



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών

**Πειραματική διερεύνηση της διατμητικής αντοχής σε
διεπιφάνειες εδαφών - γεωυφασμάτων**

Διπλωματική Εργασία

Γιαννιτσοπούλου Θεώνη

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Λουπασάκης,
Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών

**Πειραματική διερεύνηση της διατμητικής αντοχής σε διεπιφάνειες
εδαφών - γεωυφασμάτων**

Διπλωματική Εργασία

Γιαννιτσοπούλου Θεώνη

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Καθηγητής, ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ___/___/_____:

Λουπασάκης Κ., Καθηγητής, ΕΜΠ

Τσαγγαράτος Π., Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ

Βακαλάς Ι., Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Copyright © Γιαννιτσοπούλου Θεώνη, 2023

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στη σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας – Υδρογεωλογίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Λουπασάκη Κωνσταντίνο, Καθηγητή του Ε.Μ.Π., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, από την ανάθεση του θέματος μέχρι και κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Π. ΤΣΑΚΑΣ ΕΠΕ, η οποία προμήθευσε τα γεωυφαντά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών και ειδικότερα την κυρία Τσάκα Εβίτα, με την οποία είχα άριστη επικοινωνία όποτε ήταν αναγκαίο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα της φοιτητικής μου ζωής και τους φίλους μου για τη συνεχή στηριξή τους.

Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η πειραματική διερεύνηση της διατμητικής αντοχής σε διεπιφάνειες εδαφών – γεωυφασμάτων. Σκοπός της είναι να ληφθούν κάποια συμπεράσματα για το πόσο μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα ενός εδαφικού σχηματισμού με την χρήση γεωυφασμάτων.

Κατά την διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν μη υφαντά γεωυφάσματα πολυεστέρα 110, 200, 300, 400 gr / m² και πολυπροπυλενίου 200, 300, 500, 800 gr / m² και ένα αμμώδες εδαφικό υλικό (SW). Με τις απαραίτητες επιλογές και παραμετροποιήσεις των δοκιμών λήφθηκαν αρκετά συμπεράσματα για την χρήση γεωυφασμάτων ως μέθοδος βελτίωσης ενός εδαφικού σχηματισμού.

Αρχικά έγινε μία βιβλιογραφική αναφορά στη διατμητική αντοχή του εδάφους, η οποία συνδέεται με πολλά προβλήματα ευστάθειας, υπολογισμών ωθήσεων και ελέγχων αντοχής σε θραύση. Ακόμα αναφέρονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους και οι μέθοδοι, με τις οποίες μπορούν αυτά να υπολογιστούν.

Ακόμα αναλύθηκε εκτενέστατα η δοκιμή απευθείας διάτμησης. Η μέθοδος αυτή αναλύεται διότι είναι αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία της διπλωματικής. Η δοκιμή απευθείας διάτμησης αποτελεί μια σημαντική διαδικασία στον τομέα των υλικών και των κατασκευών, η οποία επιδιώκει να μελετήσει την αντοχή ενός υλικού ή ενός δοκιμίου στις δυνάμεις που ασκούνται κατά μήκος ενός επιπέδου στη διεύθυνση της διάτμησης.

Επιπροσθέτως περιγράφονται τα είδη των γεωσυνθετικών υλικών και ιδιαίτερα των γεωυφασμάτων, τα οποία αποτελούν μία σημαντική και καινοτόμα προσέγγιση στον χώρο της γεωτεχνικής και της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Εξετάζεται η φύση και τα χαρακτηριστικά των γεωυφασμάτων, καθώς και οι διάφορες εφαρμογές στον τομέα των κατασκευών, αναλύονται τα πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρουν αυτά τα υλικά, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο συμβάλουν στην ασφάλεια, την ανθεκτικότητα και την αποδοτικότητα των έργων κατασκευής. Ειδικότερα αναλύονται όλοι αυτοί οι τομείς στα μη υφαντά γεωυφάσματα, καθώς είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία και δίνονται συγκεκριμένες λεπτομέρειες και παραδείγματα στα οποία χρησιμοποιούνται τα μη υφαντά γεωυφάσματα.

Επιπλέον γίνεται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Αναφέρονται οι παραδοχές που επικράτησαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών και διάφορες άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν και βοήθησαν στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μελέτης. Τέτοιες μελέτες συγκεκριμένα είναι:

- Πειραματική διερεύνηση μεγαλύτερης κλίμακας με την δοκιμή άμεσης διάτμησης ανάμεσα σε διεπιφάνειες εδαφικού υλικού – γεωφασμάτων και εδαφικού υλικού – γεωπλέγματος προκειμένου να γίνει σύγκριση των δύο αυτών διεπιφανειών.
- Πειραματική διερεύνηση για την διατμητική αντοχή σε διεπιφάνειες εδαφών–γεωμεμβρανών, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης και δοκιμές άμεσης διάτμησης.
- Πειραματική διερεύνηση για την διατμητική αντοχή διεπιφανειών μεταξύ ακόρεστων εδαφών και σύνθετου γεωφάσματος με ενίσχυση πολυεστερικού νήματος.
- Πειραματική διερεύνηση για την διατμητική επαφή γεωμεμβράνης – εδάφους υπό ακόρεστες συνθήκες με μία τροποποιημένη συσκευή άμεσης διάτμησης, η οποία υπολογίζει και τις αλλαγές πίεσης πόρου - νερού στην περιοχή της διεπαφής.
- Πειραματική διερεύνηση για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς διεπαφής εδάφους – υφαντού γεωφάσματος από άμεση διάτμηση.

Τέλος λαμβάνοντας τα αποτελέσματα όλων των πειραματικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν με την συσκευή άμεσης διάτμησης στο εργαστήριο και σχεδιάζοντας τα απαραίτητα διαγράμματα παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν κάποιες συγκεκριμένες λεπτομέρειες και εξήχθησαν τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την πειραματική δοκιμή άμεσης διάτμησης ενός εδαφικού υλικού με την χρήση γεωυφασμάτων. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να υπολογιστεί η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της άμμου μετά το πέρας της δοκιμής και να υπολογιστούν οι παράμετροι διατμητικής αντοχής c και ϕ που προκύπτουν. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 27 δοκιμές, οι οποίες αποτελούνταν από 3 διαφορετικές ορθές τάσεις και 8 διαφορετικά γεωυφάσματα. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε μια καλά διαβαθμισμένη άμμος (SW) και μη υφαντά γεωυφάσματα πολυεστέρα 110, 200, 300, 400 gr / m² και πολυπροπυλενίου 200, 300, 500, 800 gr / m². Έγινε καλή τοποθέτηση των γεωυφασμάτων στην βάση της κυψέλης με την χρήση μη παραμορφούμενων φύλλων plexiglass, προκειμένου να διατηρηθεί το γεωύφασμα στην επιφάνεια διάτμησης και πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές που έδωσαν αρκετά συμπεράσματα.

Κατά τη διάρκεια της κάθε δοκιμής, τα βέλτιστα αποτελέσματα λαμβάνονται από το 2 έως το 5 % της ολικής παραμόρφωσης του δείγματος και όχι από την αρχή μέχρι το πέρας της δοκιμής. Από τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης φαίνεται ότι οι δοκιμές με χρήση γεωυφάσματος δεν έχουν ολοκληρώσει τη διάτμησή τους, αφού η άμμος “γλιστράει” πάνω στο γεωύφασμα. Από τα διαγράμματα διατμητικής – ορθής τάσης επιβεβαιώνεται ότι η γωνία τριβής της άμμου πάνω στη διεπιφάνεια μειώνεται αρκετά με την χρήση οποιουδήποτε γεωυφάσματος αλλά γενικά δεν εξαρτάται από το πάχος των γεωυφασμάτων. Ακόμα παρατηρήθηκε ότι με τον διπλασιασμό των ορθών τάσεων αυξάνονται και οι διατμητικές τάσεις, χωρίς να όμως να φτάνουν και αυτές στον διπλασιασμό.

Μία επόμενη διερεύνηση που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μελλοντικά με την ίδια πειραματική διαδικασία είναι ο υπολογισμός διατμητικής αντοχής σε διεπιφάνειες εδαφών – γεωσυνθετικών υλικών με περισσότερες διαφορές εφόσον χρησιμοποιηθούν άλλοι τύποι γεωυφασμάτων (υφαντά και μη υφαντά) ή και διαφορετικά γεωυφαντά υλικά και περισσότερα είδη εδαφικών υλικών.

Abstract

This thesis deals with the experimental direct shear test of a soil material using geotextiles. These tests were carried out in order to calculate the improvement of the mechanical characteristics of the sand after the end of the test and to calculate the resulting shear strength parameters c and ϕ . A total of 27 tests were performed, consisting of 3 different vertical stresses and 8 different geotextiles. More specifically, a well-graded sand (SW) and non-woven geotextiles of polyester 200, 300, 400 gr/m² and polypropylene 200, 300, 500, 800 gr/m² were used, as well as a non-woven geotextile of 100 gr/m². A good placement of the geotextiles at the base of the cell was done using non-deformable plexiglass sheets, in order to maintain the geotextile on the shear surface, and tests were carried out that gave several conclusions.

During each test, the best results are obtained from 2 to 5 % of the total deformation of the specimen and not from the beginning to the end of the test. From the shear stress-strain diagrams, it can be seen that the tests using geotextile have not completed their shearing, since the sand "slips" on the geotextile. From the shear-normal stress diagrams, it is confirmed that the friction angle of the sand is reduced enough by the use of any geotextile but generally it does not depend on the thickness of the geotextiles. It was also observed that with the doubling of the normal stresses, the shear stresses also increase, without them reaching also the double amount.

A further investigation that could be carried out in the future with the same set up of the experimental process is the calculation of shear strength at the interfaces of soils - geosynthetic materials with more differences if other types of geotextiles (woven and non-woven) or different geotextile materials and more types are used soil materials.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Ευχαριστίες | 5 |
| Εισαγωγή | 6 |
| Περίληψη..... | 8 |
| Abstract | 9 |
| Περιεχόμενα | 10 |
| Εικόνες | 13 |
| Πίνακες..... | 16 |
| Διαγράμματα | 17 |
| 1. Διατμητική αντοχή εδάφους | 19 |
| 1.1. Διατμητική αντοχή | 19 |
| 1.2. Παράμετροι διατμητικής αντοχής | 19 |
| α) Γωνία εσωτερικής τριβής | 19 |
| β) Συνοχή | 21 |
| 1.3. Αστοχία εδαφικού υλικού και κριτήριο θραύσης Mohr – Coulomb..... | 22 |
| 1.4. Εκτίμηση παραμέτρων διατμητικής αντοχής εδαφών - εργαστηριακή προσομοίωση..... | 25 |
| 1.5. Διατμητική αντοχή σε μη συνεκτικά (κοκκώδη) εδάφη..... | 27 |
| 1.6. Δοκιμή απευθείας διατμησης (ASTM D3080 – 11)..... | 29 |
| 1.7. Συσκευή απευθείας διάτμησης | 29 |
| 1.8. Ταχεία δοκιμή χωρίς προηγούμενη στερεοποίηση..... | 31 |
| 1.9. Ταχεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου | 32 |
| 1.10. Βραδεία δοκιμή με στερεοποίηση | 33 |
| 2. Γεωφάσματα..... | 36 |
| 2.1. Τα προβληματικά εδάφη και οι κλασσικές λύσεις της εδαφομηχανικής | 36 |
| 2.2. Γεωσυνθετικά υλικά | 37 |
| 2.3. Κατηγορίες γεωσυνθετικών υλικών..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 2.4. Κατηγορίες και είδη γεωυφασμάτων | 39 |
| 2.5. Χαρακτηριστικά - ποιοτικός έλεγχος γεωυφασμάτων | 41 |
| Διαπερατότητα | 44 |
| Συγκράτηση κόκκων (particle retention)..... | 44 |
| Αντοχή σε εφελκυσμό και αντίστοιχη επιμήκυνση | 44 |
| Αντίσταση σε διάτρηση..... | 45 |
| 2.6. Ταξινόμηση γεωυφασμάτων..... | 45 |
| 2.7. Χρήσεις και εφαρμογές | 47 |
| 2.8. Έργα χρήσης μη υφαντών γεωυφασμάτων | 49 |
| Κατασκευές οδοποιίας..... | 49 |
| Σιδηροδρομικά δίκτυα | 50 |
| Έργα αποστράγγισης..... | 52 |
| Προστασία γεωμεμβράνων | 53 |
| Εδάφη και έλεγχος διάβρωσης επιχωμάτων | 55 |
| 3. Εργαστηριακός προσδιορισμός διατμητικής αντοχής διεπιφάνειας | 56 |
| 3.1. Γεωυφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν | 56 |
| 3.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση..... | 64 |
| 3.3. Περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν | 67 |
| 3.4. Παραμετροποίηση της διαδικασίας εκτέλεσης δοκιμών | 72 |
| 3.5. Προετοιμασία δειγμάτων | 72 |
| 4. Αποτελέσματα δοκιμών | 78 |
| 4.1. Διαγράμματα δοκιμών | 78 |
| 4.2. Παρατηρήσεις 1 ^{ης} ομάδας διαγραμμάτων | 79 |
| 4.3. Παρατηρήσεις 2 ^{ης} ομάδας διαγραμμάτων | 83 |
| 4.4. Παρατηρήσεις 3 ^{ης} ομάδας διαγραμμάτων | 88 |
| 4.5. Παρατηρήσεις παραμέτρων διατμητικής τάσης..... | 94 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 5. Συμπεράσματα | 99 |
| Βιβλιογραφία | 101 |

Εικόνες

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1 Δυνάμεις μεταξύ των κόκκων εδαφικού υλικού α) μεταξύ δύο κόκκων σε επαφή και β) κατά μήκος του επιπέδου θραύσης (Τεχνική Γεωλογία) | 20 |
| Εικόνα 2 Συνιστώσες συνοχής (γωνία τριβής) μεσόκοκκης άμμου σε σχέση με την σχετική πυκνότητα (Dr) (Τεχνική Γεωλογία)..... | 21 |
| Εικόνα 3 α) Φυσική περιβάλλουσα αστοχίας, β) εδαφικό στοιχείο που επιβάλλεται σε τριαξονική φόρτιση | 24 |
| Εικόνα 4 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης (Προσωπική λήψη) | 26 |
| Εικόνα 5 Επιβαλλόμενη εντατική κατάσταση και τρόπος παραμόρφωσης α) τριαξονικής δοκιμής, β) δοκιμής απλής διάτμησης και γ) δοκιμής απευθείας διάτμησης (Τεχνική Γεωλογία) | 26 |
| Εικόνα 6 Συσκευή απευθείας διάτμησης (direct shear) (Προσωπική λήψη)..... | 30 |
| Εικόνα 7 Διάταξη άμεσης διάτμησης (geotechdata.info)..... | 31 |
| Εικόνα 8 Πραγματική και σχηματική διάταξη του υποδοχέα της συσκευής άμεσης διάτμησης (Προσωπική λήψη – Τεχνική Γεωλογία)..... | 31 |
| Εικόνα 9 Επίσημα φύλλα δοκιμών, αποτελεσμάτων και διαγραμμάτων κατά την εκτέλεση δοκιμής άμεσης διάτμησης (Τεχνική Γεωλογία) | 35 |
| Εικόνα 10 Κύριες κατηγορίες γεωυφασμάτων, α) υφαντά και β) μη υφαντά γεωυφάσματα (Γεωλογία τεχνικών έργων)..... | 39 |
| Εικόνα 11 Υφαντά και μη υφαντά γεωυφάσματα (monosimacon.com) | 40 |
| Εικόνα 12 Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων σε διάφορους τύπους γεωυφασμάτων (Γεωλογία τεχνικών έργων)..... | 41 |
| Εικόνα 13 Εφαρμογές των γεωυφασμάτων στα τεχνικά έργα: α) αποστράγγιση επιχωμάτων, β) ενίσχυση εδάφους θεμελίωσης σιδηροδρομικού επιχώματος, γ) ενίσχυση υλικού επιχώματος, δ) στραγγιστήριο και στραγγιστήρια τάφρος, ε) προστασία ακτής, στ) ενίσχυση οδοστρώματος (Γεωτεχνολογία τεχνικών έργων)... | 48 |
| Εικόνα 14 Χρήση γεωυφάσματος σε έργο οδοποιίας (minet.ro)..... | 49 |
| Εικόνα 15 Κατασκευασμένη σιδηροδρομική γραμμή, στην οποία χρησιμοποιήθηκε γεωύφασμα (minet.ro)..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 16 Χρήση γεωυφάσματος για την αποστράγγιση διερχόμενου σωλήνα (minet.ro)..... | 52 |
| Εικόνα 17 Επαφή εδάφους - γεωυφάσματος – γεωμεμβράνης (minet.ro)..... | 53 |
| Εικόνα 18 Επιχώματα στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί γεωυφάσματα (minet.ro)... | 55 |
| Εικόνα 19 Geotextile 0 (Προσωπική λήψη)..... | 56 |
| Εικόνα 20 Geotextile 1 (Προσωπική λήψη)..... | 57 |
| Εικόνα 21 Geotextile 2 (Προσωπική λήψη)..... | 57 |
| Εικόνα 22 Geotextile 3 (Προσωπική λήψη)..... | 58 |
| Εικόνα 23 Geotextile 4 (Προσωπική λήψη)..... | 58 |
| Εικόνα 24 Geotextile 5 (Προσωπική λήψη)..... | 59 |
| Εικόνα 25 Geotextile 6 (Προσωπική λήψη)..... | 59 |
| Εικόνα 26 Geotextile 7 (Προσωπική λήψη)..... | 60 |
| Εικόνα 27 Δείγματα γεωυφασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές (Προσωπική λήψη)..... | 61 |
| Εικόνα 28 Αμμώδες εδαφικό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές (Προσωπική λήψη)..... | 68 |
| Εικόνα 29 Κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν για την κοκκομετρική διαβάθμιση του εδαφικού υλικού (Προσωπική λήψη)..... | 68 |
| Εικόνα 30 Τετραγωνικό φορείο μετά το πέρας μίας δεύτερης σειράς δοκιμών | 70 |
| Εικόνα 31 Συσκευή άμεσης διάτμησης που χρησιμοποιήθηκε (Προσωπική λήψη).. | 71 |
| Εικόνα 32 Οθόνη συσκευής άμεσης διάτμησης (Προσωπική λήψη) | 71 |
| Εικόνα 33 Plexiglass που χρησιμοποιήθηκαν στη βάση στην κυψέλη φόρτισης (Προσωπική λήψη)..... | 73 |
| Εικόνα 34 Κατασκευή δείγματος επιφάνειας γεωυφάσματος για την συσκευή άμεσης διάτμησης (Προσωπική λήψη)..... | 74 |
| Εικόνα 35 Συγκράτηση γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη)..... | 74 |
| Εικόνα 36 Όλα τα γεωυφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν διαμορφωμένα και έτοιμα για δοκιμή (Προσωπική λήψη) | 75 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 37 Επιφάνεια διάτμησης γεωυφασμάτων - εδαφικού υλικού (Προσωπική λήψη) | 75 |
| Εικόνα 38 Βάση της κυψέλης και επιφάνεια διάτμησης γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη)..... | 76 |
| Εικόνα 39 Επιφάνεια διάτμησης γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη)..... | 76 |
| Εικόνα 40 Πλάγια όψη επιφάνειας διάτμησης γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη) .. | 77 |
| Εικόνα 41 Κυψέλη μετά τη διάτμηση (Προσωπική λήψη)..... | 77 |

Πίνακες

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1 Σύνοψη των παραγόντων που επηρεάζουν τη γωνία ϕ (Holtz and Kovacs 1981)..... | 28 |
| Πίνακας 2 Μερικές από τις βασικές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου σε γεωφάσματα.... | 43 |
| Πίνακας 3 Ενδεικτικό εύρος τιμών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων από ποιοτικό έλεγχο γεωφασμάτων | 45 |
| Πίνακας 4 Ταξινόμηση κατηγοριών γεωφασμάτων με βάση τα βασικά χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με τις οδηγίες της Γαλλικής Επιτροπής Γεωφασμάτων (C.F.G.) | 46 |
| Πίνακας 5 Μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωφασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν . | 61 |
| Πίνακας 6 Ποσοστιαία παραμόρφωση δείγματος σε συνάρτηση με την οριζόντια μετατόπιση | 78 |
| Πίνακας 7 Ποσοστιαίες αυξήσεις διατμητικής τάσης σε σχέση με τον διπλασιασμό των ορθών τάσεων..... | 93 |
| Πίνακας 8 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 1% της διατμητικής παραμόρφωσης | 94 |
| Πίνακας 9 Παράμετροι διατμητικής αντοχής στο 2% της διατμητικής παραμόρφωσης | 95 |
| Πίνακας 10 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 3% της διατμητικής παραμόρφωσης | 96 |
| Πίνακας 11 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 4% της διατμητικής παραμόρφωσης | 96 |
| Πίνακας 12 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 5% της διατμητικής παραμόρφωσης | 97 |
| Πίνακας 13 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 6% της διατμητικής παραμόρφωσης | 97 |

Διαγράμματα

| | |
|---|----|
| Διάγραμμα 1 Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος κατά την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών..... | 69 |
| Διάγραμμα 2 Διατμητική τάση όλων των γεωφασμάτων με σταθερή ορθή τάση 100kPa..... | 80 |
| Διάγραμμα 3 Διατμητική τάση όλων των γεωφασμάτων με σταθερή ορθή τάση 200kPa..... | 81 |
| Διάγραμμα 4 Διατμητική τάση όλων των γεωφασμάτων με σταθερή ορθή τάση 400kPa..... | 82 |
| Διάγραμμα 5 Διατμητική τάση γεωφάσματος 100gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 83 |
| Διάγραμμα 6 Διατμητική τάση γεωφάσματος 200gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 84 |
| Διάγραμμα 7 Διατμητική τάση γεωφάσματος 300gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 84 |
| Διάγραμμα 8 Διατμητική τάση γεωφάσματος 400gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 85 |
| Διάγραμμα 9 Διατμητική τάση γεωφάσματος 200gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 85 |
| Διάγραμμα 10 Διατμητική τάση γεωφάσματος 300gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 86 |
| Διάγραμμα 11 Διατμητική τάση γεωφάσματος 500gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 86 |
| Διάγραμμα 12 Διατμητική τάση γεωφάσματος 800gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 87 |
| Διάγραμμα 13 Διατμητική τάση εδαφικού δείγματος χωρίς την χρήση γεωφάσματος στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa) | 87 |
| Διάγραμμα 14 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ στο γεωύφασμα 100gr | 88 |

| | |
|---|----|
| Διάγραμμα 15 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και φ στο γεωύφασμα 200gr | 89 |
| Διάγραμμα 16 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και φ στο γεωύφασμα 300gr | 89 |
| Διάγραμμα 17 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και φ στο γεωύφασμα 400gr | 90 |
| Διάγραμμα 18 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και φ στο γεωύφασμα 200gr | 90 |
| Διάγραμμα 19 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και φ στο γεωύφασμα 300gr | 91 |
| Διάγραμμα 20 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και φ στο γεωύφασμα 500gr | 91 |
| Διάγραμμα 21 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και φ στο γεωύφασμα 800gr | 92 |
| Διάγραμμα 22 Υπολογισμός παραμέτρων c και φ χωρίς την χρήση γεωυφάσματος | 92 |
| Διάγραμμα 23 Συσχέτιση γωνιών τριβής και πάχους γεωυφασμάτων Terasin | 98 |
| Διάγραμμα 24 Συσχέτιση γωνιών τριβής και πάχους γεωυφασμάτων Geosin | 98 |

1. Διατμητική αντοχή εδάφους

Η διατμητική αντοχή του εδάφους συνδέεται άμεσα με τα προβλήματα της ευστάθειας των πρανών, του υπολογισμού των ωθήσεων σε τοίχους αντιστήριξης και του ελέγχου της αντοχής σε θραύση των θεμελιώσεων.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους, που σχετίζονται με την διατμητική αντοχή του μπορούν να υπολογιστούν σε δοκίμια στο εργαστήριο. Τα δοκίμια αυτά ελέγχονται συνήθως είτε στη συσκευή της απλής διάτμησης, είτε στην τριαξονική συσκευή, κάτι το οποίο θα αναλυθεί εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια. Αναλυτικά στην διατμητική αντοχή των εδαφών και στις δοκιμές διάτμησης έχουν αναφερθεί οι Κούκης και Σαμπατακάκης στο βιβλίο τους “Τεχνική Γεωλογία” (2019), το οποίο αποτέλεσε βασική βιβλιογραφική πηγή για τα δύο κεφάλαια που ακολουθούν.

1.1. Διατμητική αντοχή

Η διατμητική αντοχή των εδαφικών υλικών προσδιορίζει την μέγιστη διατμητική αντίσταση που αναπτύσσεται στο επίπεδο ολίσθησης ή αστοχίας.

Ο υπολογισμός της διατμητικής αντοχής στα εδαφικά υλικά αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, αφού δεν μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί με βάση κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες. Πολλοί παράγοντες παίζουν ρόλο στην εκτίμηση αυτή και δεν μπορούν εύκολα να τυποποιηθούν. Λαμβάνοντας υπόψιν την “μνήμη” των συνεκτικών εδαφών όσον αφορά τις παλαιότερες επιδράσεις που έχουν ασκηθεί σε αυτά, η κατάσταση δυσχεραίνεται και γίνεται πιο περίπλοκη και σύνθετη.

Γενικά, η διατμητική αντοχή ενός εδάφους περιγράφεται και υπολογίζεται με βάση δύο κύριες παραμέτρους, την συνοχή (cohesion) και την γωνία εσωτερικής τριβής (friction angle).

1.2. Παράμετροι διατμητικής αντοχής

α) Γωνία εσωτερικής τριβής

Η γωνία εσωτερικής τριβής ουσιαστικά αποτελεί την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ κάθε κόκκου του εδάφους και ερμηνεύεται σύμφωνα με την κλασική μηχανική

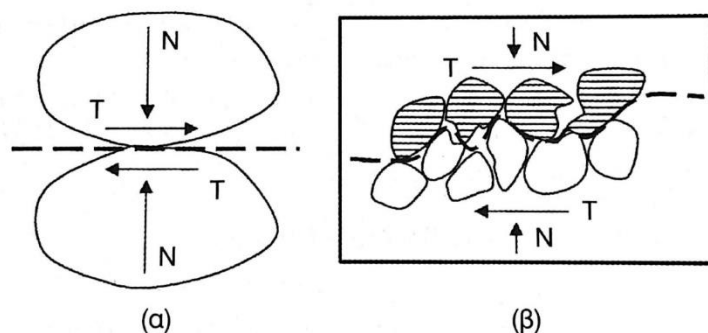
ισοδύναμο. Τα φορτία που επιβάλλονται σε ένα εδαφικό υλικό ασκούνται στον εδαφικό σκελετό και αναπτύσσονται τάσεις, ορθές και διατμητικές, μεταξύ των κόκκων. Ακόμα και όταν εξωτερικά ασκείται μόνο ορθή δύναμη στον εδαφικό σκελετό εξακολουθούν να αναπτύσσονται ορθές και διατμητικές δυνάμεις στις επαφές των κόκκων εξαιτίας των διάφορων σχημάτων και μεγεθών τους. Οι τάσεις αυτές προκαλούν ολισθήσεις και μετακινήσεις στους κόκκους. Στην εικόνα 1α παρατηρείται η επαφή μεταξύ δύο κόκκων ενός εδάφους και οι ορθές (N) και διατμητικές (T) δυνάμεις που ασκούνται πάνω τους, ως αποτέλεσμα εξωτερικού επιβαλλόμενου φορτίου.

Σύμφωνα με τον θεμελιώδη νόμο τριβής για κάθε τιμή της ορθής δύναμης ορίζεται η διατμητική αντοχή στην επαφή:

$$T = N * \epsilon\phi\mu$$

Ο συντελεστής $\epsilon\phi\mu$ είναι μία σταθερά, που χαρακτηρίζει το υλικό των κόκκων και εξαρτάται από το πόσο ομαλή είναι η επιφάνεια επαφής τους. Η γωνία $\phi\mu$ ονομάζεται γωνία τριβής των κόκκων.

Η γωνία τριβής $\phi\mu$, όπως προαναφέρθηκε αναφέρεται αποκλειστικά στην αντίσταση τριβής μεταξύ των κόκκων του εδάφους, όμως στην πραγματικότητα έχει αυξηθεί αφού υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται ως επί τω πλείστον με την "αλληλεμπλοκή" των κόκκων.



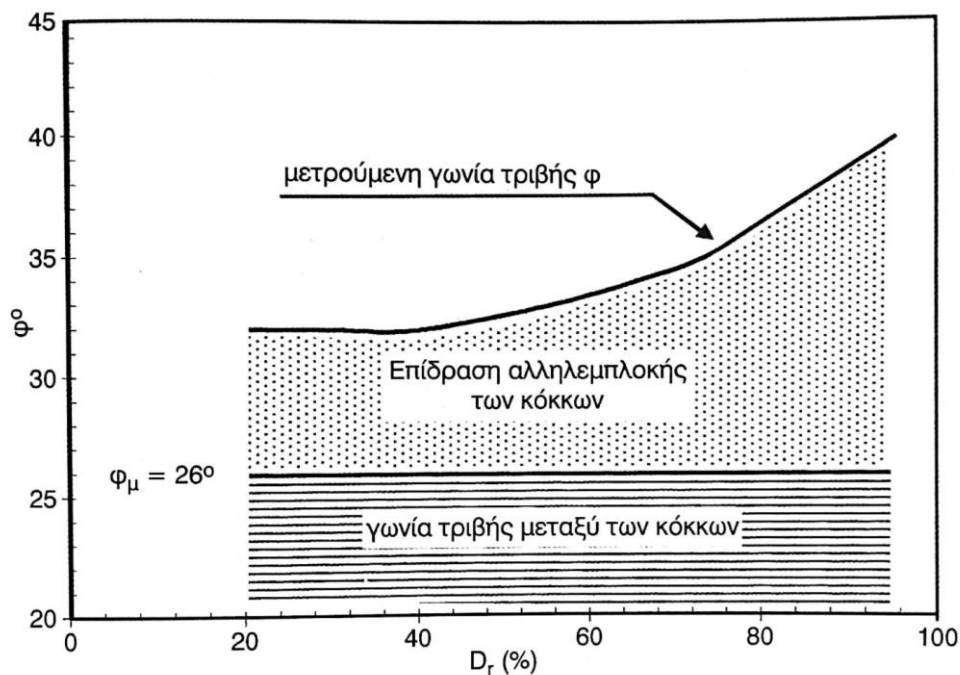
Εικόνα 1 Δυνάμεις μεταξύ των κόκκων εδαφικού υλικού α) μεταξύ δύο κόκκων σε επαφή και β) κατά μήκος του επιπέδου θραύσης (Τεχνική Γεωλογία)

Ο σημαντικότερος παράγοντας για να μπορέσουν να διασταλθούν, ή αλλιώς να διογκωθούν τα εδαφικά υλικά είναι η αντίσταση που αναπτύσσεται. Η διογκωση αυτή συμπίπτει με την διατμητική μετατόπιση κατά μήκος του επιπέδου ολίσθησης ή αλλιώς επιπέδου θραύσης (εικόνα 1β). Σε αυτή την περίπτωση αποτελεί καθοριστικό παράγοντα η σχετική πυκνότητα (D_r) και το πορώδες (n) του κοκκώδους υλικού. Αυτό

σημαίνει ότι όταν υπάρχει μεγαλύτερη πυκνότητα δομής (D_r) υπάρχει και μεγαλύτερη "διαστολή". Από την άλλη σε χαλαρά κοκκώδη υλικά φαίνεται να υπάρχει μείωση του όγκου (συμπύκνωση).

Ένας άλλος παράγοντας είναι η αντίσταση που προκαλείται από την απαιτούμενη ενέργεια ώστε να επαναδιαταχθούν και να επαναπροσανατολιστούν οι κόκκοι (κυρίως αφού θριμματιστούν εξαιτίας των υψηλών ορθών τάσεων).

Οι προαναφερθέντες λόγοι εξηγούν για ποίο λόγο η μετρούμενη γωνία τριβής (ϕ) ενός εδαφικού υλικού είναι τις περισσότερες φορές μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής των κόκκων (ϕ_μ). Στην εικόνα 2 φαίνεται η διαφοροποίηση των τιμών της γωνίας ϕ_μ και ϕ για μία μεσόκοκκη άμμο, ανάλογα με τη σχετική πυκνότητα (D_r) που έχει το εδαφικό υλικό πριν την εκτέλεση της δοκιμής.



Εικόνα 2 Συνιστώσες συνοχής (γωνία τριβής) μεσόκοκκης άμμου σε σχέση με την σχετική πυκνότητα (D_r) (Τεχνική Γεωλογία)

β) Συνοχή

Ένα κατακόρυφο όρυγμα σε ιλύες και αργίλους μπορεί να διατηρήσει την σταθερότητά του για παρατεταμένο χρονικό διάστημα χωρίς να υπάρξουν παρεμβάσεις, ενώ αυτό δεν μπορεί να συμβεί με την καθαρή και ξηρή άμμο που παρουσιάζει υποχωρήσεις μέχρι να φτάσει το πρηνές σε μία κλίση με γωνία ίση με την γωνία εσωτερικής τριβής της άμμου αυτής. Επομένως στις ιλύες και αργίλους υπάρχει κάποια άλλη παράμετρος

που μπορεί να συμβάλλει στην ανάπτυξη της διατμητικής αντοχής. Αυτή η παράμετρος είναι η συνοχή, η οποία δημιουργείται μέσω της αμοιβαίας έλξης, που προκαλείται από ηλεκτροχημικές δυνάμεις, ανάμεσα στα μικρά κομμάτια (πλακίδια) των αργιλικών ορυκτών και των προσροφημένων διπλών στρώσεων. Επιπλέον, η συνοχή μπορεί να προκύψει από την πραγματική σιμέντωση μεταξύ των κόκκων.

Η συνοχή αυτή εξαρτάται από την μέγεθος των κόκκων. Συγκεκριμένα, υλικά με υψηλή συνοχή περιέχουν λεπτομερή τεμαχίδια, τα οποία εμπλέκονται μεταξύ τους, ιδίως όταν πολλά από αυτά είναι αργιλικά ορυκτά. Αντίθετα, όταν τα εδάφη δεν έχουν υψηλό ποσοστό λεπτομερών τεμαχιδίων, δηλαδή είναι κοκκώδη και μη συνεκτικά, μπορεί αρχικά να φαίνονται συγκολλημένα επειδή είναι διαβρεγμένα, αλλά αποκολλώνται σε ανεξάρτητους κόκκους ή τμήματα κατά την ξήρανση τους.

Επομένως, συμπεραίνεται ότι η διατμητική αντοχή ενός εδαφικού υλικού ουσιαστικά πηγάζει από δύο βασικούς παράγοντες: την εσωτερική τριβή και τη συνοχή. Η πρώτη απορρέει από τον τρόπο που οι κόκκοι εναλλάσσονται και αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, ενώ η δεύτερη οφείλεται στις δυνάμεις που διατηρούν τους κόκκους συνδεδεμένους μέσα στο έδαφος. Για παράδειγμα, σε ένα έδαφος καθαρά συνεκτικό, όπως η άργιλος, υποστηρίζεται ότι η γωνία εσωτερικής τριβής είναι κοντά στο μηδέν, ενώ η συνοχή παραμένει υψηλή, ενώ σε ένα κοκκώδες έδαφος όπως η άμμος, η συνοχή είναι σχεδόν ανύπαρκτη (αλλά η γωνία τριβής υπάρχει).

1.3. Αστοχία εδαφικού υλικού και κριτήριο θραύσης Mohr – Coulomb

Γενικά οι συνθήκες των τάσεων που μπορούν να επιβληθούν σε ένα εδαφικό υλικό μέχρι να αστοχήσει οδηγούν στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Μία ολόπλευρη συμπίεση δεν μπορεί να προκαλέσει μεγάλες και απότομες παραμορφώσεις, επομένως δεν επέρχεται αστοχία στο υλικό.
- Οι εφελκυστικές τάσεις μπορούν να προκαλέσουν άμεση αστοχία σε κοκκώδη υλικά και εύκολη σε συνεκτικά. Στην πράξη όμως οι θλιπτικές τάσεις είναι αυτές που επηρεάζουν περισσότερο την στατικότητα.
- Οι διατμητικές τάσεις και παραμορφώσεις που προκαλούνται από εντατικές καταστάσεις οδηγούν τα υλικά σε αστοχία. Τέτοιες εντατικές καταστάσεις είναι η ταυτόχρονη επίδραση ορθών αξονικών, πλευρικών ή και διατμητικών τάσεων που

μπορούν να αναπαρασταθούν με τριαξονικές δοκιμές, δοκιμές απλής και απευθείας διάτμησης.

