

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

Τίτλος Εργασίας

**Δοκιμές εδαφομηχανικής σύμφωνα με
euro norms.**

Πτυχιακή Εργασία των

Γαλάνη Χαρίλαου και

Νικολόπουλο Γεώργιου

Επιβλέπων : ΖΗΣΙΜΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ, 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη των δοκιμών εδαφομηχανικής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7. Οι Δομικοί Ευρωκώδικες είναι κώδικες σχεδιασμού κτιρίων και λοιπών έργων Πολιτικού Μηχανικού μέσω οριακών καταστάσεων, σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία των επιμέρους συντελεστών . Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι διάφορες δοκιμές εδαφομηχανικής στις οποίες εξετάζονται οι δύο οριακές καταστάσεις του εδάφους, δηλαδή το πλήρως κορεσμένο και το ξηρό έδαφος, σε συνδυασμό με την εισαγωγή των Ευρωκωδικών.

Στο κεφάλαιο 1 δίνεται ο ορισμός των δοκιμών εδαφομηχανικής και της δειγματοληψίας. Οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών προσδιορίζονται με τις επί τούτου δοκιμές, δοκιμές που γίνονται στο έδαφος κατασκευής ενός έργου και τις εργαστηριακές δοκιμές με τις οποίες προσδιορίζονται οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων. Η δειγματοληψία είναι η έρευνα που αποτελεί επιτόπου αναγνώριση ειδικών γεωτεχνικών συνθηκών .

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το σύστημα του Ευρωκώδικα 7, ο οποίος πρέπει να χρησιμοποιείται σε όλα τα προβλήματα έργων που περιλαμβάνουν ή επηρεάζονται από το έδαφος . Στη συνέχεια γίνεται λόγος για τις προδιαγραφές του Ευρωκώδικα 7 και για τους συμπληρωματικούς κανόνες ως προς α) τον προγραμματισμό και τον τρόπο παρουσίασης των γεωτεχνικών ερευνών, β) τις γενικές απαιτήσεις για έναν αριθμό ευρέως χρησιμοποιούμενων εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών γεωτεχνικής, γ) την ερμηνεία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών, δ) την παραγωγή των γεωτεχνικών παραμέτρων για το σχεδιασμό.

Στο κεφάλαιο 3 δίνεται ο ορισμός της στερεοποίησης ως η χρονικά εξαρτώμενη καθίζηση ενός εδαφικού σχηματισμού. Επίσης, περιγράφεται η συσκευή για τον προσδιορισμό της στερεοποίησης.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφονται οι εργαστηριακές δοκιμές στις οποίες προσδιορίζεται η διατμητική αντοχή των εδαφών. Οι δοκιμές είναι οι : 1) Δοκιμή Κυλινδρικής Τριαξονικής Φόρτισης, 2) Τριαξονική Δοκιμή CUPP 3) Τριαξονική

Δοκιμή CD, 4)Τριαξονική Δοκιμή Χωρίς Στερεοποίηση UU, 5)Δοκιμή Απευθείας Διάτμησης, 6)Δοκιμή Απλής Διάτμησης, 7) Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης.

Στο κεφάλαιο 5 δίνεται ο όρος της συμπίκνωσης που είναι η τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με μηχανικά μέσα. Επίσης, περιγράφεται η δοκιμή CBR, η οποία εκτιμά την διατμητική αντοχή ενός εδάφους υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας - πυκνότητας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1. Δοκιμές Εδαφομηχανικής	6
1.1. Δειγματοληψία	8
2. Ευρωκώδικας 7.....	14
2.1. Το Σύστημα Του Ευρωκώδικα 7.....	14
2.2. Προδιαγραφές Με Βάση Τον Ευρωκώδικα 7	16
2.3. Ευρωκώδικας 7 – Μέρος 2 : Γεωτεχνικές Έρευνες και Δοκιμές... ..	18
2.3.1. Εισαγωγή.....	18
2.3.2. Προγραμματισμός Γεωτεχνικών Ερευνών.....	20
2.3.3. Εργαστηριακές Δοκιμές Εδάφους.....	22
2.4. Συνέπειες Από Την Εφαρμογή του Ευρωκώδικα 7	25
3. Στερεοποίηση Εδαφών	26
3.1. Εισαγωγή.....	26
3.2. Μονοδιάσταση Στερεοποίηση	28
3.3. Εργαστηριακή Δοκιμή Συμπιεσόμετρου.....	31
4. Διατμητική Αντοχή Εδαφών	34
4.1. Εισαγωγή.....	34
4.2. Εργαστηριακές Δοκιμές	37
4.2.1. Δοκιμή κυλινδρικής τριαξονικής φόρτισης.....	37
4.2.2. Τριαξονική φορτιση CUPP	39
4.2.3. Τριαξονική δοκιμή CD.....	40
4.2.4. Τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση UU.....	42
4.2.5. Δοκιμή απευθείας διάτμησης	43
4.2.6. Δοκιμή απλής διάτμησης.....	46
4.2.7. Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης.....	47
5. Συμπύκνωση Εδαφών-Δοκιμή CBR . Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
5.1. Συμπύκνωση Εδαφών	56
5.2. Δοκιμή CBR.....	62
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος ορίζεται κατά τον γεωλόγο ένα από τα πετρώματα που αποτελούν το στερεό φλοιό της γης. Κατά τον Πολιτικό Μηχανικό είναι το άθροισμα ορυκτών κόκκων τόσο ασθενώς συγκολλημένων μεταξύ τους που μπορούν να εκσκαφούν με το χέρι ή με χειροκίνητα εργαλεία. Στην αντίθετη περίπτωση πρόκειται για βράχο. Το έδαφος γενικά ορίζεται ως οι σχηματισμοί προερχόμενοι από φυσική, χημική ή οργανική αποσάθρωση των πετρωμάτων που αποτελούν το στερεό φλοιό της γης. Με βάση το μέγεθος των κόκκων που αποτελούν το έδαφος, διακρίνεται σε χάλικες, άμμο, ιλύ και άργιλο. Η ορυκτολογική σύσταση του εδάφους μπορεί να αλλάξει με τη χημική αποσάθρωση και δημιουργούνται κρυσταλλικοί κόκκοι κολλοειδούς μεγέθους που ονομάζονται άργιλοι ή αργιλικά ορυκτά ή γενικότερα συνεκτικά εδάφη. Η δομή των συνεκτικών εδαφών εξαρτάται από το μέγεθος των ελκτικών και αποθητικών δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων της αργίλου.

1. Δοκιμές Εδαφομηχανικής

Η εδαφομηχανική είναι ο κλάδος της εφαρμοσμένης μηχανικής όπου πραγματεύεται την συμπεριφορά και τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους (όπως η αντοχή του εδάφους, η συμπεριφορά του εδάφους σύμφωνα με την περιεχόμενη υγρασία), τις μεθόδους σχεδιασμού τεχνικών έργων που εδράζονται και αλληλεπιδρούν σε / με αυτό (όπως θεμελιώσεις κτιριακών έργων και γεφυρών, οδοστρώματα, σήραγγες) καθώς και των κατασκευών από έδαφος (όπως τα χωμάτινα φράγματα, επιχώματα οδοποιίας).

Μία από τις ιδιαιτερότητες της εδαφομηχανικής σε σχέση με άλλους κλάδους της εφαρμοσμένης μηχανικής, είναι η αδυναμία της καταρχήν προδιαγραφής των ιδιοτήτων των υλικών. Στην περίπτωση των κατασκευών επί του (ή και από) εδάφους, ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις ιδιότητες του υλικού που θα συναντηθεί. Δεν είναι λίγες και οι περιπτώσεις όπου λόγω δυσμενών εδαφοτεχνικών συνθηκών, έργα έχουν αλλάξει θέση (όπως η μεταβολή της χάραξης οδού).

Το έδαφος είναι τριφασικό υλικό με έντονα τριφασικό υλικό με έντονα μη γραμμική συμπεριφορά, που αποτελείται από στερεά σωματίδια και κενά πληρωμένα με νερό και αέρα. Η εδαφομηχανική εξετάζει τις δύο οριακές καταστάσεις του εδάφους, δηλαδή το πλήρως κορεσμένο και το ξηρό έδαφος.

Τα εδαφικά υλικά, σαν φυσικά υλικά, εμφανίζουν σημαντική ανομοιογένεια. Ειδικότερα, η συμπεριφορά τους ποικίλλει όχι μόνο μεταξύ των διαφορετικών τύπων εδαφών (π.χ. αμμώδη και αργιλικά), αλλά και μεταξύ υλικών του ίδιου τύπου (π.χ. χαλαρές και πυκνές άμμοι), όπως και από θέση σε θέση. Κατά συνέπεια, ο προσδιορισμός της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών απαιτεί τη διερεύνηση των ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων από τη συγκεκριμένη θέση που ενδιαφέρει. Η λήψη δειγμάτων από το έδαφος ονομάζεται γεωτεχνική δειγματοληψία και μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους οι οποίοι εξαρτώνται από το είδος του εδάφους, τον τύπο και τη σημασία του έργου (κυρίως την έκταση, το βάθος επιρροής και τις απαιτήσεις αντοχής και ανεκτών υποχωρήσεων) καθώς και το διαθέσιμο μηχανικό εξοπλισμό.

Η μηχανική συμπεριφορά των εδαφών εξαρτάται και από τη δομή τους, η οποία όμως μπορεί να καταστραφεί κατά τη δειγματοληψία. Συνεπώς, πρέπει να λαμβάνεται κάθε προσοχή ώστε η διατάραξη κατά τη δειγματοληψία να είναι

ελάχιστη. Εδαφικά δείγματα που έχουν υποστεί την ελάχιστη δυνατή διατάραξη ονομάζονται αδιατάρακτα.

Η απλούστερη γεωτεχνική δειγματοληψία γίνεται ίσως με την εκσκαφή ενός φρέατος και τη λήψη εδαφικών δειγμάτων από τις παρειές ή τον πυθμένα του. Η μέθοδος διερεύνησης του εδάφους με ερευνητικά φρέατα επιτρέπει ταυτόχρονα και τη μακροσκοπική παρατήρηση της στρωματογραφίας (εδαφικό προφίλ), της κλίσης των εδαφικών στρώσεων και ποικίλες λεπτομέρειες που δεν είναι εύκολο να αποκαλυφθούν με άλλες μεθόδους.

Γεωτεχνικές εργασίες σε βάθη μεγαλύτερα των 4-5 μέτρων συνήθως εκτελούνται με τη διάνοιξη δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Κατά τη μέθοδο αυτή δημιουργείται μία κυλινδρική οπή στο έδαφος με τη διείσδυση ενός μεταλλικού στελέχους (διατρητική στήλη) εφοδιασμένου με κοπτική κεφαλή. Η διείσδυση γίνεται είτε με κρούση ή δόνηση (κρουστικές γεωτρήσεις) είτε με συνδυασμό πίεσης και περιστροφής του στελέχους (περιστροφικές γεωτρήσεις).

Η θεωρητική προσέγγιση της μηχανικής συμπεριφοράς των σωματιδίων θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη μηχανική διακριτού μέσου.

Οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών προσδιορίζονται με τις δύο παρακάτω μεθοδολογίες:

(α) Επί τόπου δοκιμές: Η διαδικασία αυτή αφορά δοκιμές που γίνονται στον τόπο – έδαφος κατασκευής ενός έργου. Αν και δεν διαθέτουν την ακρίβεια των εργαστηριακών δοκιμών στον προσδιορισμό γεωτεχνικών παραμέτρων, είναι πολλές οι περιπτώσεις που μόνο αυτές μπορούν να δώσουν μία εικόνα για τις ιδιότητες του εδάφους. Για παράδειγμα ο εργαστηριακός προσδιορισμός της αντοχής της άμμου είναι δύσκολος καθώς προκαλείται έντονη διατάραξη κατά την διαδικασία της δειγματοληψίας. Η συνήθης πρακτική είναι, οι ιδιότητες της άμμου να προσδιορίζονται με την δοκιμή διείσδυσης (SPT – Standard Penetration Test) επί τόπου.

(β) Εργαστηριακές δοκιμές: Με την διαδικασία της δειγματοληψίας η οποία γίνεται συνήθως με χρήση γεωτρήσεων λαμβάνονται εδαφικά δείγματα τα οποία μεταφέρονται στον χώρο του εργαστηρίου. Με κατάλληλες εργαστηριακές μεθοδολογίες, προσδιορίζονται οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων (γεωτεχνικοί παράμετροι).

Οι εργαστηριακές δοκιμές της εδαφομηχανικής έχουν τυποποιηθεί από διάφορους φορείς, ώστε να είναι δυνατή η αναπαραγωγή των εργαστηριακών

δοκιμών και η εξαγωγή συμβατών αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εργαστηρίων. Οι προδιαγραφές του ΕΛΟΤ για τις εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, εκδίδονται από το ΚΕΔΕ (Κέντρο Ελέγχου Δημοσίων Έργων) σε έντυπα που περιγράφουν τις μεθόδους διεξαγωγής και επιπλέον αποτελούν νόμο του κράτους (ΦΕΚ - Τεχνικές προδιαγραφές δοκιμών εδαφομηχανικής). Η τήρηση αυτών των προδιαγραφών είναι υποχρεωτική από τα εργαστήρια, προκειμένου τα αποτελέσματα των δοκιμών να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό έργων.

1.1. Δειγματοληψία

Προκειμένου να γίνει ο γεωτεχνικός σχεδιασμός ενός έργου (όπως η μελέτη - διαστασιολόγηση των θεμελιώσεων, ο σχεδιασμός τοίχων αντιστήριξης, υπολογισμού των μέτρων υποστήριξης σηράγγων κ.α.) απαιτείται μία εκτενής γεωτεχνική έρευνα. Η έρευνα αυτή απαιτεί ανάλογα με την φύση του έργου, γεωλογική χαρτογράφηση, επιτόπου αναγνώριση ειδικών γεωτεχνικών συνθηκών, αλλά κυρίως την διαδικασία της δειγματοληψίας.

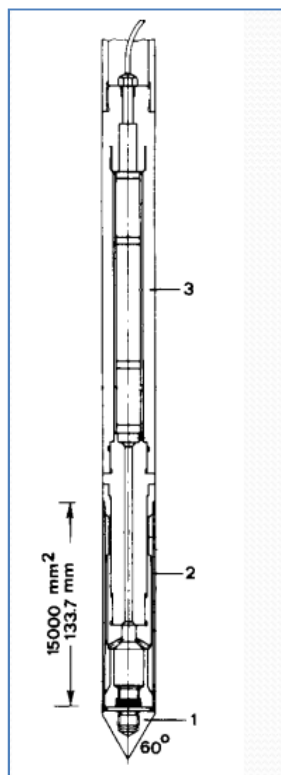
Η δειγματοληψία του εδάφους μπορεί να γίνει με απλή λήψη δειγμάτων από την επιφάνεια. Επειδή όμως τα εδαφικά υλικά διαφοροποιούνται έντονα κατά το βάθος, προτιμάται η χρήση των γεωτρύπανων ώστε με την διάτρηση εδαφικών στρωμάτων να είναι δυνατή η προσέγγισή τους. Η διαδικασία της διάτρησης διακόπτεται ανά διαστήματα (τα οποία αποφασίζονται επί τόπου από τον επιβλέπων γεωλόγο ή μηχανικό) ώστε να γίνει η δειγματοληψία. Η συνηθισμένη πρακτική είναι η κατακόρυφη ή σχεδόν κατακόρυφη διάτρηση, δεν είναι λίγες όμως οι περιπτώσεις που η διάτρηση είναι οριζόντια ώστε να διερευνηθούν οι ιδιότητες του εδάφους κατά μήκος. Η διάτρηση μπορεί να γίνεται με μεθόδους που επιταχύνουν την διαδικασία αλλά διαταράσσουν έντονα το έδαφος. Η δειγματοληψία όμως πρέπει να γίνεται προσεκτικά ώστε το δείγμα που θα ληφθεί να μεταφέρει όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματικότητα στο εργαστήριο. Η διερεύνηση του υπεδάφους θα γίνεται μέχρι το βάθος όπου η αλληλεπίδραση με το έργο κρίνεται σημαντική.

Σε περιπτώσεις που η δειγματοληψία είναι αδύνατη (όπως σε χαλαρά στρώματα άμμου), ο γεωτρυπανιστής μπορεί να εκτελέσει χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του γεωτρύπανου επί τόπου δοκιμές (SPT ή CPT κ.α.) (Εικόνα 1.1).

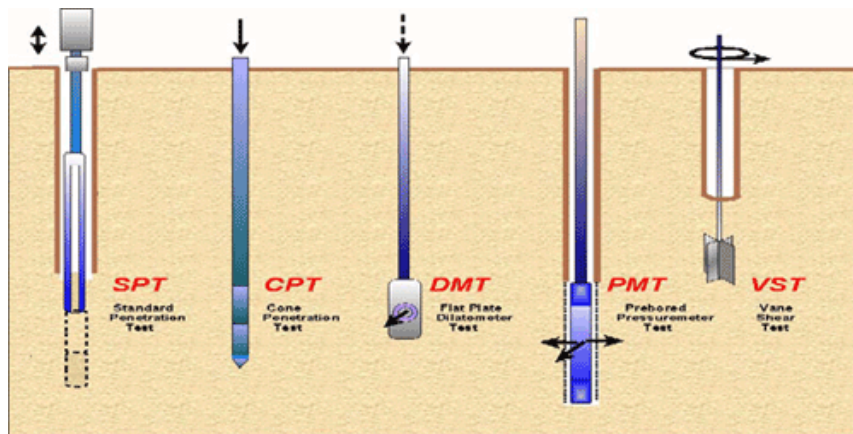
Επιπλέον, αν συναντηθεί βραχώδες στρώμα είναι δυνατή η χρήση ειδικών γεωτρήπανων για βραχώδη υλικά (π.χ. διαμάντι, καρβίδια) και περιστροφική διάτρηση (σε συνδυασμό με την χρήση νερού για ψύξη του τρυπανιού προκειμένου για πολύ σκληρό βράχο).

Η έρευνα του υπεδάφους συχνά συνδυάζεται και με την εκτέλεση επιτόπου δοκιμών. Ελέγχουν τις ιδιότητες του εδάφους στη φυσική του κατάσταση, χωρίς να παρεμβληθεί η δειγματοληψία και οι λοιπές διαδικασίες που το διαταράσσουν και μεταβάλλουν τη δομή του. Το κύριο μειονέκτημα των επιτόπου δοκιμών είναι ότι οι εντατικές καταστάσεις που επιβάλλουν στο έδαφος είναι ανομοιογενείς και τις περισσότερες φορές άγνωστες.

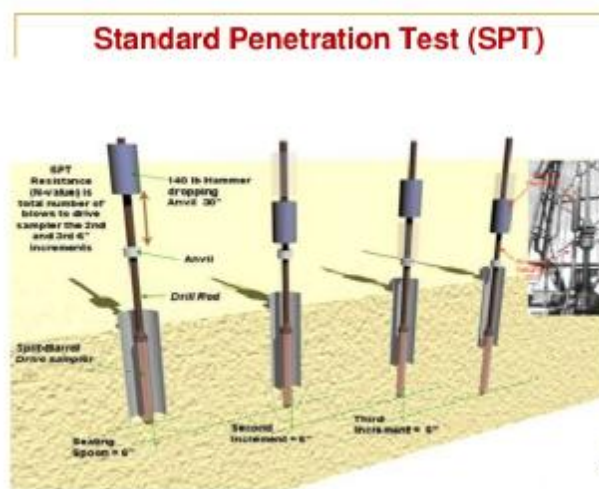
Η δοκιμή SPT (Εικόνα 1.2) αναπτύχθηκε κατ' αρχήν για την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας των αμμωδών εδαφών, στα οποία η αδιατάρακτη δειγματοληψία είναι ιδιαίτερα δυσχερής. Σήμερα, η δοκιμή SPT (Εικόνα 1.3) χρησιμοποιείται σε όλους σχεδόν τους τύπους εδαφών κυρίως για την εκτίμηση της αντοχής τους.



