την καλύτερη αποτίμηση των αποτελεσμάτων, έχει θεσπιστεί μια μέθοδος απεικόνισής τους στην οποία κύριο ρόλο παίζουν οι δείκτες πόρων που αντιστοιχούν στις φορτίσεις 100kPa και 1000kPa, οι οποίοι συμβολίζονται με  $e_{100}$  και  $e_{1000}$  αντίστοιχα. Επίσης, ο συντελεστής συμπιεστότητας  $C_c$  ορίζεται ως:

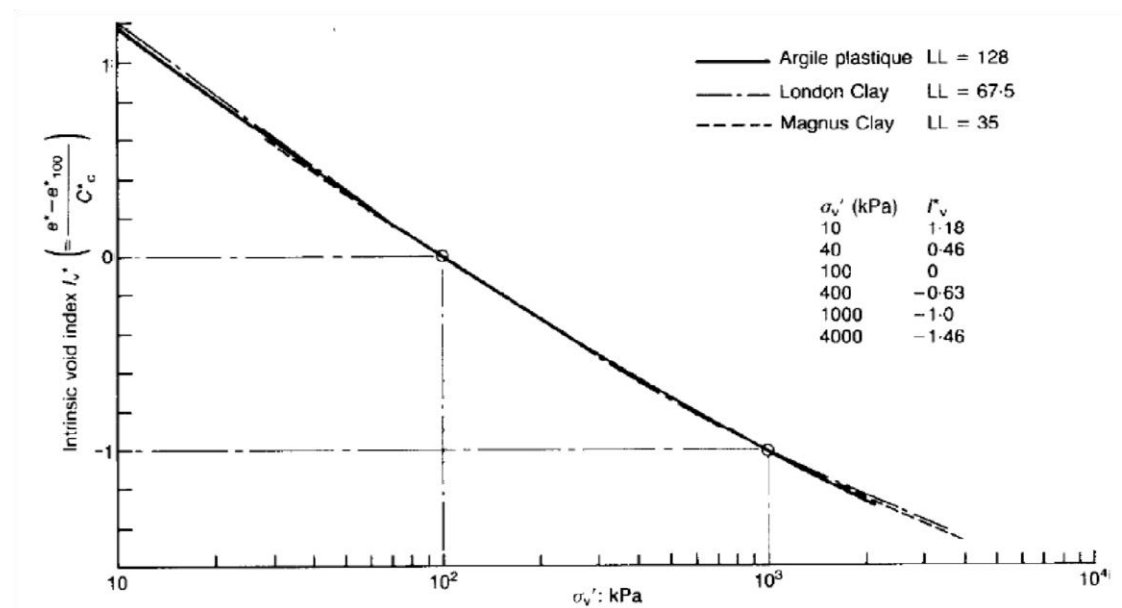
$$C_c = e_{100}^* - e_{1000}^*$$

Σύμφωνα με τον Terzaghi, ο συντελεστής συμπιεστότητας  $C_c$  και ο δείκτης πόρων  $e_{100}$  ονομάζονται σταθερές της εγγενούς συμπιεστότητας. Επίσης, ορίζεται ο δείκτης κενών  $I_v$  ώστε:

$$I_v = \frac{e - e_{100}^*}{C_c}$$

Για τον προσδιορισμό των  $e_{100}^*$  και  $e_{1000}^*$  απαιτείται μια δοκιμή συμπίεσομέτρου στο αναζυμωμένο υλικό. Προτείνεται το αναζυμωμένο υλικό να παρασκευάζεται με ανάμιξη του υλικού, που περνάει από το κόσκινο No 40 διαμέτρου κενών 0,425 mm, όπως περιγράφεται στα British Standards 1377. Η ανάμιξη γίνεται σε ποσοστό υγρασίας ίσο προς  $1,5w_{LL}$  ή τουλάχιστον όχι μικρότερο του  $w_{LL}$ , όπου  $w_{LL}$  είναι το ποσοστό υγρασίας στο όριο υδαρότητας.

Έτσι προκύπτει μία κοινή καμπύλη για όλα τα αναζυμωμένα υλικά. Αυτή η ευθεία ονομάζεται ICL (Intrinsic Compression Line), δηλαδή γραμμή συμπίεσης αναζυμωμένου υλικού. Μια τέτοια κανονικοποίηση φαίνεται στο Σχήμα 1.4 πιο κάτω, όπου τρεις καμπύλες συμπίεσης αναζυμωμένων αργιλικών υλικών, οι οποίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ορίων υδαρότητας και τιμών τάσεων, έχουν σχεδιαστεί σε διάγραμμα αξόνων Δείκτη κενών ( $I_v$ ) και Κατακόρυφης ενεργού τάσης ( $\sigma_v$ ) (Burland 1990).



**Σχήμα 1.4** Κανονικοποιημένες καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης αναζυμωμένων υλικών όπου προκύπτει η ICL (Burland, 1990)

Ο Burland (1990) από στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων σε μεγάλο αριθμό αναζυμωμένων αργίλων, εισήγαγε μία πολυωνυμική εμπειρική σχέση που περιγράφει την ICL. Η σχέση αυτή είναι η εξής:

$$I_v = 2,45 - 1,285 * x + 0,015 * x^3 \quad \text{όπου } x = \log(\sigma'_v)$$

Ο δείκτης κενών χρησιμεύει στην κανονικοποίηση των καμπυλών συμπίεσης, δίνοντας την τιμή  $I_v = 0$  όταν  $e = e^{*100}$ , και αντίστοιχα την τιμή  $I_v = -1$  όταν  $e = e^{*1000}$ , και χρησιμεύει έτσι ως ένας δείκτης του βαθμού συμπίκνωσης, με τιμές μικρότερες του μηδενός να σημαίνουν πυκνή δομή, ενώ τιμές μεγαλύτερες του μηδενός να σημαίνουν χαλαρή δομή. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η σημασία του δείκτη κενών. Καμπύλες συμπίεσης από τρεις αργίλους με εντελώς διαφορετικό όριο υδαρότητας σχεδόν ταυτίζονται όταν εκφραστούν σε όρους  $I_v$ .



Σε κάθε περίπτωση, η καμπύλη συμπίεσης ( $e$ -log $p$ ) ενός αναζυμωμένου υλικού ονομάζεται καμπύλη εγγενούς συμπύκνωσης (intrinsic compression line ή ICL). Η ICL έχει μεγάλη σημασία, τόσο επειδή αποτελεί «σταθερά» για ένα υλικό, καθώς μένει αναλλοίωτη ανεξαρτήτως της φυσικής του κατάστασης ή της ιστορίας φόρτισής του. Εδώ, αυξημένη σημασία αποκτά η ιδιότητα της ICL να είναι πλήρως ανεπηρέαστη από τη χρονική ωρίμανση ενός υλικού, καθώς στη μελέτη υλικών που βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης δομής τα χαρακτηριστικά τους μεταβάλλονται σημαντικά με το χρόνο. Παράλληλα, παρουσιάζει την ιδιότητα όλες οι καμπύλες συμπύκνωσης του υλικού, ανεξαρτήτως της ιστορίας φόρτισής τους, να συγκλίνουν στην ICL για επαρκώς υψηλά επίπεδα φόρτισης.

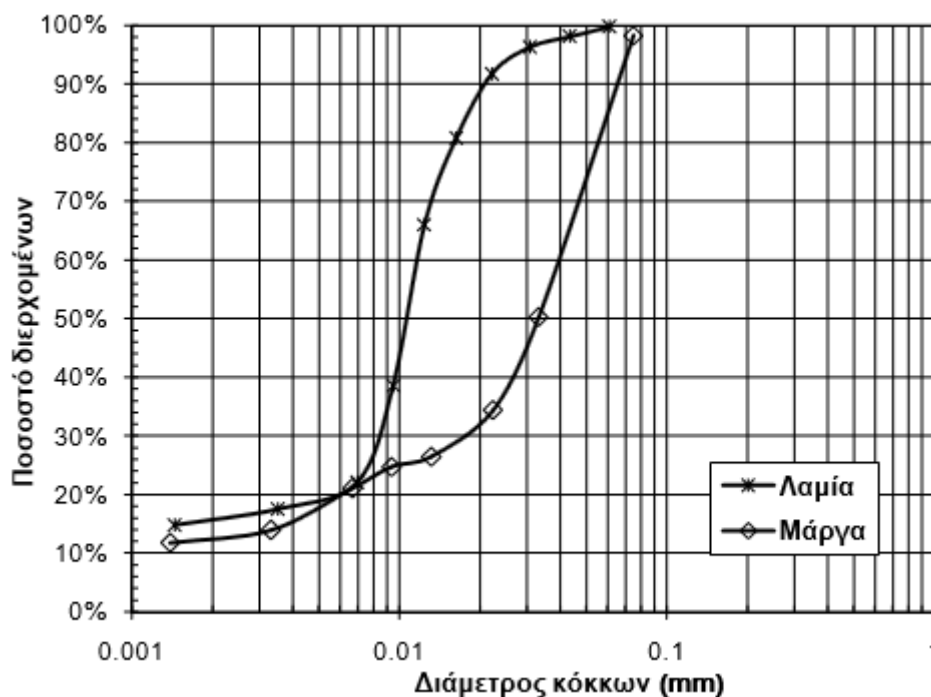
### **1.7 Δοκιμές σε εδαφικά υλικά**

Έχουν γίνει πολλά πειράματα πάνω σε αναζυμωμένα και φυσικά υλικά, με σκοπό να συσχετισθεί η συμπεριφορά τους ανάλογα με την κοκκομετρική τους διαβάθμιση και τα όρια Atterberg. Οι περισσότερες δοκιμές συμπίεσομέτρου γίνονται σε αργίλους, καθώς η προσέγγιση του Burland αφορά αποκλειστικά αυτές, ώστε να γίνονται οι συγκρίσεις στις μεταξύ τους συμπεριφορές. Παρόλα αυτά δοκιμές εκτελούνται και σε διαφορετικά εδαφικά υλικά και ελέγχεται κατά πόσο ακολουθούν τη μεθοδολογία του Burland. Σε μεγάλο αριθμό δοκιμών συμπίεσομέτρου πραγματοποιείται κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων με τη χρήση του δείκτη κενών  $I_v$ , όπου μετά γίνονται συγκρίσεις με τη θεωρητική γραμμή μονοδιάστατης συμπίεσης ICL και με τη ICL του Burland. Στη συνέχεια περιγράφονται τα χαρακτηριστικά κάποιων εδαφικών υλικών και παρουσιάζονται διαγράμματα τα οποία προσδιορίζουν τις εγγενείς ιδιότητές τους.

#### **1.7.1 Δοκιμές σε άργιλο Λαμίας**

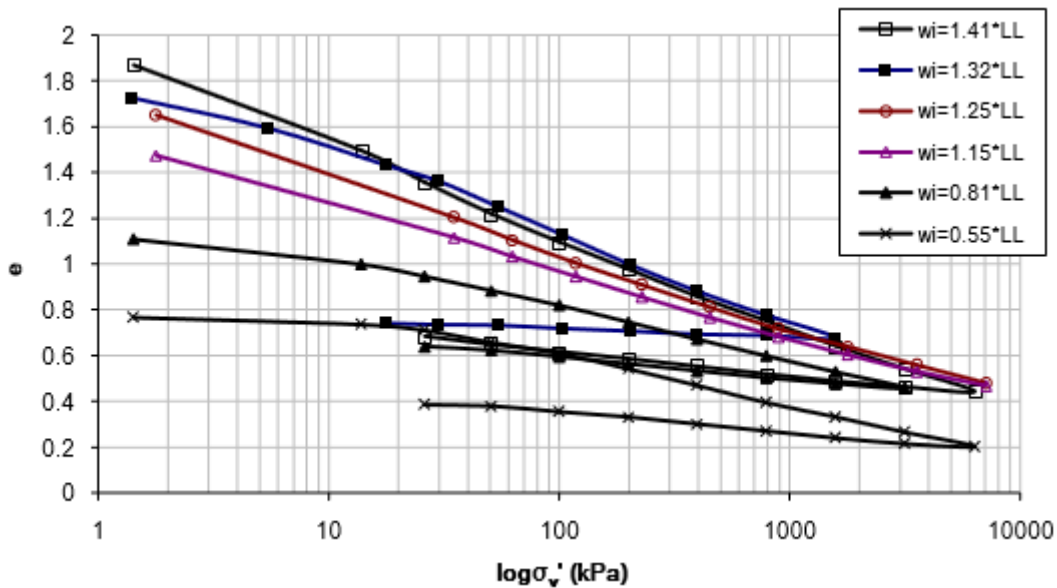
Σε εδαφικό υλικό της Λαμίας, που στη συνέχεια επιβεβαιώθηκε πως είναι άργιλος, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές συμπίεσομέτρου όπως περιγράφονται

στην Τελική Έκθεση Π.Ε.Β.Ε. του 2009. Αρχικά, στο αμέσως επόμενο σχήμα (Σχήμα 1.5) φαίνεται η καμπύλη της κοκκομετρικής διαβάθμισης του συγκεκριμένου εδαφικού υλικού, καθώς και ενός άλλου υλικού, της μάργας του Ισθμού της Κορίνθου που θα αναφερθούμε αργότερα. Από την καμπύλη είναι φανερό πως το υλικό της Λαμίας μοιάζει περισσότερο με ιλυώδη άργιλο και έχει σχετικά χαμηλή πλαστιμότητα.



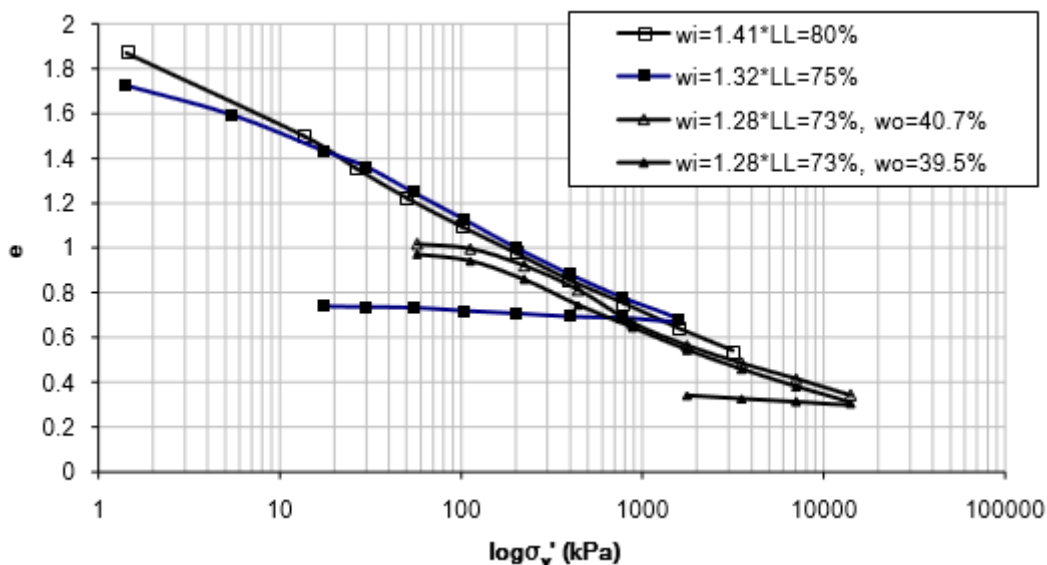
**Σχήμα 1.5** Κοκκομετρική διαβάθμιση υλικών (ΠΕΒΕ, 2009)

Η διαφορετικότητα του υλικού της Λαμίας σε σχέση με τις τυπικές αργίλους εμφανίστηκε αρχικά στις δοκιμές συμπίεστικότητας. Λόγω της ευαισθησίας του στο ποσοστό ανάμιξης το αναζυμωμένο υλικό που προκύπτει για διάφορα ποσοστά ανάμιξης εμφανίζει διαφορετικές καμπύλες συμπίεστικότητας στο συμπίεσόμετρο, ενώ στη βιβλιογραφία οι καμπύλες συμπίεστικότητας συνήθως συγκλίνουν για ορθές τάσεις  $\sigma' > 100$  kPa. Οι καμπύλες στερεοποίησης για το υλικό της Λαμίας παραμένουν περίπου παράλληλες μεταξύ τους ακόμη και για υψηλές τάσεις έως και 14 MPa όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6.



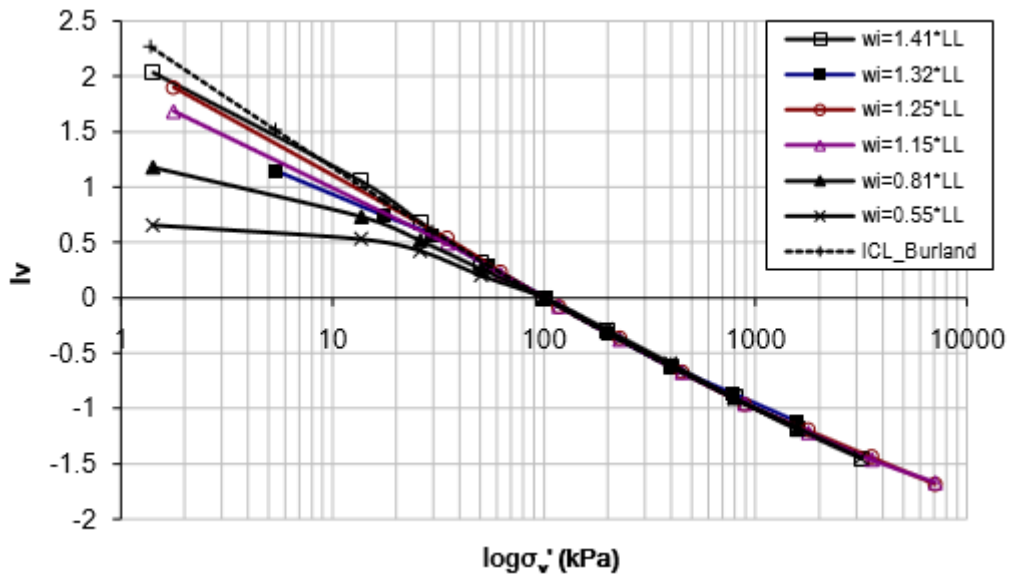
**Σχήμα 1.6** Καμπύλες συμπίεστρομετρου για αναζυμωμένο υλικό σε ποσοστά υγρασίας 0,55-1,41 φορές το όριο υδαρότητας LL(ΠΕΒΕ, 2009)

Εκτός από τις δοκιμές συμπίεστρομετρου που φαίνονται πιο πάνω, όπου το αναζυμωμένο υλικό τοποθετήθηκε προς φόρτιση απευθείας στα συμπίεσόμετρα, έγιναν μερικές δοκιμές σε αναζυμωμένα προφορτισμένα δοκίμια. Αυτά μορφώθηκαν από ένα μεγάλο δοκίμιο το οποίο είχε προηγουμένως φορτιστεί σε ένα ειδικά διαμορφωμένο συμπίεσόμετρο, όπου είχε αρχικά τοποθετηθεί αναζυμωμένο υλικό σε ποσοστό υγρασίας  $1,28 \cdot LL$ . Το συγκεκριμένο διάγραμμα με τις καμπύλες των αναζυμωμένων προφορτισμένων δοκιμίων απεικονίζεται στο σχήμα 1.7, όπου φαίνονται και ορισμένες καμπύλες από το σχήμα 1.6. Παρατηρούμε πως μετά τον αρχικό κλάδο επαναφόρτισης οι καμπύλες των αναζυμωμένων και των προφορτισμένων αναζυμωμένων σχεδόν συμπίπτουν. Φυσικά έχουμε χρησιμοποιήσει και στις δύο περιπτώσεις δοκίμια με παρόμοια υγρασία.

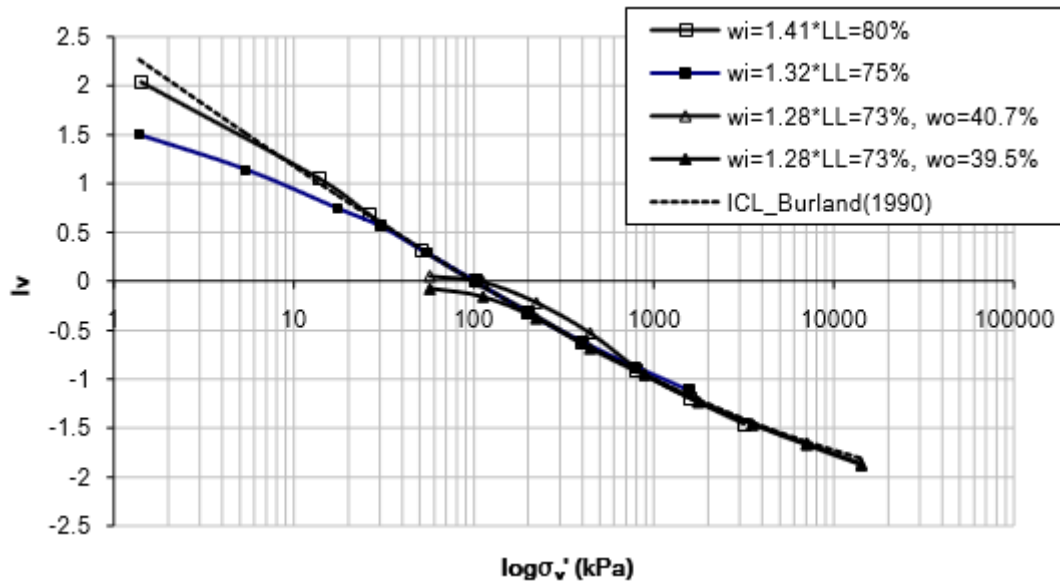


**Σχήμα 1.7** Καμπύλες συμπίεσόμετρο για αναζυμωμένα προφορτισμένα δοκίμια (ΠΕΒΕ, 2009)

Οι καμπύλες του σχήματος 1.6 κανονικοποιήθηκαν ως προς το δείκτη  $I_v$  και φαίνονται στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 1.8). Είναι φανερό πως όλες οι καμπύλες μετά την τιμή των 100 kPa ταυτίζονται. Για τις αργίλους έχει παρατηρηθεί πλήρης ταύτιση των καμπυλών σε όλο το εύρος τάσεων που επιβάλλεται στο συμπίεσόμετρο. Το δεύτερο διάγραμμα περιλαμβάνει τις κανονικοποιημένες καμπύλες του σχήματος 1.7, δηλαδή κάποια αναζυμωμένα υλικά που τοποθετήθηκαν απευθείας στο συμπίεσόμετρο και κάποια προφορτισμένα αναζυμωμένα που τοποθετήθηκαν έπειτα στο κλασικό συμπίεσόμετρο. Όλες οι κανονικοποιημένες καμπύλες συμπίπτουν με την καμπύλη που ορίστηκε από τον Burland για τυπικές αργίλους.

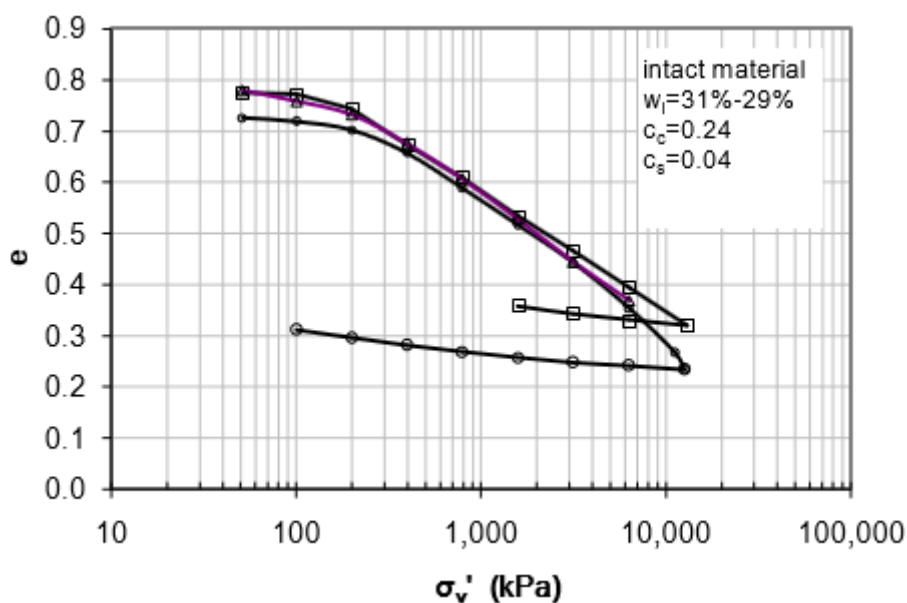


**Σχήμα 1.8** Κανονικοποιημένες καμπύλες συμπίεσόμετρου  $I_v$  για αναζυμωμένα υλικά (Π.Ε.Β.Ε., 2009)



**Σχήμα 1.9** Κανονικοποιημένες καμπύλες συμπίεσόμετρου  $I_v$  για αναζυμωμένα και προφορτισμένα υλικά (ΠΕΒΕ, 2009)

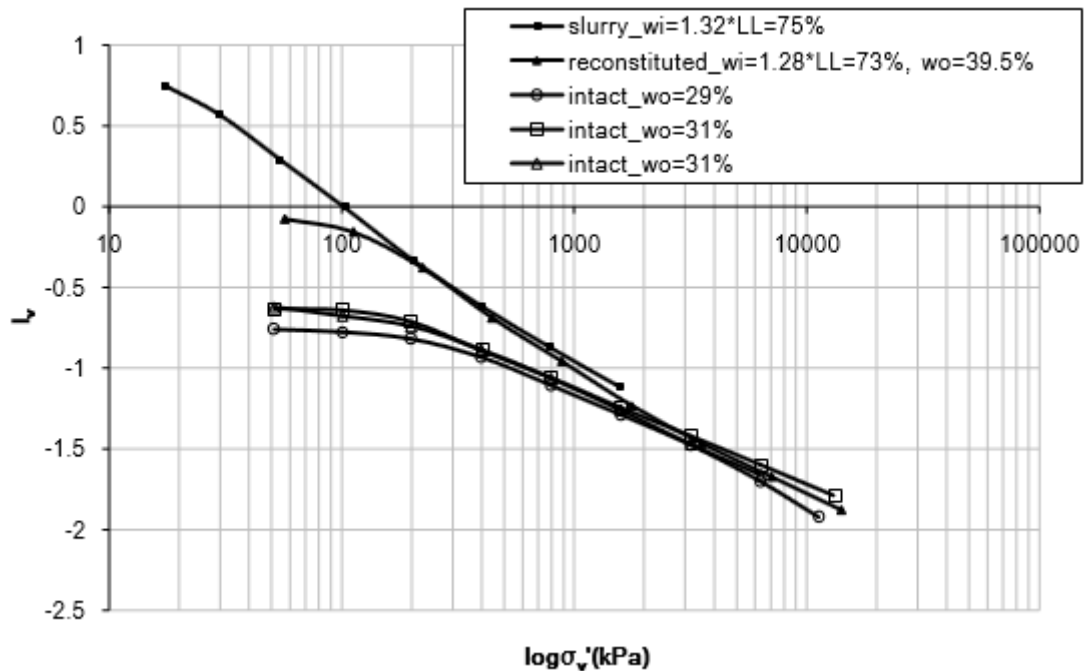
Ας περάσουμε όμως και στην εξέταση του φυσικού υλικού, του οποίου οι καμπύλες συμπίεσομέτρου φαίνονται στο Σχήμα 1.10. Η υγρασία του υλικού κυμαίνεται μεταξύ 29-31%. Μετά τα 150 kPa και οι δύο κλάδοι έχουν σταθερή κλίση και είναι σχεδόν παράλληλοι. Οι κλάδοι αποφόρτισης έχουν σχεδόν την ίδια κλίση με τους αντίστοιχους κλάδους των αναζυμωμένων υλικών και αυτό αποδεικνύει πως οι μεγάλες τάσεις στη δοκιμή συμπίεσομέτρου καταστρέφει σταδιακά τη φυσική δομή του υλικού.



**Σχήμα 1.10** Καμπύλες στερεοποίησης φυσικού υλικού (ΠΕΒΕ, 2009)

Στο προσεχή διάγραμμα (Σχήμα 1.11) απεικονίζονται καμπύλες συμπίεσομέτρου κανονικοποιημένες, τόσο για φυσικά υλικά όσο και για αναζυμωμένα. Παρατηρείται ότι η κανονικοποιημένη καμπύλη του φυσικού υλικού σε αρκετά μεγάλες τάσεις συγκλίνει με την καμπύλη στερεοποίησης του αναζυμωμένου υλικού και στη συνέχεια σχεδόν την ακολουθεί. Η τυπική συμπεριφορά των αργίλων είναι μετά την κανονικοποίηση να βρίσκονται στα δεξιά της αντίστοιχης ICL γεγονός που αποδίδεται στη δομή του φυσικού, που για το ίδιο  $I_v$  μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη κατακόρυφη τάση  $\sigma'_v$  από το αναζυμωμένο υλικό. Επομένως, το υλικό της Λαμίας δε φαίνεται να έχει ισχυρότερα δομικά χαρακτηριστικά (δεσμούς) από το αναζυμωμένο και η

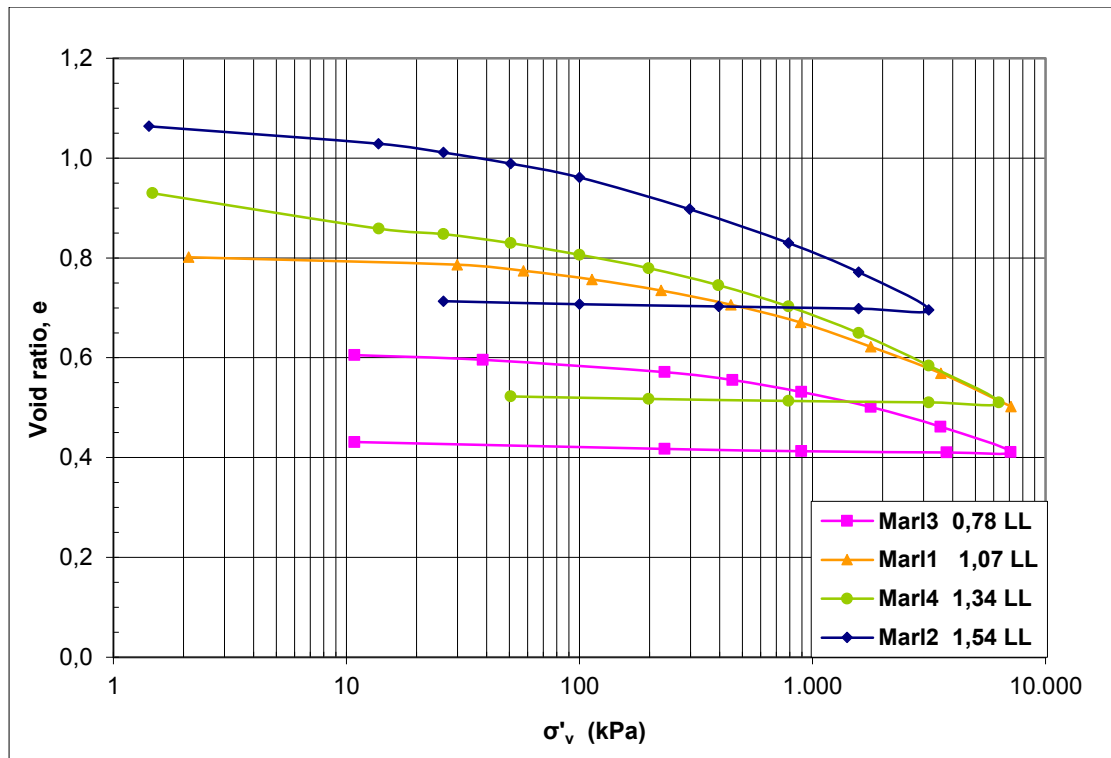
μικρότερη συμπίεστότητά του είναι αποτέλεσμα της μικρότερης δομής του (μικρότερος δείκτης πόρων) σε σχέση με το αναζυμωμένο.



**Σχήμα 1.11** Κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης φυσικού και αναζυμωμένου υλικού (ΠΕΒΕ, 2009)

### 1.7.2 Δοκιμές σε μάργα Ισθμού της Κορίνθου

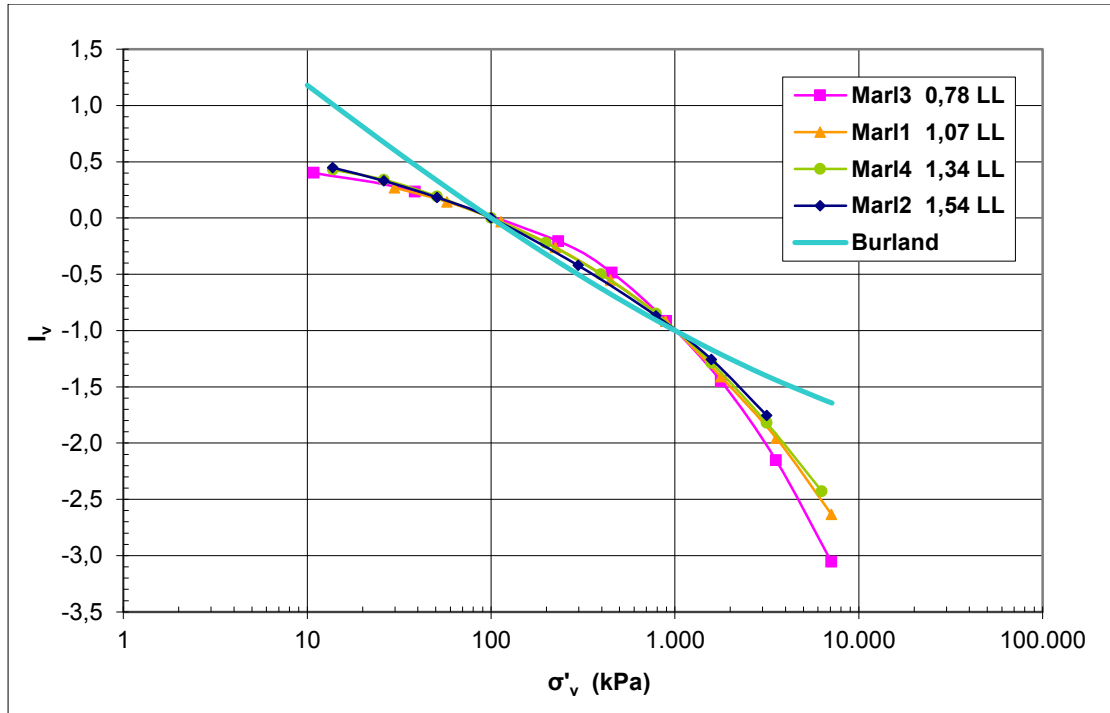
Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές συμπίεσομέτρου σε μάργα από την περιοχή του Ισθμού της Κορίνθου, όπως αυτές περιγράφονται στη Διπλωματική Εργασία του Πλέτση Σ.Κ. (2007). Η κοκκομετρική καμπύλη του υλικού όπως αναφέρθηκε, φαίνεται παραπάνω στο σχήμα 1.5. Οι καμπύλες συμπίεσομέτρου για αναζυμωμένη μάργα απεικονίζονται στο Σχήμα 1.12. Έχουν σχεδιαστεί καμπύλες για διαφορετικά ποσοστά υγρασίας ανάμιξης που κυμαίνονται από  $0,78*LL-1,54*LL$ , όπου LL είναι το όριο υδαρότητας της φυσικής μάργας. Όπως παρατηρήθηκε και στο Σχήμα 1.6, οι καμπύλες είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους και δε συγκλίνουν για ορθές τάσεις μέχρι 7MPa.



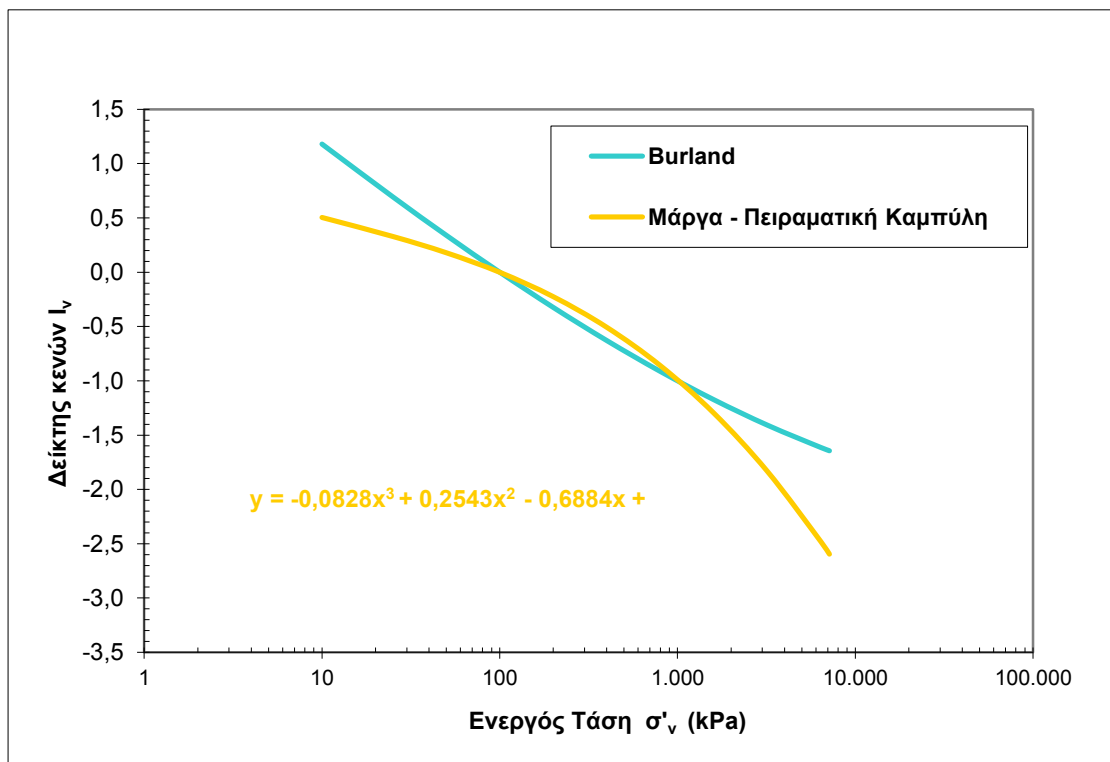
**Σχήμα 1.12** Καμπύλες συμπίεστρού για αναζυμωμένη μάργα με ποσοστό ανάμιξης 0,78-1,54 φορές το όριο υδαρότητας (Πλέτσης, 2007)

Όταν κανονικοποιηθούν οι παραπάνω καμπύλες ως προς το δείκτη  $I_v$  ενώνονται σε μία σχεδόν καμπύλη, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.13 παρακάτω. Αυτές όμως δεν ακολουθούν την καμπύλη που περιγράφει τις τυπικές αργίλους. Παρατηρούμε πως σε αντίθεση με τις κανονικοποιημένες καμπύλες του αναζυμωμένου υλικού της Λαμίας, που ακολουθεί τη ICL του Burland για τυπικές αργίλους, αυτές της αναζυμωμένης μάργας έχουν τα κοίλα προς τα κάτω.





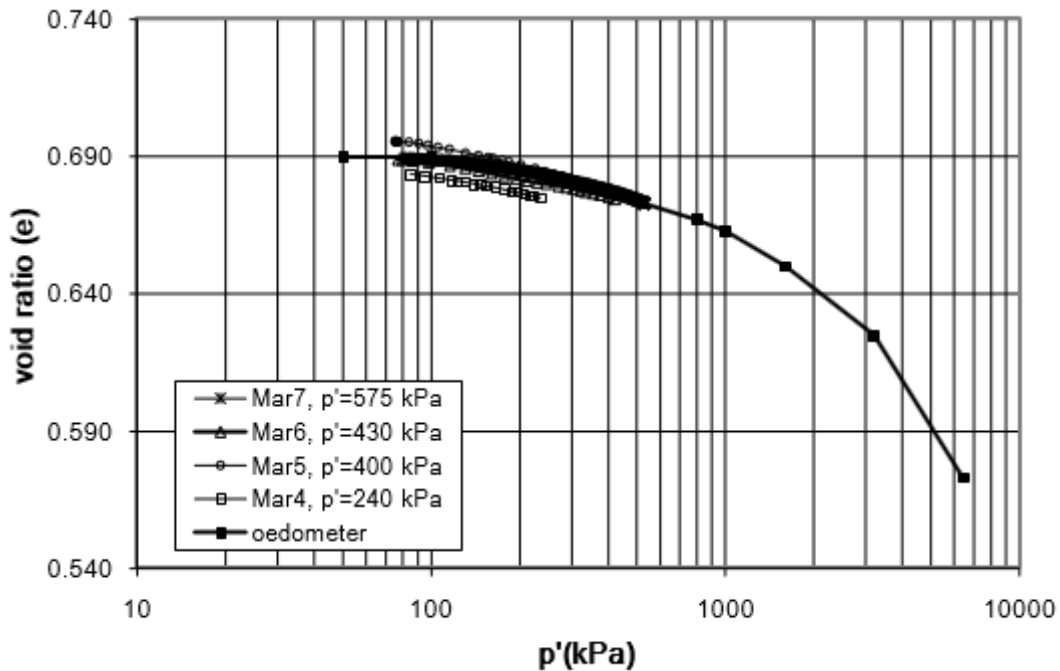
**Σχήμα 1.13** Κανονικοποιημένες καμπύλες συμπίεσομέτρου για αναζυμωμένη μάργα και ICL Burland (1990),(Πλέτσας, 2007)



**Σχήμα 1.14** Καμπύλη  $I_v$  Μάργας (μέσος όρος) και ICL Burland(Πλέτσας,2007)

### 1.7.2.1 Φυσικό υλικό

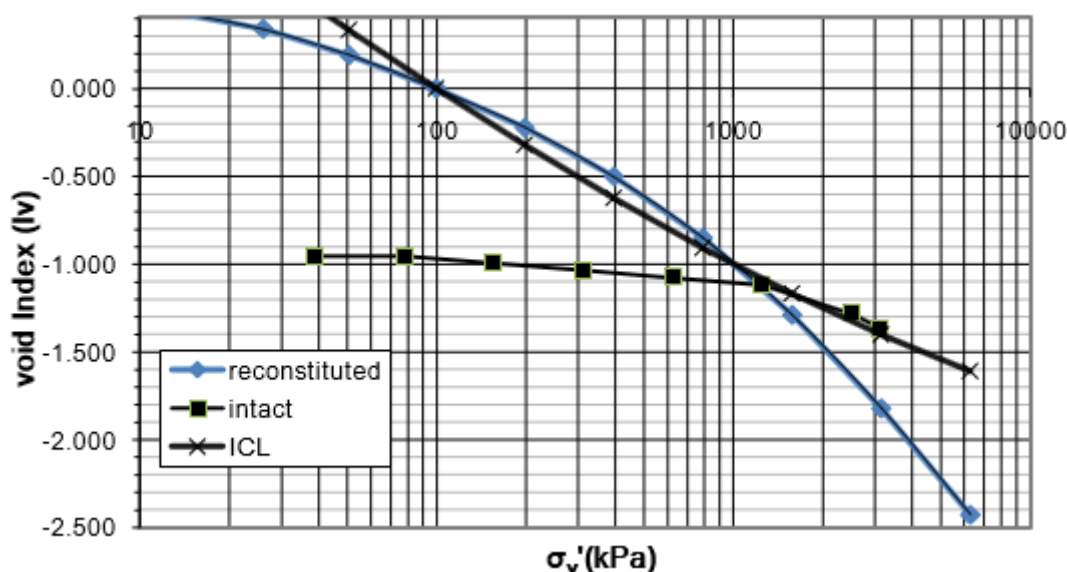
Στο σχήμα 1.15 φαίνεται η καμπύλη συμπίεσμού του φυσικού υλικού. Αυτή εμφανίζει καμπυλότητα υποδεικνύοντας ότι συνθήκες κανονικώς φορτισμένου υλικού ισχύουν για ορθές τάσεις  $\sigma'_v > 2000 \text{ kPa}$ .



**Σχήμα 1.15** Καμπύλη στερεοποίησης του φυσικού υλικού στο συμπιεσόμετρο (ΠΕΒΕ, 2009)

Η καμπύλη στερεοποίησης του φυσικού υλικού συγκρίνεται με την αντίστοιχη καμπύλη του αναζυμωμένου υλικού στο σχήμα 1.16 μετά από κανονικοποίηση ως προς το δείκτη  $I_v$ . Όπως παρατηρήθηκε και στο σχήμα 1.11 για το υλικό της Λαμίας, η καμπύλη του φυσικού υλικού συναντά την καμπύλη του αναζυμωμένου υλικού σε μεγάλες τάσεις και για τη Μάργα φαίνεται να περνά στα δεξιά της όπου για τον ίδιο δείκτη κενών το φυσικό υλικό μεταφέρει μεγαλύτερη  $\sigma'_v$ . Όμως αυτή η μετακίνηση της καμπύλης του φυσικού υλικού προς τα δεξιά είναι περιορισμένη και όπως δείχνει και το σχήμα 1.16 δεν ξεπερνά την καμπύλη ICL που αντιπροσωπεύει μεγάλο αριθμό αναζυμωμένων αργίλων. Ας σημειωθεί ότι στο σχήμα 1.8 η καμπύλη του αναζυμωμένου υλικού της Λαμίας συμπίπτει στις μεγάλες τάσεις με την ICL ενώ λόγω της έντονης

καμπυλότητάς της η καμπύλη του αναζυμωμένου υλικού της Μάργας δε συμπίπτει με τη ICL (Σχήμα 1.14 – 1.15).



**Σχήμα 1.16** Κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης φυσικού και αναζυμωμένου υλικού και σύγκριση με ICL Burland (ΠΕΒΕ, 2009)

Τα δύο υλικά που εξετάστηκαν γενικά διαφέρουν από το πρότυπο των τυπικών αργίλων του Burland που υπάρχει τόσο στην εγγενή τους συμπεριφορά όσο και στη συμπεριφορά τους σαν φυσικά υλικά. Παρόλα αυτά μπορούν να περιγραφούν κατά προσέγγιση από το πρότυπο αυτό. Παρατηρούμε ότι και στα δύο υλικά, οι καμπύλες στερεοποίησης για διάφορα ποσοστά ανάμιξης είναι παράλληλες μεταξύ τους και δε συγκλίνουν για τάσεις τουλάχιστον μέχρι 1MPa. Μία βασική διαφορά όμως στην εγγενή τους συμπεριφορά είναι το γεγονός πως όταν κανονικοποιηθούν ως προς το δείκτη  $I_v$ , η κανονικοποιημένη καμπύλη του υλικού της Λαμίας που παρουσιάζει υψηλή πλαστιμότητα συμπίπτει για τάσεις μεγαλύτερες των 100kPa με την αντίστοιχη κανονικοποιημένη καμπύλη που περιγράφει τυπικές αργίλους ενώ η κανονικοποιημένη καμπύλη της Μάργας που έχει χαμηλή πλαστιμότητα δεν ακολουθεί την καμπύλη τυπικών αργίλων. Όσον αφορά τα φυσικά υλικά, στο υλικό της Λαμίας η κανονικοποιημένη καμπύλη στερεοποίησης συγκλίνει με την εγγενή καμπύλη στερεοποίησης για μεγάλες τάσεις και μετά την ακολουθεί, ενώ

αντίστοιχα στη Μάργα περνά στα δεξιά της, αποδεικνύοντας την ύπαρξη δεσμών στη δομή του φυσικού υλικού.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

## 2.1 Εδαφικά υλικά

Τα υλικά που αναφέρθηκαν και εξετάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο είναι το υλικό της Λαμίας, που σχεδόν προσομοιώνεται με άργιλο και η μάργα από την περιοχή του Ισθμού της Κορίνθου. Η ανάλυσή τους έγινε σε παλαιότερες Διπλωματικές εργασίες και ο λόγος που παρουσιάζονται τα αποτελέσματά τους εδώ είναι κατ' αρχάς για να έχουμε μια πρώτη εικόνα από τελικά αποτελέσματα και συμπεριφορές σε δοκιμές στερεοποίησης και έπειτα η σύγκρισή τους με άλλα υλικά. Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα Διπλωματική εργασία το υλικό που θα εξεταστεί είναι η μάργα της Κορίνθου. Αρχικά θα εξεταστεί ώστε να προσδιοριστούν χρήσιμες ιδιότητες της μάργας, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματά της και θα γίνει μια σύγκριση με τη μάργα του Ισθμού της Κορίνθου, με το υλικό της Λαμίας και γενικότερα με τυπικές αργίλους όπως περιγράφει ο Burland.

## 2.2 Ειδικό βάρος $G_s$

Ειδικό βάρος ενός υλικού ονομάζεται ο λόγος του βάρους μιας ποσότητας του υλικού προς το βάρος ίσης ποσότητας νερού. Το ειδικό βάρος των εδαφικών υλικών αποτελεί μια από τις βασικές ιδιότητές τους και είναι πολύ χρήσιμο για την επεξεργασία αποτελεσμάτων πολλών δοκιμών. Στη συγκεκριμένη εργασία το  $G_s$  είναι απαραίτητο για τις δοκιμές συμπιεσομέτρου και πιο συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό του δείκτη πόρων.

Για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους χρειάστηκαν 3 γυάλινα δοχεία, με όγκο 500, 500 και 250 ml και ξηρό εδαφικό υλικό, το οποίο θα διέρχεται από το κόσκινο No 40, ώστε να είναι σχετικά λεπτόκοκο. Αρχικά κάθε φιάλη ζυγίζεται, αφού πρώτα είναι καθαρή και ξηρή, καταγράφοντας το βάρος της. Μετά κάθε φιάλη πληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι τη στάθμη εκείνη που ορίζεται από τη χαρακτηριστική γραμμή που υπάρχει πάνω σε κάθε φιάλη, δηλαδή όσο είναι ο όγκος της κάθε μίας, 500, 500 και 250 ml αντίστοιχα. Οι τρεις φιάλες με το νερό ξαναζυγίζονται, καταγράφονται τα βάρη τους και καταγράφεται και η θερμοκρασία του νερού. Έπειτα αφού οι φιάλες αδειάσουν και στεγνώσουν πλήρως από το νερό, τοποθετείται μέσα σε αυτές ξηρό εδαφικό

υλικό. Στα γυάλινα δοχεία των 500, 500 και 250 ml τοποθετούνται αντίστοιχα 35,34, 39,38 και 15,34 gr ξηρού εδαφικού υλικού. Τα δοχεία ζυγίζονται εκ νέου και καταγράφονται τα βάρη τους.



**Εικόνα 2.1** Γυάλινες φιάλες για τον υπολογισμό του  $G_s$

Ύστερα, τα δοχεία τα οποία περιέχουν το εδαφικό υλικό γεμίζουν με αποσταγμένο νερό μέχρι τη μέση του όγκου τους περίπου και τοποθετούνται στον κλίβανο στους  $110^{\circ}\text{C}$  για 30 λεπτά. Αυτό γίνεται ώστε να απελευθερωθούν οι φυσαλίδες του αέρα που βρίσκονται εγκλωβισμένες ανάμεσα στους κόκκους του εδαφικού υλικού. Μετά από τη διαδικασία αυτή οι φιάλες βγαίνουν και παραμένουν έξω από τον κλίβανο ώστε να επανέλθουν στην αρχική τους θερμοκρασία. Τέλος τα δοχεία συμπληρώνονται με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαρακτηριστική τους στάθμη και ξαναζυγίζονται. Είναι αναγκαίο για την ορθότητα του πειράματος, το νερό που βρισκόταν αρχικά στις φιάλες οι οποίες ζυγίστηκαν με αυτό, και το νερό που βρίσκεται στο τέλος μαζί με το εδαφικό

υλικό, να έχουν την ίδια θερμοκρασία ώστε να υπάρχει αναλογία μεταξύ μάζας και όγκου. Το ειδικό βάρος  $G_s$  υπολογίζεται από τον κάτωθι τύπο:

$$G_s(t^0) = \frac{(w_2 - w_1) * \gamma_{wt}}{(w_2 - w_1) - (w_3 - w_4)}$$

όπου,  $G_s(t^0)$ : ειδικό βάρος υλικού στους  $t^0\text{C}$

$w_1$ : βάρος φιάλης (gr)

$w_2$ : βάρος φιάλης + βάρος εδαφικού υλικού (gr)

$w_3$ : βάρος φιάλης + βάρος εδαφικού υλικού + βάρος νερού (gr)

$w_4$ : βάρος φιάλης + βάρος νερού (gr)

$t$ : θερμοκρασία νερού ( $^0\text{C}$ )

$\gamma_{wt}$ : πυκνότητα νερού στους  $t^0\text{C}$  ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Επειδή το ειδικό βάρος εκφράζεται συνήθως με το νερό στους  $20^0\text{C}$ , χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος για μετατροπή του  $G_s$  στην επιθυμητή θερμοκρασία:

$$G_s(20^0) = G_s(t^0) * \frac{\gamma_{wt}}{\gamma_{w20}}$$

όπου,  $G_s(20^0)$ : ειδικό βάρος υλικού στους  $20^0\text{C}$

$\gamma_{w20}$ : πυκνότητα νερού στους  $20^0\text{C}$  ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Έτσι υπολογίζοντας το ειδικό βάρος σε κάθε φιάλη, βγαίνει ο μέσος όρος των τριών δοχείων που είναι και το τελικό ειδικό βάρος. Η πειραματική διαδικασία επαναλαμβάνεται και δεύτερη φορά, ώστε σύμφωνα με τα British Standards 1377 να μη διαφέρει από την πρώτη παραπάνω από 0,03. Οι μετρήσεις του βάρους για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους έγιναν σε ζυγαρεία ακριβείας  $\pm 0,01\text{gr}$ . Αναφέρεται ότι η θερμοκρασία του νερού ήταν στους  $26^0\text{C}$ . Οι μετρήσεις βάρους και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:





Εικόνα 2.2 Ζυγαριά ακριβείας  $\pm 0,01\text{gr}$  για τον υπολογισμό των βαρών

ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΙΑΛΗΣ	$W_1$ ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ (gr)	$W_2$ ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ+ ΕΔΑΦΟΥΣ (gr)	$W_4$ ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ+ ΝΕΡΟΥ (gr)	$W_3$ ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ+ ΕΔΑΦΟΥΣ +ΝΕΡΟΥ (gr)	$G_s$ (26°C)	$G_s$ (20°C)
1 (500ml)	142,50	177,84	641,33	663,33	2,64	2,64
2 (500ml)	128,34	167,72	626,73	651,59	2,70	2,70
3 (250ml)	123,13	138,47	371,97	381,71	2,73	2,73
1 (500ml)	127,37	227,40	625,65	688,30	2,67	2,67
2 (500ml)	142,44	242,45	641,52	704,58	2,70	2,70
3 (250ml)	93,67	143,66	343,18	374,70	2,70	2,70
<b>Μέσος όρος <math>G_s=2.69</math></b>						

Πίνακας 2.1 Υπολογισμός του ειδικού βάρους των κόκκων για τη Μάργα της Κορίνθου

## 2.3 Όρια Atterberg

Τα όρια Atterberg αποτελούν σημαντική ιδιότητα των εδαφικών υλικών, καθώς αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά των εδαφικών υλικών υπό την επίδραση του νερού. Τα όρια αυτά ορίζουν το μέγιστο ποσό υγρασίας που επιτρέπεται να προσροφηθεί από τους κόκκους του εδαφικού υλικού ώστε αυτό να παρουσιάσει συγκεκριμένη κατάσταση συνεκτικότητας: στερεά, ημιστερεά, πλαστική ή υδαρή.

