



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΑΡΓΙΛΟΪΛΥΩΔΗ ΕΔΑΦΗ-ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ  
ΤΟΥΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ»**



**Εκπόνηση: Ελεμίνογλου Αριστομένης  
Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος**

**ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2009**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	5
ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	5
1.1 Γενικά .....	5
1.2 Γενικά περί των μεθόδων βελτίωσης του εδάφους και των εφαρμογών τους .....	7
1.3 Επιλογή κατάλληλης μεθόδου σταθεροποίησης .....	22
1.4 Σταθεροποίηση με τσιμέντο .....	23
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της σταθεροποίησης εδαφών με τσιμέντο .....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	27
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ-NΟΜΟΣ STOKES .....	27
2.1 Γενικά .....	27
2.2 Χρησιμοποιούμενα όργανα .....	29
2.3 Υπολογισμός ποσοστού εδάφους στο αιώρημα .....	31
2.3.1 Διάμετρος των κόκκων εδάφους που βρίσκεται σε μορφή αιωρήματος .....	32
2.4 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο .....	33
Περιγραφή εργασίας .....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	39
ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ .....	39
3.1 Γενικά .....	39
3.2 Όριο υδαρότητας(LL) .....	40
3.3 Όριο πλαστικότητας (PL) .....	43
3.4 Δείκτης πλαστικότητας (PI) .....	44
3.5 Κατάταξη εδαφών .....	45
3.6 Φυσικές ιδιότητες εδαφών .....	48
3.6.1 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας .....	48
3.6.2 Προσδιορισμός φαινόμενων βαρών εδαφών .....	49
3.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	59
ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ .....	59
Προσδιορισμός της βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης των εδαφών με την πρότυπη μέθοδο PROCTOR .....	59
4.1 Γενικά .....	59
4.2 Μέθοδος συμπύκνωσης .....	60
4.3 Πρότυπη μέθοδος PROCTOR .....	61
4.3.1 Περιγραφή εξοπλισμού .....	61
4.3.2 Περιγραφή μεθόδου .....	63
4.4 Τροποποίηση της δοκιμής PROCTOR για την εφαρμογή της σε βελτιωμένα δοκίμια .....	65
4.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	79
ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ .....	79
5.1 Γενικά .....	79
5.2 Χρησιμοποιούμενα όργανα .....	80
5.3 Προπαρασκευή δοκιμίων (ASHO T-146/49, ASTM D-2217/88). .....	82
5.3.1 Διαστάσεις δοκιμίου .....	82
5.4 Υπολογισμοί .....	83
5.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων δοκιμής .....	84
5.6 Τροποποίηση της δοκιμής ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης για την εφαρμογή της σε βελτιωμένα δοκίμια .....	84
5.7 Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	89

5.7.1 Παρουσίαση ελαχίστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμίων φυσικού εδάφους και βελτιωμένων δοκιμίων μετά από ωρίμανση 28 ημερών .....	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	122
ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ .....	122
6.1 Γενικά .....	122
6.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός .....	124
6.3 Περιγραφή δοκιμής .....	127
6.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	131
6.4.1 Σύγκριση ελαχίστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμίων φυσικού εδάφους και βελτιωμένων δοκιμίων μετά από ωρίμανση 7 ημερών .....	178
6.4.2 Σύγκριση ελαχίστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμίων φυσικού εδάφους και βελτιωμένων δοκιμίων μετα από ωρίμανση 28 ημερών .....	180
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 .....	182
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	182
7.1 Αρχικό έδαφος .....	182
7.2 Βελτιωμένο έδαφος .....	184

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα « Αργιλοΐλυθη εδάφη- βελτίωση των χαρακτηριστικών τους με προσθήκη τσιμέντου» αποτελείται από επτά κεφάλαια, κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει την θεωρητική ανάλυση των βασικών όρων και εννοιών του συγκεκριμένου θέματος καθώς και την περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας της εκτέλεσης των εργαστηριακών δοκιμών. Στο τέλος κάθε κεφαλαίου παραθέτονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών και τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτά.

Το πειραματικό μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του τμήματος πολιτικών μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Στο μέρος αυτό εξετάζεται η μηχανική αντοχή του εδάφους σε σχέση με τις υπόλοιπες ιδιότητες του.

Σημαντικό κομμάτι της διπλωματικής αποτελεί το φωτογραφικό υλικό το οποίο δίνει μια πιο παραστατική εικόνα όλων των εργασιών που εκτελέστηκαν, βοηθώντας τον αναγνώστη να κατανοήσει καλύτερα την όλη διαδικασία και να εντυφώσει περισσότερο στα όσα η εργασία έχει να επιδείξει στο πειραματικό τομέα.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται κάποια ιστορικά στοιχεία για την βελτίωση των εδαφών, και γίνεται μία γενική αναφορά στις σύγχρονες μεθόδους βελτίωσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία περιγραφή των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών και περιγράφεται ο μέθοδος υπολογισμού των ορίων Atterberg. Στο τέλος του κεφαλαίου παραθέτονται τα αποτελέσματα και η κατάταξη του εδάφους σύμφωνα με τα Αμερικάνικα πρότυπα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η ανάλυση ιλύος με την μέθοδο του αραιόμετρου και δίνεται η κοκκομετρική καμπύλη του εξεταζόμενου εδάφους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην συμπύκνωση εδαφών με την μέθοδο Proctor, και δίνονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας εύρεσης της βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης για κάθε ποσοστό τσιμέντου, καθώς και για το φυσικό έδαφος. Οι βέλτιστες υγρασίες συμπύκνωσης που υπολογίστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, τηρήθηκαν ευλαβικά κατά την διαδικασία μόρφωσης των δοκιμίων για τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης και άμεσης διάτμησης.



Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δοκιμή της ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης. Η δοκιμή αυτή έχει ως σκοπό να προσδιορίσει της αλλαγές που επιφέρει στην αντοχή του φυσικού εδάφους σε θλίψη η προσθήκη τσιμέντου σε ποσοστά 5%-10%-15% και 20%.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η δοκιμή άμεσης διάτμησης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής σε δοκίμια φυσικού εδάφους καθώς και σε βελτιωμένα δοκίμια με περιεκτικότητα σε τσιμέντο 5%-10%-15% και 20%

Το 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο συνοψίζει τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών που διενεργήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Παράλληλα γίνεται η μεταξύ τους σύγκριση με σκοπό να αποφασιστεί ποια είναι η πιο συμφέρουσα επιλογή συναρτήσει της χρήσης για την οποία προορίζεται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

#### 1.1 Γενικά

Η ιδέα της βελτίωσης εδάφους, με ανάμιξη υλικών που το σταθεροποιούν, άρχισε να εφαρμόζεται από αρχαιοτάτων χρόνων, από την περίοδο των Αιγυπτίων, Σουμερίων, Ασσυρίων, Ελλήνων, Αράβων και Ρωμαίων. Αργότερα οι Ιταλοί, Αγγλοι, Ρώσοι και Γερμανοί χρησιμοποίησαν την βελτίωση του εδάφους για να κατασκευάσουν αρδευτικά κανάλια, αποχετευτικούς αγωγούς κ.λ.π. (Kays, 1977).

Η χρήση της υδρασβέστου στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους ήταν γνωστή στους Κινέζους, πριν 3000 έτη, για βελτίωση των δρόμων. Την ίδια χρονική περίοδο επίσης οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν ξύλο η bamboo για την ενίσχυση του εδάφους, μεθόδους που χρησιμοποιούν ακόμη και σήμερα για την δημιουργία φραγμάτων για προστασία του περιβάλλοντος από λασποροές. (Israel, 1982)

Οι Γερμανοί από το 1936 άρχισαν να αναπτύσσουν την τεχνική “εδάφους-τσιμέντου” και κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου τα περισσότερα πολεμικά αεροδρόμια κατασκευάστηκαν με τη χρησιμοποίηση αυτού του υλικού.(Σταυριδάκης,2003)

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο οι βρετανοί προέβησαν σε σοβαρές έρευνες και πέτυχαν μεγάλες προόδους στην τεχνική του “εδάφους-τσιμέντου”. Τα προγράμματα των παραπάνω ερευνών ανέλαβαν το Road Research Laboratory (Εργαστήριο Έρευνας Οδοποιίας), Cement And Concrete Association (Σύλλογος Τσιμέντου και Σκυροδέματος), Military Engineering Experimental Establishment (Πειραματικό Στρατιωτικό Ίδρυμα του Μηχανικού).

Στην Ελλάδα το θέμα της βελτίωσης των εδαφών με τσιμέντο χρονολογείται μεταξύ του τέλους της δεκαετίας του 1950 και τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Συγκεκριμένα το Εργαστήριο του Υπουργείου Δημόσιων Έργων με διευθυντή τον κ.

Νικόλαο Τζεν και συνεργάτη του τον κ. Κωνσταντίνο Δεμίρη εκπόνησε αρκετές σχετικές μελέτες και έκανε τις πρώτες εφαρμογές για την αντιμετώπιση σοβαρών προβλημάτων σε διάφορα τεχνικά έργα. Τα έργα αυτά αναφέρονται στην σταθεροποίηση των βάσεων και υποβάσεων της οδού Μοναστηρίου στη Θεσσαλονίκη που κατασκευάστηκαν το 1963, του δρόμου αρδευτικού δικτύου Πλατέος και του δρόμου προς το ορυχείο χωμάτων της εταιρίας TITAN που κατασκευάστηκαν αμφότεροι το 1965.

Ακολούθησε ένα πλήθος ερευνητικών εργασιών που αφορούσαν την βελτίωση των εδαφών με τσιμέντο και αναφέρονταν κυρίως στην επίδραση του ποσοστού τσιμέντου στις τιμές της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη. Επισημαίνεται ότι, η επιρροή της πρόσμιξης τσιμέντου στις τιμές της διατμητικής αντοχής έχει μελετηθεί περιορισμένα.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να προσδιοριστεί το κατά πόσον μπορούν να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά των αργιλοϊλυώδων εδαφών με την προσθήκη διαφορετικών ποσοστών τσιμέντου. Έτσι θεωρήθηκε αναγκαία η μελέτη των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών (φαινόμενα και ειδικά βάρη, όρια Atterberg κ.α.), της βέλτιστης υγρασίας συμπίκνωσης, της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη και της αντοχής σε διάτμηση, σε δοκίμια συμπυκνωμένων δειγμάτων σε συνάρτηση με διάφορα ποσοστά ανάμιξης τσιμέντου (5%, 10%, 15%, 20%) και σε χρόνους ωρίμανσης των δειγμάτων 7 και 28 ημερών.

Πιο αναλυτικά, το προς εξέταση δείγμα λήφθηκε από τις υπερστερεοποιημένες αργίλους της Θεσσαλονίκης και ποιο συγκεκριμένα από πρανές της περιφερειακής οδού στην περιοχή των Κωνσταντινοπολίτικων. Στα δείγματα αυτά διενεργήθηκαν όλες οι απαραίτητες δοκιμές προκειμένου να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του πριν και μετά την προσθήκη τσιμέντου. Οι δοκιμές στις οποίες υποβλήθηκε το εδαφικό δείγμα είναι οι εξής:

1. Προσδιορισμός ειδικού και φαινομένου βάρους
2. Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα
3. Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο
4. Εύρεση ορίων Atterberg
5. Δοκιμή συμπίκνωσης Proctor

6. Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σε δοκίμια συμπυκνωμένων δειγμάτων

7. Δοκιμή άμεσης διάτμησης σε δοκίμια συμπυκνωμένων δειγμάτων

Η κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο έγινε στο εδαφικό δείγμα χωρίς καμία προσθήκη τσιμέντου.

Για την εύρεση των ορίων Atterberg και την δοκιμή συμπύκνωσης Proctor χρησιμοποιήθηκε το εδαφικό δείγμα στην αρχική του μορφή καθώς και αναμειξεις του εδαφικού δείγματος με ποσοστά τσιμέντου 5%, 10% 15% και 20%.

Οι δοκιμές της μονοαξονικής θλίψης και της άμεσης διάτμησης διενεργήθηκαν σε δοκίμια που περιείχαν αμιγές εδαφικό υλικό αλλά και σε δοκίμια που περιείχαν τσιμέντο σε ποσοστά 5%,10%,15% και 20% τα οποία ωρίμασαν μετά την παρασκευή τους για 7 και 28 μέρες.

Τα δοκίμια αυτά κοπήκαν από πυρήνες συμπυκνωμένων, στη βέλτιστη υγρασία, δειγμάτων τα οποία παράχθηκαν μέσω της διαδικασίας εκτέλεσης των δοκιμών Proctor. Κατά την παρασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη ποσότητα νερού τέτοια ώστε η τελική υγρασία τους μετά την ανάδευση να είναι σχεδόν ίση με την υγρασία βέλτιστης συμπύκνωσης που είχε προσδιοριστεί από την δοκιμή Proctor. Μετά την παρασκευή τους τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε μεταλλικά σκεύη, καλύφθηκαν με βρεγμένα πανιά και τυλίχθηκαν καλά με ελαστική μεμβράνη έτσι ώστε να αποφευχθεί η ξήρανση τους και να ωριμάσουν σε περιβάλλον με υψηλά ποσοστά υγρασίας.

## **1.2 Γενικά περί των μεθόδων βελτίωσης του εδάφους και των εφαρμογών τους**

Με τον όρο βελτίωση και ενίσχυση ενός υλικού, φυσικού ή θραυστού, περιγράφεται η διαδικασία με την οποία ένα υλικό επεξεργάζεται με σκοπό την βελτίωση των γεωτεχνικών του ιδιοτήτων (αντοχή, διαπερατότητα, μηχανικές ιδιότητες, φυσικά χαρακτηριστικά κλπ.)

Ο Van Impe (1989) διαχώρισε τις μεθόδους βελτίωσης στις παρακάτω γενικές ομάδες:



1. Προσωρινές τεχνικές βελτίωσης εδάφους με περιορισμένο χρόνο εφαρμογής κατά την περίοδο της κατασκευής (ηλεκτρική όσμωση, θέρμανση ή ψύξη του εδάφους κλπ.)
2. Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους που εφαρμόζονται χωρίς την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (δυναμική συμπύκνωση, μέθοδοι μαζικής δόνησης κλπ.)
3. Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους που εφαρμόζονται με την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων ( οπλισμένο έδαφος, ενέσεις κλπ.)

Οι μέθοδοι βελτίωσης παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.1 (Τσότσος 1987) χωρισμένες στις εξής κατηγορίες:

1. Μέθοδοι στερεοποίησης
2. Μέθοδοι όπλισης του εδάφους
3. Μέθοδοι συμπύκνωσης
4. Μέθοδοι σταθεροποίησης( βελτίωσης) του εδάφους με ανάμιξη
  - i) Με άσβεστο
  - ii) Με τσιμέντο
  - iii) Με χημικά πρόσθετα
5. Μέθοδοι με εκτέλεση ενέσεων
6. Μέθοδοι βελτίωσης με την χρησιμοποίηση θερμικής δράσης

Πίνακας 1.1 Μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους (Τσότσος, 1987)

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ
1. Στερεοποίηση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Προφόρτιση</li><li>• Προφόρτιση με αμμοστραγγιστήρια</li><li>• Ηλεκτρική όσμωση</li></ul>
2. Οπλισμός του εδάφους (χρησιμοποίηση στοιχείων που μπορούν να παραλάβουν δυνάμεις ελκυσμού και θλίψης)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Λιθοπάσσαλοι</li><li>• Οπλισμένο έδαφος</li><li>• Χρησιμοποίηση γεωφασμάτων</li><li>• Ριζοπάσσαλοι (root piles)</li><li>• Εδαφοϋλώσεις (soil nailing)</li></ul>
3. Συμπύκνωση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Δυναμική συμπύκνωση</li><li>• Πάσσαλοι συμπύκνωσης</li><li>• Μέθοδοι μαζικής δόνησης</li><li>• Εκρήξεις</li></ul>
4. Σταθεροποίηση με ανάμιξη του εδάφους με άσβεστο και τσιμέντο (χημική σταθεροποίηση)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ασβεστοπάσσαλοι</li><li>• Πάσσαλοι ή διαφράγματα με ανάμιξη εδάφους και τσιμέντου</li><li>• Υποβάσεις δρόμων</li><li>• Επικαλύψεις πρανών</li></ul>
5. Ενέσεις	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ενέσεις διαποτισμού</li><li>• Ενέσεις εκτόπισης ή συμπύκνωσης</li></ul>
6. Θερμική δράση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Θέρμανση του εδάφους</li><li>• Ψύξη του εδάφους</li></ul>

Κατά τους Attewell & Farmer (1976), Τσότσο (1987) και Van Impe (1989) οι μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω:

## 1)Στερεοποίηση

### 1α) Προφόρτιση

Η μέθοδος της προφόρτισης συνίσταται στην συσσώρευση εδαφικού υλικού και την τοποθέτηση του με μορφή σωρών πάνω στην προς βελτίωση έκταση.

Άλλοι τρόποι προφόρτισης είναι:

- i) Η τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων συνήθως σε μικρού πλάτους γραμμικά έργα
- ii) Η κατάλληλη άντληση και ο υποβιβασμός της στάθμης του υπογείου νερού
- iii) Η πλήρωση δεξαμενών ή άλλων υδατοστεγανών χώρων με νερό
- iv) Η επιφανειακή διαβροχή στεγνών χαλαρών αποθέσεων

### 1β) Προφόρτιση με τη χρησιμοποίηση αμμοστραγγιστηρίων

Η προφόρτιση μπορεί να ενισχυθεί και να βελτιωθεί με την κατασκευή κατακόρυφων αμμοστραγγιστηρίων τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την ελάττωση της διαδρομής στράγγισης με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της στερεοποίησης.(Σχ. 1.2)



Σχήμα 1.2 Προφόρτιση με τη χρησιμοποίηση αμμοστραγγιστηρίων

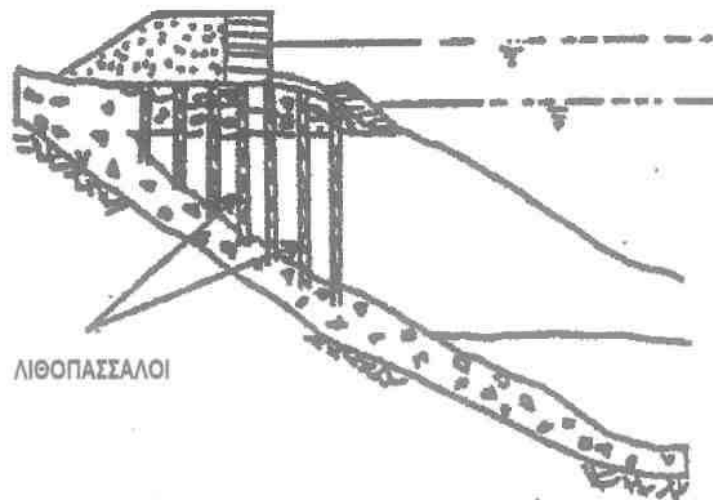
### 1γ) Ηλεκτροόσμωση

Η μέθοδος συνίσταται στην δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί την ροή του υπογείου νερού προς την κάθοδο. Οι κάθοδοι συνήθως αποτελούνται από διάτρητους σιδερένιους σωλήνες που απομακρύνουν το νερό.

## 2) Όπλιση του εδάφους

### 2α) Λιθοπάσσαλοι ή χαλικοπάσσαλοι

Η μέθοδος συνίσταται στη διάνοιξη κυκλικών οπών στο προβληματικό έδαφος με μήκος σημαντικό και την πλήρωση τους με χάλικες ή με θραυστό υλικό λατομείου. Σε αυτήν την περίπτωση, κρίσιμη είναι η αντοχή του ίδιου του πασσάλου και όχι η μεταφορά του φορτίου από τους πασσάλους στο έδαφος. (Σχ. 1.3)



Σχήμα 1.3 Χρησιμοποίηση λιθοπασσάλων και ενίσχυση του εδάφους για την κατασκευή επιχώματος και τοίχου αντιστήριξης

### 2β) Όπλισμένο έδαφος

Το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί τοπικά με την εισαγωγή στοιχείων οπλισμού. Αυτό μπορεί να γίνει με την εισαγωγή μεταλλικών λωρίδων μέσα στο έδαφος (οπλισμένο έδαφος), με τα γεωφάσματα(Σχ. 1.4), την εισαγωγή ατσάλινων ράβδων ή με καρφίδες τσιμέντου (soil nailing)(Σχ.1.5) ή με την εισαγωγή ριζοπασσάλων





Σχήμα 1.4 Έδαφος οπλισμένο με γεωπλέγματα

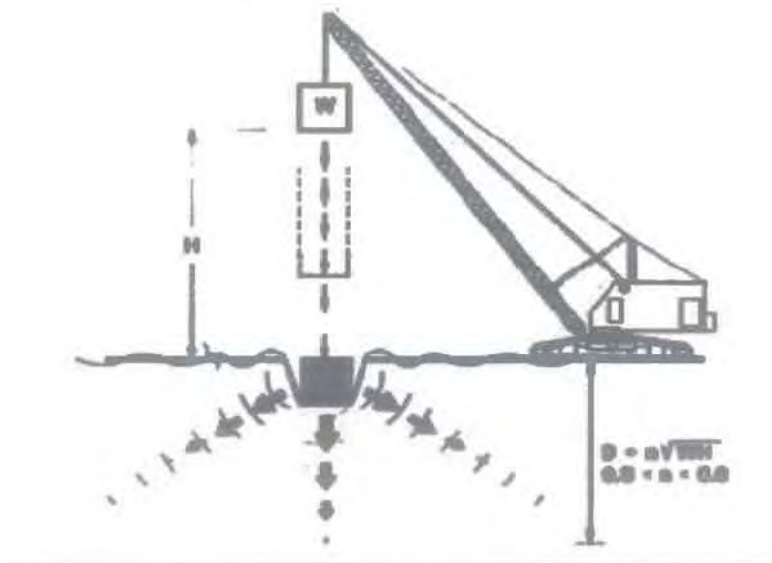


Σχήμα 1.5 Εδαφοϋλώσεις (soil nailing)

### 3) Συμπύκνωση

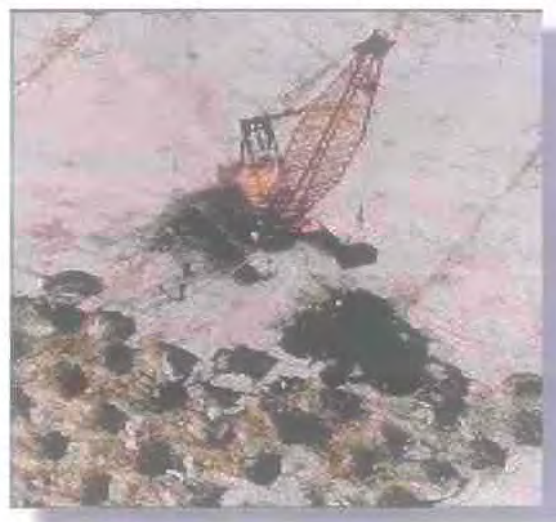
#### 3α) Δυναμική συμπύκνωση

Συνίσταται στην επιβολή πτώσης μεγάλων βαρών έως 40 τόννων από ύψος 10m έως 40m (Van Impe,1989), όπως ακριβώς συμβαίνει με την δοκιμή συμπύκνωσης των εδαφών κατά Proctor. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε χαλαρά αμμώδη εδάφη(Σχ. 1.6, 1.7)



Σχήμα 1.6

Σχήμα 1.6 & 1.7 Εφαρμογή κρούσεων μικρής διάρκειας στην επιφάνεια του εδάφους με ελεύθερη πτώση 10-40m βάρους έως και 40Tn

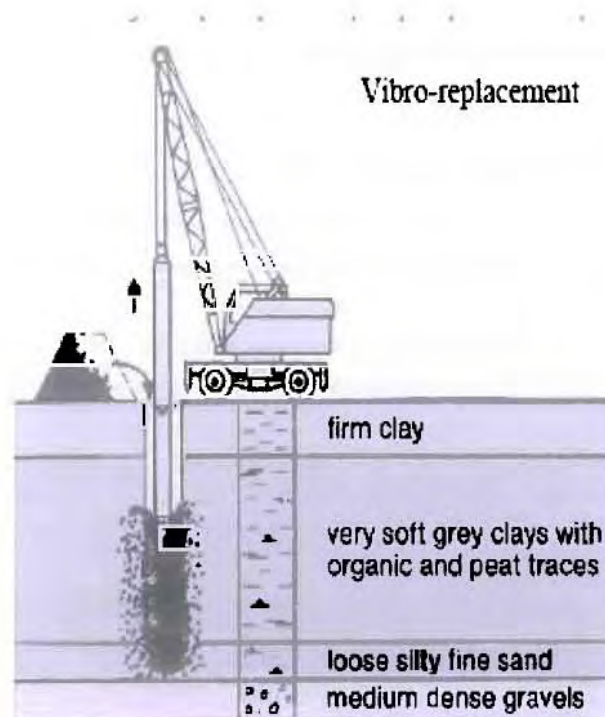


Σχήμα 1.7

#### 3β) Δυναμική συμπύκνωση και αντικατάσταση



Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην χρησιμοποίηση φορέων δόνησης κατά την διάρκεια πλήρωσης των χαλικοπασάλων(Σχ. 1.8, 1.9) με απώτερο στόχο την βέλτιστη συμπίκνωση των υλικών πλήρωσης των πασάλων και την κατά το δυνατό έμπηξή τους στους περιβάλλοντες σχηματισμούς (μερική αντικατάσταση των υλικών)



Σχ. 1.8 & 1.9 Δυναμική συμπίκνωση και αντικατάσταση χαλικοπασάλων



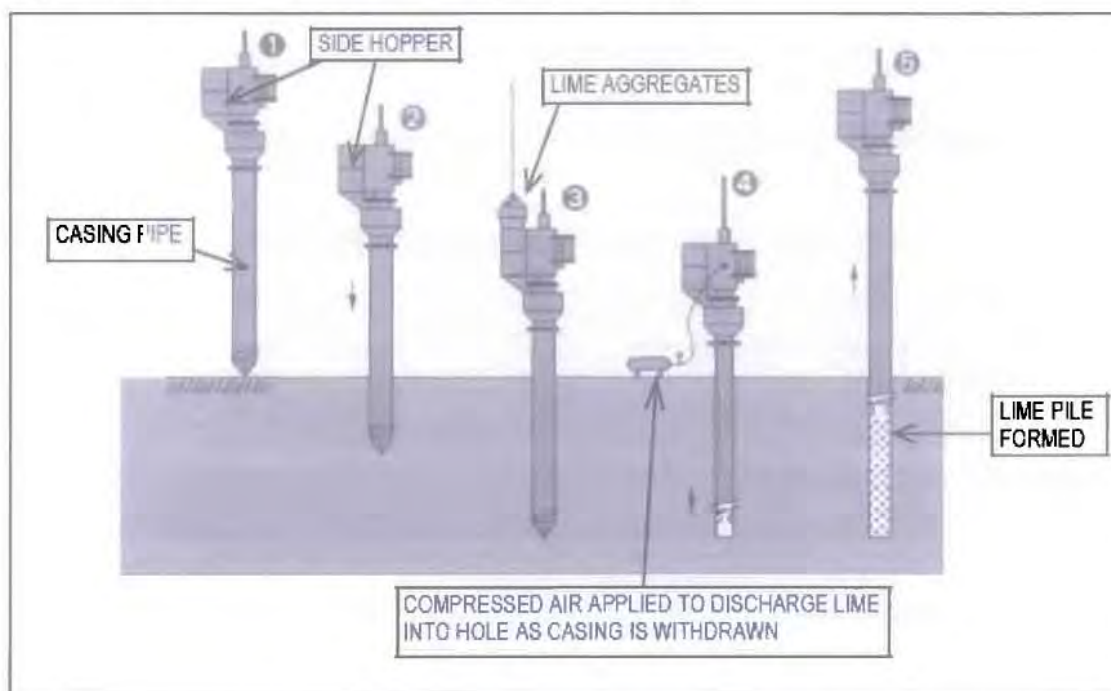
### 3γ) Εκρήξεις

Σε ένα δίκτυο γεωτρήσεων τοποθετείται εκρηκτική ύλη η οποία κατά την έκρηξη της δημιουργεί διαμήκη κύματα που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας του εδάφους κάτω από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων

### 4) Σταθεροποίηση εδάφους με τη γρήση τσιμέντου, ασβεστού ή άλλων γημικών προσθέτων

#### 4α) Ασβεστοπάσσαλοι (Lime piles)

Με ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα διανοίγεται οπή σε αργιλοϊλύδη εδάφη, στη συνέχεια το στέλεχος ανασύρεται ενώ διοχετεύεται στο έδαφος σκόνη άνυδρου ασβέστη ( $\text{CaO}$ ). Ταυτόχρονα το έδαφος αναμιγνύεται με τον ασβέστη και σχηματίζεται μία κατακόρυφη στήλη (Σχ. 1.10)



Σχήμα 1.10 Διαδικασία δημιουργίας ασβεστοπασσάλων για την βελτίωση του εδάφους

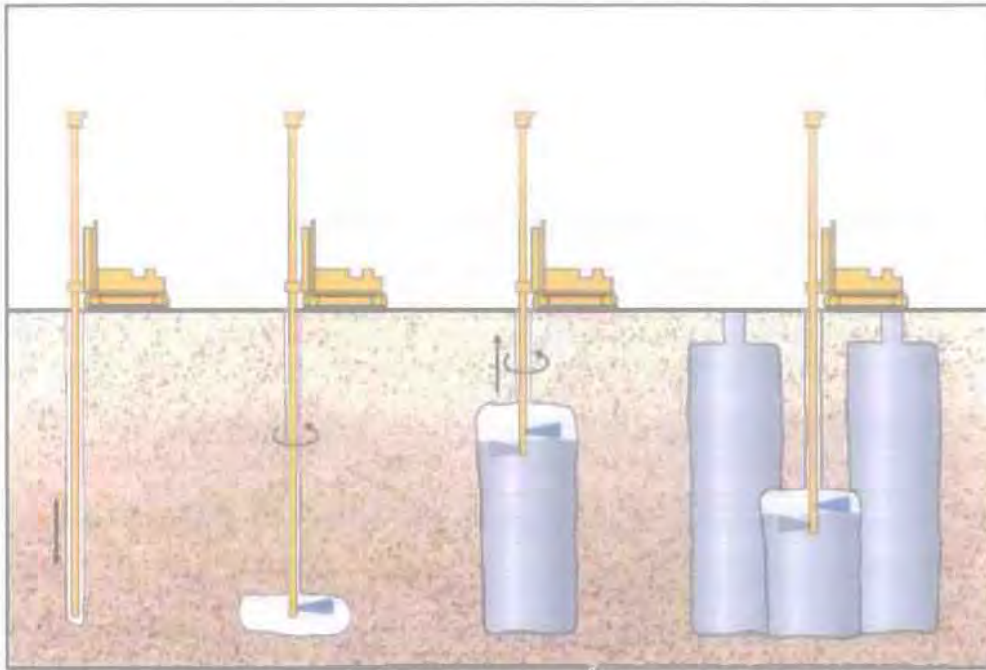


4β) Πάσσαλοι ή διαφράγματα με την ανάμιξη εδάφους ή τσιμέντου (jet grouting)

Για την δημιουργία τσιμεντοπασσάλων ή πασσαλοδιαφραγμάτων διοχετεύεται στο έδαφος ,μέσω ακροφυσίων, ένεμα με υψηλή πίεση το οποίο με ταυτόχρονη ανάμειξη δημιουργεί στήλες τσιμέντου-εδάφους με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. (Σχ. 1.11, 1.12)



Σχήμα 1.11 Φωτογραφία από την διαδικασία έγχυσης ενέματος τσιμέντου για την δημιουργία τσιμεντοπασσάλων



Σχήμα1.12 Έγχυση ενέματος για την δημιουργία στηλών εδάφους-τσιμέντου (jet grouting)

## 5) Ενέσεις

Ένεση είναι η διοχέτευση στο προς βελτίωση έδαφος ειδικών ρευστών με πίεση, τα οποία σύντομα πήζουν και βελτιώνουν την συμπεριφορά του. Ανάλογα με τις ιδιότητες που βασικά επηρεάζονται, οι ενέσεις διακρίνονται σε 2 κατηγορίες:

- i) Ενέσεις στεγανοποίησης, που προκαλούν κυρίως μείωση διαπερατότητας και χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση υπογείων ροών
- ii) Ενέσεις σταθεροποίησης, που έχουν ως στόχο την αύξηση της αντοχής και τη μείωση της συμπιεστότητας

Ανάλογα με τον τρόπο που ενεργεί το ένεμα διακρίνουμε ις εξής κατηγορίες:

- i) Ενέσεις διαποτισμού
- ii) Ενέσεις εκτοπίσεως ή συμπυκνώσεως
- iii) Ενέσεις εγκλωβισμού
- iv) Ενέσεις πλήρωσης κενού



Συνήθεις τύποι ενεμάτων είναι τα αιωρήματα τσιμέντου (τσιμεντενέσεις) (Σχ 1.13) ή μείγματα εδάφους (π.χ. μπετονίτη, άμμου) και τσιμέντου ή και μόνο εδαφών σε νερό και τα χημικά διαλύματα πυριτικών ή πολυμερών υλικών.



Σχήμα1.13 Φωτογραφία από εκτέλεση τσιμεντενέσεων για την βελτίωση των γεωτεχνικών συνθηκών θεμελίωσης υφιστάμενης κατασκευής

## **6) Θερμική δράση**

### **6α) Θέρμανση του εδάφους**

Η μέθοδος αυτή είναι η λιγότερο οικονομική από όσες έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα. Εφαρμόζεται σε χαλαρά εδάφη με μεγάλη διαπερατότητα και συνίσταται στη δημιουργία οπών με καρφίδες και την εισβολή πολύ θερμού μείγματος αέρος και καυσίμου μέσα στο έδαφος. Η πίεση είναι 1,5 φορά μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και η θερμοκρασία κυμαίνεται από 300 °C έως 1000 °C με αποτέλεσμα την συμπίκνωση λόγω απώλειας του νερού και την αύξηση των ενεργών τάσεων. Σε θερμοκρασία 550 °C η ικανότητα διόγκωσης της αργίλου καταστρέφεται και σε θερμοκρασία 1000 °C οι κόκκοι της άμμου τήκονται και δημιουργούν τεχνητή τσιμεντοποίηση.

### 6β) Ψύξη του εδάφους

Η μέθοδος ψύξης έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία υδάτινων φραγμών έξω από την επιφάνεια των κατασκευών

Στον πίνακα 1.2 (Bell, 1975, Mitchell, 1981, Van Impe, 1989) δίνονται τα όρια της κοκκομετρικής σύνθεσης των εδαφών στα οποία εφαρμόζεται αποτελεσματικά κάθε μια από τις μεθόδους βελτίωσης που αναφέρθηκαν.

Ειδικότερα όσον αφορά τις μεθόδους βελτίωσης που περιλαμβάνονται στην κατηγορία της σταθεροποίησης του εδάφους (πίνακας 1.3) διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

1. σταθεροποίηση με συμπύκνωση
2. μηχανική σταθεροποίηση με ανάμιξη δύο ή περισσότερων υλικών
3. Χημικές ή φυσικοχημικές σταθεροποιήσεις με πρόσθετα υλικά που ονομάζονται «σταθεροποιητές»

Πίνακας 1.2 Περιοχές αποτελεσματικότητας μεθόδων βελτίωσης

Χάλικες	Άμμος	Ιλύς	Αργίλλος
<-----προφόρτιση----->			
<-----δυναμική συμπύκνωση----->			
<----τσιμεντενέσεις-->			
<-----ενέσεις αργίλου----->			
<-----ενέσεις με χημικά πρόσθετα----->			
<-----ενέσεις εκτόπισης ή συμπύκνωσης---->			
<--δόνησης στήλης (vibroflotation)-->			
<-----συμπύκνωση με πασσάλους----->			
<-----εκρηκτικά----->			
<-----ηλεκτρική όσμωση----->			
<-----θερμική δράση----->			
<-----συμπύκνωση σε στρώσεις (μόνο με υγρασία)----->			





Οι Ingles και Metcalf (1972) έκαναν μια εκτεταμένη αναφορά για το εύρος και τους τύπους εφαρμογής των τεχνικών σταθεροποίησης. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής συνοψίζουν την χρήση των τεχνικών σταθεροποίησης στα εξής:

- θεμελιώσεις κτιρίων: Η χρήση των μεθόδων σταθεροποίησης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους κάτω από το κτίριο και τον έλεγχο της διαπερατότητας
- εργασίες εκσκαφής: όπου παρέχεται καλύτερη υποστήριξη στις σήραγγες και τις τάφρους με πλευρική αύξηση αντοχής και έλεγχο της διαπερατότητας
- κατασκευές υποβάσεων δρόμων: όπου δημιουργούνται κατασκευές με μεγαλύτερη αντοχή, καθώς αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους και μειώνεται η διάβρωση του. Έτσι προστατεύονται οι κατασκευές από την καιρική διάβρωση και τις μεταβολές του όγκου
- σταθεροποίηση πρανών: σε τεχνητά είτε σε φυσικά πρανά όπου αυξάνεται η αντοχή του εδάφους σε διάβρωση και μεταβάλλεται η διαπερατότητα του εδάφους
- συγκράτηση ύδατος: δημιουργούνται ασφαλείς κατασκευές, όσον αφορά την διάβρωση του εδάφους και την φέρουσα ικανότητα του ειδικότερα σε φράγματα, κανάλια, δεξαμενές κ.α.

Από τις παραπάνω μεθόδους βελτίωσης η σταθεροποίηση με τσιμέντο έχει ευρύ φάσμα εφαρμογής στα εδάφη και είναι επίσης οικονομική μέθοδος κατά τον Mitchell (1981) καθώς σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους βελτίωσης έχει μέσο σχετικό κόστος.

Ο Lilley (1975) αναφέρει ότι η σταθεροποίηση του εδάφους με τσιμέντο, σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους σταθεροποίησης ( με ανόργανους ή οργανικούς σταθεροποιητές, οργανικές ρητίνες κτλ.), εμφανίζει δείκτη κόστους 1, που είναι και ο χαμηλότερος.

Τα συμπεράσματα του Mitchell(1981) και του Lilley(1975) επεκτείνει ο Ruenkraigergsa (1983) και αναφέρει ότι η σταθεροποίηση με τσιμέντο είναι φθηνότερη από τη μηχανική σταθεροποίηση, εφόσον η τιμή κόστους του θραυστού

υλικού και η απόσταση μεταφοράς του πληρούν ορισμένες οικονομικές προϋποθέσεις (τιμή μονάδας 26,1 δολ/μ<sup>2</sup> και απόσταση έως 200km περίπου)

### **1.3 Επιλογή κατάλληλης μεθόδου σταθεροποίησης**

Το σταθεροποιημένο μίγμα εδάφους-τσιμέντου ανάλογα με την ποσότητα ύδατος που περιέχει, δηλαδή του ιξώδους, αλλά ανάλογα και με τη χρήση του μίγματος διακρίνεται στα εξής είδη(Κόλιας, 1965, Η.Ρ.Α., 1959):

1)Σταθεροποιημένο με τσιμέντο έδαφος.(Συμπυκνωμένο έδαφος-τσιμέντο ή έδαφος τσιμέντο)

Το ποσοστό του ύδατος είναι αυτό που χρειάζεται για την συμπύκνωση του μίγματος (βέλτιστη υγρασία) και την ενυδάτωση του τσιμέντου. Εφαρμογές σε βάσεις δρόμων και αεροδρομίων, σε κατασκευή χώρων στάθμευσης, θεμελίων αποθηκών ύδατος κλπ και γενικά εκεί όπου μπορούν να εργαστούν τα κατάλληλα μηχανήματα.

2)Βελτιωμένο έδαφος με τσιμέντο

Περιέχει τόσο τσιμέντο και ύδωρ όσο χρειάζεται για να βελτιωθούν οι ιδιότητες του εδάφους (π.χ. μείωση της πλαστικότητας, αύξηση της φέρουσας ικανότητας, αύξηση της αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη, αύξηση της αντοχής σε διάτμηση). Το ποσοστό του τσιμέντου και του ύδατος είναι μικρότερο της προηγούμενης κατηγορίας . Χρησιμοποιείται σε βάσεις, υποβάσεις και σε επιχώματα δρόμων.

3)Πλαστικό μίγμα εδάφους τσιμέντου

Περιέχει περισσότερο νερό και τσιμέντο από τις προηγούμενες κατηγορίες και γι' αυτό πριν τη σκλήρυνση του εμφανίζει μικρό ιξώδες. Χρησιμοποιείται για επιστρώσεις σε επιφάνειες που έχουν μεγάλες κλίσεις π.χ. επιφάνειες αρδευτικών τάφρων ή εκεί που δεν μπορούν να εργαστούν τα κατάλληλα μηχανήματα.

### **1.4 Σταθεροποίηση με τσιμέντο**

Η σταθεροποίηση με τσιμέντο ανήκει σε εκείνη την ευρύτερη κατηγορία σταθεροποιήσεων που βασίζονται στη χρήση κάποιου πρόσθετου του οποίου η δράση οφείλεται μερικά στις αντιδράσεις του με το έδαφος και μερικά στις δικές του ιδιότητες.

Πιο συγκεκριμένα, έδαφος σταθεροποιημένο με τσιμέντο είναι μίγμα εδάφους και τσιμέντου συμπυκνωμένο με τη βέλτιστη υγρασία. Μετά τη σκλήρυνση του τσιμέντου, δημιουργείται μία στρώση με αυξημένη αντοχή, αυξημένη αντίσταση στη διάβρωση και με μειωμένη συμπιεστότητα.

Το σταθεροποιημένο με τσιμέντο έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση ή υπόβαση οδοστρώματος, για ενίσχυση πρανών, σε λίμνες, σε ανοικτά κανάλια, στα πρανή του ταμιευτήρα των χωμάτων φραγμάτων ή ως έδαφος θεμελίωσης των κατασκευών.

Για πρώτη φορά η τεχνική της σταθεροποίησης του εδάφους με το τσιμέντο χρησιμοποιήθηκε το 1951 στην Αμερική σε πρανές επιχώματος του χωμάτινου φράγματος Bonny κοντά στην περιοχή Hale του Colorado (Nussbaum και Colley, 1971). Η υπεροχή του σταθεροποιημένου εδάφους με τσιμέντο σε σχέση με το φυσικό έδαφος, όσον αφορά τη διάβρωση, αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, αντοχή σε διάτμηση και την διαπερατότητα, ώθησε την κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών στη χρησιμοποίηση της τεχνικής εδάφους-τσιμέντου σε πάνω από 30 φράγματα.

Στον πίνακα 1.4 (Mitchell, 1981) φαίνεται η αποτελεσματικότητα της σταθεροποίησης του εδάφους με τσιμέντο σε συνάρτηση με το μέγεθος των κόκκων του. Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου σταθεροποίησης είναι μεγάλη και για εδαφικά υλικά που περιέχουν κόκκους μεγέθους  $<74\mu\text{m}$ , όπου ο ποιοτικός έλεγχος είναι δύσκολος. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει και εδάφη που παρουσιάζουν δείκτη πλαστικότητας  $>25\%$ , που περιέχουν κατά κανόνα αργιλικά ορυκτά με διαστελλόμενο πλέγμα (Croft, 1968), όπως ο μοντμοριλλονίτης και σταθεροποιούνται επιτυχώς με την άσβεστο.

Σε γενικές γραμμές οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στη ποιότητα του σταθεροποιημένου εδάφους με τσιμέντο είναι οι εξής:

- 1) Είδος εδάφους
- 2) Περιεκτικότητα σε τσιμέντο
- 3) Περιεκτικότητα σε ύδωρ
- 4) Συμπύκνωση
- 5) Ανάμιξη
- 6) Συντήρηση

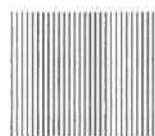
Πίνακας 1.4 Αποτελεσματικότητα ειδών σταθεροποίησης

Χαρακτηρισμός υλικού	Λεπτόκοκκη Αργίλος	Χονδρόκοκκη Αργίλος	Λεπτόκοκκη Ιλύς	Χονδρόκοκκη Ιλύς	Λεπτόκοκκη Άμμος	Χονδρόκοκκη Άμμος
Διαστάσεις κόκκου	<0,0006	0,0006-0,002	0,002-0,01	0,01-0,06	0,06-0,4	0,4-0,2
Στερεοποίηση με:						
Ασβέστη						
Τσιμέντο						
Άσφαλτο						
Πολυμερή ή οργανικές ουσίες						
Μηχανική στερεοποίηση						

Περιοχή μέγιστης αποτελεσματικότητας



Μεγάλη αποτελεσματικότητα αλλά δύσκολος ποιοτικός έλεγχος





### **1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της σταθεροποίησης εδαφών με τσιμέντο**

Σε σύγκριση με τα συνήθη υλικά, η σταθεροποίηση με τσιμέντο παρουσιάζει γενικά τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Η φέρουσα ικανότητα της σταθεροποιημένης στρώσης είναι σημαντικά μεγαλύτερη της αντίστοιχης στρώσης θραυστού υλικού που έχει σταθεροποιηθεί μηχανικά. Η σταθεροποιημένη στρώση παρουσιάζει σημαντική αντοχή σε θλίψη και αρκετή σε εφελκυσμό, γεγονός που προσδιορίζει σ' αυτή την ικανότητα μιας ομαλότερης κατανομής του φορτίου. Στην οδοποιία, η ομαλότερη αυτή κατανομή του φορτίου έχει ως συνέπεια η στρώση αυτή να συμπεριφέρεται σαν ημιεύκαμπτο οδόστρωμα, δηλαδή σαν τύπος μεταξύ των γνωστών εύκαμπτων και άκαμπτων από σκυρόδεμα οδοστρωμάτων. Αποτέλεσμα της ιδιότητας αυτής είναι η σημαντική μείωση του απαιτούμενου πάχους της στρώσης. Έτσι μια συντηρητική παραδοχή σήμερα είναι ότι το μηχανικά στερεοποιημένο θραυστό υλικό μπορεί να αντικατασταθεί με στρώση σταθεροποιημένη με τσιμέντο, πάχους περίπου ίσου με το 75% ή 60 % του αντίστοιχου πάχους μηχανικά σταθεροποιημένης στρώσης.
- Η σταθεροποιημένη στρώση αποτελεί μία μονωτική ανθεκτική στρώση πάνω στο φυσικό έδαφος. Η στρώση αυτή παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες, μικρότερη υδατοπερατότητα και μεγαλύτερη αντίσταση στις ογκομετρικές αλλαγές σε σχέση με μία στρώση από θραυστό υλικό.
- Μία σταθεροποιημένη στρώση έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από μία στρώση από θραυστό υλικό και αυτό γιατί το θραυστό υλικό είναι δυνατόν να διεισδύσει στο φυσικό έδαφος, με την παρέλευση του χρόνου και την επίδραση των φορτίων, με ταυτόχρονη άνοδο ασταθούς υλικού το οποίο επηρεάζεται καταστρεπτικά από την υγρασία και τον παγετό, ή να επιτρέψει την άνοδο υγρασίας προς την επιφάνεια διαμέσου των τριχοειδών.
- Τέλος η σταθεροποίηση με τσιμέντο προσφέρει μία οικονομική λύση σε πολλές περιπτώσεις, λόγω της δυνατότητας χρησιμοποίησης ευτελέστερου υλικού, που εμφανίζεται στην περιοχή του έργου ή μεταφέρεται από μικρές αποστάσεις και ακόμα επειδή το τσιμέντο είναι οικονομικότερος σταθεροποιητής σε σύγκριση με τους άλλους.

Η μέθοδος αυτή είναι ταχύτατη, ιδίως δε με τη χρησιμοποίηση τελειοποιημένων μηχανημάτων ο χρόνος κατασκευής έχει ακόμη περισσότερο περιοριστεί. Με κατάλληλα μηχανήματα, ειδικευμένο προσωπικό και καλή οργάνωση εργασίας είναι δυνατόν η ημερήσια απόδοση να φτάσει το 1,5 km δρόμου πλάτους 4 μέτρων(φυσικά απαιτείται ένα χρονικό διάστημα, 3 έως 7 ημερών, κατά το οποίο η κυκλοφορία βαρέων οχημάτων πάνω σ' αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται).

Μοναδικό ίσως μειονέκτημα των σταθεροποιημένων υλικών με τσιμέντο που δεν έχει ακόμα αντιμετωπιστεί με απόλυτη επιτυχία είναι η ανάπτυξη εγκάρσιων ρωγμών λόγω συστολής. Η ταχύτητα εμφάνισης τους και η διάδοσή τους εξαρτάται από το πάχος της βάσης ή της υπόβασης ενός δρόμου καθώς και από το εύρος των θερμοκρασιακών μεταβολών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ-ΝΟΜΟΣ STOKES

#### 2.1 Γενικά

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής διαβάθμισης στους πιο λεπτούς εδαφικούς κόκκους, εφαρμόζεται η μέθοδος του αραιόμετρου. Η δοκιμή αυτή βασίζεται στο ότι αν το υδατικό αιώρημα εδάφους αφηθεί σε ηρεμία, τότε οι κόκκοι του εδάφους καθιζάνουν στον πυθμένα κατά τάξη μεγέθους, από τους μεγαλύτερους προς τους μικρότερους. Η σχέση μεταξύ της διαμέτρου κάποιου κόκκου, που θεωρείται ότι έχει σφαιρικό σχήμα, και της ταχύτητας με την οποία καθιζάνει αυτός μέσα σε νερό που ηρεμεί, είναι κατά τον Νόμο Stokes:

$$u = \frac{2}{9} \cdot g \cdot r^2 \frac{s - s_0}{\mu}$$

όπου:

$u$ = τελική ταχύτητα σε cm/sec

$g$ = επιτάχυνση βαρύτητας σε cm/sec<sup>3</sup>

$r$ = ακτίνα του κόκκου σε cm/sec

$s$ = πυκνότητα των στερεών του εδάφους σε g/cm<sup>3</sup> ( $\gamma_s = s \cdot g$ )

$s_0$  = πυκνότητα του νερού σε g/cm<sup>3</sup> ( $\gamma_w = s_0 \cdot g$ )

$\mu$ = ιξώδες του νερού σε poise

Η εφαρμογή του νόμου Stokes στις εργαστηριακές δοκιμές δεν προσφέρει απόλυτα ακριβή αποτελέσματα κυρίως εξ' αιτίας του ότι:

- Το σχήμα των εδαφικών κόκκων είναι ανομοιόμορφο και διαφέρει από το σχήμα σφαίρας

- Κάθε κόκκος επηρεάζεται από την κίνηση του υγρού η οποία προκαλείται από τους παρακείμενους κόκκους.
- Η πτώση των κόκκων κοντά στα τοιχώματα του δοχείου είναι διαφορετική από εκείνα στο κέντρο του
- Το φαινόμενο βάρος των κόκκων του εδάφους είναι δυνατόν να είναι διαφορετικό
- Η καθίζηση των κόκκων διαταράσσεται από την αναγκαία εισαγωγή του πυκνόμετρου.

Κατά την ανάλυση με την μέθοδο καθίζησης ή την μέθοδο υδρομέτρου, όπως χαρακτηρίζεται, γίνεται χρήση υδρομέτρων διαφόρων τύπων. Κυρίως όμως χρησιμοποιούνται τα κατά τις Αμερικάνικες προδιαγραφές ASTM D-422 και AASHO T-88 υδρόμετρα ή πυκνόμετρα. Τα υδρόμετρα αυτά είναι δύο τύπων:

- Υδρόμετρο εδάφους τύπου Α, με κλίμακα από 5 μέχρι 60 grams εδαφικού διαλύματος / lt, κατά ASTM, AASHO scale 152H
- Υδρόμετρο εδάφους τύπου Β, με κλίμακα 0,995 μέχρι 1,038 φαινομένου ειδικού βάρους, με υποδιαίρεσεις ανά 0,001 κατά ASTM, AASHO scale 151H

Η αξιοποίηση των μετρήσεων των υδρομέτρων απαιτεί τη βαθμονόμηση τους, η οποία είναι δυνατόν να αποδοθεί με νομογράφημα, όπου ο οριζόντιος άξονας έχει την ανάγνωση του υδρομέτρου και ο κατακόρυφος την απόσταση του κέντρου του όγκου του υδρομέτρου από την επιφάνεια του διαλύματος. Για τα υδρόμετρα 152H και 151H δίνονται πίνακες απ' ευθείας μετατροπής ώστε να μην απαιτείται η βαθμονόμηση τους.

Για να μειωθούν στο ελάχιστο τα σφάλματα που προκύπτουν από τις αιτίες αυτές, χρησιμοποιείται δοχείο μεγάλου μεγέθους και ταυτόχρονα μικρή ποσότητα εδαφικού δείγματος, έτσι οι κόκκοι επηρεάζονται λιγότερο κατά την καθίζηση τους. Επίσης εφαρμόζεται η κατάλληλη τεχνική για αποφυγή διαταραχής της καθίζησης κατά την εισαγωγή του πυκνόμετρου. Στα περισσότερα εδάφη τυχόν διαφορά στο φαινόμενο βάρος των κόκκων δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Το σφάλμα που οφείλετε στην ανομοιομορφία του σχήματος των κόκκων δεν είναι δυνατό να μειωθεί και γι' αυτό πρέπει να γίνεται σχετική διόρθωση. Έτσι έχει εισαχθεί η έννοια των ισοδύναμων διαμέτρων δηλαδή, οποιοσδήποτε κόκκος εδάφους που έχει το αυτό

φαινόμενο βάρος και την αυτή ταχύτητα πτώσης σαν σφαίρα διαμέτρου  $D$ , λέγεται ότι έχει ισοδύναμη διάμετρο  $D$ . Επομένως, η κλίμακα των διαμέτρων στο σχετικό κοκκομετρικό διάγραμμα αναφέρεται σε διαμέτρους ισοδύναμες.

## 2.2 Χρησιμοποιούμενα όργανα

- Ζυγός ακριβείας 0,1g
- Συσκευή αναδέυσεως . Μηχανική συσκευή αναδέυσεως που αποτελείται από ηλεκτρικό κινητήρα προσαρμοσμένο ώστε να περιστρέφει κατακόρυφο άξονα με ειδικό πτερύγιο με ταχύτητα όχι μικρότερη από 10000 στροφές το λεπτό χωρίς φορτίο, και από ένα κύπελλο διασποράς
- Υδρόμετρο ή πυκνόμετρο.(Εικ. 2.1) Υπάρχουν 2 τύποι υδρομέτρων. Αυτά που φέρουν την κλίμακα Α και εκείνα με την κλίμακα Β. Η κλίμακα Α έχει υποδιαίρεσεις από 0 έως 60 gram/lit, Τα υδρόμετρα που φέρουν την κλίμακα αυτή χαρακτηρίζονται τύπου 152Η. Η βαθμονόμηση τους γίνεται με βάση την παραδοχή ότι το απεσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1,000 στους 20°C και ότι το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,65. Η κλίμακα Β έχει υποδιαίρεσεις από ειδικό βάρος 0,995 μέχρι 1,038 και η βαθμονόμηση γίνεται έτσι ώστε να δείχνει 1,000 μέσα σε απεσταγμένο νερό 20°C . Υδρόμετρα που φέρουν την κλίμακα αυτή χαρακτηρίζονται τύπου 151Η.



Εικόνα 2.1 Υδρόμετρο τύπου 152 Η



- Γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000 mL ύψους 45,72cm και διαμέτρου 6,35cm με ενσωματωμένη ογκομετρική κλίμακα αν είναι δυνατόν
- Θερμόμετρο ακριβείας 0,5 °C
- Υδατόλουτρο για την διατήρηση σε σταθερή θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος κατά την διάρκεια εκτέλεσης της δοκιμής. (Εικ. 2.2)



Εικόνα 2.2 Υδατόλουτρο

- Αντιθρομβωτικό διαλυμάτων όπως: Πολυφωσφορικό Νάτριο( $\text{Na}_{12}\text{P}_{10}\text{O}_{31}$ ), Εξαμεταφωσφορικό Νάτριο ( $\text{NaPO}_3$ ), Τριφωσφορικό Νάτριο ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ), ή Τετραφωσφορικό Νάτριο $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$
- Τα πρότυπα Αμερικάνικα κόσκινα τετραγωνικής οπής No 10, No 20, No 40, No 100 και No 200. Η σειρά των χρησιμοποιούμενων κόσκινων καθορίζεται ανάλογα με την υφή του δείγματος και την εργασία
- Ηλεκτρικός φούρνος
- Κάψες πορσελάνης και μεταλλικοί υποδοχείς

### 2.3 Υπολογισμός ποσοστού εδάφους στο αιώρημα

Οι ενδείξεις του υδρομέτρου που διαβάζονται σε θερμοκρασία διάφορη των 20°C διορθώνονται με πίνακες που εφαρμόζονται για τους διάφορους παράγοντες διασποράς, για τις αποκλίσεις θερμοκρασίας και για το ύψος του μηνίσκου επάνω στο στέλεχος του υδρομέτρου.

Το ποσοστό % του εδάφους που βρίσκεται σε μορφή αιωρήματος και παρέχεται από τις διάφορες διορθωμένες αναγνώσεις του υδρομέτρου, εξαρτάται από την ποσότητα και το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά. Το ποσοστό του εδάφους που παραμένει σαν αιώρημα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P = \frac{Ra}{Ws} \cdot 100\%$$

Όπου:

P=ποσοστό % του αρχικού δείγματος εδάφους που αναμίχθηκε και παραμένει σαν αιώρημα

R=διορθωμένη ένδειξη υδρομέτρου

W<sub>s</sub>=βάρος του αρχικού δείγματος εδάφους ελαττωμένο κατά την υγροσκοπική του υγρασία

a=σταθερά που εξαρτάται από την πυκνότητα του αιωρήματος και δίνεται από πίνακα (για γ<sub>s</sub>=2,65→a=1.00)

Για την μετατροπή των % ποσοστών του <<εν αιωρήσει>> εδάφους σε ποσοστό % του ολικού προς εξέταση δείγματος, που περιλαμβάνει και το συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο.10 κλάσμα, το ποσοστό του αρχικού δείγματος που παραμένει σε μορφή αιωρήματος πολλαπλασιάζεται επί την έκφραση:

$$(100-\text{ποσοστό}\% \text{ συγκρατούμενου επί του κόσκινου No10})/100$$

### 2.3.1 Διάμετρος των κόκκων εδάφους που βρίσκεται σε μορφή αιωρήματος

Η μέγιστη διάμετρος  $d_0$  των κόκκων που βρίσκονται σε αιώρημα που αντιστοιχεί σε κάποιο ποσοστό(%) παρεχόμενο από αναγνώσεις του υδρομέτρου, υπολογίζεται με την εφαρμογή του νόμου του Stokes:

$$d_0 = \sqrt{\frac{30 \cdot n \cdot L}{980 \cdot (G - G_1) \cdot T}}$$

Όπου:

$d_0$ = η μέγιστη διάμετρος σε mm

$n$ = συντελεστής ιξώδους του μέσου διασποράς (νερό) που μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία του αιωρήματος (0,01005 Poises στους 20°C)

$L$ = η απόσταση που διατρέχουν κατά την καθίζηση οι κόκκοι του εδάφους σε μια ορισμένη χρονική περίοδο (θεωρείται σταθερή και ίση προς 17,5cm)

$T$ = ο χρόνος σε min της περιόδου καθιζήσεως

$G$ =το ειδικό βάρος των κόκκων του εδάφους( $\gamma_s=2,65$ )

$G_1$ =το ειδικό βάρος του μέσου διασποράς

Οι μέγιστες διαμέτροι των κόκκων στο αιώρημα κάτω από δεδομένες συνθήκες που αντιστοιχούν σε καθορισμένες περιόδους καθιζήσεων δίνονται από τον κάτωθι πίνακα

Χρόνος (min)	Μέγιστη διάμετρος κόκκου
2	0,041
5	0,026
15	0,015
30	0,011
60	0,0074
250	0,0037
1440	0,0015

Οι διάμετροι των κόκκων διορθώνονται για συνθήκες διάφορες των παραδοχών σύμφωνα με τον τύπο:

$$d = d_0 K_L K_G K_n$$

Όπου:

$d$ = η διορθωμένη διάμετρος των κόκκων σε mm

$d_0$ = η μέγιστη διάμετρος κόκκων υπολογισμένη από τον νόμο του Stokes

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

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

$K_n$ = ο συντελεστής διορθώσεως σε συνάρτηση με την θερμοκρασία

Οι συντελεστές  $K_L$ ,  $K_G$  και  $K_n$  λαμβάνονται από τους Πιν.7, Πιν.8 Κεφ.9 του Φ.Ε.Κ 955/31-12-86

## 2.4 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο

### Περιγραφή εργασίας

Για τον προσδιορισμό με υδρομετρική ανάλυση του δείγματος εδάφους, την κατάρτιση του διαγράμματος της κοκκομετρικής του σύνθεσης και την κατάταξη του ακολουθείται ο παρακάτω τρόπος εργασίας κατά βήματα:

- Σαν δείγμα προς χρήση λαμβάνεται όλο το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο10(2mm).
- Μια μικρή ποσότητα του δείγματος, περίπου 50gr, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της φυσικής του υγρασίας.
- Στην συνέχεια το δείγμα τοποθετείται σε δοχείο και καλύπτεται με 125ml από το έτοιμο διάλυμα του παράγοντα διασποράς που έχει επιλεγεί (Εξαμεταφωσφορικό νάτριο  $\text{NaPO}_3$  με αναλογία 45,7gr/lit). Αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί για 24ώρες ώστε να αποσυσσωματωθούν οι κόκκοι.(Εικ 2.3)





Εικόνα 2.3 Διάλυμα εξαμεταφωσφορικού νατρίου ( $\text{NaPO}_3$ ) και εδαφικού δείγματος

- Το περιεχόμενο του δοχείου μεταφέρεται με επίπλυση μέσα σε ένα κύπελλο διασποράς, προστίθεται απεσταγμένο νερό και αναδεύεται με μηχανική συσκευή αναδεύσεως (mixer) για 1 λεπτό για να επιτευχθεί η διασπορά. (Εικ. 2.4)



Εικόνα 2.4 Ανάδευση του διαλύματος  $\text{NaPO}_3$ , νερού και εδάφους με μηχανική συσκευή αναδεύσεως

- Το ομογενές αιώρημα μεταφέρεται σε γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο όπου προστίθεται απεσταγμένο νερό μέχρι την ογκομετρική χαραγή των 1000ml και αναταράσσεται με τα χέρια επί 1 λεπτό.(Εικ. 2.5)



*Εικόνα 2.5 Το διάλυμα μετά την ανάδευση του μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα*

- Ο ογκομετρικός κύλινδρος τοποθετείται στο υδρόλουτρο, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία και το ιξώδες του περιεχομένου του σταθερό
- Μετά το τέλος της αναταράξεως τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο και διαβάζονται οι ενδείξεις στην βαθμονομημένη κλίμακα του αραιομέτρου με προσέγγιση 0,5gr/lit των 2,5,30,60,250 και 1440 λεπτών από την έναρξη της κατακάθισης(Εικ 2.6). Αμέσως μετά την κάθε ανάγνωση του αραιομέτρου μετράται η θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος με την χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου.





Εικόνα 2.6 Υδρόμετρο 152 H τοποθετημένο στο εδαφικό αιώρημα

- Με το τέλος της κάθε ανάγνωσης, το αραιόμετρο απομακρύνεται προσεκτικά από το εδαφικό αιώρημα και τοποθετείται με περιστροφική κίνηση μέσα σε ογκομετρικό κύλινδρο γεμάτο καθαρό νερό. Περίπου 30 sec πριν την επόμενη ανάγνωση, το αραιόμετρο από το καθαρό νερό βυθίζεται αργά μέσα στο εδαφικό αιώρημα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ακινητοποίηση του πριν από τον καθορισμένο χρόνο αναγνώσεως.
- Μετά την τελική ανάγνωση του αραιομέτρου, το αιώρημα πλένεται επάνω σε κόσκινο Νο200. Το κλάσμα που συγκρατείται στο κόσκινο Νο200 ξηραίνεται και εκτελείται κοκκομετρική ανάλυση με τα κόσκινα: Νο.40, Νο.100 και Νο200.
- Από τις μετρήσεις που λαμβάνονται και με την χρήση των συντελεστών διόρθωσης  $K_L$ ,  $K_G$ ,  $K_N$  που βρίσκονται στο Κεφάλαιο 9 του Φ.Ε.Κ. εξάγονται τα αποτελέσματα και σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη του υλικού σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα.