Εικόνα 1.1 Δειγματολήπτης Terzaghi.



Εικόνα 1.2: Διατάξεις για τις δοκιμές SPT, CPT,DMT, PMT, VST.

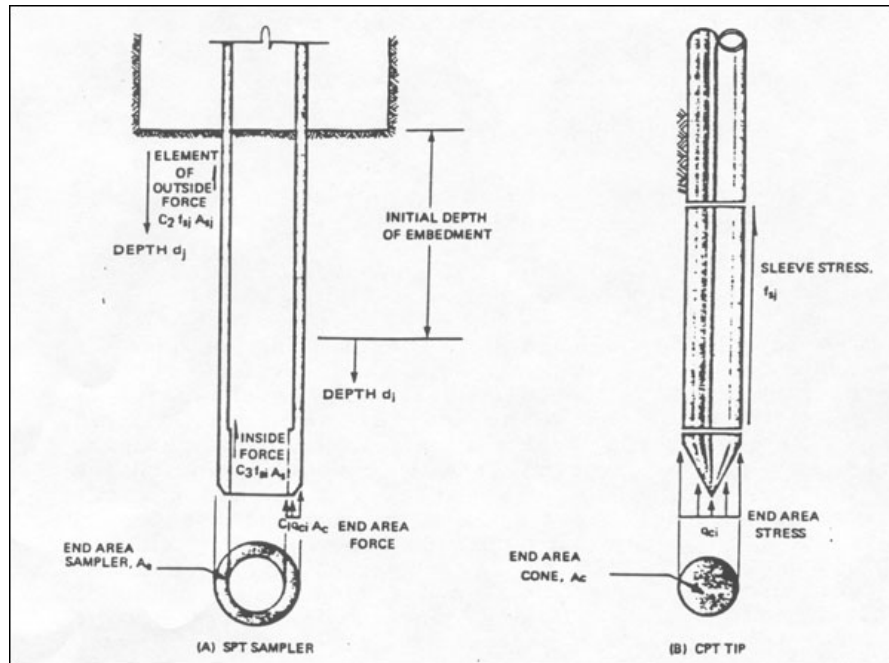


Εικόνα 1.3: Διατάξεις για τη δοκιμή SPT.

Η λήψη αδιατάραχτων εδαφικών δειγμάτων γίνεται με έμπηξη ενός κυλινδρικού στελέχους στο εδαφικό υλικό, με απλή πίεση, χωρίς περιστροφική κίνηση. Το δείγμα το οποίο θα είναι μήκους έως 30-40 εκ. εισέρχεται σε έναν πλαστικό σωλήνα (PVC) ο οποίος σφραγίζεται με παραφίνη ώστε να μην χάνεται η φυσική υγρασία και μεταφέρεται στο εργαστήριο για δοκιμές. Επιπλέον, τα δείγματα από χαρακτηριστικές θέσεις τοποθετούνται σε ένα κασελάκι κατά την σειρά που συναντήθηκαν, ώστε να δίνουν μία εικόνα της γεώτρησης. Η εικόνα αυτή υποστηρίζεται από την σύνταξη ενός διαγράμματος που θα δείχνει την αλληλουχία των στρωμάτων με την περιγραφή τους, καθώς και κάποιες ιδιότητες.

Τέλος, συλλέγεται το διαταραγμένο εδαφικό υλικό το οποίο αφού προστατευτεί από την απώλεια φυσικής υγρασίας (βάζοντάς στο σε νάιλον σακούλες), μεταφέρεται στο εργαστήριο για δοκιμές που δεν απαιτούν αδιατάραχτα δείγματα (π.χ. δοκιμές δείκτη, μέτρηση περιεχόμενης υγρασίας κ.α.).

Η άλλη γνωστή μέθοδος μέτρησης της αντίστασης σε διείσδυση (Εικόνα 1.5) στο έδαφος είναι αυτή του Στατικού Ολλανδικού Πενετρομέτρου.(EN1997-3,παρ.3).



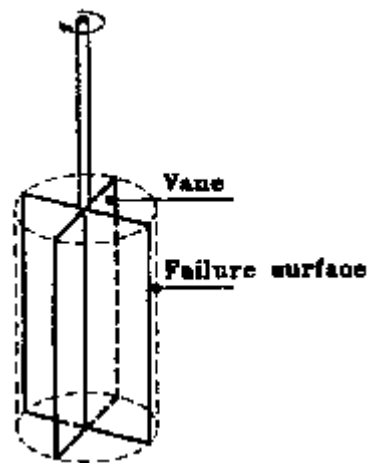
Εικόνα 1.4: Λεπτομέρεια της διάταξης για τη CPT



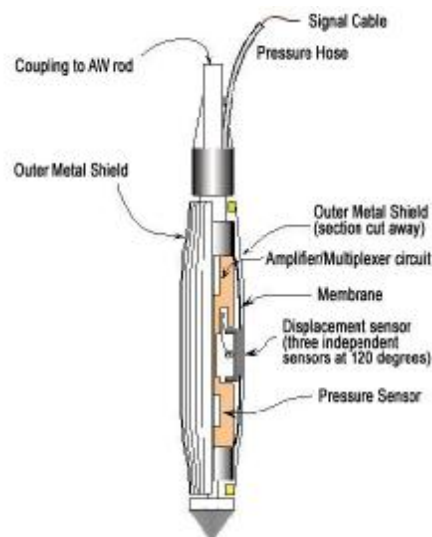
Εικόνα 1.5: Το ολλανδικό πενετρόμετρο

Μια άλλη δοκιμή είναι η δοκιμή περυγίου FVT (Εικόνα 1.6). Η δοκιμή αυτή αναπτύχθηκε στις Σκανδιναβικές χώρες για τη μέτρηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής των μαλακών αργίλων. (EN1997-3,παρ.8). Τα αποτελέσματα της δοκιμής έχουν εφαρμοσθεί με επιτυχία στην ανάλυση της ευστάθειας επιχωμάτων και εδαφικών πρανών. Έχει επίσης αναπτυχθεί και περυγίο μικρών

διαστάσεων για την εκτέλεση της δοκιμής (Εικόνα 1.7) σε αδιατάρακτα εδαφικά δοκίμια στο εργαστήριο.



Εικόνα 1.6: Λεπτομέρεια διάταξης FVT



Εικόνα 1.7: Λεπτομέρεια διάταξης FVT

Υπάρχουν και άλλες επιτόπου δοκιμές, οι κυριότερες από τις οποίες αναφέρονται επιγραμματικά στα επόμενα:

1. Η δοκιμή πρεσσιομέτρου (PMT), που βασίζεται στη διόγκωση ενός κυλινδρικού ελαστικού σάκου στο εσωτερικό μιας γεώτρησης και στη μέτρηση της πίεσης που απαιτείται για τη διόγκωση.

2. Το επίπεδο ντιλατόμετρο Marchetti (DLT), που βασίζεται στη διόγκωση μιας επίπεδης πλάκας στον πυθμένα μιας γεώτρησης και στη μέτρηση της πίεσης που απαιτείται για τη διόγκωση.

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η ονοματολογία των πιο συνηθισμένων δοκιμών εδαφομηχανικής οι οποίες υπόκεινται στις ευρωπαϊκές προδιαγραφές (Euro norms – EN).

Πίνακας 1.1: Εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
1	Δοκιμή απευθείας διάτμησης	EN1997-2, παρ. 15.4
2	Προσδιορισμός καλιφ. Λόγου φερ. ικανότητας CBR.	EN1997-2, παρ. 10.3,
3	Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης.	EN1997-2, παρ. 9.4,
4	Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης.	EN1997-2, παρ. 15.2,
5	Τριαξονική δοκιμή.	EN1997-2, παρ.15.6

2. Ευρωκώδικας 7

2.1. Το Σύστημα Του Ευρωκώδικα 7

Στο πλαίσιο εναρμόνισης των μεθόδων σχεδιασμού τεχνικών έργων στις Χώρες-Μέλη της Ε.Ε., η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων αποφάσισε την ανάπτυξη του προγράμματος των Δομικών Ευρωκωδίκων. Με βάση σχετική συμφωνία, από το 1989 η CEN ανέλαβε την προετοιμασία και την έκδοση των Ευρωκωδίκων με σκοπό να θεσπισθούν μελλοντικά ως Ευρωπαϊκά Πρότυπα (EN).

Οι Δομικοί Ευρωκώδικες είναι κώδικες σχεδιασμού κτιρίων και λοιπών έργων Πολιτικού Μηχανικού μέσω οριακών καταστάσεων, σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία των επιμέρους συντελεστών. Σήμερα, το σύστημα των Δομικών Ευρωκωδίκων περιέχει δέκα (10) Πρότυπα (EN), τα EN 1990 έως EN 1999, καθένα από τα οποία αποτελείται από περισσότερα του ενός Μέρη, πλην του EN 1990: «Αρχές Δομικού Σχεδιασμού» που αποτελείται από ένα μόνον Μέρος, και είναι τα εξής :

EN 1990 Ευρωκώδικας 0: Αρχές Δομικού Σχεδιασμού

EN 1991 Ευρωκώδικας 1: Δράσεις επί των κατασκευών

EN 1992 Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα

EN 1993 Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός χαλύβδινων κατασκευών

EN 1994 Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός συμμείκτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα

EN 1995 Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών

EN 1996 Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός κατασκευών από λιθοδομή

EN 1997 Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός σχεδιασμός

EN 1998 Ευρωκώδικας 8: Σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών

EN 1999 Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός κατασκευών από κράματα αλουμινίου

Ενώ οι Ευρωκώδικες γενικώς αναφέρονται σε κατασκευές από συγκεκριμένο υλικό (π.χ, ο EN 1992 σε κατασκευές από σκυρόδεμα, ο EN 1993 σε κατασκευές από χάλυβα), οι Ευρωκώδικες EN 1990, EN 1991, EN 1997 και EN 1998 αφορούν όλους τους τύπους κατασκευών, ανεξαρτήτως υλικού κατασκευής.

Ειδικότερα, ο Ευρωκώδικας 7 (EN 1997) πρέπει να χρησιμοποιείται σε όλα τα προβλήματα έργων που περιλαμβάνουν ή επηρεάζονται από το έδαφος. Με βάση τον Ευρωκώδικα 7 υπολογίζονται τόσο οι γεωτεχνικές δράσεις επί των κατασκευών, όσο και οι προκαλούμενες αντιστάσεις του εδάφους. Ο Ευρωκώδικας 7 αποτελείται από δύο μέρη:

α) EN 1997-1: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες (CEN 2004)

β) EN 1997-2: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 2: Γεωτεχνικές Έρευνες και Δοκιμές (CEN 2007)

Η δομή του Ευρωκώδικα 7 συνδέεται ισχυρά με το κείμενο του EN 1990 και ιδιαίτερα με το Κεφάλαιο 6 (Έλεγχος με τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών), προκειμένου να επιτευχθεί ένας τρόπος ελέγχου θεμάτων αλληλεπίδρασης εδάφους κατασκευής, ο οποίος θα είναι συμβατός με όλους τους Δομικούς Ευρωκώδικες. Τα περιεχόμενα του Ευρωκώδικα 7 σκοπεύουν να ικανοποιήσουν δύο προϋποθέσεις:

α) Εναρμόνιση του τρόπου μελέτης των γεωτεχνικών έργων στην Ε.Ε. με τη σύνταξη ενός ενιαίου κώδικα σχεδιασμού, ο οποίος θα αντικαθιστούσε τους μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενους κώδικες ή μεθοδολογίες σχεδιασμού στις διάφορες χώρες μέλη της Ε.Ε. και

β) Εναρμόνιση του γεωτεχνικού με τον δομικό σχεδιασμό των έργων Πολιτικού Μηχανικού σύμφωνα με το σύστημα των Ευρωκωδίκων.

Η τελευταία αυτή προϋπόθεση επιτεύχθηκε με την θέσπιση και στην γεωτεχνική της μεθοδολογίας των οριακών καταστάσεων ως βάση για τον σχεδιασμό των έργων.

Είναι λοιπόν αναγκαίο να γίνουν κατανοητές από τους Γεωτεχνικούς Μηχανικούς, που θα εφαρμόσουν τον νέο Κώδικα EC7 στις μελέτες, οι νέες (για την Γεωτεχνική) έννοιες που εισάγονται όπως : οριακές καταστάσεις αστοχίας / λειτουργικότητας, επιμέρους συντελεστές, χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού δράσεων παραμέτρων κ.λπ.

2.2. Προδιαγραφές Με Βάση Τον Ευρωκώδικα 7

Η πρώτη Ομάδα Εργασίας για τη συγγραφή του Ευρωκώδικα 7, ως Ευρωπαϊκού Κώδικα για τον σχεδιασμό των γεωτεχνικών έργων, δημιουργήθηκε το 1981 από τις Εθνικές Επιστημονικές Ενώσεις Γεωτεχνικής Μηχανικής των τότε 10 Χωρών-Μελών της Ε.Ε.. Το πρώτο ολοκληρωμένο προσχέδιο με τίτλο «Γενικοί Κανόνες Γεωτεχνικού Σχεδιασμού» δημοσιεύθηκε το 1990 (EC 7, 1990). Τη χρονιά αυτή, η Ε.Ε. ανέθεσε στη CEN το έργο της σύνταξης των διαφόρων Κωδίκων Σχεδιασμού για κτίρια και λοιπά έργα Πολιτικού Μηχανικού, οπότε δημιουργήθηκε η Τεχνική Επιτροπή 250 (CEN/TC250), αρμόδια για τη σύνταξη των Δομικών Ευρωκωδίκων. Η Υποεπιτροπή 7 (CEN/TC250/SC7) ανέλαβε τη σύνταξη του Ευρωκώδικα 7.

Το 1993, η SC7 ενέκρινε το κείμενο «ENV 1997-1 : Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 1, Γενικοί Κανόνες» το οποίο δημοσιεύθηκε από τη CEN ως Δοκιμαστικό Πρότυπο (pre-standard) τον Οκτώβριο του 1994. Το 1997 συνέβη ένα σημαντικό γεγονός για την εξέλιξη και την ψήφιση από τη CEN του EN 1997-1. Η CEN/TC250 αναγνώρισε την ιδιαιτερότητα του γεωτεχνικού σχεδιασμού σε σχέση με τις πρακτικές σχεδιασμού των άλλων Δομικών Ευρωκωδίκων. Αναγνωρίστηκε δηλαδή «ότι υπάρχουν διαφορές ως προς τον ακολουθούμενο τρόπο γεωτεχνικού σχεδιασμού στις διάφορες χώρες-μέλη της Ε.Ε., τόσο λόγω της “τοπικής παράδοσης”, όσο και λόγω των γεωλογικών ιδιαιτεροτήτων κάθε χώρας». Έτσι έγινε δεκτό ότι ο EC7-1 θα πρέπει να περιλαμβάνει «αποκλειστικά και μόνο βασικούς κανόνες και αρχές γεωτεχνικού σχεδιασμού και ότι μπορεί να συμπληρώνεται με “Εθνικά Προσαρτήματα” εφ’ όσον αυτό κριθεί σκόπιμο από κάποια χώρα».

Η ανωτέρω «ελευθερία» ως προς τα περιεχόμενα του EC7-1 βοήθησε πολύ στο να γεφυρωθούν οι πολλές απόψεις αλλά και οι αντιρρήσεις ως προς τη διατύπωση του τελικού κειμένου, το οποίο τελικά ολοκληρώθηκε και ψηφίστηκε από την CEN/TC250/SC7 στις αρχές του 2004 και στη συνέχεια δημοσιεύθηκε από τη CEN

ως Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 1997-1 το Νοέμβριο του ίδιου έτους.

Το έτος 2007, ο Ευρωκώδικας 7 συμπληρώθηκε από το Μέρος 2 «EN 1997-2

:

Γεωτεχνικός Σχεδιασμός: Γεωτεχνικές Έρευνες και Δοκιμές». Ο EN 1997-2 περιέχει συμπληρωματικούς κανόνες του 1997-1, σχετικά με τον προγραμματισμό και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των γεωτεχνικών ερευνών, την ερμηνεία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών κ. ά.

Μέσα στο σύστημα των Ευρωκωδίκων υπάρχουν πολλές διασυνδέσεις. Ο Ευρωκώδικας 7 συνδέεται κυρίως με τους ακόλουθους κώδικες :

- EN 1990: Περιλαμβάνει τις αρχές σχεδιασμού των δομικών έργων, καθορίζει τις διάφορες οριακές καταστάσεις που θα πρέπει να εξετασθούν, καθώς και κανόνες για τις δράσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο από την κατασκευή όσο και από το έδαφος.
- EN 1998-5: Περιλαμβάνει τον αντισεισμικό σχεδιασμό θεμελιώσεων, έργων αντιστηρίξεως, πρανών, γεωκατασκευών κ.α.

Παράλληλα με την TC250/SC7, υφίστανται και άλλες Τεχνικές Επιτροπές (TC) της CEN που ασχολούνται με προδιαγραφές θεμάτων που συνδέονται άμεσα με τον EC7 και είναι :

- CEN/TC 341: «Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές»
- CEN/TC 288: «Εκτέλεση ειδικών γεωτεχνικών έργων»
- CEN/TC 189: «Γεωφάσματα και συναφή προϊόντα»
- CEN/TC 288: «Υλικά Οδοποιίας»
- CEN/TC WG203: «Εδαφοκατασκευές»

Ειδικότερα για τον Ευρωκώδικα 7, έχει δημιουργηθεί από το 2006 μία «Ομάδα Συντηρήσεως» (Maintenance Group – MG). Το έργο της ομάδας αυτής είναι εξαιρετικά σημαντικό καθότι, μέσω πληροφοριών που λαμβάνει από τους Εθνικούς Οργανισμούς Τυποποίησης και άλλες πηγές, ασχολείται με διορθώσεις λαθών, τεχνικές συμπληρώσεις σε θέματα κυρίως ασφάλειας και υγείας, τεχνικές και συντακτικές βελτιώσεις, αποφάσεις – διευκρινήσεις σε θέματα που απαιτούν ερμηνεία, απάλειψη τυχών ασυνεπειών στα κείμενα, καθώς και προτάσεις για ανάπτυξη νέων απαραίτητων αντικειμένων. Όλα τα ανωτέρω, ακολουθώντας σχετικές διαδικασίες της CEN επικύρωσης και αναθεώρησης, περιλαμβάνονται σε αντίστοιχες ανακοινώσεις και σε αναθεωρημένα κείμενα.