Η στερεά κατάσταση είναι αυτή κατά την οποία το έδαφος δεν παραμορφώνεται εύκολα. Ημιστερεά χαρακτηρίζεται από τη συρρίκνωση όταν υπάρχει απώλεια υγρασίας. Η πλαστική κατάσταση είναι αυτή κατά την οποία το εδαφικό υλικό έχει την ικανότητα να πλάθεται παραμένοντας ενιαίο και συνεχές χωρίς να θρυμματίζεται. Τέλος, η υδαρή κατάσταση είναι αυτή κατά την οποία το εδαφικό δείγμα παρουσιάζει ιδιότητες ρευστού.

Με βάση τα παραπάνω έχουν οριστεί και τα όρια Atterberg, έτσι ώστε να προσδιορίζουν την κατάσταση που βρίσκεται ένα εδαφικό υλικό συναρτήσει της περιεχόμενης υγρασίας:



**Σχήμα 2.1** Όρια Atterberg με βάση την κατάσταση του εδαφικού υλικού

- Όριο συρρίκνωσης, SL: η μέγιστη ποσότητα του νερού, η οποία αν μειωθεί ο όγκος του εδαφικού υλικού παραμένει σταθερός.
- Όριο πλαστικότητας, PL: η μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό κατά την οποία το εδαφικό δείγμα αρχίζει να θρυμματίζεται όταν πλάθεται σε κυλινδρικά λεπτά νήματα.

- Όριο υδαρότητας, LL: η περιεχόμενη ποσότητα υγρασίας, με την οποία το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδατή κατάσταση και πλέον οι ιδιότητές του προσομοιάζουν περισσότερο με αυτές των υγρών.

Τα όρια Atterberg θα υπολογιστούν σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στα British Standards 1377. Αρχικά θα χρειαστεί μια ποσότητα 100-125gr εδαφικού υλικού, η οποία θα τοποθετηθεί σε φούρνο με θερμοκρασία 105-110 °C για 24 ώρες, ώστε να ξηρανθεί και να αποβληθεί πλήρως οποιαδήποτε φυσική υγρασία έχει απομείνει σε αυτό. Στη συνέχεια το υλικό θα πρέπει να διέλθει μέσα από το κόσκινο Νο 40, διαμέτρου ανοιγμάτων 0,425 mm, και το υλικό που θα περάσει από το κόσκινο θα αναμειχθεί με αποσταγμένο νερό ώστε να σχηματιστεί μια ομοιογενής μαλακή-πλαστική μάζα. Το εδαφικό υλικό ανακατεύεται καλά με το νερό με τη βοήθεια ειδικής σπάτουλας, μέχρι το νερό να κατανεμηθεί ομοιόμορφα και το έδαφος αποκτήσει μια ομοιόμορφη εύπλαστη συμπεριφορά. Η μάζα αυτή αφήνεται για μια ημέρα τυλιγμένη μέσα σε υγραντήρα ώστε να εξασφαλιστεί η ομογένεια στην υγρασία του υλικού και να είναι κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί για τις διαδικασίες υπολογισμού των ορίων Atterberg. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα υπολογιστεί μόνο το όριο υδαρότητας LL, καθώς η Μάργα δεν έχει τόσο μεγάλη πλαστικότητα ώστε να προσδιοριστεί το όριο πλαστικότητας.

### **2.3.1 Όριο υδαρότητας LL**

Το όριο υδαρότητας είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας, εξαιτίας της οποίας τα τοιχώματα διαμορφωμένης εγκοπής ενός δείγματος εδάφους που τοποθετείται στη συσκευή Casagrande, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους σε μήκος 12,5 mm μετά από 25 κρούσεις. Εναλλακτικά, ως όριο υδαρότητας ορίζεται το ποσοστό υγρασίας στη δοκιμή πενετρομέτρου, κατά το οποίο ο κώνος της συσκευής διεισδύει στο δείγμα σε βάθος 20 mm.

Παρακάτω περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που εκτελέστηκε για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας καθώς και τα αποτελέσματα των δοκιμών.

### 2.3.1.1 Δοκιμή Πενетроμέτρου

Το πενетроμέτρο αποτελείται από ένα μεταλλικό κώνο γωνίας  $30^{\circ}$  ενωμένο σε ράβδο, η οποία επιτρέπει την κίνηση κατά τον κατακόρυφο άξονα, και ένα μηκυσιόμετρο. Όπως περιγράφηκε παραπάνω, το εδαφικό υλικό που ετοιμάστηκε για τη δοκιμή αναμείχθηκε με αποσταγμένο νερό και αφέθηκε στον υγραντήρα μια ολόκληρη μέρα για να γίνει μια ομοιόμορφη πλαστική μάζα. Αν χρειαστεί προσθέτουμε και άλλη ποσότητα νερού στο υλικό, για να αποκτήσει πιο υδαρή μορφή, και παίρνουμε μέρος αυτής της ομοιόμορφης πηκτής εδαφικής μάζας και την τοποθετούμε με τη βοήθεια σπάτουλας σε κυλινδρικό μεταλλικό δοχείο διαμέτρου 55mm και ύψους 40mm, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας στο δοχείο. Αρχικά ο κώνος τοποθετείται έτσι ώστε μόλις να ακουμπά το εδαφικό υλικό και λαμβάνεται η ένδειξη του μηκυσιομέτρου. Έπειτα ο κώνος απελευθερώνεται για πέντε (5) δευτερόλεπτα και διεισδύει μέσα στο εδαφικό υλικό, και λαμβάνεται και η δεύτερη ένδειξη του μηκυσιομέτρου. Έτσι με τις δύο τιμές υπολογίζουμε τη διείσδυση του κώνου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται άλλη μία φορά και λαμβάνεται ο μέσος όρος των δύο τιμών της διείσδυσης.



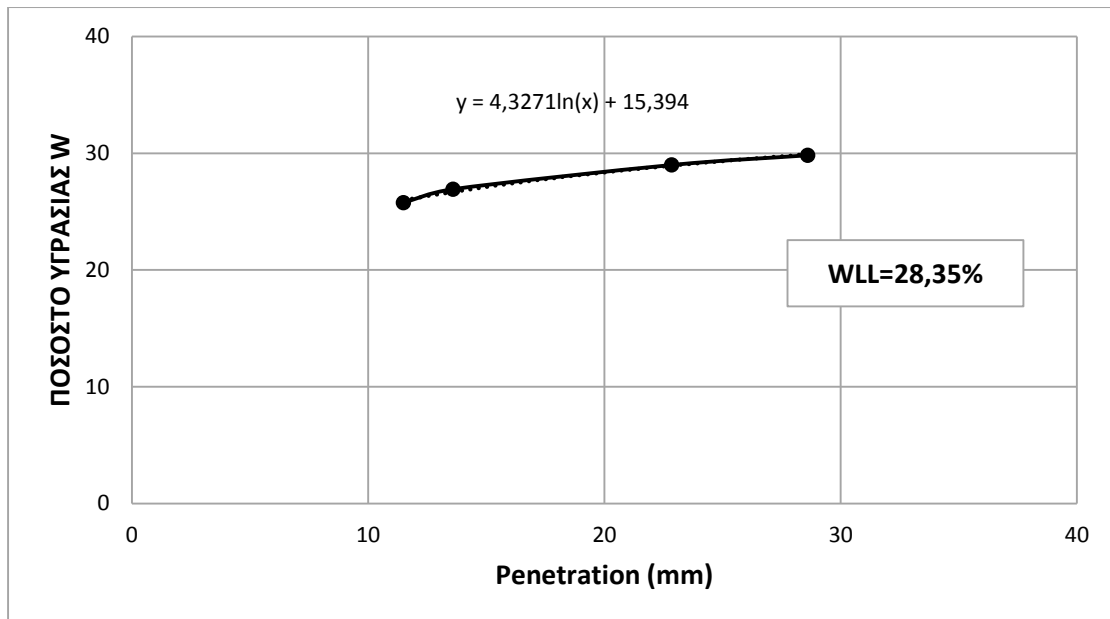
**Εικόνα 2.3** Συσκευή Πενетроμέτρου

Στη συνέχεια λαμβάνεται μέρος του δείγματος το οποίο ζυγίζεται, τοποθετείται σε κλίβανο και ξηραίνεται στους 110<sup>0</sup>C για 24 ώρες και ύστερα ξαναζυγίζεται για να υπολογιστεί η περιεκτικότητά του σε νερό. Ως όριο υδαρότητας ορίζεται το ποσοστό υγρασίας του εδαφικού υλικού στο οποίο αντιστοιχεί διείσδυση 20mm. Για να επιτευχθεί ο υπολογισμός του ορίου υδαρότητας απαιτείται η επανάληψη του πειράματος τουλάχιστον τέσσερις φορές σε δείγματα διαφορετικής υγρασίας. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα στο οποίο ως τετμημένη τοποθετείται η περιεκτικότητα σε νερό σε αναλογική και ως τεταγμένη η διείσδυση (mm) σε λογαριθμική κλίμακα.

Το όριο υδαρότητας LL προσδιορίζεται ως η περιεκτικότητα σε νερό που προκύπτει από την τομή της ευθείας που ορίζουν κατά τον καλύτερο τρόπο τα σημεία των δοκιμών με την τεταγμένη των 20mm διείσδυση. Παρακάτω φαίνονται οι υπολογισμοί και το διάγραμμα για το όριο υδαρότητας της Μάργας Κορίνθου.

<b>ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ ΜΑΡΓΑΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ</b>				
<b>Penetration</b>	11,5	22,85	13,6	28,6
<b>ΥΛΙΚΟ ΥΓΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ A</b>	30,00	57,98	48,48	50,25
<b>ΥΛΙΚΟ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ B</b>	28,48	53,66	46,41	47,62
<b>ΑΠΟΒΑΡΟ C</b>	22,58	38,76	38,72	38,80
<b>A - B</b>	1,52	4,32	2,07	2,63
<b>B - C</b>	5,9	14,9	7,69	8,82
<b>W=(A-B)/(B-C)x100%</b>	25,76%	28,99%	26,92%	29,82%

**Πίνακας 2.2** Υπολογισμός αποτελεσμάτων δοκιμής πενετρομέτρου για Μάργα Κορίνθου



**Σχήμα 2.2** Υπολογισμός ορίου υδαρότητας για τη Μάργα Κορίνθου

Έτσι αν στην εξίσωση  $y = 4,3271 * \ln(x) + 15,394$  βάλουμε για τεταγμένη x την τιμή των 20mm θα μας δώσει  $y=28,35\%$ , που είναι και το όριο υδαρότητας  $W_{LL}$  της Μάργας Κορίνθου.

#### 2.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Αρχικά εξετάζεται κατά πόσο το εδαφικό υλικό είναι λεπτόκοκκο ή χονδρόκοκκο, δηλαδή αν διέρχεται ή όχι από το κόσκινο No 200 (0,075mm). Στην περίπτωση αυτή απαιτείται να γίνει κοκκομετρική ανάλυση σε δύο σκέλη. Το εδαφικό δείγμα δηλαδή χωρίζεται σε δύο τμήματα, αυτό που συγκρατείται από το κόσκινο No 200, στο οποίο η κοκκομετρική ανάλυση γίνεται με κόσκινο και σε αυτό που διέρχεται από το κόσκινο No 200, όπου γίνεται κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο.

Για να πραγματοποιηθούν οι δύο κοκκομετρικές αναλύσεις θα πρέπει το υλικό να διαχωριστεί στα δυο τμήματα. Το υλικό τοποθετείται σε αποσταγμένο νερό για 24 ώρες, ώστε να επέλθει πλήρης κορεσμός και να διασπαστεί στους κόκκους του. Έπειτα το φυσικό υλικό και με τη βοήθεια του νερού ρέει και ξεπλένεται μέσα στο κόσκινο No 200, και η διαδικασία σταματά όποτε όλο το

λεπτόκοκκο υλικό έχει περάσει από το κόσκινο. Στη συγκεκριμένη δοκιμή της Μάργας Κορίνθου όλοι οι κόκκοι διαπέρασαν το κόσκινο Νο 200, που σημαίνει πως έχουμε να κάνουμε εξ'ολοκλήρου με λεπτόκοκκο υλικό, πράγμα το οποίο ήταν και αναμενόμενο λόγω της φυσικής σύστασης της Μάργας. Τέλος, το εδαφικό υλικό μαζεύεται και ξηραίνεται σε κλίβανο για τουλάχιστον 24 ώρες, ώστε να είναι έτοιμο για χρήση στην κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο για τη διαβάθμιση του υλικού.

#### **2.4.1 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο**

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται αραιόμετρο (ή υδρόμετρο ή πυκνόμετρο) τύπου 152H. Η κλίμακά του έχει υποδιαιρέσεις από 0-60 gr/lit και η βαθμονόμησή του έγινε με βάση την παραδοχή ότι το αποσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1 στους 20°C και ότι το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,69 gr/cm<sup>3</sup>. Το αραιόμετρο μετρά την πυκνότητα του εν αιώρηση στερεού υλικού μέσα σε ένα υγρό μέσο. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα και ένα στέλεχος. Το στέλεχος έχει υποδιαιρέσεις που οι τιμές τους αυξάνονται από το ανώτερο προς το κατώτερο τμήμα του στελέχους.

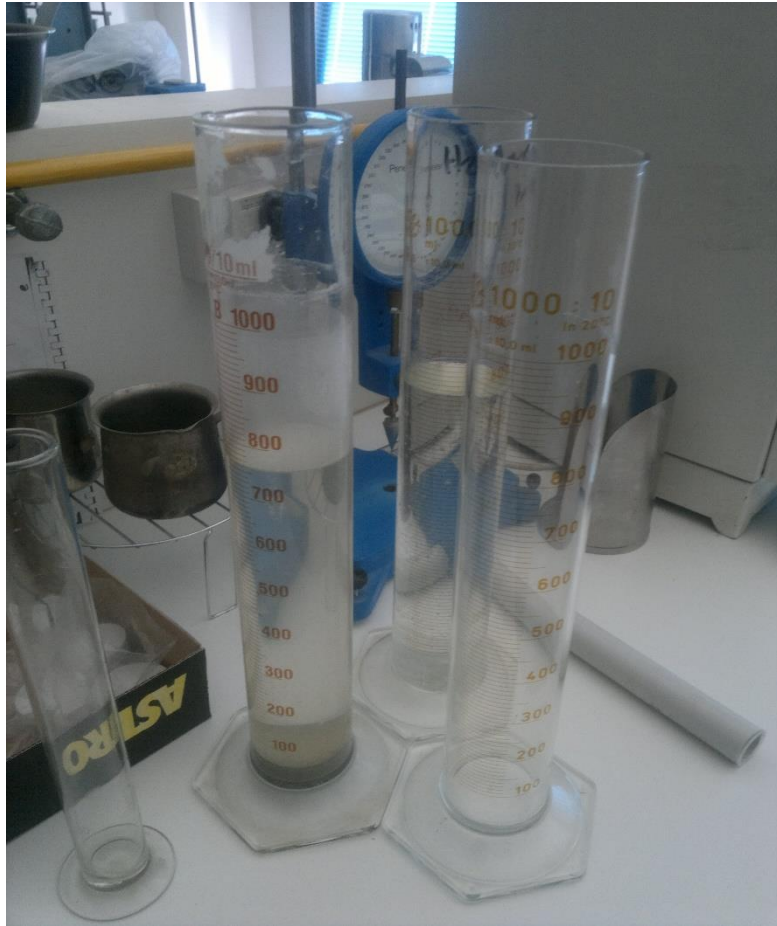
Όταν η συγκέντρωση του εν αιώρηση υλικού είναι μεγάλη, τότε το στέλεχος του αραιομέτρου συναντά την επιφάνεια του νερού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο στο κατώτερο τμήμα του, δηλαδή δίνει μεγάλες τιμές πυκνότητας. Αντίθετα όταν η συγκέντρωση είναι μικρή τότε το στέλεχος βυθίζεται μέσα στο αιώρημα και αυτό μας δείχνει μικρές τιμές πυκνότητας.

Η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων μέσα στο νερό του ογκομετρικού κυλίνδρου εξαρτάται από το μέγεθός τους. Οι μεγάλοι κόκκοι θα καθιζήσουν στον πυθμένα του κυλίνδρου πρώτοι και οι μικροί τελευταίοι. Άρα οι διαφορές που παρατηρούνται κατά τη μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος σε ορισμένα χρονικά διαστήματα δίνουν την καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων και τελικά αποκαλύπτουν το μέγεθός τους. Δηλαδή η κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο ή υδραυλική κοκκομετρία στηρίζεται στον χρόνο που χρειάζονται οι

κόκκοι για να καθιζάνουν όταν έχουν διαλυθεί σε διάλυμα συγκεκριμένης θερμοκρασίας.

Αρχικά λοιπόν λαμβάνεται μια ξηρή ποσότητα εδαφικού υλικού 45 gr που έχει διαπεράσει φυσικά το κόσκινο Νο 200, η οποία ζυγίζεται και το βάρος της καταγράφεται. Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετείται σε δοχείο μαζί με 125ml νερού και 3ml από το ειδικό διάλυμα Na που διευκολύνει την αποκόλληση των κόκκων. Το διάλυμα αυτό παραμένει σε ειδικό γυάλινο δοχείο για 24 ώρες. Αφού ολοκληρωθεί μια ημέρα, πριν την έναρξη της δοκιμής βάζουμε 1 lt νερού σε ένα γυάλινο κυλινδρικό σωλήνα και τοποθετούμε το πυκνόμετρο μετρώντας έτσι τη διόρθωση του μηνίσκου για το καθαρό νερό. Στη συνέχεια προσθέτουμε 3ml από το χημικό και η νέα τιμή που μετράται από το πυκνόμετρο είναι η διόρθωση για το χημικό. Έπειτα, το μείγμα αναδεύεται σε ειδικό αναδευτήρα για μερικά λεπτά, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η πλήρης αποκόλληση των εδαφικών κόκκων. Έπειτα από το δοχείο ανάδευσης τοποθετείται το μείγμα στο δοκιμαστικό σωλήνα του 1 lt με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταφερθεί ολόκληρη η ποσότητα του μείγματος στο σωλήνα. Για να επιτευχθεί αυτό ξεπλένεται το δοχείο ανάδευσης μερικές φορές με μικρές ποσότητες νερού ρίχνοντας το νερό στο δοκιμαστικό σωλήνα, προσέχοντας πάντα να μην ξεπεραστεί ο όγκος των 1000 ml.





**Εικόνα 2.4** Ογκομετρικοί σωλήνες για κοκκομετρία με αραιόμετρο

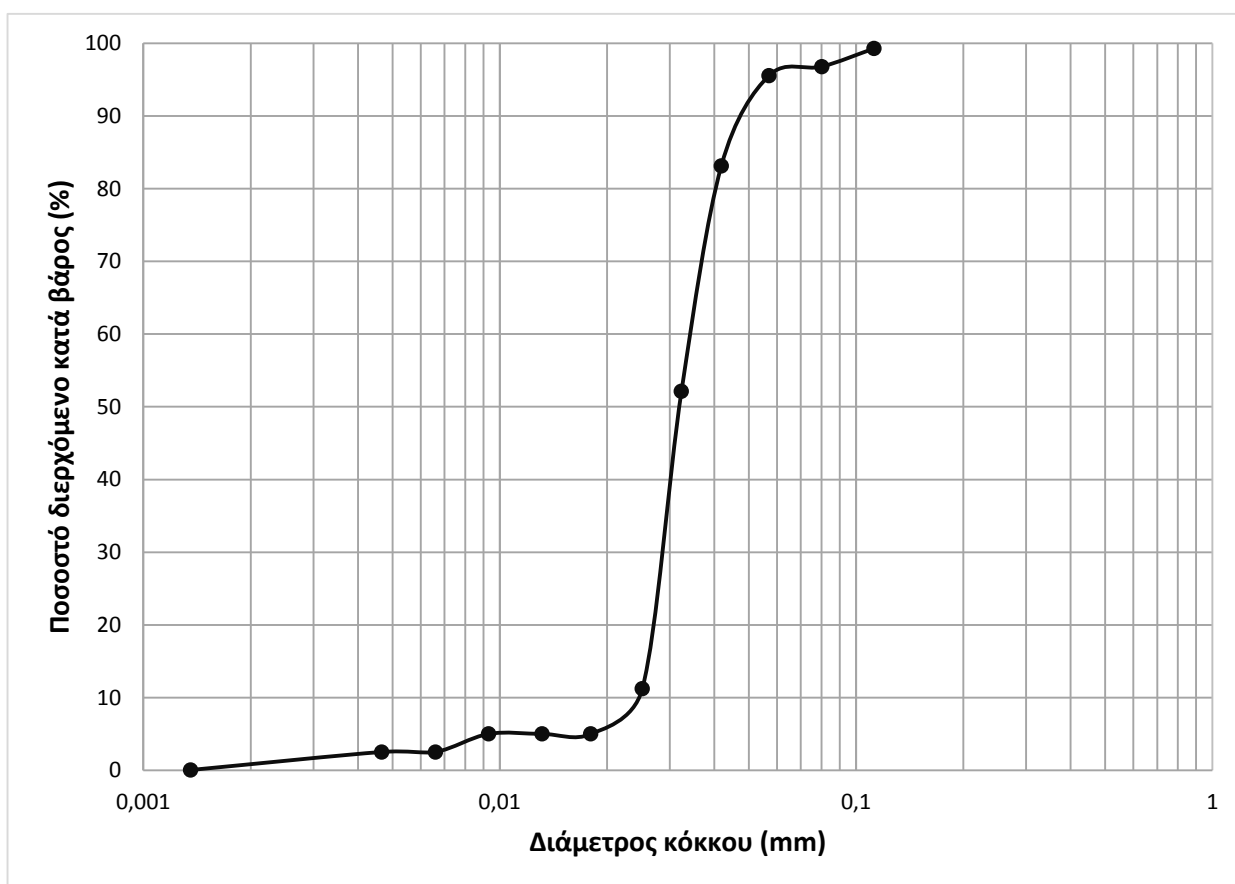
Ύστερα προστίθεται όσο νερό χρειαστεί έτσι ώστε να γεμίσει ο δοκιμαστικός σωλήνας έως την ένδειξη των 1000 ml. Για να εξασφαλιστεί η ομοιογένεια του μείγματος το διάλυμα αναδεύεται χειροκίνητα (20 επαναλήψεις) μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα με το κατάλληλο εργαλείο που επιτρέπει την ανάδευση σε όλο το μήκος του σωλήνα.

Τέλος, τοποθετώντας το αραιόμετρο απαλά μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα, μερικά δευτερόλεπτα νωρίτερα από τους προκαθορισμένους χρόνους (2, 5, 15, 30, 60, 250, 1440 min), παίρνουμε τις αντίστοιχες μετρήσεις και τις καταγράφουμε. Παράλληλα για κάθε ένδειξη του αραιομέτρου καταγράφουμε και την αντίστοιχη θερμοκρασία του νερού.

Έτσι από τα δεδομένα του αραιομέτρου, του χημικού διαλύματος του Na, της πυκνότητας του νερού σε σχέση με τη θερμοκρασία και της πυκνότητας των

στερεών κόκκων του δείγματος και χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες σχέσεις υπολογίζεται η διάμετρος των κόκκων και το αντίστοιχο ποσοστό διερχομένων βάσει των μετρήσεων και του χρόνου που καταγράφηκαν. Τέλος, ανάγοντας τα αποτελέσματα στην αρχική μάζα του δοκιμίου, μέρος της οποίας χρησιμοποιήθηκε στην κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα, προκύπτει το τελικό διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Ακριβώς παρακάτω απεικονίζεται η κοκκομετρική καμπύλη διαβάθμισης της Μάργας Κορίνθου:



**Σχήμα 2.3** Καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης για τη Μάργα Κορίνθου

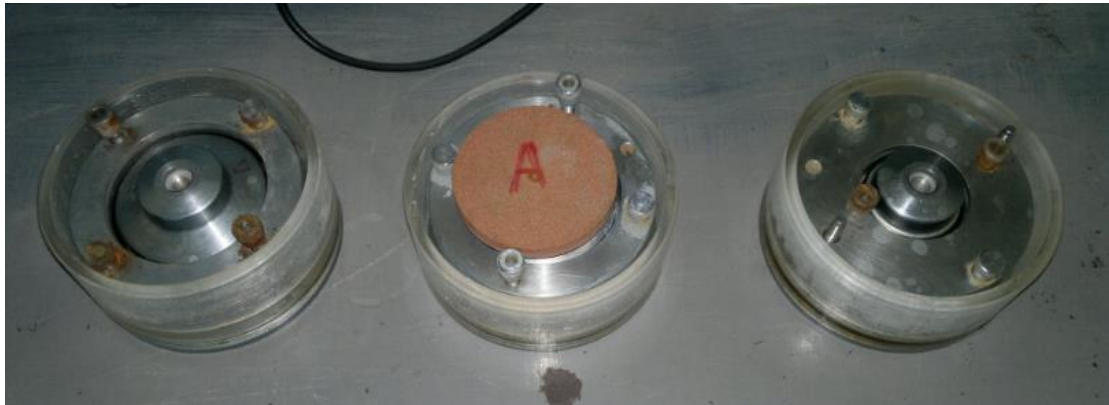
Είναι φανερό πως η συγκεκριμένη μάργα περιέχει ένα μικρό ποσοστό ιλύος και ελάχιστη ποσότητα αργίλου, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει πολύ χαμηλή πλαστιμότητα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ**

### 3.1 Εισαγωγή

Οι δοκιμές συμπίεσομέτρου πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στις συσκευές Wykeham Farrance No 24255 και Matest S260. Οι μετρήσεις στην πρώτη μηχανή έγιναν κατά κύριο λόγο ηλεκτρονικά, δηλαδή αναγράφονταν απευθείας από τον υπολογιστή σε μονάδα mm και λιγότερο με μηκυσιόμετρο. Στη δεύτερη μηχανή όλες οι μετρήσεις πάρθηκαν κανονικά με ενδείξεις μηκυσιομέτρου, το οποίο ήταν συνδεδεμένο με τη μηχανή, πολλαπλασιάζοντας φυσικά με τον κατάλληλο συντελεστή τα αποτελέσματα για τη μετατροπή των μετρήσεων σε μονάδες χιλιοστού. Ο συντελεστής για τη μετατροπή των αποτελεσμάτων σε χιλιοστά ήταν το 0,002. Η πρώτη συσκευή δεχόταν μέγιστη επιβαλλόμενη τάση 12600 kPa και η δεύτερη 6400 kPa. Στις αποφορτίσεις δεν ήταν οπωσδήποτε αναγκαίο να καταγραφούν όλες οι μετρήσεις όλων των φορτίων κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Όλα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διάμετρο 50 και 75 mm, οπότε και οι δακτύλιοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν την ίδια ονομαστική διάμετρο.



**Εικόνα 3.1** Οι τρεις κυψέλες που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές συμπίεσομέτρου

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπίεστικότητα του εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, φορτίζεται δε και στραγγίζεται αξονικά. Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων.



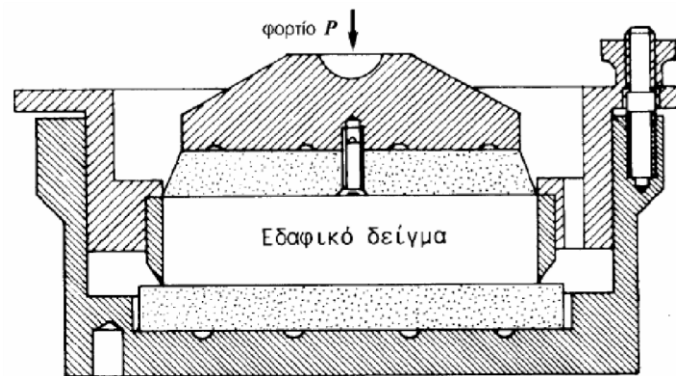
**Εικόνα 3.2** Κυψέλη ονομαστικής διαμέτρου 75 mm

Η συσκευή συμπίεσομέτρου αποτελείται από τα εξής:

- Συσκευή φορτίσεως για την εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στο δοκίμιο.
- Συσκευή στερεοποίησης: το δοκίμιο συγκρατείται μέσα σε δακτύλιο, ο οποίος έχει συνδεθεί με τη βάση της συσκευής. Στην άνω και κάτω επιφάνεια του δοκιμίου προσαρμόζονται πορόλιθοι. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει συνεχή κορεσμό του δοκιμίου, επιβολή κατακόρυφου φορτίου και μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου.
- Οι πορόλιθοι είναι υλικά που δεν διαβρώνονται από την υγρασία. Το πάχος τους θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην θραύονται κατά τη δοκιμή.
- Μηκυσιόμετρο για τη μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο στερεοποίησης με ακρίβεια 0,0025mm.

### 3.2 Προετοιμασία δοκιμίου

Τα δοκίμια Μάργας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν είτε αναζυμωμένα είτε φυσικά. Τα αναζυμωμένα αναμειγνύονταν κάθε φορά με την επιθυμητή ποσότητα νερού ώστε να επιτευχθεί το αντίστοιχο ποσοστό υγρασίας. Η περιεκτικότητα του νερού σε όλα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία των συμπιεσομέτρων κυμαινόταν μεταξύ 20-45%. Στα φυσικά κυμαινόταν περίπου 20-26% και στα αναζυμωμένα 33-45% με σκοπό να υπάρχει εύρος και να εξεταστεί λεπτομερώς η συμπεριφορά της Μάργας.



**Εικόνα 3.3** Κατακόρυφη τομή της εργαστηριακής διάταξης μονοδιάστατης συμπίεσης

Το υλικό, αφού αναμειχθεί με την απαραίτητη ποσότητα νερού, παραμένει σε ένα αεροστεγώς κλεισμένο δοχείο για μια ολόκληρη ημέρα ώστε να επιτευχθεί ομοιογενής κατανομή υγρασίας στο δείγμα. Στη συνέχεια τοποθετείται στο μεταλλικό δακτύλιο μέσα στην κυψέλη της συσκευής, η οποία ακόμα είναι άδεια από νερό. Πάνω και κάτω από το δοκίμιο τοποθετούνται δύο πορώδεις δίσκοι (πορόλιθοι). Ο κάτω πορόλιθος εφαρμόζει πάνω στην κυψέλη και ο πάνω είναι βιδωμένος στο μεταλλικό τμήμα (top cap) μέσω του οποίου επιβάλλεται το φορτίο. Έτσι εξασφαλίζεται η ελεύθερη εισροή και εκροή νερού από το δοκίμιο, χωρίς να υπάρχει απώλεια εδαφικού υλικού. Έπειτα τοποθετείται το μεταλλικό τμήμα (top cap) πάνω στο δοκίμιο και ρυθμίζεται κατάλληλα η συσκευή, ώστε να εξασφαλίζονται η επιβολή του φορτίου και η λειτουργία του μηχανοσυμπιεστή για να είναι δυνατή η ένδειξη των

παραμορφώσεων. Παράλληλα, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι ο βραχίονας της συσκευής θα έχει επαρκές εύρος διαδρομής στην αρχή του πειράματος ώστε να μην χρειαστεί η διακοπή του εξαιτίας περιορισμού στη μετακίνηση του βραχίονα, όπως άλλωστε προτείνεται από τα British Standards 1377. Επίσης θα πρέπει το μηκυσιόμετρο να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτή η ένδειξη των παραμορφώσεων καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής, ακόμη και στην περίπτωση μεγάλων καθιζήσεων. Τέλος, όταν όλα έχουν ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία φόρτισης η κυψέλη πληρώνεται με νερό.



**Εικόνα 3.4** Πορόλιθοι για την ελεύθερη ροή του νερού χωρίς απώλεια εδαφικού υλικού

### **3.3 Μεθοδολογία πειράματος**

Με τη συσκευή του συμπιεσομέτρου μπορούμε να εφαρμόσουμε συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης στο εδαφικό δοκίμιο. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στη χρήση του άκαμπτου μεταλλικού δακτυλίου, ο οποίος δεν επιτρέπει καμία παραμόρφωση στην οριζόντια διεύθυνση. Αντίθετα, η μετακίνηση στην κατακόρυφη διεύθυνση είναι ελεύθερη. Τα κατακόρυφα φορτία που

επιβλήθηκαν με τη σειρά ήταν 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 kg και στη μηχανή Wykeham Farrance No 24000 μέχρι και 256 kg. Εξαιτίας των τριών διαφορετικών δακτυλίων και των δύο διαφορετικών συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν, οι τάσεις φόρτισης ήταν διαφορετικές κάθε φορά. Ωστόσο σε γενικές γραμμές η αλληλουχία ονομαστικών τάσεων που χρησιμοποιήθηκε ήταν η εξής 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 kPa. Στην αποφόρτιση είναι δυνατό να γίνουν λιγότερες αλλαγές των επιβαλλόμενων τάσεων σύμφωνα με τα British Standards. Πάντα γινόταν η ακριβώς αντίθετη διαδικασία, η αποφόρτιση ξεκινούσε από 6400 kPa μέχρι το μικρότερο φορτίο ή κάποια φορτία προς το τέλος παραβλέπονταν, δηλαδή η σειρά έφτανε μέχρι τα 50 kPa.



**Εικόνα 3.5** Η συσκευή Matest S260 που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές



Η διάρκεια επιβολής κάθε φόρτισης εξαρτάται από το χρόνο στερεοποίησης του εδαφικού υλικού. Για να προχωρήσουμε στην επόμενη φόρτιση είναι απαραίτητο να έχει ολοκληρωθεί η πρωτεύουσα στερεοποίηση. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο φορτίσεων ήταν 24 ώρες και εφαρμόστηκε το ίδιο χρονικό διάστημα αναμονής για όλες τις φορτίσεις. Η μέτρηση των καθιζήσεων γινόταν σε κάποιες δοκιμές με ηλεκτρονικό μηκυσιόμετρο και στις υπόλοιπες με μηχανικό, και τα δύο ακρίβειας 0,001mm. Πριν τοποθετηθεί το φορτίο καταγράφεται η αρχική ένδειξη του μηκυσιομέτρου και στη συνέχεια γίνεται καταγραφή των μετρήσεων με την εξής χρονική ακολουθία 8, 15, 30 sec και 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120 min και 24 ώρες. Με αυτές τις καταγραφές υπολογίστηκαν οι παράμετροι στερεοποίησης του υλικού για κάθε κατακόρυφη τάση που εφαρμόζεται στο δοκίμιο.



**Εικόνα 3.6** Η συσκευή Wykeham Farrance 24255 που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές

Όλα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία συμπιεσομέτρου είχαν ύψος κάτι λιγότερο από 2 cm. Να σημειωθεί ότι για τα υδαρή δοκίμια, με ποσοστό υγρασίας πάνω από 40% ως αρχική φόρτιση εφαρμόστηκε μόνο το άνω μεταλλικό τμήμα της κυψέλης (top cap) και καταγράφηκε η αντίστοιχη καθίζηση που προκλήθηκε από το βάρος του.

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με τις φορτίσεις που προκαλεί βάρος 1 kg στο εδαφικό δοκίμιο ανάλογα με τη συσκευή, τη θέση στον μοχλοβραχίονα, όπου συνδέεται το σύστημα φόρτισης (οπή 1, 2 ή 3) και την ονομαστική διάμετρο του δακτυλίου (50, 70, 75 mm).

**Wykeham Farrance International**

**Model: 24255**

<b>W = 1 kg</b>	<b>1<sup>η</sup> τρύπα</b>	<b>2<sup>η</sup> τρύπα</b>	<b>3<sup>η</sup> τρύπα</b>
(g=9,81 m/sec <sup>2</sup> )	(1:9,62)	(1:9,82)	(1:1,04)
<b>d = 50 mm</b>	<b>48,063 kPa</b>	<b>49,063 kPa</b>	<b>55,158 kPa</b>
E = 19,635 cm <sup>2</sup>			
<b>d = 70 mm</b>	<b>24,522 kPa</b>	<b>25,032 kPa</b>	<b>28,142 kPa</b>
E = 38,485 cm <sup>2</sup>			
<b>d = 75 mm</b>	<b>21,361 kPa</b>	<b>21,806 kPa</b>	<b>24,515 kPa</b>
E = 44,179 cm <sup>2</sup>			

**\* Μέγιστο φορτίο: 400 kg**

**Πίνακας 3.1** Τάσεις που εφαρμόζει η συσκευή WF 24255 για φόρτιση 1 kg

**Matest**

<b>W = 1 kg</b> (g=9,81 m/sec <sup>2</sup> )	<b>1<sup>η</sup> τρύπα</b> (1:9)	<b>2<sup>η</sup> τρύπα</b> (1:10)	<b>3<sup>η</sup> τρύπα</b> (1:11)
<b>d = 50 mm</b> E = 19,635 cm <sup>2</sup>	<b>44,966 kPa</b>	<b>49,962 kPa</b>	<b>54,958 kPa</b>
<b>d = 70 mm</b> E = 38,485 cm <sup>2</sup>	<b>22,942 kPa</b>	<b>25,491 kPa</b>	<b>28,040 kPa</b>
<b>d = 75 mm</b> E = 44,179 cm <sup>2</sup>	<b>19,985 kPa</b>	<b>22,205 kPa</b>	<b>24,426 kPa</b>

\* **Μέγιστο φορτίο: 165 kg**

\* **W<sub>μεταλλικού πλαισίου</sub> = 1.800 gr**

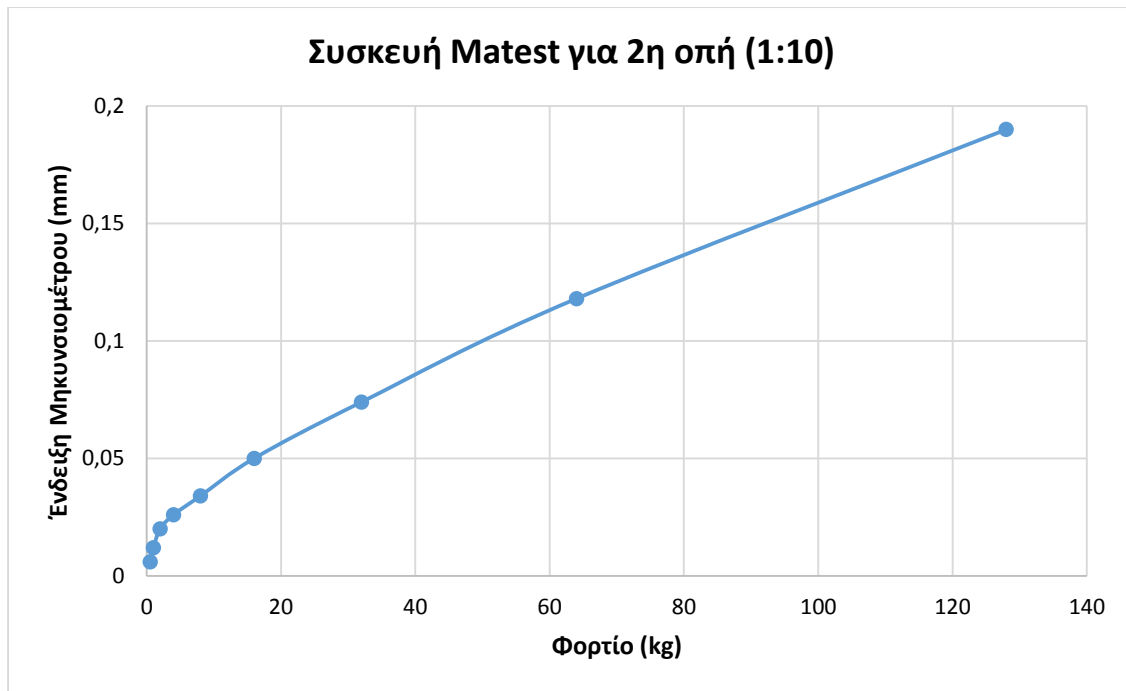
**Πίνακας 3.2** Τάσεις που εφαρμόζει η συσκευή Matest S260 για φόρτιση 1 kg

### 3.4 Δοκιμές Συμμόρφωσης

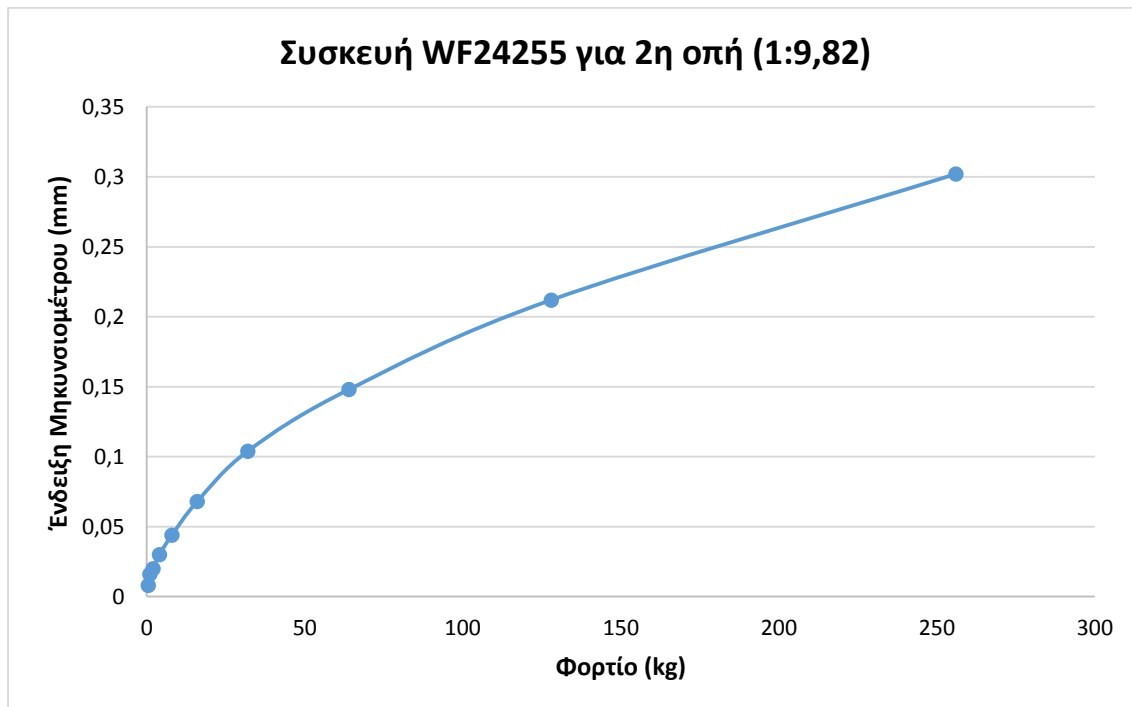
Κατά τη δοκιμή συμμόρφωσης τοποθετείται στη συσκευή συμπιεσομέτρου μεταλλικό δοκίμιο αντί για εδαφικό και φορτίζεται με την ίδια ακολουθία φορτίσεων που αντιστοιχεί στα εδαφικά δοκίμια. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 2 φορές σε κάθε συσκευή που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και λήφθηκε ο μέσος όρος των αντίστοιχων μετρήσεων κατά τη φόρτιση ή την αποφόρτιση.

Η καταγραφή των παραμορφώσεων χρειάζεται για τη διόρθωση των μετέπειτα μετρήσεων, διότι δεν αποτελεί καθίζηση ή διόγκωση του εδαφικού υλικού, αλλά παραμορφώσεις είτε λόγω ατελούς επαφής μεταξύ των διαφόρων τμημάτων της συσκευής, είτε λόγω παραμόρφωσης των μεταλλικών τμημάτων της.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των δοκιμών συμμόρφωσης για κάθε συσκευή:



**Σχήμα 3.1** Αποτελέσματα της δοκιμής συμμόρφωσης της συσκευής Matest S260



**Σχήμα 3.2** Αποτελέσματα της δοκιμής συμμόρφωσης της συσκευής WF 24255 S260

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ**

## **4.1 Αποτελέσματα συμπίεσομέτρων**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και περιγράφονται όλα τα διαγράμματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις των δοκιμών συμπίεσομέτρου. Στη συνέχεια οι μετρήσεις κανονικοποιούνται και πλέον παρουσιάζονται και αναλύονται οι κανονικοποιημένες καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης.

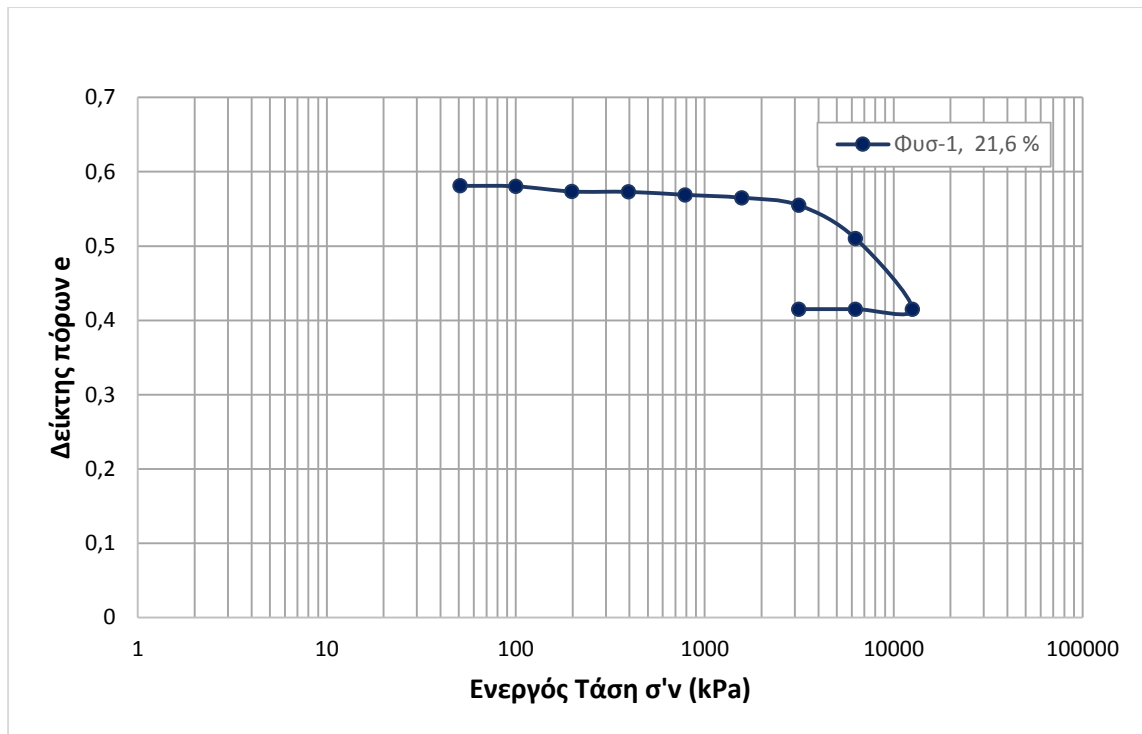
## **4.2 Καμπύλες στερεοποίησης**

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν κατά την εκτέλεση των δοκιμών συμπίεσομέτρου στα πλαίσια της Διπλωματικής εργασίας. Επίσης παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα που προέκυψαν από αυτά. Τα διαγράμματα παρουσιάζονται σε ημιλογαριθμικό χαρτί, έχοντας ως οριζόντιο λογαριθμικό άξονα την κατακόρυφη ενεργό τάση ( $\sigma_v$ ) με την οποία φορτίζεται το δοκίμιο και ως κατακόρυφο άξονα το δείκτη πόρων του δοκιμίου ( $e$ ).

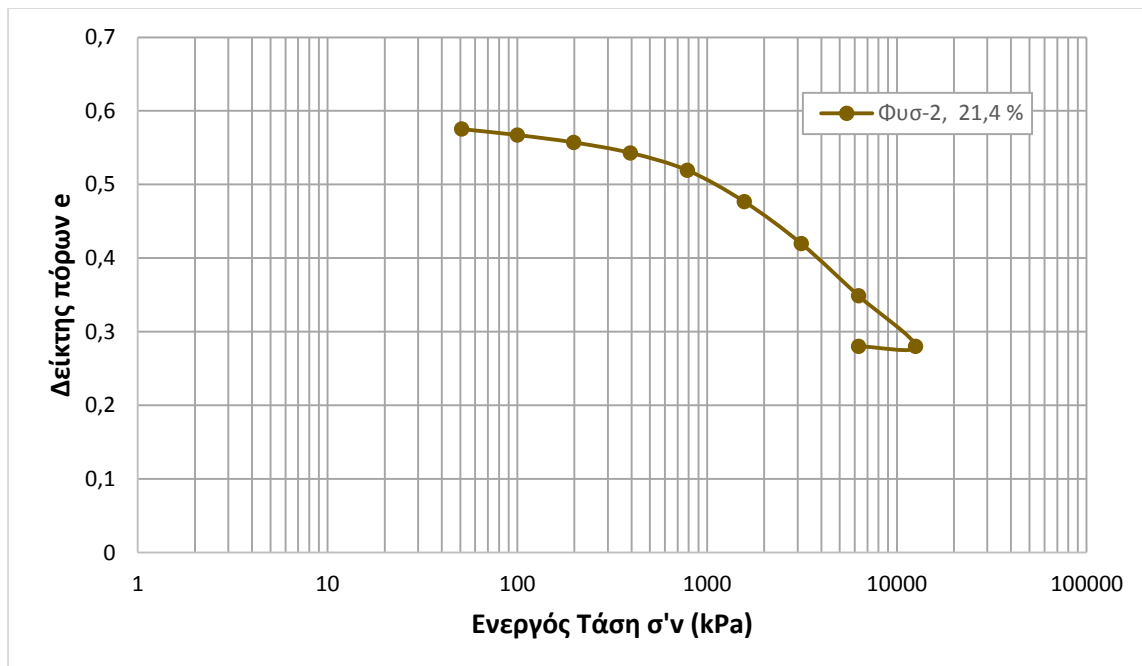
### **4.2.1 Φυσικά δείγματα**

Αρχικά εξετάστηκαν κάποια φυσικά δείγματα του υλικού μας, της Μάργας Κορίνθου. Έγιναν πέντε ξεχωριστές δοκιμές συμπίεσομέτρου πάνω σε φυσική μάργα της περιοχής, και τα ποσοστά υγρασίας των δειγμάτων ήταν 21,6 %, 21,4 %, 21,6 %, 22,3 %, 20,5 %. Για τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο συσκευές μονοδιάστατης στερεοποίησης, μία κυψέλη συμπίεσομέτρου, αυτή με ονομαστική διάμετρο 50mm, η μέγιστη τάση που εφαρμόστηκε στα δοκίμια ήταν 12600 kPa και το ύψος των δοκιμών 17,6 mm.