Η γραφική παράσταση της εντατικής κατάστασης την ώρα της αστοχίας μπορεί να αναπαρασταθεί με τον κύκλο του Mohr, ο οποίος σχεδιάζεται με βάση τις συνισταμένες των ορθών και διατμητικών τάσεων στο επίπεδο της θραύσης.

Το κέντρο του κύκλου είναι στον άξονα των ορθών τάσεων και συγκεκριμένα στο σημείο $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ και η ακτίνα υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$. σ_1 και σ_3 είναι ο συνδυασμός ορθών και πλευρικών τάσεων που ασκούνται εκείνη τη χρονική στιγμή. Με τον σχεδιασμό των συγκεκριμένων κύκλων για κάθε εντατική κατάσταση με διαφορετικούς κρίσιμους συνδυασμούς σ_1 και σ_3 διαμορφώνεται η περιβάλλουσα αστοχίας, μία ευθεία που εφάπτεται στους κύκλους. Έτσι κάθε κύκλος που σχεδιάζεται κάτω από αυτή την ευθεία δηλώνει ότι υπάρχει ευστάθεια ενώ κάθε κύκλος που εφάπτεται ή τέμνεται από την περιβάλλουσα ενδέχεται να επέλθει ή έχει ήδη επέλθει σε αστοχία αντίστοιχα.

Ο μαθηματικός τύπος της περιβάλλουσας για τα καθαρά κοκκώδη εδάφη, σύμφωνα και με τον Coulomb είναι:

$$\tau_A = \sigma_A * \epsilon\phi\phi$$

Για τὰ υπόλοιπα εδάφη ο τύπος είναι:

$$\tau_A = c + \sigma_A * \epsilon\phi\phi$$

όπου ϕ η γωνία τριβής του εδαφικού υλικού και c η συνοχή του υλικού.

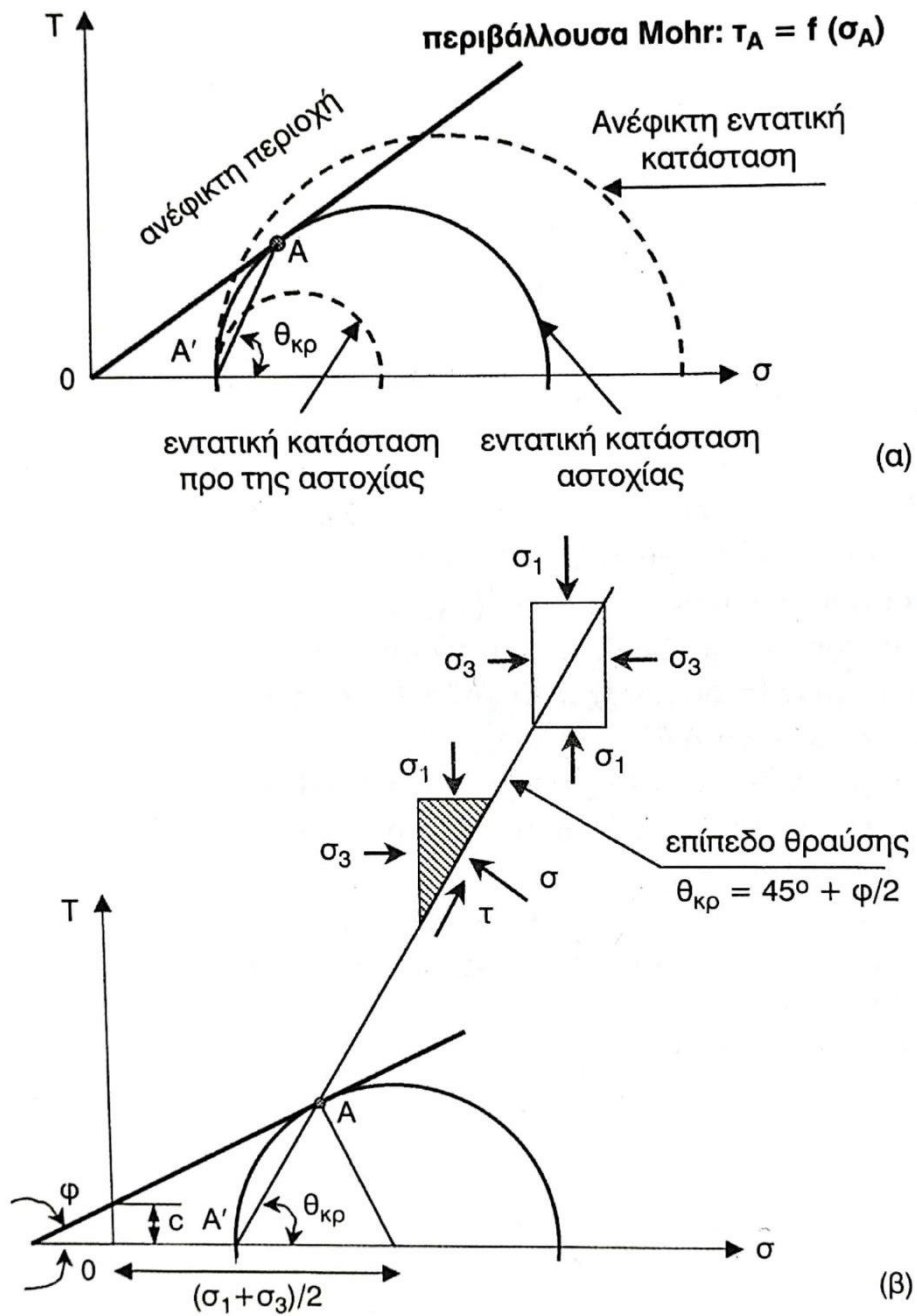
Με βάση την αρχή των ενεργών τάσεων τελικά ο τύπος Mohr – Coulomb διαμορφώνεται ως εξής:

$$\tau_A = c + \sigma'_A * \epsilon\phi\phi$$

όπου σ'_A η ενεργή ορθή τάση που αναλαμβάνεται από τον εδαφικό σκελετό.

Τέλος η γωνία του επιπέδου αστοχίας μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον τύπο:

$$\theta_{\kappa\rho} = 45^\circ + \phi / 2$$



Εικόνα 3 α) Φυσική περιβάλλουσα αστοχίας, β) εδαφικό στοιχείο που επιβάλλεται σε τριαξονική φόρτιση

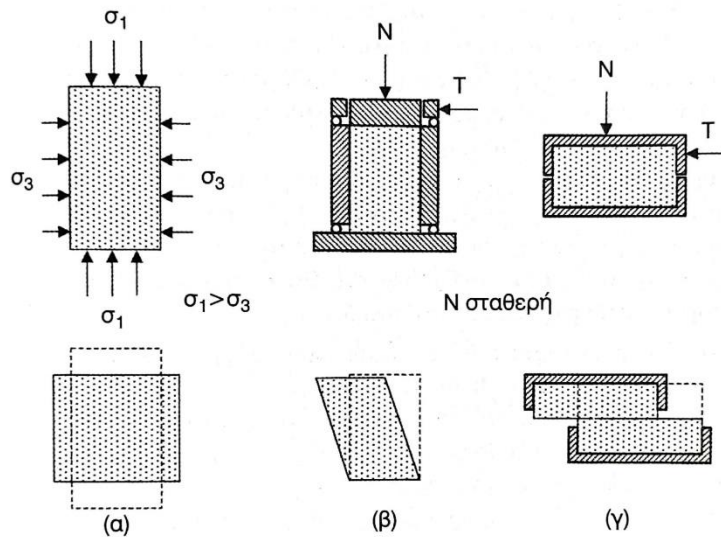
1.4. Εκτίμηση παραμέτρων διατμητικής αντοχής εδαφών - εργαστηριακή προσομοίωση

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων διατμητικής αντοχής ενός εδαφικού σχηματισμού προϋποθέτει την εκτέλεση εργαστηριακών ή επί τόπου δοκίμων. Οι σπουδαιότερες εργαστηριακές δοκιμές, στις οποίες η επιβαλλόμενη εντατική κατάσταση και ο αντίστοιχος τρόπος παραμόρφωσης φαίνονται ενδεικτικά στην εικόνα 5 και είναι:

- Η δοκιμή τριαξονικής φόρτισης. Κατά την εκτέλεση της το κυλινδρικό εδαφικό δοκίμιο περιβάλλεται από ελαστική μεμβράνη και τοποθετείται σε ειδική κυψέλη (κελί), όπου επιβάλλεται σε αυτό σταθερή πλευρική πίεση σ_3 . Παράλληλα επιβάλλεται κατακόρυφα μέσω του εμβόλου της μηχανής συμπίεσης, αυξανόμενη αξονική τάση σ_1 , μέχρι την θραύση του.
- Η δοκιμή απευθείας διάτμησης (Direct shear). Κατά την εκτέλεσή της το εδαφικό δοκίμιο περιβάλλεται από ελαστική μεμβράνη και τοποθετείται στο εσωτερικό δύο μεταλλικών δακτυλίων, όπου επιβάλλεται σταθερό κατακόρυφο ορθό φορτίο (N) καθώς και διατμητική (οριζόντια) αυξανόμενη δύναμη (T) μέχρι τη θραύση του.
- Η δοκιμή απλής διάτμησης (simple shear). Η δοκιμή αυτή είναι παρόμοια με την προηγούμενη με τη διαφορά ότι το δοκίμιο περιβάλλεται από ειδική μεμβράνη και υποβάλλεται σε ομοιόμορφη εντατική κατάσταση (διάτμηση).



Εικόνα 4 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 5 Επιβαλλόμενη εντατική κατάσταση και τρόπος παραμόρφωσης α) τριαξονικής δοκιμής, β) δοκιμής απλής διάτμησης και γ) δοκιμής απευθείας διάτμησης (Τεχνική Γεωλογία)

1.5. Διατμητική αντοχή σε μη συνεκτικά (κοκκώδη) εδάφη

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η κυρία παράμετρος που οριοθετεί την διατμητική αντοχή των καθαρά κοκκωδών εδαφικών υλικών είναι η γωνία τριβής των κόκκων (ϕ) ενώ, λόγω υψηλής υδροπερατότητας, οι εξωτερικά επιβαλλόμενες τάσεις αναλαμβάνονται πλήρως και άμεσα από τον εδαφικό σκελετό (δηλαδή $u = 0$).

Από αποτελέσματα δοκίμων σε άμεση (απευθείας) διάτμηση πυκνής ($D_r = 99\%$) και χαλαρής ($D_r = 10\%$) άμμου σε ξηρή κατάσταση έχουν προκύψει τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Στην χαλαρή άμμο η διατμητική αντίσταση αυξάνεται με την διατμητική μετατόπιση μέχρι τη μέγιστη τιμή τ_f ($\tau_{failure}$). Στη συνέχεια παραμένει σχεδόν σταθερή κάτω από αυξανόμενη διατμητική μετατόπιση. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μείωση του όγκου και αντίστοιχη μείωση του ύψους του δοκιμίου (δηλαδή συστολή η συμπίκνωση).
- Στην πυκνή άμμο η διατμητική αντίσταση αυξάνεται με την διατμητική μετατόπιση μέχρι την τιμή θραύση τ_i , που ονομάζεται μέγιστη διατμητική αντοχή (peak shear strength). Στη συνέχεια η διατμητική αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της διατμητικής μετατόπισης μέχρι που τελικά φτάνει μία σταθερή τελική τιμή τ_u (Ultimate shear strength). Παρατηρείται γενικά αύξηση της διασταλτικότητας και αντίστοιχη αύξηση του ύψους του δοκιμίου (δηλαδή διαστολή).
- Είναι προφανές ότι η γωνία τριβής (ϕ) της πυκνής άμμου είναι μεγαλύτερη από αυτήν της χαλαρής, δηλαδή η γωνία τριβής εξαρτάται από την σχετική πυκνότητα του κοκκώδους εδάφους. Επίσης έχουμε αύξηση του λόγου των κενών για τη χαλαρή άμμο και αντίστοιχη μείωση για την πυκνή, που τείνουν προς μία συγκεκριμένη για το έδαφος τιμή e_{cr} . Η συμπεριφορά αυτή των κοκκωδών εδαφών έχει περιγραφεί από τους Lee (1965) και Koerner (1968).

Σχετικά με τις άμμους, σε γενικές γραμμές η διατμητική αντοχή τους είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι η πυκνότητα εναπόθεσης (δηλαδή D_r ή και e) και το πεδίο εντατικής κατάστασης. Οι Holtz and Kovacs (1981) ανακεφαλαιώνουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την διατμητική αντοχή των άμμων, δηλαδή τη γωνία ϕ και δίνουν τον πίνακα 1.

Πίνακας 1 Σύνοψη των παραγόντων που επηρεάζουν τη γωνία ϕ (Holtz and Kovacs 1981)

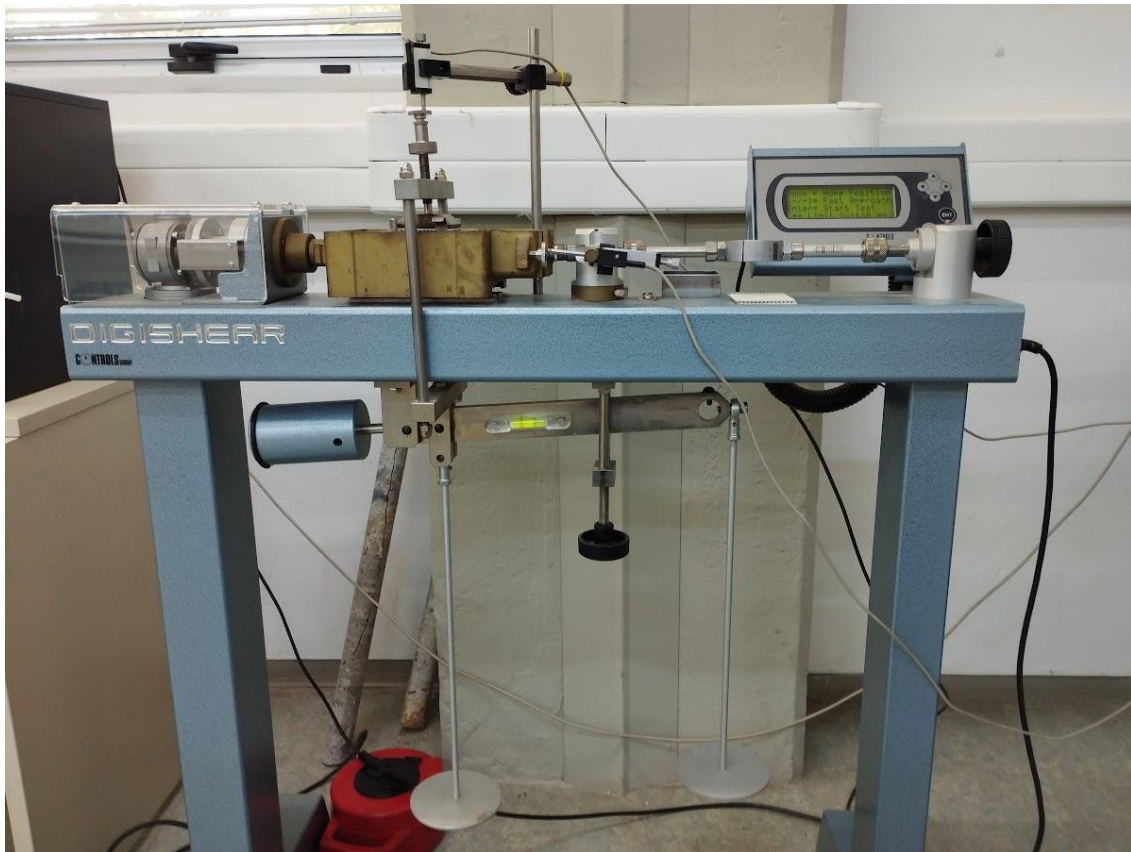
| ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ | ΕΠΙΔΡΑΣΗ |
|------------------------------|--|
| Λόγος κενών, e | $e \uparrow, \phi \downarrow$ |
| Γωνιώδες σχήμα κόκκων, A | $A \uparrow, \phi \uparrow$ |
| Κοκκομετρική διαβάθμιση | $C_u \uparrow, \phi \uparrow$ |
| Επιφανειακή Τραχύτητα, R | $R \uparrow, \phi \uparrow$ |
| Υγρασία, w | $w \uparrow, \phi \downarrow$ ελάχιστα |
| Μέγεθος Κόκκων, S | Καμία επίδραση (με σταθερό e) |
| Προστερεοποίηση ή προφόρτιση | Μικρή επίδραση |

1.6. Δοκιμή απευθείας διάτμησης (ASTM D3080 – 11)

Η δοκιμή απευθείας διάτμησης αποτελεί μια σημαντική διαδικασία στον τομέα των υλικών και των κατασκευών, η οποία επιδιώκει να μελετήσει την αντοχή ενός υλικού ή ενός δοκιμίου στις δυνάμεις που ασκούνται κατά μήκος ενός επίπεδου στη διεύθυνση της διάτμησης. Αυτή η δοκιμή αποτελεί κρίσιμη διαδικασία για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των κατασκευών, καθώς επιτρέπει την κατανόηση της συμπεριφοράς των υλικών κατά την διάτμηση και την αναγνώριση των παραμέτρων που επηρεάζουν την αντοχή τους σε αυτήν την διακύμανση δυνάμεων. Με αυτόν τον τρόπο εξετάζεται η σημασία της δοκιμής απευθείας διάτμησης στον τομέα της μηχανικής και κατασκευών, καθώς και ο τρόπος που πραγματοποιείται η δοκιμή αυτή.

1.7. Συσκευή απευθείας διάτμησης

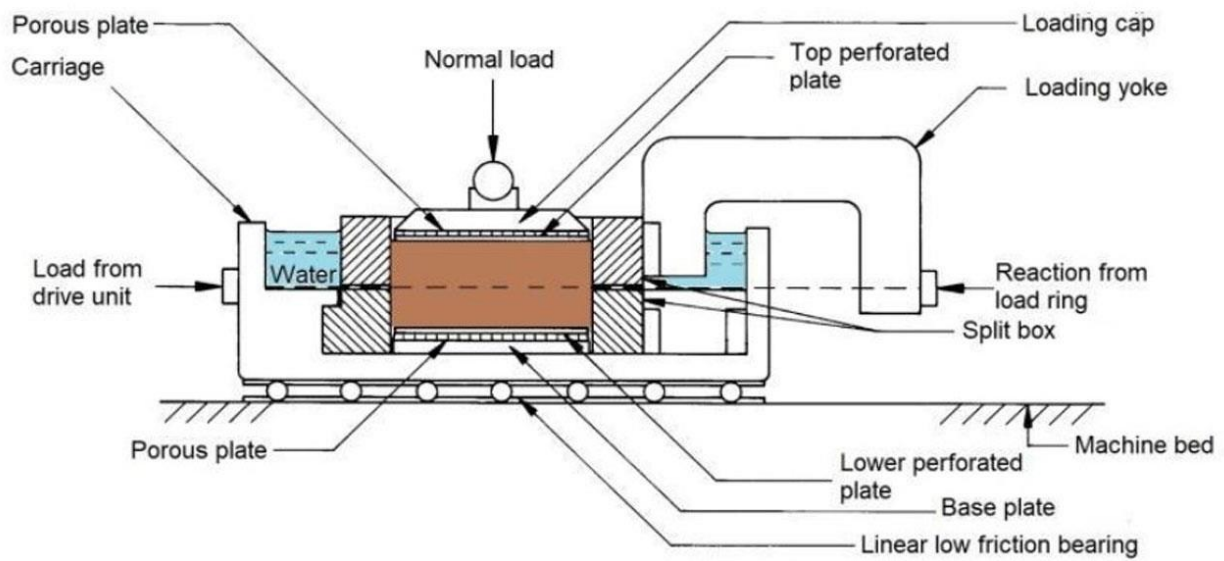
Η συσκευή απευθείας διάτμησης φαίνεται στην εικόνα 6 ενώ ο υποδοχέας που συγκρατεί το δείγμα δίνεται στην εικόνα 8. Το έδαφος θραύεται κατά μήκος προκαθορισμένης από τη συσκευή επιφάνειας (επιφάνεια διάτμησης), με την οριζόντια μετακίνηση του ενός (άνω) τμήματος του υποδοχέα που περιέχει το δοκίμιο σε σχέση με το άλλο. Έτσι στη δοκιμή αυτή καταγράφεται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους σε σχέση με την ορθή τάση, που επιβάλλεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Σκοπός της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων και διατμητικής αντοχής του εδάφους.



Εικόνα 6 Συσκευή απευθείας διάτμησης (direct shear) (Προσωπική λήψη)

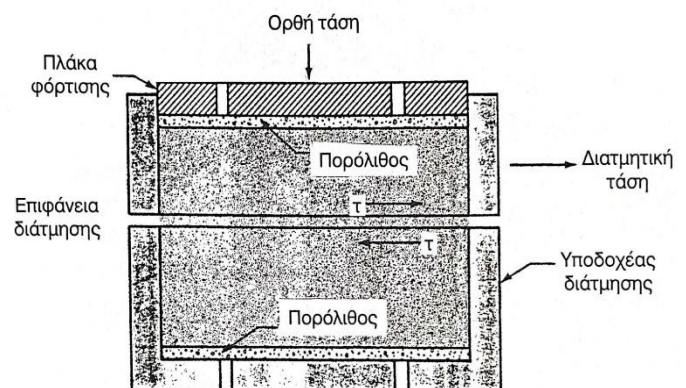
Το εδαφικό δοκίμιο συνήθως είναι αδιατάρακτο, κυλινδρικού σχήματος με ελάχιστο πάχος 12.5mm μέτρα και διάμετρο 50mm περίπου. Κατά τη δοκιμή μπορεί να μετρηθούν πέρα από την διατμητική τάση, με ειδικά μηκυσιόμετρα παραμόρφωσης, η μεταβολή του ύψους του δοκιμίου (επομένως και η αλλαγή του όγκου) καθώς και η οριζόντια μετατόπιση. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται σε παρόμοια δοκίμια (τουλάχιστον τρία) από το ίδιο έδαφος για διαφορετικό ορθό φορτίο. Γενικά η δοκιμή έχει εφαρμογή σε συνεκτικά και σε μη συνεκτικά εδάφη, είναι δε δυνατόν να εκτελεστεί κατά τρεις τρόπους ως εξής:

- Ταχεία δοκιμή χωρίς προηγούμενη στερεοποίηση
- Ταχεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση
- Βραδεία δοκιμή με στερεοποίηση



Typical setup for a direct shear test

Εικόνα 7 Διάταξη άμεσης διάτμησης (geotechdata.info)



Εικόνα 8 Πραγματική και σχηματική διάταξη του υποδοχέα της συσκευής άμεσης διάτμησης (Προσωπική λήψη – Τεχνική Γεωλογία)

1.8. Ταχεία δοκιμή χωρίς προηγούμενη στερεοποίηση

Η διαδικασία διάτμησης ξεκινά αμέσως μετά την επιβολή της ορθής τάσης, ενώ η ταχύτητα με την οποία επιβάλλεται η παραμόρφωση πρέπει να ρυθμίζεται ούτως ώστε η συνολική διάρκεια της δοκιμής να μην υπερβαίνει τα 15 έως 20 λεπτά. Ο ρυθμός αυτής της διατμητικής παραμόρφωσης κυμαίνεται περίπου στο 0,5% έως 2% της διαμέτρου του δοκιμίου ανά λεπτό. Η διάτμηση συνεχίζεται μέχρι το σημείο όπου η διατμητική τάση αποκτά σταθερή τιμή με την αύξηση της διατμητικής παραμόρφωσης, ή μέχρι να φτάσει η διατμητική παραμόρφωση το 10% της αρχικής διαμέτρου του

δοκιμίου. Για την αποφυγή της απώλειας υγρασίας το δοκίμιο παραμένει σε διαβροχή κατά τη διάρκεια της διάτμησης.

Σχετικά με την ορθή τάση συνήθως αυτή επιλέγεται μικρότερη, ίση και μεγαλύτερη από την τάση λόγω υπερκείμενων για τα τρία δοκίμια, αντίστοιχα. Η τάση λόγω υπερκείμενων ή γεωστατική τάση δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_v = \rho * g * h$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του υλικού, g η επιτάχυνση της βαρύτητας και h το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων.

Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι σε βάθος $h_1 < h$ τότε το εδαφικό υλικό βρίσκεται σε καθεστώδες ενεργών τάσεων οπότε η γεωστατική τάση (ενεργή) δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_v' = \rho g h_1 + (\rho - \rho_w) g (h - h_1)$$

όπου ρ_w είναι η πυκνότητα του νερού.

Όταν το αργιλικό έδαφος είναι προστερεοποιημένο πρέπει να προσδιοριστεί η τάση προστερεοποίησης (με βάση τη δοκιμή στερεοποίησης) και ανάλογα να επιλεγεί η ορθή τάση. Εάν δεν είναι εφικτό η εφαρμοζόμενη ορθή τάση να είναι μεγαλύτερη από την τάση προστερεοποίησης, τότε το δοκίμιο θραύεται σαν προστερεοποιημένο και παρουσιάζει μεγάλη αντοχή που οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεγάλη συνοχή του και στη μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία σε σχέση με τον δείκτη υδαρότητας.

1.9. Ταχεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου

Η στερεοποίηση γίνεται με πίεση ίση με την ορθή τάση που θα ασκηθεί κατά τη διάτμηση. Το δοκίμιο αφήνεται μέχρι ολοκλήρωσης της πρωτεύουσας στερεοποίησης (σταθερό ύψος στο δοκίμιο με την πάροδο του χρόνου, κάτω από την ίδια πίεση). Μετά τη στερεοποίηση γίνεται διάτμηση με τον τρόπο που περιεγράφηκε στην προηγούμενη δοκιμή. Και στην περίπτωση αυτή το δοκίμιο παραμένει σε διαβροχή για την αποφυγή απώλειας υγρασίας στα στάδια στερεοποίησης και διάτμησης.

1.10. Βραδεία δοκιμή με στερεοποίηση

Αφού πραγματοποιηθεί η στερεοποίηση του δοκιμίου υπό την επιλεγμένη κάθε φορά ορθή τάση, πραγματοποιείται και η διάτμηση με βραδεία επιβολή της διατμητικής παραμόρφωσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ολοκληρωτική εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων. Στην ουσία πραγματοποιείται διάτμηση με συνθήκες στράγγισης. Το δείγμα παραμένει σε διαβροχή, δηλαδή ο υποδοχέας που το συγκρατεί γεμίζεται με απεσταγμένο νερό από την αρχή μέχρι το τέλος της διαδικασίας. Ο χρόνος υποβολής της διατμητικής παραμόρφωσης εξαρτάται από τον συντελεστή υδροπερατότητας k του δείγματος. Στις άμμους, όπου το k είναι υψηλό, ο χρόνος είναι γρήγορος, ενώ στις αργίλους που το k είναι πολύ μικρό, ο χρόνος μπορεί να κυμαίνεται από 2 έως 5 ημέρες.

Επειδή η υδροπερατότητα εξαρτάται από το συντελεστή στερεοποίησης, τα δεδομένα της στερεοποίησης (υποχώρηση δοκιμίου σε χρονικά διαστήματα της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου, \sqrt{t}) που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κατάλληλου χρόνου θραύσης.

Έτσι, ένας εμπειρικός τρόπος είναι να κατασκευαστεί το διάγραμμα "υποχωρήσεων - \sqrt{t} " και να προσδιοριστεί το t_{90} (που αντιστοιχεί στο 90% στερεοποίησης). Ο χρόνος θραύσης, t_f , στη συνέχεια υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_f = 12.7 * t_{90} \text{ (min)}$$

Ο ρυθμός παραμόρφωσης προσδιορίζεται στη συνέχεια με προσέγγιση, διαιρώντας την εκτιμώμενη διατμητική παραμόρφωση (10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου) με τον χρόνο t_f . Η βραδεία δοκιμή σε στερεοποιημένα δοκίμια θεωρείται πλέον πιο αντιπροσωπευτική και συνιστάται η εκτέλεση της σε σύγκριση με τους άλλους δύο τύπους.

Μετά το τέλος της δοκιμής το δοκίμιο αφαιρείται από τον υποδοχέα, ξηραίνεται και ζυγίζεται για το διορισμό του ξηρού βάρους.

Στο φύλλο της δοκιμής (εικόνα 9) που ακολουθεί δίνονται οι μετρήσεις και υπολογισμοί, καθώς επίσης και το αντίστοιχο διάγραμμα υπολογισμού των παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ , κατά την εκτέλεση μιας ταχείας δοκιμής. (Κούκης και Σαμπατακάκης 2019)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ
Εδαφικού Δοκιμίου

ΕΡΓΟ : ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Τεφρή ιλυώδης άμμος

Γεώτρηση Γ. 1 **Βάθος :** (26,00 - 26,50) m
Δείγμα :

| | | | | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------|---------|
| Διάμετρος <i>D = cm</i> | Ύψος <i>H = cm</i> | Βάρος <i>W = gr</i> | Σ. Δακτ. <i>kPa</i> | Φυσική | Υγρασία |
| 6,33 | 2,14 | 136,70 | 0,46 | Αρ. Δοχ. 42 | |

| Οριζόντια Μετατόπιση (mm) | Ορθό Φορτίο (kg) 1 | | Ορθό Φορτίο (kg) 2 | | Ορθό Φορτίο (kg) 3 | |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | Ορθή Τάση 100 kPa | | Ορθή Τάση 200 kPa | | Ορθή Τάση 300 kPa | |
| | Αναγν. δακτυλ. | Διατμ.τάση (kPa) | Αναγν. δακτυλ. | Διατμ.τάση (kPa) | Αναγν. δακτυλ. | Διατμ.τάση (kPa) |
| 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 0,5 | 68 | 31,28 | 111 | 51,06 | 168 | 77,28 |
| 1,0 | 103 | 47,38 | 162 | 74,52 | 236 | 108,56 |
| 1,5 | 129 | 59,34 | 196 | 90,16 | 290 | 133,40 |
| 2,0 | 156 | 71,76 | 226 | 103,96 | 335 | 154,10 |
| 2,5 | 177 | 81,42 | 256 | 117,76 | 376 | 172,96 |
| 3,0 | 188 | 86,48 | 284 | 130,64 | 413 | 189,98 |
| 3,5 | 197 | 90,62 | 310 | 142,60 | 454 | 208,84 |
| 4,0 | 203 | 93,38 | 336 | 154,56 | 493 | 226,78 |
| 4,5 | 211 | 97,06 | 361 | 166,06 | 534 | 245,64 |
| 5,0 | 210 | 96,60 | 376 | 172,96 | 573 | 263,58 |
| 6,0 | 202 | 92,92 | 395 | 181,70 | 616 | 283,36 |
| 7,0 | 202 | 92,92 | 411 | 189,06 | 630 | 289,80 |
| 8,0 | 202 | 92,92 | 416 | 191,36 | 632 | 290,72 |

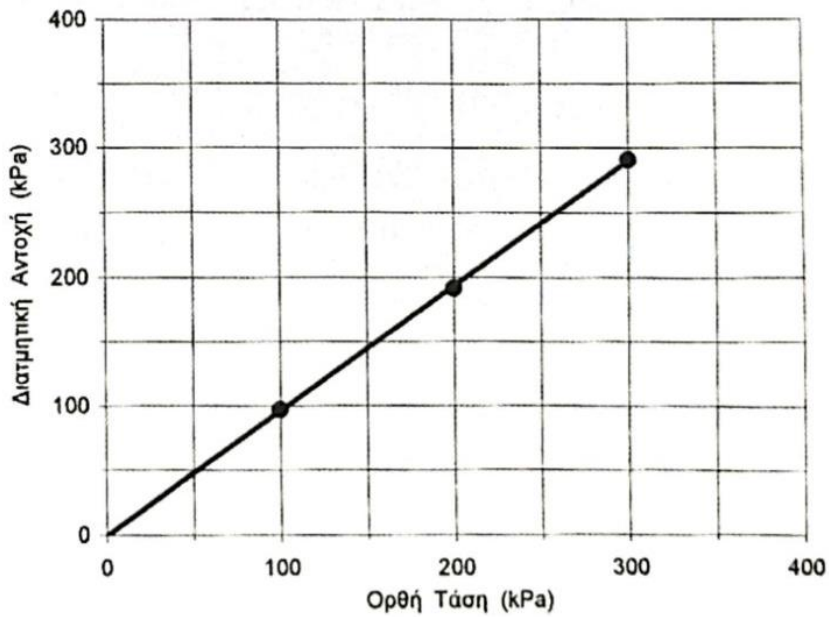
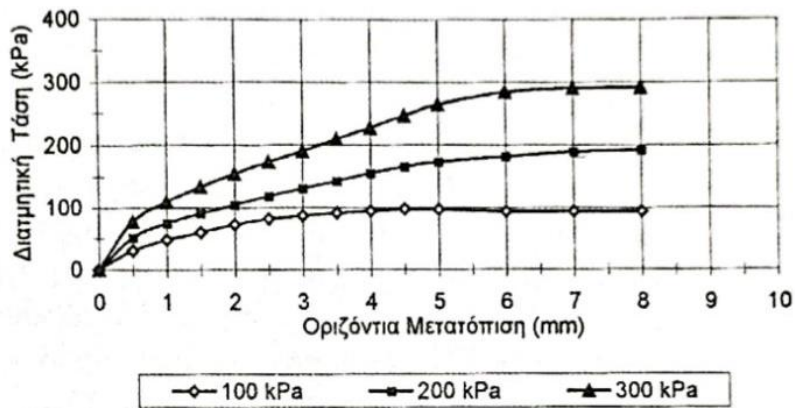
| | |
|-------------|--------|
| Βάρ.Υγρό | 189,50 |
| Βάρ.Ξηρό | 157,50 |
| Βάρ. Δοχ. | 22,20 |
| Υγρασία (%) | 23,65 |

Υγρό Φαινόμενο
Βάρος (t/m³):
2,03

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ
 ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ**
 Εδαφικού Δοκιμίου

ΕΡΓΟ : ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΠΑΤΡΩΝ

Γεώτρηση Δείγμα : Γ. 1 Βάθος : (26,00 - 26,50) m



| | |
|--------------------------|--|
| Φυσική Υγρασία % = 23,65 | Υγρό Φαιν. Βάρος t/m^3 = 2,03 |
| $\varphi = 44,1$ (°) | $c = 0,61$ kPa |

ΕΔΑΦ Ε.105-86 (16)

Εικόνα 9 Επίσημα φύλλα δοκιμών, αποτελεσμάτων και διαγραμμάτων κατά την εκτέλεση δοκιμής άμεσης διάτμησης (Τεχνική Γεωλογία)

2. Γεωυφάσματα

Τα γεωυφάσματα και γενικότερα όλα τα γεωσυνθετικά υλικά αποτελούν μία σημαντική και καινοτόμα προσέγγιση στον χώρο της γεωτεχνικής και της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Πρόκειται για υλικά που συνδυάζουν τη φύση με την τεχνολογία, ενσωματώνοντας συνθετικές ίνες πολυμερών σε γεωτεχνικά υλικά, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και της αντοχής των κατασκευών με έναν πιο οικονομικό και ταχύ τρόπο. Ακόμα εξετάζεται η φύση και τα χαρακτηριστικά των γεωυφασμάτων, καθώς και οι διάφορες εφαρμογές στον τομέα των κατασκευών, αναλύονται τα πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρουν αυτά τα υλικά, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο συμβάλουν στην ασφάλεια, την ανθεκτικότητα και την αποδοτικότητα των έργων κατασκευής. Τέλος εξετάζεται πως τα γεωυφάσματα συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος και στην βιώσιμη ανάπτυξη των κατασκευών.