2.3. Ευρωκώδικας 7 – Μέρος 2 : Γεωτεχνικές Έρευνες και Δοκιμές

2.3.1. Εισαγωγή

Το EN 1997-2 (EC7-2) είναι κείμενο το οποίο προορίζεται να χρησιμοποιείται συμπληρωματικά και σε συνδυασμό με τον EC7-1. Περιλαμβάνει κανόνες συμπληρωματικούς ως προς τον EC7-1 όσον αφορά:

- α) τον προγραμματισμό και τον τρόπο παρουσίασης των γεωτεχνικών ερευνών
- β) τις γενικές απαιτήσεις για έναν αριθμό ευρέως χρησιμοποιούμενων εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών γεωτεχνικής
- γ) την ερμηνεία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών
- δ) την παραγωγή των γεωτεχνικών παραμέτρων για το σχεδιασμό

Είναι ουσιαστικά ο σύνδεσμος μεταξύ των απαιτήσεων για το σχεδιασμό, όπως αναλυτικά αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3 του EC7-1 και των αποτελεσμάτων, τόσο των εργαστηριακών, όσο και των επιτόπου δοκιμών που προκύπτουν από τη Γεωτεχνική Έρευνα.

Η εφαρμογή του EN 1997 χρειάζεται πληροφορίες που βασίζονται σε άλλα πρότυπα, ιδιαίτερα σε εκείνα που αναφέρονται σε γεωτεχνικές έρευνες και την εκτέλεση γεωτεχνικών εργασιών.

Συγκεκριμένα :

Στον EN1997-1 έχουμε τους παρακάτω κανόνες σχεδιασμού:

- Γενικό πλαίσιο γεωτεχνικού σχεδιασμού
- Ορισμός εδαφικών παραμέτρων
- Χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού
- Γενικοί κανόνες επιτόπου ερευνών
- Κανόνες σχεδιασμού βασικών τύπων γεωτεχνικών έργων
- Παραδοχές διαδικασιών εκτέλεσης

Στον EN1997-2 έχουμε γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές:

- Λεπτομερείς κανόνες επιτόπου ερευνών
- Γενικές προδιαγραφές δοκιμών

- Προσδιορισμός γεωτεχνικών ιδιοτήτων και γεωτεχνικού προσομοιώματος της θέσης
- Παραδείγματα μεθόδων υπολογισμού με βάση επιτόπου και εργαστηριακές

2.3.1.1. Δοκιμές

Στα Πρότυπα δοκιμών (CEN/TC 341):

Πρότυπα για

- Μεθόδους διάνοιξης γεωτρήσεων και δειγματοληψίας και μετρήσεις υπόγειου νερού
- Εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής
- Δοκιμές σε έργα και τμήματα έργων
- Αναγνώριση και ταξινόμηση εδαφών και βράχων

Στην Εκτέλεση γεωτεχνικών έργων (CEN/TC 288):

Πρότυπα εκτέλεσης

- ειδικοί κανόνες σχεδιασμού (πληροφοριακά παραρτήματα)
- ειδικές διαδικασίες δοκιμών

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο EC7-2 δεν καλύπτει τις προδιαγραφές των ανωτέρω δοκιμών, καθότι το αντικείμενο αυτό ανήκει στην Επιτροπή CEN/TC 341. Δηλαδή ουσιαστικά ο ρόλος του EC7-2 περιορίζεται στην αναφορά και την απαίτηση εκτέλεσης των δοκιμών σύμφωνα με τις προδιαγραφές της TC 341.

Ο Ευρωκώδικας 97-2 είναι ένα κείμενο 105 σελίδων που περιλαμβάνει 6 κεφάλαια και συνοδεύεται από 24 Πληροφοριακά Παραρτήματα (88 σελίδες). Το κείμενο περιλαμβάνει τα ακόλουθα κεφάλαια :

1. Γενικά
2. Προγραμματισμός γεωτεχνικών έργων
3. Δειγματοληψία εδάφους και βράχου και μετρήσεις υπογείου νερού.
4. Επιτόπου δοκιμές σε έδαφος και βράχο.
5. Εργαστηριακές δοκιμές σε έδαφος και βράχο.
6. Έκθεση γεωτεχνικής έρευνας.

2.3.2. Προγραμματισμός Γεωτεχνικών Ερευνών

Οι γεωτεχνικές έρευνες θα προγραμματίζονται με τρόπο ώστε να διασφαλίζεται ότι οι σχετικές γεωτεχνικές πληροφορίες και δεδομένα θα είναι διαθέσιμα στα διάφορα στάδια της μελέτης. Οι γεωτεχνικές πληροφορίες θα είναι επαρκείς ώστε να γίνεται διαχείριση των αναγνωρισμένων και αναμενόμενων κινδύνων του έργου. Για τα ενδιάμεσα και τελικά στάδια κατασκευής, θα παρέχονται πληροφορίες και δεδομένα ώστε να καλύπτονται οι κίνδυνοι ατυχημάτων, καθυστερήσεων και ζημιών.

Στόχοι της γεωτεχνικής έρευνας είναι ο καθορισμός των συνθηκών του εδάφους, βράχου και υπόγειου νερού, ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων του εδάφους και βράχου και η συγκέντρωση πρόσθετης σχετικής γνώσης για τη θέση του έργου.

Το πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών θα πρέπει να αναθεωρείται όταν γίνουν διαθέσιμα τα αποτελέσματα ώστε να μπορούν να ελέγχονται οι αρχικές παραδοχές.

Ιδιαίτερα:

- ο αριθμός των σημείων έρευνας θα πρέπει να διευρύνεται εάν κρίνεται αναγκαίο ώστε να επιτυγχάνεται ακριβής γνώση της πολυπλοκότητας και της μεταβλητότητας του εδάφους στη θέση
- οι παράμετροι που παράγονται θα πρέπει να ελέγχονται ώστε να παρακολουθείται κατά πόσον ταιριάζουν σε συμβατό τύπο συμπεριφοράς του εδάφους ή βράχου. Εάν είναι αναγκαίο θα πρέπει να προδιαγράφονται πρόσθετες δοκιμές
- θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τυχόν εμφάνιση περιορισμών στα δεδομένα σύμφωνα με το EN 1997-1:2004.

Το είδος και το εύρος των γεωτεχνικών ερευνών θα βασίζονται στον αναμενόμενο τύπο και σχεδιασμό της κατασκευής, π.χ. τύπο θεμελίωσης, μεθόδους βελτίωσης ή έργα αντιστήριξης, θέση και βάθος της κατασκευής.

Τα αποτελέσματα των μελετών γραφείου και η επιθεώρηση της θέσης του έργου θα λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των μεθόδων και κατά την τοποθέτηση των σημείων έρευνας. Οι έρευνες θα στοχεύουν στα σημεία που είναι αντιπροσωπευτικά της μεταβλητότητας των συνθηκών του εδάφους, βράχου και υπόγειου νερού.

Οι γεωτεχνικές έρευνες θα πρέπει κανονικά να εκτελούνται σε φάσεις βάσει των ερωτημάτων που προκύπτουν κατά τον προγραμματισμό, το σχεδιασμό και την κατασκευή του έργου. Οι ακόλουθες φάσεις εξετάζονται:

- προκαταρκτικές έρευνες για τη χωροθέτηση και τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του δομικού έργου

- έρευνες σχεδιασμού
- έλεγχος και παρακολούθηση της συμπεριφοράς

Οι θέσεις των σημείων και τα βάθη της έρευνας θα επιλέγονται με βάση τις προκαταρκτικές έρευνες ως συνάρτηση των γεωλογικών συνθηκών, των διαστάσεων του δομικού έργου και των τεχνικών προβλημάτων που αναμένονται.

Κατά την επιλογή των θέσεων των σημείων έρευνας, θα πρέπει να παρατηρούνται τα ακόλουθα:

- τα σημεία έρευνας θα πρέπει να κατανέμονται με τρόπο ώστε να μπορεί να εκτιμάται η στρωματογραφία σε όλη την έκταση της θέσης του έργου.

- τα σημεία έρευνας για ένα κτίριο ή δομικό έργο θα πρέπει να τοποθετούνται σε κρίσιμα σημεία σε σχέση με το σχήμα, τη στατική συμπεριφορά και την αναμενόμενη κατανομή των φορτίων (π.χ. στις γωνίες της επιφάνειας θεμελίωσης)

- για γραμμικά δομικά έργα, τα σημεία έρευνας θα πρέπει να κατανέμονται σε επαρκείς αποστάσεις από τον άξονα, οι οποίες εξαρτώνται από το γενικό πλάτος του έργου, όπως τον πόδα του επιχώματος ή της εκσκαφής.

- για δομικά έργα πάνω ή κοντά σε πρανή και παγκίνες (ή εκσκαφές), τα σημεία έρευνας θα πρέπει να κατανέμονται έξω από την περιοχή του έργου, σε θέσεις κατάλληλες για την εκτίμηση της ευστάθειας του πρανούς ή της εκσκαφής. Όπου κατασκευάζονται αγκυρώσεις, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις πιθανές τάσεις στη ζώνη μεταβίβασης των φορτίων.

- τα σημεία έρευνας θα πρέπει να κατανέμονται με τρόπο ώστε να μη προκαλούν κίνδυνο στο δομικό έργο, στις εργασίες κατασκευής ή στο περιβάλλον (π.χ. ως αποτέλεσμα των αλλαγών που μπορεί να προκαλέσουν στις εδαφικές συνθήκες και στις συνθήκες υπόγειου νερού).

- η περιοχή που θα λαμβάνεται υπόψη στις έρευνες σχεδιασμού θα πρέπει να εκτείνεται στη γειτονική περιοχή σε απόσταση όπου δεν αναμένεται δυσμενής επιρροή στη γειτονική περιοχή.

- για τα σημεία μέτρησης του υπόγειου νερού, θα πρέπει να εξετάζεται η περίπτωση ο εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί κατά τις γεωτεχνικές έρευνες να χρησιμοποιείται για τη συνέχιση των μετρήσεων κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας των εργασιών κατασκευής.

2.3.3. Εργαστηριακές Δοκιμές Εδάφους

Το πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών θα καθορίζεται σε συνδυασμό με τα άλλα μέρη του προγράμματος γεωτεχνικών ερευνών. Όπου είναι δυνατόν, η πληροφόρηση που λαμβάνεται από δοκιμές πεδίου θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την επιλογή των δειγμάτων που θα υποβάλλονται σε δοκιμή.

Τα αποτελέσματα μιας γεωτεχνικής έρευνας θα συγκεντρώνονται στην Έκθεση Γεωτεχνικής Έρευνας (Ground Investigation Report), η οποία θα αποτελεί μέρος της

Έκθεσης Γεωτεχνικού Σχεδιασμού (Geotechnical Design Report).

Η Έκθεση Γεωτεχνικής Έρευνας θα αποτελείται από τα εξής:

- παρουσίαση όλων των κατάλληλων γεωτεχνικών πληροφοριών συμπεριλαμβανομένων των γεωλογικών χαρακτηριστικών και σχετικών δεδομένων.

- γεωτεχνική αξιολόγηση των πληροφοριών, η οποία αναφέρει τις παραδοχές που έγιναν κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των δοκιμών.

Η πληροφόρηση μπορεί να παρουσιάζεται ως μια έκθεση ή σε ανεξάρτητα μέρη. Η Έκθεση Γεωτεχνικής Έρευνας μπορεί να περιλαμβάνει παραγόμενες τιμές. Η Έκθεση Γεωτεχνικής Έρευνας θα ορίζει τους γνωστούς περιορισμούς των αποτελεσμάτων, εάν απαιτείται.

Η Έκθεση Γεωτεχνικής Έρευνας θα πρέπει να προτείνει τις περαιτέρω αναγκαίες επιτόπου και εργαστηριακές έρευνες, με σχόλια που αιτιολογούν την ανάγκη αυτών. Οι προτάσεις αυτές θα πρέπει να συνοδεύονται από αναλυτικό πρόγραμμα των περαιτέρω ερευνών.

Η παρουσίαση της γεωτεχνικής πληροφόρησης θα περιλαμβάνει έκθεση των γεωτεχνικών δεδομένων όλων των επιτόπου και εργαστηριακών ερευνών. Η έκθεση

των γεωτεχνικών δεδομένων θα πρέπει να περιλαμβάνει την ακόλουθη πληροφόρηση, εάν απαιτείται:

- το σκοπό της γεωτεχνικής έρευνας συμπεριλαμβανομένης περιγραφής της θέσης και της τοπογραφίας της, της προβλεπόμενης κατασκευής και του σταδίου του σχεδιασμού στο οποίο αναφέρεται η έκθεση

- κατάταξη της κατασκευής σε μια γεωτεχνική κατηγορία

- τα ονόματα όλων των συμβούλων και υπεργολάβων

- τις ημερομηνίες μεταξύ των οποίων εκτελέστηκαν οι επιτόπου και οι εργαστηριακές έρευνες

- την αναγνώριση πεδίου της θέσης του έργου και του περιβάλλοντος χώρου, όπου θα σημειώνονται ιδιαίτερα:

α) η εμφάνιση υπόγειου νερού

β) η συμπεριφορά γειτονικών κατασκευών

γ) εκθέσεις σε λατομεία και δανειοθαλάμους (exposures in quarries and borrow areas)

δ) περιοχές αστάθειας

ε) πιθανές εκθέσεις σε εξορυκτική δραστηριότητα στην τοποθεσία και στη γειτονική περιοχή

στ) δυσκολίες κατά την εκσκαφή

ζ) ιστορία της τοποθεσίας

η) γεωλογία της τοποθεσίας, που περιλαμβάνει και ρήγματα (faulting)

θ) τοπογραφικά δεδομένα με σχέδια που παρουσιάζουν την κατασκευή και τη θέση όλων των σημείων έρευνας

ι) πληροφορίες από αεροφωτογραφίες

ια) τοπική εμπειρία στην περιοχή

ιβ) πληροφόρηση για τη σεισμικότητα της περιοχής

Η παρουσίαση της γεωτεχνικής πληροφόρησης θα περιλαμβάνει τεκμηρίωση των μεθόδων, διαδικασιών και αποτελεσμάτων και όλες τις σχετικές εκθέσεις:

- μελετών γραφείου

- ερευνών πεδίου, όπως επιτόπου δοκιμές και μετρήσεις υπόγειου νερού

- εργαστηριακών ερευνών

Τα αποτελέσματα των επιτόπου και εργαστηριακών ερευνών θα παρουσιάζονται και καταγράφονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις που ορίζονται στα πρότυπα EN είτε ISO που εφαρμόστηκαν για τις έρευνες. Η αξιολόγηση των

γεωτεχνικών πληροφοριών θα καταγράφεται και θα περιλαμβάνει, εάν απαιτούνται:

- ανασκόπηση των αποτελεσμάτων των επιτόπου και εργαστηριακών ερευνών
- περιγραφή της γεωμετρίας των στρώσεων
- λεπτομερείς περιγραφές όλων των στρώσεων καθώς και τις φυσικές ιδιότητες αυτών, τα χαρακτηριστικά παραμόρφωσης και αντοχής αυτών, με αναφορά στα αποτελέσματα των ερευνών
- σχόλια επί των ανωμαλιών όπως σπήλαια και ζώνες ασυνεχούς υλικού

Εάν απαιτείται, θα αναφέρεται ότι:

- τα αποτελέσματα ερμηνεύθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τον υπόγειο ορίζοντα, τον τύπο του εδάφους, τη μέθοδο διάτρησης, τη μέθοδο δειγματοληψίας, μεταφοράς, χειρισμού και προετοιμασίας των δοκιμών
- οι υποδιαιρέσεις των στρώσεων που θεωρήθηκαν από τις μελέτες γραφείου και τις επιθεωρήσεις της θέσης αναθεωρήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα.

Η τεκμηρίωση της αξιολόγησης των γεωτεχνικών πληροφοριών θα πρέπει να περιλαμβάνει, εάν απαιτούνται:

- την παρουσίαση με πίνακες και διαγράμματα των αποτελεσμάτων των ερευνών πεδίου και των εργαστηριακών δοκιμών σε διατομές του εδάφους οι οποίες δείχνουν τις σχετικές στρώσεις και τα όριά τους καθώς και τον υπόγειο ορίζοντα σε σχέση με τις απαιτήσεις του έργου
- τις τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων για κάθε στρώση
- αναθεώρηση των παραγόμενων τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων

Οι μέσοι όροι μπορούν να κρύψουν την παρουσία ασθενέστερης ζώνης και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Είναι σημαντικό να αναγνωρίζονται οι ασθενείς ζώνες. Οι μεταβολές των γεωτεχνικών παραμέτρων ή συντελεστών μπορεί να υποδηλώνουν σημαντικές μεταβολές στις επιτόπου συνθήκες.

Η τεκμηρίωση θα πρέπει να περιλαμβάνει συγκρίσεις των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων με την εμπειρία για κάθε γεωτεχνική παράμετρο και να δίνει ιδιαίτερη σημασία σε ανώμαλα αποτελέσματα για δεδομένη στρώση όταν αυτά συγκρίνονται με τα αποτελέσματα από άλλους τύπους εργαστηριακών και

επιτόπου δοκιμών με τις οποίες μπορεί να γίνεται μέτρηση της ίδιας γεωτεχνικής παραμέτρου.

Η τεκμηρίωση της αξιολόγησης θα πρέπει να επιβεβαιώνει το ακόλουθο θέμα: στρώσεις όπου οι γεωτεχνικές παράμετροι διαφέρουν μόνο ελάχιστα μπορούν να θεωρούνται ως μια στρώση. Μια σειρά από λεπτές στρώσεις με πολύ διαφορετική σύνθεση ή/και μηχανικές ιδιότητες μπορούν να θεωρούνται ως μια στρώση εάν η συνολική συμπεριφορά είναι σχετική και η συμπεριφορά μπορεί να αντιπροσωπεύεται επαρκώς από τις εδαφικές παραμέτρους που επιλέγονται για τη στρώση. Για την παραγωγή του ορίου μεταξύ διαφορετικών εδαφικών στρώσεων και της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα, μπορεί να γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ των σημείων έρευνας υπό την προϋπόθεση ότι η απόσταση είναι επαρκώς μικρή και οι γεωλογικές συνθήκες είναι επαρκώς ομογενείς. Θα πρέπει να αναφέρεται η εφαρμογή γραμμικών παρεμβολών και η τεκμηρίωσή τους.

2.4. Συνέπειες Από Την Εφαρμογή του Ευρωκώδικα 7

Ο Ευρωκώδικας 7 εισάγει και στην Γεωτεχνική τον σχεδιασμό μέσω της μεθοδολογίας των οριακών καταστάσεων (LSD).

- Εξασφαλίζει ένα ενιαίο τρόπο μελέτης των έργων του Πολιτικού Μηχανικού (σύστημα των Δομικών Ευρωκωδίκων).

- Εναρμονίζεται ο τρόπος μελέτης των γεωτεχνικών έργων. Κάθε χώρα επιλέγει τον επιθυμητό βαθμό ασφαλείας μέσω των Εθνικών Προσαρτημάτων.

- Οι έως τώρα λαμβανόμενες τιμές των εδαφικών παραμέτρων μπορούν να λαμβάνονται ως χαρακτηριστικές τιμές.

- Ουδεμία αλλαγή απαιτείται στις μέχρι σήμερα εφαρμοζόμενες μεθόδους ανάλυσης. • Επιβάλλει τη σύνταξη Εκθέσεων Γεωτεχνικού Σχεδιασμού μετά το πέρας των υπολογισμών.

- Σημερινή κατάσταση: Μικρή εμπειρία από εφαρμογές στη γεωτεχνική πράξη.

Η Έκθεση Γεωτεχνικού Σχεδιασμού αποτελεί μία καινοτομία του EN 1997 και συντάσσεται μετά την εκτέλεση των υπολογισμών

Πρέπει να περιλαμβάνει:

α) περιγραφή των εδαφικών συνθηκών

- β) περιγραφή της προτεινόμενης κατασκευής και των δράσεων
- γ) τις τιμές σχεδιασμού των εδαφικών υλικών
- δ) αναφορά των κανονισμών και προτύπων που εφαρμόστηκαν
- ε) υπολογισμούς σ και σχέδια
- στ) προτάσεις θεμελιώσεως
- ζ) επισήμανση αντικειμένων που απαιτούν έλεγχο κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή ακόμη για τη συντήρηση του έργου.