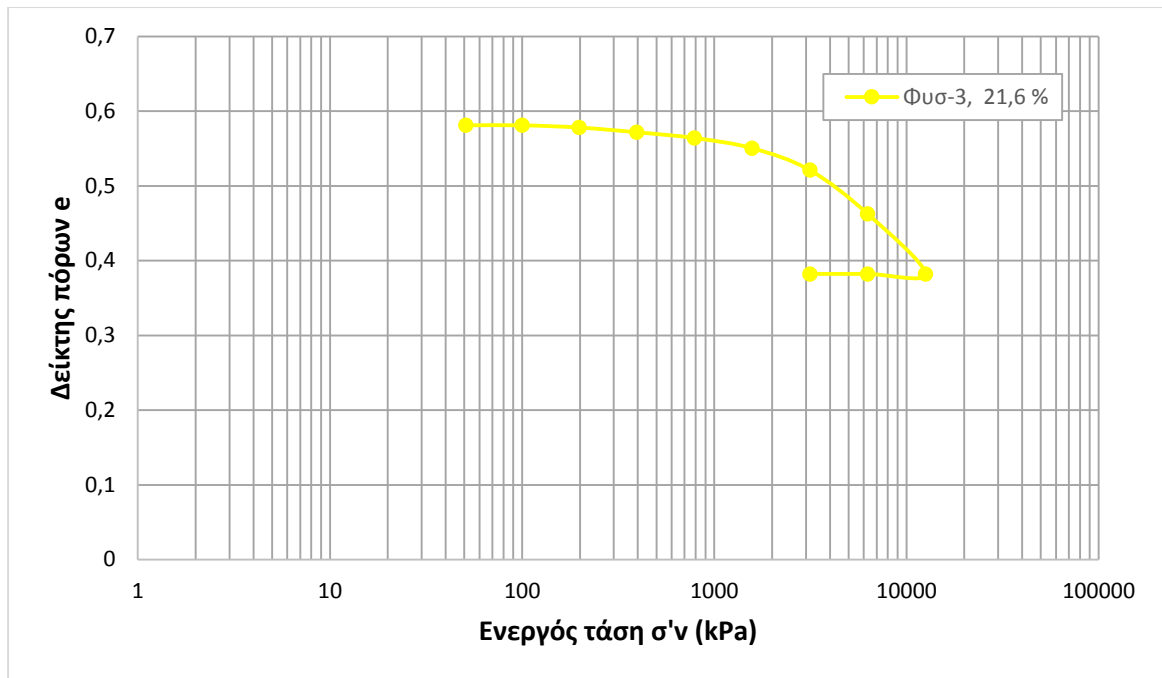
Παρακάτω φαίνονται ξεχωριστά τα διαγράμματα στερεοποίησης κάθε μίας δοκιμής όπως επίσης και συνολικά όλα μαζί στο τέλος σε ένα γράφημα (Σχήματα 4.1 – 4.7). Παρουσιάζονται όλες οι καμπύλες μαζί σε δύο διαγράμματα, ένα μαζί με τις αποφορτίσεις και άλλο ένα χωρίς τις αποφορτίσεις.



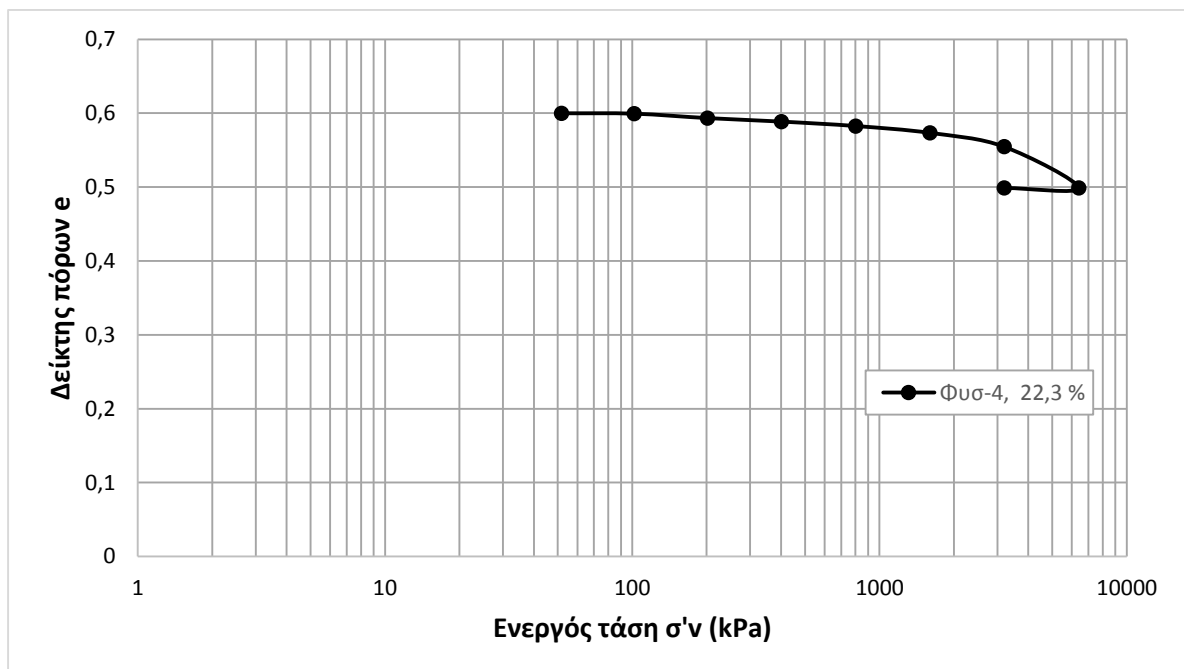
Σχήμα 4.1 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (φυσικό,  $W_0=21,6\%$ )



Σχήμα 4.2 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (φυσικό,  $W_0=21,4\%$ )

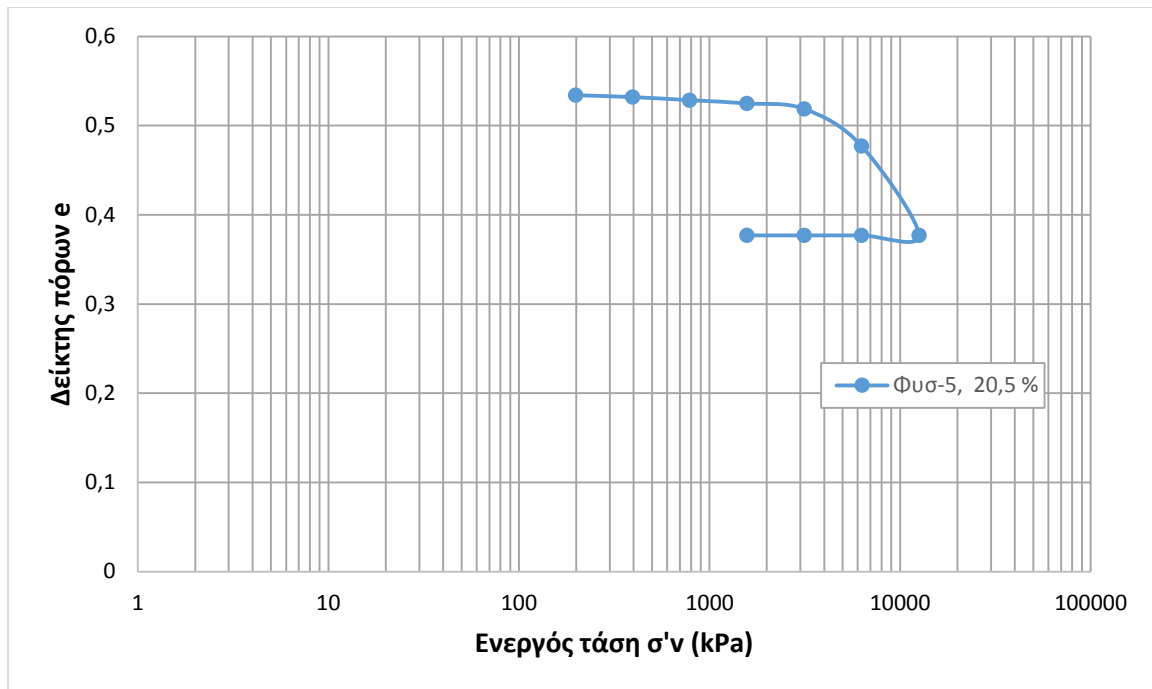


Σχήμα 4.3 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (φυσικό,  $W_0=21,6\%$ )



Σχήμα 4.4 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (φυσικό,  $W_0=22,3\%$ )



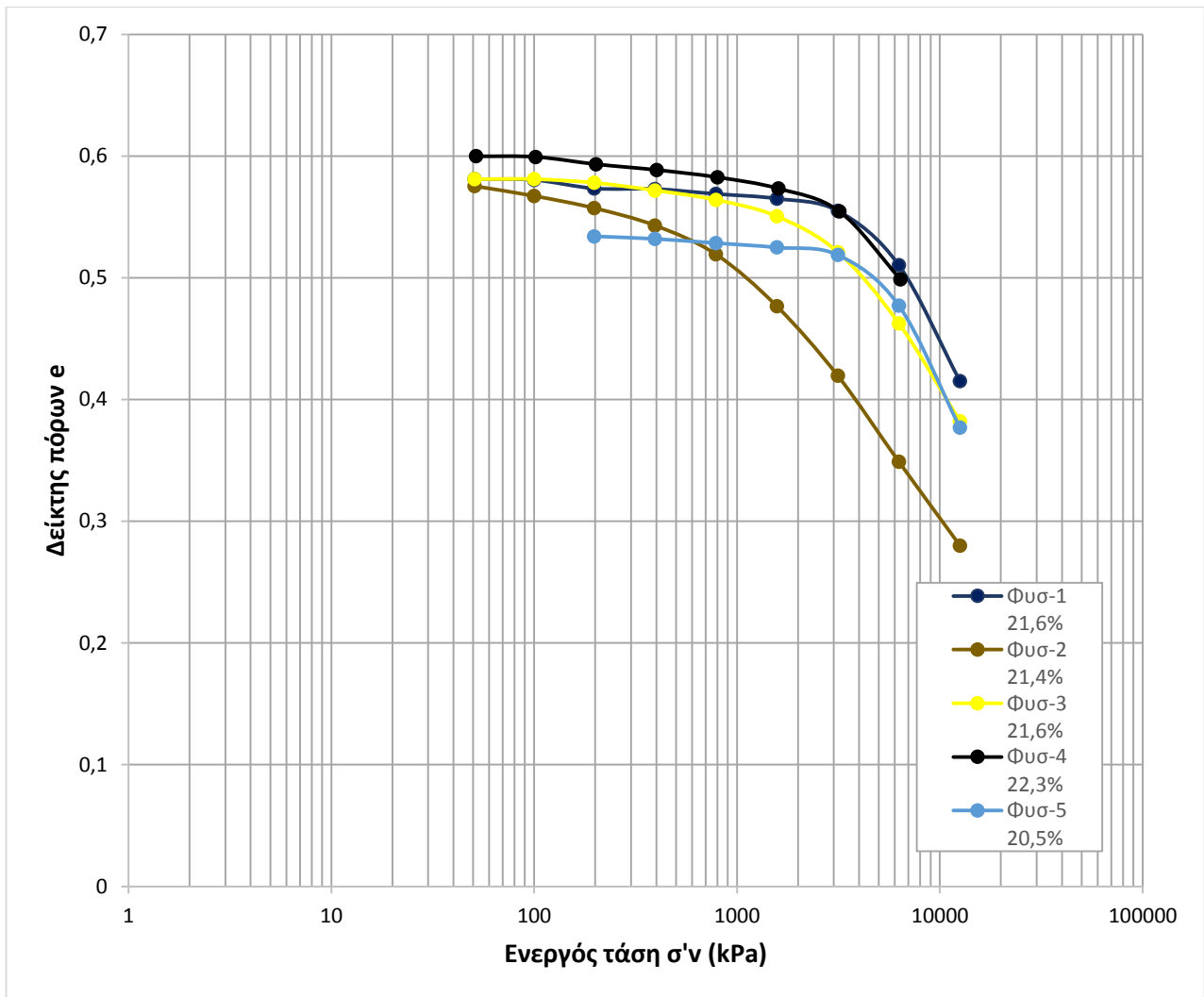


**Σχήμα 4.5** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (φυσικό,  $W_0=20,5\%$ )

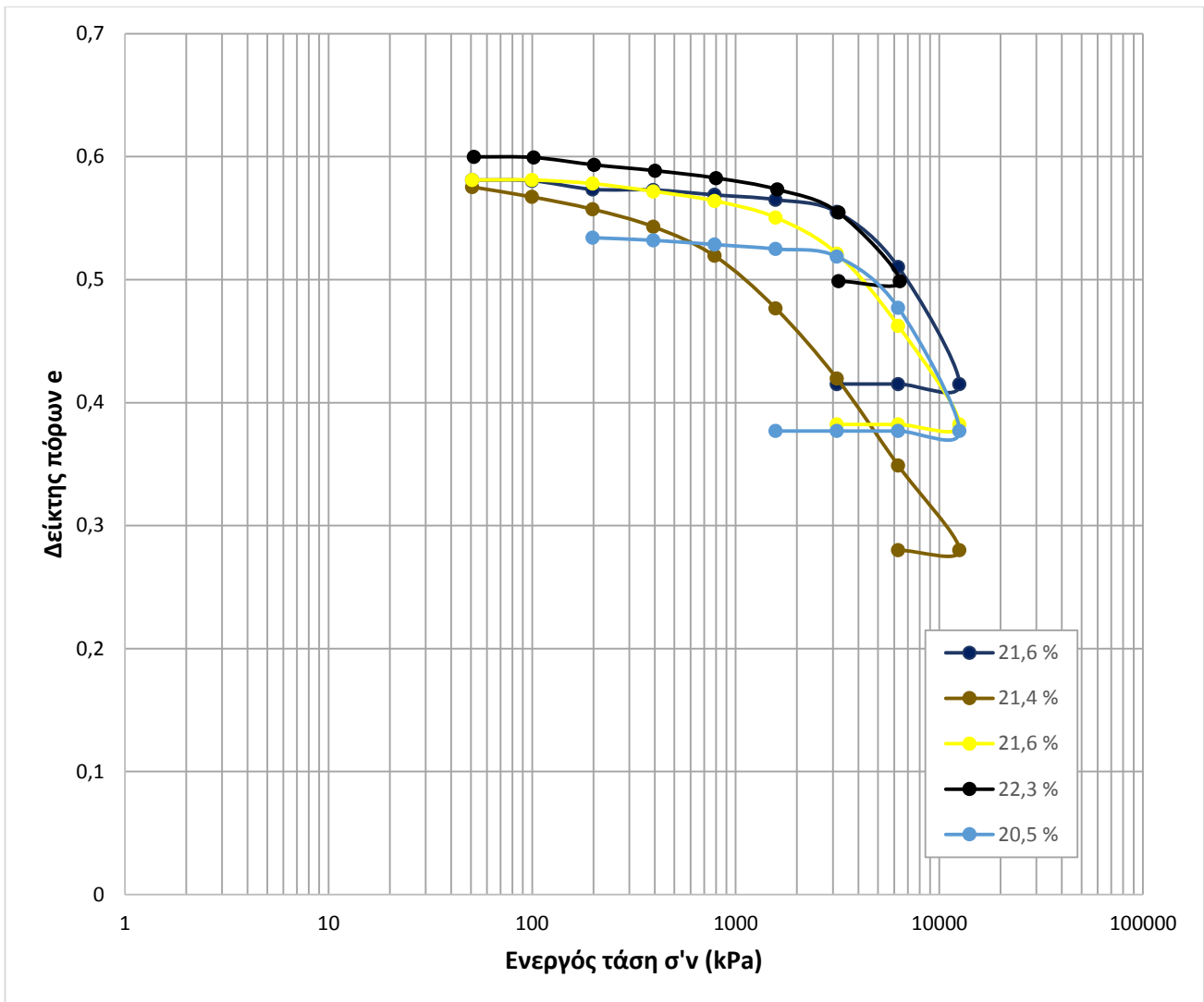
Στον Πίνακα 4.1 προσδιορίζεται η τάση  $\sigma'_v$  για κάθε φυσικό δοκίμιο, κατά την οποία η καμπύλη στερεοποίησης αλλάζει κλίση και αρχίζει να συγκλίνει δημιουργώντας μια καμπυλότητα. Στο σημείο αυτό αρχίζουν και σπάνε οι δεσμοί μεταξύ των κόκκων του φυσικού εδάφους. Το δοκίμιο που διαφέρει από τα υπόλοιπα ως προς την τιμή της  $\sigma'_v$  είναι το Φυσ-2 και αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο δοκίμιο προήλθε από διαφορετικό δείγμα μάργας του Ισθμού της Κορίνθου. Τα υπόλοιπα δοκίμια παρουσιάζουν μία τιμή  $\sigma'_v$  μέσο όρο 3700kPa, το οποίο δείχνει την προφόρτιση που έχουν υποστεί στο παρελθόν τα δοκίμια και τους ισχυρούς δεσμούς που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων των φυσικών δοκιμίων.

<b>Δοκίμιο</b>	<b><math>\sigma'_v</math> (kPa)</b>
Φυσ-1	3800
Φυσ-2	1000
Φυσ-3	3500
Φυσ-4	3000
Φυσ-5	3900

**Πίνακας 4.1** Τάση  $\sigma'_v$  όπου αλλάζει κλίση η καμπύλη στερεοποίησης



**Σχήμα 4.6** Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για όλες τις δοκιμές σε φυσικά δείγματα Μάργας ( $W_0$ : 20,5 – 22,3 %)

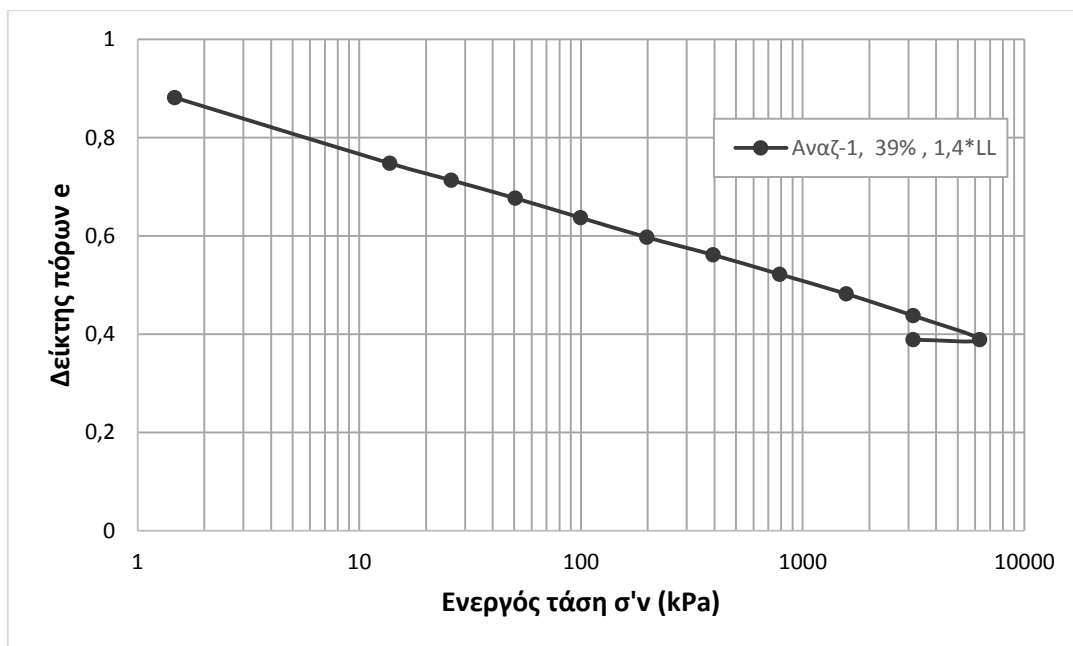


**Σχήμα 4.7** Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για όλες τις δοκιμές σε φυσικά δείγματα Μάργας (με αποφορτίσεις,  $W_0$ : 20,5 – 22,3 %)

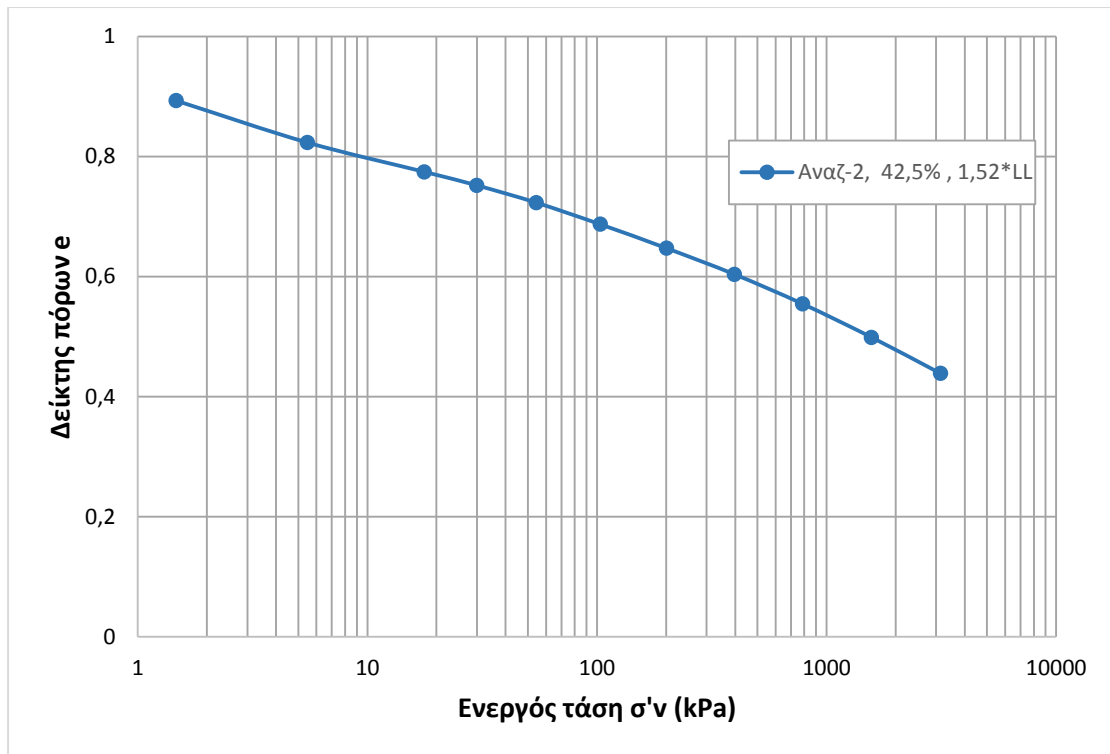
#### 4.2.2 Αναζυμωμένα (Reconstituted) δείγματα

Στη συνέχεια εξετάστηκαν κάποια αναζυμωμένα δείγματα Μάργας (χυλός). Έγιναν τέσσερις ξεχωριστές δοκιμές συμπίεσομέτρου πάνω σε αναζυμωμένη μάργα της περιοχής, και τα ποσοστά υγρασίας των δειγμάτων ήταν 39,06 %, 42,5 %, 44,5 % και 33,7 %. Για τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο συσκευές μονοδιάστατης στερεοποίησης, μία κυψέλη συμπίεσομέτρου, αυτή με ονομαστική διάμετρο 75mm, η μέγιστη τάση που εφαρμόστηκε στα δοκίμια ήταν 6400 kPa και το ύψος των δοκιμίων 19 mm.

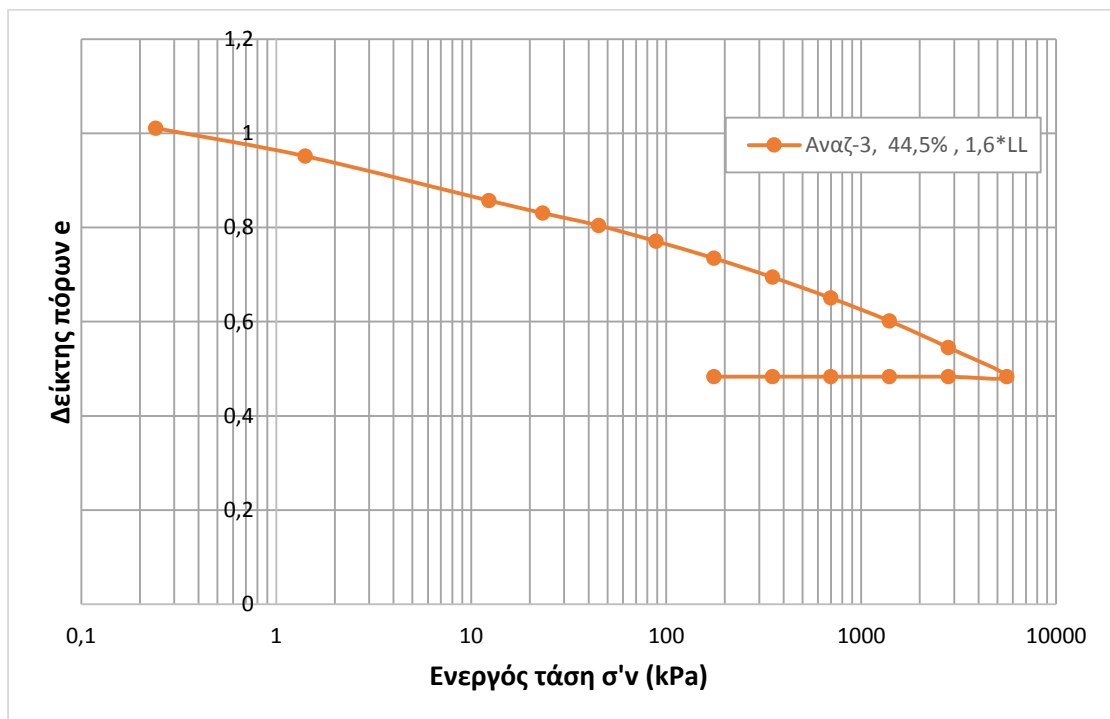
Παρακάτω φαίνονται ξεχωριστά τα διαγράμματα στερεοποίησης κάθε μίας δοκιμής όπως επίσης και συνολικά όλα μαζί στο τέλος σε ένα γράφημα. Παρουσιάζονται όλες οι καμπύλες μαζί σε δύο διαγράμματα, ένα μαζί με τις αποφορτίσεις και άλλο ένα χωρίς τις αποφορτίσεις. Όπου LL στα διαγράμματα, το όριο υδαρότητας της Μάργας (Σχήματα 4.8 – 4.13).



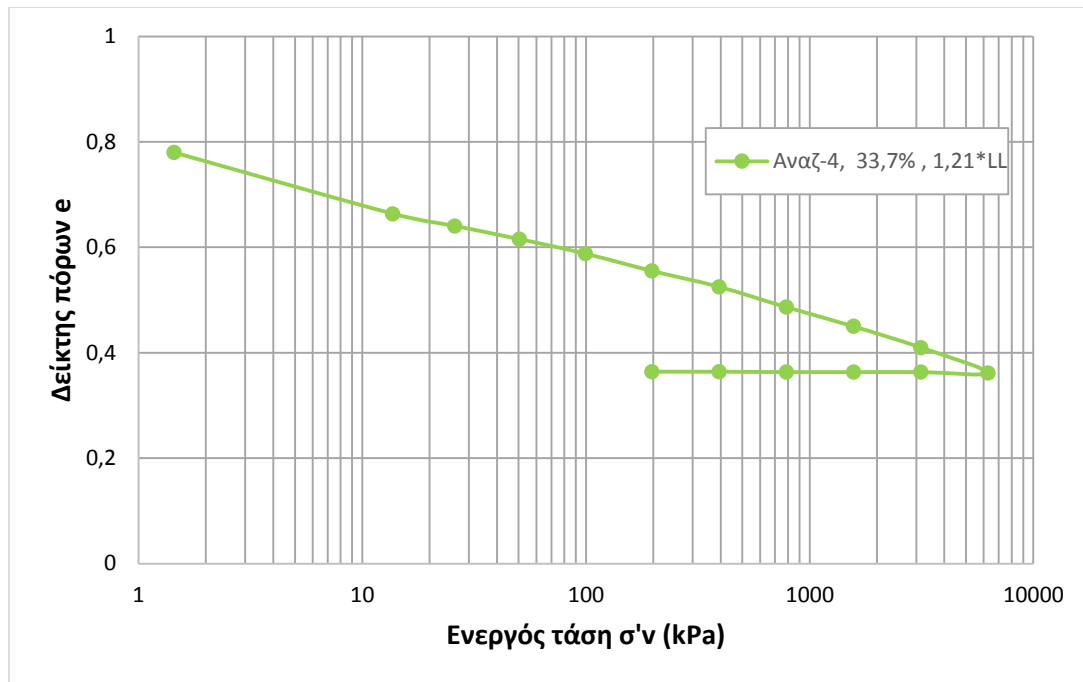
**Σχήμα 4.8** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=39,06\%$ ,  $1,4*LL$ )



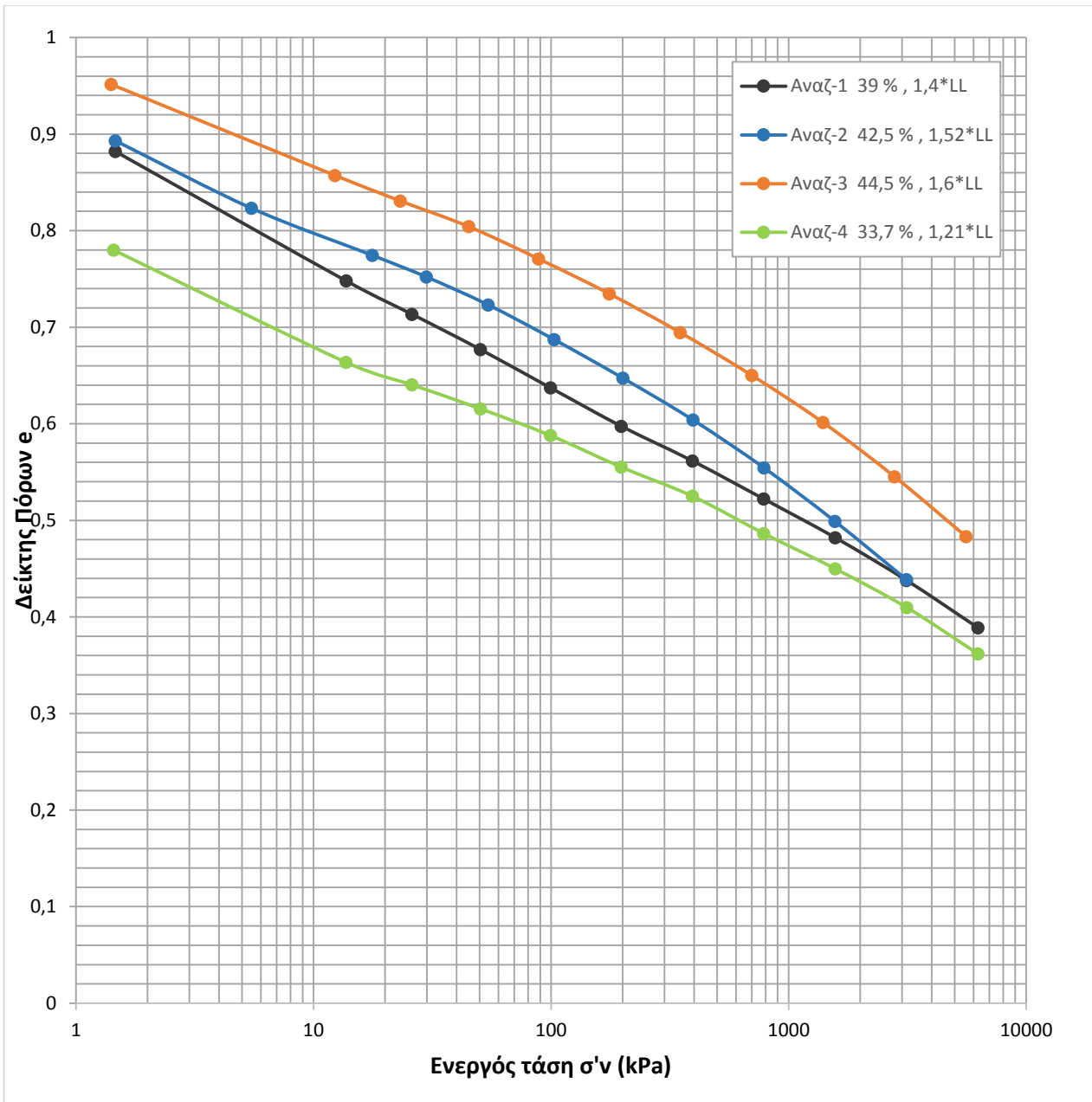
Σχήμα 4.9 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=42,5\%$ ,  $1,52*LL$ )



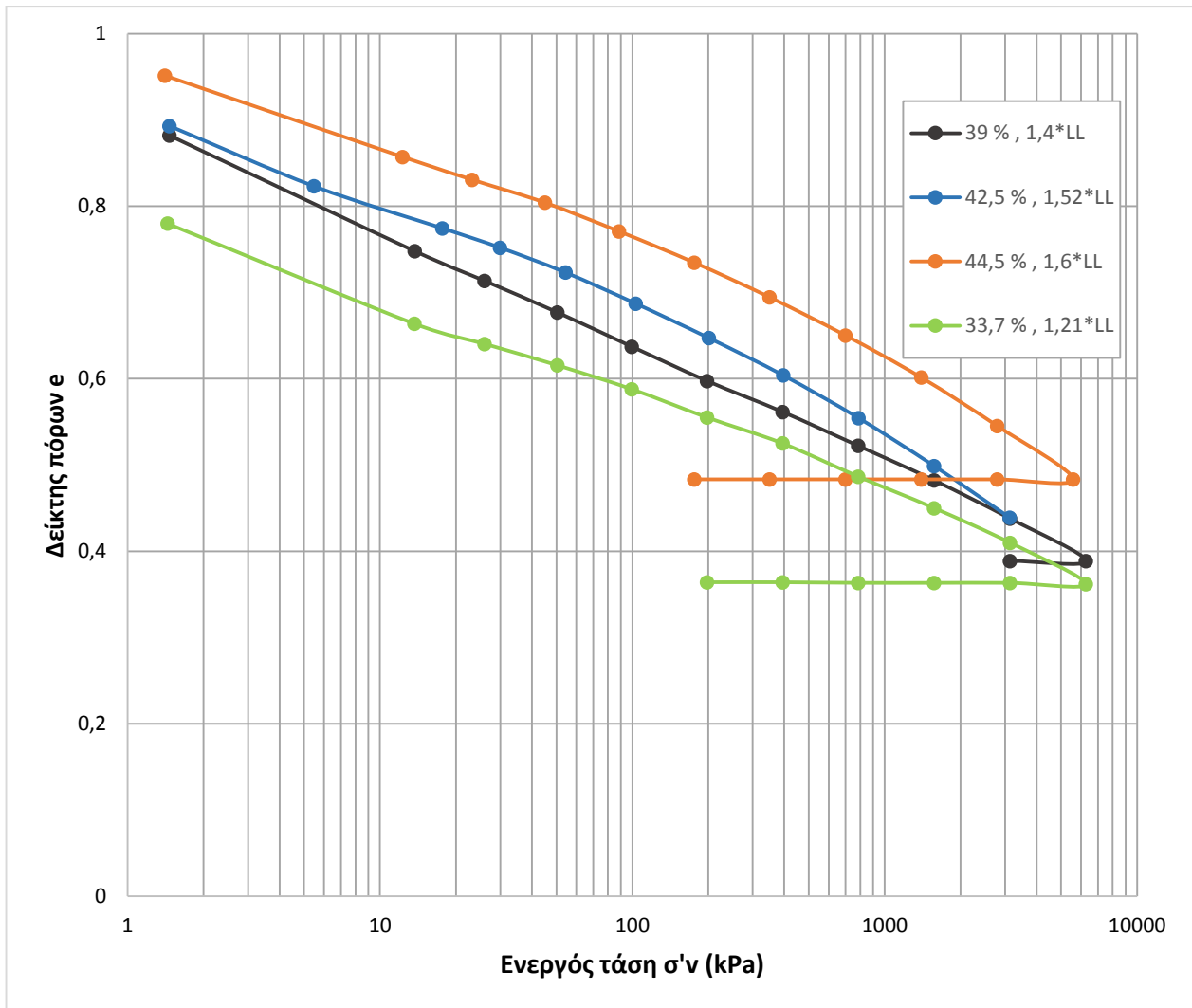
Σχήμα 4.10 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=44,5\%$ ,  $1,6*LL$ )



**Σχήμα 4.11** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=33,7\%$ ,  $1,21*LL$ )



**Σχήμα 4.12** Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για αναζυμωμένα δείγματα Μάργας ( $W_0$  : 1,21 – 1,6 \*LL)

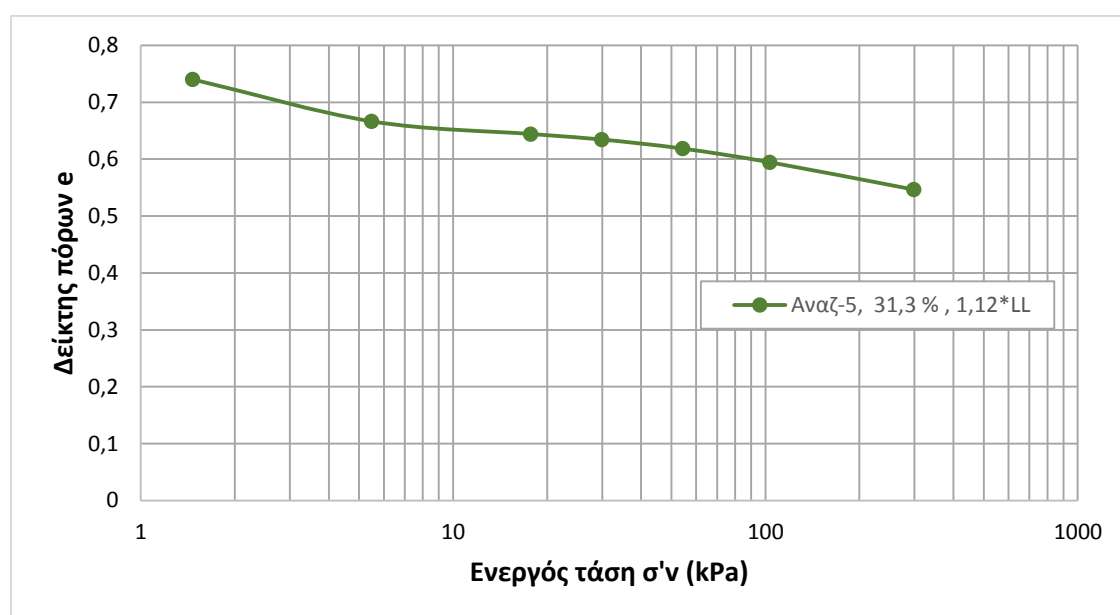


**Σχήμα 4.13** Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για αναζυμωμένα δείγματα Μάργας (με αποφορτίσεις,  $W_0$  : 1,21 – 1,6 \*LL)

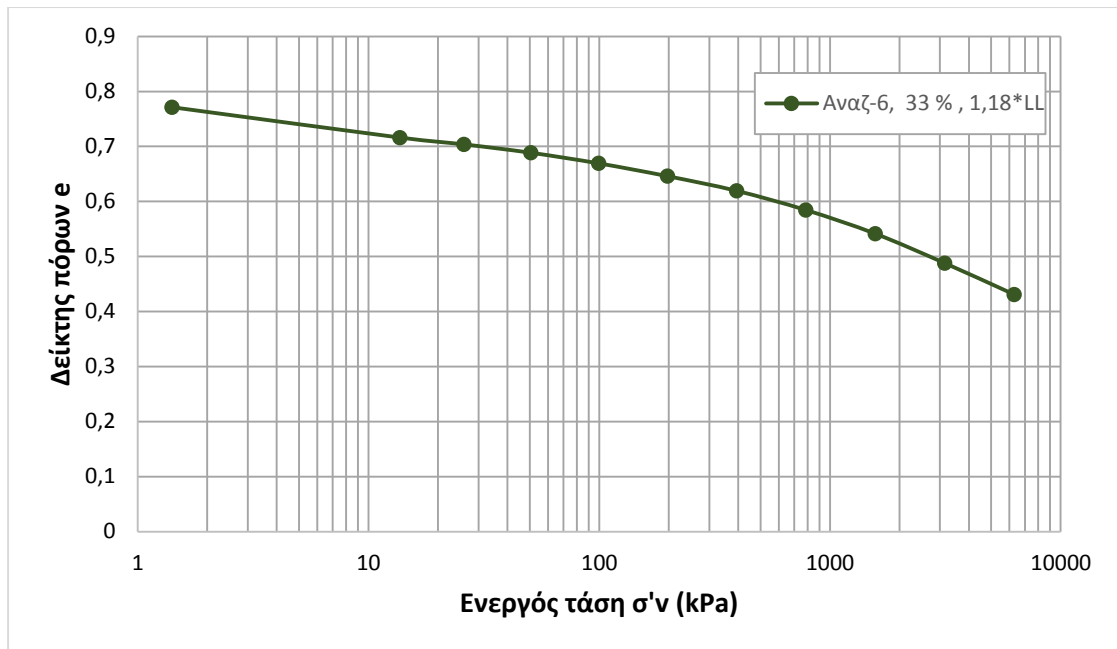


Ακολούθως πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστά άλλες δύο δοκιμές συμπίεστρού πάνω σε αναζυμωμένα δείγματα Μάργας, με μικρή διαφορά υγρασίας ώστε να φανεί η διαφορά αυτή πάνω στα διαγράμματα. Οι υγρασίες των δειγμάτων ήταν 31,3 % και 33 %. Για τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο συσκευές μονοδιάστατης στερεοποίησης, δύο κυψέλες συμπίεστρού, και οι δύο με ονομαστική διάμετρο 75mm, η μέγιστη τάση που εφαρμόστηκε στα δοκίμια ήταν 6400 kPa και το ύψος των δοκιμίων 19 mm.

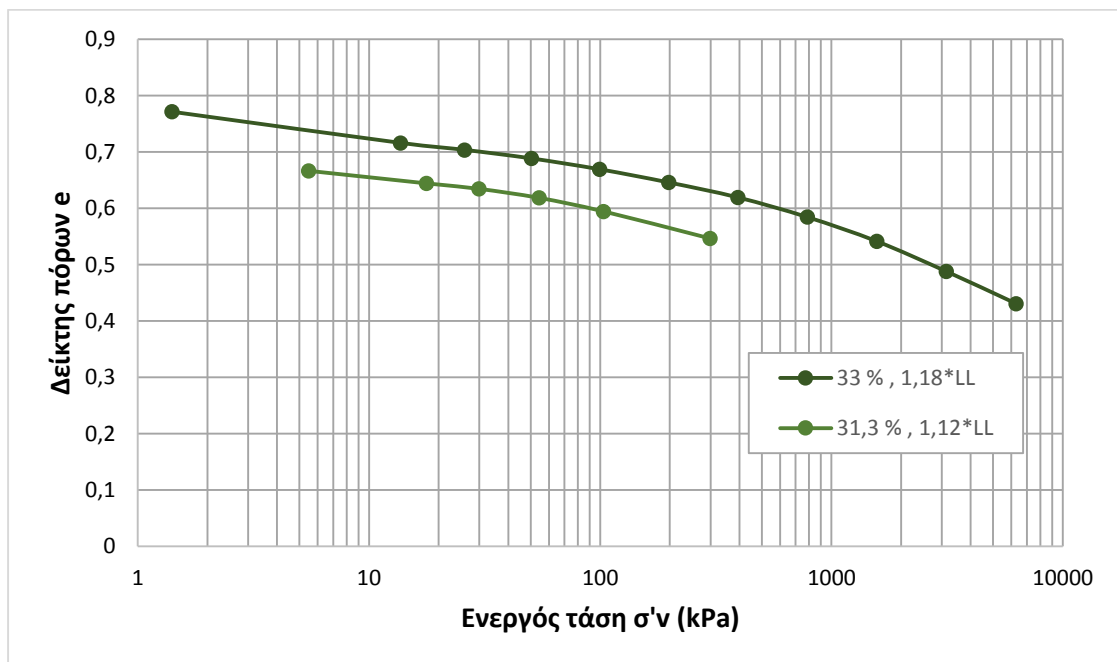
Στα επόμενα διαγράμματα (Σχ.4.14 – 4.16) παρουσιάζονται οι καμπύλες στερεοποίησης των συγκεκριμένων αναζυμωμένων δειγμάτων:



**Σχήμα 4.14** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=31,3\%$ ,  $1,12*LL$ )



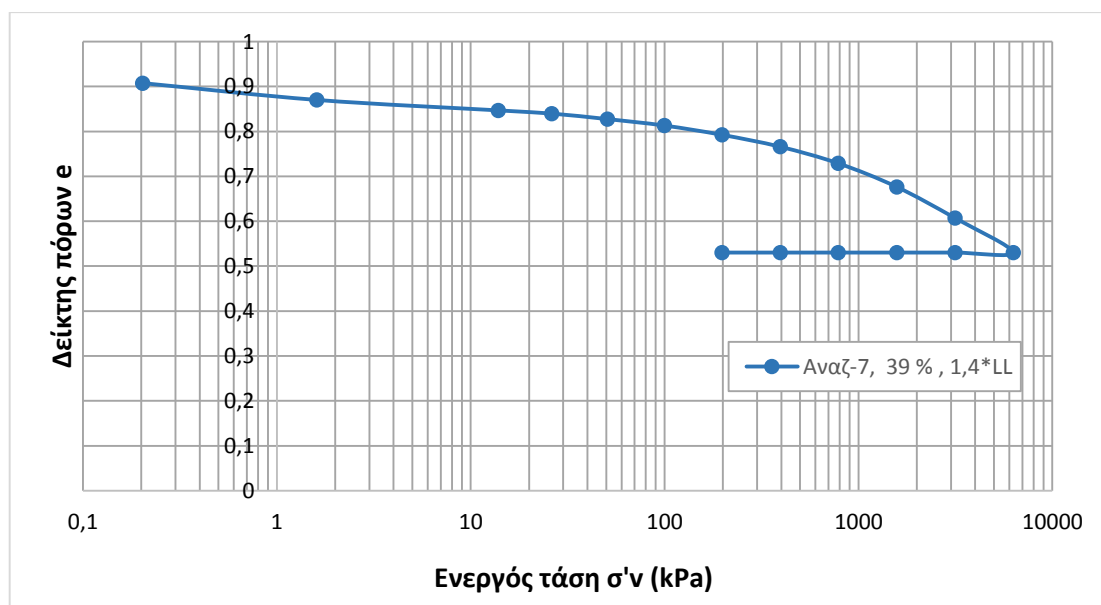
Σχήμα 4.15 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=33\%$  ,  $1,18*LL$ )



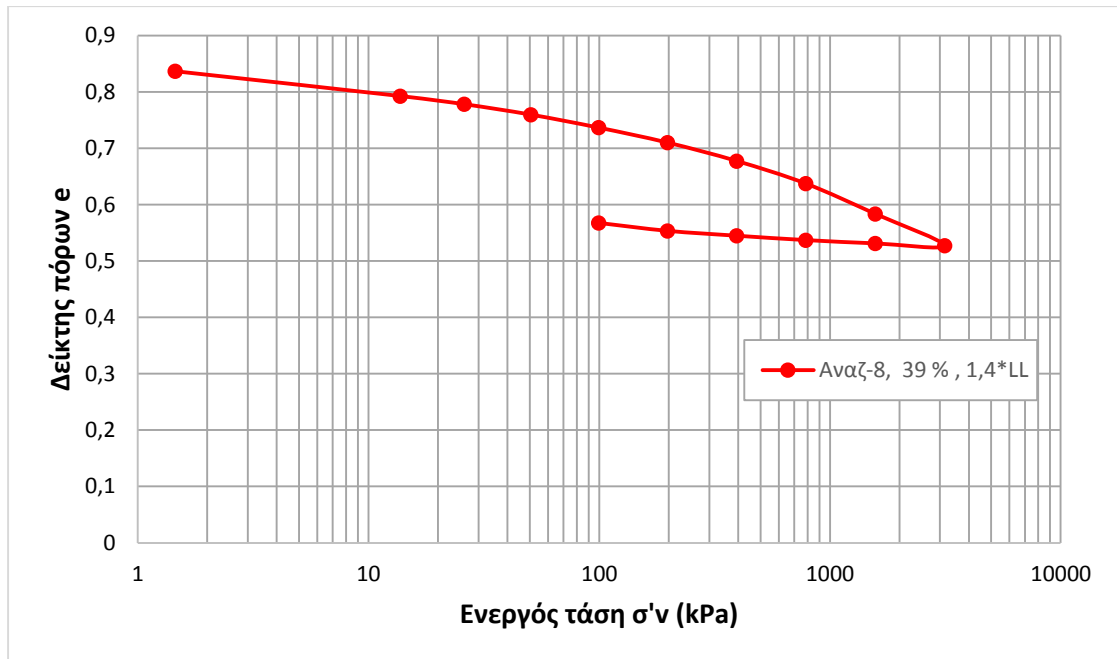
Σχήμα 4.16 Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για τα δύο αναζυμωμένα δείγματα με  $W_0$  : 1,18 και 1,12 \*LL

Έπειτα πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστά άλλες δύο δοκιμές συμπιεσομέτρου πάνω σε αναζυμωμένα δείγματα Μάργας, με την ίδια ακριβώς υγρασία. Οι υγρασίες των δειγμάτων ήταν 39%. Η διαφορά μεταξύ των δύο δοκιμών ήταν πως στη μία τα φορτία στο συμπιεσόμετρο ξεκίνησαν από το φορτίο του πορόλιθου, ενώ στην άλλη από το φορτίο του μεταλλικού καλύμματος (top cap) απευθείας. Δηλαδή στην πρώτη βάλουμε αρχικά τον πορόλιθο πάνω στο δείγμα, καταγράψαμε την καθίζηση την επόμενη μέρα, και έπειτα συνεχίσαμε με τον ίδιο τρόπο για το φορτίο του καλύμματος και τα υπόλοιπα φορτία της δοκιμής. Αντιθέτως στη δεύτερη δοκιμή τοποθετήθηκε απευθείας αρχικά το μεταλλικό κάλυμμα, καταγράφηκε η μέτρηση το επόμενο 24ωρο και το ίδιο έγινε και με τα υπόλοιπα φορτία. Για τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκε η μία συσκευή μονοδιάστατης στερεοποίησης Wykeham Farrance No 24000, δύο κυψέλες συμπιεσομέτρου, και οι δύο με ονομαστική διάμετρο 75mm, η μέγιστη τάση που εφαρμόστηκε στα δοκίμια ήταν 6400 kPa και το ύψος των δοκιμίων 19 mm. Όπως γίνεται κατανοητό, στο δεύτερο δείγμα που κάθεται πάνω απευθείας το κάλυμμα η καθίζηση είναι πιο μεγάλη.

