

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ



ΜΑΡΟΥΛΗ ΕΥΓΕΝΙΑ
ΜΟΥΡΚΟΓΙΑΝΝΗ ΔΙΟΝΥΣΙΑ
ΤΖΩΡΤΖΗ ΑΡΕΤΗ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:
ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ
ΖΗΣΙΜΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Εισαγωγή.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	5
1.1 Ιστορική Αναδρομή	5
1.2 Γενικά Στοιχεία	6
1.3 Ωθήσεις Γαιών.....	13
1.3.1 Ωθήσεις Γαιών κατά Rankine	16
1.3.2 Ωθήσεις γαιών κατά Coulomb	21
1.3.3 Ωθήσεις γαιών κατά Boussinesq.....	22
1.3.4 Μέθοδος Mononobe – Ocabe	22
1.4 Διαστασιολόγηση και επίλυση τοίχων αντιστήριξης	23
1.4.1 Τυπική διαστασιολόγηση.....	23
1.4.2 Έλεγχος ευστάθειας τοίχων αντιστήριξης.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	27
2.1 Κοκκομετρική Ανάλυση.....	27
2.1.1 Καθίζηση.....	27
2.1.2 Μέθοδος κοσκίνων.....	28
2.1.3 Ενεργό μέγεθος – Συντελεστής Ομοιομορφίας-Συντελεστής Καμπυλότητας	31
2.1.4 Πειραματική διαδικασία	32
2.1.5 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	36
2.2 ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ.....	40
2.2.1 Πειραματική διαδικασία	41
2.2.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	48
3.1 Άμεση Διάτμηση.....	50
2.3.1 Δοκιμή άμεσης διάτμησης.....	52
2.3.2 Πειραματική Διαδικασία	56
2.3.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΤΑ RANKINE	62
3.1. Διαστασιολόγηση Τοίχου Αντιστήριξης	62
3.1.1 Παραδοχές	62
3.1.2 Δεδομένα Πειράματος.....	63
3.1.3 Διαστάσεις Τοίχου-Έλεγχος Ευστάθειας	64
3.2 Υπολογισμός τοίχου για πλήρωση έως το μισό του ύψος	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑ.....	71

4.1 Κατασκευή Τοίχου Αντιστήριξης.....	71
4.1.1 Κοκκομετρική Ανάλυση Αδρανών Της Σύνθεσης Σκυροδέματος	71
4.1.2 Ποσοστά Συμμετοχής Αδρανών.....	75
4.1.3 Σύνθεση Σκυροδέματος.....	77
4.1.4 Διαδικασία Παρασκευής Σκυροδέματος.....	80
4.2 Περιγραφή Πειράματος.....	91
4.2.1 Διάστρωση της άμμου στη βάση του κιβωτίου	91
4.2.2 Τοποθέτηση τοίχου βαρύτητας και πλήρωση του χώρου πίσω από αυτόν με άμμο.....	96
4.2.3 Ανατροπή Τοίχου Βαρύτητας	100
4.2.4 Παρατηρήσεις	105
4.3 Συμπεράσματα – Αποτελέσματα.....	109
Επίλογος.....	111
Βιβλιογραφία	112

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η αναλυτική παρουσίαση μιας πειραματικής εργασίας, που σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε με σκοπό την μελέτη ενός μοντέλου τοίχου αντιστήριξης βαρύτητας, βασισμένο στη θεωρία Rankine. Συγκεκριμένα, η πειραματική διάταξη αφορά την μελέτη της συμπεριφοράς του τοίχου μέσα σε ένα κιβώτιο που πληρώνεται με άμμο, η οποία πραγματοποιήθηκε στο χώρο του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στις κατηγορίες των τοίχων αντιστήριξης, καθώς επίσης και στους επιστήμονες που κατά καιρούς ασχολήθηκαν με τη μελέτη τους. Ειδικότερα, παρουσιάζονται και αναλύονται οι δύο πιο γνωστοί μέθοδοι μελέτης των τοίχων αντιστήριξης, που είναι η μέθοδος του Rankine και η μέθοδος του Coulomb.

Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο δύο περιγράφεται η διαδικασία και η εκτέλεση συγκεκριμένων εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών της άμμου, που χρησιμοποιείται στο πείραμα.

Για την υλοποίηση του πειράματος μελετήθηκε ο τοίχος αντιστήριξης σε συνθήκες Rankine και καθορίστηκαν οι διαστάσεις του. Επιπλέον λήφθηκαν υπόψη συγκεκριμένες παραδοχές, οι οποίες καταγράφονται στο κεφάλαιο τρία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής παρουσίαση του πειράματος και έτσι η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων της πειραματικής διαδικασίας.

Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η αναλυτική παρουσίαση μιας μελέτης ενός μοντέλου τοίχου αντιστήριξης βαρύτητας με τη μέθοδο του Rankine. Παρουσιάζεται τόσο η θεωρητική προσέγγιση του θέματος όσο και η πειραματική υλοποίηση μέσω εργαστηριακών δοκιμών, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο της Εδαφομηχανικής στο χώρο του ιδρύματος Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.

Η διαστασιολόγηση του τοίχου αντιστήριξης προσδιορίστηκε ως προς συγκεκριμένο συντελεστή ασφαλείας, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ανατροπή του κατά τη διάρκεια του πειράματος. Επιπλέον, προηγήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές με στόχο να διερευνηθούν οι φυσικές ιδιότητες του εδαφικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε.

Η συνολική εργασία απαρτίζεται από τέσσερα κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μία γενική εισαγωγή στο θέμα, μέσω ιστορικής αναδρομής στη χρήση στοιχείων αντιστήριξης από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα. Επίσης, αναφέρονται οι βασικοί τύποι τοίχων αντιστήριξης, καθώς και οι αντίστοιχες μέθοδοι μελέτης αυτών. Όλες οι θεωρίες έχουν απλοποιητικές παραδοχές, με σκοπό να κάνουν τη μελέτη τους ευκολότερη. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν στο χρησιμοποιηθέν υλικό, όπως και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές. Ακόμη, στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μελέτη εύρεσης των διαστάσεων του μοντέλου τοίχου αντιστήριξης που κατασκευάστηκε βασισμένο στη θεωρία του Rankine. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί απλούστερες μαθηματικές εξισώσεις, διευκολύνοντας έτσι τη δουλειά του μηχανικού. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο με φωτογραφικό υλικό και σύντομη περιγραφή παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία της ανατροπής του τοίχου και παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Ο τοίχος αντιστήριξης είναι μια κατασκευή με την οποία επιτυγχάνεται να διατηρείται η διαφορά στάθμης μεταξύ δύο διαφορετικών επιφανειών στο έδαφος. Οι πρώτες προσπάθειες για τη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους αφορούσαν την ευστάθεια των τοίχων. Η εκτίμηση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό, τόσο της συμπεριφοράς του, όσο και για την επιλογή και τη διαστασιολόγηση του τοίχου αντιστήριξης. Σύμφωνα με αυτή την άποψη ο Vauban, χωρίς να κάνει υπολογισμούς προσπάθησε να τυποποιήσει τις διαστάσεις των τοίχων των οχυρών της Γαλλίας. Συνέταξε τυποποιημένα σχέδια τοίχων αντιστήριξης από λιθοδομή, σύμφωνα με τα οποία κατασκευάστηκαν τα οχυρά του Λουδοβίκου XIV, πολλά από τα οποία παραμένουν σε χρήση μέχρι και σήμερα. Περίπου έναν αιώνα μετά, το 1773 ένας Γάλλος στρατιωτικός μηχανικός, ο Coulomb, κατέθεσε στην Ακαδημία Επιστημών της Γαλλίας το περίφημο Υπόμνημά του, για τον υπολογισμό των ωθήσεων στους τοίχους αντιστήριξης, βάζοντας έτσι τις βάσεις για τη γενικότερη μελέτη της αντοχής του εδάφους. Το κριτήριο θραύσεως του Coulomb, σύμφωνα με τον οποίο η θραύση επέρχεται όταν η διατμητική τάση του εδάφους κατά μήκος μιας επιφάνειας θραύσεως ξεπεράσει τη χαρακτηριστική τιμή, που εξαρτάται μόνο από την εσωτερική γωνία τριβής ϕ , τη συνοχή c και την ορθή τάση σ , αποτελεί και σήμερα τη βάση των θεωριών αντοχής του εδάφους. Οι ιδέες του Coulomb αποτέλεσαν τη βάση όλων των εργασιών μέχρι το 1857, όταν ο Άγγλος Rankine, μελέτησε την εντατική κατάσταση του εδάφους τη στιγμή της θραύσεως. Θέλοντας να προσδιορίσει τις ωθήσεις του εδάφους, ξεκινά από διάφορες υποθέσεις – παραδοχές αρκετά απλοποιημένες. Η μέθοδος του Rankine λύνει το πρόβλημα των ωθήσεων για ορισμένες όμως οριακές συνθήκες. Λίγο αργότερα, το 1882 ο Γάλλος Boussinesq έδωσε τη μαθηματική λύση του προβλήματος των ωθήσεων για όλες τις περιπτώσεις οριακών συνθηκών, αλλά δεν μπόρεσε να ολοκληρώσει τις διαφορικές εξισώσεις στις οποίες κατέληξε. Η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων αυτών έγινε από τον Rankine, για ορισμένες περιπτώσεις, σε αντίθεση με τον Caquot ο οποίος συνέταξε πίνακες των τιμών των ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων το 1948. Ο Boussinesq μελέτησε επίσης το πρόβλημα της εντατικής κατάστασης, για μεμονωμένο επιφανειακό φορτίο. Τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε βοηθούν στην αντιμετώπιση προβλημάτων που έχουν σχέση με τις τάσεις και τις παραμορφώσεις στο εσωτερικό του εδάφους. Στα τέλη του 19ου αιώνα φαινόταν να είχαν έτσι λυθεί τα περισσότερα από τα θεωρητικά προβλήματα σε σχέση με την κατανομή των τάσεων και των ωθήσεων.

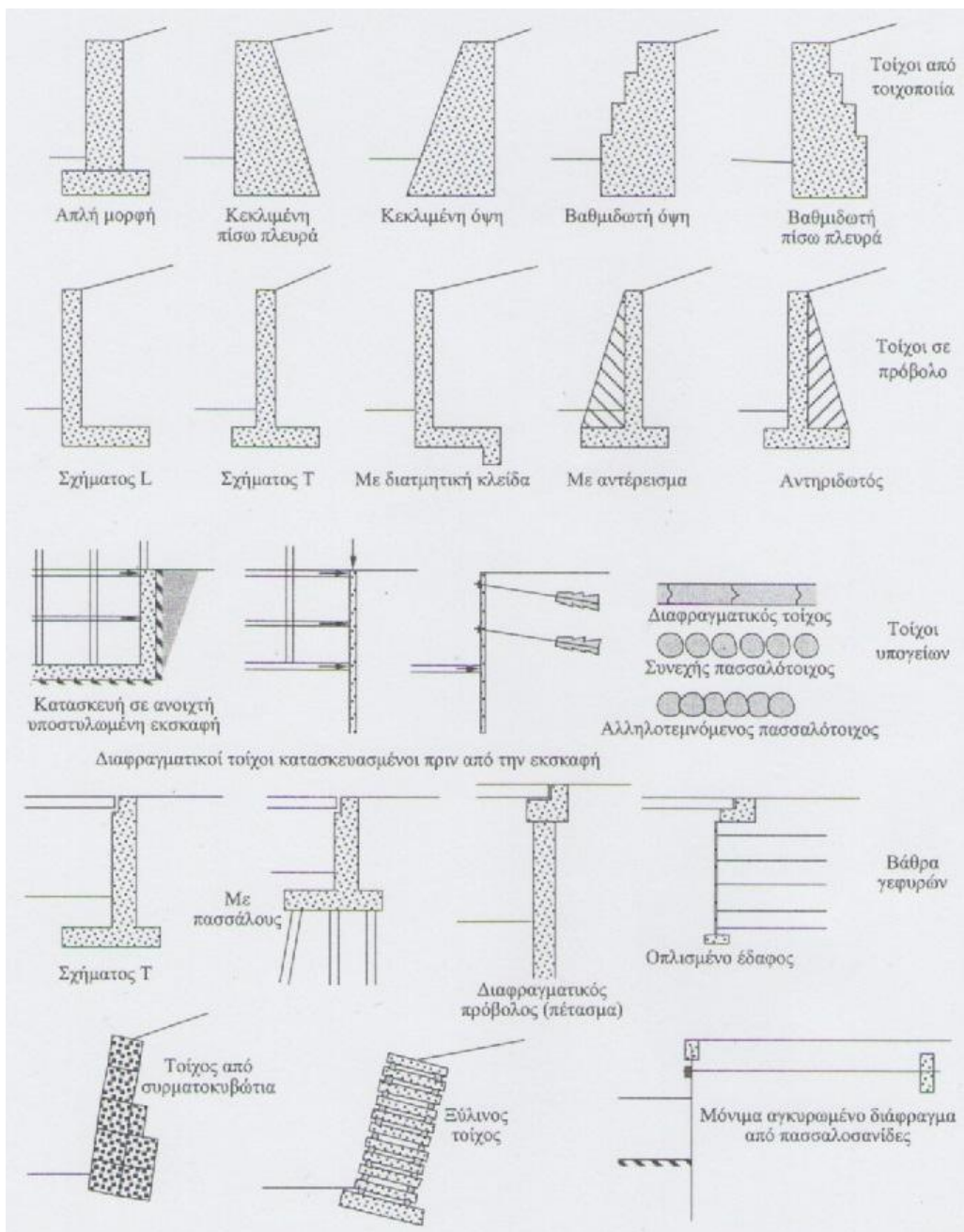
1.2 Γενικά Στοιχεία

Ένα από τα αντικείμενα του πολιτικού μηχανικού είναι η αντιστήριξη των εδαφικών μαζών που τείνουν να κατολισθήσουν είτε λόγω τεχνικών έργων (δρόμοι, εκσκαφές κ.τ.λ.) είτε λόγω φυσικών αιτίων (ανύψωση υδροφόρου ορίζοντα στα πρανή, κατολισθήσεις κ.τ.λ.).

Οι κατασκευές αντιστήριξης διακρίνονται σε αντιστηρίξεις προ και μετά την εκσκαφή.

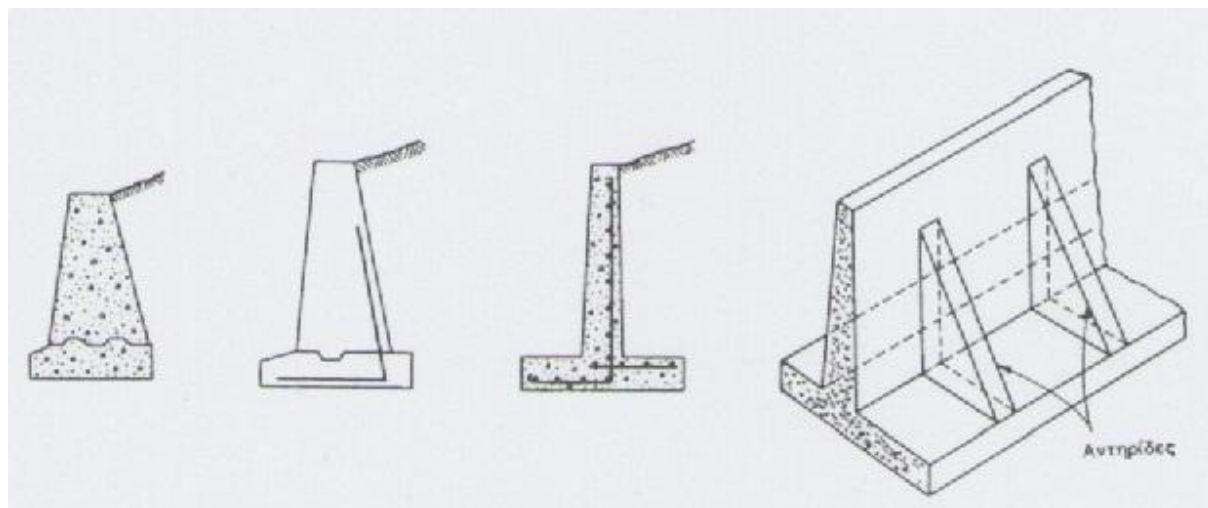
Κατασκευές αντιστήριξης γαιών είναι οι τοίχοι αντιστήριξης (τοίχοι βαρύτητας και τοίχοι πρόβολοι), οι πασσαλοσανίδες, οι πασσαλότοιχοι κ.τ.λ.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται μερικοί από τους πιο κοινούς τύπους κατασκευών αντιστήριξης για διάφορους σκοπούς.



Ως τοίχος αντιστήριξης νοείται κάθε τεχνικό έργο που υποστηρίζει ένα επίχωμα ύψους μεγαλύτερου από 0,50 m πάνω από τη στάθμη επιχώματος ή από το φυσικό έδαφος που βρίσκεται σε άμεση επαφή με την όψη του. Οι τοίχοι αντιστήριξης μελετώνται για ελάχιστη διάρκεια ζωής 100 έτη και διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Τοίχοι αντιστήριξης βαρύτητας
- Τοίχοι αντιστήριξης ημιβαρύτητας
- Τοίχοι πρόβολοι
- Τοίχοι με αντηρίδες



Τοίχοι αντιστήριξης βαρύτητας

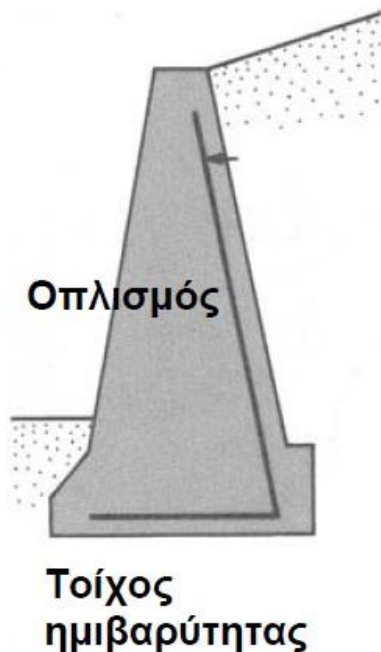
Οι τοίχοι βαρύτητας κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα ή από τοιχοποιία. Συγκρατούν το αντιστηριζόμενο έδαφος με το ίδιο βάρος τους και με το έδαφος που πιθανόν συμμετέχει στην αντιστήριξη αυτή. Αυτός ο τύπος κατασκευής δεν είναι οικονομικός για ψηλούς τοίχους.



Τοίχος βαρύτητας

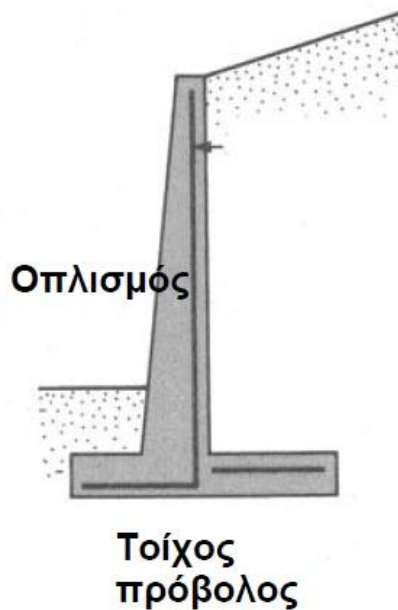
Τοίχοι αντιστήριξης ημιβαρύτητας

Οι τοίχοι ημιβαρύτητας κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα με μια μικρή ποσότητα οπλισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μειώνοντας έτσι το μέγεθος του τοίχου.



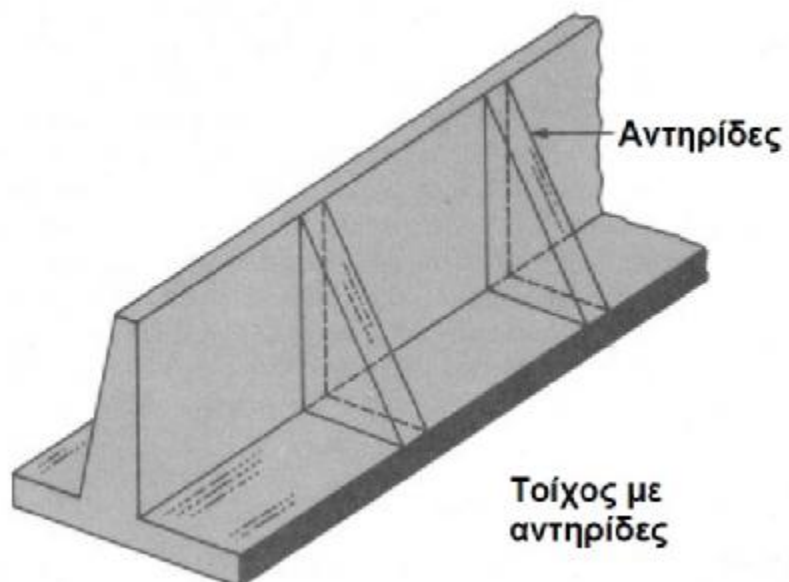
Τοίχοι πρόβολοι

Οι τοίχοι πρόβολοι κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και αποτελούνται από κατακόρυφο στέλεχος και πλάκα βάσης. Αυτός ο τύπος τοίχου είναι οικονομικός μέχρις ύψους 8m.



Τοίχοι με αντηρίδες

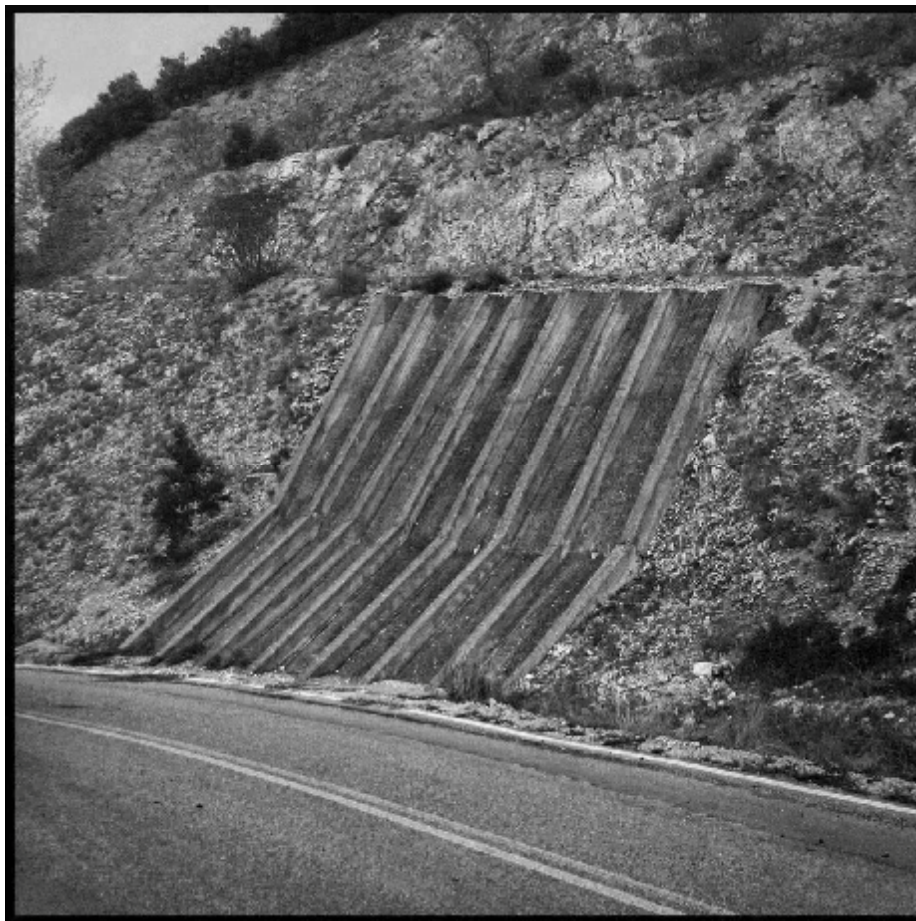
Οι τοίχοι με αντηρίδες ή αλλιώς τοίχοι αντιστήριξης τύπου «Βερολίνου» είναι παρόμοιοι με τους τοίχους προβόλους. Ανά τακτικά διαστήματα όμως έχουν λεπτές κατακόρυφες πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος οι οποίες λέγονται αντηρίδες και οι οποίες συνδέουν τον τοίχο και τη βάση του. Ο σκοπός κατασκευής των αντηρίδων είναι η μείωση των καμπτικών ροπών και της διάτμησης.