3. Στερεοποίηση Εδαφών

3.1. Εισαγωγή

Η χρονικά εξαρτώμενη καθίζηση ενός εδαφικού σχηματισμού αποτελείται από δύο κύρια στάδια: Την πρωτεύουσα στερεοποίηση και τη δευτερεύουσα στερεοποίηση. Η δευτερεύουσα στερεοποίηση η οποία αναπτύσσεται μετά το τέλος της πρωτεύουσας, υπό την επίδραση σταθερών ενεργών τάσεων, παρουσιάζεται να είναι περιορισμένου εύρους σε σχέση με την πρωτεύουσα, όμως σε κάποιες περιπτώσεις οργανικών εδαφών εμφανίζεται ιδιαίτερα υψηλή. Η ύπαρξη μίας αρκετά μεγάλης καθίζησης οφειλόμενης σε δευτερεύουσα στερεοποίηση του εδάφους αποτελεί σημαντική παράμετρο για την ασφάλεια της εκάστοτε κατασκευής.

Κατά την εκτίμηση των παραμέτρων διαπερατότητας και στερεοποίησης, θα λαμβάνονται υπόψη τα εξής χαρακτηριστικά:

- η επίδραση της ανομοιογένειας των εδαφικών συνθηκών
- η επίδραση της ανισοτροπίας του εδάφους
- η επίδραση των ρωγμών ή ρηγμάτων στο έδαφος, ιδιαίτερα σε βράχο
- η επίδραση των μεταβολών των τάσεων υπό την προτεινόμενη φόρτιση

Οι μετρήσεις της διαπερατότητας σε μικρά εργαστηριακά δείγματα μπορεί να μην αντιπροσωπεύουν τις επιτόπου συνθήκες. Επομένως, θα πρέπει να προτιμώνται επιτόπου δοκιμές οι οποίες μετρούν τη μέση τιμή των ιδιοτήτων μεγάλου όγκου εδάφους, όταν αυτό είναι δυνατόν. Όμως, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι πιθανές μεταβολές της διαπερατότητας όταν οι τιμές της ενεργού τάσης αυξάνονται πάνω από την επιτόπου τιμή. Μερικές φορές η

διαπερατότητα μπορεί να εκτιμάται με βάση στοιχεία του μεγέθους των κόκκων και της κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Για το λόγο αυτό αρκετές φορές οι εργαστηριακές δοκιμές συμπίεστικότητας (Εικόνα 3.1) αποσκοπούν και στον ακριβή προσδιορισμό του δείκτη δευτερεύουσας στερεοποίησης Ca του εδάφους. Όμως, ο προσδιορισμός του Ca από τις δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης απαιτεί με-γάλο χρονικό διάστημα. Στο παρελθόν αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να συνδέσουν το Ca με άλλες εδαφικές παραμέτρους ούτως ώστε ο υπολογισμός του να γίνεται εύκολα μέσω εμπειρικών σχέσεων και όχι απαραίτητα χρονοβόρων εργαστηριακών δοκιμών (Εικόνα 3.2). Οι Walker and Raymond (1968) διαπίστωσαν ότι ο ρυθμός δευτερεύουσας στερεοποίησης εμφανίζεται γραμμικά εξαρτώμενος από το δείκτη πρωτεύουσας στερεοποίησης Cc για όλο το φάσμα των ενεργών τάσεων. Επίσης, ο Walker (1969) έδειξε ότι οι τιμές του Ca σε σχέση με την αναλογία της ενεργού τάσης (σ'_v) προς την τάση προστερεοποίησης σ_p παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση, με τις μεγαλύτερες τιμές να λαμβάνουν χώρα όταν η σ'_v είναι μεγαλύτερη της σ_p . Από την έρευνα που πραγματοποίησε ο Mesri (1973) συμπεράνε ότι εδάφη που παρουσιάζουν μεγάλη καθίζηση οφειλόμενη στην πρωτεύουσα στερεοποίηση θα παρουσιάσουν επιπρόσθετα και μεγάλη καθίζηση λόγω δευτερεύουσας στερεοποίησης (Εικόνα 4.2), ενώ παρουσίασε τα αποτελέσματά του ως μία γενική σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό και του Ca για διάφορα είδη φυσικών εδαφών. Επακόλουθες μελέτες (Mesri and Godlewski, 1977) επιβεβαίωσαν ότι το Ca δεν εξαρτάται μόνο από την επιβαλλόμενη ενεργό τάση αλλά κυρίως από την αναλογία σ'_v/σ_p . Εν τούτοις, όλες αυτές οι προσπάθειες που πραγματοποιήθηκαν, συσχετίζοντας το Ca με διάφορους εδαφικούς δείκτες, δεν εισήγαγαν κάποιο μοντέλο πρόβλεψης μεγάλης ακρίβειας.





Εικόνα 3.1: Διατάξεις με μηχανοσίμετρο

Οι παραδοχές που γίνονται για τον υπολογισμό των μαθηματικών εξισώσεων είναι οι παρακάτω:

1. Το εδαφικό υλικό είναι πλήρως κορεσμένο.
2. Οι στερεοί κόκκοι και το νερό των πόρων είναι ασυμπίεστα.
3. Ο εδαφικός σκελετός συμπεριφέρεται σαν γραμμικό, ισότροπο, ελαστικό υλικό.
4. Η υδατική ροή διαμέσου των πόρων του εδάφους διέπεται από το νόμο του Darcy με ισότροπη και σταθερή διαπερατότητα.
5. Οι παραμορφώσεις του εδάφους θεωρούνται απειροστές και κατά συνέπεια μπορούν να εφαρμοσθούν οι γνωστοί ορισμοί της παραμόρφωσης

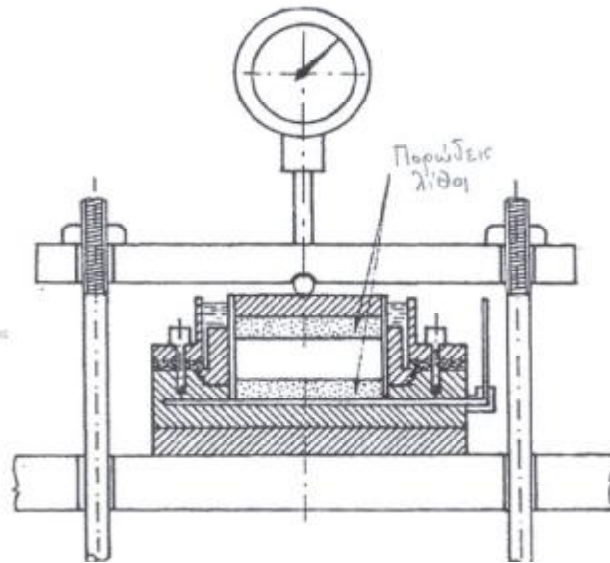


Εικόνα 3.2: Διατάξεις για τον προσδιορισμό της στερεοποίησης

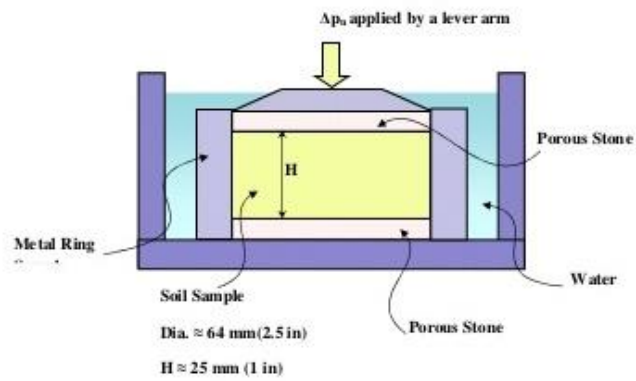
3.2. Μονοδιάσταση Στερεοποίηση

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπίεστικότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο,

φορτίζεται δε και στραγγίζεται αξονικά. Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων.



(α)



Consolidometer (Oedometer)

(β)



(γ)

Εικόνα 3.3: α) Συσκευή οιδήμετρου, β) λεπτομέρεια διάταξης και γ) εξαρτήματα συσκευής.

Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις των εδαφών εξετάζονται στη συσκευή του οιδήμετρου (Εικόνα 3.3) . Αυτή αποτελείται:

- Συσκευή φορτίσεως για την εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στο δοκίμιο.
- Συσκευή στερεοποίησης: Το δοκίμιο (ύψος: 2cm, διάμετρος: 50.8mm) συγκρατείται μέσα σε δακτύλιο, ο οποίος έχει συνδεθεί με τη βάση της συσκευής. Στην άνω και κάτω επιφάνεια του δοκιμίου προσαρμόζονται πορόλιθοι. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει συνεχή κορεσμό του δοκιμίου, επιβολή κατακόρυφου φορτίου και μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου.
- Οι πορόλιθοι είναι υλικά που δεν διαβρώνονται από την υγρασία. Το πάχος τους θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην θραύονται κατά τη δοκιμή.
- Μηκυνσιόμετρο για την μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο στερεοποίησης με ακρίβεια 0.0025mm.



Εικόνα 3.4: Συσκευή στερεοποίησης

Η μόρφωση του δοκιμίου γίνεται με προσοχή ώστε να αποφεύγεται η διατάραξη του και απώλεια υγρασίας μεγαλύτερη από 0,2%. Εάν είναι ανάγκη, η μόρφωση του δοκιμίου γίνεται μέσα στον υγρό θάλαμο. Ο καλύτερος τρόπος για τη μόρφωση του δοκιμίου υγρού εδαφικού υλικού είναι η χρησιμοποίηση ενός οδηγού – δακτυλίου (Εικόνα 3.5) με κοφτερές ακμές.

Στην περίπτωση οργανικών εδαφών, στα οποία η διατάραξη κατά τη μόρφωση του δοκιμίου είναι σχεδόν αναπόφευκτη, εκλέγονται κατάλληλοι διάμετροι δακτυλίου και δειγματολήπτη έτσι ώστε το δοκίμιο να φέρεται απευθείας από το δειγματολήπτη στο δακτύλιο, εφόσον τα κοφτερά άκρα του δακτυλίου έχουν ίδια διάμετρο με το δείγμα. Γενικώς, κατά τη μόρφωση του

δοκιμίου θα πρέπει να αποφεύγονται οι δονήσεις και η οποιαδήποτε συμπίεση του υλικού.



Εικόνα 3.5: Κυλινδρικός δακτύλιος διάταξης.



Εικόνα 3.6: Εργαστηριακή διάταξη με μηκονσιόμετρο

3.3. Εργαστηριακή Δοκιμή Συμπιεσόμετρου

Στην περίπτωση κορεσμένων εδαφικών σχηματισμών, ένα κατά το δυνατόν αδιατάρακτο δείγμα της συμπιεστής εδαφικής στρώσης κόβεται προσεκτικά και τοποθετείται σε κυλινδρικό δακτύλιο (EN1997-3,παρ.4). Ο δακτύλιος αυτός είναι αρκετά άκαμπος, ώστε κατά την κατακόρυφη φόρτιση του δοκιμίου να εξασφαλίζεται η μη παραμόρφωση του στην οριζόντια διεύθυνση. Πάνω και κάτω

από το δοκίμιο τοποθετούνται πορώδεις δίσκοι, οι οποίοι επιτρέπουν την ελεύθερη στράγγιση από το πάνω και κάτω σύνορο.

Στη συνέχεια, το δοκίμιο φορτίζεται στην κατακόρυφη διεύθυνση με διαδοχικά βήματα επιβολής φορτίου, σε καθένα από τα οποία το φορτίο διατηρείται σταθερό επί αρκετό χρόνο ώστε να περατωθεί το φαινόμενο της στερεοποίησης. Μία τυπική αλληλουχία φορτίσεων είναι: 5 kPa (αρχική φόρτιση), 12, 25, 50, 100, 200, 400, 800 kPa και κατόπιν αποφόρτιση στα 400, 200, 100, 50 kPa. Κατά τη δοκιμή μμονοδιάστατης συμπίεσης μετρούνται:

1. Οι αρχικές διαστάσεις και το βάρος του δοκιμίου, η πυκνότητα των στερεών κόκκων και το αρχικό ποσοστό υγρασίας. Από τις τιμές αυτές υπολογίζεται ο αρχικός δείκτης πόρων e .

2. Σε κάθε βήμα επιβολής νέας φόρτισης μετράται η υποχώρηση του δοκιμίου σε διάφορους χρόνους (15 sec, 30 sec, 1 min, 2, 4, 8, 16 min, ...) κατά την εξέλιξη της στερεοποίησης.

Από την υποχώρηση του δοκιμίου στο τέλος κάθε βήματος επιβολής φόρτισης, δηλαδή στο τέλος της στερεοποίησης, υπολογίζεται η ογκομετρική παραμόρφωση του δοκιμίου $-\Delta H/H_0$ και η μεταβολή του δείκτη πόρων: Δe και σχεδιάζεται το διάγραμμα φορτίου (σ'_v) - ογκομετρικής παραμόρφωσης. Στα διαγράμματα η κατακόρυφη τάση μετράται σε γραμμική κλίμακα και σε λογαριθμική κλίμακα. Η αλληλουχία των τάσεων που επιβλήθηκε σε συγκεκριμένο δοκίμιο είναι: 1 kPa, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 20, 5 kPa. Σε διάγραμμα με τη λογαριθμική κλίμακα της κατακόρυφης τάσης παρατηρείται ότι η συμπίεστότητα του δοκιμίου αυξάνει απότομα για κατακόρυφη τάση περί τα 6 kPa. Η ίδια απότομη αύξηση της συμπίεστότητας μπορεί να παρατηρηθεί και σε διάγραμμα με τη γραμμική κλίμακα, εάν η περιοχή αυτή των τάσεων μεγεθυνθεί.

Η απότομη αύξηση της συμπίεστότητας συμβαίνει όταν το δοκίμιο φορτισθεί με τάση ίση με τη μέγιστη τάση που του έχει επιβληθεί στο παρελθόν (τη λεγόμενη τάση προ φόρτισης). Πράγματι, εάν ένα εδαφικό δοκίμιο, που στη φύση υφίσταται κάποια κατακόρυφη τάση (6 kPa στην προκείμενη περίπτωση), αφαιρεθεί από το έδαφος (οπότε αποφορτίζεται), τοποθετηθεί στη συσκευή του συμπίεσομέτρου και επαναφορτισθεί, τότε κατά την επαναφόρτιση η συμπίεστότητά του είναι μικρή μέχρις ότου η κατακόρυφη τάση φθάσει την προηγούμενη μέγιστη τάση (την τάση προ φόρτισης). Με την περαιτέρω αύξηση της κατακόρυφης τάσης, η συμπίεστότητα του δοκιμίου αυξάνει απότομα και, στη

συνέχεια, η καμπύλη φόρτισης ακολουθεί τον κλάδο της μονοδιάστατης συμπίεσης.



Εικόνα 3.7 Διάταξη για τη δοκιμή συμπίεσόμετρον

Το ύψος του δοκιμίου μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και η μείωσή του ισούται με την αύξηση των ενδείξεων του μηκυνσιομέτρου (Εικόνα 3.7). Έτσι, όταν η ένδειξη του μηκυνσιομέτρου μεταβάλλεται από 6.0 mm σε 5.0 mm, το ύψος του δοκιμίου μειώνεται κατά 1 mm.

Επιπλέον, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο συντελεστής στερεοποίησης μπορεί να υπολογισθεί από τα αποτελέσματα ενός μόνον βήματος επιβολής φορτίου. Αν οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιηθούν σε όλα τα βήματα επιβολής φορτίου, θα υπολογισθούν διαφορετικές τιμές του c_v σε κάθε βήμα. Αν το υλικό είχε γραμμική συμπεριφορά, η τιμή του c_v θα ήταν σταθερή (ιδιότητα του υλικού). Στα συνήθη εδάφη, όμως, η τιμή του c_v μεταβάλλεται με την αύξηση του φορτίου. Τούτο πρέπει να αναμένεται, επειδή το c_v είναι ανάλογο του μέτρου συμπίεσης, το οποίο μειώνεται απότομα όταν η τάση υπερβεί την τάση προ φόρτισης και, στη συνέχεια, αυξάνει βαθμιαία με τη σκλήρυνση του υλικού. Βεβαίως, το φαινόμενο είναι πιο σύνθετο, επειδή το c_v εξαρτάται και από το συντελεστή διαπερατότητας, ο οποίος μειώνεται συνεχώς με την αύξηση του φορτίου, επειδή μειώνεται ο δείκτης πόρων, δηλαδή η τυπική διάσταση των κενών.

4. Διατμητική Αντοχή Εδαφών

4.1. Εισαγωγή

Όταν σε ένα εδαφικό υλικό (όπως και σε οποιοδήποτε άλλο υλικό) επιβληθούν εξωτερικά φορτία, αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις. Για κάθε (εδαφικό) υλικό υπάρχουν ορισμένοι συνδυασμοί τάσεων που οδηγούν σε απεριόριστες παραμορφώσεις. Οι συνδυασμοί αυτοί ονομάζονται εντατικές καταστάσεις αστοχίας. Το σύνολο των εντατικών καταστάσεων αστοχίας (δηλαδή το σύνολο των σημείων στον εξαδιάστατο χώρο των τάσεων) σχηματίζει μία "επιφάνεια" που ονομάζεται περιβάλλουσα των καταστάσεων αστοχίας ή, απλά, περιβάλλουσα αστοχίας. Είναι προφανές ότι, εφόσον οι καταστάσεις αστοχίας συνδέονται με την παραμόρφωση του εδάφους, πρέπει να εκφράζονται ως προς τις ενεργές τάσεις. Έτσι, οι εντατικές καταστάσεις αστοχίας εκφράζονται από συνδυασμούς των ενεργών τάσεων.

Ο προσδιορισμός του συνόλου των εντατικών καταστάσεων αστοχίας ενός εδαφικού υλικού είναι πολύ σημαντικός για την ασφάλεια των έργων, επειδή η σύγκριση των εντατικών καταστάσεων που αναπτύσσονται στο έδαφος λόγω των επιβαλλόμενων φορτίων με τις αντίστοιχες καταστάσεις αστοχίας δίνει το βαθμό ασφαλείας του έργου, δηλαδή τα περιθώρια ασφαλείας του έργου σε σχέση με την κατάσταση αστοχίας.

Τα κοκκώδη εδαφικά υλικά αποτελούνται από ασύνδετους ή χαλαρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους που σχηματίζουν τον εδαφικό σκελετό. Τα εξωτερικώς επιβαλλόμενα φορτία αναλαμβάνονται από τον εδαφικό σκελετό με την ανάπτυξη ορθών και διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων και οδηγούν σε παραμορφώσεις που κυρίως οφείλονται σε ολισθήσεις και κυλίσεις μεταξύ των κόκκων. Είναι προφανές ότι η τριβή μεταξύ των κόκκων επηρεάζει σημαντικά την παραμόρφωση των εδαφικών υλικών. Ένας άλλος παράγοντας που επίσης συντελεί στην παραμόρφωση των εδαφών είναι η πραγματική συνοχή, η "συγκόλληση" δηλαδή των κόκκων λόγω ηλεκτροχημικών ή άλλων δυνάμεων.