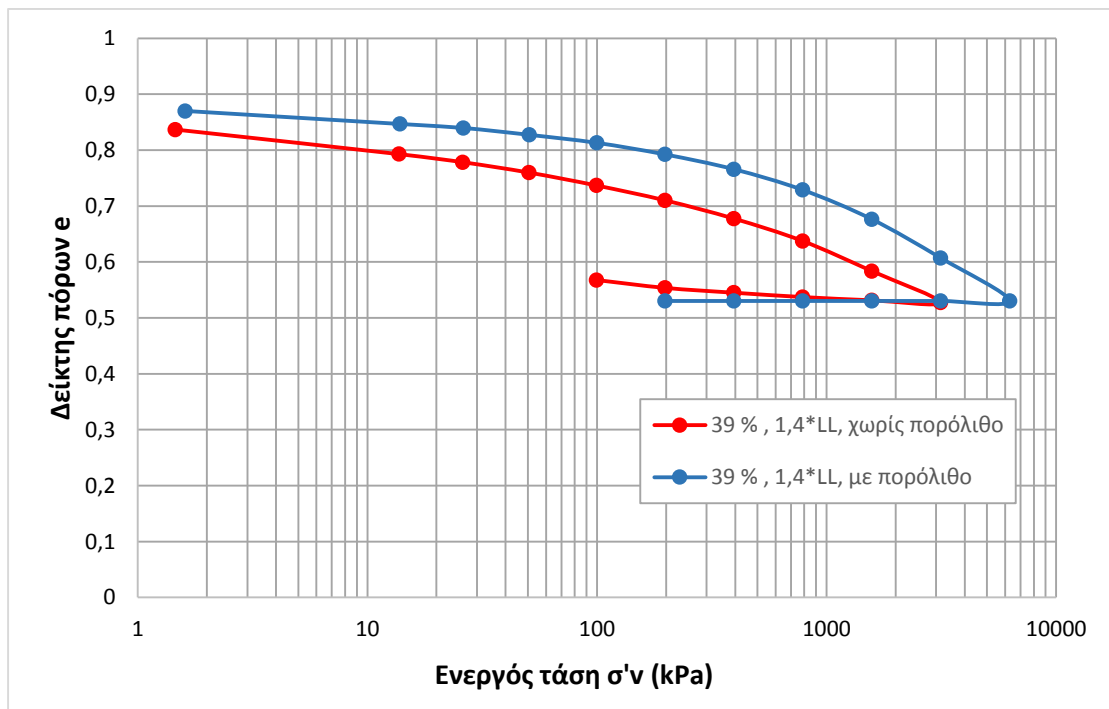
Φαίνονται παρακάτω στα σχήματα 4.17 – 4.19 τα αντίστοιχα διαγράμματα με τις καμπύλες στερεοποίησης των δύο αναζυμωμένων δειγμάτων:



**Σχήμα 4.17** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=39\%$ ,  $1,4*LL$  , με πορόλιθο)



**Σχήμα 4.18** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=39\%$ ,  $1,4*LL$  , χωρίς πορόλιθο)

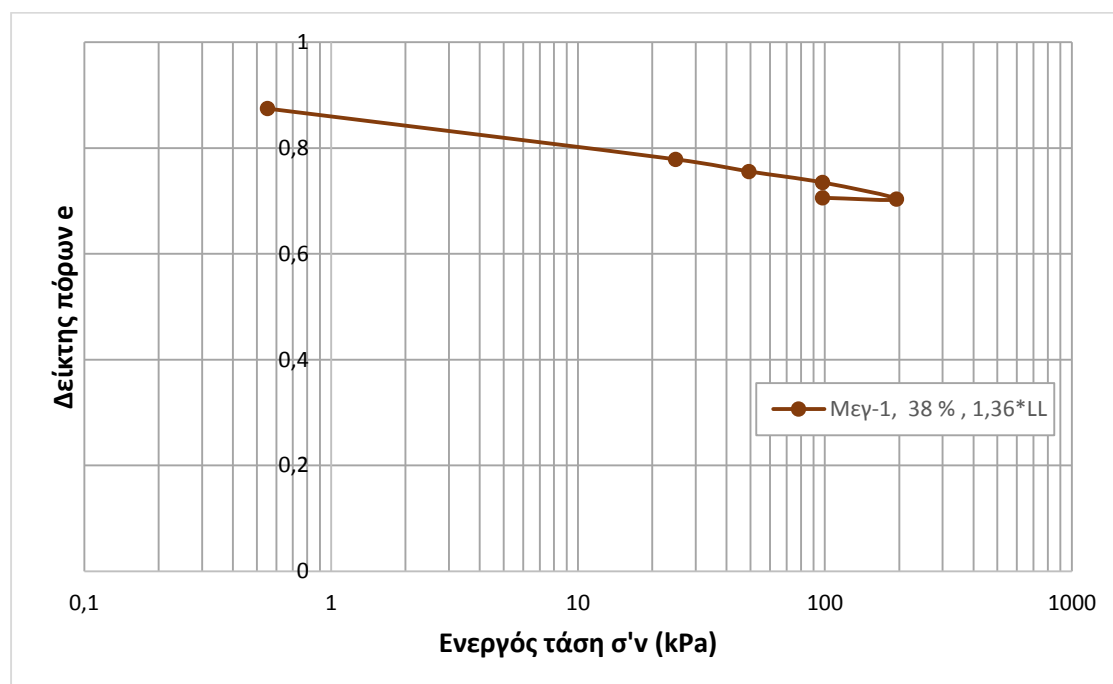


**Σχήμα 4.19** Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για τα δύο αναζυμωμένα δείγματα με  $W_0=39\%$ ,  $1,4*LL$

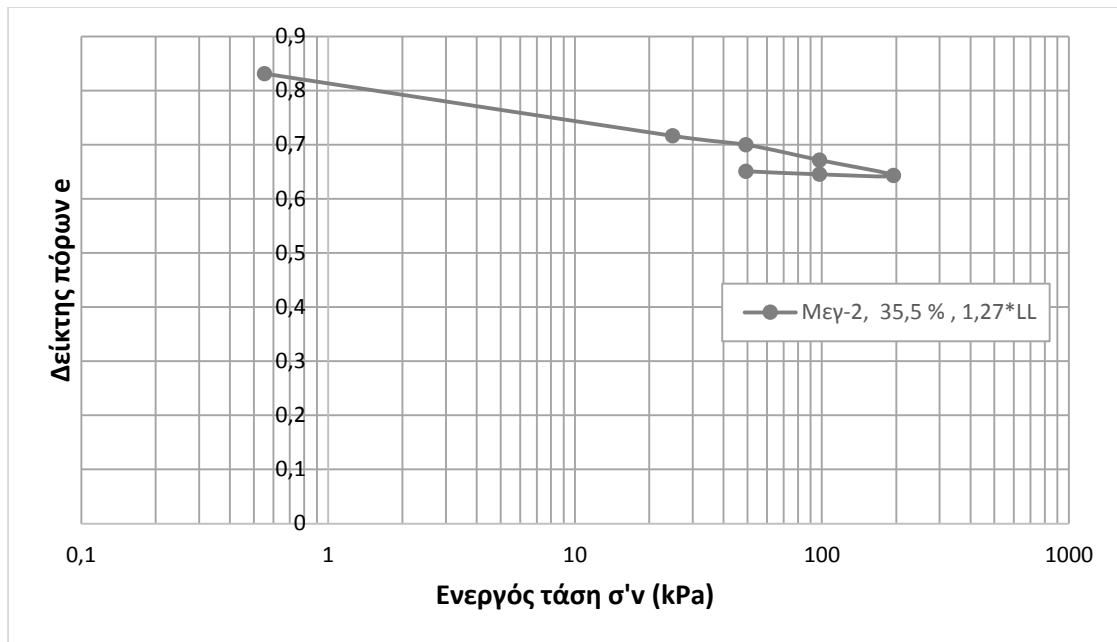
### 4.2.3 Αναζυμωμένα υλικά στο μεγάλο συμπιεσόμετρο

Ορισμένα αναζυμωμένα υλικά τοποθετήθηκαν σε ένα μεγάλο συμπιεσόμετρο, ώστε να προστεροποιηθούν και να γίνουν πιο σταθερά. Στο μεγάλο συμπιεσόμετρο το αναζυμωμένο υλικό φορτίζεται και στεροποιείται μέχρι τα 200 kPa και μετά αποφορτίζεται μέχρι τα 50 kPa. Έτσι αφαιρείται νερό, μειώνεται ο δείκτης πόρων και το υλικό έχει αποκτήσει μια πιο σταθερή μορφή. Στη συνέχεια κόβεται σε μικρότερα δοκίμια, τα οποία ονομάζουμε προστεροποιημένα δοκίμια. Αυτά τα προστεροποιημένα δοκίμια έπειτα τοποθετούνται στα κανονικά συμπιεσόμετρα και εκτελείται η δοκιμή στεροποίησης τους. Εκτελέστηκαν τέσσερις τέτοιες δοκιμές προστεροποίησης στο μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασίες αναζυμωμένων δειγμάτων 38%, 35,5%, 43%, 42%. Η μέγιστη τάση που εφαρμόστηκε στα δοκίμια ήταν 200 kPa, σαφώς μικρότερη από τις τάσεις των συσκευών μονοδιάστατης στεροποίησης, καθώς σκοπός αυτής της συσκευής είναι να αποκτήσουν τα δείγματα μια πιο στερεή μορφή.

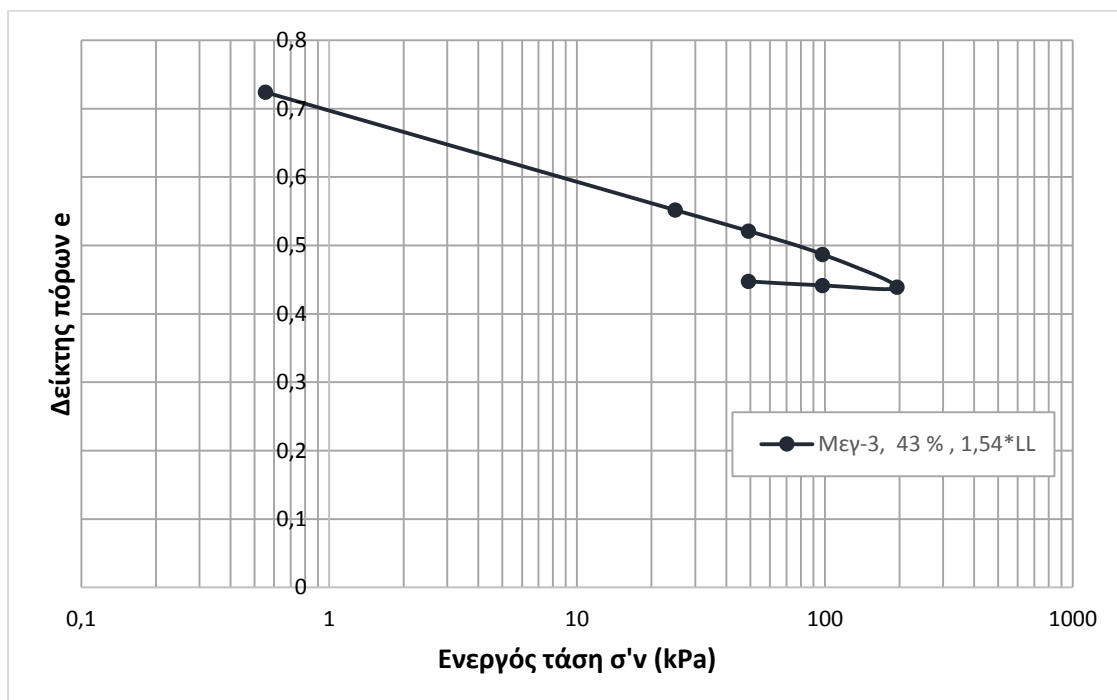
Στα επόμενα διαγράμματα (Σχ.4.20 – 4.24) παρουσιάζονται οι καμπύλες στεροποίησης του αναζυμωμένου υλικού στο μεγάλο συμπιεσόμετρο:



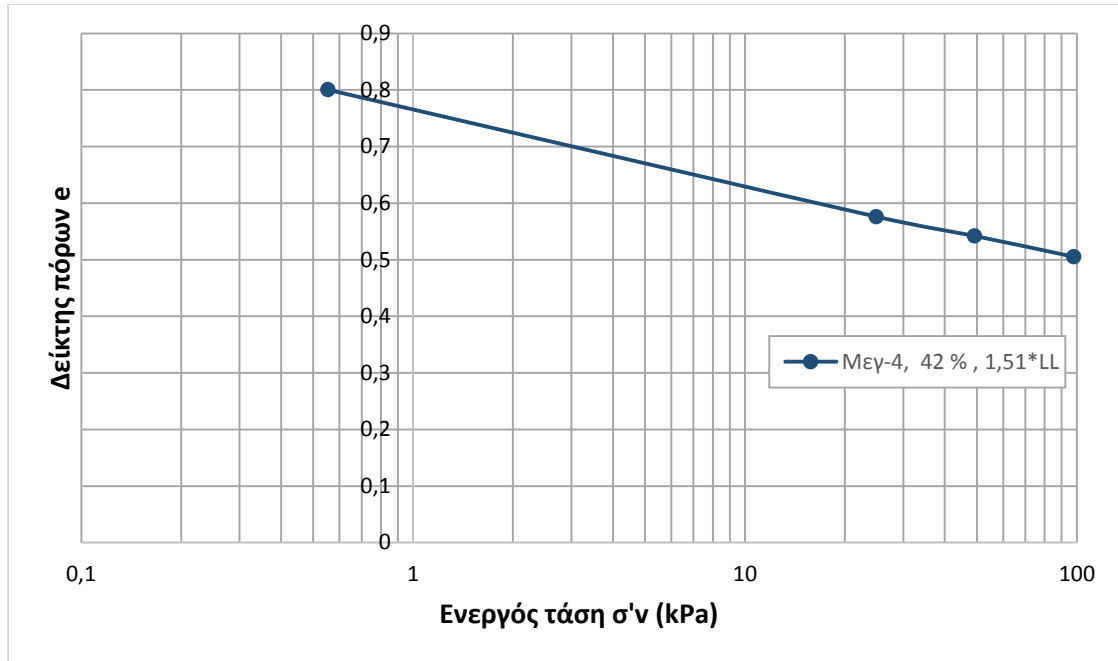
Σχήμα 4.20 Πειραματική καμπύλη στεροποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=38\%$ ,  $1,36*LL$ )



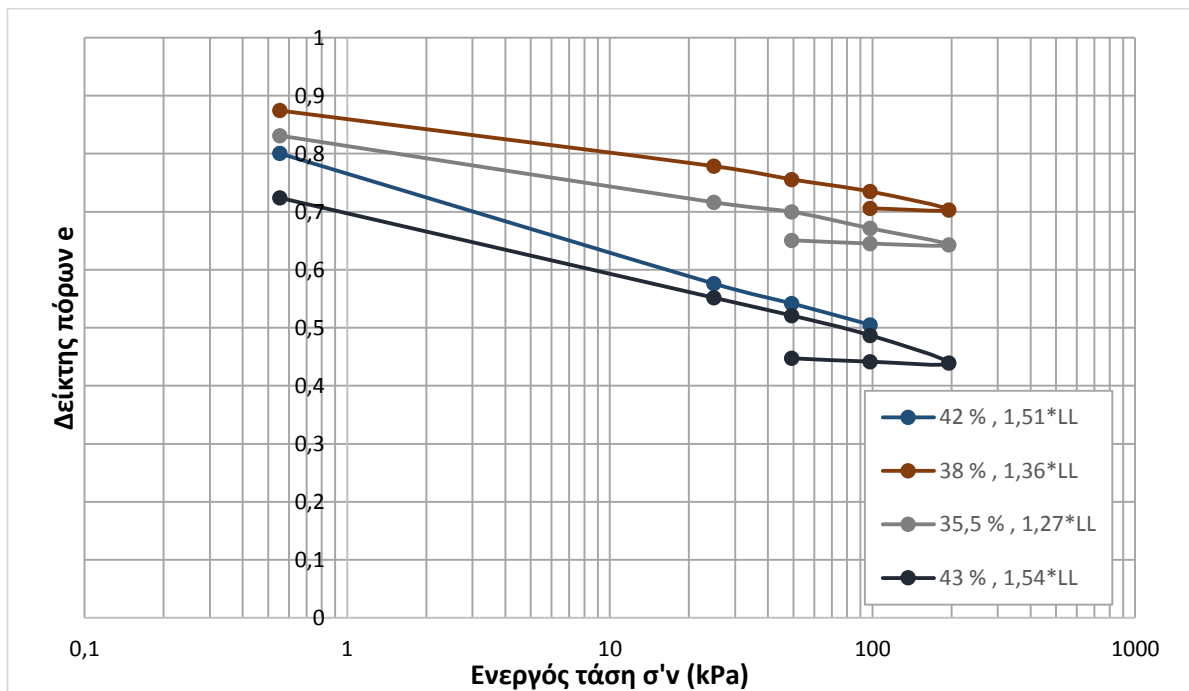
Σχήμα 4.21 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=35,5\%$  ,  $1,27*LL$ )



Σχήμα 4.22 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=43\%$  ,  $1,54*LL$ )



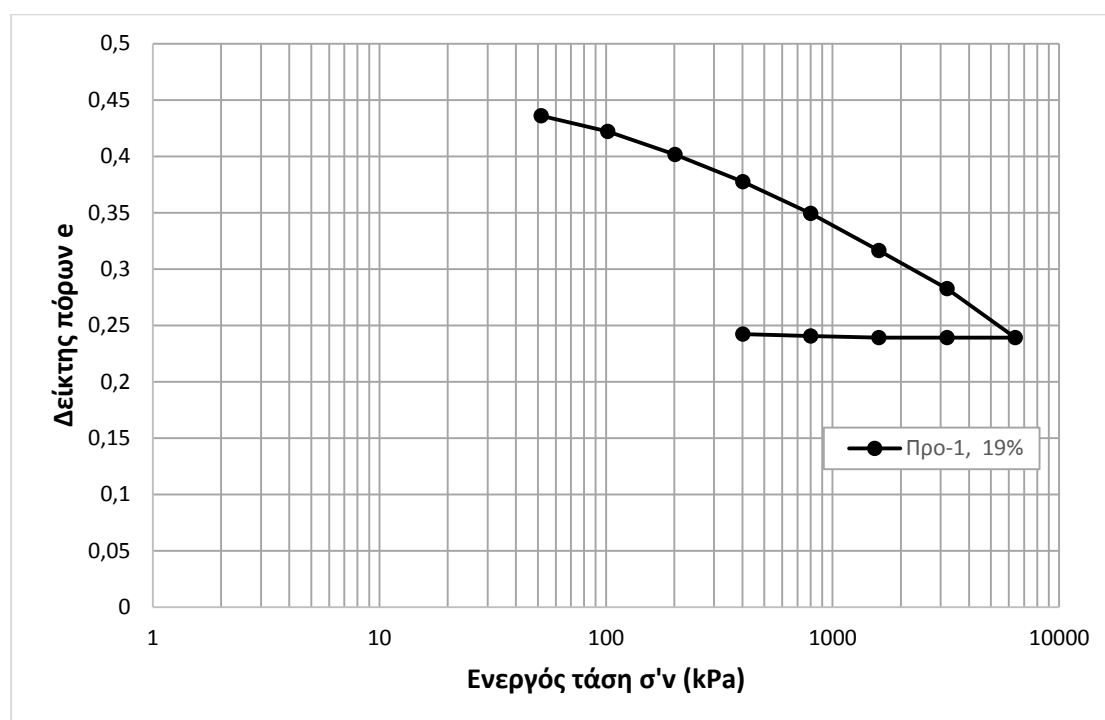
Σχήμα 4.23 Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=42\%$  ,  $1,51*LL$ )



Σχήμα 4.24 Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για τα τέσσερα αναζυμωμένα υλικά στο μεγάλο συμπιεσόμετρο ( $W_0 : 1,27 - 1,54 *LL$ )

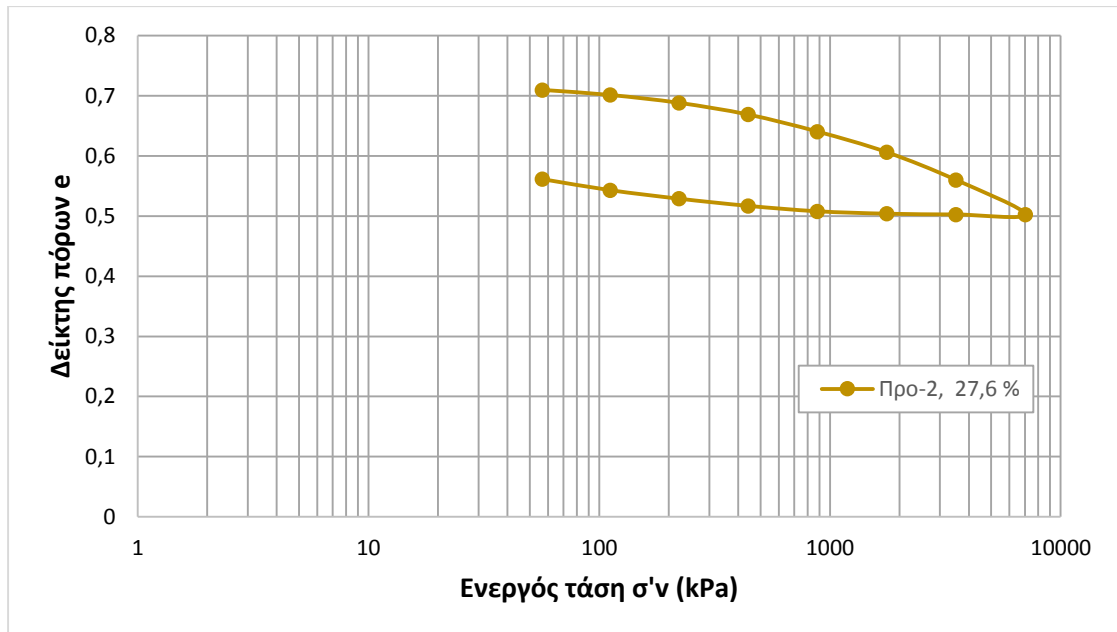
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω κάποια αναζυμωμένα υλικά Μάργας τοποθετήθηκαν σε ένα ξεχωριστό μεγαλύτερο συμπιεσόμετρο, για να γίνουν πιο στερεά και σταθερά με σκοπό να χρησιμοποιηθούν μετά στα κανονικά συμπιεσόμετρα μονοδιάστατης συμπίεσης. Από το μεγάλο αυτό συμπιεσόμετρο έπειτα, από τα υλικά που στερεοποιήθηκαν μέσα, κόπηκαν και προέκυψαν τέσσερα προστερεοποιημένα δοκίμια τα οποία τοποθετήθηκαν στα κανονικά συμπιεσόμετρα για τη δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης.

Στα επόμενα διαγράμματα (Σχ.4.25 – 4.27) απεικονίζονται οι καμπύλες στερεοποίησης των προστερεοποιημένων δοκιμίων στα κανονικά συμπιεσόμετρα:

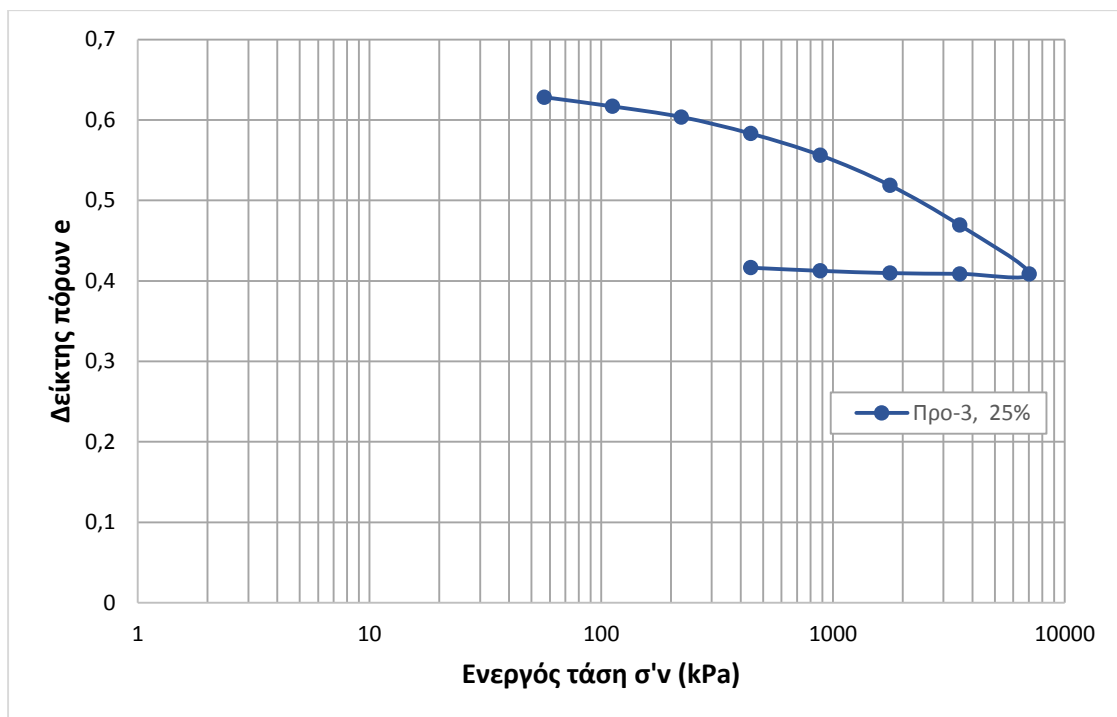


**Σχήμα 4.25** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (προστερεοποιημένο δοκίμιο ,  $W_0=19\%$ )





**Σχήμα 4.26** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (προστερεοποιημένο δοκίμιο ,  $W_0=27,6\%$ )



**Σχήμα 4.27** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (προστερεοποιημένο δοκίμιο ,  $W_0=25\%$ )

### 4.3 Κανονικοποιημένες Καμπύλες Στερεοποίησης – ICL Burland

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1, οι καμπύλες μονοδιάστατης στερεοποίησης μπορούν να κανονικοποιηθούν με τη χρήση του δείκτη κενών  $I_v$ , ο οποίος προκύπτει από τη σχέση:

$$I_v = \frac{e - e_{100}^*}{e_{100}^* - e_{1000}^*} = \frac{e - e_{100}^*}{C_c^*}, \quad \text{όπου } C_c^* = e_{100}^* - e_{1000}^*$$

Ο αστερίσκος (\*) αναφέρεται σε εγγενείς ιδιότητες, δηλαδή σε μετρήσεις που αφορούν το αναζυμωμένο υλικό, ενώ ο δείκτης του συμβόλου στο μέγεθος της κατακόρυφης ενεργού τάσης. Δηλαδή:

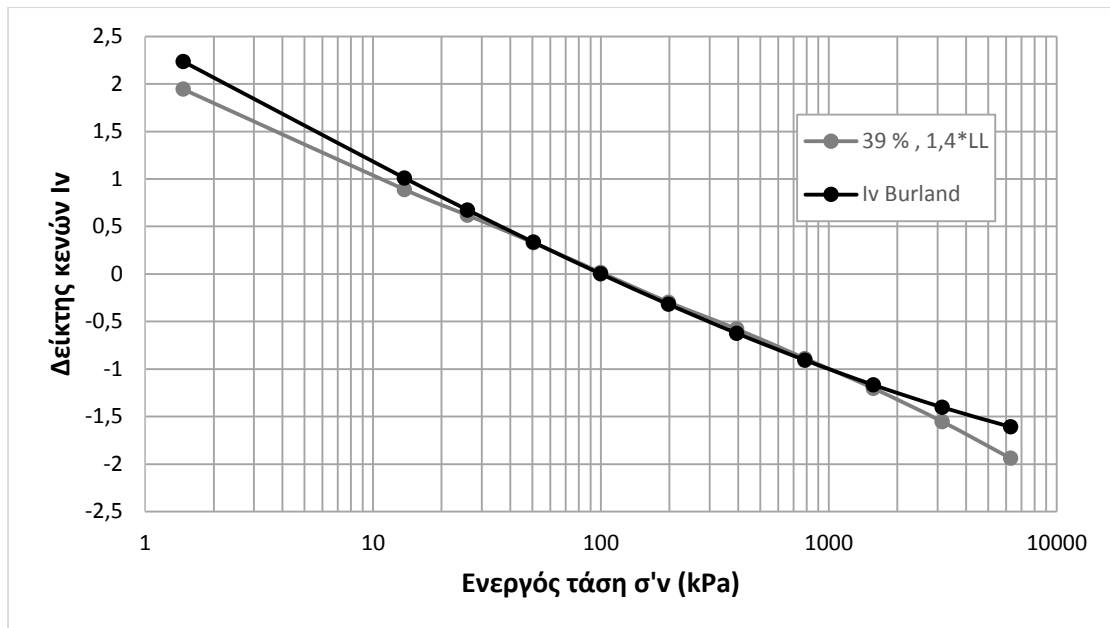
$e_{100}^*$  : ο δείκτης κενών του αναζυμωμένου υλικού για  $\sigma'_v=100\text{kPa}$

$e_{1000}^*$  : ο δείκτης κενών του αναζυμωμένου υλικού για  $\sigma'_v=1000\text{kPa}$

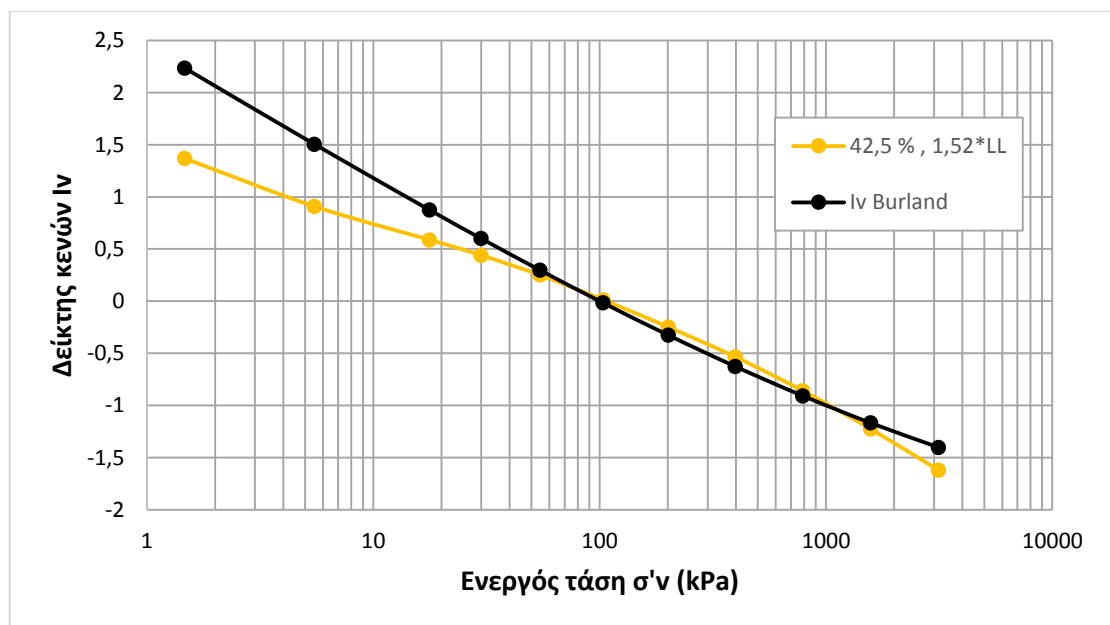
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης όλων των προηγούμενων δοκιμών πάνω σε αναζυμωμένα δοκίμια. Αναζυμωμένα δοκίμια υπάρχουν και στα κανονικά συμπιεσόμετρα και στο μεγάλο συμπιεσόμετρο από όπου προέκυψαν τα προστερεοποιημένα δοκίμια. Τα διαγράμματα περιλαμβάνουν την κανονικοποιημένη καμπύλη  $I_v$ , καθώς και την καμπύλη του Burland για αναζυμωμένα υλικά ώστε να γίνει η σύγκριση. Τέλος, όλες οι καμπύλες από όλες τις δοκιμές παρουσιάζονται μαζί σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα ώστε να γίνουν και οι συγκρίσεις μεταξύ τους.

#### 4.3.1 Αναζυμωμένα δείγματα

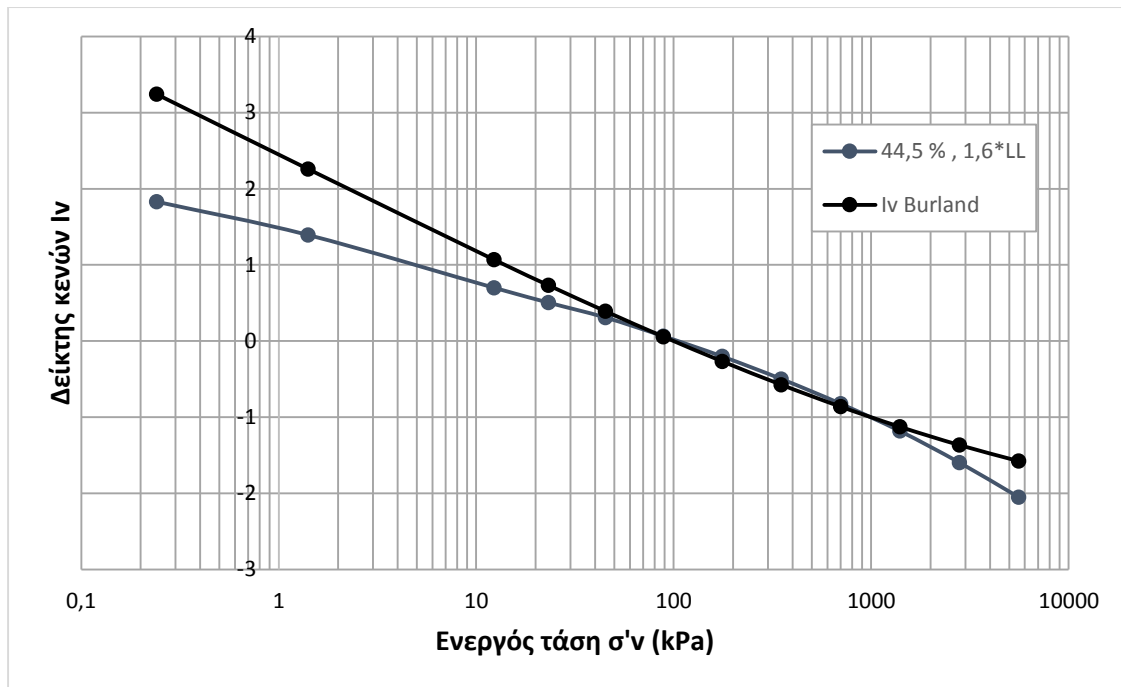
Αρχικά παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα διαγράμματα όλων των αναζυμωμένων δειγμάτων που εξετάσθηκαν στη δοκιμή συμπίεσομέτρου. Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες  $I_v$  ξεχωριστά κάθε δοκιμής καθώς και όλες μαζί σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα (Σχήματα 4.28 – 4.32).



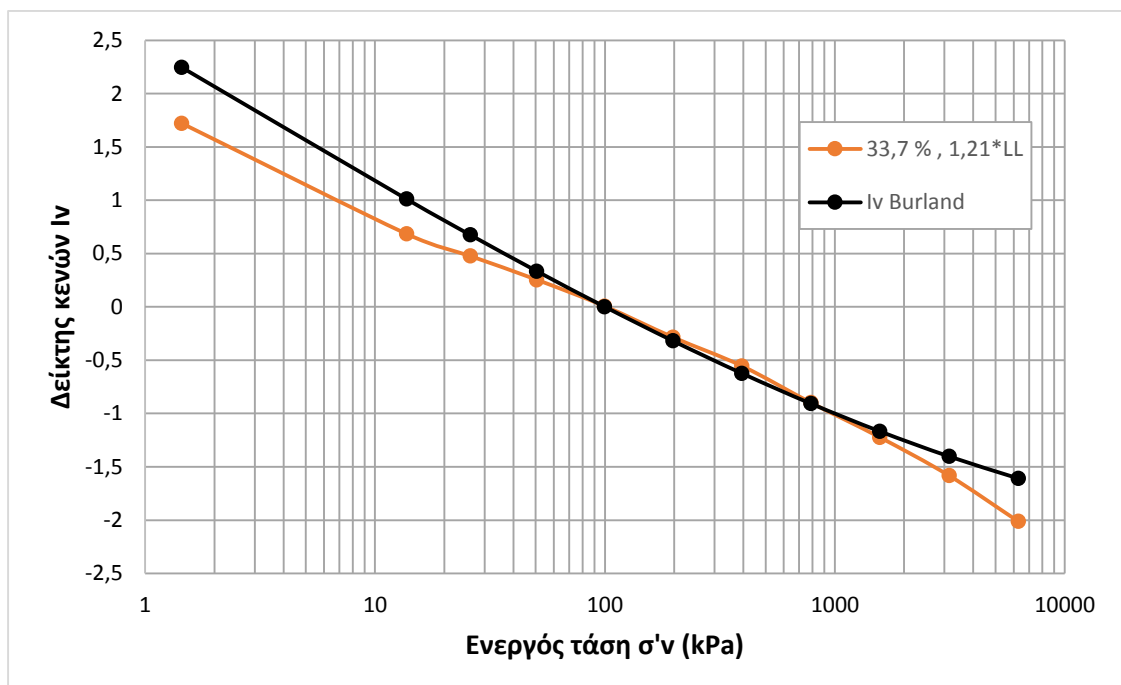
Σχήμα 4.28 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=39\%$  ,  $1,4*LL$ )



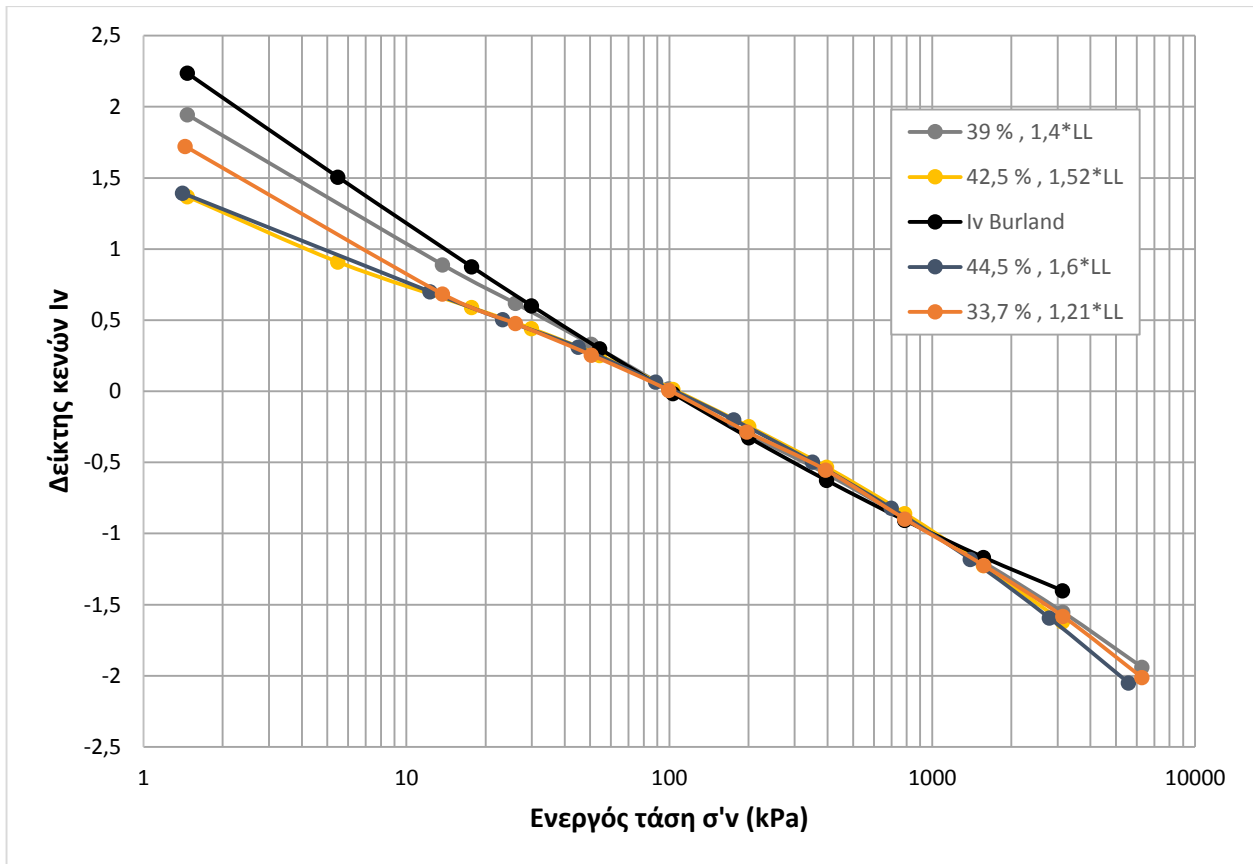
Σχήμα 4.29 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=42,5\%$  ,  $1,52*LL$ )



Σχήμα 4.30 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=44,5\%$  ,  $1,6*LL$ )

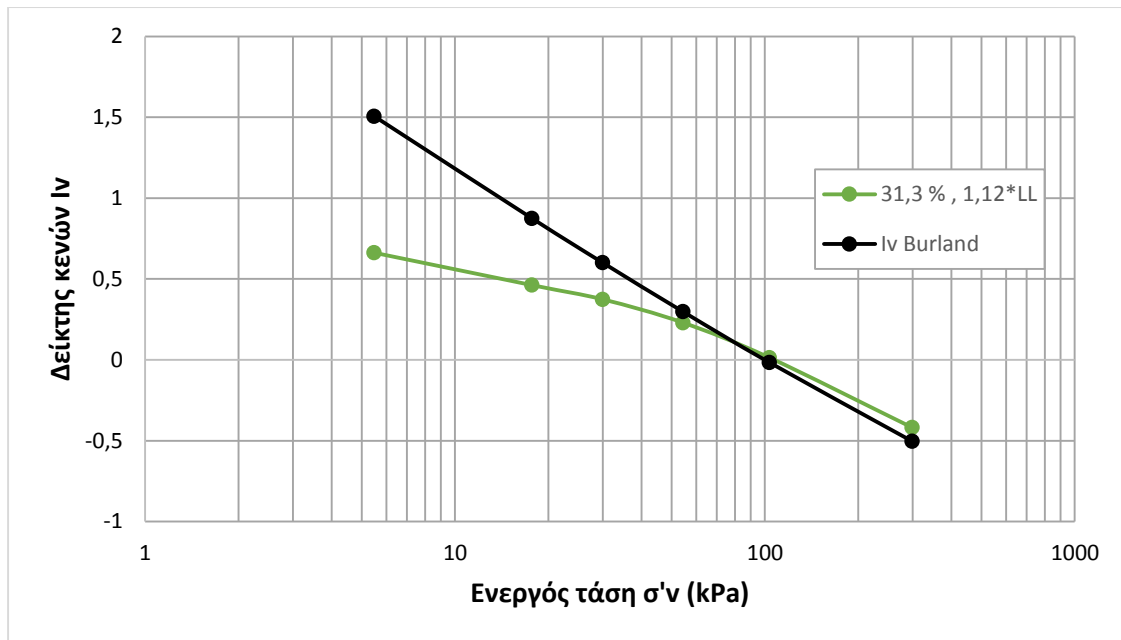


Σχήμα 4.31 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=33,7\%$  ,  $1,21*LL$ )

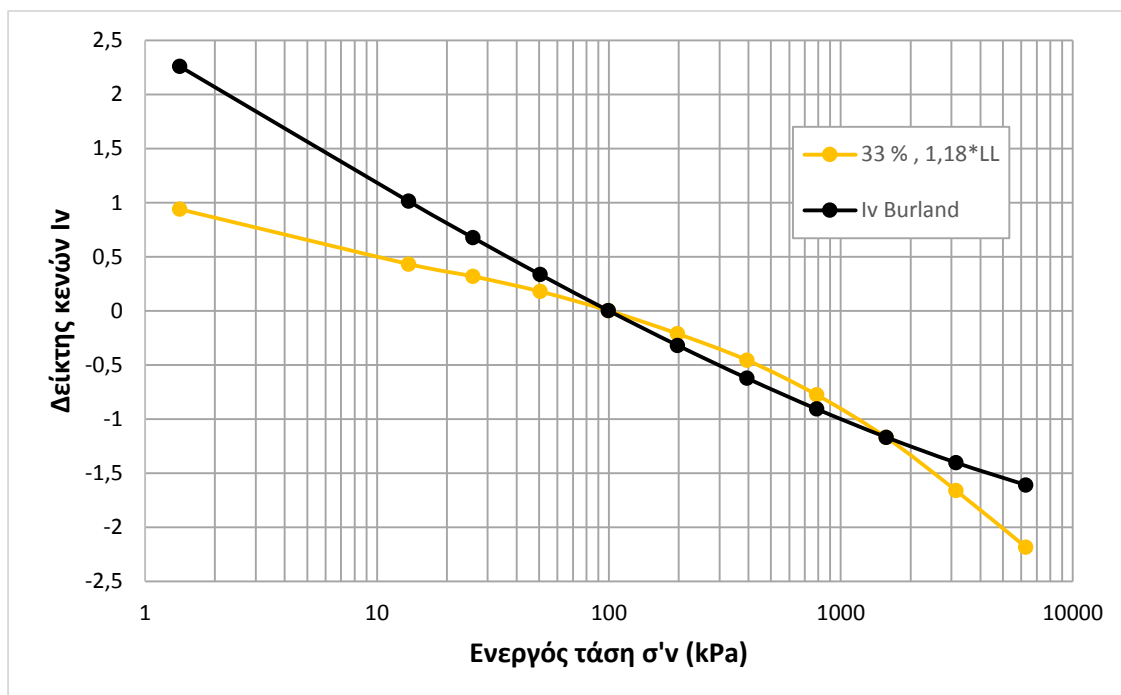


**Σχήμα 4.32** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για τα πρώτα τέσσερα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας ( $W_0$  : 1,21 – 1,6 \*LL)

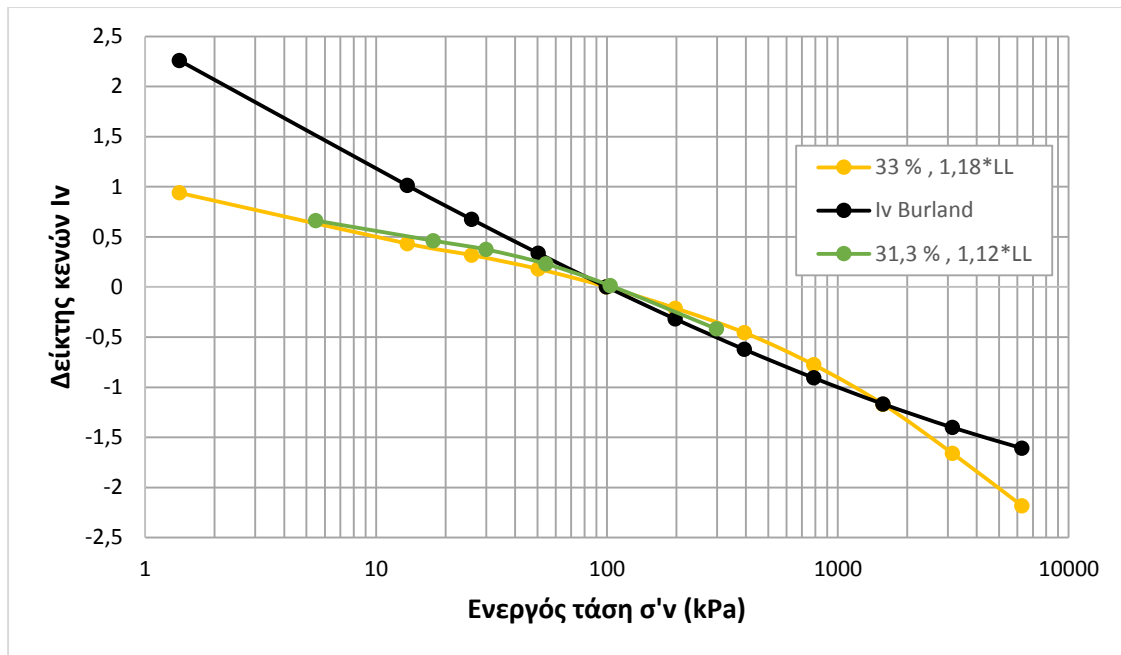
Ακολούθως φαίνονται τα κανονικοποιημένα διαγράμματα για τα δύο αναζυμωμένα δοκίμια με υγρασίες 31,3% και 33%, ώστε να γίνει η σύγκρισή τους σχετικά με τη διαφορά της υγρασίας (Σχ. 4.33 – 4.35).



**Σχήμα 4.33** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=31,3\%$  ,  $1,12*LL$ )

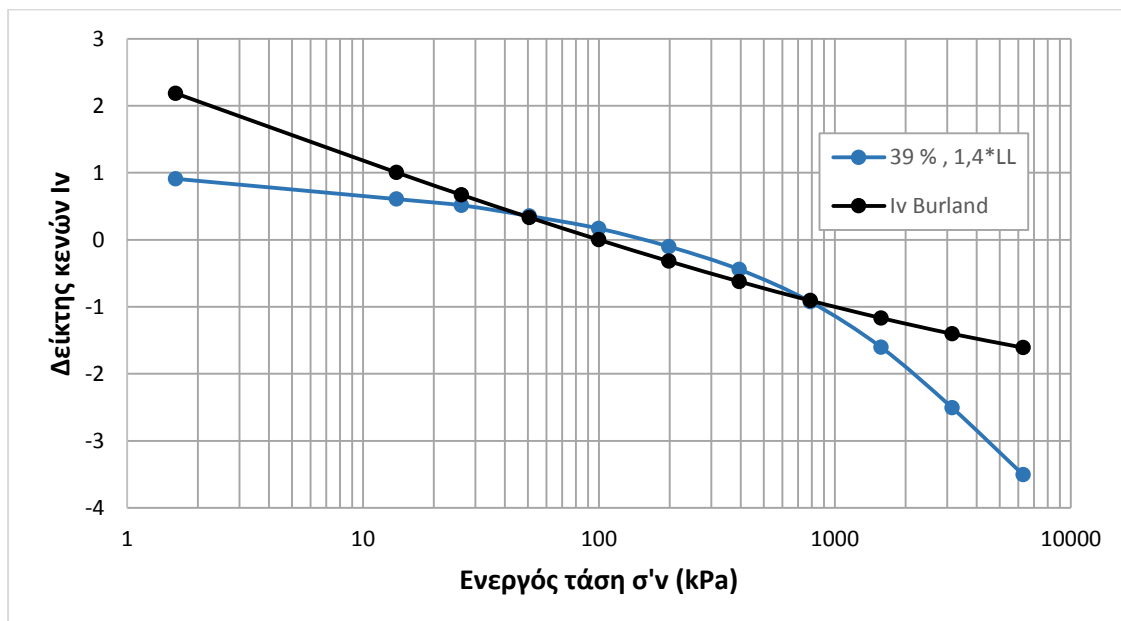


**Σχήμα 4.34** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=33\%$  ,  $1,18*LL$ )

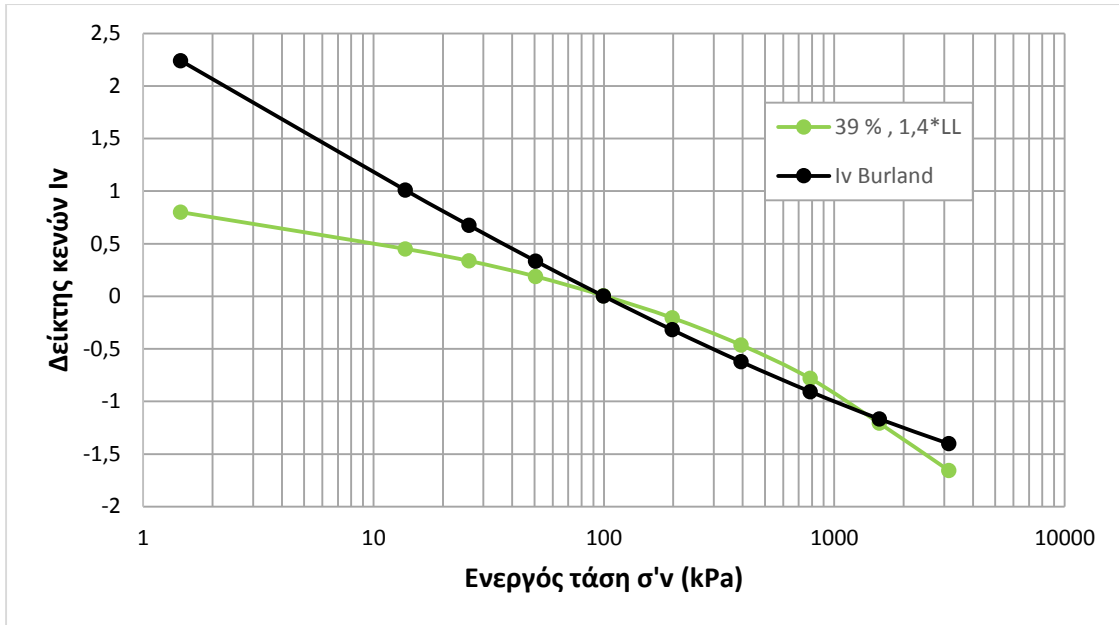


**Σχήμα 4.35** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για τα δυο αναζυμωμένα δείγματα με  $W_0$  : 1,18 και 1,12 \*LL

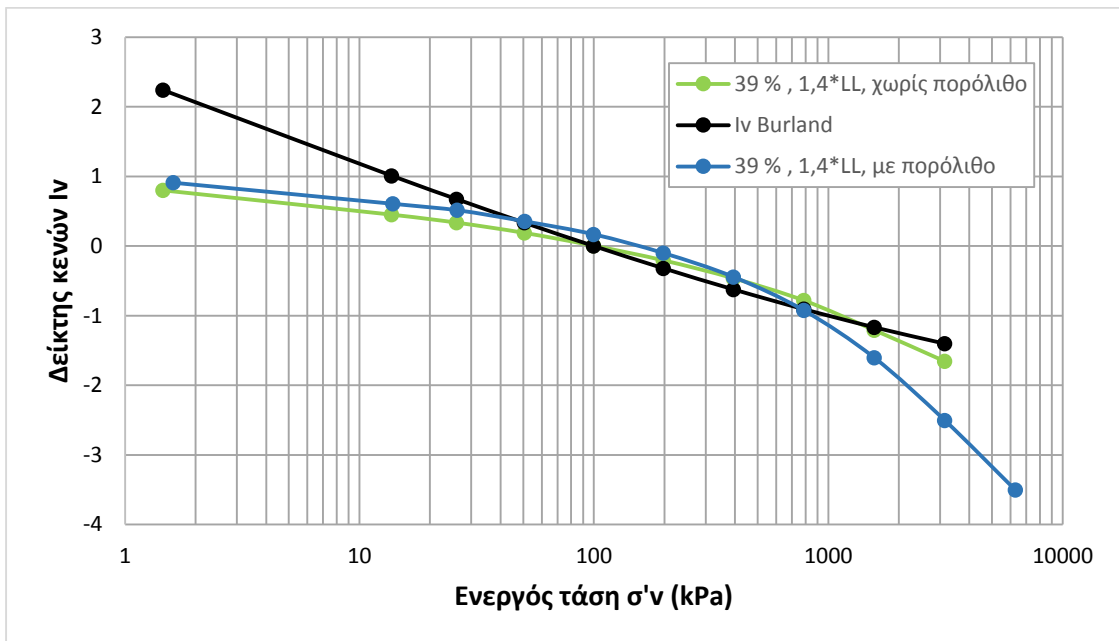
Παρομοίως εμφανίζονται και τα κανονικοποιημένα διαγράμματα ICL των δύο αναζυμωμένων δειγμάτων με την ίδια υγρασία 39% (Σχ.4.36-4.38).