2.1. Τα προβληματικά εδάφη και οι κλασσικές λύσεις της εδαφομηχανικής

Ο Προφυλλίδης στο βιβλίο του “Γεωυφάσματα, Μηχανική και υδραυλική συμπεριφορά – εφαρμογές” αναφέρει ότι οι περιπτώσεις όπου το έδαφος θεμελίωσης ενός τεχνικού έργου δεν έχει ικανοποιητική συμπεριφορά αποτέλεσαν μόνιμο πρόβλημα στην επιστήμη της εδαφομηχανικής. Ο ευκολότερος και κλασικότερος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος μέχρι πριν κάποια χρόνια ήταν να μην τεθεί καν το πρόβλημα, παρακάμπτοντας την περιοχή του προβληματικού εδάφους και αναζητώντας άλλο υγιέστερο εδαφικό υλικό.

Όμως η αδυναμία εξεύρεσης ελεύθερων χώρων και η σημαντική αύξηση του κόστους χρήσεων γης οδήγησαν τα τελευταία χρόνια στη θεμελίωση πολλών, και μάλιστα σημαντικών και ευαίσθητων τεχνικών έργων πάνω σε εδάφη πιο “προβληματικά” (π.χ. μικρής φέρουσας ικανότητας, κορεσμένα με νερό, μεγάλης συμπιεστότητας και τα λοιπά), Η ανάγκη αυτή έκανε πιο επιτακτική τη μελέτη του όλου προβλήματος.

Τρεις ήταν οι συνηθέστεροι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος,

1) Μεταφορά των φορτίων στο προβληματικό έδαφος χωρίς αφαίρεση του τελευταίου.

Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- προσωρινές προφορτίσεις ή πλευρικές επιφορτίσεις,

- συμπύκνωση των μη συνεκτικών εδαφών με έμπηξη πασσάλων, συσκευές δόνησης ή με διενέργεια εκρήξεων,
- κατακόρυφα στραγγιστήρια ή στραγγιστικές τάφρους,
- υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα,
- ειδικές, ανάλογα με την περίπτωση, μεθόδους όπως η ηλεκτρόσμωση και λοιπά.

2) Αφαίρεση μέρους η ολόκληρου του προβληματικού εδάφους, όπου εφαρμόζεται συνήθως μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- μετατόπιση του συμπιεστού εδάφους με γρήγορη εφαρμογή στατικής φόρτισης,
- απομάκρυνση του συμπιεστού εδάφους με μηχανικά μέσα.

3) Μεταφορά των φορτίων με τη βοήθεια πασσάλων σε υγιέστερο εδαφικό υλικό που βρίσκεται πιο βαθιά.

Πολλά τεχνικά έργα κατασκευάστηκαν τα τελευταία χρόνια πάνω σε προβληματικά εδάφη χρησιμοποιώντας κάποια από τις προηγούμενες μεθόδους. Κάποιες περιπτώσεις είναι η οδός Αθηνών - Λαμίας, το αεροδρόμιο Κέρκυρας, η οδός Πύργου – Κυπαρισσίας, η σιδηροδρομική γραμμή Δομοκού – Ορφανών.

Στις προηγούμενες περιπτώσεις των προβληματικών εδαφών αλλά και σε πολλές άλλες περιπτώσεις κατασκευής και προστασίας τεχνικών έργων μπορεί να δώσει ικανοποιητική λύση η τεχνική των γεωφασμάτων. (Προφυλλίδης 1985)

2.2. Γεωσυνθετικά υλικά

Ο όρος “γεωσυνθετικά υλικά” αποδίδεται αναλυτικά στο βιβλίο των Κούκη και Σαμπατακάκη “Γεωλογία τεχνικών έργων” (2007) και αναφέρεται γενικά στα συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές της γεωτεχνικής μηχανικής και σε συναφείς κατασκευές, σε συνδυασμό συνήθως με κατάλληλα εδαφικά υλικά (γεωυλικά). Τα γεωσυνθετικά υλικά έχουν μορφή φύλλου (επίπεδη), δυνατότητα κάλυψης μεγάλων επιφανειών, μικρό πάχος και είναι βιομηχανικά παραγόμενα υλικά σε μορφή ρολών. Κατασκευάζονται από συνθετικές ίνες που προέρχονται από διάφορα πολυμέρη (πολυπροπυλένιο, πολυεστέρας, πολυαμίδιο, πολυαιθυλένιο). Χρησιμοποιούνται τα τελευταία είκοσι περίπου χρόνια στα τεχνικά έργα με συνεχώς

αυξανόμενους ρυθμούς, ενώ η ποιότητα και η ανθεκτικότητα τους συνεχώς βελτιώνονται και γίνονται ολοένα και περισσότερο φιλικά στο περιβάλλον.

Εξυπηρετούν τους εξής βασικούς σκοπούς στα πλαίσια της κατασκευής των τεχνικών έργων (Κούκης – Σαμπατακάκης 2007):

- α) βελτίωση της αποστράγγισης,
- β) διαχωρισμός εδαφικών στρώσεων,
- γ) βελτίωση - ενίσχυση εδάφους θεμελίωσης,
- δ) ενίσχυση πρανών και επιχωμάτων,
- ε) επένδυση - προστασία πρανών.

Οι κύριοι λόγοι που έχουν οδηγήσει στην γρήγορη ανάπτυξη και συνεχώς αυξανόμενη χρήση των γεωσυνθετικών υλικών είναι:

- η βελτίωση της ασφάλειας κατασκευής των τεχνικών έργων
- η μείωση του συνολικού κόστους κατασκευής και συντήρησης λόγω της γρήγορης τοποθέτησής τους στο πεδίο, της δυνατότητας αντικατάστασης τοπικά δυσεύρετων ή ακριβών αδρανών υλών (π.χ. διαβαθμισμένων υλικών φίλτρου) και επίσης του αυξημένου ωφέλιμου χρόνου ζωής τους
- οι δυνατότητες αντιμετώπισης ειδικών αναγκών για νέου τύπου κατασκευές, π.χ. διάθεση αποβλήτων

2.3. Κατηγορίες γεωσυνθετικών υλικών

Τα γεωσυνθετικά υλικά διακρίνονται στις παρακάτω κυρίες κατηγορίες (UTF Geosynthetic manual):

- γεωυφάσματα (geotextiles) τα οποία είναι διαπερατά με αποκλειστική σύνθεση υφάσματος
- γεωπλεγμάτα (geogrids) τα οποία έχουν ορθογώνιο καννάβου με σχετικά μεγάλα ανοίγματα
- γεωμεμβράνες (geomembrans) οι οποίες είναι πρακτικά αδιαπέρατα φύλλα
- γεωσύνθετα (geocomposites) τα οποία είναι συνδυασμός των παραπάνω κατηγοριών (π.χ. γεωυφάσματα συγκολλημένα μεμβράνες, γεωυφάσματα ενισχυμένα με γεωπλέγματα και τα λοιπά)

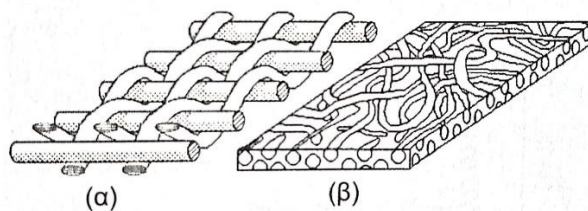
2.4. Κατηγορίες και είδη γεωυφασμάτων

Πρόκειται για υλικά που είναι σύνθετα και διαπερατά και μοιάζουν με υφάσματα, τα οποία ενσωματώνονται σε μια κατασκευή, συνήθως σε συνδυασμό με άλλα γεωυλικά. Στόχος τους είναι η βελτιστοποίηση της απόδοσης της κατασκευής και η ελαχιστοποίηση του κόστους της (ASTM-D4439). Τα γεωυφάσματα αποτελούνται από συνθετικές ίνες πολυμερών, είναι ανθεκτικά στη χημική διάβρωση και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τεχνικών έργων, παρέχοντας τις απαιτούμενες ιδιότητες (μηχανικές, φυσικές, υδραυλικές) ανάλογα με τις ανάγκες που υπάρχουν κάθε φορά. Έχουν πάχος από 0.4 mm μέχρι και πλέον των 7 mm, βάρος από 50 gr/m² μέχρι και πλέον των 1000 gr/m² και είναι διαθέσιμα σε ρολά με συνηθισμένο πλάτος 5 m περίπου.

Γενικά, ανάλογα με τον τρόπο που κατασκευάζονται, υπάρχουν δύο κυρίες κατηγορίες γεωυφασμάτων (UTF Geosynthetics manual):

- τα υφαντά (woven), τα οποία κατασκευάζονται με κλασικές μεθόδους ύφανσης (υφαντουργικές μηχανές), δηλαδή πολλαπλή διασταύρωση δύο κάθετων μεταξύ τους συστημάτων ινών που δημιουργούν δύο αλληλοσυνδεόμενα στρώματα (εικόνα 10)
- τα μη υφαντά (non-woven), στα οποία οι ίνες είναι ακανόνιστα τοποθετημένες και συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας διάφορες σύγχρονες τεχνικές συγκόλλησης (εικόνα 10). Ταξινομούνται ανάλογα με το μήκος των ινών (ταξινόμηση A) σε συνεχείς και κοντές ίνες (5 - 20 cm) και ανάλογα με τη διαμόρφωσή τους (ταξινόμηση B) σε μηχανικής διαμόρφωσης (βελονωτά) θερμικής και χημικής.

Πέραν των παραπάνω κατηγοριών διακρίνονται και άλλες επιπλέον υποκατηγορίες ή ακόμα είναι δυνατόν να γίνεται συνδυασμός των δύο παραπάνω βασικών κατηγοριών για την κατασκευή ενός γεωυφάσματος (σύνθετα γεωυφάσματα).



Εικόνα 10 Κύριες κατηγορίες γεωυφασμάτων, α) υφαντά και β) μη υφαντά γεωυφάσματα (Γεωλογία τεχνικών έργων)



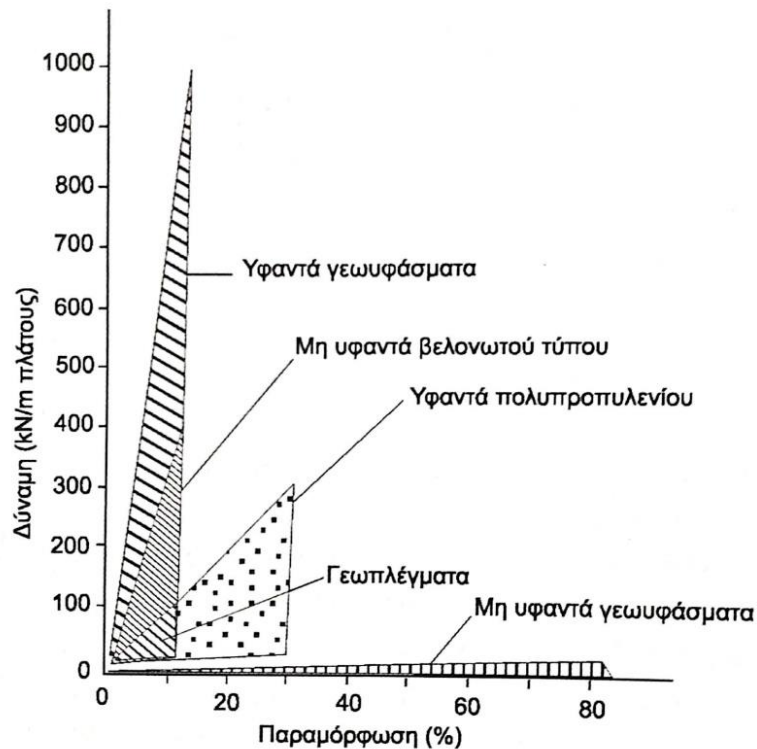
Εικόνα 11 Υφαντά και μη υφαντά γεωυφάσματα (monosimacon.com)

Γενικά, διαμορφώνονται οι παρακάτω διαφοροποιήσεις σχετικά με τα βασικά χαρακτηριστικά των γεωυφασμάτων:

- Τα μη υφαντά υλικά εκδηλώνουν σχεδόν ισότροπη συμπεριφορά, ενώ αντιθέτως, τα υφαντά υλικά εμφανίζουν σημαντικό βαθμό ανισοτροπίας. Αυτό αποτελεί ένα αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα των μη υφαντών υλικών.
- Τα υφαντά υλικά εμφανίζουν μικρή παραμορφωσιμότητα, αλλά σε πολλές περιπτώσεις, αυτό αποτελεί ανάγκη, καθώς σε ένα γεωυφάσμα η ευελιξία και η δυνατότητα αντιμετώπισης σημαντικών παραμορφώσεων συνήθως είναι ουσιώδης απαίτηση.
- Τα υφαντά υλικά εκδηλώνουν μεγαλύτερη αντοχή, αλλά συνήθως αναφέρεται κατά μήκος της πιο ευνοϊκής κατεύθυνσης των ινών, αγνοώντας έτσι τη μεγάλη ανισοτροπία που υπάρχει σε άλλες κατευθύνσεις.
- Τα μη υφαντά γεωυφάσματα διαθέτουν μεγάλο εύρος διαμέτρων πόρων, κάτι που τους παρέχει εξαιρετικές ικανότητες διήθησης.

Στην εικόνα 12 δίνονται ενδεικτικά διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων για διάφορα γεωσυνθετικά υλικά και κυρίως γεωυφάσματα, όπου φαίνεται η σημαντική διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών τους ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους. Για παράδειγμα, ένα μη υφαντό γεωύφασμα είναι πολύ χρήσιμο σε περιπτώσεις που απαιτούνται υψηλές παραμορφώσεις (π.χ. αποστράγγιση στην βάση υψηλών επιχωμάτων), ενώ αντίθετα ένα υφαντό γεωύφασμα που παρουσιάζει ψαθυρή συμπεριφορά, είναι κατάλληλο για περιπτώσεις ενίσχυσης του εδάφους. Επίσης,

φαίνεται η σημαντική επίπτωση του είδους του υλικού κατασκευής (πολυμερούς) στη συμπεριφορά του γεωυφάσματος. Για παράδειγμα, ο πολυεστέρας αποτελεί το πλέον κατάλληλο πολυμερές για την κατασκευή γεωσυνθετικών που θα χρησιμοποιηθούν στην ενίσχυση σκληρών εδαφών, καθόσον έχει υψηλή αντοχή σε ερπυσμό.



Εικόνα 12 Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων σε διάφορους τύπους γεωυφασμάτων (Γεωλογία τεχνικών έργων)

2.5. Χαρακτηριστικά - ποιοτικός έλεγχος γεωυφασμάτων

Η ευρεία χρήση των γεωυφασμάτων σε όλα σχεδόν τα τεχνικά έργα έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή από πολλές βιομηχανικές εταιρείες ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών τύπων γεωυφασμάτων. Κάθε τύπος αναφέρεται συνήθως σε συγκεκριμένες λειτουργίες, που μπορεί το συγκεκριμένο γεωύφασμα να επιτελέσει κατά τη χρήση του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάθε βιομηχανικά παραγόμενο προϊόν να χαρακτηρίζεται από κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες, οι οποίες κατά κάποιο τρόπο πιστοποιούν την ποιότητα του και τον τρόπο χρήσης του. Οι πλέον σημαντικές από τις ιδιότητες αυτές είναι οι εξής (Κούκης – Σαμπατακάκης 2007):

- Ιδιότητες που αφορούν την γεωμετρία (κυρίως πάχος και βάρος) του γεωυφάσματος
- Υδραυλικές ιδιότητες που αναφέρονται κυρίως στη διαπερατότητα σε διευθύνσεις κάθετες και παράλληλες στην επιφάνεια του γεωυφάσματος
- Μηχανικές ιδιότητες που έχουν σχέση με την αντίσταση που παρουσιάζει το γεωύφασμα σε μηχανική καταπόνηση από επιβαλλόμενα φορτία ή και λόγω των συνθηκών που επικρατούν κατά την τοποθέτησή τους στο πεδίο (αντίσταση σε διάτρηση, παραμόρφωση, αντοχή σε εφελκυσμό, σε σχίσιμο)
- Ιδιότητες ανθεκτικότητας του γεωυφάσματος στο χρόνο κατά τη χρήση του, καθώς επίσης και του βαθμού αποδόμησης που υφίσταται από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες

Οι βασικές εργαστηριακές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου των γεωυφασμάτων δίνονται Στον πίνακα 2, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει επιπλέον σημαντικός αριθμός δοκιμών που αναφέρονται:

- στο βαθμό αποδόμησης του γεωσυνθετικού υλικού από θερμότητα (ASTM D4594), από χημικά (ASTM D5322), υδρόλυση, βιοαποδόμηση, υπεριώδη ακτινοβολία (ASTM D4355)
- στην ανθεκτικότητά του στο χρόνο και συγκεκριμένα φαινόμενα ερπυσμού (ASTM D5262), ερπυσμού σε εγκιβωτισμό, απόξεσης (ASTM D4886), απόφραξης (ASTM D5101).
- στην αλληλεπίδραση του με το έδαφος και τα λοιπά.

Πίνακας 2 Μερικές από τις βασικές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου σε γεφυφάσματα

| Είδος δοκιμής | Προδιαγραφές | Μονάδες | Παρατηρήσεις |
|---|---|------------------------|----------------------|
| Βάρος ανά μονάδα επιφάνειας | ASTM-D5261/1992 ISO 9864/1990 | gr/cm ² | Μ.Ο. από 10 δοκίμια |
| Μέσο πάχος υπό πίεση 2kN/m ² | ASTM-D5199/1991 ICI PLT D.710 | mm | Μ.Ο. από 10 δοκίμια |
| Μέγεθος διαπερατότητας με υδραυλικό φορτίο 100mm, χωρίς επιφόρτιση | BS: 6906 Part 3:1989 | lit.sec/m ² | Μ.Ο. από 8 δοκίμια |
| Πορομετρία | BS 6906: Part 2:1989 ASTM D4751-93 | mm | Μ.Ο. από 3-5 δοκίμια |
| Διάτρηση κώνου 45° | BS: 6906 Part 6:1989 | cm | Μ.Ο. από 8 δοκίμια |
| Αντίσταση σε διάτρηση εμβόλου CBR | DIN 54307 | kN | Μ.Ο. από 10 δοκίμια |
| Αντίστοιχη παραμόρφωση κατά τη διάτρηση | | cm | |
| Αντοχή σε εφελκυσμό από δοκίμια (100x200 mm) Δοκιμή κατά μήκος του υλικού Αντοχή σε εφελκυσμό από δοκίμια (100x200mm) Δοκιμή κατά πλάτος του υλικού | ASTM-D4595-1986 BS: 6906 Part 1:1987 ISO 10321:1992 | kN/m | Μ.Ο. από 6 δοκίμια |
| Αντίστοιχη ανηγμένη παραμόρφωση κατά τη θραύση Δοκιμή κατά μήκος του υλικού Αντίστοιχη ανηγμένη παραμόρφωση κατά τη θραύση Δοκιμή κατά πλάτος του υλικού | ASTM-D4595-1986 BS: 6906 Part 1:1987 ISO 10321:1992 | % | Μ.Ο. από 6 δοκίμια |
| Αντοχή σε σχισμό τραπεζοειδούς δοκιμίου. Δοκιμή κατά μήκος Αντοχή σε σχισμό τραπεζοειδούς δοκιμίου. Δοκιμή κατά πλάτος | NF, G 38015 (CFGG) | kN | Μ.Ο. από 6 δοκίμια |

Διαπερατότητα

Η διαπερατότητα στο γεωύφασμα αναφέρεται κάθετα (k_n) και παράλληλα (k_h) στην επιφάνεια του. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ροή παράλληλα στην επιφάνεια του γεωυφάσματος νοείται μόνο για μη υφασμένα υλικά τα οποία έχουν κάποιο πάχος. Η διαπερατότητα του γεωυφάσματος (συνήθως λαμβάνεται η κάθετη) πρέπει να είναι υψηλότερη από αυτήν του περιβάλλοντος εδάφους και να μην αναπτύσσονται πιέσεις πόρων πίσω από το γεωσυνθετικό υλικό. Ένας γενικός κανόνας που εφαρμόζεται στη χρήση των γεωυφασμάτων είναι:

$$k \text{ (γεωυφάσματος)} \geq 10 * k \text{ (εδάφους)}$$

Συχνά χρησιμοποιείται ο λόγος k_n / d για ροή κάθετα στην επιφάνεια του γεωσυνθετικού που καλείται συντελεστής ανοιγμένης διαπερατότητας, ή το γινόμενο $k_h * d$ για παράλληλη ροή που καλείται συντελεστής συνολικής οριζόντιας διαπερατότητας (d το πάχος του γεωυφάσματος).

Συγκράτηση κόκκων (particle retention)

Επειδή το γεωύφασμα επιτελεί λειτουργία φίλτρου πρέπει να έχει τα κατάλληλα κενά (πόροι), ώστε να αποτρέπονται φαινόμενα απόφραξης τους από τους εδαφικούς κόκκους.

Ουσιαστικά με την μέθοδο της πορομετρίας κατασκευάζεται μία πορομετρική καμπύλη κάθε γεωσυνθετικού υλικού αντίστοιχη της κοκκομετρικής καμπύλης των εδαφών και με βάση αυτήν επιλέγεται και το αντίστοιχο γεωύφασμα.

Αντοχή σε εφελκυσμό και αντίστοιχη επιμήκυνση

Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών είναι απαραίτητη στην εκτίμηση τόσο της ενίσχυσης που θα προκαλέσει το γεωύφασμα επιτόπου όσο και των συνθηκών τοποθέτησης του. Πρέπει να γίνεται εκτίμηση της ανισοτροπίας του υλικού με την ακριβή γνώση των αντοχών και επιμηκύνσεων κατά μήκος των ινών καθώς και εγκάρσια σε αυτές. Ενδεικτικές τιμές αντοχών σε υφασμένα και μη υφασμένα γεωυφάσματα δίνονται στον πίνακα 3, όπου φαίνεται η μεγάλη ανισοτροπία που παρουσιάζουν τα υφασμένα γεωυφάσματα σε σχέση με τα μη υφασμένα και η σημαντικά μικρότερη παραμορφωσιμότητά τους.

Πίνακας 3 Ενδεικτικό εύρος τιμών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων από ποιοτικό έλεγχο γεωυφασμάτων

| Ιδιότητα | ASTM | Ανισοτροπία | Μονάδες | Γεωυφάσματα | |
|---|-------|-------------|--------------------|-------------|-------------|
| | | | | Μη υφασμένα | Υφασμένα |
| Διαστάσεις ρολού | | | | | |
| μήκος | | | m | 30 – 360 | 45 – 450 |
| πλάτος | | | m | 1.20 – 5.10 | 0.60 – 5.40 |
| Φυσικές ιδιότητες | | | | | |
| πυκνότητα ινών | | | gr/cm ³ | 0.90 – 1.40 | 0.90 – 1.40 |
| πάχος | D5199 | | mm | 0.88 – 7.20 | 0.18 – 4.00 |
| μάζα ανά μονάδα επιφάνειας | D5251 | | gr/cm ² | 61 – 1460 | 78 – 1350 |
| φαινόμενο μέγεθος πόρων O ₉₅ | D4751 | | mm | 0.04 – 0.71 | 0.15 – 2.00 |
| Μηχανικές ιδιότητες | | | | | |
| αντοχή σε εφελκυσμό | D4595 | κατά μήκος | kN/m | 5 – 40 | 20 – 730 |
| | | εγκάρσια | | 5 – 30 | 20 – 250 |
| κατά μήκος | | % | 65 – 95 | 10 – 25 | |
| εγκάρσια | | | 50 – 85 | 5 – 30 | |
| επιμήκυνση στη μέγιστη δύναμη | | | | | |

Αντίσταση σε διάτρηση

Είναι βασική παράμετρος που χρησιμεύει στη διασφάλιση της τοποθέτησης του γεωυφάσματος στο έργο χωρίς ενδεχόμενο διάτρησής του από απόθεση κοκκωδών υλικών. Η αντίσταση εκτιμάται είτε με την δοκιμή πτώσης κώνου, είτε με την δοκιμή σε διάτρηση του εμβόλου CBR σε συγκεκριμένων διαστάσεων (20 * 20 cm) τεντωμένο τεμάχιο γεωυφάσματος.

2.6. Ταξινόμηση γεωυφασμάτων

Με βάση τις βασικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν, τα γεωυφάσματα ταξινομούνται σε επιμέρους κατηγορίες, οι οποίες κατά κάποιο τρόπο οριοθετούν και τις προβλεπόμενες χρήσεις τους. Μία τέτοια ταξινόμηση, η οποία χρησιμοποιείται στην πράξη και βασίζεται στους Γαλλικούς κανονισμούς, δίνεται στον πίνακα 4. Στο συγκεκριμένο πίνακα, για την αντοχή σε εφελκυσμό και την επιμήκυνση χρησιμοποιείται ο μέσος όρος για την κατά μήκος και την εγκάρσια κατεύθυνση. Στην αντίσταση σε σχίσσιμο (tearing resistance) χρησιμοποιείται η ελάχιστη αντοχή για την κατά μήκος ή την εγκάρσια κατεύθυνση.

Πίνακας 4 Ταξινόμηση κατηγοριών γεωφασμάτων με βάση τα βασικά χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με τις οδηγίες της Γαλλικής Επιτροπής Γεωφασμάτων (C.F.G.)

| Χαρακτηριστικές ιδιότητες | Κατηγορίες | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Αντίσταση σε εφελκυσμό kN/m | κατά μήκος | 4 | 8 | 12 | 46 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 | |
| | εγκάρσια | | | | | | | | | | | | |
| Επιμήκυνση στη μέγιστη δύναμη (%) | κατά μήκος | | | | | | | | | | | | |
| | εγκάρσια | 8 | 11 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | |
| Αντίσταση σε σχισμό (kN) | κατά μήκος | | | | | | | | | | | | |
| | εγκάρσια | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 1.7 | 2.3 | 3 | 4 | 5 | |
| Διαπερατότητα | Κατακόρυφα Kn/d (sec)-1 | 10^{-2} | $2 \cdot 10^{-2}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 1 | 2 | 5 | 10 | 50 | |
| | Οριζόντια Kn/d (m/sec) | 10^{-8} | $2 \cdot 10^{-8}$ | $5 \cdot 10^{-8}$ | 10^{-7} | $2 \cdot 10^{-7}$ | $5 \cdot 10^{-7}$ | 10^{-6} | $2 \cdot 10^{-6}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ | 10^{-5} | $5 \cdot 10^{-5}$ | |
| Μέγεθος πόρων O95 (μm) | | 600 | 400 | 200 | 150 | 125 | 100 | 80 | 60 | 40 | 20 | 10 | |

2.7. Χρήσεις και εφαρμογές

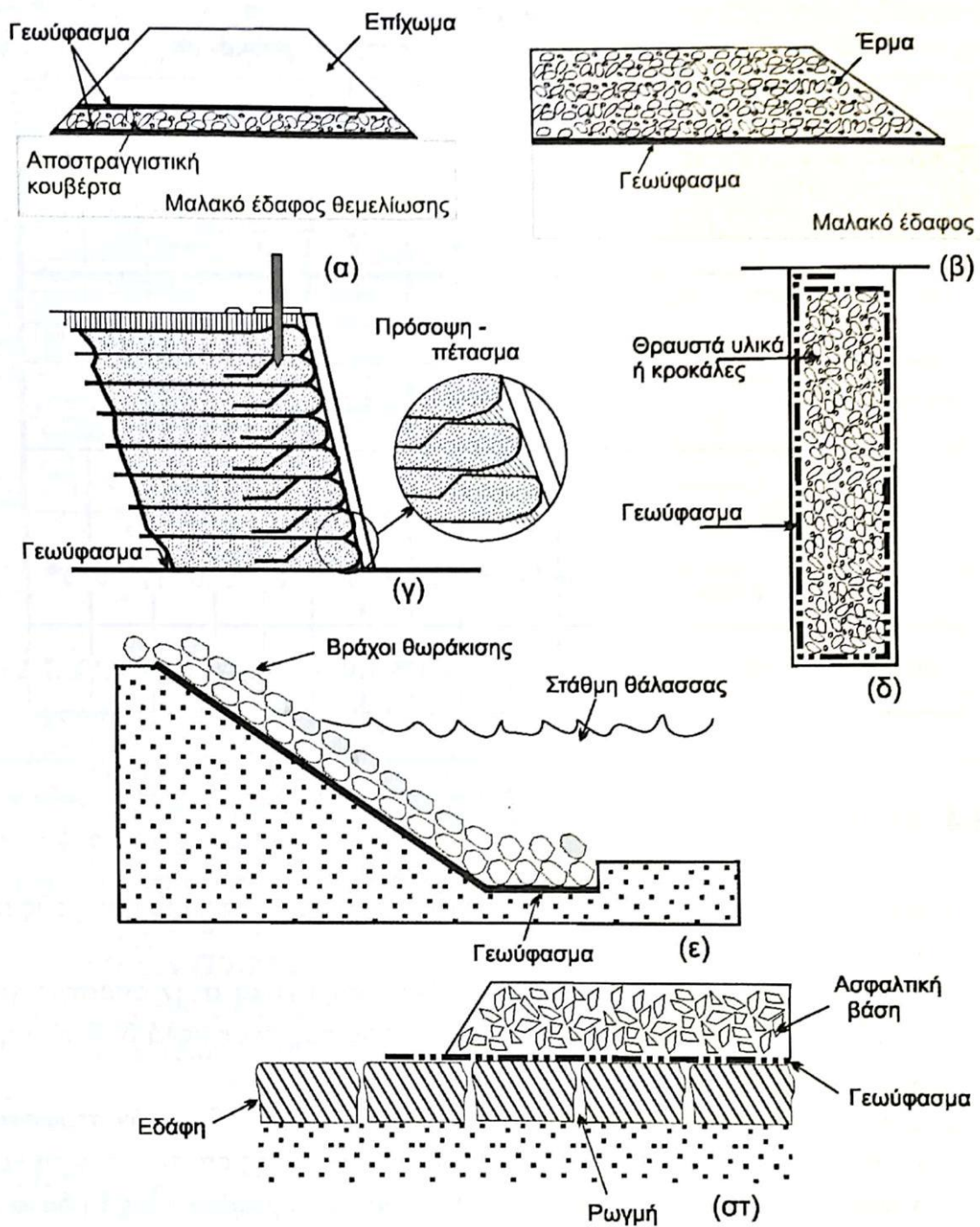
Οι βασικές λειτουργίες που επιτελούν τα γεωυφάσματα κατά τη χρήση τους στα διάφορα τεχνικά έργα είναι:

- λειτουργούν σαν φίλτρο και συμβάλλουν σημαντικά στην αποστράγγιση των εδαφών, αντικαθιστώντας τη χρησιμοποίηση ενός καλά διαβαθμισμένου κοκκώδους υλικού
- συνεισφέρουν αποτελεσματικά στο διαχωρισμό δύο διαδοχικών στρώσεων, μιας χονδρόκοκκης και μιας λεπτόκοκκης και επίσης αποτρέπουν τη “μόλυνση” του χονδρόκοκκου από το λεπτόκοκκο, εμποδίζοντας την διείσδυση του λεπτόκοκκου υλικού στους πόρους του χονδρόκοκκου
- συμβάλλουν σημαντικά στην ενίσχυση τεχνητών πρανών και πρανών επιχωμάτων
- βελτιώνουν την επένδυση - προστασία των πρανών από την αποσάθρωση και διάβρωση
- συνεισφέρουν σημαντικά στην ενίσχυση της υπόβασης των οδοστρωμάτων.

Με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων κατά περίπτωση γεωυφασμάτων, η κατασκευή του έργου, εξασφαλίζονται οικονομικά οφέλη από την αποφυγή χρήσης άλλων πιο δαπανηρών υλικών και διασφαλίζεται σημαντικά η λειτουργικότητα και η ασφάλεια του. Η τοποθέτηση των γεωυφασμάτων γίνεται έτσι ώστε να επιτελούνται οι παραπάνω βασικές λειτουργίες σε όλα σχεδόν τα τεχνικά έργα και ειδικότερα σε:

- α) έργα οδοποιίας,
- β) σιδηροδρομικά έργα,
- γ) κατασκευή σηράγγων,
- δ) θεμελιώσεις,
- ε) συστήματα αποστράγγισης,
- στ) υδραυλικά και λιμενικά έργα,
- ζ) περιβαλλοντικές εφαρμογές,
- η) αντιστήριξη και προστασία πρανών και τα λοιπά.

Στην εικόνα 13 δίνονται ενδεικτικά διάφορες εφαρμογές των γεωυφασμάτων στα τεχνικά έργα. (Κούκης και Σαμπατακάκης 2007)



Εικόνα 13 Εφαρμογές των γεωυφασμάτων στα τεχνικά έργα: α) αποστράγγιση επιχωμάτων, β) ενίσχυση εδάφους θεμελίωσης σιδηροδρομικού επιχώματος, γ) ενίσχυση υλικού επιχώματος, δ) στραγγιστήριο και στραγγιστήρια τάφρος, ε) προστασία ακτής, στ) ενίσχυση οδοστρώματος (Γεωτεχνολογία τεχνικών έργων)

2.8. Έργα χρήσης μη υφαντών γεωυφασμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται, με βάση την εταιρία κατασκευής των γεωυφασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις εργαστηριακές δοκιμές MINET S.A., οι κύριες χρήσεις των μη υφαντών γεωυφασμάτων σε:

Κατασκευές οδοποιίας

Η χρήση γεωυφάσματος σε εφαρμογές οδοποιίας αντιμετωπίζει πέντε κύριες λειτουργίες: διαχωρισμό, διήθηση, αποστράγγιση, μετρίασμό της διάδοσης ρωγμών και ενίσχυση. Πιο πρόσφατα, έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία τριχοειδών διαρρήξεων του εδάφους, προστατεύοντας έτσι την κατασκευή από την υγρασία.



Εικόνα 14 Χρήση γεωυφάσματος σε έργο οδοποιίας (minet.ro)

Τα γεωσυνθετικά προϊόντα είναι κατάλληλα τόσο για ασφαλτοστρωμένους όσο και για μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους, καθώς έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ χρήσης, χρόνου ζωής και κόστους. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, τα συστήματά αυτά μειώνουν σημαντικά την ποσότητα φυσικών αδρανών που απαιτείται για τέτοια βασικά έργα όπως αυτοκινητόδρομοι, δρόμοι, διάδρομοι προσγείωσης αεροδρομίων ή αυλές, ενώ αυξάνουν τη δομική απόδοση. Ομοίως, βοηθούν στην αποφυγή ζημιών από υπερβολική αυλάκωση, ρωγμές ή λακκούβες κατανέμοντας ομοιόμορφα το φορτίο, το οποίο αποτελεί μια πτυχή που έχει πρωταρχική σημασία για τη μακροχρόνια λειτουργία. Γενικότερα με την χρήση γεωυφασμάτων το κόστος είναι μικρότερο, οι κατασκευές πραγματοποιούνται ταχύτερα και διαρκούν περισσότερο και ελαχιστοποιούνται οι

περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αφού χρησιμοποιούνται λιγότεροι κατασκευαστικοί πόροι. Τα γεωυφάσματα σταθεροποιούν και συντηρούν τους ασφαλτοστρωμένους δρόμους παρέχοντας ένα ανώμαλο διαχωριστικό και σταθεροποιητικό στρώμα μεταξύ της δομής του οδοστρώματος και των εδαφών υποβάθρου. Λόγω της υψηλής αντοχής τους σε εφελκυσμό επιτρέπουν τη μείωση του πάχους του ασφαλτικού καλύμματος και την προκύπτουσα εκσκαφή βάθους, πράγμα που σημαίνει αυξημένη φέρουσα ικανότητα.

Ακόμα υπάρχει καλύτερη σταθεροποίηση του υποβάθρου, καθώς πολλές φορές, τα φτωχά εδάφη δεν έχουν τη δύναμη να υποστηρίξουν τις δραστηριότητες οδοποιίας και τον μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο.

Επιπλέον η χρήση γεωσυνθετικών επιτρέπει την προσθήκη ζώνης ισχυρότερου υποστρώματος κάτω από το τμήμα του οδοστρώματος. Έτσι το ανάχωμα τοποθετείται σε μια σταθερή βάση από την οποία μπορεί να κατασκευαστεί μια μόνιμη ή προσωρινή οδική πλατφόρμα.