Τοίχος αντιστήριξης από άοπλο σκυρόδεμα



Τοίχος αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα



Τοίχος αντιστήριξης με αντηρίδες

Οι κατασκευές αντιστήριξης πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται η κατάρρευση ή σοβαρή βλάβη από αστάθεια της εδαφικής μάζας.

Ένας τοίχος βαρύτητας πρέπει να ελέγχεται στην οριακή κατάσταση για:

- Αστοχία ολίσθησης
- Ανατροπή ή αστοχία από περιστροφή
- Φέρουσα πίεση κάτω από τον πόδα
- Αστοχία φέρουσας ικανότητας
- Αστοχία λόγω μετατόπισης ή ολίσθησης.

Αστοχίες τοίχων αντιστήριξης



Αστοχία τοίχου αντιστήριξης από σκυρόδεμα τύπου L



Αστοχία τοίχου βαρύτητας λόγω ολίσθησης μεταξύ των αρμών



Αστοχία τοίχου βαρύτητας λόγω ανατροπής

1.3 Ωθήσεις Γαιών

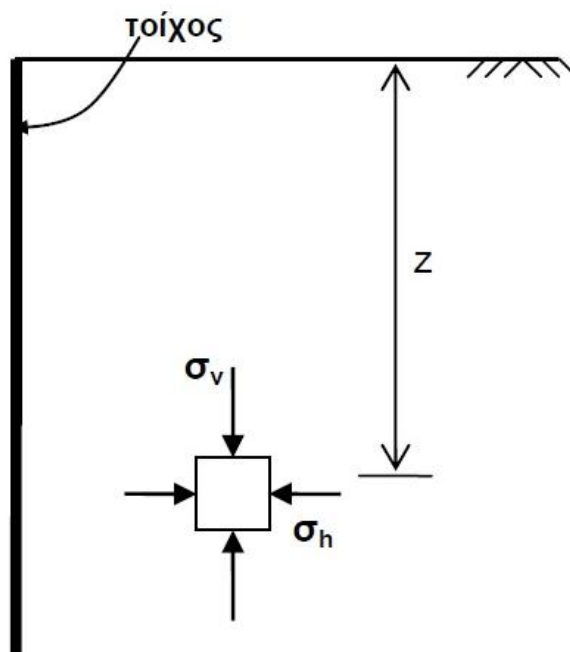
Ωθήσεις ονομάζονται οι (πλευρικές) πιέσεις που ασκεί το έδαφος υπό την επίδραση του βάρους του (και ενδεχόμενης εξωτερικής φόρτισης του) στην επιφάνεια ενός τεχνικού έργου και ειδικότερα σε τοίχους αντιστήριξης. Η πρώτη συστηματική μελέτη των ωθήσεων που ενεργούν στους τοίχους αντιστήριξης έγινε από τον Coulomb. Σήμερα το θέμα των ωθήσεων έχει λυθεί πλήρως. Τα αποτελέσματα δίνονται σε πίνακες, νομογραφήματα ή με γεωμετρικές κατασκευές. Επειδή όμως ιστορικά το θέμα παρουσιάζει ενδιαφέρον και περισσότερο επειδή ο μηχανισμός της αντιμετώπισης του προβλήματος με τις διάφορες μεθόδους επιτρέπει να γίνει πιο κατανοητή η συμπεριφορά του εδάφους στη φάση της θραύσης, θα παρουσιαστούν τρεις από τις μεθόδους υπολογισμού των ωθήσεων. Αυτές είναι: η μέθοδος του Rankine η οποία είναι η πιο απλή, η μέθοδος του Coulomb η οποία είναι η αρχαιότερη και η πιο άμεσα κατανοητή, η μέθοδος των Boussinesq – Caquot που είναι η πιο πλήρης και η μέθοδος Mononobe – Ocase η οποία είναι η πιο κατάλληλη για τους υπολογισμούς των σεισμικών φορτίσεων. Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται σε παραδοχές που δεν είναι ίδιες σε κάθε περίπτωση. Σε κάθε εφαρμογή των μεθόδων αυτών πρέπει να ελέγχεται η δυνατότητα εφαρμογής των παραδοχών. Το συγκεκριμένο πείραμα μελετήθηκε με τη μέθοδο του Rankine.

Ανάλυση κατασκευής αντιστήριξης

Το πρώτο βήμα για την ανάλυση μιας κατασκευής αντιστήριξης είναι ο προσδιορισμός των ωθήσεων των γαιών που ασκούνται πάνω σε αυτές. Όσο ο τοίχος παραμένει ακίνητος ισχύει η γεωστατική κατάσταση τάσεων:

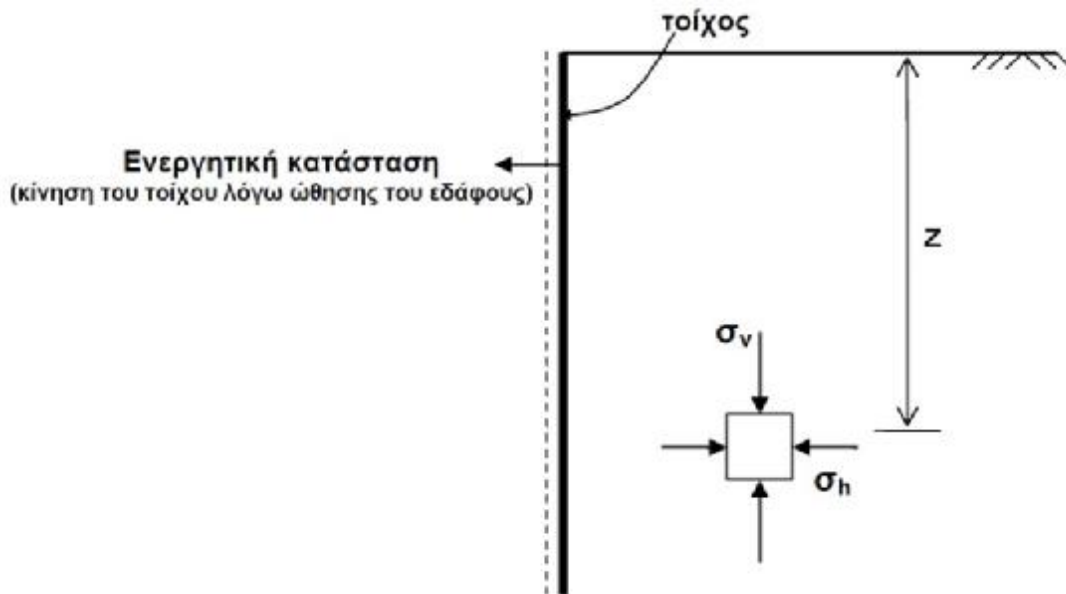
$$\sigma_h = K_o \sigma_v$$

Όπου: K_o ο συντελεστής πλευρικής τάσης σε ισορροπία



· ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Αν ο τοίχος μετακινηθεί προς τα έξω το έδαφος χάνει την πλευρική του στήριξη και του δίνεται η δυνατότητα να παραμορφωθεί (υποχωρήσει) κατά την οριζόντια κατεύθυνση. Μειώνεται τότε η πλευρική τάση σ_h ενώ διατηρείται σταθερή η κατακόρυφη σ_v . Η μείωση της οριζόντιας τάσης θα συνεχιστεί μέχρι το συγκεκριμένο εδαφικό στοιχείο να αστοχήσει. Αυτή η οριακή κατάσταση που δημιουργείται με την μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω, (δηλαδή το έδαφος 'ωθεί'), ονομάζεται ενεργητική κατάσταση και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

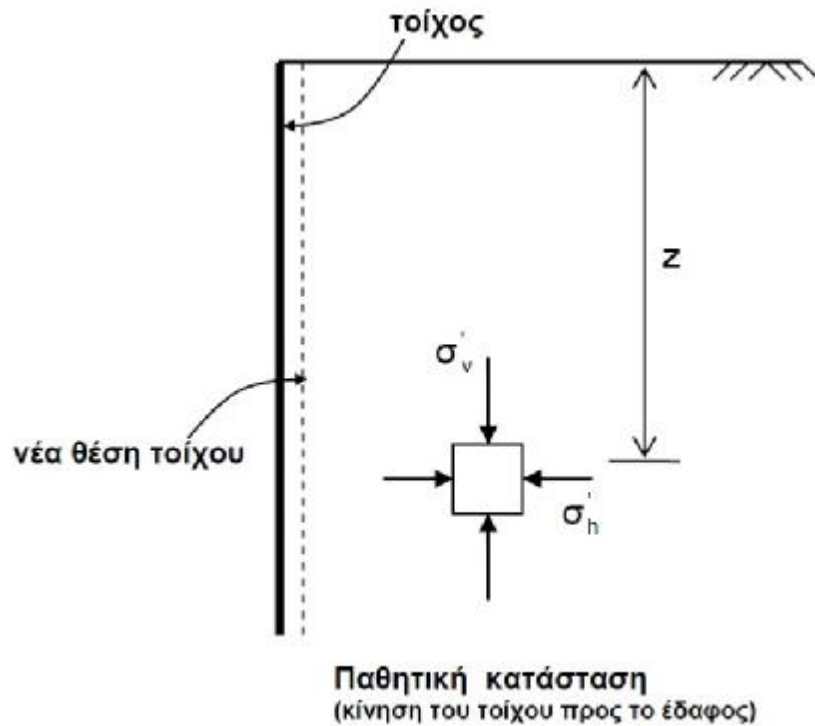


Οι οριακές οριζόντιες τάσεις σ_{ha} που ισχύουν στην κατάσταση αυτή λέγονται ενεργητικές τάσεις. Ο συντελεστής πλευρικής τάσης σε ισορροπία K_0 δεν ισχύει πλέον και ο νέος συντελεστής που συνδέει την κατακόρυφη σ_v με την οριζόντια σ_{ha} ονομάζεται συντελεστής ενεργητικής τάσης K_a και ισούται:

$$K_a = \frac{\sigma_{ha}}{\sigma_v}$$

· ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Αν ο τοίχος μετακινηθεί προς το εσωτερικό του εδάφους, κάθε εδαφικό στοιχείο θα αναγκασθεί να συμπιεστεί κατά την οριζόντια κατεύθυνση. Έτσι η πλευρική τάση σ_h θα μεγαλώσει μέχρι που θα επικρατήσουν τελικά συνθήκες αστοχίας. Η οριακή αυτή κατάσταση που δημιουργείται με την μετακίνηση του τοίχου προς τα μέσα, (δηλαδή το έδαφος 'ωθείται'), λέγεται παθητική κατάσταση και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Οι οριακές οριζόντιες τάσεις σ_{hp} που ισχύουν στην κατάσταση αυτή λέγονται παθητικές τάσεις και συνδέονται με τις κατακόρυφες σ_v με τη σχέση:

$$K_p = \frac{\sigma_{hp}}{\sigma_v}$$

Ο συντελεστής K_p ονομάζεται συντελεστής παθητικής τάσης σε ισορροπία και προκύπτει από γεωμετρικές σχέσεις του κύκλου Mohr σε κατάσταση αστοχίας.

1.3.1 Ωθήσεις Γαιών κατά Rankine

Βιογραφία του William John Macquorn Rankine



Ο William Rankine γεννήθηκε στις 5 Ιουλίου το 1820 στο Εδιμβούργο της Σκωτίας και πέθανε στις 24 Δεκεμβρίου το 1872 στη Γλασκόβη της Σκωτίας, σε ηλικία 52 χρόνων. Έχοντας ανατραφεί ως μοναχοπαίδι, σε αυστηρά θρησκευτικό οικογενειακό περιβάλλον από πατέρα πολιτικό μηχανικό, δίδαχτηκε όχι μόνο αριθμητική αλλά και μηχανική. Λόγω κακής υγείας, ο William έκανε ιδιαίτερα μαθήματα στο σπίτι, καταφέροντας να παρακολουθεί μαθήματα στο σχολείο για μικρές περιόδους. Κατάφερε να παρακολουθήσει μαθήματα στην ακαδημία Ayr για περίπου ένα χρόνο το 1828 με 1829 και επίσης στο λύκειο της Γλασκόβης για λίγο το 1830.

Στη συνέχεια, για δύο χρόνια από το 1836 μέχρι το 1838 ο William Rankine σπούδασε στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου, παρακολουθώντας ένα ευρύ φάσμα διαλέξεων σε θέματα επιστήμης, αλλά επιλέγοντας να μην παρακολουθήσει μαθήματα μαθηματικών.

Κέρδισε ένα χρυσό μετάλλιο για μία έκθεση σχετικά με την Κυματική Θεωρία του Φωτός το 1836 και ένα ακόμα χρυσό μετάλλιο για μία έκθεση σχετικά με τις Μεθόδους της Φυσικής Έρευνας δύο χρόνια μετά. Δεν πήρε πτυχίο, αλλά επέλεξε να αφήσει το Πανεπιστήμιο το 1838 και να γίνει μαθητευόμενος του μηχανικού John Benjamin MacNeill. Από το 1839 μέχρι το 1841 ο William εργάστηκε σε πολλά έργα που εμπλεκόταν ο John Benjamin MacNeill. Τέτοια έργα περιλάμβαναν βελτιώσεις ποταμών, εργοστάσια ύδρευσης, σιδηροδρόμους και λιμάνια. Κάποια από τις δουλειές που ανέλαβε έκανε τον William Rankine να ταξιδέψει μέχρι την Ιρλανδία. Όταν επέστρεψε στο Εδιμβούργο, ανέλαβε κάποια ερευνητική δουλειά με τον πατέρα του και δημοσίευσαν μία μελέτη με τίτλο «Μια πειραματική έρευνα σχετικά με τα πλεονεκτήματα που ακολουθούν τη χρήση των κυλινδρικών τροχών σε σιδηροδρόμους» (1842).

Ο William Rankine έγινε ο πρώτος πρόεδρος του νέου τότε Ιδρύματος Μηχανικών στη Σκωτία. Κράτησε την προεδρία από το 1857 μέχρι το 1859 και εκλέχθηκε πάλι το 1869 με 1870.

Η μελέτη του Rankine σχετικά με τις εφαρμογές των μαθηματικών ξεκίνησε σχετικά στην αρχή της καριέρας του ως μηχανικός. Ενώ ήταν μαθητευόμενος μηχανικός έκανε μία μαθηματική ανάλυση της ψύξης της γης (1840).

Βοήθησε να δώσει έμφαση στην τέχνη της σύγχρονης κατασκευής και η μηχανολογία στην ορθολογική συστηματοποίηση των ιδεών και συνηθειών εργασίας που είχαν εξελιχθεί στην πράξη. Από το 1840 σπούδασε τους νόμους της Θερμοδυναμικής. Ανάμεσα στα πιο σημαντικά του έργα είναι: Εγχειρίδιο Εφαρμοσμένης Μηχανικής (Manual of Applied Mechanics) (1858), Εγχειρίδιο της ατμομηχανής (Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers) (1859), Civil Engineering (1862), Machinery and Millwork (1869), Χρήσιμοι Κανόνες και πίνακες (Useful Rules and Tables) (1866), Mechanical Textbook (1873), On the Thermodynamic Theory of Waves of Finite Longitudinal Disturbance.

Ο Rankine έγινε γνωστός από τη θεωρία που ανέπτυξε πάνω στη μελέτη των τοίχων αντιστήριξης.

Μέθοδος του Rankine

Η θεωρία του Rankine εξετάζει τις συνθήκες εντάσεως και παραμορφώσεως του εδάφους, σε κατάσταση πλαστικής ισορροπίας. Αυτό σημαίνει δηλαδή πως ο Rankine μελέτησε τις συνθήκες αυτές στην κατάσταση στην οποία κάθε σημείο στο εσωτερικό του εδάφους βρίσκεται στο «χείλος» της αστοχίας. Η εφαρμογή της θεωρίας αυτής ισχύει κάτω από την προϋπόθεση ότι:

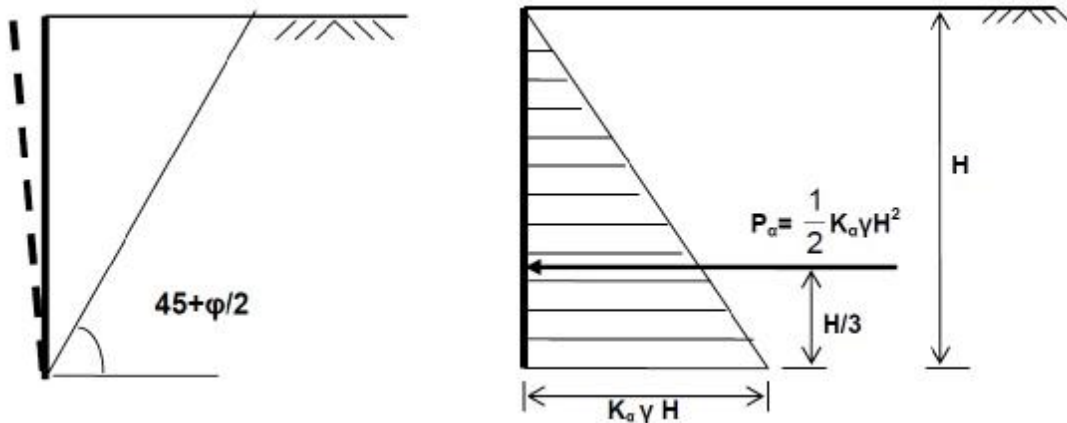
- ο τοίχος είναι λείος, δηλαδή δεν υπάρχουν τριβές μεταξύ τοίχου και εδάφους
- η επιφάνεια του εδάφους είναι οριζόντια
- ο τοίχος στρέφεται περί τη βάση του
- η αρχική εντατική κατάσταση είναι γεωστατική και ομοιόμορφη

Οι παραδοχές αυτές απλοποιούν σημαντικά τον υπολογισμό των ωθήσεων του εδάφους. Μάλιστα, η παραδοχή ότι ο τοίχος είναι λείος αυξάνει το βαθμό ασφαλείας της κατασκευής αφού ένας τραχύς τοίχος αυξάνει την παθητική ώθηση και μειώνει την ενεργητική.

Μη συνεκτικά εδάφη με οριζόντια επιφάνεια

- **Ενεργητική Κατάσταση**

Όπως προαναφέρθηκε, είναι η κατάσταση που δημιουργείται από πλευρικές τάσεις όταν ο τοίχος έχει ελευθερία κινήσεων και ωθείται από το έδαφος.



Το πρίσμα που βρίσκεται πίσω από τον τοίχο και ορίζεται από το επίπεδο αστοχίας ασκεί ενεργητικές τάσεις πάνω στον τοίχο:

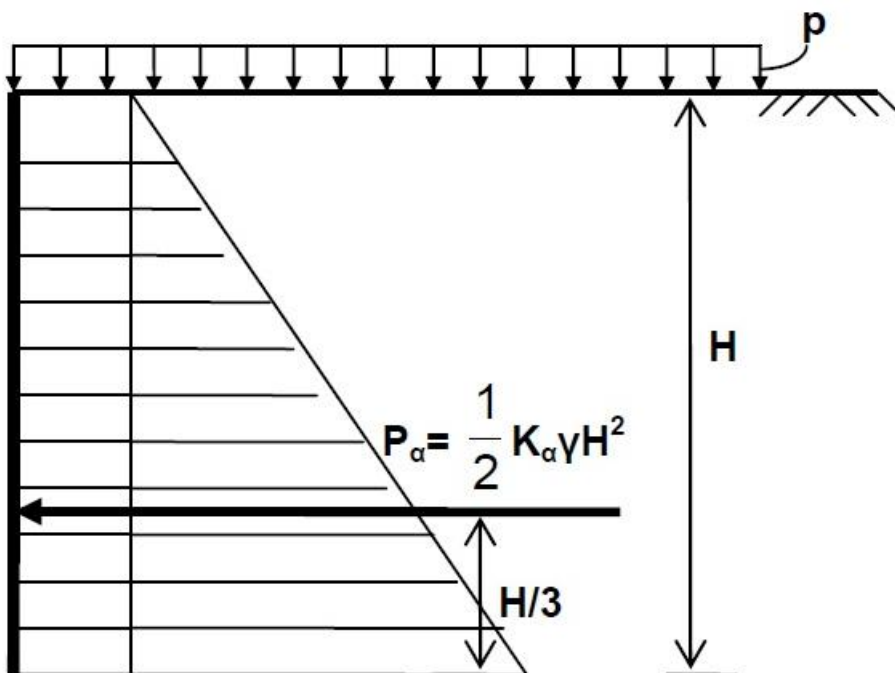
$$\sigma_h = K_a \sigma_v = K_a \gamma z$$

Η τιμή της P_a υπολογίζεται από το εμβαδόν του διαγράμματος των πλευρικών τάσεων:

$$P_a = \int_0^H K_a \gamma z dz = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

$$\text{Όπου: } K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

Αν στην επιφάνεια του εδάφους ασκείται ομοιόμορφο φορτίο:



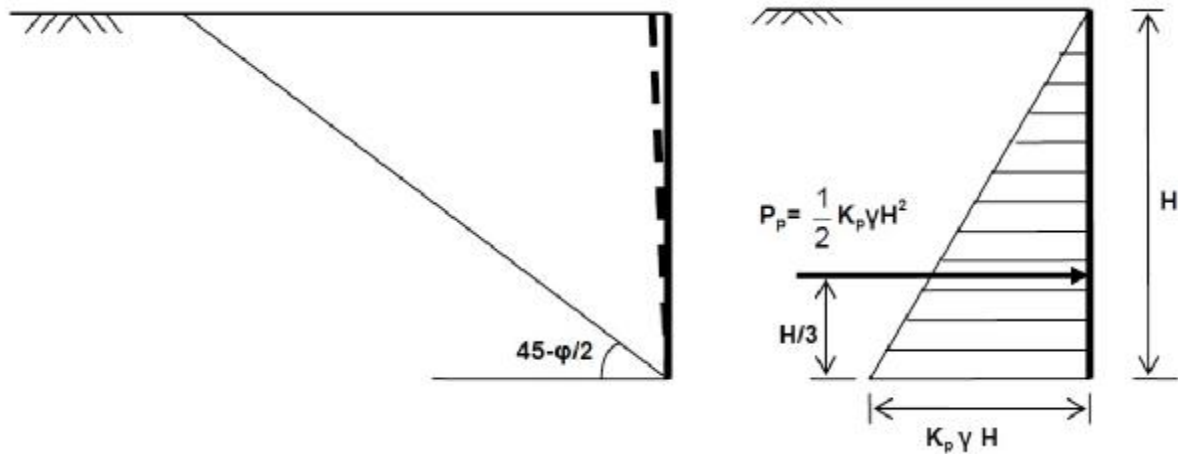
$$\sigma_v = p + \gamma z$$

$$\sigma_h = K_a (p + \gamma z)$$

$$P_a = K_a p H + \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

· Παθητική Κατάσταση

Είναι η κατάσταση που δημιουργείται από πλευράς τάσεων όταν ο τοίχος έχει ελευθερία κινήσεων και ωθεί το έδαφος:



Το πρίσμα που βρίσκεται πίσω από τον τοίχο και ορίζεται από το επίπεδο αστοχίας, ασκεί παθητικές τάσεις πάνω στον τοίχο:

$$\sigma_h = K_p \sigma_v = K_p \gamma z \Rightarrow P_p = \int_0^H K_p \gamma z dz = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