**Σχήμα 4.36** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=39\%$  , 1,4\*LL, με πορόλιθο)



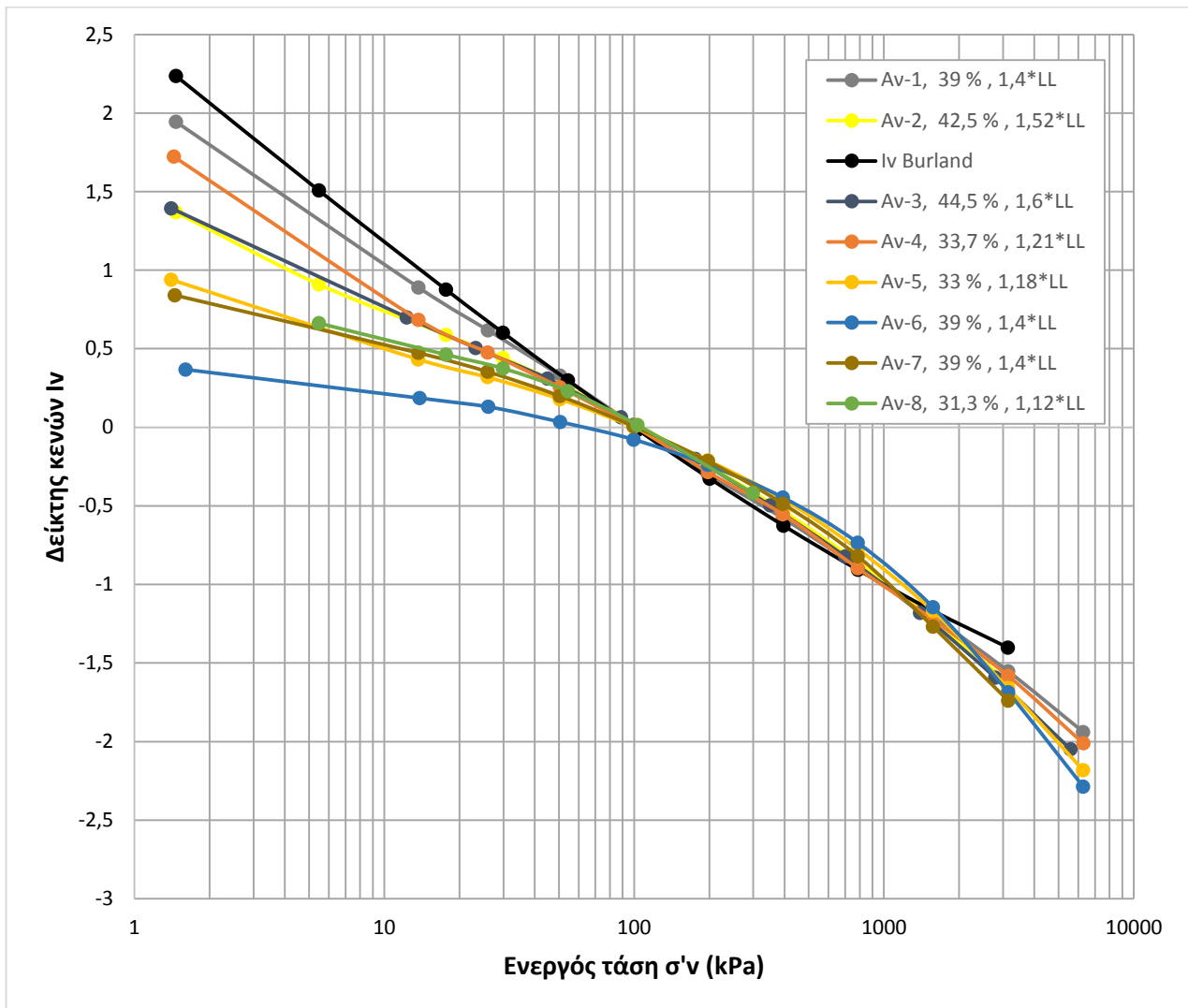
**Σχήμα 4.37** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=39\%$  ,  $1,4*LL$ , χωρίς πορόλιθο)



**Σχήμα 4.38** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για τα δυο αναζυμωμένα με υγρασία 39 % και  $1,4*LL$



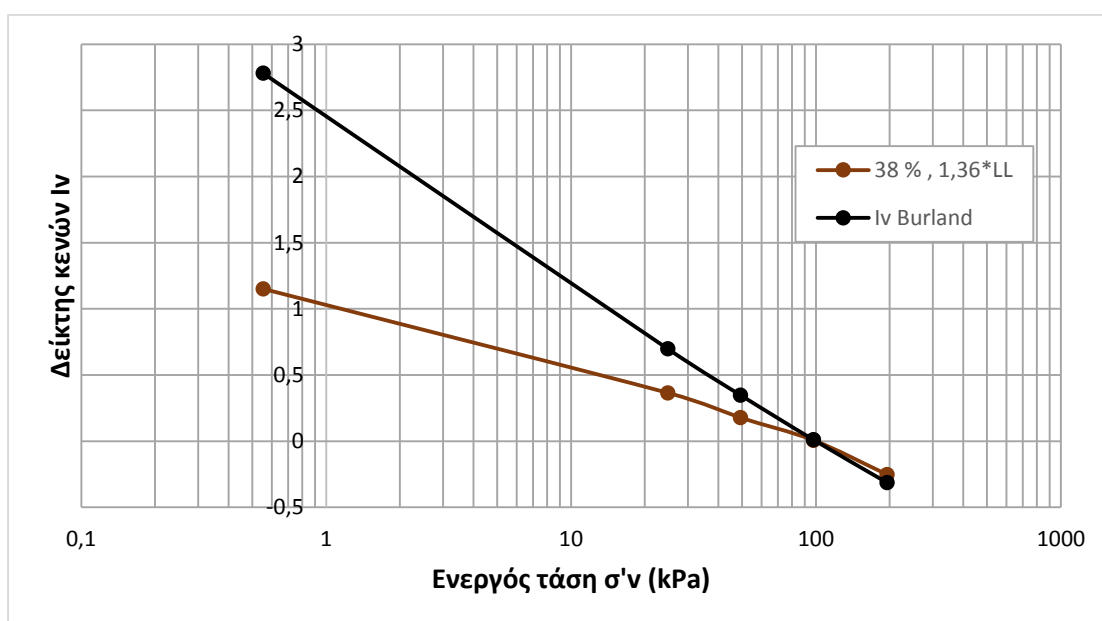
Το συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των δοκιμών αναζημωμένων δοκιμών απεικονίζεται ακριβώς παρακάτω στο Σχήμα 4.39:



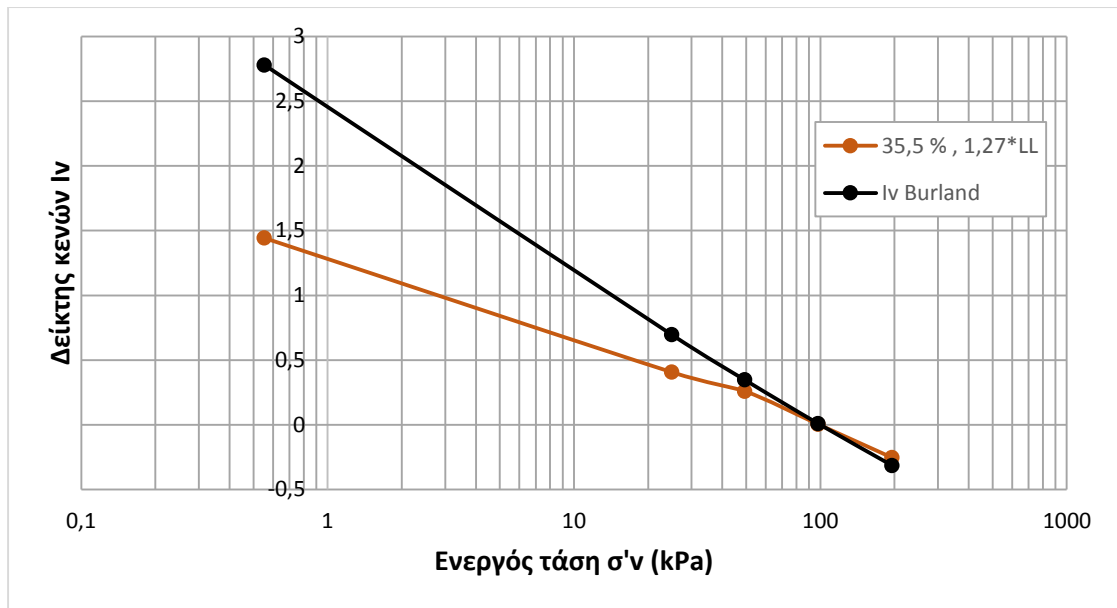
**Σχήμα 4.39** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για όλα τα αναζημωμένα δείγματα Μάργας ( $W_0 : 1,12 - 1,6 *LL$ )

### 4.3.2 Αναζυμωμένα υλικά στο μεγάλο συμπιεσόμετρο

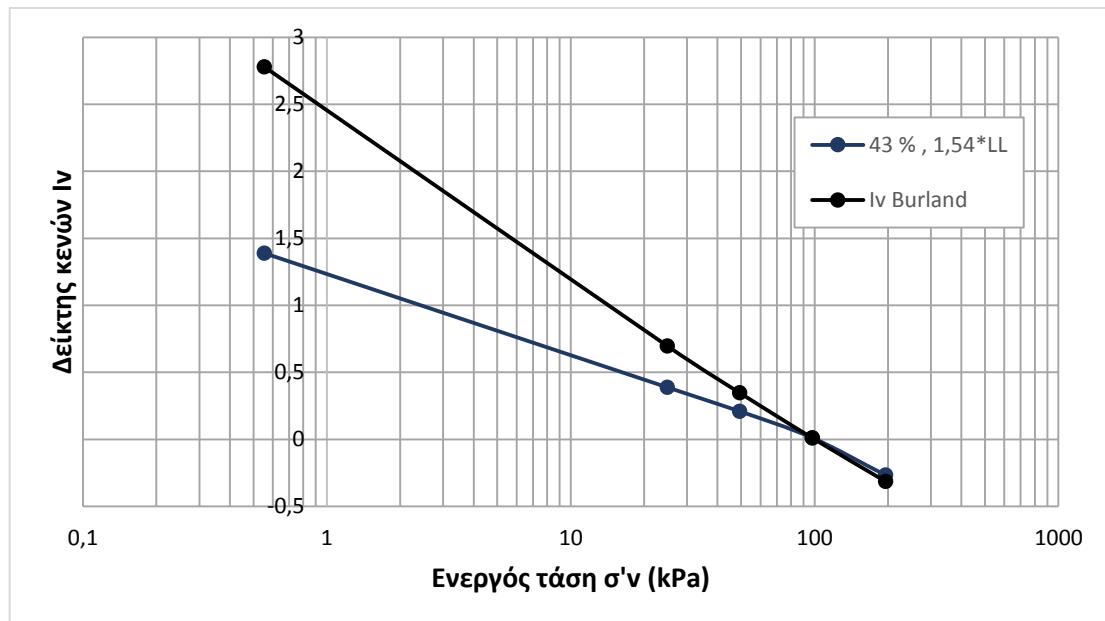
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα διαγράμματα ICL για τα αναζυμωμένα υλικά Μάργας που τοποθετήθηκαν στο μεγάλο συμπιεσόμετρο. Φαίνονται παρακάτω (Σχ.4.40 – 4.43) το καθένα χωριστά καθώς και όλα μαζί σε συγκεντρωτικό διάγραμμα με σκοπό να γίνει η σύγκριση μεταξύ τους. Στα διαγράμματα επίσης έχει σχεδιαστεί και η κανονικοποιημένη καμπύλη του Burland για τυπικές αργίλους.



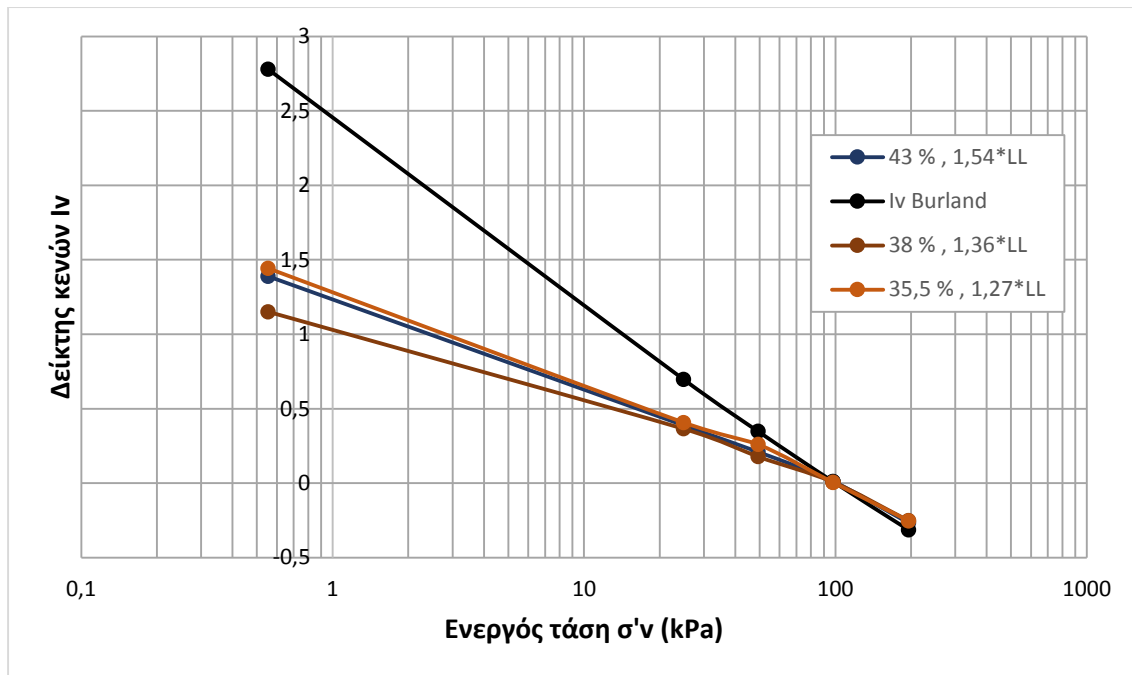
**Σχήμα 4.40** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=38\%$  ,  $1,36*LL$ )



**Σχήμα 4.41** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=35,5\%$  ,  $1,27*LL$ )



**Σχήμα 4.42** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=43\%$  ,  $1,54*LL$ )

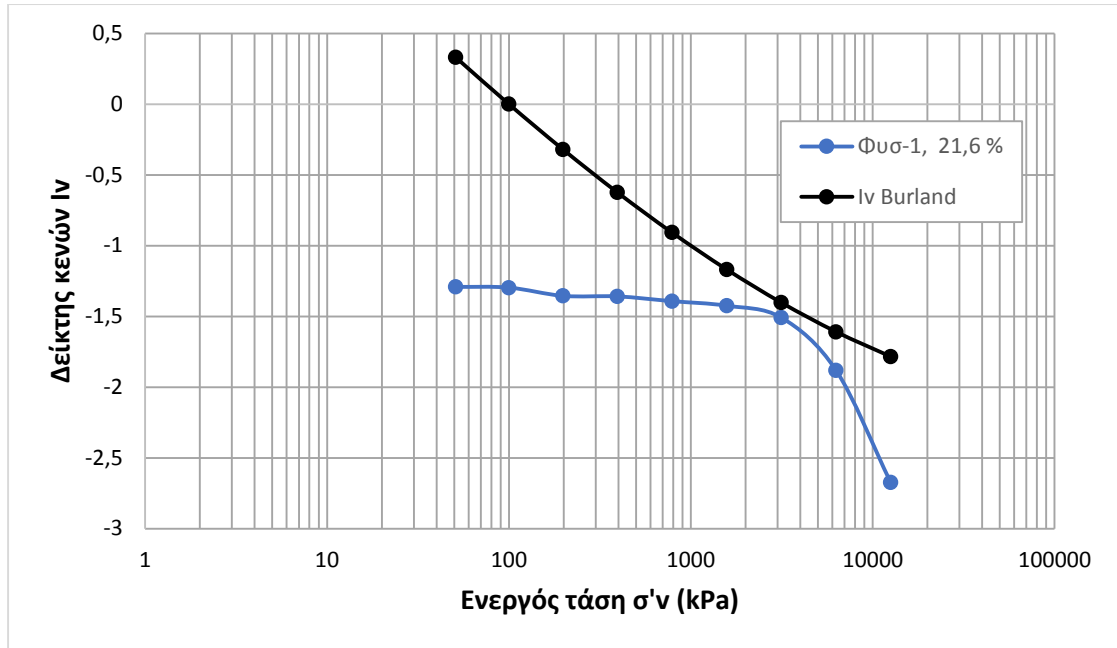


**Σχήμα 4.43** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για τα αναζυμωμένα στο μεγάλο συμπιεσόμετρο ( $W_0 : 1,27 - 1,54 *LL$ )

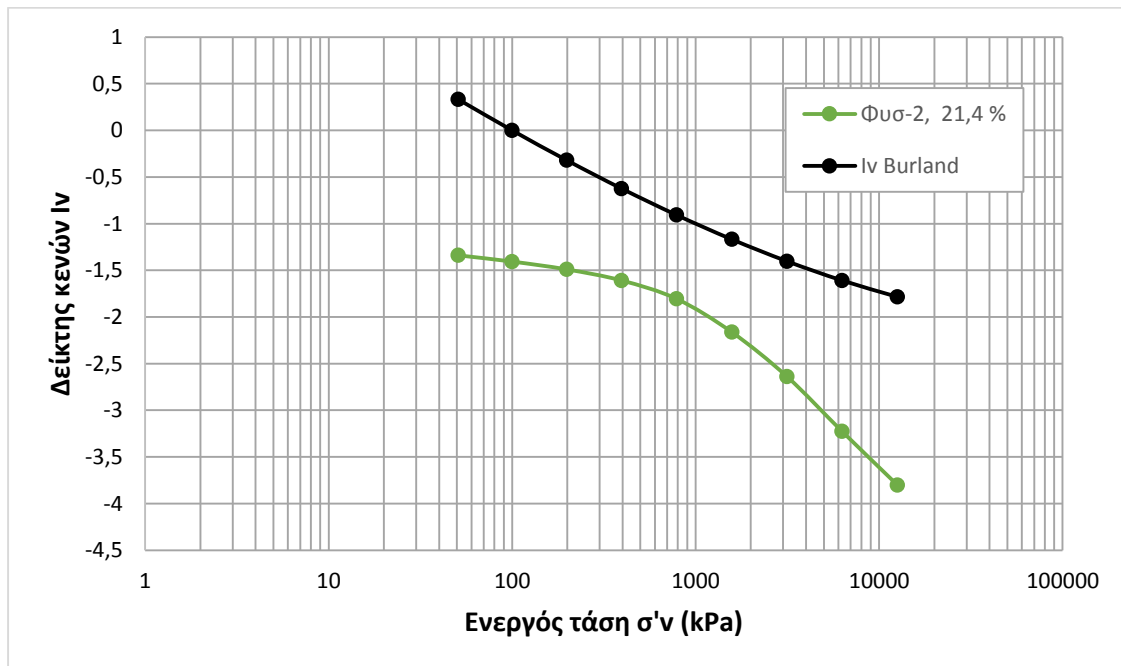
#### 4.3.3 Φυσικά δείγματα

Τα διαγράμματα στερεοποίησης των φυσικών δειγμάτων κανονικοποιήθηκαν και αυτά όπως και τα αναζυμωμένα. Οι τιμές  $e_{100}$  και  $e_{1000}$  λήφθηκαν ίδιες και σταθερές για όλα τα φυσικά δοκίμια, και πάρθηκαν από μία αντιπροσωπευτική τυπική δοκιμή αναζυμωμένου υλικού με υγρασία  $W_0=39\%$  (Σχήμα 4.18) με τιμές  $e_{100}=0,736$  και  $e_{1000}=0,616$ . Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν στην κανονικοποίηση και των πέντε φυσικών δοκιμών, ώστε να γίνει η σύγκρισή τους με την κανονικοποίηση των αναζυμωμένων υλικών.

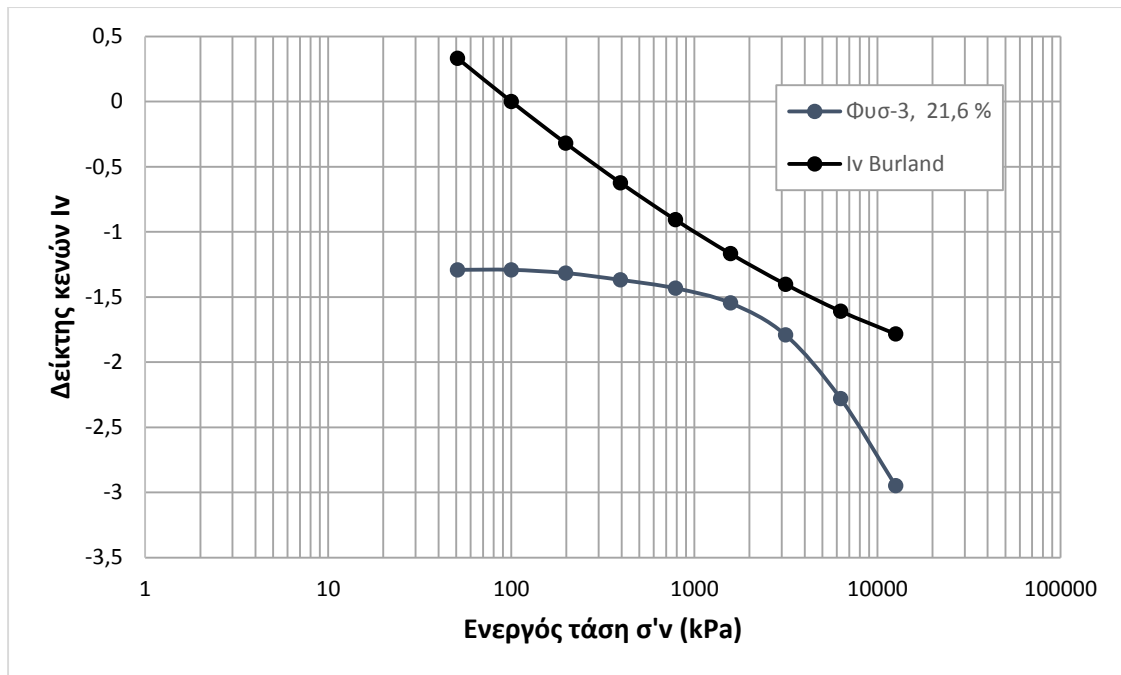
Παρακάτω φαίνονται τα κανονικοποιημένα διαγράμματα στερεοποίησης των πέντε δοκιμών συμπιεσομέτρου πάνω σε φυσικά δοκίμια (Σχ.4.44 – 4.48). Στο τέλος απεικονίζεται και ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα με όλες τις καμπύλες μαζί (Σχήμα 4.49).



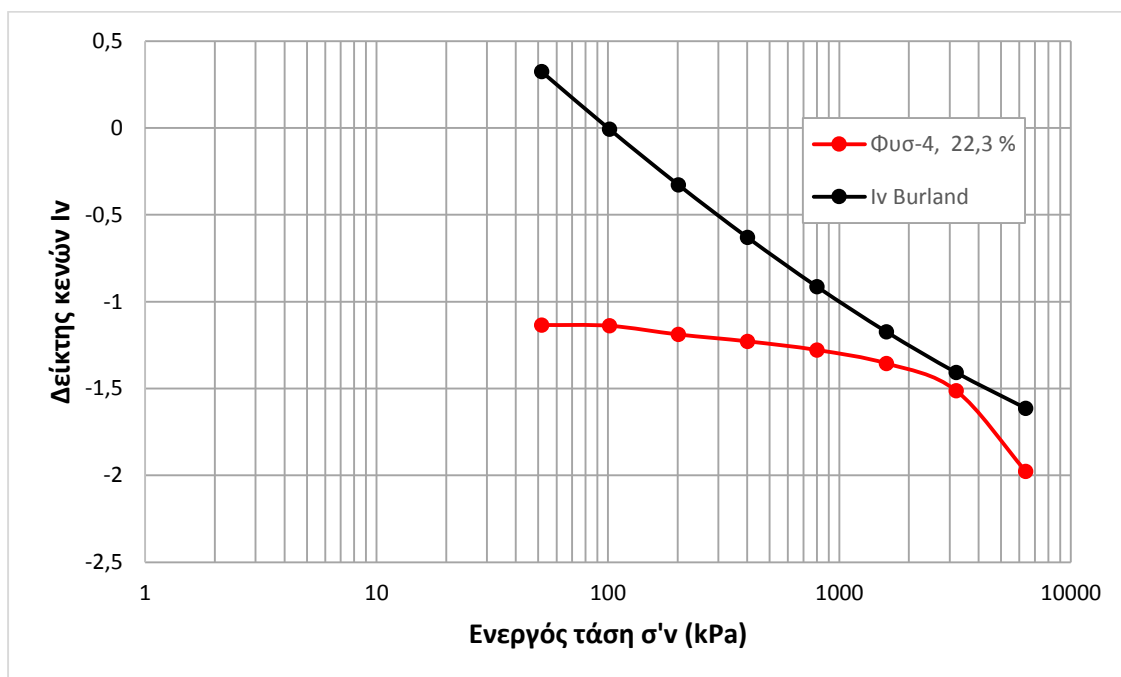
Σχήμα 4.44 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (φυσικό,  $W_0=21,6\%$ )



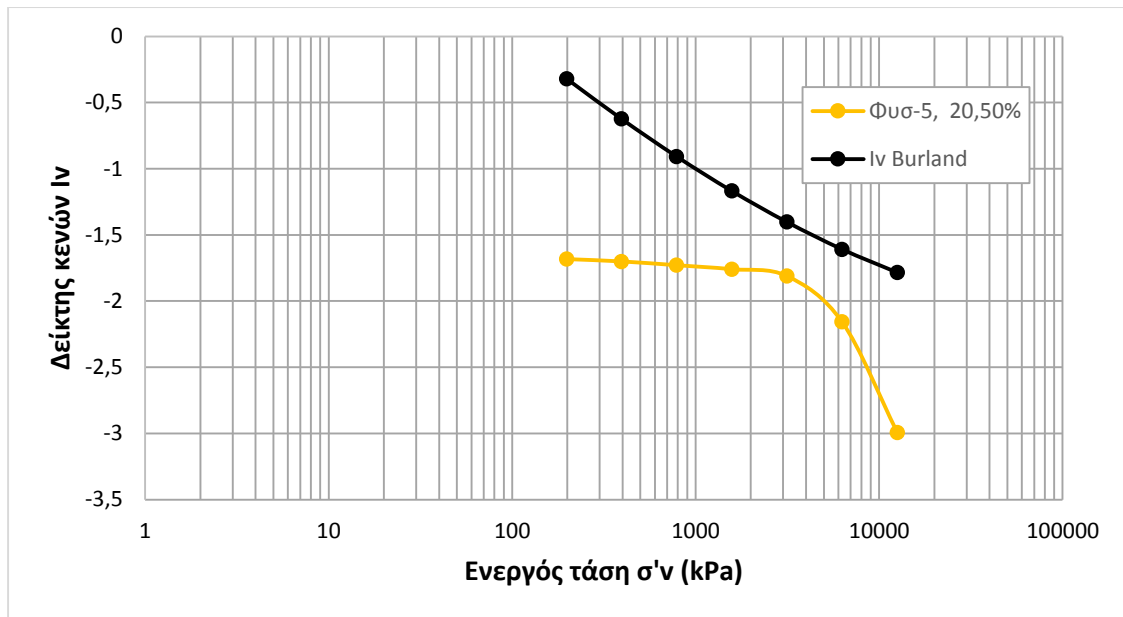
Σχήμα 4.45 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (φυσικό,  $W_0=21,4\%$ )



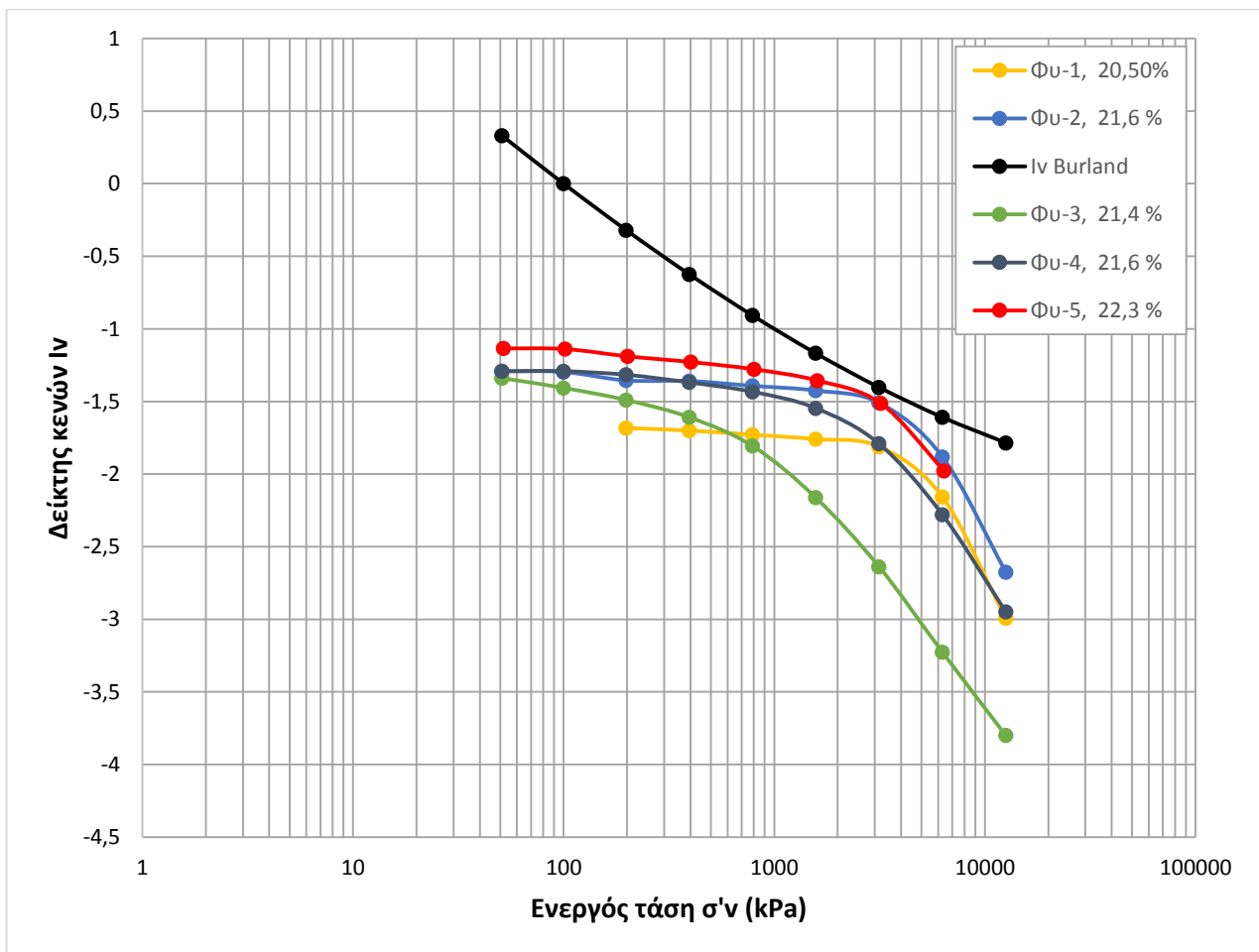
Σχήμα 4.46 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (φυσικό,  $W_0=21,6\%$ )



Σχήμα 4.47 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (φυσικό,  $W_0=22,3\%$ )



Σχήμα 4.48 Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (φυσικό,  $W_0=20,5\%$ )



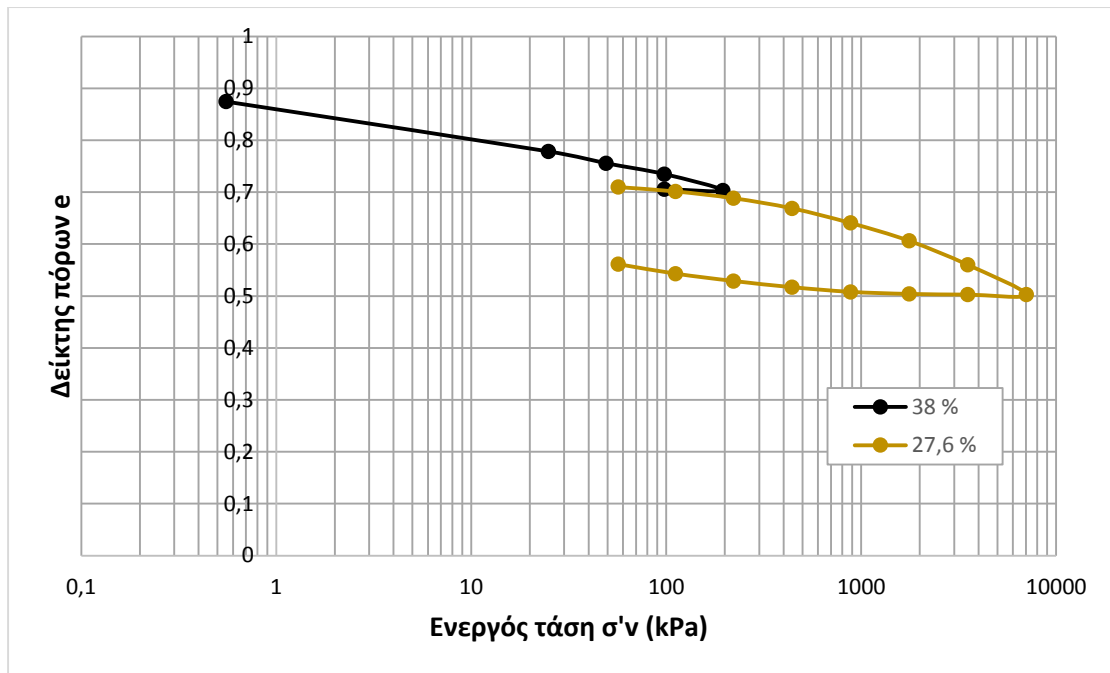
Σχήμα 4.49 Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για όλα τα φυσικά δείγματα Μάργας ( $W_0 : 20,5 - 22,3 \%$ )

#### **4.4 Επεξεργασία καμπυλών στερεοποίησης – Συνδιαστικά διαγράμματα**

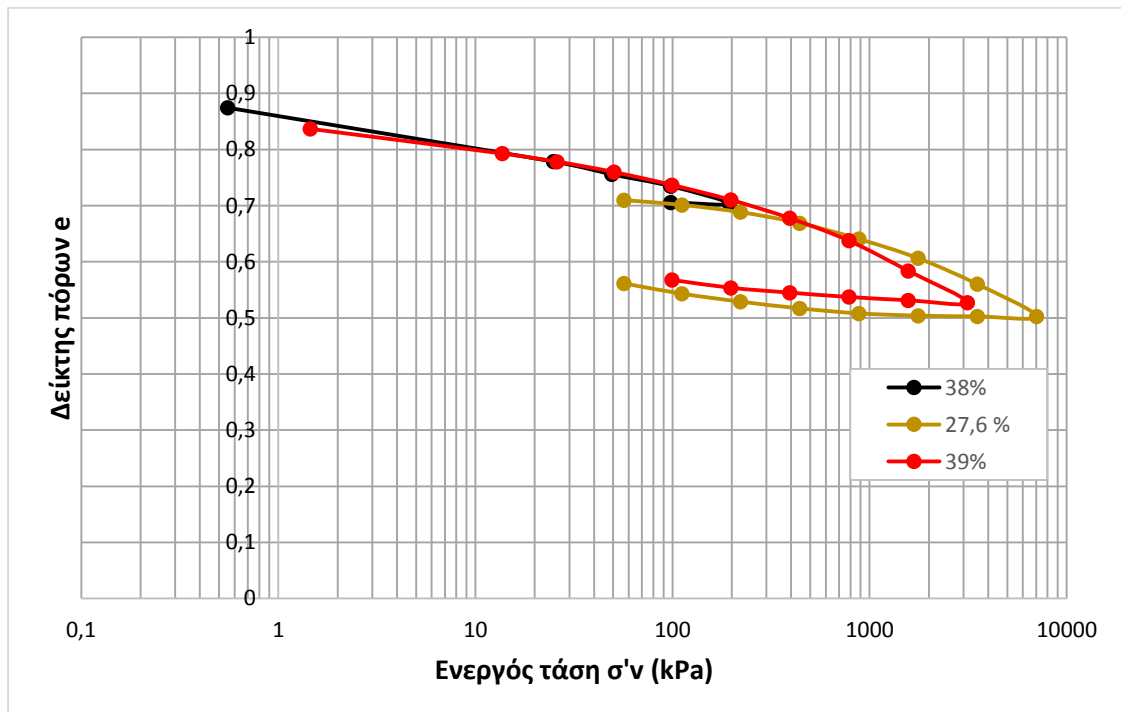
Στη συνέχεια παρουσιάζονται διάφορα συνδιαστικά διαγράμματα μεταξύ φυσικών και αναζυμωμένων δειγμάτων. Τα διαγράμματα αυτά περιλαμβάνουν καμπύλες στερεοποίησης αναζυμωμένου υλικού στο μεγάλο συμπιεσόμετρο μαζί με καμπύλες προστερεοποιημένων δοκιμίων και καμπύλες στερεοποίησης πάλι από το μεγάλο συμπιεσόμετρο μαζί με καμπύλες στερεοποίησης αναζυμωμένων δειγμάτων με την ίδια υγρασία στα κανονικά συμπιεσόμετρα.

Αφού σχεδιαστούν τα διαγράμματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα ελεγχθούν αν είναι ορθά και κατά πόσο τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο έδωσαν ορθά αποτελέσματα. Πιο αναλυτικά, θα πρέπει οι καμπύλες αναζυμωμένων υλικών στο μεγάλο συμπιεσόμετρο αλλά και στα κανονικά συμπιεσόμετρα παρόμοιας υγρασίας να ξεκινούν μαζί και να συμπίπτουν. Στην άλλη περίπτωση οι καμπύλες προστερεοποιημένων δειγμάτων θα πρέπει να ακολουθούν κατά κάποιο τρόπο τις καμπύλες στερεοποίησης των αναζυμωμένων στο μεγάλο συμπιεσόμετρο, καθώς πρόκειται για τη συνέχεια στερεοποίησης του ίδιου υλικού. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, μόλις το υλικό στο μεγάλο συμπιεσόμετρο στερεοποιηθεί, κόβεται σε μικρότερα δοκίμια και έτσι προκύπτουν τα λεγόμενα προστερεοποιημένα δοκίμια. Πιο κάτω φαίνονται τα διαγράμματα για τα οποία θα γίνει σχολιασμός και ανάλυση σε επόμενο κεφάλαιο.

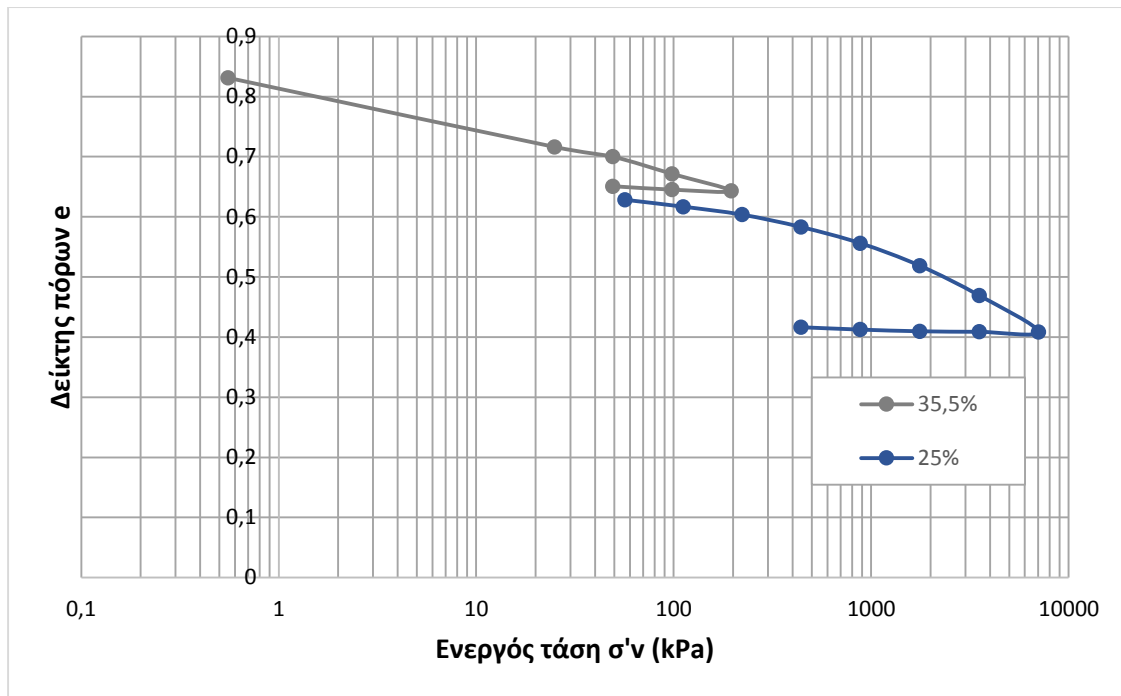




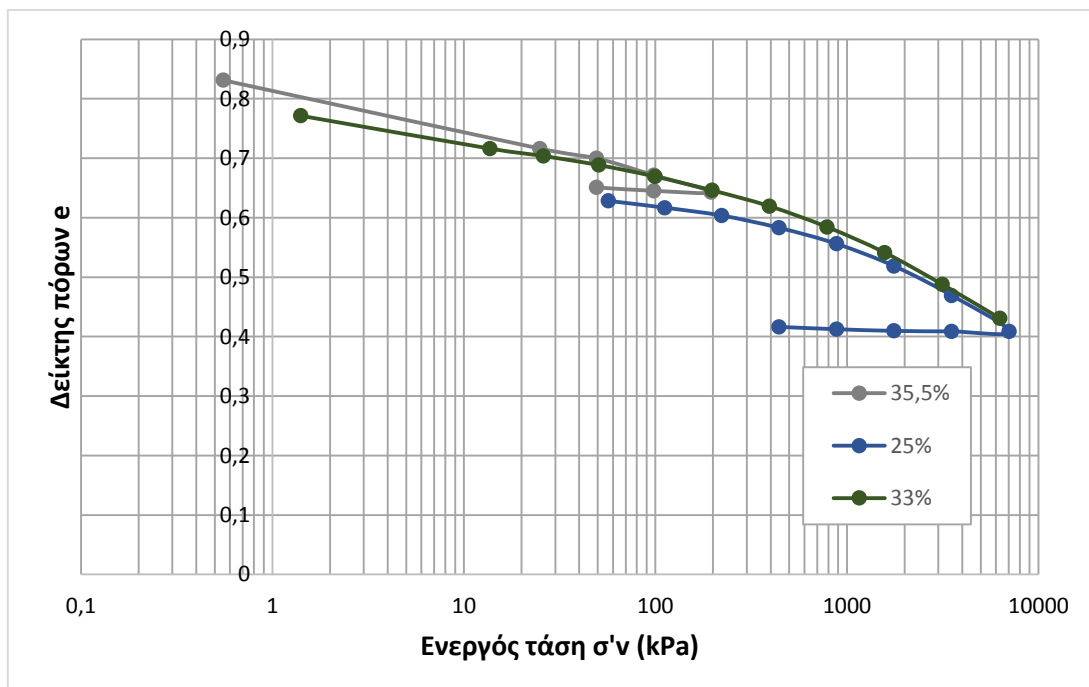
**Σχήμα 4.50** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 38% και προστεροποιημένο δοκίμιο με 27,6%



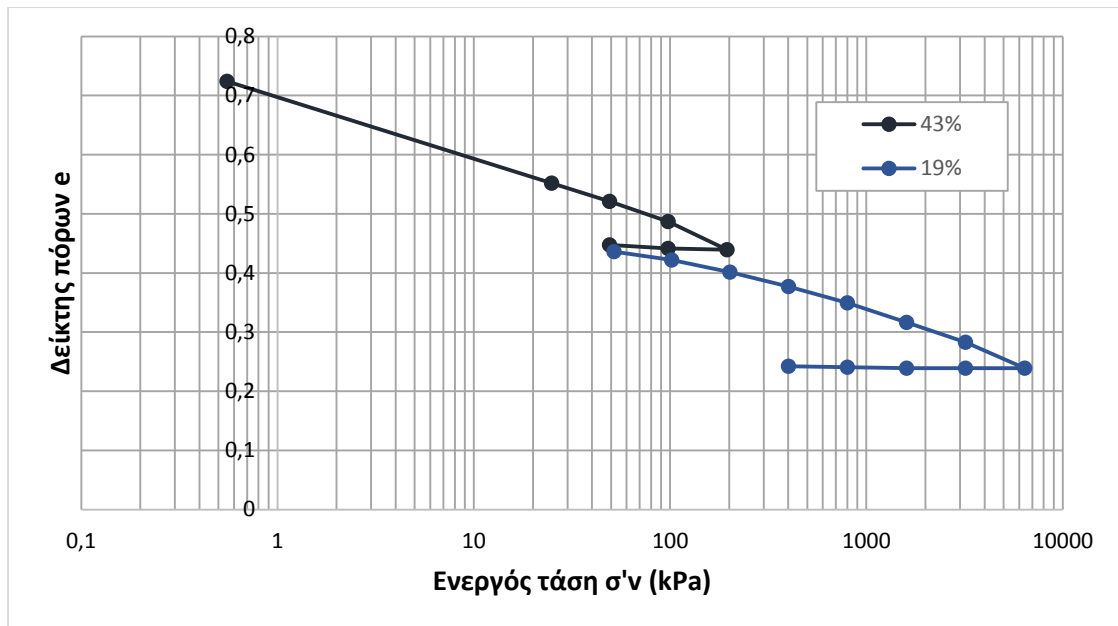
**Σχήμα 4.51** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 38%, προστεροποιημένου δοκίμιο με 27,6% και αναζυμωμένου σε κανονικό συμπιεσόμετρο με 39%



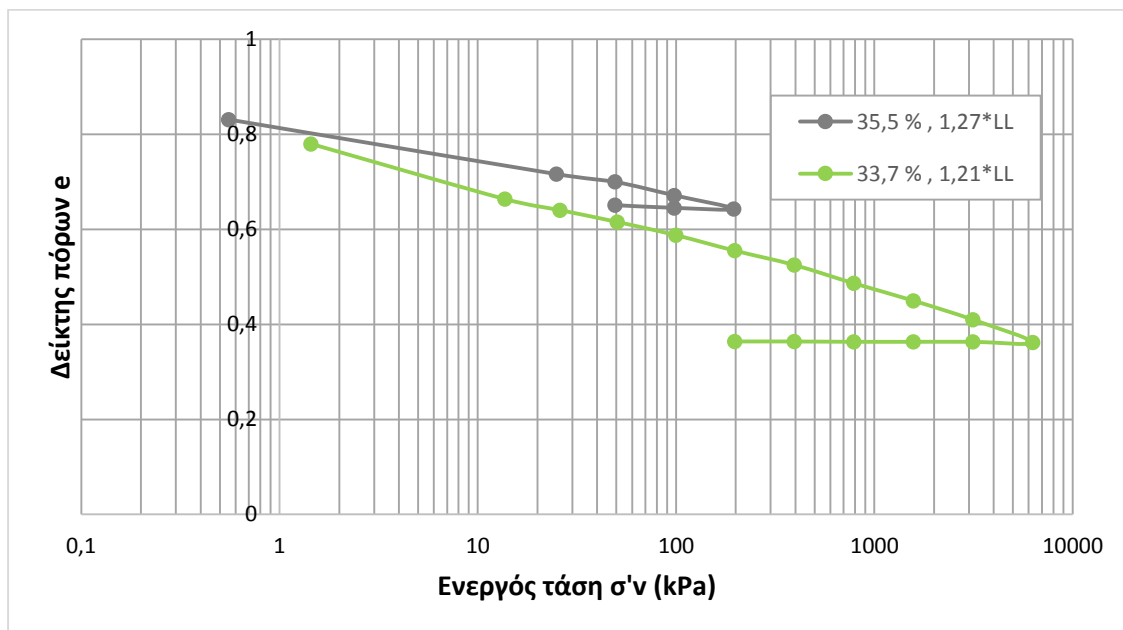
**Σχήμα 4.52** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 35,5% και προστερεοποιημένο δοκίμιο με 25%



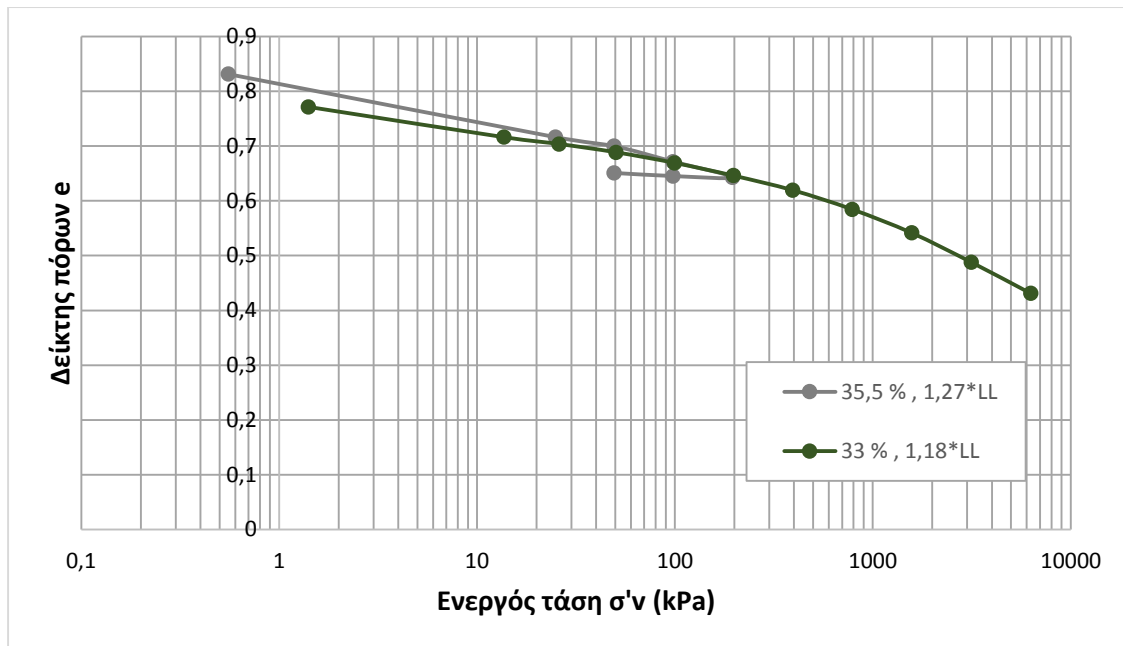
**Σχήμα 4.53** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 35,5%, προστερεοποιημένου δοκίμιου με 25% και αναζυμωμένου σε κανονικό συμπιεσόμετρο με 33%



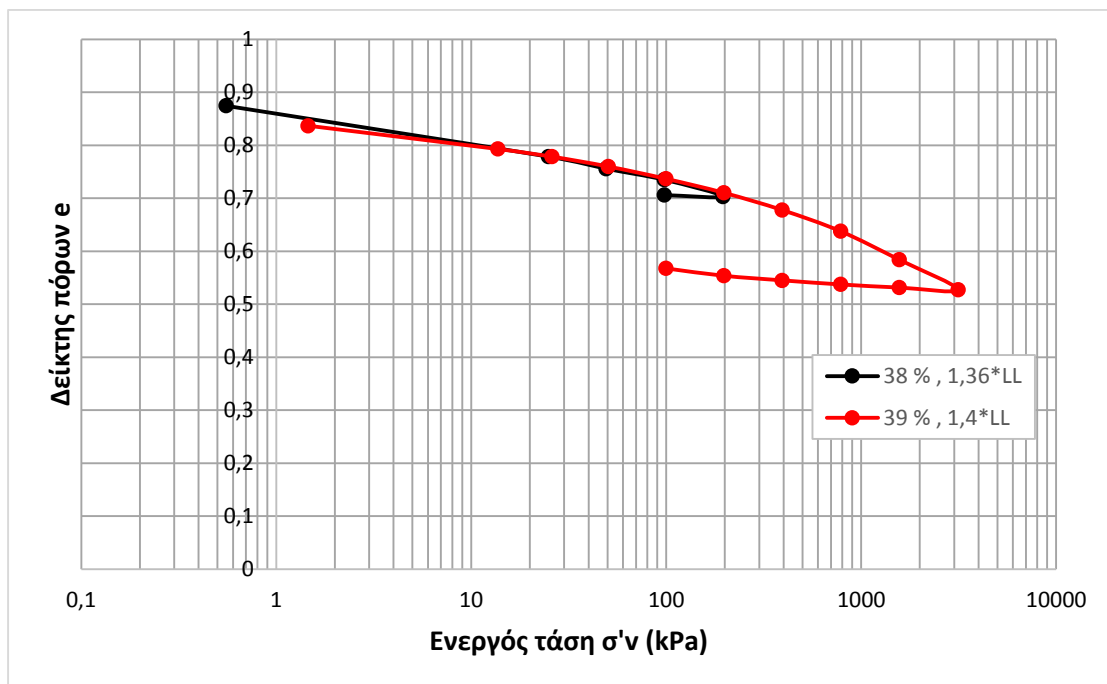
**Σχήμα 4.54** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 43% και προστερεοποιημένο δοκίμιο με 19%



**Σχήμα 4.55** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 35,5% και αναζυμωμένο δοκίμιο με 33,7%



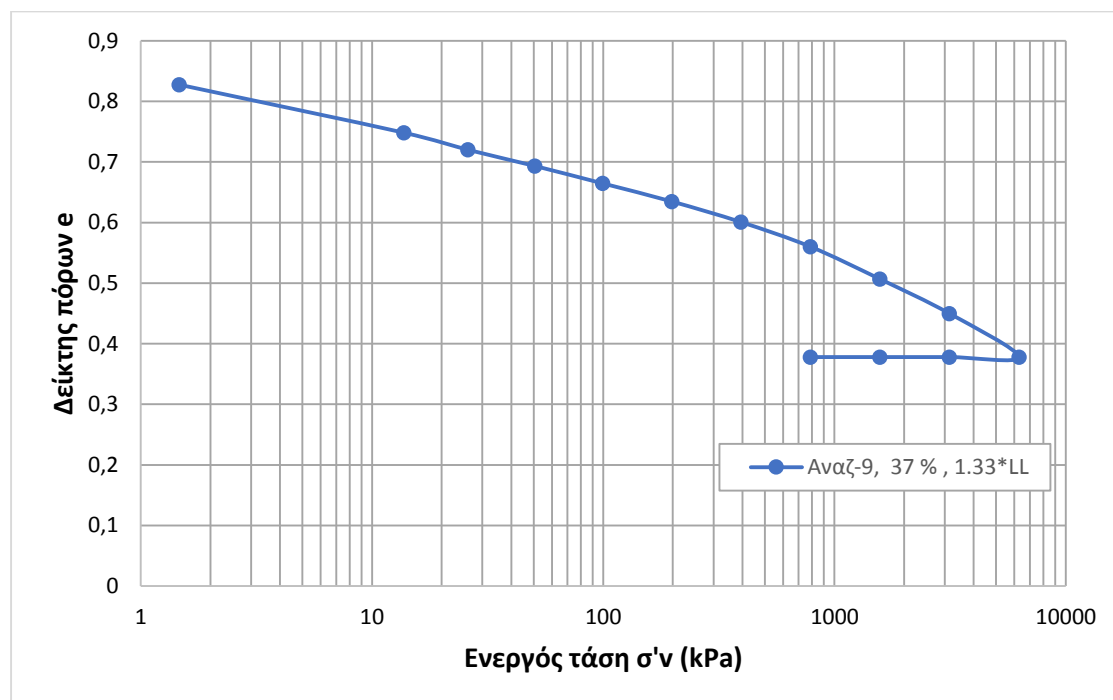
**Σχήμα 4.56** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 35,5% και αναζυμωμένο δοκίμιο με 33%



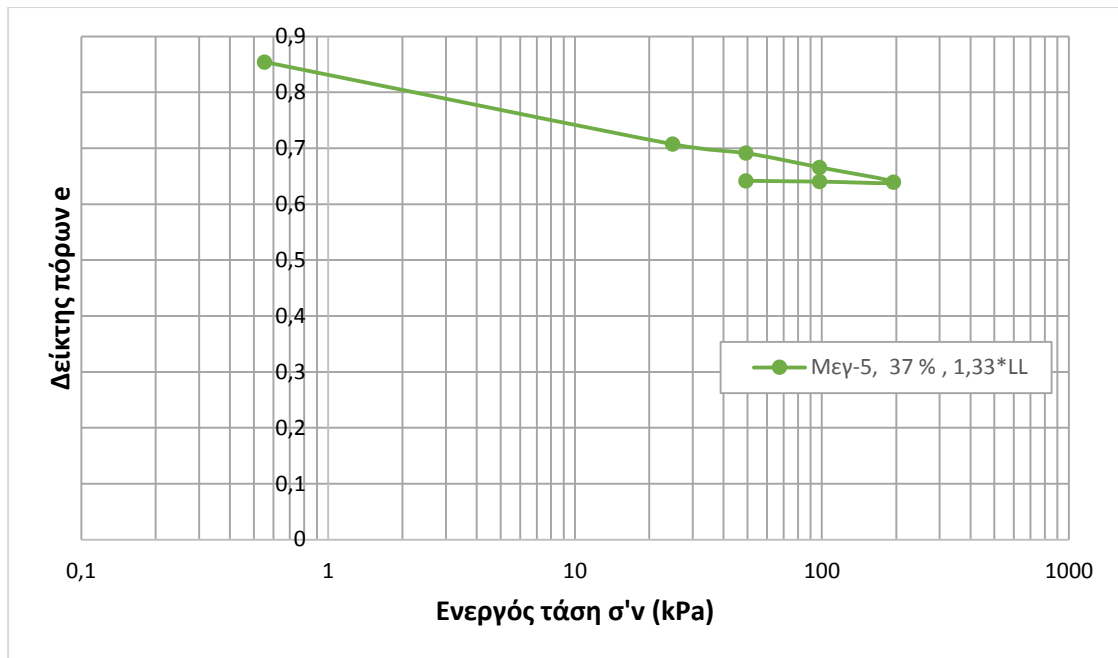
**Σχήμα 4.57** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 38% και αναζυμωμένο δοκίμιο με 39%

Μετά το τέλος όλων των δοκιμών μονοδιάστατης στερεοποίησης που πραγματοποιήθηκαν πάνω σε Μάργα Κορίνθου, σειρά είχαν άλλες δύο τελευταίες δοκιμές που έγιναν σε αναζυμωμένο δείγμα Μάργας. Το ένα δείγμα τοποθετήθηκε στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και δέχθηκε μέγιστη τάση 200kPa ενώ το δεύτερο δείγμα τοποθετήθηκε σε κανονικό συμπιεσόμετρο με μέγιστη κατακόρυφη τάση 6300kPa. Και τα δύο δοκίμια είχαν αρχική υγρασία 37%, που σημαίνει πως οι καμπύλες στερεοποίησής τους θα πρέπει να συμπίπτουν από την αρχή του διαγράμματος.