Λόγω της ποικιλίας των σχημάτων και μεγεθών των κόκκων του εδαφικού υλικού, στις επαφές μεταξύ των κόκκων αναπτύσσονται ορθές και διατμητικές δυνάμεις ακόμη και στην περίπτωση που εξωτερικά επιβάλλεται μόνον ορθή δύναμη (N).

Βεβαίως, όσο μεγαλύτερη είναι η εξωτερικώς επιβεβλημένη ορθή δύναμη (N) τόσο αυξάνει ο μέσος όρος των ορθών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων, όπως επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η εξωτερικώς επιβεβλημένη διατμητική δύναμη (T) τόσο αυξάνει ο μέσος όρος των διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων. Εάν, λοιπόν, η εξωτερικώς επιβεβλημένη διατμητική δύναμη είναι αρκετά μεγάλη, τότε κάποιες από τις διατμητικές δυνάμεις μεταξύ των κόκκων θα υπερβούν τη διατμητική αντοχή της επαφής μεταξύ των κόκκων. Κατά συνέπεια, το ποσοστό των επαφών μεταξύ των κόκκων στις οποίες η διατμητική δύναμη υπερβαίνει τη διατμητική αντοχή της επαφής αυξάνει όσο αυξάνει ο λόγος T/N .

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ακόμη και στην περίπτωση της ισότροπης συμπίεσης (οπότε $T = 0$), σε κάποιο (μικρό) ποσοστό επαφών κόκκων συμβαίνει υπέρβαση της διατμητικής αντοχής του υλικού και, συνεπώς, ολισθήσεις. Οι ολισθήσεις αυτές, αν και διατμητικές σε μικροσκοπική κλίμακα, μακροσκοπικά (δηλαδή στη διάσταση του δοκιμίου) εμφανίζονται με τη μορφή ισότροπης συμπίεσης του εδαφικού υλικού.

Με την αύξηση του λόγου T/N , το ποσοστό των επαφών των κόκκων που ολισθαίνουν αυξάνει και η παραμόρφωση του εδάφους μακροσκοπικά παρουσιάζει μία ισότροπη συνιστώσα (συμπίεση) και μία διατμητική συνιστώσα (στρέβλωση), η συμμετοχή της οποίας διαρκώς αυξάνεται. Τελικά, για κάποια τιμή του λόγου T/N ολισθαίνει ένα σημαντικό ποσοστό των επαφών μεταξύ των κόκκων, ώστε η μακροσκοπική παραμόρφωση του υλικού να εμφανίζεται σαν μια γενικευμένη ολίσθηση (απεριόριστη διατμητική παραμόρφωση). Στην κατάσταση αυτή το δοκίμιο δεν μπορεί να αναλάβει μεγαλύτερη διατμητική δύναμη, έχει δηλαδή αστοχήσει μακροσκοπικά. Η εξωτερικώς επιβεβλημένη διατμητική δύναμη στην κατάσταση αστοχίας ονομάζεται διατμητική αντοχή του υλικού και εξαρτάται από την ορθή δύναμη (N).

Η διατμητική τάση στο επίπεδο αστοχίας κατά την αστοχία του εδαφικού στοιχείου ονομάζεται διατμητική αντοχή στο επίπεδο αστοχίας.

Γενικότερα, η περιβάλλουσα Coulomb έχει τις εξής ιδιότητες:

1. Όταν η εντατική κατάσταση σε ένα σημείο του εδάφους (εδαφικό στοιχείο) παριστάνεται με κύκλο Mohr που δεν τέμνει την περιβάλλουσα αστοχίας, τότε η κατάσταση του εδαφικού στοιχείου είναι ευσταθής.

2. Όταν η εντατική κατάσταση σε ένα σημείο του εδάφους παριστάνεται με κύκλο Mohr που εφάπτεται στην περιβάλλουσα αστοχίας, τότε το εδαφικό στοιχείο αστοχεί και μάλιστα η ολίσθηση συμβαίνει κατά μήκος ενός επιπέδου στον κύκλο Mohr με το σημείο επαφής του κύκλου με την περιβάλλουσα αστοχίας.
3. Εντατική κατάσταση κατά την οποία ο κύκλος Mohr τέμνει την περιβάλλουσα είναι ανέφικτη, επειδή αντιστοιχεί σε διατμητικές τάσεις μεγαλύτερες από τη διατμητική αντοχή του εδάφους στα επίπεδα που παριστάνονται με σημεία του κύκλου Mohr πάνω από την περιβάλλουσα.

Στα συνεκτικά ή αργιλικά εδάφη η διατμητική αντοχή οφείλεται αφενός μεν στη μηχανική τριβή μεταξύ των κόκκων, αφετέρου δε στην πραγματική συγκόλληση (συνοχή) των κόκκων. Η συνοχή αυτή αναπτύσσεται είτε λόγω της πραγματικής σιμέντωσης μεταξύ των κόκκων είτε, γενικότερα, λόγω ηλεκτροχημικών δυνάμεων συνάφειας μεταξύ των προσροφημένων διπλών στρώσεων και των αργιλικών πλακιδίων. Αντίθετα, στα κοκκώδη εδάφη η διατμητική αντοχή οφείλεται αποκλειστικά στη μηχανική τριβή μεταξύ των κόκκων.

4.2. Εργαστηριακές Δοκιμές

Στη συνέχεια περιγράφονται οι εργαστηριακές δοκιμές στις οποίες προσδιορίζεται η διατμητική αντοχή των εδαφών. Οι δοκιμές οι οποίες θα περιγραφούν είναι οι εξής:

1. Δοκιμή Κυλινδρικής Τριαξονικής Φόρτισης
2. Τριαξονική Δοκιμή CUPP
3. Τριαξονική Δοκιμή CD
4. Τριαξονική Δοκιμή Χωρίς Στερεοποίηση UU
5. Δοκιμή Απευθείας Διάτμησης
6. Δοκιμή Απλής Διάτμησης
7. Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης

4.2.1. Δοκιμή κυλινδρικής τριαξονικής φόρτισης

Ένα κυλινδρικό εδαφικό δοκίμιο περιβάλλεται με μια (αδιαπέρατη) ελαστική μεμβράνη, ενώ στη βάση και στην κεφαλή του είναι τοποθετημένοι άκαμπτοι πορώδεις δίσκοι. (EN1997-2, παρ.15.6) Το δοκίμιο τοποθετείται στο εσωτερικό μιας κυλινδρικής κυψέλης, η οποία στη συνέχεια πληρώνεται με νερό που μπορεί να τεθεί υπό ελεγχόμενη πίεση. Τέλος, το έμβολο στο κέντρο της κυψέλης μπορεί να κινηθεί στην κατακόρυφη διεύθυνση και να συμπιέσει το δοκίμιο, αν του επιβληθεί μια κατάλληλη εξωτερική φόρτιση.



Εικόνα 4.1: Τριαξονική φόρτιση

Η εντατική κατάσταση στο δοκίμιο είναι ομοιόμορφη και αξονοσυμμετρική και οι κύριοι άξονες των τάσεων (αλλά και των παραμορφώσεων) είναι παράλληλοι με τους άξονες του δοκιμίου.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της δοκιμής της κυλινδρικής τριαξονικής φόρτισης είναι ο έλεγχος της στράγγισης και της υδατικής πίεσης στο εσωτερικό του δοκιμίου. Ο αγωγός που συνδέει τον πορώδη δίσκο στη βάση του δοκιμίου διαμέσου της βάσης της κυψέλης με τον εξωτερικό χώρο (αγωγός στράγγισης). Ο αγωγός αυτός μπορεί να συνδεθεί με ένα σύστημα επιβολής πίεσης, οπότε η υδατική πίεση στο εσωτερικό του δοκιμίου (πίεση πόρων) μπορεί να ελέγχεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο αγωγός στράγγισης επικοινωνεί ελεύθερα με τον εξωτερικό χώρο χωρίς την παρεμβολή ειδικού συστήματος επιβολής υδατικής πίεσης. Και στην περίπτωση, όμως, αυτή η πίεση στο σύστημα στράγγισης ελέγχεται, δεδομένου ότι στην ουσία διατηρείται σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική πίεση.

Ειδικότερα:

1. Εάν η βαλβίδα στράγγισης που επιτρέπει την επικοινωνία του εσωτερικού του δοκιμίου με το σύστημα ελέγχου της πίεσης πόρων είναι κλειστή, παρεμποδίζεται η διαφυγή νερού από το εσωτερικό του δοκιμίου (ή η εισρόφηση νερού από το δοκίμιο), οπότε η παραμόρφωση του εδάφους γίνεται υπό σταθερό όγκο. Ο τύπος αυτός της φόρτισης ονομάζεται αστράγγιστη φόρτιση.
2. Εάν η βαλβίδα στράγγισης διατηρείται ανοικτή, το σύστημα επιβολής της υδατικής πίεσης βρίσκεται σε ελεύθερη επικοινωνία με το εσωτερικό του δοκιμίου και έτσι μπορεί να διατηρεί οποιαδήποτε σταθερή πίεση στο εσωτερικό του δοκιμίου. Ειδικότερα, αν κατά τη φόρτιση του δοκιμίου το εδαφικό υλικό τείνει να συμπιεσθεί (δηλαδή να μειωθεί ο όγκος του), εφόσον το δοκίμιο είναι κορεσμένο, η μείωση του όγκου θα συνοδευθεί από τη διαφυγή ίσου όγκου νερού των πόρων διαμέσου του αγωγού στράγγισης προς τον εξωτερικό χώρο, με συνέπεια η στράγγιση του δοκιμίου να μην είναι πλήρης. Αν, αντίθετα, κατά τη φόρτιση του δοκιμίου το εδαφικό υλικό τείνει να διογκωθεί (δηλαδή να αυξηθεί ο όγκος του), τότε το δοκίμιο θα εισροφήσει νερό από τον εξωτερικό χώρο διαμέσου του αγωγού στράγγισης. Και στην περίπτωση αυτή, αν η φόρτιση είναι αρκετά

ταχεία, θα δημιουργηθούν υποπίεσεις στο εσωτερικό του δοκιμίου με συνέπεια την ανεπαρκή εισρόφηση νερού.

Συνοψίζοντας, τα συστήματα ελέγχου της δοκιμής κυλινδρικής τριαξονικής φόρτισης είναι :

1. Το σύστημα επιβολής της πλευρικής πίεσης ή πίεσης κυψέλης (sc).
2. Το σύστημα επιβολής της υδατικής πίεσης πόρων ή αντιπίεσης πόρων (u) στο εσωτερικό του δοκιμίου καθώς και το σύστημα μέτρησης της μεταβολής του όγκου του δοκιμίου με τη μέτρηση του όγκου (ΔV) του νερού που εισρέει στο δοκίμιο ή διαφεύγει από αυτό.
3. Το σύστημα επιβολής φόρτισης στο κατακόρυφο έμβολο που επιβάλλει είτε συγκεκριμένο φορτίο είτε συγκεκριμένη μετακίνηση. Κατά τη φόρτιση μετράται η μετακίνηση του εμβόλου, που ισούται με τη μεταβολή του μήκους του δοκιμίου, καθώς και το φορτίο του εμβόλου.

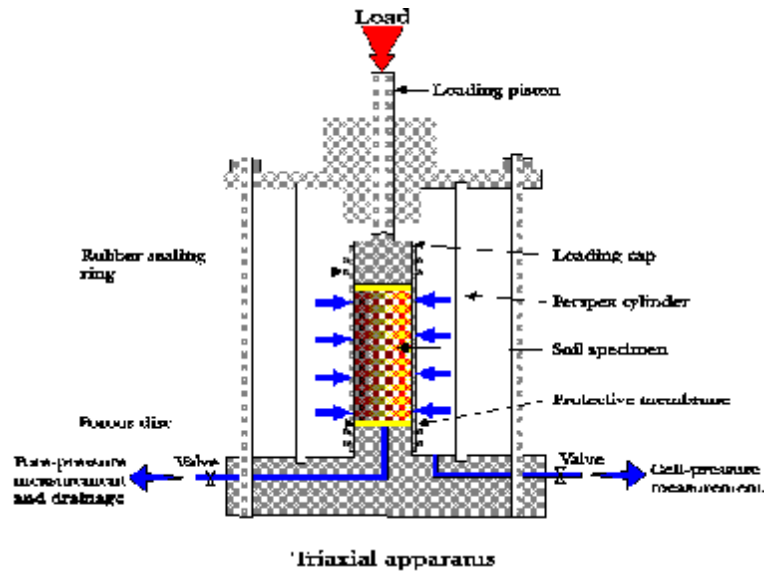
4.2.2. Τριαξονική φόρτιση CUPP

Είναι η λεγόμενη δοκιμή με στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων(CUPP).

Κατά τη δοκιμή αυτή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα προστερεοποιημένο κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτισή του δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων. Κατά τη δοκιμή μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισής του θα πρέπει να είναι αρκετά βραδεία ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου.

Η τύπου CUPP δοκιμή φαίνεται να αντιστοιχεί στην πράξη σε αργιλικά εδάφη, στις περιπτώσεις που το κινητό φορτίο είναι σχετικά σημαντικό.

Για την περίπτωση εδαφών που δεν αποστραγγίζονται οι κύκλοι του Mohr που χαράζονται αντιστοιχούν σε ενεργές τάσεις και οι παράμετροι που υπολογίζονται είναι οι c' , ϕ' .



Εικόνα 4.2: Διάταξη για τη δοκιμή CUPP

4.2.3. Τριαξονική δοκιμή CD

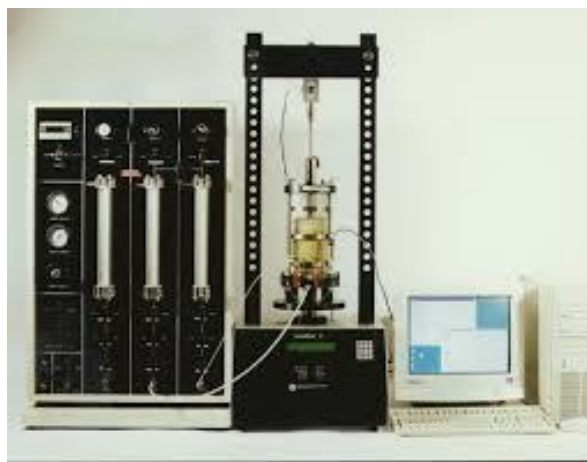
Είναι η λεγόμενη δοκιμή με στερεοποίηση και με αποστράγγιση (CD). Κατά τη δοκιμή αυτή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτιση μετά από την στερεοποίηση λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισης του δοκιμίου θα πρέπει να είναι τόσο βραδεία, ώστε πρακτικά να μην αναπτύσσεται καμία πίεση του νερού των πόρων στο δοκίμιο ($u=0$).

Η δοκιμή αυτού του τύπου αντιστοιχεί στα αμμώδη εδάφη κάτω από οποιεσδήποτε πραγματικές συνθήκες (επειδή οδηγεί σε $c=0$ και $\varphi \neq 0$), ενώ για τα συνεκτικά εδάφη αντιστοιχεί γενικά στην περίπτωση που ο χρόνος κατασκευής είναι αργός και το κινητό φορτίο είναι μικρό.

Ο χρόνος στερεοποίησης για τις δοκιμές CUPP και CD διαρκεί είτε μέχρι πλήρους αποστράγγισης του δοκιμίου, για το δεδομένο φορτίο προστερεοποίησης, που ελέγχεται με τη βοήθεια μιας μπιουρέτας, όπου μαζεύεται το νερό αποστράγγισης, είτε μέχρι μηδενισμού της πίεσης του νερού των πόρων του δοκιμίου.

Η τριαξονική δοκιμή εκτελείται στο εργαστήριο από ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα τριαξονικών δοκιμών εδαφικών δοκιμίων (της GDS) που περιλαμβάνει πλήρες σύστημα πλαισίου φόρτισης τριαξονικής συσκευής, σύστημα

2 ηλεκτρονικών controllers πίεσης όγκου, ηλεκτρονικό pore pressure transducer, ανεξάρτητο ηλεκτρονικό σύστημα προετοιμασίας δειγμάτων, ένα ηλεκτρονικό σύστημα σύνδεσης όλων των συσκευών με ηλεκτρονικό υπολογιστή και ειδικό software επεξεργασίας.



Εικόνα 4.3: Εργαστηριακή διάταξη για τη δοκιμή CD

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει όλους τους αυτοματισμούς μέτρησης, καταγραφής και εκτέλεσης υπολογισμών, μέσω H/Y, με στόχο την αυτοματοποιημένη διαδικασία της δοκιμής και της παροχής του τελικού προϊόντος, το οποίο αφορά τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους σε διαφορετικές πλευρικές και κατακόρυφες φορτίσεις.

Η αυτοματοποιημένη εκτέλεση της δοκιμής, μέσω ηλεκτρονικών συστημάτων, του υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφών σε διάφορες πιθανές εντατικές καταστάσεις και προσδιορισμού της συμπεριφοράς του κατά την εκτέλεση ενός τεχνικού έργου συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης των παρεχόμενων υπηρεσιών εργαστηριακών δοκιμών Εδαφομηχανικής του Εργαστηρίου. Η χρησιμοποίηση της τριαξονικής συσκευής συμπληρώνει τις ήδη παρεχόμενες υπηρεσίες εδαφομηχανικής και συντελεί στην παροχή εξειδικευμένων και ολοκληρωμένων υπηρεσιών σε τομείς όπως οι τεχνικογεωλογικές μελέτες για την ασφαλή κατασκευή των των επιφανειακών και υπόγειων τεχνικών έργων (κατολισθήσεις, αυτοκινητόδρομοι, φράγματα, σήραγγες, μέτρα προστασίας κλπ), οι μελέτες οικιστικής καταλληλότητας, η εκπόνηση μικροζωνικών και περιβαλλοντικών μελετών, η προστασία των μνημείων, η εκπόνηση μελετών για την εξεύρεση χώρων υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων (XYTA), κτλ.

4.2.4. Τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση UU

Είναι η ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση (UU). Κατά την πιο πάνω δοκιμή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων κατά τη θραύση ενός κυλινδρικού δοκιμίου εδάφους όπου δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου κατά την τριαξονική φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή η περιβάλλουσα προκύπτει θεωρητικά παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά έχουν $\varphi = \varphi_u \rightarrow 0$ και $c = c_u$.



Εικόνα 4.4: Εργαστηριακή διάταξη για τη δοκιμή UU

Κατά τη δοκιμή αυτή δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Αν ζητηθούν μετρήσεις της πίεσης του νερού των πόρων, η διάρκεια της δοκιμής αυξάνει ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου η ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου.

Η τριαξονική UU δοκιμή πρακτικά συμπίπτει με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης στην οποία δεν υπάρχει διάταξη επιβολής πλευρικής τάσης σ_3 . Κατά τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης μετράται άμεσα η αντίστοιχη αντοχή του δοκιμίου σ και υπολογίζεται εύκολα η αστράγγιστη αντοχή c_u ίση με $\sigma/2$. Η κατάσταση αυτή για τις περιπτώσεις των κανονικά στερεοποιημένων και ελαφρά υπερστερεοποιημένων συνεκτικών εδαφών, κατά κανόνα είναι η πιο δυσμενής και

αντιστοιχεί στη πράξη με περιπτώσεις στις οποίες μεγάλο τμήμα του συνολικού φορτίου προσάγεται σε μικρό χρονικό διάστημα.



Εικόνα 4.5: Εργαστηριακή διάταξη για τη δοκιμή UU

4.2.5. Δοκιμή απευθείας διάτμησης

(1) Η δοκιμή άμεσης διάτμησης μέτρα απευθείας τη διατμητική αντοχή ως συνάρτηση της τάσης κάθετα προς το επίπεδο της διάτμησης.