Όπου: $K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$

Συνεκτικά εδάφη με οριζόντια επιφάνεια

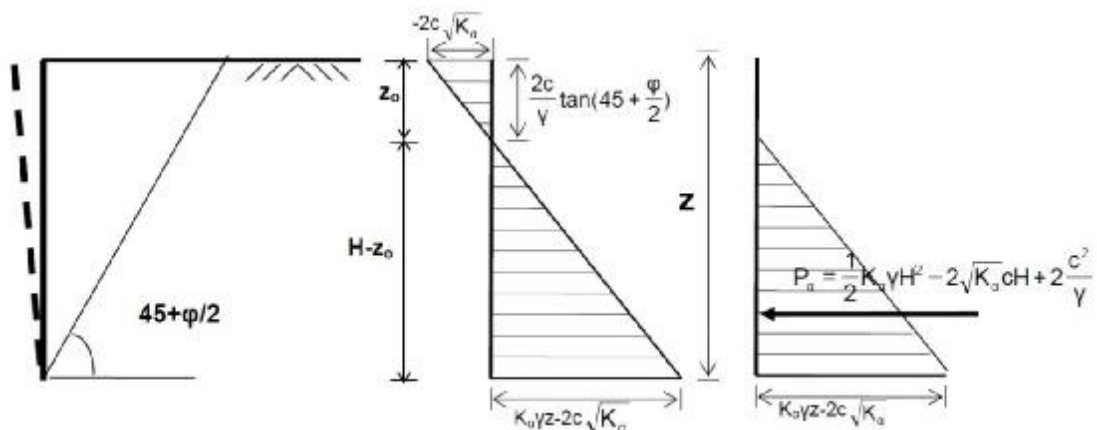
· Ενεργητική Κατάσταση

Οι ενεργητικές ωθήσεις πάνω στον τοίχο δίνονται από τη σχέση:

$$\sigma_h^i = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

Όπου: $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$

Και απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Παρατηρούμε ότι εμφανίζονται εφελκυστικές τάσεις μέχρι βάθος z_0 το οποίο προσδιορίζεται ως εξής:

$$\sigma'_h = 0 \Rightarrow K_a \gamma z - 2c\sqrt{K_a} \Rightarrow z_0 = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}$$

ή για αστράγγιστες συνθήκες ($\varphi=0$):

$$z_0 = \frac{2c_u}{\gamma}$$

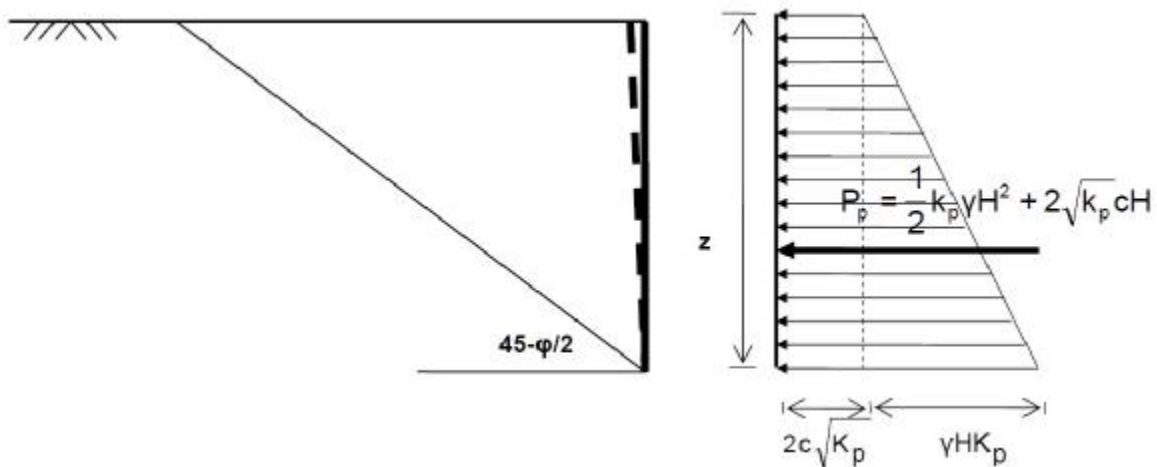
Οι εφελκυστικές αυτές τάσεις έχουν σαν συνέπεια την εμφάνιση ρωγμών ανάμεσα στον τοίχο και το έδαφος μέχρι βάθους z_0 . Η ενεργητική ώθηση υπολογίζεται από το εμβαδόν του διαγράμματος της πλευρικής τάσης. Για τον υπολογισμό της δεν λαμβάνεται υπόψη το εφελκυστικό τρίγωνο:

$$P_a = \frac{1}{2}(K_a \gamma H - 2c\sqrt{K_a}) \left(H - \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} \right) = \frac{1}{2}K_a \gamma H^2 - 2\sqrt{K_a}cH + 2\frac{c^2}{\gamma}$$

· Παθητική Κατάσταση

Οι παθητικές ωθήσεις δίνονται από τη σχέση:

$$\sigma'_h = \gamma_{av} z \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$



Η παθητική δύναμη που ασκείται πάνω στον τοίχο προκύπτει από το εμβαδόν του διαγράμματος των τάσεων:

$$P_p = \frac{1}{2}K_p \gamma H^2 + 2\sqrt{K_p}cH$$

$$\text{όπου: } K_p = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

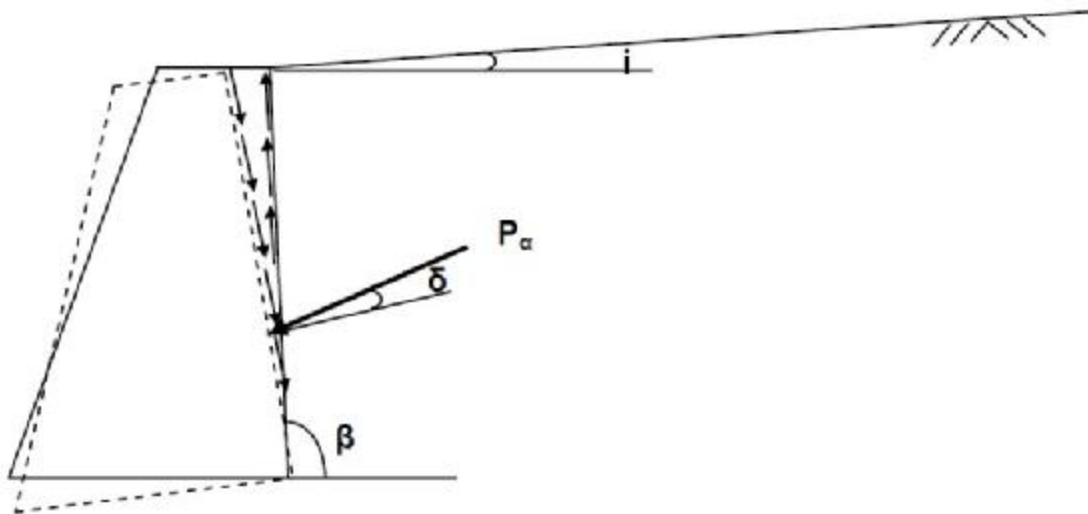
Για αστράγγιστες συνθήκες (συνθήκη $\varphi=0$):

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma H^2 + 2c_u H$$

1.3.2 Ωθήσεις γαιών κατά Coulomb

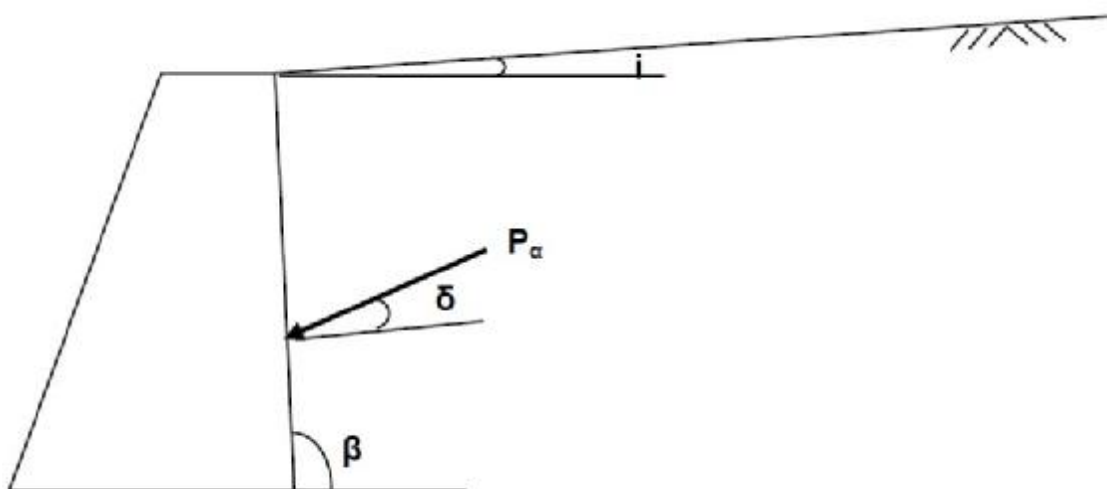
Πρόκειται για την αρχαιότερη από όλες τις μεθόδους, αφού προτάθηκε για πρώτη φορά το 1773. Το γεγονός ότι εφαρμόζεται ακόμη και σήμερα, δείχνει την αξία της. Η μέθοδος αυτή δεν είναι μεν απόλυτα ακριβής, αλλά υπό ορισμένες προϋποθέσεις δίνει αποδεκτές (ελαφρά συντηρητικές) τιμές ωθήσεων.

Η μέθοδος του Rankine ισχύει μόνο για εδάφη με επίπεδη επιφάνεια. Δέχεται επίσης ότι η παρειά του τοίχου προς το έδαφος είναι κατακόρυφη και λεία. Στην πραγματικότητα όμως, οι τοίχοι αντιστήριξης έχουν ανώμαλη κατακόρυφη επιφάνεια με αποτέλεσμα να υπάρχει τριβή μεταξύ του τοίχου και του εδάφους, όταν ο τοίχος τείνει να μετακινηθεί προς τα έξω.



Στην περίπτωση αυτή δεν ισχύουν οι συνθήκες Rankine. Έτσι η P_a δεν θα είναι πλέον κάθετη. Παρουσιάζεται δηλαδή μία γωνία δ , μεταξύ των συνισταμένων των ωθήσεων και της κάθετης στην εσωτερική παρειά του τοίχου. Για τον λόγο αυτό, η μέθοδος του Coulomb αποδεικνύεται η καταλληλότερη υπό αυτές τις συνθήκες.

Η τιμή της γωνίας δ δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια και λαμβάνεται συνήθως $\delta=0$, $\delta=\pm\frac{2}{3}\varphi$, $\delta=\pm\varphi$ όπου φ η γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους.



Οι βασικές παραδοχές της θεωρίας του Coulomb είναι οι παρακάτω:

- Μεταξύ της επιφάνειας τοίχου και εδάφους αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής.
- Η επιφάνεια θραύσης είναι επίπεδη.
- Οι δυνάμεις τριβής κατανέμονται ομοιόμορφα κατά μήκος της επιφάνειας θραύσης.
- Το εδαφικό τμήμα που αποχωρίζεται, κινείται σαν στερεό σώμα.

Με βάση τη μέθοδο του Coulomb η τιμή της ενεργητικής ώθησης δίνεται από τη σχέση:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

$$\text{Όπου: } K_a = \left[\frac{\csc\beta \sin(\beta - \varphi)}{\sqrt{\sin(\beta + \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - i)}{\sin(\beta - i)}}} \right]^2 \text{ και } \csc\beta = \frac{1}{\sin\beta}$$

Όπου:

β = η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του τοίχου και του επιπέδου του εδάφους (στην μέθοδο Rankine $\beta=90^\circ$)

δ = η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση της P_a με την κάθετη πλευρά του τοίχου

i = η γωνία που σχηματίζει η ελεύθερη επιφάνεια του πρανούς με την οριζόντια

φ = η γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους

Εξακολουθεί να ισχύει: $K_p = 1/K_a$

1.3.3 Ωθήσεις γαιών κατά Boussinesq

Στις δύο προηγούμενες μεθόδους, του Rankine και του Coulomb οι καμπύλες ολίσθησης είναι ευθύγραμμες. Σε αντίθεση με τη μέθοδο του Boussinesq η οποία λαμβάνει υπόψη αυστηρά τις πραγματικές οριακές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι θεωρεί την καμπύλη ολίσθησης όπως είναι στην πραγματικότητα.

Εκτός από τις μεθόδους υπολογισμού των ενεργητικών ωθήσεων που παρουσιάστηκαν, υπάρχουν και άλλες που βασίζονται σε ανάλογες αρχές. Όλες οδηγούν σε αποτελέσματα που δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους.

1.3.4 Μέθοδος Mononobe – Ocube

Μία ακόμα μέθοδος η οποία βασίζεται στη μέθοδο του Coulomb είναι η Mononobe – Ocube και είναι γνωστή ως μέθοδος ισοδύναμης στατικής (ψευδοστατικής) φόρτισης. Με αυτή γίνεται ο υπολογισμός των πρόσθετων φορτίσεων λόγω σεισμού σε μία κατασκευή αντιστήριξης και αναφέρεται στους κανονισμούς του Ευρωκώδικα 7. Είναι κατάλληλη για μη συνεκτικά εδάφη και με τις εξής παραδοχές:

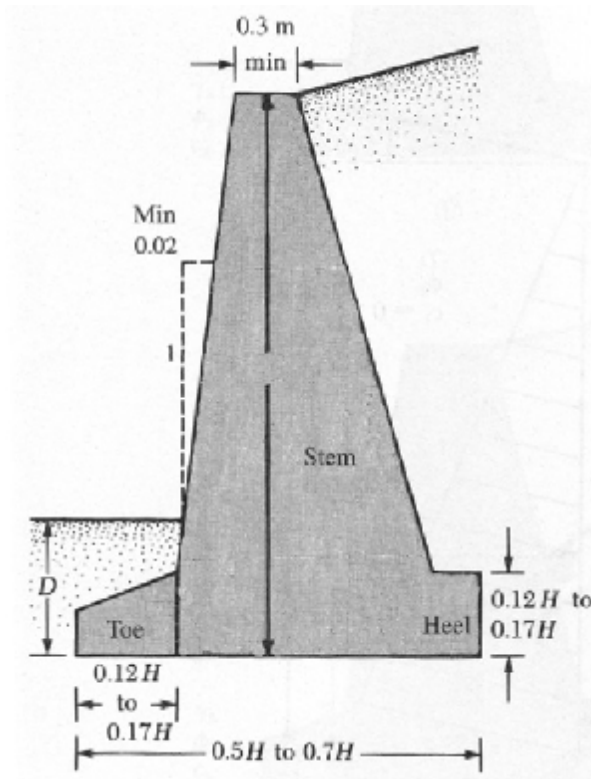
- Ο τοίχος μετακινείται ή παραμορφώνεται με στόχο τη δημιουργία ενεργητικής κατάστασης.
- Το αντιστηριζόμενο εδαφικό υλικό κινείται ως ομοιόμορφη μάζα.

1.4 Διαστασιολόγηση και επίλυση τοίχων αντιστήριξης

Για τη διαστασιολόγηση ενός τοίχου αντιστήριξης ο μηχανικός πρέπει καταρχάς να υποθέσει κάποιες διαστάσεις (προδιαστασιολόγηση) και να ελέγξει την ευστάθεια του τοίχου. Αν τα αποτελέσματα δεν είναι τα επιθυμητά πρέπει να αλλάξει τις διαστάσεις και να επανελέγξει.

1.4.1 Τυπική διαστασιολόγηση

Οι αρχικές διαστάσεις που μπορεί να υποθέσει κανείς για να ξεκινήσει τον έλεγχο φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα:

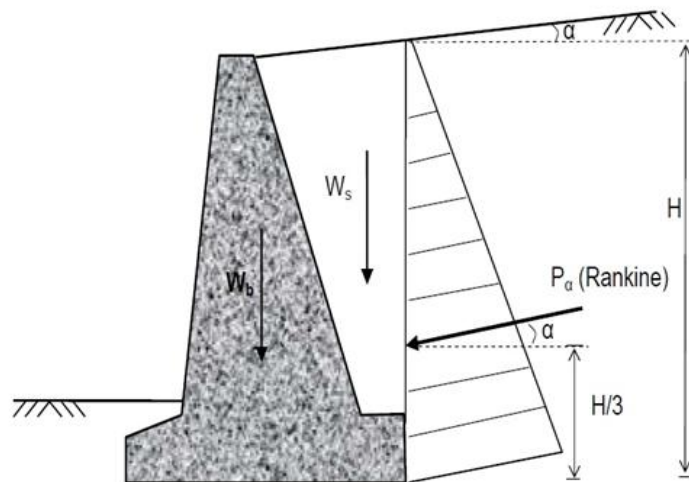
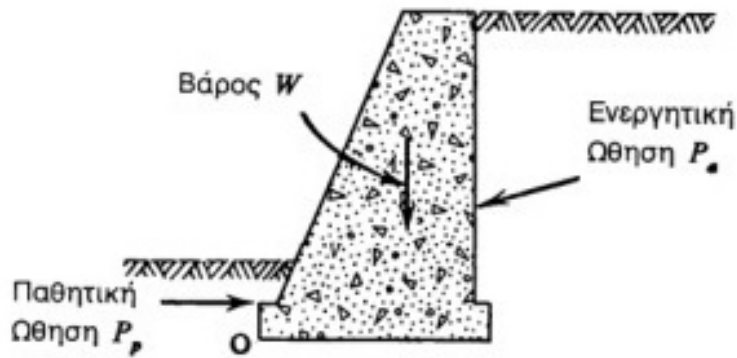


1.4.2 Έλεγχος ευστάθειας τοίχων αντιστήριξης

Για να γίνει έλεγχος ευστάθειας ενός τοίχου αντιστήριξης πρέπει να είναι γνωστές οι εδαφικές παράμετροι. Αυτές είναι το ειδικό βάρος του εδάφους, η γωνία εσωτερικής τριβής και η συνοχή.

Οι δυνάμεις που επηρεάζουν την ευστάθεια ενός τοίχου αντιστήριξης και λαμβάνουν μέρος στους υπολογισμούς είναι:

- Η ενεργητική δύναμη P_a
- Το συνολικό βάρος του τοίχου W_b
- Το βάρος του εδάφους W_s που πιέζει τον πόδα του τοίχου
- Η παθητική δύναμη P_p αν υπάρχει



Για να ελεγχθεί η ευστάθεια του τοίχου θα πρέπει να πραγματοποιηθούν:

- Έλεγχος ολίσθησης
- Έλεγχος ανατροπής

Έλεγχος ολίσθησης

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης ορίζεται από τη σχέση:

$$FS_{\text{ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ}} = \frac{\Sigma F_{\text{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}}}{\Sigma F_{\text{ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ}}}$$

Οι δυνάμεις ευστάθειας είναι το βάρος του τοίχου αντιστήριξης.

Το σύνολο των οριζοντίων δυνάμεων που αντιστέκονται στην ολίσθηση του τοίχου είναι η τριβή και η παθητική ώθηση του εδάφους εάν βεβαίως υπάρχει έδαφος μπροστά από αυτόν:

$$\Sigma F_{\text{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}} = T + P_p = V \tan \varphi + c B + P_p$$

Οι δυνάμεις που προκαλούν την ολίσθηση είναι μόνο η οριζόντια συνιστώσα της P_a ή $P_a \cos \alpha$:

$$\Sigma F_{ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ} = P_a \cos \alpha = P_h$$

Έτσι η σχέση που δίνει τον συντελεστή ασφαλείας γίνεται:

$$FS_{ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ} = \frac{\Sigma F_{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}}{\Sigma F_{ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ}} = \frac{V \tan \varphi + cB + P_p}{P_h}$$

Ο συντελεστής ολίσθησης FS πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1.5.

Έλεγχος ανατροπής

Ο τοίχος τείνει να ανατραπεί γύρω από την κάτω εξωτερική γωνία (συνήθως σημείο O). Οι ροπές ανατροπής προκύπτουν από την οριζόντια συνιστώσα της ενεργητικής ώθησης P_h . Οι ροπές ευστάθειας προκύπτουν από το βάρος του τοίχου, το βάρος του εδάφους πάνω από το πέλμα και την κατακόρυφη συνιστώσα P_v της ενεργητικής ώθησης.

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής ορίζεται από τη σχέση:

$$FS_{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ} = \frac{\Sigma M_{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}}{\Sigma M_{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ}}$$

Οι ροπές ανατροπής δίνονται από τη σχέση:

$$\Sigma M_{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ} = P_h \frac{H}{3}, \text{ όπου } P_h = P_a \cos \alpha$$

Για τον υπολογισμό των ροπών ευστάθειας ο τοίχος και το έδαφος που συμμετέχει στον έλεγχο, χωρίζονται σε τμήματα των οποίων είναι γνωστός ο υπολογισμός του εμβαδού και του κέντρου βάρους.

$$\Sigma M_{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ} = \Sigma W_{ολ} x + P_v B$$

Οπότε:

$$FS_{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ} = \frac{\Sigma M_{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}}{\Sigma M_{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ}} = \frac{\Sigma W_{ολ} x + P_v B}{P_h \frac{H}{3}}$$

Ο συντελεστής ανατροπής FS πρέπει να υπερβαίνει το 2.

Αν οι συντελεστές ασφαλείας που θα προκύψουν από τους ελέγχους δεν είναι ικανοποιητικοί, θα πρέπει να αλλαχθούν οι διαστάσεις του τοίχου και να επαναληφθεί η διαδικασία.



Επιτυχημένη στήριξη πρανών με τοίχο αντιστήριξης



Τοίχος αντιστήριξης σε αστοχία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ

Ο προσδιορισμός των διαστάσεων του τοίχου βαρύτητας απαιτεί τη γνώση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί για την έδραση του τοίχου και την πλήρωση του πίσω από αυτόν. Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα είναι καθαρή ποταμίσια άμμος με μέγιστο κόκκο 2mm. Άμεση συμμετοχή στη διαστασιολόγηση του τοίχου έχει η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) και η συνοχή του εδάφους (c). Και οι δυο παράμετροι υπολογίζονται από την περιβάλλουσα Mohr-Coulomb και αξίζει να σημειωθεί ότι η άμμος θεωρείται μη συνεκτικό έδαφος, οπότε η συνοχή είναι μηδενική ($c=0$). Πριν όμως τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής απαιτείται η γνώση της κοκκομετρικής διαβάθμισης της άμμου καθώς επίσης και το ειδικό βάρος των στερεών κόκκων. Έτσι τα πειράματα που απαιτήθηκαν ήταν η κοκκομετρική ανάλυση, το ειδικό βάρος των στερεών (με τη μέθοδο του βρασμού) και τέλος το πείραμα της άμεσης διάτμησης. Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

2.1 Κοκκομετρική Ανάλυση

Γενικά

Η κοκκομετρική ανάλυση θεωρείται διεθνώς η καταλληλότερη εργαστηριακή δοκιμή για τον έλεγχο της μηχανικής κατάστασης των εδαφών. Είναι η πρώτη και σημαντικότερη δοκιμή από τις δοκιμές που γίνονται με σκοπό την ταξινόμηση των εδαφικών υλικών. Τα περισσότερα φυσικά εδάφη είναι σύνθετα, δηλαδή είναι ένα μίγμα από κόκκους που ποικίλουν σημαντικά, από εκείνα που μετριοούνται σε χιλιοστά (άργιοι) έως εκείνα που μετρούνται σε μέτρα (λατύπες). Η κατανομή αυτών των μεγεθών περιέχει πολύ χρήσιμες πληροφορίες για τη παραμόρφωση του εδάφους, την δυνατότητα κίνησης του υπογείου νερού στα κενά μεταξύ των κόκκων. Επίσης καθορίζει το είδος των εργαστηριακών δοκιμών που δύναται να πραγματοποιηθούν σε κάθε δείγμα. Η κοκκομετρική διαβάθμιση προσδιορίζεται με τον διαχωρισμό των κόκκων με δύο διαδικασίες: κοσκίνισμα και καθίζηση (μέθοδος Stokes). Η μέθοδος των κοσκίνων ισχύει για κόκκους διαμέτρου μεγαλύτερης των 0,075mm ενώ η μέθοδος της καθίζησης για κόκκους με διάμετρο μικρότερη από 0,075mm.