Τέλος η χρήση γεωυφασμάτων στην οδοποιία μετριάζει τις ρωγμές που προκαλούνται. Οι ρωγμές και η εισροή νερού είναι μια κοινή αιτία για την αλλοίωση της δομής του οδοστρώματος που μπορεί να οδηγήσει σε δομικές αστοχίες του οδοστρώματος. Τα γεωσυνθετικά υλικά μπορούν να μειώσουν το κόστος συντήρησης και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος παρέχοντας ενίσχυση ασφάλτου πάνω από ραγισμένα υποστρώματα, αποτρέποντας τη επιμήκυνση ρωγμών και αποτελώντας εμπόδιο κατά της διείσδυσης νερού στην επιφάνεια του δρόμου.

Σιδηροδρομικά δίκτυα



Εικόνα 15 Κατασκευασμένη σιδηροδρομική γραμμή, στην οποία χρησιμοποιήθηκε γεωύφασμα (minet.ro)

Η χρήση γεωυφασμάτων στη σιδηροδρομική βιομηχανία παρέχει δομικά και οικονομικά οφέλη έναντι των παραδοσιακών τεχνικών. Όταν εφαρμοστούν σωστά, αυτά τα καινοτόμα υφάσματα βελτιώνουν την απόδοση των σιδηροδρομικών γραμμών αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής και τα διαστήματα μεταξύ των κύκλων συντήρησης.

Τα γεωυφάσματα κατασκευάζονται για να εκτελούν μια σειρά βασικών λειτουργιών στην κατασκευή νέας γραμμής ή την αποκατάσταση υφιστάμενων σιδηροδρομικών γραμμών, δηλαδή:

- α) ενίσχυση εδάφους,
- β) διήθηση,
- γ) διαχωρισμό υλικών με διαφορετική κατανομή μεγέθους σωματιδίων και
- δ) αποστράγγιση

Ενίσχυση εδάφους

Όταν εγκαθίστανται σε ασταθή υποστρώματα, τα γεωυφάσματα, γεωπλέγματα και γεωκύτταρα αυξάνουν την ικανότητα φόρτωσης του συστήματος, σταθεροποιώντας το έδαφος μέσω καλύτερης κατανομής της τάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη στήριξη του υποστρώματος, διασφαλίζοντας τη δομική ακεραιότητα της σιδηροδρομικής πλατφόρμας.

Διήθηση

Τα γεωυφάσματα λειτουργούν ως φίλτρο συγκρατώντας τα σωματίδια υποβάθρου ενώ επιτρέπουν στο νερό να περάσει ελεύθερα. Αυτή η λειτουργία είναι δυνατή λόγω επαρκών ιδιοτήτων διαπερατότητας και συγκράτησης καθώς και αντοχής στην απόφραξη.

Διαχωρισμός

Τα γεωυφάσματα βοηθούν στη διατήρηση της ακεραιότητας των παρακείμενων τύπων εδάφους στη δομή του επιχώματος, λειτουργώντας ως διαχωριστικό μεταξύ στρωμάτων με διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων. Κατά συνέπεια, η πορεία του υποβάθρου σταθεροποιείται, αυξάνοντας σημαντικά τη συνολική διάρκεια ζωής.

Αποστράγγιση-απορροή

Η επαρκής αποστράγγιση είναι το κλειδί για μια σταθερή δομή σιδηροδρομικής γραμμής, καθώς αποτρέπει τη ζημιά της γραμμής λόγω της δράσης της βροχής ή των υπόγειων υδάτων. Τα γεωυφάσματα πληρούν τις απαιτήσεις αποστράγγισης χάρη στην επαρκή ικανότητα εκκένωσης και την υψηλή αντοχή σε μηχανικές βλάβες.

Γενικότερα τα πλεονεκτήματα χρήσης των γεωυφασμάτων στην κατασκευή σιδηροδρομικών δικτύων είναι παρεμφερή με αυτά στα έργα οδοποιίας.

Έργα αποστράγγισης



Εικόνα 16 Χρήση γεωυφάσματος για την αποστράγγιση διερχόμενου σωλήνα (minet.ro)

Στα έργα πολιτικού μηχανικού, η αποστράγγιση και η διήθηση είναι πρωταρχικής σημασίας για την ακεραιότητα της υποδομής, ειδικά σε φτωχά εδάφη. Ενώ η αποστράγγιση μειώνει τον κίνδυνο πλημμύρας και ζημιάς στα θεμέλια, η διήθηση αποτρέπει την έκπλυση του εδάφους στο σύστημα αποστράγγισης. Για το σκοπό αυτό, τα μη υφαντά γεωυφάσματα είναι ιδανικά υλικά λόγω του μικρού μεγέθους πόρων τους και της υψηλής ικανότητας ροής τους, βελτιώνοντας έτσι τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Στα περισσότερα κατασκευαστικά έργα, τα γεωυφάσματα πρέπει να διασφαλίζουν αξιόπιστο φιλτράρισμα και να έχουν υψηλή αντοχή για να αντέχουν στη διαδικασία εγκατάστασης στο πεδίο.

Τα γεωυφάσματα είναι καλύτερα από τους βράχους και το έδαφος επειδή προσφέρουν βιώσιμη απόδοση και απαιτούν λιγότερο χρόνο εγκατάστασης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές επιλογές αποστράγγισης. Τα γεωυφάσματα έχουν εφαρμογές για αποστράγγιση όλων των κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων των αποχετεύσεων, καναλιών εκκένωσης νερού, αποχετεύσεων αναχαίτισης, οδοστρωμάτων, αποστραγγίσεις για τοίχους, φράγματα και για αθλητικά γήπεδα, χώρους στάθμευσης, τοίχους, χλοοτάπητες, γήπεδα τένις και άλλους χώρους. Μερικές από τις πιο σημαντικές λειτουργίες είναι η διαχείριση όμβριων υδάτων, η προστασία συστημάτων

στεγανοποίησης, η μεταφορά υπόγειων υδάτων, τα συστήματα αποβολής, ο μετρισμός των πλημμυρικών υδάτων, η αποστράγγιση δρόμων κ.λπ.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα της χρήσης γεωυφασμάτων στην αποστράγγιση είναι:

- η επιτάχυνση των καθιζήσεων λόγω μαλακής εδαφικής ενοποίησης,
- στα αμμώδη εδάφη, η προστασία του σωλήνα αποστράγγισης για να αποτροπή της εισόδου άμμου στη διάτρηση,
- μείωση του βάθους, του όγκου της εκσκαφής, του χρόνου και του κόστους,
- απλοποιημένη διαχείριση τους στο πεδίο,
- χαμηλή επίδραση στο περιβάλλον

Τα μη υφαντά γεωυφάσματα παρέχουν ανώτερες λύσεις αποστράγγισης χάρη στην υψηλή ικανότητα ροής, την αντοχή τους καθώς και την ανθεκτικότητά τους σε χημικές ουσίες και υπεριώδη ακτινοβολία, επιτρέποντας μια στιβαρή και οικονομικά αποδοτική κατασκευή.

Προστασία γεωμεμβράνων



Εικόνα 17 Επαφή εδάφους - γεωυφάσματος – γεωμεμβράνης (minet.ro)

Τα γεωυφάσματα χρησιμοποιούνται για την προστασία των γεωμεμβρανών από στατική και δυναμική διάτρηση.

Οι γεωμεμβράνες έγιναν κρίσιμο συστατικό σε εκτεθειμένες γεωτεχνικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές, παρέχοντας αποτελεσματικές λύσεις για την προστασία των υπόγειων υδάτων και την ασφαλή διάθεση των απορριμμάτων. Στην πράξη, η παραμόρφωση της γεωμεμβράνης μπορεί να προκύψει είτε από τρυπήματα με αιχμηρά υλικά, όπως χαλίκι, πέτρες, είτε από τάσεις που προκαλούνται από περιορισμένα υλικά. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιες ζημιές, τα γεωυφάσματα

εφαρμόζονται ως αποτελεσματικά προστατευτικά στρώματα που διατηρούν την ακεραιότητα της μεμβράνης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του σχεδιασμού και ενισχύουν τη συνολική αντοχή και ανθεκτικότητα.

Επομένως, γι αυτόν τον λόγο υπάρχουν μη υφαντά γεωυφάσματα υψηλής απόδοσης σχεδιασμένα για την προστασία της επένδυσης των γεωμεμβρανών σε εφαρμογές υγειονομικής ταφής και περιορισμού. Με ένα ευρύ φάσμα κατάλληλων βαρών, τα μη υφαντά γεωυφάσματα αυτά, όχι μόνο παρέχουν ένα ασφαλές φίλτρο και μαξιλάρι ενάντια σε τρυπήματα και στατικές παραμορφώσεις, αλλά εξασφαλίζουν επίσης αποστράγγιση αερίων και ατμών που παγιδεύονται στη γεωμεμβράνη.

Τα συνεχή μη υφαντά γεωυφάσματα είναι κατασκευασμένα από ίνες πολυπροπυλενίου και πολυεστέρα υψηλής αντοχής και παρουσιάζουν υψηλή αντοχή, σημαντικό πάχος, υψηλή ταχύτητα ροής καθώς και ανώτερη αντοχή στη διάβρωση και την αντιψυκτική αντοχή. Εγκατεστημένα πάνω ή κάτω από την επένδυση, παρέχουν μακροχρόνια προστασία και παρατείνουν τη διάρκεια ζωής της δομής της γεωμεμβράνης, επιτρέποντας τη βέλτιστη συγκράτηση των επιβλαβών αποβλήτων, που με τη σειρά της έχει σημαντικά πλεονεκτήματα για το περιβάλλον.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτών των μη υφαντών γεωυφασμάτων είναι η υψηλή χημική αντοχή, η ανθεκτικότητα στις καταπονήσεις εγκατάστασης, η μέγιστη αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατασκευής χωματερών, η απλοποιημένη κατασκευή καλύτερης ποιότητας και τέλος ο μειωμένος χρόνος κατασκευής και σημαντική μείωση του κόστους υλικών.

Εδάφη και έλεγχος διάβρωσης επιχωμάτων



Εικόνα 18 Επιχώματα στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί γεωυφάσματα (minet.ro)

Τα γεωυφάσματα προστατεύουν τις επιφάνειες του εδάφους από τη διάβρωση, προάγοντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Οικονομικά, ανθεκτικά και εύκολα στη χρήση, τα γεωυφάσματα έχουν γίνει απαραίτητα στη γεωτεχνική μηχανική. Μεταξύ των πολλών προβλημάτων που επιλύουν είναι η διάβρωση του εδάφους - μια φυσική διαδικασία με σοβαρές δυσμενείς επιπτώσεις στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη γεωργική παραγωγικότητα.

Τα γεωυφάσματα χρησιμοποιούνται συνήθως για την προστασία του εδάφους σε εκτεθειμένες περιοχές όπως όχθες ρεμάτων, παραλιακές όχθες, οχετοί, κανάλια ποταμών, πλαγιές και άλλες τοποθεσίες που υπόκεινται σε διάβρωση από βροχοπτώσεις ή επιφανειακά νερά. Λειτουργώντας ως φίλτρο, τα γεωυφάσματα βοηθούν στον έλεγχο της διαρροής νερού, δημιουργώντας αντιδιαβρωτικούς φραγμούς, συγκρατώντας τα σωματίδια της λάσπης και επιτρέποντας στο καθαρό νερό να διασχίζει ελεύθερα το υλικό. Τα γεωυφάσματα μπορούν να ενισχύσουν τη σταθεροποίηση των πλαγιών, ενώ προάγουν την ανάπτυξη της βλάστησης. [MINET]

3. Εργαστηριακός προσδιορισμός διατμητικής αντοχής διεπιφάνειας

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας εκτέλεσης των δοκιμών και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για τις εργαστηριακές δοκιμές. Αναφέρονται οι παραδοχές που έγιναν και διάφορες άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν και βοήθησαν στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μελέτης.

3.1. Γεωυφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν

Τα γεωυφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των πειραματικών δοκιμών χορηγήθηκαν από την εταιρεία ΤΣΑΚΑΣ ΕΠΕ, η οποία τα εμπορεύεται από την εταιρεία Minet S.A. που εδρεύει στην Ρουμανία.

Συγκεκριμένα με έμφαση στην ποιότητα και την απόδοση, η MINET S.A. παρέχει ένα ευρύ φάσμα μη υφαντών γεωυφασμάτων και άλλων σχετικών γεωσυνθετικών προϊόντων που συνδυάζουν όλες τις μηχανικές, φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες που απαιτούνται για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της αντοχής μεγάλων έργων υποδομής, γεωτεχνικών, περιβαλλοντικών ή άλλων κατασκευαστικών έργων.

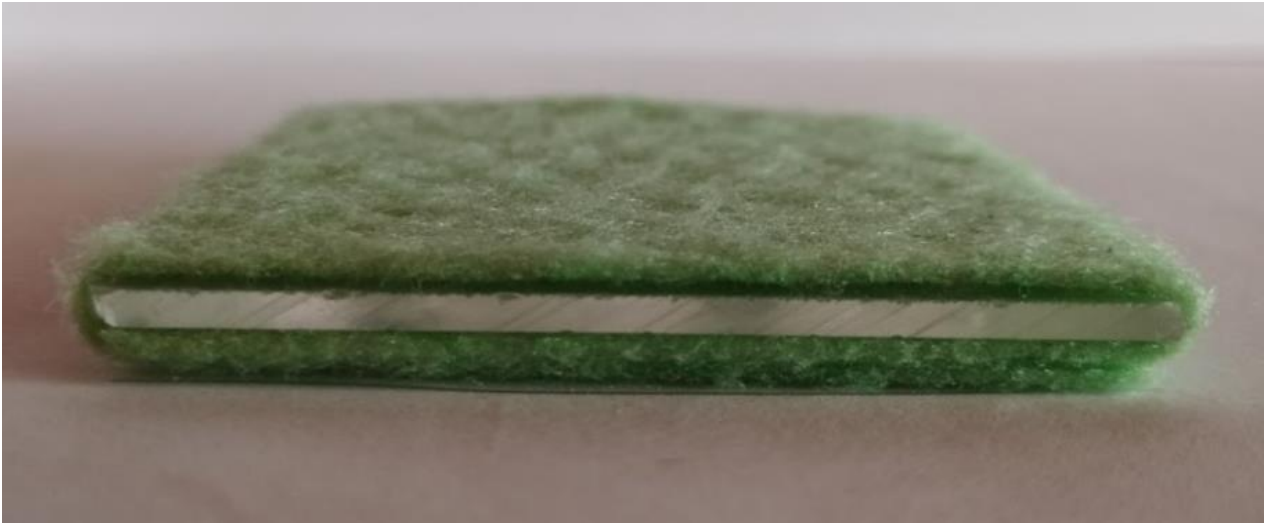
Πιο συγκεκριμένα τα γεωυφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 2 κατηγοριών.

1. Terasin NS: Μη υφαντό γεωύφασμα, μηχανικά και θερμικά ενοποιημένο, κατασκευασμένο από 100% πολυεστέρα.
 - 110 gr / m²



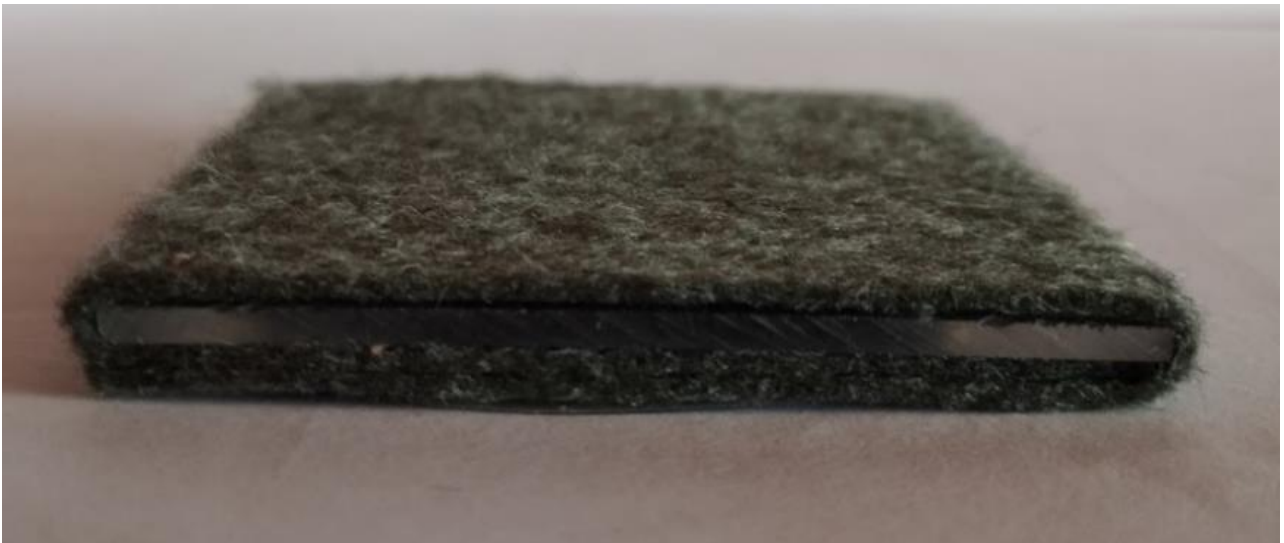
Εικόνα 19 Geotextile 0 (Προσωπική λήψη)

- 200 gr / m²



Εικόνα 20 Geotextile 1 (Προσωπική λήψη)

- 300 gr / m²



Εικόνα 21 Geotextile 2 (Προσωπική λήψη)

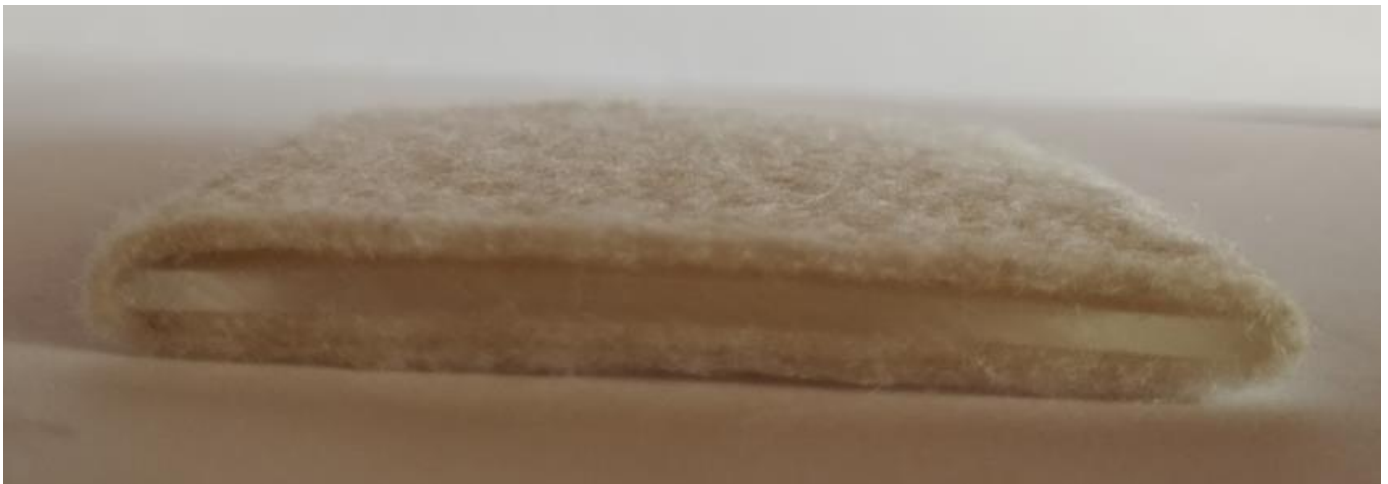
- 400 gr / m²



Εικόνα 22 Geotextile 3 (Προσωπική λήψη)

2. Geosin HT: Μη υφαντό γεωύφασμα, μηχανικά και θερμικά ενοποιημένο, κατασκευασμένο από 100% πολυπροπυλένιο.

- 200 gr / m²



Εικόνα 23 Geotextile 4 (Προσωπική λήψη)

- 300 gr / m²



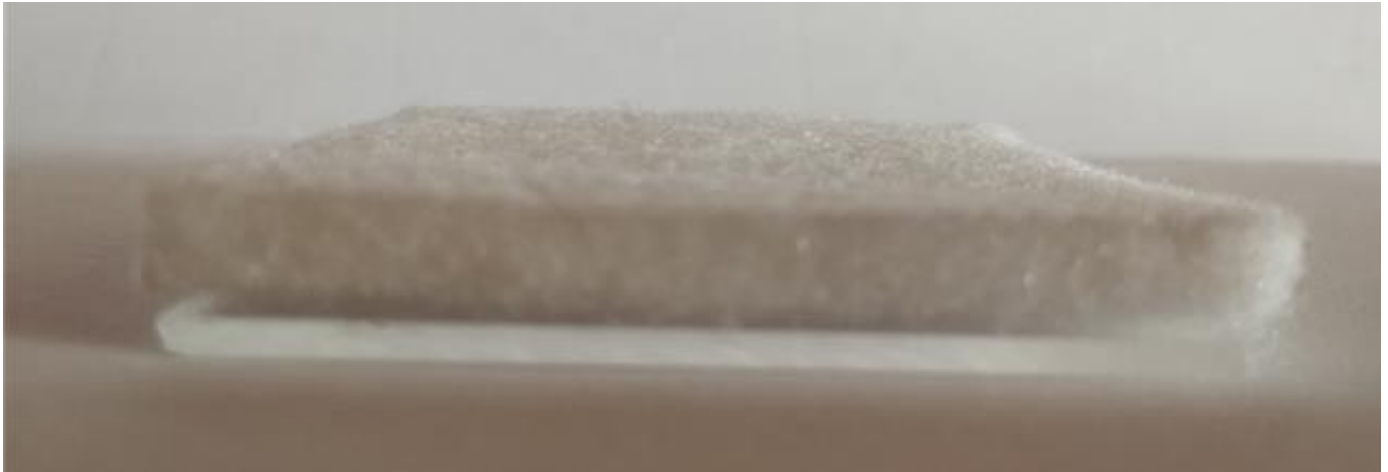
Εικόνα 24 Geotextile 5 (Προσωπική λήψη)

- 500 gr / m²



Εικόνα 25 Geotextile 6 (Προσωπική λήψη)

- 800 gr / m²



Εικόνα 26 Geotextile 7 (Προσωπική λήψη)

Κατά την διάρκεια των δοκιμών το γεωύφασμα της 1^{ης} κατηγορίας χρησιμοποιήθηκε, λόγω της ευκολίας στη διαμόρφωσή του, ως δείγμα “οδηγός” για τον ορισμό της διαδικασίας εκτέλεσης της δοκιμής. Σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες χαρακτηριστικών γεωυφασμάτων όλα τα χαρακτηριστικά συγκεκριμένα για τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα [<https://www.minet.ro/en/>]:

Πίνακας 5 Μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωυφασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν

| Γεωύφασμα | Terasin | | | | Geosin HT | | | |
|---|---------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| Μάζα (gr/m ²) | 110 | 200 | 300 | 400 | 200 | 300 | 500 | 800 |
| Πάχος υπό πίεση 2 kN/m ² (mm) | 2.2 | 2.6 | 3.8 | 4.0 | 2.8 | 4.8 | 5.8 | 7.0 |
| Πάχος υπό πίεση 20 kN/m ² (mm) | 1.0 | 1.4 | 2.2 | 2.3 | 1.6 | 3.2 | 4.9 | 6.0 |
| Αντοχή σε εφελκυσμό, διαμήκης min. (kN/m) | 1.5 | 5 | 9 | 11 | 10 | 16 | 25 | 40 |
| Αντοχή σε εφελκυσμό, εγκάρσια min. (kN/m) | 2.6 | 10 | 16 | 20 | 22 | 31 | 47 | 75 |
| Επιμήκυνση σε σχισμό, διαμήκης (%) | 140 | 120 | 120 | 120 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Επιμήκυνση σε σχισμό, εγκάρσια (%) | 120 | 90 | 90 | 90 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Αντίσταση σε διάτρηση εμβόλου CBR (N) | 300 | 1000 | 1500 | 2200 | 2300 | 3500 | 5700 | 8500 |



Εικόνα 27 Δείγματα γεωυφασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές (Προσωπική λήψη)

APPLICATION DOMAIN

The product has application in the domain of civil and industrial engineering, construction of roads and other trafficked areas, earthworks, foundations and retaining structures, erosion control works (coastal protections, bank revetments), constructions of canals, solid waste disposal, construction of railways, drainage systems, construction of reservoirs and dams, construction of tunnels and underground structures, liquid waste containment projects.

SHIPPING AND STORAGE REQUIREMENTS

The material shall be transported by clean, covered means of transportation, protected from moisture and dirt. The material shall be stored in closed spaces, protected from UV, away from water, steam and other types of pipes.

TECHNICAL QUALITY CONDITIONS

Terasin NS geotextiles must accomplish the quality conditions from the table below:

Physical-mechanical properties

| Properties | Unit | Standard | Scheduled values and accepted tolerances | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|--|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----|
| | | | F | D | S | R | P | F+S | F+D | R+P | F+S+D | F+R+S | F+S | R+S | F+R |
| Mass | gr/m ² | EN 965:1995 | 110 ^{+10%} | 120 ^{+10%} | 150 ^{+10%} | 200 ^{+10%} | 250 ^{+10%} | 300 ^{+10%} | 400 ^{+10%} | 500 ^{+10%} | 600 ^{+10%} | 800 ^{+10%} | 1000 ^{+10%} | 1200 ^{+10%} | |
| Thickness under the load of 2 kN/m ² | mm | EN 964-1:1995 | 2.2 ^{+0.2} | 2.0 ^{+0.2} | 2.1 ^{+0.2} | 2.6 ^{+0.3} | 3.0 ^{+0.3} | 3.8 ^{+0.4} | 4.0 ^{+0.4} | 5.0 ^{+0.5} | 5.5 ^{+0.5} | 6.0 ^{+0.6} | 6.8 ^{+0.7} | 7.6 ^{+0.8} | |
| Thickness under the load of 20 kN/m ² | mm | EN 964-1:1995 | 1.0 ^{+0.2} | 1.0 ^{+0.2} | 1.2 ^{+0.2} | 1.4 ^{+0.3} | 1.8 ^{+0.3} | 2.2 ^{+0.4} | 2.3 ^{+0.4} | 4.0 ^{+0.5} | 4.5 ^{+0.5} | 5.0 ^{+0.6} | 5.8 ^{+0.7} | 6.6 ^{+0.8} | |
| Tensile strength, longitudinal min. | kN/m | SR ISO 10319:1997 | 1.5 ^{+0.4} | 2.5 ^{+0.3} | 3 ^{+0.3} | 5 ^{+0.5} | 7 ^{+0.7} | 9 ⁺¹ | 11 ⁺¹ | 13 ⁺² | 16 ⁺² | 24 ⁺³ | 31 ⁺³ | 40 ⁺⁴ | |
| Tensile strength, transversal min. | kN/m | SR ISO 10319:1997 | 2.6 ^{+0.4} | 4 ^{+0.4} | 6 ^{+0.7} | 10 ⁺¹ | 13 ⁺² | 16 ⁺² | 20 ⁺² | 26 ⁺² | 31 ⁺³ | 41 ⁺⁴ | 55 ⁺⁵ | 63 ⁺⁵ | |
| Elongation at break, longitudinal | % | SR ISO 10319:1997 | 140 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 100 ⁺²⁰ | 100 ⁺²⁰ | 100 ⁺²⁰ | 100 ⁺²⁰ | |
| Elongation at break, transversal | % | SR ISO 10319:1997 | 120 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | |
| CBR puncture resistance | N | SR EN ISO 12236:07 | 300 ⁻⁵⁰ | 550 ⁻⁵⁵ | 600 ⁻⁶⁰ | 1000 ⁻¹⁰⁰ | 1200 ⁻¹²⁰ | 1500 ⁻¹⁵⁰ | 2200 ⁻²²⁰ | 2900 ⁻³⁰⁰ | 3500 ⁻³⁵⁰ | 4900 ⁻³⁰⁰ | 6300 ⁻⁵⁰⁰ | 7400 ⁻⁵⁰⁰ | |

Hydric properties

| Properties | Unit | Standard | Scheduled values and accepted tolerances | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----|
| | | | F | D | S | R | P | F+S | F+D | R+P | F+S+D | F+R+S | F+S | R+S | F+R |
| V-Index 20°C(permeabilitatea) | mm/s | SR EN ISO 11058: 02 | 135 ⁺¹⁰ | 125 ⁺¹⁰ | 120 ⁺¹⁰ | 115 ⁺¹⁰ | 105 ⁺¹⁰ | 95 ⁺¹⁰ | 75 ⁺¹⁰ | 65 ⁺¹⁰ | 50 ⁺¹⁰ | 35 ⁺¹⁰ | 25 ⁺⁵ | 19 ⁺¹⁰ | |
| Debitul de curgere | l/m ² s | SR EN ISO 11058: 02 | 135 ⁺¹⁰ | 125 ⁺¹⁰ | 120 ⁺¹⁰ | 115 ⁺¹⁰ | 105 ⁺¹⁰ | 95 ⁺¹⁰ | 75 ⁺¹⁰ | 65 ⁺¹⁰ | 50 ⁺¹⁰ | 35 ⁺¹⁰ | 25 ⁺⁵ | 19 ⁺¹⁰ | |
| Marimea porilor Ø90 | microni | EN ISO 12956:1999 | 300 ⁺²⁰ | 300 ⁺²⁰ | 250 ⁺²⁰ | 200 ⁺²⁰ | 150 ⁺¹⁰ | 100 ⁺¹⁰ | 80 ⁺²⁰ | 75 ⁺²⁰ | 75 ⁺²⁰ | 70 ⁺²⁰ | 50 ⁺¹⁰ | 50 ⁺¹⁰ | |
| k-Index la 20°C | m x10 ⁻³ /s | SR EN ISO 11058: 02 | 7.0 ^{-0.7} | 6.8 ^{-0.7} | 6.5 ^{-0.7} | 7.5 ^{-0.7} | 7.3 ^{-0.7} | 7.0 ^{-0.7} | 6.5 ^{-0.7} | 6.0 ^{-0.6} | 5.5 ^{-0.6} | 4.5 ^{-0.5} | 3.0 ^{-0.3} | 2.5 ^{-0.3} | |
| k-Index la 10°C | m x10 ⁻³ /s | SR EN ISO 11058: 02 | 5.4 ^{-0.7} | 5.2 ^{-0.7} | 5.0 ^{-0.7} | 5.7 ^{-0.7} | 5.6 ^{-0.7} | 5.4 ^{-0.7} | 5.0 ^{-0.7} | 4.6 ^{-0.6} | 4.2 ^{-0.6} | 3.5 ^{-0.5} | 2.3 ^{-0.3} | 1.9 ^{-0.3} | |

Functions (Role in the work)

F D S R P F+S F+D R+P F+S+D F+R+S F+S R+S F+R

SAMPLING, PACKAGING, STORAGE AND DELIVERY PACKAGE

Each lot shall contain a declaration of conformity and other documents, according to the laws in force. Each roll shall be sampled in a visible place with a label containing: the name of the provider, article name, product width (m), roll length (m), operator number, shift, technical control quality visa (QC visa), production date, weight (kg). **Given the way in which it was obtained and in which it is used, this article does not affect life protection, work protection, and security. Therefore, a certificate issued by a neuter institution authorized in the domain is not necessary.**

ENVIROMENTAL AND INSTALLING REQUIREMENTS

To be covered within 24 hours from instalation. The supposed durability is of minimum 20 years, for other applications except reinforcement, in natural soils with 4<pH<9 and a temperature of <25^o C.

PRODUCT RECEIPT

The term of acceptance and of formulating eventual complaints is within 5 days after receipt of the wares.

We are not liable for eventual damages caused by the incorrect putting into work of the geotextile or if the beneficiary uses a geotextile inadequate for the purpose of the work. We reserve the right to modify the technical data without prior notice.

DOMENIUL DE APLICARE

Produsul are aplicatie in domeniul constructiilor civile si industriale, constructii de drumuri si alte zone de trafic, lucrari de stabilizare, fundatii si structuri de suport, lucrari de control erozional (protectii de coasta, captusire bancuri), constructia de canale, depozite solide de deseuri, constructia de cai ferate, sisteme de drenaj, constructia de rezervoare si diguri, constructia de tunele si structuri de adancime, lucrari de retinere a reziduurilor lichide.

CERINTE LA TRANSPORT SI LA DEPOZITARE

Materialul se transporta cu mijloace de transport curate, acoperite, ferite de umezeala si murdarie. Depozitarea se face in spatii inchise, ferite de actiunea razelor ultraviolete, departe de conducte de abur, apa, etc.

CONDITII TEHNICE DE CALITATE

Geotextilele Geosin, trebuie sa respecte conditiile de calitate din tabelul de mai jos:

Proprietati fizico-mecanice

| Proprietati | Unitate | Standard | Valori prevazute si tolerante admise | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|--|
| Masa | gr/m ² | EN 965:1995 | 100 ^{+10%} | 130 ^{+10%} | 150 ^{+10%} | 200 ^{+10%} | 250 ^{+10%} | 300 ^{+10%} | 400 ^{+10%} | 500 ^{+10%} | 600 ^{+10%} | 800 ^{+10%} | 1000 ^{+10%} | 1100 ^{+10%} | |
| Grosime la sarcina de 2 kN/m ² | mm | EN 964-1:1995 | 2.1 ^{+0.2} | 2.3 ^{+0.2} | 2.4 ^{+0.2} | 2.8 ^{+0.2} | 3.2 ^{+0.3} | 4.8 ^{+0.4} | 5.0 ^{+0.4} | 5.8 ^{+0.5} | 6.0 ^{+0.6} | 7.0 ^{+0.7} | 7.8 ^{+0.7} | 8.1 ^{+0.8} | |
| Grosime la sarcina de 20 kN/m ² | mm | EN 964-1:1995 | 1.1 ^{+0.2} | 1.2 ^{+0.2} | 1.4 ^{+0.2} | 1.6 ^{+0.2} | 2.0 ^{+0.3} | 3.2 ^{+0.4} | 4.0 ^{+0.4} | 4.9 ^{+0.5} | 5.0 ^{+0.6} | 6.0 ^{+0.7} | 6.8 ^{+0.7} | 7.1 ^{+0.8} | |
| Rezistenta la rupere, longitudinal min. | kN/m | SR ISO 10319:1997 | 3 ⁻¹ | 5 ⁻¹ | 7 ⁻¹ | 10 ⁻¹ | 12 ⁻² | 16 ⁻² | 20 ⁻² | 25 ⁻³ | 31 ⁻³ | 40 ⁻³ | 45 ⁻³ | 50 ⁻⁵ | |
| Rezistenta la rupere, transversal min. | kN/m | SR ISO 10319:1997 | 6 ⁻¹ | 12 ⁻¹ | 15 ⁻¹ | 22 ⁻² | 26 ⁻³ | 31 ⁻³ | 40 ⁻⁴ | 47 ⁻⁵ | 55 ⁻⁶ | 75 ⁻⁶ | 90 ⁻⁶ | 100 ⁻¹⁰ | |
| Alungirea la rupere, longitudinal | % | SR ISO 10319:1997 | 100 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 80 ⁺²⁰ | 100 ⁺²⁰ | |
| Alungirea la rupere, transversal | % | SR ISO 10319:1997 | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | 60 ⁺²⁰ | |
| Poansonare cu CBR | N | SR EN ISO 12236:07 | 900 ⁻²⁰⁰ | 1300 ⁻¹³⁰ | 1600 ⁻¹⁷⁰ | 2300 ⁻²³⁰ | 2800 ⁻³⁰⁰ | 3500 ⁻³⁰⁰ | 4700 ⁻⁵⁰⁰ | 5700 ⁻⁶⁰⁰ | 6500 ⁻⁷⁰⁰ | 8500 ⁻⁸⁰⁰ | 10000 ⁻⁸⁰⁰ | 13000 ⁻¹³⁰⁰ | |

Proprietati hidrice

| Proprietati | Unitate | Standard | Valori prevazute si tolerante admise | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|
| V-Index la 20°C | mm/s | SR EN ISO 11058: 02 | 170 ⁺²⁰ | 115 ⁺²⁰ | 105 ⁺²⁰ | 100 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 75 ⁺²⁰ | 60 ⁺¹⁰ | 45 ⁺¹⁰ | 40 ⁺¹⁰ | 28 ⁺⁵ | 22 ⁺⁵ | 18 ⁺⁵ | |
| Debitul de curgere | l/m ² s | SR EN ISO 11058: 02 | 170 ⁺²⁰ | 115 ⁺²⁰ | 105 ⁺²⁰ | 100 ⁺²⁰ | 90 ⁺²⁰ | 75 ⁺²⁰ | 60 ⁺¹⁰ | 45 ⁺¹⁰ | 40 ⁺¹⁰ | 28 ⁺⁵ | 22 ⁺⁵ | 18 ⁺⁵ | |
| Marimea porilor Φ90 | microns | EN ISO 12956:1999 | 250 ⁺²⁰ | 250 ⁺²⁰ | 200 ⁺²⁰ | 180 ⁺²⁰ | 150 ⁺²⁰ | 120 ⁺²⁰ | 90 ⁺¹⁰ | 80 ⁺²⁰ | 70 ⁺²⁰ | 70 ⁺²⁰ | 70 ⁺²⁰ | 70 ⁺²⁰ | |
| k-Index la 20°C | m x10 ⁻³ /s | SR EN ISO 11058: 02 | 9.0 ^{-0.8} | 7.9 ^{-0.7} | 7.4 ^{-0.7} | 8.0 ^{-0.7} | 7.7 ^{-0.7} | 7.1 ^{-0.7} | 6.4 ^{-0.6} | 5.8 ^{-0.6} | 5.2 ^{-0.5} | 4.6 ^{-0.4} | 4.0 ^{-0.4} | 3.4 ^{-0.4} | |
| k-Index la 10°C | m x10 ⁻³ /s | SR EN ISO 11058: 02 | 6.9 ^{-0.8} | 6.1 ^{-0.7} | 5.7 ^{-0.7} | 6.2 ^{-0.7} | 5.9 ^{-0.7} | 5.5 ^{-0.7} | 5.0 ^{-0.6} | 4.5 ^{-0.6} | 4.0 ^{-0.5} | 3.5 ^{-0.4} | 3.1 ^{-0.4} | 2.6 ^{-0.4} | |

Funcțiuni (Rol in lucrare)

| F | D | S | R | P | F+S | F+D | R+P | F+S+D | F+R+S | F+S | R+S | F+R |
|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-----|
|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-----|

MARCARE, AMBALARE, DEPOZITARE SI COMPLET DE LIVRARE

Fiecare lot va fi insotit de declaratie de conformitate si alte documente conform legilor in vigoare. Fiecare rola se marcheaza la loc vizibil cu o eticheta care contine: denumirea furnizorului, denumirea articolului, latimea produsului(m), lungimea rolei(m), nr.marca operator, schimbul, data fabricatiei, greutatea(kg)

Articolul, prin modul de obtinere si utilizare, nu atinge protectia vietii, protectia si securitatea muncii, nefiind necesar un certificat elaborat de o societate neutra autorizata in domeniu.