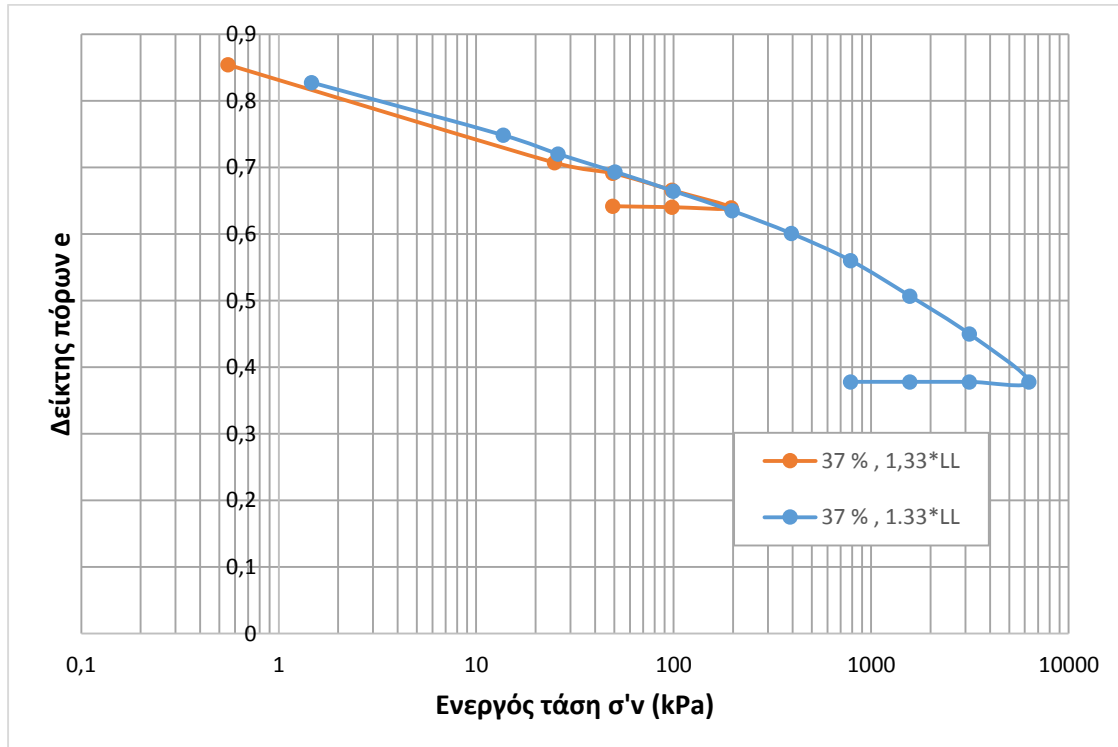
Παρακάτω φαίνονται όλα τα σχετικά διαγράμματα των δύο τελευταίων δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν (Σχήματα 4.58 – 4.62).



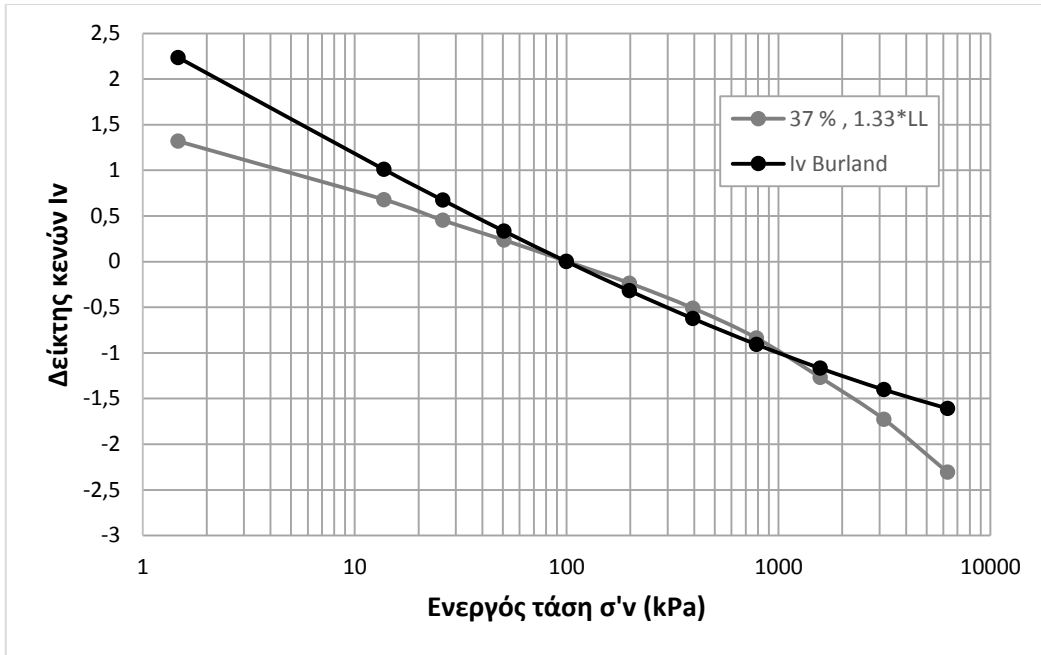
**Σχήμα 4.58** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=37\%$ ,  $1,33*LL$ )



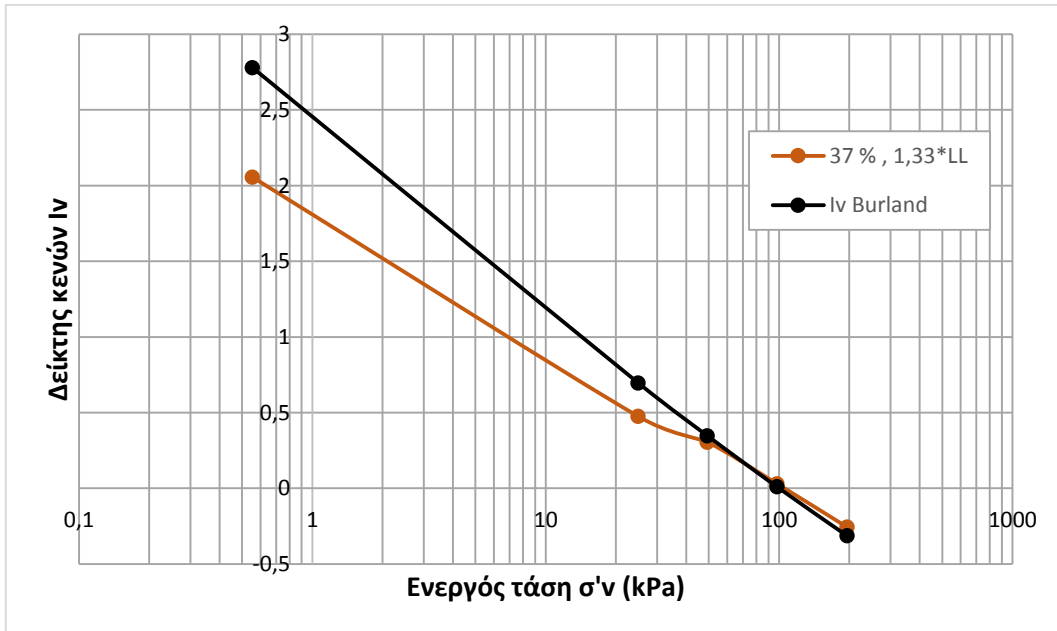
**Σχήμα 4.59** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=37\%$ ,  $1,33*LL$ )



**Σχήμα 4.60** Καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου σε μεγάλο συμπιεσόμετρο με υγρασία 37% και αναζυμωμένο δοκίμιο με 37%

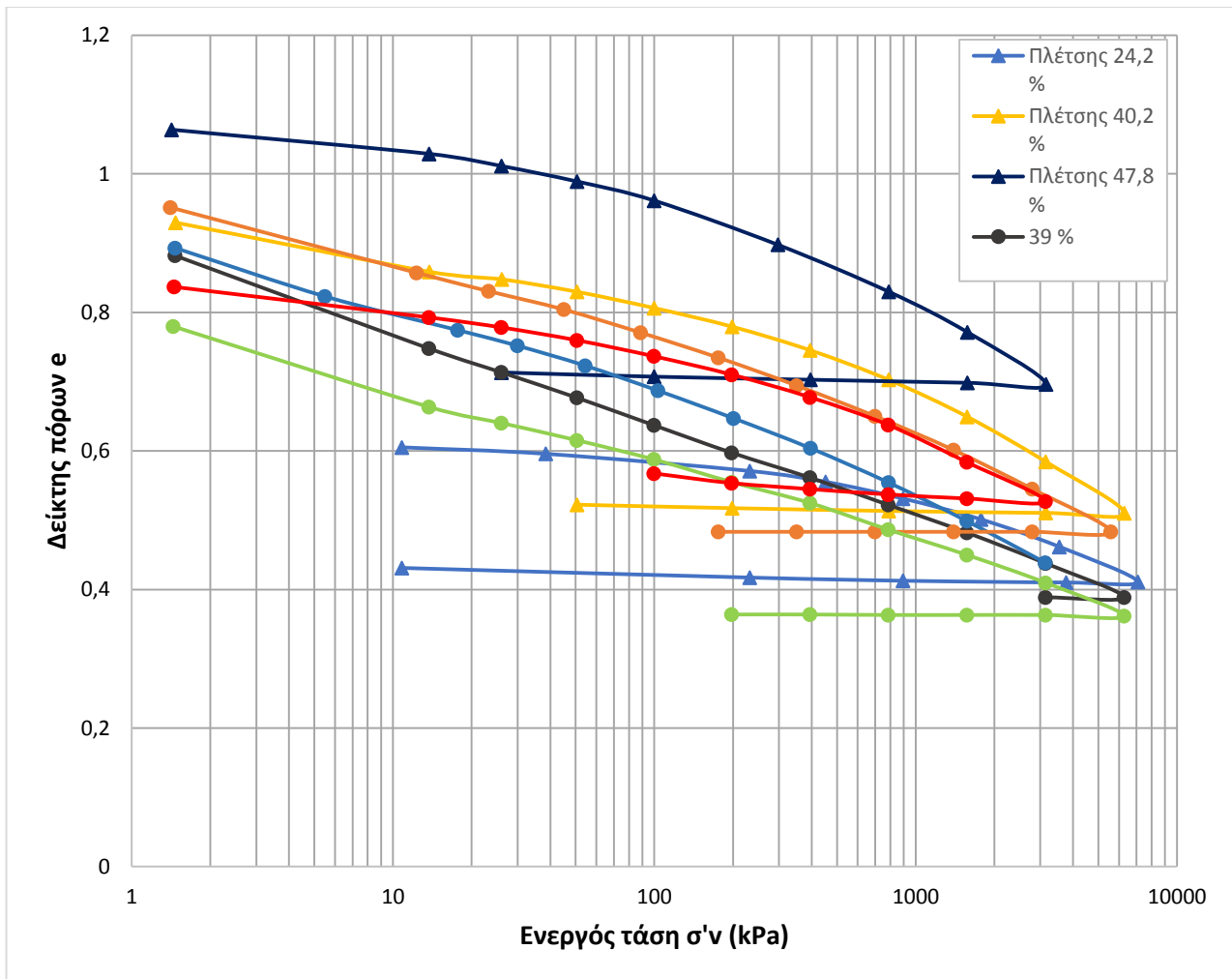


**Σχήμα 4.61** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=37\%$  ,  $1,33*LL$ )



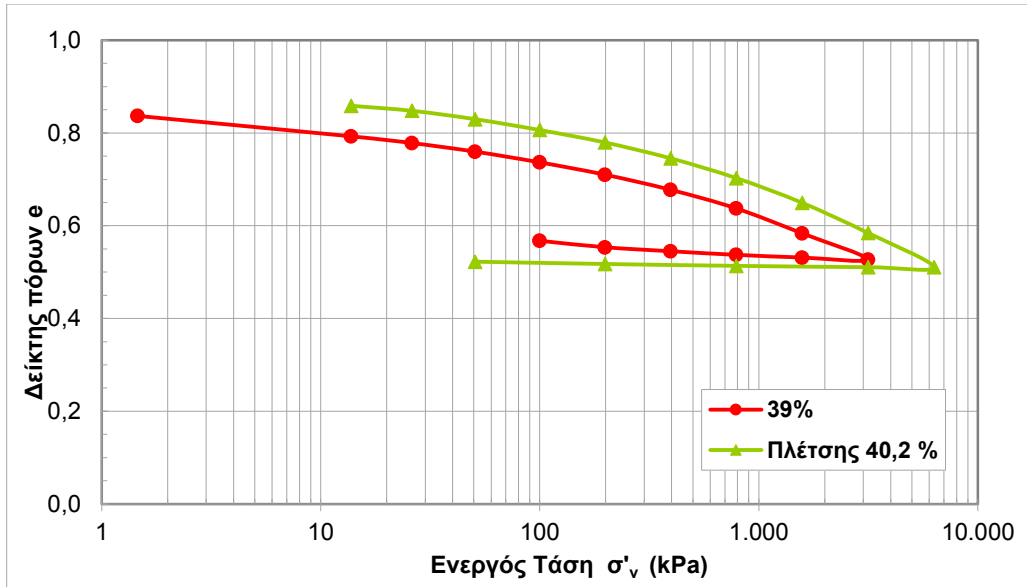
**Σχήμα 4.62** Κανονικοποιημένη καμπύλη ICL (αναζυμωμένο,  $W_0=37\%$  ,  $1,33*LL$ )

Αμέσως μετά παρουσιάζονται διαγράμματα με καμπύλες στερεοποίησης αναζυμωμένων υλικών από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο και από τη Διπλωματική Εργασία του Πλέτση Σ.Κ. (2007) μαζί, προκειμένου να γίνει η σύγκριση μεταξύ τους.

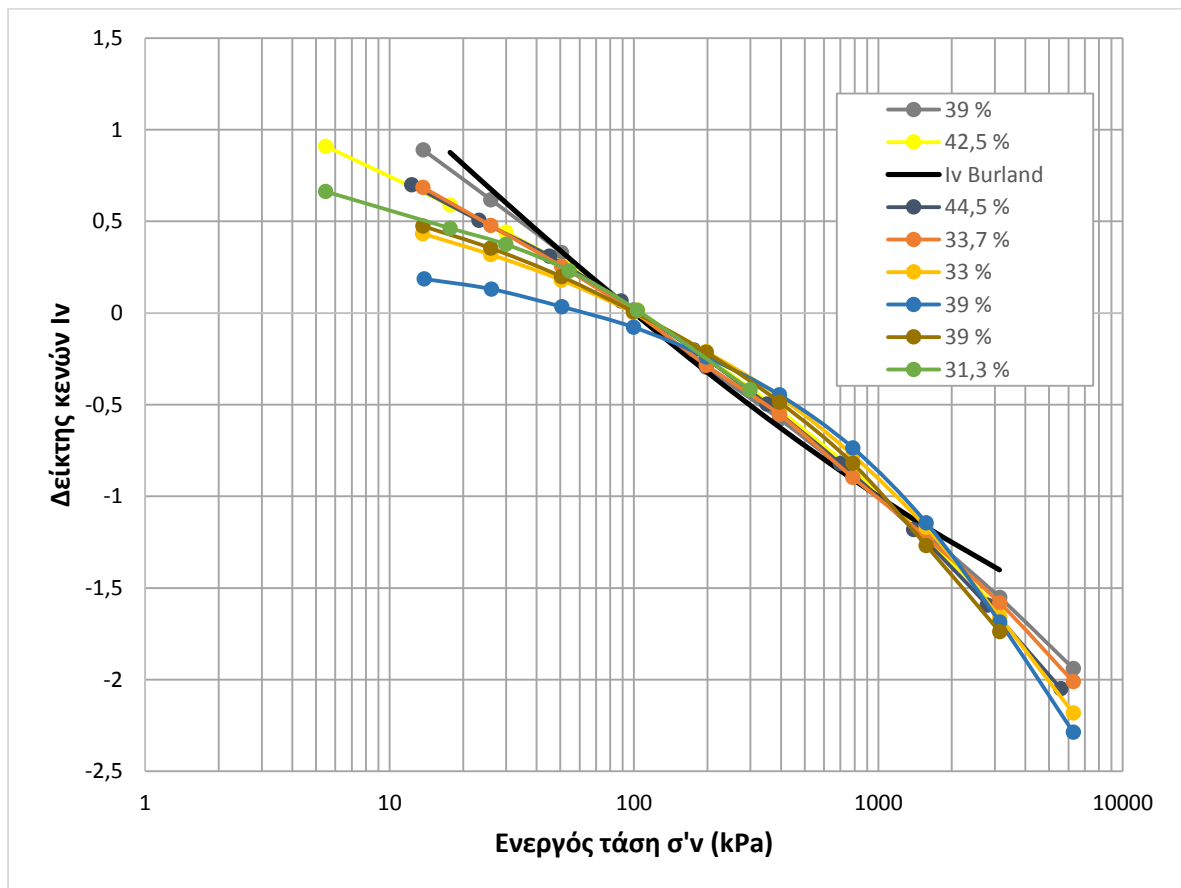


**Σχήμα 4.63** Πειραματικές καμπύλες στερεοποίησης για αναζυμωμένα δείγματα Μάργας και αναζυμωμένα δείγματα Πλέτση (2007)

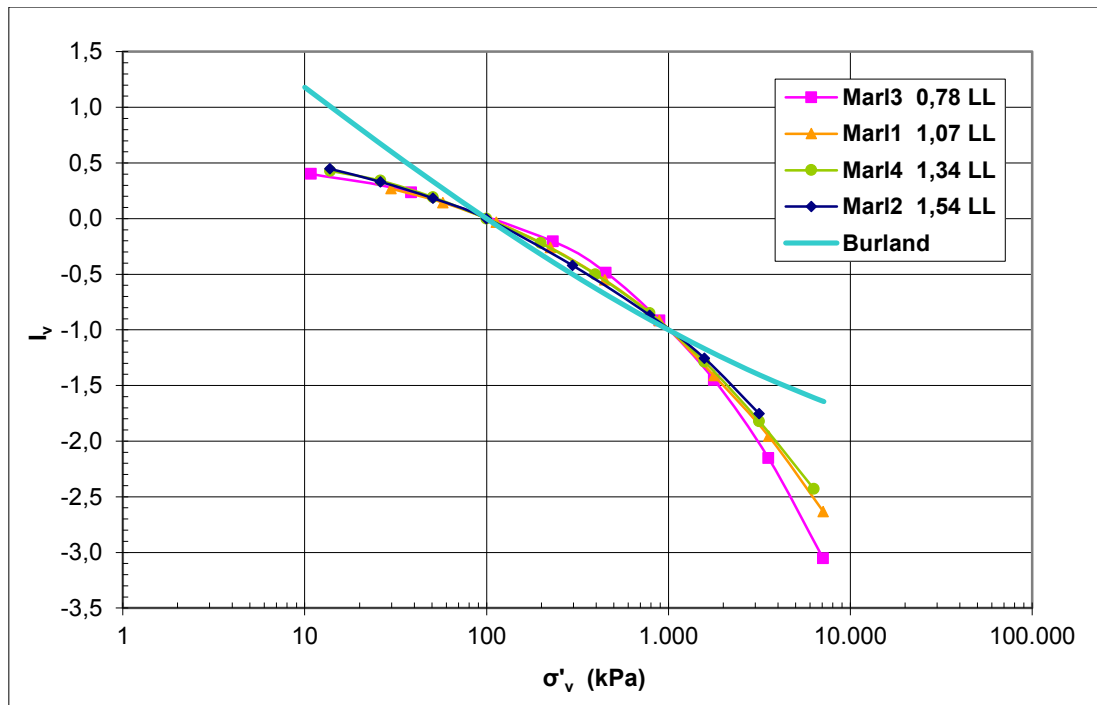




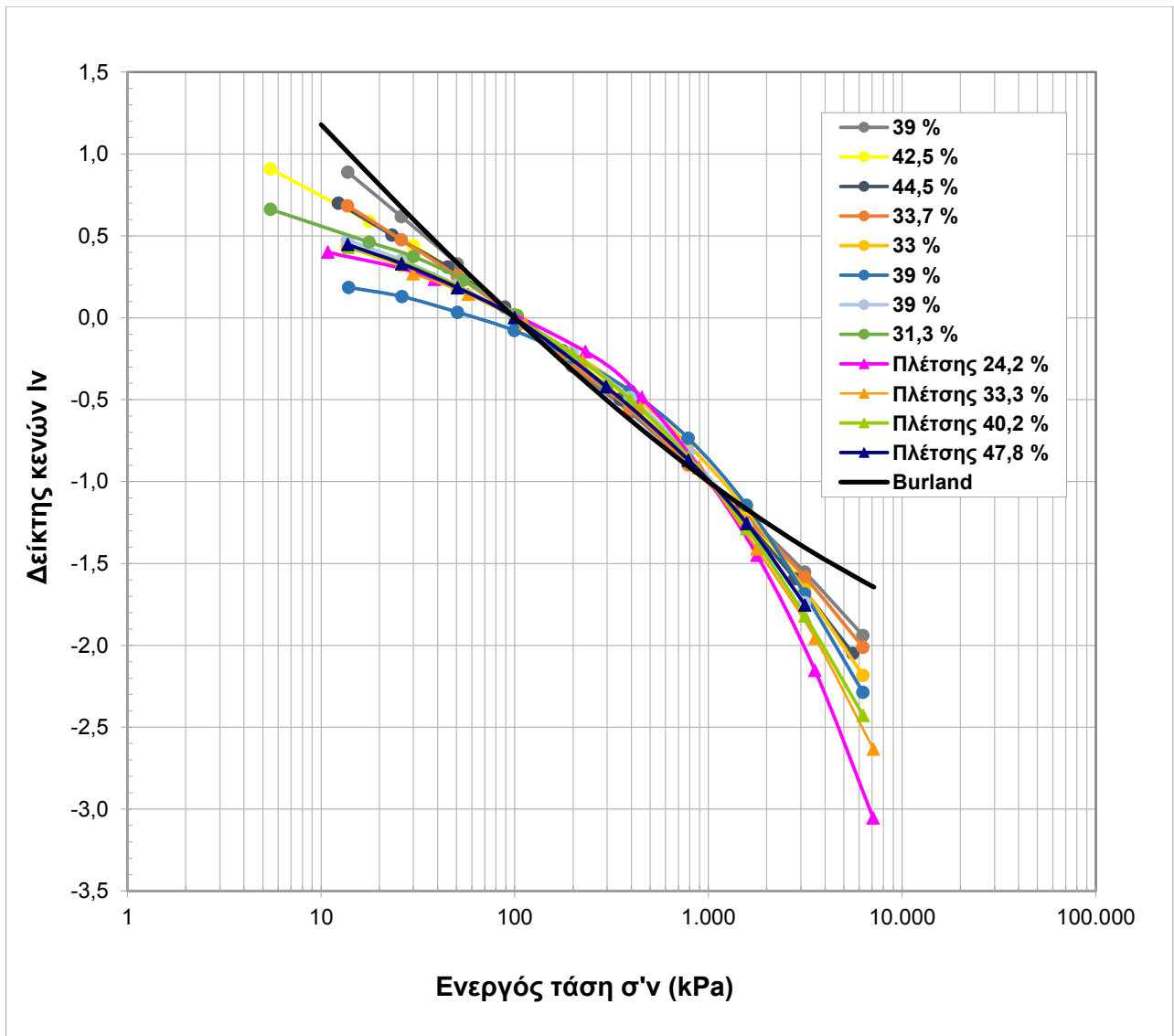
**Σχήμα 4.64** Πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (αναζυμωμένο,  $W_0=39\%$ ) και αναζυμωμένο Πλέτση με 40,2 %



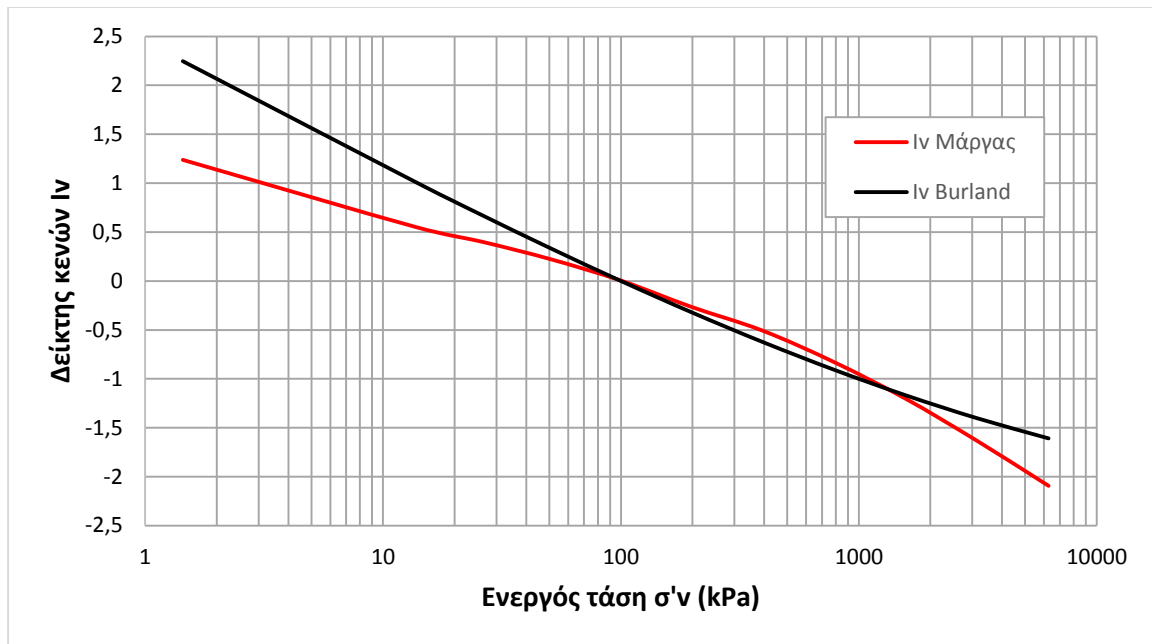
**Σχήμα 4.65** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για όλα τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας ( $W_0 : 1,12 - 1,6 *LL$ )



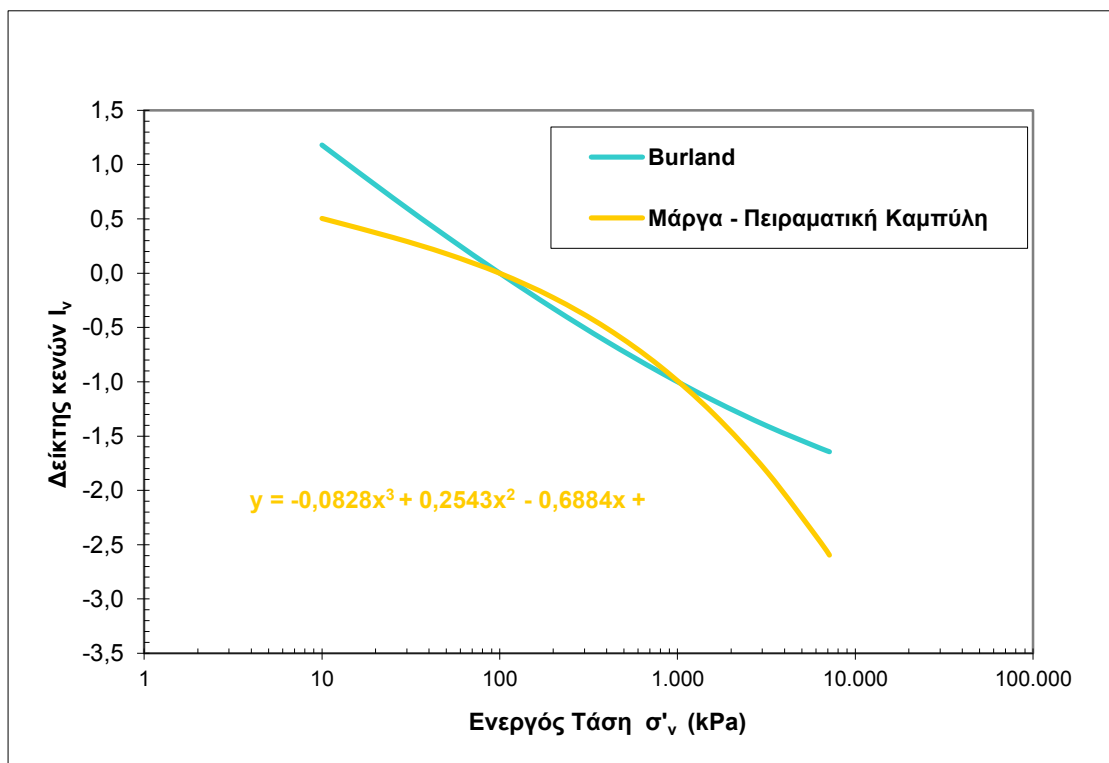
**Σχήμα 4.66** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας Πλέτση (2007)



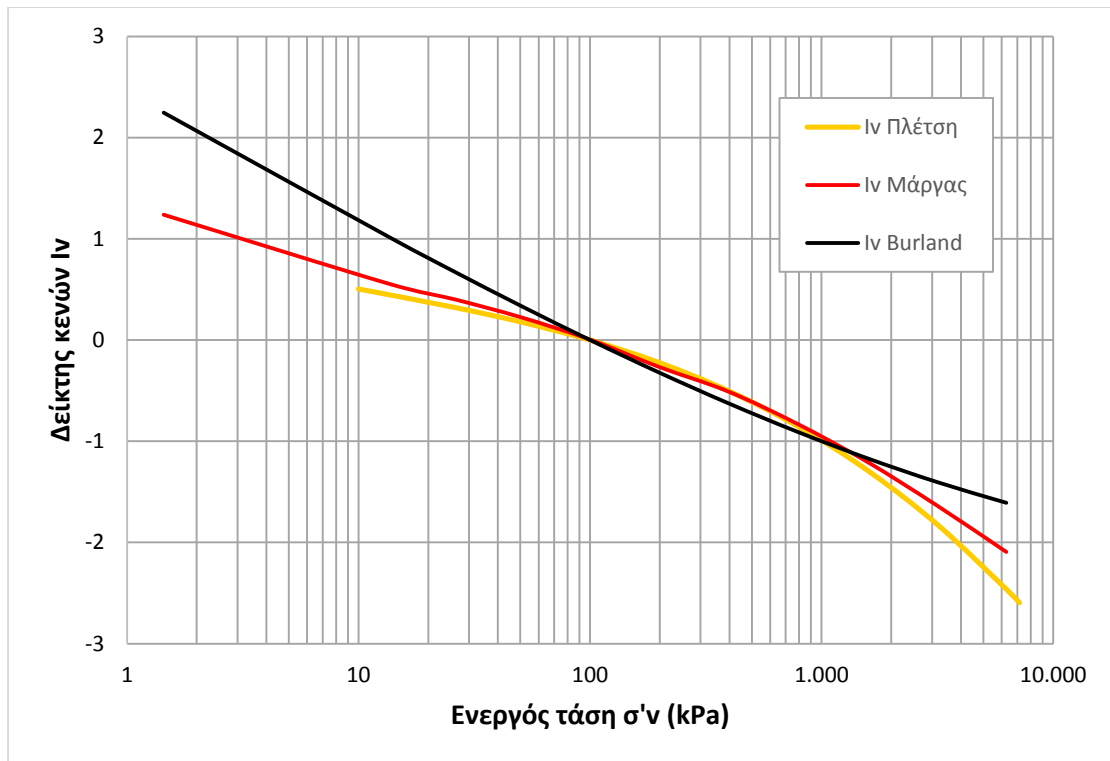
**Σχήμα 4.67** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για όλα τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας και κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας Πλέτση (2007)



**Σχήμα 4.68** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για όλα τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας ( $W_0 : 1,12 - 1,6 \cdot LL$ ) (Μέσος όρος)

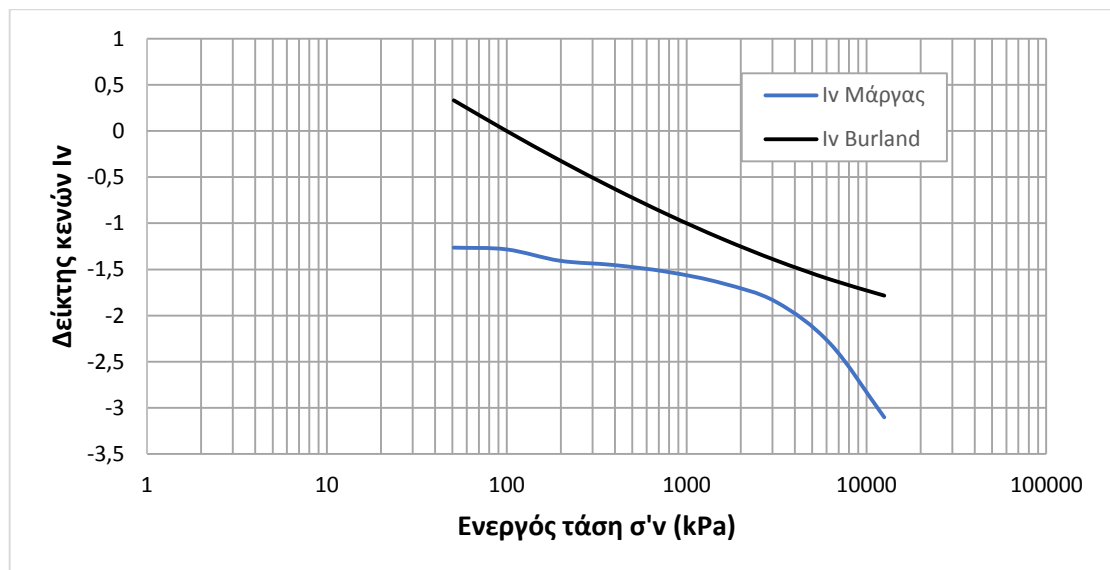


**Σχήμα 4.69** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας Πλέτση (2007) (Μέσος όρος)

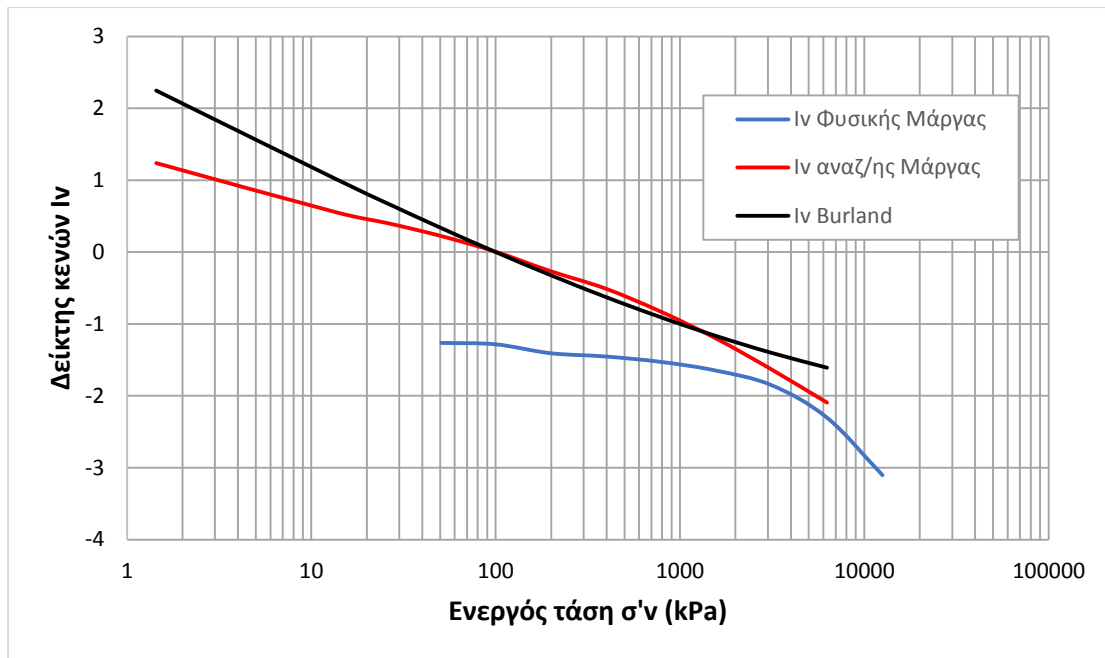


**Σχήμα 4.70** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL (μέσοι όροι) για όλα τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας και τα αναζυμωμένα δείγματα Μάργας Πλέτση (2007)

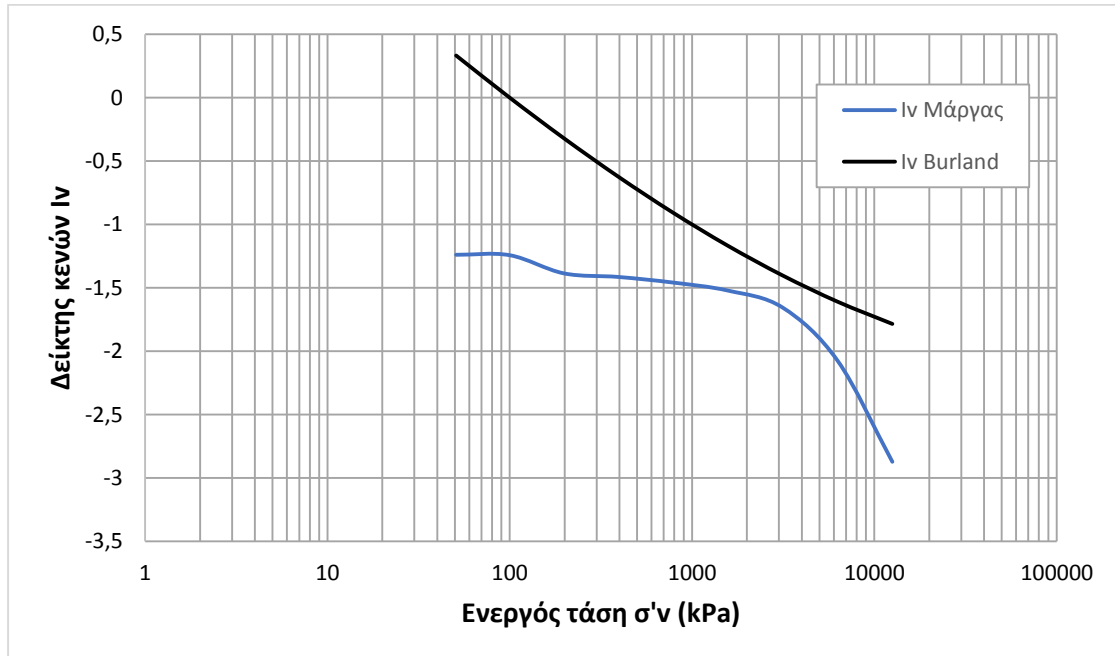
Συγκρίνοντας τις ICL για φυσικά και αναζυμωμένα δείγματα Μάργας έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα:



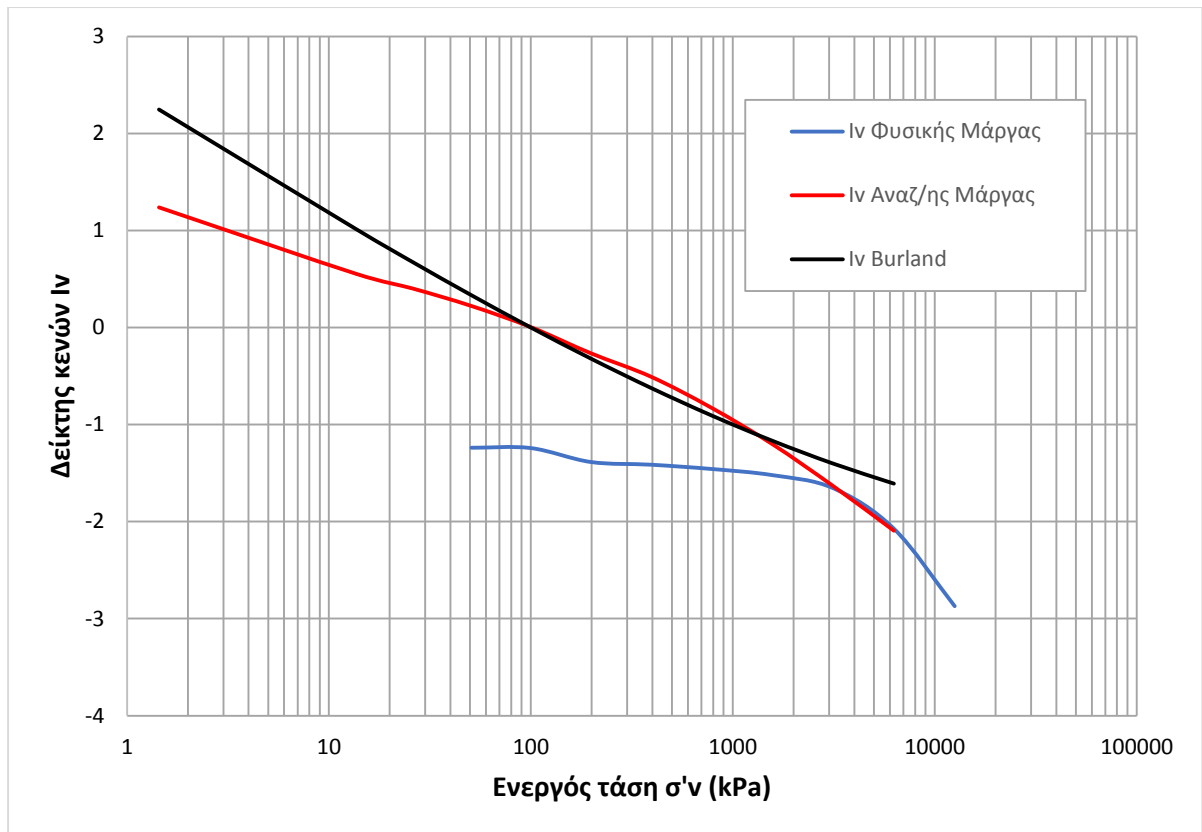
**Σχήμα 4.71** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για όλα τα φυσικά δείγματα Μάργας (Μέσος όρος)



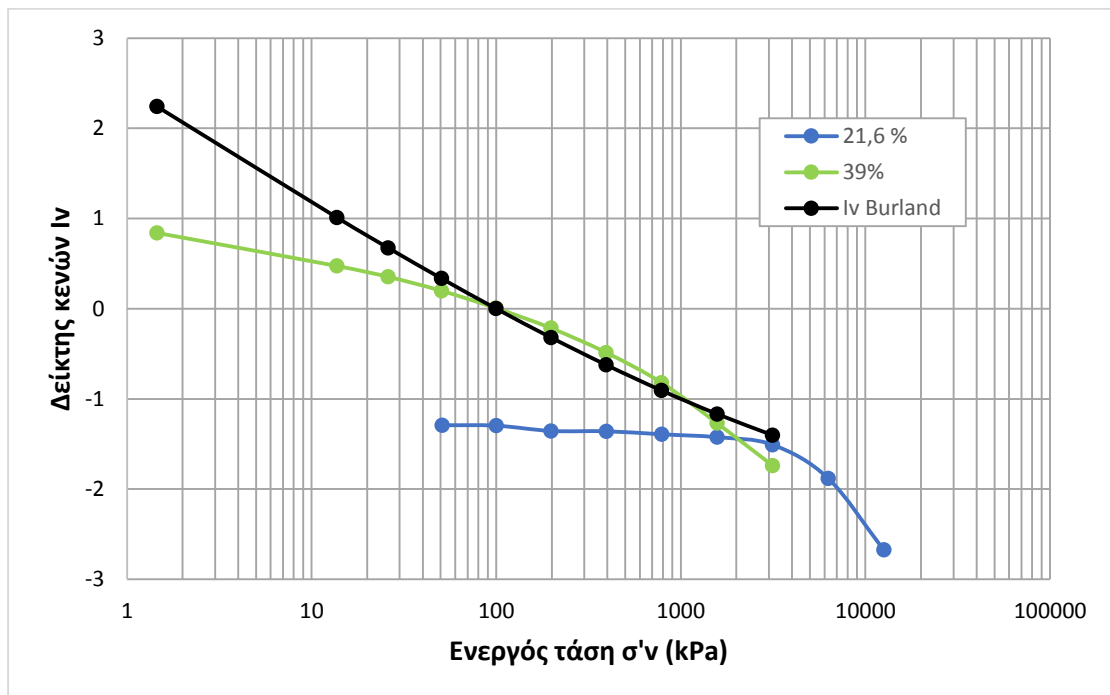
**Σχήμα 4.72** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL (μέσοι όροι) για όλα τα αναζυμωμένα και φυσικά δείγματα Μάργας



**Σχήμα 4.73** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL για όλα τα φυσικά δείγματα Μάργας (Μέσος όρος, εκτός της Φυ-3)



**Σχήμα 4.74** Κανονικοποιημένες καμπύλες ICL (μέσοι όροι) για όλα τα αναζυμωμένα και φυσικά δείγματα Μάργας (εκτός της Φυ-3)



**Σχήμα 4.75** Αντιπροσωπευτική ICL για φυσικά δοκίμια (21,6%) και αντίστοιχη αναζυμωμένη ως προς την οποία έγινε κανονικοποίηση

## 4.5 Ανάλυση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

### 4.5.1 Ανάλυση – Σύγκριση διαγραμμάτων στερεοποίησης

Στα σχήματα 4.1 – 4.5 φαίνονται οι καμπύλες μονοδιάστατης στερεοποίησης των πέντε φυσικών δειγμάτων Μάργας Κορίνθου που εξετάστηκαν στο εργαστήριο. Οι υγρασίες των δοκιμών κυμαίνονται μεταξύ 20,5 – 22,3% ή αλλιώς 0,74 – 0,8  $W_{LL}$ , όπου  $W_{LL}$  το όριο υδαρότητας της φυσικής Μάργας, όπως αυτό υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 2.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6 που είναι συγκεντρωμένες όλες οι καμπύλες μαζί σε ένα διάγραμμα, αυτές δεν ξεκινούν όλες από το ίδιο σημείο και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είχαν διαφορετικό αρχικό ποσοστό υγρασίας. Τα δοκίμια που έχουν μεγαλύτερη υγρασία ξεκινούν από πιο ψηλά στο διάγραμμα. Δηλαδή το δοκίμιο Φυσ-4 με το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας ξεκινά πιο πάνω από όλα τα υπόλοιπα. Τα Φυσ-1, Φυσ-2, Φυσ-3 που έχουν την ίδια αρχική υγρασία ξεκινούν από το ίδιο σημείο ενώ το Φυσ-5 πιο χαμηλά από τα υπόλοιπα καθώς παρουσιάζει την χαμηλότερη περιεκτικότητα σε νερό.

Παρατηρούμε πως όλες οι καμπύλες ακολουθούν την ίδια μορφή, παρόλο που ξεκινούν από διαφορετικά σημεία και παρουσιάζουν μια παραλληλία μεταξύ τους. Επίσης παρουσιάζουν μια καμπυλότητα αρκετά μεγάλη, η οποία σημαίνει τάση προφόρτισης για το εδαφικό μας υλικό. Οι καμπύλες αρχίζουν και συγκλίνουν για τιμή ενεργού τάσης μεγαλύτερης των 3000 kPa, που υποδεικνύει ότι συνθήκες κανονικώς φορτισμένου υλικού ισχύουν για  $\sigma'_v > 3000$  kPa. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το δείγμα Φυσ-2, το οποίο έχει την ίδια μορφή με τα υπόλοιπα δείγματα αλλά ακολουθεί λίγο διαφορετική πορεία στο διάγραμμα. Αυτό συμβαίνει πιθανότατα επειδή το συγκεκριμένο δοκίμιο, το Φυσ-2 προέρχεται από άλλο δείγμα, από άλλο «block», σε αντίθεση με τα υπόλοιπα που ήταν από το ίδιο δείγμα Μάργας.

Στο σχήμα 4.7 έχουν σχεδιαστεί και οι κλάδοι αποφόρτισης των δοκιμών στερεοποίησης. Οι κλάδοι φόρτισης μέχρι τα 1000 kPa διατηρούν σχεδόν σταθερή κλίση, πολύ μικρή, και ύστερα η κλίση μεγαλώνει. Οι κλάδοι αποφόρτισης έχουν περίπου την ίδια κλίση με τους αντίστοιχους κλάδους στα



αναζυμωμένα υλικά, πράγμα που υποδεικνύει ότι η φόρτιση στο συμπιεσόμετρο σε μεγάλες τάσεις καταστρέφει την δομή του φυσικού υλικού.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 4.6 και 1.16 παρατηρούμε ότι και η καμπύλη στερεοποίησης φυσικής Μάργας του Πλέτση (2007) έχει την ίδια μορφή με τις καμπύλες στερεοποίησης των φυσικών δοκιμίων της Μάργας που εξετάζεται στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία. Για την ακρίβεια η καμπύλη του Πλέτση βρίσκεται λίγο πιο ψηλά στο διάγραμμα αλλά σε παραλληλία, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα υλικά έχουν παρθεί από διαφορετικές τοποθεσίες και προέρχονται από διαφορετικά δείγματα. Αντιθέτως από το διάγραμμα 1.11 διαπιστώνουμε ότι η καμπύλη του αργιλικού υλικού της Λαμίας έχει διαφορετική μορφή από αυτή του σχήματος 4.6 της δικής μας Μάργας, καθώς η κλίση της για το μεγαλύτερο διάστημα της διαδρομής της παραμένει σταθερή. Παρόλα αυτά οι αποφορτίσεις έχουν τις ίδιες κλίσεις.