2.1.1 Καθίζηση

Η διαδικασία της καθίζησης αφορά εδαφικό υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No200 (0,075mm) με σκοπό την εύρεση του ποσοστού της ιλύς και της αργίλου που περιέχεται σε αυτό. Η δοκιμή αυτή βασίζεται στο Νόμο του Stokes, ο οποίος λέει ότι ένας λείος σφαιρικός κόκκος ο οποίος αιωρείται σε ένα υγρό (νερό και διάλυμα διαλυτικού), καθιζάνει υπό την επίδραση της βαρύτητας με μια ταχύτητα. Έχει παρατηρηθεί ότι η ιλύς καθιζάνει πριν από την άργιλο.

$$v = d^2 / 18\eta (\rho_s - \rho_f) g$$

Όπου:

d = η διάμετρος του κόκκου

ρ_s = η πυκνότητα των κόκκων

ρ_f = η πυκνότητα του υγρού (νερό και διαλυτικό)

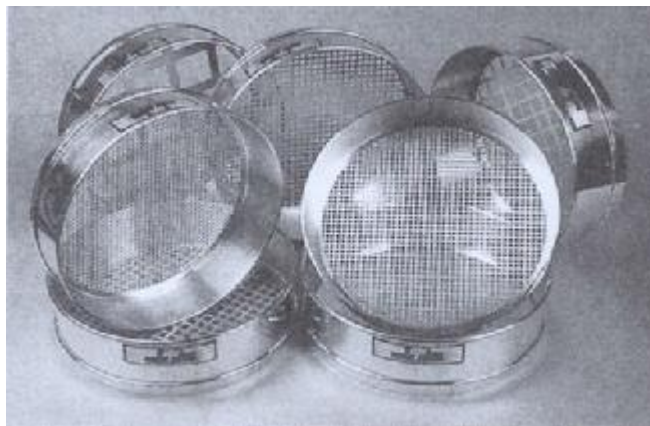
g = η σταθερά της βαρύτητας 9,81 m/s²

η = το ιξώδες (εσωτερική τριβή) του υγρού

Υπάρχουν δύο μέθοδοι δοκιμών, η μέθοδος της πιπέτας και η μέθοδος του υδρομέτρου. Η μέθοδος της πιπέτας αφορά την λήψη μικρών δειγμάτων από το αιώρημα του εδάφους σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Ο χρόνος λήψης του δείγματος αναλογεί σε συγκεκριμένα μεγέθη κόκκων, και εξαρτάται από την πυκνότητα των κόκκων. Έτσι οι χρονικές στιγμές λήψης του δείγματος θα πρέπει να διαλέγονται έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τη μέση ιλύ, τη λεπτόκοκκη ιλύ και μεγέθη αργίλου. Η μέθοδος του υδρομέτρου βασίζεται στη μέτρηση του υγρού και του εδαφικού αιωρήματος, που μειώνεται με το χρόνο καθώς οι κόκκοι καθιζάνουν γύρω από το υδρόμετρο.

2.1.2 Μέθοδος κοσκίνων

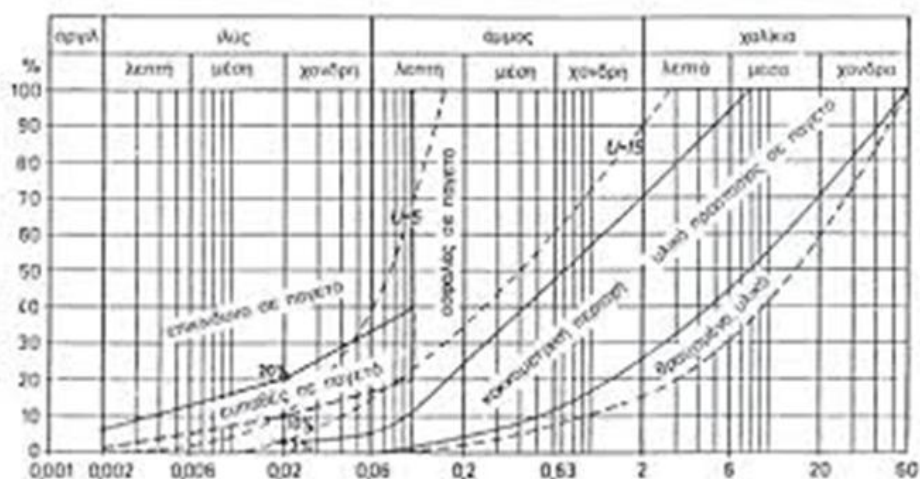
Η μέθοδος αυτή αφορά το κοσκίνισμα ενός εδαφικού δείγματος μέσα από μια σειρά τυποποιημένων κοσκίνων, με την οποία προσδιορίζεται το εύρος των διαφόρων μεγεθών που συμμετέχουν στο δείγμα. Αυτό ολοκληρώνεται με τη λήψη της ποσότητας του υλικού που διέρχεται μέσα από ένα κόσκινο συγκεκριμένου ανοίγματος και συγκρατείται από το αμέσως μικρότερο ανοίγματος κόσκινο της σειράς. Στη συνέχεια σχετίζεται αυτή η ποσότητα με το συνολικό δείγμα.



Τυποποιημένα κόσκινα

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πεπλεγμένο σύρμα τετραγωνικών ανοιγμάτων, των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 0,075 mm (τυποποιημένο φίλτρο Νο200) έως και 101,6 mm. Διαχωρίζει τα ιλυώδη-αργιλώδη υλικά από τα αμμώδη-χαλικώδη και έχει ουσιαστική σημασία στην ταξινόμηση του εδάφους. Συχνά είναι απαραίτητη η γνώση της κοκκομετρικής κατανομής του υλικού που διέρχεται από το φίλτρο Νο200 γιατί σε περίπτωση όπου το διερχόμενο ξεπερνάει το 12% του συνολικού δείγματος η μελέτη δε βασίζεται στο μηχανικό διαχωρισμό αλλά στην ανάλυση με πυκνόμετρο και αραιόμετρο-μέθοδος Stokes.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής δοκιμής παρουσιάζονται με μια μορφή καμπύλης (διάγραμμα). Για να έχουμε καλύτερη εποπτεία της κατανομής και δυνατότητα σύγκρισης των διαφόρων εδαφών, χρησιμοποιείται η λογαριθμική κλίμακα, καθώς τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν κλάσματα της τάξης 2,00mm έως 0,075mm (No200) και έτσι απαιτείται μεγάλη κλίμακα για να αποδοθούν όλα αυτά τα μεγέθη με την ίδια ακρίβεια. Έτσι στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το διερχόμενο ποσοστό, ενώ στον οριζόντιο οι διάμετροι των κοσκίων. Τα μεγέθη των κόκκων αυξάνονται από αριστερά προς τα δεξιά.



Κοκκομετρική καμπύλη

Χαρακτηριστικά κόσκινα

Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται για την κατάταξη των εδαφών υπακούουν σε κάποιους κανονισμούς. Τέτοια συστήματα ταξινόμησης εδαφών είναι ASTM–American Society for Testing and Materials, USCS – Unified Soil Classification System (US Bureau of Reclamation, Corps of Engineers), BSCS- British Soil Classification System (BS 5930: 1981)

Λίθοι (πέτρες)	Το κόσκινο των 75mm διαχωρίζει το εδαφικό υλικό από τις λίθους	-	-
Χαλίκια	Τα χαλίκια είναι η διαβάθμιση μεταξύ του κόσκινου των 75 mm και του κόσκινου Νο4(4.75 mm)	Χονδρόκοκκα χαλίκια	Τα χονδρόκοκκα χαλίκια συγκρατούνται μεταξύ των κοσκίνων 75 mm και 19 mm
		Λεπτόκοκκα χαλίκια	Τα λεπτόκοκκα χαλίκια συγκρατούνται μεταξύ των κοσκίνων 19 mm και Νο4 (4.75 mm)
Άμμος	Η άμμος συγκρατείται μεταξύ των κοσκίνων Νο4 (4.75 mm) και Νο200 (0.075 mm)	Χονδρόκοκκη άμμος	Η χονδρόκοκκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κοσκίνων Νο4 (4.75mm) και Νο10(2 mm)
		Μεσόκοκκη άμμος	Η μεσόκοκκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κοσκίνων Νο10(2 mm) και Νο40 (0.425)
		Λεπτόκοκκη άμμος	Η λεπτόκοκκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κοσκίνων Νο40 (0.425 mm) και Νο200(0.075mm)
Ψύς - Άργιλος	Η ψύς και η άργιλος είναι το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο200 (0.075 mm)	Ψύς (0.075-0.005 mm)	Απαιτείται υδραυλική κοκκομετρική δοκιμή με χρήση αραιόμετρου.
		Άργιλος (έως 0,005 mm)	

Κατηγορίες εδαφικών υλικών - χαρακτηριστικά κόσκινα

2.1.3 Ενεργό μέγεθος – Συντελεστής Ομοιομορφίας-Συντελεστής Καμπυλότητας

Η διαβάθμιση των εδαφών εκφράζεται με βάση δυο όρους, το ενεργό μέγεθος και τον συντελεστή ομοιομορφίας. Το ενεργό μέγεθος των κόκκων (D_{10}) ορίζεται ως η μέγιστη διάμετρος από την οποία διέρχεται το 10% κατά βάρος των εδαφικών κόκκων καθώς επίσης και το πόσο εύκολα μπορεί να περνάει το νερό από το έδαφος. Ο συντελεστής ομοιομορφίας (C_u) και ο συντελεστής καμπυλότητας (C_c) προσδιορίζονται με βάση την κοκκομετρική καμπύλη και δείχνουν πόσο καλά διαβαθμισμένο είναι το έδαφος. Ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι ο λόγος της μέγιστης διαμέτρου του 60% των διερχομένων εδαφικών κόκκων (D_{60}) προς το ενεργό μέγεθος (D_{10}), ενώ ο συντελεστής καμπυλότητας είναι ένα μέτρο του σχήματος της καμπύλης ανάμεσα στα χαρακτηριστικά μεγέθη D_{10} , D_{30} , D_{60} και δίνονται από τους παρακάτω τύπους.

Συντελεστής ομοιομορφίας:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Συντελεστής καμπυλότητας:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

Μεγάλη τιμή του συντελεστή C_u δηλώνει ότι η διαφορά μεταξύ του αριθμητή (D_{60}) και του παρονομαστή (D_{10}) είναι αισθητή. Έτσι συμπεραίνουμε ότι οι κόκκοι είναι καλά κατανομημένοι, από τους μικρότερους προς τους μεγαλύτερους και δίνει μια γενική εικόνα του μέγιστου μεγέθους των κόκκων. Όταν ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι 1 τότε αποτελείται από κόκκους της ίδιας διαμέτρου ενώ όταν παίρνει την τιμή 300 το έδαφος δείχνει καλή διαβάθμιση και έχει μέγιστο κόκκο 25,4 mm. Όταν οι τιμές του συντελεστή ομοιομορφίας είναι μικρότερες από 4 ή 5 καλούνται ομοιόμορφα και για τιμές μεγαλύτερες του 10 θεωρούνται καλώς διαβαθμισμένα. Η μικρή τιμή του ενεργού μεγέθους δείχνει ότι το έδαφος περιέχει σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων. Τέλος για το συντελεστή καμπυλότητας όταν οι τιμές του είναι διάφορες του 1 τότε αυτό μας δείχνει ότι λείπουν κάποια μεγέθη κόκκων ανάμεσα σε αυτά τα όρια.

2.1.4 Πειραματική διαδικασία

Η διαδικασία της δοκιμής πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο της Εδαφομηχανικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. και εφαρμόστηκε σε καθαρή ποταμίσια άμμο. Η οποία ξηράνθηκε πρώτα σε κλίβανο σε θερμοκρασία 110°C για 24 ώρες.



Καθαρή ποταμίσια άμμος



Κλίβανος σε θερμοκρασία 110°C

Το πείραμα της κοκκομετρικής ανάλυσης εφαρμόστηκε σε δύο δείγματα, στο ένα η άμμος ήταν άπλυτη και απλά ξηρή ενώ στο άλλο η άμμος αφού πλύθηκε μπήκε στο κλίβανο και ξηράνθηκε. Στη συνέχεια η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια και για τα δύο δείγματα.

Τα απαιτούμενα όργανα - υλικά

- Ζυγός ευαισθησίας 0,1% κατά βάρος
- Πρότυπα κόσκινα ISO 3310-2 (χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα κόσκινα τα οποία μπορούσαν να κατατάξουν την άμμο)
- Μεταλλικά δοχεία κατάλληλων μεγεθών, σπάτουλα
- Κλίβανος σταθερής θερμοκρασίας 110°C
- Μηχανή κοσκινίσματος



Πάγκος εργασίας

Βήμα 1^ο – Επιλογή Δείγματος

Το δείγμα πρέπει να περιέχει μια αντιπροσωπευτική ποσότητα όλων των μεγεθών της άμμου. Η σωστή δειγματοληψία γίνεται είτε με χειροκίνητο τετραμερισμό, είτε με μηχανικό τετραμερισμό. Στο εργαστήριο ακολουθήθηκε ο μηχανικός τετραμερισμός με τις κατάλληλες συσκευές διαχωρισμού. Για τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν τετραμεριστές, οι οποίοι αποτελούνται από ανοίγματα (σχισμές) άρτια στο πλήθος. Το δείγμα σε πρώτη φάση κατανεμήθηκε ισόποσα σε δύο υποκείμενους υποδοχείς εκ των οποίων το δείγμα από τον ένα υποδοχέα απορρίφθηκε, ενώ το άλλο ακολούθησε μια περαιτέρω επεξεργασία, όπου επανατροφοδοτήθηκε στον τετραμεριστήρα. Το τελικό δείγμα θεωρήθηκε το ένα τέταρτο του αρχικού.



Μηχανή τετραμερισμού



Διαδικασία τετραμερισμού

Βήμα 2^ο – Κοσκίνισμα

Διαλέχτηκε το δείγμα, το οποίο είχε μπει στον κλίβανο και είχε ξηρανθεί. Έχοντας επιλέξει την σειρά των κοσκίνων που θα χρησιμοποιούνταν στη δοκιμή, το δείγμα τοποθετήθηκε σε ένα ηλεκτρομαγνητικό δονητή ο οποίος εκτελούσε οριζόντιες και κατακόρυφες κινήσεις για 10 λεπτά και έτσι ολοκληρώθηκε η διαδικασία του κοσκινίσματος.

Μέγεθος οπής κόσκινου (mm)
4,75
2,36
2
1,18
1
0,6
0,425
0,25
0,15
0,075

Κόσκινα ISO3310-2



Μηχανή κοσκινίσματος

Στη συνέχεια αφαιρέθηκε το δείγμα από τη συσκευή, ζυγίστηκε η συγκρατούμενη άμμος από κάθε κόσκινο και καταγράφηκαν οι μετρήσεις. Αθροίστηκαν αυτές οι τιμές και συγκρίθηκαν με το αρχικό βάρος του δείγματος, με σκοπό τον έλεγχο τυχόν απωλειών. Εάν οι απώλειες υπερβαίνουν το 1% του ολικού βάρους του δείγματος επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Εκτιμήθηκε το ποσοστό διερχομένου ξεκινώντας από 100% και αφαιρώντας σταδιακά το ποσοστό του συγκρατούμενου σε κάθε κόσκινο. Τέλος, σχεδιάστηκε η καμπύλη σε ένα ημιλογαριθμικό χαρτί όπου στον οριζόντιο (λογαριθμικό) άξονα τοποθετήθηκε το μέγεθος των κόκκων και στον κατακόρυφο το ποσοστό των διερχομένων.

2.1.5 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Αποτελέσματα Πλυμένης Άμμου

Από την ποσότητα της άμμου που πλύθηκε και ξηράνθηκε έγινε η λήψη του δείγματος βάσει του μηχανικού τετραμερισμού, όπου το βάρος του δείγματος (μετά από ζύγιση) ήταν 1168 gr. Για την σχεδίαση της κοκκομετρικής καμπύλης χρησιμοποιήθηκε λογισμικό φύλλο υπολογισμών (Microsoft Excel). Το ποσοστό των απωλειών ήταν 0,85% (< 1%) και τα αποτελέσματα του πειράματος θεωρήθηκαν αξιόπιστα. Η κλίση της καμπύλης θεωρήθηκε ομαλή καταλήγοντας έτσι στο συμπέρασμα ότι οι κόκκοι της άμμου είναι περίπου του ίδιου μεγέθους, δηλαδή το δείγμα ήταν ομοιόμορφο. Αυτό βέβαια επιβεβαιώθηκε και από την τιμή του συντελεστή ομοιομορφίας Cu όπου βάση των υπολογισμών ήταν 4,9. Τα αποτελέσματα της δοκιμής φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

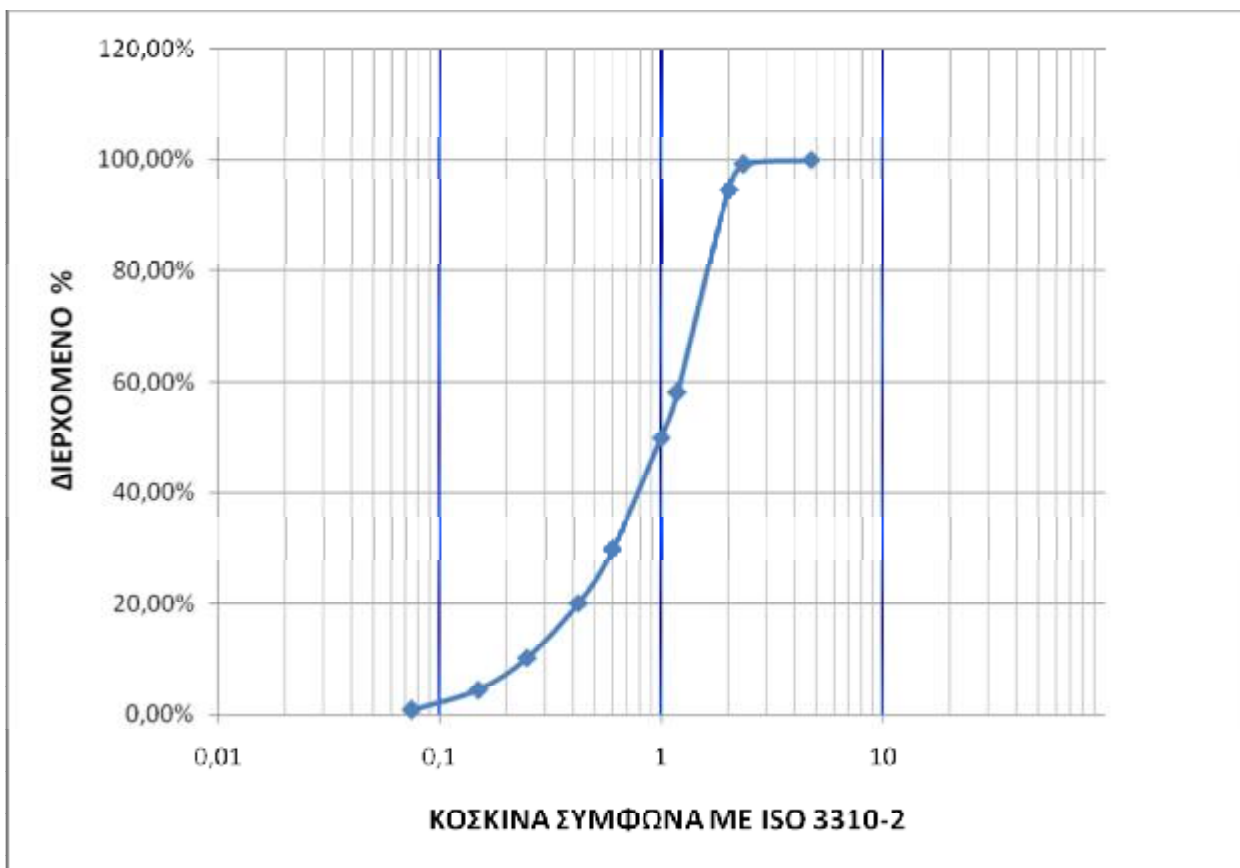
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΛΥΜΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ (gr) 1168

Άνοιγμα κοσκίων (mm)	Συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο (gr)	Διερχόμενο (%)
4,75	0	1168	100,00%
2,36	9	1159	99,23%
2	56	1103	94,43%
1,18	424	679	58,13%
1	96	583	49,91%
0,6	236	347	29,71%
0,425	112	235	20,12%
0,25	116	119	10,19%
0,15	68	51	4,37%
0,075	41	10	0,86%
Πιάτο	0		
Σύνολο	1158		

Απώλεια (gr) 10

Ποσοστό απωλειών 0,86%

< 1% άρα δεκτό



Από το διάγραμμα έχω:		
D ₁₀	0,247	
D ₃₀	0,603	
D ₆₀	1,213	
Συντελεστής ομοιομορφίας		4,91
Συντελεστής καμπυλότητας		1,21

Αποτελέσματα Άπλυτης Άμμου

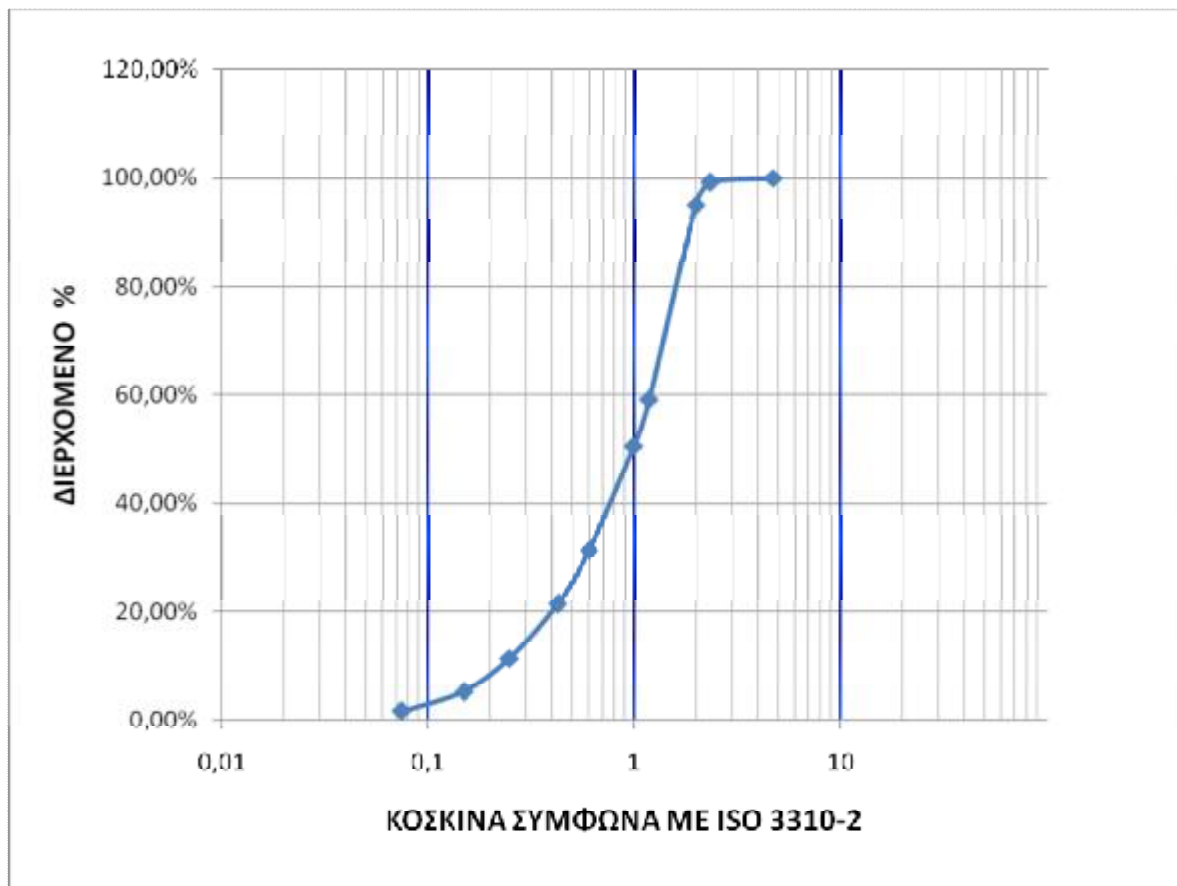
Το βάρος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε μετά τον τετραμερισμό ήταν 1725 gr. Το ποσοστό των απωλειών ήταν 0,52% (< 1%), συνεπώς τα αποτελέσματα θεωρήθηκαν αξιόπιστα. Η κοκκομετρική καμπύλη σχεδιάστηκε σε λογισμικό φύλλο υπολογισμών (Microsoft Excel). Παρατηρήθηκε ότι η κλίση της ήταν ομαλή άρα η άμμος θεωρήθηκε καλά διαβαθμισμένη με συντελεστή ομοιομορφίας (C_u) 5,23. Στην άπλυτη άμμο παρατηρήθηκε ότι ο συντελεστής ομοιομορφίας ήταν λίγο μεγαλύτερος από την πλυμένη. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη παιπάλης ή και αργίλου τα οποία περιβάλλουν τους κόκκους της άμμου και με το πλύσιμο αποκολλούνται. Τα αποτελέσματα της δοκιμής φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΠΛΥΤΗΣ ΑΜΜΟΥ (gr) 1725