(2) Αυτή η δοκιμή ασχολείται με τον προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων διατμητικής αντοχής και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας με έλεγχο της αντοχής σε διάτμηση. Στην τελευταία περίπτωση, μια ακριβής περιγραφή θα πρέπει να γίνει, συμπεριλαμβανομένου του τύπου και το πάχους του υλικού πλήρωσης, και της παρουσίας του νερού.



Εικόνα 4.6: Εργαστηριακή διάταξη για τη δοκιμή απευθείας διάτμησης

Το εδαφικό δείγμα τετραγωνικής ή κυκλικής διατομής και μικρού πάχους (π.χ. 19 mm) τοποθετείται στο εσωτερικό δύο μεταλλικών δακτυλίων μεταξύ πορωδών δίσκων.(EN1997-2,παρ.15.4). Η συσκευή επιτρέπει την εφαρμογή ενός κατακόρυφου φορτίου (P) στο δοκίμιο καθώς και τη σχετική κίνηση του άνω δακτυλίου σε σχέση με τον κάτω στην οριζόντια διεύθυνση με την εφαρμογή οριζόντιας δύναμης (T). Η συσκευή πληρούται με νερό, ώστε το δοκίμιο να είναι εμβαπτισμένο. Το νερό, όμως, έχει την ατμοσφαιρική πίεση επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα επιβολής αντιπίεσης πόρων όπως στην τριαξονική δοκιμή. Κατά συνέπεια, οι υδατικές πιέσεις στο εσωτερικό του δοκιμίου δεν ελέγχονται και δεν μπορεί να εξασφαλισθεί ο κορεσμός του δοκιμίου ούτε να ελεγχθούν οι συνθήκες στράγγισης.



Εικόνα 4.7: Εργαστηριακή διάταξη για τη δοκιμή απευθείας διάτμησης



Εικόνα 4.8: Εργαστηριακή διάταξη για τη δοκιμή απευθείας διάτμησης

Μετά την τοποθέτηση του δοκιμίου στη συσκευή, εφαρμόζεται το κατακόρυφο φορτίο (P), οπότε το δοκίμιο υφίσταται μοναξονική συμπίεση (στερεοποίηση) με παρεμπόδιση της πλευρικής παραμόρφωσης, επειδή ο δακτύλιος είναι ανένδοτος στην οριζόντια διεύθυνση.

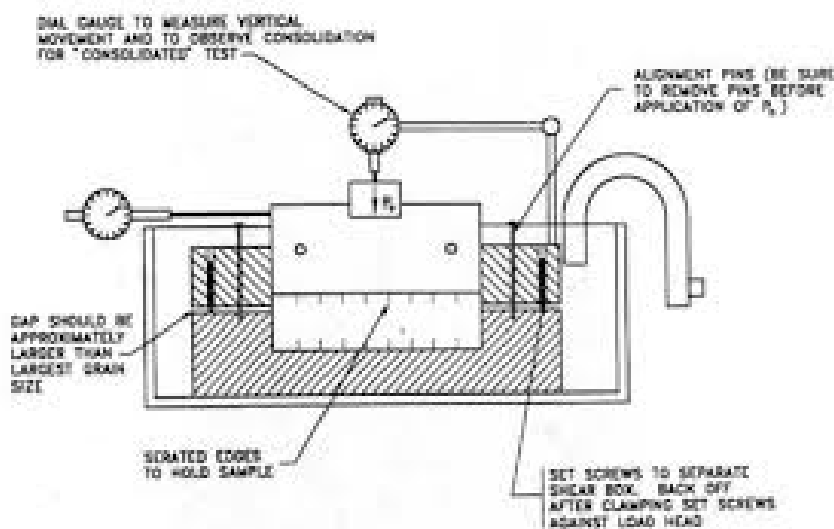
Η εντατική κατάσταση που αναπτύσσεται στο δοκίμιο είναι ανομοιόμορφη. Επιπλέον, κατά τη διάτμηση είναι γνωστές μόνον οι ολικές τάσεις που αναπτύσσονται στο οριζόντιο επίπεδο: η ορθή τάση που είναι ίση με το κατακόρυφο φορτίο ανά μονάδα επιφανείας του δοκιμίου και η διατμητική τάση (τ) που είναι ίση με την οριζόντια δύναμη που επιβάλλεται στον άνω δακτύλιο ανά μονάδα επιφανείας του δοκιμίου. Αν η φόρτιση είναι αρκετά βραδεία ώστε οι υπερπιέσεις πόρων που τείνουν να αναπτυχθούν να εκτονώνονται πλήρως, η υδατική πίεση πόρων είναι συνεχώς μηδέν και έτσι είναι γνωστές και οι ενεργές τάσεις στο οριζόντιο επίπεδο. Επειδή είναι γνωστές οι τάσεις μόνο σε ένα επίπεδο, δεν είναι δυνατόν να σχεδιασθεί η τασική διαδρομή ούτε οι αντίστοιχοι κύκλοι Mohr κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Παρά τα ανωτέρω μειονεκτήματα, η δοκιμή της απευθείας διάτμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της περιβάλλουσας αστοχίας.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η δοκιμή της απευθείας διάτμησης θα πρέπει να γίνεται με επαρκώς αργό ρυθμό ώστε οι υπερπιέσεις πόρων που τείνουν

να αναπτυχθούν να εκτονώνονται πλήρως. Μερικές φορές αναφέρεται ότι, αν η δοκιμή εκτελεσθεί με ταχύ ρυθμό, επιτυγχάνονται αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης και συνεπώς μπορεί να προσδιορισθεί η αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους (βλέπε εδάφιο 9.5). Τούτο δεν αληθεύει, επειδή το πάχος του δοκιμίου είναι πολύ μικρό και έτσι, ακόμη και στην περίπτωση που η δοκιμή εκτελεσθεί με μεγάλη ταχύτητα, συμβαίνει μερική στράγγιση του δοκιμίου, οι υπερπίεσεις πόρων εκτονώνονται μερικώς και δεν πραγματοποιούνται οι αστράγγιστες συνθήκες.

4.2.6. Δοκιμή απλής διάτμησης

Η δοκιμή αυτή είναι παρόμοια με τη δοκιμή της απευθείας διάτμησης με την (ουσιώδη) διαφορά ότι επιβάλλει (κατά το δυνατόν) ομοιόμορφη, ελεγχόμενη και γνωστή εντατική κατάσταση στο δοκίμιο. Το κυλινδρικό εδαφικό δείγμα περιβάλλεται με ειδική μεμβράνη που είναι ανένδοτη στην οριζόντια διεύθυνση, ώστε να παρεμποδίζεται η πλευρική ορθή παραμόρφωση αλλά να επιτρέπονται οι διατμητικές παραμορφώσεις. Η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής είναι παρόμοια με αυτήν της απευθείας διάτμησης. Το δοκίμιο κατ' αρχήν στερεοποιείται με μοναξονική συμπίεση στην κατακόρυφη διεύθυνση και στη συνέχεια υποβάλλεται σε διάτμηση με την εφαρμογή οριζόντιας διατμητικής τάσης.



Εικόνα 4.9: Λεπτομέρεια πειραματικής διάταξης

Στη δοκιμή της απλής διάτμησης (όπως και στη δοκιμή της απευθείας διάτμησης) οι συνθήκες στράγγισης του δοκιμίου δεν μπορούν να ελεγχθούν, επειδή δεν εφαρμόζεται αντιπίεση πόρων αλλά απλώς το δοκίμιο είναι βυθισμένο στο νερό.

Κατά συνέπεια, η δοκιμή πρέπει να εκτελείται με πολύ αργό ρυθμό ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης στράγγιση. Σε διαφορετική περίπτωση αναπτύσσονται (άγνωστες) υπερπίεσεις πόρων, οπότε οι ενεργές τάσεις δεν ελέγχονται και ο κύκλος Mohr των ενεργών τάσεων δεν μπορεί να σχεδιασθεί ούτε κατά τη διάρκεια της δοκιμής ούτε κατά την αστοχία. Παρά ταύτα, επειδή το ύψος του δοκιμίου στη δοκιμή της απλής διάτμησης είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το ύψος του δοκιμίου στη δοκιμή της απευθείας διάτμησης, αν η φόρτιση γίνει με ταχύ ρυθμό, μπορεί να θεωρηθεί (με επαρκή ακρίβεια) ότι εξασφαλίζονται αστράγγιστες συνθήκες (υπενθύμιση: για τριπλάσιο ύψος δοκιμίου ο απαιτούμενος χρόνος στράγγισης είναι εννεαπλάσιος). Στην περίπτωση αυτή μπορεί να προσδιορισθεί η αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδαφικού δείγματος χωρίς όμως να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας, των κύκλων Mohr ενεργών τάσεων κλπ, επειδή οι αναπτυσσόμενες υπερπίεσεις πόρων δεν μπορούν να μετρηθούν.

4.2.7. Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης

Η δοκιμή αυτή γίνεται μόνο σε συνεκτικά εδάφη, που μπορούν να φέρουν μονοαξονικό φορτίο. Τέτοια εδάφη είναι οι στιφρές άργιλοι κ.α. όπου τα μορφωμένα δείγματα μπορούν να διατηρήσουν το σχήμα τους χωρίς την βοήθεια παράπλευρης πίεσης - εγκιβωτισμού.

Το δείγμα τοποθετείται σε μία πρέσα δοκιμών θλίψης. Η φόρτιση γίνεται με ταχύτητα τάξης μεγέθους 1-5 mm/λεπτό. Λόγω της σχετικής υψηλής παραμορφωσιμότητας των δοκιμών έναντι των δύσκαμπτων πλακών της συσκευής (από χάλυβα), το πείραμα γίνεται ουσιαστικά με έλεγχο των παραμορφώσεων (strain controlled).



Εικόνα 4.10: Εδαφικό δοκίμιο σε ανεμπόδιστη θλίψη

Το φορτίο αυξάνει σταδιακά μέχρι την αστοχία όπου λαμβάνει την μέγιστη τιμή P_{lim} . Έχοντας προμετρήσει την διάμετρο - διατομή του δείγματος, υπολογίζουμε την τάση αστοχίας:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{lim}}{A}$$

Λόγω της μοναξονικής φόρτισης, η τάση αστοχίας είναι μία κύρια τάση (σ_1).

Μία πρώτη εκτίμηση της συνοχής του εδάφους είναι:

$$c_1 = \frac{\sigma_{max}}{2}$$

Η παραπάνω τιμή δεν συμβαδίζει με την πραγματική τιμή της συνοχής, ειδικά όταν η γωνία τριβής διαφέρει από το 0. Η παραπάνω τιμή διορθώνεται χρησιμοποιώντας την εκτίμηση της γωνίας τριβής που προκύπτει από την μέτρηση της κλίσης του επιπέδου αστοχίας. Το επίπεδο αστοχίας παρουσιάζει γωνία $45^\circ + \phi/2$ ως προς την διεύθυνση φόρτισης (σ_1). Έτσι μετρώντας την κλίση, μπορούμε να έχουμε μία πρώτη εκτίμηση για την γωνία τριβής.

Η ανοιγμένη τιμή της συνοχής, έχοντας εκτιμήσει την γωνία τριβής είναι:

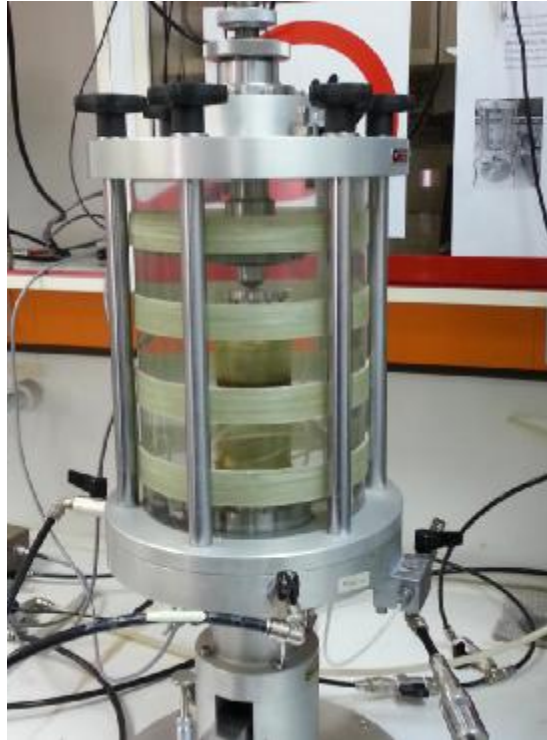
$$C = \frac{(\sigma_{max}/2)(1 - \sin\phi)}{\cos\phi}$$

Στη συνέχεια αναφέρεται η δοκιμή τριαξονικής θλίψης, η οποία είναι μια εξέλιξη του πειράματος της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης.

Η δοκιμή τριαξονικής θλίψης είναι ουσιαστικά μία εξέλιξη της μονοαξονικής δοκιμής, όπου είναι δυνατός ο έλεγχος της παράπλευρης τάσης - πίεσης ($\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_1$). Είναι έτσι δυνατή η διενέργεια πολλών δοκιμών με διαφορετικά σεντ (σ_1, σ_3) που οδηγούν στην αστοχία, σχεδιασμός των αντίστοιχων κύκλων Mohr, της περιβάλλουσας αστοχίας και τέλος της εκτίμησης των παραμέτρων ϕ, c . Επιπλέον είναι δυνατός ο έλεγχος της πίεσης - υπερπίεσης πόρων και των συνθηκών στράγγισης. Στην συνέχεια παρουσιάζεται μία τυπική διάταξη τριαξονικής δοκιμής.



Εικόνα 4.11: Διάταξη τριαξονικής δοκιμής – κυψέλη



Εικόνα 4.12: Περατόμετρο τριαξονικής φόρτισης

Τα βασικά τμήματα της διάταξης είναι η κυψέλη της δοκιμής (που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του σχήματος) καθώς και της διάταξης φόρτισης. Τα μέρη της παραπάνω διάταξης: Κυψέλη, ένας αεροστεγής κύλινδρος όπου τοποθετείται το δείγμα. Η κυψέλη είναι γεμάτη νερό το οποίο ελέγχει την παράπλευρη πίεση. Το δείγμα υποβάλλεται σε θλίψη μέσω του εμβόλου. Στο έμβολο συνδέεται μετρητής φορτίου. Το δείγμα τοποθετείται σε αδιαπέραστη μεμβράνη ώστε να εξασφαλιστεί η στεγανότητα του δείγματος. Το δείγμα υποβάλλεται σε θλίψη μέσω των μεταλλικών πλακών οι οποίες έχουν οπές που επιτρέπουν την στράγγιση, την επιβολή υπερπίεσης πόρων ή την μέτρηση της πίεσης πόρων. Μεταξύ των πλακών και του δείγματος τοποθετείται διαπερατός πωρόλιθος .

Η βαλβίδα επιτρέπει την απαέρωση της κυψέλης. Η βαλβίδα επιτρέπει την παροχή νερού και την επιβολή της παράπλευρης πίεσης. Η βαλβίδα επικοινωνεί με το σύστημα επιβολής υπερπίεσης πόρων και με τον μετρητή πίεσης πόρων. Τοποθετούνται τα κατάλληλα o-rings (φλάντζες - λάστιχα) που εξασφαλίζουν την στεγανοποίηση της κυψέλης, του δείγματος κλπ.

Στην κυψέλη συνδέονται μηχανοσκόπια, μετρητές φορτίου. Η κλασσική μέτρηση φορτίου είναι ένα παραμορφώσιμο δακτυλίδι με μετρητή παραμόρφωσης, ο οποίος μπορεί να είναι αναλογικός ή ηλεκτρονικός.



Εικόνα 4.13: Διάταξη τριαξονικής δοκιμής, κυψέλη + συστήματα πίεσης

Το πείραμα είναι αρκετά σύνθετο, θα περιγραφούν τα βασικά στάδια μίας αστράγγιστης δοκιμής χωρίς μέτρηση της πίεσης πόρων:

1) Μορφώνεται το δείγμα σε κυλινδρικό δοκίμιο. Η πλέον συνηθισμένη διάμετρος είναι 35 mm. Η μόρφωση γίνεται προσεκτικά ώστε να μην διαταραχθεί το δείγμα.

2) Το δείγμα τοποθετείται μεταξύ πωρόλιθων, πλακών φόρτισης. Στεγανοποιούμε το δείγμα χρησιμοποιώντας ελαστική μεμβράνη και o-rings.

3) Κλείνουμε ερμητικά την κυψέλη με το σύστημα περισφιζής. Τοποθετούμε την κυψέλη μεταξύ των εμβόλων φόρτισης.

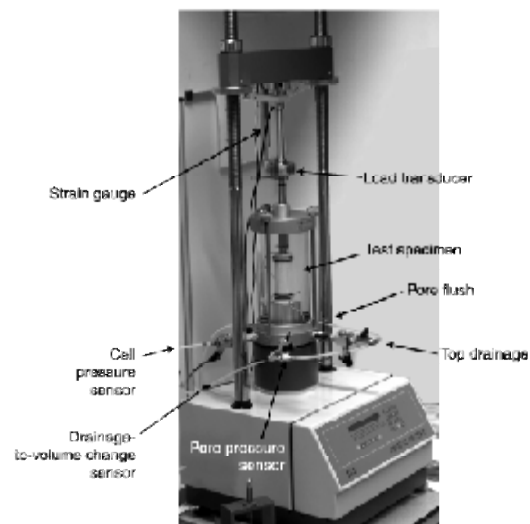
4) Γεμίζουμε την κυψέλη νερό, απαερώνουμε και συνδέουμε την διάταξη επιβολής υδροστατικής πίεσης (στήλες υδραργύρου ή κομπρεσέρ ή έμβολα με σερβομηχανισμό). Ανεβάζουμε την υδατική πίεση στο επιθυμητό σημείο. Το δείγμα είναι σε ομοιόμορφη - υδροστατική πίεση $\sigma_r = \sigma_{1,2,3}$. Μηδενίζουμε την μέτρηση κατακόρυφου φορτίου.

5) Επιβάλλουμε αξονικό φορτίο στο δείγμα (P). Μετράμε το φορτίο P και την αξονική παραμόρφωση Δl .

6) Το δοκίμιο αστοχία όταν με την αύξηση της παραμόρφωσης, το φορτίο μένει σταθερό ή μειώνεται. Καταγράφουμε το οριακό φορτίο για να κάνουμε τους υπολογισμούς αντοχής.