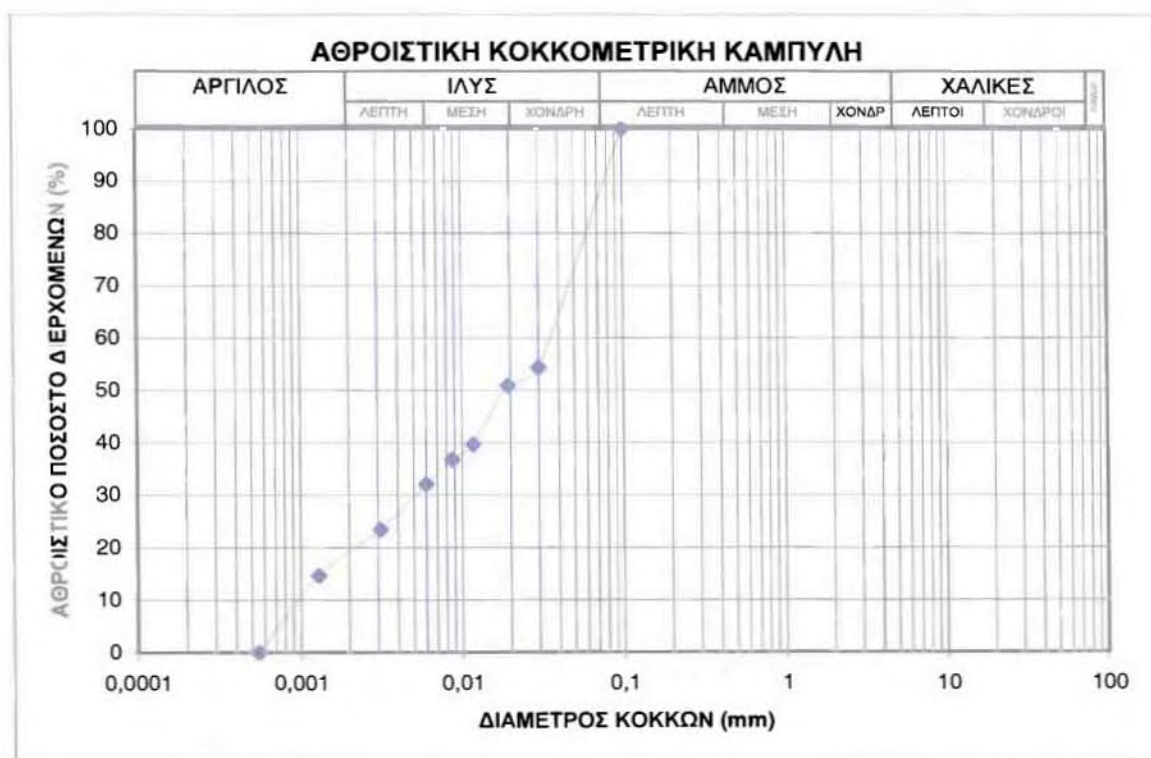
Πίνακας 2.1 Έντυπο καταγραφής μετρήσεων δοκιμής με αραιόμετρο Stokes

Φαινόμενο βάρος στερεών  $\gamma_s=2,7 \text{ gr/cm}^3$

Διαρεύσοντας Χρόνος (min)	Θερμοκρασία °C	Ανάγνωση πυκνομέτρου	Διόρθωση R'	Διορθωμένη Ένδειξη Πυκνομέτρου	Ποσοστό κόκκων σε αιώρηση P(%)	Διάμετρος κόκκων σε αιώρηση d(mm)
2	26	36	-4,5	31,5	54,310345	0,02988
5	26	34	-4,5	29,5	50,862069	0,01928
15	26	27,5	-4,5	23	39,655172	0,01164
30	25,5	26	-4,7	21,3	36,724138	0,00867
60	25	23,5	-4,9	18,6	32,068966	0,00596
250	24	19	-5,4	13,6	23,448276	0,00312
1440	26	13	-4,5	8,5	14,655172	0,00129

Χρόνος (min)	Μέγιστη διάμετρος $d_0$ (mm)	$K_n$	$K_L$	$K_G$	Διάμετρος κόκκων σε αιώρηση d(mm)
2	0,041	0,925	0,8	0,985	0,02988
5	0,026	0,925	0,814	0,985	0,01928
15	0,015	0,925	0,852	0,985	0,01164
30	0,011	0,93	0,86	0,985	0,00867
60	0,0074	0,935	0,875	0,985	0,00596
250	0,0037	0,946	0,904	0,985	0,00312
1440	0,0015	0,925	0,944	0,985	0,00129





Σχήμα 2.1 Κοκκομετρική καμπύλη εξεταζόμενου δείγματος

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ**

#### **3.1 Γενικά**

Οι φυσικές ιδιότητες και η συμπεριφορά των λεπτόκοκκων και οργανικών εδαφών επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταβολή της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας, η οποία παίζει αποφασιστικό ρόλο στις ιδιότητες στερεότητας και αντοχής του υλικού. Ο όρος συνεκτικότητα χρησιμοποιείται συχνά για την περιγραφή της κατάστασης κάποιου εδάφους, ως προς την περιεχόμενη υγρασία και αναφέρεται στην αντίσταση προς την πλαστική ροή του εδάφους.

Οι μηχανικές ιδιότητες στα εδάφη, όπως η διατμητική αντοχή και η φέρουσα ικανότητα τους, μεταβάλλονται με την συνεκτικότητα. Έτσι επειδή η συνεκτικότητα μεταβάλλεται μερικώς με την περιεχόμενη υγρασία και τον βαθμό κορεσμού, είναι δυνατόν στις περισσότερες περιπτώσεις να χρησιμοποιηθεί η περιεκτικότητα σε νερό σαν δείκτης συνεκτικότητας. Πάντως έχει διαπιστωθεί ότι με την ίδια περιεκτικότητα σε νερό, μία άργιλος είναι δυνατόν να είναι σχετικά μαλακή, ενώ μία άλλη άργιλος είναι δυνατόν να είναι σκληρή. Από την αιτία αυτή παρακινήθηκε ο Atterberg και εισήγαγε ένα σύστημα για την τυποποίηση της κατάταξης στα πλαστικά εδάφη ανάλογα με την συνεκτικότητα τους. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό έχουν καθοριστεί αυθαίρετα για τα λεπτόκοκκα εδάφη τέσσερις καταστάσεις συνεκτικότητας που είναι οι εξής:

- Ρευστή
- Πλαστική
- Ημιστερεά
- Στερεά

Χαρακτηριστική ιδιότητα στα συνεκτικά εδάφη είναι η ικανότητα τους να δέχονται μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς θραύση. Η ιδιότητα αυτή λέγεται πλαστικότητα και οφείλεται αποκλειστικά στα ορυκτά (αργιλικά), με τάξη μεγέθους κάτω από κολλοειδή.

Αργιλικά ορυκτά με μέγεθος κόκκου μεγαλύτερο από το μέγεθος κολλοειδούς κόκκου δεν εμφανίζουν πλαστικότητα, όπως επίσης και άλλα μη αργιλικά ορυκτά με μέγεθος κολλοειδούς κόκκου δεν εμφανίζουν πλαστικότητα, όπως για παράδειγμα πολύ λεπτή σκόνη χαλαζία.

Έτσι συμπεραίνεται ότι το μέγεθος των κόκκων δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για διάκριση σε πλαστικά και μη πλαστικά λεπτόκοκκα εδάφη.

Γι' αυτό το λόγο η κατάταξη της συμπεριφοράς ενός αργιλικού σχηματισμού προκύπτει σε σχέση με την περιεκτικότητα του σε νερό μέσω του προσδιορισμού των ορίων Atterberg. Τα όρια Atterberg και οι κατατάξεις των εδαφών προκύπτουν από αυτά είναι οι εξής:

### **3.2 Όριο υδαρότητας(LL)**

Ως όριο υδαρότητας ορίζεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά την χρονική στιγμή που αυτό μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή(ρευστή) κατάσταση και προσδιορίζεται με την βοήθεια της συσκευής CASAGRANDE (AASHO T-89/76, ASTM D-4318/83).

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)**

Για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας των δειγμάτων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία (Φ.Ε.Κ. 995/31-12-86)

- Η συσκευή CASAGRANDE(Εικ. 2.1) αρχικά επιθεωρείται για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας της, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί την μεταλλική κάψα, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες συνδέσεως της και ότι δεν έχει χαραχθεί λόγω μακράς χρήσης.



Εικόνα 3.1 Συσκευή Casagrande

- Με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χαράξεως ρυθμίζεται το ύψος από το οποίο θα πέφτει η μεταλλική κάψα, ώστε αυτό να είναι ακριβώς 1cm πάνω από την βάση.
- Από το δείγμα (περίπου 100gr.) απομακρύνονται όλα τα τεμάχια που δεν διέρχονται από το κόσκινο Νο40 και το υπόλοιπο μέρος ζυμώνεται με τόσο νερό (περίπου 15-20cm<sup>3</sup>) ώστε να σχηματιστεί μία μαλακή μάζα. Έπειτα ανακατεύεται πολύ καλά με την σπαθίδα μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα.
- Στη συνέχεια λαμβάνεται ένα τμήμα της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και τοποθετείται στο κύπελλο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά η μεταλλική κάψα στη βάση της συσκευής.
- Απλώνεται το υλικό έτσι ώστε το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος να είναι 1 cm.
- Το εντός του κυπέλλου έδαφος διαιρείται με μια σταθερή διαδρομή του οργάνου χαράξεως (Εικ 3.2) κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου, έτσι ώστε να σχηματιστεί μία καθαρή και απότομη χαραγή. Προς αποφυγή δημιουργίας σχισμών επί των πλευρών της χαραγής ή ολισθήσεως του εδάφους, επιτρέπονται μέχρι έξι τέτοιοι χειρισμοί. Το βάθος της χαραγής πρέπει να αυξάνεται με κάθε χειρισμό, στο τέλος δε πρέπει να φαίνεται ο πυθμένας του κυπέλλου.





Εικόνα 3.2 Όργανο χαράξεως

- Έπειτα ο στρόφαλος περιστρέφεται (με ρυθμό 2 γύρους/sec) και το μεταλλικό κύπελλο πέφτει ρυθμικά πάνω στο βάθρο του οργάνου μέχρις ότου η χαραγή κλείσει σε μήκος 12,7mm περίπου.
  - Καταγράφεται ο αριθμός των κτύπων που χρειάστηκαν για να κλείσει η χαραγή, και ένα μέρος του δείγματος χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα του σε νερό.
  - Στη συνέχεια γίνεται επιπλέον προσθήκη νερού στο δείγμα που έχει περισσέψει και η δοκιμή επαναλαμβάνεται τρεις τουλάχιστον φορές για διαφορετικές περιεκτικότητες νερού και για κτυπήματα >10 και <40.
  - Τα αποτελέσματα καταγράφονται σε ένα ημιλογαριθμικό διάγραμμα(αριθμός κτύπων σε λογαριθμική κλίμακα και περιεχόμενης υγρασίας σαν τετμημένη σε δεκαδική κλίμακα), όπου η σύνδεση των σημείων μας δίνει ευθεία γραμμή. Το όριο υδαρότητας LL τότε είναι η περιεκτικότητα σε νερό που προκύπτει από την τομή της ευθείας με την τεταγμένη των 25 κτύπων. Το όριο υδαρότητας αναφέρεται πάντα σε ακέραιες μονάδες.
- Η διαδικασία αυτή ακολουθείται για την εύρεση του ορίου υδαρότητας του αρχικού εδαφικού δείγματος. Για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας του βελτιωμένου εδάφους προστίθεται στην παραπάνω διαδικασία το εξής βήμα:
- Στην περίπτωση των τροποποιημένων δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο βελτιωμένο εδαφικό υλικό το εδαφικό δείγμα ζυγίζεται, πριν την προσθήκη νερού

προστίθεται σε αυτό το ανάλογο ποσοστό τσιμέντου 5%,10%,15% ή 20% και στη συνέχεια η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με τις προαναφερόμενες διαδικασίες.

### **3.3 Όριο πλαστικότητας (PL)**

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

Η δοκιμή αυτή βασίζεται στην αρχή ότι όσο η περιεκτικότητα του δείγματος σε νερό αρχίσει να ελαττώνεται τόσο τα τεμαχίδια του εδάφους πλησιάζουν μεταξύ τους, το υλικό συρρικνώνεται και το έδαφος συμπυκνώνεται. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συνοχή του εδάφους και παράλληλα με αυτήν η αντοχή του σε πίεση. Αν εξακολουθήσει να ελαττώνεται η υγρασία του, τότε εισέρχεται μέσα στους πόρους αέρας. Αν το ζυμώσουμε στο χέρι κόβεται σε μικρούς κυλίνδρους. Στο σημείο αυτό έχασε τις πλαστικές του ιδιότητες και προσδιορίζουμε την περιεκτικότητα του σε νερό κατά το όριο πλαστικότητας υλικού (Δημόπουλος,1986). Αναλυτικά, η διαδικασία εύρεσης του ορίου πλαστικότητας περιγράφεται παρακάτω.

#### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Για τον προσδιορισμό του ορίου πλαστικότητας των αρχικού εδαφικού δείγματος ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία(Χρηστάρας, 1998):

- Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20gr από υλικό διερχόμενο από το κόσκινο Νο. 40. Το δείγμα αναμιγνύεται καλά με απεσταγμένο νερό μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται σε βόλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος αυτού, βάρους περίπου 8 gr.
- Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της σφυριδωμένης γυάλινης πλάκας με την απαιτούμενη πίεση ώστε να κυλινδρωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφου διαμέτρου σε όλο το μήκος του.

- Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3mm, ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε έξι ή οκτώ τεμάχια. Συμπιέζονται τα τεμάχια μεταξύ τους προς ομοιόμορφη μάζα και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση.
- Η εναλλαγή συνεχίζεται με κυλίνδρωση σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm, με συνένωση, με αναζύμωση και επανακυλίνδρωση, μέχρι που ο ραβδίσκος θρυμματισθεί με την απαιτούμενη για την κυλίνδρωση πίεση και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να επέλθει όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3mm. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητικό σημείο περατώσεως, με τον όρο ότι το έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm.

Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται σαν την περιεχόμενη υγρασία στους ραβδίσκους των 3mm και προκύπτει σαν ο μέσος όρος τριών δοκιμών.

Η διαδικασία αυτή ακολουθείται για την εύρεση του ορίου πλαστικότητας του αρχικού εδαφικού δείγματος. Για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας του βελτιωμένου εδάφους προστίθεται στην παραπάνω διαδικασία το εξής βήμα:

- Στην περίπτωση των βελτιωμένων δοκιμών, το εδαφικό δείγμα ζυγίζεται και πριν την προσθήκη νερού προστίθεται σε αυτό το ανάλογο ποσοστό τσιμέντου 5%,10%,15% ή 20%. Το μείγμα ανακατεύεται καλά για να γίνει ομοιογενές. Στη συνέχεια η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με την προαναφερόμενη διαδικασία.

### **3.4 Δείκτης πλαστικότητας (PI)**

Ως δείκτης πλαστικότητας ορίζεται η περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας ( $PI = LL-PL$ ), όπου το υλικό είναι εύπλαστο. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας του) και από την πετρογραφική τους σύσταση. Με ελαττούμενη περιεκτικότητα σε νερό τα εδάφη αυτά μεταβαίνουν από τη στερεή δια μέσου της πλαστικής στην ημιστερεή κατάσταση.

Εξαιρέση αποτελούν οι εξής περιπτώσεις:

- Όταν το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιοριστούν, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό)
- Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το όριο πλαστικότητας δεν μπορεί να προσδιοριστεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν NP(μη πλαστικό)
- Όταν το όριο πλαστικότητας είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο υδαρότητας, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP.

Η κατάταξη των εδαφών βάση του δείκτη πλαστικότητας γίνεται μέσω του παρακάτω πίνακα

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΕΔΑΦΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	$Ip < 7$
ΕΔΑΦΟΣ ΜΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	$7 < Ip < 17$
ΕΔΑΦΟΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	$17 < Ip$

### **3.5 Κατάταξη εδαφών**

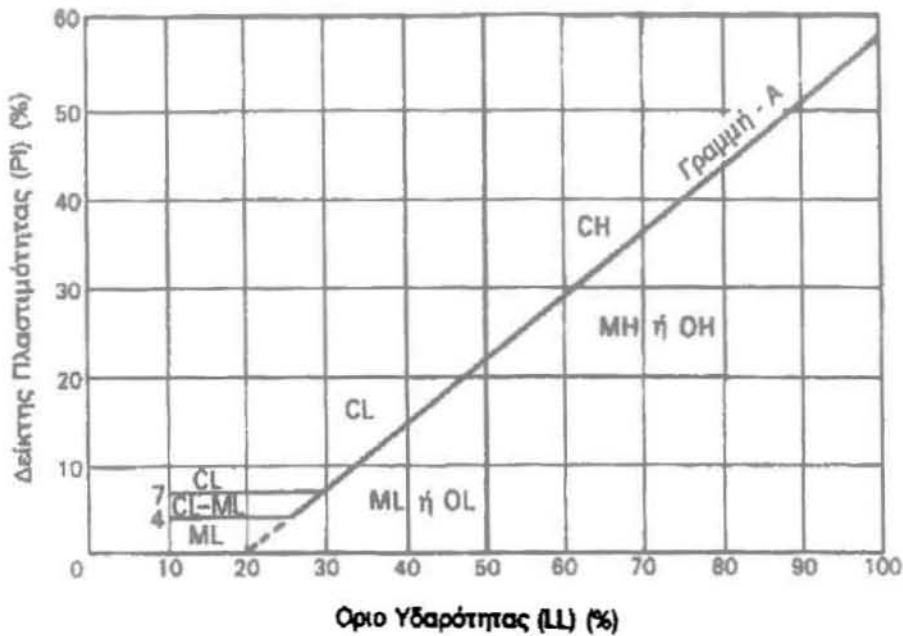
Υπάρχουν διάφορα συστήματα κατάταξης των εδαφών, από τα οποία το κυριότερο είναι το Ενιαίο Σύστημα Κατάταξης (USCS-Unified Soil Classification System), το οποίο είναι αποδεκτό ως προδιαγραφή από την Αμερικάνικη Εταιρία Ελέγχου των Υλικών (ASTM-American Society for Testing Materials), το σύστημα της Αμερικάνικης Ένωσης Οδοποιών (AASHTO- American Association of State Highway and Transportation Officials), το Βρετανικό Σύστημα Κατάταξης Εδαφών (BSCS-British Soil Classification System) και το σύστημα κατάταξης κατά τους γερμανικούς κανονισμούς (DIN)

Από αυτά τα συστήματα το επικρατέστερο είναι το USCS/ASTM



### ΣΥΣΤΗΜΑ USCS/ASTM

Με το παρακάτω διάγραμμα( Διαγ. 2.1) και τον πίνακα (Πιν.2.1) που ακολουθεί, γίνεται η κατάταξη των εδαφών κατά τους κανονισμούς USCS/ASTM



Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα Cassagrande για την κατάταξη εδαφών

Πίνακας 3.1 Κατάταξη εδαφών βάση κανονισμών USCS/ASTM

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ		ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	<b>ΧΑΛΙΚΙΑ</b> (Λιγότερο από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο No. 4)	<i>GW</i>	Χαλίκι καλά διαβαθμισμένο με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>GP</b>	Χαλίκι κακής διαβάθμισης με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>GM</b>	Χαλίκια ιλυώδη, μίγμα χαλικιών, άμμου και ιλύος.
		<b>GC</b>	Ιλυώδης άργιλος, μίγμα χαλικιών, άμμου και αργίλου.
	<b>ΆΜΜΟΣ</b> (Πάνω από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο No. 4)	<b>SW</b>	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>SP</b>	Άμμος κακής διαβάθμισης με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>SM</b>	Ιλυώδης Άμμος
		<b>SC</b>	Αργιλώδης Άμμος
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	<b>ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ</b> Όριο υδαρότητας 50% ή μικρότερο	<b>ML</b>	Ανόργανη ιλύς, λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδης ή αργιλώδης λεπτόκοκκη άμμος.
		<b>CL</b>	Ανόργανη άργιλος μικρής ή μέσης πλαστιμότητας, χαλικώδης άργιλος, αμμώδης άργιλος, ιλυώδης άργιλος, ισχνή άργιλος.
		<i>OL</i>	Οργανική ιλύς και οργανική ιλυώδης άργιλος χαμηλής πλαστιμότητας.
	<b>ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ</b> Όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του 50%	<b>MH</b>	Ανόργανη ιλύς, μαρμαρυγιακά ή λεπτόκοκκα αμμώδη ή ιλυώδη εδάφη, ελαστική ιλύς.
		<b>CH</b>	Ανόργανη άργιλος μεγάλης πλαστιμότητας, παχιά άργιλος.
		<b>OH</b>	Οργανική άργιλος με μέση ως μεγάλη πλαστιμότητα
<b>ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΔΑΦΗ</b>		<b>PT</b>	Χούμος, τύρφη και άλλα έντονα οργανικά εδάφη.

### 3.6 Φυσικές ιδιότητες εδαφών

Οι φυσικές ιδιότητες των εδαφών προσδιορίζονται μέσα από μία σειρά πειραμάτων τα οποία ονομάζονται και βοηθητικά πειράματα γιατί διενεργούνται απαραίτητα πριν την διεξαγωγή των άλλων δοκιμών κατά των οποίων είναι απαραίτητη η γνώση των φυσικών μεγεθών.

Τα φυσικά μεγέθη που προσδιορίζονται με βοηθητικές δοκιμές είναι:

- Η φυσική υγρασία  $w_c$
- Ξηρό φαινόμενο βάρος  $\gamma_d$
- Ειδικό βάρος  $\gamma_s$

#### 3.6.1 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας

Η δοκιμή αυτή έχει σαν σκοπό την μέτρηση της μάζας του νερού που βρίσκεται στο εδαφικό δείγμα. Ως φυσική υγρασία ορίζεται ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους ( $W_w$ ) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους ( $W_s$ ), δηλαδή:

$$W_c = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100(\%)$$

#### **Τρόπος εργασίας:**

- Ζυγίζεται μια μεταλλική κάψα και σημειώνεται το βάρος της  $W_y$
- Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα εδάφους με προσοχή ώστε το επιλεγμένο δείγμα να μην έχει υποστεί επιφανειακή ξήρανση, τοποθετείται στην κάψα και ζυγίζεται  $W_1$  σε ζυγό ακριβείας
- Τοποθετείται στον κλίβανο ξήρανσης στους  $105^\circ\text{C}$  για 24 ώρες ώστε να σταθεροποιηθεί το βάρος του και έπειτα ζυγίζεται  $W_2$
- Για να υπολογίσουμε την φυσική υγρασία του δείγματος σε ποσοστό επί τοις εκατό διαιρούμε το βάρος του νερού που εξατμίστηκε με το βάρος του ξηρού εδάφους που έμεινε στην κάψα

$$\text{Δηλαδή: } W_c = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_y} \cdot 100 = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

### 3.6.2 Προσδιορισμός φαινόμενων βαρών εδαφών

Το φαινόμενο βάρος  $\gamma$  ενός εδαφικού δείγματος είναι το βάρος της στερεάς μάζας, μαζί με το περιεχόμενο των κενών, στη μονάδα του όγκου του δείγματος.

Το φαινόμενο βάρος γίνεται ελάχιστο  $\gamma_d$  (ξηρό) όταν τα κενά περιέχουν μόνο αέρα και μεγιστοποιείται  $\gamma_{sat}$  (κορεσμένο) όταν τα κενά είναι πληρωμένα με νερό.

Το φαινόμενο βάρος των στερεών  $\gamma_s$  εδαφικού δείγματος είναι το βάρος της στερεάς μάζας, χωρίς το περιεχόμενο των κενών, στη μονάδα του όγκου των στερεών κόκκων.

#### Τρόπος εργασίας:

- Με την βοήθεια ενός μεταλλικού δειγματοληπτικού δακτυλίου γνωστής διαμέτρου ( $D= 2,54$  cm), ύψους ( $h=1,3$  cm) και βάρους( $P_y$ ) λαμβάνεται αδιατάρακτο δείγμα από το προς εξέταση εδαφικό υλικό
- Με ένα μαχαίρι κόβεται το δείγμα που περισσεύει από τον δακτύλιο έτσι ώστε το εδαφικό δείγμα να συμπίπτει με το χείλος της άνω και της κάτω πλευράς του δακτυλίου. Έτσι στον δακτύλιο εγκλωβίζεται όγκος δείγματος ίσος με τις διαστάσεις του δακτυλίου. Ο πληρωμένος με εδαφικό δείγμα πλέον δακτύλιος ξαναζυγίζεται( $P_1$ )
- Ο δακτύλιος με το εδαφικό δείγμα τοποθετείται στον κλίβανο ξήρανσης στους  $105^\circ\text{C}$ , για 24 ώρες τουλάχιστον
- Μετά την διαδικασία της ξήρανσης ο δειγματοληπτικός δακτύλιος με το εδαφικό δείγμα ξαναζυγίζονται ( $P_2$ )

#### Υπολογισμός φαινόμενου βάρους $\gamma$ εδαφικού δείγματος:

Από τη διαφορά ζύγισης του απόβαρου (δακτυλίου) από το μικτό βάρος (δακτυλίου+ ξηρού δοκιμίου) βρίσκεται το βάρος του δοκιμίου. Ο λόγος του βάρους του δοκιμίου προς τον όγκο του είναι το φαινόμενο βάρος  $\gamma$  του εδαφικού δείγματος

$$\gamma = (P_1 - P_y) / 6,58 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

#### Υπολογισμός ξηρού φαινόμενου βάρους $\gamma_d$ εδαφικού δείγματος:

Από την διαφορά ζύγισης του απόβαρου(δακτυλίου) από το μικτό βάρος( δακτυλίου+ ξηρού δοκιμίου), βρίσκεται το βάρος του ξηρού δοκιμίου. Ο λόγος του βάρους του



ξηρού δοκιμίου προς τον όγκο του είναι το ξηρό φαινόμενο βάρος  $\gamma_d$  του εδαφικού δείγματος.

$$\gamma_d = (P_2/P_y) / 6,58 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

### **3.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

## ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Αριθ. και χαρακτηριστικά δείγματος Φυσικό Έδαφος - 0% Τσιμέντο

ΔΟΚΙΜΗ	Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας (LL)				Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας (PL)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Αριθμός δοκιμής								
Αριθμός κάψας								
Αριθμός κτύπων	28	22	15	12	-	-	-	-
A Βάρος υγρού δείγμ. + κάψας (g)	53,56	41,4	54,36	39,58	23,76	22,4	26,01	
B Βάρος ξηρού δείγμ. + κάψας (g)	46,4	36,84	47,03	35,07	23,26	21,92	25,39	
Γ Βάρος νερού (Γ=A-B) (g)	7,16	4,56	7,33	4,51	0,5	0,48	0,62	
Δ Βάρος κάψας (g)	18,21	19,45	20,14	18,77	20,55	19,4	22,1	
E Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	28,19	17,39	26,89	16,3	2,71	2,51	3,29	
Z Περιεχόμενη υγρασία ( $Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E}$ ) %	25,4	26,22	27,25	27,66	18,45	19,1	18,8	

Όριο υδαρότητας,

LL = 25,62

Όριο πλαστικότητας

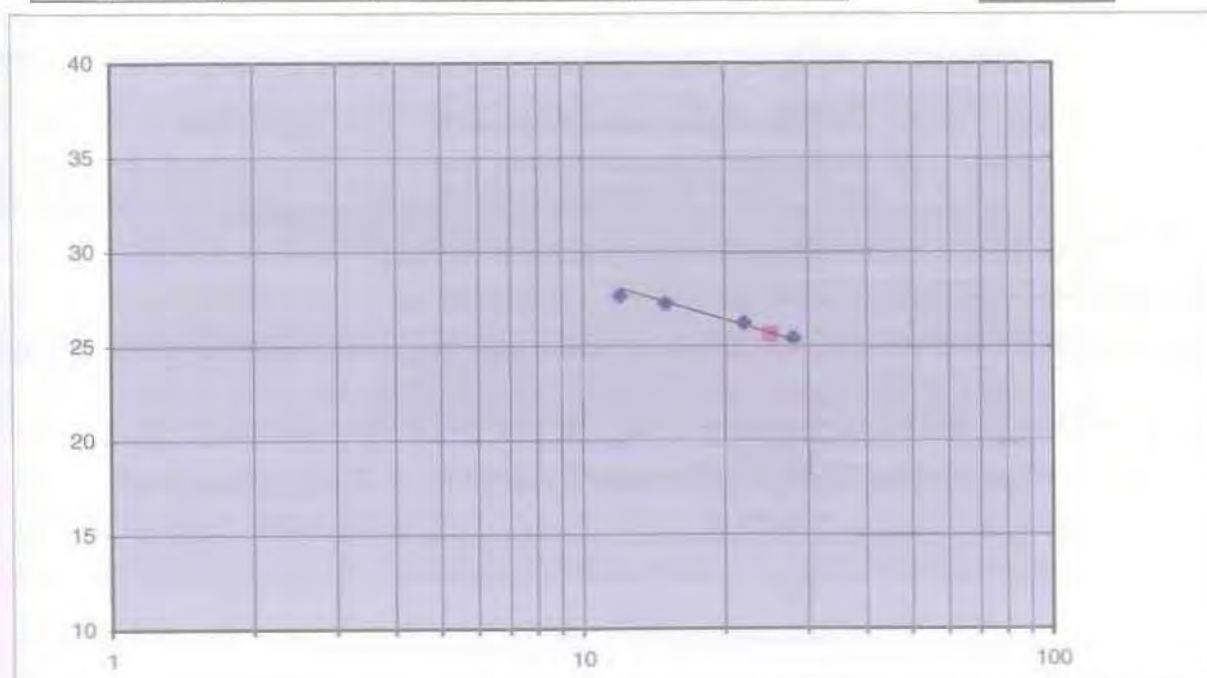
PL = 18,78

Δείκτης πλαστικότητας

PI = 6,84

Αριθμός κτύπων	28	22	15	12
Υγρασία (%)	25,4%	26,22%	27,25%	27,66%

**25**  
**25,62%**



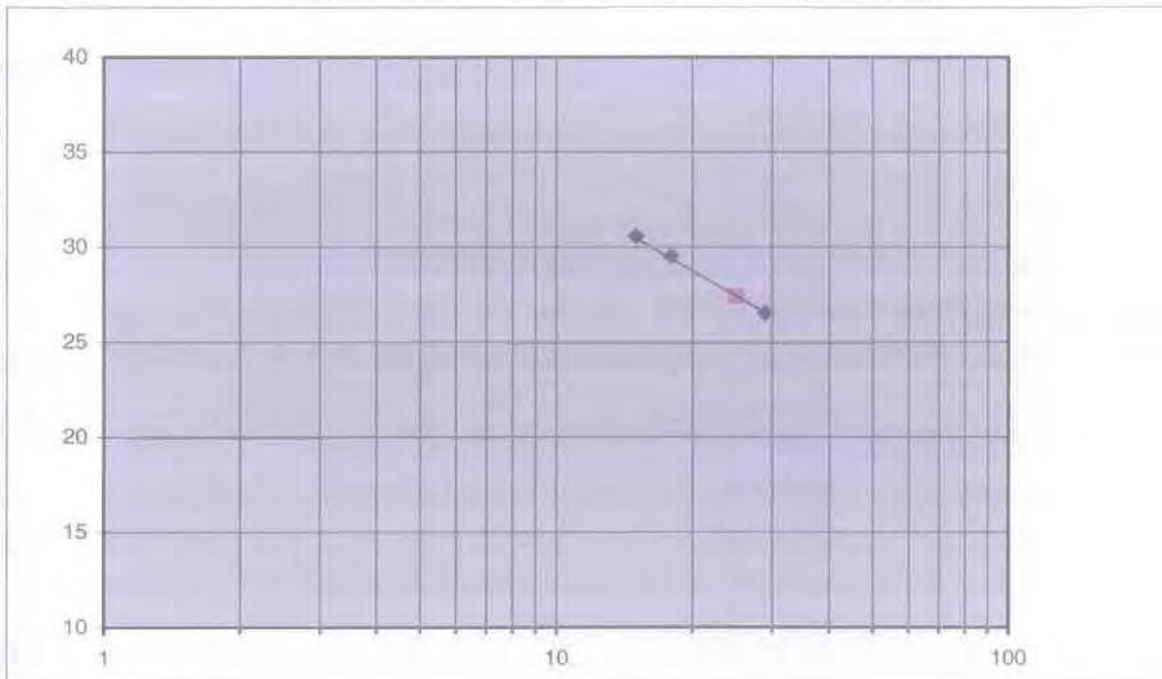
## ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Αριθ. και χαρακτηριστικά δείγματος 5% Τσιμέντο

ΔΟΚΙΜΗ	Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας (LL)				Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας (PL)				
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
Αριθμός κάψας									
Αριθμός κτύπων	29	18	15		-	-	-	-	
A Βάρος υγρού δείγμ. + κάψας (g)	34,96	34,75	43,33		23,71	29,13	22,51		
B Βάρος ξηρού δείγμ. + κάψας (g)	31,94	31,25	38,36		22,78	28,04	22,01		
Γ Βάρος νερού (Γ=A-B) (g)	3,02	3,5	4,97		0,93	1,09	0,5		
Δ Βάρος κάψας (g)	20,55	19,4	22,1		18,48	22,94	19,5		
E Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	11,39	11,85	16,26		4,3	5,1	2,51		
Z Περιεχόμενη υγρασία ( $Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E}$ ) %	26,5	29,5	30,56		21,6	21,3	19,9		

Όριο υδαρότητας, LL = 27,4      Όριο πλαστικότητας, PL = 20,93      Δείκτης πλαστικότητας, PI = 6,47

Αριθμός κτύπων	29	18	15	<b>25</b>
Υγρασία	26,5 %	29,5 %	30,56 %	<b>27,4 %</b>





## ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

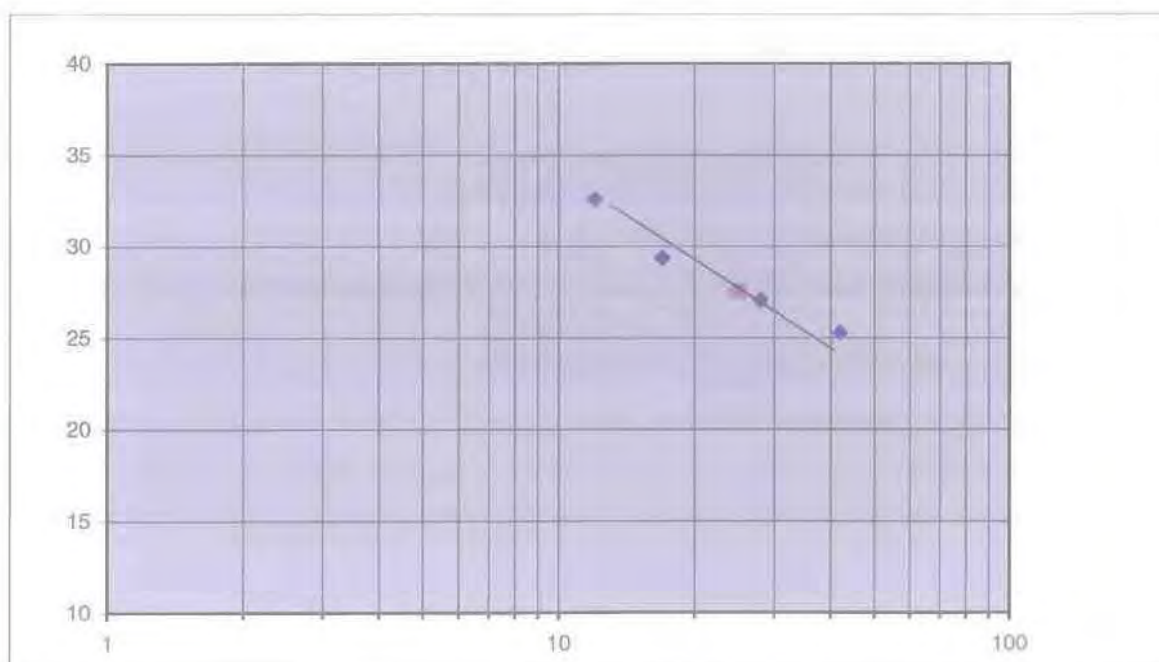
Αριθ. και χαρακτηριστικά δείγματος    10% Τσιμέντο

ΔΟΚΙΜΗ	Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας (LL)				Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας (PL)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Αριθμός κάψας								
Αριθμός κτύπων	42	28	17	12	-	-	-	-
A Βάρος υγρού δείγμ. + κάψας (g)	35,43	49,3	43,68	48,79	26,87	22,61	24,99	
B Βάρος ξηρού δείγμ. + κάψας (g)	32,93	42,95	38,01	41,34	25,75	22,11	24,49	
Γ Βάρος νερού (Γ=A-B) (g)	2,5	6,35	5,67	7,45	1,12	0,5	0,5	
Δ Βάρος κάψας (g)	22,94	18,57	18,71	18,48	20,55	19,7	22,1	
E Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	9,9	24,38	19,3	22,86	5,2	2,41	2,39	
Z Περιεχόμενη υγρασία ( $Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E}$ ) %	25,25	27,06	29,36	32,58	21,54	20,75	20,92	

Όριο υδαρότητας    LL =    27,53    Όριο πλαστικότητας    PL =    21,07    Δείκτης πλαστικότητας    PI =    6,46

Αριθμός κτύπων	42	28	17	12
Υγρασία (%)	25,25 %	27,06 %	29,36 %	35,28 %

<b>25</b>
<b>27,53 %</b>



## ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Αριθ. και χαρακτηριστικά δείγματος 15% Τσιμέντο

ΔΟΚΙΜΗ	Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας (LL)				Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας (PL)				
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
Αριθμός κάψας									
Αριθμός κτύπων	32	28	20		-	-	-	-	
A Βάρος υγρού δείγμ. + κάψας (g)	36,49	36,7	42,87		23,64	23,79	23,42		
B Βάρος ξηρού δείγμ. + κάψας (g)	33,23	33,14	37,44		22,93	23,27	22,53		
Γ Βάρος νερού (Γ=A-B) (g)	3,26	3,56	5,43		0,71	0,52	0,89		
Δ Βάρος κάψας (g)	20,55	20,14	19,45		19,4	20,55	18,48		
E Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	12,68	13	17,99		3,53	2,72	4,05		
Z Περιεχόμενη υγρασία ( $Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E}$ ) %	25,7	27,38	30,18		20,11	19,11	21,97		

Όριο υδαρότητας,

LL = 28,22

Όριο πλαστικότητας

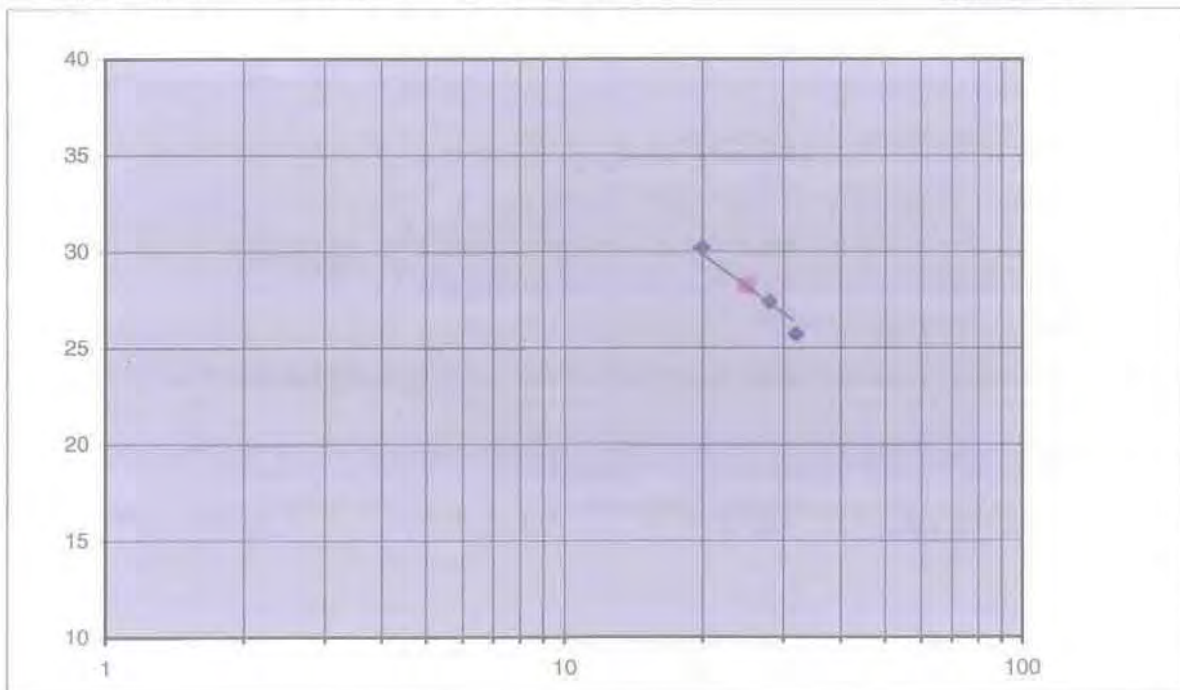
PL = 20,39

Δείκτης πλαστικότητας

PI = 7,83

Αριθμός κτύπων	32	28	20
Υγρασία (%)	25,7	27,38	30,18

<b>25</b>
<b>28,22</b>





## ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Αριθ. και χαρακτηριστικά δείγματος 20% Τσιμέντο

ΔΟΚΙΜΗ	Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας (LL)				Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας (PL)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Αριθμός δοκιμής								
Αριθμός κάψας								
Αριθμός κτύπων	27	20	14		-	-	-	-
A Βάρος υγρού δείγμ. + κάψας (g)	35,48	46,41	46		28,72	26,28	29,06	
B Βάρος ξηρού δείγμ. + κάψας (g)	32,02	40,81	39,66		27,62	25,02	27,35	
Γ Βάρος νερού (Γ=A-B) (g)	3,46	5,6	6,34		1,1	1,26	1,71	
Δ Βάρος κάψας (g)	19,41	22,1	20,55		22,94	19,7	20,55	
E Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	12,61	18,71	19,11		4,68	5,32	6,8	
Z Περιεχόμενη υγρασία ( $Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E}$ ) %	27,41	29,93	33,17		23,5	23,68	25,15	

Όριο υδαρότητας,

LL = 28,19

Όριο πλαστικότητας

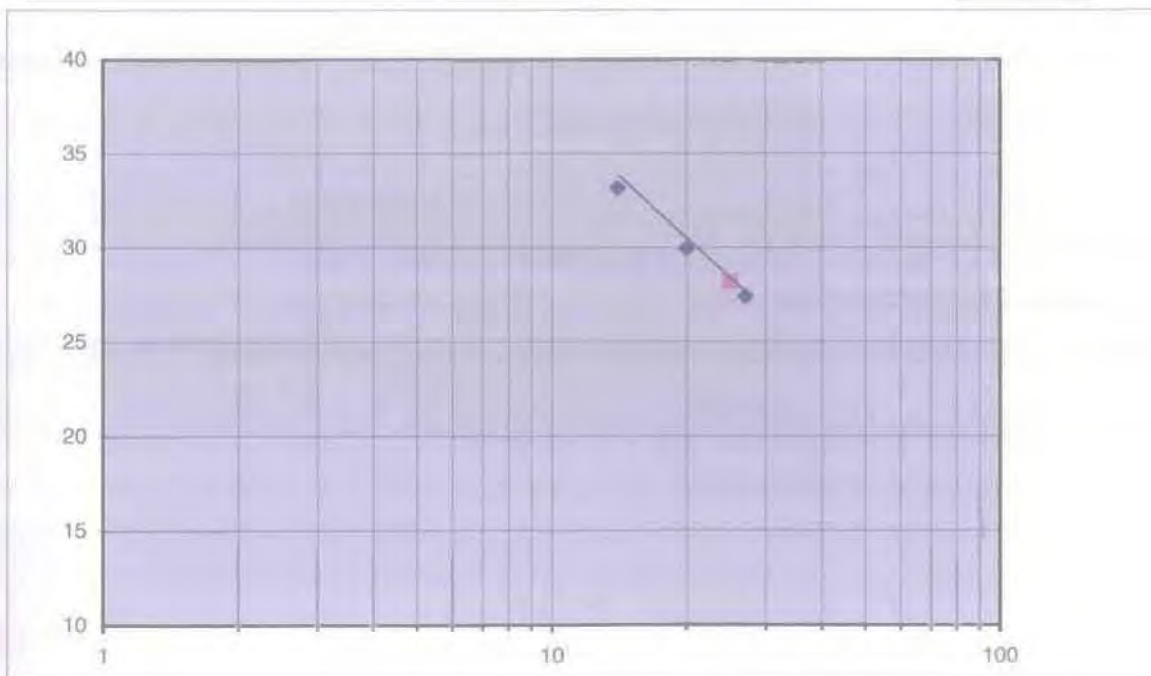
PL = 24,11

Δείκτης πλαστικότητας

PI = 4,08

Αριθμός κτύπων	27	20	14
Υγρασία (%)	27,41%	29,93%	33,17%

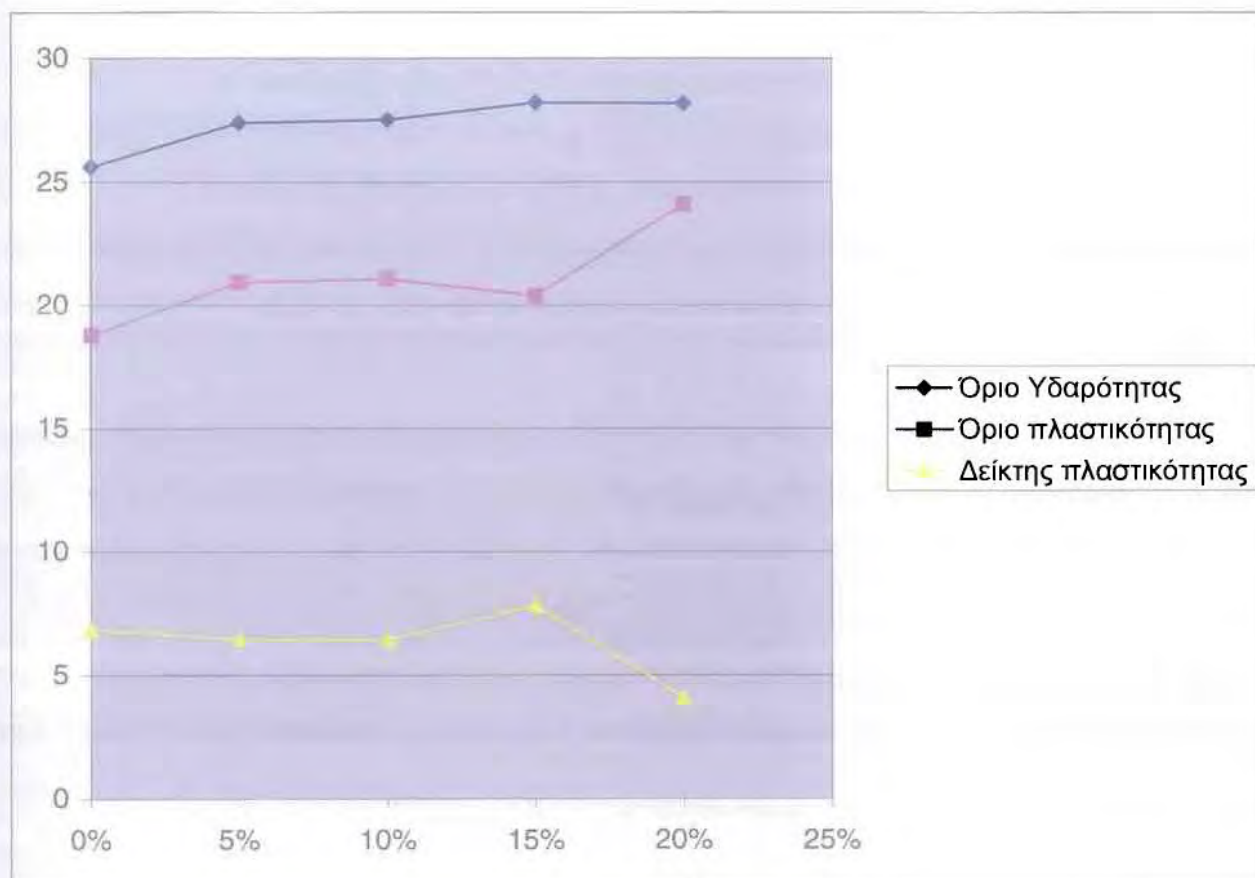
**25  
28,21%**



### Σύγκριση ορίων Atterberg

Πίνακας 3.2 Συγκεντρωτικός πίνακας LL,PL και PI

Ποσοστό τσιμέντου (%)	0%	5%	10%	15%	20%
Όριο υδαρότητας (LL)	25,62	27,4	27,53	28,22	28,21
Όριο πλαστικότητας (PL)	18,78	20,93	21,07	20,39	24,11
Δείκτης πλαστικότητας (PI)	6,84	6,47	6,46	7,83	4,08



Διάγραμμα 3.1 Συγκεντρωτικό διάγραμμα Ορίων Υδαρότητας, Πλαστικότητας και Δεικτών Πλαστικότητας



- Εξετάζοντας τα όρια υδαρότητας που προέκυψαν από τις δοκιμές, παρατηρείται ότι η προσθήκη τσιμέντου οδηγεί σε αύξηση των ορίων υδαρότητας σε σύγκριση με το φυσικό έδαφος χωρίς καμία προσθήκη τσιμέντου.
- Συγκεκριμένα, η προσθήκη 5% τσιμέντου στο εδαφικό δείγμα προκαλεί αύξηση του ορίου υδαρότητας κατά 6.9%, ενώ παρόμοια είναι και αύξηση του ορίου υδαρότητας για το εδαφικό δείγμα που περιέχει 10% τσιμέντο η οποία φτάνει το 7,4%.
- Το εδαφικό δείγμα που περιείχε 15% και 20% τσιμέντο εμφάνισε το ίδιο σχεδόν όριο υδαρότητας, 28,22 και 28,21 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι κατά 10,14% και 10,1% αντίστοιχα μεγαλύτερες από το όριο υδαρότητας του φυσικού δείγματος το οποίο είναι 25,62.
- Το όριο πλαστικότητας παρουσιάζει και αυτό αύξηση με την προσθήκη τσιμέντου στο εδαφικό δείγμα. Ενώ η τιμή του για το φυσικό έδαφος είναι 18,78 , αυξάνεται στο 20,93 με την προσθήκη 5% τσιμέντου, παρουσιάζει αύξηση δηλαδή της τάξης του 11,44%.
- Μικρή περαιτέρω αύξηση του ορίου πλαστικότητας προσδίδει η προσθήκη 10% τσιμέντου στο εδαφικό δείγμα, φτάνοντας το 21,07 προκαλώντας δηλαδή αύξηση κατά 12,19% σε σύγκριση με το φυσικό έδαφος , αλλά μόλις κατά 0,6% σε σχέση με το δείγμα που περιέχει 5% τσιμέντο.
- Το δείγμα που περιείχε 15% τσιμέντο σημείωσε μεν αύξηση του ορίου πλαστικότητας σε σύγκριση με το φυσικό έδαφος κατά 8,09%, παρουσίασε όμως ελαφρώς μειωμένη τιμή σε σύγκριση με τα δείγματα που περιείχαν 5% και 10% τσιμέντο κατά 2,6% και 3,3% αντίστοιχα.
- Την μεγαλύτερη αύξηση του ορίου πλαστικότητας εμφάνισε το δείγμα που περιείχε 20% τσιμέντο, φτάνοντας το 24,11 , τιμή κατά 28,3% μεγαλύτερη από αυτή του φυσικού δείγματος.
- Ο δείκτης πλαστικότητας του εδαφικού δείγματος που περιείχε τσιμέντο εμφανίζεται κατά κανόνα μικρότερος από αυτόν του φυσικού υλικού, με εξαίρεση το δείγμα βελτιώθηκε με προσθήκη τσιμέντου 15%. Η μεγαλύτερη μείωση του δείκτη πλαστικότητας παρατηρήθηκε στο δείγμα που περιείχε 20% τσιμέντο και εμφανίστηκε κατά 41,4% μειωμένος σε σχέση με τον δείκτη πλαστικότητας του φυσικού εδάφους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ**

#### **Προσδιορισμός της βέλτιστης υγρασίας συμπίκνωσης των εδαφών με την πρότυπη μέθοδο PROCTOR**

##### **4.1 Γενικά**

Με τον όρο συμπίκνωση περιγράφεται η τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους, με την χρήση μηχανικών μέσων. Η σημασία της συμπίκνωσης των εδαφών είναι μεγάλη, καθώς αυτά χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα παρέχοντας μεγαλύτερη ασφάλεια στις κατασκευές.

Στα αδιατάρακτα εδάφη, με την πάροδο του χρόνου έχει επιτευχθεί, ως ένα ποσοστό, συμπίκνωση και στερεοποίηση λόγω των πιέσεων που ασκεί το ίδιο το βάρος των ανώτερων εδαφικών στρωμάτων.

Τα διαταραγμένα όμως εδάφη, όπως τα εδαφικά υλικά πλήρωσης εκσκαφών, κατασκευής επιχωμάτων κ.α., βρίσκονται συνήθως σε χαλαρή μορφή, έτσι δεν είναι ικανά να φέρουν το βάρος του κατασκευαζόμενου έργου χωρίς να υποστούν σημαντικές καθιζήσεις προκαλώντας έτσι παραμορφώσεις στο κατασκευαζόμενο έργο. Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό, τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια τεχνική γρήγορης τεχνητής συμπίκνωσης του εδάφους είτε με χρήση οδοστρωτήρων, είτε με άλλα μηχανήματα όπως δυνητικές πλάκες, μηχανικοί κόπανοι κ.α. (Χρηστάρας 1992).

Συγκεκριμένα με την συμπίκνωση του εδάφους επιτυγχάνεται:

- Η αύξηση της διατμητικής αντοχής και της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
- Η μείωση της συμπιεστότητας και επομένως των προκαλούμενων καθιζήσεων του εδάφους σε συνθήκες εξωτερικής φόρτισης.
- Η μείωση της υδροπερατότητας του εδάφους, ιδιότητα πολύ χρήσιμη όταν πρόκειται για υλικά κατασκευής φραγμάτων και επίστρωσης του πυθμένα ταμιευτήρων.

- Η αύξηση της αντίστασης του εδάφους σε αποσάθρωση.

Οι κυριότερες χρήσεις των συμπυκνωμένων εδαφών είναι οι εξής:

- Σταθεροποίηση εδαφών για θεμελίωση τεχνικών κατασκευών.
- Ομογενοποίηση του εδάφους έδρασης μιας κατασκευής.
- Δημιουργία στερεών εδαφών επιχωμάτων για κατασκευή δρόμων, χωμάτων φραγμάτων κτλ

#### 4.2 Μέθοδος συμπύκνωσης

Ο Proctor έκανε τις πρώτες συστηματικές μελέτες στο εργαστήριο και προσπάθησε να βρει τη σχέση ανάμεσα στην περιεκτικότητα σε νερό και την ενέργεια συμπύκνωσης. Για τις μελέτες αυτές έκανε δοκιμές στις οποίες το έδαφος συμπυκνώνεται με την ελεύθερη πτώση σφύρας σε κυλινδρική μεταλλική μήτρα, όπου το δείγμα τοποθετείται σε στρώσεις.

Ο βαθμός συμπύκνωσης ενός εδάφους εκφράζεται με την ξηρή πυκνότητα του. Επομένως μεταβολή της τιμής της ξηρής πυκνότητας μετά από συμπύκνωση εκφράζει την μεταβολή όγκου για το ίδιο ξηρό βάρος, δηλαδή το βαθμό συμπύκνωσης του υλικού. Η μέγιστη συμπύκνωση, δηλαδή η μέγιστη ξηρή πυκνότητα επιτυγχάνεται με την προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας ύδατος που ευνοεί τη μείωση της συνοχής και των τριβών μεταξύ των εδαφικών κόκκων, καθώς και της διατμητικής αντοχής του εδάφους έτσι ώστε να επιτυγχάνεται γρήγορη αναδιάταξη των κόκκων σε πυκνότερη δομή.

Επομένως, αν μεταβάλλουμε την περιεκτικότητα του εδαφικού δείγματος σε νερό, διατηρώντας σταθερή την ενέργεια συμπύκνωσης (βάρος σφύρας, ύψος πτώσης, αριθμό κτύπων ανά στρώση, διατομή στρώσεων) και κάνουμε διάγραμμα μεταβολής του ξηρού φαινομένου βάρους ( $\gamma_d$ ) σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε νερό  $w(\%)$ , τότε παίρνουμε μια καμπύλη που παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή του  $\gamma_d$  για μια ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό  $w$ , που χαρακτηρίζεται σαν βέλτιστη υγρασία  $w_{opt}$  κατά Proctor (optimum).

Η μορφή της καμπύλης συμπίκνωσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Η τιμή της βέλτιστης υγρασίας αυξάνει λογαριθμικά με την αύξηση των λεπτόκοκκων στο έδαφος, ενώ εμφανίζει γενικά γραμμική σχέση με την αύξηση του ποσοστού της λεπτής άμμου.

### **4.3 Πρότυπη μέθοδος PROCTOR**

#### 4.3.1 Περιγραφή εξοπλισμού

- **Μήτρα:** Οι μήτρες (Εικ 4.1) είναι κυλινδρικού σχήματος, κατασκευασμένες από μέταλλο και έχουν την χωρητικότητα και τις διαστάσεις που δίνονται παρακάτω. Επιπλέον οι μήτρες έχουν και έναν πρόσθετο δακτύλιο ύψους περίπου 60,3mm. Ο τρόπος κατασκευής της μήτρας αλλά και του δακτυλίου είναι τέτοιος ώστε να τους επιτρέπει να συνδέονται σταθερά με την ανεξάρτητη πλάκα βάσεως.



*Εικόνα 4.1 Μήτρα κυλινδρικού σχήματος με επιπρόσθετο δακτύλιο*

Η χωρητικότητα και οι διαστάσεις των μητρών είναι οι ακόλουθες:

A) Χωρητικότητα:  $(943 \pm 8) \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Εσωτερική διάμετρος:  $101,6 \pm 0,406 \text{ mm}$

Ύψος:  $116,4 \pm 0,127 \text{ mm}$

B) Χωρητικότητα :  $(2124 \pm 21) \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Εσωτερική διάμετρος:  $152,4 \pm 0,66 \text{ mm}$

Ύψος:  $116,4 \pm 0,127 \text{ mm}$

- **Κόπανος:** Ένας μεταλλικός κόπανος με κυκλική διατομή διαμέτρου  $50,8 \pm 0,127 \text{ mm}$  και βάρους  $2,49 \pm 0,01 \text{ kg}$ . Ο κόπανος είναι εφοδιασμένος με



κατάλληλο οδηγό για τον έλεγχο του ύψους πτώσεως, ώστε να πέφτει ελεύθερα από ύψος  $304,8 \pm 1,524$  mm από την στάθμη του εδαφικού δοκιμίου.

- Εξολκέας δειγμάτων: μια κατάλληλη συσκευή που λειτουργεί σαν πρέσα για την διευκόλυνση της εξαγωγής των συμπυκνωθέντων δοκιμίων από την μήτρα (Εικ. 4.2)



Εικόνα 4.2 Εξολκέας για την εξαγωγή των συμπυκνωθέντων δειγμάτων από την μήτρα

- Ζυγοί: Ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 10kg και ακρίβειας ως 5g και ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 1kg και ακρίβειας ως 0,1g
- Κλίβανος ξηράνσεως: Ένας θερμοστατικά ελεγχόμενος κλίβανος ξηράνσεως ικανός για την διατήρηση της θερμοκρασίας σε  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  για την ξήρανση των υγρών δειγμάτων
- Κανόνας: Ένας χαλύβδινος κανόνας μήκους περίπου 300mm που έχει την μια πλευρά λοξά κομμένη
- Κόσκινα: Κόσκινα 50mm, 19mm και No 4

- Εργαλεία αναμίξεως : Διάφορα εργαλεία αναμίξεως όπως σπάτουλες, κουτάλες, λεκάνες αναμίξεως κτλ.

#### 4.3.2 Περιγραφή μεθόδου

- Η πρότυπη μέθοδος βασίζεται στην συμπύκνωση του εδαφικού δείγματος ενός σιδερένιου δοχείου διαμέτρου 101,6 mm, με 75 κρούσεις που προκαλούνται από κόπανο βάρους 2,5 kg που πέφτει από ύψος 304,8 mm. Το κυλινδρικό δοχείο και ο πρόσθετος δακτύλιος συνδέονται σταθερά με την ανεξάρτητη πλάκα βάσης.(Εικ. 4.3)



Εικόνα 4.3 Συσκευή συμπύκνωσης του εδαφικού δείγματος

- Το δείγμα του εδάφους, εάν είναι υγρό, ξηραίνεται (στους 60°C) και στη συνέχεια θραύονται τα συσσωματώματα του. Το εδαφικό υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να διέρχεται από το κόσκινο No.4. Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα από το κοσκινισμένο έδαφος (περίπου 3 kg).

- Το αντιπροσωπευτικό δείγμα αναμιγνύεται καλά με επαρκή ποσότητα νερού για να υγρανθεί. Στη συνέχεια τοποθετείται σε τρεις ίσες στρώσεις μέσα στην μεταλλική μήτρα, με το δακτύλιο προσαρμοσμένο, για την παρασκευή ενός υλικού συμπυκνωμένου βάρους περίπου 127 mm. Συμπυκνώνεται κάθε στρώση με 25 ομοιόμορφα διανεμημένους κτύπους με τον κόπανο.
- Μετά την συμπύκνωση απομακρύνεται από το δοχείο ο δακτύλιος και περικόπτεται με μαχαίρι το συμπυκνωμένο έδαφος μέχρι τα χείλη της μήτρας και ζυγίζεται. Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπυκνωμένου δοκιμίου μαζί με το δοχείο, μείον το βάρος του δοχείου(σε kg), επί 1059. Το αποτέλεσμα είναι το υγρό φαινόμενο βάρος  $\gamma$  συμπυκνωμένου εδάφους ( $\text{Kg/m}^3$ ).
- Το δοκίμιο εξάγεται από το δοχείο και από το κέντρο του λαμβάνεται δείγμα (τουλάχιστον 100gr) για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας m. Ζυγίζεται αμέσως και ξηραίνεται μέσα σε κλίβανο σε θερμοκρασία  $110 \pm 5$  °C επί δώδεκα τουλάχιστον ώρες ή μέχρι σταθερού βάρους. Η ξηρή πυκνότητα υπολογίζεται από την σχέση :  $\gamma_d = \gamma / (1 + w)$ , σε  $\text{kg/m}^3$ .
- Το δοκίμιο θραύεται, προστίθεται νερό ώστε να αυξηθεί η περιεχόμενη υγρασία του και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία για κάθε νέα αύξηση της υγρασίας. Συνεχίζεται η εκτέλεση της δοκιμής μέχρι που να ελαττωθεί ή να πάψει να μεταβάλλεται το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπυκνωθέντους εδάφους.
- Τα αποτελέσματα της διαδικασίας δίδονται σε διάγραμμα <<ξηρής πυκνότητας ( $\gamma_d$ ) - υγρασίας(w)>> με τη βοήθεια του οποίου προσδιορίζεται το ζεύγος τιμών <<μέγιστη ξηρή πυκνότητα ( $\gamma_{dmax}$ ) – βέλτιστη υγρασία ( $w_{opt}$ )>> στο ανώτατο σημείο της καμπύλης.
- Στο εργοτάξιο η επιδιωκόμενη συμπύκνωση είναι της τάξης του 90% της μέγιστης εργαστηριακής ξηρής πυκνότητας. Αυτή επιτυγχάνεται με αύξηση της υγρασίας του εδάφους ώστε να βρίσκεται μέσα στα όρια που δίνονται στο σχετικό διάγραμμα για ξηρή πυκνότητα ίση με 90% της μέγιστης.
- Σε πολλές περιπτώσεις η υπάρχουσα υγρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη της βέλτιστης, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η συμπύκνωση του εδάφους. Στις περιπτώσεις αυτές επιχειρείται είτε αποστράγγιση του εδαφικού χώρου, είτε πιο απλά



σταθεροποίηση του εδάφους με χημικά πρόσθετα που θα αυξήσουν την απαιτούμενη βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης.