Άνοιγμα κοσκίνων (mm)	Συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο (gr)	Διερχόμενο (%)
4,75	0	1725	100,00%
2,36	13	1712	99,25%
2	72	1640	95,07%
1,18	619	1021	59,19%
1	148	873	50,61%
0,6	336	537	31,13%
0,425	167	370	21,45%
0,25	173	197	11,42%
0,15	107	90	5,22%
0,075	62	28	1,62%
Πιάτο	19		
Σύνολο	1716		

Απώλεια 9
Ποσοστό απωλειών 0,52%

< 1% άρα δεκτό



Από το διάγραμμα έχω:		
D ₁₀	0,228	
D ₃₀	0,572	
D ₆₀	1,194	
Συντελεστής ομοιομορφίας		5,24
Συντελεστής καμπυλότητας		1,20

2.2 ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

Γενικά

Πολλά από τα προβλήματα του μηχανικού ασχολούνται με το βάρος, τον όγκο και τη μάζα του εδάφους. Έτσι ο όρος που χρησιμοποιείται σε τέτοιου είδους ζητήματα είναι γενικά το ειδικό βάρος. Εργαστηριακά με τον όρο ειδικό βάρος στερεών (γ_s) χαρακτηρίζεται ο λόγος του βάρους (W_s) ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους (V_s) προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού σε θερμοκρασία 4°C (σχέση 1), ενώ στη γενική του μορφή ορίζεται ως ο λόγος του βάρους των στερεών (W_s) προς τον όγκο των στερεών (V_s) (σχέση 2). Για τον προσδιορισμό του μεγέθους λαμβάνονται υπόψη μόνο η στερεή φάση του εδάφους (το βάρος και όγκος) και όχι το βάρος και ο όγκος που καταλαμβάνουν το νερό και ο αέρας μέσα στο έδαφος. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το ειδικό βάρος του εδάφους γιατί είναι απαραίτητο για πολλά εργαστηριακά πειράματα. Βοηθά στην αναγνώριση και κατάταξη του εδάφους (του οποίου τα όρια για τα περισσότερα εδάφη εμπίπτουν σε στενό εύρος) ακόμη και στον προσδιορισμό ορυκτών μέσα στο έδαφος. Επίσης προσδιορίζοντας όρους όπως ο λόγος των κενών, ο βαθμός κορεσμού, το ολικό ειδικό βάρος (γ_t), το ξηρό ειδικό βάρος (γ_d) καθώς και το ειδικό βάρος κορεσμένου εδάφους παίρνουμε αρκετές πληροφορίες για την αντοχή του εδάφους που μας βοηθά στην επίλυση στατικών προβλημάτων, προβλημάτων πίεσεων, ευστάθειας και καθιζήσεων. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, στην προς εξέταση άμμο είναι η μέθοδος του βρασμού.

$$\gamma_s = \frac{F_W W_s}{w_s} \text{ (kN/m}^3\text{)} \text{ (σχέση 1)}$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{v_s} \text{ (kN/m}^3\text{)} \text{ (σχέση 2)}$$

Τύπος εδάφους	Ξηρό ειδικό βάρος, γ_d (kN/m ³)
Χαλαρή ομοιόμορφη άμμος	14,5
Πυκνή ομοιόμορφη άμμος	18
Χαλαρή ιλώδης άμμος με γωνιώδης κόκκους	16
Πυκνή ιλώδης άμμος με γωνιώδης κόκκους	19
Σκληρή άργιλος	17
Μαλακή άργιλος	11,5 - 14,5
Μαλακή οργανική άργιλος	6 - 8

2.2.1 Πειραματική διαδικασία

Το πείραμα προσδιορισμού του ειδικού βάρους έγινε στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. Το εδαφικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν καθαρή ποταμίσια άμμος η οποία είχε ξηραθεί σε κλίβανο στους 110 °C για 24 ώρες. Το πείραμα εφαρμόστηκε σε δύο φιάλες (μια λευκή και μια καφέ) και το ειδικό βάρος των στερεών κόκκων θεωρήθηκε ο μέσος όρος των δύο δοκιμών. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα των δύο δοκιμών διαφέρουν περισσότερο από 0,03 gr/cm³ η δοκιμή επαναλαμβάνεται.

Συσκευές – Υλικά

- Ζυγός ακριβείας 0.01 gr
- Εστία θερμάνσεως
- Θερμόμετρο
- Σταγονόμετρο ή προχοΐδα
- Δοχεία ζέσεως
- Εδαφικό δείγμα (άμμος)
- Αποσταγμένο νερό



Ζυγός ακριβείας 0.01 gr



Πάγκος εργασίας

Βήμα 1^ο – Βαθμονόμηση φιάλης (πειραματικά)

Ο όγκος των κόκκων της άμμου προσδιορίστηκε μέσω του νερού, δηλαδή καταγράφηκε ακριβώς ο όγκος που καταλαμβάνουν οι κόκκοι αυτοί. Η βαθμονόμηση της φιάλης έγινε πειραματικά. Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μετρήσεις διαδοχικών θερμοκρασιών, του βάρους της φιάλης και του νερού που περιέχεται σε αυτή με σκοπό τη δημιουργία μιας καμπύλης που στον οριζόντιο άξονα έχουμε τις θερμοκρασίες και στον κατακόρυφο το βάρος της φιάλης και νερού σε gr.

Η πορεία του πειράματος έχει ως εξής:

- Η ογκομετρική φιάλη πληρώθηκε, έως τη χαραγή με αποσταγμένο νερό το οποίο ήταν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Με θερμόμετρο καταγράφηκε η θερμοκρασία του νερού προσέχοντας να είναι ομοιόμορφη σε όλη τη φιάλη. Σε περίπτωση ανομοιόμορφης θερμοκρασίας μέσα στη φιάλη τότε ανακινείται η φιάλη έτσι ώστε να αναμειχθεί σωστά το νερό δημιουργώντας μια ενιαία θερμοκρασία. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με ακρίβεια 0,1°C.
- Με προσοχή σκουπίστηκε το εξωτερικό της φιάλης και το εσωτερικό του στομίου επάνω από την επιφάνεια του νερού και στη συνέχεια ζυγίστηκε η φιάλη μαζί με το νερό με ακρίβεια 0,01 gr. Έγινε καταγραφή των ενδείξεων και αυτό ήταν το πρώτο σημείο του διαγράμματος.
- Η φιάλη με το νερό θερμάνθηκε μέσα σε λουτρό θερμού νερού και εν συνεχεία θερμομετρήθηκε το νερό και ξανά ζυγίστηκε.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε άλλες τρεις φορές, έχοντας έτσι τέσσερα ζεύγη τιμών για κάθε φιάλη. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της λευκής και της καφέ φιάλης ξεχωριστά με τα αντίστοιχα διαγράμματα.



Θερμομέτρηση της φιάλης

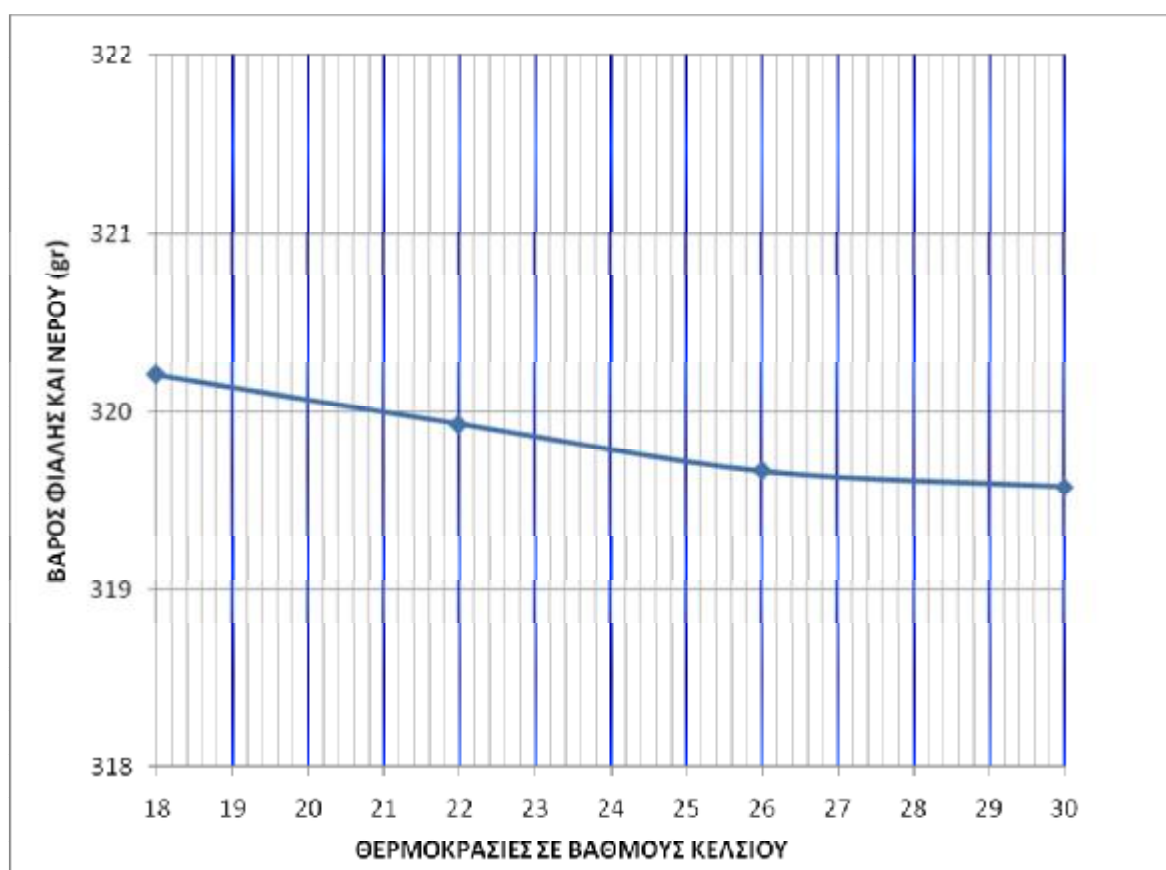


Λουτρό θερμού νερού

Αποτελέσματα - Καμπύλη βαθμονόμησης της φιάλης

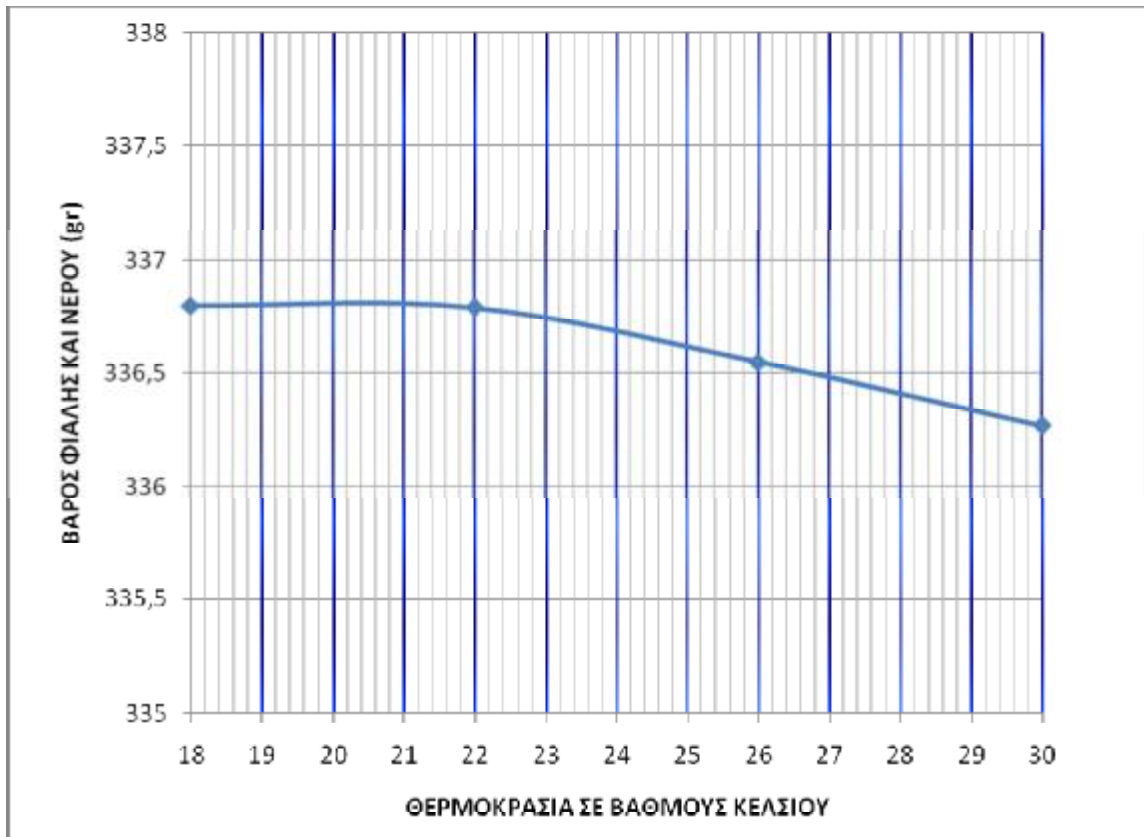
- Λευκή φιάλη

	Βάρος φιάλης και νερού (gr)	Θερμοκρασία (°C)
1η Δοκιμή	320,21	18
2η Δοκιμή	319,93	22
3η Δοκιμή	319,67	26
4η Δοκιμή	319,58	30



· Καφέ φιάλη

	Βάρος φιάλης και νερού (gr)	Θερμοκρασία (°C)
1η Δοκιμή	336,8	18
2η Δοκιμή	336,79	22
3η Δοκιμή	336,55	26
4η Δοκιμή	336,27	30



2° Βήμα - Προσδιορισμός Ειδικού Βάρους

Ακολουθήθηκε η διαδικασία του προσδιορισμού ειδικού βάρους για μη συνεκτικό έδαφος.

- Η ογκομετρική φιάλη πληρώθηκε με αποσταγμένο νερό θερμοκρασίας δωματίου (25°C) μέχρι τη χαραγή και εν συνεχεία ζυγίστηκε (W_2).
- Ζυγίστηκε δείγμα άμμου (τουλάχιστον 25 gr) (W_0) και τοποθετήθηκε μέσα στη κενή φιάλη μαζί με νερό και ζυγίστηκε (δηλαδή βάρος φιάλης δείγματος και νερού μέχρι τη χαραγή (W_1)).
- Εν συνεχεία ζυγίστηκε το ποτήρι ζέσεως (απόβαρο). Το δείγμα (το νερό με την άμμο) τοποθετήθηκε από την ογκομετρική φιάλη στο ποτήρι ζέσεως με προσοχή για τυχόν απώλειες.
- Το ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκε μέσα στο κλίβανο για 24 ώρες (ώστε να εξατμιστεί όλο το νερό μέσα από την φιάλη). Αφού το ποτήρι ζέσεως βγήκε από τον κλίβανο ζυγίστηκε (βάρος υποδοχέα και ξηρού υλικού), έτσι υπολογίστηκε το βάρος ξηρού εδαφικού υλικού (W_s).

Τέλος για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους εφαρμόστηκε ο τύπος:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{\gamma_w W_s}{W_w}$$

Όπου W_w είναι το βάρος του νερού: $W_w = W_s + W_2 - W_1$



Δοχεία ζέσεως (μετά τη ξήρανσή τους)

2.2.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Όνομα υποδοχέα Β (Λευκή φιάλη)

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (°C)	25
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ & ΝΕΡΟΥ & ΥΛΙΚΟΥ W ₁ (gr)	381,83
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ & ΝΕΡΟΥ W ₂ (gr) ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (από διάγραμμα)	319,49
ΟΝΟΜΑ ΥΠΟΔΟΧΕΑ	B
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ (gr)	197,94
ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 ΩΡΕΣ	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ ΚΑΙ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (gr)	296,86
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ W _s (gr)	98,92
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (ΠΑΙΡΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ) γ _w (gr/cm ³)	0,997044
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ W _w (gr)	36,58
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ γ_s (gr/cm³)	2,69

Όνομα υποδοχέα Β₁ (Καφέ φιάλη)

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (°C)	25
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ & ΝΕΡΟΥ & ΥΛΙΚΟΥ W ₁ (gr)	396,02
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ & ΝΕΡΟΥ W ₂ (gr) ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (από διάγραμμα)	336,2
ΟΝΟΜΑ ΥΠΟΔΟΧΕΑ	B ₁
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ (gr)	179,38
ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 ΩΡΕΣ	
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ ΚΑΙ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (gr)	275,07
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΛΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ W _s (gr)	95,69
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (ΠΑΙΡΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ) γ _w (gr/cm ³)	0,997044
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ W _w (gr)	35,87
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ γ_s (gr/cm³)	2,66

Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε σε δύο δείγματα, το ποτήρι ζέσεως Β και Β₁ και ως τελικό ειδικό βάρος θεωρήθηκε ο μέσος όρος των δύο αποτελεσμάτων: γ_s=**2,678 gr/cm³**

3.1 Άμεση Διάτμηση

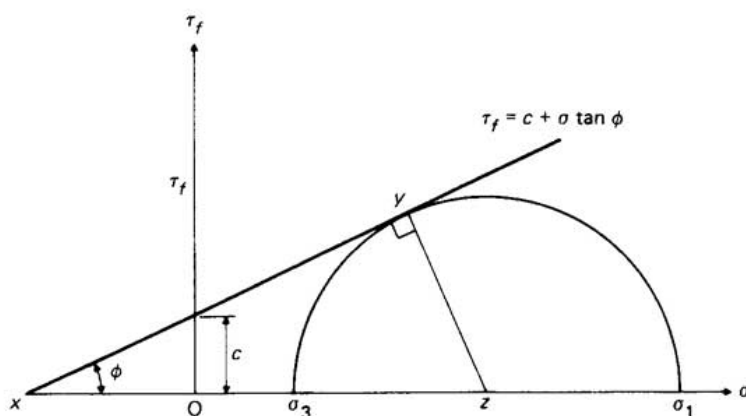
Γενικά

Η αντοχή του εδάφους είναι μια φυσική ιδιότητα μεγάλου ενδιαφέροντος καθώς η γνώση της είναι απαραίτητη για την κατασκευή τεχνικών έργων που εδράζονται ή κατασκευάζονται μέσα σε αυτό (όπως ο σχεδιασμός θεμελιώσεων, επιχωμάτων, τοίχων αντιστήριξης κ.α.). Η αντοχή του εδάφους είναι ένα μέγεθος το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί με μεθόδους έρευνας πεδίου ή να μετρηθεί με εργαστηριακές μεθόδους οι οποίες θεωρούνται από τις πιο περίπλοκες μεθόδους της Εδαφομηχανικής. Τα εδάφη συνήθως αστοχούν υπό κάποια ένταση και σχηματίζουν επίπεδα αστοχίας. Αυτή η αστοχία εκδηλώνεται με ολίσθηση. Η διατμητική τάση προκαλεί ολίσθηση και έτσι δημιουργείται ο όρος διατμητική αντοχή όπου εκφράζει την συνολική αντοχή του εδάφους.

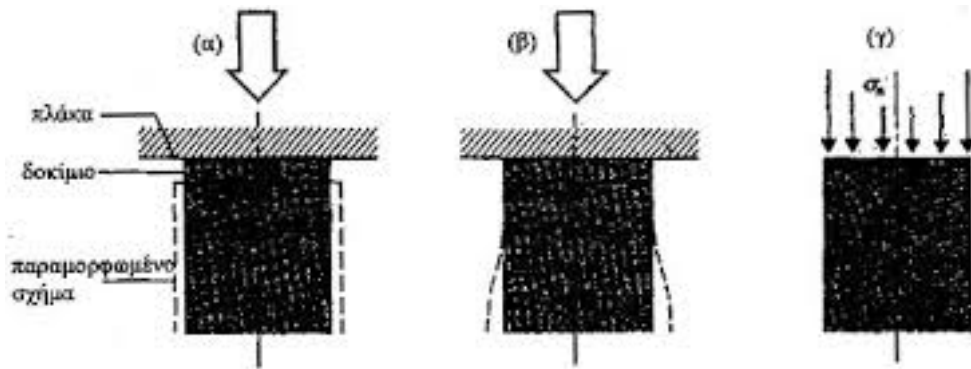
Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα αστοχίας του εδάφους μερικά από αυτά είναι το μοντέλο μέγιστης διατμητικής τάσης (Tresca) για την πλαστικότητα (το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε κορεσμένες- μαλακές αργίλους), καθώς και το μοντέλο Coulomb στο οποίο βασίζεται ο νόμος Mohr-Coulomb και χρησιμοποιείται ευρύτατα καθώς έχει απλή μαθηματική διατύπωση και φυσικό νόημα. Ο νόμος του Mohr, περιγράφει πως η αστοχία θα επέλθει όταν η διατμητική τάση (τ) λάβει κάποια κρίσιμη τιμή η οποία εξαρτάται από την ορθή τάση (σ) και ισχύει η σχέση $\tau_n = f(\sigma_n)$. Αν γίνει απεικόνιση της σχέσης στο επίπεδο έχουμε μια καμπύλη η οποία αποτελεί την «περιβάλλουσα αστοχίας», το όριο δηλαδή για τις εντατικές καταστάσεις που δεν προκαλούν αστοχία. Η υπέρβαση της περιβάλλουσας δεν επιτρέπεται και οι τιμές που βρίσκονται πάνω στην περιβάλλουσα καταγράφουν την κατάσταση αστοχίας. Ο νόμος Mohr-Coulomb δίνεται από τη σχέση:

$$\tau_n = \sigma_n \tan \phi + c$$

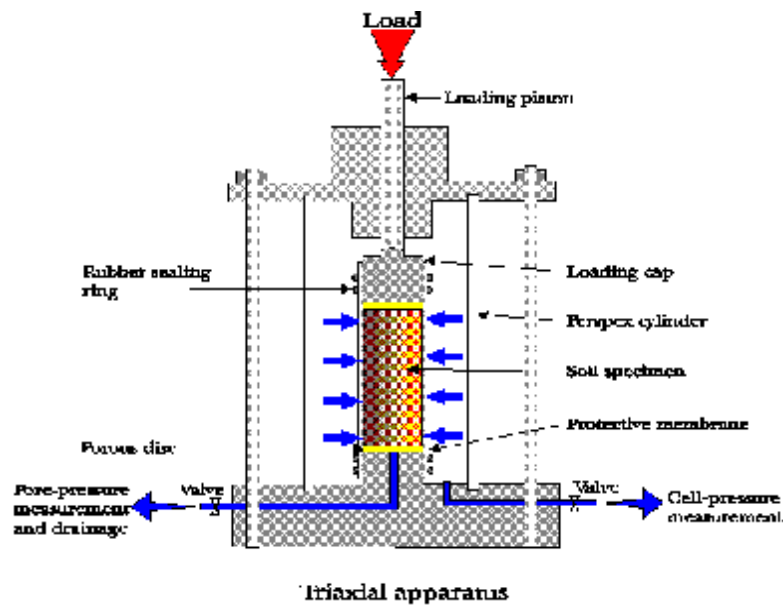
Όπου ϕ είναι η γωνία εσωτερικής τριβής και εκφράζει την αντίσταση στην ολίσθησης μεταξύ των κόκκων (μετράται σε μοίρες) και όπου c η συνοχή του εδάφους ανάμεσα στους κόκκους (σε kPa ή kN/m²).