Στα σχήματα 4.8 – 4.11 φαίνονται οι καμπύλες μονοδιάστατης στερεοποίησης των πρώτων τεσσάρων αναζυμωμένων δειγμάτων Μάργας Κορίνθου που εξετάστηκαν στο εργαστήριο. Οι υγρασίες των δειγμάτων κυμαίνονται μεταξύ 33,7 – 44,5% ή αλλιώς 1,21 – 1,6  $W_{LL}$ , όπου  $W_{LL}$  το όριο υδαρότητας της φυσικής Μάργας, όπως αυτό υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 2.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12 όπου είναι συγκεντρωμένες και οι τέσσερις καμπύλες αναζυμωμένων υλικών μαζί σε ένα διάγραμμα, αυτές δεν ξεκινούν όλες από το ίδιο σημείο και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είχαν αναμειχθεί με διαφορετικό αρχικό ποσοστό υγρασίας. Τα δείγματα που έχουν μεγαλύτερη υγρασία ξεκινούν από πιο ψηλά στο διάγραμμα. Δηλαδή το δείγμα Αναζ-3 με το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας (44,5%) ξεκινά πιο πάνω από όλα τα υπόλοιπα. Τα Αναζ-1 και Αναζ-2 έχουν μια μικρή διαφορά στην αρχική υγρασία τους και αυτό αντικατοπτρίζεται στη θέση όπου ξεκινούν οι καμπύλες τους στο διάγραμμα. Το Αναζ-4 με τη μικρότερη υγρασία (33,7%) ξεκινά χαμηλότερα από όλες τις υπόλοιπες καμπύλες.

Και οι τέσσερις καμπύλες έχουν την ίδια μορφή και είναι παράλληλες μεταξύ τους, παρόλο που ξεκινούν από διαφορετικά σημεία, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι ο δείκτης συμπίεσης θα παραμένει σχετικά σταθερός ανεξάρτητα

από την αρχική υγρασία. Η μορφή των καμπυλών που είναι η ίδια φαίνεται και στο σχήμα 4.13 στις αποφορτίσεις.

Στο σχήμα 1.13 απεικονίζονται οι καμπύλες στερεοποίησης αναζυμωμένης Μάργας του Πλέτση (2007). Συγκρίνοντας με τις καμπύλες του σχήματος 4.13 και συγκεντρώνοντας τα δύο διαγράμματα μαζί στο σχήμα 4.63 παρατηρούμε πως οι καμπύλες του Πλέτση και αυτές της Μάργας Κορίνθου που εξετάζεται στη συγκεκριμένη Διπλωματική έχουν ακριβώς την ίδια μορφή. Δηλαδή όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν παρόμοια μορφή και είναι παράλληλες. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί κατά κάποιον τρόπο η καμπύλη του Πλέτση με αρχική υγρασία 24,2% η οποία ξεπερνά από πάνω τις υπόλοιπες καμπύλες που έχουν μεγαλύτερη υγρασία, γεγονός το οποίο οφείλεται στο ότι οι δύο Μάργες προέρχονται από διαφορετικά δείγματα. Απομονώνοντας ένα αντιπροσωπευτικό διάγραμμα στερεοποίησης της Μάργας Κορίνθου που εξετάζουμε με ένα αντίστοιχο της μάργας του Πλέτση παρατηρούμε πως οι δυο καμπύλες είναι παρόμοιες και ακολουθούν την ίδια πορεία (Σχ. 4.64).

Σύμφωνα με τον Burland οι καμπύλες στερεοποίησης για κάθε αναζυμωμένο υλικό θα πρέπει να συμπίπτουν μεταξύ τους όσο αυξάνεται η επιβαλλόμενη κατακόρυφη τάση, διότι τα αναζυμωμένα εδάφη διατηρούν μόνο τα εγγενή χαρακτηριστικά τους. Αυτό το βλέπουμε στο σχήμα 1.7 στις καμπύλες στερεοποίησης για το υλικό της Λαμίας, όπου τείνουν να ταυτιστούν με την αύξηση της κατακόρυφης ενεργού τάσης. Συγκεκριμένα μετά τη φόρτιση των 400 kPa οι καμπύλες σχεδόν συμπίπτουν μεταξύ τους. Επίσης στο υλικό της Λαμίας, όπως και σε όλα τα αργιλικά εδάφη, οι κλάδοι των καμπυλών που αντιστοιχούν στη φόρτιση είναι ευθείες γραμμές, χωρίς την εμφάνιση καμπύλωσης, η οποία θα παρέπεμπε σε τάση προφόρτισης για το εδαφικό υλικό. Έτσι λοιπόν στα αναζυμωμένα υλικά ο ευθύγραμμος κλάδος φόρτισης δηλώνει την απουσία δεσμών στην αναζυμωμένη μορφή του εδάφους.

Η Μάργα του Ισθμού της Κορίνθου που εξετάζεται διαφέρει σημαντικά από τα αργιλικά υλικά. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.13 οι κλάδοι φόρτισης δεν είναι ευθείες γραμμές αλλά παρουσιάζουν σημαντική καμπύλωση ενώ παρατηρείται και μια παράλληλη μετάθεση των καμπυλών για τα διαφορετικά ποσοστά υγρασίας. Οι καμπύλες δεν ταυτίζονται με την αύξηση της ενεργού

τάσης αλλά παραμένουν παράλληλες σε αντίθεση με τα αργιλικά υλικά. Αυτή η εικόνα παραπέμπει στη συμπεριφορά άμμων που εμφανίζουν παράλληλες καμπύλες στερεοποίησης για διαφορετικές αρχικές υγρασίες.

Τα εγγενή χαρακτηριστικά ενός εδαφικού υλικού προσδιορίζονται στην αναζυμωμένη του μορφή έτσι ώστε να έχουν καταστραφεί οι εδαφικοί δεσμοί του υλικού στη φυσική του κατάσταση και η συμπεριφορά του αναζυμωμένου υλικού να αποτελέσει το πλαίσιο αναφοράς ως προς το οποίο θα συγκριθεί η συμπεριφορά του φυσικού υλικού. Το αναζυμωμένο υλικό δημιουργείται με ανάμιξη του φυσικού υλικού με νερό σε ποσοστό 1.2-1.5 φορές το όριο υδαρότητας (LL) του φυσικού υλικού. Σύμφωνα με τον Burland το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας για αναζυμωμένες αργίλους είναι μεταξύ 1  $W_{LL}$  και 1,5  $W_{LL}$ . Στο υλικό της Λαμίας από το σχήμα 1.7 βλέπουμε ότι το ποσοστό αυτό κυμαίνεται μεταξύ 0,55 – 1,41 φορές το όριο υδαρότητας, για αυτό και τα υλικά με μικρότερο ποσοστό υγρασίας δίνουν λίγο πιο διαφορετικά αποτελέσματα στο συγκεκριμένο διάγραμμα. Για τις μάργες το κατάλληλο ποσοστό ανάμιξης νερού με φυσικό υλικό είναι 1,25 – 1,5  $W_{LL}$ , πράγμα το οποίο ισχύει και για τα δικά μας αναζυμωμένα δείγματα μάργας, με εξαίρεση μία τιμή (1,6  $W_{LL}$ ) που ξεφεύγει κατά πολύ λίγο, αλλά θεωρείται δεκτή.

Στα σχήματα 4.14 – 4.15 φαίνονται άλλες δύο δοκιμές αναζυμωμένων δειγμάτων του υλικού μας, με υγρασίες 31,3%(1,12 $W_{LL}$ ) και 33%(1,18 $W_{LL}$ ). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.16 οι καμπύλες ξεκινούν από διαφορετικά σημεία και αυτό οφείλεται στα διαφορετικά αρχικά ποσοστά υγρασίας που είχαν τα δύο υλικά. Το υλικό με 33% υγρασία ξεκινά από πιο πάνω και η παράλληλη μετάθεση των καμπυλών δείχνει την διαφορά υγρασίας μεταξύ των δύο υλικών. Οι καμπύλες στερεοποίησης, όπως και οι τέσσερις πρώτες που αναλύθηκαν παραπάνω, έχουν την ίδια μορφή, είναι παράλληλες, εμφανίζουν μια καμπυλότητα και δε συγκλίνουν για μεγάλες τιμές τάσης. Τα ποσοστά περιεκτικότητας νερού 1,12 $W_{LL}$  και 1,18 $W_{LL}$  μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικά για τη μάργα (1,25 – 1,5  $W_{LL}$ ).

Στα σχήματα 4.17 – 4.18 φαίνονται εκ νέου άλλες δύο δοκιμές αναζυμωμένων δειγμάτων του υλικού μας, με υγρασίες 39%(1,4 $W_{LL}$ ). Τα δύο υλικά έχουν την ίδια αρχική υγρασία 39%, όμως ξεκινούν από διαφορετικά

σημεία (Σχ. 4.19). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μία δοκιμή ξεκίνησε με το φορτίο του πορόλιθου και έπειτα το κάλυμμα και τα υπόλοιπα φορτία, ενώ στην άλλη δοκιμή η διαδικασία φόρτισης ξεκίνησε απευθείας από το κάλυμμα. Έτσι το υλικό που φορτίστηκε αμέσως με το κάλυμμα «κάθεται» πιο πολύ από την αρχή καθώς δέχθηκε μεγαλύτερο αρχικό φορτίο και συνεχίζει να στερεοποιείται μέχρι το τέλος με λίγο μεγαλύτερο ρυθμό, αφού για το ίδιο χρονικό διάστημα δεχόταν πάντα μεγαλύτερες τάσεις. Δηλαδή η διαφορά των δύο καμπυλών οφείλεται στη διαφορετική αρχική φόρτιση που είχαν. Παρόλα αυτά οι δύο καμπύλες είναι παράλληλες μεταξύ τους και παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια μορφή και επίσης οι κλάδοι αποφόρτισης συμπίπτουν, γεγονός που αποδεικνύει ότι για το ίδιο ποσοστό υγρασίας για τα δύο υλικά ( $1,4W_{LL}$ ), το οποίο φυσικά είναι ικανοποιητικό ( $1,25 - 1,5 W_{LL}$ ), μικρές διαφορές στην ιστορία φόρτισης δεν επηρεάζουν την καμπύλη στερεοποίησης.

Ορισμένα αναζυμωμένα υλικά τοποθετήθηκαν στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και τα διαγράμματα στερεοποίησής τους φαίνονται στα σχήματα 4.20 – 4.23. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τέσσερα δείγματα με ποσοστά υγρασίας μεταξύ 35,5 – 43% ( $1,27 - 1,54 W_{LL}$ ). Στο αμέσως επόμενο σχήμα 4.24 είναι σχεδιασμένες και οι τέσσερις καμπύλες μαζί σε ένα διάγραμμα. Παρατηρούμε πως όλες οι καμπύλες είναι παράλληλες και έχουν την ίδια κλίση και την ίδια μορφή, εκτός από αυτή με 42% υγρασία που προφανώς έχει λίγο μεγαλύτερη κλίση επειδή το υλικό στερεοποιήθηκε με λίγο μεγαλύτερο ρυθμό από τα υπόλοιπα, λόγω της πολύ χαλαρής δομής του. Οι κλάδοι φόρτισης είναι σχεδόν ευθείες γραμμές, όπως είναι και στα αργιλικά εδάφη, υποδηλώνοντας πως έχουν καταστραφεί οι δεσμοί μεταξύ των κόκκων του εδαφικού υλικού, πράγμα το οποίο αποδεικνύεται και από τους κλάδους αποφόρτισης οι οποίοι εμφανίζουν πολύ μικρή κλίση.

Όπως είναι φανερό από το σχήμα 4.24 οι καμπύλες δεν ξεκινούν από το ίδιο σημείο πάνω στο διάγραμμα και αυτό οφείλεται στις διαφορετικές αρχικές υγρασίες των υλικών που τοποθετήθηκαν στο μεγάλο συμπιεσόμετρο. Ενώ θα πρέπει τα υλικά με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό να ξεκινούν από ψηλότερο σημείο στο διάγραμμα, βλέπουμε ότι εδώ δε συμβαίνει το ίδιο. Συγκεκριμένα το υλικό με 43% υγρασία βρίσκεται χαμηλότερα από όλα. Ο

πιθανότερος λόγος είναι η μεγάλη υγρασία, καθώς το δείγμα είναι πολύ υδαρές και «κάθεται» από την αρχή της φόρτισης πολύ, δηλαδή στερεοποιείται στην αρχή της φόρτισης με μεγαλύτερο ρυθμό παραμόρφωσης, λόγω της μεγάλης υδαρότητάς του. Το ίδιο συμβαίνει κατά κάποιο τρόπο και στο υλικό με 42% υγρασία. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω για μάργες το κατάλληλο ποσοστό ανάμιξης νερού με φυσικό υλικό είναι 1,25 – 1,5 φορές το όριο υδαρότητας. Παραπάνω από το ποσοστό αυτό το δείγμα γίνεται πολύ υδαρές και εμφανίζει διαφορετική απόκριση κατά τη δοκιμή στερεοποίησης από τα χαμηλότερα ποσοστά ανάμιξης. Κάτι αντίστοιχο συνέβη με τα δύο τελευταία δείγματα που αναλύθηκαν παραπάνω.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο κάποια δοκίμια προήλθαν από το μεγάλο συμπιεσόμετρο. Τα δοκίμια αυτά δημιουργήθηκαν από το αναζυμωμένο υλικό που στερεοποιήθηκε και αποφορτίστηκε σε ενεργό τάση 50 kPa στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και ύστερα τοποθετήθηκαν στα κανονικά συμπιεσόμετρα. Τα προφορτισμένα δοκίμια που εξετάστηκαν είναι τρία με υγρασίες 19%, 27,6%, 25% και απεικονίζονται στα σχήματα 4.25 – 4.27. Η συμπεριφορά τους μοιάζει πιο πολύ με αυτή των φυσικών δοκιμίων καθότι αν εξετάσουμε τις καμπύλες στερεοποίησής τους θα διαπιστώσουμε ότι έχουν παρόμοια μορφή με τις αντίστοιχες των φυσικών δοκιμίων. Φυσικά παρουσιάζουν μια σημαντική καμπυλότητα που δείχνει την έντονη προφόρτιση που δέχθηκαν στη διαδικασία στερεοποίησης/διόγκωσης στο μεγάλο συμπιεσόμετρο.

Στο τέλος πραγματοποιήθηκαν άλλες δύο δοκιμές στερεοποίησης σε αναζυμωμένα υλικά. Το ένα υλικό μπήκε στο κανονικό συμπιεσόμετρο και το άλλο στο μεγάλο συμπιεσόμετρο. Και τα δυο δείγματα είχαν αρχική υγρασία 37% και οι καμπύλες στερεοποίησής τους φαίνονται στα σχήματα 4.58 και 4.59. Η καμπύλη από το μεγάλο συμπιεσόμετρο στο σχήμα 4.59 έχει την ίδια μορφή με εκείνες που προήλθαν εξίσου από το ίδιο μεγάλο συμπιεσόμετρο (σχ.4.24) και το ίδιο ισχύει και για το αναζυμωμένο υλικό του σχήματος 4.58. Και για τις δυο καμπύλες ισχύει ό,τι αναφέρθηκε πιο πάνω για τις καμπύλες αναζυμωμένων υλικών. Παρατηρώντας και τις δύο καμπύλες στερεοποίησης διαπιστώνουμε ότι ξεκινούν από το ίδιο σημείο και διατηρούν την ίδια μορφή

και πορεία καθόλη τη διάρκεια της φόρτισής τους, δηλαδή συμπίπτουν απόλυτα (Σχ. 4.60). Αυτό συμβαίνει διότι είχαν το ίδιο αρχικό ποσοστό υγρασίας. Γενικότερα το γεγονός ότι αναζυμωμένα υλικά που μπαίνουν στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και αναζυμωμένα υλικά στο κανονικό συμπιεσόμετρο με παρόμοιες υγρασίες παρουσιάζουν την ίδια μορφή στο διάγραμμα στερεοποίησης και οι καμπύλες τους ξεκινούν μαζί και κατά τη φόρτιση συμπίπτουν δείχνει ότι η απόκριση του υλικού δεν εξαρτάται από το μέγεθος της συσκευής.

Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα και στα σχήματα 4.55 – 4.57. Σε κάθε ένα από τα διαγράμματα αυτά απεικονίζονται μια καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου υλικού στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και μια καμπύλη αναζυμωμένου δείγματος στο κανονικό συμπιεσόμετρο. Και τα δυο δείγματα έχουν παρόμοια υγρασία οπότε θα πρέπει οι καμπύλες τους να συμπίπτουν ή να είναι πολύ κοντά και παράλληλες. Συγκεκριμένα, στο σχήμα 4.56 το δείγμα από το μεγάλο συμπιεσόμετρο έχει 35,5% υγρασία και αυτό από το κανονικό συμπιεσόμετρο 33% υγρασία. Οι δυο καμπύλες έχουν την ίδια μορφή, παρόμοια υγρασία και σχεδόν συμπίπτουν μεταξύ τους, ειδικά για τις πιο μεγάλες φορτίσεις. Στο σχήμα 4.57 οι δυο καμπύλες στερεοποίησης έχουν την ίδια περίπου υγρασία (38%, 39%) και βλέπουμε πως συμπίπτουν απόλυτα. Τα ίδια περίπου ισχύουν και στο σχήμα 4.55, με τη διαφορά ότι η μία καμπύλη εμφανίζει λίγο πιο έντονη κλίση από την άλλη. Συμπερασματικά φαίνεται ότι οι καμπύλες αναζυμωμένων υλικών στο μεγάλο συμπιεσόμετρο αλλά και στα κανονικά συμπιεσόμετρα παρόμοιας υγρασίας ξεκινούν μαζί και συμπίπτουν κατά τη διάρκεια της φόρτισης.

Αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο πως οι καμπύλες στερεοποίησης προστεροποιημένων δειγμάτων θα πρέπει να ακολουθούν στο διάγραμμα κατά κάποιο τρόπο τις καμπύλες στερεοποίησης των αναζυμωμένων στο μεγάλο συμπιεσόμετρο, καθώς πρόκειται για τη συνέχεια στερεοποίησης του ίδιου υλικού. Δηλαδή εκεί που καταλήγουν οι καμπύλες στερεοποίησης των υλικών στο μεγάλο συμπιεσόμετρο πριν την αποφόρτιση, πρέπει να ξεκινά και η στερεοποίηση των προστεροποιημένων δοκιμίων. Όλα αυτά φαίνονται στα σχήματα 4.50 – 4.54. Πιο αναλυτικά, στο σχήμα 4.50 η

καμπύλη στερεοποίησης του προστεροποιημένου δοκιμίου με υγρασία 27,6% αποτελεί συνέχεια της καμπύλης από το μεγάλο συμπιεσόμετρο με ποσοστό 38%. Βλέπουμε ότι πρόκειται για το ίδιο υλικό του οποίου η στερεοποίηση ξεκίνησε στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και μετά από ένα στάδιο αποφόρτισης συνεχίστηκε και ολοκληρώθηκε στο κανονικό συμπιεσόμετρο. Αυτό αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι οι δυο καμπύλες μοιάζουν σαν μία καμπύλη στερεοποίησης, η οποία συνεχίστηκε μέχρι τέλος χωρίς να διακοπεί. Ουσιαστικά αυτό θα συνέβαινε αν βάζαμε το αναζυμωμένο υλικό του μεγάλου συμπιεσομέτρου με την ίδια ή παρόμοια υγρασία σε κανονικό συμπιεσόμετρο και ολοκληρώναμε εκεί τη στερεοποίηση. Η τελευταία διαδικασία θεωρητικά είναι η ίδια με τη διαδικασία της προφόρτισης του υλικού στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και τη μετέπειτα στερεοποίηση του ίδιου υλικού στο κανονικό συμπιεσόμετρο. Όλα αυτά μπορούν να φανούν και στο σχήμα 4.51, όπου έχει προστεθεί στις δυο καμπύλες και η καμπύλη στερεοποίησης αναζυμωμένου υλικού στο κανονικό συμπιεσόμετρο με ποσοστό υγρασίας 39%. Είναι ολοφάνερο ότι η τελευταία συμπίπτει με τις άλλες δυο καμπύλες και ακολουθεί ακριβώς την ίδια πορεία.

Τα ίδια ακριβώς ισχύουν και στα σχήματα 4.52 και 4.53. Η περιεκτικότητα σε νερό του υλικού στο μεγάλο συμπιεσόμετρο είναι 35,5% και αυτή του προστεροποιημένου δοκιμίου 25%. Η καμπύλη του προστεροποιημένου όπως φαίνεται ακολουθεί και αποτελεί συνέχεια της καμπύλης του υλικού στο μεγάλο συμπιεσόμετρο αφού πρόκειται για το ίδιο υλικό, ενώ προστίθεται και τρίτη καμπύλη στερεοποίησης, αναζυμωμένου υλικού με ποσοστό υγρασίας 33%, η οποία συμπίπτει με τις άλλες δύο, ακολουθεί ακριβώς την ίδια πορεία και ουσιαστικά επιβεβαιώνει την ίδια διαδικασία στερεοποίησης του υλικού. Τέλος στο σχήμα 4.54 φαίνονται πάλι δυο καμπύλες, αυτή από το μεγάλο συμπιεσόμετρο και αυτή από το προστεροποιημένο δοκίμιο. Τα αντίστοιχα ποσοστά περιεκτικότητας σε νερό είναι 43% και 19%. Φαίνεται ακόμη μια φορά πως η δεύτερη ακολουθεί και αποτελεί συνέχεια της πρώτης καμπύλης.

#### 4.5.2 Ανάλυση – Σύγκριση κανονικοποιημένων διαγραμμάτων στερεοποίησης ICL

Αρχικά στα σχήματα 4.28 – 4.31 παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα διαγράμματα στερεοποίησης των τεσσάρων πρώτων δοκιμών που έγιναν σε αναζυμωμένα υλικά. Τα ποσοστά υγρασίας κυμάνθηκαν μεταξύ 33,7 – 44,5% (1,21 – 1,6  $W_{LL}$ ). Και οι τέσσερις καμπύλες μαζί φαίνονται στο σχήμα 4.32 όπου έχει σχεδιαστεί και η κανονικοποιημένη καμπύλη του Burland για τυπικές αργίλους. Να σημειωθεί πως σε όλα τα κανονικοποιημένα διαγράμματα που θα αναλυθούν έχει σχεδιαστεί μαζί και η καμπύλη του Burland για τυπικές αργίλους ώστε να γίνεται άμεσα η σύγκριση μαζί της.

Παρατηρούμε στο σχήμα 4.32 πως κάθε καμπύλη ξεκινά από διαφορετικό δείκτη κενών και αυτό οφείλεται στις διαφορετικές αρχικές υγρασίες των δειγμάτων μας, με τα υλικά μικρότερης υδαρότητας να παρουσιάζουν μικρότερο δείκτη κενών. Εξαίρεση αποτελούν τα δύο υλικά με υγρασίες 42,5% (1,52  $W_{LL}$ ) και 44,5% (1,6  $W_{LL}$ ), τα οποία ξεκινούν χαμηλότερα από τα υπόλοιπα και ο πιθανότερος λόγος είναι η μεγάλη τους υδαρότητα. Το κατάλληλο ποσοστό ανάμιξης φυσικού υλικού με νερό για τη δημιουργία αναζυμωμένου υλικού για τις μάργες είναι 1,25 – 1,5  $W_{LL}$ , επομένως τα δύο δείγματα που γίνεται λόγος ξεπερνούν το όριο αυτό πάνω από 1,5  $W_{LL}$  με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μεγαλύτερο ρυθμό παραμόρφωσης από την αρχή της φόρτισης (πορόλιθος και κάλυμμα) λόγω της μεγάλης τους υδαρότητας. Αυτός είναι και ο λόγος που ξεκινούν πιο χαμηλά από τις υπόλοιπες καμπύλες.

Και οι τέσσερις καμπύλες έχουν παρόμοια μορφή και για μεγάλες τιμές τάσεων συγκλίνουν και ταυτίζονται. Συγκεκριμένα για τάσεις μεγαλύτερες των 70 kPa ταυτίζονται μεταξύ τους μέχρι και την τιμή των 1000 kPa όπου από εκεί και έπειτα παρουσιάζουν μια μικρή απόκλιση. Επομένως στο διάστημα 70 – 1000 kPa υπάρχει πλήρης ταύτιση των καμπυλών. Τα δυο δοκίμια με τις μεγάλες υγρασίες (42,5%, 44,5%) παρατηρούμε ότι ταυτίζονται από την αρχή της φόρτισης μέχρι το τέλος. Πριν τα 70 kPa τα υλικά παρουσιάζουν μια απόκλιση μεταξύ τους η οποία συνεχίζεται σε μικρότερο βαθμό και μετά τα 1000 kPa.



Σε σύγκριση με την καμπύλη του Burland βλέπουμε ότι καμία καμπύλη δε συγκλίνει μαζί της σε κανένα εύρος τιμών τάσεων και αυτή είναι μία βασική διαφορά της μάργας με τα αργιλικά εδάφη. Επίσης όλες οι γραμμές παρουσιάζουν μια έντονη καμπύλωση και μάλιστα αντίθετη από εκείνη που έστω και ήπια έχει η ICL του Burland, δηλαδή η Μάργα έχει τα κοίλα προς τα κάτω. Η χαρακτηριστική διαφοροποίηση της μάργας φαίνεται να οφείλεται στην κοκκομετρική της σύσταση αφού πρόκειται ουσιαστικά για ιλύ με ελάχιστο ποσοστό αργιλικών προσμίξεων.

Στα σχήματα 4.33 – 4.34 απεικονίζονται τα κανονικοποιημένα διαγράμματα στερεοποίησης των δύο αναζυμωμένων δειγμάτων με υγρασίες 31,3%(1,12W<sub>LL</sub>) και 33%(1,18W<sub>LL</sub>). Στο αμέσως επόμενο σχήμα 4.35 όπου έχουν σχεδιαστεί και οι δύο καμπύλες μαζί παρατηρούμε πως ξεκινούν από τον ίδιο δείκτη κενών περίπου και αυτό συμβαίνει λόγω παρόμοιων αρχικών υγρασιών, ενώ έχουν την ίδια ακριβώς μορφή και ακολουθούν την ίδια πορεία, αφού συμπίπτουν σε όλο το εύρος των τάσεων. Δε συμπίπτουν σε κανένα σημείο με την καμπύλη του Burland και παρουσιάζουν έντονη καμπύλωση σε αντίθεση με την άργιλο, και μάλιστα με τα κοίλα προς τα κάτω, δηλαδή αντίθετη από αυτή του Burland.

Στα σχήματα 4.36 – 4.37 έχουν σχεδιαστεί οι κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης των επόμενων δυο αναζυμωμένων υλικών που είχαν την ίδια αρχική περιεκτικότητα σε νερό 39%(1,4W<sub>LL</sub>). Από το σχήμα 4.38 διαπιστώνουμε πως με μικρή διαφορά οι δυο καμπύλες ξεκινούν από διαφορετικό σημείο πάνω στο διάγραμμα. Αυτό είναι λογικό καθώς το δείγμα που άρχισε να φορτίζεται απευθείας με το κάλυμμα (top cap) καθίζησε πιο γρήγορα και απότομα, απέκτησε από την αρχή μια πιο πυκνή δομή από το άλλο δείγμα και ο δείκτης κενών του είναι μικρότερος. Αντιθέτως στο άλλο δείγμα που η φόρτιση ξεκίνησε με το φορτίο του πορόλιθου η στερεοποίηση καθυστέρησε πιο πολύ με αποτέλεσμα το δείγμα να έχει μια πιο χαλαρή δομή και μεγαλύτερο αρχικό δείκτη κενών. Οι δυο γραμμές έχουν την ίδια μορφή και από την αρχή παραμένουν παράλληλες μέχρι και τη φόρτιση των 200 kPa. Μεταξύ του διαστήματος 200 – 800 kPa συμπίπτουν και από εκεί και έπειτα αποκλίνουν αρκετά. Δε συμπίπτουν σε κανένα σημείο με την καμπύλη του

Burland και παρουσιάζουν έντονη καμπύλωση σε αντίθεση με την άργιλο, και μάλιστα με τα κοίλα προς τα κάτω, δηλαδή αντίθετη από αυτή του Burland.

Στο σχήμα 4.39 έχουν σχεδιαστεί και οι οκτώ κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης των προηγούμενων οκτώ δοκιμών πάνω σε αναζυμωμένα δείγματα που αναφέρθηκαν. Οι υγρασίες όλων κυμαίνονται στο εύρος 31,3 – 44,5% (1,12 – 1,6  $W_{LL}$ ). Όπως φαίνεται κάθε καμπύλη ξεκινά από διαφορετικό δείκτη κενών και αυτό οφείλεται στις διαφορετικές αρχικές υγρασίες των δειγμάτων. Τα λιγότερο υδαρή υλικά ξεκινούν από χαμηλότερα στο διάγραμμα αφού παρουσιάζουν μια πιο πυκνή δομή, με εξαίρεση κάποια υλικά αρκετά μεγάλης υδαρότητας που λόγω της μεγάλης υγρασίας τους καθιζάνουν από την αρχή της φόρτισης πολύ και ξεκινούν χαμηλά στο διάγραμμα.

Όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν την ίδια μορφή και όσο μεγαλώνει η επιβαλλόμενη τάση τείνουν να ενωθούν και να γίνουν σαν μία καμπύλη. Στην αρχή του διαγράμματος στα αριστερά υπάρχουν αρκετά μεγάλες αποκλίσεις και εκτός από τις διαφορετικές υγρασίες των δειγμάτων πιθανόν να οφείλονται και σε πειραματικές ανακρίβειες. Μετά τη φόρτιση των 100 kPa όλες οι καμπύλες συμπίπτουν και ταυτίζονται μεταξύ τους μέχρι και τη φόρτιση των 2000 kPa. Ύστερα παρουσιάζουν μια μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες Av-5, Av-7, Av-8 ξεκινούν μαζί και ταυτίζονται από την αρχή μέχρι το τέλος σχεδόν της φόρτισης. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τις γραμμές Av-2 και Av-3.

Σε σύγκριση με την καμπύλη του Burland μόνο η Av-1 κατά κάποιο τρόπο την προσεγγίζει και συμπίπτει μαζί της στο διάστημα τάσεων 30 – 1000 kPa. Όλες οι υπόλοιπες καμπύλες δεν ταυτίζονται και δε συγκλίνουν σε κανένα σημείο με την καμπύλη του Burland και αυτή είναι μια βασική διαφορά μεταξύ μάργας και άργιλου. Οι καμπύλες της μάργας διαφέρουν από την τυπική καμπύλη για άργιλους και στην αρχή αλλά και στο τέλος της φόρτισης. Επιπρόσθετα όλες οι γραμμές παρουσιάζουν μια καμπύλωση, κάποιες αρκετά έντονη και κάποιες άλλες λιγότερο έντονη, και μάλιστα αντίθετη από εκείνη που έχει η ICL του Burland, δηλαδή με τα κοίλα προς τα κάτω. Αντίθετα στα αργιλικά υλικά οι κανονικοποιημένες καμπύλες αναζυμωμένων υλικών είναι ευθείες γραμμές και δεν εμφανίζουν καμία καμπυλότητα. Η χαρακτηριστική

διαφοροποίηση της μάργας φαίνεται να οφείλεται στην κοκκομετρική της σύσταση αφού πρόκειται ουσιαστικά για ιλύ με ελάχιστο ποσοστό αργιλικών προσμίξεων.

Συγκρίνοντας το υλικό μας, τη Μάργα Κορίνθου με το υλικό της Λαμίας στο πρώτο κεφάλαιο μέσα από τα σχήματα 1.9 και 4.39, παρατηρούμε πως στο αργιλικό υλικό της Λαμίας οι καμπύλες δεν έχουν μεγάλη απόκλιση συνολικά από αυτή του Burland, αντιθέτως μετά την αρχική φόρτιση των 30 kPa την προσεγγίζουν και ταυτίζονται απόλυτα με αυτήν. Έχουν δηλαδή την ίδια ακριβώς μορφή σε αντίθεση με τις καμπύλες του σχ. 4.39 που δε συμπίπτουν σε καμία περίπτωση με την καμπύλη του Burland. Επίσης οι καμπύλες του σχ. 1.9 δεν παρουσιάζουν μεγάλη καμπυλότητα και στο μεγαλύτερο διάστημα είναι ευθείες γραμμές σε αντίθεση με τη μάργα που παρουσιάζει έντονη καμπυλότητα. Τέλος, η διαφορά μεταξύ των δύο υλικών στα διαγράμματα είναι πως στη μάργα οι αποκλίσεις από την καμπύλη του Burland είναι αρκετά έντονες και στην αρχή αλλά και προς το τέλος της φόρτισης, ενώ στο υλικό της Λαμίας υπάρχουν μικρές αποκλίσεις μόνο στην αρχή της φόρτισης.

Προκειμένου να συγκριθούν το υλικό μας με το υλικό της Μάργας Κορίνθου που παρουσιάστηκε στο πρώτο κεφάλαιο, περνάμε στα σχήματα 4.65 – 4.70. Στο σχ.4.65 έχουν σχεδιαστεί όλες οι κανονικοποιημένες καμπύλες για τα αναζυμωμένα υλικά που εξετάστηκαν στο εργαστήριο πάνω στη Μάργα Κορίνθου. Όλες έχουν την ίδια μορφή και τείνουν να ταυτιστούν σε μία καμπύλη όσο μεγαλώνει η τάση. Συγκεκριμένα μετά τα 50 kPa αρχίζουν και συγκλίνουν μέχρι και τα 2000 kPa. Δεν προσεγγίζουν σε κανένα σημείο την καμπύλη του Burland και παρουσιάζουν καμπύλωση αντίθετη με του Burland, έχοντας τα κοίλα προς τα κάτω. Όλα αυτά φαίνονται πιο καθαρά στο σχήμα 4.68, όπου έχει σχεδιαστεί μία αντιπροσωπευτική πειραματική καμπύλη (μέσος όρος). Η πειραματική καμπύλη διαφέρει πολύ από την αντίστοιχη του Burland, παρουσιάζει καμπυλότητα στρέφοντας τα κοίλα προς τα κάτω και έντονες αποκλίσεις στα δύο άκρα.

Στο σχήμα 4.66 είναι σχεδιασμένες οι κανονικοποιημένες καμπύλες του Πλέτση (2007) για Μάργα Κορίνθου και στο σχ.4.69 η αντίστοιχη πειραματική (μέσος όρος). Διαπιστώνουμε από τα δύο σχήματα πως οι καμπύλες έχουν την

ίδια ακριβώς μορφή με τις καμπύλες της Μάργας που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική. Παρουσιάζουν την ίδια ακριβώς καμπυλότητα προς τα κάτω και απέχουν κατά πολύ από την τυπική καμπύλη για αργίλους. Βάζοντας όλες τις καμπύλες και των δυο υλικών σε ένα διάγραμμα (σχ.4.67) βλέπουμε πως συμπίπτουν και ταυτίζονται έχοντας ακριβώς την ίδια μορφή καθόλη τη διάρκεια της φόρτισης. Τέλος τα δυο υλικά μάργας φαίνεται ξεκάθαρα πως έχουν την ίδια μορφή στα διαγράμματα από το σχ.4.70, όπου απεικονίζονται οι δυο πειραματικές καμπύλες των υλικών και σχεδόν ταυτίζονται σαν μία καμπύλη.

Τα κανονικοποιημένα διαγράμματα στερεοποίησης αναζυμωμένων υλικών που τοποθετήθηκαν στο μεγάλο συμπιεσόμετρο απεικονίζονται το καθένα ξεχωριστά στα σχήματα 4.40 – 4.42 και όλα μαζί στο σχήμα 4.43. Είναι εμφανές ότι οι καμπύλες δεν ξεκινούν από τον ίδιο δείκτη κενών λόγω της διαφορετικής τους αρχικής υγρασίας και πιθανόν και λόγω πειραματικών ανακρίβειών. Υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ τους στο αρχικό διάστημα της φόρτισης αλλά και οι τρεις έχουν την ίδια μορφή και σε πιο μεγάλες τιμές τάσεων τείνουν να ταυτιστούν. Πιο συγκεκριμένα οι καμπύλες συγκλίνουν μεταξύ τους στα 20 kPa και συνεχίζουν έτσι σαν μία καμπύλη μέχρι και τα 200 kPa. Να αναφερθεί επίσης ότι οι δυο καμπύλες ταυτίζονται από την αρχή σχεδόν της φόρτισης και συνεχίζουν έτσι μέχρι το τέλος.

Συγκρίνοντας με την καμπύλη του Burland παρατηρούμε πως οι καμπύλες διαφέρουν από αυτήν και μόνο μετά τα 100 kPa συμπίπτουν μαζί της. Τέλος και οι τρεις παρουσιάζουν μια πολύ μικρή καμπύλωση και είναι σχεδόν ευθείες, γεγονός που παραπέμπει στα κανονικοποιημένα διαγράμματα αργιλικών υλικών, με τη διαφορά όμως ότι αποκλίνουν πολύ από την τυπική καμπύλη για αργίλους.

Στα σχήματα 4.61 και 4.62 έχουν σχεδιαστεί τα κανονικοποιημένα διαγράμματα στερεοποίησης των δύο αναζυμωμένων υλικών με υγρασία 37% ( $1,33W_{LL}$ ), όπου το ένα τοποθετήθηκε σε κανονικό συμπιεσόμετρο και το άλλο στο μεγάλο συμπιεσόμετρο. Και για τις δυο καμπύλες ισχύουν ακριβώς τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα αναζυμωμένα υλικά, δηλαδή αποκλίνουν σημαντικά από την καμπύλη του Burland και στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω με σημαντική καμπύλωση.

Τα κανονικοποιημένα διαγράμματα στερεοποίησης των φυσικών δειγμάτων απεικονίζονται στα σχήματα 4.44 – 4.48 με αρχικές υγρασίες 20,5 – 22,3 %. Στο σχ.4.49 έχουν σχεδιαστεί και οι πέντε καμπύλες μαζί. Βλέπουμε ότι οι καμπύλες ξεκινούν από διαφορετικό δείκτη κενών εξαιτίας των διαφορετικών αρχικών υγρασιών των δοκιμίων. Δοκίμια με χαμηλότερη υδαρότητα ξεκινούν από πιο χαμηλά στο διάγραμμα. Όλες οι καμπύλες έχουν παρόμοια μορφή με εξαίρεση τη Φυ-3 με υγρασία 21,4%, η οποία όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη υποενότητα προήλθε από ξεχωριστό δείγμα μάργας και αυτός είναι ο λόγος που διαφέρει από τις άλλες και αποκλίνει. Οι καμπύλες είναι παράλληλες μεταξύ τους και ανά κάποια διαστήματα τάσεων συμπίπτουν ορισμένες μεταξύ τους. Για παράδειγμα οι Φυ-2 και Φυ-4 συγκλίνουν στο διάστημα 50 – 800 kPa, οι Φυ-2 και Φυ-5 στο 2000 – 7000 kPa, οι Φυ-1 και Φυ-4 μεταξύ 3000 – 10400 kPa. Εξαιρώντας την καμπύλη Φυ-3 παρατηρούμε πως οι υπόλοιπες κατά κάποιο τρόπο τείνουν να ταυτιστούν για μεγάλες τιμές τάσεων.

Σε σύγκριση με την καμπύλη του Burland για τυπικές αργίλους, καμία από τις κανονικοποιημένες καμπύλες των φυσικών δειγμάτων δεν την προσεγγίζει σε καμία περίπτωση ούτε συγκλίνει μαζί της και ούτε την τέμνει. Επίσης όλες παρουσιάζουν μία έντονη καμπυλότητα και μάλιστα με τα κοίλα προς τα κάτω, δηλαδή αντίθετη από αυτή του Burland. Να αναφερθεί τέλος πως οι καμπύλες στερεοποίησης των φυσικών δειγμάτων και οι αντίστοιχες κανονικοποιημένες έχουν ακριβώς την ίδια μορφή στο διάγραμμα και αυτό συμβαίνει επειδή για την κανονικοποίησή τους χρησιμοποιήθηκαν κοινές τιμές των παραμέτρων  $e_{100}$  και  $e_{1000}$  (σχ.4.49 και 4.6).

Η μορφή των διαγραμμάτων ICL της φυσικής μάργας που εξετάζεται φαίνεται πιο καθαρά με μια πειραματική καμπύλη στερεοποίησης (μέσος όρος) στο σχήμα 4.71. Το ίδιο ακριβώς απεικονίζει και το σχήμα 4.73 με τη διαφορά ότι έχει αφαιρεθεί η καμπύλη Φυ-3 από τον υπολογισμό της πειραματικής. Είναι εμφανές ότι η ICL της φυσικής μάργας έχει άλλη μορφή από αυτή για τυπικές αργίλους και παρουσιάζει έντονη και αντίθετη καμπυλότητα. Συγκρίνοντας με την αντίστοιχη πειραματική καμπύλη του Πλέτση για φυσική μάργα (σχ.1.17) βλέπουμε ότι και οι δυο καμπύλες ICL έχουν παρόμοια μορφή, με τη διαφορά

ότι αυτή του Πλέτση έχει λίγο μικρότερη καμπύλωση και δε μεγαλώνει η κλίση της τόσο απότομα στα δεξιά, δηλαδή ο ρυθμός μείωσης του  $I_v$  είναι μικρότερος.

Στο Σχήμα 4.75 απεικονίζονται μία αντιπροσωπευτική καμπύλη ICL από δοκιμή σε φυσικό δοκίμιο, με αρχική υγρασία 21,6% και η αντίστοιχη αναζυμωμένη καμπύλη ICL ως προς την οποία έγινε η κανονικοποίηση του φυσικού, με υγρασία 39%. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, η φυσική καμπύλη περνά στα δεξιά της αναζυμωμένης αποδεικνύοντας την ύπαρξη δεσμών στη δομή του φυσικού υλικού. Η τάση  $\sigma'_{vy}$  στην οποία αλλάζει κλίση η καμπύλη του φυσικού υλικού είναι 4900kPa και η αντίστοιχη τάση  $\sigma^*_{ve}$  του αναζυμωμένου στον ίδιο δείκτη πόρων είναι 2100kPa. Ο λόγος  $\sigma'_{vy} / \sigma^*_{ve}$  για τη Μάργα του Ισθμού της Κορίνθου ισούται με 2,33. Ο συγκεκριμένος λόγος αποτελεί μέτρο ενισχυμένης αντίστασης στην συμπίεστικότητα, που οφείλεται στην προφόρτιση του υλικού στο παρελθόν. Έτσι αποδεικνύεται από την παραπάνω τιμή πως η Μάργα Κορίνθου έχει υποστεί σημαντική προφόρτιση κατά τη δημιουργία της και αποτελείται από ισχυρούς δεσμούς στη δομή της.

Τέλος συγκρίνονται η πειραματική κανονικοποιημένη καμπύλη (μέσος όρος) στερεοποίησης του φυσικού υλικού που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική με την πειραματική κανονικοποιημένη καμπύλη (μέσος όρος) στερεοποίησης του αναζυμωμένου υλικού. Η σύγκριση θα γίνει με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 4.72 και 4.74. Και στα δύο σχήματα έχουν σχεδιαστεί οι δυο καμπύλες που αναφέρθηκαν πιο πάνω μαζί με την καμπύλη του Burland. Η μόνη διαφορά είναι πως στο σχήμα 4.74 δεν έχει συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της πειραματικής καμπύλης η Φυσ-3, η οποία προήλθε από ξεχωριστό δείγμα Μάργας Κορίνθου.

Επικεντρώνοντας στο σχ.4.74 παρατηρούμε πως η καμπύλη του φυσικού υλικού συναντά την καμπύλη του αναζυμωμένου υλικού σε μεγάλες τάσεις, και συγκεκριμένα στα 3000 kPa και ύστερα περνά λίγο στα δεξιά της δείχνοντας πως για τον ίδιο δείκτη κενών το φυσικό υλικό μεταφέρει μεγαλύτερη  $\sigma_v'$ . Όμως αυτή η μετακίνηση της καμπύλης του φυσικού υλικού προς τα δεξιά είναι περιορισμένη και όπως δείχνει και το σχήμα 4.74 δεν ξεπερνά την καμπύλη ICL που αντιπροσωπεύει μεγάλο αριθμό αναζυμωμένων αργίλων.

Παρόλα αυτά το μικρό αυτό πέρασμα της φυσικής καμπύλης προς τα δεξιά της αναζυμωμένης αποδεικνύει την ύπαρξη δεσμών στη δομή του φυσικού υλικού.

Παρόμοια συμπεριφορά έχει και η Μάργα του Πλέτση (2007) που περιγράφηκε στο πρώτο κεφάλαιο. Στο σχήμα 1.17 φαίνεται πως η φυσική καμπύλη ξεπερνά στα δεξιά την αναζυμωμένη αλλά όχι και την ICL του Burland. Αντιθέτως στο υλικό της Λαμίας η φυσική καμπύλη συγκλίνει με την αναζυμωμένη για μεγάλες τάσεις και ύστερα την ακολουθεί. Η τυπική συμπεριφορά των αργίλων είναι μετά την κανονικοποίηση να βρίσκονται στα δεξιά της αντίστοιχης ICL γεγονός που αποδίδεται στη δομή του φυσικού, που για το ίδιο  $I_v$  μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη κατακόρυφη τάση σ' από το αναζυμωμένο υλικό. Επομένως, το υλικό της Λαμίας δε φαίνεται να έχει ισχυρότερα δομικά χαρακτηριστικά (δεσμούς) από το αναζυμωμένο και η μικρότερη συμπίεστότητά του είναι αποτέλεσμα της μικρότερης δομής του (μικρότερος δείκτης πόρων) σε σχέση με το αναζυμωμένο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**



## 5.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η απόκριση της Μάργας του Ισθμού της Κορίνθου υπό συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης τόσο για φυσικά όσο και για αναζυμωμένα δοκίμια. Η συμπεριφορά των αναζυμωμένων δοκιμίων χαρακτηρίζεται ως εγγενής και αποτελεί ένα πλαίσιο αναφοράς ως προς το οποίο γίνεται η σύγκριση της συμπεριφοράς του φυσικού υλικού μέσω κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων των πειραμάτων.

Η ανωτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με βάση την αντίστοιχη θεωρία σύγκρισης εγγενών και φυσικών χαρακτηριστικών αργίλων (Bugland, 1990). Στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί κατά πόσον η Μάργα του Ισθμού της Κορίνθου ακολουθεί ανάλογη συμπεριφορά και να προσδιοριστεί η σχέση των εγγενών και φυσικών χαρακτηριστικών συμπιεστότητάς της.

Η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

- Οι καμπύλες στερεοποίησης του φυσικού υλικού και οι αντίστοιχες κανονικοποιημένες ICL, έχουν την ίδια μορφή, παραμένουν παράλληλες για μικρές φυσικές διακυμάνσεις στο ποσοστό υγρασίας τους και παρουσιάζουν αλλαγή κλίσης.
- Οι κλάδοι αποφόρτισης στα φυσικά δείγματα έχουν περίπου την ίδια κλίση με τους κλάδους αποφόρτισης των αναζυμωμένων δειγμάτων, γεγονός που υποδεικνύει ότι η φόρτιση στο συμπιεσόμετρο σε μεγάλες τάσεις καταστρέφει τη δομή του φυσικού υλικού.
- Οι καμπύλες στερεοποίησης της μάργας στην αναζυμωμένη της μορφή έχουν την ίδια μορφή, παραμένουν παράλληλες σε όλο το εύρος των τάσεων και παρουσιάζουν μία μικρή καμπυλότητα ανεξάρτητα από το ποσοστό αρχικής υγρασίας ανάμιξής τους.

- Οι καμπύλες στερεοποίησης των αναζυμωμένων αργιλικών υλικών της βιβλιογραφίας, κατά τη φόρτιση και την αποφόρτιση είναι ευθείες γραμμές και συγκλίνουν μεταξύ τους όσο αυξάνεται η τιμή των επιβαλλόμενων τάσεων, σε αντίθεση με τη μάργα που οι αντίστοιχες καμπύλες εμφανίζουν μια μικρή καμπυλότητα και μια παράλληλη μετάθεση, που παραπέμπει στη συμπεριφορά άμμων.
- Το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας ανάμιξης για αναζυμωμένες αργίλους είναι μεταξύ 1,25 – 1,5  $W_{LL}$ . Αντίστοιχα ποσοστά χρησιμοποιήθηκαν και για τις μάργες 1,25 – 1,5  $W_{LL}$  με το άνω όριο να οδηγεί σε διαχωρισμό των κόκκων.
- Αναζυμωμένα υλικά που μπαίνουν στο μεγάλο συμπιεσόμετρο και αναζυμωμένα υλικά στο κλασσικό συμπιεσόμετρο με παρόμοιες αρχικές υγρασίες παρουσιάζουν την ίδια μορφή στο διάγραμμα στερεοποίησης και οι καμπύλες τους ξεκινούν μαζί και συμπίπτουν κατά τη διάρκεια της φόρτισης, υποδηλώνοντας ότι το μέγεθος της συσκευής δεν επηρεάζει την καμπύλη στερεοποίησης.
- Οι καμπύλες στερεοποίησης των προστερεοποιημένων δοκιμίων που προήλθαν από το μεγάλο συμπιεσόμετρο ακολουθούν τις καμπύλες στερεοποίησης του αναζυμωμένου υλικού που τοποθετήθηκε στο κλασσικό συμπιεσόμετρο, μετά την τάση προστερεοποίησης, και οριοθετούν μία καμπύλη αφού ουσιαστικά πρόκειται για το ίδιο υλικό και τη συνέχεια της φόρτισής του. Συνεπώς, η απομάκρυνση από το μεγάλο συμπιεσόμετρο και η επαναφόρτισή τους στο κλασσικό συμπιεσόμετρο στην τάση προφόρτισης δε διατάραξε τα δοκίμια.
- Οι κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης των αναζυμωμένων δειγμάτων, μέσω του δείκτη  $I_v = \frac{e_{100}^* - e^*}{e_{100}^* - e_{1000}^*}$ , έχουν την ίδια μορφή, παρουσιάζουν κάποια απόκλιση μεταξύ τους στην αρχή της

φόρτισης λόγω διαφορετικών αρχικών υγρασιών και πειραματικών ανακρίβειών και όσο μεγαλώνει η τάση ταυτίζονται μεταξύ τους για μεγάλο εύρος τάσεων ανεξάρτητα από το αρχικό ποσοστό υγρασίας τους. Συγκεκριμένα συγκλίνουν και συμπίπτουν μεταξύ τους για εύρος τάσεων 100 – 2000 kPa.

- Οι κανονικοποιημένες καμπύλες στερεοποίησης, ICL, των αναζυμωμένων δειγμάτων της Μάργας προς το τέλος της φόρτισης εμφανίζουν μια μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Όμως το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι εμφανίζουν σημαντική καμπυλότητα και μάλιστα αντίθετη με εκείνη της καμπύλης του Burland, δηλαδή με τα κοίλα προς τα κάτω. Οι κανονικοποιημένες καμπύλες της Μάργας δε συγκλίνουν σε κανένα σημείο με τη ICL του Burland υποδεικνύοντας ότι η Μάργα διαφοροποιείται από την τυπική απόκριση των αναζυμωμένων αργίλων.
- Οι καμπύλες ICL αργιλικών υλικών που παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία και έχουν αποτελέσει αντικείμενο άλλων διπλωματικών εργασιών σε αντίθεση με τη μάργα, δεν εμφανίζουν απόκλιση στα δεξιά αλλά συγκλίνουν μέχρι το τέλος της φόρτισης, δεν εμφανίζουν καμπυλότητα αλλά παραμένουν γραμμικές σε όλο το εύρος τάσεων. Στην κανονικοποιημένη τους μορφή ταυτίζονται με την αντίστοιχη ICL του Burland ανεξάρτητα από το αρχικό ποσοστό υγρασίας.
- Η χαρακτηριστική διαφοροποίηση της Μάργας από τις αργίλους της βιβλιογραφίας φαίνεται να οφείλεται στην κοκκομετρική της σύσταση αφού πρόκειται ουσιαστικά για ιλύ με ελάχιστο ποσοστό αργιλικών προσμίξεων.
- Κατά τη σύγκριση του φυσικού υλικού με το αναζυμωμένο παρατηρήθηκαν τα εξής: Η πειραματική κανονικοποιημένη καμπύλη στερεοποίησης του φυσικού υλικού συγκλίνει με την πειραματική κανονικοποιημένη καμπύλη στερεοποίησης του αναζυμωμένου

υλικού σε μεγάλες τάσεις και στη συνέχεια περνά στα δεξιά της υποδεικνύοντας την ύπαρξη δεσμών στη δομή του φυσικού υλικού. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα αργιλικά υλικά.

- Το υλικό που εξετάστηκε, η Μάργα του Ισθμού της Κορίνθου, εμφανίζει σημαντικές διαφορές από το γενικό πλαίσιο συμπεριφοράς που περιγράφει μεγάλο αριθμό αργίλων τόσο στην εγγενή τους όσο και στη φυσική τους κατάσταση. Παρόλα αυτά η σύγκριση των φυσικών χαρακτηριστικών συμπιεστότητας με τα αντίστοιχα εγγενή χαρακτηριστικά οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά του αναζυμωμένου υλικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πλαίσιο αναφοράς για να προσδιοριστεί η απόκριση του φυσικού υλικού της Μάργας του Ισθμού Κορίνθου. Συνεπώς, για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών συμπιεστότητας της Μάργας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τις αργίλους και βασίζεται στον προσδιορισμό των εγγενών χαρακτηριστικών τους.