#### **4.4 Τροποποίηση της δοκιμής PROCTOR για την εφαρμογή της σε βελτιωμένα δοκίμια**

Η πρότυπη μέθοδος Proctor εφαρμόστηκε σε δοκίμια που περιείχαν ποσοστά τσιμέντου 5%, 10%, 15% και 20% καθώς και σε αυτά που περιείχαν μόνο άργιλο με σκοπό τον προσδιορισμό της βέλτιστης υγρασίας συμπίκνωσης τους. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι πανομοιότυπη με την αυτήν που περιγράφεται παραπάνω, με μία μοναδική διαφορά:

- Το δείγμα κοσκινίζεται με το κόσκινο No4 και λαμβάνονται περίπου 3 κιλά από το διερχόμενο δείγμα
- Ζυγίζεται και προστίθεται τσιμέντο σε ποσοστά 5%,10%,15% ή 20% για τα βελτιωμένα δείγματα. Το μείγμα ανακατεύεται καλά έτσι ώστε να αποκτήσει ομοιογένεια
- Το δείγμα αναμιγνύεται καλά με επαρκή ποσότητα νερού
- Έπειτα, η διαδικασία εξελίσσεται όπως ακριβώς και στην περίπτωση των μη βελτιωμένων δοκιμίων



#### **4.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Πίνακας 4.1 Υπολογισμός βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού δείγματος με προσθήκη 20% τσιμέντου

ΔΕΙΓΜΑ: ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ +20% ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Αριθμος υποδοχέα	No
Βαρος εδάφους υγρό+απόβαρο	gr
Βαρος εδάφους ξηρό+απόβαρο	gr
Απόβαρο	gr
Βαρος νερού	gr
Βάρος ξηρού εδάφους	gr
<b>Περιεκτικότητα σε νερό</b>	<b>%</b>

1	2	3	4	5	6
92,75	124,74	154,82	173,26	273	455
86,99	114,27	137,49	156,4	242	401
19,41	20,14	18,36	69,54	108,32	209
5,76	10,47	17,33	16,86	31	54
67,58	94,13	119,13	86,86	133,68	192
<b>8,52</b>	<b>11,12</b>	<b>14,55</b>	<b>19,41</b>	<b>23,19</b>	<b>28,13</b>

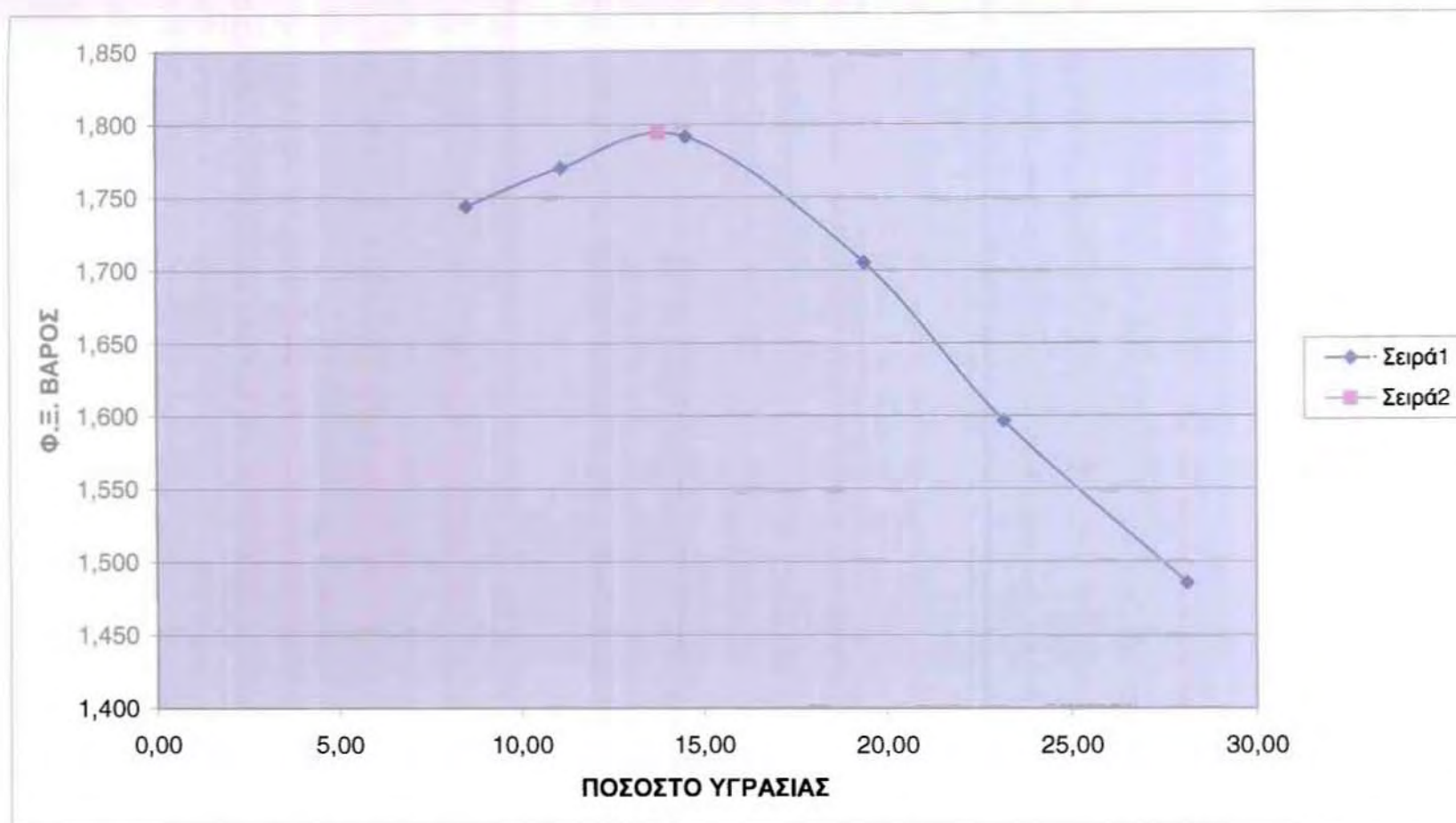
Βάρος Υ.Εδ. + απόβαρο	gr
Βάρος Υ.Εδάφους	gr
Βάρος Ξ.Εδάφους	gr
Φαινόμενο Βάρος Εδάφους	t/m3
<b>Φαινόμενο Βάρος Ξ. Εδάφους</b>	<b>t/m3</b>

6300	6370	6450	6435	6370	6310
1780	1850	1930	1915	1850	1790
1640,20	1664,82	1684,90	1603,71	1501,75	1397,07
1,89	1,97	2,05	2,04	1,97	1,90
<b>1,744</b>	<b>1,770</b>	<b>1,791</b>	<b>1,705</b>	<b>1,597</b>	<b>1,485</b>

Βάρος μήτρας	gr
Όγκος δείγματος	cm3

4520	4520	4520	4520	4520	4520
940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56

<b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ</b>	<b>13,80%</b>



Διάγραμμα 4.1 Καμπύλη εύρεσης βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού εδάφους με προσθήκη 20% τσιμέντου

Πίνακας 4.2 Υπολογισμός βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού δείγματος με προσθήκη 15% τσιμέντου

ΔΕΙΓΜΑ: ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ +15% ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Αριθμός υποδοχέα	No
Βαρος εδάφους υγρό+απόβαρο	gr
Βαρος εδάφους ξηρό+απόβαρο	gr
Απόβαρο	gr
Βαρος νερού	gr
Βάρος ξηρού εδάφους	gr
<b>Περιεκτικότητα σε νερό</b>	<b>gr</b>

1	2	3	4	5	6
107	95,25	120,69	201,44	149,87	229
102,59	89,57	109,95	183,78	135,62	202
18,7	19,46	18,71	69,88	69,37	107,82
4,41	5,68	10,74	17,66	14,25	27
83,89	70,11	91,24	113,9	66,25	94,18
<b>5,26</b>	<b>8,10</b>	<b>11,77</b>	<b>15,50</b>	<b>21,51</b>	<b>28,67</b>

Βάρος Υ.Εδ. + απόβαρο	gr
Βάρος Υ.Εδάφους	gr
Βάρος Ξ.Εδάφους	gr
Φαινόμενο Βάρος Εδάφους	t/m3
<b>Φαινόμενο Βάρος Ξ. Εδάφους</b>	<b>t/m3</b>

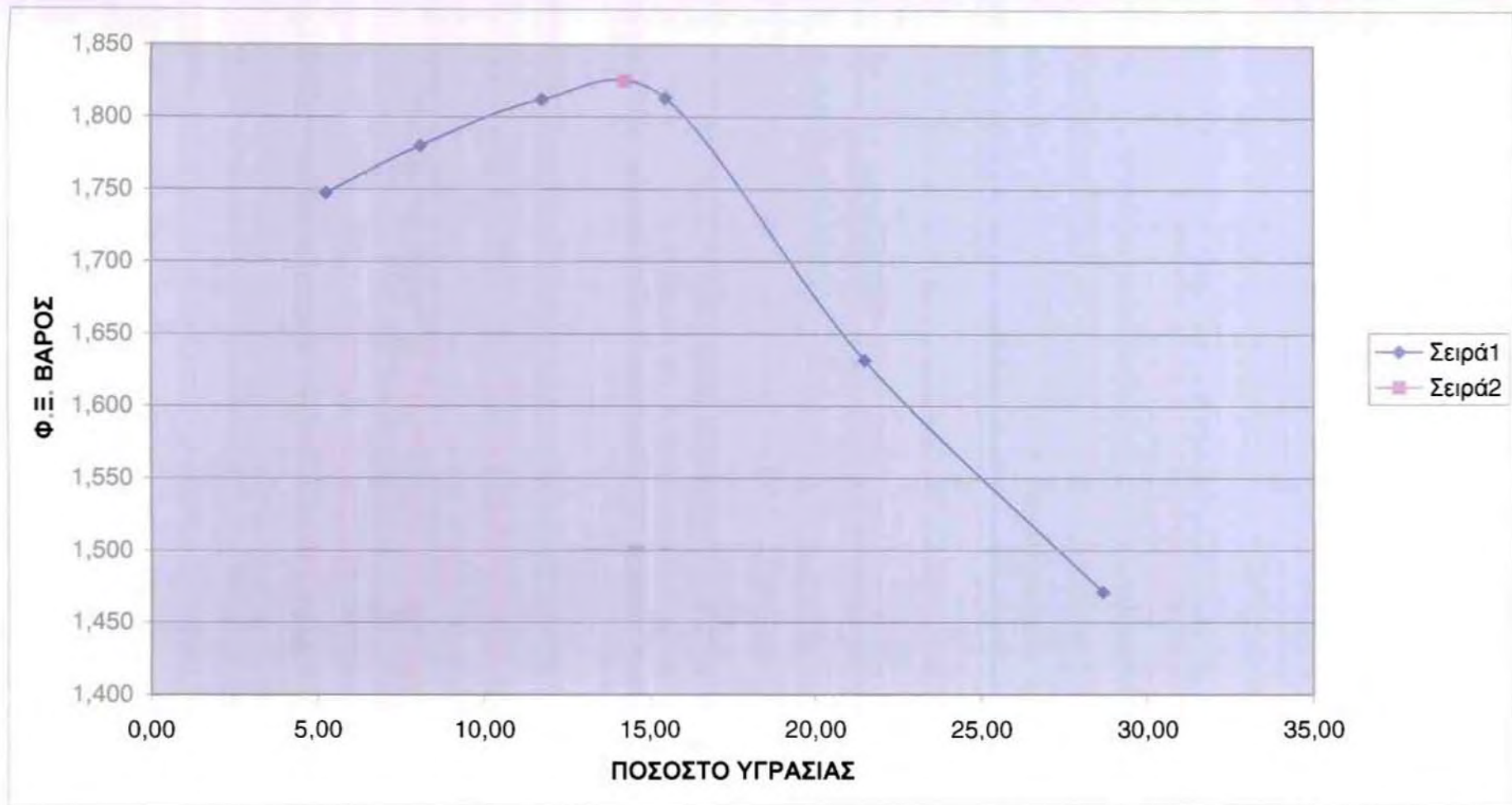
6250	6330	6425	6490	6385	6300
1730	1810	1905	1970	1865	1780
1643,60	1674,35	1704,38	1705,56	1534,86	1383,40
1,84	1,92	2,03	2,09	1,98	1,89
<b>1,747</b>	<b>1,780</b>	<b>1,812</b>	<b>1,813</b>	<b>1,632</b>	<b>1,471</b>

Βάρος μήτρας	gr
Όγκος δείγματος	cm3

4520	4520	4520	4520	4520	4520
940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56

<b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ</b>	<b>14,26%</b>
-------------------------------------	---------------





Διάγραμμα 4.2 Καμπύλη εύρεσης βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού εδάφους με προσθήκη 15% τσιμέντου

Πίνακας 4.3 Υπολογισμός βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού δείγματος με προσθήκη 10% τσιμέντου

ΔΕΙΓΜΑ: ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ+10% ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Αριθμος υποδοχέα	No
Βαρος εδάφους υγρό+απόβαρο	gr
Βαρος εδάφους ξηρό+απόβαρο	gr
Απόβαρο	gr
Βαρος νερού	gr
Βάρος ξηρού εδάφους	gr
<b>Περιεκτικότητα σε νερό</b>	<b>%</b>

1	2	3	4	5	6	7
83,3	71,84	79,73	126,02	148,31	373	215
79	67,04	71,14	117,38	134,45	341	191,61
18,21	19,46	18,71	69,91	70	209	108,37
4,3	4,8	8,59	8,64	13,86	32	23,39
60,79	47,58	52,43	47,47	64,45	132	83,24
<b>7,07</b>	<b>10,09</b>	<b>16,38</b>	<b>18,20</b>	<b>21,51</b>	<b>24,24</b>	<b>28,10</b>

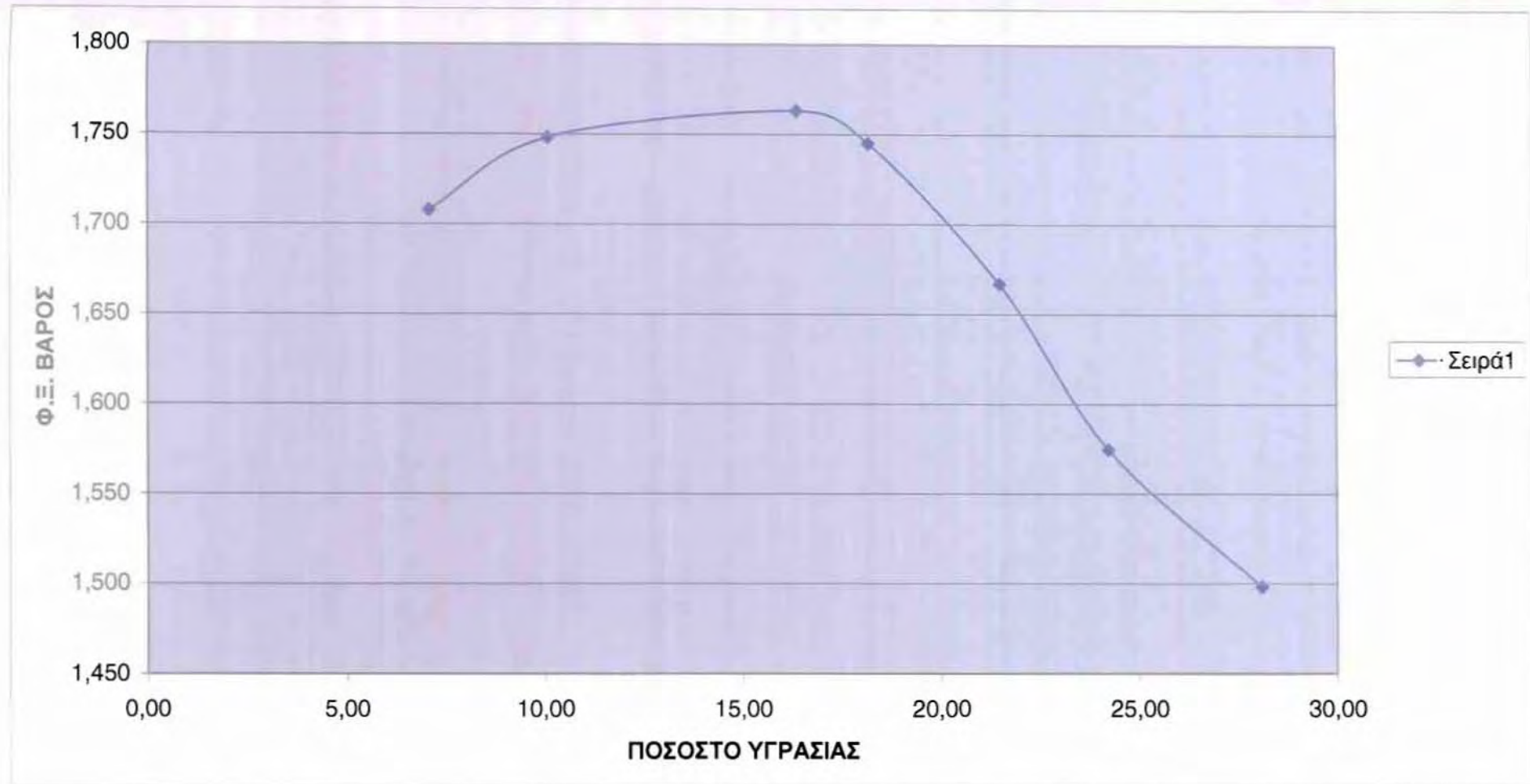
Βάρος Υ.Εδ. + απόβαρο	gr
Βάρος Υ.Εδάφους	gr
Βάρος Ξ.Εδάφους	gr
Φαινόμενο Βάρος Εδάφους	t/m <sup>3</sup>
<b>Φαινόμενο Βάρος Ξ. Εδάφους</b>	<b>t/m<sup>3</sup></b>

6240	6330	6450	6460	6425	6360	6325
1720	1810	1930	1940	1905	1840	1805
1606,37	1644,14	1658,31	1641,27	1567,84	1480,98	1409,06
1,83	1,92	2,05	2,06	2,03	1,96	1,92
<b>1,708</b>	<b>1,748</b>	<b>1,763</b>	<b>1,745</b>	<b>1,667</b>	<b>1,575</b>	<b>1,498</b>

Βάρος μήτρας	gr
Όγκος δείγματος	cm <sup>3</sup>

4520	4520	4520	4520	4520	4520	4520
940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56

<b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ</b>	<b>16,38%</b>
-------------------------------------	---------------



Διάγραμμα 4.3 Καμπύλη εύρεσης βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού εδάφους με προσθήκη 10% τσιμέντου

Πίνακας 4.4 Υπολογισμός βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού δείγματος με προσθήκη 5% τσιμέντου

ΔΕΙΓΜΑ: ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ +5% ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Αριθμός υποδοχέα	No
Βαρος εδάφους υγρό+απόβαρο	gr
Βαρος εδάφους ξηρό+απόβαρο	gr
Απόβαρο	gr
Βαρος νερού	gr
Βάρος ξηρού εδάφους	gr
<b>Περιεκτικότητα σε νερό</b>	<b>%</b>

1	2	3	4	5	6	7
73,1	71	76,95	82,19	72,01	154,5	90,12
69,8	66,72	69,6	73,31	63,82	139,87	77,62
18,21	19,41	18,71	20,14	18,77	69,37	19,45
3,3	4,28	7,35	8,88	8,19	14,63	12,5
51,59	47,31	50,89	53,17	45,05	70,5	58,17
<b>6,40</b>	<b>9,05</b>	<b>14,44</b>	<b>16,70</b>	<b>18,18</b>	<b>20,75</b>	<b>21,49</b>

Βάρος Υ.Εδ. + απόβαρο	gr
Βάρος Υ.Εδάφους	gr
Βάρος Ξ.Εδάφους	gr
Φαινόμενο Βάρος Εδάφους	t/m3
<b>Φαινόμενο Βάρος Ξ. Εδάφους</b>	<b>t/m3</b>

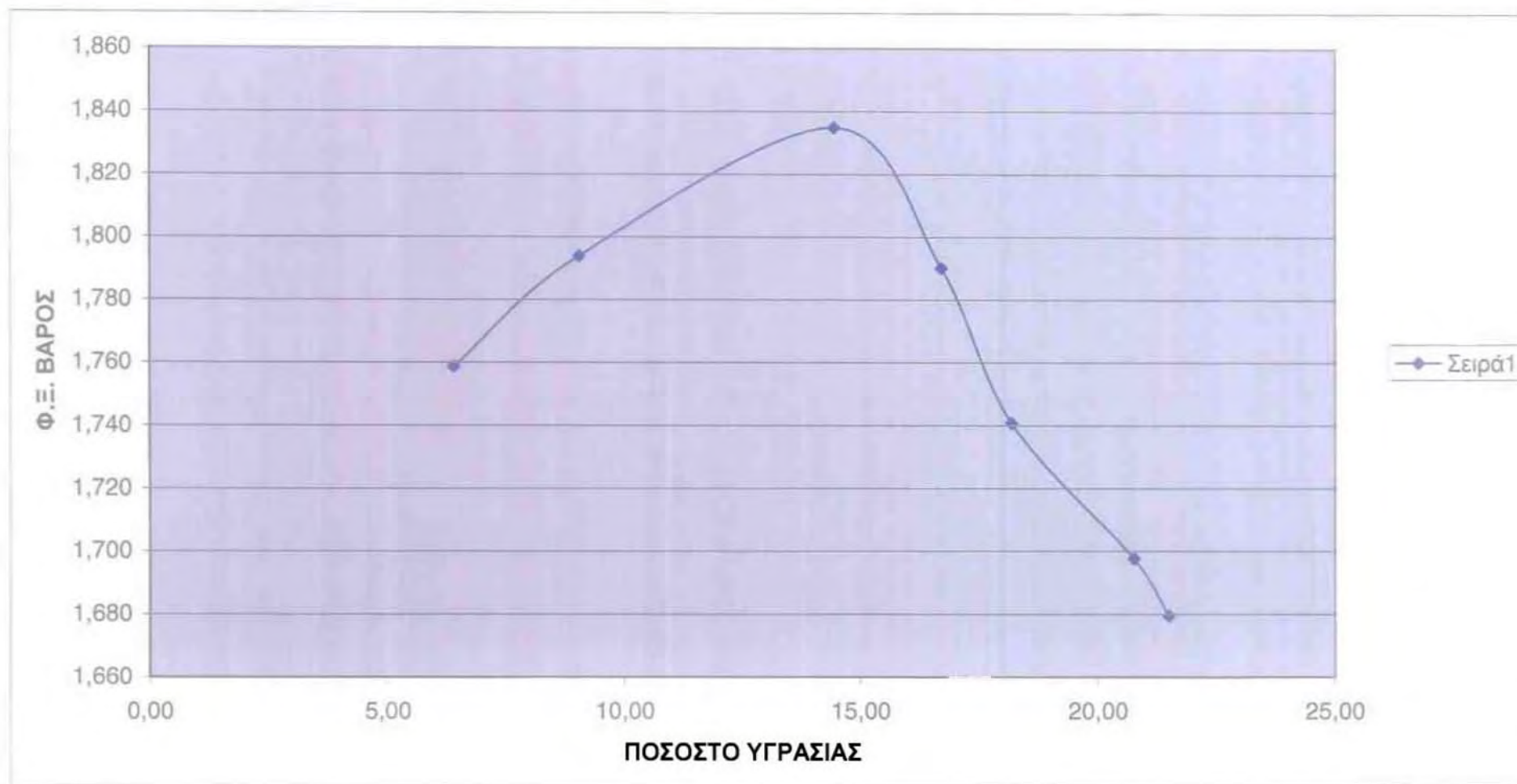
6280	6360	6495	6485	6455	6448	6439
1760	1840	1975	1965	1935	1928	1919
1654,19	1687,35	1725,75	1683,79	1637,34	1596,66	1579,57
1,87	1,96	2,10	2,09	2,06	2,05	2,04
<b>1,759</b>	<b>1,794</b>	<b>1,835</b>	<b>1,790</b>	<b>1,741</b>	<b>1,698</b>	<b>1,679</b>

Βάρος μήτρας	gr
Όγκος δείγματος	cm3

4520	4520	4520	4520	4520	4520	4520
940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56

<b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ</b>	<b>14,44%</b>
-------------------------------------	---------------



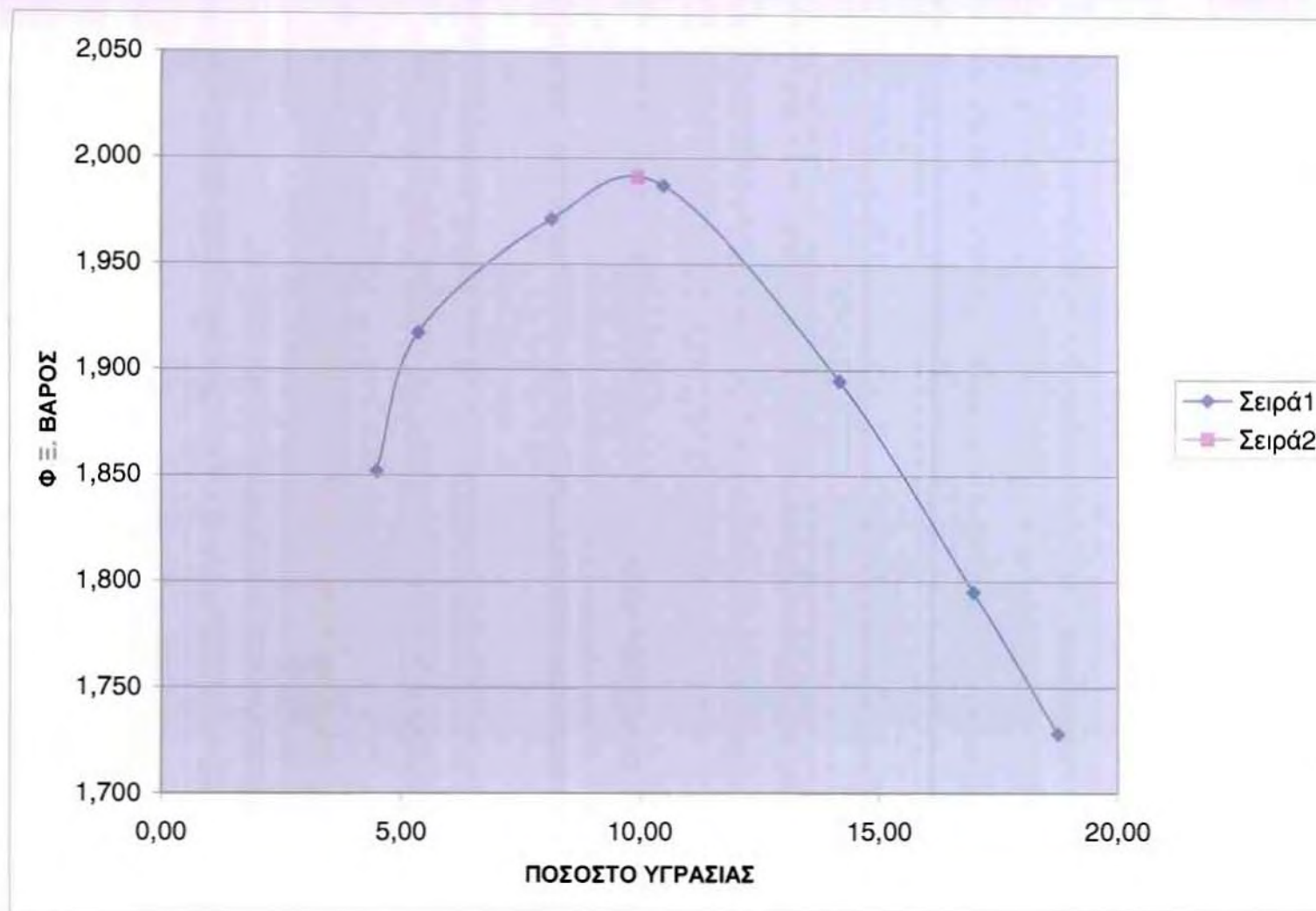


Διάγραμμα 4.4 Καμπύλη εύρεσης βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού εδάφους με προσθήκη 5% τσιμέντου

Πίνακας 4.5 Υπολογισμός βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης φυσικού δείγματος

ΔΟΚΙΜΙΟ: ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

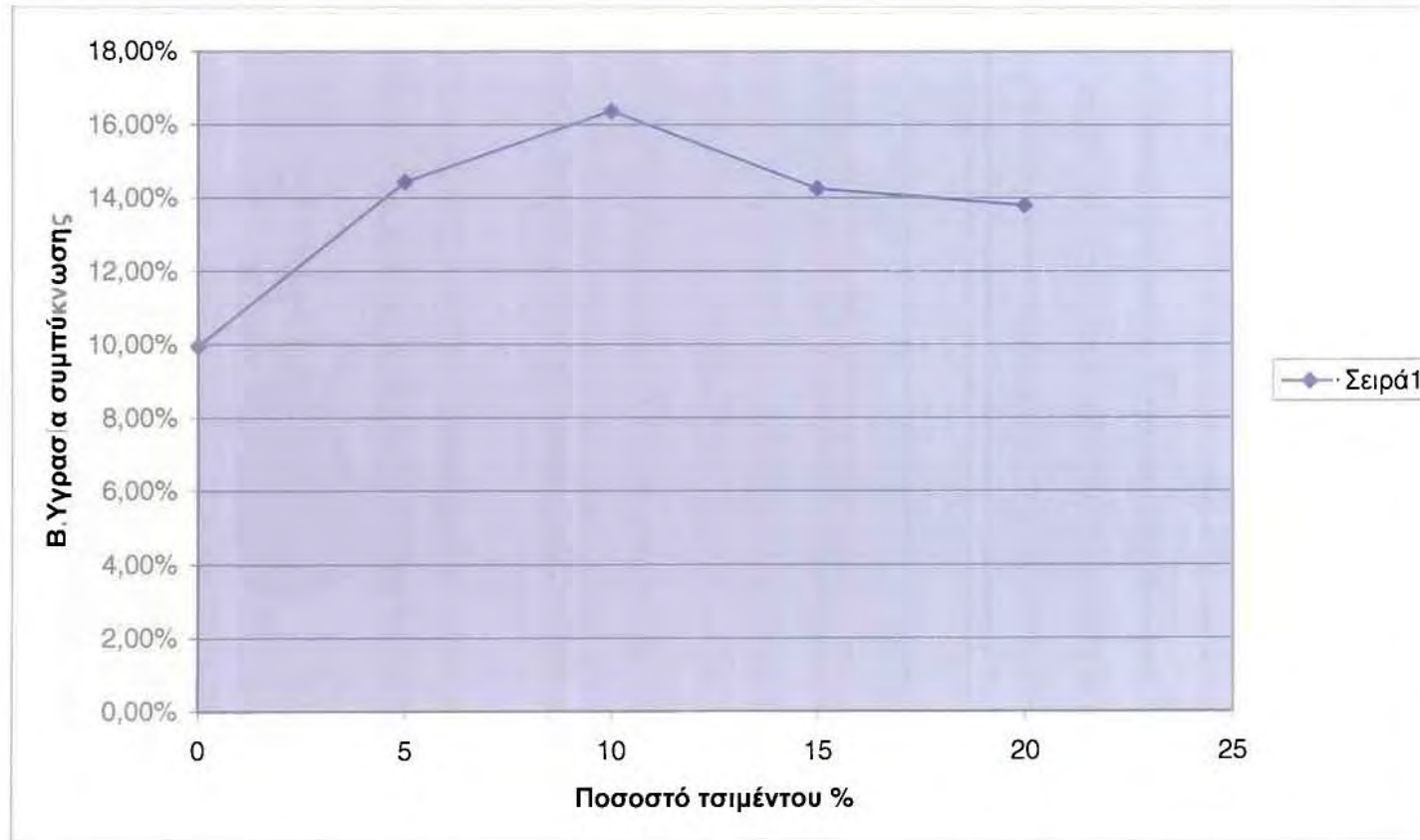
Αριθμός υποδοχέα	No	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Βαρος εδάφους υγρό+απόβαρο	gr	148,6	385	357	212	223	240	295
Βαρος εδάφους ξηρό+απόβαρο	gr	145,2	376	346	197	202	213	259
Απόβαρο	gr	69,4	208	211	54	54	54	67
Βαρος νερού	gr	3,4	9	11	15	21	27	36
Βάρος ξηρού εδάφους	gr	75,8	168	135	143	148	159	192
<b>Περιεκτικότητα σε νερό</b>	<b>%</b>	<b>4,49</b>	<b>5,36</b>	<b>8,15</b>	<b>10,49</b>	<b>14,19</b>	<b>16,98</b>	<b>18,75</b>
Βάρος Υ.Εδ. + απόβαρο	gr	3965	4045	4150	4210	4180	4120	4075
Βάρος Υ.Εδάφους	gr	1820	1900	2005	2065	2035	1975	1930
Βάρος Ξ.Εδάφους	gr	1741,87	1803,39	1853,94	1868,96	1782,13	1688,31	1625,26
Φαινόμενο Βάρος Εδάφους	t/m3	1,94	2,02	2,13	2,20	2,16	2,10	2,05
<b>Φαινόμενο Βάρος Ξ. Εδάφους</b>	<b>t/m3</b>	<b>1,852</b>	<b>1,917</b>	<b>1,971</b>	<b>1,987</b>	<b>1,895</b>	<b>1,795</b>	<b>1,728</b>
Βάρος μήτρας	gr	2145	2145	2145	2145	2145	2145	2145
Ογκος δείγματος	cm3	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56	940,56
<b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ</b>	<b>9,95%</b>							



Διάγραμμα 4.5 Καμπύλη εύρεσης βέλτιστης υγρασίας συμπίκνωσης φυσικού δείγματος

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΥΓΡΑΣΙΩΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Ποσοστό τσιμέντου (%)	0	5	10	15	20
Βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης (%)	9,95	14,44	16,38	14,26	13,8



Διαγραμμα 4.6 Συγκεντρωτικό διαγραμμα βέλτιστων υγρασιών συμπίκνωσης



- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών, η βέλτιστη υγρασία συμπύκνωσης παρουσιάζει σημαντική αύξηση όταν στο εδαφικό δείγμα προστίθεται τσιμέντο. Πιο συγκεκριμένα, τα δοκίμια που περιείχαν 5% τσιμέντο σημείωσαν αύξηση της βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης κατά 45,1%, φτάνοντας το 14,44%.
- Η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε στο εδαφικό υλικό που περιείχε 10% τσιμέντο και ήταν της τάξης του 64,6% σε σύγκριση με το φυσικό έδαφος. Η βέλτιστη υγρασία συμπύκνωσης έφτασε το  $W_c=16,38\%$
- Τα εδαφικά δείγματα που περιείχαν 15% και 20% τσιμέντο στην σύνθεση τους παρουσίασαν ελαφρώς μικρότερη υγρασία συμπύκνωσης σε σύγκριση με το δείγμα που περιείχε 10% τσιμέντο, αλλά σαφώς μεγαλύτερη κατά 43,3% και 38,6% σε σχέση με το φυσικό έδαφος.
- Οι βέλτιστες υγρασίες συμπύκνωσης που υπολογίστηκαν για κάθε δείγμα τηρήθηκαν ευλαβικά κατά την μόρφωση δοκιμίων για την δοκιμή μονοαξονικής θλίψης και για την δοκιμή διάτμησης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ**

#### **5.1 Γενικά**

Η μέθοδος αφορά τον ταχύ προσδιορισμό της ανεμπόδιστης αντοχής αδιατάρακτου δείγματος συνεκτικού εδάφους κατά την εφαρμογή ενός αξονικού φορτίου. Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται ευρέως και δίνει πληροφορίες για τον σχεδιασμό και την κατασκευή διαφόρων τεχνικών έργων όπως κτίρια, γέφυρες, φράγματα, αναχώματα, έργα οδοποιίας κ.α.

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης είναι η απλούστερη δοκιμή αντοχής και χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση συνεκτικών εδαφών, με εξαίρεση τα μαλακά αργιλικά εδάφη. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, η αυξημένη συνεκτικότητα του εδάφους ώστε να επιτρέπεται η διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσεως. Η εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή σε μη συνεκτικά εδάφη, επειδή δεν είναι δυνατή η παρασκευή εδαφικών δοκιμίων. Όταν δεν υπάρχει αρκετή συνοχή στις κατακόρυφες παρειές του δοκιμίου, απαιτείται η εφαρμογή της τριαξονικής θλίψης.

Με τον όρο αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ορίζεται η τάση με την οποία το δοκίμιο θραύεται κατά μία μόνο κατεύθυνση (κατακόρυφη), ενώ πλευρικά μπορεί να επεκτείνεται χωρίς κανένα εξωγενή προσδιορισμό.

Πιο αναλυτικά, ως αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μπορεί να οριστεί η τάση κατά την οποία:

- Στο δοκίμιο δημιουργείται επιφάνεια θραύσης
- Το φορτίο σταματάει να αυξάνεται παρά την αύξηση της παραμόρφωσης

Σε περίπτωση που δεν ικανοποιηθεί καμιά από τις δυο αυτές συνθήκες, θεωρούμε σαν αντοχή την τάση που δημιουργείται όταν η ανοιγμένη παραμόρφωση φτάσει το 20%. Έπειτα, με την κατασκευή ενός κύκλου Mohr βρίσκουμε την τιμή της διατμητικής τάσης ή της συνοχής  $c$  από την σχέση  $c=qu/2$ ,

## 5.2 Χρησιμοποιούμενα όργανα

- Συσκευή θλίψεως (Εικ. 5.1)



*Εικόνα 5.1 Μηχανοκίνητη συσκευή θλίψεως*

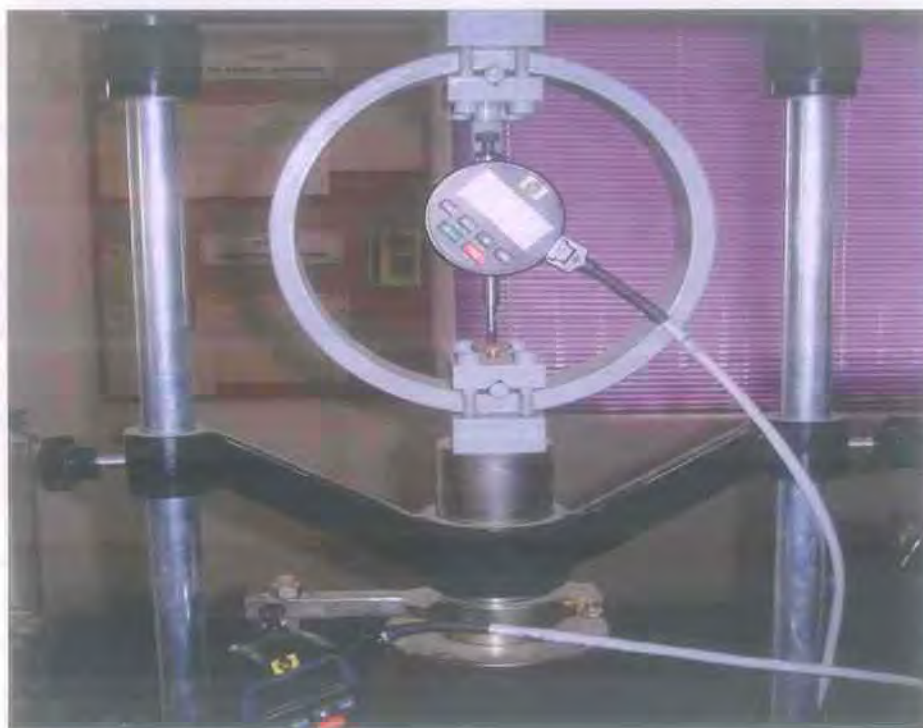
Η συσκευή θλίψεως που χρησιμοποιήθηκε είναι μηχανοκίνητη (με δυνατότητα και χειροκίνητης λειτουργίας), με αυτόματη επιβολή φορτίου

- Μεταλλική βάση με κυκλική πλάκα, στο κέντρο της οποίας τοποθετείται το δοκίμιο
- Διαστημόμετρο τύπου Vernier κατάλληλο για την ακριβή μέτρηση των διαστάσεων του δοκιμίου με ακρίβεια 0,25mm (Εικ. 5.2)



*Εικόνα 5.2 Διαστημόμετρο τύπου Vernier*

- Ζυγός ακριβείας
- Κύλινδρος αναζυμώσεως με έμβολο, ο οποίος χρησιμοποιείται για την μόρφωση του δείγματος
- Εξωλκείας δείγματος, ο οποίος χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των δειγμάτων από τον κύλινδρο αναζυμώσεως με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη
- Κλίβανος ξηράνσεως με θερμοστάτη για την ξήρανση των δειγμάτων και τον προσδιορισμό της φυσικής τους υγρασίας
- Μηκυνσιόμετρα ακριβείας 0,001mm συνδεδεμένα με Η/Υ για την καταγραφή των δεδομένων (Εικ. 5.3)



*Εικόνα 5.3 Μηκυνσιόμετρα της συσκευής θλίψης, συνδεδεμένα με Η/Υ*



### **5.3 Προπαρασκευή δοκιμίων(ASHO T-146/49,ASTM D-2217/88).**

Το δείγμα εδάφους που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ξηραίνεται στον φούρνο στους 60°C. Κατόπιν προστίθεται τόσο νερό ώστε να επιτευχθεί η υγρασία βέλτιστης συμπίκνωσης, όπως έχει ήδη υπολογιστεί από την δοκιμή Proctor. Το δείγμα συμπυκνώνεται όπως ακριβώς στην μέθοδο συμπίκνωσης Proctor και αφού εξωλκεύεται πρώτα από την μήτρα, λαμβάνεται δείγμα του με την βοήθεια ειδικού δειγματολήπτη. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται και πάλι ο ειδικός εξωλκείας δειγμάτων για την εξαγωγή τους από τον δειγματολήπτη. Η εξαγωγή του δείγματος θα πρέπει να γίνεται με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη του δείγματος και με διεύθυνση εξωλκείσεως την ίδια με αυτή της δειγματοληψίας. (AASHOT T-2/60, ASTM D-75/82).

Κατά την διάρκεια μόρφωσης του δοκιμίου θα πρέπει να τηρούνται όλες οι προφυλάξεις, ώστε να εμποδίζεται η μεταβολή της φυσικής υγρασίας. Το δοκίμιο θα πρέπει να μορφώνεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιπεδότητα και καθετότητα των διατομών αυτών ως προς τον άξονα του δοκιμίου. Πριν αλλά και μετά από την δοκιμή προσδιορίζεται η φυσική του υγρασία του δείγματος για να επαληθευτεί ότι είναι μέσα στα όρια που υπολογίστηκαν από την δοκιμή Proctor,

#### **5.3.1 Διαστάσεις δοκιμίου**

Το δοκίμιο δεν πρέπει να έχει διάμετρο μικρότερη από 33mm ενώ η μέγιστη διάμετρος των κόκκων θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 1/10 της διαμέτρου του δοκιμίου. Ο λόγος ύψους προς την διάμετρο του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 2 ως 3. Η μέτρηση των διαστάσεων του δοκιμίου θα πρέπει να γίνεται με το παχύμετρο τύπου Vernier.

### 5.4 Υπολογισμοί

Αρχικά προσδιορίζεται η ανοιγμένη παραμόρφωση  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_i}{L_o}$$

Όπου:

$L_o$ =αρχικό ύψος του δοκιμίου

$\Delta L_i$ =παραμόρφωση του δοκιμίου

Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση επιφάνεια του δοκιμίου  $A$  για δοσμένη ανοιγμένη παραμόρφωση  $\varepsilon$ :

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

Όπου:

$A_o$ =αρχική μέση επιφάνεια του δοκιμίου ( $\pi R^2$ )

$\varepsilon$ = ανοιγμένη παραμόρφωση για ένα ορισμένο φορτίο

Η αντοχή του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη υπολογίζεται δια διαιρέσεως του μέγιστου φορτίου που εφαρμόστηκε στο δοκίμιο με την αντίστοιχη μέση επιφάνεια του δοκιμίου:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2 \text{ ή MPa)}$$

Το μέτρο ελαστικότητας (μέτρο του Young) υπολογίζεται από την σχέση:

$$E = \frac{\sigma}{\Delta L} \cdot L_o = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Μετά τους υπολογισμούς δημιουργείται ένα διάγραμμα με άξονες την τάση  $\sigma$  και την ανοιγμένη παραμόρφωση  $\varepsilon$  και έτσι μορφώνεται η καμπύλη της ανεμπόδιστης θλίψης.

### **5.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων δοκιμής**

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της δοκιμής σε ανεμπόδιστη θλίψη γίνεται με την καμπύλη τάσεων-ανοιγμένων παραμορφώσεων. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι η μέγιστη τιμή της τάσης ή η τιμή της τάσης όταν η ανοιγμένη παραμόρφωση του δοκιμίου φτάσει το 20%.

Στο έντυπο της δοκιμής που παρατίθεται, παρουσιάζονται μαζί με την γραφική παράσταση και όλα τα στοιχεία που αφορούν την δοκιμή. Αναλυτικότερα δίνεται:

- Ο τύπος της δοκιμής
- Το είδος του δείγματος
- Οι διαστάσεις του δοκιμίου: ύψος  $h$ , διάμετρος  $D$ , αρχική επιφάνεια  $A_0$
- Η σύσταση του εδαφικού υλικού
- Η φυσική υγρασία του δείγματος
- Η αντοχή του υλικού σε ανεμπόδιστη θλίψη
- Η μεταβολή του ύψους του δοκιμίου  $\Delta L_i$  (mm)
- Η ανοιγμένη παραμόρφωση  $\epsilon$
- Η διορθωμένη επιφάνεια  $A$
- Η αξονική φόρτιση  $F$  (kg)
- Η αξονική τάση  $\sigma_1$
- Η συνοχή  $c_u$

### **5.6 Τροποποίηση της δοκιμής ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης για την εφαρμογή της σε βελτιωμένα δοκίμια**

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης διενεργήθηκε σε βελτιωμένα δοκίμια που περιείχαν ποσοστά τσιμέντου 5%, 10%, 15% και 20% καθώς και σε συμπυκνωμένη άργιλο χωρίς προσθήκη τσιμέντου με σκοπό τον προσδιορισμό της μέγιστης θλιπτικής αντοχής τους. Λόγω της ύπαρξης βελτιωμένων δοκιμίων η διαδικασία της δοκιμής τροποποιήθηκε και είναι η εξής:

- Η άργιλος αφού κοσκινίστηκε, τοποθετήθηκε σε μεταλλικό σκεύος και παρέμεινε στον κλίβανο σε θερμοκρασία 60 °C μέχρι να στεγνώσει
- Η στεγνή άργιλος ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας και προστίθεται η αναλογία τσιμέντου που απαιτείται
- Το μείγμα ξανα ζυγίζεται και υπολογίζεται το νερό που πρέπει να προστεθεί, βάση των υγρασιών βέλτιστης συμπίκνωσης όπως αυτές προέκυψαν από την δοκιμή Proctor
- Με την βοήθεια του ψεκαστήρα, προστίθεται στο δείγμα η ακριβής ποσότητα νερού που έχει υπολογιστεί σε μικρές δόσεις και με συνεχή αναμόχλευση του δείγματος έτσι ώστε το υλικό που θα προκύψει να είναι ομοιογενές
- Το μείγμα τοποθετείται ανά στρώσεις στην μήτρα της συσκευής συμπίκνωσης που χρησιμοποιείται και στην μέθοδο Proctor και συμπυκνώνεται με την βοήθεια της σφύρας
- Το δείγμα εξωλκεύεται από την μήτρα με την βοήθεια της πρέσας
- Με την βοήθεια του κυλινδρικού δειγματολήπτη μορφώνεται το δοκίμιο που θα χρησιμοποιηθεί στην δοκιμή (Εικ. 5.4)



Εικόνα 5.4 Κυλινδρικός δειγματολήπτης



- Με την βοήθεια ειδικού εξωλκέα (Εικ. 5.5) εξωλκεύεται το κυλινδρικό δοκίμιο από τον δειγματολήπτη



Εικόνα 5.5 Συσκευή για την εξώλκευση κυλινδρικού δοκιμίου από τον δειγματολήπτη

- Ένα κομμάτι του δείγματος ζυγίζεται και φυλάσσεται για τον προσδιορισμό της υγρασίας
- Τα δοκίμια που περιέχουν τσιμέντο τοποθετούνται σε μεταλλικά σκέυη (Εικ. 5.6), σκεπάζονται με υγρά πανιά, τυλίγονται με αεροστεγή μεμβράνη και αφήνονται να ωριμάσουν για 7 ή 28 μέρες (Εικ. 5.7)



Εικόνα 5.6 Τοποθέτηση των δοκιμίων σε μεταλλικά σκεύη μετά την μόρφωση τους



Εικόνα 5.7 Το δοκίμια καλύπτονται με υγρά πανιά, τυλίγονται με αεροστεγή μεμβράνη και αφήνονται να ωριμάσουν για 7 ή 28 μέρες

- Μετά το πέρας της περιόδου ωρίμανσης τα δοκίμια θραύονται(Εικ. 5.8 , 5.9) για να προκύψουν τα διαγράμματα τάσεων-ανοιγμένων παραμορφώσεων και να βρεθεί η μέγιστη θλιπτική αντοχή για κάθε δοκίμιο





*Εικόνα 5.8 Δοκίμιο κατά την διαδικασία της θραύσης*



*Εικόνα 5.9 Δοκίμια μετά το πέρας της δοκιμής θραύσης*

## **5.7 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**



Πίνακας 5.1 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο

Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη

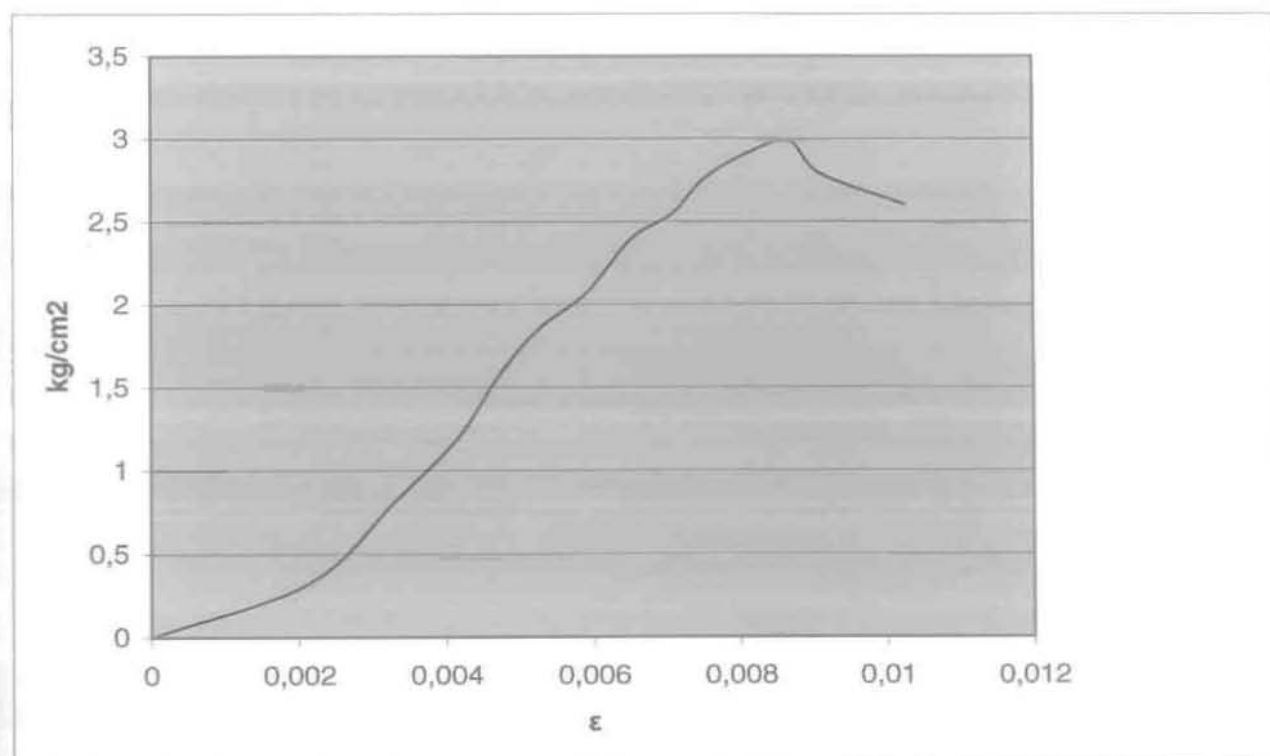
Δοκίμιο 1/3

Lo= 12,3cm

D= 4,91cm

Ao= 18,92cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
30	0,263636	0,002143385	18,96063995	6,166666667	0,3252352	0,1626176
60	0,407273	0,00331116	18,98285528	15,5	0,8165263	0,4082631
90	0,512727	0,004168514	18,99919843	22,75	1,1974189	0,5987095
120	0,581818	0,004730229	19,00992128	30	1,5781233	0,7890617
150	0,647273	0,00526238	19,02009094	35,16666667	1,8489221	0,9244611
180	0,727273	0,005912786	19,03253532	39,33333333	2,0666366	1,0333183
210	0,801818	0,006518847	19,04414587	45,5	2,3891856	1,1945928
240	0,872727	0,007095344	19,05520322	48,58333333	2,5496098	1,2748049
270	0,929091	0,007553585	19,06400155	52,75	2,7669952	1,3834976
300	1,007273	0,008189209	19,07621915	55,83333333	2,9268553	1,4634277
330	1,069091	0,008691796	19,08589067	56,917	2,9821506	1,4910753
360	1,12	0,009105691	19,09386282	53,2	2,7862356	1,3931178
390	1,26	0,010243902	19,1158206	49,7	2,5999407	1,2999704



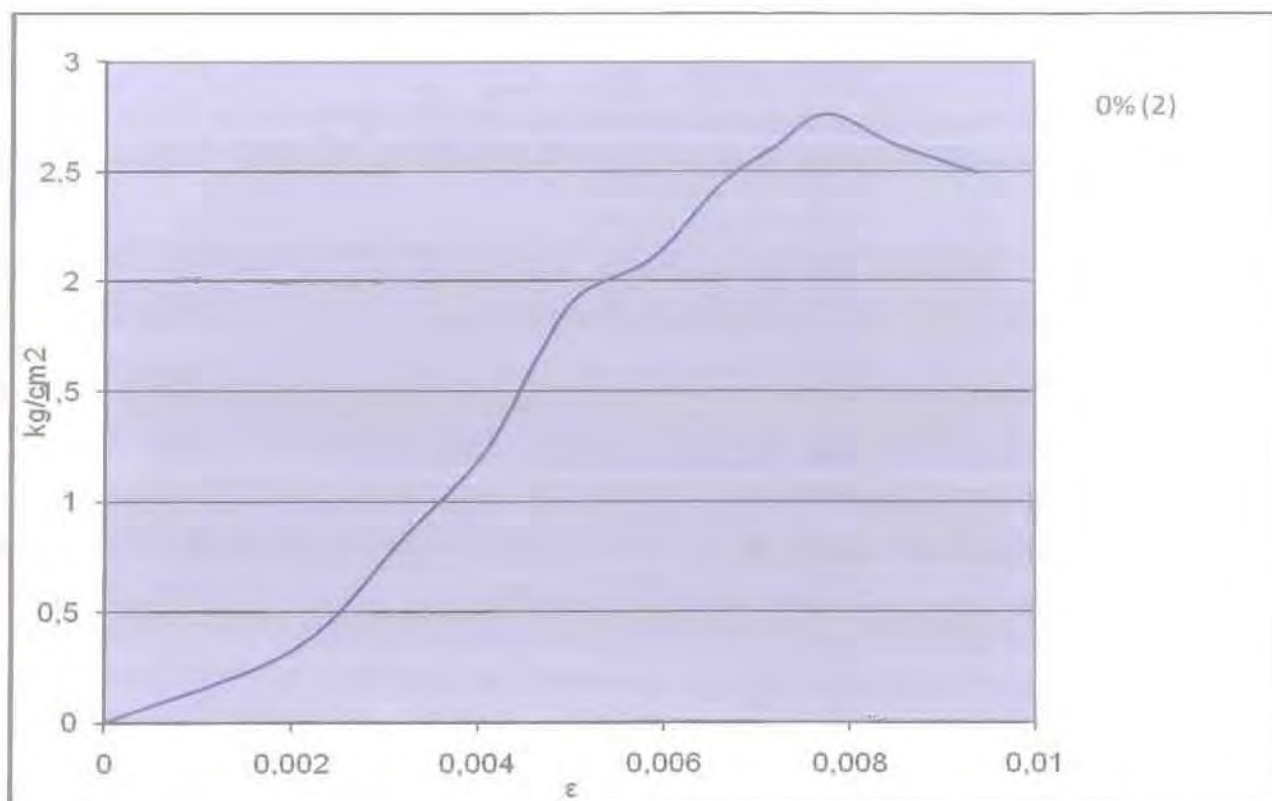
Διάγραμμα 5.1 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 5.2 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο  
 Δοκίμη: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 2/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
30	0,251	0,00204065	18,95868805	6,33	0,3338839	0,1669419
60	0,395	0,003211382	18,9809551	15,93	0,8392623	0,4196311
90	0,501	0,004073171	18,99737957	23,18	1,2201683	0,6100841
120	0,569	0,004626016	19,007931	31,25	1,6440506	0,8220253
150	0,625	0,005081301	19,01662921	36,78	1,9340967	0,9670484
180	0,723	0,005878049	19,03187026	40,102	2,1070972	1,0535486
210	0,815	0,006626016	19,04620043	46,577	2,4454746	1,2227373
240	0,885	0,007195122	19,05711829	49,785	2,6124097	1,3062048
270	0,953	0,007747967	19,0677362	52,66	2,7617332	1,3808666
300	1,043	0,008479675	19,08180752	50,05	2,6229171	1,3114586
330	1,154	0,009382114	19,09919078	47,635	2,4940847	1,2470424



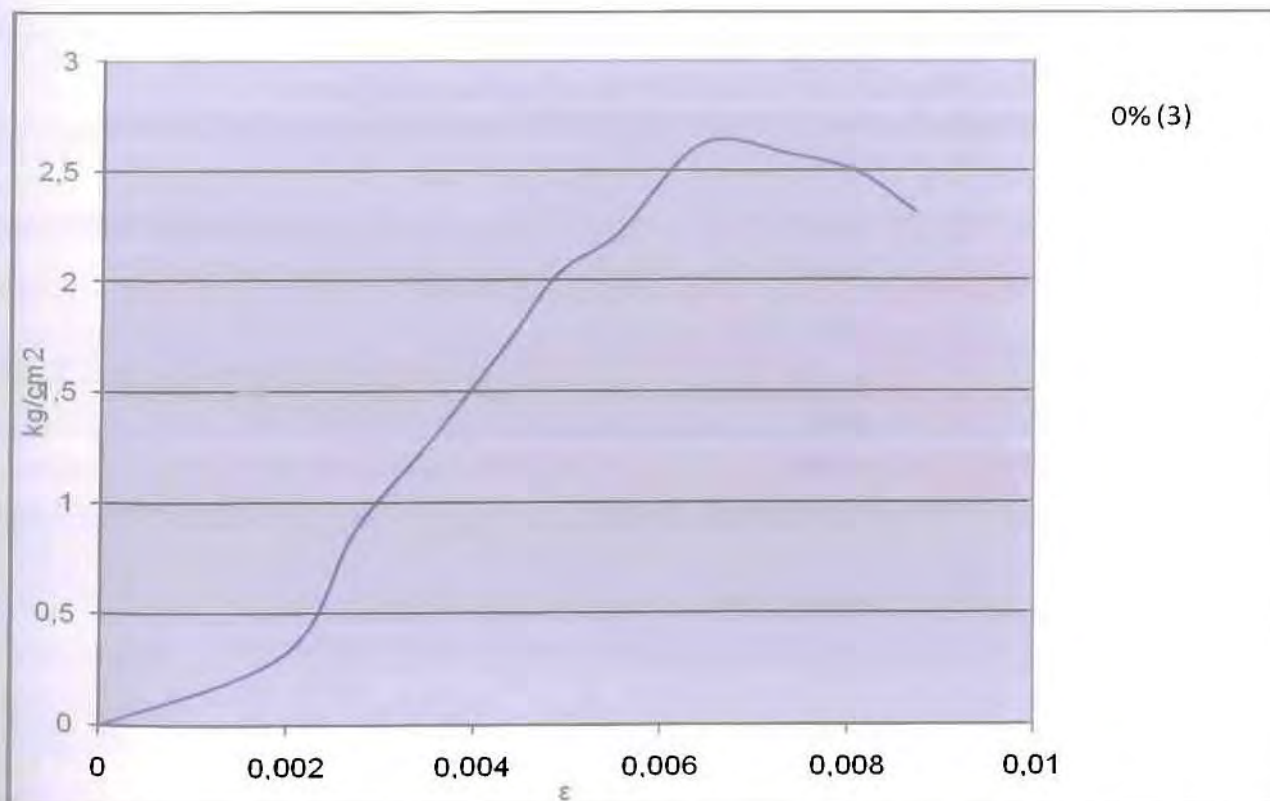
Διάγραμμα 5.2 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 5.3 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F (kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
30	0,245	0,00199187	18,95776139	6,145	0,3241416	0,1620708
60	0,335	0,002723577	18,97167081	16,615	0,8757795	0,4378897
90	0,432	0,003512195	18,98668494	24,134	1,2711013	0,6355507
120	0,535	0,004349593	19,00265382	32,765	1,7242329	0,8621164
150	0,601	0,004886179	19,01290043	38,748	2,0379847	1,0189923
180	0,679	0,005520325	19,02502432	42,142	2,2150826	1,1075413
210	0,789	0,006414634	19,04214842	49,951	2,6231809	1,3115904
240	0,905	0,007357724	19,06023998	49,123	2,5772498	1,2886249
270	0,995	0,008089431	19,07430023	47,615	2,4962908	1,2481454
300	1,073	0,008723577	19,08650258	44,165	2,3139389	1,1569694



Διάγραμμα 5.3 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

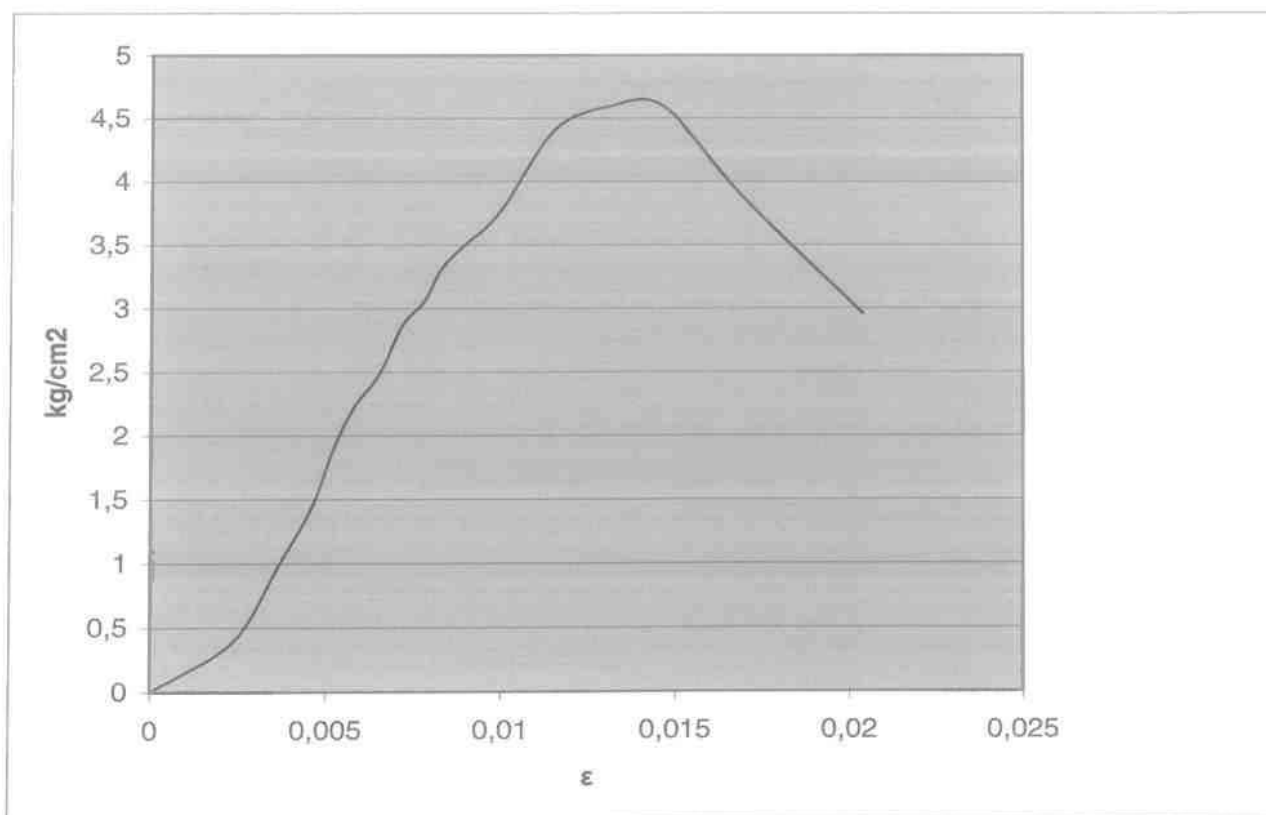


Πίνακας 5.4 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους $\delta L_i$ (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \delta L_i / L_o$ (%)	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
60	0,448	0,003642276	18,98916378	18,6	0,979506	0,489753
120	0,64	0,005203252	19,01896044	36	1,8928479	0,946424
180	0,8	0,006504065	19,04386252	47,2	2,4784888	1,2392444
240	0,96	0,007804878	19,06882989	58,3	3,0573454	1,5286727
300	1,108	0,00900813	19,09198307	67	3,5093264	1,7546632
360	1,248	0,010146341	19,11393653	73,2	3,8296664	1,9148332
390	1,42	0,011544715	19,14097713	84,4	4,4093883	2,2046941
420	1,614	0,013121951	19,17156839	88,1	4,5953465	2,2976733
450	1,804	0,014666667	19,20162382	88,1	4,5881536	2,2940768
480	2,086	0,01695935	19,24640654	74,5	3,8708525	1,9354262
510	2,508	0,020390244	19,31381337	57,1	2,9564332	1,4782166



Διάγραμμα 5.4 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

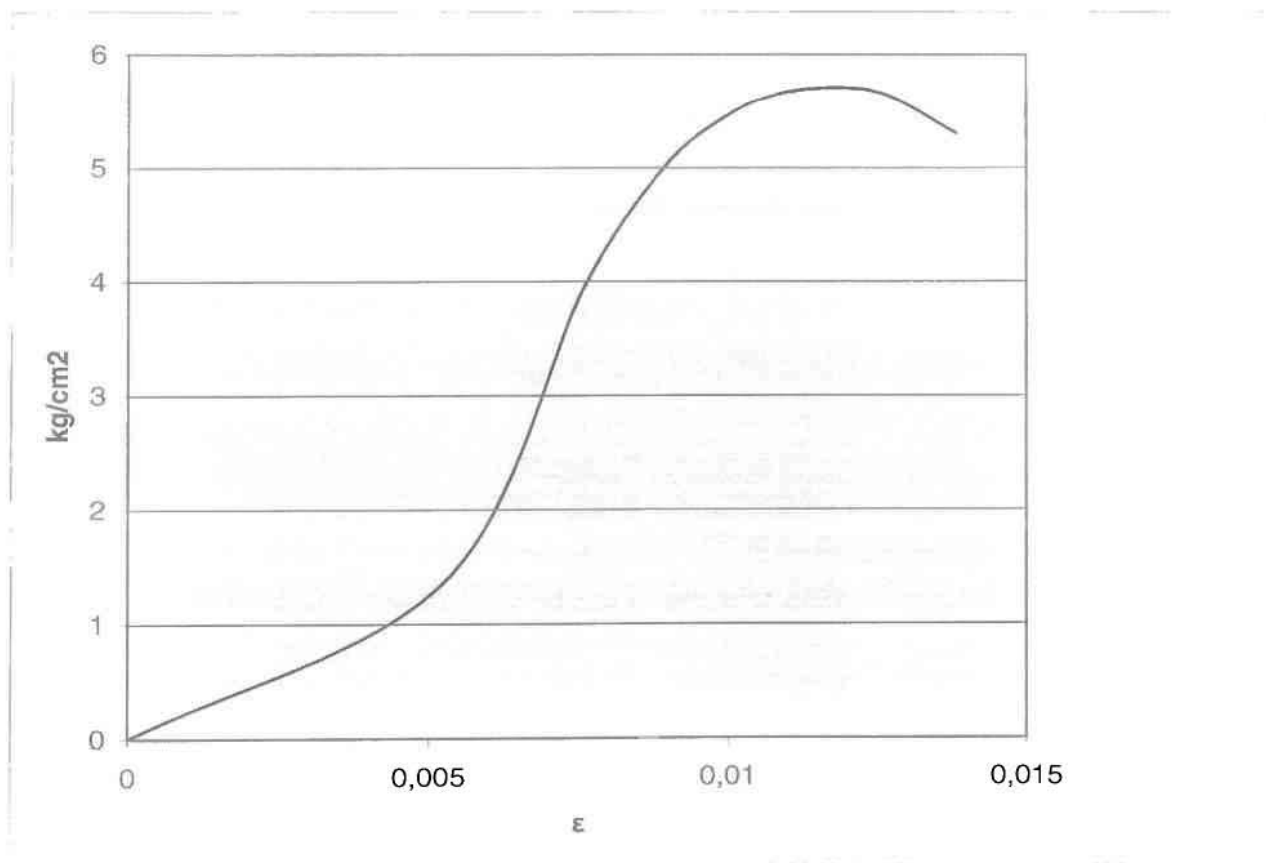


Πίνακας 5.5 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 2/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους $\delta L_i$ (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \delta L_i / L_o$ (%)	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F (kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
30	0,648	0,005268293	19,020204	26,1	1,372225	0,686113
60	0,936	0,007609756	19,06508061	75,7	3,97061	1,985305
90	1,1	0,008943089	19,09073011	95,6	5,007666	2,503833
120	1,226	0,00996748	19,11048335	104,2	5,4525047	2,726252
150	1,33	0,010813008	19,12681844	108	5,6465219	2,823261
180	1,452	0,011804878	19,14601639	109,2	5,7035363	2,851768
210	1,56	0,012682927	19,16304348	108	5,635848	2,817924
240	1,7	0,013821138	19,18516076	101,8	5,3061844	2,653092