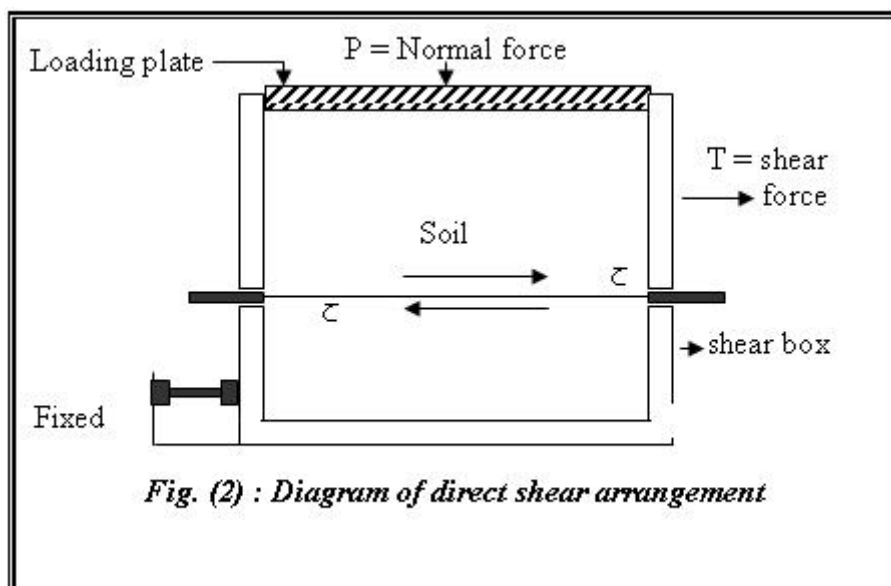


Όπως προαναφέρθηκε η αντοχή του εδάφους μπορεί να προσδιοριστεί στο πεδίο ή στο εργαστήριο με τις κατάλληλες δοκιμές. Οι επικρατέστερες επιτόπου δοκιμές είναι SPT (πρότυπη δοκιμή διείδυσης) και CPT, ενώ οι επικρατέστερες δοκιμές στο εργαστήριο είναι η δοκιμή μονοαξονικής (ανεμπόδιστη) θλίψης, η τριαξονική, η δοκιμή άμεσης διάτμησης και η CBR (χρησιμοποιείται κυρίως στην οδοποιία για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας του εδάφους). Η μονοαξονική δοκιμή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής σε συνεκτικά εδάφη αδιατάρακτων δειγμάτων τα οποία υποβάλλονται σε ταχεία θλίψη (επιβάλλοντας ένα αξονικό φορτίο) μέχρι αστοχίας του εδάφους. Η τριαξονική δοκιμή είναι η πλέον διαδεδομένη και συνάμα μια από τις πολυπλοκότερες εργαστηριακές δοκιμές της Εδαφομηχανικής. Το πείραμα μπορεί να γίνει είτε σε αστράγγιστες συνθήκες είτε σε συνθήκες πλήρους στράγγισης (με στερεοποίηση). Κάθε δοκιμή μπορεί να αναπαρασταθεί με κύκλο του Mohr και έτσι γίνεται και η εκτίμηση των παραμέτρων της αντοχής. Η δοκιμή άμεσης διάτμησης θεωρείται η πιο απλή δοκιμή για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής, βασίζεται στην απευθείας διάτμηση ενός εδαφικού όγκου σε συνδυασμό με την ορθή τάση και είναι η δοκιμή που ακολουθήθηκε στο Εργαστήριο της Εδαφομηχανικής για τον προσδιορισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ της καθαρής ποταμίσιας άμμου.



Μονοαξονική δοκιμή





2.3.1 Δοκιμή άμεσης διάτμησης

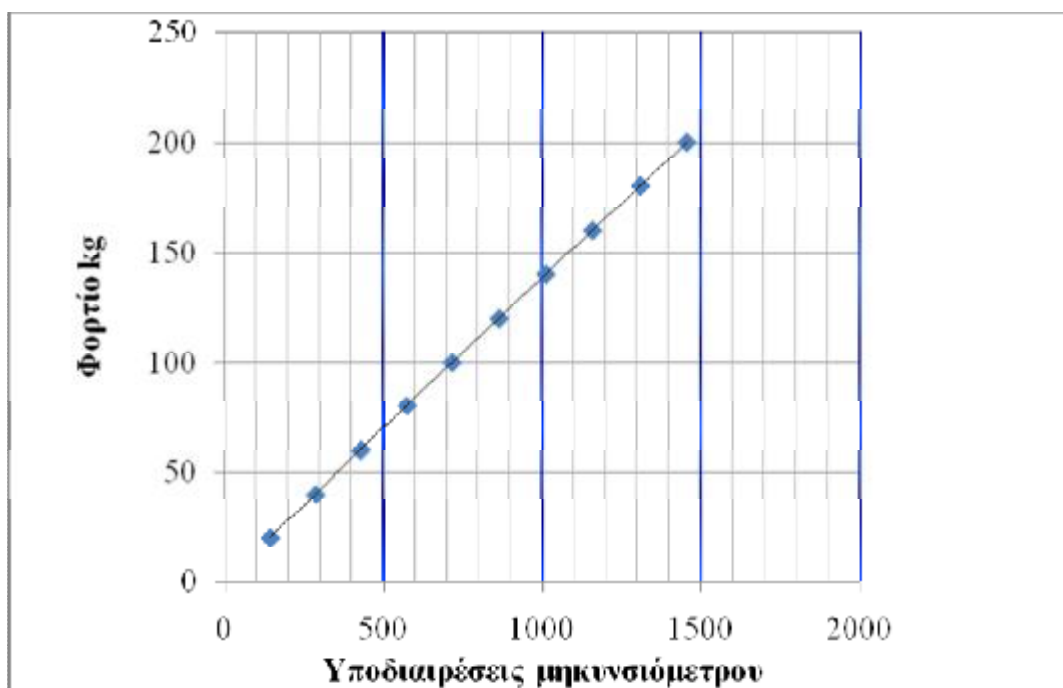
Η δοκιμή της άμεσης διάτμησης γίνεται συνήθως σε ψαθυρά (κοκκώδη) εδάφη με μικρή συνοχή και αυτός είναι ο κυριότερος λόγος που αυτή η δοκιμή επιλέχτηκε για τον προσδιορισμό της αντοχής της άμμου. Κατά τη δοκιμή το έδαφος οδηγείται σε θραύση με την επιβολή φορτίου που προκαλεί μετακίνηση του ενός τμήματος του υποδοχέα που περιέχει το δοκίμιο σε σχέση με το άλλο. Ουσιαστικά η αστοχία του δοκιμίου είναι στον οριζόντιο άξονα μετά την επιβολή μιας οριζόντιας τάσης $\tau = Q/A$ (με το Q να αυξάνεται μέχρι την αστοχία του δοκιμίου) ενώ η κατακόρυφη τάση παραμένει σταθερή $\sigma = P/A$. Η αντίσταση σε διάτμηση της άμμου (μη συνεκτικού εδάφους) προέρχεται από την τριβή μεταξύ των κόκκων και την σύμπλεξη αυτών. Η τριβή μεταξύ των κόκκων είναι παρόμοια με οποιαδήποτε τριβή δύο επιφανειών. Όταν δηλαδή η πάνω επιφάνεια ολισθαίνει κατά μήκος της κάτω επιφάνειας οι δυνάμεις διάτμησης που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του κάτω μέρους είναι ίδια με τη φυσική δύναμη που ενεργεί μεταξύ των μερών πολλαπλασιαζόμενη με έναν συντελεστή, τον συντελεστή τριβής. Στο έδαφος η τριβή μπορεί να είναι είτε τριβή ολίσθησης (μεταξύ των δυο μερών) είτε τριβή κύλισης. Για παράδειγμα, αν οι δυνάμεις διάτμησης εφαρμοστούν σε μια μεγάλη επιφάνεια εδάφους το έδαφος μπορεί να ολισθήσει ή να κυλήσει ή και τα δύο μαζί. Συνήθως δεν γίνεται διάκριση μεταξύ της τριβής ολίσθησης και της τριβής κύλισης.

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών στην άμεση διάτμηση. Η ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου (QUICK TEST), η ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου (QUICK CONSOLIDATED TEST) και η βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου (SLOW TEST). Οι δύο πρώτες δοκιμές εφαρμόζονται σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου εξετάζεται η θραύση του εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μην είναι δυνατόν να γίνει η εκτόνωση της πίεσεως του νερού των πόρων που δημιουργείται λόγω της φορτίσεως, ενώ ο τρίτος τρόπος δοκιμής εφαρμόζεται σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου το έδαφος οδηγείται σε θραύση αργά ώστε να είναι δυνατή η εκτόνωση της πίεσεως του νερού των πόρων. Η βραδεία δοκιμή είναι αυτή που εφαρμόστηκε στην άμμο του εργαστηρίου.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Συσκευή άμεσης διάτμησης
- Ζυγός ακριβείας 0,1 του γραμμαρίου
- Κλίβανος ξηράνσεως
- Διάφορες άλλες μικροσυσκευές γενικής χρήσης όπως μαχαίρια, σπάτουλες κ.τ.λ.

Η συσκευή άμεσης διάτμησης αποτελείται από δύο δακτυλίους. Το δοκίμιο κρατείται μέσα σε αυτούς τους δακτυλίους και μεταξύ δύο πωρόλιθων με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκλείεται η στρέψη του δοκιμίου. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει την εφαρμογή ορθής και διατμητικής τάσεως, κάθετης και παράλληλης προς το επίπεδο διάτμησης αντίστοιχα. Κατά τη δοκιμή μετριοούνται και η μεταβολή του πάχους του δοκιμίου και η διατμητική παραμόρφωση με ειδικά μηκυσιόμετρα. Για την επιβολή ορθής τάσης (σ) εφαρμόζουμε κατακόρυφο φορτίο, κάθετο προς την επιφάνεια διάτμησης με την επιβολή τυποποιημένων βαρών στη συσκευή. Το σύστημα επιβολής της ορθής τάσης διατηρεί σταθερή τάση σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής. Η διατμητική παραμόρφωση επιβάλλεται με ηλεκτροκινητικό τρόπο και το αντίστοιχο φορτίο μετράται με ειδικά προσαρμοσμένο δυναμομετρικό δακτύλιο φόρτισης, η σταθερά του οποίου υπολογίστηκε με γραμμική παρεμβολή (όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα):





Συσκευή άμεσης διάτμησης



Μηκυνσιόμετρο



Τράπεζα

2.3.2 Πειραματική Διαδικασία

- Συναρμολογήθηκε η συσκευή διάτμησης με τα πλαίσια ευθυγραμμισμένα και σταθερά και έγινε ένα ελαφρό γρασάρισμα της επιφάνειας επαφής των πλαισίων για την μείωση των τριβών κατά τη διάρκεια του πειράματος (αφού πρώτα έγινε ο προαπαιτούμενος έλεγχος για την ορθή λειτουργία της συσκευής).
- Το δείγμα τοποθετήθηκε μέσα στη τράπεζα και διαμορφώθηκε. Έγιναν τρεις δοκιμές σε κάθε δείγμα, υπήρχαν τρία δείγματα ένα με χαλαρή άμμο με $\gamma_d=1,49 \text{ gr/cm}^3$, ένα δείγμα με μέση συμπύκνωση $\gamma_d=1.61 \text{ gr/cm}^3$ και ένα δείγμα με πυκνή άμμο $\gamma_d=1.75 \text{ gr/cm}^3$ (και για τις τρεις δοκιμές το βάρος του δείγματος ήταν σταθερό 123,81 gr).
- Εν συνεχεία τα δοκίμια τοποθετήθηκαν προσεκτικά στη συσκευή και έγινε η σύνδεση των μηχανισμών φορτίσεως. Τοποθετήθηκαν τα μηκυσιόμετρα για τη μέτρηση της διατμητικής παραμόρφωσης και τη μεταβολή του πάχους του δοκιμίου.
- Τέθηκε η μηχανή στο «Forward» για να ξεκινήσει η δοκιμή ενώ κατά τη διάρκεια της γινόταν έλεγχος του μηκυσιομέτρου και καταγράφονταν οι περιστροφές που έκανε.
- Όταν ο δείκτης του μηκυσιομέτρου σταμάτησε τις περιστροφές τότε καταγράφηκαν οι υποδιαίρεσεις, πατήθηκε το κουμπί «Stop» και έτσι ολοκληρώθηκε η δοκιμή. Οι υποδιαίρεσεις πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή δακτυλίου έδωσαν την οριζόντια δύναμη (σε kg). Αποφορτίστηκε η συσκευή και αφαιρέθηκε η μήτρα με το δείγμα και έτσι ολοκληρώθηκε η πρώτη δοκιμή.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε άλλες δύο φορές με την επιβολή κατακόρυφου φορτίου 100 και 150 kg.



Ζυγαριά



Τοποθέτηση τράπεζας στη συσκευή



Τοποθέτηση κατακόρυφης τάσης

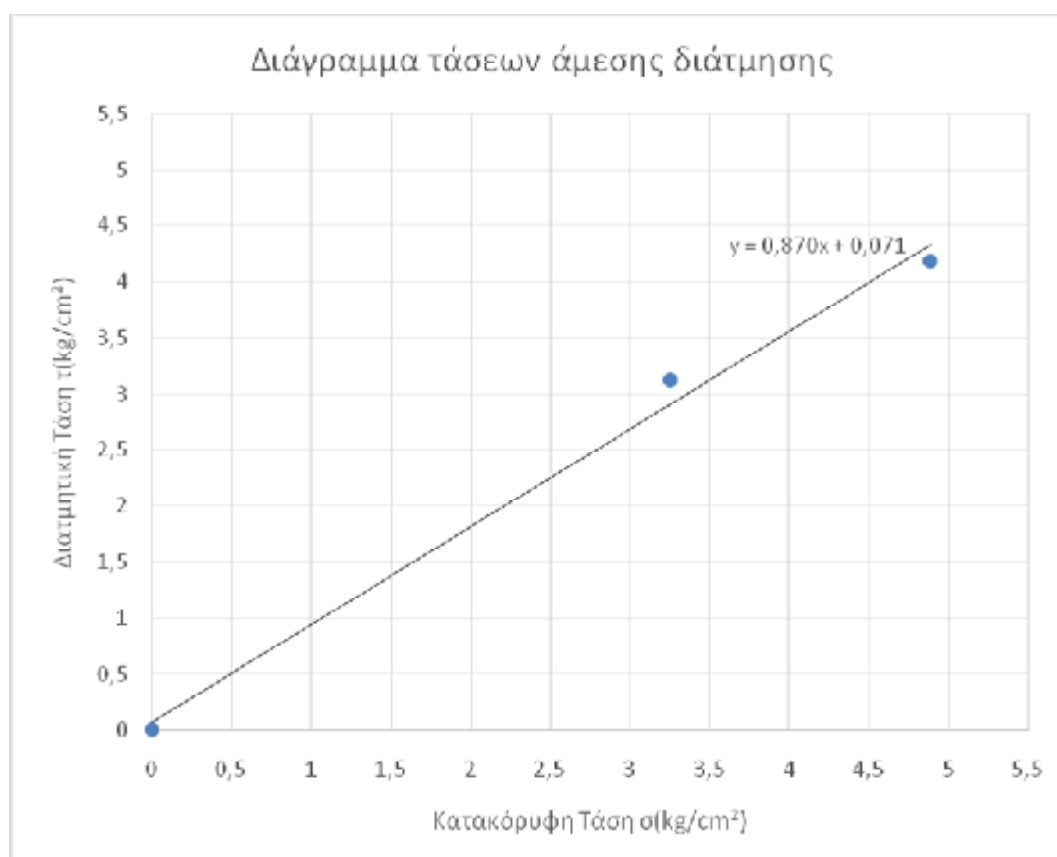
2.3.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Πείραμα 1^ο – Χαλαρή άμμος

	1η δοκιμή	2η δοκιμή	3η δοκιμή
Κατακόρυφο φορτίο (kg)	0	100	150
Κατακόρυφη τάση σ (kg/cm ²)	0	3,261	4,892
Συντελεστής δακτυλίου	0,0048	0,1391	0,1383
Ανάγνωση μηκυνσιομέτρου	5	689	928
Οριζόντια δύναμη H (kg)	0,024	95,840	128,342
Διατμητική τάση τ (kg/cm ²)	0,00078	3,125	4,185

Άρα από την εξίσωση $y=0,8703x+0,0703$ έχουμε εφαπτομένη 0,8703

Άρα η γωνία εσωτερικής τριβής $\phi= 41,03^\circ$

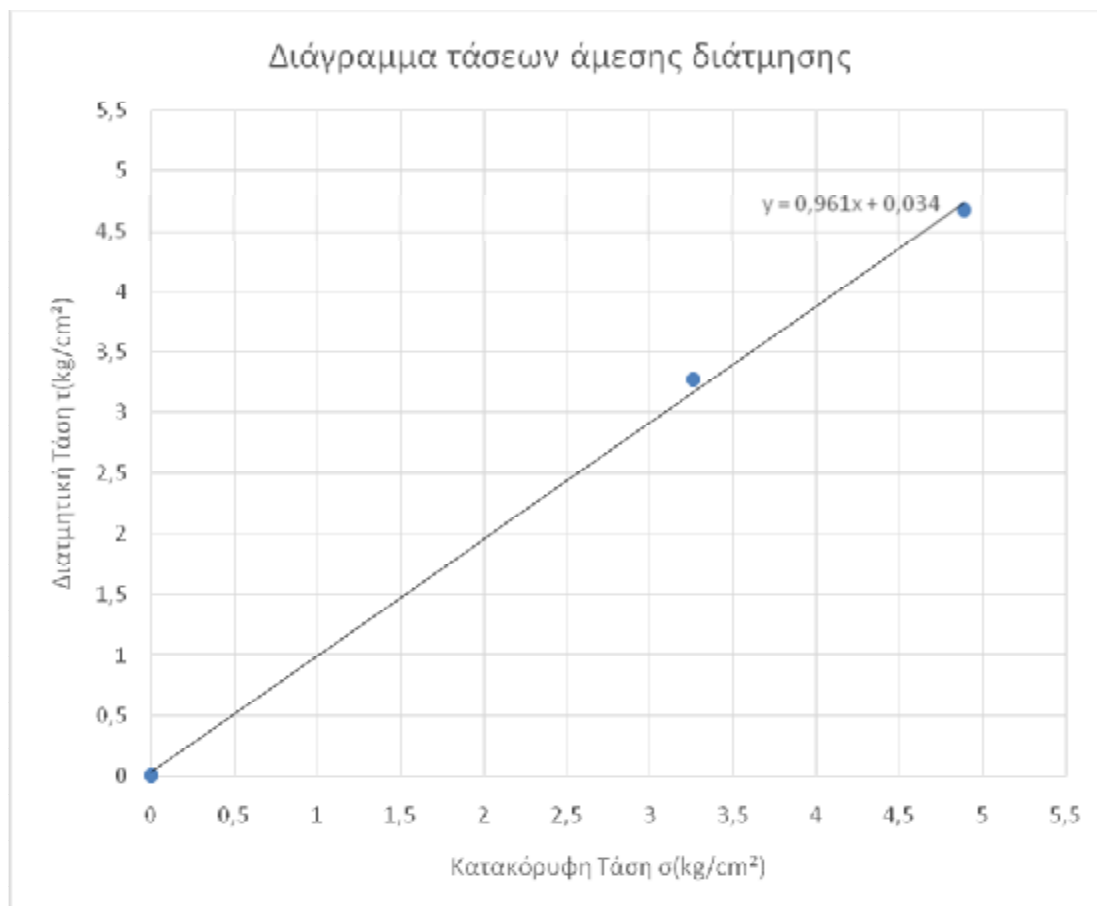


Πείραμα 2^ο – Άμμος μέσης συμπύκνωσης

	1η δοκιμή	2η δοκιμή	3η δοκιμή
Κατακόρυφο φορτίο (kg)	0	100	150
Κατακόρυφη τάση σ (kg/cm ²)	0	3,261	4,892
Συντελεστής δακτυλίου	0,0077	0,1391	0,1381
Ανάγνωση μηκυνσιομέτρου	8	720	1037
Οριζόντια δύναμη H (kg)	0,0616	100,152	143,210
Διατμητική τάση τ (kg/cm ²)	0,0020089	3,266	4,670

Άρα από την εξίσωση $y=0,961x+0,046$ έχουμε εφαπτομένη 0,961

Άρα γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi= 43,86^\circ$

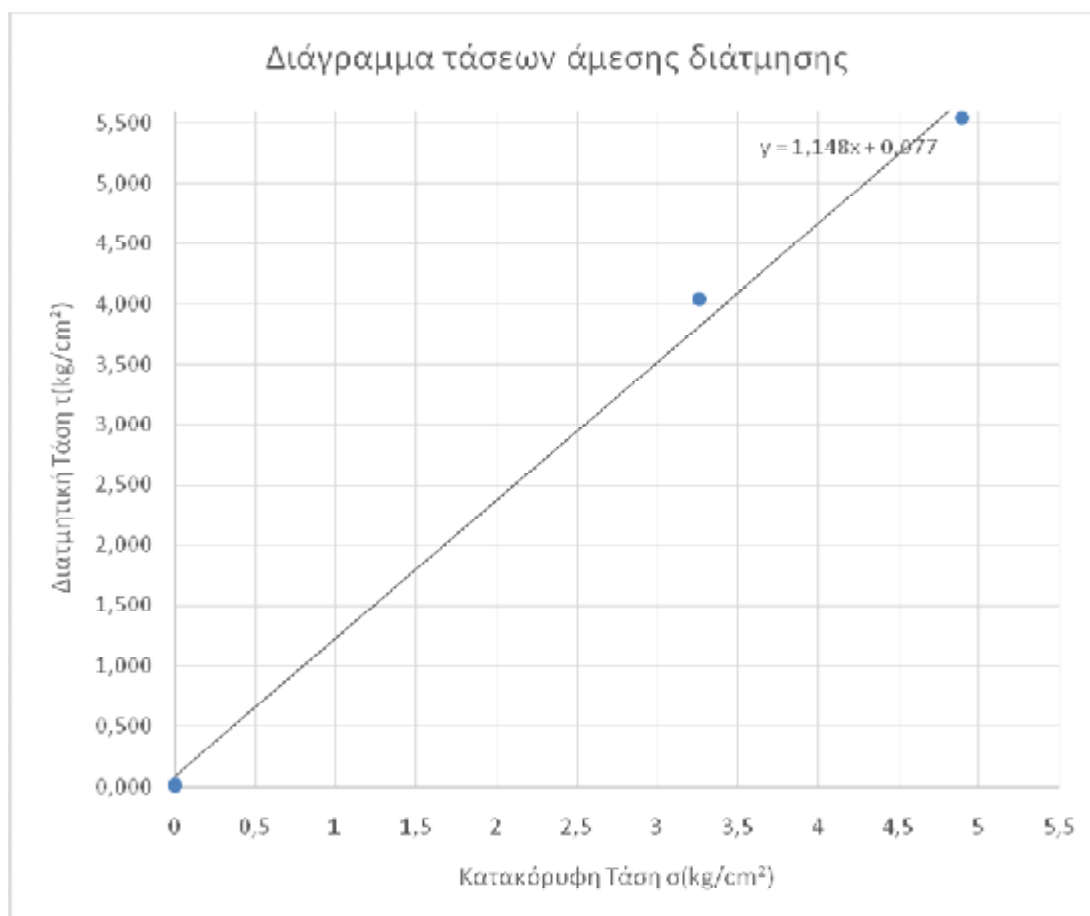


Πείραμα 3^ο – Πυκνή άμμος

	1η δοκιμή	2η δοκιμή	3η δοκιμή
Κατακόρυφο φορτίο (kg)	0	100	150
Κατακόρυφη τάση σ (kg/cm ²)	0	3,261	4,892
Συντελεστής δακτυλίου	0,0077	0,1383	0,1376
Ανάγνωση μηκυνσιομέτρου	8	898	1236
Οριζόντια δύναμη H (kg)	0,0616	124,193	170,074
Διατμητική τάση τ (kg/cm ²)	0,002	4,050	5,546