Εικόνα 4.14: Εξοπλισμός για την τριαξονική δοκιμή: Πωρόλιθοι, διάτρητες πλάκες φόρτισης, υδατοστεγής μεμβράνη, λαστιχάκια στεγανοποίησης



Εικόνα 4.15: Τριαξονική δοκιμή



Εικόνα 4.16: Τριαξονική δοκιμή

Η παράπλευρη πίεση σ_r είναι ίση με την κύρια τάση σ_3 (και σ_2). Πριν την επιβολή του κατακόρυφου φορτίου η κύρια τάση σ_1 είναι ίση επίσης με την παράπλευρη πίεση. Το κατακόρυφο φορτίο επιβάλλει μία αύξηση της σ_1 κατά ένα μέγεθος q που ονομάζεται «απόκλιση». Είναι δε:

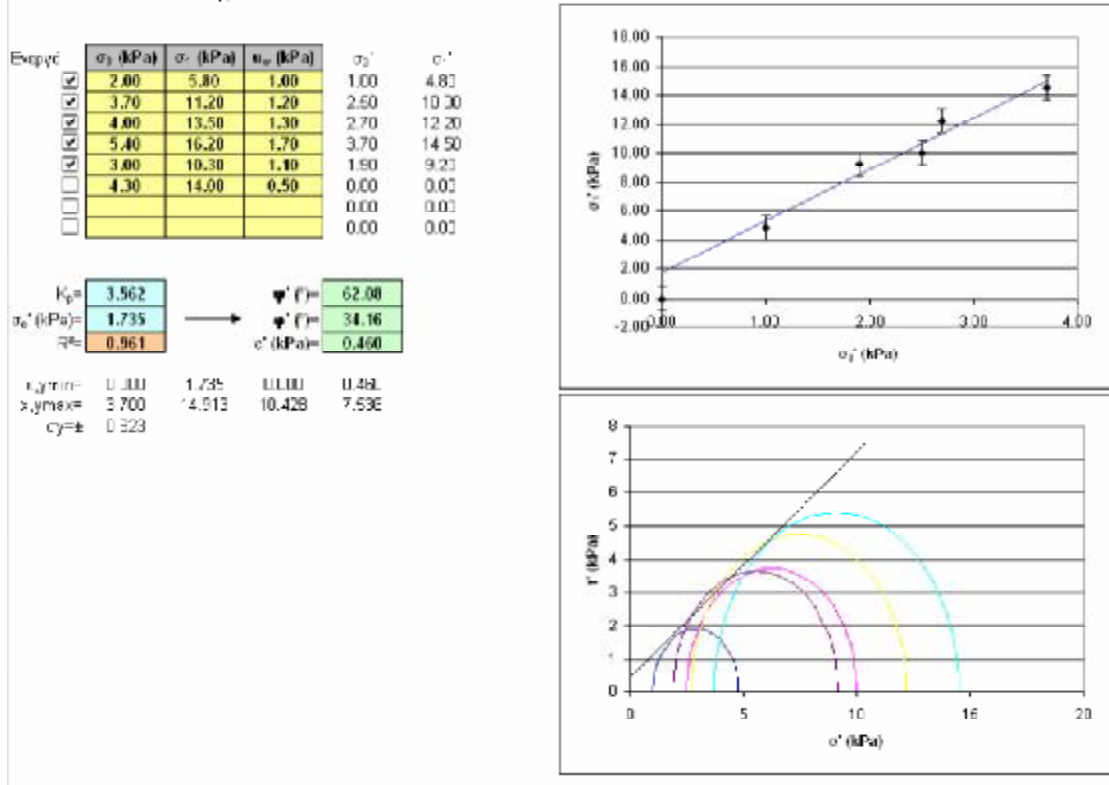
$$q = \frac{P}{A}$$

Η κύρια τάση σ_1 κατά την αστοχία είναι:

$$\sigma_1 = \sigma_r + q$$

Με το σετ τιμών (σ_1, σ_3) σχεδιάζεται ένας κύκλος Mohr αστοχίας. Η εκτίμηση των παραμέτρων ϕ, c γίνεται από μία σειρά πειραμάτων που αντιπροσωπεύονται από κύκλους Mohr, οπότε είναι δυνατή η σχεδίαση της περιβάλλουσας αστοχίας.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ φ, c ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

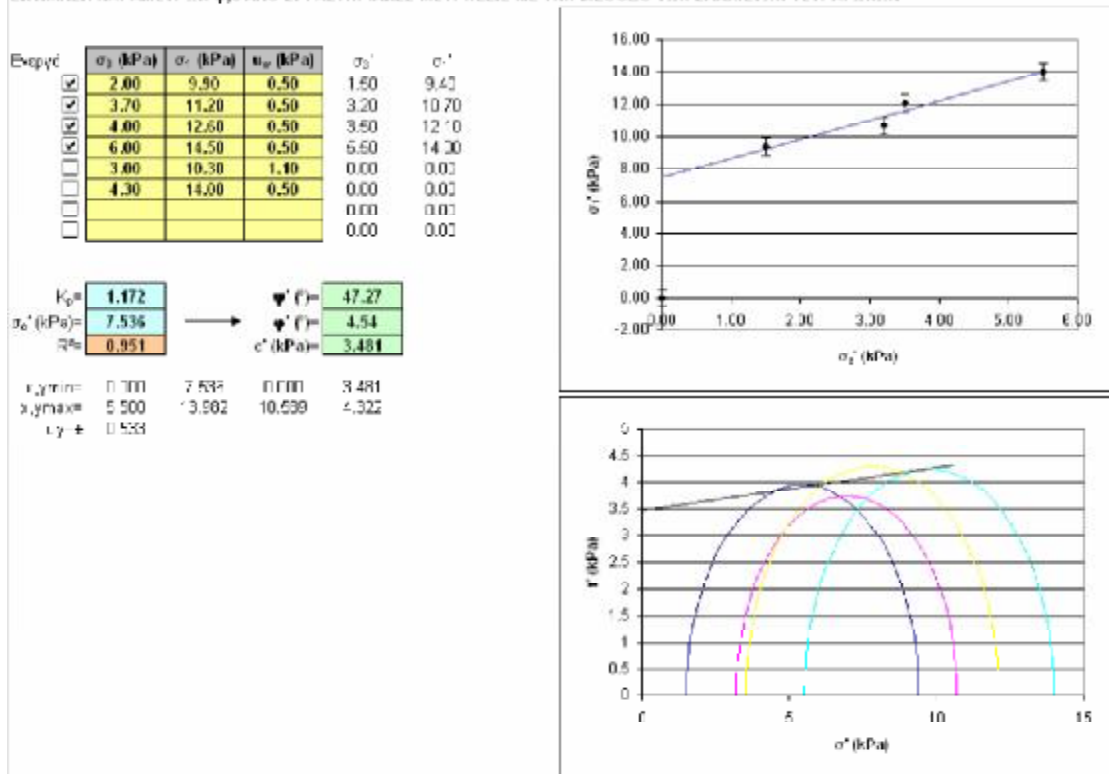


Σχήμα 4.1: Εκτίμηση των παραμέτρων φ, c με χρήση του φύλλου MParameters.xls.

Η εκτίμηση γίνεται με την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων.

Παρουσιάζεται η συσχέτιση των δοκιμών (R^2) καθώς και το σφάλμα στην μέτρηση της τάσης

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ φ, c ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ



Σχήμα 4.2: Μία ακόμα εκτίμηση ϕ , c για κάποιο συνεκτικό έδαφος με μικρή γωνία τριβής.

Πίνακας 4.1: Μετατροπή φορτίου από τις ενδείξεις του δακτυλίου.

Φορτίο (kN)	Ένδειξη δακτυλίου (υποδιαίρεσεις)
0	0
5	115.0
10	229.7
15	345.2
20	461.4
25	576.8
30	695.9
35	814.0
40	932.0
45	1051.4
50	1171.2

5. Συμπύκνωση Εδαφών-Δοκιμή CBR

5.1. Συμπύκνωση Εδαφών

Προσδιορίζουμε τη βέλτιστη υγρασία συμπύκνωσης των εδαφών με την πρότυπη μέθοδο Proctor. (EN1997-2,παρ.10)

Με τον όρο συμπύκνωση εννοούμε την τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με μηχανικά μέσα. Με την συμπύκνωση επιτυγχάνουμε αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, μείωση των καθιζήσεων και της διαπερατότητάς του. Η σημασία της διαδικασίας συμπύκνωσης έχει να κάνει με το γεγονός ότι τα συμπυκνωμένα εδάφη χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα για ασφαλέστερες κατασκευές.

Ο βαθμός συμπύκνωσης ενός εδάφους εκφράζεται με την ξηρή πυκνότητα του εδάφους. Επομένως μεταβολή της τιμής της ξηρής πυκνότητας μετά από συμπύκνωση, εκφράζει την μεταβολή όγκου για το ίδιο ξηρό βάρος, δηλαδή εκφράζει το βαθμό συμπύκνωσης του υλικού. Η μέγιστη συμπύκνωση, δηλαδή η μέγιστη ξηρή πυκνότητα του εδάφους επιτυγχάνεται με 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 σε νερό του εδαφικού δείγματος, διατηρώντας σταθερή την ενέργεια συμπύκνωσης (βάρος σφύρας, ύψος πτώσης, αριθμό κτύπων ανά στρώση, διατομή στρώσεων) και κάνουμε το διάγραμμα μεταβολής του ξηρού φαινόμενου βάρους γ_d σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε νερό m (%), τότε παίρνουμε μία καμπύλη που παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή του γ_d για μια ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό m , που χαρακτηρίζεται σαν βέλτιστη_υγρασία_ m_{opt} κατά Proctor (optimum).

Αν αυξήσουμε την ενέργεια συμπύκνωσης αυξάνεται και η μέγιστη τιμή του γ_d και μειώνεται η τιμή optimum της περιεκτικότητας σε νερό. Η μορφή της καμπύλης συμπύκνωσης 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.

Η δοκιμή έχει σαν σκοπό τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της ξηρής πυκνότητας του εδάφους με τη χρήση ενός μεταλλικού κόπανου με κυκλική διατομή διαμέτρου 50.8 ± 0.127 mm και βάρους 2.49 ± 0.01 kg που πέφτει ελεύθερα από ύψος 304.8 ± 1.524 mm από τη στάθμη του εδαφικού δοκιμίου.

Σαν συμπύκνωση του εδάφους περιγράφεται η μείωση του όγκου του, η οποία προκαλείται τεχνητά με τη πρόσκαιρη ή στιγμιαία εφαρμογή κάποιου φορτίου. Η μέγιστη συμπύκνωση επιτυγχάνεται με προσθήκη συγκεκριμένης υγρασίας που ευνοεί τη μείωση της συνοχής και των τριβών μεταξύ των εδαφικών κόκκων. Έτσι, προκύπτει γρήγορη αναδιάταξη τους σε πυκνότερη δομή και το έδαφος αποκτά τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα. (Στειακάκης 2008).



Εικόνα 5.1: Διάταξη για την συμπύκνωση κατά Proctor



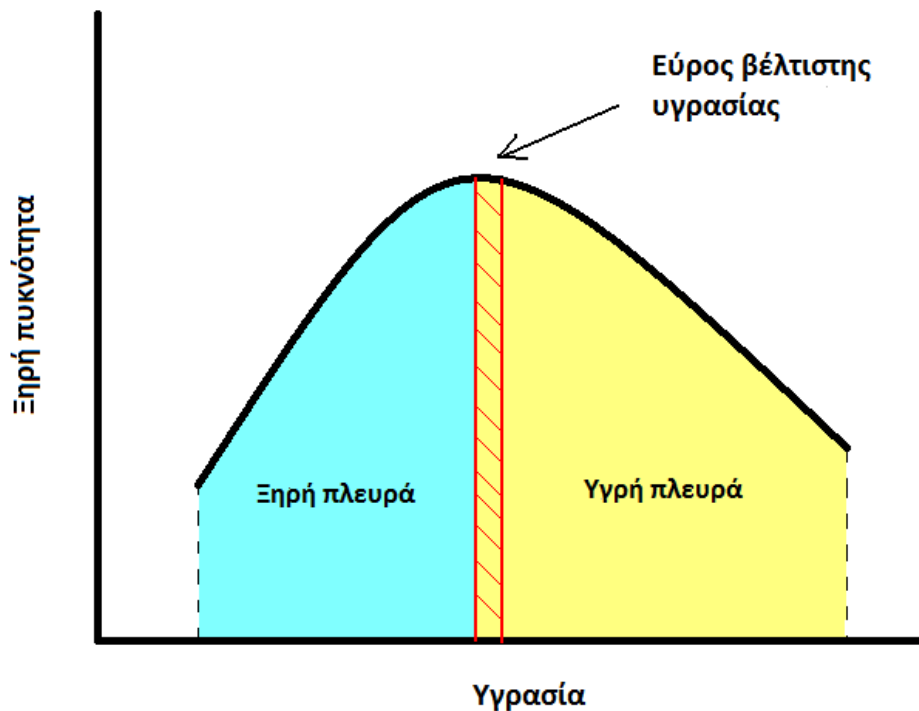
Εικόνα 5.2: Διάταξη για την συμπύκνωση κατά Proctor

Ο σκοπός της συμπύκνωσης είναι να βελτιώσει την αντοχή του εδάφους μειώνοντας τη συμπιεστότητα και τη περατότητα. Η περατότητα του εδάφους μειώνεται με αύξηση του ποσοστού υγρασίας στη ξηρή πλευρά.

Με τη συμπύκνωση προκαλείται μετακίνηση των εδαφικών κόκκων με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου των κενών. Η ελάχιστη τιμή περατότητας επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το ποσοστό βέλτιστης υγρασίας ή λίγο πιο υψηλό.

Το ποσοστό της υγρασίας ενός δείγματος επηρεάζει την αντίσταση του στη συμπίεση. Για ποσοστό υγρασίας κάτω της βέλτιστης το έδαφος προβάλλει μεγαλύτερη αντίσταση στη συμπίεση σε σχέση με δείγμα υγρασίας άνω της βέλτιστης. Συνεπώς τα εδάφη στη ξηρή πλευρά Σχήμα 5.1 παρουσιάζουν μικρότερες τιμές συμπιεστότητας (Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 2003).

Η βέλτιστη υγρασία, δηλαδή η ποσότητα νερού που πρέπει να προστεθεί προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη συμπύκνωση, προσδιορίζεται εργαστηριακά με τη δοκιμή Proctor.



Σχήμα 5.1: Καμπύλη Proctor

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Εάν το δείγμα του εδάφους είναι υγρό, ξηραίνεται στον αέρα ή σε συσκευή ξήρανσης με θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 60 οC. Στη συνέχεια, τα συσσωματώματα του εδάφους θραύονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η ελάττωση του φυσικού μεγέθους των κόκκων του.
2. Κοσκινίζεται επαρκής ποσότητα αντιπροσωπευτικού δείγματος με κόσκινο Νο. 4 (4,75mm). Το χονδρόκοκκο υλικό που συγκρατείται απορρίπτεται.
3. Από το έδαφος που προκύπτει, λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, βάρος περίπου 3 kg ή και περισσότερο, το οποίο αναμιγνύεται καλά με επαρκή ποσότητα νερού, έτσι ώστε να αποκτήσει υγρασία κατά 4 περίπου ποσοστιαίες μονάδες κάτω από την εκτιμώμενη βέλτιστη υγρασία (OMC). Ο καθορισμός της κατά προσέγγιση υγρασίας αφετηρίας (OMC - 4 %), θα γίνει με βάση το Σχήμα 5.2. Το διάγραμμα αυτό υποδεικνύει τη βέλτιστη υγρασία OMC \pm 2 % εάν οι τιμές του ορίου υδαρότητας και πλαστικότητας είναι γνωστές.

4. Το έδαφος συμπυκνώνεται μέσα στη μήτρα σε τρεις ίσες στρώσεις για την παρασκευή συμπυκνωμένου υλικού συνολικού πάχους 127 mm. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 ομοιόμορφα κατανεμημένες πτώσεις του εμβόλου.
5. Μετά τη συμπίκνωση, απομακρύνεται ο δακτύλιος από τη μήτρα, αφαιρείται προσεκτικά το συμπυκνωμένο έδαφος μέχρι τα χείλη της μήτρας, με την ακμή του χαλύβδινου κανόνα και η μήτρα μαζί με το εδαφικό υλικό, ζυγίζεται. Υπολογίζεται το υγρό μοναδιαίο βάρος του εδάφους.
6. Εξάγεται το δοκίμιο από τη μήτρα και διαιρείται ως προς ένα επίπεδο που διέρχεται από τον άξονα του. Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού από μία από τις δύο επιφάνειες της τομής. Ζυγίζεται και ξηραίνεται σε θερμοκρασία $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ μέχρι σταθερού βάρους για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας. Το βάρος του υγρού δείγματος που λαμβάνεται δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 100 g.
7. Το υπόλοιπο εδαφικό θραύεται μέχρι που να διέρχεται από το κόσκινο Νο 4. Προστίθεται νερό σε επαρκή ποσότητα ώστε η υγρασία του εδάφους να αυξηθεί κατά μία η δύο ποσοστιαίες μονάδες σε σχέση με την προηγούμενη υγρασία του και η διαδικασία της συμπίκνωσης επαναλαμβάνεται.
8. Στη συνέχεια, προσθέτοντας ποσοστά υγρασίας διαδοχικά αυξανόμενα κατά 2%, προκύπτουν τα σημεία που θα καθορίσουν την καμπύλη ξηρού μοναδιαίου βάρους (ή ξηρής πυκνότητας) σε σχέση με την υγρασία. Το τελευταίο σημείο πρέπει να είναι περίπου 4 έως 5 % στην υγρή πλευρά (δεξιά της αιχμής) της καμπύλης. Το ξηρό μοναδιαίο βάρος υπολογίζεται από τη σχέση:

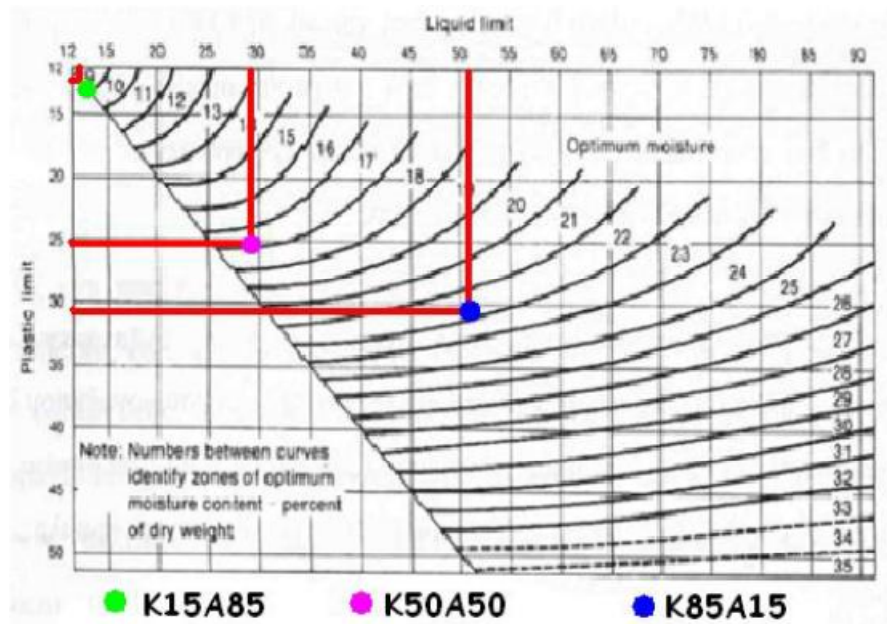
$$\gamma_d = \frac{\gamma_v}{1+w} \quad (5.1)$$

)

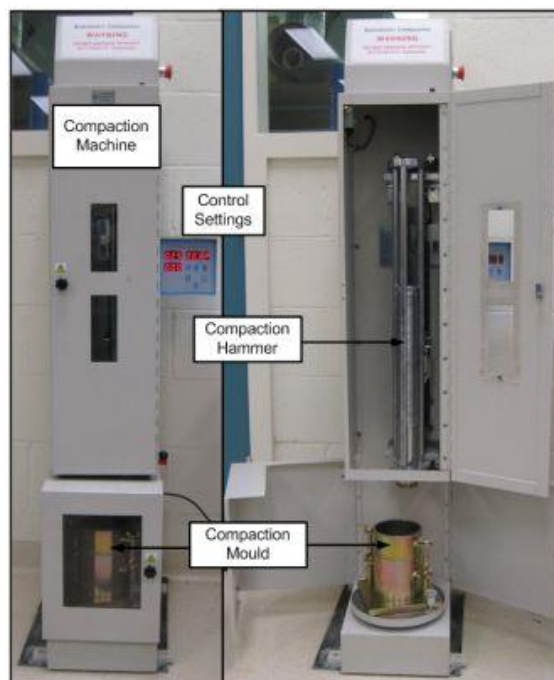
όπου,

γ_v : υγρό μοναδιαίο βάρος του δείγματος, (kN/m³)

w: περιεχόμενη υγρασία του δείγματος, %



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα για την εκτίμηση της βέλτιστης περιεκτικότητας σε υγρασία (OMC)



Εικόνα 5.3: Διάταξη συμπίκνωσης

Η υγρασία η οποία αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης (του διαγράμματος Ξηρής πυκνότητας - Υγρασίας) ορίζεται ως βέλτιστη υγρασία του εδάφους ενώ η αντίστοιχη πυκνότητα ονομάζεται μέγιστη ξηρή πυκνότητα.