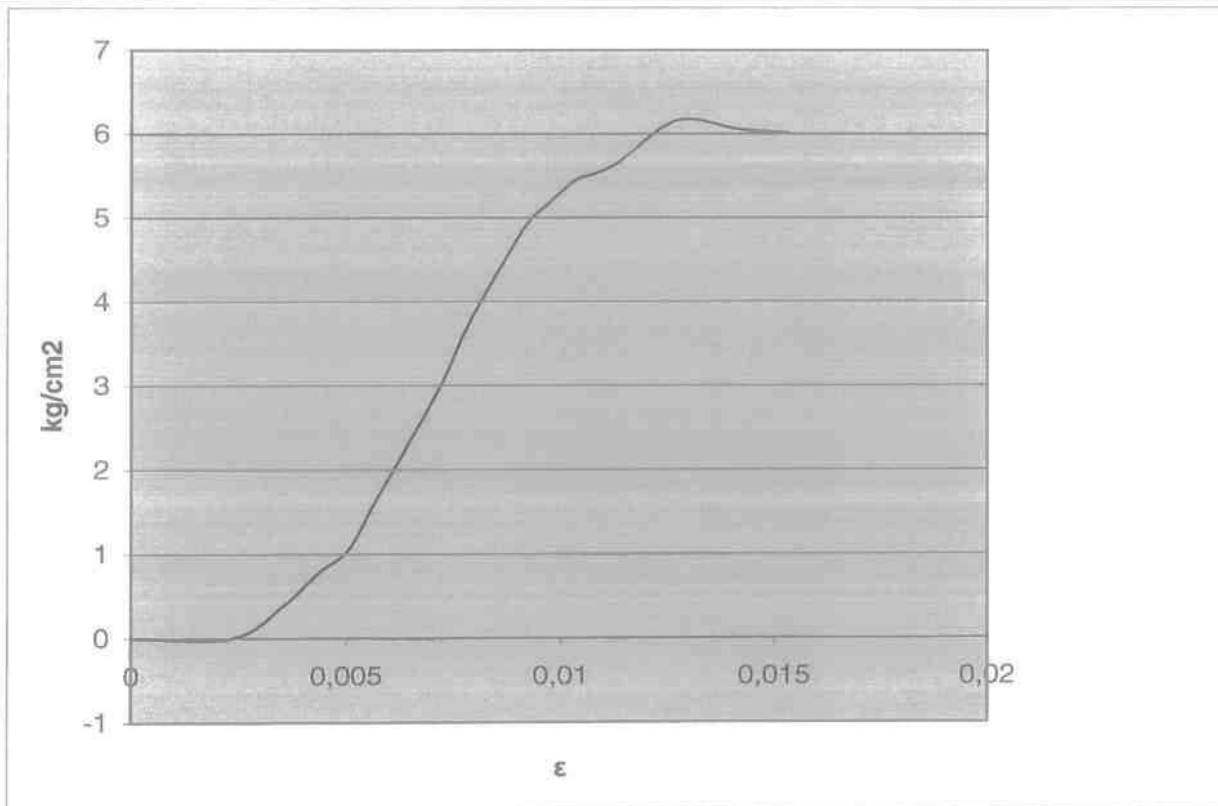
Διάγραμμα 5.5 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 5.6 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
60	0,438	0,003560976	18,98761443	7,4	0,3897277	0,194864
120	0,622	0,005056911	19,01616304	19,9	1,0464782	0,523239
180	0,764	0,006211382	19,03825387	39,7	2,0852753	1,042638
240	0,894	0,007268293	19,05852292	58,3	3,0589989	1,529499
300	1,006	0,008178862	19,07602013	76,9	4,0312392	2,01562
360	1,136	0,009235772	19,09636972	94,3	4,9381113	2,469056
390	1,204	0,009788618	19,10703143	99,3	5,1970397	2,59852
420	1,274	0,010357724	19,11801916	104,2	5,4503555	2,725178
450	1,325	0,010772358	19,12603246	105,5	5,5160421	2,758021
480	1,392	0,011317073	19,13656996	108	5,6436446	2,821822
510	1,564	0,012715447	19,16367469	117,9	6,1522647	3,076132
540	1,745	0,014186992	19,19228073	116,1	6,0493071	3,024654
570	1,886	0,015333333	19,21462424	115,4	6,0058421	3,002921



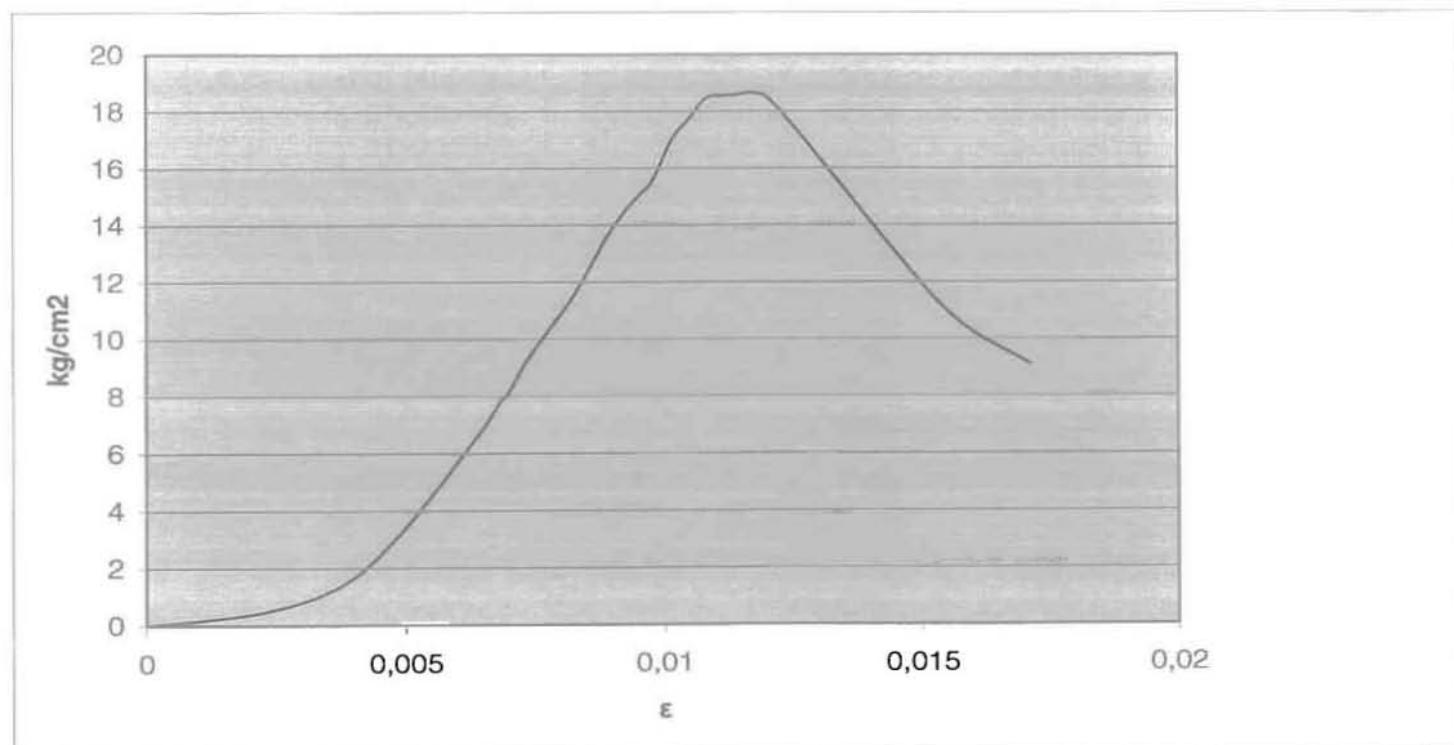
Διάγραμμα 5.6 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 5.7 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
120	0,462	0,003756098	18,9913333	26,1	1,3743111	0,6871555
240	0,676	0,005495935	19,02455773	85,6	4,4994476	2,2497238
360	0,798	0,006487805	19,04355084	130,3	6,8422114	3,4211057
480	0,856	0,00695935	19,05259366	152,6	8,0094082	4,0047041
600	0,978	0,00795122	19,07164282	204,8	10,738456	5,3692281
690	1,068	0,008682927	19,08571991	245,7	12,873499	6,4367496
750	1,138	0,009252033	19,09668313	276,7	14,489427	7,2447136
810	1,202	0,009772358	19,10671768	296,6	15,523336	7,761668
870	1,288	0,010471545	19,12021822	337,6	17,656702	8,8283511
900	1,33	0,010813008	19,12681844	352,4	18,424392	9,212196
930	1,372	0,011154472	19,13342322	354,9	18,548693	9,2743467
960	1,396	0,011349593	19,13719943	354,9	18,545033	9,2725166
990	1,486	0,012081301	19,1513735	352,4	18,400769	9,2003845
1020	1,892	0,015382114	19,21557618	214,7	11,173227	5,5866136
1050	2,106	0,017121951	19,24959055	175	9,0911025	4,5455512



Διάγραμμα 5.7 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 5.8 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο

Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη

Δοκίμιο 2/3

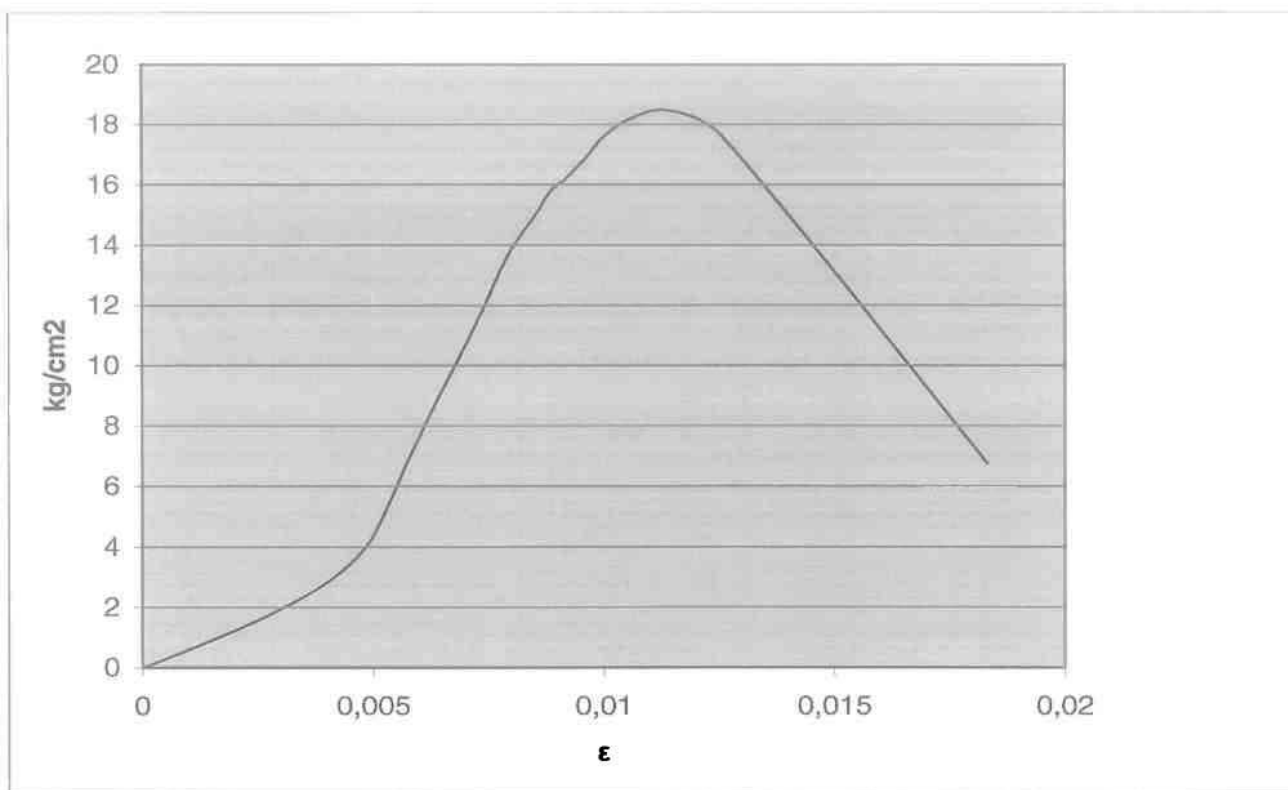
Lo= 12,3 cm

D= 4,91 cm

Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / Lo (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = Ao / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
30	0,068	0,000552846	18,93046562	6,2	0,3275144	0,1637572
60	0,308	0,002504065	18,96749584	30	1,5816532	0,7908266
90	0,49	0,00398374	18,99567382	53,4	2,8111664	1,4055832
120	0,594	0,004829268	19,01181315	75,7	3,9817349	1,9908675
150	0,644	0,005235772	19,0195822	96,8	5,0894914	2,5447457
180	0,698	0,005674797	19,02797992	125,3	6,5850395	3,2925198
210	0,768	0,006243902	19,03887689	160,1	8,4091095	4,2045547
240	0,826	0,006715447	19,04791527	187,4	9,838347	4,9191735
270	0,874	0,007105691	19,0554018	209,7	11,004754	5,5023768
300	0,912	0,007414634	19,06133281	228,3	11,977127	5,9885634
330	0,96	0,007804878	19,06882989	253,2	13,278214	6,6391069
360	0,996	0,008097561	19,07445658	268,1	14,055446	7,0277231
390	1,054	0,008569106	19,08352878	287,9	15,086308	7,5431542
420	1,09	0,008861789	19,08916414	301,6	15,799539	7,8997697
450	1,134	0,009219512	19,09605632	310,2	16,244192	8,1220959
480	1,188	0,009658537	19,10452172	323,9	16,954101	8,4770507
510	1,226	0,00996748	19,11048335	335,1	17,534878	8,7674392
540	1,298	0,010552846	19,12178929	347,5	18,172986	9,0864928
570	1,406	0,011430894	19,13877329	353,7	18,480808	9,2404041
600	1,548	0,012585366	19,16115008	337,6	17,618984	8,8094921
630	2,252	0,018308943	19,2728658	130,3	6,7608005	3,3804002





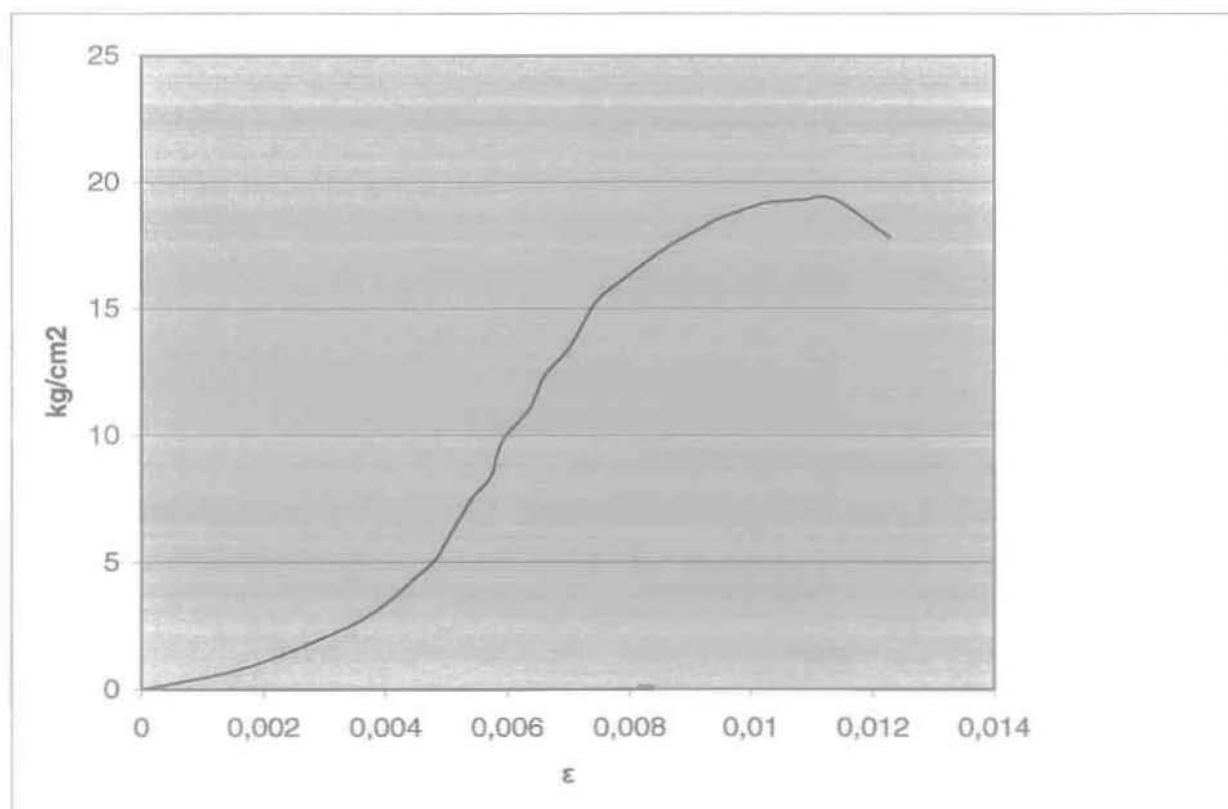
Διάγραμμα 5.8 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 5.9 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους $\delta L_i$ (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\varepsilon = \delta L_i / L_o$ (%)	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \varepsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,002	1,62602E-05	18,92030765	0	0	0
90	0,49	0,00398374	18,99567382	63,3	3,3323377	1,6661688
150	0,592	0,004813008	19,01150252	96,8	5,0916544	2,5458272
210	0,642	0,005219512	19,01927132	127,8	6,7195003	3,3597502
270	0,704	0,005723577	19,02891346	158,8	8,3451953	4,1725977
330	0,782	0,006357724	19,04105778	209,7	11,013044	5,5065218
390	0,854	0,006943089	19,0522817	251,9	13,221514	6,6107568
450	0,918	0,007463415	19,06226962	291,6	15,297234	7,648617
510	1,024	0,008325203	19,07883518	322,7	16,91403	8,4570152
570	1,133	0,009211382	19,09589963	347,5	18,197624	9,098812
630	1,244	0,010113821	19,11330858	364,9	19,091409	9,5457047
660	1,278	0,010390244	19,11864741	367,3	19,21161	9,6058051
690	1,334	0,010845528	19,12744727	368,9	19,286421	9,6432105
720	1,398	0,011365854	19,13751419	369,8	19,323304	9,6616519
750	1,51	0,012276423	19,1551568	341,3	17,817656	8,9088281



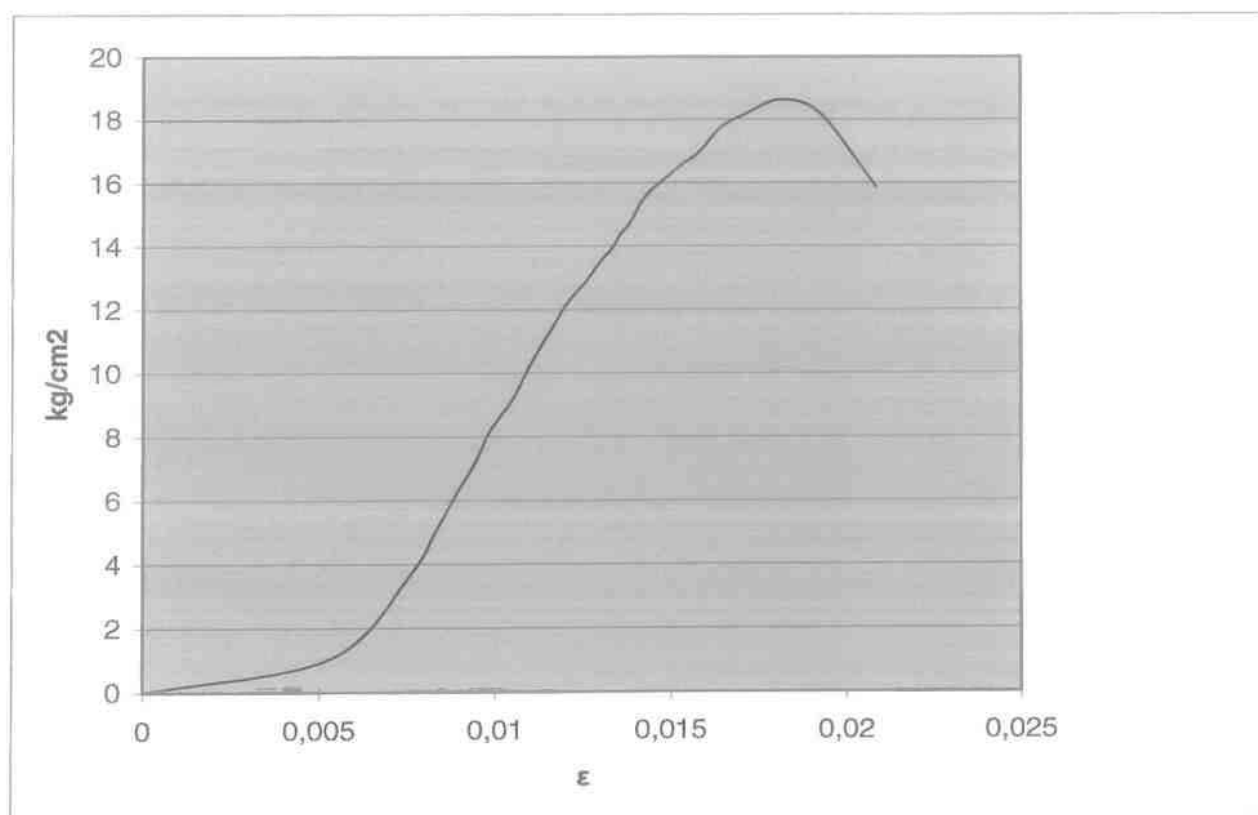
Διάγραμμα 5.9 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 5.10 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o$ (%)	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
60	0,932	0,007577236	19,06445588	69,5	3,6455276	1,8227638
120	1,096	0,008910569	19,09010369	119,1	6,2388346	3,1194173
210	1,29	0,010487805	19,12053241	175	9,1524648	4,5762324
300	1,434	0,011658537	19,14318148	219,7	11,476671	5,7383356
390	1,542	0,012536585	19,16020353	245,7	12,823455	6,4117273
480	1,672	0,013593496	19,18073322	276,7	14,425934	7,2129672
570	1,872	0,015219512	19,21240341	316,5	16,473733	8,2368664
630	2,022	0,016439024	19,23622477	341,3	17,742567	8,8712833
660	2,112	0,017170732	19,25054596	350	18,181303	9,0906513
690	2,228	0,018113821	19,26903587	358,6	18,610168	9,3050841
720	2,368	0,019252033	19,29139863	351,2	18,205005	9,1025023
750	2,566	0,020861789	19,32311474	306,5	15,861832	7,930916



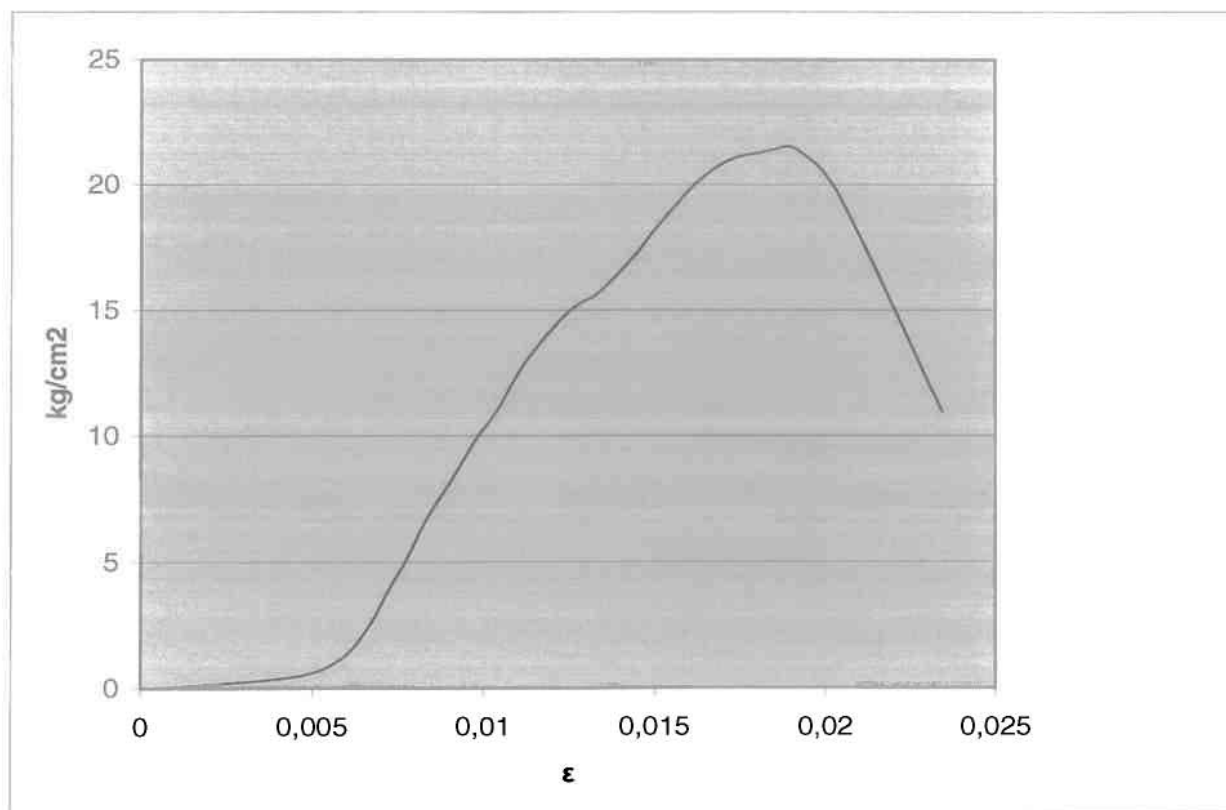
Διάγραμμα 5.10 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 5.11 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 2/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\varepsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \varepsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,084	0,000682927	18,93292981	0	0	0
60	0,558	0,004536585	19,00622335	8,7	0,4577448	0,228872
120	0,72	0,005853659	19,03140334	22,3	1,1717475	0,585874
240	0,894	0,007268293	19,05852292	75,7	3,9719762	1,985988
360	1,022	0,008308943	19,07852236	126,6	6,635734	3,317867
480	1,2	0,009756098	19,10640394	187,4	9,8082298	4,904115
600	1,38	0,011219512	19,1346818	247	12,908498	6,454249
720	1,648	0,013398374	19,17693981	301,6	15,727223	7,863611
840	1,86	0,015121951	19,21050025	353,7	18,411806	9,205903
960	2,09	0,01699187	19,24704326	400,8	20,823978	10,41199
1020	2,16	0,017560976	19,25819265	407	21,133863	10,56693
1050	2,218	0,01803252	19,26744051	409,5	21,253472	10,62674
1080	2,266	0,018422764	19,27510063	411,8	21,36435	10,68218
1110	2,354	0,019138211	19,28916002	413,3	21,426542	10,71327
1140	2,5	0,020325203	19,31253112	382,2	19,790259	9,89513
1170	2,882	0,023430894	19,37394895	212,2	10,952852	5,476426



Διάγραμμα 5.11 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

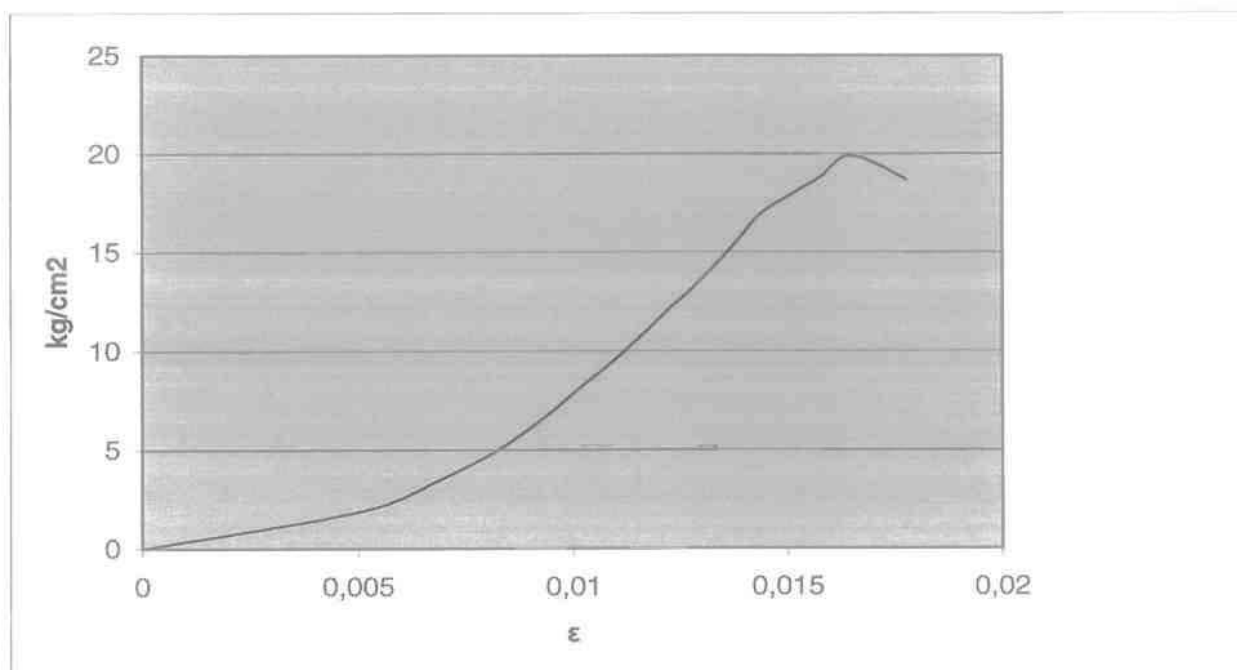


Πίνακας 5.12 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / Lo (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = Ao / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	19,6	0	0	0
60	0,628	0,005105691	19,01709541	36	1,8930336	0,946517
120	0,846	0,006878049	19,05103394	65,8	3,4538808	1,72694
180	1,018	0,008276423	19,07789674	95,6	5,0110346	2,505517
240	1,148	0,009333333	19,09825034	126,6	6,6288795	3,31444
300	1,248	0,010146341	19,11393653	155,1	8,114498	4,057249
360	1,348	0,01095935	19,12964851	182,4	9,5349373	4,767469
420	1,448	0,011772358	19,14538634	213,5	11,151512	5,575756
480	1,504	0,012227642	19,15421084	232,1	12,11744	6,05872
540	1,552	0,012617886	19,16178117	245,7	12,822399	6,411199
600	1,632	0,013268293	19,17441171	273	14,237725	7,118862
660	1,704	0,013853659	19,18579343	300,3	15,652206	7,826103
720	1,768	0,014373984	19,19592187	325,1	16,935889	8,467944
780	1,858	0,015105691	19,21018309	345	17,959225	8,979612
840	1,942	0,015788618	19,2235127	362,4	18,851914	9,425957
870	1,974	0,01604878	19,22859551	373,5	19,424196	9,712098
900	2,012	0,016357724	19,23463484	382,2	19,870406	9,935203
930	2,074	0,016861789	19,24449663	378,5	19,667961	9,83398
960	2,184	0,017756098	19,26201828	359,9	18,684439	9,342219



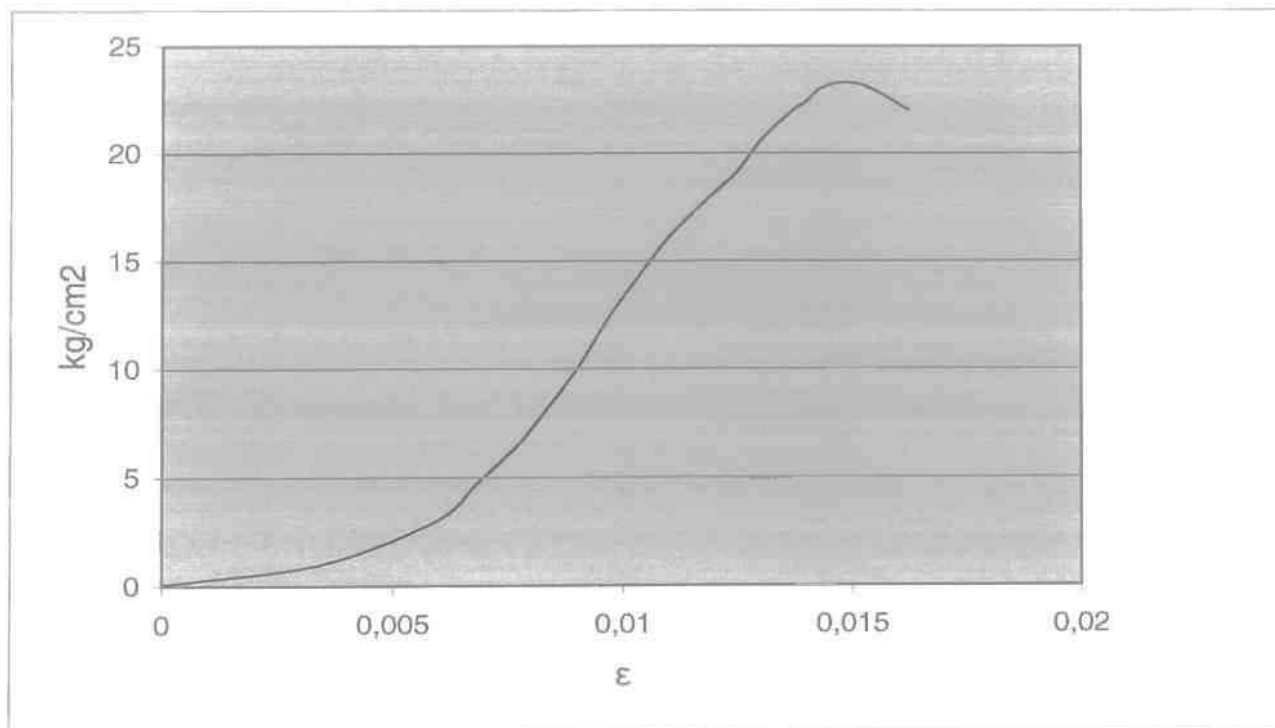
Διάγραμμα 5.12 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 5.13 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / Lo (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = Ao / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	1,2	0,0634249	0,0317125
60	0,424	0,003447154	18,98544576	18,6	0,9796978	0,4898489
120	0,734	0,00596748	19,03358252	57,1	2,9999607	1,4999804
180	0,836	0,006796748	19,04947448	88,1	4,6247995	2,3123997
240	0,928	0,007544715	19,06383118	116,7	6,1215397	3,0607699
300	0,97	0,007886179	19,07039253	131,5	6,8955057	3,4477528
360	1,1	0,008943089	19,09073011	187,4	9,8162825	4,9081413
420	1,188	0,009658537	19,10452172	234,5	12,274581	6,1372905
480	1,272	0,010341463	19,11770505	273	14,279957	7,1399783
540	1,358	0,01104065	19,13122112	310,2	16,214334	8,1071668
600	1,454	0,011821138	19,14633143	341,3	17,825869	8,9129346
660	1,536	0,012487805	19,15925706	366,1	19,108257	9,5541283
720	1,604	0,01304065	19,16998913	395,9	20,652072	10,326036
780	1,692	0,013756098	19,18389554	423,2	22,06017	11,030085
810	1,72	0,01398374	19,18832454	429,1	22,362557	11,181278
840	1,762	0,014325203	19,19497187	441,8	23,016444	11,508222
870	1,82	0,014796748	19,2041591	446,8	23,265793	11,632897
900	1,888	0,015349593	19,21494154	443	23,054975	11,527488
930	1,996	0,016227642	19,2320915	423,2	22,004887	11,002443



Διάγραμμα 5.13 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 5.14 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο

Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη

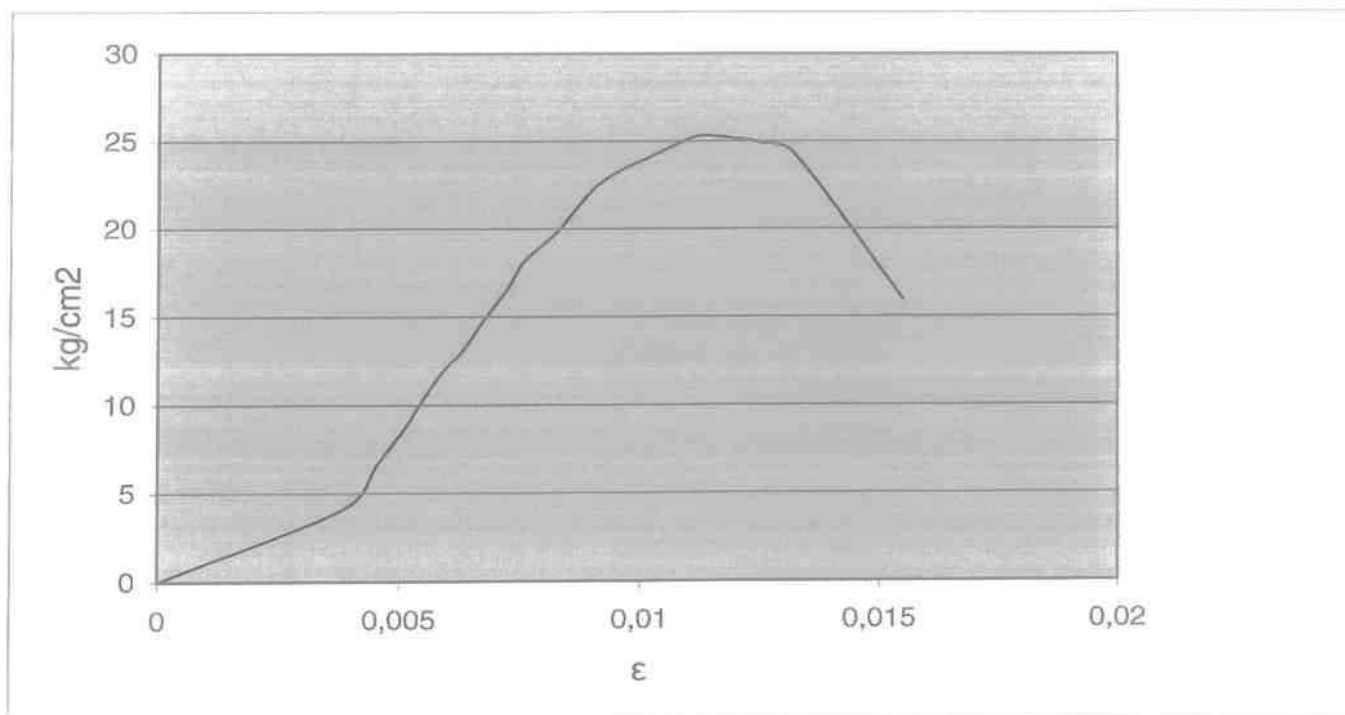
Δοκίμιο 2/3

Lo= 12,3 cm

D= 4,91 cm

Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / L_o$ (%)	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / 1 - \epsilon$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
60	0,474	0,003853659	18,99319328	78,2	4,1172645	2,0586322
120	0,556	0,004520325	19,00591291	124,1	6,5295469	3,2647735
180	0,63	0,005121951	19,01740623	165,1	8,6815204	4,3407602
240	0,674	0,005479675	19,02424669	194,8	10,239564	5,1197822
300	0,728	0,005918699	19,03264852	227,1	11,932128	5,966064
360	0,776	0,006308943	19,04012305	248,2	13,03563	6,517815
420	0,832	0,006764228	19,04885076	282,9	14,85129	7,4256448
480	0,89	0,007235772	19,05789862	315,2	16,539074	8,2695371
540	0,934	0,007593496	19,06476824	346,2	18,159151	9,0795754
600	1,016	0,008260163	19,07758395	377,3	19,777137	9,8885687
660	1,13	0,009186992	19,09542956	431,9	22,617978	11,308989
720	1,268	0,010308943	19,11707686	462,9	24,213953	12,106976
750	1,336	0,010861789	19,1277617	476,5	24,911435	12,455718
780	1,384	0,011252033	19,13531114	484	25,293553	12,646776
810	1,45	0,011788618	19,14570136	482,7	25,211926	12,605963
840	1,536	0,012487805	19,15925706	477,5	24,922678	12,461339
870	1,626	0,013219512	19,17346384	465,4	24,273131	12,136566
900	1,906	0,015495935	19,21779774	306,5	15,948758	7,9743789



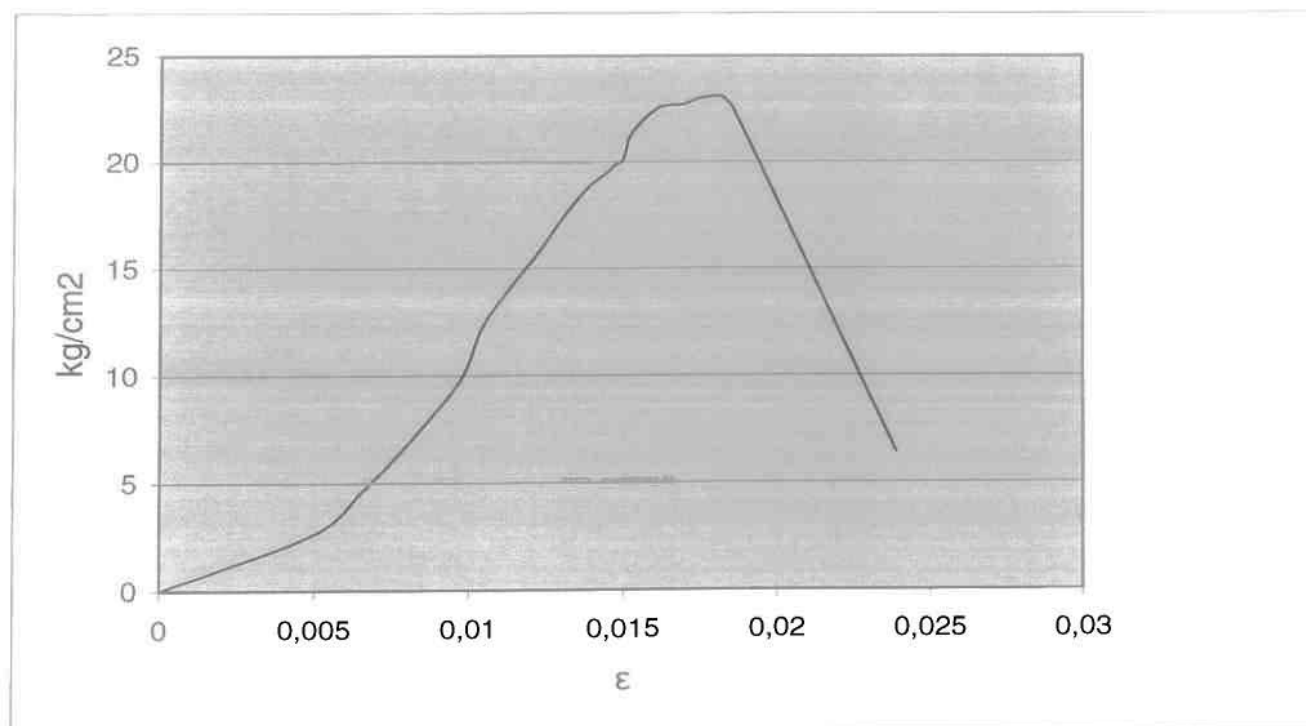
Διάγραμμα 5.14 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 5.15 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	19,6	0	0	0
60	0,612	0,00497561	19,01460928	49,6	2,6085206	1,30426
120	0,802	0,006520325	19,04417421	86,9	4,5630753	2,281538
180	0,932	0,007577236	19,06445588	116,7	6,1213391	3,06067
240	1,032	0,008390244	19,08008658	141,5	7,4161089	3,708054
300	1,2	0,009756098	19,10640394	188,6	9,8710359	4,935518
360	1,282	0,010422764	19,1192757	234,5	12,265109	6,132554
420	1,396	0,011349593	19,13719943	270,5	14,134775	7,067387
480	1,512	0,012292683	19,15547215	304	15,870139	7,935069
540	1,6	0,01300813	19,1693575	332,6	17,350608	8,675304
600	1,694	0,013772358	19,18421183	358,6	18,692454	9,346227
660	1,774	0,014422764	19,19687196	373,5	19,456295	9,728147
690	1,816	0,014764228	19,20352522	382,2	19,902596	9,951298
720	1,842	0,01497561	19,20764621	386	20,096164	10,04808
750	1,876	0,015252033	19,21303788	409,5	21,313652	10,65683
780	1,98	0,016097561	19,22954883	433,1	22,522629	11,26131
810	2,082	0,016926829	19,24576986	436,8	22,695896	11,34795
840	2,15	0,017479675	19,25659909	443	23,005101	11,50255
870	2,242	0,018227642	19,27126981	444,3	23,055045	11,52752
900	2,288	0,018601626	19,27861356	431,9	22,403063	11,20153
930	2,936	0,023869919	19,38266258	124,1	6,4026291	3,201315



Διάγραμμα 5.15 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

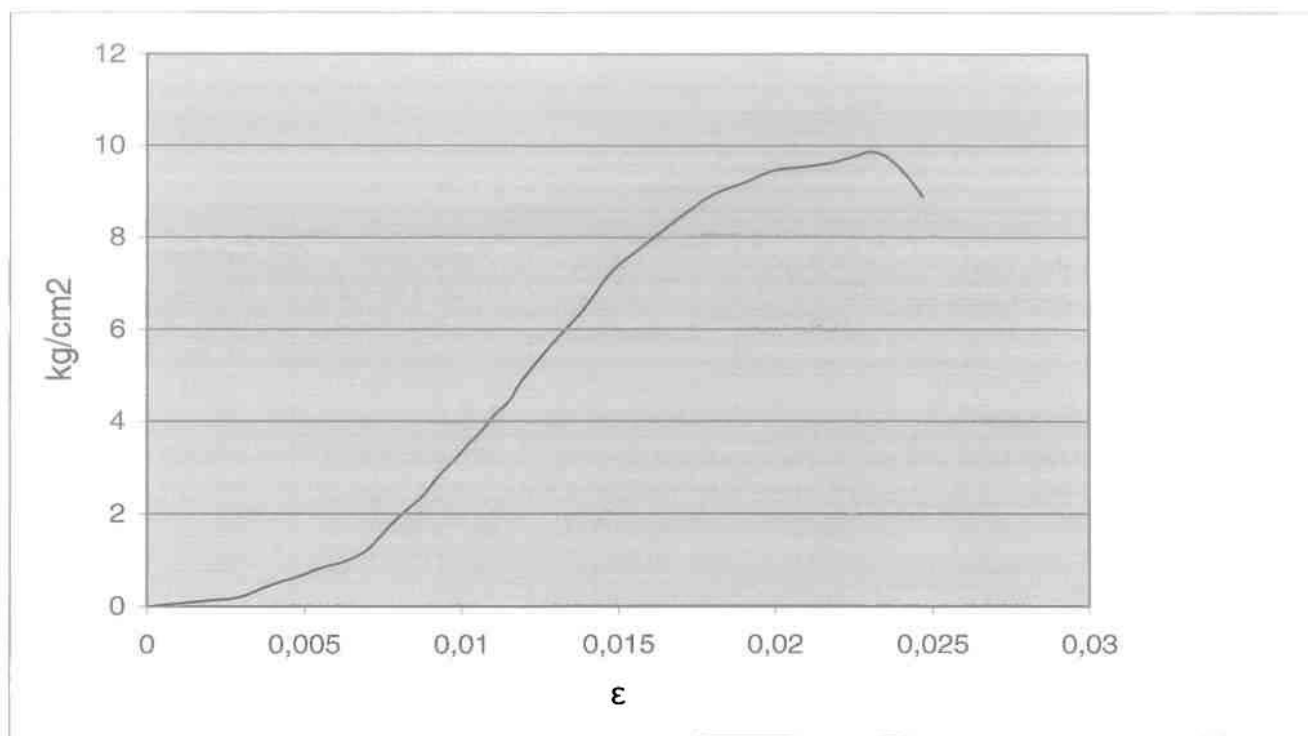


Πίνακας 5.16 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος(sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
120	0,356	0,002894309	18,9749193	3,7	0,194994242	0,0974971
240	0,592	0,004813008	19,0115025	12,4	0,652236718	0,3261184
360	0,776	0,006308943	19,0401231	18,6	0,976884443	0,4884422
480	0,94	0,007642276	19,0657054	32,3	1,694141357	0,8470707
600	1,08	0,008780488	19,0875984	45,9	2,404702728	1,2023514
720	1,204	0,009788618	19,1070314	60,8	3,182074632	1,5910373
840	1,302	0,010585366	19,1224178	72	3,765214253	1,8826071
960	1,418	0,011528455	19,1406623	85,5	4,466930078	2,233465
1080	1,576	0,012813008	19,1655686	108	5,63510545	2,8175527
1140	1,704	0,013853659	19,1857934	122,9	6,405781468	3,2028907
1200	1,818	0,014780488	19,2038422	139	7,238134894	3,6190674
1260	1,944	0,015804878	19,2238303	150,2	7,813219203	3,9066096
1320	2,124	0,017268293	19,2524571	165,1	8,575528799	4,2877644
1380	2,228	0,018113821	19,2690359	172,5	8,952186356	4,4760932
1440	2,342	0,01904065	19,2872416	177,2	9,187420547	4,5937103
1500	2,454	0,01995122	19,3051615	182,4	9,4482504	4,7241252
1560	2,566	0,020861789	19,3231147	184,1	9,527449509	4,7637248
1620	2,68	0,021788618	19,3414229	186,1	9,621836058	4,810918
1680	2,776	0,022569106	19,3568672	189,1	9,769142818	4,8845714
1710	2,838	0,023073171	19,3668547	191,1	9,867374052	4,933687
1740	2,904	0,023609756	19,377498	188,6	9,732938689	4,8664693
1770	2,978	0,024211382	19,3894453	181,2	9,345290569	4,6726453
1800	3,04	0,024715447	19,3994665	172,5	8,891997112	4,4459986



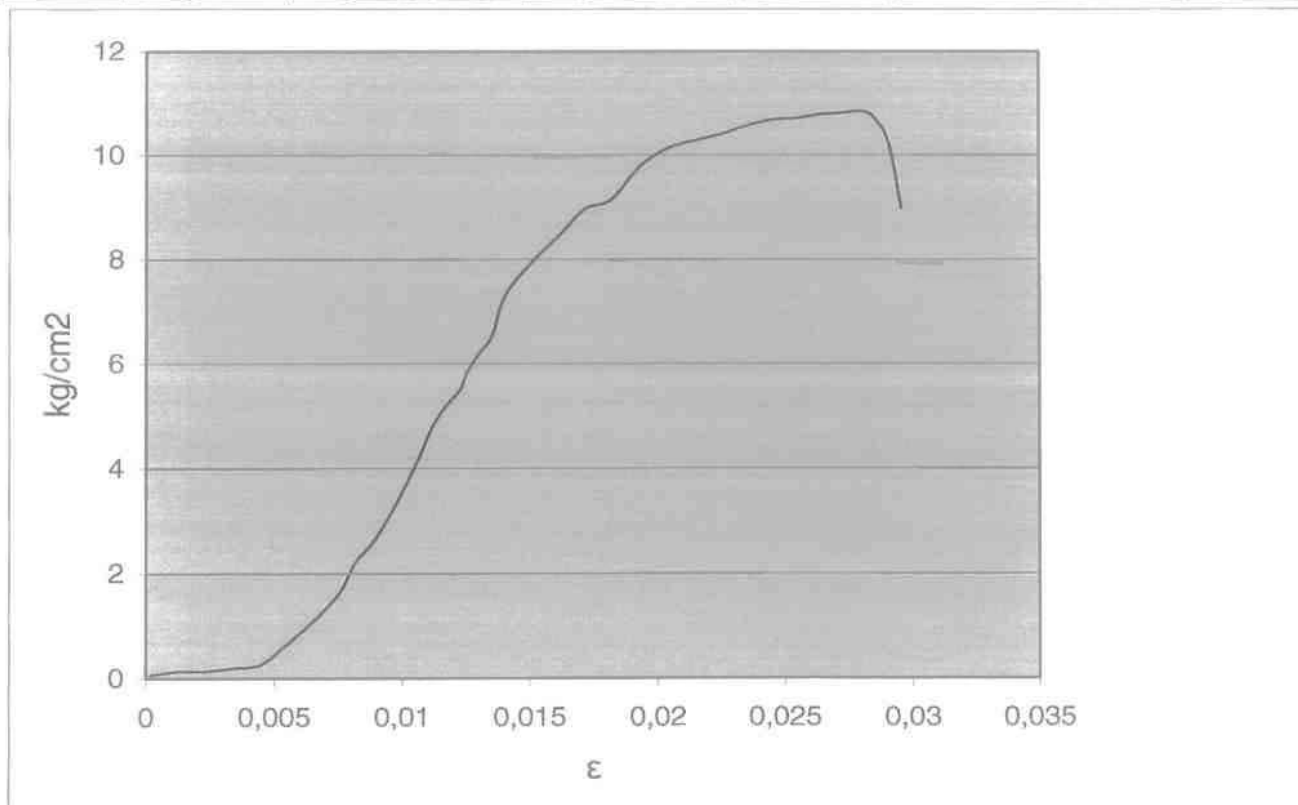
Διάγραμμα 5.16 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 5.17 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 2/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,02	0,000162602	18,92307692	1,2	0,063414634	0,0317073
120	0,28	0,002276423	18,96316819	2,5	0,131834511	0,0659173
360	0,808	0,006569106	19,04510934	21,1	1,107895976	0,553948
480	1,006	0,008178862	19,07602013	42,2	2,212201482	1,1061007
600	1,182	0,009609756	19,10358075	60,8	3,18264941	1,5913247
720	1,32	0,010731707	19,12524655	81,9	4,282297736	2,1411489
840	1,44	0,011707317	19,14412636	99,3	5,186969525	2,5934848
1080	1,664	0,013528455	19,17946858	125,3	6,533027725	3,2665139
1200	1,856	0,015089431	19,20986594	152,6	7,943834717	3,9719174
1320	2,11	0,017154472	19,25022748	172,5	8,960933069	4,4804665
1560	2,754	0,022390244	19,35332568	201	10,38581189	5,1929059
1620	2,898	0,023560976	19,37652995	204,8	10,56948796	5,284744
1680	3,014	0,024504065	19,39526278	207,1	10,67786512	5,3389326
1740	3,152	0,025626016	19,41759562	208,1	10,71708383	5,3585419
1800	3,254	0,026455285	19,43413559	209,7	10,79029212	5,3951461
1860	3,364	0,027349593	19,45200441	210,3	10,81122518	5,4056126
1890	3,424	0,027837398	19,4617649	211	10,84177109	5,4208855
1920	3,494	0,028406504	19,47316453	209,7	10,76866576	5,3843329
1950	3,576	0,029073171	19,48653537	199,8	10,25323364	5,1266168



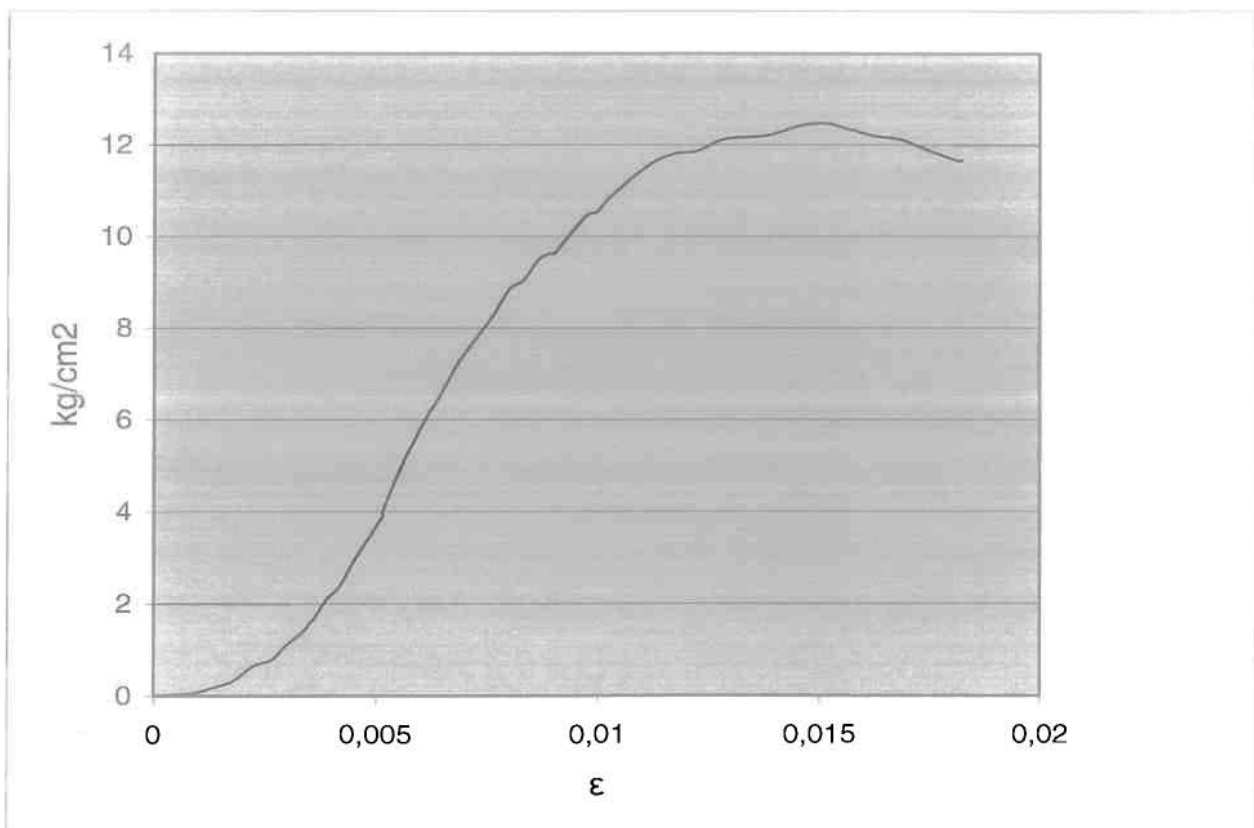
Διάγραμμα 5.17 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 5.18 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους $\delta Li$ (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / Lo (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = Ao / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
180	0,328	0,002666667	18,97058824	14,9	0,785426357	0,3927132
360	0,54	0,004390244	19,00342969	52,1	2,741610375	1,3708052
540	0,684	0,005560976	19,02580202	94,3	4,956427061	2,4782135
720	0,944	0,007674797	19,06633021	158,8	8,328818302	4,1644092
900	1,198	0,009739837	19,10609021	199,8	10,45739855	5,2286993
1020	1,37	0,011138211	19,13310861	220,9	11,54543177	5,7727159
1080	1,506	0,012243902	19,15452615	227,1	11,85620559	5,9281028
1110	1,576	0,012813008	19,16556859	232,1	12,11025903	6,0551295
1140	1,652	0,013430894	19,17757194	233,3	12,16525224	6,0826261
1170	1,714	0,013934959	19,18737529	234,5	12,2215778	6,1107889
1200	1,788	0,014536585	19,1990892	238,3	12,41204713	6,2060236
1230	1,862	0,015138211	19,21081741	239,5	12,46693437	6,2334672
1260	1,926	0,015658537	19,2209723	237,3	12,3458895	6,1729447
1290	1,996	0,016227642	19,2320915	234,5	12,19316162	6,0965808
1320	2,072	0,016845528	19,24417835	233,1	12,11275409	6,056377
1350	2,154	0,017512195	19,25723648	228,3	11,85528361	5,9276418
1380	2,23	0,018130081	19,26935497	224,6	11,65581309	5,8279065



Διάγραμμα 5.18 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

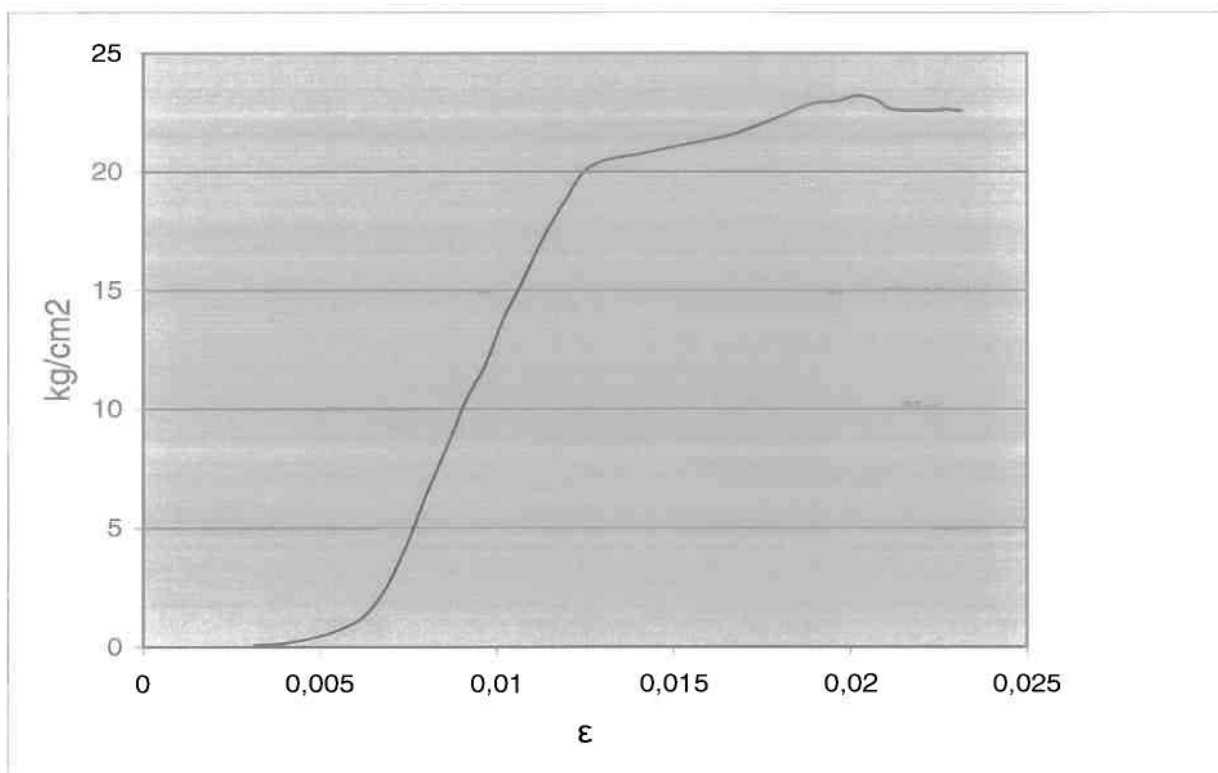


Πίνακας 5.19 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους $\delta Li$ (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \delta Li / Lo$ (%)	Διορθωμένη επιφάνεια $A = Ao / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,388	0,003154472	18,97987146	1,2	0,0632249	0,0316124
180	0,762	0,006195122	19,03794237	23,6	1,2396298	0,6198149
360	0,936	0,007609756	19,06508061	93,1	4,8832733	2,4416367
540	1,078	0,008764228	19,08728531	172,5	9,0374297	4,5187149
720	1,19	0,009674797	19,1048354	227,1	11,887043	5,9435215
900	1,39	0,011300813	19,13625524	328,9	17,187271	8,5936354
1080	1,768	0,014373984	19,19592187	400,1	20,842969	10,421484
1200	2,06	0,016747967	19,24226889	415,6	21,598285	10,799142
1260	2,208	0,01795122	19,26584542	429,4	22,288147	11,144074
1320	2,328	0,018926829	19,28500398	441,1	22,872694	11,436347
1350	2,406	0,019560976	19,29747749	443	22,956368	11,478184
1380	2,48	0,020162602	19,30932625	448	23,201224	11,600612
1410	2,544	0,020682927	19,31958557	445,5	23,059501	11,52975
1440	2,598	0,021121951	19,32825036	438,1	22,666304	11,333152
1470	2,706	0,022	19,34560327	436,8	22,578774	11,289387
1500	2,792	0,022699187	19,35944363	438,1	22,629783	11,314891
1530	2,846	0,023138211	19,36814421	436,8	22,552496	11,276248