CERINTE DE MEDIU SI INSTALARE

A se acoperi in 48 de ore dupa instalare. Durabilitatea presupusa pentru minim 30 ani in pamanturi naturale cu 4<pH<9 si o temperatura <25° C si de 7 ani pentru pamanturi naturale cu pH ≤4 sau pH ≥9.

RECEPTIA PRODUSULUI

Termenul de receptie si de formulare a eventualelor reclamatii este de 5 zile de la preluarea marfii.

Nu ne asumam raspunderea pentru eventualele pagube datorate punerii incorecte in opera a geotextilului sau folosirii de catre beneficiari al unui geotextil inadecvat scopului lucrarii. Ne rezervam dreptul de a face modificari asupra datelor tehnice, fara o notificare prealabila.

3.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στη βιβλιογραφία που ανακτήθηκε βρέθηκαν έρευνες παρόμοιες με την παρούσα, οι οποίες έχουν ως βασικό κοινό χαρακτηριστικό τη διαδικασία εκτέλεσης των δοκιμών και ιδιαίτερα τον τρόπο τοποθέτησης των γεωυφαντών στην κυψέλη φόρτισης. Κάθε μία ωστόσο μελετά τη διαδικασία από διαφορετική οπτική γωνία, αφού χρησιμοποιούν διαφορετικά υλικά. Τέτοια υλικά είναι οι γεωμεμβράνες και τα υφαντά γεωυφάσματα, διαφορετικοί τύποι εδαφικών υλικών και διαφορετικά μεγέθη στην κυψέλη της συσκευής διάτμησης. Παρακάτω θα αναλυθούν κάποιες από τις μελέτες, οι οποίες συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής.

- Ο Derountis N. σε συνέδριο που πραγματοποιήθηκε το 2022 παρουσίασε τα πειραματικά αποτελέσματα που είχε λάβει από τις δοκιμές διάτμησης μεγάλης κλίμακας σε διεπιφάνειες εδάφους-γεωσυνθετικών που είχε πραγματοποιήσει.

Σκοπός της μελέτης είναι η κατανόηση της αλληλεπίδρασης αντοχής μεταξύ εδάφους και γεωσυνθετικών υλικών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι η διατμητική αντοχή στη διεπιφάνεια εδάφους-γεωσυνθετικών διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου γεωσυνθετικού. Διεξήχθησαν μεγάλης κλίμακας δοκιμές άμεσης διάτμησης για τη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιλεγμένων υλικών επιχώματος με γεωυφάσματα και γεωπλέγματα υπό λειτουργία άμεσης διάτμησης. Σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στην κατηγορία E3 - E4 και συμπιεστήκε στη βέλτιστη ξηρή πυκνότητα και περιεκτικότητα σε υγρασία. Επίπεδο γεώφασμα και γεωπλέγμα χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τη σύγκριση της επίδρασης της ενίσχυσης στη διατμητική αντοχή του συμπιεσμένου υλικού. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρατηρείται ότι η διατμητική αντοχή της διεπαφής της άμμου, η οποία είναι ενισχυμένη με γεωσυνθετικά υλικά, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μορφή με την οποία χρησιμοποιείται. Συγκριτικά με το έδαφος χωρίς γεώφασμα δεν δόθηκε καμία σημαντική αύξηση της διατμητικής αντοχής ή της γωνίας τριβής της διεπιφάνειας από το έδαφος ενισχυμένο με ένα επίπεδο γεωπλέγμα. Από την άλλη πλευρά μια οριστική μείωση δόθηκε από το έδαφος ενισχυμένο με ένα επίπεδο γεώφασμα στη γωνία τριβής της διεπιφάνειας.

- Ο Ι. Ν. Μάρκου με τους συνεργάτες του (2015) δημοσίευσε μια πειραματική διερεύνηση για την διατμητική αντοχή σε διεπιφάνειες εδαφών – γεωμεμβρανών,

συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που έλαβε από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης και δοκιμές άμεσης διάτμησης.

Δοκιμές τριαξονικής φόρτισης άμμου ενισχυμένης με επτά γεωμεμβράνες διαφόρων τύπων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της γωνίας τριβής, δ , στη διεπιφάνεια άμμου – γεωμεμβράνης με εφαρμογή ειδικής μεθοδολογίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενισχυμένη άμμος εμφανίζει γενικά διγραμμικές περιβάλλουσες αστοχίας. Οι τιμές της γωνίας τριβής, δ , από δοκιμές άμεσης διάτμησης στις ίδιες διεπιφάνειες άμμου–γεωμεμβρανών εξαρτώνται από τον τύπο γεωμεμβράνης και είναι συγκρίσιμες με τις τιμές που προέκυψαν από τις δοκιμές τριαξονικής φόρτισης. Δοκιμές άμεσης διάτμησης εκτελέστηκαν επίσης για τη μελέτη της συμπεριφοράς στην επιφάνεια επαφής λεπτόκοκκου εδάφους χαμηλής πλαστικότητας – γεωμεμβρανών. Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι οι περιβάλλουσες αστοχίας είναι καμπύλες πολυωνυμικής μορφής. Η συμπεριφορά αυτή πιθανά αποδίδεται σε μετάβαση από στραγγισμένες σε αστράγγιστες συνθήκες με την αύξηση της ορθής τάσης.

- Οι Apinithi Jotisankasa και Natthapat Rurgchaisri το 2018 δημοσίευσαν για την διατμητική αντοχή διεπιφανειών μεταξύ ακόρεστων εδαφών και σύνθετου γεωυφάσματος με ενίσχυση πολυεστερικού νήματος.

Σύνθετα γεωυφάσματα με ενίσχυση πολυεστερικού νήματος έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ακόρεστα εδάφη. Τόσο η ακόρεστη όσο και η κορεσμένη διατμητική αντοχή των διεπιφανειών διερευνήθηκαν μεταξύ ενός σύνθετου γεωυφάσματος και τριών κύριων τύπων υλικών: ιλυώδης άμμος (SM), ιλύς χαμηλής πλαστικότητας (ML) και άργιλος υψηλής πλαστικότητας (CH) σε κιβώτιο άμεσης διάτμησης. Οι διεπαφές διαμορφώθηκαν χρησιμοποιώντας δύο μεθόδους (Α και Β) για να αντικατοπτρίζουν το ευρύ φάσμα πιθανών συνθηκών επαφής στην πράξη. Η μέθοδος Α περιελάμβανε στατική συμπίεση του εδάφους απευθείας πάνω από το σύνθετο γεωύφασμα, ενώ για τη Μέθοδο Β, το έδαφος συμπίεστηκε στατικά σε ξεχωριστό καλούπι και αργότερα ήρθε σε επαφή με το σύνθετο γεωύφασμα. Οι διεπαφές τύπου Β απαιτούσαν μεγαλύτερη μετατόπιση για την κινητοποίηση της διατμητικής αντοχής από τις διεπαφές τύπου Α. Οι περιβάλλουσες τελικής αστοχίας των εδαφών SM και ML ήταν παρόμοιες με αυτές της διάτμησης διεπαφής τους. Αξιοσημείωτα, οι περιβάλλουσες αστοχίας για τη διεπαφή αργίλου-γεωυφάσματος και των δύο τύπων ήταν υψηλότερες από αυτές της αργίλου. Η διάτμηση του ακόρεστου εδάφους, χωρίς κάποια προσθήκη

γεωυλικού είχε υψηλότερη μέγιστη αντοχή και έτεινε να διαστέλλεται περισσότερο από τη διάτμηση του κορεσμένου εδάφους, ενώ η διάτμηση της διεπαφής του ακόρεστου εδάφους φάνηκε να είναι πιο συσταλτική από τη διάτμηση του κορεσμένου εδάφους - γεωυλικού. Οι διακυμάνσεις αντοχής με την αναρρόφηση για όλα τα εδάφη που δοκιμάστηκαν με και χωρίς την διεπαφή με γεωυλικό ήταν σαφώς μη γραμμικές. Ένα νέο μοντέλο που λαμβάνει υπόψη την κατάσταση της οικειότητας επαφής εδάφους-γεωϋφάσματος προτείνεται προκειμένου να μπορέσει να προβλεφθεί η διακύμανση της ισχύος διεπαφής με την αναρρόφηση. Αυτή η διαδικασία βασίζεται στη διακύμανση της φαινόμενης συνοχής του εδάφους με αναρρόφηση και στην καμπύλη γεωυφάσματος-κατακράτησης νερού.

- Οι I.R. Fleming, J.S. Sharma, και M.B. Jogi το 2006 δημοσίευσαν για την διατμητική επαφή γεωμεμβράνης – εδάφους υπό ακόρεστες συνθήκες.

Αναλυτικότερα δοκιμές διάτμησης σε διεπαφές εδάφους – γεωμεμβράνης χωρίς υφή πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας μια τροποποιημένη συσκευή άμεσης διάτμησης. Συγκεκριμένα υπήρχε εγκατεστημένο ένας μικροσκοπικός μετατροπέας πίεσης πόρων (PPT), με τον οποίο μετρήθηκαν οι αλλαγές πίεσης πόρου - νερού στην περιοχή της διεπαφής γεωμεμβράνης - εδάφους κατά τη διάτμηση. Έτσι έγινε δυνατή η ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών ως προς τις ενεργές τάσεις. Όταν σχεδιάστηκαν ως προς τις συνολικές τάσεις, λήφθηκαν περιβάλλουσες διατμητικής αντοχής της διεπαφής, σύμφωνα με αυτές που δημοσιεύονται και στη βιβλιογραφία. Ωστόσο, τα αποτελέσματα ήταν δύσκολο να ερμηνευτούν χρησιμοποιώντας ενεργές τάσεις, ιδιαίτερα αυτές που λαμβάνονται όταν ασκούνται υψηλές ορθές τάσεις. Διαπιστώθηκε ότι σε χαμηλές τιμές ορθής τάσης η διατμητική αντοχή μιας διεπαφής γεωμεμβράνης-εδάφους ως προς τις ενεργές τάσεις μπορούσε να προβλεφθεί χρησιμοποιώντας έννοιες της ακόρεστης εδαφομηχανικής. Σε υψηλές ορθές τάσεις, βρέθηκε ότι ο μηχανισμός αστοχίας άλλαξε από σωματίδια εδάφους που γλιστρούν στην επιφάνεια της γεωμεμβράνης σε σωματίδια εδάφους που ενσωματώνονται στη γεωμεμβράνη και οργώνουν τάφρους κατά την κατεύθυνση της διάτμησης. Ένας μηχανισμός αστοχίας οργώματος είχε ως αποτέλεσμα την κινητοποίηση σημαντικά υψηλότερης διατμητικής αντοχής στη διεπιφάνεια γεωμεμβράνης-εδάφους. Βρέθηκε ότι σε υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό για το έδαφος, επικρατούν σχεδόν κορεσμένες συνθήκες στη διεπιφάνεια γεωμεμβράνης-εδάφους, οι οποίες έχουν ως

αποτέλεσμα χαμηλότερες αποτελεσματικές τάσεις, πιο ρηχό μηχανισμό οργώματος και χαμηλότερες τιμές κινητοποιημένης διατμητικής αντοχής διεπαφής.

- Οι Anubhav και P.K. Basudhar το 2009 δημοσίευσαν για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς διεπαφής εδάφους – υφαντού γεωυφάσματος από άμεση διάτμηση.

Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι η απόδοση των γεωσυνθετικά ενισχυμένων εδαφικών κατασκευών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κάποιιοι εκ των οποίων είναι τα χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά της διεπαφής μεταξύ εδάφους και γεωσυνθετικού. Γι αυτόν τον λόγο πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε μια συσκευή άμεσης διάτμησης για τη μελέτη της συμπεριφοράς διατμητικής τάσης - μετατόπισης στη διεπιφάνεια εδάφους - γεωυφάσματος χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά υφαντά γεωυφάσματα. Αναλύοντας τα δεδομένα που λήφθηκαν με αυτόν τον τρόπο παρουσιάστηκε ένα μη γραμμικό μοντέλο για την πρόβλεψη τόσο της συμπεριφοράς διεπαφής πριν και μετά την μέγιστη διατμητική τάση. Οι προβλέψεις που έγιναν από το αναπτυγμένο μοντέλο φάνηκαν να είναι σε καλή συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα που λαμβάνονται από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης. Συμπερασματικά καθώς η σχέση διατμητικής τάσης - μετατόπισης εξαρτάται από τις ειδικές ιδιότητες του γεωυφάσματος και του εδάφους κάθε φορά, το αναπτυγμένο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τις διεπαφές που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

3.3. Περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν

Η δοκιμή της άμεσης διάτμησης πραγματοποιήθηκε σε μια καλά διαβαθμισμένη άμμο SW, η οποία λήφθηκε από δείγμα που προϋπήρχε στο εργαστήριο Εδαφομηχανικής του ΕΜΠ (εικόνα 28). Παρακάτω είναι εμφανές ένα ενδεικτικό διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης (διάγραμμα 1) που κατασκευάστηκε πριν ξεκινήσουν οι δοκιμές σε ολόκληρο το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε και αφού ολοκληρώθηκαν.

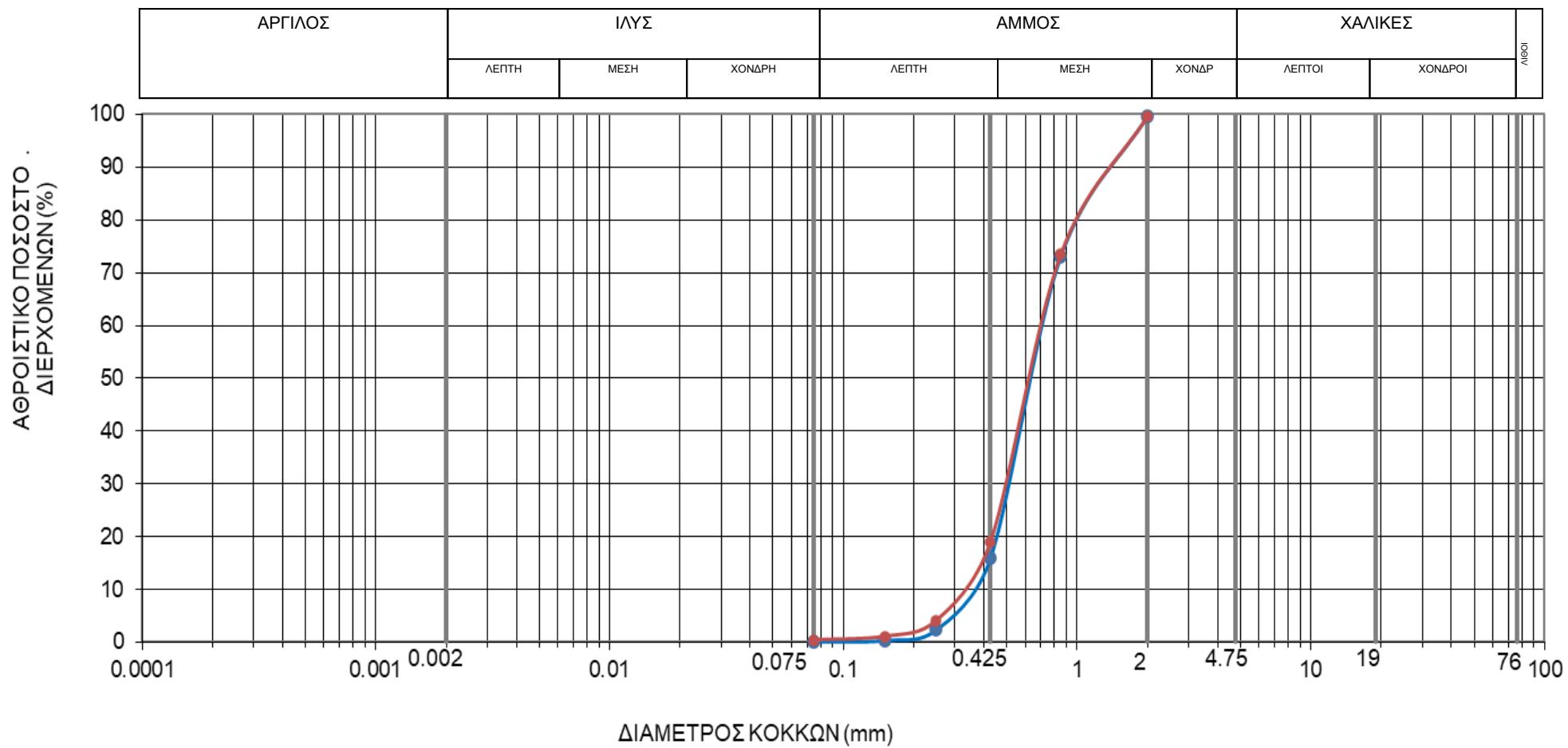


Εικόνα 28 Αμμώδες εδαφικό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 29 Κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν για την κοκκομετρική διαβάθμιση του εδαφικού υλικού (Προσωπική λήψη)

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



Διάγραμμα 1 Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος κατά την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών

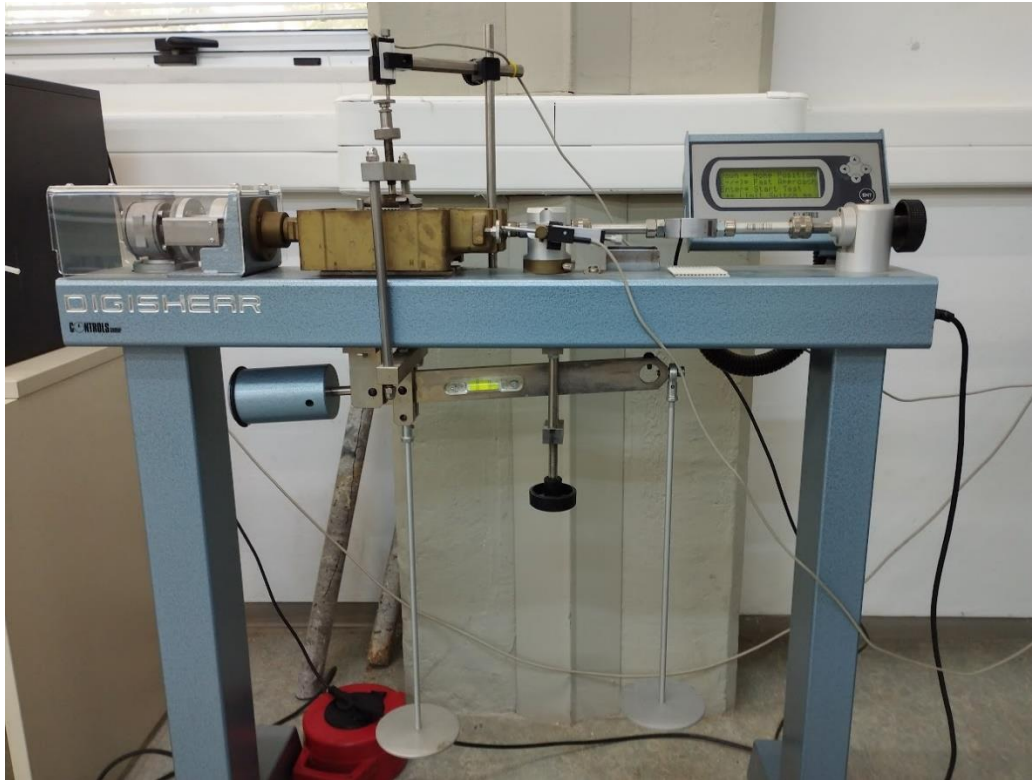
Η συσκευή διάτμησης που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραματικών δοκιμών φαίνεται στην εικόνα 31 και είναι ελεγχόμενης μετακίνησης με τετραγωνικό φορείο διαστάσεων 60x60mm. Σύμφωνα με τον Koerner, φορεία τέτοιων διαστάσεων θεωρούνται ικανοποιητικά για υλικά όπως αυτά που εξετάστηκαν στην συγκεκριμένη διερεύνηση. Τα φορεία διαστάσεων 300x300mm με βάση το πρότυπο ASTM 5321-92 απαιτούνται σε κάθε περίπτωση, αλλά γενικότερα είναι πιο κατάλληλα για γεωδίκτυα, γεωπλέγματα και άλλα γεωσύνθετα, όμως θεωρούνται υπερμεγέθη για γεωυφάσματα και γεωμεμβράνες (Μάρκου).

Στο φορείο διαστάσεων 60x60mm μπορούν να ασκηθούν διατμητική φόρτιση μέχρι και 5000N, κάθετη φόρτιση 500N, ή αλλιώς 5000N χρησιμοποιώντας το υποστήριγμα πολλαπλασιασμού 1:10, μέγιστης μετακίνησης 23 mm. Όλες οι μετακινήσεις που πραγματοποιούνται στη συσκευή καταγράφονται μέσω των αισθητήρων σε συγκεκριμένο λογισμικό στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα κανάλια καταγραφής είναι της κατακόρυφης τάσης, της παραμόρφωσης και της οριζόντιας μετακίνησης.

Στη συσκευή άμεσης διάτμησης πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι δοκιμών. Ο πρώτος ήταν με το χωμάτινο υλικό απλά συμπιεσμένο. Ο δεύτερος ήταν μεταξύ του συμπιεσμένου υλικού και του γεωυφάσματος, το οποίο τοποθετήθηκε στο επάνω μέρος του κατώτερου κιβωτίου διάτμησης, αντιπροσωπεύοντας την διεπιφάνεια διάτμησης του εδάφους, όπως φαίνεται στην εικόνα 30.

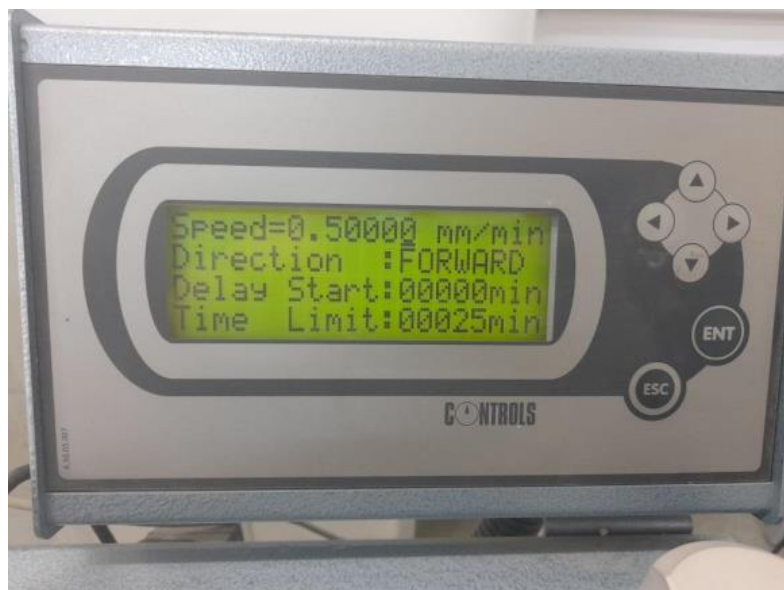


Εικόνα 30 Τετραγωνικό φορείο μετά το πέρας μίας δεύτερης σειράς δοκιμών



Εικόνα 31 Συσκευή άμεσης διάτμησης που χρησιμοποιήθηκε (Προσωπική λήψη)

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν υπό κανονικά φορτία που αντιστοιχούν σε κανονικές τάσεις των 100, 200 και 400 kPa, με ρυθμό μετατόπισης διάτμησης 0.5 mm/min. Στην εικόνα 32 φαίνεται η οθόνη της συσκευής άμεσης διάτμησης και ο ρυθμός μετατόπισης που προαναφέρθηκε.



Εικόνα 32 Οθόνη συσκευής άμεσης διάτμησης (Προσωπική λήψη)

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν οι τάσεις σε σχέση με τα φορτία είναι:

$$\sigma = F / A,$$

όπου σ η διατμητική τάση, F το βάρος και A η επιφάνεια του δείγματος = 6 cm².

3.4. Παραμετροποίηση της διαδικασίας εκτέλεσης δοκιμών

Με δοκιμαστικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν πριν από την διεξαγωγή των επίσημων δοκιμών παρατηρήθηκε ότι δεν είναι απαραίτητη η στατική στερεοποίηση του δείγματος για 24 ώρες πριν πραγματοποιηθεί η διάτμηση, αλλά μισή ώρα φόρτισης με το μέγιστο φορτίο των δοκιμών είναι αρκετό για να πραγματοποιηθεί ορθά η διάτμηση στο επιθυμητό φορτίο (100, 200, 400kPa) αντίστοιχα.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε διάτμηση του δοκιμίου χωρίς την ύπαρξη νερού στην κυψέλη φόρτισης, με το δείγμα να είναι απλά στραγγισμένο για λόγους τριβής. Αυτό έγινε προκειμένου να παρατηρηθεί αν θα υπάρξουν έντονες διαφορές στο τελικό αποτέλεσμα. Αφού δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφορά στο αποτέλεσμα οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο με ύπαρξη νερού στην κυψέλη.

Κατά την διεξαγωγή όλων των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια πλακίδια γεωφασμάτων και το ίδιο δείγμα άμμου, προκειμένου να αλλάζει μόνο μία παράμετρος κάθε φορά (γεωύφασμα ή ορθή τάση). Αυτό είναι εφικτό στις συγκεκριμένες δοκιμές, διότι η άμμος, σε αντίθεση με τα αργιλικά υλικά, είναι πιο εύκολη στη διαχείρισή της, δεν καταστρέφεται η κοκκομετρική της διαβάθμιση και δεν καταστρέφει το γεωύφασμα. Μετά το πέρας κάθε δοκιμής πραγματοποιήθηκε δοκιμή κοκκομετρικής διαβάθμισης, προκειμένου να αποδειχθεί εάν είναι ορθή η επαναλαμβανόμενη χρήση του ίδιου δείγματος άμμου.

Το συμπέρασμα ότι η άμμος δεν καταστρέφεται κατά την διάρκεια των δοκιμών προκύπτει από το διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης, όπου φαίνονται μόνο λίγες διαφορές λόγω απωλειών κατά την πλύση και μεταφορά της κυψέλης μετά από κάθε δοκιμή που πραγματοποιούταν.

3.5. Προετοιμασία δειγμάτων

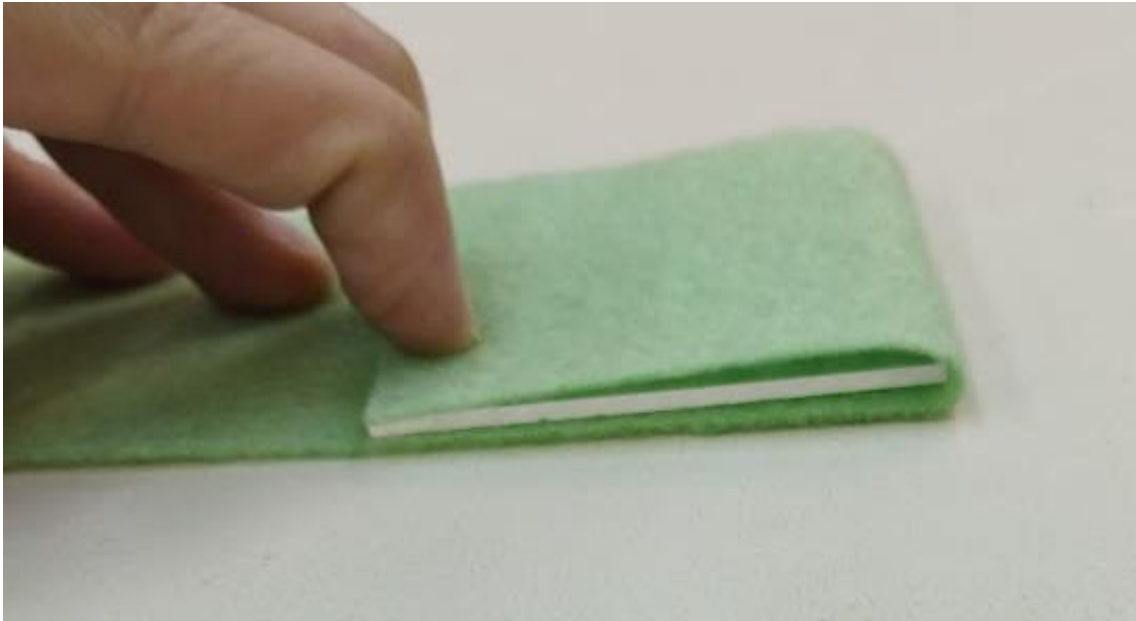
Προκειμένου να επιτευχθούν οι μετρήσεις με την χρήση των γεωφασμάτων έπρεπε η συμπύκνωση του δείγματος να μην επηρεάσει το ύψος που βρισκόταν το γεωύφασμα, ώστε να μπορεί να μετρηθεί η διατμητική τάση με την χρήση του. Για να

γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκαν μη παραμορφούμενα φύλλα plexiglass, τα οποία φαίνονται στην εικόνα 33 για να γεμίσει το κατώτερο κιβώτιο διάτμησης και να μην μετακινείται.

Ακόμα για να μην μετακινείται το γεώφασμα κατά τη διάρκεια της μετακίνησης του ανώτερου κιβωτίου στερεοποιήθηκε αντίστοιχα σε ένα από τα πλαστικά αυτά υλικά όπως φαίνεται στην εικόνα 34.



Εικόνα 33 Plexiglass που χρησιμοποιήθηκαν στη βάση στην κυψέλη φόρτισης (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 34 Κατασκευή δείγματος επιφάνειας γεωυφάσματος για την συσκευή άμεσης διάτμησης (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 35 Συγκράτηση γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη)



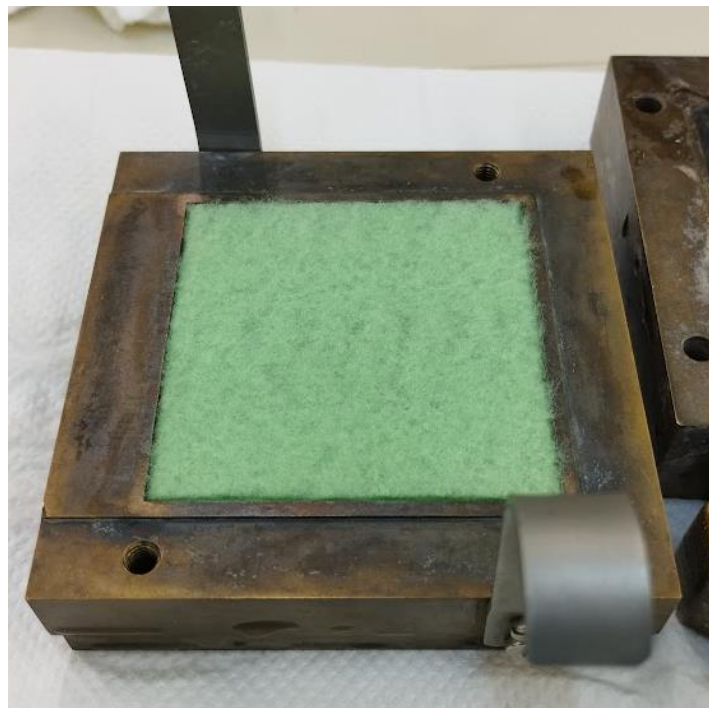
Εικόνα 36 Όλα τα γεωφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν διαμορφωμένα και έτοιμα για δοκιμή (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 37 Επιφάνεια διάτμησης γεωφασμάτων - εδαφικού υλικού (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 38 Βάση της κυψέλης και επιφάνεια διάτμησης γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 39 Επιφάνεια διάτμησης γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 40 Πλάγια όψη επιφάνειας διάτμησης γεωυφάσματος (Προσωπική λήψη)



Εικόνα 41 Κυψέλη μετά τη διάτμηση (Προσωπική λήψη)

4. Αποτελέσματα δοκιμών

4.1. Διαγράμματα δοκιμών

Με την χρήση της συσκευής διάτμησης και του κατάλληλου λογισμικού λήφθηκαν οι τιμές κατακόρυφης τάσης, οριζόντιας μετατόπισης και διατμητικής τάσης. Κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα, τα οποία απεικονίζουν αντίστοιχα:

- 1) Την διατμητική τάση κάθε γεωφάσματος σε συνάρτηση με την οριζόντια μετατόπιση, με κοινή παράμετρο την ορθή τάση που ασκήθηκε στο δοκίμιο (100, 200 και 400 kPa).
- 2) Την διατμητική τάση των τριών ορθών τάσεων που ασκήθηκαν στο δοκίμιο σε συνάρτηση με την οριζόντια μετατόπιση, με κοινή παράμετρο το κάθε γεωφάσμα.
- 3) Τις μέγιστες διατμητικές τάσεις σε συνάρτηση με τις ορθές τάσεις που ασκήθηκαν στο δοκίμιο ανάλογα με την ποσοστιαία παραμόρφωση του δοκιμίου. Τα διαγράμματα αυτά κατασκευάστηκαν προκειμένου να υπολογιστούν οι κύριες παράμετροι παραμόρφωσης του εδαφικού υλικού, οι οποίες είναι η φαινόμενη συνοχή (c) και η γωνία εσωτερικής τριβής (φ).