Άρα από την εξίσωση $y=1,1488x+0,0774$ έχουμε εφαπτομένη 1,1488

Άρα γωνία εσωτερικής τριβής $\phi= 48,96^\circ$

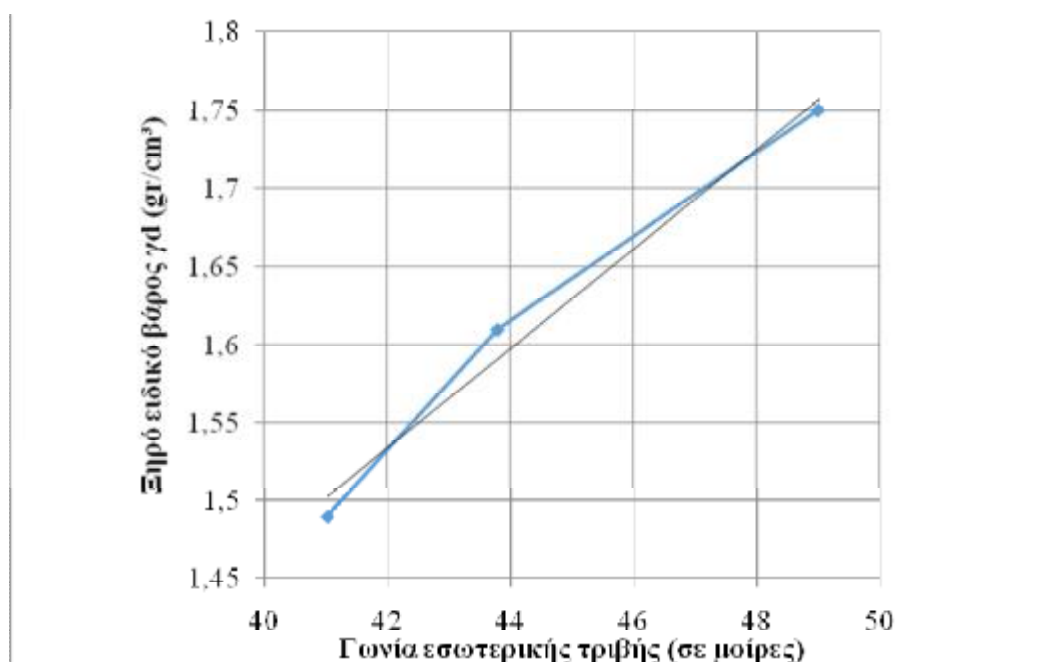


Για κάθε ένα από τα τρία πειράματα που έγιναν (χαλαρή, μέσης συμπύκνωσης και χαλαρή άμμος) υπολογίστηκε και το ειδικό ξηρό βάρος τους (όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα). Για το τελικό πείραμα χρησιμοποιήθηκε η πιο χαλαρή άμμος με γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 41,03^\circ$ και ξηρό ειδικό βάρος $\gamma_d = 1,49 \text{ gr/cm}^3$.

Υπολογίστηκε και ο δείκτης πόρων $e = V_v/V_s = (V - V_s)/V_s = \frac{W - W_s}{\frac{W_s}{\gamma_s}} = \frac{W}{W_s} \frac{\gamma_s}{\gamma} = \frac{1}{1} \frac{1}{2,67} = \frac{1}{2,67} = 0,80$

όπου είναι η τυπική τιμή για χαλαρή ομοιόμορφη άμμο.

	Χαλαρή άμμος	Μέση συμπύκνωσης άμμος	Πυκνή άμμος
Βάρος τράπεζας(gr)	1992	1992	1992
Ύψος δοκιμίου (cm)	2,7	2,5	2,3
Διάμετρος τράπεζας(cm)	6,25	6,25	6,25
Εμβαδόν δείγματος (cm ²)	30,66	30,66	30,66
Όγκος δείγματος (cm ³)	83,09	76,90	70,74
Βάρος δείγματος (gr)	123,81	123,8	123,81
Ξηρό ειδικό βάρος γ_d (gr/cm ³)	1,49	1,61	1,75



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΤΑ RANKINE

3.1. Διαστασιολόγηση Τοίχου Αντιστήριξης

3.1.1 Παραδοχές

Ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν ο τοίχος αντιστήριξης να ανατραπεί ή και να ολισθήσει γι' αυτό και οι υπολογισμοί έγιναν με κάποιες παραδοχές.

Αρχικά επιλέχθηκε ο τύπος του τοίχου αντιστήριξης ο οποίος υπολογίστηκε και μετά κατασκευάστηκε για το πείραμα. Αυτός ήταν ένας τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας.

Γνωρίζουμε ότι ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1,5 έως 2,0

$$FS_{\text{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ}} = \frac{\Sigma M_{\text{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}}}{\Sigma M_{\text{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ}}} = 1,5 \sim 2,0$$

και ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1,5

$$FS_{\text{ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ}} = \frac{\Sigma F_{\text{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}}}{\Sigma F_{\text{ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ}}} = 1,5$$

Δεδομένου ότι ήταν επιθυμητή η ανατροπή ή και η ολίσθηση του τοίχου μειώθηκαν οι συντελεστές ασφαλείας για ανατροπή και ολίσθηση από 1,5 σε 0,7. Υπολογίστηκαν αρκετά κάτω από τα όρια τους οι συντελεστές ασφαλείας με τη προοπτική ότι οι υπολογισμοί θα έδιναν τα επιθυμητά αποτελέσματα για το πείραμα.

3.1.2 Δεδομένα Πειράματος

Είναι γνωστό ότι στην μελέτη ενός τοίχου αντιστήριξης με την μέθοδο Rankine χρησιμοποιούμε τις διαστάσεις του τοίχου. Δηλαδή το ύψος του και το πλάτος της βάσης.

Ο τοίχος αντιστήριξης τοποθετήθηκε σε ένα κιβώτιο από Plexiglas το οποίο κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του πειράματος και το οποίο είχε συγκεκριμένες διαστάσεις. Οι διαστάσεις του κιβωτίου ήταν: το μήκος του 60 cm, το πλάτος του 40cm και το ύψος του 40 cm και ζύγιζε 6,125 kg. Ενώ οι διαστάσεις του τοίχου θα έπρεπε να ήταν τέτοιες ώστε το μήκος του τοίχου να ήταν όσο το πλάτος του κιβωτίου (40 cm) για την αποφυγή της διαρροής της άμμου από τα πλάγια και χωρίς αυτό να εμποδίζει την πτώση του τοίχου. Βέβαια το μήκος του τοίχου δεν συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς της μελέτης όπου βάσει της θεωρίας Rankine θεωρείται απείρου μήκους και η ανάλυση έγινε στις δύο διαστάσεις. Αυτό εξασφαλίστηκε με την ελαχιστοποίηση των τριβών μεταξύ των παρειών του τοίχου και των τοιχωμάτων του κιβωτίου.

Εκτός από τις διαστάσεις του τοίχου στους υπολογισμούς συμπεριλήφθηκαν τα δεδομένα του εδάφους, τα οποία αναλύονται στο κεφάλαιο δύο και τα δεδομένα του μπετόν. Συγκεκριμένα για το πείραμα μας είναι:

Δεδομένα Εδάφους:

Γωνία εσωτερικής τριβής $\phi_1 = 41,03^\circ$

Ειδικό βάρος $\gamma_d = 14,61 \text{ (KN/m}^3\text{)}$

Συνοχή $c = 0 \text{ (KN/m}^2\text{)}$

Γωνία εσωτερικής τριβής $\phi_2 = 36,92^\circ$

Δεδομένα Μπετόν:

Ειδικό βάρος $\gamma_b = 25 \text{ (KN/m}^3\text{)}$

3.1.3 Διαστάσεις Τοίχου-Έλεγχος Ευστάθειας

Στην μελέτη του τοίχου αντιστήριξης κατά Rankine αρχικά ο μελετητής πρέπει να υποθέσει κάποιες διαστάσεις και στη συνέχεια να πραγματοποιήσει έλεγχο ευστάθειας. Ανάλογα με τα αποτελέσματα που θα πάρει και αν αυτά είναι αποδεκτά μπορεί να δεχθεί αυτές τις διαστάσεις, ή να τις αλλάξει εκ νέου και να προχωρήσει σε επανέλεγχο.

Συγκεκριμένα για το πείραμα η μελέτη έγινε με υπολογιστή χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα «Microsoft Excel» στο οποίο έγινε εισαγωγή των δεδομένων και αυτό αυτόματα έκανε τους υπολογισμούς. Στη συνέχεια προστέθηκαν οι υποθετικές διαστάσεις του τοίχου και το πρόγραμμα έβγαλε αποτελέσματα όπως φαίνεται και παρακάτω:

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΑΦΟΥΣ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΠΕΤΟΝ	
ΥΨΟΣ (m)	0,25	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (φ_1)	41,03	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_b (KN/m ³)	25
ΠΛΑΤΟΣ ΣΤΕΨΗΣ (m)	0,04	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_d (KN/m ³)	14,61		
ΠΛΑΤΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	0,05	ΣΥΝΟΧΗ c (KN/m ²)	0		
		ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ(φ_2)	36,92		
K_α	0,2073				
P_α (KN/m)	0,094645				
ΒΑΡΟΣ W_1 (KN/m)	0,25	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,03	
ΒΑΡΟΣ W_2 (KN/m)	0,03125	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,006667	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ			
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ FS	0,977332	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ FS	2,232776433		

Με τις αρχικές διαστάσεις που έγινε η υπόθεση ώστε να μην ευσταθεί ο τοίχος οι συντελεστές ανατροπής και ολίσθησης βγήκαν πολύ πάνω από το 0,7. Επομένως η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε αλλάζοντας διαστάσεις στον τοίχο, αλλά πάντα λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα και τους περιορισμούς. Καταλήγοντας στα εξής δεκτά αποτελέσματα:

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΑΦΟΥΣ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΠΕΤΟΝ	
ΥΨΟΣ (m)	0,3	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (φ_1)	41,03	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_b (KN/m ³)	25
ΠΛΑΤΟΣ ΣΤΕΨΗΣ (m)	0,04	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_d (KN/m ³)	14,61		
ΠΛΑΤΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	0,05	ΣΥΝΟΧΗ c (KN/m ²)	0		
		ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (φ_2)	36,92		
K_α	0,2073				
P_α (KN/m)	0,136289				
ΒΑΡΟΣ W_1 (KN/m)	0,3	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,03	
ΒΑΡΟΣ W_2 (KN/m)	0,0375	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,006667	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ			
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ FS	0,678703	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ FS	1,860647		

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα με τις συγκεκριμένες διαστάσεις ο συντελεστής ανατροπής ισούται με $FS= 0,678703$ που είναι μικρότερο από το 0,7 όπου είναι ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας. Άρα αναμένεται ανατροπή του τοίχου. Όσον αφορά το συντελεστή ολίσθησης ο οποίος βγήκε πολύ μεγαλύτερος από 0,7, σημαίνει ότι ο τοίχος δεν ολισθαίνει. Για τον συντελεστή ολίσθησης έγιναν και άλλες δοκιμές αλλά κανένας συνδυασμός διαστάσεων δεν οδήγησε σε ολίσθηση του τοίχου. Καταληκτικά, το πείραμα πραγματοποιήθηκε μόνο για ανατροπή του τοίχου βαρύτητας ο οποίος είχε διαστάσεις: Ύψος=0,3m, Πλάτος στέψης=0,04m, Πλάτος βάσης=0,05m.

3.2 Υπολογισμός τοίχου για πλήρωση έως το μισό του ύψος

Με δεδομένες τις διαστάσεις του τοίχου πλέον ώστε να ανατρέπεται, έγιναν πάλι οι υπολογισμοί με πλήρωση έως το μισό ύψος του τοίχου, με σκοπό την παρατήρηση της συμπεριφοράς του τοίχου.

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΑΦΟΥΣ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΠΕΤΟΝ	
ΥΨΟΣ (m)	0,3	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (φ_1)	41,03	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_b (KN/m ³)	25
ΠΛΑΤΟΣ ΣΤΕΨΗΣ (m)	0,04	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_d (KN/m ³)	14,61		
ΠΛΑΤΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	0,05	ΣΥΝΟΧΗ c (KN/m ²)	0		
		ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (φ_2)	36,92		
K_α	0,2073				
P_α (KN/m)	0,034072				
ΒΑΡΟΣ W_1 (KN/m)	0,3	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,03	
ΒΑΡΟΣ W_2 (KN/m)	0,0375	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,006667	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ			
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ FS	5,429623	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ FS	7,4425881		

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων από τους υπολογισμούς οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι δυνάμεις που ασκήθηκαν από την άμμο στον τοίχο, όταν η πλήρωση είχε φτάσει στο μισό ύψος του τοίχου δεν ήταν αρκετές ώστε να τον ανατρέψουν. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώθηκε κατά την διεξαγωγή του πειράματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

4.1 Κατασκευή Τοίχου Αντιστήριξης

Για τις ανάγκες του πειράματος έπρεπε να κατασκευαστεί ένα μοντέλο τοίχου βαρύτητας από σκυρόδεμα, με διαστάσεις που προέκυψαν από την μελέτη του τοίχου κατά Rankine. Το καλούπι το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του τοίχου ήταν από γυαλιστερή μελαμίνη και αυτό γιατί ο τοίχος μελετήθηκε με τη θεωρία Rankine και θα έπρεπε να είναι λείος. Το υλικό αυτό είναι αρκετά λείο και συνάμα μπορεί να αντέξει τις πλευρικές τάσεις που δημιουργούνται κατά τη σκυροδέτηση. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν κατηγορίας C_{20/25}. Η αντοχή του σκυροδέματος δεν επηρεάζει το πείραμα γιατί σκοπός του ήταν η γεωστατική συμπεριφορά του τοίχου.

4.1.1 Κοκκομετρική Ανάλυση Αδρανών Της Σύνθεσης Σκυροδέματος

Για την σύνθεση του σκυροδέματος έπρεπε αρχικά να γίνει κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών. Επειδή οι διαστάσεις του τοίχου που κατασκευάστηκε ήταν πολύ μικρές, στην σύνθεση του σκυροδέματος δεν χρησιμοποιήθηκε χαλίκι.

Η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών έγινε στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής με την βοήθεια των δονητικών κοσκίνων όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.



Συσκευή δονητικών κοσκίνων



Γαρμπίλι



Άμμος

Με βάση τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης, έγιναν οι υπολογισμοί και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του σκυροδέματος.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΛΥΤΗΣ ΑΜΜΟΥ

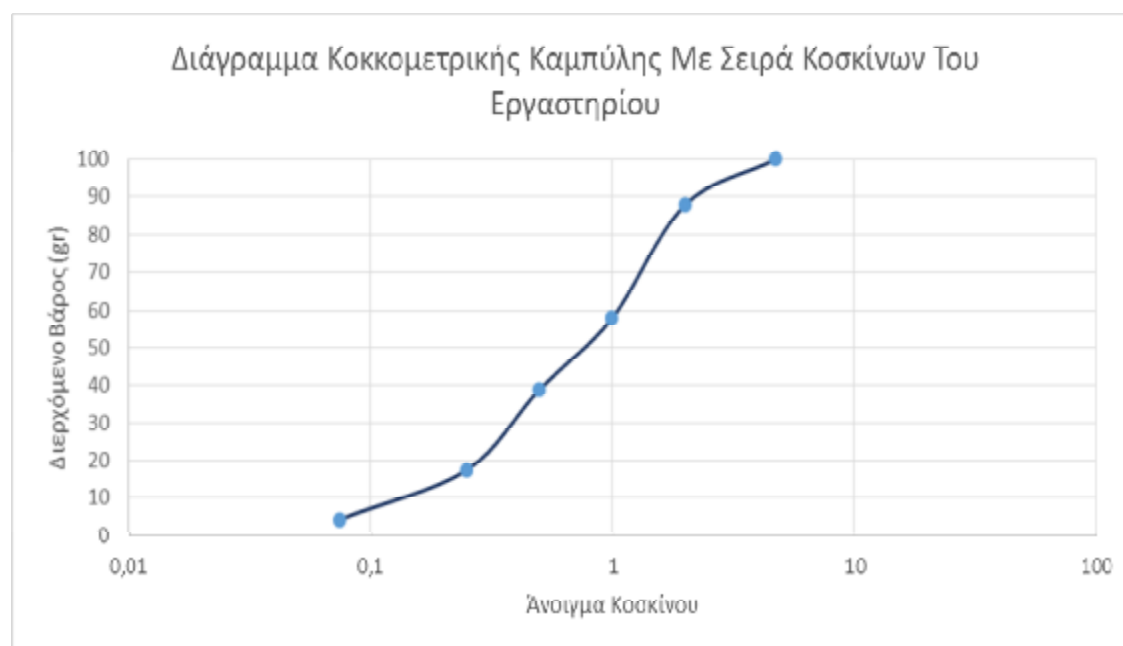
ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: 557gr

ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm)	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (%)
4,75	0	557	100
2	68	489	87,79
1	167	322	57,81
0,5	106	216	38,78
0,25	119	97	17,41
0,075	73	24	4,31

ΣΥΝΟΛΟ: 533 gr

ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: 24 gr

ΠΟΣΟΣΤΟ (%): 4.31



Διάγραμμα άπλυτης άμμου

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΑΡΜΠΙΛΙΟΥ

ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: 2671 gr

ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm)	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (%)
16	0	2671	100
8	0	2671	100,00
4	1388	1283	48,03
2	1205	78	2,92
1	9	69	2,58
0,5	8	61	2,28
0,063	57	4	0,15

ΣΥΝΟΛΟ: 2667 gr

ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: 4gr

ΠΟΣΟΣΤΟ (%): 0,15



Διάγραμμα Γαρμπιλιού

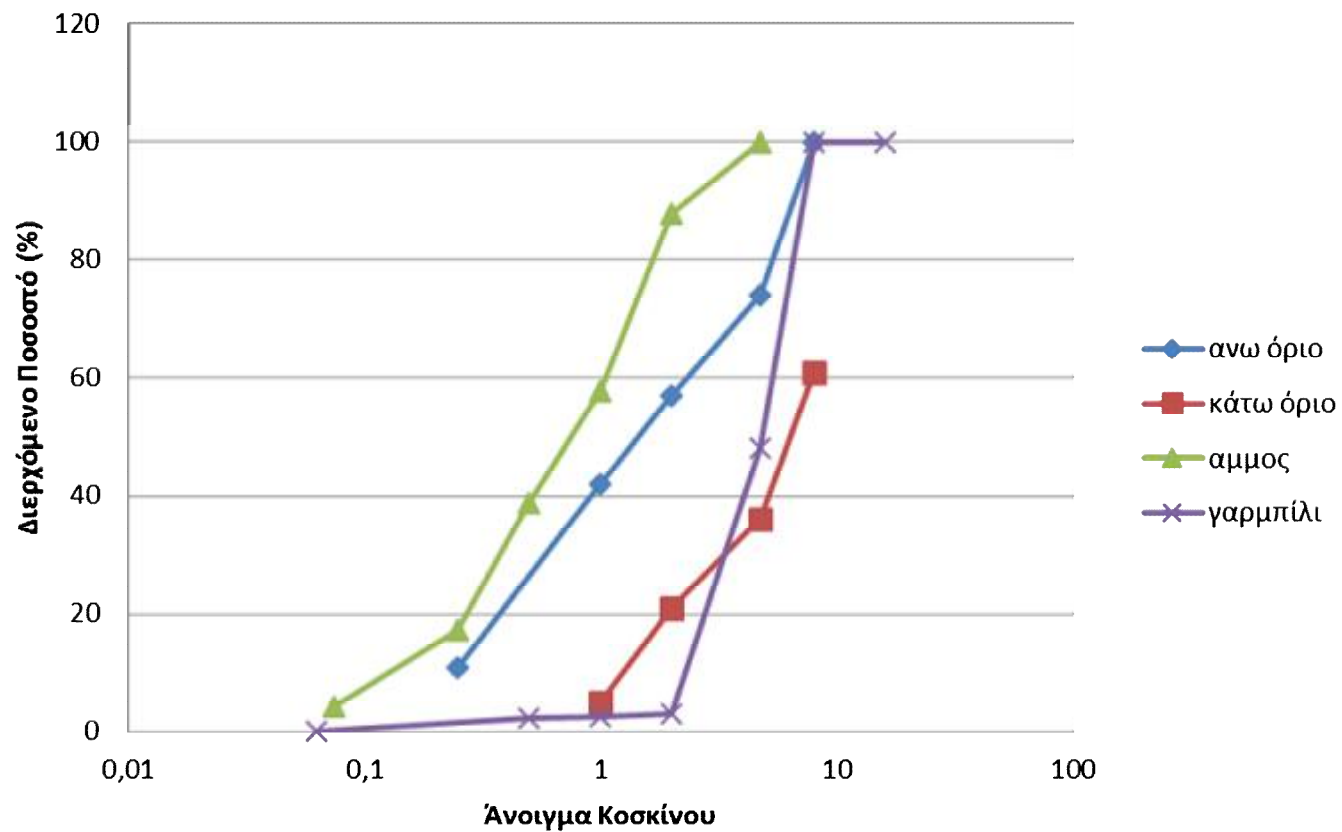
Μετά την κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών παρατηρήθηκε ότι ο μέγιστος κόκκος αδρανών ήταν: $D_{max}=8mm$.