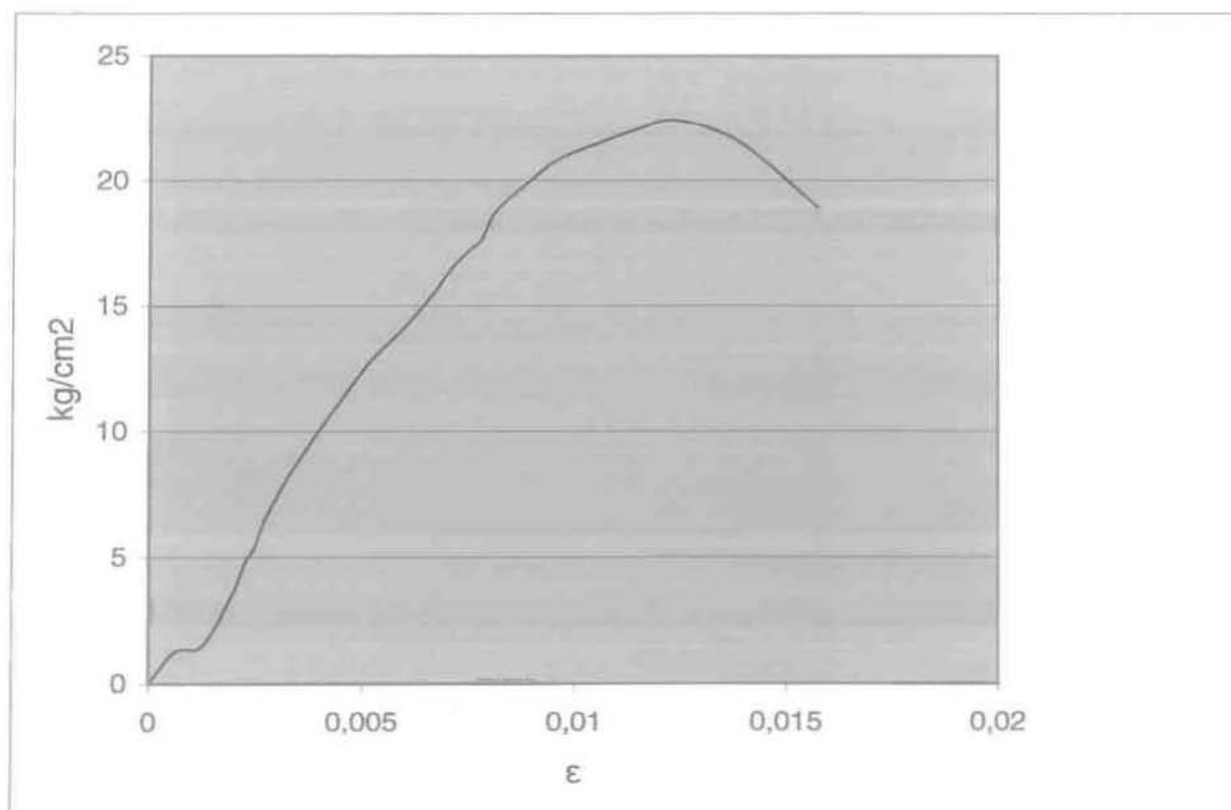
Διάγραμμα 5.19 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 5.20 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 2/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους $\delta Li$ (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \delta Li / L_o$ (%)	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	19,6	0	0	0
90	0,19	0,001544715	18,94927123	41	2,1636716	1,081836
180	0,278	0,002260163	18,96285915	90,6	4,7777605	2,38888
270	0,382	0,003105691	18,97894273	146,4	7,7138122	3,856906
360	0,512	0,004162602	18,99908562	198,6	10,453135	5,226567
450	0,71	0,005772358	19,02984708	261,9	13,762591	6,881295
540	0,876	0,007121951	19,05571386	315,2	16,54097	8,270485
630	1	0,008130081	19,07508197	357,4	18,736486	9,368243
690	1,184	0,009626016	19,1038944	398,4	20,854387	10,42719
720	1,296	0,010536585	19,12147505	410,8	21,483698	10,74185
750	1,408	0,011447154	19,1390881	421,9	22,043892	11,02195
780	1,502	0,012211382	19,15389554	429,4	22,418416	11,20921
810	1,614	0,013121951	19,17156839	424,4	22,136947	11,06847
840	1,738	0,014130081	19,19117283	408,3	21,275406	10,6377



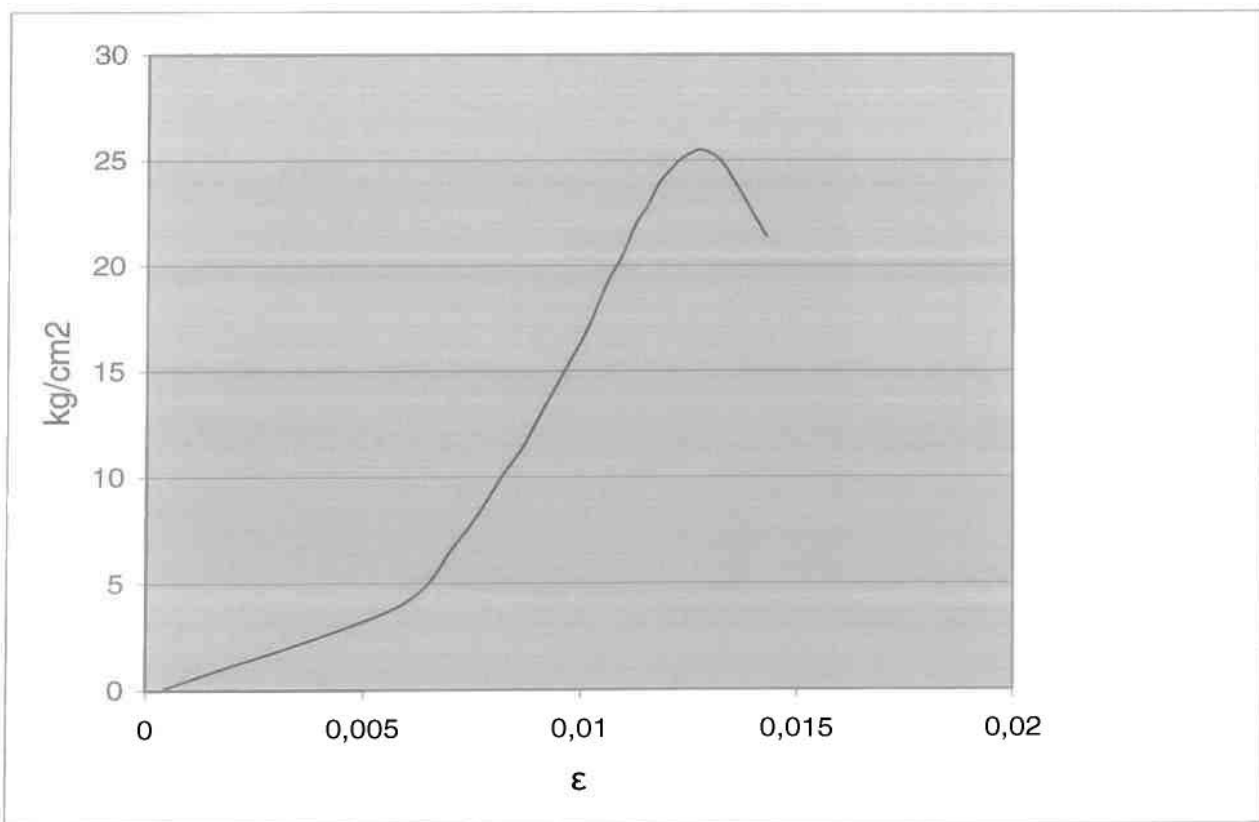
Διάγραμμα 5.20 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 5.21 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,052	0,000422764	18,92800208	1,6	0,0845308	0,0422654
90	0,948	0,007707317	19,06695507	161,7	8,480641	4,2403205
180	1,094	0,008894309	19,08979049	234,9	12,305007	6,1525034
240	1,234	0,01003252	19,11173891	315,6	16,513411	8,2567055
330	1,348	0,01095935	19,12964851	392,5	20,517889	10,258944
390	1,418	0,011528455	19,14066227	437,2	22,841425	11,420712
450	1,486	0,012081301	19,1513735	470,7	24,577872	12,288936
480	1,502	0,012211382	19,15389554	476,9	24,898329	12,449165
510	1,536	0,012487805	19,15925706	484,4	25,282818	12,641409
540	1,576	0,012813008	19,16556859	488,1	25,467546	12,733773
570	1,632	0,013268293	19,17441171	476,9	24,871689	12,435844
600	1,758	0,014292683	19,1943386	409,9	21,355255	10,677628



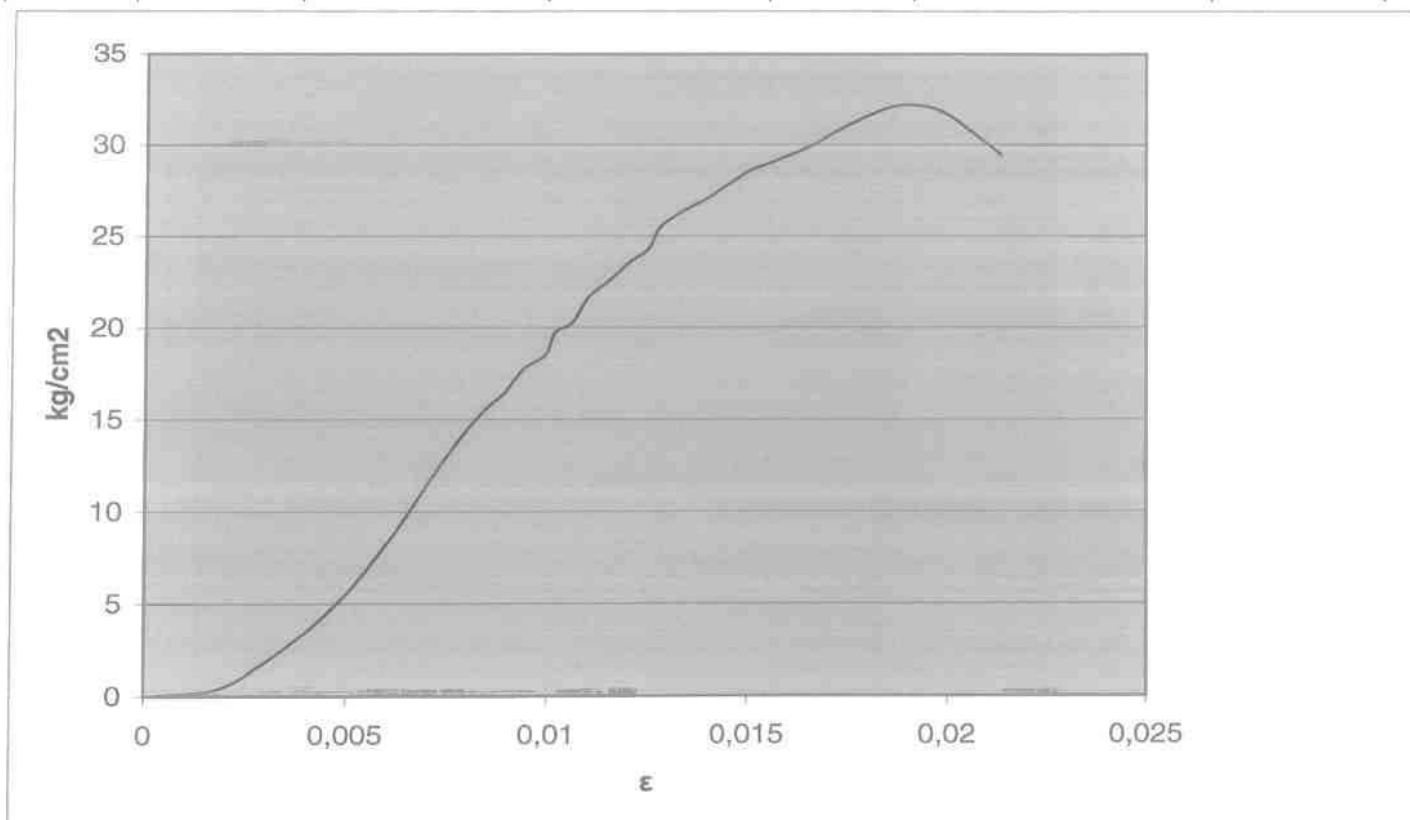
Διάγραμμα 5.21 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 5.22 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,022	0,000178862	18,92338467	0	0	0
180	0,478	0,003886179	18,99381336	62	3,2642208	1,6321104
360	0,706	0,005739837	19,02922466	142,7	7,4989918	3,7494959
540	0,88	0,007154472	19,05633803	227,1	11,917295	5,9586475
720	1,098	0,008926829	19,09041689	314	16,448043	8,2240216
900	1,252	0,010178862	19,11456451	377,3	19,738875	9,8694375
1080	1,418	0,011528455	19,14066227	431,9	22,564527	11,282264
1260	1,586	0,012894309	19,16714712	492,7	25,705443	12,852721
1380	1,848	0,01502439	19,20859746	548,5	28,554922	14,277461
1440	1,938	0,015756098	19,22287753	560,9	29,178774	14,589387
1500	2,054	0,016699187	19,24131431	578,3	30,055119	15,02756
1560	2,112	0,017170732	19,25054596	590,7	30,684844	15,342422
1620	2,254	0,018325203	19,27318503	614,3	31,8733	15,93665
1650	2,344	0,019056911	19,28756133	620,5	32,170993	16,085496
1680	2,454	0,01995122	19,30516152	611,8	31,691007	15,845503
1710	2,624	0,021333333	19,33242507	569,6	29,463453	14,731727



Διάγραμμα 5.22 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)



Πίνακας 5.23 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο

Lo= 12,3 cm

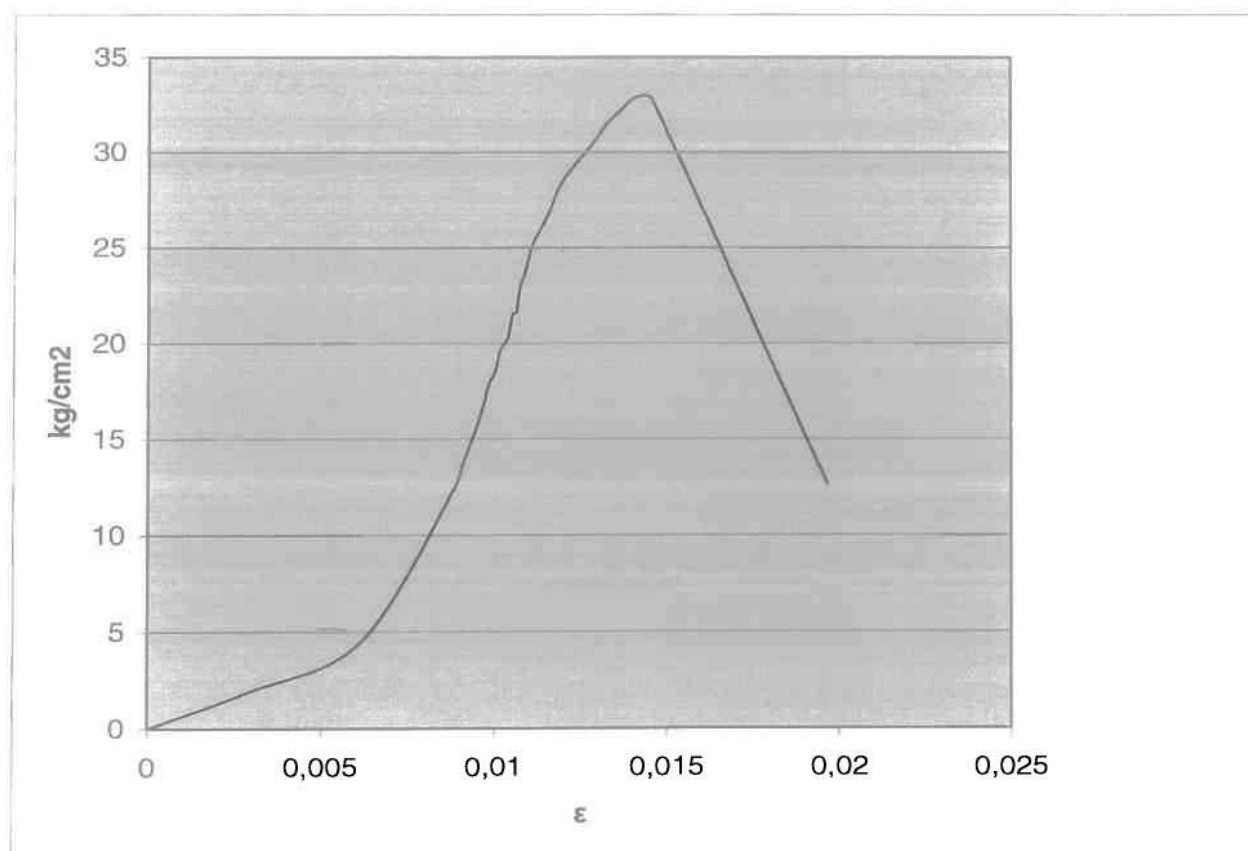
Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη

D= 4,91 cm

Δοκίμιο 2/3 (28 ημέρες)

Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
90	1,088	0,008845528	19,08885097	237	12,415624	6,207812
180	1,186	0,009642276	19,10420805	315,2	16,498983	8,249491
270	1,252	0,010178862	19,11456451	376	19,670864	9,835432
360	1,308	0,010634146	19,12336062	413,3	21,61231	10,80616
450	1,364	0,011089431	19,13216482	480,3	25,104321	12,55216
540	1,5	0,012195122	19,15358025	556	29,028515	14,51426
570	1,548	0,012585366	19,16115008	572,1	29,857289	14,92864
600	1,596	0,01297561	19,16872591	589,5	30,753218	15,37661
630	1,628	0,013235772	19,17377978	603,1	31,454414	15,72721
660	1,67	0,013577236	19,18041704	614,3	32,027458	16,01373
690	1,73	0,014065041	19,18990682	630,4	32,850602	16,4253
720	1,79	0,014552846	19,19940599	629,2	32,771847	16,38592
750	2,418	0,019658537	19,29939792	243,2	12,601429	6,300715



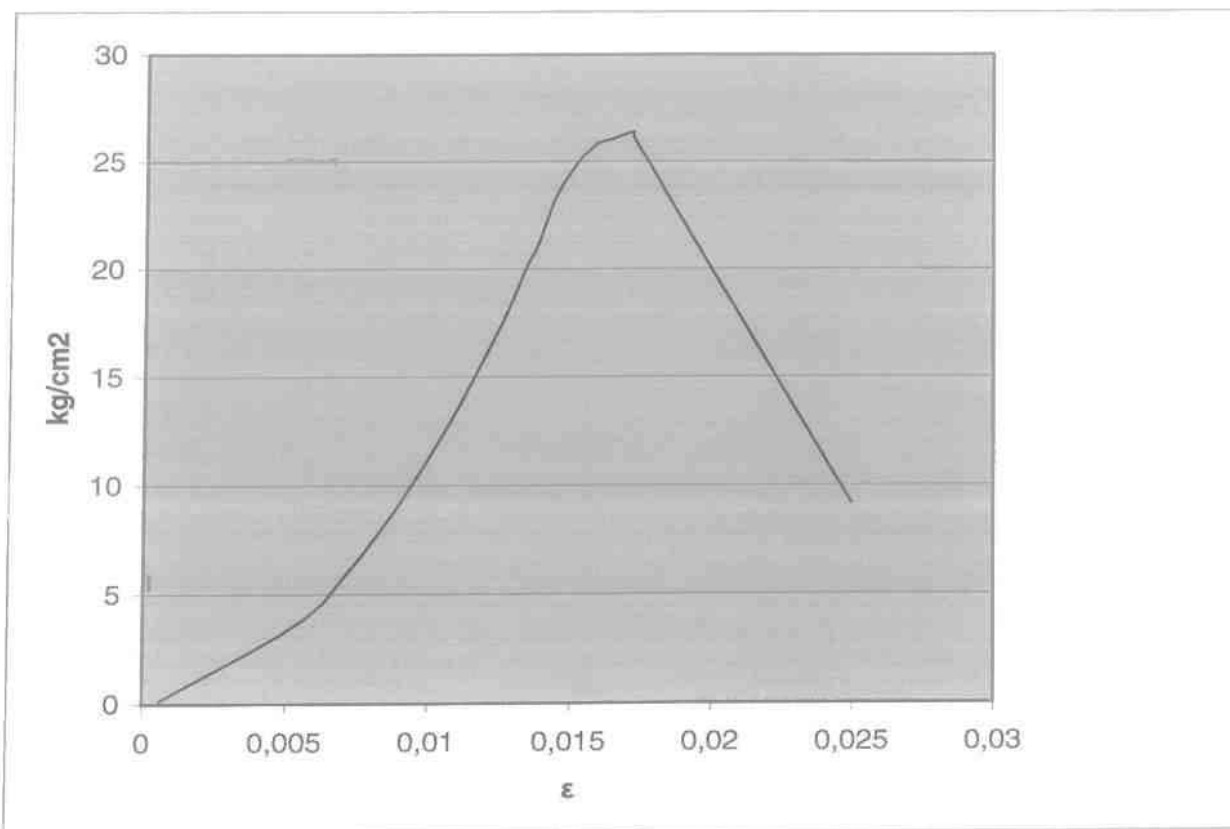
Διάγραμμα 5.23 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 5.24 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F (kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,074	0,000601626	18,93138962	2,5	0,1320558	0,066028
120	0,882	0,007170732	19,05665013	114,2	5,9926587	2,996329
240	1,312	0,010666667	19,12398922	243,2	12,717012	6,358506
360	1,54	0,012520325	19,15988803	332,6	17,359183	8,679591
480	1,654	0,013447154	19,17788802	387,2	20,189919	10,09496
600	1,774	0,014422764	19,19687196	446,8	23,274625	11,63731
690	1,896	0,015414634	19,21621086	485,2	25,249515	12,62476
750	1,956	0,015902439	19,2257361	496,4	25,819558	12,90978
780	1,986	0,016146341	19,23050226	498,7	25,93276	12,96638
810	2,03	0,016504065	19,2374969	501,4	26,063682	13,03184
840	2,114	0,017186992	19,25086445	507,6	26,367647	13,18382
870	2,118	0,017219512	19,25150146	501,4	26,044722	13,02236
900	3,07	0,02495935	19,40431919	177,5	9,147448	4,573724



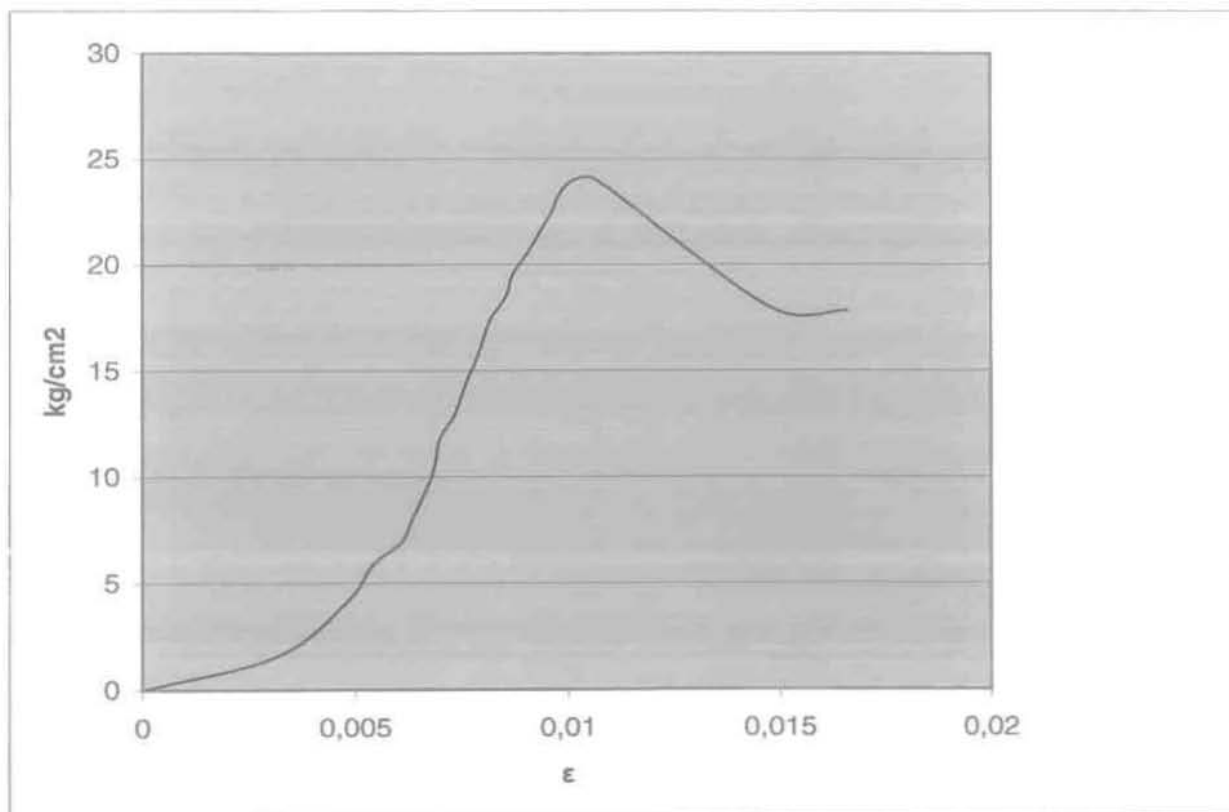
Διάγραμμα 5.24 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο3)

Πίνακας 5.25 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 1/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
90	0,666	0,005414634	19,0230026	111,7	5,8718385	2,9359193
180	0,826	0,006715447	19,04791527	182,4	9,5758511	4,7879255
270	0,903	0,007341463	19,05992776	245,7	12,89092	6,4454599
330	0,974	0,007918699	19,07101765	302,8	15,877496	7,9387478
390	1,052	0,008552846	19,0832158	353,7	18,534612	9,267306
450	1,118	0,009089431	19,0935495	394,6	20,666665	10,333333
510	1,186	0,009642276	19,10420805	430,6	22,539537	11,269768
540	1,204	0,009788618	19,10703143	444,3	23,25322	11,62661
570	1,244	0,010113821	19,11330858	457,9	23,957129	11,978565
600	1,312	0,010666667	19,12398922	459,2	24,011727	12,005863
630	1,82	0,014796748	19,2041591	345	17,964858	8,9824292
660	2,042	0,016601626	19,23940541	342,5	17,802005	8,9010027



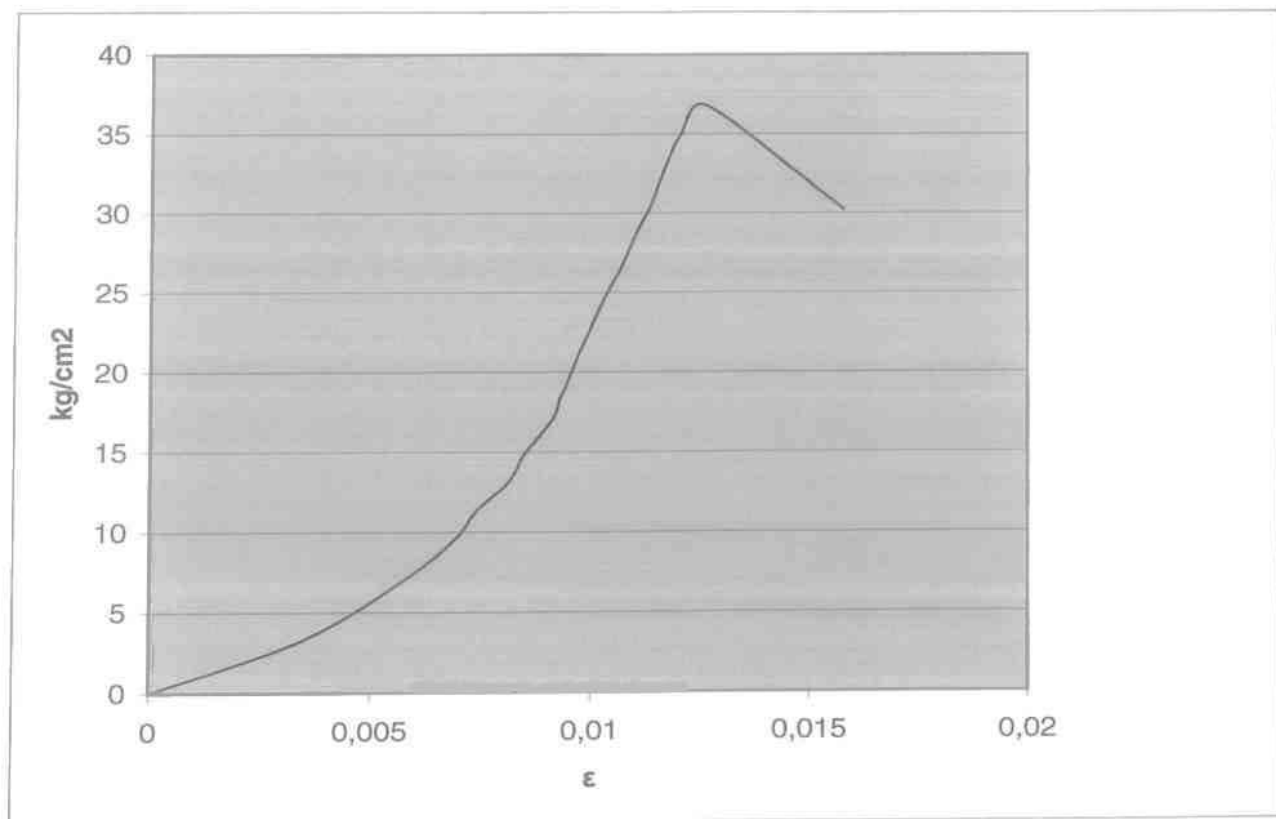
Διάγραμμα 5.25 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 5.26 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 2/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta li / Lo (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = Ao / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
90	0,853	0,006934959	19,05212572	182,4	9,5737349	4,7868674
180	1,042	0,008471545	19,08165106	281,7	14,762873	7,3814367
270	1,144	0,009300813	19,09762342	351,2	18,389723	9,1948614
360	1,228	0,00998374	19,11079723	434,4	22,730606	11,365303
450	1,314	0,010682927	19,12430354	508,8	26,60489	13,302445
510	1,37	0,011138211	19,13310861	562,2	29,38362	14,69181
570	1,42	0,011544715	19,14097713	611,8	31,962841	15,98142
600	1,448	0,011772358	19,14538634	642,8	33,574669	16,787334
630	1,482	0,01204878	19,1507431	670,1	34,990809	17,495405
660	1,554	0,012634146	19,16209673	704,9	36,786162	18,393081
690	1,942	0,015788618	19,2235127	580,4	30,192193	15,096096



Διάγραμμα 5.26 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο2)

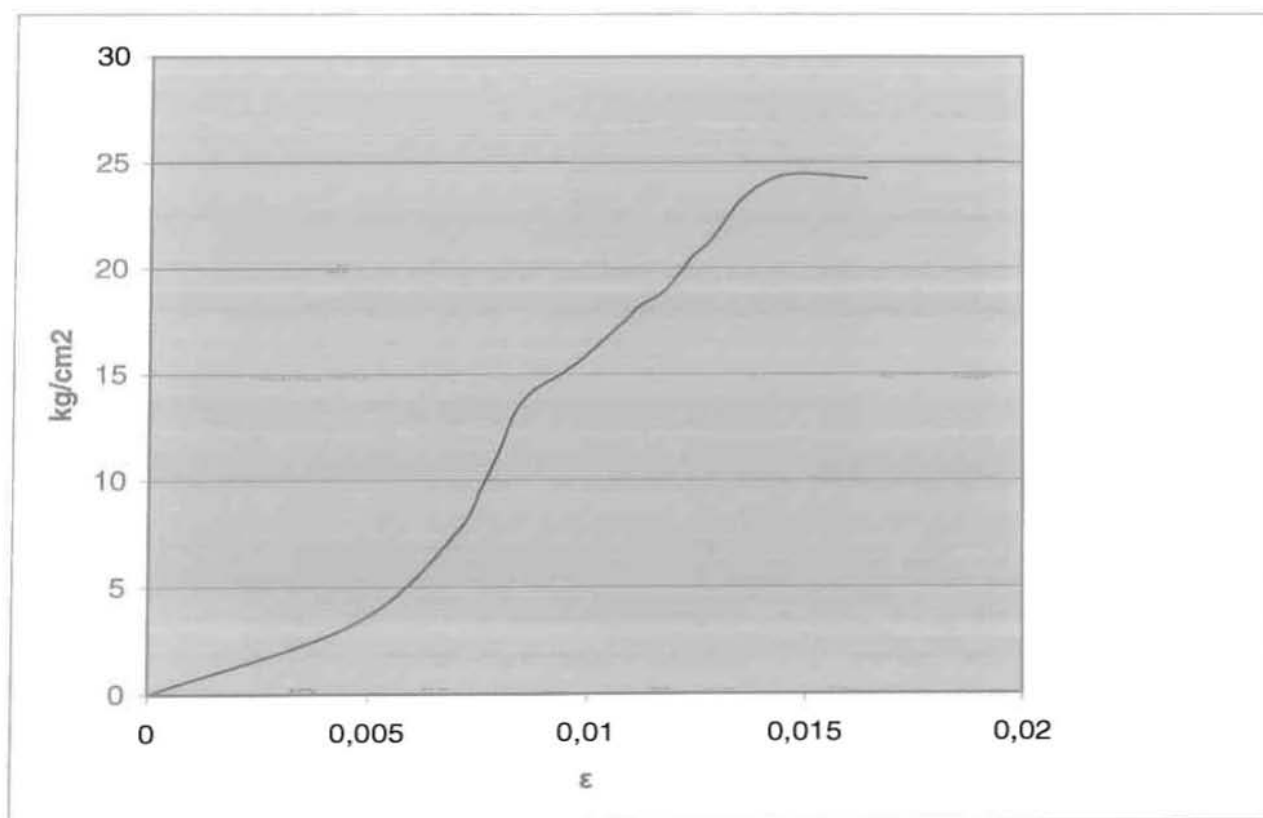


Πίνακας 5.27 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Μονοαξονική θλίψη  
 Δοκίμιο 3/3 (28 ημέρες)

Lo= 12,3 cm  
 D= 4,91 cm  
 Ao= 18,92 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μεταβολή ύψους δLi (mm)	Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / L_o (\%)$	Διορθωμένη επιφάνεια $A = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Αξονική Φόρτιση F(kg)	Αξονική τάση $\sigma_1 = q_u = F/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Συνοχή $c_u = q_u / 2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	18,92	0	0	0
90	0,93	0,007560976	19,06414352	182,4	9,5676997	4,7838498
180	1,074	0,008731707	19,08665912	270,5	14,172203	7,0861013
270	1,276	0,010373984	19,11833328	317,7	16,617557	8,3087787
330	1,378	0,011203252	19,13436714	348,7	18,223754	9,111877
390	1,494	0,012146341	19,15263444	379,7	19,824949	9,9124745
450	1,572	0,012780488	19,16493725	405,8	21,174084	10,587042
480	1,606	0,013056911	19,17030496	420,7	21,945399	10,9727
510	1,674	0,013609756	19,1810494	449,2	23,418948	11,709474
540	1,796	0,014601626	19,20035642	469,1	24,431838	12,215919
570	2,018	0,016406504	19,23558877	466,6	24,257121	12,12856

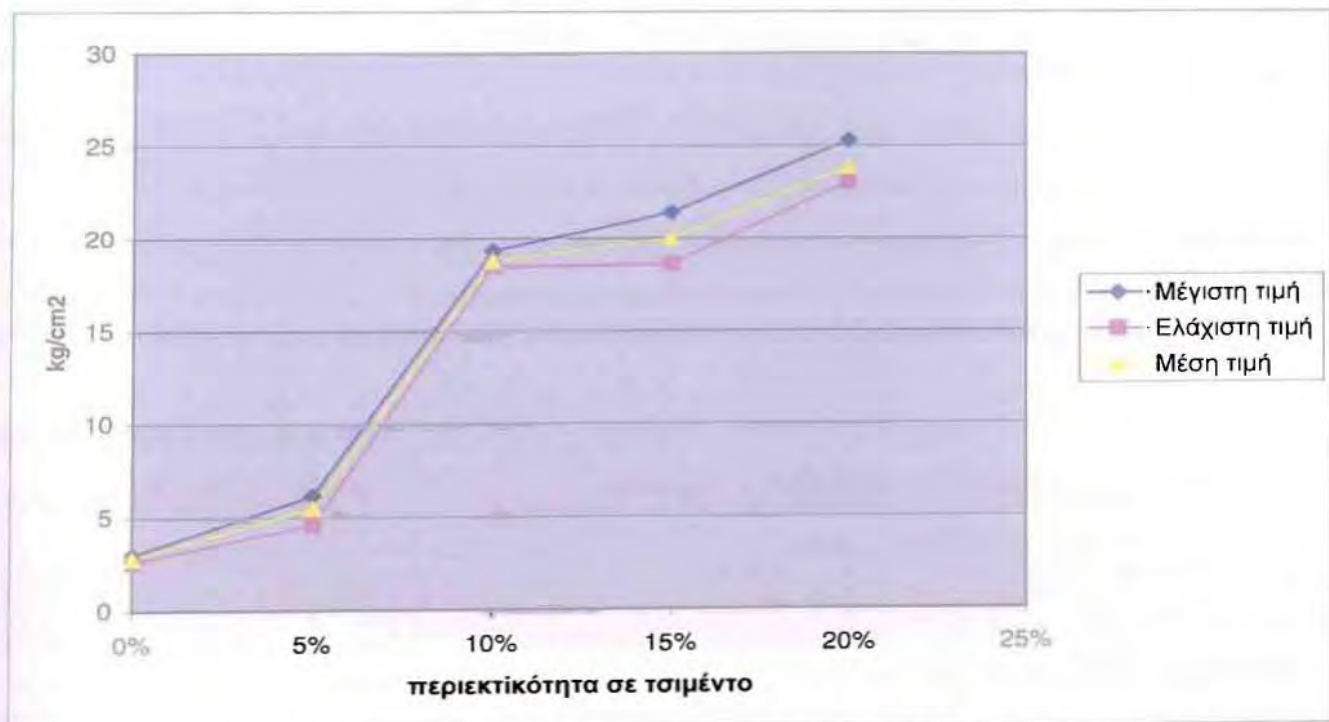


Διάγραμμα 5.27 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο3)

### 5.7.1. Παρουσίαση ελαχίστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμών φυσικού εδάφους και δοκιμών μετά από ωρίμανση 7 ημερών

Πίνακας 5.28 Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αντοχές δοκιμών μετά από ωρίμανση 7 ημερών

Δείγμα	Μέγιστο(kg/cm <sup>2</sup> )	Ελάχιστο(kg/cm <sup>2</sup> )	Μέσο(kg/cm <sup>2</sup> )
Φυσικό έδαφος	2,982	2,623	2,789
5% 7 ημέρες	6,152	4,595	5,484
10% 7 ημέρες	19,323	18,481	18,784
15% 7 ημέρες	21,427	18,610	19,969
20% 7 ημέρες	25,294	23,055	23,871



Διάγραμμα 5.28 Συγκριτικό διάγραμμα αντοχών μετά από ωρίμανση 7 ημερών

- Τα δοκίμια που περιείχαν 5% τσιμέντο παρουσίασαν αύξηση της μέσης αντοχής τους σε θλίψη κατά 97% σε σύγκριση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια, φτάνοντας τα 5,484 kg/cm<sup>2</sup> ενώ η μέση αντοχή των δοκιμών χωρίς τσιμέντο είναι 2,789 kg/cm<sup>2</sup>.

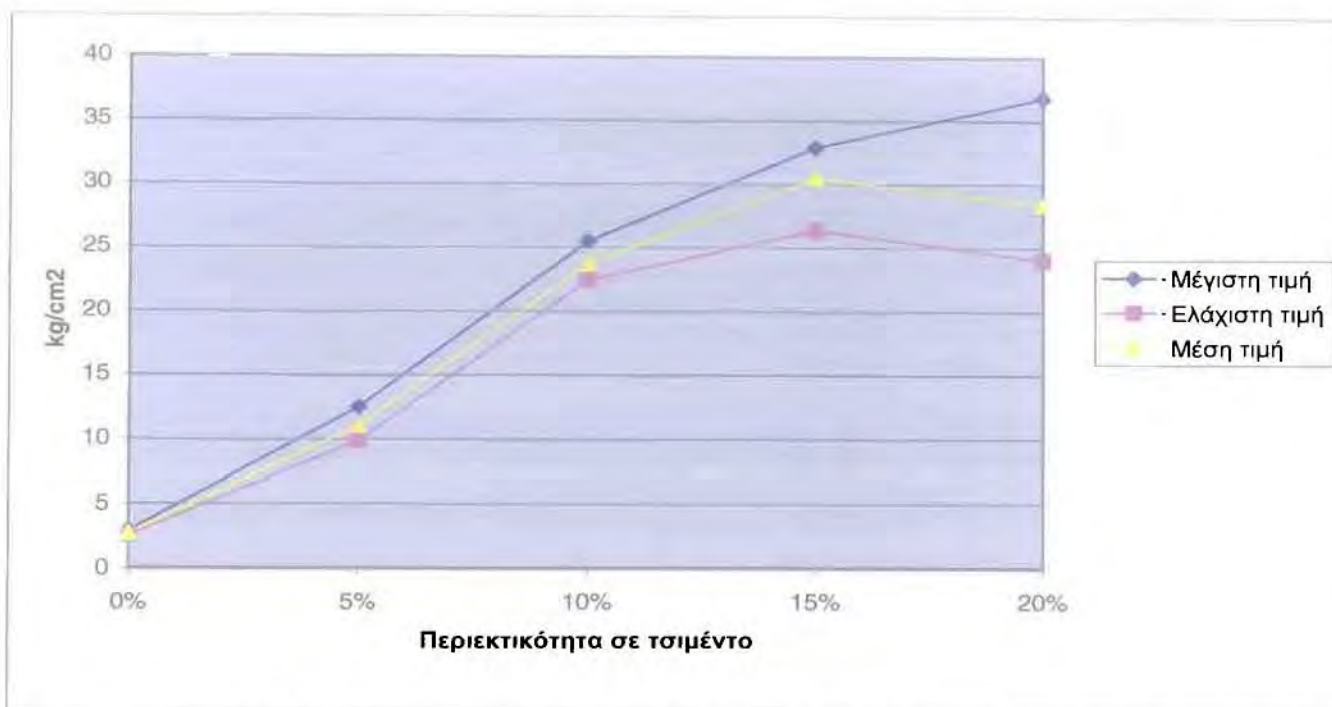
- Η μεγαλύτερη όμως αύξηση παρατηρήθηκε στα βελτιωμένα δοκίμια που περιείχαν 10% τσιμέντο. Η μέση αντοχή τους αυξήθηκε κατά 575% σε σχέση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια και κατά 242% σε σύγκριση με τα βελτιωμένα με 5% τσιμέντο δοκίμια, φτάνοντας τα 18,784 kg/cm<sup>2</sup>,
- Πολύ μικρότερη αύξηση επετεύχθη με την χρησιμοποίηση 15% τσιμέντου, καθώς η διαφορά με τα βελτιωμένα δοκίμια που περιείχαν 10% τσιμέντο ήταν μόλις 6,28%, φτάνοντας τα 19,969 kg/cm<sup>2</sup>.
- Τέλος, τα δοκίμια που αποτελούνταν από 20% τσιμέντο παρουσίασαν αύξηση της αντοχής τους σε διάτμηση της τάξης του 756%, συγκρινόμενα με τα μη βελτιωμένα δοκίμια, και 19,58% σε σχέση με τα δοκίμια που περιείχαν τσιμέντο σε ποσοστό 15%.

### 5.7.1 Παρουσίαση ελαχίστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμίων φυσικού εδάφους και βελτιωμένων δοκιμίων μετά από ωρίμανση 28 ημερών

Πίνακας 5.29 Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αντοχές δοκιμίων μετά από ωρίμανση 28 ημερών

Δείγμα	μέγιστη(kg/cm <sup>2</sup> )	ελάχιστη (kg/cm <sup>2</sup> )	μέση (kg/cm <sup>2</sup> )
Φυσικό έδαφος	2,982	2,623	2,789
5% 28 ημέρες	12,46693	9,867374	11,05869
10% 28 ημέρες	25,46755	22,41842	23,69573
15% 28 ημέρες	32,8506	26,36765	30,46308
20% 28 ημέρες	36,78616	24,01173	28,40991





Διάγραμμα 5.29 Συγκριτικό διάγραμμα αντοχών μετά από ωρίμανση 28 ημερών

- Τα δοκίμια που περιείχαν 5% τσιμέντο παρουσίασαν σχεδόν τριπλάσια αντοχή σε θλίψη σε σύγκριση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια, παρουσιάζοντας αύξηση 296,4%, φτάνοντας τα 11,058 kg/cm<sup>2</sup>,
- Η μεγαλύτερη αύξηση στην αντοχή σε θλίψη παρατηρήθηκε, όπως και στα δοκίμια με χρόνο ωρίμανσης τις 7 ημέρες, στα δοκίμια που περιείχαν 10% τσιμέντο. Η αύξηση της αντοχής τους έφτασε το 749,6% και 114,2% σε σχέση με τα δοκίμια που περιείχαν 0% και 5% τσιμέντο αντίστοιχα.
- Τα δοκίμια με 15% τσιμέντο παρουσίασαν 992,1% αύξηση της αντοχής σε θλίψη σε σύγκριση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια. Σε σύγκριση όμως με τα δοκίμια που είχαν 10% τσιμέντο στην σύνθεσή τους, η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε μόλις 28,57%, φτάνοντας τα 30,46 kg/cm<sup>2</sup>.
- Τέλος, τα δοκίμια που περιείχαν 20% τσιμέντο παρουσίασαν το εξής παράδοξο αποτέλεσμα. Ενώ ένα δοκίμιο παρουσίασε την μέγιστη αντοχή σε θλίψη σε σύγκριση με όλα τα δοκίμια που μετείχαν στην διαδικασία (36,78 kg/cm<sup>2</sup>), η μέση αντοχή των δοκιμίων με 20% τσιμέντο στην σύνθεσή τους ήταν κατά 6,77% μικρότερη από την μέση αντοχή των δοκιμίων με 15% τσιμέντο.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ**

#### **6.1 Γενικά**

Στη δοκιμή άμεσης διάτμησης το έδαφος οδηγείται σε θραύση με την επιβολή μετακινήσεως του ενός τμήματος του υποδοχέα που περιέχει το δοκίμιο σε σχέση με το άλλο. Έτσι το έδαφος θραύεται κατά μια προχαραγμένη επίπεδη επιφάνεια που λέγεται επιφάνεια διάτμησης.

Κατά την δοκιμή αυτή μετριέται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους σε σχέση με τη μεταβολή σταθερής ορθής τάσης που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών:

- Ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου
- Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου
- Βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου

Οι δύο πρώτοι τύποι της δοκιμής εφαρμόζονται σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου εξετάζεται η θραύση του εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων που δημιουργείται λόγω της φόρτισης (στάδιο αμέσως μετά την κατασκευή). Ο τρίτος τύπος της δοκιμής εφαρμόζεται σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου το έδαφος οδηγείται σε θραύση αργά ώστε να είναι δυνατή η εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων (στάδιο λειτουργίας).

Η δοκιμή άμεσης διάτμησης είναι πολύ σημαντική για την πορεία και την ασφάλεια ενός έργου. Τα βασικά στοιχεία που αφορούν την διάτμηση είναι τα εξής:

- Για τις περισσότερες γεωτεχνικές εφαρμογές, όπως θεμελιώσεις, ευστάθεια πρανών και εκσκαφές, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η αντοχή του εδάφους σε διατμητική τάση παράλληλα με την ορθή ασκούμενη τάση
- Η μετακίνηση που λαμβάνει χώρα μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες που συντελεί στην διατμητική αντοχή

- Όταν οι ασκούμενες δυνάμεις αυξάνονται, υπάρχει ταυτόχρονη αύξηση των σημείων επαφής μεταξύ των σωματιδίων του εδαφικού υλικού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντοχή του εδάφους σε διατμητική τάση
- Το αντίθετο συμβαίνει όταν τα φορτία μειώνονται (π.χ. σε περίπτωση εκσκαφής)
- Συνεπώς η αντοχή σε διάτμηση είναι μια ιδιότητα που εξαρτάται από το φορτίο, την γωνία τριβής και την συνοχή (π.χ. τα σωματίδια των αργιλικών εδαφών έχουν την εγγενή ιδιότητα να παραμένουν πολύ κοντά το ένα στο άλλο ακόμη όταν δεν ασκείτε εξωτερικό φορτίο) (University of Texas at Arlington, Geotechnical Engineering Laboratory)

Η διατμητική αντοχή ενός εδάφους μπορεί να υπολογιστεί μέσω μίας σειράς δοκιμών όπως:

- Δοκιμή άμεσης διάτμησης
- Τριαξονική δοκιμή
- Δοκιμή διάτμησης πτερυγίου

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή άμεσης διάτμησης για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής των δοκιμών. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τη δοκιμής αυτής είναι τα εξής:

#### **Πλεονεκτήματα:**

- Είναι μια γρήγορη και σχετικά ανέξοδη δοκιμή για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε λεπτόκοκκα όσο και σε χονδρόκοκκα υλικά, ενώ μπορεί να γίνει είτε με αδιατάρακτα δοκίμια, είτε με αναζυμωθέντα δοκίμια
- Η προετοιμασία των δειγμάτων είναι αρκετά εύκολη

### Μειονεκτήματα :

- η αποστράγγιση δεν είναι ελεγχόμενη, και η πίεση πόρων δεν γίνεται να μετρηθεί
- δεν είναι 100% αντιπροσωπευτική για τα πολύ λεπτόκοκκα υλικά, στα οποία η πίεση πόρων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διατμητική αντοχή
- το επίπεδο αστοχίας είναι πάντα οριζόντιο, το οποίο όμως σε πραγματικές (in situ) συνθήκες δεν είναι και το πιο ασθενές. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με την τριαξονική δοκιμή

### 6.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός

#### *1. Συσκευές διατμήσεως(Εικ 6.1)*



*Εικόνα 6.1 Συσκευή διάτμησης που χρησιμοποιήθηκε για την δοκιμή άμεσης διάτμησης*

Υπάρχουν διάφορες συσκευές διάτμησης όπου η διάτμηση του εδαφικού υλικού επιβάλλεται κατά μία η δύο επίπεδες επιφάνειες τετραγωνικού ή κυλινδρικού δοκιμίου.

Στον συνήθη τύπο ο υποδοχέας του δοκιμίου αποτελείται από δύο δακτυλίους. Το δοκίμιο κρατείται μέσα σ' αυτούς και μεταξύ δύο παρόλιθων με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκλείεται στρέψη του δοκιμίου. Η συσκευή διατμήσεως θα πρέπει να επιτρέπει την εφαρμογή ορθής και διατμητικής τάσης, κάθετης και παράλληλης προς το επίπεδο διατμήσεως αντίστοιχα. Κατά τη δοκιμή είναι δυνατό να μετρούνται εκτός



από τις εφαρμοζόμενες τάσεις και η μεταβολή του πάχους του δοκιμίου και η διατμητική παραμόρφωση με ειδικά μηκυνσιόμετρα. Το πλαίσιο που κρατά το δοκίμιο θα πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτο, έτσι ώστε να αποφεύγεται η στρέβλωση του δοκιμίου.

## 2. Σύστημα εφαρμογής φορτίου (Εικ. 6.2)



Εικόνα 6.2 Σύστημα επιβολής ορθής και διατμητικής τάσης

(α) Φορτίο κάθετο προς την επιφάνεια διάτμησης(επιβολή ορθής τάσης)

(β) Φορτίο παράλληλο προς την επιφάνεια διάτμησης(επιβολή διατμητικής τάσης)

Το σύστημα επιβολής ορθής τάσης θα πρέπει να είναι ικανό να διατηρεί σταθερή τάση σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής με ακρίβεια  $\pm 1\%$ .

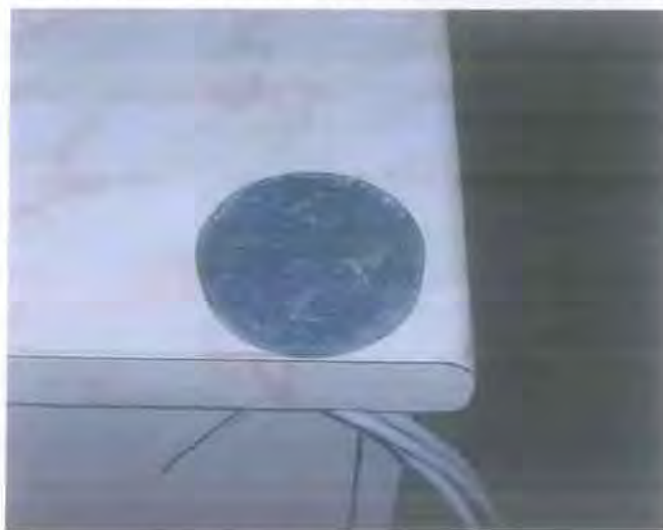
Οι δυνατότητες του μηχανισμού επιβολής του φορτίου παράλληλα προς το επίπεδο διάτμησης εξαρτώνται από το αν η δοκιμή γίνεται με ελεγχόμενη επιβολή φορτίου ή με ελεγχόμενη επιβολή παραμορφώσεως. Συνήθως επιβάλλεται διατμητική παραμόρφωση με σταθερή ταχύτητα και με ανεκτή απόκλιση της τάξης των  $\pm 10\%$ . Η διατμητική παραμόρφωση επιβάλλεται κατά προτίμηση με ηλεκτροκίνητο τρόπο και το αντίστοιχο φορτίο μετράται με ειδικά προσαρμοσμένο δακτύλιο.

## 2. Πορόλιθοι

Οι πορόλιθοι (Εικ 6.3) θα πρέπει να αποτελούνται από υλικά όπως καρβίδια του πυριτίου, οξείδιο του αργιλίου ή μέταλλο που δεν διαβρώνεται από την υγρασία ή ουσίες που μπορεί να βρίσκονται μέσα στο έδαφος.



Οι πορόλιθοι θα πρέπει να είναι αφενός μεν αρκετά τραχείς ώστε να εξασφαλίζουν την συγκράτηση του δοκιμίου μέσα στον δακτύλιο και αφετέρου αρκετά λείοι, ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση του εδάφους μέσα στους πόρους.



Εικόνα 6.3 Πορόλιθος

### 3. Μετρητές παραμορφώσεων (μηκυνσιόμετρα)

Για την μέτρηση της μεταβολής του πάχους του δοκιμίου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μηκυνσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,002mm και για τη μέτρηση των μετακινήσεων κατά τη διεύθυνση διατμήσεως μηκυνσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,02mm.

### Προδιαγραφές δοκιμίων

- Αν η δοκιμή γίνεται σε δείγματα που έχουν αναζυμωθεί και επανασυμπυκνωθεί, τα δοκίμια θα πρέπει να συμπυκνωθούν στην επιθυμητή υγρασία και πυκνότητα. Η συμπύκνωση μπορεί να γίνει μέσα στον ίδιο τον δακτύλιο άμεσης διάτμησης, μέσα σε καλούπι ίδιων η μεγαλύτερων διαστάσεων.
- Μια ελάχιστη επιθυμητή διάμετρος κυκλικού δοκιμίου είναι 50mm περίπου.
- Ελάχιστο πάχος δοκιμίου μπορεί να είναι 12,5mm αλλά ποτέ λιγότερο από 6 φορές την μέγιστη διάμετρο των κόκκων του υπό δοκιμή εδαφικού υλικού.
- Ελάχιστο λόγος διαμέτρου προς πάχος δοκιμίου 2:1

### **Προδιαγραφές δοκιμής (ASTM D-3080/79)**

Συναρμολογείται η συσκευή με τα πλαίσια ευθυγραμμισμένα και σταθερά. Γίνεται ελαφρό γρασάρισμα στις επιφάνειες επαφής των πλαισίων ώστε να εξασφαλίζεται υδατοστεγανότητα στην περίπτωση που γίνεται στερεοποίηση του δοκιμίου πριν από την κυρίως δοκιμή της διάτμησης και επίσης για την μείωση των τριβών κατά τη διάρκεια της.

Το δοκίμιο τοποθετείται προσεκτικά και γίνεται η σύνδεση των μηχανισμών φορτίσεως. Τοποθετούνται τα μηκυσιόμετρα για την μέτρηση της διατμητικής παραμόρφωσης και της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου. Προσδιορίζεται το αρχικό ύψος του δοκιμίου. Ανάλογα με τον τύπο της δοκιμής ακολουθείται και ο αντίστοιχος τρόπος φόρτισης και θραύσης του δοκιμίου.

#### *Ταχεία δοκιμή χωρίς προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου*

Σ' αυτό το τύπο της δοκιμής μετά την επιβολή της ορθής τάσης αρχίζει αμέσως η διάτμηση χωρίς να προηγηθεί στερεοποίηση του δοκιμίου. Η ταχύτητα της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ολική διάρκεια της δοκιμής να μην ξεπερνά τα 15 με 20 min. Ο ρυθμός της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης θα είναι της τάξεως των 0,5 ως 2% της διαμέτρου του δοκιμίου ανά λεπτό.

Η διάτμηση του δοκιμίου συνεχίζεται μέχρις ότου η διατμητική τάση αποκτήσει σταθερή τιμή για αυξανόμενη διατμητική παραμόρφωση ή μέχρις ότου η διατμητική παραμόρφωση φτάσει το 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου.