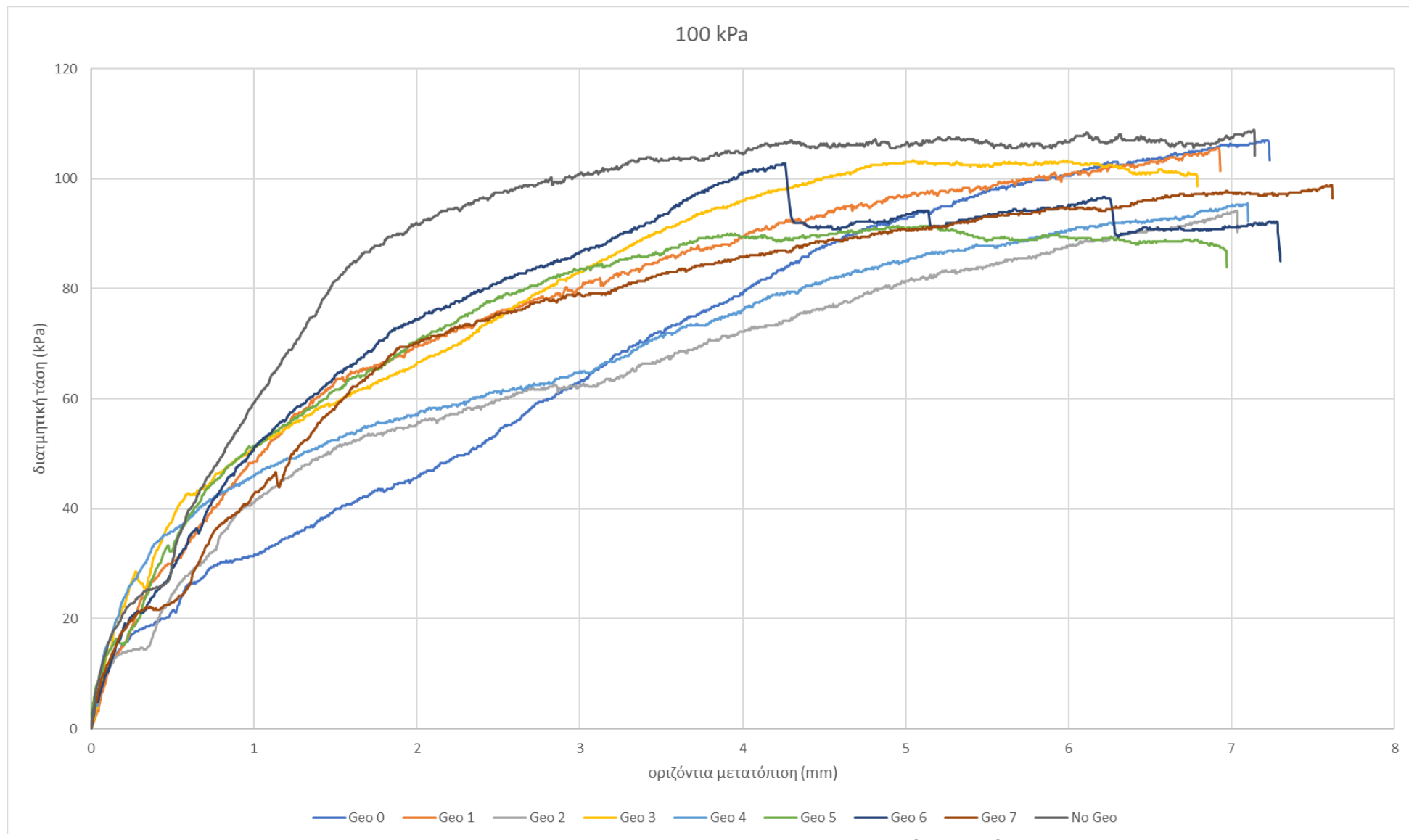
Πίνακας 6 Ποσοστιαία παραμόρφωση δείγματος σε συνάρτηση με την οριζόντια μετατόπιση

| Ποσοστιαία παραμόρφωση (%) | Οριζόντια μετατόπιση (mm) |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 | 0.6 |
| 2 | 1.2 |
| 3 | 1.8 |
| 4 | 2.4 |
| 5 | 3 |
| 6 | 3.6 |

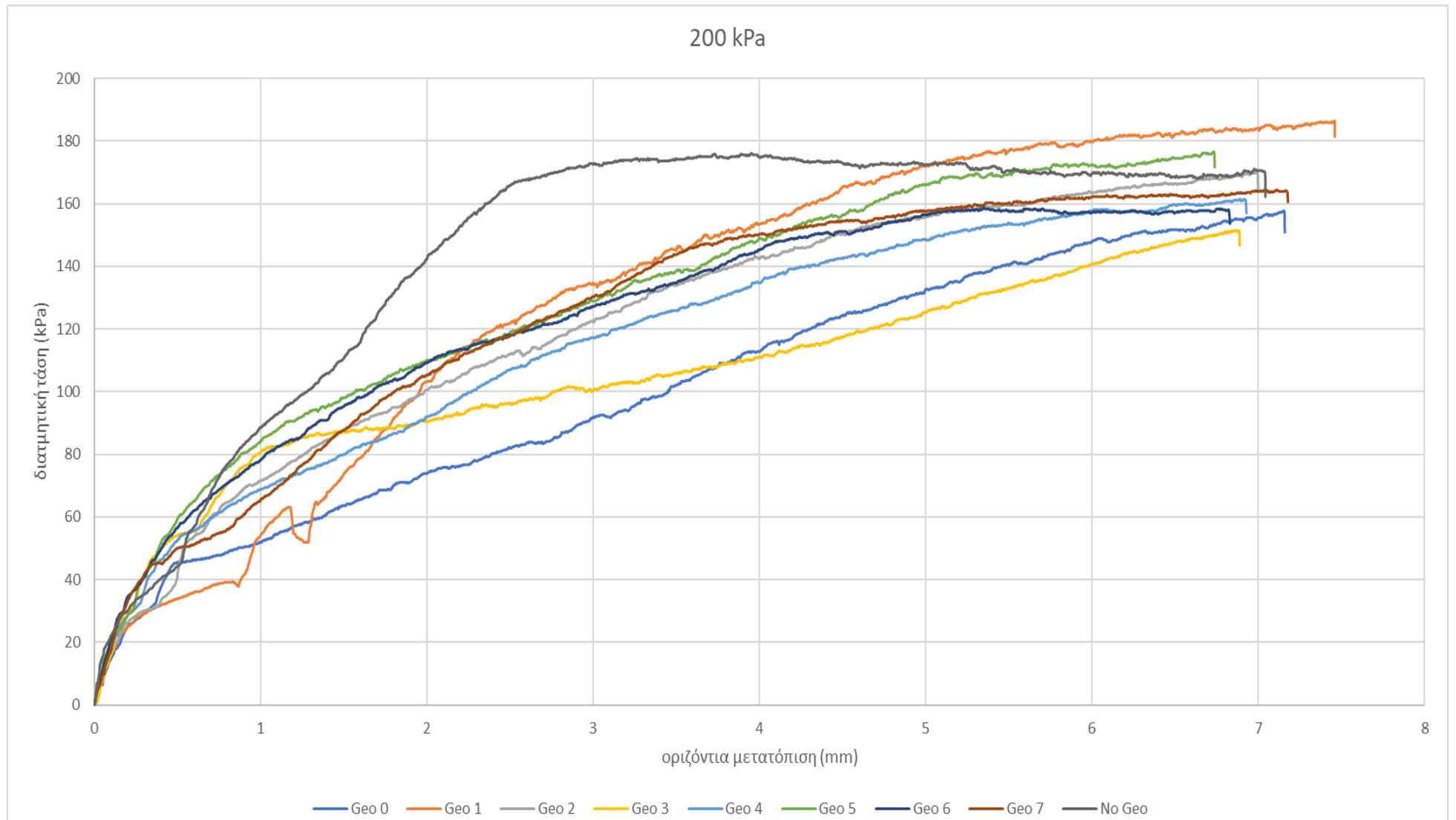
4.2. Παρατηρήσεις 1^{ης} ομάδας διαγραμμάτων

Από τα παρακάτω διαγράμματα (2, 3 και 4) παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ορθή τάση στις δοκιμές τόσο πιο πυκνά είναι τα διαγράμματα που προκύπτουν. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι υπάρχει μικρότερο εύρος στην συνολική διατμητική παραμόρφωση ανάμεσα στα διαφορετικά γεωφάσματα. Αυτό το γεγονός αποδίδεται στην πιο έντονη συμπίκνωση του υλικού.

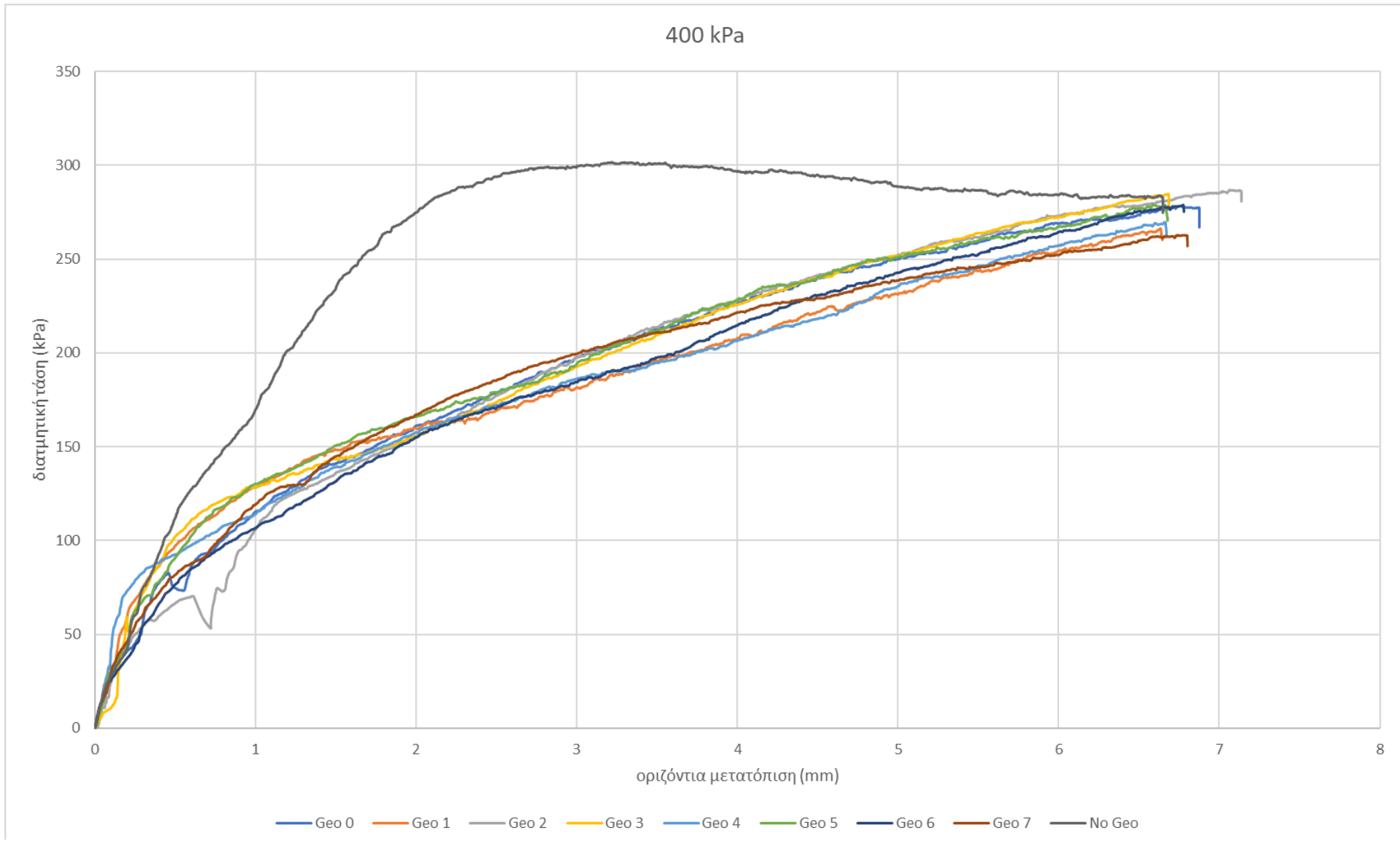
Ακόμα δεν παρατηρείται η τυπική μορφή διατμητικής αστοχίας του υλικού στα διαγράμματα διατμητικών τάσεων με την χρήση των γεωφασμάτων καθώς η άμμος ολισθαίνει πάνω στη διεπιφάνεια των γεωφασμάτων. Η παρατήρηση αυτή είναι πιο έντονη στο διάγραμμα 4, όπου η καμπύλη διάτμησης του υλικού χωρίς την ύπαρξη γεωφάσματος απέχει αρκετά από τις υπόλοιπες καμπύλες, οι οποίες έχουν γεωφάσματα.



Διάγραμμα 2 Διατμητική τάση όλων των γεωφασμάτων με σταθερή ορθή τάση 100kPa



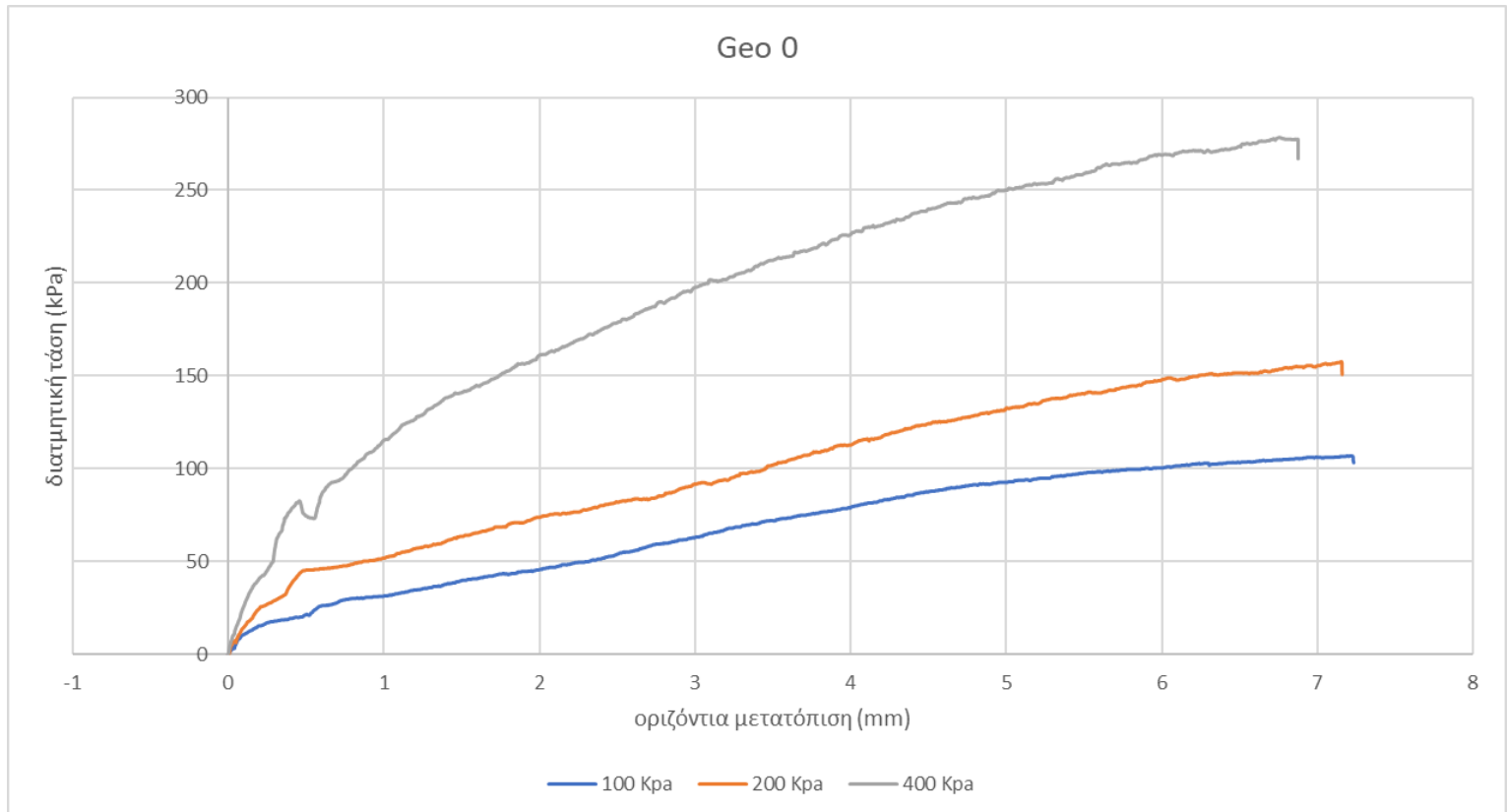
Διάγραμμα 3 Διατμητική τάση όλων των γεωυφασμάτων με σταθερή ορθή τάση 200kPa



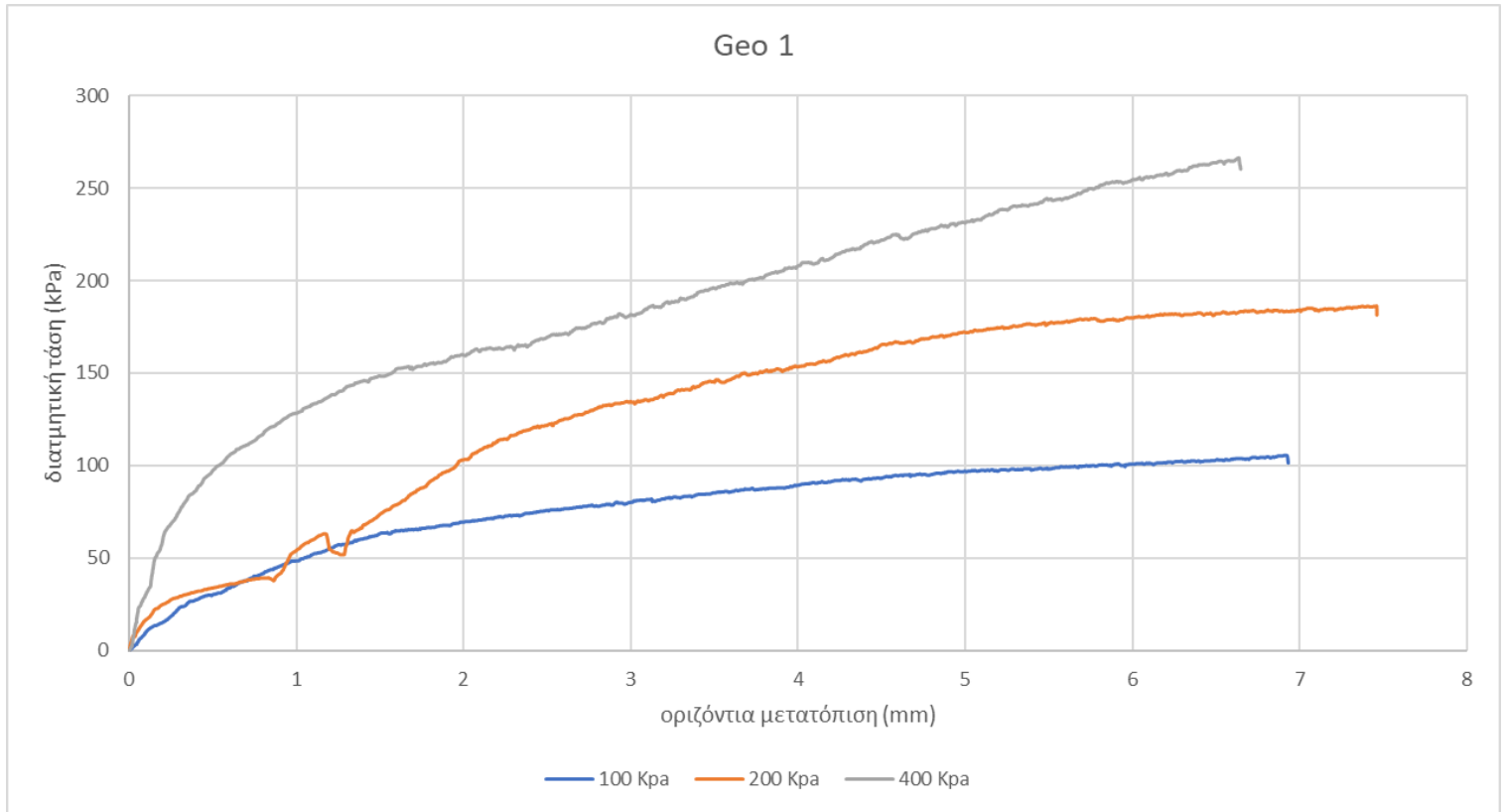
Διάγραμμα 4 Διατμητική τάση όλων των γεωυφασμάτων με σταθερή ορθή τάση 400kPa

4.3. Παρατηρήσεις 2^{ης} ομάδας διαγραμμάτων

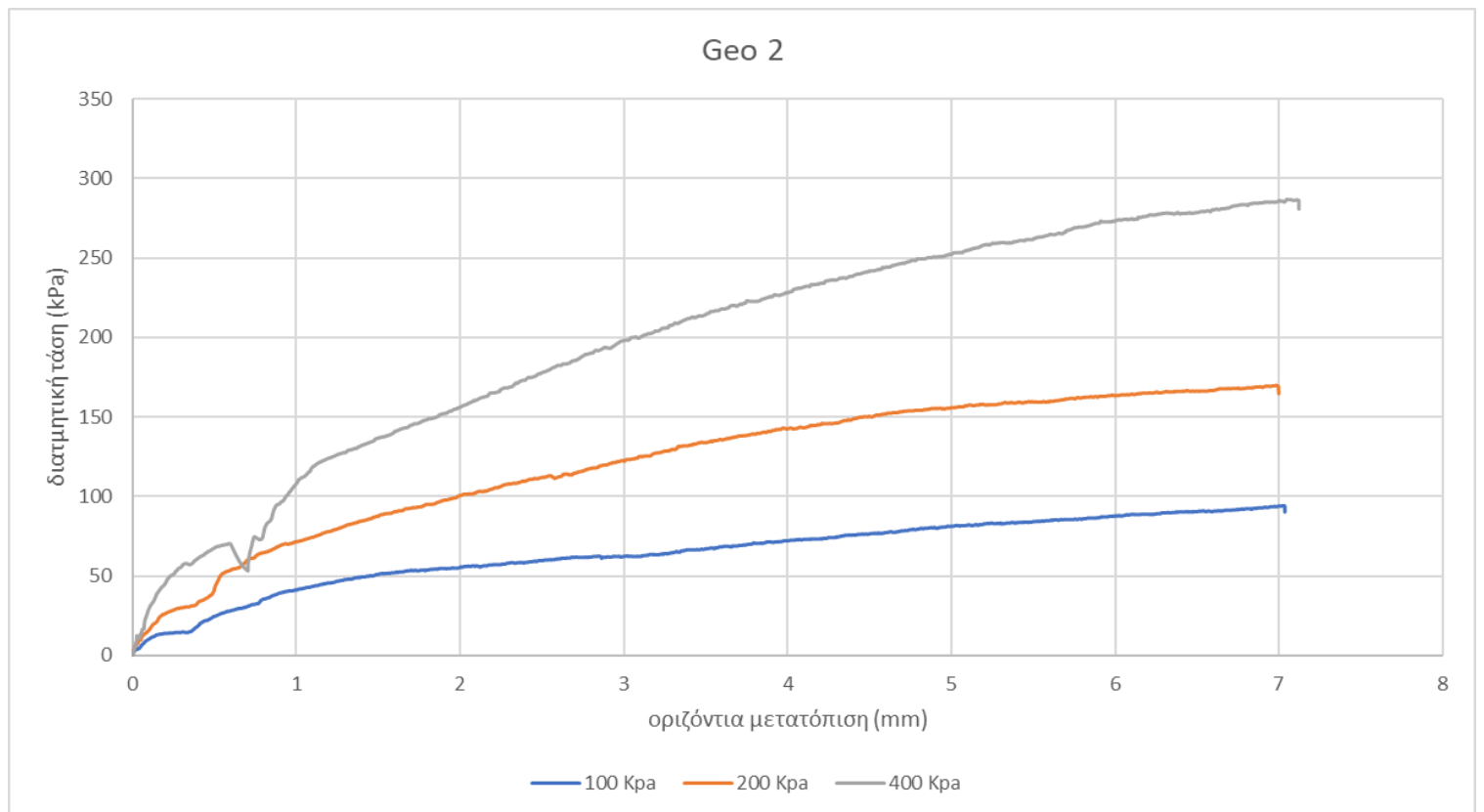
Στα παρακάτω διαγράμματα (διάγραμμα 5 – διάγραμμα 13), στα οποία απεικονίζονται ξεχωριστά οι διατμητικές τάσεις κάθε γεωφάσματος είναι εμφανές ότι όσο αυξάνεται η ορθή τάση που ασκείται στα δοκίμια τόσο μεγαλώνει και η συνολική διατμητική τάση επί της επιφάνειας του γεωφάσματος.



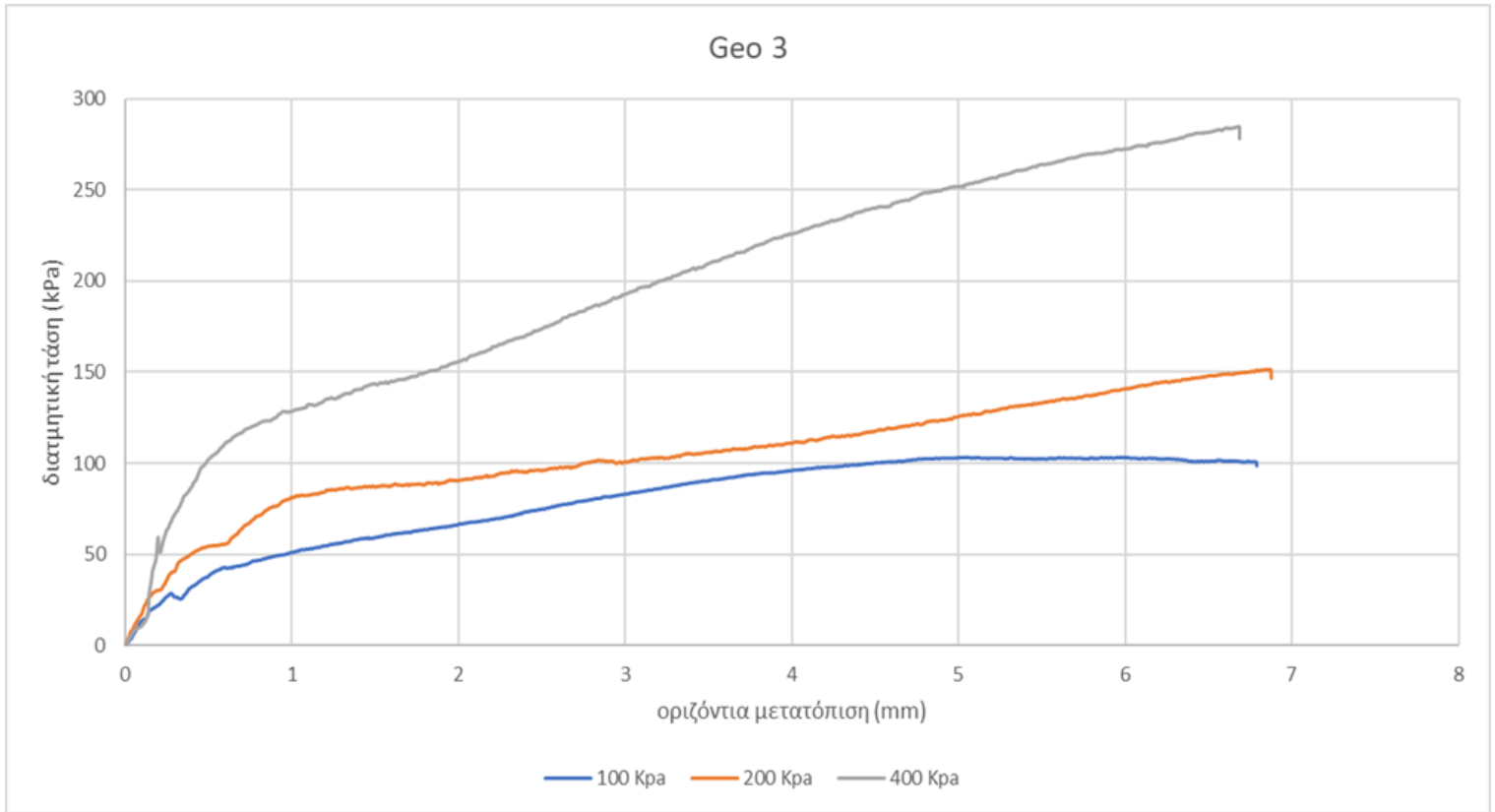
Διάγραμμα 5 Διατμητική τάση γεωφάσματος 100gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



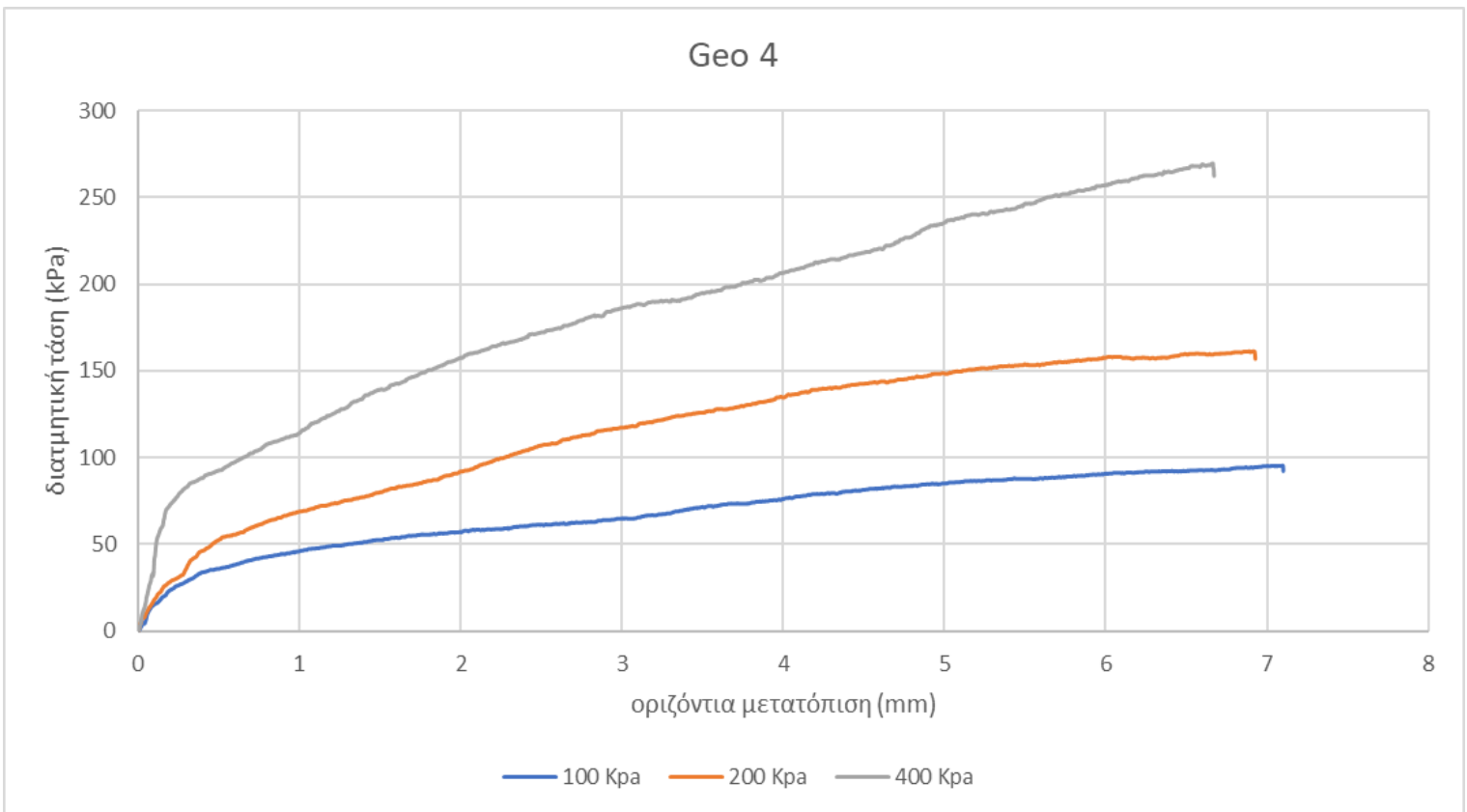
Διάγραμμα 6 Διατμητική τάση γεωυφάσματος 200gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



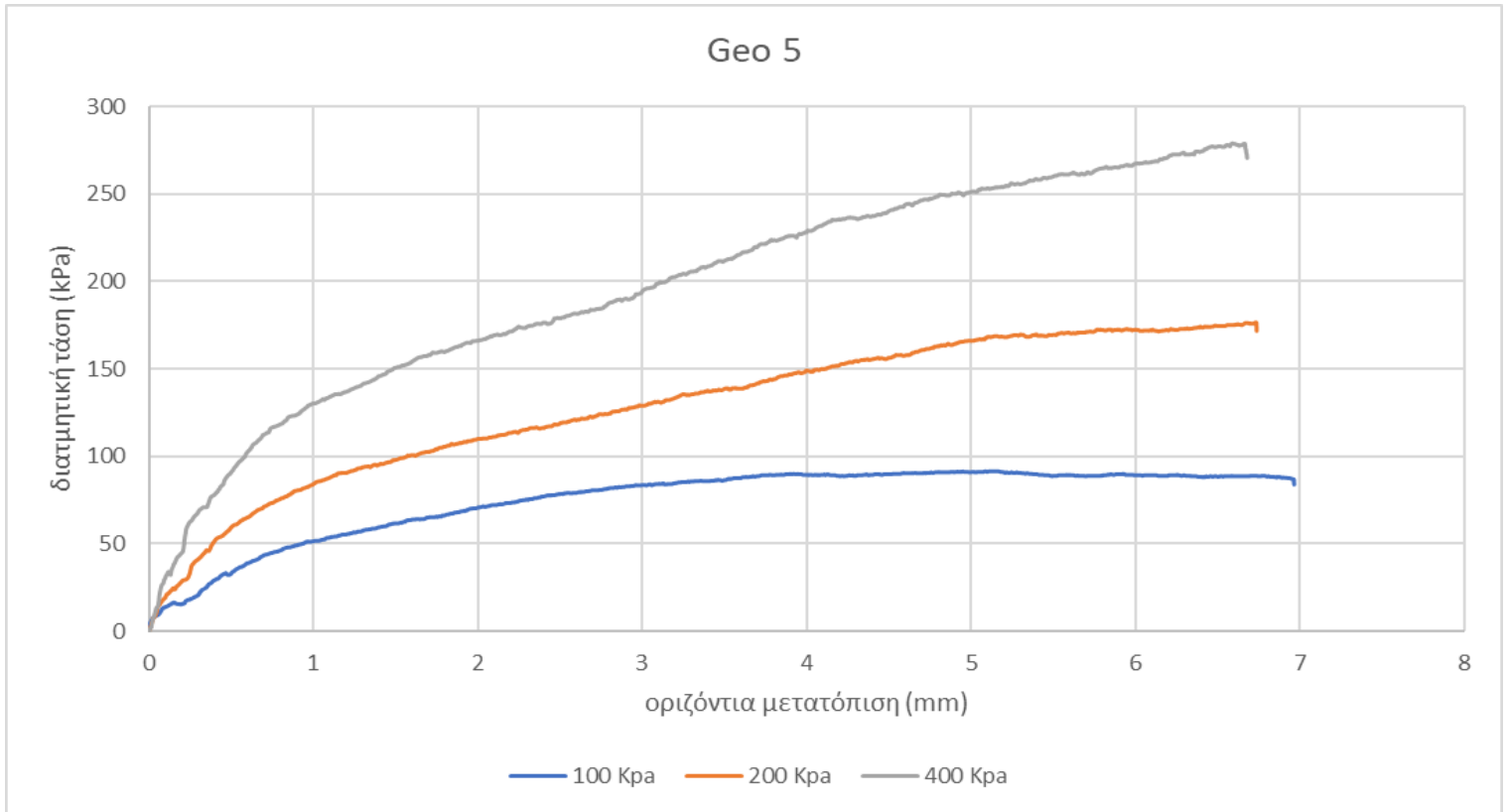
Διάγραμμα 7 Διατμητική τάση γεωυφάσματος 300gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