4.1.2 Ποσοστά Συμμετοχής Αδρανών

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ D=8 mm

ΚΟΣΚΙΝΑ (mm)	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ (%)		ΥΠΟΖΩΝΗ Δ (%)		ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ		ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΜΙΓΜΑΤΟΣ
	ΑΜΜΟΣ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΑΝΩ ΟΡΙΟ	ΚΑΤΩ ΟΡΙΟ	ΑΜΜΟΣ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	
					0,55	0,45	
16	100	100			100	100	100
8	100	100	100	95	100	100	100
4,75	100	48,03	74	61	100	48,03	76,6135
2	87,79	2,92	57	36	87,79	2,92	49,5985
1	57,81	2,58	42	21	57,81	2,58	32,9565
0,5	38,78	2,28			38,78	2,28	22,355
0,25	17,41		11	5	17,41		
0,075	4,31				4,31		
0,063	0	0,15			0	0,15	0,0675

Διάγραμμα αδρανών υλικών σκυροδέματος



4.1.3 Σύνθεση Σκυροδέματος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κατηγορία σκυροδέματος	$C_{20/25}$	Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου (Kg)	320	Κατηγορία κάθισης	S_2-S_3
Μέγιστη διάσταση D_{max} (mm)	8	Λόγος N/T	0,65	Κάθιση (cm)	12
Βάρος τσιμέντου	320	Ειδικό βάρος τσιμέντου (gr/cm^3)	3.05	Ποσοστό εγκλωβισμένου αέρα %	3
Βάρος νερού	208				
ΑΔΡΑΝΗ	Ποσοστά αδρανών %	Ειδ.βάρος αδρανών	Απορροφητικότητα	Βασικό βάρος αδρανών (Kg)	Απορρόφηση νερού (Kg)
Γαρμπίλι 8/16	0.45	2.68	0.1	793.54	0.793
Άμμος 0/8	0.55	2.68	0.5	969.89	4.849

ΥΛΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	Βάρος υλικού μίγματος Όγκος=0,02 Kg/m³
Τσιμέντο	6.40
Νερό	4.25
Γαρμπίλι	15.87
Άμμος	19.39

Για τη μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος για τον τοίχο αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν κάποια δεδομένα από την βιβλιογραφία και κάποιες παραδοχές:

Η ποσότητα του σκυροδέματος που κατασκευάστηκε ήταν 0,02 m³

Σκυρόδεμα κατηγορίας C_{20/25}

Κάθιση κατηγορίας S₂-S₃

Ο λόγος N/T=0,65

Ειδικό βάρος τσιμέντου ρ=3,05 t/m³

Ειδικό βάρος νερού ρ=1 t/m³

Ειδικό βάρος αδρανών ρ=2,68 t/m³

Η απορροφητικότητα για το γαρμπίλι ήταν 0,1% και για την άμμο 0,5%

ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

$$V_{\alpha\delta\rho} = 1 - 320 \text{ (kg/m}^3\text{)}/3050 \text{ (kg/m}^3\text{)} - 208 \text{ (kg/m}^3\text{)}/1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} - 0.03 = 0.658 \text{ m}^3$$

$$B_{\alpha\delta\rho} = V_{\alpha\delta\rho} * \rho_{\alpha\delta\rho} = 0,658 \text{ (m}^3\text{)} * 2680 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 1763.44 \text{ kg/m}^3$$

$$B_{\gamma\alpha\rho} = 1763,44 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 0,45 = 793,548 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$B_{\acute{\alpha}\mu\mu\omicron\upsilon} = 1763,44 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 0,55 = 969,89 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Βάρος Τσιμέντου

$$B_{\tau\sigma\iota\mu} = 320 \text{ (Kg/m}^3\text{)} * 0.02 \text{ (m}^3\text{)} = 6.40 \text{ Kg}$$

Βάρος Νερού

$$B_w = (208 + 4.849) \text{ (Kg/m}^3\text{)} * 0.02 \text{ (m}^3\text{)} = 4.25 \text{ Kg}$$

$$V = 208 * 0.02 = 4.16 \text{ Kg}$$

Βάρος Γαρμπιλιού

$$B_{\gamma\alpha\rho} = 793.548 \text{ (Kg/m}^3\text{)} * 0.02 \text{ (m}^3\text{)} = 15.87 \text{ Kg}$$

Βάρος Άμμου

$$B_{\acute{\alpha}\mu\mu\omicron\upsilon} = 969,89 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 0,02 \text{ (m}^3\text{)} = 19.39 \text{ Kg}$$

4.1.4 Διαδικασία Παρασκευής Σκυροδέματος

Για τη δημιουργία του σκυροδέματος αρχικά ζυγίστηκαν όλα τα υλικά στις ποσότητες που απαιτούνταν και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στην μπετοnière για ανάμειξη. Πρώτα έγινε η εισαγωγή των αδρανών με το τσιμέντο και στη συνέχεια το νερό. Αναμείχθηκαν για δέκα λεπτά και όταν τα υλικά είχαν ενσωματωθεί σε ένα ενιαίο μείγμα ξεκίνησε η σκυροδέτηση του τοίχου. Πραγματοποιήθηκε συμπύκνωση σε τρεις στρώσεις με δονητική ράβδο. Μετά το πέρας επτά ημερών ο τοίχος ήταν έτοιμος για να αφαιρεθεί από το καλούπι.

- **Αδρανή**



Γαρμπίλι και Άμμος

- Ζυγίσαις Αδρανών



Ζύγιση Γαρυπιλιού

- Νερό



- **Τσιμέντο**



- **Μπετονιέρα** (χρησιμοποιήθηκε για την ανάμιξη των υλικών)



- **Ανάμιξη υλικών σκυροδέματος**



- **Έτοιμο σκυρόδεμα**





· **Καλούπι Τοίχου Αντιστήριξης**



Καλούπι (διακρίνεται η κλίση στην μια πλευρά του τοίχου)



Καλούπι (επάνω πλευρά)

· Σκυροδέτηση και Συμπύκνωση Τοίχου



Συμπύκνωση πρώτης στρώσης σκυροδέτησης με δονητή



Συμπύκνωση με δονητή στο μέσον της σκυροδέτησης



Συμπύκνωση με δονητή στο τέλος της σκυροδέτησης





Συμπύκνωση με κτύπους και ισοπέδωση της επάνω πλευράς του τοίχου



Ολοκλήρωση σκυροδέτησης του τοίχου

· **Ο Τοίχος Βαρύτητας**



Ξεκαλούπωμα τοίχου (αρχικό στάδιο)



Ξεκαλούπωμα τοίχου



Ο τοίχος βαρύτητας

4.2 Περιγραφή Πειράματος

4.2.1 Διάστρωση της άμμου στη βάση του κιβωτίου

Για να πραγματοποιηθεί το πείραμα της ανατροπής του τοίχου αρχικά τοποθετήθηκε στο κιβώτιο του plexiglas μια ποσότητα άμμου για την έδραση του τοίχου. Η άμμος που τοποθετήθηκε για βάση είχε ύψος 10 cm και για την επίτευξη του σωστού ειδικού βάρους (γ_d) το οποίο αντιστοιχεί σε γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=41,03^\circ$ με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί η άμμος διαστρώθηκε με ένα χωνί και με μια αυτοσχέδια συσκευή διάστρωσης άμμου από διαφορετικά ύψη και κάθε φορά προσδιοριζόταν η πυκνότητα με ζύγιση και ογκομέτρηση.

Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν

- Κιβώτιο από Plexiglas



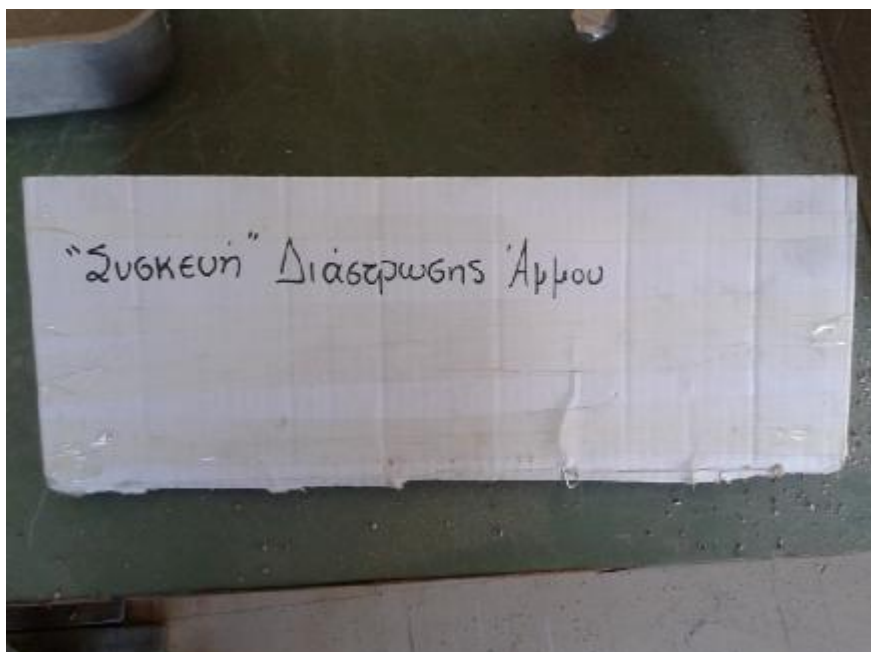
Διακρίνονται: κιβώτιο plexiglas (60cm*40cm*40cm), άμμος και τοίχος βαρύτητας

- Χωνί



Χωνί και σέσουλες

- Αυτοσχέδια Συσκευή διάστροφης άμμου



- Φωτογραφίες διάστρωσης άμμου

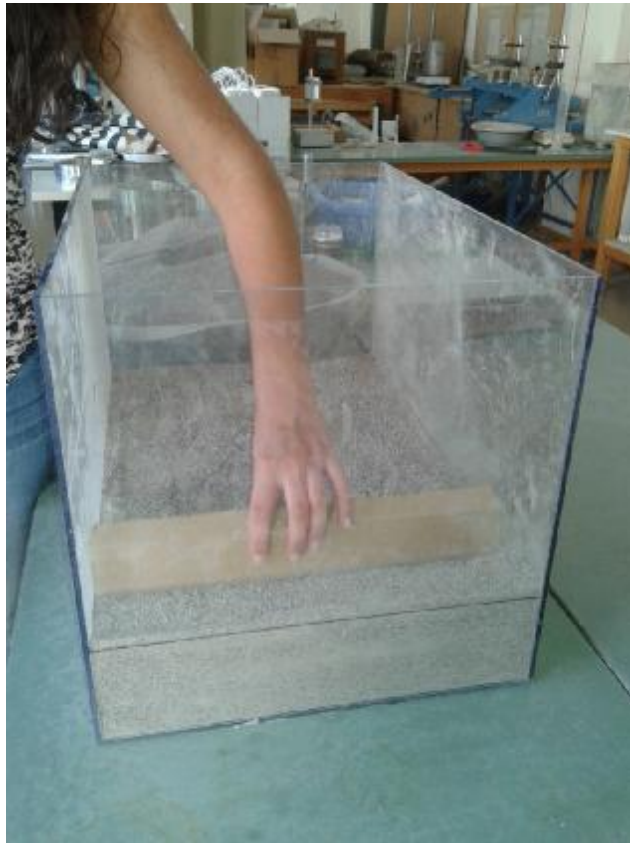
Με τη βοήθεια της αυτοσχέδιας συσκευής και με την χρήση ενός χωνιού έγινε η διάστρωση της άμμου στη βάση του κουτιού και στη συνέχεια η ισοπέδωση της επιφάνειάς της.



Αυτοσχέδιος τρόπος διάστρωσης της άμμου



Διάστρωση της άμμου με το χωνί



Ισοπέδωση της επιφάνειας της βάσης



Η βάση από άμμο ύψους 10cm

Το κιβώτιο πληρώθηκε μέχρι τα 10 cm με άμμο οπότε ο όγκος του υπολογίστηκε 0,024 m³ και η επιθυμητή πυκνότητα ήταν $\gamma_d=1,49\text{gr/cm}^3$. Από τη σχέση $d=m/V$ το επιθυμητό βάρος της άμμου ήταν $W_{\text{άμμου}}=35,76 \text{ kg}$. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε το ύψος πτώσης και η διάστρωσης που έδωσαν το συγκεκριμένο καθαρό βάρος.

- Ζυγαριές



- Ζύγιση άμμου



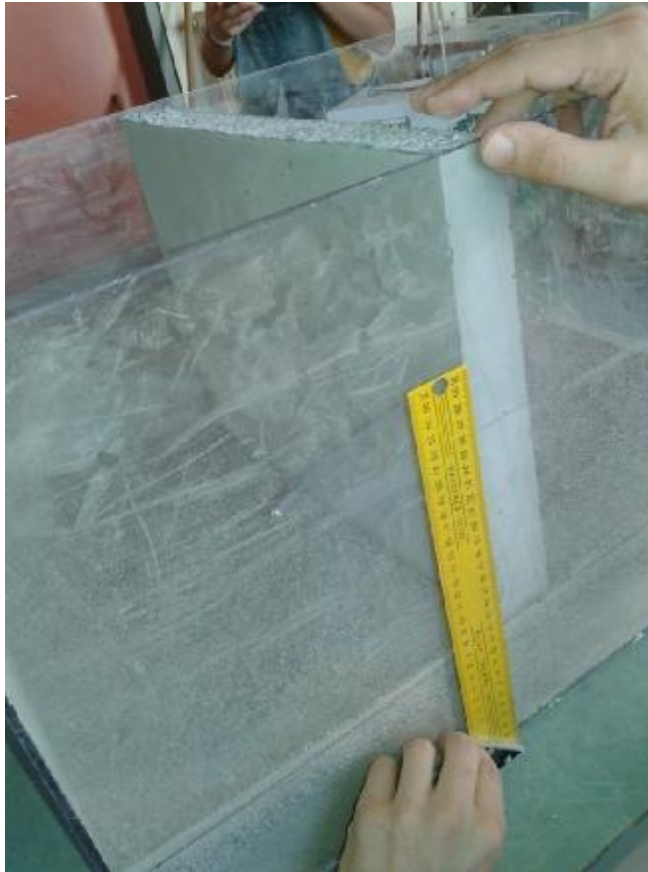
4.2.2 Τοποθέτηση τοίχου βαρύτητας και πλήρωση του χώρου πίσω από αυτόν με άμμο

Μετά την διάστρωση της άμμου στη βάση του κουτιού τοποθετήθηκε τοίχος αντιστήριξης σε απόσταση μεγαλύτερη των 13,6 cm από την άκρη του κουτιού μέχρι την κατακόρυφη πλευρά του τοίχου ώστε να δημιουργηθεί επαρκής χώρος στην πίσω πλευρά του τοίχου με σκοπό την ανάπτυξη του μέγιστου επίπεδου αστοχίας κατά Rankine. Στη συνέχεια πληρώθηκε το κενό πίσω από τον τοίχο με άμμο, μέχρι το μισό του ύψος και ακολούθως μέχρι την κορυφή του διαπιστώνοντας έτσι εάν στην πραγματικότητα ο τοίχος βαρύτητας θα συμπεριφερθεί όπως έδειξαν οι υπολογισμοί.

- Τοποθέτηση τοίχου αντιστήριξης



Ο τοίχος τοποθετείται περίπου στο μέσον του κιβωτίου



Κατακορύφωση του τοίχου

- Πλήρωση με άμμο στην πίσω πλευρά του τοίχου



Τοποθέτηση άμμου με το χωνί



Τοποθέτηση άμμου με συσκευή διάστρωσης

- Πλήρωση με άμμο έως το μισό ύψος του τοίχου



Διακρίνεται ότι ο τοίχος ευσταθεί



Διακρίνεται το μέσο του τοίχου

Με την διεξαγωγή του πειράματος παρατηρήθηκε ότι όταν η πίσω πλευρά του τοίχου πληρώθηκε μέχρι το μέσο με άμμο, ο τοίχος εξακολουθούσε να ευσταθεί. Δεν παρουσιάστηκε καμία μετακίνηση του τοίχου. Άρα το πείραμα επιβεβαίωσε τους υπολογισμούς που έγιναν για την ευστάθεια του τοίχου με την μέθοδο Rankine.

4.2.3 Ανατροπή Τοίχου Βαρύτητας

- Πλήρωση με άμμο μέχρι να ανατραπεί ο τοίχος



Το πείραμα πραγματοποιήθηκε δύο φορές ώστε να επιβεβαιωθεί ότι έγινε σωστά και τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν ήταν αυτά που προέκυψαν από τους υπολογισμούς.

- Ανατροπή τοίχου βαρύτητας (πείραμα 1^ο)



Ο τοίχος έχει αρχίσει να παρεκκλίνει από την κατακόρυφη θέση λίγο πριν την ανατροπή του



Ανατροπή τοίχου βαρύτητας



- Ανατροπή τοίχου βαρύτητας (πείραμα 2°)





4.2.4 Παρατηρήσεις

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων παρατηρήθηκε ότι υπήρξε διαρροή άμμου μεταξύ του τοίχου και του Plexiglas. Αυτό συνέβη διότι το Plexiglas είναι εύκαμπτο υλικό και κάτω από τις δυνάμεις που δέχθηκε από την άμμο «άνοιξε», με αποτέλεσμα να περάσει η άμμος στην απέναντι πλευρά.

Επειδή όμως η ποσότητα της άμμου που πέρασε ήταν πολύ μικρή οι παθητικές δυνάμεις θεωρήθηκαν αμελητέες.



Παρατηρούμε ότι έχει περάσει άμμος στην αριστερή πλευρά του τοίχου



Παρατηρείται το κενό που δημιουργείται
από την διαρροή της άμμου

Μια ακόμη παρατήρηση που έγινε κατά την πραγματοποίηση και των δύο πειραμάτων είναι ότι και στις δύο περιπτώσεις ο τοίχος ανατράπηκε πριν η άμμος φθάσει στο ύψος των υπολογισμών.

Συγκεκριμένα στο πρώτο πείραμα ο τοίχος ανατράπηκε 3,5 cm πιο νωρίς, δηλαδή με ύψος άμμου 26,5 cm και στο δεύτερο πείραμα ανατράπηκε με ύψος άμμου 28,5 cm.

ΕΥΡΕΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ

1^ο ΠΕΙΡΑΜΑ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΠΕΤΟΝ	
ΥΨΟΣ(m)	0,265	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ(φ_1)	41,03	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_b (KN/m ³)	25
ΠΛΑΤΟΣ ΣΤΕΨΗΣ(m)	0,04	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_d (KN/m ³)	14,61		
ΠΛΑΤΟΣ ΒΑΣΗΣ(m)	0,05	ΣΥΝΟΧΗ c (KN/m ²)	0		
		ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ(φ_2)	36,92		
K_α	0,2073				
P_α (KN/m)	0,106344				
ΒΑΡΟΣ W_1 (KN/m)	0,265	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,03	
ΒΑΡΟΣ W_2 (KN/m)	0,033125	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,006667	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ			
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ FS	0,869822	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ FS	2,106393		

ΕΥΡΕΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ

2^ο ΠΕΙΡΑΜΑ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΑΦΟΥΣ		ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΠΕΤΟΝ	
ΥΨΟΣ(m)	0,285	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ(ϕ_1)	41,03	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_b (KN/m ³)	25
ΠΛΑΤΟΣ ΣΤΕΨΗΣ(m)	0,04	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ_d (KN/m ³)	14,61		
ΠΛΑΤΟΣ ΒΑΣΗΣ(m)	0,05	ΣΥΝΟΧΗ C(KN/m ²)	0		
		ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ(ϕ_2)	36,92		
K_a	0,2073				
P_a (KN/m)	0,123001				
ΒΑΡΟΣ W1(KN/m)	0,285	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,03	
ΒΑΡΟΣ W2(KN/m)	0,035625	ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ Ο (m)		0,006667	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ			
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ FS	0,752025	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ FS	1,958576		

4.3 Συμπεράσματα – Αποτελέσματα

Μετά την πραγματοποίηση του πειράματος της ανατροπής του τοίχου βαρύτητας και σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της μελέτης κατά Rankine, αποδείχτηκε ότι ο τοίχος ανατράπηκε όπως ήταν αναμενόμενο βάσει των υπολογισμών που έγιναν, στο πλήρες ύψος του. Συγκεκριμένα, όταν η άμμος ήταν στο μισό ύψος του τοίχου αυτός δεν ανατράπηκε, επιβεβαιώνοντας έτσι τους υπολογισμούς που είχαν γίνει. Αυτό συνέβη διότι οι δυνάμεις που ασκούνταν στον τοίχο από την άμμο δεν επαρκούσαν ώστε να ανατραπεί.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι λίγο πριν την ανατροπή του ο τοίχος δεν ήταν πλέον κατακόρυφος, αλλά είχε αρχίσει να «γέρνει» δηλαδή είχε μια κλίση προς την πλευρά που θα έπεφτε. Αυτό συνέβη επειδή ο τοίχος είχε ξεπεράσει ήδη τα όρια αντοχής του και απλά ευσταθούσε ακόμη.

Οι υπολογισμοί έγιναν με την παραδοχή πως η άμμος θα έφθανε έως την κορυφή του τοίχου με συντελεστή ασφαλείας 0,7. Τελικά και στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, ο τοίχος ανατράπηκε πριν η άμμος φθάσει στο ύψος των υπολογισμών. Έγιναν εκ νέου οι υπολογισμοί και αποδείχθηκε ότι οι συντελεστές ασφαλείας ήταν 0,86 και 0,75 αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα η θεωρία του Rankine είναι συντηρητική λόγω των παραδοχών που είχε κάνει και κυρίως αυτής του λείου τοίχου.

Επομένως επιβεβαιώνοντας τη θεωρία, ο τοίχος ανατράπηκε για συντελεστή ασφαλείας πλησιέστερο στη μονάδα, γεγονός που έρχεται σε καλή συμφωνία με τη θεωρία.

ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4 σακιά άμμο: $4 * 2.20\text{€}$

Κιβώτιο από Plexiglas πάχους 5mm, διαστάσεων 40cm x 60cm x 40cm: 120€

2 σακιά τσιμέντο των 5Kg: $2 * 2.30\text{€}$

Συνολικό κόστος: 133.40€

Επίλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε θέμα την πειραματική διάταξη ενός μοντέλου τοίχου βαρύτητας, με στόχο την ανατροπή του, μέσα σε ένα κιβώτιο από Plexiglas. Απαιτήθηκε η εξολοκλήρου μελέτη του, δηλαδή η διαστασιολόγηση του, ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας, η μελέτη της μεθόδου Rankine που εφαρμόστηκε, καθώς επίσης και η μελέτη του υποκείμενου εδάφους. Επιπροσθέτως, περιέχει γενικές πληροφορίες για τους τοίχους αντιστήριξης, την ανάλυση της κατασκευής τους με τις μεθόδους Rankine, Coulomb και Boussinesq και τέλος γενικές πληροφορίες για τη διαστασιολόγησή τους.

Η διαστασιολόγηση και η εύρεση του συντελεστή ασφαλείας ήταν το πρώτο βήμα της εργασίας, και έγινε βάσει της θεωρίας Rankine. Για την εύρεση τους πραγματοποιήθηκε αρχικά η μελέτη της άμμου, που χρησιμοποιήθηκε για τη πλήρωση του κιβωτίου από Plexiglas. Οι υπολογισμοί της μελέτης της άμμου έγιναν σε πραγματικές συνθήκες, δηλαδή τα φυσικά χαρακτηριστικά της άμμου προσδιορίστηκαν στο Εργαστήριο της Εδαφομηχανικής. Οι εργαστηριακές δοκιμές που εφαρμόστηκαν ήταν η κοκκομετρική ανάλυση, η δοκιμή του ειδικού βάρους και η δοκιμή της άμεσης διάτμησης. Μετά την εύρεση των διαστάσεων του τοίχου, σειρά είχε η δημιουργία του μοντέλου του τοίχου βαρύτητας, για την κατασκευή του οποίου απαιτήθηκε η σύνθεση και η παρασκευή σκυροδέματος.

Το τελικό πείραμα πραγματοποιήθηκε δύο φορές με επιτυχία επαληθεύοντας τα θεωρητικά αποτελέσματα. Μάλιστα, παρατηρήθηκε και στα δύο πειράματα ότι η πτώση του τοίχου επήλθε πριν ολοκληρωθεί η πλήρωση με άμμο στην πίσω πλευρά του. Συμπίπτοντας έτσι με την άποψη που θέλει τους υπολογισμούς της θεωρίας Rankine να είναι συντηρητικοί.

Βιβλιογραφία

T. William Lambe, Robert V. Whitman (1951) Series In Soil Engineering

B.K. Hough (second edition), Basic Soils Engineering

Βγενοπούλου Ειρήνη Σημειώσεις Εδαφομηχανικής

Μ. Σακελλαρίου, Σ. Κοζάνης (Αθήνα 2003) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής

Παγουλάτος Δημήτρης, Παγανός Δημήτρης (Πάτρα 2005) Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφομηχανικής I & II

Graham Barnes (δεύτερη αγγλική έκδοση) Εδαφομηχανική Αρχές και Εφαρμογές

Μιχάλης Ι. Καββαδάς, Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2009

Δημήτριος Θ. Βαλαλάς, Εδαφομηχανική, Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη 2001

O.M.O.E.: τεύχος τεχνικών έργων, τεύχος 1/2 κεφάλαια 1 έως 4

O.M.O.E.: τεύχος τεχνικών έργων, τεύχος 2/2 κεφάλαια 5 έως 11

Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, Εφηρμοσμένη Εδαφομηχανική, Τόμος Β' III. Προβλήματα μελέτης και κατασκευής

Ιστοσελίδα wikipedia (www.wikipedia.org)

<http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Rankine.html>

Ευρωκώδικας 7