### **6.3 Περιγραφή δοκιμής**

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής του εδαφικού δείγματος είναι τα εξής:

- Η άργιλος αφού κοσκινίστηκε, τοποθετήθηκε σε μεταλλικό σκεύος και παρέμεινε στον κλίβανο σε θερμοκρασία 60 °C μέχρι να στεγνώσει τελείως



- Το εδαφικό δείγμα ζυγίζεται και υπολογίζεται το νερό που πρέπει να προστεθεί, βάση των υγρασιών βέλτιστης συμπύκνωσης όπως αυτές προέκυψαν από την δοκιμή Proctor
- Με την βοήθεια του ψεκαστήρα, προστίθεται στο δείγμα η ακριβής ποσότητα νερού που έχει υπολογιστεί σε μικρές δόσεις και με συνεχή αναμόχλευση του δείγματος έτσι ώστε το υλικό που θα προκύψει να είναι ομοιογενές
- Το μείγμα τοποθετείται ανά στρώσεις στην μήτρα της συσκευής συμπύκνωσης που χρησιμοποιείται και στην μέθοδο Proctor και συμπυκνώνεται με την βοήθεια της σφύρας
- Με την χρήση του ειδικού εξωλκέα λαμβάνεται το συμπυκνωμένο εδαφικό υλικό από την μήτρα με την βοήθεια ειδικών δειγματοληπτικών δακτυλίων(Εικ 6.4) και του ειδικού εξωλκέα μορφώνονται τα δοκίμια στις ακριβείς διαστάσεις για την χρήση τους στην μηχανή διάτμησης



Εικόνα 6.4 Δειγματοληπτικός δακτύλιος που χρησιμεύσει στην μόρφωση των δοκιμίων

- Μετρώνται οι διαστάσεις του δοκιμίου
- Το δοκίμιο τοποθετείται στην μηχανή διάτμησης ανάμεσα σε 2 πορόλιθους, έναν στην άνω και έναν στην κάτω επιφάνεια του
- Ρυθμίζεται η ορθή τάση που ασκείται στο δοκίμιο και η οποία πρέπει να είναι σταθερή καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμής
- Η επιφάνεια άσκησης διατμητικής τάσης εφάπτεται στον μεταλλικό δακτύλιο που περιέχει το δοκίμιο



*Εικόνα 6.5 Δοκίμιο τοποθετημένο στην συσκευή διάτμησης με παράλληλη εφαρμογή ορθής και διατμητικής τάσης*

- Μηδενίζονται τα μηκυσιόμετρα
- Ξεκινάει η εφαρμογή της διατμητικής τάσης με σταθερή ταχύτητα και ρυθμό επιβαλλόμενης παραμόρφωσης από 0,5% ως 2% της διαμέτρου του δοκιμίου ανά λεπτό
- Η διάτμηση του δοκιμίου συνεχίζεται μέχρις ότου η διατμητική τάση αποκτήσει σταθερή τιμή για αυξανόμενη διατμητική παραμόρφωση ή μέχρις ότου η διατμητική παραμόρφωση φτάσει το 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου

Η διαδικασία αυτή ακολουθείται για την εύρεση της διατμητικής αντοχής του αρχικού εδαφικού δείγματος. Για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής του βελτιωμένου εδάφους προστίθεται στην παραπάνω διαδικασία το εξής βήμα:

- Στην περίπτωση των βελτιωμένων δοκιμίων, το εδαφικό δείγμα ζυγίζεται μετά την ξήρανση του και πριν την προσθήκη νερού προστίθεται σε αυτό το ανάλογο ποσοστό τσιμέντου 5%,10%,15% ή 20%



Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της δοκιμής άμεσης διάτμησης γίνεται με την καμπύλη διατμητικής τάσης-διατμητικής παραμόρφωσης. Η αντοχή σε διάτμηση προκύπτει από την μέγιστη διατμητική τάση ή από την τιμή της διατμητικής τάσης όταν η διατμητική παραμόρφωση φτάσει το 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου. Στο έντυπο της δοκιμής που παρατίθεται, παρουσιάζονται μαζί με την γραφική παράσταση και όλα τα στοιχεία που αφορούν την δοκιμή. Αναλυτικότερα δίνεται:

- Ο τύπος της δοκιμής
- Το είδος του δείγματος
- Οι διαστάσεις του δοκιμίου: διάμετρος  $D$ , επιφάνεια  $A$
- Η σύσταση του εδαφικού υλικού
- Η φυσική υγρασία του δείγματος
- Η αντοχή του υλικού σε διάτμηση
- Η ανοιγμένη παραμόρφωση  $\epsilon$
- Η διορθωμένη επιφάνεια  $A_i$
- Η διατμητική δύναμη  $F$  (kg)
- Η διατμητική τάση  $\sigma$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

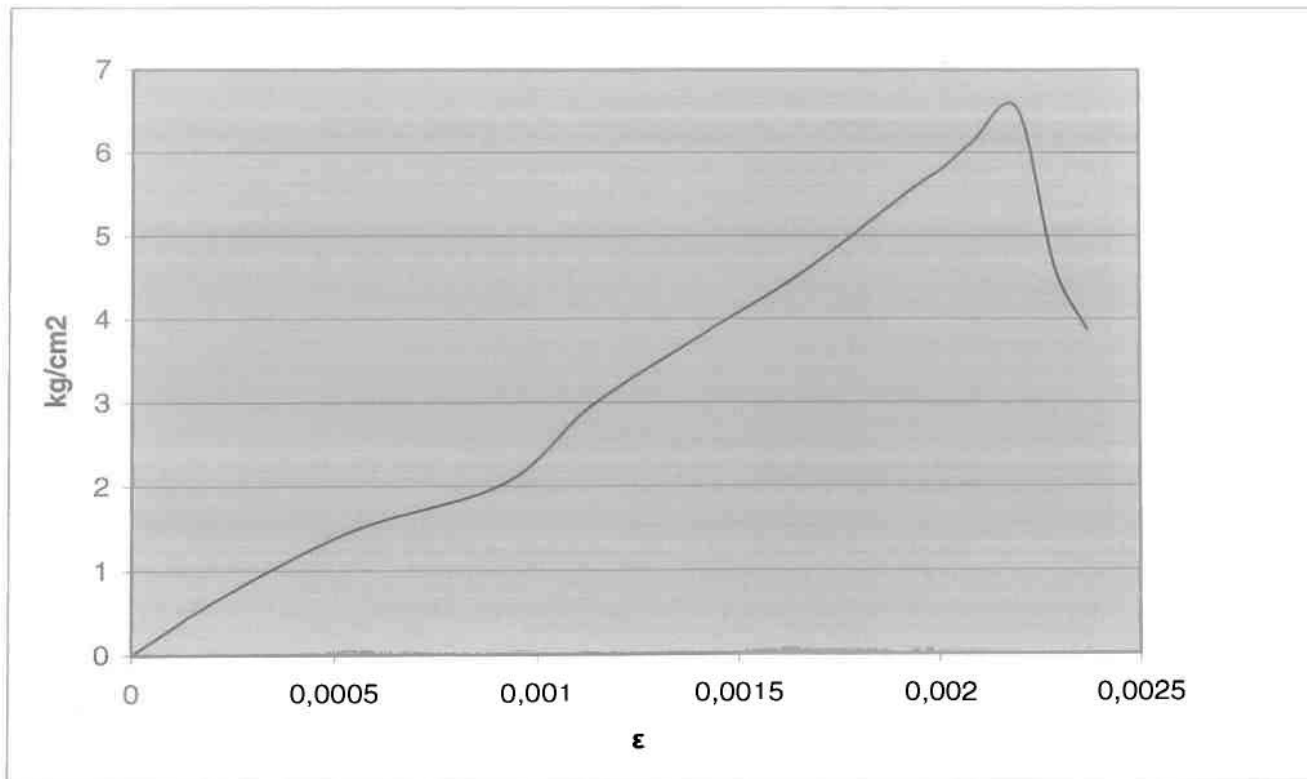
#### **6.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Πίνακας 6.1 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 1/3

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας Αi=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Αc=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Αc (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
180	0,01432	0,0043633	0,000229856	0,034	21,5285	30,46564	0,706647
360	0,0341	0,0103903	0,000547352	0,071	44,9565	30,45961	1,475938
540	0,0574	0,0174898	0,000921348	0,098	62,0526	30,45251	2,037685
720	0,0706	0,0215118	0,001133226	0,142	89,9130	30,44849	2,952954
900	0,0869	0,0264784	0,001394864	0,181	114,6074	30,44352	3,764590
1080	0,103	0,0313841	0,001653291	0,218	138,0354	30,43862	4,534878
1260	0,1203	0,0366554	0,001930979	0,267	169,0617	30,43334	5,555148
1320	0,1251	0,0381180	0,002008026	0,279	176,6600	30,43188	5,805096
1380	0,1297	0,0395196	0,002081862	0,294	186,1579	30,43048	6,117480
1440	0,1368	0,0416830	0,002195827	0,314	198,8217	30,42832	6,534100
1500	0,1424	0,0433893	0,002285714	0,223	141,2014	30,42661	4,640720
1560	0,1475	0,0449433	0,002367576	0,186	117,7733	30,42506	3,870932



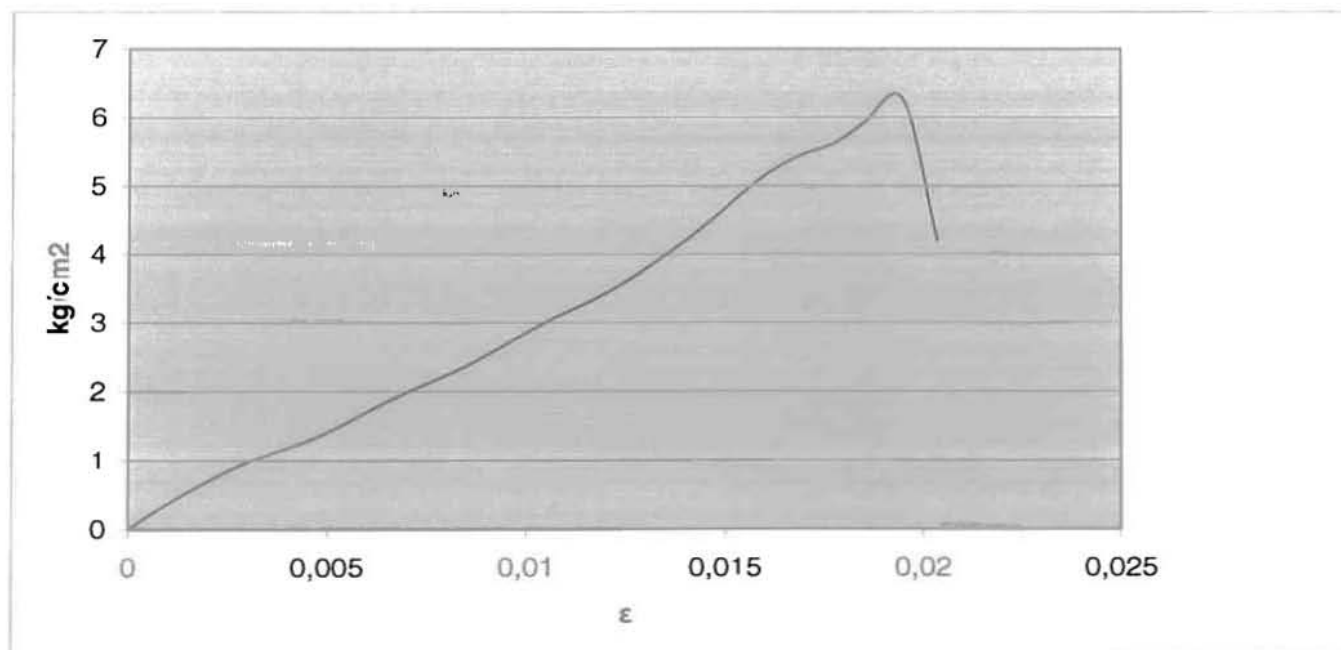
Διάγραμμα 6.1 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 6.2 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο  
 2/3

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
60	0,0062	0,00188914	0,000995185	0,018	11,3974	30,468111	0,374077
180	0,0172	0,00524084	0,002760835	0,044	27,8604	30,464759	0,914511
300	0,0294	0,00895818	0,004719101	0,064	40,5242	30,461042	1,330360
420	0,0414	0,01261458	0,006645265	0,091	57,6203	30,457385	1,891833
540	0,0528	0,01608816	0,00847512	0,114	72,1837	30,453912	2,370259
660	0,065	0,0198055	0,010433387	0,144	91,1794	30,450195	2,994377
780	0,076	0,0231572	0,012199037	0,168	106,3759	30,446843	3,493824
900	0,0876	0,02669172	0,014060995	0,203	128,5376	30,443308	4,222195
1020	0,099	0,0301653	0,015890851	0,245	155,1316	30,439835	5,096334
1080	0,105	0,0319935	0,016853933	0,261	165,2626	30,438007	5,429481
1140	0,1106	0,03369982	0,017752809	0,27	170,9613	30,436300	5,617020
1200	0,1152	0,03510144	0,018491172	0,284	179,8260	30,434899	5,908545
1260	0,1214	0,03699058	0,019486356	0,301	190,5902	30,433009	6,262614
1320	0,1268	0,03863596	0,02035313	0,202	127,9044	30,431364	4,203045



Διάγραμμα 6.2 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)



Πίνακας 6.3 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο

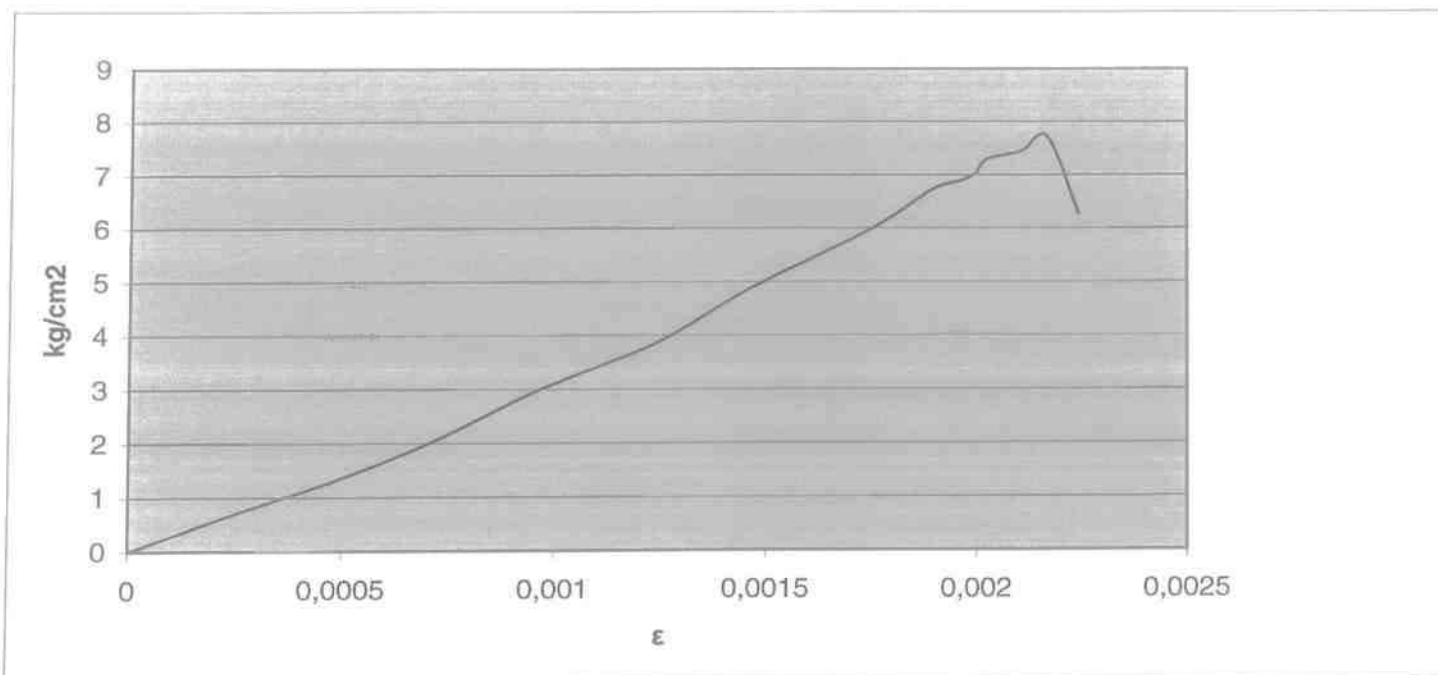
Δοκιμή: Διάτμηση

Δοκίμιο 3/3

D= 6,23 cm

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_s-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
180	0,0152	0,00463144	0,000243981	0,033	20,8953	30,465369	0,6858696
360	0,0297	0,00904959	0,000476726	0,062	39,2578	30,460950	1,2887904
540	0,0445	0,01355915	0,000714286	0,098	62,0526	30,456441	2,0374219
720	0,0601	0,01831247	0,000964687	0,144	91,1794	30,451688	2,9942301
900	0,0774	0,02358378	0,001242376	0,186	117,7733	30,446416	3,8682168
1080	0,0913	0,02781911	0,00146549	0,235	148,7997	30,442181	4,8879432
1260	0,1089	0,03318183	0,001747994	0,288	182,3587	30,436818	5,9913858
1380	0,1181	0,03598507	0,001895666	0,324	205,1536	30,434015	6,7409299
1440	0,1218	0,03711246	0,001955056	0,331	209,5859	30,432888	6,8868223
1500	0,1243	0,03787421	0,001995185	0,338	214,0182	30,432126	7,0326411
1560	0,1261	0,03842267	0,002024077	0,351	222,2497	30,431577	7,3032590
1620	0,1312	0,03997664	0,002105939	0,358	226,6820	30,430023	7,4492884
1680	0,1351	0,04116497	0,002168539	0,371	234,9135	30,428835	7,7200948
1740	0,1398	0,04259706	0,002243981	0,301	190,5902	30,427403	6,2637679



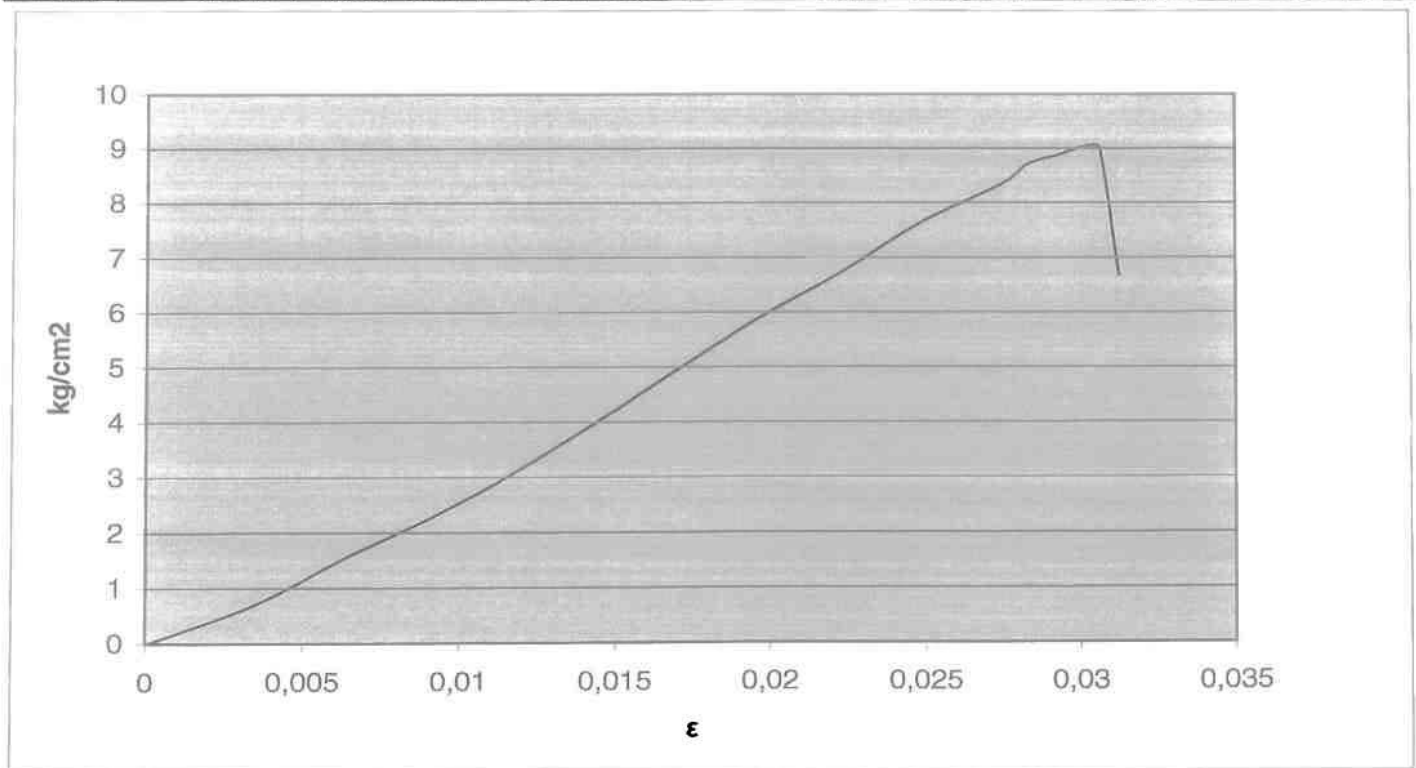
Διάγραμμα 6.3 Εδαφικό δείγμα με 0% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 6.4 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 1/5 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A\sigma-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,00051	0,00015539	8,1862E-05	0	0	30,46984	0
180	0,022	0,0067034	0,0035313	0,034	21,5285	30,46330	0,7067016
360	0,0396	0,01206612	0,00635634	0,074	46,8561	30,45793	1,5383860
540	0,0564	0,01718508	0,00905297	0,108	68,3845	30,45281	2,2455895
720	0,0726	0,02212122	0,011653291	0,146	92,4457	30,44788	3,0361964
900	0,0898	0,02736206	0,014414125	0,192	121,572	30,44264	3,9934936
1080	0,106	0,0322982	0,017014446	0,238	150,699	30,43770	4,9510709
1260	0,122	0,0371734	0,019582665	0,282	178,559	30,43283	5,8673347
1440	0,1384	0,04217048	0,022215088	0,322	203,887	30,42783	6,7006810
1620	0,1544	0,04704568	0,024783307	0,366	231,747	30,42295	7,6175225
1800	0,1716	0,05228652	0,027544141	0,402	254,542	30,41771	8,3682286
1860	0,1762	0,05368814	0,028282504	0,418	264,673	30,41631	8,7016934
1920	0,1824	0,05557728	0,029277689	0,426	269,738	30,41442	8,8687838
1950	0,185	0,0563695	0,029695024	0,43	272,271	30,41363	8,9522920
1980	0,188	0,0572836	0,030176565	0,434	274,804	30,41272	9,0358407
2010	0,1908	0,05813676	0,030626003	0,432	273,538	30,41186	8,9944532
2040	0,1946	0,05929462	0,031235955	0,32	202,620	30,41071	6,6628116



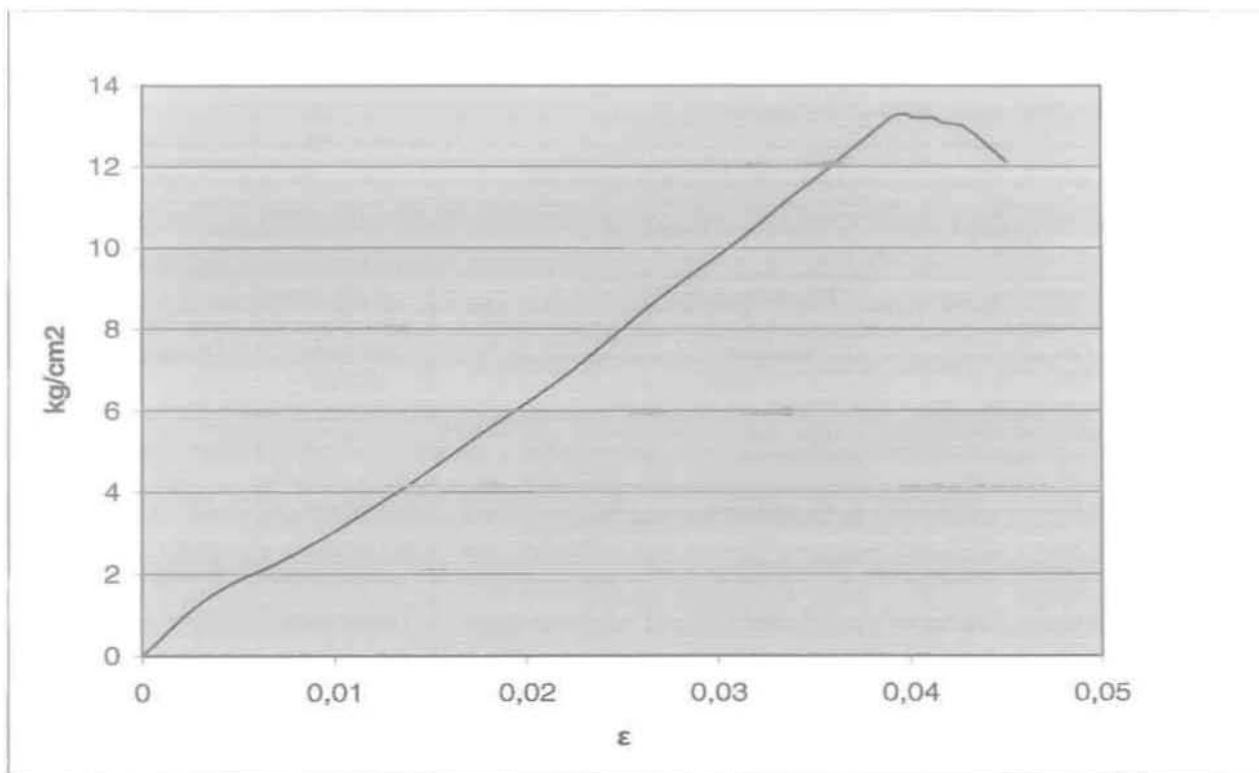
Διάγραμμα 6.4 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 6.5 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 2/5 (7 η.μ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρονος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
300	0,0218	0,00664246	0,003499197	0,07	44,32	30,46336	1,454971
660	0,0506	0,01541782	0,00812199	0,122	77,25	30,45458	2,536537
1080	0,0824	0,02510728	0,013226324	0,192	121,57	30,44489	3,993198
1440	0,1102	0,03357794	0,017688604	0,262	165,90	30,43642	5,450568
1800	0,1388	0,04229236	0,022279294	0,334	211,49	30,42771	6,950424
2160	0,1654	0,05039738	0,026548957	0,414	262,14	30,41960	8,617491
2520	0,1928	0,05874616	0,03094703	0,486	307,73	30,41125	10,118963
2760	0,2108	0,06423076	0,033836276	0,54	341,92	30,40577	11,245320
2940	0,2236	0,06813092	0,035890851	0,576	364,72	30,40187	11,996547
3120	0,2384	0,07264048	0,038266453	0,62	392,58	30,39736	12,914865
3210	0,244	0,0743468	0,039165329	0,636	402,71	30,39565	13,248896
3240	0,2472	0,07532184	0,039678973	0,638	403,98	30,39468	13,290985
3270	0,2482	0,07562654	0,039839486	0,638	403,98	30,39437	13,291119
3300	0,2506	0,07635782	0,040224719	0,634	401,44	30,39364	13,208106
3330	0,2526	0,07696722	0,040545746	0,634	401,44	30,39303	13,208371
3360	0,2554	0,07782038	0,040995185	0,634	401,44	30,39218	13,208742
3390	0,257	0,0783079	0,041252006	0,634	401,44	30,39169	13,208954
3420	0,2604	0,07934388	0,041797753	0,628	397,64	30,39066	13,084394
3510	0,2674	0,08147678	0,042921348	0,622	393,84	30,38852	12,960294
3690	0,2806	0,08549882	0,045040128	0,582	368,52	30,38450	12,128439



Διάγραμμα 6.5 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

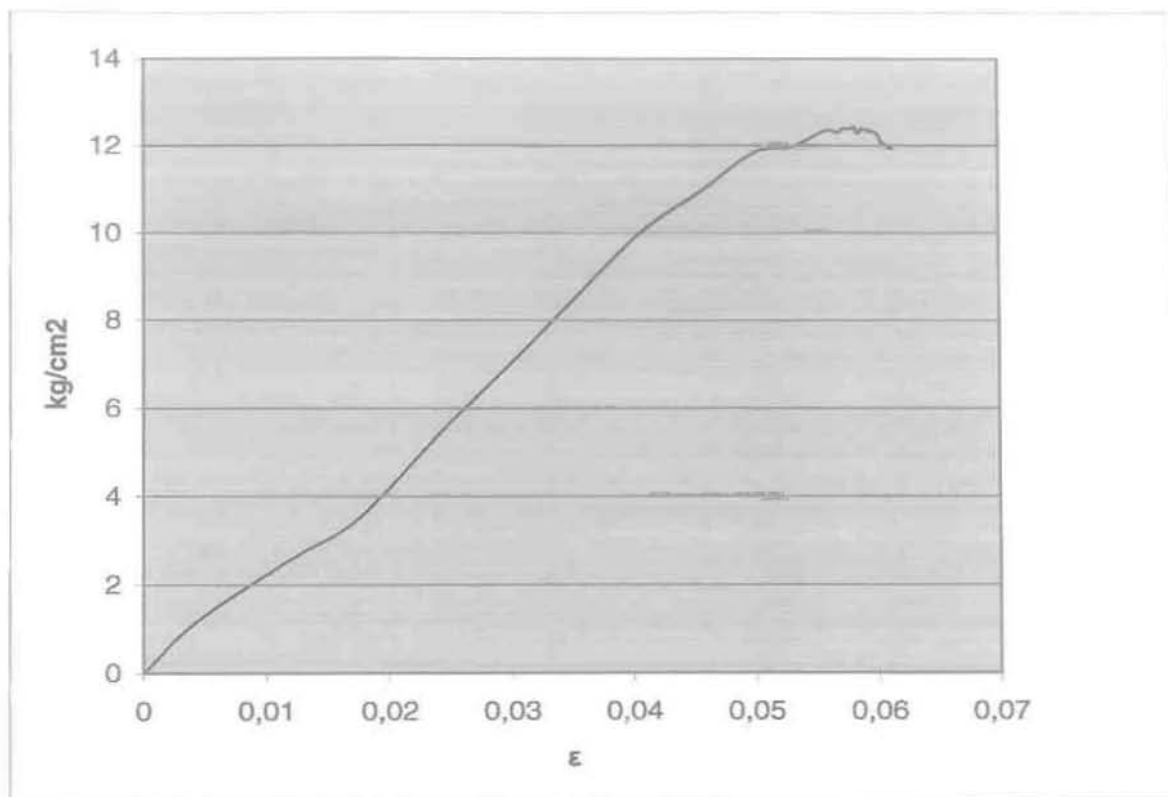


Πίνακας 6.6 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 3/5 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
450	0,0268	0,00816596	0,004301766	0,056	35,459	30,46183	1,164035
1170	0,0746	0,02273062	0,011974318	0,124	78,516	30,44727	2,578739
1710	0,1088	0,03315136	0,017463884	0,168	106,376	30,43685	3,494972
2430	0,1526	0,04649722	0,024494382	0,266	168,429	30,42350	5,536132
2970	0,189	0,0575883	0,030337079	0,342	216,551	30,41241	7,120480
3510	0,2218	0,06758246	0,035601926	0,414	262,141	30,40242	8,622362
4050	0,2532	0,07715004	0,040642055	0,48	303,931	30,39285	10,000089
4590	0,2858	0,08708326	0,045874799	0,528	334,324	30,38292	11,003694
5040	0,3114	0,09488358	0,049983949	0,568	359,652	30,37512	11,840347
5400	0,3302	0,10061194	0,053001605	0,574	363,451	30,36939	11,967678
5730	0,3474	0,10585278	0,05576244	0,592	374,848	30,36415	12,345102
5790	0,3516	0,10713252	0,056436597	0,592	374,848	30,36287	12,345622
5850	0,3544	0,10798568	0,056886035	0,59	373,582	30,36201	12,304259
5880	0,3566	0,10865602	0,057239165	0,594	376,115	30,36134	12,387952
5910	0,3582	0,10914354	0,057495987	0,594	376,115	30,36086	12,388151
5940	0,3592	0,10944824	0,057656501	0,594	376,115	30,36055	12,388275
5970	0,361	0,1099967	0,057945425	0,594	376,115	30,36000	12,388499
6000	0,3626	0,11048422	0,058202247	0,596	377,381	30,35952	12,430410
6030	0,3636	0,11078892	0,058362761	0,59	373,582	30,35921	12,305396
6060	0,365	0,1112155	0,05858748	0,59	373,582	30,35878	12,305568
6090	0,3666	0,11170302	0,058844302	0,594	376,115	30,35830	12,389195
6120	0,3692	0,11249524	0,059261637	0,592	374,848	30,35750	12,347803
6150	0,37	0,112739	0,059390048	0,592	374,848	30,35726	12,347902
6180	0,3726	0,11353122	0,059807384	0,59	373,582	30,35647	12,306507
6210	0,3744	0,11407968	0,060096308	0,588	372,316	30,35592	12,265012
6240	0,3762	0,11462814	0,060385233	0,58	367,250	30,35537	12,098359
6270	0,3786	0,11535942	0,060770465	0,576	364,717	30,35464	12,015212
6300	0,379	0,1154813	0,060834671	0,574	363,451	30,35452	11,973541
6330	0,3818	0,11633446	0,061284109	0,572	362,185	30,35367	11,932156



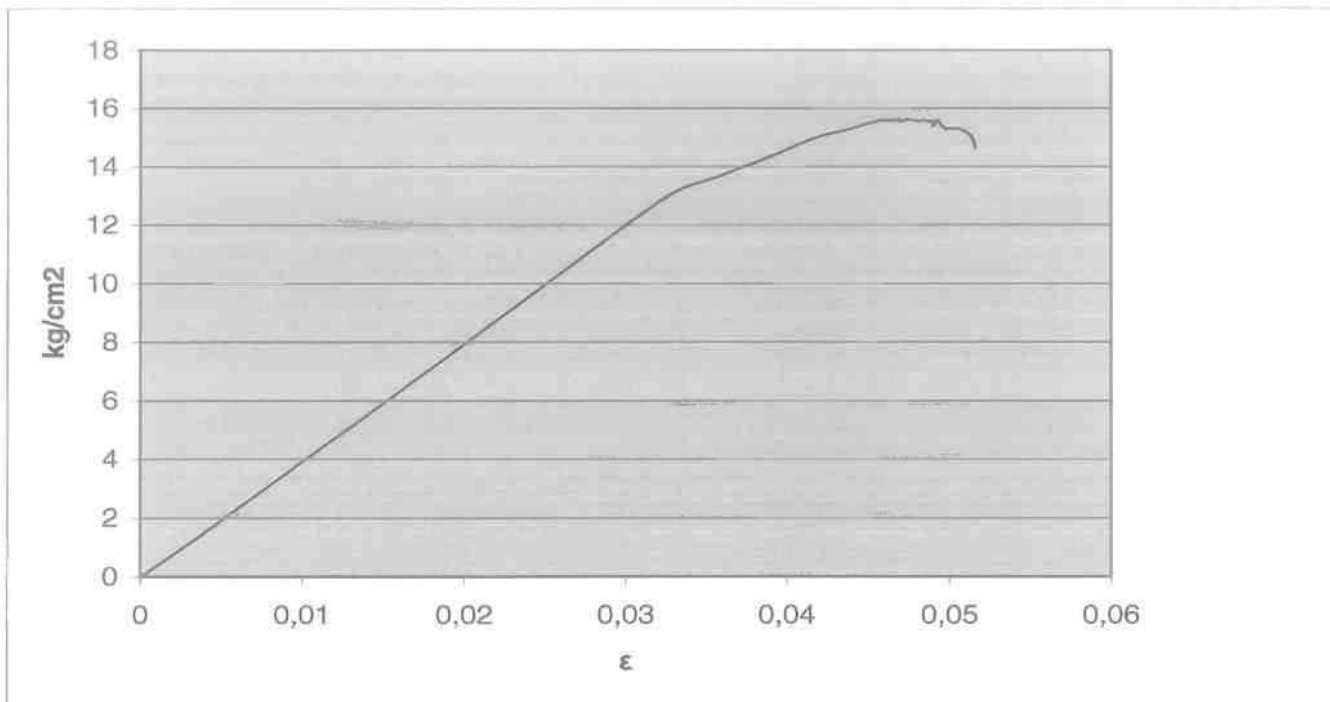
Διάγραμμα 6.6 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 6.7 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 4/5 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta Li$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta Li / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
270	0,0172	0,00524084	0,002760835	0,05	31,66	30,46476	1,039217
630	0,0414	0,01261458	0,006645265	0,124	78,52	30,45739	2,577882
1080	0,0706	0,02151182	0,011332263	0,214	135,50	30,44849	4,450226
1440	0,0934	0,02845898	0,014991974	0,284	179,83	30,44154	5,907255
1980	0,1268	0,03863596	0,02035313	0,388	245,68	30,43136	8,073175
2520	0,1602	0,04881294	0,025714286	0,492	311,53	30,42119	10,240543
3060	0,191	0,0581977	0,030658106	0,588	372,32	30,41180	12,242475
3330	0,2076	0,06325572	0,033322632	0,634	401,44	30,40674	13,202415
3600	0,2214	0,06746058	0,035537721	0,654	414,11	30,40254	13,620779
3960	0,2412	0,07349364	0,038715891	0,686	434,37	30,39651	14,290074
4320	0,2592	0,07897824	0,041605136	0,718	454,63	30,39102	14,959366
4590	0,2718	0,08281746	0,043627608	0,732	463,50	30,38718	15,252980
4680	0,2766	0,08428002	0,044398074	0,738	467,29	30,38572	15,378744
4860	0,2848	0,08677856	0,045714286	0,748	473,63	30,38322	15,588410
4890	0,2862	0,08720514	0,045939005	0,748	473,63	30,38279	15,588629
4950	0,289	0,0880583	0,046388443	0,748	473,63	30,38194	15,589067
4980	0,2902	0,08842394	0,046581059	0,748	473,63	30,38158	15,589254
5010	0,2922	0,08903334	0,046902087	0,75	474,89	30,38097	15,631250
5040	0,2924	0,08909428	0,046934189	0,746	472,36	30,38091	15,547915
5070	0,2946	0,08976462	0,047287319	0,748	473,63	30,38024	15,589942
5100	0,2956	0,09006932	0,047447833	0,75	474,89	30,37993	15,631784
5130	0,2976	0,09067872	0,04776886	0,748	473,63	30,37932	15,590412
5160	0,299	0,0911053	0,047993579	0,748	473,63	30,37889	15,590630
5190	0,2996	0,09128812	0,048089888	0,746	472,36	30,37871	15,549038
5220	0,302	0,0920194	0,04847512	0,748	473,63	30,37798	15,591100
5250	0,3034	0,09244598	0,048699839	0,746	472,36	30,37755	15,549630
5280	0,3052	0,09299444	0,048988764	0,746	472,36	30,37701	15,549911
5310	0,3054	0,09305538	0,049020867	0,738	467,29	30,37694	15,383187
5340	0,307	0,0935429	0,049277689	0,748	473,63	30,37646	15,591882
5370	0,3084	0,09396948	0,049502408	0,74	468,56	30,37603	15,425340
5400	0,3104	0,09457888	0,049823435	0,734	464,76	30,37542	15,300577
5430	0,3116	0,09494452	0,050016051	0,734	464,76	30,37506	15,300761
5490	0,3152	0,09604144	0,0505939	0,734	464,76	30,37396	15,301313
5550	0,3182	0,09695554	0,051075441	0,728	460,96	30,37304	15,176691
5610	0,3204	0,09762588	0,051428571	0,718	454,63	30,37237	14,968551
5640	0,3216	0,09799152	0,051621188	0,702	444,50	30,37201	14,635166



Διάγραμμα 6.7 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

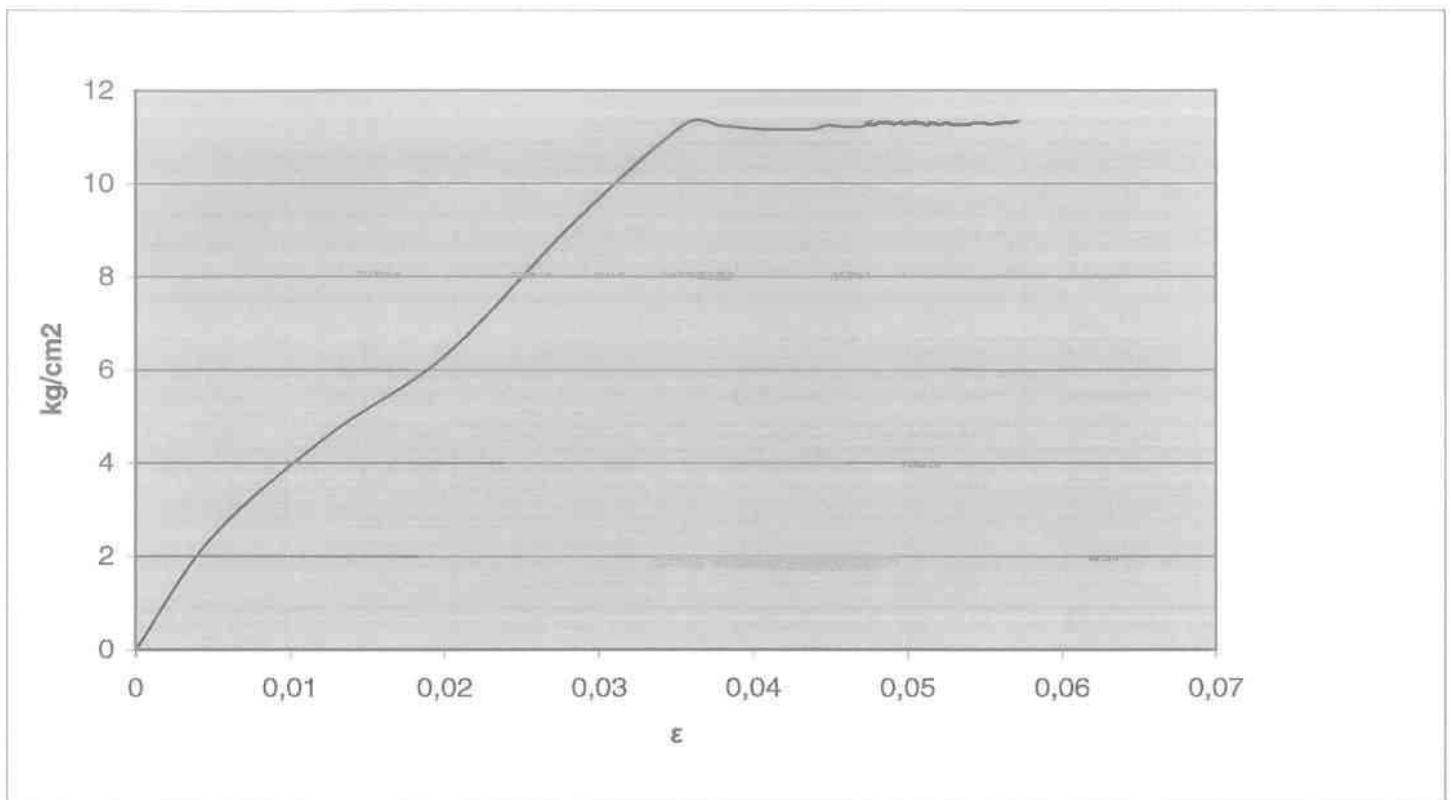


Πίνακας 6.8 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 5)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτρηση  
 Δοκίμιο 5/5 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\varepsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
540	0,0308	0,00938476	0,00494382	0,116	73,450	30,4606	2,41131
1260	0,0772	0,02352284	0,012391653	0,22	139,302	30,4465	4,57530
2070	0,1252	0,03814844	0,020096308	0,304	192,490	30,4319	6,32527
2970	0,1776	0,05411472	0,028507223	0,442	279,870	30,4159	9,20144
3780	0,222	0,0676434	0,035634029	0,542	343,189	30,4024	11,28824
4020	0,2356	0,07178732	0,037817014	0,54	341,923	30,3982	11,24812
4350	0,2538	0,07733286	0,040738363	0,536	339,390	30,3927	11,16683
4710	0,2724	0,08300028	0,043723917	0,536	339,390	30,3870	11,16892
4830	0,279	0,0850113	0,044783307	0,54	341,923	30,3850	11,25301
4980	0,2868	0,08738796	0,046035313	0,538	340,656	30,3826	11,21221
5070	0,2918	0,08891146	0,046837881	0,538	340,656	30,3811	11,21277
5130	0,2934	0,08939898	0,047094703	0,538	340,656	30,3806	11,21295
5160	0,2948	0,08982556	0,047319422	0,54	341,923	30,3802	11,25479
5220	0,2978	0,09073966	0,047800963	0,54	341,923	30,3793	11,25513
5250	0,2996	0,09128812	0,048089888	0,542	343,189	30,3787	11,29702
5280	0,3018	0,09195846	0,048443018	0,542	343,189	30,3780	11,29727
5310	0,303	0,0923241	0,048635634	0,542	343,189	30,3777	11,29741
5340	0,3046	0,09281162	0,048892456	0,542	343,189	30,3772	11,29759
5370	0,306	0,0932382	0,049117175	0,54	341,923	30,3768	11,25606
5400	0,3078	0,09378666	0,0494061	0,542	343,189	30,3762	11,29795
5430	0,3094	0,09427418	0,049662921	0,542	343,189	30,3757	11,29813
5460	0,3102	0,09451794	0,049791332	0,54	341,923	30,3755	11,25653
5490	0,3124	0,09518828	0,050144462	0,542	343,189	30,3748	11,29847
5520	0,3136	0,09555392	0,050337079	0,542	343,189	30,3744	11,29861
5550	0,3154	0,09610238	0,050626003	0,542	343,189	30,3739	11,29881
5580	0,3172	0,09665084	0,050914928	0,542	343,189	30,3733	11,29902
5610	0,3186	0,09707742	0,051139647	0,54	341,923	30,3729	11,25748
5640	0,3202	0,09756494	0,051396469	0,54	341,923	30,3724	11,25766
5670	0,3202	0,09756494	0,051396469	0,542	343,189	30,3724	11,29936
5700	0,322	0,0981134	0,051685393	0,542	343,189	30,3719	11,29956
5730	0,3242	0,09878374	0,052038523	0,54	341,923	30,3712	11,25811
5790	0,3272	0,09969784	0,052520064	0,542	343,189	30,3703	11,30015
5850	0,3298	0,10049006	0,0529374	0,54	341,923	30,3695	11,25875
5910	0,332	0,1011604	0,05329053	0,54	341,923	30,3688	11,25899
5970	0,3354	0,10219638	0,053836276	0,54	341,923	30,3678	11,25938
6030	0,3382	0,10304954	0,054285714	0,542	343,189	30,3670	11,30140
6090	0,342	0,1042074	0,054895666	0,542	343,189	30,3658	11,30183
6150	0,3446	0,10499962	0,055313002	0,54	341,923	30,3650	11,26042
6270	0,35	0,106645	0,056179775	0,542	343,189	30,3634	11,30274
6330	0,3528	0,10749816	0,056629213	0,542	343,189	30,3625	11,30305
6390	0,3566	0,10865602	0,057239165	0,544	344,455	30,3613	11,34519



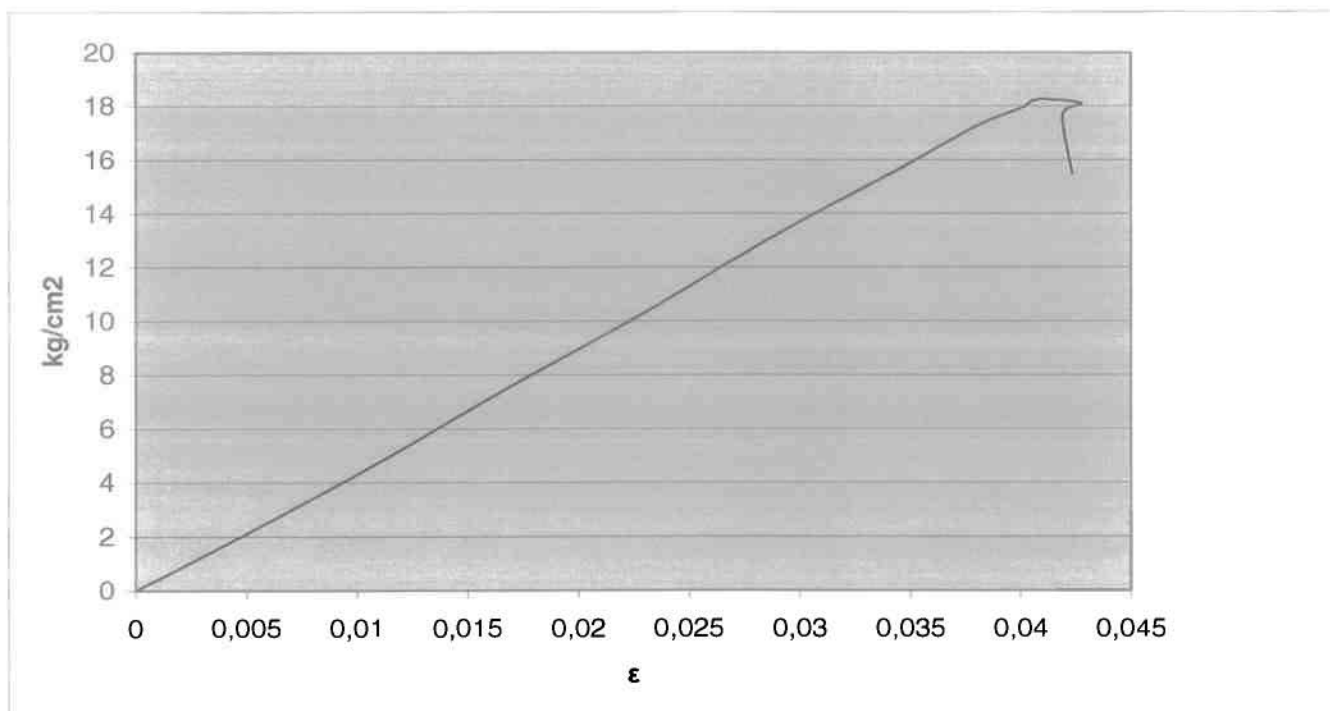
Διάγραμμα 6.8 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 5)

Πίνακας 6.9 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 1/4 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δli (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
450	0,03	0,009141	0,004815409	0,098	62,053	30,4609	2,03713
990	0,0682	0,02078054	0,01094703	0,228	144,367	30,4492	4,74125
1530	0,105	0,0319935	0,016853933	0,362	229,215	30,4380	7,53055
2070	0,1412	0,04302364	0,022664526	0,488	308,997	30,4270	10,15535
2700	0,1816	0,05533352	0,029149278	0,638	403,975	30,4147	13,28225
3240	0,2156	0,06569332	0,034606742	0,754	477,425	30,4043	15,70255
3600	0,2366	0,07209202	0,037977528	0,828	524,281	30,3979	17,24728
3780	0,2476	0,07544372	0,039743178	0,856	542,011	30,3946	17,83249
3810	0,2492	0,07593124	0,04	0,86	544,543	30,3941	17,91611
3840	0,2508	0,07641876	0,040256822	0,876	547,569	30,3936	18,01594
3870	0,2526	0,07696722	0,040545746	0,874	553,408	30,3930	18,20839
3900	0,2536	0,07727192	0,04070626	0,874	553,408	30,3927	18,20857
3930	0,2552	0,07775944	0,040963082	0,888	555,235	30,3922	18,26897
3960	0,2664	0,08117208	0,042760835	0,88	550,124	30,3888	18,10284
3990	0,2612	0,07958764	0,041926164	0,848	536,945	30,3904	17,66824
4020	0,2638	0,08037986	0,042343499	0,744	471,093	30,3896	15,50179



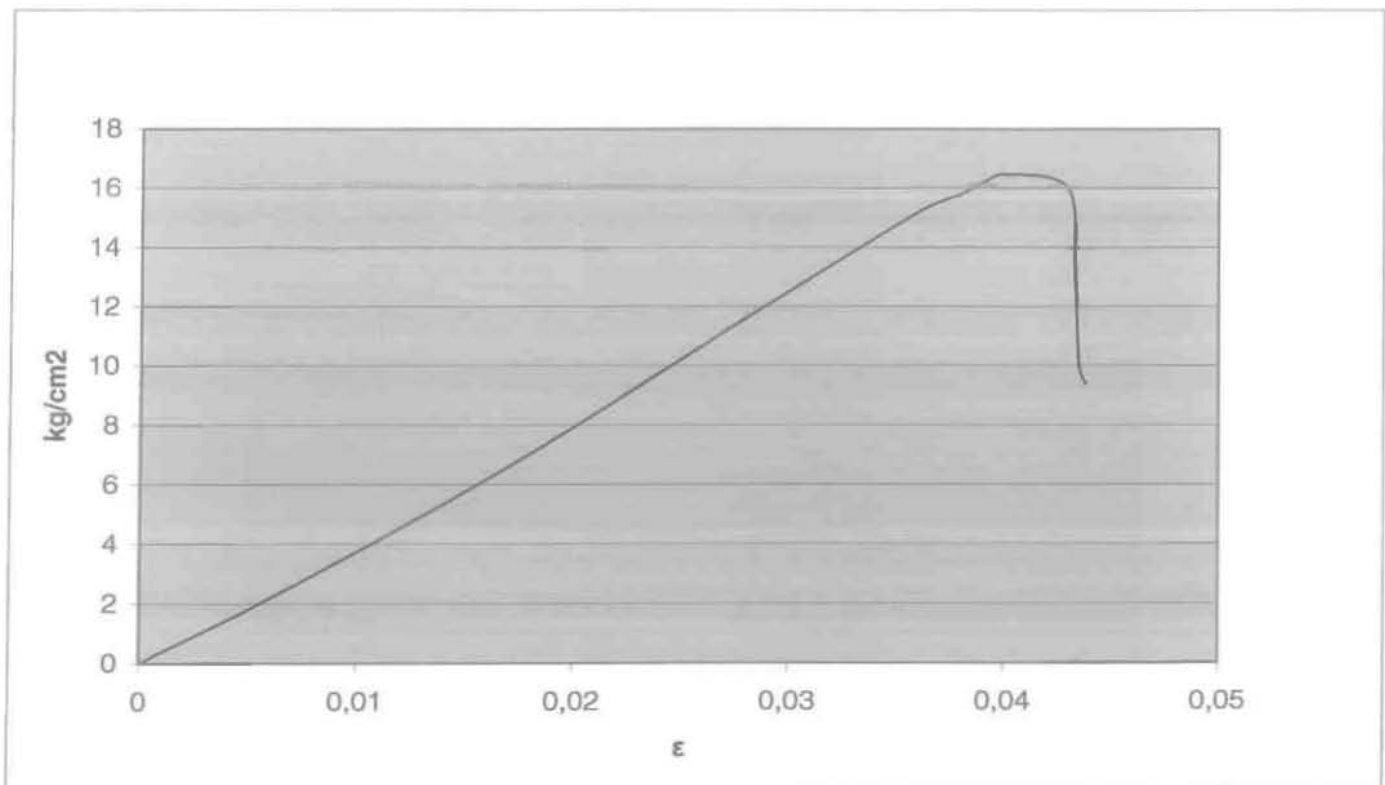
Διάγραμμα 6.9 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 6.10 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 2/4 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_0 - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
720	0,0428	0,01304116	0,006869984	0,12	75,983	30,457	2,495
1800	0,107	0,0326029	0,01717496	0,32	202,621	30,437	6,657
2880	0,1686	0,05137242	0,0270626	0,536	339,390	30,419	11,157
3960	0,2246	0,06843562	0,036051364	0,73	462,229	30,402	15,204
4230	0,2366	0,07209202	0,037977528	0,758	479,958	30,398	15,789
4320	0,2406	0,07331082	0,038619583	0,77	487,556	30,397	16,040
4410	0,2446	0,07452962	0,039261637	0,782	495,155	30,395	16,290
4500	0,2488	0,07580936	0,039935795	0,79	500,220	30,394	16,458
4530	0,2676	0,08153772	0,042953451	0,768	486,290	30,388	16,002
4560	0,2698	0,08220806	0,043306581	0,63	398,910	30,388	13,127
4590	0,271	0,0825737	0,043499197	0,48	303,931	30,387	10,002
4620	0,273	0,0831831	0,043820225	0,45	284,936	30,387	9,377



Διάγραμμα 6.10 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)



Πίνακας 6.11 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο

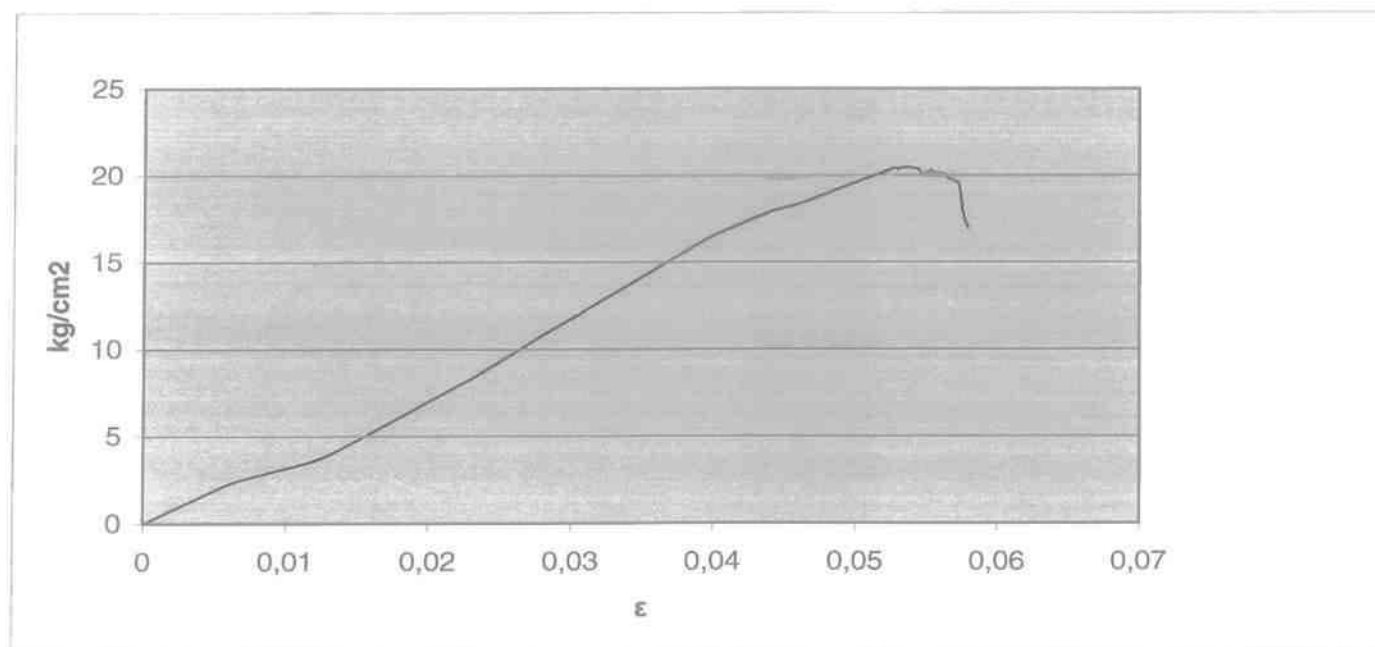
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 3/4 (7 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας Αi=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Αc=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Αc (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
360	0,0292	0,00889724	0,004686998	0,086	54,454	30,461	1,788
1080	0,082	0,0249854	0,013162119	0,192	121,572	30,445	3,993
1620	0,147	0,0447909	0,023595506	0,412	260,874	30,425	8,574
2520	0,2114	0,06441358	0,033932584	0,654	414,106	30,406	13,619
3240	0,2564	0,07812508	0,041155698	0,812	514,150	30,392	16,917
3780	0,2864	0,08726608	0,045971108	0,89	556,513	30,383	18,317
4440	0,322	0,0981134	0,051685393	0,974	610,175	30,372	20,090
4530	0,3254	0,09914938	0,05223114	0,982	615,286	30,371	20,259
4560	0,3278	0,09988066	0,052616372	0,988	619,119	30,370	20,386
4590	0,3294	0,10036818	0,052873194	0,988	619,119	30,370	20,386
4620	0,33	0,100551	0,052969502	0,984	616,564	30,369	20,302
4650	0,3306	0,10073382	0,053065811	0,988	619,119	30,369	20,386
4680	0,333	0,1014651	0,053451043	0,99	620,397	30,369	20,429
4710	0,3346	0,10195262	0,053707865	0,99	620,397	30,368	20,429
4740	0,3356	0,10225732	0,053868379	0,99	620,397	30,368	20,429
4770	0,3374	0,10280578	0,054157303	0,988	619,119	30,367	20,388
4800	0,339	0,1032933	0,054414125	0,986	617,841	30,367	20,346
4920	0,3458	0,10536526	0,055505618	0,974	610,175	30,365	20,095
4980	0,3492	0,10640124	0,056051364	0,972	608,897	30,364	20,054
5040	0,352	0,1072544	0,056500803	0,962	602,509	30,363	19,844
5100	0,3552	0,10822944	0,057014446	0,952	596,121	30,362	19,634



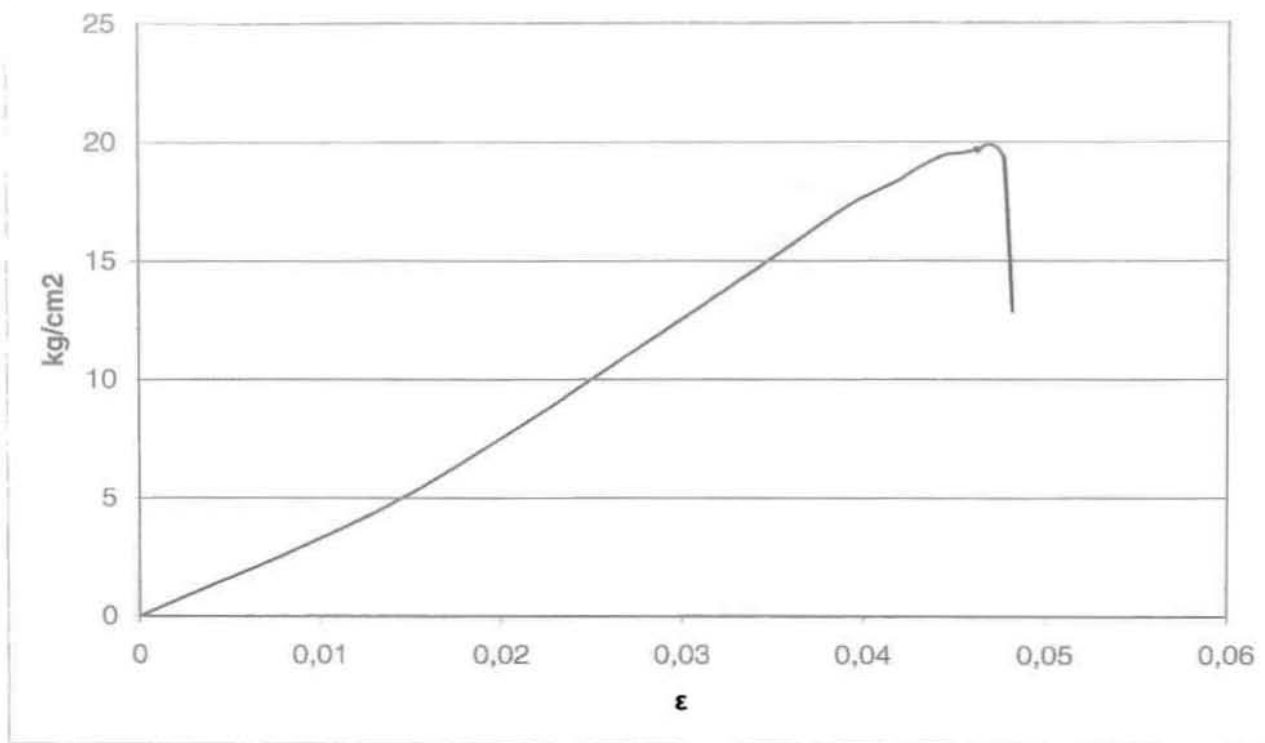
Διάγραμμα 6.11 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 6.12 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 4/4 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
360	0,022	0,0067034	0,0035313	0,056	35,4586	30,4633	1,1640
900	0,0532	0,01621004	0,008539326	0,134	84,8475	30,4538	2,7861
1620	0,0928	0,02827616	0,014895666	0,248	157,0311	30,4417	5,1584
2520	0,1418	0,04320646	0,022760835	0,426	269,7389	30,4268	8,8652
2700	0,1518	0,04625346	0,024365971	0,466	295,0665	30,4237	9,6986
3600	0,1974	0,06014778	0,031685393	0,644	407,7744	30,4099	13,4093
4140	0,222	0,0676434	0,035634029	0,742	469,8270	30,4024	15,4536
4680	0,244	0,0743468	0,039165329	0,832	526,8141	30,3957	17,3319
5130	0,2598	0,07916106	0,041701445	0,89	556,5126	30,3908	18,3119
5400	0,2682	0,08172054	0,043049759	0,92	575,6778	30,3883	18,9441
5670	0,2764	0,08421908	0,044365971	0,944	591,0100	30,3858	19,4502
5940	0,283	0,0862301	0,045425361	0,948	593,5653	30,3838	19,5356
6060	0,2878	0,08769266	0,046195827	0,956	598,6760	30,3823	19,7048
6090	0,2872	0,08750984	0,046099518	0,958	599,9537	30,3825	19,7467
6120	0,2878	0,08769266	0,046195827	0,95	594,8430	30,3823	19,5786
6180	0,2894	0,08818018	0,046452648	0,96	601,2314	30,3818	19,7892
6210	0,291	0,0886677	0,04670947	0,964	603,7868	30,3813	19,8736
6240	0,292	0,0889724	0,046869984	0,964	603,7868	30,3810	19,8738
6270	0,2924	0,08909428	0,046934189	0,964	603,7868	30,3809	19,8739
6300	0,2936	0,08945992	0,047126806	0,962	602,5091	30,3805	19,8321
6330	0,2946	0,08976462	0,047287319	0,958	599,9537	30,3802	19,7482
6360	0,297	0,0904959	0,047672552	0,934	584,6216	30,3795	19,2439
6390	0,3	0,09141	0,048154093	0,618	391,3114	30,3786	12,8812



Διάγραμμα 6.12 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

Πίνακας 6.14 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο

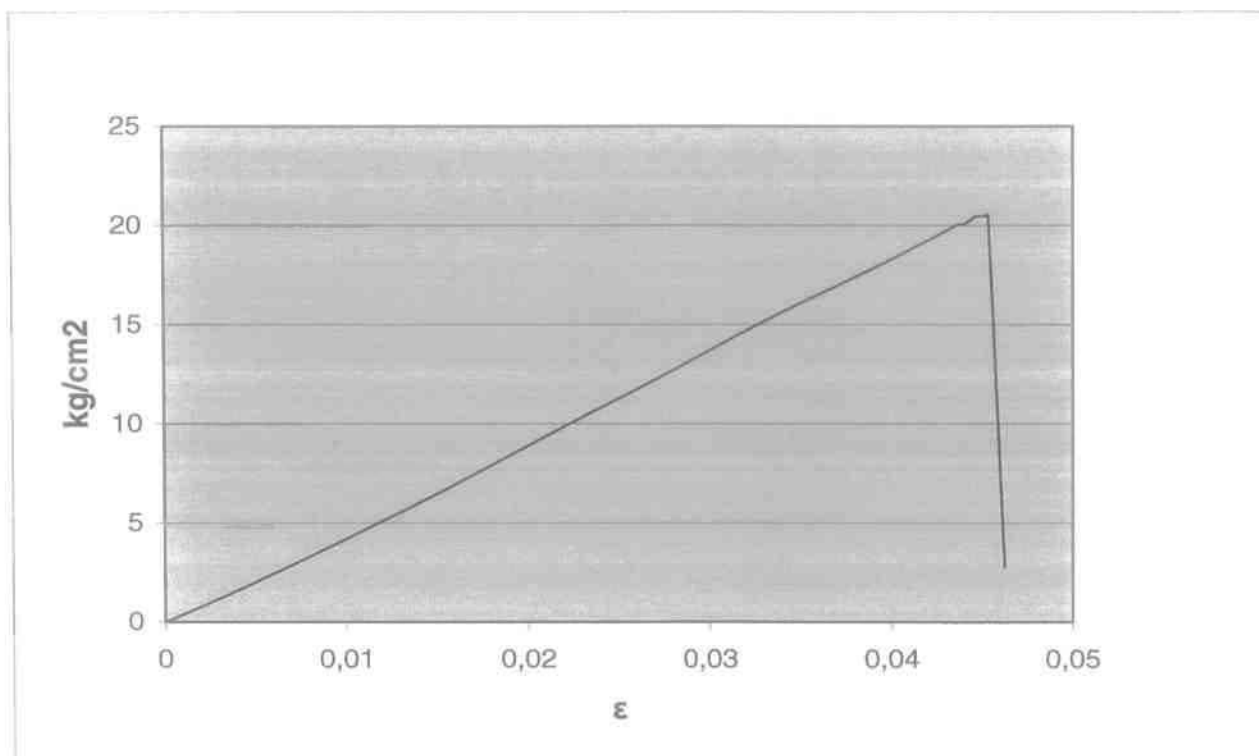
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 1/5 (7 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta li$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta li/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,0002	0,00006094	3,21027E-05	0	0	30,46994	0
630	0,0328	0,00999416	0,005264848	0,102	64,585	30,46001	2,12033
1350	0,091	0,0277277	0,014606742	0,302	191,223	30,44227	6,28151
2250	0,1366	0,04162202	0,021926164	0,472	298,866	30,42838	9,82194
2970	0,1686	0,05137242	0,0270626	0,588	372,316	30,41863	12,23973
3870	0,2064	0,06289008	0,033130016	0,73	462,229	30,40711	15,20134
4590	0,2322	0,07075134	0,037271268	0,818	517,949	30,39925	17,03823
5130	0,2472	0,07532184	0,039678973	0,87	550,875	30,39468	18,12407
5580	0,2662	0,08111114	0,042728732	0,95	594,843	30,38889	19,57436
5700	0,2714	0,08269558	0,043563403	0,97	607,620	30,38730	19,99584
5730	0,2742	0,08354874	0,044012841	0,972	608,897	30,38645	20,03845
5760	0,2744	0,08360968	0,044044944	0,974	610,175	30,38639	20,08054
5790	0,2772	0,08446284	0,044494382	0,986	617,841	30,38554	20,33340
5820	0,2774	0,08452378	0,044526485	0,99	620,397	30,38548	20,41754
5850	0,279	0,0850113	0,044783307	0,992	621,674	30,38499	20,45991
5880	0,281	0,0856207	0,045104334	0,992	621,674	30,38438	20,46033
5910	0,2824	0,08604728	0,045329053	0,994	622,952	30,38395	20,50266
5940	0,288	0,0877536	0,046227929	0,134	84,847	30,38225	2,79267



Διάγραμμα 6.14 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

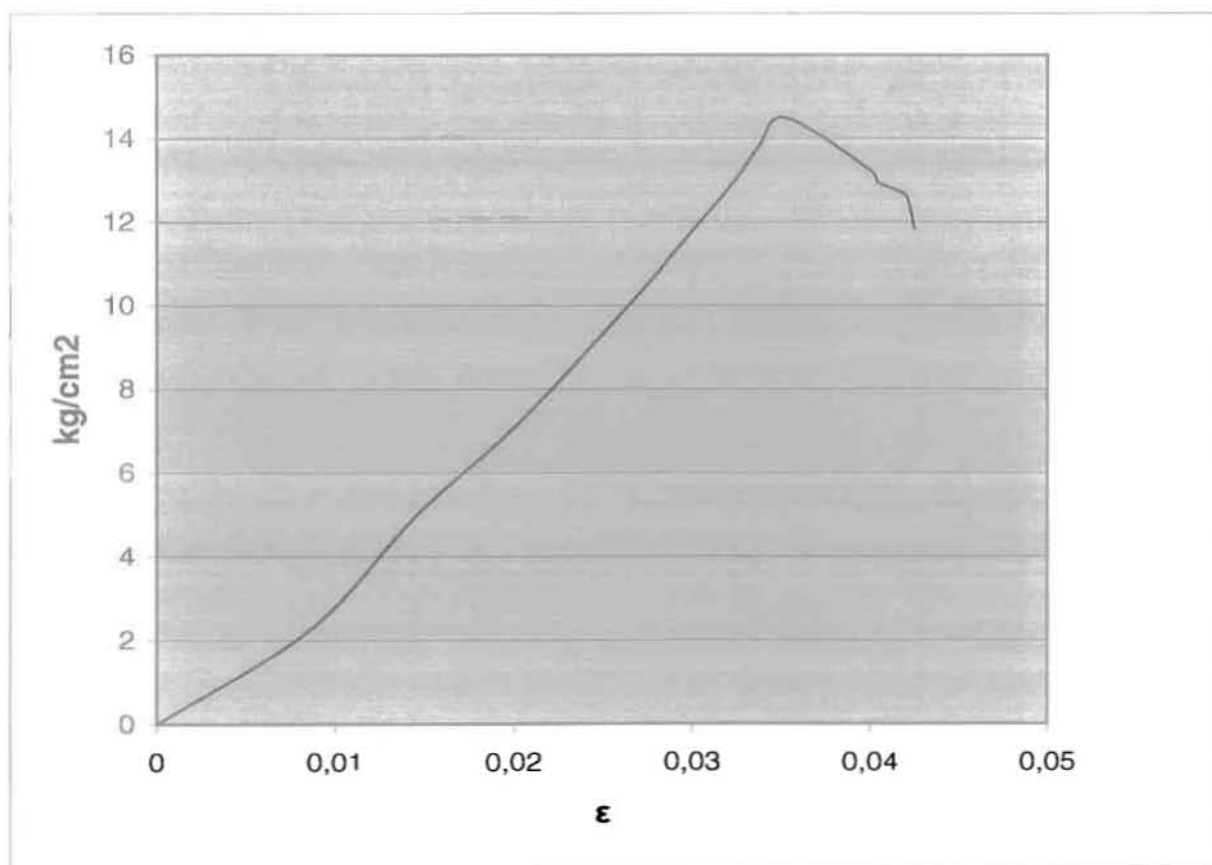


Πίνακας 6.15 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 2/5 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας Ai=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Ac=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Ac (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
480	0,054	0,0164538	0,008667737	0,11	69,65	30,4535	2,28712
960	0,0902	0,02748394	0,014478331	0,238	150,70	30,4425	4,95029
1440	0,1258	0,03833126	0,020192616	0,344	217,82	30,4317	7,15759
1920	0,1646	0,05015362	0,026420546	0,48	303,93	30,4198	9,99121
2160	0,185	0,0563695	0,029695024	0,558	353,32	30,4136	11,61716
2340	0,2016	0,06142752	0,032359551	0,622	393,84	30,4086	12,95175
2460	0,2102	0,06404794	0,033739968	0,662	419,17	30,4060	13,78585
2580	0,2198	0,06697306	0,035280899	0,696	440,70	30,4030	14,49528
2610	0,2498	0,07611406	0,040096308	0,634	401,44	30,3939	13,20800
2640	0,2516	0,07666252	0,040385233	0,622	393,84	30,3933	12,95824
2670	0,254	0,0773938	0,040770465	0,618	391,31	30,3926	12,87522
2730	0,2586	0,07879542	0,041508828	0,612	387,51	30,3912	12,75080
2790	0,2622	0,07989234	0,042086677	0,604	382,45	30,3901	12,58458
2850	0,2648	0,08068456	0,042504013	0,568	359,65	30,3893	11,83481