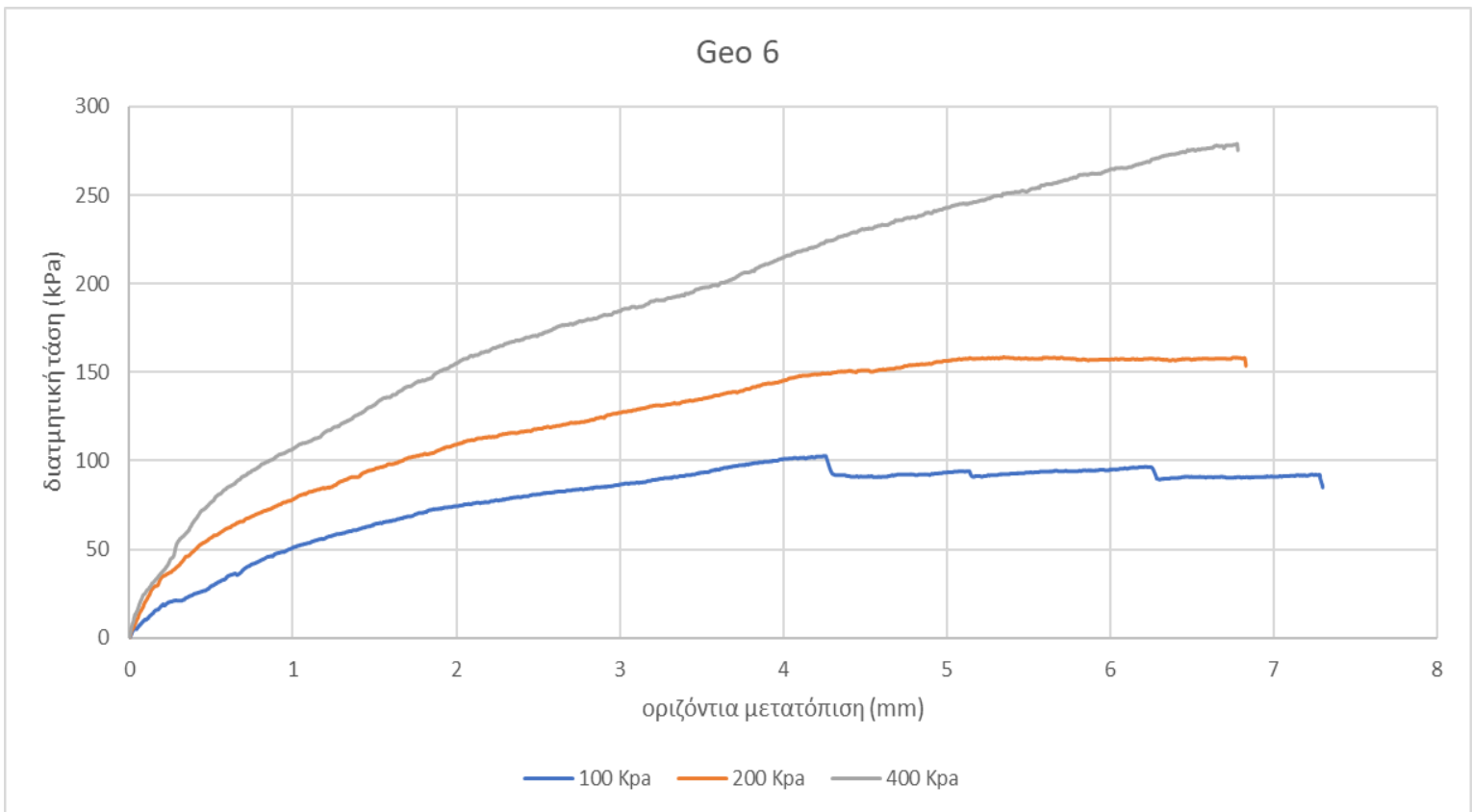
Διάγραμμα 8 Διατμητική τάση γεωυφάσματος 400gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



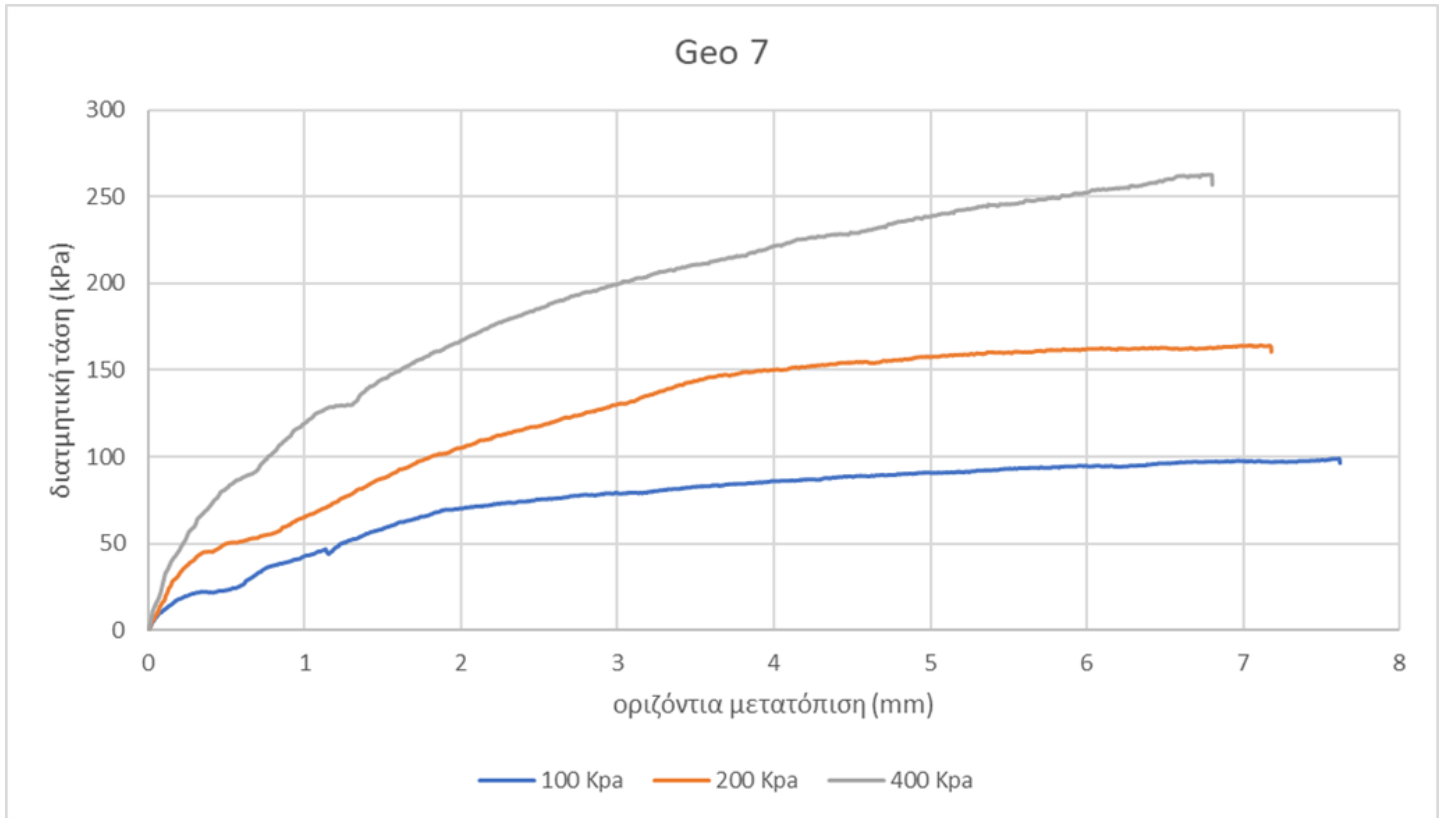
Διάγραμμα 9 Διατμητική τάση γεωυφάσματος 200gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



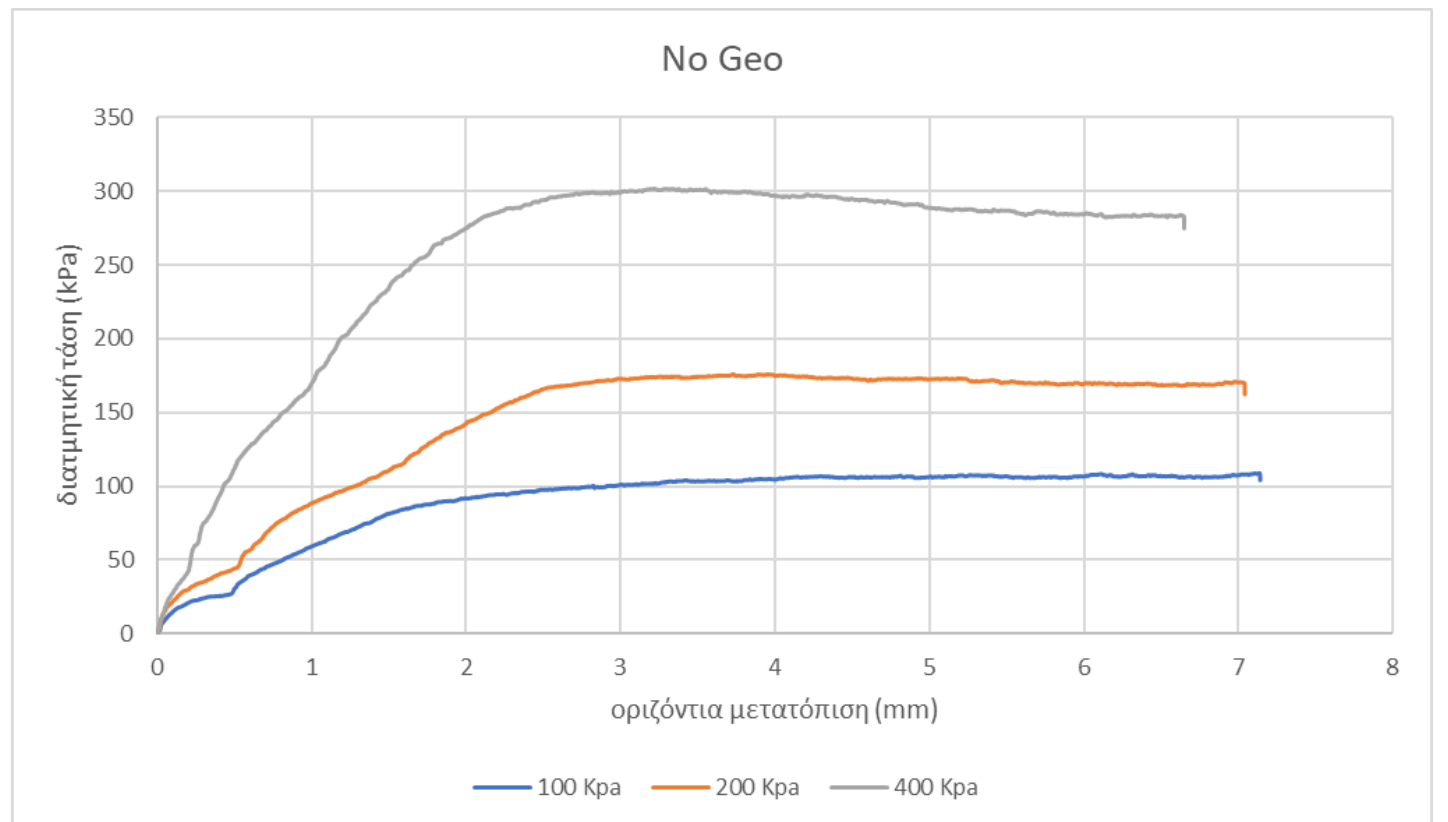
Διάγραμμα 10 Διατμητική τάση γεωυφάσματος 300gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



Διάγραμμα 11 Διατμητική τάση γεωυφάσματος 500gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



Διάγραμμα 12 Διατμητική τάση γεωυφάσματος 800gr στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)



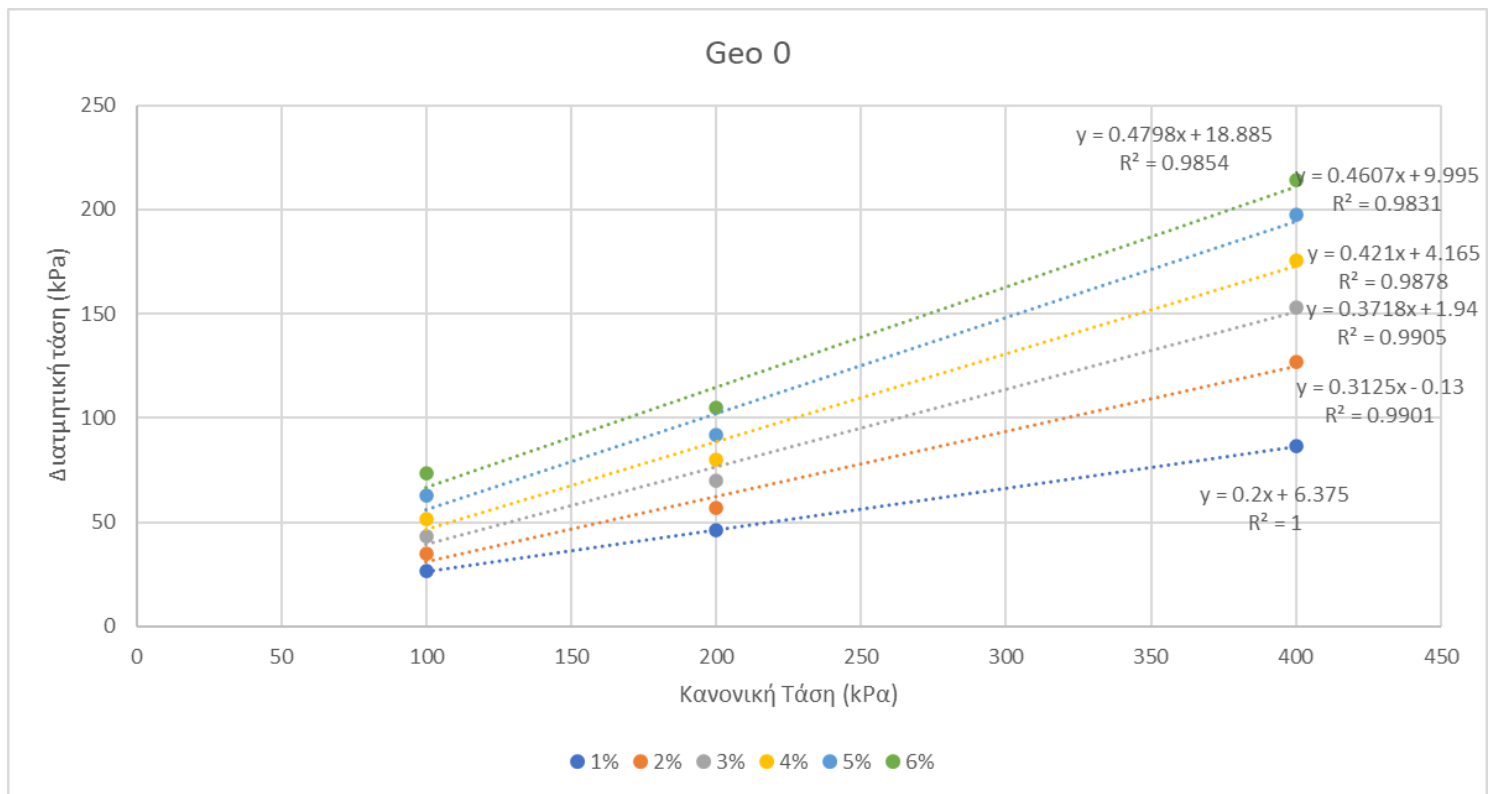
Διάγραμμα 13 Διατμητική τάση εδαφικού δείγματος χωρίς την χρήση γεωυφάσματος στις διαφορετικές ορθές τάσεις που του ασκήθηκαν (100, 200, 400kPa)

4.4. Παρατηρήσεις 3^{ης} ομάδας διαγραμμάτων

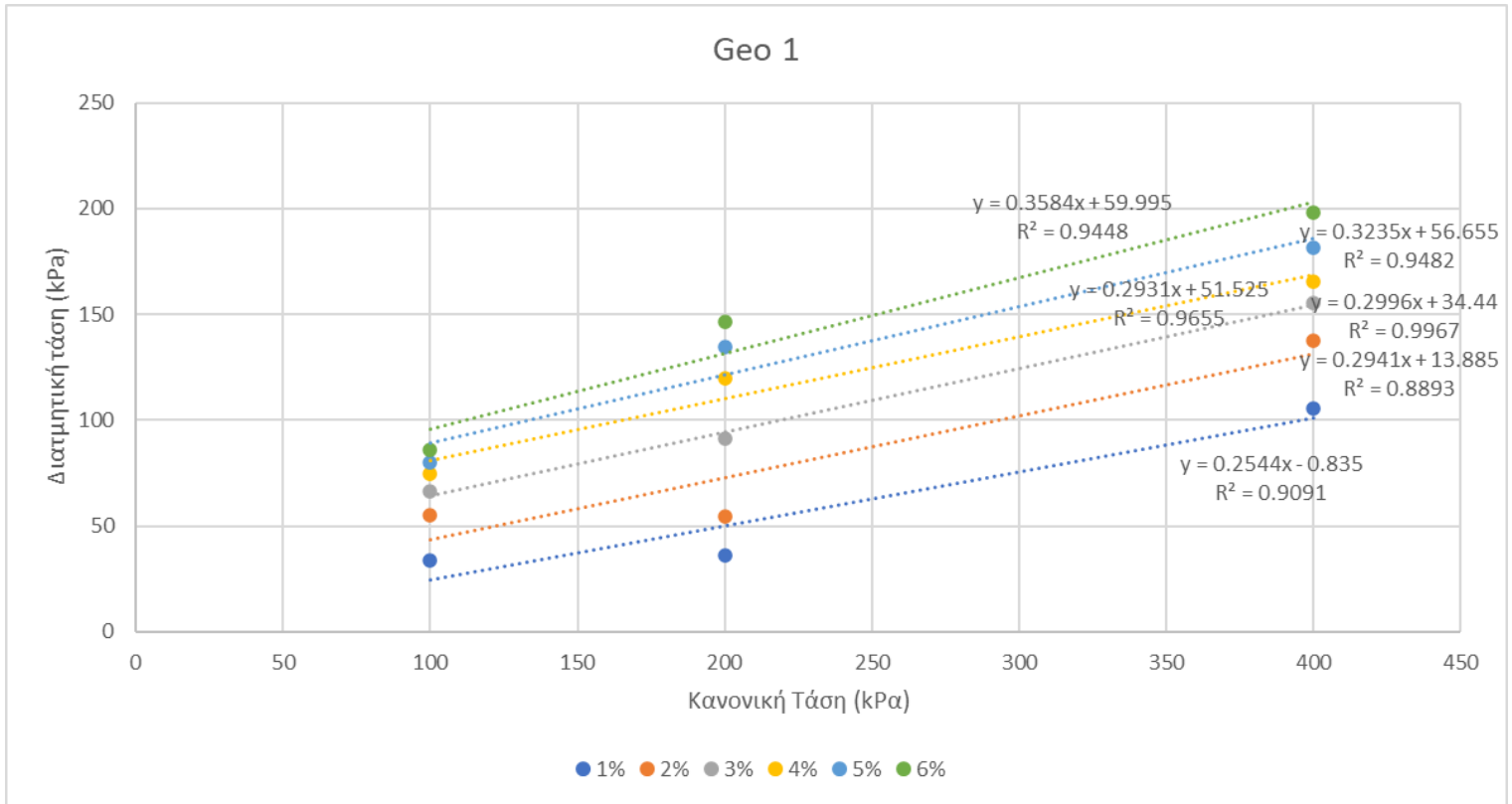
Με βάση τα παρακάτω διαγράμματα (διάγραμμα 14 – 22) προκύπτουν αποτελέσματα, τα οποία θα αναλυθούν και σε παρακάτω ενότητες.

Αρχικά κατασκευάστηκαν οι παρακάτω πίνακες (πίνακας 8 έως 13) με βάση τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων, οι οποίοι προσδιορίζουν τις παραμέτρους διατμητικής τάσης με βάση τις ποσοστιαίες παραμορφώσεις όλων των δοκιμών, και πιο συγκεκριμένα προσδιορίζονται οι γωνίες τριβής στην διεπαφή κάθε γεωυφάσματος και άμμου.

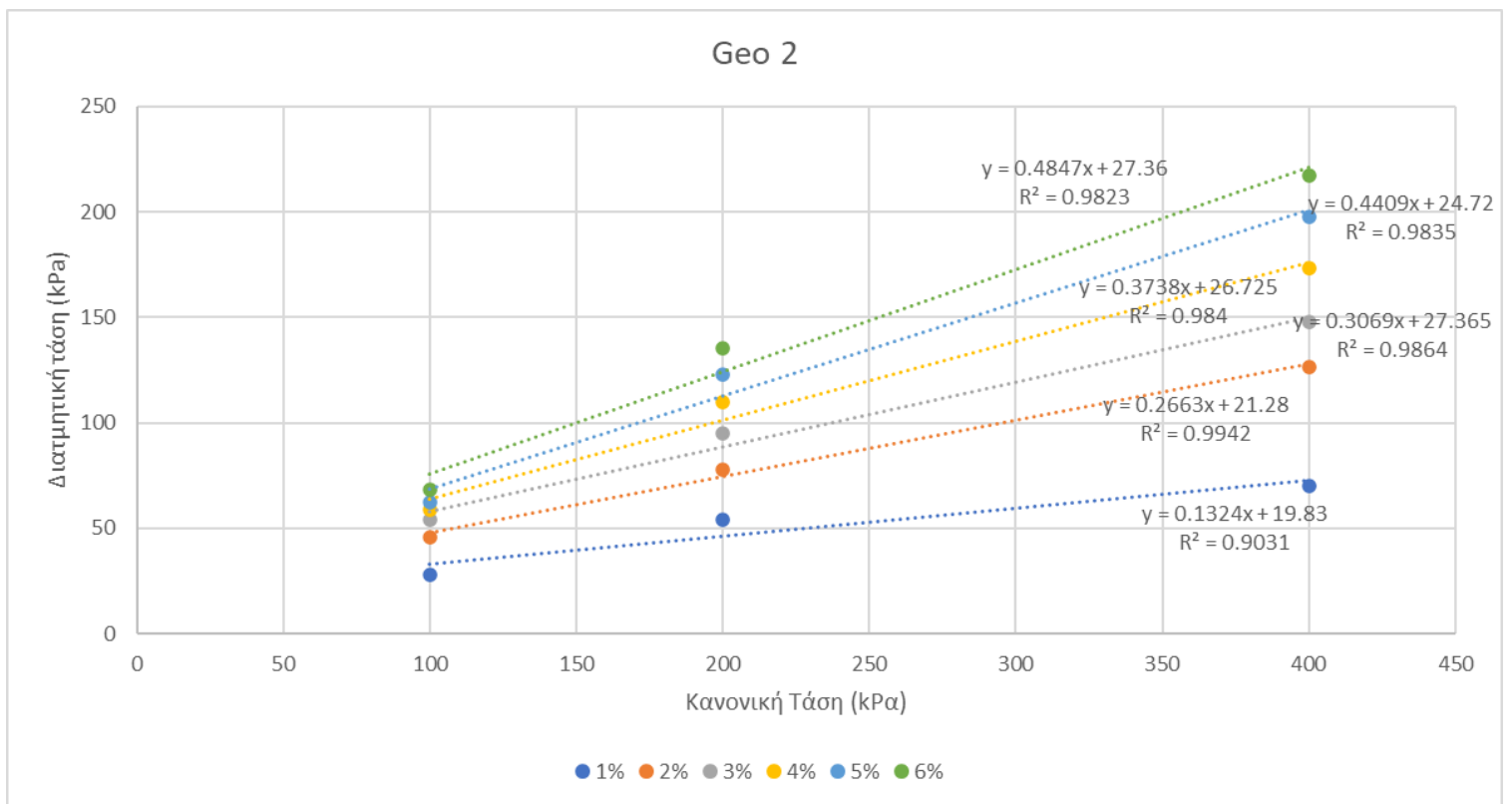
Επιπροσθέτως προκύπτουν οι ποσοστιαίες αυξήσεις της διατμητικής τάσης σε σχέση με τον διπλασιασμό των ορθών τάσεων. Αυτές οι αυξήσεις βρίσκονται στον πίνακα 7. Πιο συγκεκριμένα στον συγκεκριμένο πίνακα έχουν υπολογιστεί και οι μέσοι όροι της ποσοστιαίας αύξησης κάθε γεωυφάσματος ξεχωριστά.



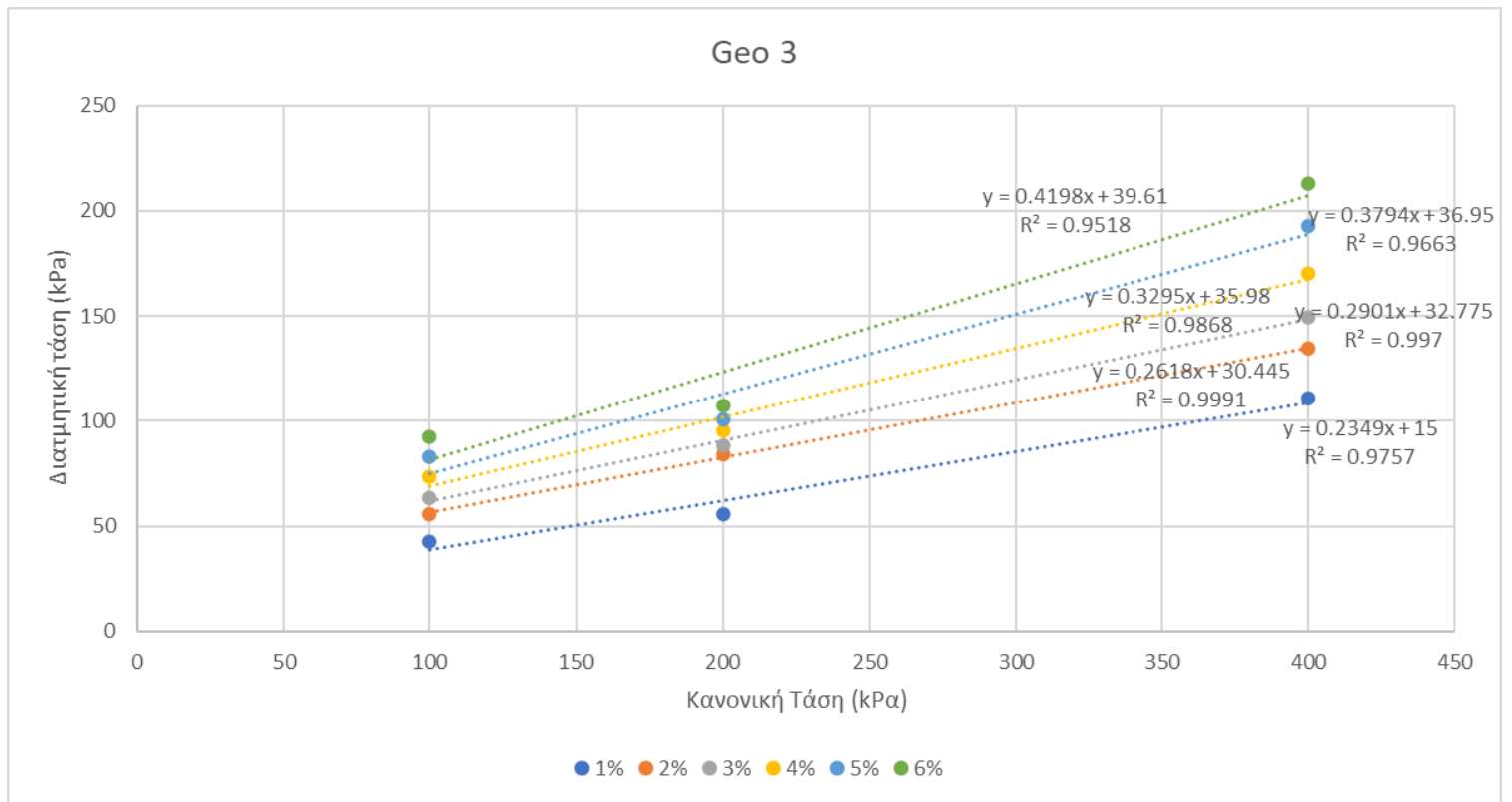
Διάγραμμα 14 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ στο γεωύφασμα 100gr



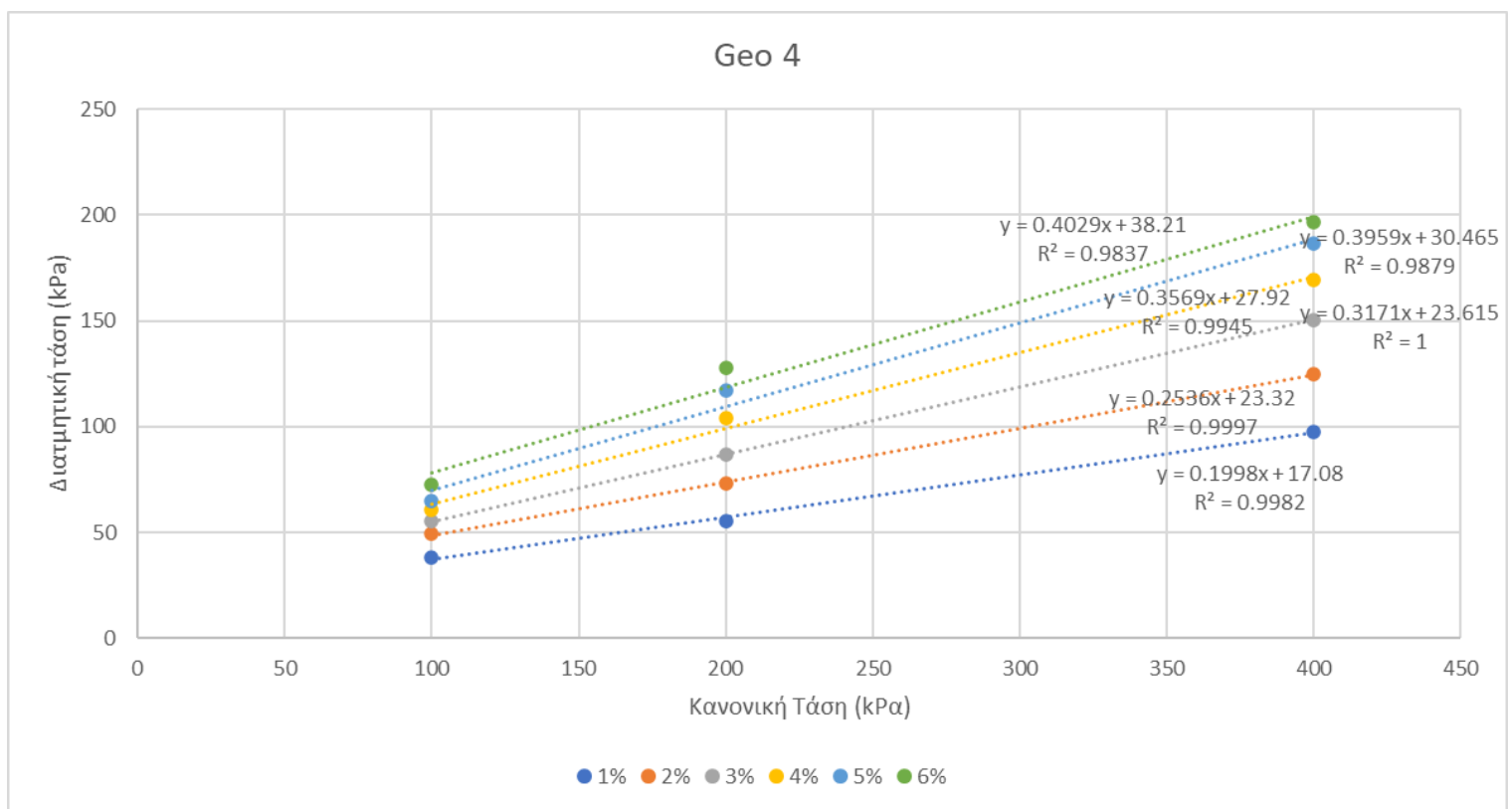
Διάγραμμα 15 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ στο γεώφασμα 200gr



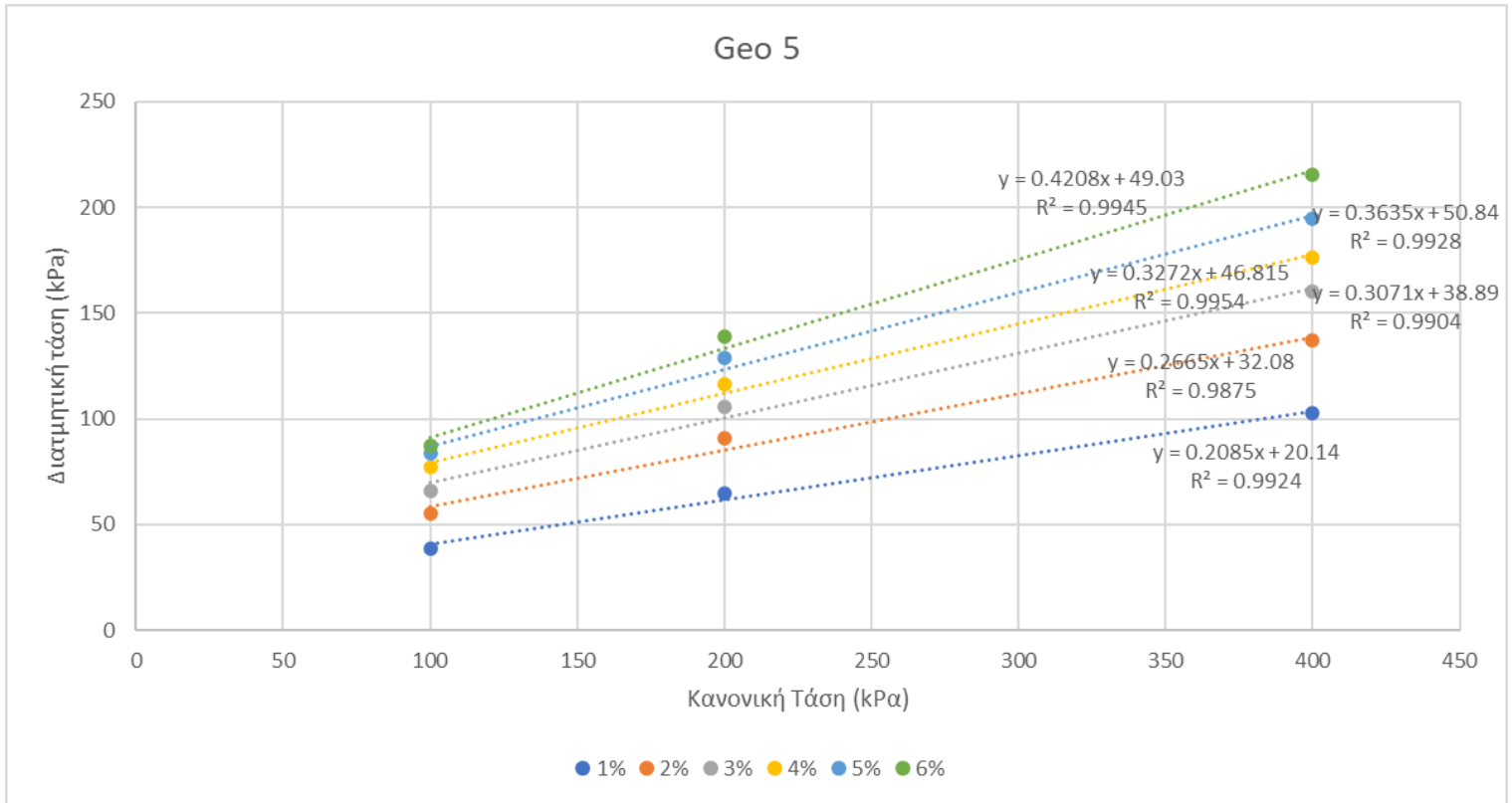
Διάγραμμα 16 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ στο γεώφασμα 300gr