## Βιβλιογραφία

- 1) Burland J.B. (1990). "On the compressibility and shear strength of natural clays", *Geotechnique*, Vol.40, No.3, pp.329-378.
- 2) Burland J.B., Rampello S., Georgiannou V.N. & Calabresi G. (1996). "A laboratory study of the strength of four stiff clays", *Geotechnique*, Vol.46, No.3, pp.491-514.
- 3) British Standards Institution. *British Standard Methods of Test for Engineering Purposes*. B.S.I., 1975. London, BS 1377.
- 4) Κανονισμοί Κ.Ε.Δ.Ε. (1986). «Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής», Τεύχος δεύτερο.
- 5) Αθανασόπουλος Α. Γεώργιος (2008). «Συνοπτική θεωρία και προβλήματα Εδαφομηχανικής», Σημειώσεις Πανεπιστήμιο Πατρών.
- 6) Πλέτσης Σ.Κ. (2007). Διπλωματική Εργασία: «Εγγενή χαρακτηριστικά αναζυμωμένων αργιλικών υλικών», Γεωργιάννου Β.Ν., Ε.Μ.Π.
- 7) Καραγιαννόπουλος Ν. (2011). Διπλωματική Εργασία: «Πειραματική διερεύνηση ιδιοτήτων αργίλων στο συμπιεσόμετρο», Γεωργιάννου Β.Ν., Ε.Μ.Π.
- 8) Καββαδάς Μ. (2003). «Στοιχεία Εδαφομηχανικής», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 9) Γεωργιάννου Β.Ν. (2004). «Ειδικά Θέματα Εδαφομηχανικής», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 10) Γκαζέτας Γ. (2003). «Σημειώσεις Εδαφομηχανικής», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

- 11) Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι., (1999), Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- 12) Παπαδόπουλος Β. (2003), Στοιχεία Γεωτεχνικής, Σημειώσεις ΕΜΠ.
- 13) Τελική Έκθεση Π.Ε.Β.Ε. (2009), «Απόκριση στιφρών αργίλων στην τριαξονική συσκευή υψηλών πιέσεων», Ε.Μ.Π.

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**Αποτελέσματα ανάλυσης με αραιόμετρο**

**Αποτελέσματα δοκιμών συμπιεσομέτρου**

Εδαφικό δείγμα	Φυσικό	WF 24255	Φόρτιση										Αποφόρτιση	
			Φορτίο (kg)	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128	64
	Φυσ-1		Τάση (kPa)	50,823	99,886	198,012	394,264	786,768	1571,776	3141,792	6281,824	12561,888	6281,824	3141,792
G <sub>s</sub> =	2,69		Χρόνος 0 h	9,288	9,277	9,261	9,173	9,154	9,085	9,006	8,850	8,289	7,139	7,188
W <sub>o</sub> =	21,6	%	Χρόνος 24 h	9,277	9,261	9,173	9,154	9,085	9,006	8,850	8,289	7,139	7,188	7,202
e <sub>o</sub> =	0,581		Χρόνος 0 h(mm)	9,288	9,277	9,261	9,173	9,154	9,085	9,006	8,850	8,289	7,139	7,188
d <sub>1</sub> =	50	mm	Χρόνος 24 h(mm)	9,277	9,261	9,173	9,154	9,085	9,006	8,850	8,289	7,139	7,188	7,202
h <sub>1</sub> =	17,6	mm	Δh (mm)	0,011	0,016	0,088	0,019	0,069	0,079	0,156	0,561	1,150	-0,049	-0,014
2η οπή			Δh' (mm)	0,011	0,027	0,115	0,134	0,203	0,282	0,438	0,999	2,149	-0,049	-0,063
W <sub>o</sub> =	0,763	WLL	Δh(compl)	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090	0,150
top cap=	1,76	kPa	Δh (mm)	0,000	0,007	0,085	0,090	0,135	0,178	0,290	0,787	1,847		
1kg=	49,063	kPa	Δh'/h <sub>1</sub>	0,000	0,000	0,005	0,005	0,008	0,010	0,016	0,045	0,105		
			Δe	0,000	0,001	0,008	0,008	0,012	0,016	0,026	0,071	0,166		
e <sub>100</sub> =	0,736		e	0,581	0,580	0,573	0,573	0,569	0,565	0,555	0,510	0,415	0,415	0,415
e <sub>1000</sub> =	0,616		I <sub>v</sub>	-1,291	-1,297	-1,355	-1,359	-1,392	-1,425	-1,508	-1,880	-2,674		
			log(σ <sub>v</sub> )	1,706	2,000	2,297	2,596	2,896	3,196	3,497	3,798	4,099		
			I <sub>v</sub> (Burland)	0,332	0,001	-0,320	-0,623	-0,907	-1,168	-1,402	-1,609	-1,784		



Εδαφικό δείγμα	Φυσικό	WF 24255	Φόρτιση										Αποφόρτιση
			Φορτίο (kg)	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128
	Φυσ-2		Τάση (kPa)	50,823	99,886	198,012	394,264	786,768	1571,776	3141,792	6281,824	12561,888	6281,824
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	18,210	18,190	18,096	17,974	17,801	17,513	17,000	16,318	15,465	14,606
Wo=	21,4	%	Χρόνος 24 h	18,190	18,096	17,974	17,801	17,513	17,000	16,318	15,465	14,606	14,657
eo=	0,576		Χρόνος 0 h(mm)	18,210	18,190	18,096	17,974	17,801	17,513	17,000	16,318	15,465	14,606
d1=	50	mm	Χρόνος 24 h(mm)	18,190	18,096	17,974	17,801	17,513	17,000	16,318	15,465	14,606	14,657
h1=	17,6	mm	Δh (mm)	0,020	0,094	0,122	0,173	0,288	0,513	0,682	0,853	0,859	-0,051
2η οπή			Δh' (mm)	0,020	0,114	0,236	0,409	0,697	1,210	1,892	2,745	3,604	-0,051
Wo=	0,756	WLL	Δh(comp)	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090
top cap=	1,76	kPa	Δh (mm)	0,004	0,094	0,206	0,365	0,629	1,106	1,744	2,533	3,302	
1kg=	49,063	kPa	Δh'/h1	0,000	0,005	0,012	0,021	0,036	0,063	0,099	0,144	0,188	
			Δe	0,000	0,008	0,018	0,033	0,056	0,099	0,156	0,227	0,296	
e100=	0,736		e	0,575	0,567	0,557	0,543	0,519	0,477	0,420	0,349	0,280	0,280
e1000=	0,616		Iv	-1,339	-1,406	-1,490	-1,608	-1,805	-2,161	-2,637	-3,226	-3,800	
			log(σv)	1,706	2,000	2,297	2,596	2,896	3,196	3,497	3,798	4,099	
			Iv(Burland)	0,332	0,001	-0,320	-0,623	-0,907	-1,168	-1,402	-1,609	-1,784	

Εδαφικό δείγμα	Φυσικό	WF 24255	Φόρτιση										Αποφόρτιση	
			Φορτίο (kg)	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128	64
	Φυσ-3		Τάση (kPa)	50,823	99,886	198,012	394,264	786,768	1571,776	3141,792	6281,824	12561,888	6281,824	3141,792
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	9,040	9,035	9,029	8,977	8,893	8,783	8,596	8,225	7,509	6,525	6,584
Wo=	21,6	%	Χρόνος 24 h	9,035	9,029	8,977	8,893	8,783	8,596	8,225	7,509	6,525	6,584	6,603
eo=	0,581		Χρόνος 0 h(mm)	9,040	9,035	9,029	8,977	8,893	8,783	8,596	8,225	7,509	6,525	6,584
d1=	50	mm	Χρόνος 24 h(mm)	9,035	9,029	8,977	8,893	8,783	8,596	8,225	7,509	6,525	6,584	6,603
h1=	17,6	mm	Δh (mm)	0,005	0,006	0,052	0,084	0,110	0,187	0,371	0,716	0,984	-0,059	-0,019
2η οπή			Δh' (mm)	0,005	0,011	0,063	0,147	0,257	0,444	0,815	1,531	2,515	-0,059	-0,078
Wo=	0,763	WLL	Δh(compl)	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090	0,154
top cap=	1,76	kPa	Δh (mm)	0,000	0,000	0,033	0,103	0,189	0,340	0,667	1,319	2,213		
1kg=	49,063	kPa	Δh'/h1	0,000	0,000	0,002	0,006	0,011	0,019	0,038	0,075	0,126		
			Δe	0,000	0,000	0,003	0,009	0,017	0,031	0,060	0,118	0,199		
e100=	0,736		e	0,581	0,581	0,578	0,572	0,564	0,550	0,521	0,463	0,382	0,382	0,382
e1000=	0,616		Iv	-1,291	-1,291	-1,316	-1,368	-1,433	-1,546	-1,791	-2,279	-2,948		
			log(σv)	1,706	2,000	2,297	2,596	2,896	3,196	3,497	3,798	4,099		
			Iv(Burland)	0,332	0,001	-0,320	-0,623	-0,907	-1,168	-1,402	-1,609	-1,784		

Εδαφικό δείγμα	Φυσικό Φυσ-4	MATEST	Φόρτιση									Αποφόρτιση
			Φορτίο (kg)	1	2	4	8	16	32	64	128	64
			Τάση (kPa)	51,722	101,684	201,608	401,456	801,152	1600,544	3199,328	6396,896	3199,328
Gs=	2,69	%	Χρόνος 0 h	3,340	3,400	3,470	3,830	4,130	4,540	5,170	6,425	9,850
Wo=	22,3		Χρόνος 24 h	3,400	3,470	3,830	4,130	4,540	5,170	6,425	9,850	9,515
eo=	0,600	mm	Χρόνος 0 h(mm)	0,668	0,680	0,694	0,766	0,826	0,908	1,034	1,285	1,970
d1=	50		Χρόνος 24 h(mm)	0,680	0,694	0,766	0,826	0,908	1,034	1,285	1,970	1,903
h1=	17,6	mm	Δh (mm)	0,012	0,014	0,072	0,060	0,082	0,126	0,251	0,685	-0,067
2η οπή		WLL	Δh' (mm)	0,012	0,026	0,098	0,158	0,240	0,366	0,617	1,302	-0,067
Wo=	0,788		Δh(compl)	0,012	0,020	0,026	0,034	0,050	0,074	0,118	0,190	0,072
top cap=	1,76	kPa	Δh (mm)	0,000	0,006	0,072	0,124	0,190	0,292	0,499	1,112	
1kg=	49,962	kPa	Δh'/h1	0,000	0,000	0,004	0,007	0,011	0,017	0,028	0,063	
			Δe	0,000	0,001	0,007	0,011	0,017	0,027	0,045	0,101	
e100=	0,736		e	0,600	0,599	0,593	0,589	0,583	0,573	0,555	0,499	0,499
e1000=	0,616		Iv	-1,134	-1,139	-1,189	-1,228	-1,278	-1,356	-1,512	-1,977	
			log(σv)	1,714	2,007	2,305	2,604	2,904	3,204	3,505	3,806	
			Iv(Burland)	0,323	-0,008	-0,328	-0,631	-0,914	-1,174	-1,408	-1,614	

Εδαφικό δείγμα	Φυσικό Φυσ-5	WF 24255	Φόρτιση						Αποφόρτιση				
			Φορτίο (kg)	4	8	16	32	64	128	256	128	64	32
			<b>Τάση (kPa)</b>	198,012	394,264	786,768	1571,776	3141,792	6281,824	12561,888	6281,824	3141,792	1571,776
<b>G<sub>s</sub>=</b>	<b>2,69</b>		<b>Χρόνος 0 h</b>	8,473	8,246	8,208	8,145	8,068	7,954	7,418	6,191	6,250	6,295
<b>W<sub>o</sub>=</b>	<b>20,5</b>	%	<b>Χρόνος 24 h</b>	8,246	8,208	8,145	8,068	7,954	7,418	6,191	6,250	6,295	6,343
<b>e<sub>o</sub>=</b>	<b>0,551</b>		<b>Χρόνος 0 h(mm)</b>	8,473	8,246	8,208	8,145	8,068	7,954	7,418	6,191	6,250	6,295
<b>d<sub>1</sub>=</b>	<b>50</b>	mm	<b>Χρόνος 24 h(mm)</b>	8,246	8,208	8,145	8,068	7,954	7,418	6,191	6,250	6,295	6,343
<b>h<sub>1</sub>=</b>	<b>17,6</b>	mm	<b>Δh (mm)</b>	0,227	0,038	0,063	0,077	0,114	0,536	1,227	-0,059	-0,045	-0,048
<b>2η οπή</b>			<b>Δh' (mm)</b>	0,227	0,265	0,328	0,405	0,519	1,055	2,282	-0,059	-0,104	-0,152
<b>W<sub>o</sub>=</b>	<b>0,724</b>	WLL	<b>Δh(compl)</b>	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090	0,154	0,198
<b>top cap=</b>	<b>1,76</b>	kPa	<b>Δh (mm)</b>	0,197	0,221	0,260	0,301	0,371	0,843	1,980			
<b>1kg=</b>	<b>49,063</b>	kPa	<b>Δh'/h<sub>1</sub></b>	0,011	0,013	0,015	0,017	0,021	0,048	0,113			
			<b>Δe</b>	0,017	0,019	0,023	0,027	0,033	0,074	0,175			
<b>e<sub>100</sub>=</b>	<b>0,736</b>		<b>e</b>	0,534	0,532	0,529	0,525	0,519	0,477	0,377	0,377	0,377	0,377
<b>e<sub>1000</sub>=</b>	<b>0,616</b>		<b>I<sub>v</sub></b>	-1,683	-1,700	-1,729	-1,759	-1,810	-2,157	-2,992			
			<b>log(σ<sub>v</sub>)</b>	2,297	2,596	2,896	3,196	3,497	3,798	4,099			
			<b>I<sub>v</sub>(Burland)</b>	-0,320	-0,623	-0,907	-1,168	-1,402	-1,609	-1,784			

Εδαφικό δείγμα	Αναζ/vo	WF 24255	Φόρτιση											Αποφόρτιση	
			Φορτίο (kg)	top cap(0,66kg)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128
	Αναζ-1		Τάση (kPa)	1,466	13,724	25,981	50,496	99,526	197,586	393,706	785,946	1570,426	3139,386	6277,306	3139,386
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	8,025	9,201	7,958	7,632	7,291	6,915	6,535	6,180	5,781	5,368	4,896	4,353
Wo=	39,06	%	Χρόνος 24 h	6,470	7,958	7,632	7,291	6,915	6,535	6,180	5,781	5,368	4,896	4,353	4,407
eo=	1,051		Χρόνος 0 h(mm)	8,025	9,201	7,958	7,632	7,291	6,915	6,535	6,180	5,781	5,368	4,896	4,353
d1=	75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	6,470	7,958	7,632	7,291	6,915	6,535	6,180	5,781	5,368	4,896	4,353	4,407
h1=	18,9	mm	Δh (mm)	1,555	1,243	0,326	0,341	0,376	0,380	0,355	0,399	0,413	0,472	0,543	-0,054
3η οπή			Δh' (mm)	1,555	2,798	3,124	3,465	3,841	4,221	4,576	4,975	5,388	5,860	6,403	-0,054
Wo=	1,4	WLL	Δh(compl)	0,000	0,008	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090
top cap=	1,466	kPa	Δh (mm)	1,555	2,790	3,108	3,445	3,811	4,177	4,508	4,871	5,240	5,648	6,101	
1kg=	24,515	kPa	Δh'/h1	0,082	0,148	0,164	0,182	0,202	0,221	0,239	0,258	0,277	0,299	0,323	
			Δe	0,169	0,303	0,337	0,374	0,414	0,453	0,489	0,529	0,569	0,613	0,662	
e100=	0,635		e	0,882	0,748	0,713	0,677	0,637	0,597	0,562	0,522	0,482	0,438	0,389	0,389
e1000=	0,508		Iv	1,945	0,890	0,618	0,330	0,017	-0,295	-0,578	-0,888	-1,203	-1,552	-1,939	
			log(σv)	0,166	1,137	1,415	1,703	1,998	2,296	2,595	2,895	3,196	3,497	3,798	
			Iv(Burland)	2,237	1,010	0,675	0,335	0,002	-0,319	-0,623	-0,906	-1,167	-1,402	-1,609	

Εδαφικό δείγμα	Αναζ/νο	MATEST	Φόρτιση											
			Φορτίο (kg)	top cap(0,66kg)	1800gr	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128
	Αναζ-2		Τάση (kPa)	1,466	5,479	17,693	29,906	54,332	103,184	200,888	396,296	787,112	1568,744	3132,008
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	12,900	37,900	40,980	43,160	44,180	45,490	47,110	48,910	50,900	53,200	55,870
Wo=	42,5	%	Χρόνος 24 h	23,930	40,980	43,160	44,180	45,490	47,110	48,910	50,900	53,200	55,870	58,880
eo=	1,143		Χρόνος 0 h(mm)	2,580	7,580	8,196	8,632	8,836	9,098	9,422	9,782	10,180	10,640	11,174
d1=	75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	4,786	8,196	8,632	8,836	9,098	9,422	9,782	10,180	10,640	11,174	11,776
h1=	18,9	mm	Δh (mm)	2,206	0,616	0,436	0,204	0,262	0,324	0,360	0,398	0,460	0,534	0,602
2η οπή			Δh' (mm)	2,206	2,822	3,258	3,462	3,724	4,048	4,408	4,806	5,266	5,800	6,402
Wo=	1,52	WLL	Δh(compl)	0,000	0,000	0,006	0,012	0,020	0,026	0,034	0,050	0,074	0,118	0,190
top cap+1800=	5,48	kPa	Δh (mm)	2,206	2,822	3,252	3,450	3,704	4,022	4,374	4,756	5,192	5,682	6,212
1kg=	24,426	kPa	Δh'/h1	0,117	0,149	0,172	0,183	0,196	0,213	0,231	0,252	0,275	0,301	0,329
			Δe	0,250	0,320	0,369	0,391	0,420	0,456	0,496	0,539	0,589	0,644	0,704
e100=	0,685		e	0,893	0,823	0,774	0,752	0,723	0,687	0,647	0,604	0,554	0,499	0,439
e1000=	0,533		Iv	1,369	0,909	0,589	0,441	0,251	0,014	-0,248	-0,533	-0,859	-1,224	-1,620
			log(σv)	0,166	0,739	1,248	1,476	1,735	2,014	2,303	2,598	2,896	3,196	3,496
			Iv(Burland)	2,237	1,507	0,876	0,602	0,299	-0,015	-0,326	-0,625	-0,907	-1,167	-1,401

Εδαφικό δείγμα	Αναζ/νο	WF 24255	Φόρτιση													Αποφόρτιση				
			Φορτίο (kg)	porol(108,65gr)	top cap(525gr)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128	64	32	16	8
	Αναζ-3		Τάση (kPa)	0,241	1,406	12,309	23,212	45,018	88,630	175,854	350,302	699,198	1396,990	2792,574	5583,742	2792,574	1396,990	699,198	350,302	175,854
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	3,112	7,844	9,304	8,474	8,235	8,000	7,699	7,370	6,995	6,574	6,104	5,551	4,921	4,973	5,014	5,049	5,088
Wo=	44,5	%	Χρόνος 24 h	1,489	7,327	8,474	8,235	8,000	7,699	7,370	6,995	6,574	6,104	5,551	4,921	4,973	5,014	5,049	5,088	5,125
eo=	1,197		Χρόνος 0 h(mm)	3,112	7,844	9,304	8,474	8,235	8,000	7,699	7,370	6,995	6,574	6,104	5,551	4,921	4,973	5,014	5,049	5,088
d1=	75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	1,489	7,327	8,474	8,235	8,000	7,699	7,370	6,995	6,574	6,104	5,551	4,921	4,973	5,014	5,049	5,088	5,125
h1=	19,15	mm	Δh (mm)	1,623	0,517	0,830	0,239	0,235	0,301	0,329	0,375	0,421	0,470	0,553	0,630	-0,052	-0,041	-0,035	-0,039	-0,037
2η οπή			Δh' (mm)	1,623	2,140	2,970	3,209	3,444	3,745	4,074	4,449	4,870	5,340	5,893	6,523	-0,052	-0,093	-0,128	-0,167	-0,204
Wo=	1,6	WLL	Δh(compl)	0,000	0,000	0,008	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090	0,154	0,198	0,234	0,258
top cap=	1,406	kPa	Δh (mm)	1,623	2,140	2,962	3,193	3,424	3,715	4,030	4,381	4,766	5,192	5,681	6,221					
1kg=	21,806	kPa	Δh'/h1	0,085	0,112	0,155	0,167	0,179	0,194	0,210	0,229	0,249	0,271	0,297	0,325					
			Δe	0,186	0,246	0,340	0,366	0,393	0,426	0,462	0,503	0,547	0,596	0,652	0,714					
e100=	0,762		e	1,011	0,952	0,857	0,831	0,804	0,771	0,735	0,694	0,650	0,601	0,545	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483	0,483
e1000=	0,626		lv	1,830	1,394	0,700	0,505	0,310	0,065	-0,201	-0,497	-0,822	-1,181	-1,594	-2,049					
			log(σv)	-0,618	0,148	1,090	1,366	1,653	1,948	2,245	2,544	2,845	3,145	3,446	3,747					
			lv(Burland)	3,241	2,260	1,069	0,733	0,393	0,058	-0,265	-0,573	-0,860	-1,125	-1,364	-1,576					

Εδαφικό δείγμα	Αναζ/vo	Matest	Φόρτιση											Αποφόρτιση				
			Φορτίο (kg)	top cap(0,646kg)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128	64	32	16
	Αναζ-4		Τάση (kPa)	1,440	13,699	25,957	50,474	99,508	197,576	393,712	785,984	1570,528	3139,616	6277,792	3139,616	1570,528	785,984	393,712
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	0,870	10,100	15,920	17,110	18,390	19,800	21,470	23,140	25,090	27,130	29,490	32,050	31,810	31,600	31,400
Wo=	33,7	%	Χρόνος 24 h	7,180	15,920	17,110	18,390	19,800	21,470	23,140	25,090	27,130	29,490	32,050	31,810	31,600	31,400	31,240
eo=	0,907		Χρόνος 0 h(mm)	0,174	2,020	3,184	3,422	3,678	3,960	4,294	4,628	5,018	5,426	5,898	6,410	6,362	6,320	6,280
d1=	75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	1,436	3,184	3,422	3,678	3,960	4,294	4,628	5,018	5,426	5,898	6,410	6,362	6,320	6,280	6,248
h1=	19	mm	Δh (mm)	1,262	1,164	0,238	0,256	0,282	0,334	0,334	0,390	0,408	0,472	0,512	0,048	0,042	0,040	0,032
2η οπή			Δh' (mm)	1,262	2,426	2,664	2,920	3,202	3,536	3,870	4,260	4,668	5,140	5,652	0,048	0,090	0,130	0,162
Wo=	1,21	WLL	Δh(compl)	0,000	0,006	0,012	0,020	0,026	0,034	0,068	0,074	0,118	0,190	0,223	0,033	0,105	0,149	0,155
top cap=	1,44	kPa	Δh (mm)	1,262	2,420	2,652	2,900	3,176	3,502	3,802	4,186	4,550	4,950	5,429	0,015	-0,015	-0,019	0,007
1kg=	24,517	kPa	Δh'/h1	0,066	0,127	0,140	0,153	0,167	0,184	0,200	0,220	0,239	0,261	0,286	0,001	-0,001	-0,001	0,000
e100=	0,587		Δe	0,127	0,243	0,266	0,291	0,319	0,351	0,382	0,420	0,457	0,497	0,545	0,002	-0,002	-0,002	0,001
e1000=	0,475		e	0,780	0,664	0,640	0,616	0,588	0,555	0,525	0,486	0,450	0,410	0,362	0,363	0,363	0,363	0,364
			lv	1,722	0,685	0,477	0,255	0,007	-0,285	-0,553	-0,897	-1,224	-1,582	-2,011				
			log(σv)	0,158	1,137	1,414	1,703	1,998	2,296	2,595	2,895	3,196	3,497	3,798				
			lv(Burland)	2,247	1,011	0,675	0,336	0,002	-0,319	-0,623	-0,907	-1,167	-1,402	-1,609				



Εδαφικό δείγμα			Φόρτιση							
			Φορτίο (kg)	top cap(0,66kg)	1800gr	0,5	1	2	4	12
	αναζ/vo	MATEST	Τάση (kPa)	1,466	5,480	17,693	29,906	54,332	103,184	298,592
Gs=	2,69	%	Χρόνος 0 h	40,150	14,900	18,680	19,850	20,380	21,240	22,500
Wo=	31,3		Χρόνος 24 h	45,370	18,680	19,850	20,380	21,240	22,500	25,020
eo=	0,842	mm	Χρόνος 0 h(mm)	8,030	2,980	3,736	3,970	4,076	4,248	4,500
d1=	75		Χρόνος 24 h(mm)	9,074	3,736	3,970	4,076	4,248	4,500	5,004
h1=	18,9	mm	Δh (mm)	1,044	0,756	0,234	0,106	0,172	0,252	0,504
2η οπή		WLL	Δh' (mm)	1,044	1,800	2,034	2,140	2,312	2,564	3,068
Wo=	1,12		Δh(compl)	0,000	0,000	0,006	0,012	0,020	0,026	0,037
top cap=	5,48	kPa	Δh(mm)	1,044	1,800	2,028	2,128	2,292	2,538	3,031
1kg=	24,426	kPa	Δh'/h1	0,055	0,095	0,107	0,113	0,121	0,134	0,160
			Δe	0,102	0,175	0,198	0,207	0,223	0,247	0,295
e100=	0,593		e	0,740	0,667	0,644	0,635	0,619	0,595	0,547
e1000=	0,482		Iv	1,326	0,663	0,462	0,375	0,231	0,015	-0,418
			log(σv)	0,166	0,739	1,248	1,476	1,735	2,014	2,475
			Iv(Burland)	2,237	1,507	0,876	0,602	0,299	-0,015	-0,503

			Φόρτιση											
Εδαφικό δείγμα	αναζ/vo	WF 24255	Φορτίο (kg)	top cap(0,633kg)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256
	Αναζ-6		Τάση (kPa)	1,406	13,664	25,921	50,436	99,466	197,526	393,646	785,886	1570,366	3139,326	6277,246
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	13,250	4,420	7,260	7,930	8,720	9,750	11,000	12,470	14,420	16,820	19,850
Wo=	33	%	Χρόνος 24 h	19,150	7,260	7,930	8,720	9,750	11,000	12,470	14,420	16,820	19,850	23,190
eo=	0,888		Χρόνος 0 h(mm)	2,650	0,884	1,452	1,586	1,744	1,950	2,200	2,494	2,884	3,364	3,970
d1=	75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	3,830	1,452	1,586	1,744	1,950	2,200	2,494	2,884	3,364	3,970	4,638
h1=	19,15	mm	Δh (mm)	1,180	0,568	0,134	0,158	0,206	0,250	0,294	0,390	0,480	0,606	0,668
2η οπή			Δh' (mm)	1,180	1,748	1,882	2,040	2,246	2,496	2,790	3,180	3,660	4,266	4,934
Wo=	1,18	WLL	Δh(compl)	0,000	0,008	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302
top cap=	1,406	kPa	Δh(mm)	1,180	1,740	1,866	2,020	2,216	2,452	2,722	3,076	3,512	4,054	4,632
1kg=	24,515	kPa	Δh'/h1	0,062	0,091	0,097	0,105	0,116	0,128	0,142	0,161	0,183	0,212	0,242
			Δe	0,116	0,172	0,184	0,199	0,218	0,242	0,268	0,303	0,346	0,400	0,457
e100=	0,669		e	0,771	0,716	0,704	0,689	0,669	0,646	0,619	0,584	0,542	0,488	0,431
e1000=	0,56		Iv	0,939	0,433	0,319	0,180	0,002	-0,211	-0,455	-0,775	-1,170	-1,660	-2,183
			log(σv)	0,148	1,136	1,414	1,703	1,998	2,296	2,595	2,895	3,196	3,497	3,798
			Iv(Burland)	2,260	1,013	0,676	0,336	0,003	-0,318	-0,623	-0,906	-1,167	-1,402	-1,609

Εδαφικό δείγμα	αναζ/vo	WF 24255	Φόρτιση													Αποφόρτιση				
			Φορτίο (kg)	porol(91,52gr)	top cap(631,5gr)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128	64	32	16	8
	Αναζ-7		Τάση (kPa)	0,203	1,605	13,863	26,120	50,635	99,665	197,725	393,845	786,085	1570,565	3139,525	6277,445	3139,525	1570,565	786,085	393,845	197,725
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	13,114	8,115	22,198	21,974	21,900	21,782	21,639	21,433	21,164	20,785	20,256	19,549	18,745	18,798	18,839	18,872	18,905
Wo=	39	%	Χρόνος 24 h	11,801	7,768	21,974	21,900	21,782	21,639	21,433	21,164	20,785	20,256	19,549	18,745	18,798	18,839	18,872	18,905	18,925
eo=	1,049		Χρόνος 0 h(mm)	13,114	8,115	22,198	21,974	21,900	21,782	21,639	21,433	21,164	20,785	20,256	19,549	18,745	18,798	18,839	18,872	18,905
d1=	75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	11,801	7,768	21,974	21,900	21,782	21,639	21,433	21,164	20,785	20,256	19,549	18,745	18,798	18,839	18,872	18,905	18,925
h1=	19	mm	Δh (mm)	1,313	0,347	0,224	0,074	0,118	0,143	0,206	0,269	0,379	0,529	0,707	0,804	0,053	0,041	0,033	0,033	0,020
3η οπή			Δh' (mm)	1,313	1,660	1,884	1,958	2,076	2,219	2,425	2,694	3,073	3,602	4,309	5,113	0,053	0,094	0,127	0,160	0,180
Wo=	1,4	WLL	Δh(compl)			0,008	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090	0,154	0,198	0,234	0,258
top cap=	1,605	kPa	Δh(mm)	1,313	1,660	1,876	1,942	2,056	2,189	2,381	2,626	2,969	3,454	4,097	4,811					
1kg=	24,515	kPa	Δh'/h1	0,069	0,087	0,099	0,102	0,108	0,115	0,125	0,138	0,156	0,182	0,216	0,253					
e100=	0,823		Δe	0,142	0,179	0,202	0,209	0,222	0,236	0,257	0,283	0,320	0,373	0,442	0,519					
e1000=	0,695		e	0,907	0,870	0,847	0,840	0,827	0,813	0,792	0,766	0,729	0,677	0,607	0,530	0,530	0,530	0,530	0,530	0,530
			Iv	0,660	0,368	0,186	0,130	0,034	-0,078	-0,240	-0,446	-0,735	-1,144	-1,686	-2,287					
			log(σv)	-0,693	0,205	1,142	1,417	1,704	1,999	2,296	2,595	2,895	3,196	3,497	3,798					
			Iv(Burland)	3,335	2,186	1,005	0,672	0,334	0,002	-0,319	-0,623	-0,907	-1,167	-1,402	-1,609					

		Φόρτιση											Αποφόρτιση					
Εδαφικό δείγμα	αναζ/vo	WF 24255	Φορτίο (kg)	top cap(654,4gr)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	64	32	16	8	4
	Αναζ-8		Τάση (kPa)	1,453	13,711	25,968	50,483	99,513	197,573	393,693	785,933	1570,413	3139,373	1570,413	785,933	393,693	197,573	99,513
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	12,708	4,050	6,130	6,840	7,720	8,840	10,140	11,770	13,810	16,520	19,460	18,950	18,650	18,380	18,220
Wo=	39	%	Χρόνος 24 h	10,740	6,130	6,840	7,720	8,840	10,140	11,770	13,810	16,520	19,460	18,950	18,650	18,380	18,220	17,900
eo=	1,049		Χρόνος 0 h(mm)	12,708	0,810	1,226	1,368	1,544	1,768	2,028	2,354	2,762	3,304	3,892	3,790	3,730	3,676	3,644
d1=	75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	10,740	1,226	1,368	1,544	1,768	2,028	2,354	2,762	3,304	3,892	3,790	3,730	3,676	3,644	3,580
h1=	19	mm	Δh (mm)	1,968	0,416	0,142	0,176	0,224	0,260	0,326	0,408	0,542	0,588	0,102	0,060	0,054	0,032	0,064
3η οπή			Δh' (mm)	1,968	2,384	2,526	2,702	2,926	3,186	3,512	3,920	4,462	5,050	0,102	0,162	0,216	0,248	0,312
Wo=	1,4	WLL	Δh(compl)		0,008	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,064	0,108	0,144	0,168	0,182
top cap=	1,453	kPa	Δh(mm)	1,968	2,376	2,510	2,682	2,896	3,142	3,444	3,816	4,314	4,838	0,038	0,054	0,072	0,080	0,130
1kg=	24,515	kPa	Δh'/h1	0,104	0,125	0,132	0,141	0,152	0,165	0,181	0,201	0,227	0,255	0,002	0,003	0,004	0,004	0,007
e100=	0,736		Δe	0,212	0,256	0,271	0,289	0,312	0,339	0,371	0,412	0,465	0,522	0,004	0,006	0,008	0,009	0,014
e1000=	0,616		e	0,837	0,793	0,778	0,760	0,737	0,710	0,678	0,638	0,584	0,527	0,531	0,537	0,545	0,554	0,568
			lv	0,840	0,474	0,353	0,199	0,006	-0,215	-0,486	-0,820	-1,268	-1,739					
			log(σv)	0,162	1,137	1,414	1,703	1,998	2,296	2,595	2,895	3,196	3,497					
			lv(Burland)	2,242	1,011	0,675	0,336	0,002	-0,319	-0,623	-0,906	-1,167	-1,402					

			Φόρτιση												Αποφόρτιση			
Εδαφικό δείγμα	αναζ/vo	WF 24255	Φορτίο (kg)	top cap(0,66kg)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	128	64	32	
	Aναζ-9		Τάση (kPa)	1,466	13,724	25,981	50,496	99,526	197,586	393,706	785,946	1570,426	3139,386	6277,306	3139,386	1570,426	785,946	
	Gs= 2,69		Χρόνος 0 h	12,501	21,223	20,516	20,259	20,020	19,755	19,479	19,155	18,761	18,246	17,680	16,955	16,995	7,929	
	Wo= 37	%	Χρόνος 24 h	11,022	20,516	20,259	20,020	19,755	19,479	19,155	18,761	18,246	17,680	16,955	16,995	17,015	7,962	
	eo= 0,995		Χρόνος 0 h(mm)	12,501	21,223	20,516	20,259	20,020	19,755	19,479	19,155	18,761	18,246	17,680	16,955	16,995	7,929	
	d1= 75	mm	Χρόνος 24 h(mm)	11,022	20,516	20,259	20,020	19,755	19,479	19,155	18,761	18,246	17,680	16,955	16,995	17,015	7,962	
	h1= 17,6	mm	Δh (mm)	1,479	0,707	0,257	0,239	0,265	0,276	0,324	0,394	0,515	0,566	0,725	0,040	0,020	0,033	
	3η οπή		Δh' (mm)	1,479	2,186	2,443	2,682	2,947	3,223	3,547	3,941	4,456	5,022	5,747	0,040	0,060	0,093	
	Wo= 1,33	WLL	Δh(compl)	0,000	0,008	0,016	0,020	0,030	0,044	0,068	0,104	0,148	0,212	0,302	0,090	0,154	0,198	
	top cap= 1,466	kPa	Δh(mm)	1,479	2,178	2,427	2,662	2,917	3,179	3,479	3,837	4,308	4,810	5,445				
	1kg= 24,515	kPa	Δh'/h1	0,084	0,124	0,138	0,151	0,166	0,181	0,198	0,218	0,245	0,273	0,309				
	e100= 0,664		Δe	0,168	0,247	0,275	0,302	0,331	0,360	0,394	0,435	0,488	0,545	0,617				
	e1000= 0,54		e	0,828	0,748	0,720	0,694	0,665	0,635	0,601	0,560	0,507	0,450	0,378	0,378	0,378	0,378	
				Iv	1,320	0,680	0,453	0,238	0,005	-0,235	-0,509	-0,836	-1,267	-1,726	-2,306			
				log(σv)	0,166	1,137	1,415	1,703	1,998	2,296	2,595	2,895	3,196	3,497	3,798			
			Iv(Burland)	2,237	1,010	0,675	0,335	0,002	-0,319	-0,623	-0,906	-1,167	-1,402	-1,609				

Εδαφικό δείγμα	αναζ/νο	Μεγάλο	Φόρτιση					Αποφόρτιση	
			Φορτίο (N)	TC(1,02)	440	880	1760	3520	1760
	Μεγ-1		Τάση (kPa)	0,553	24,874	49,196	97,839	195,125	97,839
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	158,620	105,640	98,110	96,300	94,660	92,180
Wo=	38	%	Χρόνος 24 h	147,030	98,110	96,300	94,660	92,180	92,410
eo=	1,022		Χρόνος 0 h(mm)	158,620	105,640	98,110	96,300	94,660	92,180
d1=	151,77	mm	Χρόνος 24 h(mm)	147,030	98,110	96,300	94,660	92,180	92,410
h1=	158,62	mm	Δh (mm)	11,590	7,530	1,810	1,640	2,480	0,230
			Δh' (mm)	11,590	19,120	20,930	22,570	25,050	0,230
Wo=	1,36	WLL	Δh(compl)	0,000	0,009	0,027	0,031	0,040	0,031
top cap=	0,553	kPa	Δh(mm)	11,590	19,111	20,903	22,539	25,010	0,199
			Δh'/h1	0,073	0,120	0,132	0,142	0,158	0,001
			Δe	0,148	0,244	0,266	0,287	0,319	0,003
e100=	0,734		e	0,874	0,779	0,756	0,735	0,703	0,706
e1000=	0,612		Iv	1,151	0,365	0,178	0,007	-0,251	
			log(σv)	-0,257	1,396	1,692	1,991	2,290	
			Iv(Burland)	2,780	0,697	0,349	0,010	-0,313	

Εδαφικό δείγμα	αναζ/νο	Μεγάλο	Φόρτιση					Αποφόρτιση		
			Φορτίο (N)	TC(1,02)	440	880	1760	3520	1760	880
	Μεγ-2		Τάση (kPa)	0,553	24,874	49,196	97,839	195,125	97,839	49,196
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	54,890	92,840	84,220	82,980	80,850	78,700	78,900
Wo=	35,5	%	Χρόνος 24 h	64,160	84,220	82,980	80,850	78,700	78,900	79,150
eo=	0,955		Χρόνος 0 h(mm)	54,890	92,840	84,220	82,980	80,850	78,700	78,900
d1=	151,77	mm	Χρόνος 24 h(mm)	64,160	84,220	82,980	80,850	78,700	78,900	79,150
h1=	146,44	mm	Δh (mm)	9,270	8,620	1,240	2,130	2,150	0,200	0,250
			Δh' (mm)	9,270	17,890	19,130	21,260	23,410	0,200	0,450
Wo=	1,27	WLL	Δh(compl)	0,000	0,009	0,027	0,031	0,040	0,031	0,027
top cap=	0,553	kPa	Δh(mm)	9,270	17,881	19,103	21,229	23,370	0,169	0,423
			Δh'/h1	0,063	0,122	0,130	0,145	0,160	0,001	0,003
			Δe	0,124	0,239	0,255	0,283	0,312	0,002	0,006
e100=	0,671		e	0,831	0,716	0,700	0,672	0,643	0,645	0,651
e1000=	0,56		Iv	1,443	0,408	0,261	0,005	-0,253		
			log(σv)	-0,257	1,396	1,692	1,991	2,290		
			Iv(Burland)	2,780	0,697	0,349	0,010	-0,313		

Εδαφικό δείγμα	αναζ/νο	Μεγάλο	Φόρτιση					Αποφόρτιση		
			Φορτίο (N)	TC(1,02)	440	880	1760	3520	1760	880
	Μεγ-3		Τάση (kPa)	0,553	24,874	49,196	97,839	195,125	97,839	49,196
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	103,000	73,620	61,920	59,820	57,500	54,240	54,440
Wo=	43	%	Χρόνος 24 h	73,620	61,920	59,820	57,500	54,240	54,440	54,660
eo=	1,157		Χρόνος 0 h(mm)	103,000	73,620	61,920	59,820	57,500	54,240	54,440
WT=	0	%	Χρόνος 24 h(mm)	73,620	61,920	59,820	57,500	54,240	54,440	54,660
d1=	151,77	mm	Δh (mm)	29,380	11,700	2,100	2,320	3,260	0,200	0,220
h1=	146,44	mm	Δh' (mm)	29,380	41,080	43,180	45,500	48,760	0,200	0,420
			Δh(compl)	0,000	0,009	0,027	0,031	0,040	0,031	0,027
Wo=	1,54	WLL	Δh(mm)	29,380	41,071	43,153	45,469	48,720	0,169	0,393
top cap=	0,553	kPa	Δh'/h1	0,201	0,280	0,295	0,310	0,333	0,001	0,003
			Δe	0,433	0,605	0,636	0,670	0,718	0,002	0,006
			e	0,724	0,552	0,521	0,487	0,439	0,442	0,447
e100=	0,485		lv	1,390	0,389	0,210	0,012	-0,266		
e1000=	0,313		log(σv)	-0,257	1,396	1,692	1,991	2,290		
			lv(Burland)	2,780	0,697	0,349	0,010	-0,313		



Εδαφικό δείγμα			Φόρτιση				
			Φορτίο (N)	TC(1,02)	440	880	1760
αναζ/νο	Μεγ-4	Μεγάλο	Τάση (kPa)	0,553	24,874	49,196	97,839
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	107,780	85,140	87,530	85,170
Wo=	42	%	Χρόνος 24 h	85,140	69,700	85,170	82,640
eo=	1,130	mm	Χρόνος 0 h(mm)	107,780	85,140	87,530	85,170
d1=	151,77		Χρόνος 24 h(mm)	85,140	69,700	85,170	82,640
h1=	146,44	mm	Δh (mm)	22,640	15,440	2,360	2,530
Wo=	1,51	WLL	Δh' (mm)	22,640	38,080	40,440	42,970
			Δh(compl)	0,000	0,009	0,027	0,031
top cap=	0,553	kPa	Δh(mm)	22,640	38,071	40,413	42,939
			Δh'/h1	0,155	0,260	0,276	0,293
			Δe	0,329	0,554	0,588	0,624
e100=	0,282		e	0,801	0,576	0,542	0,505
e1000=	0,14		Iv	3,652	2,071	1,831	1,573
			log(σv)	-0,257	1,396	1,692	1,991
			Iv(Burland)	2,780	0,697	0,349	0,010

Εδαφικό δείγμα	αναζ/νο	Μεγάλο	Φόρτιση					Αποφόρτιση		
			Φορτίο (N)	TC(1,02)	440	880	1760	3520	1760	880
	Μεγ-5		Τάση (kPa)	0,553	24,874	49,196	97,839	195,125	97,839	49,196
Gs=	2,69		Χρόνος 0 h	41,680	52,030	62,830	64,010	65,890	67,850	67,740
Wo=	37	%	Χρόνος 24 h	52,030	62,830	64,010	65,890	67,850	67,740	67,720
eo=	0,995		Χρόνος 0 h(mm)	41,680	52,030	62,830	64,010	65,890	67,850	67,740
d1=	151,77	mm	Χρόνος 24 h(mm)	52,030	62,830	64,010	65,890	67,850	67,740	67,720
h1=	146,44	mm	Δh (mm)	10,350	10,800	1,180	1,880	1,960	0,110	0,020
			Δh' (mm)	10,350	21,150	22,330	24,210	26,170	0,110	0,130
Wo=	1,33	WLL	Δh(compl)	0,000	0,009	0,027	0,031	0,040	0,031	0,027
top cap=	0,553	kPa	Δh(mm)	10,350	21,141	22,303	24,179	26,130	0,079	0,103
			Δh'/h1	0,071	0,144	0,152	0,165	0,178	0,001	0,001
			Δe	0,141	0,288	0,304	0,329	0,356	0,001	0,001
e100=	0,663		e	0,854	0,707	0,691	0,666	0,639	0,640	0,642
e1000=	0,57		Iv	2,057	0,476	0,306	0,031	-0,255		
			log(σv)	-0,257	1,396	1,692	1,991	2,290		
			Iv(Burland)	2,780	0,697	0,349	0,010	-0,313		

Εδαφικό δείγμα	cake	MATEST	Φόρτιση									Αποφόρτιση			
			Φορτίο (kg)	1	2	4	8	16	32	64	128	64	32	16	8
Gs=	Προ-1	%	Τάση (kPa)	51,722	101,684	201,608	401,456	801,152	1600,544	3199,328	6396,896	3199,328	1600,544	801,152	401,456
	2,69		Χρόνος 0 h	11,440	15,870	16,720	17,940	19,400	21,110	23,150	25,330	28,22	27,96	27,68	27,45
Wo=	19	mm	Χρόνος 24 h	15,870	16,720	17,940	19,400	21,110	23,150	25,330	28,220	27,96	27,68	27,45	27,28
eo=	0,511		Χρόνος 0 h(mm)	2,288	3,174	3,344	3,588	3,880	4,222	4,630	5,066	5,644	5,592	5,536	5,49
d1=	50	mm	Χρόνος 24 h(mm)	3,174	3,344	3,588	3,880	4,222	4,630	5,066	5,644	5,592	5,536	5,49	5,456
h1=	17,6		Δh (mm)	0,886	0,170	0,244	0,292	0,342	0,408	0,436	0,578	-0,052	-0,056	-0,046	-0,034
2η οπή	Wo=	WLL	Δh' (mm)	0,886	1,056	1,300	1,592	1,934	2,342	2,778	3,356	-0,052	-0,108	-0,154	-0,188
top cap=			0,67	Δh(compl)	0,012	0,020	0,026	0,034	0,050	0,074	0,118	0,190	0,072	0,116	0,14
1kg=	1,76	kPa	Δh(mm)	0,874	1,036	1,274	1,558	1,884	2,268	2,660	3,166			-0,014	-0,032
	49,962		Δh'/h1	0,050	0,059	0,072	0,089	0,107	0,129	0,151	0,180			-0,0008	-0,00182
e100=	0,588	kPa	Δe	0,075	0,089	0,109	0,134	0,162	0,195	0,228	0,272			0,001202	0,002747
e1000=	0,500		e	0,436	0,422	0,402	0,377	0,349	0,316	0,283	0,239	0,239274	0,239274	0,240476	0,242274
			Iv	-1,717	-1,874	-2,105	-2,380	-2,696	-3,068	-3,448	-3,938				
			log(σv)	1,714	2,007	2,305	2,604	2,904	3,204	3,505	3,806				
			Iv(Burland)	0,323	-0,008	-0,328	-0,631	-0,914	-1,174	-1,408	-1,614				

		Φόρτιση										Αποφόρτιση						
Εδαφικό δείγμα	cake	MATEST	Φορτίο (kg)	1	2	4	8	16	32	64	128	64	32	16	8	4	2	1
	Προ-2		Τάση (kPa)	56,718	111,676	221,592	441,424	881,088	1760,416	3519,072	7036,384	3519,072	1760,416	881,088	441,424	221,592	111,676	56,718
G <sub>s</sub> =	2,69		Χρόνος 0 h	19,330	20,220	20,720	21,460	22,560	24,180	26,170	28,910	32,410	32,040	31,760	31,490	31,140	30,940	30,790
W <sub>o</sub> =	27,6	%	Χρόνος 24 h	20,220	20,720	21,460	22,560	24,180	26,170	28,910	32,410	32,040	31,760	31,490	31,140	30,940	30,790	30,520
e <sub>o</sub> =	0,742		Χρόνος 0 h (mm)	3,866	4,044	4,144	4,292	4,512	4,836	5,234	5,782	6,482	6,408	6,352	6,298	6,228	6,188	6,158
d <sub>1</sub> =	50	mm	Χρόνος 24 h (mm)	4,044	4,144	4,292	4,512	4,836	5,234	5,782	6,482	6,408	6,352	6,298	6,228	6,188	6,158	6,104
h <sub>1</sub> =	19	mm	Δh (mm)	0,178	0,100	0,148	0,220	0,324	0,398	0,548	0,700	0,074	0,056	0,054	0,070	0,040	0,030	0,054
3η οπή			Δh' (mm)	0,368	0,468	0,616	0,836	1,160	1,558	2,106	2,806	0,074	0,130	0,184	0,254	0,294	0,324	0,378
W <sub>o</sub> =	0,99	WLL	Δh(compl)	0,012	0,020	0,026	0,034	0,050	0,074	0,118	0,190	0,072	0,116	0,140	0,156	0,164	0,170	0,178
top cap=	1,76	kPa	Δh(mm)	0,356	0,448	0,590	0,802	1,110	1,484	1,988	2,616	0,002	0,014	0,044	0,098	0,130	0,154	0,200
1kg=	54,958	kPa	Δh'/h <sub>1</sub>	0,019	0,024	0,031	0,042	0,058	0,078	0,105	0,138	0,000	0,001	0,002	0,005	0,007	0,008	0,011
e <sub>100</sub> =	0,6695		Δe	0,033	0,041	0,054	0,074	0,102	0,136	0,182	0,240	0,000	0,001	0,004	0,009	0,012	0,014	0,018
e <sub>1000</sub> =	0,588		e	0,710	0,701	0,688	0,669	0,641	0,606	0,560	0,503	0,503	0,504	0,508	0,517	0,529	0,543	0,561
			lv	0,494	0,391	0,231	-0,007	-0,354	-0,775	-1,342	-2,049							
			log(σ <sub>v</sub> )	1,754	2,048	2,346	2,645	2,945	3,246	3,546	3,847							
			lv(Burland)	0,277	-0,053	-0,370	-0,671	-0,951	-1,208	-1,438	-1,640							

Εδαφικό δείγμα	cake Προ-3	MATEST	Φόρτιση								Αποφόρτιση				
			Φορτίο (kg)	1	2	4	8	16	32	64	128	64	32	16	8
Gs=	2,69	%	Τάση (kPa)	56,718	111,676	221,592	441,424	881,088	1760,416	3519,072	7036,384	3519,072	1760,416	881,088	441,424
Wo=	25		Χρόνος 0 h	22,120	22,520	23,210	23,990	25,200	26,810	29,050	32,080	35,890	35,520	35,260	35,030
eo=	0,673	mm	Χρόνος 24 h	22,520	23,210	23,990	25,200	26,810	29,050	32,080	35,890	35,520	35,260	35,030	34,890
d1=	50		Χρόνος 0 h (mm)	4,424	4,504	4,642	4,798	5,040	5,362	5,810	6,416	7,178	7,104	7,052	7,006
h1=	19	mm	Χρόνος 24 h (mm)	4,504	4,642	4,798	5,040	5,362	5,810	6,416	7,178	7,104	7,052	7,006	6,978
3η οπή	0,897		Δh (mm)	0,080	0,138	0,156	0,242	0,322	0,448	0,606	0,762	0,762	0,074	0,052	0,046
Wo=		1,76	WLL	Δh' (mm)	0,514	0,652	0,808	1,050	1,372	1,820	2,426	3,188	0,074	0,126	0,172
top cap=	54,958	kPa	Δh(compl)	0,012	0,020	0,026	0,034	0,050	0,074	0,118	0,190	0,072	0,116	0,140	0,156
1kg=	0,62		Δh(mm)	0,502	0,632	0,782	1,016	1,322	1,746	2,308	2,998	0,002	0,010	0,032	0,044
e100=		0,55	kPa	Δh'/h1	0,026	0,033	0,041	0,053	0,070	0,092	0,121	0,158	0,000	0,001	0,002
e1000=		Δe		0,044	0,056	0,069	0,089	0,116	0,154	0,203	0,264	0,000	0,001	0,003	0,004
			e	0,628	0,617	0,604	0,583	0,556	0,519	0,469	0,409	0,409	0,410	0,412	0,416
			lv	0,119	-0,045	-0,233	-0,528	-0,912	-1,446	-2,152	-3,020				
			log(σv)	1,754	2,048	2,346	2,645	2,945	3,246	3,546	3,847				
			lv(Burland)	0,277	-0,053	-0,370	-0,671	-0,951	-1,208	-1,438	-1,640				

Κοκκομετρική Ανάλυση με Αραιόμετρο										
t Χρόνος (min)	Rt (g/l)	T Θερμοκρασία C	ρw Πυκνότητα νερού	n Ιξώδες του νερού	m διόρθωση θερμ/ας	L ενεργό μήκος	D διάμετρος κόκκων (mm)	R (g/l)	p ποσοστό διερχομένων (%)	p ποσοστό συγκρατούμενων (%)
0,125	40	25	0,99708	0,00894	1,025	9,7	0,1122636	40,025	99,262	0,738
0,25	39	25	0,99708	0,00894	1,025	9,9	0,0801965	39,025	96,782	3,218
0,5	38,5	25	0,99708	0,00894	1,025	10	0,0569932	38,525	95,542	4,458
1	33,5	25	0,99708	0,00894	1,025	10,8	0,0418813	33,525	83,142	16,858
2	21	25	0,99708	0,00894	1,025	12,9	0,0323659	21,025	52,142	47,858
4	4,5	25	0,99708	0,00894	1,025	15,55	0,0251271	4,525	11,222	88,778
8	2	25	0,99708	0,00894	1,025	16	0,0180228	2,025	5,022	94,978
15	2	25	0,99708	0,00894	1,025	16	0,013162	2,025	5,022	94,978
30	2	25	0,99708	0,00894	1,025	16	0,0093069	2,025	5,022	94,978
60	1	25	0,99708	0,00894	1,025	16,1	0,0066015	1,025	2,542	97,458
120	1	25	0,99708	0,00894	1,025	16,1	0,004668	1,025	2,542	97,458
1440	0	25	0,99708	0,00894	1,025	16,3	0,0013559	0,025	0,062	99,938

$$m = 1000(0,99823 - \rho_w - 0,000025(T - 20))$$

$$D = \text{SQRT}(30nL / (980(G_s - 1)\rho_w t))$$

$$\alpha = 0,992$$

$$\text{Ξηρό βάρος στερεών } W_d =$$

$$\text{Πυκνότητα στερεών } G_s =$$

$$40\text{gr}$$

$$2,69$$

$$\text{Διόρθωση μηνίσκου } C_m =$$

$$\text{Διόρθωση διαλύματος } C_d =$$

$$1\text{g/l}$$

$$0\text{g/l}$$