Διάγραμμα 6.15 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 6.16 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο

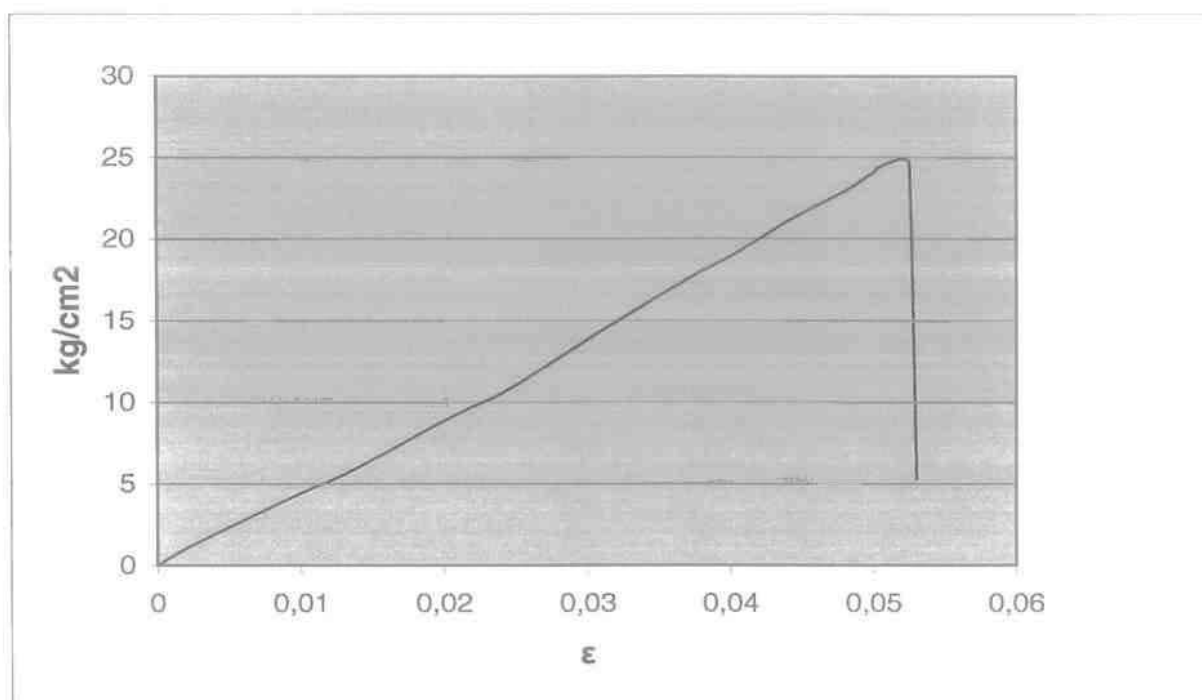
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 3/5 (7 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta Li$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta Li / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
360	0,0128	0,00390016	0,002054575	0,052	32,93	30,466100	1,080738
1080	0,0602	0,01834294	0,009662921	0,206	130,44	30,451657	4,283417
1440	0,0832	0,02535104	0,013354735	0,274	173,49	30,444649	5,698672
2160	0,1276	0,03887972	0,020481541	0,436	276,07	30,431120	9,071991
2520	0,1532	0,04668004	0,02459069	0,52	329,26	30,423320	10,822580
3240	0,196	0,0597212	0,031460674	0,702	444,50	30,410279	14,616748
3960	0,2344	0,07142168	0,037624398	0,856	542,01	30,398578	17,830131
4320	0,2504	0,07629688	0,040192616	0,922	576,96	30,393703	18,982731
5040	0,2766	0,08428002	0,044398074	1,03	645,95	30,385720	21,258348
5760	0,2994	0,09122718	0,048057785	1,11	697,06	30,378773	22,945542
6060	0,308	0,0938476	0,049438202	1,148	721,33	30,376152	23,746698
6180	0,3114	0,09488358	0,049983949	1,162	730,28	30,375116	24,041952
6240	0,3134	0,09549298	0,050304976	1,176	739,22	30,374507	24,336884
6300	0,3164	0,09640708	0,050786517	1,186	745,61	30,373593	24,547943
6330	0,3184	0,09701648	0,051107544	1,192	749,44	30,372984	24,674635
6360	0,321	0,0978087	0,05152488	1,198	753,28	30,372191	24,801481
6390	0,3228	0,09835716	0,051813804	1,202	755,83	30,371643	24,886065
6420	0,3242	0,09878374	0,052038523	1,202	755,83	30,371216	24,886415
6450	0,3272	0,09969784	0,052520064	1,19	748,16	30,370302	24,634743
6480	0,3302	0,10061194	0,053001605	0,254	160,83	30,369388	5,295802



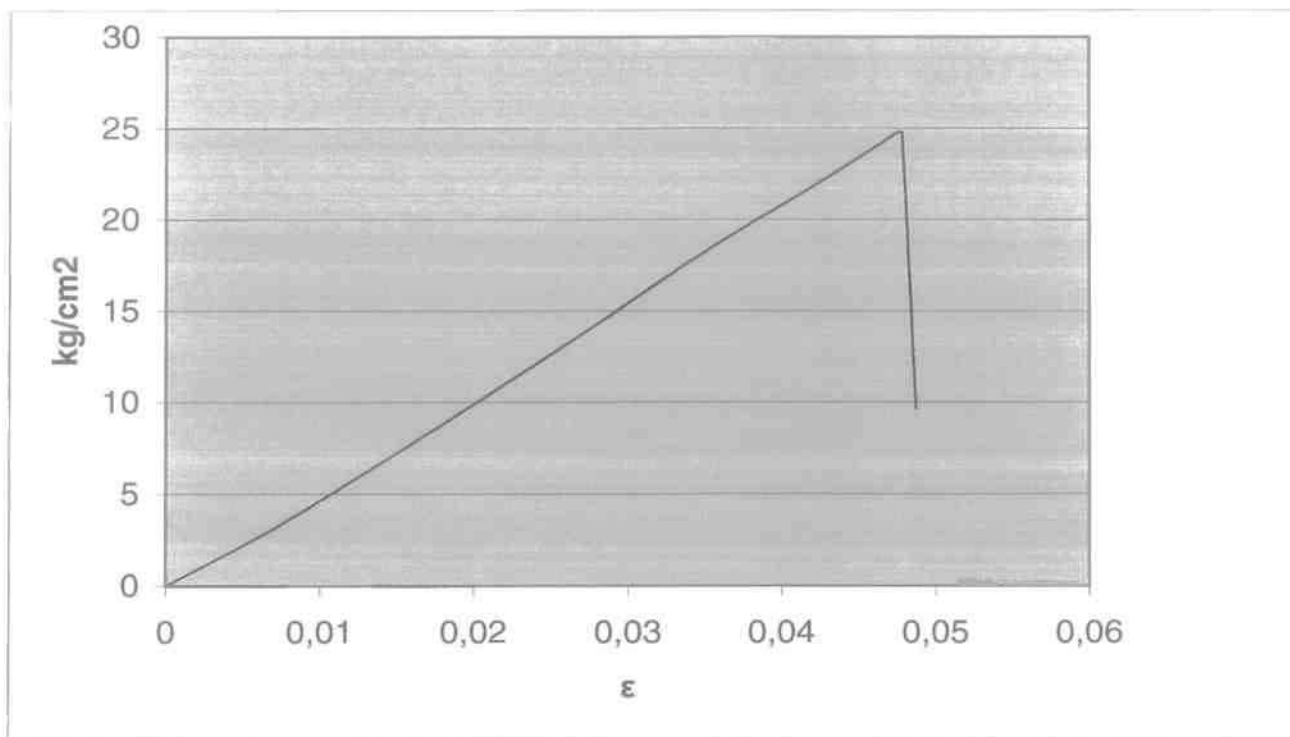
Διάγραμμα 6.16 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 6.17 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 4/5 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A\sigma-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
540	0,0372	0,01133484	0,005971108	0,126	79,78	30,458665	2,619351
900	0,0618	0,01883046	0,009919743	0,22	139,30	30,451170	4,574596
1620	0,1118	0,03406546	0,017945425	0,422	267,21	30,435935	8,779299
2520	0,1708	0,05204276	0,02741573	0,67	424,24	30,417957	13,946936
3240	0,216	0,0658152	0,034670947	0,866	548,34	30,404185	18,035101
4140	0,2636	0,08031892	0,042311396	1,062	666,39	30,389681	21,928268
4950	0,291	0,0886677	0,04670947	1,174	737,94	30,381332	24,289361
5040	0,2916	0,08885052	0,046805778	1,178	740,50	30,381149	24,373618
5130	0,294	0,0895818	0,047191011	1,188	746,89	30,380418	24,584484
5160	0,2948	0,08982556	0,047319422	1,192	749,44	30,380174	24,668794
5190	0,2954	0,09000838	0,04741573	1,194	750,72	30,379992	24,711000
5220	0,296	0,0901912	0,047512039	1,196	752,00	30,379809	24,753205
5250	0,297	0,0904959	0,047672552	1,198	753,28	30,379504	24,795511
5280	0,298	0,0908006	0,047833066	1,194	750,72	30,379199	24,711644
5310	0,3034	0,09244598	0,048699839	0,462	292,53	30,377554	9,629932



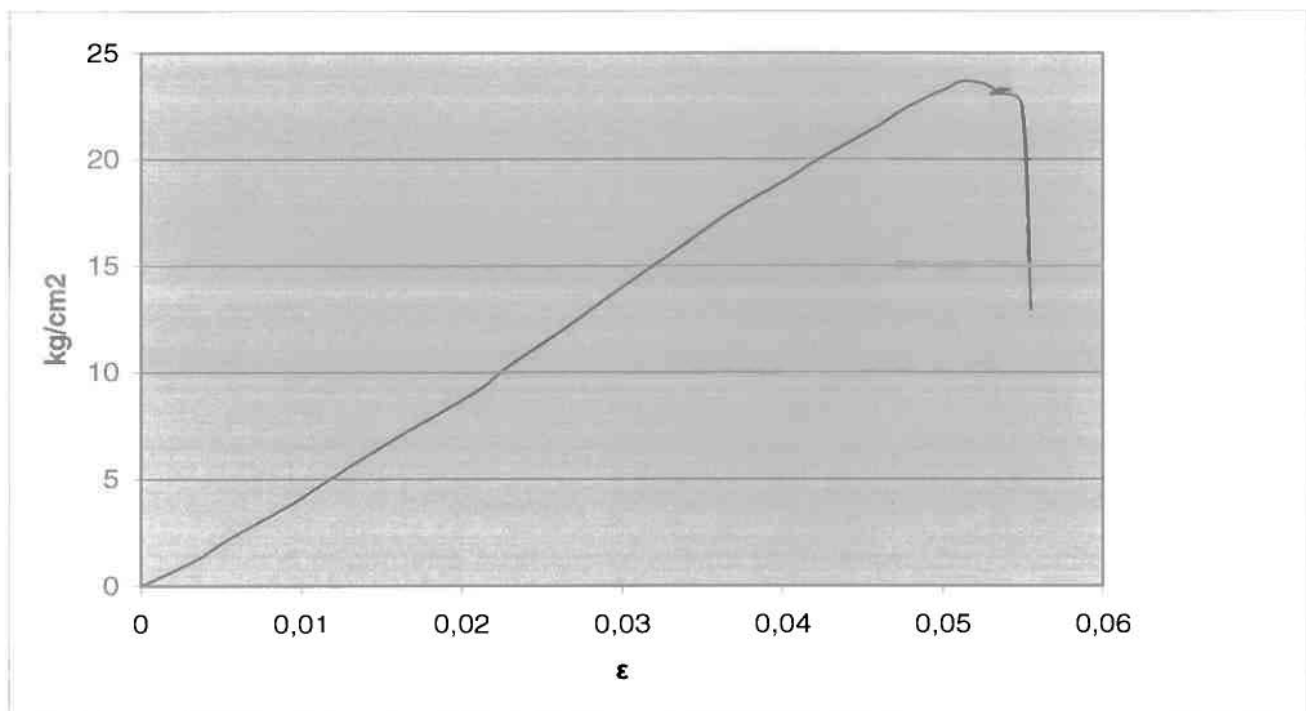
Διάγραμμα 6.17 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

Πίνακας 6.18 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 5)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 5/5 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας Αi=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Αc=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Αc (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
540	0,0336	0,01023792	0,005393258	0,104	65,85	30,45976	2,161926
1080	0,0706	0,02151182	0,011332263	0,23	145,63	30,44849	4,782953
1620	0,1072	0,03266384	0,017207063	0,36	227,95	30,43734	7,489105
2160	0,1422	0,04332834	0,02282504	0,492	311,53	30,42667	10,238697
2880	0,1858	0,05661326	0,029823435	0,668	422,97	30,41339	13,907393
3600	0,2284	0,06959348	0,036661316	0,838	530,61	30,40041	17,454149
4140	0,2618	0,07977046	0,042022472	0,964	603,79	30,39023	19,867792
4680	0,2966	0,09037402	0,047608347	1,082	679,17	30,37963	22,356097
4860	0,3084	0,09396948	0,049502408	1,116	700,89	30,37603	23,073800
4950	0,312	0,0950664	0,050080257	1,124	706,00	30,37493	23,242887
5040	0,3178	0,09683366	0,051011236	1,142	717,50	30,37317	23,622834
5130	0,3218	0,09805246	0,051653291	1,144	718,78	30,37195	23,665850
5190	0,3262	0,09939314	0,052359551	1,14	716,22	30,37061	23,582756
5250	0,3284	0,10006348	0,052712681	1,136	713,67	30,36994	23,499135
5280	0,3312	0,10091664	0,053162119	1,126	707,28	30,36908	23,289437
5340	0,3332	0,10152604	0,053483146	1,126	707,28	30,36847	23,289904
5400	0,3376	0,10286672	0,054189406	1,124	706,00	30,36713	23,248858
5460	0,342	0,1042074	0,054895666	1,094	686,84	30,36579	22,618740



Διάγραμμα 6.18 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 5)

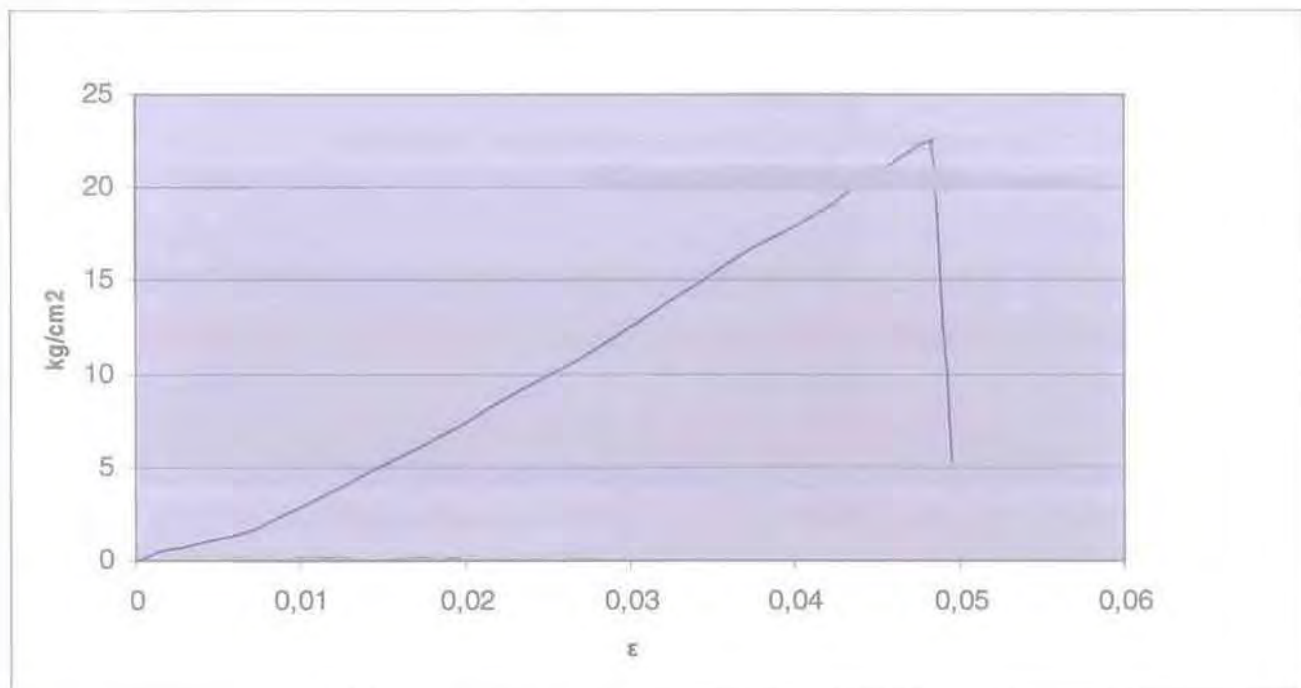


Πίνακας 6.19 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 1/3 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας Αi=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Αc=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Αc (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0,0006	0,00018282	9,63082E-05	0	0	30,47000	0
180	0,0118	0,00359546	0,001894061	0,026	16,463	30,46640	0,54036
1260	0,0922	0,02809334	0,014799358	0,238	150,699	30,44191	4,95039
2340	0,1686	0,05137242	0,0270626	0,524	331,792	30,41863	10,90751
3060	0,2134	0,06502298	0,034253612	0,716	453,364	30,40498	14,91085
3780	0,2536	0,07727192	0,04070626	0,89	556,513	30,39273	18,31072
4500	0,287	0,0874489	0,046067416	1,036	649,783	30,38255	21,38672
4770	0,2972	0,09055684	0,047704655	1,08	677,892	30,37944	22,31417
4800	0,2978	0,09073966	0,047800963	1,08	677,892	30,37926	22,31431
4830	0,2994	0,09122718	0,048057785	1,086	681,725	30,37877	22,44084
4860	0,3004	0,09153188	0,048218299	1,088	683,003	30,37847	22,48313
4890	0,3018	0,09195846	0,048443018	1,09	684,281	30,37804	22,52550
4920	0,3014	0,09183658	0,048378812	1,094	686,836	30,37816	22,60953
4950	0,3086	0,09403042	0,04953451	0,254	160,830	30,37597	5,29465



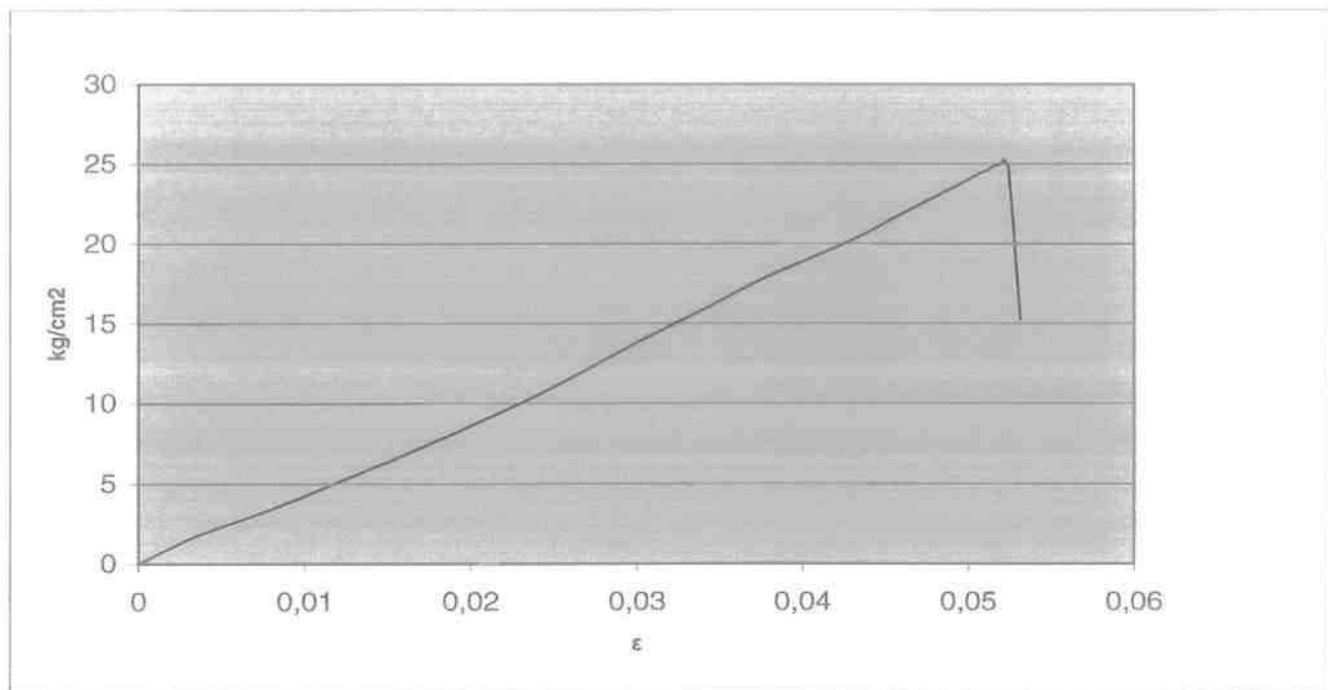
Διάγραμμα 6.19 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 6.20 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 2/3 (7 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔL (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας A <sub>i</sub> =D*ΔL <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=ΔL <sub>i</sub> /D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια A <sub>c</sub> =A <sub>s</sub> -A <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/A <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
360	0,0214	0,00652058	0,003434992	0,082	51,92	30,46348	1,704388
1080	0,0752	0,02291344	0,012070626	0,246	155,76	30,44709	5,115916
1800	0,1232	0,03753904	0,019775281	0,408	258,34	30,43246	8,489012
2520	0,17	0,051799	0,027287319	0,59	373,58	30,41820	12,281532
3240	0,213	0,0649011	0,034189406	0,766	485,02	30,40510	15,952046
3960	0,2544	0,07751568	0,040834671	0,934	584,62	30,39248	19,235728
4680	0,2846	0,08671762	0,045682183	1,05	658,73	30,38328	21,680574
5400	0,3066	0,09342102	0,049213483	1,14	716,22	30,37658	23,578119
5760	0,316	0,0962852	0,050722311	1,18	741,78	30,37371	24,421649
5850	0,3182	0,09695554	0,051075441	1,186	745,61	30,37304	24,548387
5940	0,3202	0,09756494	0,051396469	1,196	752,00	30,37244	24,759215
5970	0,3216	0,09799152	0,051621188	1,202	755,83	30,37201	24,885765
6000	0,3232	0,09847904	0,05187801	1,206	758,39	30,37152	24,970302
6030	0,3238	0,09866186	0,051974318	1,208	759,66	30,37134	25,012521
6060	0,3248	0,09896656	0,052134831	1,21	760,94	30,37103	25,054841
6090	0,3244	0,09884468	0,052070626	1,218	766,05	30,37116	25,223015



Διάγραμμα 6.20 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 6.21 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο

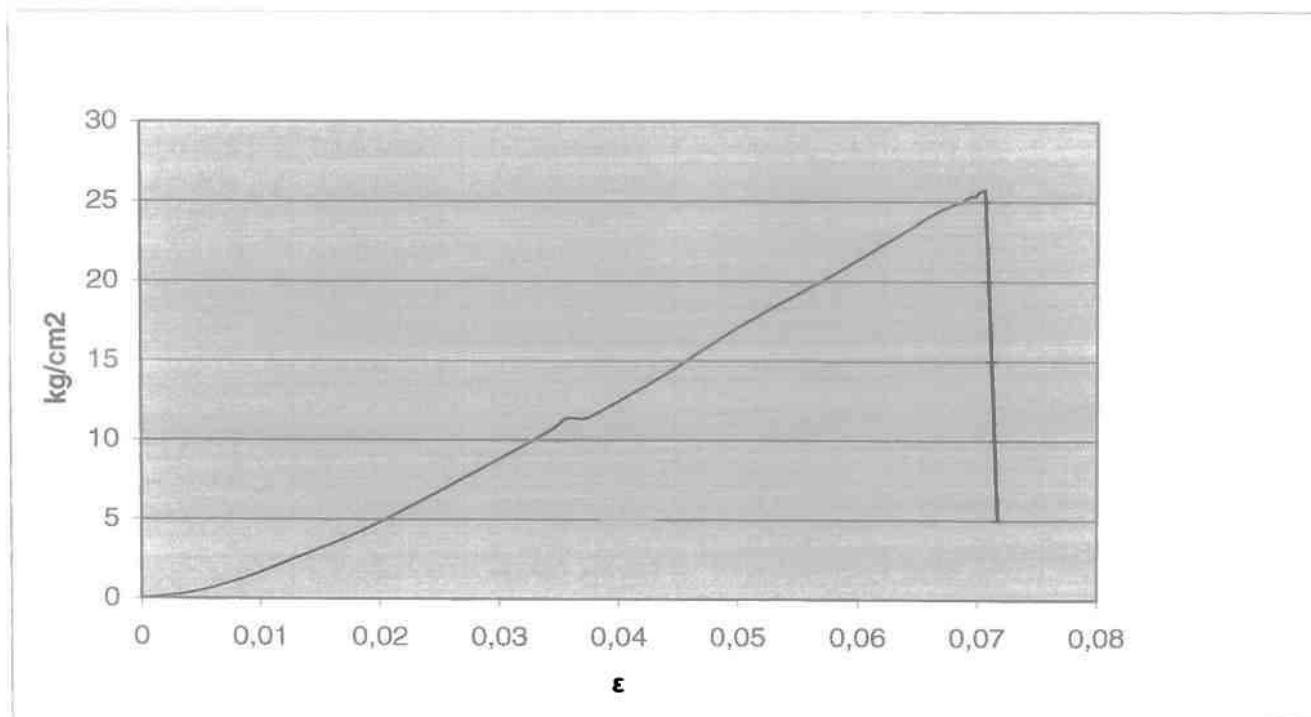
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 3/3 (7 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\varepsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
720	0,0548	0,01669756	0,008796148	0,064	40,52	30,4533	1,330698
1800	0,1338	0,04076886	0,021476726	0,258	163,36	30,4292	5,368621
3000	0,222	0,0676434	0,035634029	0,544	344,46	30,4024	11,329890
3660	0,2724	0,08300028	0,043723917	0,674	426,77	30,3870	14,044495
4740	0,3538	0,10780286	0,056789727	0,964	603,79	30,3622	19,886135
5820	0,4156	0,12663332	0,06670947	1,176	739,22	30,3434	24,361860
5970	0,4242	0,12925374	0,068089888	1,198	753,28	30,3407	24,827185
6060	0,4284	0,13053348	0,068764045	1,204	757,11	30,3395	24,954571
6120	0,433	0,1319351	0,069502408	1,222	768,61	30,3381	25,334756
6150	0,4344	0,13236168	0,069727127	1,22	767,33	30,3376	25,292997
6180	0,4358	0,13278826	0,069951846	1,228	772,44	30,3372	25,461817
6210	0,437	0,1331539	0,070144462	1,234	776,27	30,3368	25,588473
6240	0,4374	0,13327578	0,070208668	1,236	777,55	30,3367	25,630692
6270	0,4398	0,13400706	0,0705939	1,238	778,83	30,3360	25,673428
6300	0,4466	0,13607902	0,071685393	0,242	153,23	30,3339	5,051506



Διάγραμμα 6.21 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

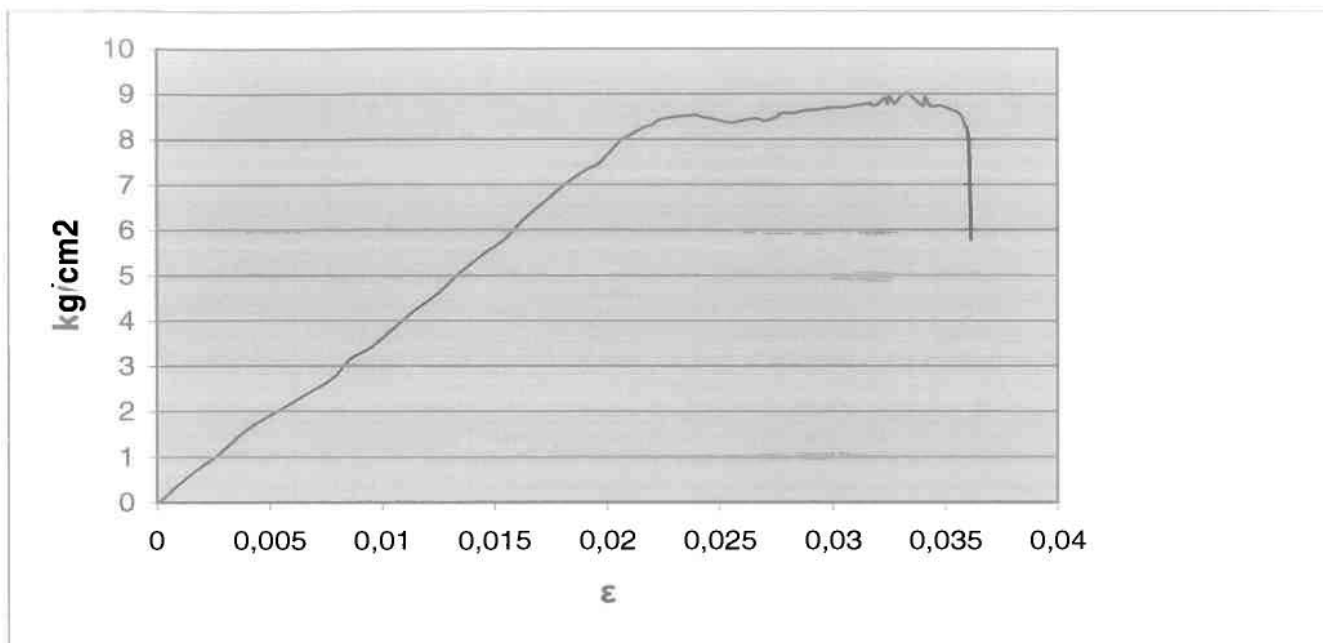
Πίνακας 6.22 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτρηση  
 Δοκίμιο 1/3 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta li$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta li/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
300	0,0056	0,00170632	0,000898876	0,018	11,397	30,46829	0,374075
660	0,0238	0,00725186	0,003820225	0,074	46,856	30,46275	1,538143
1020	0,042	0,0127974	0,006741573	0,116	73,450	30,45720	2,411582
1380	0,0592	0,01803824	0,009502408	0,164	103,843	30,45196	3,410065
1740	0,078	0,0237666	0,012520064	0,222	140,568	30,44623	4,616932
2160	0,0962	0,02931214	0,015441413	0,278	176,027	30,44069	5,782616
2520	0,1134	0,03455298	0,018202247	0,338	214,018	30,43545	7,031874
2880	0,128	0,0390016	0,020545746	0,382	241,879	30,43100	7,948427
3030	0,1352	0,04119544	0,021701445	0,398	252,010	30,42880	8,281943
3210	0,1482	0,04515654	0,023788122	0,41	259,608	30,42484	8,532760
3330	0,1542	0,04698474	0,024751204	0,406	257,075	30,42302	8,450022
3450	0,1594	0,04856918	0,025585875	0,402	254,542	30,42143	8,367206
3570	0,1668	0,05082396	0,026773676	0,406	257,075	30,41918	8,451088
3690	0,1716	0,05228652	0,027544141	0,408	258,342	30,41771	8,493128
3810	0,1766	0,05381002	0,028346709	0,412	260,874	30,41619	8,576823
3930	0,183	0,0557601	0,029373997	0,416	263,407	30,41424	8,660648
4050	0,1886	0,05746642	0,030272873	0,418	264,673	30,41253	8,702774
4170	0,193	0,0588071	0,030979133	0,42	265,940	30,41119	8,744800
4260	0,1976	0,06020872	0,031717496	0,422	267,206	30,40979	8,786847
4320	0,1996	0,06081812	0,032038523	0,422	267,206	30,40918	8,787023
4380	0,2022	0,06161034	0,032455859	0,422	267,206	30,40839	8,787252
4440	0,2042	0,06221974	0,032776886	0,422	267,206	30,40778	8,787428
4470	0,206	0,0627682	0,033065811	0,43	272,272	30,40723	8,954176
4500	0,208	0,0633776	0,033386838	0,432	273,538	30,40662	8,996003
4530	0,2118	0,06453546	0,03399679	0,42	265,940	30,40546	8,746448
4560	0,2124	0,06471828	0,034093098	0,428	271,005	30,40528	8,913100
4590	0,2128	0,06484016	0,034157303	0,428	271,005	30,40516	8,913136
4620	0,214	0,0652058	0,03434992	0,42	265,940	30,40479	8,746640
4650	0,2162	0,06587614	0,03470305	0,42	265,940	30,40412	8,746833
4680	0,217	0,0661199	0,034831461	0,42	265,940	30,40388	8,746903
4710	0,2196	0,06691212	0,035248796	0,416	263,407	30,40309	8,663825
4740	0,222	0,0676434	0,035634029	0,412	260,874	30,40236	8,580726
4770	0,2234	0,06806998	0,035858748	0,402	254,542	30,40193	8,372573
4800	0,2246	0,06843562	0,036051364	0,384	243,145	30,40156	7,997778
4830	0,2252	0,06861844	0,036147673	0,278	176,027	30,40138	5,790093





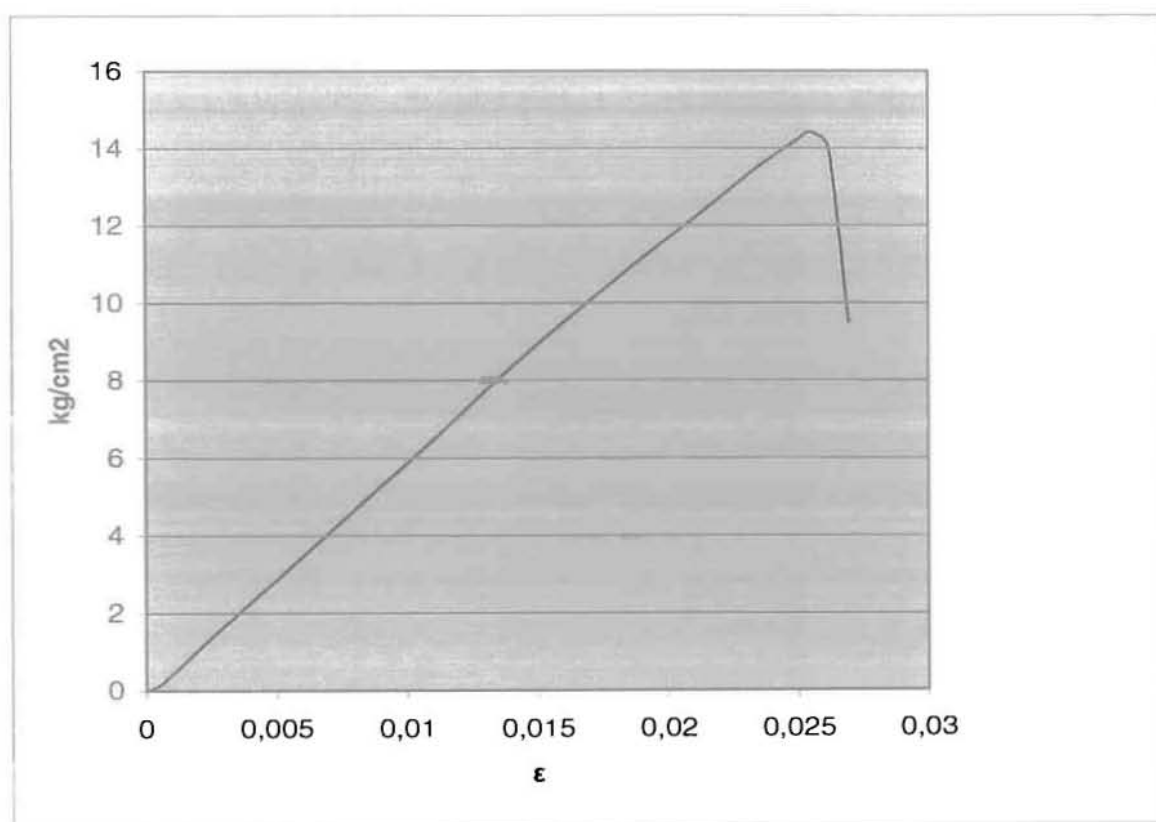
Διάγραμμα 6.22 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 6.23 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 2/3 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
180	0,0036	0,00109692	0,000577849	0,008	5,066	30,468903	0,1662521
360	0,0174	0,00530178	0,002792937	0,074	46,856	30,464698	1,5380444
540	0,034	0,0103598	0,005457464	0,15	94,979	30,459640	3,1181754
720	0,0528	0,01608816	0,00847512	0,238	150,699	30,453912	4,9484356
900	0,0688	0,02096336	0,011043339	0,312	197,555	30,449037	6,4880634
1080	0,0844	0,02571668	0,013547352	0,388	245,678	30,444283	8,0697488
1260	0,0996	0,03034812	0,015987159	0,456	288,735	30,439652	9,4854777
1440	0,1152	0,03510144	0,018491172	0,522	330,525	30,434899	10,8600717
1620	0,1312	0,03997664	0,02105939	0,586	371,049	30,430023	12,1935279
1800	0,1456	0,04436432	0,023370787	0,646	409,041	30,425636	13,4439505
1890	0,1544	0,04704568	0,024783307	0,678	429,303	30,422954	14,1111483
1920	0,1566	0,04771602	0,025136437	0,686	434,368	30,422284	14,2779661
1950	0,159	0,0484473	0,025521669	0,692	438,167	30,421553	14,4031925
1980	0,163	0,0496661	0,026163724	0,674	426,770	30,420334	14,0291051
2010	0,1678	0,05112866	0,026934189	0,456	288,735	30,418871	9,4919577



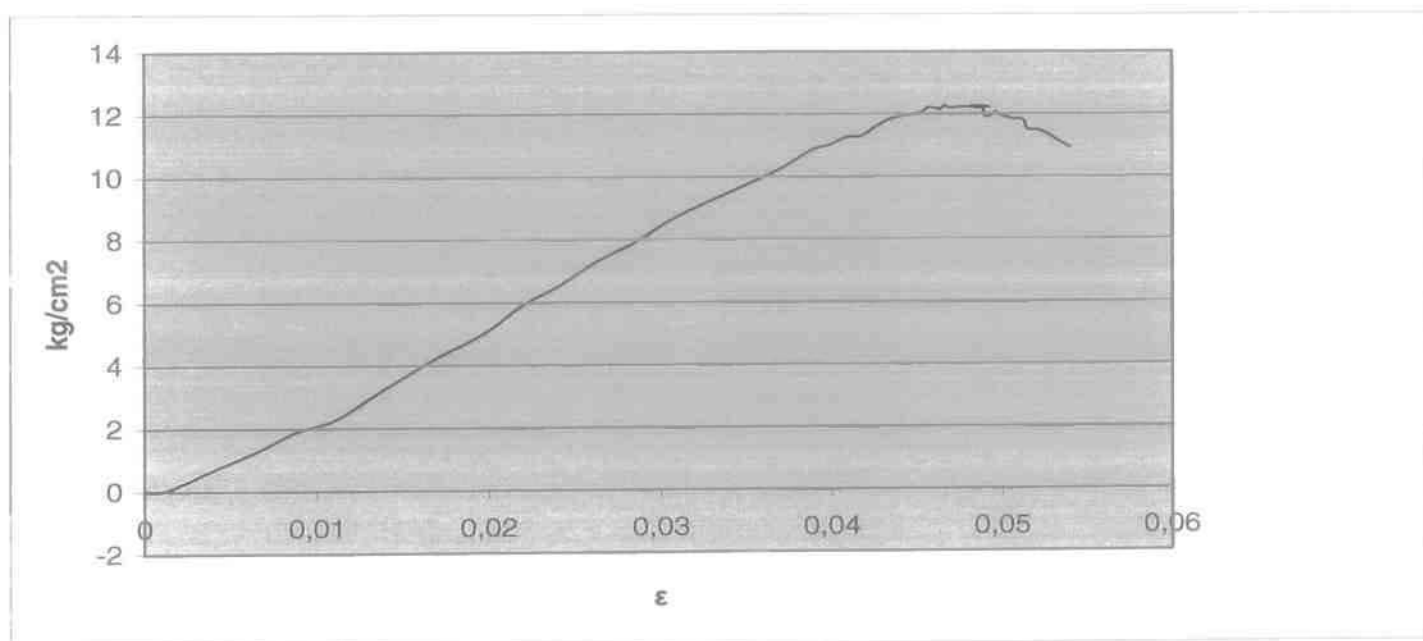
Διάγραμμα 6.23 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 6.24 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 3/3 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_s-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
660	0,0412	0,01255364	0,006613162	0,062	39,26	30,45745	1,288939
1380	0,086	0,0262042	0,013804173	0,154	97,51	30,44380	3,202993
2220	0,1372	0,04180484	0,022022472	0,284	179,83	30,42820	5,909846
2940	0,178	0,0542366	0,028571429	0,38	240,61	30,41576	7,910773
3720	0,2196	0,06691212	0,035248796	0,47	297,60	30,40309	9,788456
4260	0,2484	0,07568748	0,039871589	0,528	334,32	30,39431	10,999568
4620	0,266	0,0810502	0,042696629	0,558	353,32	30,38895	11,626595
4980	0,2814	0,08574258	0,045168539	0,576	364,72	30,38426	12,003500
5220	0,2868	0,08738796	0,046035313	0,584	369,78	30,38261	12,170875
5280	0,2884	0,08787548	0,046292135	0,584	369,78	30,38212	12,171070
5340	0,2884	0,08787548	0,046292135	0,582	368,52	30,38212	12,129388
5400	0,2906	0,08854582	0,046645265	0,588	372,32	30,38145	12,254704
5460	0,2914	0,08878958	0,046773676	0,586	371,05	30,38121	12,213119
5520	0,2936	0,08945992	0,047126806	0,584	369,78	30,38054	12,171705
5580	0,3064	0,09336008	0,04918138	0,586	371,05	30,37664	12,214957
5670	0,3002	0,09147094	0,048186196	0,586	371,05	30,37853	12,214197
5730	0,3046	0,09281162	0,048892456	0,584	369,78	30,37719	12,173048
5850	0,3096	0,09433512	0,049695024	0,576	364,72	30,37566	12,006896
5970	0,3208	0,09774776	0,051492777	0,552	349,52	30,37225	11,507901
6090	0,3338	0,10170886	0,053579454	0,53	335,59	30,36829	11,050694



Διάγραμμα 6.24 Εδαφικό δείγμα με 5% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 6.25 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο

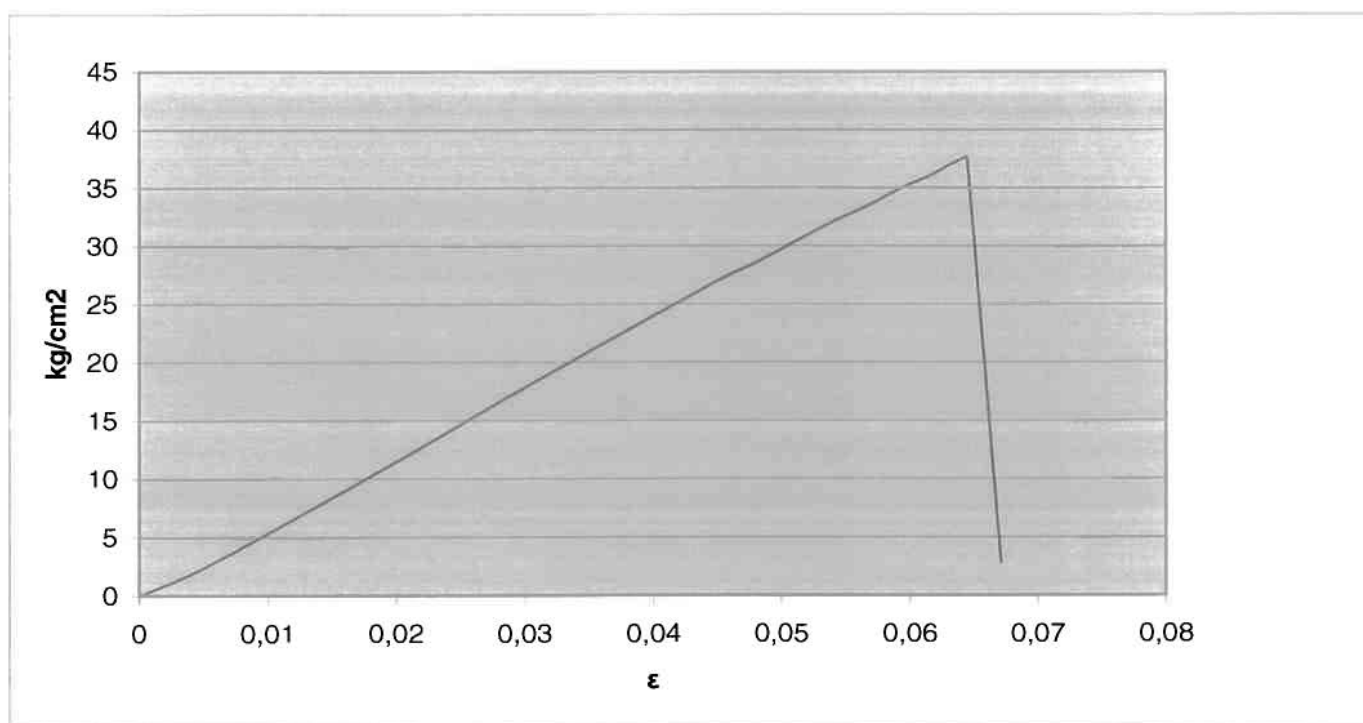
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 1/6 (28 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
540	0,0332	0,01011604	0,005329053	0,124	78,52	30,45988	2,577671
1470	0,1172	0,03571084	0,018812199	0,516	326,73	30,43429	10,735458
2340	0,1908	0,05813676	0,030626003	0,886	553,96	30,41186	18,215169
3600	0,2754	0,08391438	0,044205457	1,278	804,38	30,38609	26,472068
4170	0,3016	0,09189752	0,048410915	1,386	873,38	30,37810	28,750224
5250	0,3332	0,10152604	0,053483146	1,528	964,09	30,36847	31,746492
6330	0,3538	0,10780286	0,056789727	1,61	1016,48	30,36220	33,478387
7410	0,37	0,112739	0,059390048	1,68	1061,20	30,35726	34,956915
8490	0,3836	0,11688292	0,061573034	1,73	1093,14	30,35312	36,014034
9330	0,3932	0,11980804	0,063113965	1,774	1121,25	30,35019	36,943660
9630	0,3956	0,12053932	0,063499197	1,784	1127,64	30,34946	37,155044
9780	0,3974	0,12108778	0,063788122	1,792	1132,75	30,34891	37,324115
9930	0,3996	0,12175812	0,064141252	1,798	1136,58	30,34824	37,451241
10020	0,4	0,12188	0,064205457	1,802	1139,13	30,34812	37,535593
10080	0,401	0,1221847	0,064365971	1,806	1141,69	30,34782	37,620172
10110	0,4016	0,12236752	0,064462279	1,806	1141,69	30,34763	37,620399
10140	0,4182	0,12742554	0,067126806	0,136	86,11	30,34257	2,838053



Διάγραμμα 6.25 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

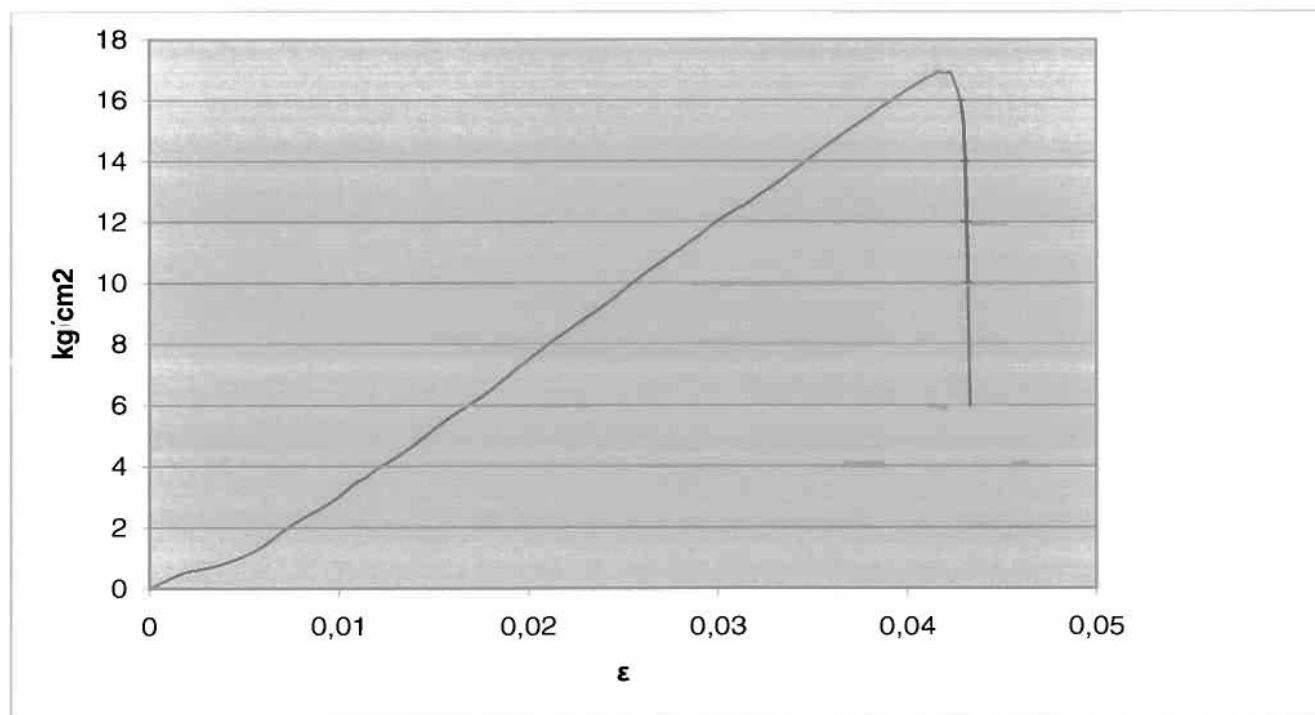


Πίνακας 6.26 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 2/6 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
810	0,035	0,0106645	0,005617978	0,06	37,99	30,4593	1,247283
1620	0,0678	0,02065866	0,010882825	0,166	105,11	30,4493	3,451948
2430	0,0848	0,02583856	0,013611557	0,218	138,04	30,4442	4,534052
2760	0,1242	0,03784374	0,019935795	0,358	226,68	30,4322	7,448766
3540	0,162	0,0493614	0,02600321	0,492	311,53	30,4206	10,240728
4350	0,189	0,0575883	0,030337079	0,584	369,78	30,4124	12,158949
5040	0,201	0,0612447	0,032263242	0,62	392,58	30,4088	12,910025
5310	0,2268	0,06910596	0,036404494	0,71	449,56	30,4009	14,787884
5880	0,246	0,0749562	0,039486356	0,774	490,09	30,3950	16,123979
6270	0,2582	0,07867354	0,041444623	0,808	511,62	30,3913	16,834327
6450	0,261	0,0795267	0,041894061	0,81	512,88	30,3905	16,876470
6510	0,2624	0,07995328	0,04211878	0,81	512,88	30,3900	16,876707
6570	0,2634	0,08025798	0,042279294	0,812	514,15	30,3897	16,918547
6750	0,2676	0,08153772	0,042953451	0,736	466,03	30,3885	15,335684
6780	0,2698	0,08220806	0,043306581	0,286	181,09	30,3878	5,959378



Διάγραμμα 6.26 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 6.27 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο

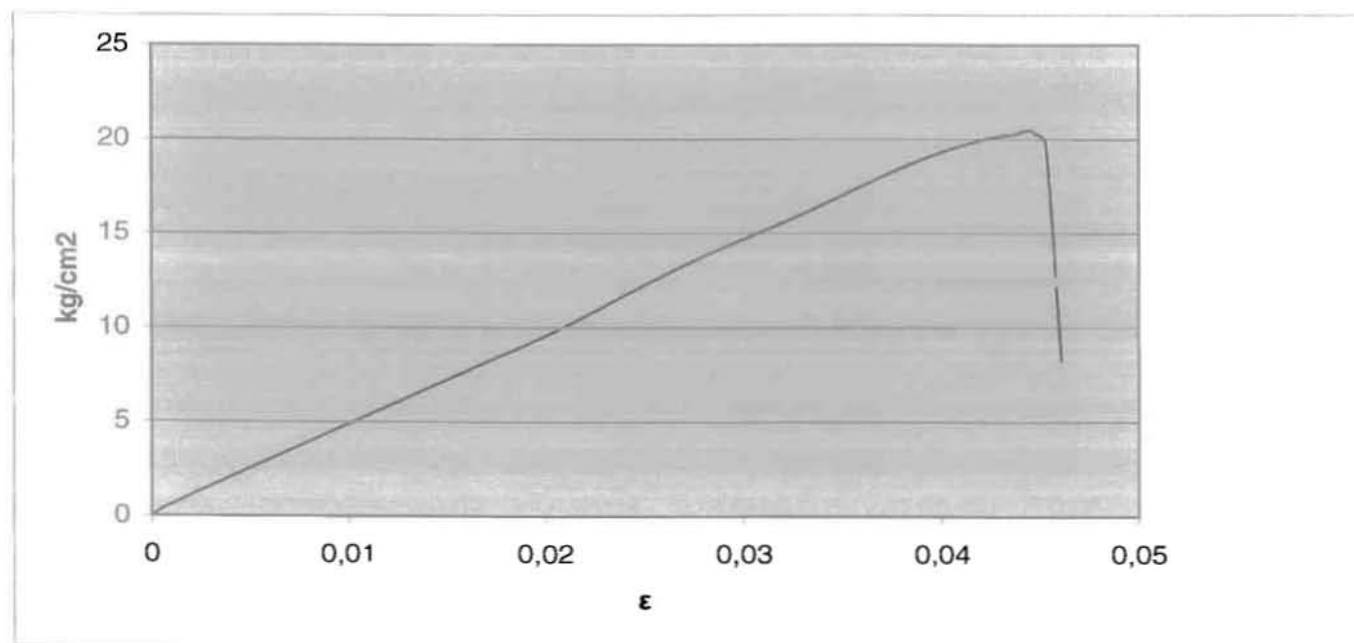
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 3/6 (28 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
300	0,0054	0,00164538	0,000866774	0,026	16,46	30,46835	0,540329
900	0,0416	0,01267552	0,006677368	0,16	101,31	30,45732	3,326307
1650	0,1036	0,03156692	0,016629213	0,384	243,14	30,43843	7,988091
2130	0,1284	0,03912348	0,020609952	0,474	300,13	30,43088	9,862748
2940	0,1678	0,05112866	0,026934189	0,638	403,98	30,41887	13,280414
3750	0,2046	0,06234162	0,032841091	0,766	485,02	30,40766	15,950703
4530	0,233	0,0709951	0,037399679	0,874	553,41	30,39900	18,204808
5070	0,248	0,0755656	0,039807384	0,934	584,62	30,39443	19,234494
5580	0,2628	0,08007516	0,042182986	0,97	607,62	30,38992	19,994120
5730	0,266	0,0810502	0,042696629	0,974	610,18	30,38895	20,078850
5820	0,2684	0,08178148	0,043081862	0,978	612,73	30,38822	20,163424
5940	0,2712	0,08263464	0,0435313	0,98	614,01	30,38737	20,206036
6030	0,273	0,0831831	0,043820225	0,982	615,29	30,38682	20,248448
6120	0,2742	0,08354874	0,044012841	0,988	619,12	30,38645	20,374835
6150	0,2758	0,08403626	0,044269663	0,988	619,12	30,38596	20,375162
6180	0,2756	0,08397532	0,04423756	0,992	621,67	30,38602	20,459217
6210	0,277	0,0844019	0,044462279	0,992	621,67	30,38560	20,459504
6240	0,2782	0,08476754	0,044654896	0,988	619,12	30,38523	20,375652
6270	0,2786	0,08488942	0,044719101	0,984	616,56	30,38511	20,291635
6330	0,282	0,0859254	0,045264848	0,96	601,23	30,38407	19,787715
6390	0,287	0,0874489	0,046067416	0,396	250,74	30,38255	8,252870



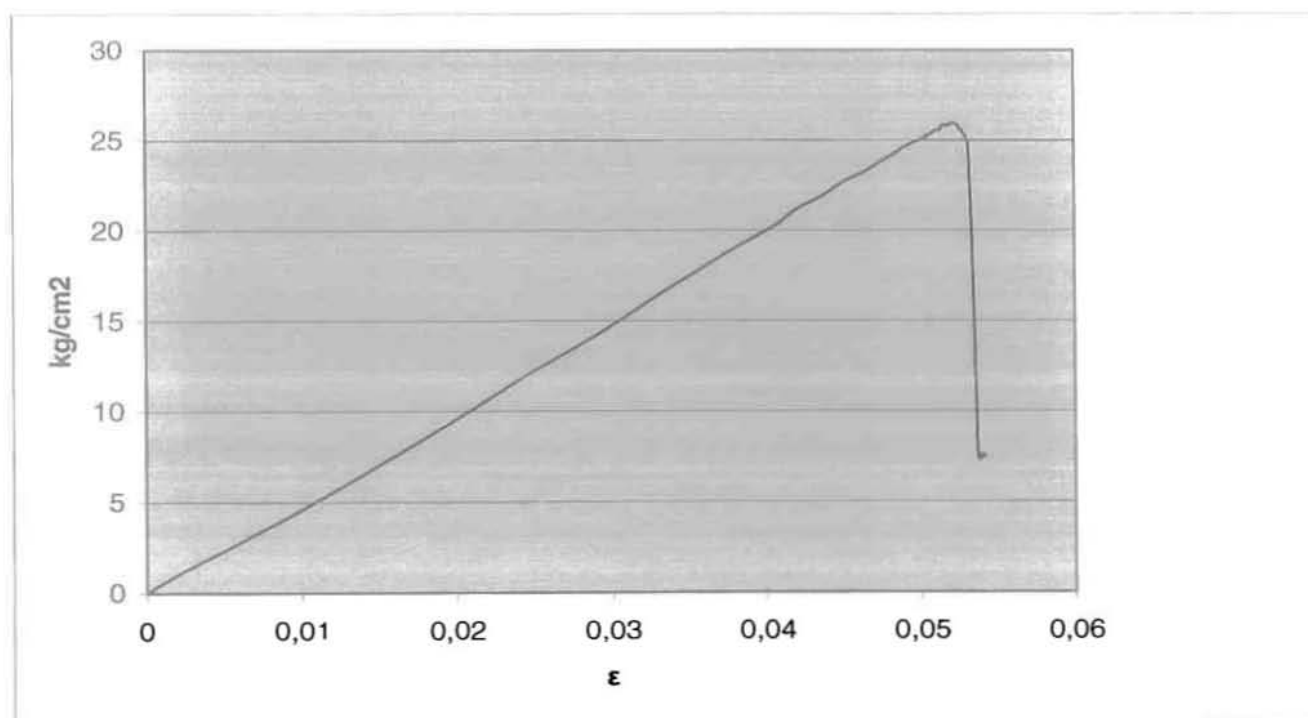
Διάγραμμα 6.27 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 6.28 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 4/6 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διορθωση Επιφάνειας Ai=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Ac=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Ac (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
360	0,012	0,0036564	0,001926164	0,048	30,39	30,4663	0,99760
1080	0,0604	0,01840388	0,009695024	0,214	135,50	30,4516	4,44977
2610	0,1532	0,04668004	0,02459069	0,578	365,98	30,4233	12,02971
4050	0,2254	0,06867938	0,036179775	0,868	549,61	30,4013	18,07846
6300	0,2892	0,08811924	0,046420546	1,124	706,00	30,3819	23,23757
7800	0,314	0,0956758	0,050401284	1,218	766,05	30,3743	25,22038
8070	0,3178	0,09683366	0,051011236	1,232	775,00	30,3732	25,51581
8370	0,322	0,0981134	0,051685393	1,244	782,66	30,3719	25,76929
8430	0,3234	0,09853998	0,051910112	1,246	783,94	30,3715	25,81172
8460	0,3232	0,09847904	0,05187801	1,248	785,22	30,3715	25,85374
8490	0,3246	0,09890562	0,052102729	1,25	786,50	30,3711	25,89617
8520	0,3248	0,09896656	0,052134831	1,252	787,77	30,3710	25,93829
8550	0,3248	0,09896656	0,052134831	1,252	787,77	30,3710	25,93829
8580	0,3264	0,09945408	0,052391653	1,246	783,94	30,3705	25,81250
8610	0,331	0,1008557	0,053130016	1,192	749,44	30,3691	24,67775
8700	0,336	0,1023792	0,053932584	0,364	230,48	30,3676	7,58970



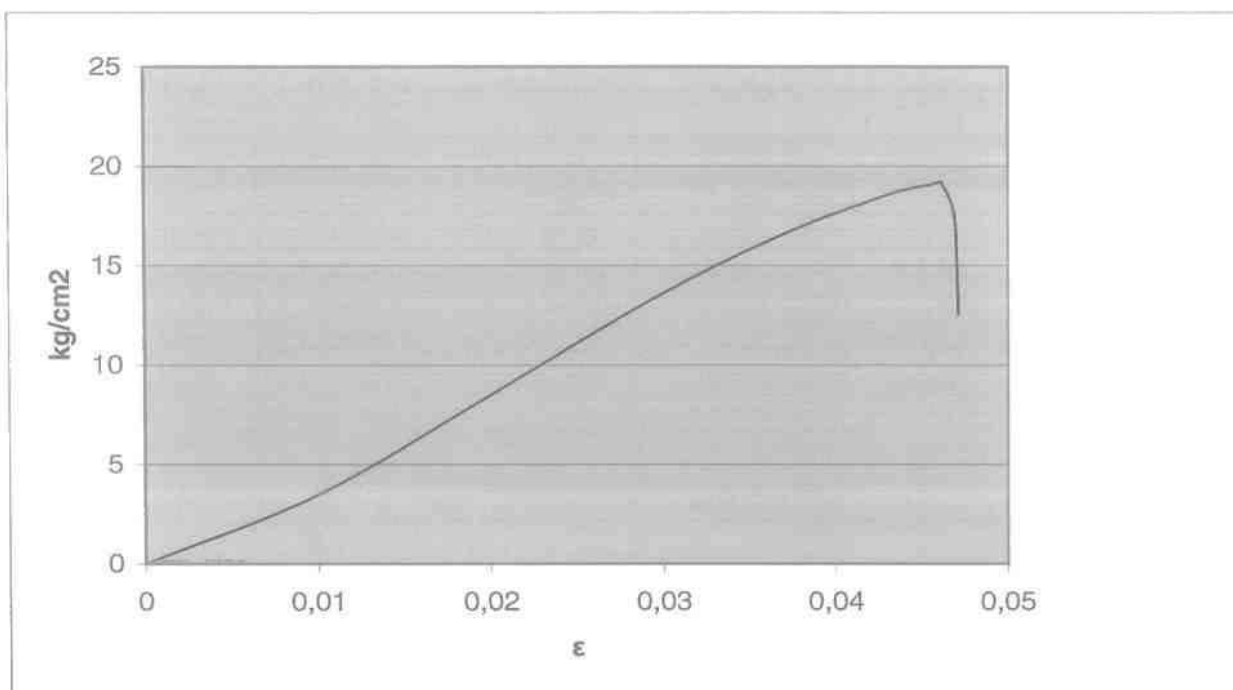
Διάγραμμα 6.28 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο

Πίνακας 6.29 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 5)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 5/6 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
900	0,063	0,0191961	0,01011236	0,17	107,64	30,45080	3,53496
1710	0,126	0,0383922	0,020224719	0,414	262,14	30,43161	8,61409
2520	0,182	0,0554554	0,029213483	0,636	402,71	30,41454	13,24067
3330	0,231	0,0703857	0,037078652	0,798	505,29	30,39961	16,62145
4140	0,27	0,082269	0,043338684	0,906	566,73	30,38773	18,65009
4380	0,2802	0,08537694	0,044975923	0,922	576,96	30,38462	18,98840
4470	0,2838	0,08647386	0,045553772	0,926	579,51	30,38353	19,07319
4530	0,2864	0,08726608	0,045971108	0,932	583,34	30,38273	19,19985
4560	0,2874	0,08757078	0,046131621	0,932	583,34	30,38243	19,20004
4590	0,2922	0,08903334	0,046902087	0,838	530,61	30,38097	17,46532
4620	0,2936	0,08945992	0,047126806	0,602	381,18	30,38054	12,54686



Διάγραμμα 6.29 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 5)