Εικόνα 5.4: Λεπτομέρεια διάταξης για τον προσδιορισμό συμπύκνωσης

5.2. Δοκιμή CBR

Ο λόγος CBR είναι ένα μέγεθος που περιγράφει την αντοχή εδαφών.(EN1997-2,παρ.10.3) Συγκεκριμένα, είναι ένα μέγεθος που προτάθηκε από τον Τομέα Αυτοκινητοδρόμων της Καλιφόρνια το 1928, ώστε να δυνατή η εκτίμηση της ικανότητας των εδαφών ως υλικά έδρασης έργων οδοποιίας. Η μέθοδος υπολογισμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων με την χρήση του CBR μάλιστα, υιοθετήθηκε κατά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο από τον αμερικάνικο στρατό, για την μελέτη - κατασκευή διαδρόμων απογείωσης - προσγείωσης αεροσκαφών.

Η δοκιμή CBR, εκτιμά την διατμητική αντοχή ενός εδάφους υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας - πυκνότητας. Από την εκτέλεση της δοκιμής προκύπτει ο λόγος φέρουσας ικανότητας.

Ο λόγος είναι χαρακτηριστικός για τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την δοκιμή (δηλαδή για την συγκεκριμένη υγρασία - πυκνότητα).

Ο αριθμός CBR υπολογίζεται από τον λόγο της πίεσης (τάσης) που απαιτείται ώστε να προκληθεί ένα συγκεκριμένο βάθος διείσδυσης (βάθος αναφοράς) του εμβόλου της δοκιμής, σε ένα συμπυκνωμένο δείγμα εδάφους, σε

ορισμένη πυκνότητα και υγρασία, προς την πίεση αναφοράς η οποία είναι η απαιτούμενη πίεση ώστε να προκληθεί αυτό το βάθος σε δείγμα σπασμένης πέτρας. Το βάθος αναφοράς είναι 2.54 mm (1/10") και η πίεση αναφοράς (για το δείγμα της σπασμένης πέτρας) είναι 6.9 MPa. Ο λόγος CBR ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{CBR} = (\text{πίεση δοκιμής}) / (\text{πίεση αναφοράς}) * 100 (\%) \quad (5.2)$$



Εικόνα 5.5: Εργαστηριακή διάταξη για την δοκιμή CBR συσκευή πεδίου



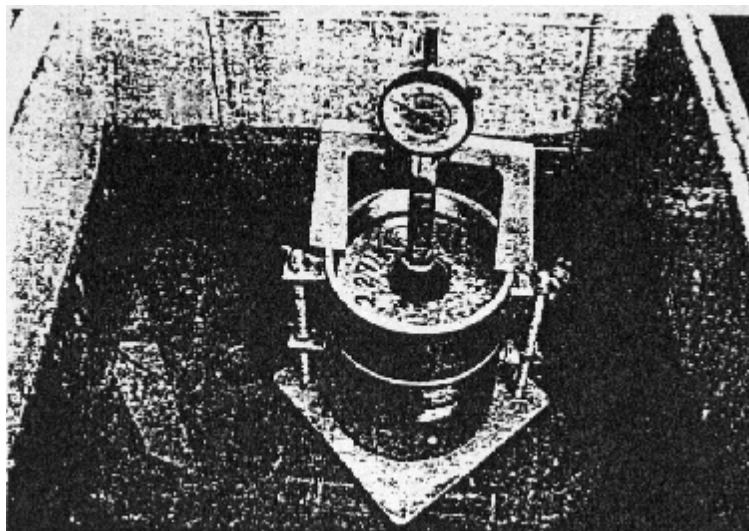
Εικόνα 5.6: Εργαστηριακή διάταξη για την δοκιμή CBR για χρήση σε εργοτάξιο

Η σπασμένη πέτρα θεωρείται πως έχει την καλύτερη συμπεριφορά για τα έργα οδοποιίας και θα έχει λόγο CBR σχεδόν 100%. Ένα μαλακό έδαφος θα έχει μικρότερο λόγο CBR. Σύμφωνα με τον λόγο CBR, γίνεται και η επιλογή του

πάχους του οδοστρώματος, βάσει νομογραφημάτων (μικρές τιμές CBR, απαιτούν μεγάλο πάχος οδοστρώματος). Τα νομογραφήματα αυτά συντάσσονται ανάλογα με το φορτίο που πρόκειται να φέρει το οδόστρωμα.

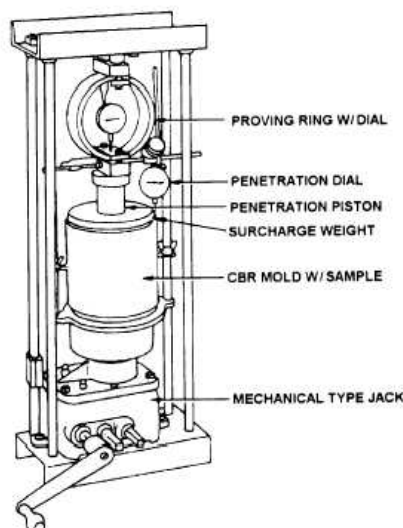


Εικόνα 5.7: Εξοπλισμός για τις δοκιμές CBR. Κάτω αριστερά διακρίνεται η κοψέλη για την δοκιμή αντοχής CBR.



Εικόνα 5.8: Διάταξη για τον υπολογισμό της διόγκωσης λόγω απορρόφησης νερού.

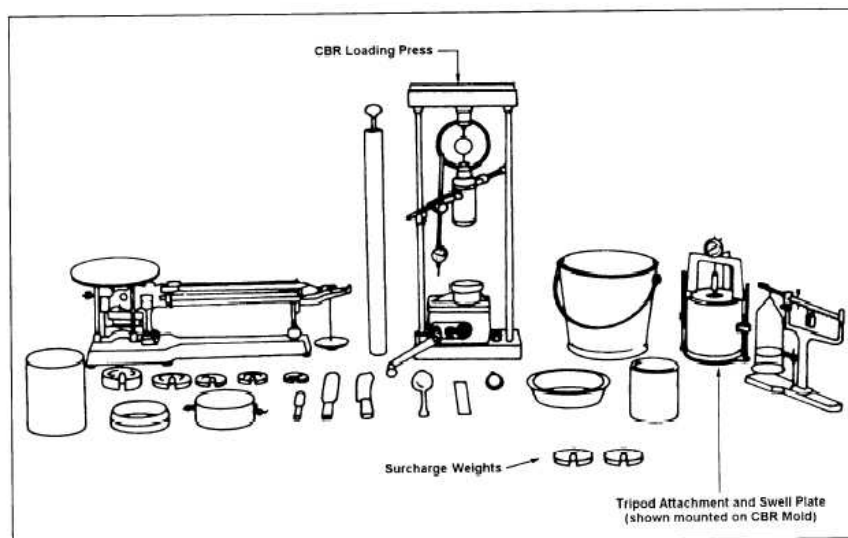
Χρησιμοποιούμε την κοψέλη της δοκιμής CBR, επιπλέον ένα βελόμετρο που προσαρμόζεται στην κοψέλη, καθώς και κάποια βαρίδια.



Εικόνα 5.9: Λεπτομέρεια Εργαστηριακής Διάταξης για τη δοκιμή CBR

Η ακριβής διαδικασία είναι η παρακάτω:

Συμπυκνώνουμε κατά Proctor τρία τουλάχιστον αντιπροσωπευτικά δείγματα του υλικού με την κατάλληλη μέθοδο που καθορίζεται από την κοκκομετρία του. Για κάθε δοκίμιο επιτυγχάνεται συμπύκνωση από 95% (ή λιγότερο) έως ~100% της μέγιστης, όπως προκύπτει από την αντίστοιχη δοκιμή Proctor στην βέλτιστη υγρασία. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζεται κατάλληλη ενέργεια συμπύκνωσης, μεταβάλλοντας τον αριθμό των κτύπων, ο οποίος προσεγγιστικά κυμαίνεται για κάθε δοκίμιο σε 10, 15, 30 και 56,65 αντίστοιχα. Συνδέεται η μήτρα στο δίσκο της βάσης, στερεώνεται ο δακτύλιος προέκτασης και ζυγίζεται με προσέγγιση 5kgf. Εισάγεται το παρέμβλημα στη μήτρα και τοποθετείται τραχύς διηθητικός χάρτης στην επάνω επιφάνεια του δίσκου. Αναμιγνύεται κάθε μία από τις ποσότητες των 6,8kgf, που έχουν παρασκευασθεί, με αρκετό νερό να ώστε να ληφθεί η βέλτιστη υγρασία. Συμπυκνώνεται μια από τις ποσότητες του μίγματος εδάφους - νερού μέσα στη μήτρα σε τρεις ίσες στρώσεις και λαμβάνεται συμπυκνωμένο δοκίμιο εδάφους πάχους περί των 127mm. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με τον ελάχιστο αριθμό κτύπων που έχει εκλεγεί. Η υγρασία κάθε δοκίμιου προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο δειγμάτων που λαμβάνονται από την πρώτη και την τελευταία στρώση, βάρους έκαστο τουλάχιστον 100gr για το λεπτόκοκκα και 500gr για το χονδρόκοκκα εδάφη.



Εικόνα 5.10: Λεπτομέρεια Εργαστηριακής Διάταξης για τη δοκιμή CBR



Εικόνα 5.11: Εξοπλισμός για τη δοκιμή CBR

1. Μετά το πέρας της συμπύκνωσης και αφού μορφώσουμε (ισοπεδώσουμε) την επιφάνεια του δείγματος με οδηγό τα χείλη της μήτρας, αποσπούμε το δοκίμιο από τη βάση του (που έχουμε αρχικά λιπάνει ελαφρώς) με προσεκτικές –κυκλικές κινήσεις και το ζυγίζουμε για τον υπολογισμό της πυκνότητάς του.
2. Τοποθετούμε τα δοκίμια μέσα σε δεξαμενή υδρεμποτισμού επάνω σε διάτρητες πλάκες-βάσεις, εφαρμόζοντας χονδρό διηθητικό χαρτί - φίλτρο στη βάση, όπως και στο πάνω μέρος του δοκίμιου (χαρτί-διάτρητη πλάκα).
3. Κατόπιν εφαρμόζουμε τα βάρη επιφόρτισης (3 ζεύγη ημιδακτυλίων, διαμέτρου 150mm, βάρους 2,30kgf ανά ζεύγος). Τοποθετούμε τα

μηκυνσιόμετρα στις κορυφές των δοκιμίων και παίρνουμε μια αρχική ανάγνωση, καταγράφοντας την ημερομηνία και την ώρα της ανάγνωσης. Κατόπιν γεμίζουμε τη δεξαμενή με νερό μέχρι 25,4mm πάνω από το ύψος των δοκιμίων. Ο υδρομποτισμός διαρκεί τουλάχιστον 4 ημέρες, κατά τη διάρκεια των οποίων γίνεται τακτική καταγραφή των ενδείξεων των μηκυνσιομέτρων.

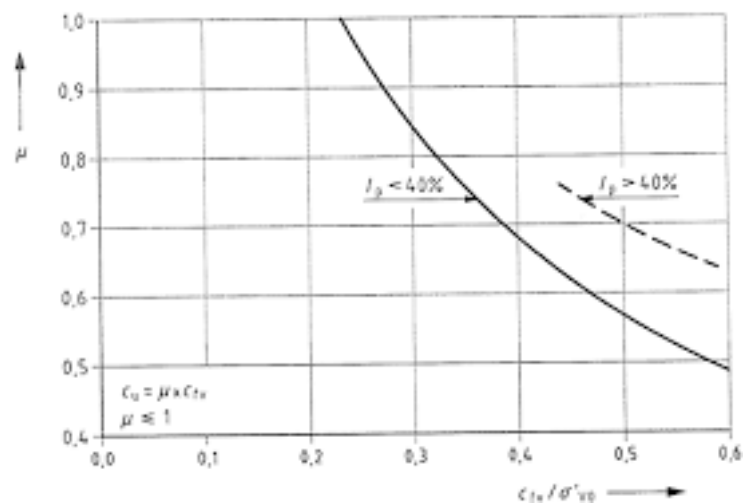
4. Μετά το πέρας των 4 ημερών, παίρνουμε μια τελευταία ανάγνωση και υπολογίζουμε τη διόγκωση :

$$\text{Διόγκωση (\%)} = \frac{\text{μεταβολή ύψους κατά τη διάρκεια του υδρομποτισμού (mm)} * 100}{116,4\text{mm}} \quad (5.3)$$

5. . Εξάγονται τα δοκίμια από τη δεξαμενή και αφήνονται προσεκτικά να στραγγίσουν με την βαρύτητα επί 15 λεπτά. Απομακρύνουμε τα βάρη επιφόρτισης, τις διάτρητες πλάκες και τα φίλτρα και ζυγίζουμε τα δοκίμια για τον υπολογισμό της υγρής πυκνότητας.
6. Στη συνέχεια τοποθετούμε κάθε δοκίμιο στη συσκευή φόρτισης και εφαρμόζουμε τα ίδια ακριβώς βάρη επιφόρτισης στην κορυφή του δοκιμίου. Για την αποφυγή απώλειας - διαρροής μαλακού υλικού, μετά την τοποθέτηση του πρώτου δακτυλοειδούς φορτίου, αφήνεται να επικαθήσει επάνω στο δοκίμιο το έμβολο διείσδυσεως. Κατόπιν τοποθετούνται και τα υπόλοιπα φορτία. Αφήνουμε ξανά το έμβολο διείσδυσεως με φορτίο 44,5N να επικαθήσει στο δοκίμιο και μηδενίζουμε τις ενδείξεις των μηκυνσιομέτρων που έχουμε εν τω μεταξύ προσαρμόσει στη βάση και στην κορυφή του δοκιμίου. Η ταχύτητα διείσδυσεως ρυθμίζεται στην τιμή 1,3mm/min. Καταγράφονται οι τιμές των φορτίων για διείσδυσεις : 0,64-1,27-1,91-2,54-5,08-7,62 και 10,16mm (αν είναι απαραίτητο και για κάθε 12,70mm). Τα ζεύγη των τιμών τάσεων - παραμορφώσεων (αντίσταση σε διείσδυση - βάθος διείσδυσεως) καταγράφονται για κάθε δοκίμιο χωριστά και αποτυπώνονται σε κάθετο σύστημα αξόνων αντίστασης σε διείσδυση (Mpa) και διείσδυσεως (mm) και κατασκευάζουμε την αντίστοιχη καμπύλη. Αν η αρχική διείσδυση γίνεται χωρίς αναλογική αύξηση της αντίδρασης σε διείσδυση (κοίλα καμπύλης προς τα πάνω), διορθώνουμε την καμπύλη, ειδικά στο τμήμα της κοντά στην αρχή των αξόνων. Η νέα θέση της αρχής

των συντεταγμένων καθορίζεται με προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης τάσεων - παραμορφώσεων μέχρι την τομή του με τον άξονα διείδυσης.

7. Οι διορθωμένες τιμές πίεσεως καθορίζονται για κάθε δοκίμιο από τις διειδύσεις 2,54mm και 5,08mm. Οι λόγοι Καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας λαμβάνονται σε ποσοστό %, με διαίρεση των διορθωμένων τιμών πίεσεων δια των αντιστοιχών προτύπων πίεσεων 6,9Μρα και 10,35Μρα επί τοις εκατό.
8. Σαν τιμή του Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας επιλέγεται αυτή που αντιστοιχεί σε διείδυση 2,54mm. Αν αυτός είναι μικρότερος από το λόγο της φέρουσας ικανότητας που αντιστοιχεί σε διείδυση 5,08mm, η δοκιμή επαναλαμβάνεται. Αν έχουμε τα ίδια αποτελέσματα, χρησιμοποιούμε το λόγο που αντιστοιχεί σε διείδυση 5,08mm.



Εικόνα 5.12: Κάθετο σύστημα αξόνων αντίστασης σε διείδυση με EC7



Εικόνα 5.13: Εργαστηριακή Διάταξη για τη δοκιμή CBR



Εικόνα 5.14: Εργαστηριακή Διάταξη για τη δοκιμή CBR

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρείται ότι ο Ευρωκώδικας 7 έχει ως αποτέλεσμα την εξασφάλιση ενιαίου τρόπου μελέτης των έργων του Πολιτικού Μηχανικού με το σύστημα των Δομικών Ευρωκωδίκω και έτσι εναρμονίζεται ο τρόπος μελέτης των γεωτεχνικών έργων.

Μέσω των Εθνικών Προσαρτημάτων επιλέγεται ο επιθυμητός βαθμός ασφάλειας από κάθε χώρα. Επίσης, εισάγονται και οι μεθοδολογίες των σχεδιασμών των οριακών καταστάσεων και οι έως τώρα λαμβανόμενες τιμές των εδαφικών παραμέτρων μπορούν να λαμβάνονται ως οι χαρακτηριστικές και καμία αλλαγή δεν απαιτείται στις μέχρι σήμερα εφαρμοζόμενες μεθόδους ανάλυσης.

Η σημερινή κατάσταση είναι ότι δεν υπάρχει εμπειρία στη χρήση των Ευρωκωδίκων από εξειδικευμένο προσωπικό, λόγω του ότι οι Ευρωκώδικες δεν έχουν εισαχθεί καλά καλά σε θέματα Εδαφομηχανικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tony O'Brien, Mott MacDonald, "Eurocode 7 Soil Characterization- ULS Parameters", Cambridge, March 2011
2. Roger Frank, Workshop "Eurocodes: background and applications, General Presentation of Eurocode 7, Geotechnical design", Brussels, 18-20 February 2008
3. Bernd Schuppener, Federal Waterways Engineering and Research Institute, Karlsruhe, Eurocode 7, "Geotechnical design", Part 2 Ground investigation and testing", Germany, 18-20 February 2008
4. Dr Andrew Bond, "Eurocode 7 is coming", April 2004
5. John Taylor, Alan Reid, Roy Simpson, South Lanarkshire Council; Ross Cameron, Paul McLaughlin, BAM Ritchies; Patricia Bryson, Woolgar Hunter; Russell Scott and Pete Morgan, URS Scott Wilson, "Ground investigation and Eurocode 7, a Scottish perspective", ground engineering, July 2011
6. Jonh J M Powell, "Eurocode 7, Part 2", BGA, 10 October 2007
7. Andrew J. Bond, Bernd Schuppener, Giuseppe Scarpelli, Trevor L.L. Orr Eurocode 7, "Geotechnical design, Worked Examples", 13-14 June, 2013
8. Χρηστάρας Βασίλειος, "Σημειώσεις Τεχνική έρευνα του υπεδάφους", Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2012