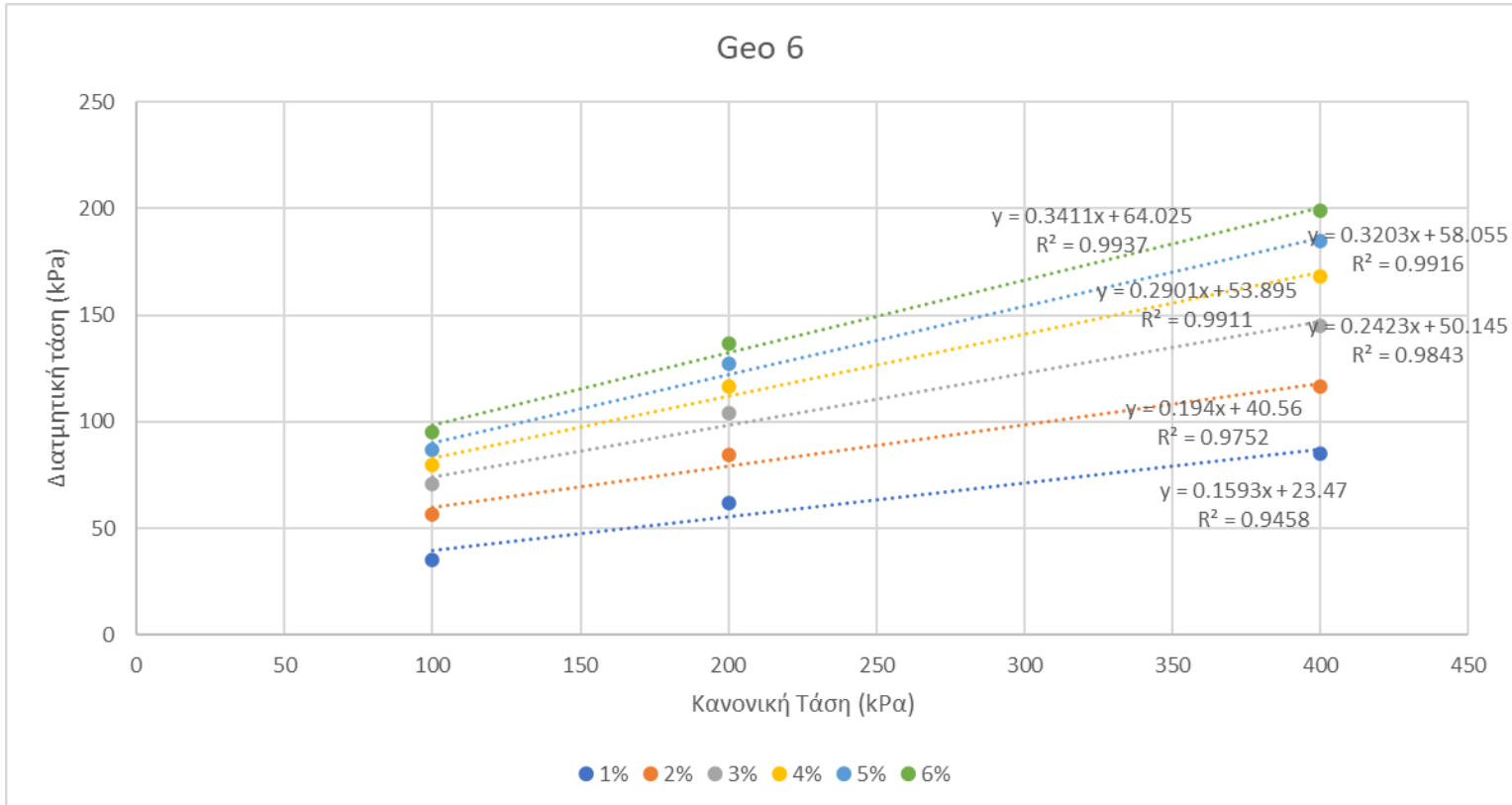
Διάγραμμα 17 Υπολογισμός παραμέτρων διατηρητικής αντοχής c και ϕ στο γεώμασμα 400gr



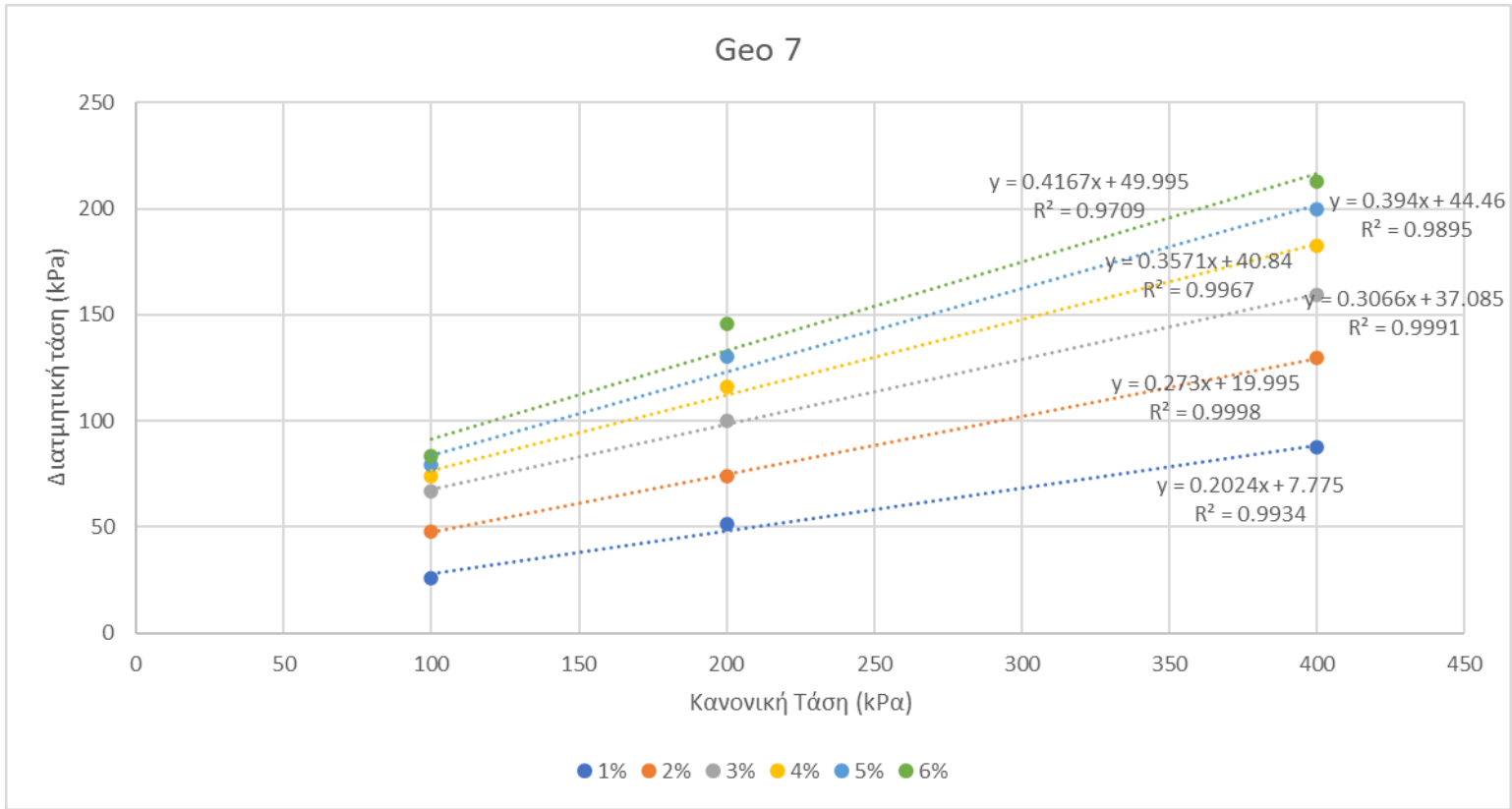
Διάγραμμα 18 Υπολογισμός παραμέτρων διατηρητικής αντοχής c και ϕ στο γεώμασμα 200gr



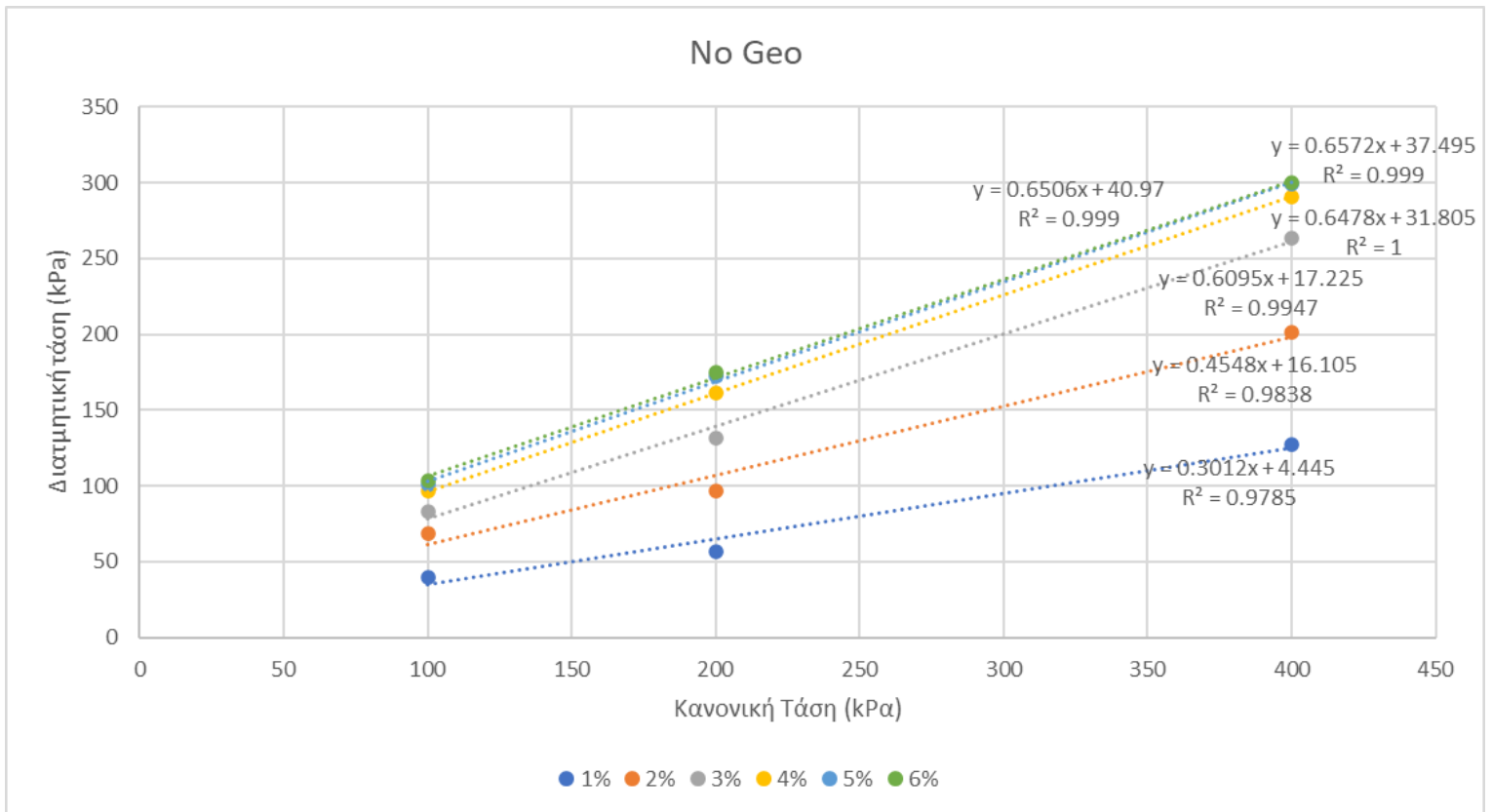
Διάγραμμα 19 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ στο γεώφασμα 300gr



Διάγραμμα 20 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ στο γεώφασμα 500gr



Διάγραμμα 22 Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής c και ϕ στο γεωύφασμα 800gr



Διάγραμμα 21 Υπολογισμός παραμέτρων c και ϕ χωρίς την χρήση γεωυφάσματος

Πίνακας 7 Ποσοστιαίες αυξήσεις διατμητικής τάσης σε σχέση με τον διπλασιασμό των ορθών τάσεων

| | | Geo0 | Geo1 | Geo2 | Geo3 | Geo4 | Geo5 | Geo6 | Geo7 | No Geo | |
|------------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| 1% | 100-200 kPa | 75.81501 | 6.550605 | 91.80328 | 29.87377 | 46.0184 | 67.13808 | 76.97143 | 95.74876 | 43.37865 | |
| | 200-400 kPa | 86.26563 | 192.329 | 30.58343 | 100 | 75.48596 | 57.69231 | 37.22958 | 71.74721 | 123.8806 | |
| 2% | 100-200 kPa | 63.97927 | -0.97702 | 71.31255 | 51.05887 | 49.07464 | 63.85019 | 50.25714 | 54.67867 | 41.87034 | |
| | 200-400 kPa | 122.4232 | 151.2333 | 62.21653 | 60.05703 | 70.53206 | 51.21466 | 37.36575 | 75.17932 | 107.7471 | |
| 3% | 100-200 kPa | 61.55089 | 37.64121 | 76.28503 | 38.43735 | 55.99352 | 59.67327 | 46.65443 | 49.9925 | 57.65539 | |
| | 200-400 kPa | 118.2571 | 69.92777 | 55.84211 | 70.0318 | 73.7164 | 51.57257 | 39.84022 | 59.17 | 100.6393 | |
| 4% | 100-200 kPa | 55.35127 | 60.84095 | 87.22061 | 29.91546 | 71.54888 | 50.90318 | 46.33137 | 56.18174 | 67.72487 | |
| | 200-400 kPa | 118.363 | 38.27779 | 58.11537 | 78.42149 | 62.83569 | 51.9032 | 44.28731 | 57.54489 | 79.89732 | |
| 5% | 100-200 kPa | 45.39255 | 67.48474 | 97.33205 | 21.06911 | 80.35385 | 54.13777 | 46.78666 | 64.55728 | 71.08004 | |
| | 200-400 kPa | 115.7522 | 35.13091 | 61.08487 | 91.70644 | 58.91837 | 50.86508 | 44.98507 | 53.28523 | 73.43188 | |
| 6% | 100-200 kPa | 42.26328 | 70.88431 | 98.39017 | 15.91351 | 76.24828 | 58.42286 | 44.14737 | 75.003 | 68.63237 | |
| | 200-400 kPa | 104.5168 | 35.22874 | 60.44556 | 98.65697 | 53.67037 | 55.50426 | 45.23879 | 45.71762 | 71.7033 | |
| Μέσος όρος 100-200 kPa | | 57.39204 | 40.40413 | 87.05728 | 31.04468 | 63.20626 | 59.02089 | 51.85807 | 66.02699 | 58.39027 | 57.15562 |
| Μέσος όρος 200-400 kPa | | 110.9297 | 87.02126 | 54.71464 | 83.14562 | 65.85981 | 53.12535 | 41.49112 | 60.44071 | 92.88325 | 72.17905 |

4.5. Παρατηρήσεις παραμέτρων διατμητικής τάσης

Από τους παρακάτω πίνακες ποσοστιαίας παραμόρφωσης (πίνακας 8-13) συμπεραίνεται ότι η γωνία τριβής που προκύπτει από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης είναι μικρότερη από την γωνία εσωτερικής τριβής της άμμου που προκύπτει από την δοκιμή χωρίς την χρήση γεωφάσματος. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η άμμος ολισθαίνει ευκολότερα πάνω στην επιφάνεια των γεωφασμάτων σε σύγκριση με την ολίσθηση των κόκκων μεταξύ τους.

Επιπλέον μέσω των ποσοστιαίων αυξήσεων που προέκυψαν από τον πίνακα 7 επιβεβαιώνεται ότι με την αύξηση της ορθής τάσης αυξάνεται και η παραμόρφωση, χωρίς όμως να είναι ανάλογα, δηλαδή να διπλασιάζεται και η παραμόρφωση. Πιο συγκεκριμένα στον διπλασιασμό από 100kPa σε 200kPa φαίνεται να είναι μικρότερη η αύξηση της παραμόρφωσης, φτάνοντας περίπου στο 55%, σε σχέση με τον διπλασιασμό από 200kPa σε 400kPa όπου η αύξηση φτάνει κοντά στο 70%.

Ακόμα φαίνεται ότι παρουσιάζεται μια καθοδική τάση στη γωνία τριβής όσο αυξάνεται το πάχος των γεωφασμάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή οι κόκκοι μπορούν να μετακινηθούν ευκολότερα πάνω στα πιο χοντρά γεωφάσματα. Εξαιρέση αποτελούν τα γεωφάσματα Terasin NS 300 gr/m² που χρήζει περαιτέρω διερεύνηση και το Geosin HT 800 gr/m².

Το Geosin HT 800 gr/m² δεν συνεχίζει την καθοδική πορεία των γωνιών τριβής σε σχέση με την αύξηση του πάχους, αλλά φτάνει σχεδόν στα αποτελέσματα που προκύπτουν από το Geosin HT 100 gr/m². Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο διαφορετικό στήσιμο που υπήρχε στο plexiglass, καθώς δεν ήταν τόσο εύκαμπτο και έτσι δεν μπόρεσε να στερεοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο, όπως τα υπόλοιπα γεωφάσματα.

Τέλος παρατηρείται ότι το 1% της παραμορφωσιμότητας δεν αποτελεί μέτρο σύγκρισης των γωνιών τριβής, καθώς είναι ακόμα απροσδιόριστες και εναλλάσσονται πολύ γρήγορα λόγω της έναρξης της δοκιμής και η δοκιμή βρίσκεται ακόμα στην γραμμική μορφή του μέτρου ελαστικότητας E₀.

Στα παρακάτω διαγράμματα (διάγραμμα 23 και 24) φαίνεται ότι τελικά η γωνία τριβής δεν επηρεάζεται από την διαφορά του πάχους των γεωφασμάτων. Γενικότερα οι γωνίες τριβής που προκύπτουν από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης δεν αποτελούν κριτήριο βελτίωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφών.

Πίνακας 8 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 1% της διατμητικής παραμόρφωσης

| 1% διατμητική παραμόρφωση | | |
|--|------------------------|-----------------------------|
| Παράμετροι διατμητικής τάσης | Φαινόμενη Συνοχή (kPa) | Γωνία εσωτερικής τριβής (°) |
| Χωρίς γεώφασμα (No Geo) | 4.445 | 16.7623013 |
| Terasin NS 110 gr/m ² (Geo 0) | 6.375 | 11.30993247 |
| Terasin NS 200 gr/m ² (Geo 1) | 0 | 14.27326866 |
| Terasin NS 300 gr/m ² (Geo2) | 19.83 | 7.542094977 |
| Terasin NS 400 gr/m ² (Geo 3) | 15 | 13.21912135 |
| Geosin HT 200 gr/m ² (Geo 4) | 17.08 | 11.29891363 |
| Geosin HT 300 gr/m ² (Geo 5) | 20.14 | 11.7774407 |
| Geosin HT 500 gr/m ² (Geo6) | 23.47 | 9.051166722 |
| Geosin HT 800 gr/m ² (Geo7) | 7.775 | 11.44209227 |

Πίνακας 9 Παράμετροι διατμητικής αντοχής στο 2% της διατμητικής παραμόρφωσης

| 2% διατμητική παραμόρφωση | | |
|--|------------------------|-----------------------------|
| Παράμετροι διατμητικής τάσης | Φαινόμενη Συνοχή (kPa) | Γωνία εσωτερικής τριβής (ο) |
| Χωρίς γεώφασμα (No Geo) | 16.105 | 24.45604068 |
| Terasin NS 110 gr/m ² (Geo 0) | 0 | 17.35402464 |
| Terasin NS 200 gr/m ² (Geo 1) | 13.885 | 16.38860973 |
| Terasin NS 300 gr/m ² (Geo2) | 21.28 | 14.91180169 |
| Terasin NS 400 gr/m ² (Geo 3) | 30.445 | 14.67077588 |
| Geosin HT 200 gr/m ² (Geo 4) | 23.32 | 14.23021001 |
| Geosin HT 300 gr/m ² (Geo 5) | 32.08 | 14.92250149 |
| Geosin HT 500 gr/m ² (Geo6) | 40.56 | 10.97900173 |
| Geosin HT 800 gr/m ² (Geo7) | 19.995 | 15.26966201 |

Πίνακας 10 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 3% της διατμητικής παραμόρφωσης

| 3% διατμητική παραμόρφωση | | |
|--|------------------------|-----------------------------|
| Παράμετροι διατμητικής τάσης | Φαινόμενη Συνοχή (kPa) | Γωνία εσωτερικής τριβής (ο) |
| Χωρίς γεώφασμα (No Geo) | 17.225 | 31.36230755 |
| Terasin NS 110 gr/m ² (Geo 0) | 1.94 | 20.39513422 |
| Terasin NS 200 gr/m ² (Geo 1) | 34.44 | 16.67821595 |
| Terasin NS 300 gr/m ² (Geo2) | 27.365 | 17.06124998 |
| Terasin NS 400 gr/m ² (Geo 3) | 32.775 | 16.17744398 |
| Geosin HT 200 gr/m ² (Geo 4) | 23.615 | 17.59382133 |
| Geosin HT 300 gr/m ² (Geo 5) | 38.89 | 17.07172215 |
| Geosin HT 500 gr/m ² (Geo6) | 50.145 | 13.62027124 |
| Geosin HT 800 gr/m ² (Geo7) | 37.085 | 17.04553953 |

Πίνακας 11 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 4% της διατμητικής παραμόρφωσης

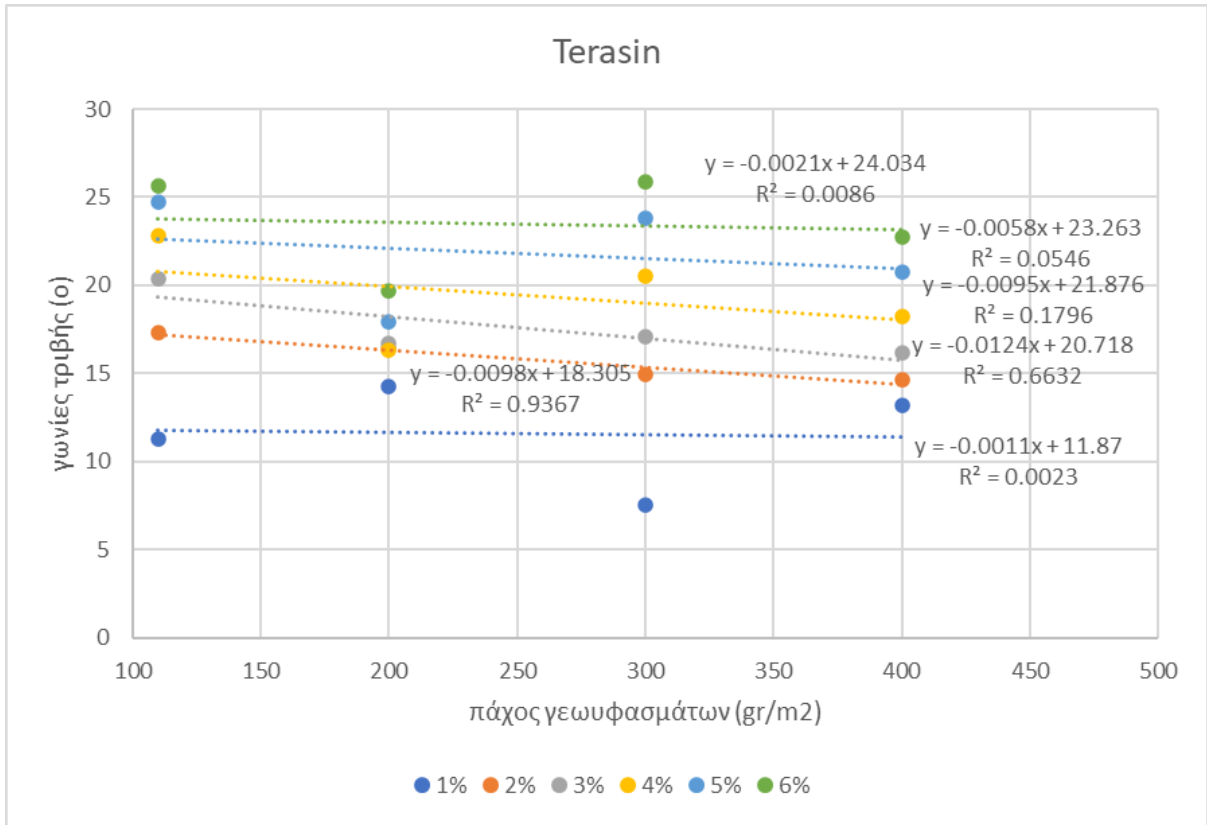
| 4% διατμητική παραμόρφωση | | |
|--|------------------------|-----------------------------|
| Παράμετροι διατμητικής τάσης | Φαινόμενη Συνοχή (kPa) | Γωνία εσωτερικής τριβής (ο) |
| Χωρίς γεώφασμα (No Geo) | 31.805 | 32.93516636 |
| Terasin NS 110 gr/m ² (Geo 0) | 4.165 | 22.83109267 |
| Terasin NS 200 gr/m ² (Geo 1) | 51.525 | 16.33586095 |
| Terasin NS 300 gr/m ² (Geo2) | 26.725 | 20.49574315 |
| Terasin NS 400 gr/m ² (Geo 3) | 35.95 | 18.23705159 |
| Geosin HT 200 gr/m ² (Geo 4) | 27.92 | 19.64148248 |
| Geosin HT 300 gr/m ² (Geo 5) | 46.815 | 18.11809634 |
| Geosin HT 500 gr/m ² (Geo6) | 53.895 | 16.17744398 |
| Geosin HT 800 gr/m ² (Geo7) | 40.84 | 19.65164627 |

Πίνακας 12 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 5% της διατμητικής παραμόρφωσης

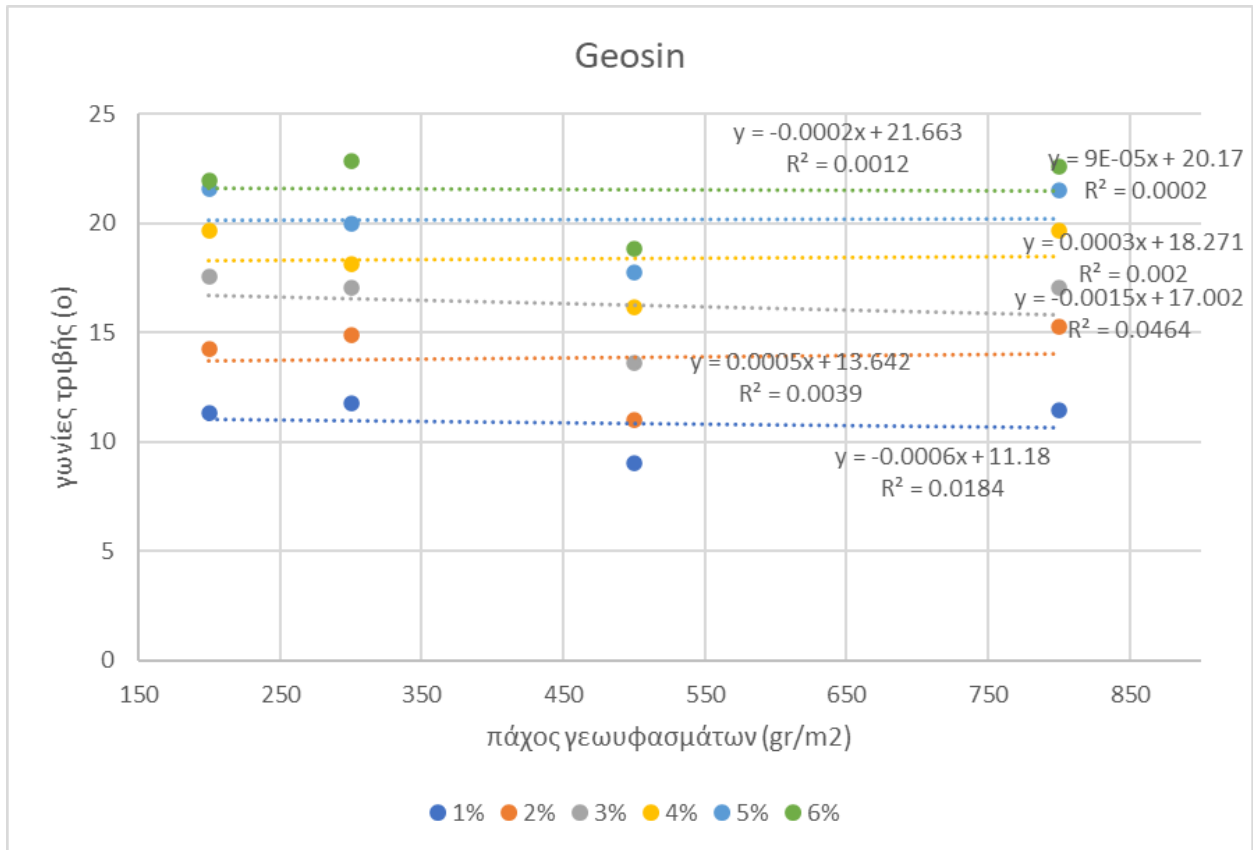
| 5% διατμητική παραμόρφωση | | |
|--|------------------------|-----------------------------|
| Παράμετροι διατμητικής τάσης | Φαινόμενη Συνοχή (kPa) | Γωνία εσωτερικής τριβής (ο) |
| Χωρίς γεώφασμα (No Geo) | 37.495 | 33.31291737 |
| Terasin NS 110 gr/m ² (Geo 0) | 9.995 | 24.73552398 |
| Terasin NS 200 gr/m ² (Geo 1) | 56.655 | 17.92639425 |
| Terasin NS 300 gr/m ² (Geo2) | 24.72 | 23.7926824 |
| Terasin NS 400 gr/m ² (Geo 3) | 36.95 | 20.7767453 |
| Geosin HT 200 gr/m ² (Geo 4) | 30.465 | 21.59861267 |
| Geosin HT 300 gr/m ² (Geo 5) | 50.84 | 19.97620563 |
| Geosin HT 500 gr/m ² (Geo6) | 58.055 | 17.76026237 |
| Geosin HT 800 gr/m ² (Geo7) | 44.46 | 21.50444024 |

Πίνακας 13 Παράμετροι διατμητικής τάσης στο 6% της διατμητικής παραμόρφωσης

| 6% διατμητική παραμόρφωση | | |
|--|------------------------|-----------------------------|
| Παράμετροι διατμητικής τάσης | Φαινόμενη Συνοχή (kPa) | Γωνία εσωτερικής τριβής (ο) |
| Χωρίς γεώφασμα (No Geo) | 40.97 | 33.04802787 |
| Terasin NS 110 gr/m ² (Geo 0) | 18.885 | 25.63169174 |
| Terasin NS 200 gr/m ² (Geo 1) | 59.995 | 19.71767951 |
| Terasin NS 300 gr/m ² (Geo2) | 27.36 | 25.85946812 |
| Terasin NS 400 gr/m ² (Geo 3) | 39.61 | 22.77266417 |
| Geosin HT 200 gr/m ² (Geo 4) | 38.21 | 21.94450554 |
| Geosin HT 300 gr/m ² (Geo 5) | 49.03 | 22.82135807 |
| Geosin HT 500 gr/m ² (Geo6) | 64.025 | 18.83450885 |
| Geosin HT 800 gr/m ² (Geo7) | 49.995 | 22.62149226 |



Διάγραμμα 23 Συσχέτιση γωνιών τριβής και πάχους γεωυφασμάτων Terasin



Διάγραμμα 24 Συσχέτιση γωνιών τριβής και πάχους γεωυφασμάτων Geosin

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται την πειραματική δοκιμή άμεσης διάτμησης ενός εδαφικού υλικού με την χρήση γεωφασμάτων. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να υπολογιστεί η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της άμμου μετά το πέρας της δοκιμής και να υπολογιστούν οι παράμετροι διατμητικής αντοχής c και ϕ που προκύπτουν. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 27 δοκιμές, οι οποίες αποτελούνταν από 3 διαφορετικές ορθές τάσεις και 8 διαφορετικά γεωφάσματα.

Ο λόγος που τα γεωφάσματα και γενικότερα τα γεωσυνθετικά υλικά είναι πλέον ευρέως διαδεδομένα είναι επειδή έχουν συμβάλει στην ραγδαία εξέλιξη στον τομέα της γεωτεχνικής μηχανικής και σε πολλά τεχνικά έργα. Με τη χρήση των κατάλληλων κατά περίπτωση γεωυλικών, βελτιστοποιείται η κατασκευή έργων αφού αποτελούν σύγχρονες λύσεις σε άλυτα προβλήματα του παρελθόντος και είναι οικονομικότερα, καθώς αποφεύγεται η χρήση άλλων πιο δαπανηρών υλικών και διασφαλίζεται σημαντικά η λειτουργικότητα και η ασφάλεια του.

Για αυτόν τον λόγο τα τελευταία χρόνια γίνονται όλο και περισσότερες μελέτες και έρευνες όσων αφορά τα γεωσυνθετικά υλικά, όπως είναι και η παρούσα διπλωματική εργασία. Με βάση τα αποτελέσματα, τις παρατηρήσεις που προέκυψαν στα πλαίσια της πειραματικής αυτής διερεύνησης και τις προγενέστερες μελέτες που είχαν πραγματοποιηθεί για παρόμοιους υπολογισμούς μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Κατά τη διάρκεια της κάθε δοκιμής, τα βέλτιστα αποτελέσματα λαμβάνονται από το 2 έως το 5 % της ολικής παραμόρφωσης του δείγματος.
- Δεν παρατηρείται η τυπική μορφή διατμητικής αστοχίας του υλικού όταν χρησιμοποιήθηκαν τα γεωφάσματα αφού η άμμος ολισθαίνει πάνω στην διεπιφάνεια.
- Η γωνία τριβής της άμμου μειώνεται αρκετά με την χρήση οποιουδήποτε γεωφάσματος αλλά γενικότερα δεν εξαρτάται από το πάχος των γεωφασμάτων.
- Κατά τον διπλασιασμό των ορθών τάσεων αυξάνονται και οι διατμητικές τάσεις αλλά χωρίς να φτάνουν στον διπλασιασμό. Αποδοτικότερα αποτελέσματα δίνει ο διπλασιασμός από 200kPa σε 400kPa.

- Τέλος το γεωύφασμα Terasin NS 300 gr/m² που χρήζει περαιτέρω διερεύνηση, καθώς τα αποτελέσματά του δεν συμβαδίζουν με αυτά των άλλων γεωυφασμάτων.

Ενδεχομένως σε κάποια επόμενη πειραματική διερεύνηση διατμητικής αντοχής σε διεπιφάνειες εδαφών – γεωυφασμάτων να υπάρξουν περισσότερες διαφορές αν χρησιμοποιηθούν άλλοι τύποι γεωυφασμάτων (υφαντά και μη υφαντά) ή και διαφορετικά γεωυφαντά υλικά.

Βιβλιογραφία

- [1] Κούκης Γ. Χρ., Σαμπατακάκης Ν. Στ., 2019, “Τεχνική Γεωλογία”. Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- [2] Lee, K. L., 1965, Triaxial compressive strength of saturated sands under seismic loading conditions. Ph. D. Thesis, University of California at Berkley.
- [3] Koerner, R. M., 1968, The behavior of cohesion less soils formed from various minerals. Ph. D. Thesis, Duke University.
- [4] Holtz, D. R. and Kovacs, D. W., 1981, An introduction to Geotechnical Engineering. Editor E. Brown, Pergamon press.
- [5] ASTM Standards. 1995. Volume 04.08 Soil and Rock (I): D420 – D4914. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- [6] Κούκης Γ. Χρ., Σαμπατακάκης Ν. Στ., 2007, “Γεωλογία Τεχνικών Έργων”. Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- [7] Προφυλλίδης Β., 1985, “Γεωφάσματα, Μηχανική και Υδραυλική Συμπεριφορά και Εφαρμογές”. Εκδ. Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- [8] UTF Geosynthetic Manual, 1992, UCO Technical Fabrics NV, Belgium
- [9] Minet SA: Nonwovens applications, 20/08/2023
<https://www.minet.ro/applications/construction/>
- [10] Depountis N., “Large scale shear tests on soil - geosynthetic interfaces”, paper presented at the 16th International Congress of the Geological Society of Greece, Patras, Greece, 17-19 October, 2022.
- [11] Hellenic Technical Specifications (ELOT TP 1501-02-07-01-00:2009). Construction of embankments with suitable excavation or borrow materials.
- [12] Μάρκου Ι., “Πειραματική Διερεύνηση της Διατμητικής Αντοχής σε Διεπιφάνειες Εδαφών – Γεωμεμβρανών”, εισήγηση συνεδρίου που παρουσιάστηκε στην Επιστημονική Ημερίδα “Νέες Εξελίξεις στην Έρευνα του Πολιτικού Μηχανικού”, Ελλάδα, Ξάνθη, Ιανουάριος 2015.

[13] Apiniti Jotisankasa, Natthapat Rurgchaisri, 2018, " Shear strength of interfaces between unsaturated soils and composite geotextile with polyester yarn reinforcement", paper published at electronic journal: Geotextiles and Geomembranes. P. 338-353.

[14] I.R. Fleminga, J.S. Sharmaa,, M.B. Jogi, 2006, " Shear strength of geomembrane – soil interface under unsaturated conditions", paper published at electronic journal: Geotextiles and Geomembranes. P. 274-284.

[15] Anubhav, P.K. Basudhar, 2010, " Modeling of soil–woven geotextile interface behavior from direct shear test results", paper published at electronic journal: Geotextiles and Geomembranes. P. 403-408.