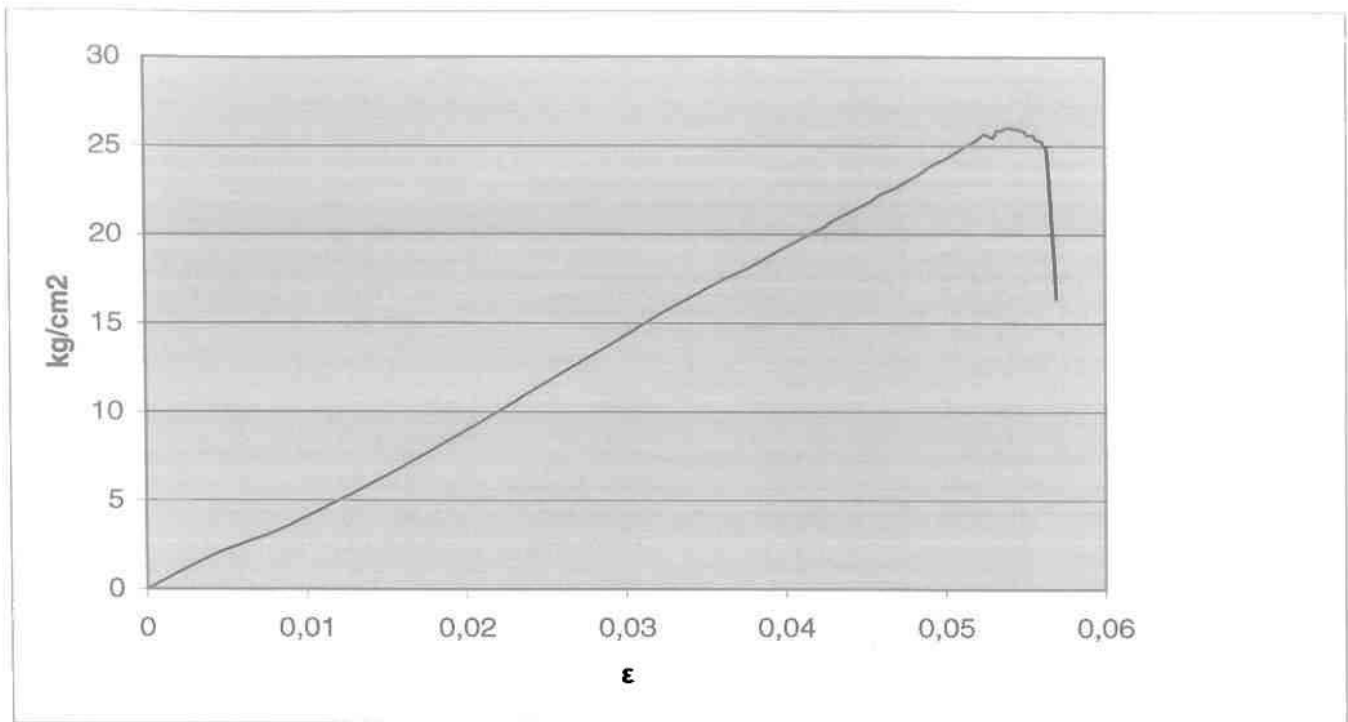


Πίνακας 6.30 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 6)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 6/6 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας Ai=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Ac=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Ac (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
360	0,0002	0,00006094	3,21027E-05	-0,002	-1,27	30,46994	0,0416
1440	0,0498	0,01517406	0,007993579	0,156	98,78	30,45483	3,2434
2520	0,1144	0,03485768	0,018362761	0,39	246,94	30,43514	8,1138
3600	0,1688	0,05143336	0,027094703	0,614	388,78	30,41857	12,7810
4680	0,2126	0,06477922	0,034125201	0,792	501,49	30,40522	16,4934
5670	0,2436	0,07422492	0,039101124	0,914	571,84	30,39578	18,8133
6390	0,2586	0,07879542	0,041508828	0,97	607,62	30,39120	19,9933
7110	0,274	0,0834878	0,043980738	1,028	644,67	30,38651	21,2157
7830	0,286	0,0871442	0,045906902	1,076	675,34	30,38286	22,2276
8550	0,2968	0,09043496	0,047640449	1,114	699,61	30,37957	23,0291
9270	0,3124	0,09518828	0,050144462	1,176	739,22	30,37481	24,3366
9780	0,3238	0,09866186	0,051974318	1,222	768,61	30,37134	25,3070
10080	0,3316	0,10103852	0,053226324	1,246	783,94	30,36896	25,8138
10230	0,334	0,1017698	0,053611557	1,25	786,50	30,36823	25,8986
10290	0,3358	0,10231826	0,053900482	1,254	789,05	30,36768	25,9832
10320	0,3368	0,10262296	0,054060995	1,254	789,05	30,36738	25,9835
10350	0,3372	0,10274484	0,054125201	1,256	790,33	30,36726	26,0257
10380	0,3372	0,10274484	0,054125201	1,256	790,33	30,36726	26,0257
10440	0,3382	0,10304954	0,054285714	1,252	787,77	30,36695	25,9418
10500	0,3398	0,10353706	0,054542536	1,25	786,50	30,36646	25,9001
10590	0,3428	0,10445116	0,055024077	1,244	782,66	30,36555	25,7747
10680	0,3466	0,10560902	0,055634029	1,23	773,72	30,36439	25,4811
10770	0,3496	0,10652312	0,05611557	1,21	760,94	30,36348	25,0611
10830	0,3548	0,10810756	0,056950241	0,786	497,69	30,36189	16,3918



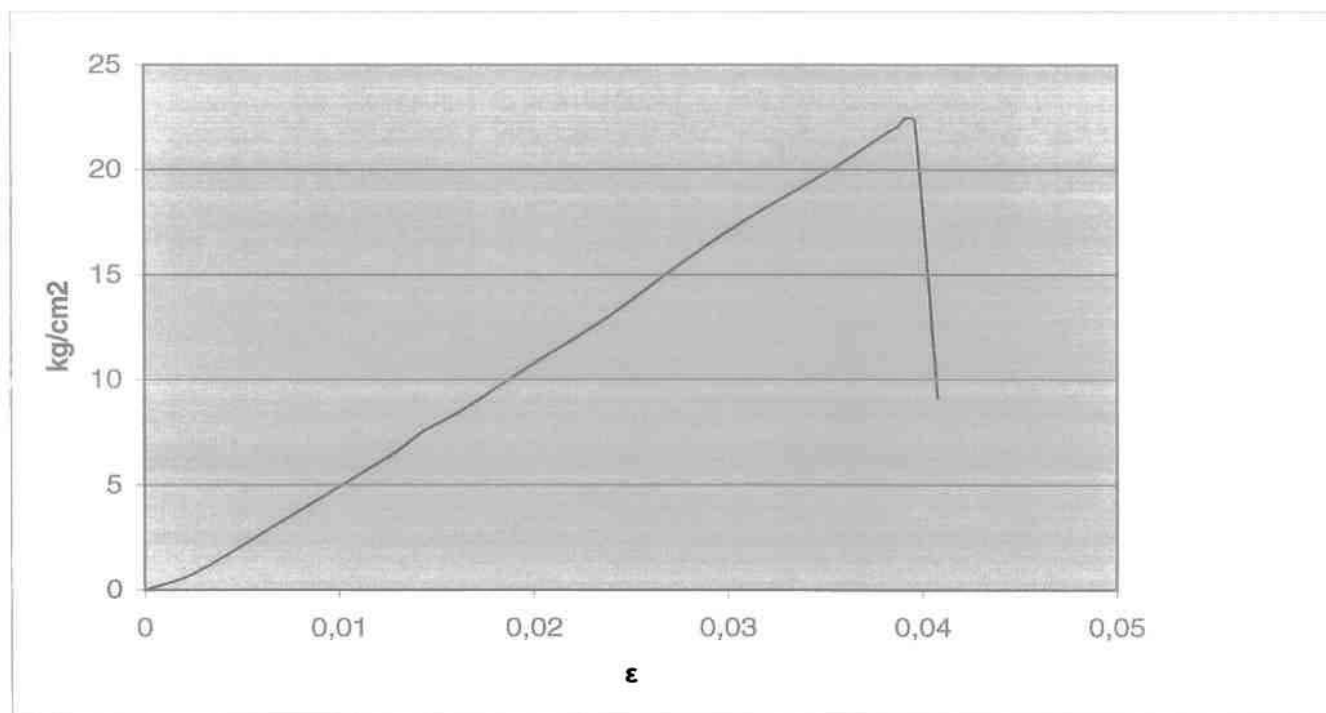
Διάγραμμα 6.30 Εδαφικό δείγμα με 10% τσιμέντο (Δοκίμιο 6)

Πίνακας 6.31 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 1/4 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
150	0,0168	0,00511896	0,002696629	0,042	26,594	30,46488	0,87294
330	0,0474	0,01444278	0,007608347	0,172	108,909	30,45556	3,57599
690	0,0786	0,02394942	0,012616372	0,306	193,756	30,44605	6,36392
1050	0,0894	0,02724018	0,01434992	0,362	229,215	30,44276	7,52937
1230	0,102	0,0310794	0,016372392	0,412	260,874	30,43892	8,57042
1380	0,123	0,0374781	0,019743178	0,51	322,927	30,43252	10,61124
1650	0,1484	0,04521748	0,023820225	0,624	395,111	30,42478	12,98647
1950	0,1722	0,05246934	0,027640449	0,748	473,626	30,41753	15,57083
2250	0,1946	0,05929462	0,031235955	0,854	540,744	30,41071	17,78138
2490	0,2112	0,06435264	0,033900482	0,934	584,622	30,40565	19,22740
2730	0,223	0,0679481	0,035794543	0,984	616,564	30,40205	20,28033
2880	0,2376	0,07239672	0,038138042	1,052	660,005	30,39760	21,71239
2940	0,2414	0,07355458	0,038747994	1,068	670,226	30,39645	22,04949
3060	0,2436	0,07422492	0,039101124	1,086	681,725	30,39578	22,42829
3120	0,2442	0,07440774	0,039197432	1,086	681,725	30,39559	22,42842
3150	0,2466	0,07513902	0,039582665	1,082	679,170	30,39486	22,34489
3180	0,254	0,0773938	0,040770465	0,438	277,337	30,39261	9,12515



Διάγραμμα 6.31 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

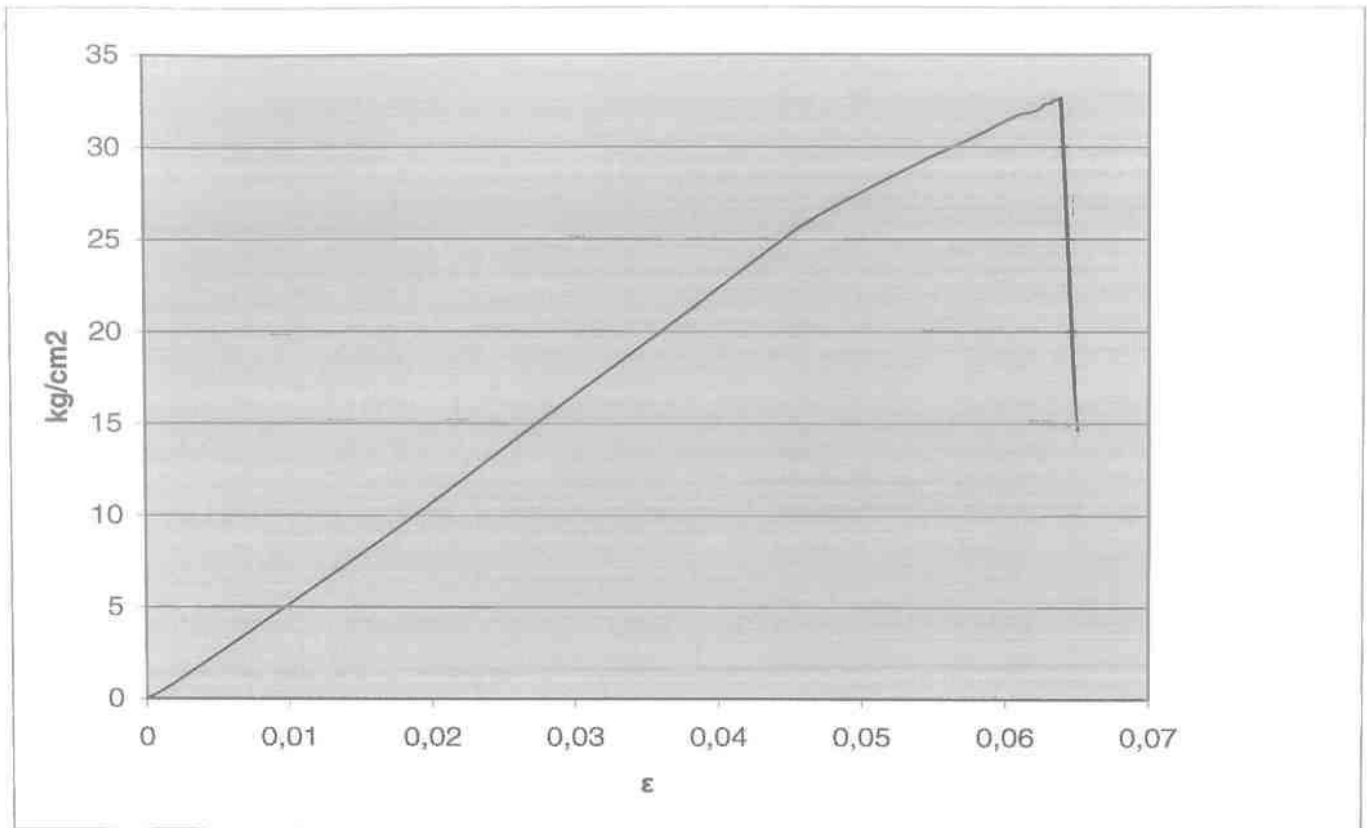
Πίνακας 6.32 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 2/4 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας Ai=D*Δli (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δli/D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια Ac=Ao-Ai(cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/Ac (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
180	0,0118	0,00359546	0,001894061	0,04	25,33	30,46640	0,831329
630	0,0588	0,01791636	0,009438202	0,234	148,17	30,45208	4,865561
1560	0,1156	0,03522332	0,018555377	0,474	300,13	30,43478	9,861484
2490	0,171	0,0521037	0,027447833	0,724	458,43	30,41790	15,071048
3510	0,2248	0,06849656	0,036083467	0,972	608,90	30,40150	20,028532
4410	0,2638	0,08037986	0,042343499	1,146	720,06	30,38962	23,694131
5310	0,2926	0,08915522	0,046966292	1,268	797,99	30,38084	26,266357
7650	0,3388	0,10323236	0,054382022	1,412	889,99	30,36677	29,307929
8130	0,3478	0,10597466	0,055826645	1,436	905,32	30,36403	29,815521
9210	0,3648	0,11115456	0,058555377	1,484	935,98	30,35885	30,830670
9750	0,3732	0,11371404	0,059903692	1,51	952,59	30,35629	31,380433
10350	0,3812	0,11615164	0,061187801	1,53	965,37	30,35385	31,803882
10530	0,3852	0,11737044	0,061829856	1,534	967,93	30,35263	31,889348
10710	0,3878	0,11816266	0,062247191	1,54	971,76	30,35184	32,016467
10830	0,3898	0,11877206	0,062568218	1,548	976,87	30,35123	32,185496
10950	0,391	0,1191377	0,062760835	1,554	980,70	30,35086	32,312175
11070	0,3934	0,11986898	0,063146067	1,558	983,26	30,35013	32,397149
11100	0,3938	0,11999086	0,063210273	1,558	983,26	30,35001	32,397279
11130	0,3946	0,12023462	0,063338684	1,564	987,09	30,34977	32,523835
11160	0,3954	0,12047838	0,063467095	1,564	987,09	30,34952	32,524096
11190	0,3954	0,12047838	0,063467095	1,564	987,09	30,34952	32,524096
11220	0,3976	0,12114872	0,063820225	1,564	987,09	30,34885	32,524815
11250	0,4036	0,12297692	0,064783307	0,832	526,81	30,34702	17,359663
11280	0,4054	0,12352538	0,065072231	0,702	444,50	30,34647	14,647480





Διάγραμμα 6.32 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 6.33 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο

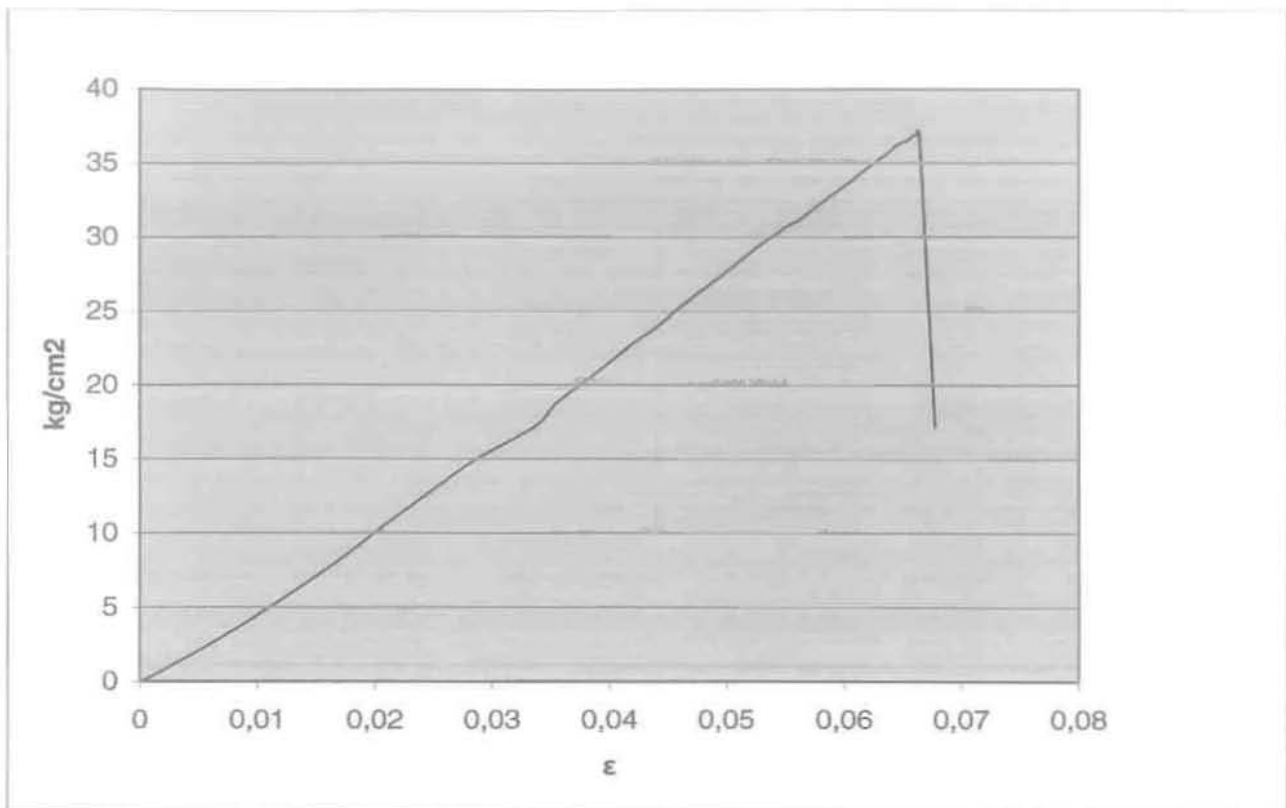
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 3/4 (28 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔL <sub>i</sub> (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας A <sub>i</sub> =D*Δl <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση ε=Δl <sub>i</sub> /D(%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δl <sub>d</sub> (mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια A <sub>c</sub> =A <sub>o</sub> -A <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση σ=F/A <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
180	0,0088	0,00268136	0,00141252	0,026	16,46	30,46732	0,540348
720	0,0412	0,01255364	0,006613162	0,136	86,11	30,45745	2,827349
1170	0,0738	0,02248686	0,011845907	0,26	164,63	30,44751	5,406990
1620	0,104	0,0316888	0,016693419	0,386	244,41	30,43831	8,029727
2070	0,132	0,0402204	0,021187801	0,516	326,73	30,42978	10,737049
2490	0,1544	0,04704568	0,024783307	0,616	390,05	30,42295	12,820748
2880	0,177	0,0539319	0,028410915	0,714	452,10	30,41607	14,863777
3390	0,2098	0,06392606	0,033675762	0,826	523,01	30,40607	17,201002
3900	0,2206	0,06721682	0,03540931	0,91	569,29	30,40278	18,724911
4440	0,2368	0,07215296	0,038009631	0,984	616,56	30,39785	20,283133
5070	0,2522	0,07684534	0,040481541	1,058	663,84	30,39315	21,841685
5610	0,2632	0,08019704	0,042247191	1,112	698,34	30,38980	22,979257
6150	0,2758	0,08403626	0,044269663	1,164	731,55	30,38596	24,075417
6690	0,2868	0,08738796	0,046035313	1,222	768,61	30,38261	25,297610
7230	0,2998	0,09134906	0,04812199	1,28	805,66	30,37865	26,520605
7770	0,309	0,0941523	0,049598716	1,322	832,49	30,37585	27,406362
8190	0,3174	0,09671178	0,05094703	1,362	858,05	30,37329	28,249990
8610	0,325	0,0990275	0,052166934	1,4	882,32	30,37097	29,051457
9030	0,332	0,1011604	0,05329053	1,432	902,76	30,36884	29,726650
9450	0,3388	0,10323236	0,054382022	1,458	919,37	30,36677	30,275653
9750	0,3426	0,10439022	0,054991974	1,476	930,87	30,36561	30,655496
10020	0,3468	0,10566996	0,055666132	1,49	939,82	30,36433	30,951337
10290	0,35	0,106645	0,056179775	1,5	946,21	30,36336	31,162729
10950	0,361	0,1099967	0,057945425	1,55	978,15	30,36000	32,218277
11850	0,3754	0,11438438	0,060256822	1,616	1020,31	30,35562	33,611917
12750	0,3854	0,11743138	0,061861958	1,662	1049,70	30,35257	34,583468
13560	0,3976	0,12114872	0,063820225	1,718	1085,47	30,34885	35,766498
13920	0,4012	0,12224564	0,064398074	1,736	1096,97	30,34775	36,146702
14100	0,4042	0,12315974	0,064879615	1,746	1103,36	30,34684	36,358304
14130	0,4038	0,12303786	0,064815409	1,746	1103,36	30,34696	36,358158
14340	0,4078	0,12425666	0,065457464	1,756	1109,75	30,34574	36,570139
14520	0,4106	0,12510982	0,065906902	1,77	1118,69	30,34489	36,865904
14580	0,4122	0,12559734	0,066163724	1,774	1121,25	30,34440	36,950708
14610	0,413	0,1258411	0,066292135	1,782	1126,36	30,34416	37,119430
14640	0,4124	0,12565828	0,066195827	1,784	1127,64	30,34434	37,161312
14670	0,4136	0,12602392	0,066388443	1,784	1127,64	30,34398	37,161760
14700	0,422	0,1285834	0,067736758	0,824	521,75	30,34142	17,195920



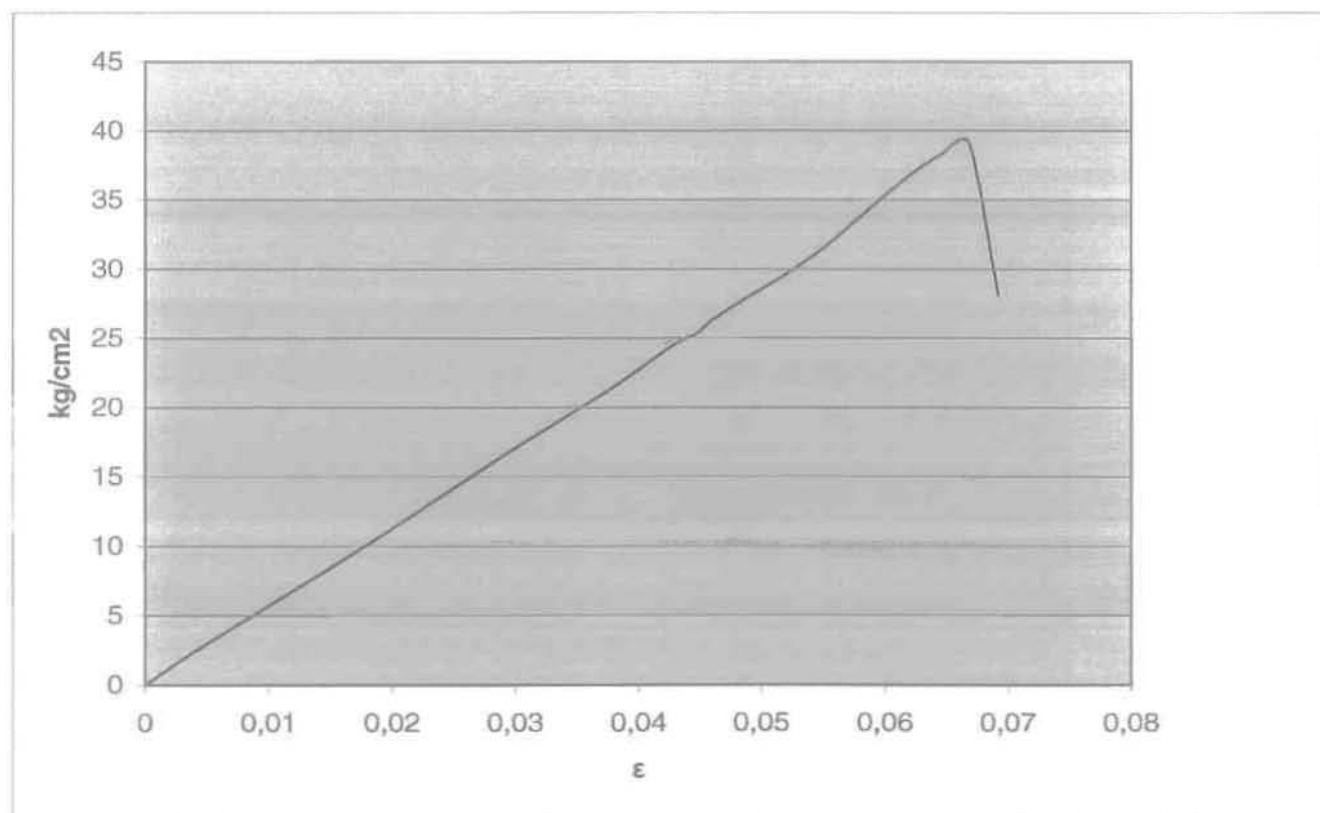
Διάγραμμα 6.33 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Πίνακας 6.34 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 4/4 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta Li$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta Li / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δli (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
450	0,0262	0,00798314	0,004205457	0,12	75,98	30,46202	2,494346
900	0,1124	0,03424828	0,018041734	0,486	307,73	30,43575	10,110818
1350	0,1812	0,05521164	0,029085072	0,794	502,75	30,41479	16,529882
1800	0,2338	0,07123886	0,03752809	1,028	644,67	30,39876	21,207197
2250	0,2674	0,08147678	0,042921348	1,186	745,61	30,38852	24,535883
2460	0,2788	0,08495036	0,044751204	1,224	769,89	30,38505	25,337630
2610	0,285	0,0868395	0,045746388	1,26	792,88	30,38316	26,096146
3060	0,301	0,0917147	0,048314607	1,332	838,88	30,37829	27,614458
3510	0,3386	0,10317142	0,05434992	1,494	942,37	30,36683	31,032940
3690	0,3814	0,11621258	0,061219904	1,738	1098,25	30,35379	36,181611
3780	0,4026	0,12267222	0,064622793	1,838	1162,13	30,34733	38,294407
3840	0,4162	0,12681614	0,066805778	1,876	1186,41	30,34318	39,099682
3870	0,431	0,1313257	0,06918138	1,354	852,93	30,33867	28,113765



Διάγραμμα 6.34 Εδαφικό δείγμα με 15% τσιμέντο (Δοκίμιο 4)

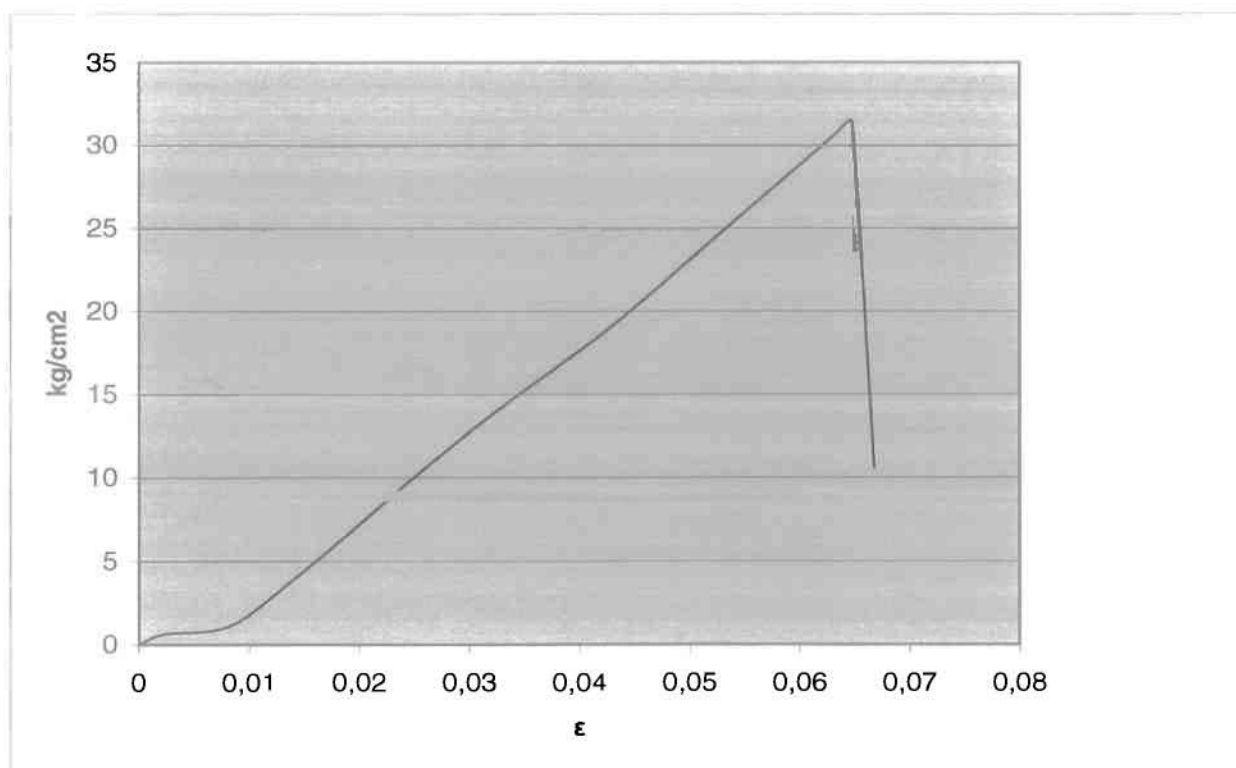


Πίνακας 6.35 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 1/3 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D(\%)$	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
240	0,0138	0,00420486	0,002215088	0,03	19,00	30,465795	0,6235091
480	0,0512	0,01560064	0,008218299	0,054	34,19	30,454399	1,1227363
720	0,0868	0,02644796	0,013932584	0,186	117,77	30,443552	3,8685808
900	0,12	0,036564	0,019261637	0,326	206,42	30,433436	6,7826696
1110	0,1568	0,04777696	0,025168539	0,486	307,73	30,422223	10,1153140
1380	0,2016	0,06142752	0,032359551	0,67	424,24	30,408572	13,9512402
1740	0,2646	0,08062362	0,04247191	0,916	573,12	30,389376	18,8593024
2100	0,3246	0,09890562	0,052102729	1,174	737,94	30,371094	24,2975492
2460	0,3726	0,11353122	0,059807384	1,382	870,82	30,356469	28,6865342
2640	0,395	0,1203565	0,063402889	1,48	933,43	30,349644	30,7558209
2670	0,398	0,1212706	0,06388443	1,496	943,65	30,348729	31,0935469
2700	0,4036	0,12297692	0,064783307	1,51	952,59	30,347023	31,3900114
2730	0,4158	0,12669426	0,066741573	0,508	321,66	30,343306	10,6007079



Διάγραμμα 6.35 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 1)

Πίνακας 6.36 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο

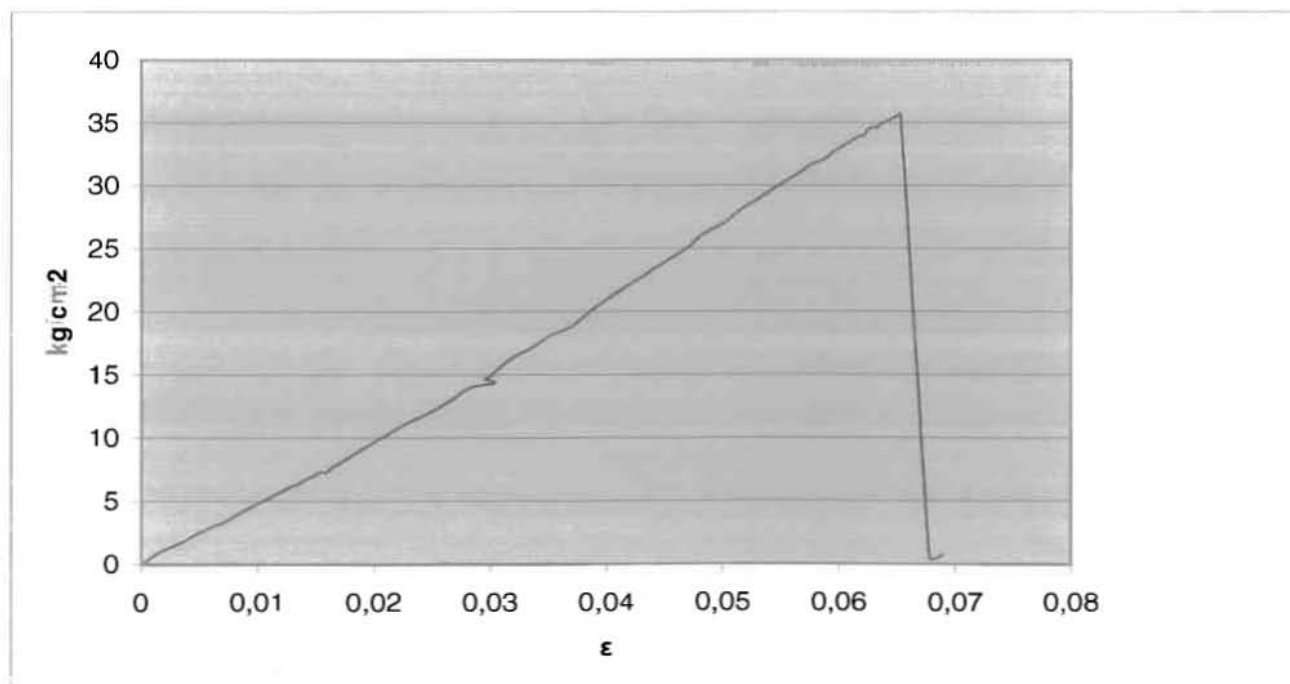
D= 6,23 cm

Δοκιμή: Διάτμηση

A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Δοκίμιο 2/3 (28 ημ.)

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i=D*\Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon=\Delta l_i/D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld(mm)	Διατμητική Δύναμη F(kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c=A_o-A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma=F/A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
450	0,0458	0,01395526	0,007351525	0,166	105,11	30,456045	3,4511881
780	0,088	0,0268136	0,014125201	0,322	203,89	30,443186	6,6973009
930	0,1058	0,03223726	0,016982343	0,382	241,88	30,437763	7,9466609
1410	0,1658	0,05051926	0,026613162	0,622	393,84	30,419481	12,9471040
1680	0,1976	0,06020872	0,031717496	0,778	492,62	30,409791	16,1994476
2130	0,251	0,0764797	0,040288925	1,024	642,12	30,393520	21,1267781
2580	0,3004	0,09153188	0,048218299	1,258	791,61	30,378468	26,0581184
3060	0,3444	0,10493868	0,055280899	1,456	918,10	30,365061	30,2352770
3600	0,3846	0,11718762	0,061733547	1,628	1027,98	30,352812	33,8675872
3690	0,389	0,1185283	0,062439807	1,652	1043,31	30,351472	34,3742370
3780	0,395	0,1203565	0,063402889	1,664	1050,97	30,349644	34,6288997
3840	0,3984	0,12139248	0,063948636	1,68	1061,20	30,348608	34,9668827
3870	0,401	0,1221847	0,064365971	1,69	1067,58	30,347815	35,1783016
3900	0,4016	0,12236752	0,064462279	1,694	1070,14	30,347632	35,2627165
3930	0,403	0,1227941	0,064686998	1,698	1072,70	30,347206	35,3474163
3960	0,4046	0,12328162	0,06494382	1,704	1076,53	30,346718	35,4742924
3990	0,407	0,1240129	0,065329053	1,71	1080,36	30,345987	35,6014585
4020	0,4224	0,12870528	0,067800963	0,026	16,46	30,341295	0,5425919



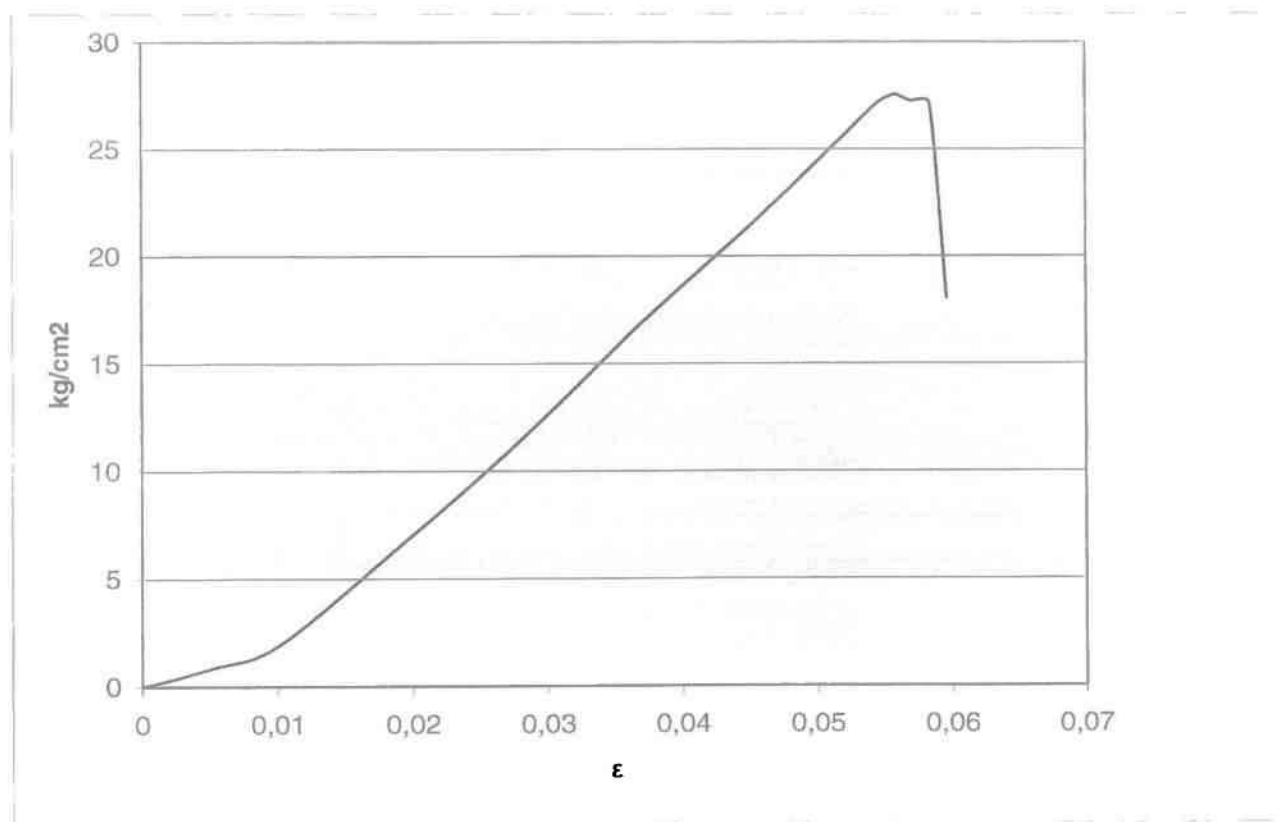
Διάγραμμα 6.36 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 2)

Πίνακας 6.37 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

Δείγμα: Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο  
 Δοκιμή: Διάτμηση  
 Δοκίμιο 3/3 (28 ημ.)

D= 6,23 cm  
 A= 30,47 cm<sup>2</sup>

Χρόνος (sec)	Μετατόπιση ΔLi (cm)	Διόρθωση Επιφάνειας $A_i = D \cdot \Delta l_i$ (cm <sup>2</sup> )	Ανοιγμένη Παραμόρφωση $\epsilon = \Delta l_i / D$ (%)	Παραμόρφωση Δυν/κου Δακτυλίου Δld (mm)	Διατμητική Δύναμη F (kg)	Διορθωμένη Επιφάνεια $A_c = A_o - A_i$ (cm <sup>2</sup> )	Διατμητική Τάση $\sigma = F / A_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	30,47	0
180	0,0324	0,00987228	0,005200642	0,042	26,59	30,460128	0,873075
420	0,0622	0,01895234	0,009983949	0,09	56,99	30,451048	1,871433
720	0,1148	0,03497956	0,018426966	0,298	188,69	30,435020	6,199786
960	0,1726	0,05259122	0,027704655	0,54	341,92	30,417409	11,241017
1290	0,2306	0,07026382	0,037014446	0,812	514,15	30,399736	16,912985
1650	0,2844	0,08665668	0,04565008	1,054	661,28	30,383343	21,764634
1920	0,321	0,0978087	0,05152488	1,222	768,61	30,372191	25,306290
2190	0,3396	0,10347612	0,054510433	1,308	823,55	30,366524	27,120250
2370	0,3474	0,10585278	0,05576244	1,328	836,32	30,364147	27,543159
2460	0,3508	0,10688876	0,056308186	1,324	833,77	30,363111	27,459938
2550	0,3558	0,10841226	0,057110754	1,314	827,38	30,361588	27,250906
2730	0,364	0,1109108	0,058426966	1,308	823,55	30,359089	27,126892
2760	0,3716	0,11322652	0,05964687	0,876	547,57	30,356773	18,037781



Διάγραμμα 6.37 Εδαφικό δείγμα με 20% τσιμέντο (Δοκίμιο 3)

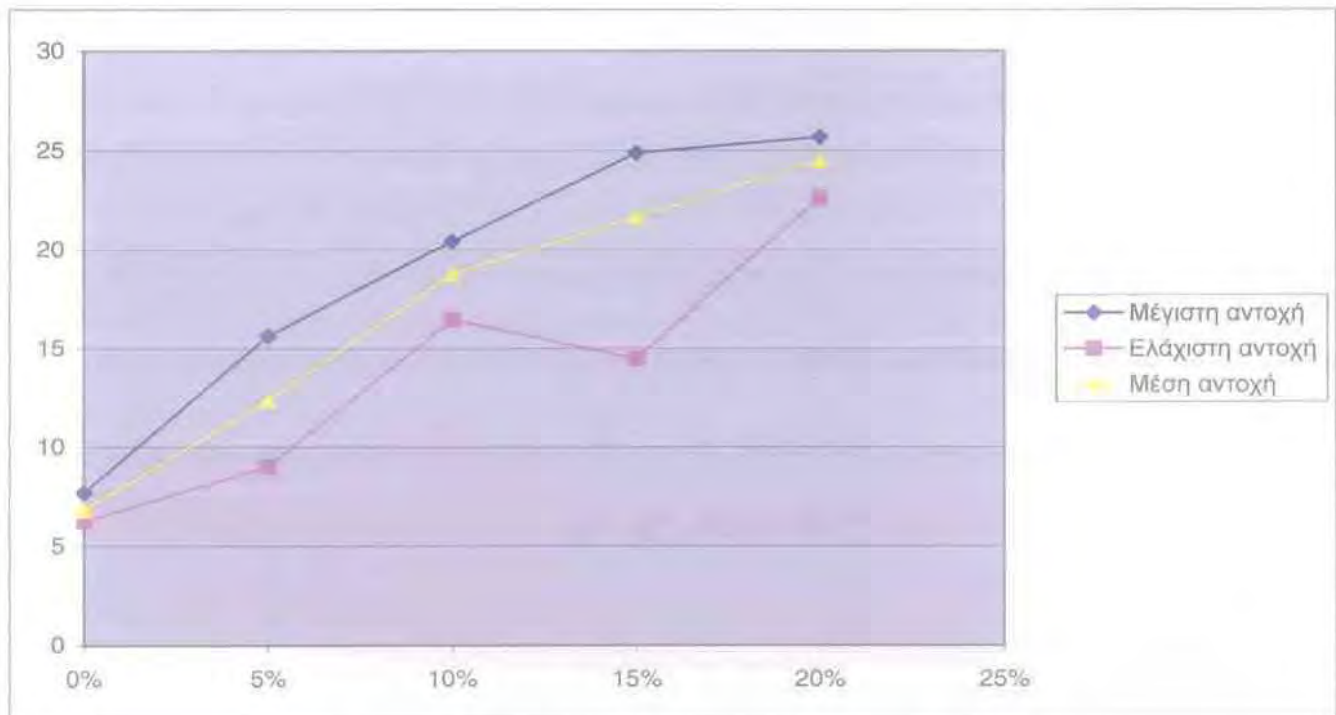




### 6.4.1 Σύγκριση ελαχίστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμών φυσικού εδάφους και βελτιωμένων δοκιμών μετά από ωρίμανση 7 ημερών

Πίνακας 6.38 Συγκεντρωτικός πίνακας ελάχιστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμών μετά από ωρίμανση 7 ημερών

	Φυσικό Έδαφος	5% Τσιμέντο	10% Τσιμέντο	15% Τσιμέντο	20% Τσιμέντο
Ελάχιστη Αντοχή	6,2626	9,0358	16,4578	14,4953	22,6095
Μέγιστη Αντοχή	7,7201	15,6318	20,4295	24,8864	25,6734
Μέση Αντοχή	6,8389	12,3772	18,7575	21,6691	24,5020



Διάγραμμα 6.38 Συγκεντρωτικό διάγραμμα ελάχιστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμών μετά από ωρίμανση 7 ημερών

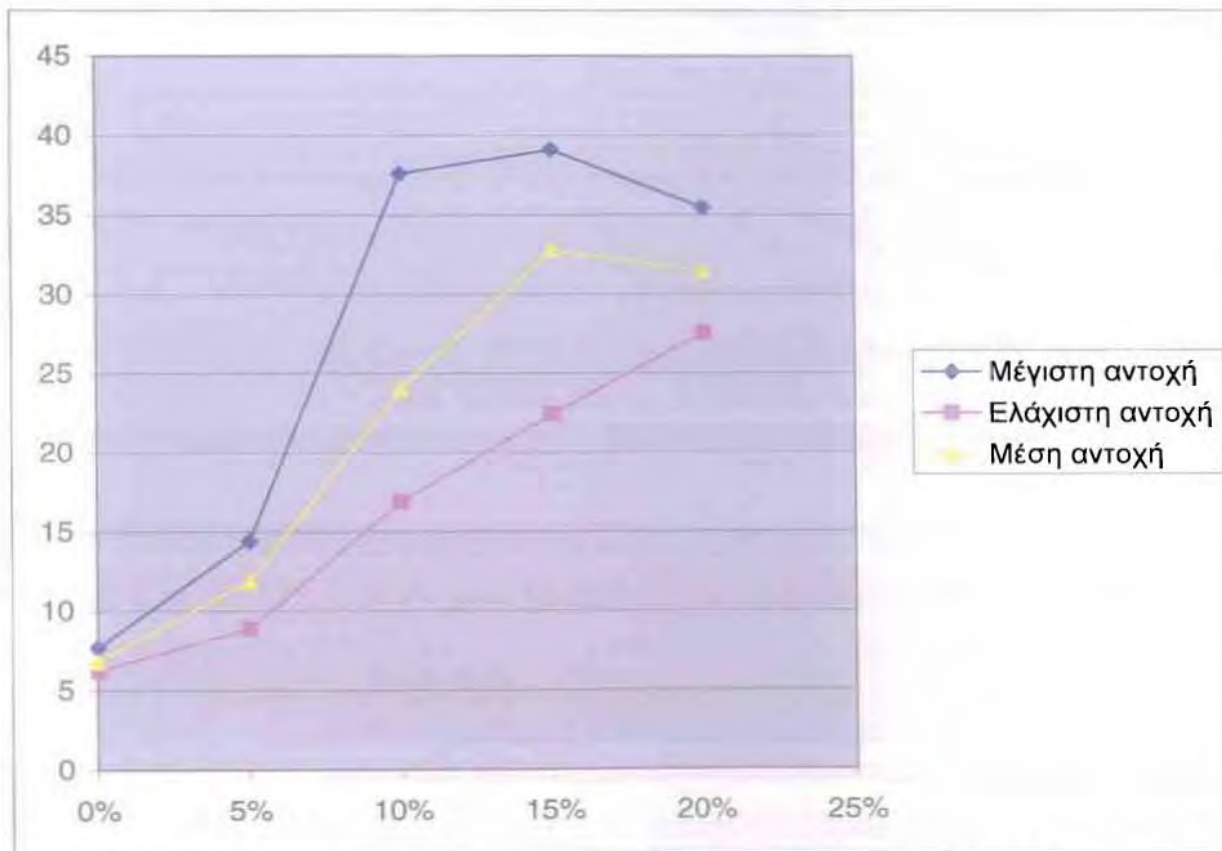
- Όπως προκύπτει από τις δοκιμές, η μέση αντοχή των δοκιμών σε διάτμηση αυξάνεται όσο αυξάνεται και η περιεκτικότητα τους σε τσιμέντο.
- Πιο συγκεκριμένα η μέση αντοχή αυξάνεται κατά 81,1% με προσθήκη 5% τσιμέντου στο φυσικό έδαφος, φτάνοντας δηλαδή τα 12,27 kg/cm<sup>2</sup> από τα 6,83 kg/cm<sup>2</sup> του αρχικού εδάφους.

- Με την προσθήκη 10% τσιμέντου στο αρχικό δείγμα, η μέση αντοχή των δοκιμίων σε διάτμηση αυξάνεται κατά 174,52 % σε σχέση με το αρχικό δείγμα και κατά 51,57% σε σύγκριση με τα δοκίμια που περιέχουν 5% τσιμέντο.
- Αύξηση της μέσης αντοχής παρατηρείται και στα δοκίμια που περιέχουν 15% τσιμέντο. Η μέση αντοχή τους είναι 21,66 kg/cm<sup>2</sup>, τιμή κατά 217% μεγαλύτερη από αυτή των μη βελτιωμένων δοκιμίων και κατά 15% μεγαλύτερη τα δοκίμια που περιείχαν 10% τσιμέντο.
- Η μεγαλύτερη μέση αντοχή μετρήθηκε στα βελτιωμένα δοκίμια με περιεκτικότητα τσιμέντου 20%. Η τιμή της 24,5 kg/cm<sup>2</sup> είναι κατά 258% μεγαλύτερη από αυτή των μη βελτιωμένων δοκιμίων και κατά 13,1% από αυτή των δοκιμίων που περιείχαν 15% τσιμέντο.

### 6.4.2 Σύγκριση ελαχίστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμών φυσικού εδάφους και βελτιωμένων δοκιμών μετα από ωρίμανση 28 ημερών

Πίνακας 6.39 Συγκεντρωτικός πίνακας ελάχιστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμών μετα από ωρίμανση 28 ημερών

	Φυσικό Έδαφος	5% Τσιμέντο	10% Τσιμέντο	15% Τσιμέντο	20% Τσιμέντο
Ελάχιστη Αντοχή	6,2626	8,9131	16,9185	22,4283	27,5432
Μέγιστη Αντοχή	7,7201	14,4032	37,6204	39,0997	35,4743
Μέση Αντοχή	6,8389	11,8570	24,0189	32,8035	31,4692



Διάγραμμα 6.39 Συγκεντρωτικό διάγραμμα ελάχιστων, μέγιστων και μέσων αντοχών δοκιμών μετα από ωρίμανση 28 ημερών

- Τα δοκίμια που περιέχουν τσιμέντο σε ποσοστό 5% και έχουν ωριμάσει για 28 ημέρες, παρουσιάζουν σημαντική αύξηση της αντοχής τους σε διάτμηση σε σύγκριση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια. Πιο συγκεκριμένα η αντοχή τους φτάνει τα 11,85 kg/cm<sup>2</sup>, αυξάνεται δηλαδή κατά 73%

- Τα βελτιωμένα δοκίμια με ποσοστό τσιμέντου 10% έχουν 251% μεγαλύτερη αντοχή σε διάτμηση σε σχέση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια και 102% σε σχέση με τα δοκίμια που περιέχουν 5% τσιμέντο.
- Η αντοχή των δοκιμίων που περιέχουν 15% τσιμέντο είναι κατά 380% μεγαλύτερη από αυτή των μη βελτιωμένων δοκιμίων και κατά 36,6% μεγαλύτερη από αυτή των δοκιμίων που περιέχουν 10% τσιμέντο, φτάνοντας τα 32,8 kg/cm<sup>2</sup>.
- Από τα δοκίμια που περιέχουν 20% τσιμέντο προκύπτουν το εξής παράδοξο. Ενώ η μέση αντοχή τους παρουσιάζει αύξηση της τάξης του 360,6% σε σύγκριση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια, είναι κατά 4,1% μικρότερη όταν συγκριθεί με την μέση αντοχή των δοκιμίων που περιέχουν 15% τσιμέντο.

#### 6.4.6 Υπολογισμός Γωνίας Τριβής ( φ ), Συνοχής ( c )

Δείγμα	Γωνία τριβής φ	συνοχή c
0%	18	4,24
5% (7)	20	6,9
5% (28)	28	8,3
10% (7)	12	16,1
10% (28)	17	16,8
15% (7)	18	17,3
15% (28)	30	19
20% (7)	15	22,1
20% (28)	20	25,9

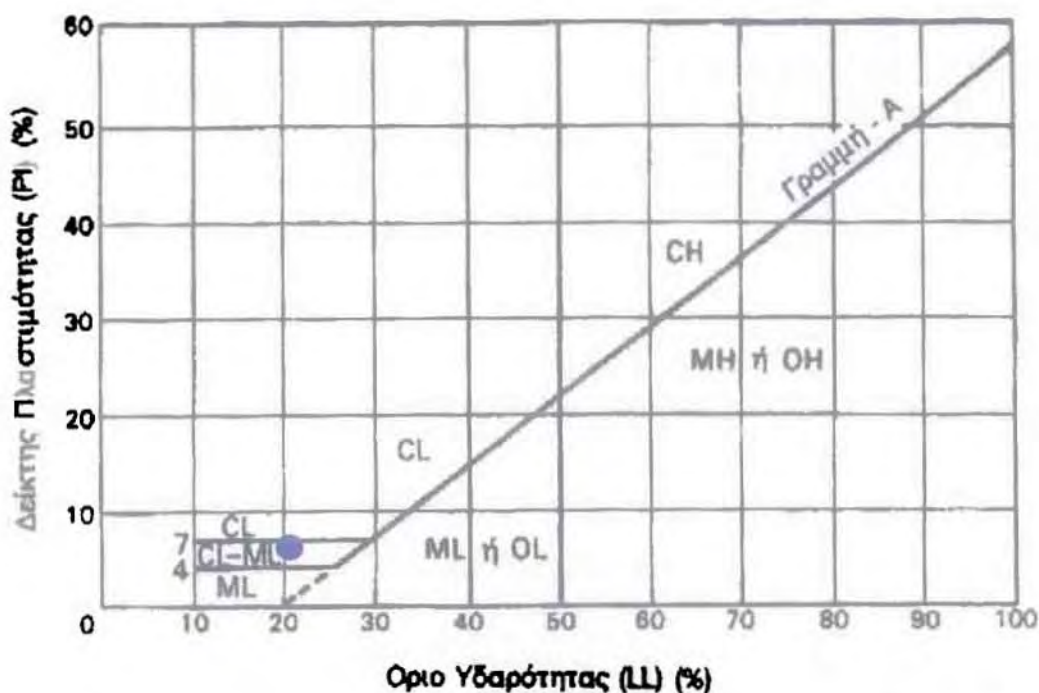


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 7.1 Αργικό έδαφος

- Από τα αποτελέσματα της δοκιμής προσδιορισμού των ορίων Atterberg, δηλαδή του ορίου υδαρότητας, ορίου πλαστικότητας και του δείκτη πλαστικότητας και τον χάρτη πλαστικότητας του Casagrande, σχήμα 7.1, προκύπτει ότι το έδαφος ανήκει στην κατηγορία CL-ML, Πρόκειται δηλαδή για αργιλοίλυδες έδαφος χαμηλής-μέσης πλαστικότητας, γεγονός που επιβεβαιώνει την αρχική εκτίμηση.



Σχήμα 7.1 Κατάταξη εδάφους στο χάρτη πλαστικότητας Casagrande

Όριο υδαρότητας LL	Όριο πλαστικότητας PL	Δείκτης πλαστικότητας PI
25,62%	18,78%	6,84

- Από την κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο που διενεργήθηκε στο εδαφικό κλάσμα που διέρχεται από το κόσκινο Νο 10, προκύπτει ότι το δείγμα αποτελείται από ιλύ και άργιλο
- Η εκτέλεση της δοκιμής μονοαξονικής ανεμπόδιστης θλίψης πραγματοποιήθηκε με 3 δοκίμια και παρουσιάστηκε μία μέγιστη τιμή αντοχής για το κάθε δοκίμιο. Από τον μέσο όρο των τριών αυτών τιμών προκύπτει η μέγιστη αντοχή σε θλίψη, η οποία υπολογίστηκε σε  $2,789 \text{ kg/cm}^2$
- Από την δοκιμή Proctor προκύπτει ότι η βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης του εδάφους είναι 9,95%
- Η δοκιμή άμεσης διάτμησης πραγματοποιήθηκε σε 3 δοκίμια, με εφαρμογή διαφορετικών ορθών τάσεων. Η μέγιστη διατμητική αντοχή που προκύπτει από τα 3 δοκίμια είναι  $6,83 \text{ kg/cm}^2$
- Η γωνία τριβής και η συνοχή που προκύπτουν από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης είναι  $18^\circ$  και  $4,24 \text{ kg/cm}^2$  αντίστοιχα

## **7.2 Βελτιωμένο έδαφος**

Για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας, το έδαφος υπέστη βελτίωση με την προσθήκη τσιμέντου σε ποσοστά 5%, 10%, 15% και 20%. Το βελτιωμένο αυτό έδαφος υποβλήθηκε σε μία σειρά δοκιμών από τις οποίες προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το όριο υδαρότητας (LL) αυξάνεται με την προσθήκη τσιμέντου στο εδαφικό δείγμα, όχι αναλογικά όμως της προσθήκης τσιμέντου, καθώς όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των δοκιμών τα δείγματα που περιείχαν 15% και 20% τσιμέντο εμφάνισαν το ίδιο σχεδόν όριο υδαρότητας, το οποίο ήταν κατά 10,14% και 10,1% αντίστοιχα μεγαλύτερο από αυτό του αρχικού εδάφους
- Το όριο πλαστικότητας (PL) παρουσιάζει και αυτό αύξηση με την προσθήκη τσιμέντου στο εδαφικό δείγμα. Την μεγαλύτερη αύξηση του ορίου πλαστικότητας εμφάνισε το δείγμα που περιείχε 20% τσιμέντο, φτάνοντας το 24,11 τιμή κατά 28,3% μεγαλύτερη από αυτή του φυσικού δείγματος.
- Ο δείκτης πλαστικότητας του εδαφικού δείγματος που περιείχε τσιμέντο εμφανίζεται κατά κανόνα μικρότερος από αυτόν του φυσικού υλικού, με εξαίρεση το δείγμα βελτιώθηκε με προσθήκη τσιμέντου 15%. Η μεγαλύτερη μείωση του δείκτη πλαστικότητας παρατηρήθηκε στο δείγμα που περιείχε 20% τσιμέντο και εμφανίστηκε κατά 41,4% μειωμένος σε σχέση με τον δείκτη πλαστικότητας του φυσικού εδάφους.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών Proctor, η βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης παρουσιάζει σημαντική αύξηση όταν στο εδαφικό δείγμα προστίθεται τσιμέντο.
- Η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε στο εδαφικό υλικό που περιείχε 10% τσιμέντο και ήταν της τάξης του 64,6% σε σύγκριση με το φυσικό έδαφος. Η βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης έφτασε το  $W_c=16,38\%$  σε σύγκριση με το 9,95% του φυσικού εδάφους
- Οι βέλτιστες υγρασίες συμπίκνωσης που υπολογίστηκαν για κάθε δείγμα τηρήθηκαν ευλαβικά κατά την μόρφωση δοκιμίων για την δοκιμή μονοαξονικής θλίψης και για την δοκιμή διάτμησης.
- Η προσθήκη τσιμέντου αυξάνει σημαντικά την αντοχή του αρχικού εδάφους σε θλίψη με τρόπο σχεδόν ανάλογο της προστιθέμενης ποσότητας

- Όσον αφορά τα δοκίμια των 7 ημερών, η μεγαλύτερη αναλογικά αύξηση παρατηρήθηκε στα βελτιωμένα δοκίμια που περιείχαν 10% τσιμέντο. Η μέση αντοχή τους αυξήθηκε κατά 575% σε σχέση με τα μη βελτιωμένα δοκίμια και κατά 242% σε σύγκριση με τα βελτιωμένα με 5% τσιμέντο δοκίμια, φτάνοντας τα 18,784 kg/cm<sup>2</sup>. Την μέγιστη αντοχή εμφάνισαν τα δοκίμια με 20% τσιμέντο στην σύνθεση τους
- Η μεγαλύτερη αναλογικά αύξηση στην αντοχή σε θλίψη μετά από ωρίμανση 28 ημερών παρατηρήθηκε, όπως και στα δοκίμια με χρόνο ωρίμανσης τις 7 ημέρες, στα δοκίμια που περιείχαν 10% τσιμέντο. Η αύξηση της αντοχής τους έφτασε το 749,6% και 114,2% σε σχέση με τα δοκίμια που περιείχαν 0% και 5% τσιμέντο αντίστοιχα.
- Τα δοκίμια που περιείχαν 15% τσιμέντο εμφάνισαν την μεγαλύτερη μέση αντοχή σε θλίψη, ενώ η μέγιστη τιμή αντοχής σε θλίψη προέκυψε από τα δοκίμια με 20% τσιμέντο στην σύστασή τους
- Η αντοχή του εδάφους σε διάτμηση αυξάνεται σημαντικά με την προσθήκη τσιμέντου
- Για περίοδο ωρίμανσης 7 ημερών, η μεγαλύτερη μέση αντοχή εμφανίζεται στα δοκίμια με ποσοστό τσιμέντου 20%, φτάνοντας τα 24,5 kg/cm<sup>2</sup>
- Στα δοκίμια που ωρίμασαν για 28 ημέρες, μεγαλύτερη μέση αντοχή αναπτύσσουν τα δοκίμια με 15% τσιμέντο στην σύνθεσή τους, αντοχή η οποία είναι κατά 4,5% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των δοκιμίων με περιεκτικότητα τσιμέντου 20%

► Ως τελικό συμπέρασμα για την βελτίωση με τσιμέντο των αργιλοΐλυωδών εδαφών προτείνεται:

1. η χρήση ποσοστού τσιμέντου από 5% έως 10% για συνήθεις εργασίες βελτίωσης (π.χ. θεμελίωση μικρών κτιρίων σε προβληματικά εδάφη)
2. η χρήση μεγαλύτερων ποσοστών του 10% τσιμέντου αποτελεί πρακτική, αλλά όχι και οικονομική λύση, για την βελτίωση εδαφών τα οποία προβλέπεται να δεχθούν πολύ ισχυρά φορτία. Η βελτίωση αυτή αποβλέπει εν μέρει στον περιορισμό των καθιζήσεων και των



διαφορικών καθιζήσεων και αφ' ετέρου στην ανάπτυξη ισχυρής αντοχής του εδάφους ώστε να αποφευχθεί η αστοχία του. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία που προτείνει ως βέλτιστο (από πλευράς αντοχής-κόστους) ποσοστό χρήσης τσιμέντου για βελτίωση αργιλοΐλυωδών εδαφών τιμές μεταξύ 8% και 13%.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1 Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου-Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Γεωτεχνική Μηχανική, Έρευνα – Γεωτρήσεις - Εργαστήριο, Αθήνα, 1999**
- 2 Στ. Τσότσος, Εδαφομηχανική, Θεωρία – Μέθοδοι – Εφαρμογές, Θεσσαλονίκη, 1991**
- 3 Van, Impe F. W., Soil Improvement techniques and their Evolution, AA Bulkema, Rotterdam, Brookfield, 1989**
- 4 Israel, R. W., Soil Stabilization and Cold Mix Recycling, USA, 1982**
- 5 Στ. Τσότσος, Θέματα εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων, ΑΠΘ, 1987**
- 6 Attewell, P. B., I.W. Farmer, Principles of Engineering Geology, New York, 1976**
- 7 Bell, F.G., Methods of Treatment of Unstable Ground, London, 1975**
- 8 Ε. Σταυριδάκης, Μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών, ΑΠΘ, 2003**
- 9 Κ.Η. Head, Manual of Soil Laboratory Testing, UK, 2008**
- 10 Β. Χρηστάρας, Εργαστηριακές & επί τόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής, Θεσσαλονίκη, 1998**
- 11 Προδιαγραφές Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής, Φ.Ε.Κ. υπ' αριθμόν 955/31-12-86, Αθήνα, 1986**
- 12 O. G. Ingles & J. B. Metcalf, Soil Stabilization: principles and practice, Sydney, 1972**
- 13 T. Ruenkairergsa, Proposed specifications for Soil Cement Base construction in Thailand, Israel, 1983**
- 14 AASHO, The classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes, Am, Assoc, State Highway Officials, 1961**
- 15 ASTM, Annual book of ASTM Standards, Vol 04.08, Soil and Rock Building Stones, Geotextiles, Philadelphia, 1989**

- 16 ASTM, Annual book of ASTM Standards, Standard test method for classification of soils for engineering purposes:Am, Soc. For Testing and Mater., 1983**
- 17 Nussbaum P.J. & Colley B.E., Dam Construction and Facing with Soil Cement, 1971**
- 18 Μ. Σακελλαρίου, Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής, Αθήνα, 2003**