



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

ΜΑΡΙΑ ΜΟΥΧΑΜΠΙΡΗ – Α.Γ.Μ.: M013022018

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Λάρισα, Φεβρουάριος 2025

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

.....

.....

.....

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χριστοδούλου Δημήτριο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την καθοδήγηση και πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Τα γεωσυνθετικά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς και με επιτυχία τα τελευταία 30 χρόνια για να εκπληρώσουν μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες λειτουργίες: διαχωρισμός, διήθηση, αποστράγγιση, ενίσχυση. Τα τελευταία χρόνια, η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης σε περιβαλλοντικά θέματα έχει προσθέσει στην χρήση των γεωσυνθετικών την πολύ σημαντική πτυχή της προστασίας του περιβάλλοντος

Παρουσιάζεται μια επισκόπηση των γεωσυνθετικών, η οποία καλύπτει τους διάφορους τύπους τους, τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά τους, τις αρχές ανάλυσης και σχεδιασμού, τις κατευθυντήριες γραμμές εφαρμογής και διάφορες μελέτες περιπτώσεων. Συζητούνται οι ιδιότητες των γεωσυνθετικών και οι βασικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό αυτών των ιδιοτήτων, καθώς και η σημασία τους στη διαδικασία σχεδιασμού.

Επιπλέον, η μελέτη αυτή υπογραμμίζει τις κύριες εφαρμογές των γεωσυνθετικών, δίνοντας έμφαση στη χρήση τους σε τοίχους αντιστήριξης, επιχώματα, πρανή, υδραυλική και γεωπεριβαλλοντική μηχανική, έλεγχο διάβρωσης πρανών, εγκαταστάσεις περιορισμού και επενδύσεις σηράγγων. Καλύπτει επίσης την εφαρμογή των γεωσυνθετικών σε κατασκευές μεταφορών, ιδίως σε μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους, ασφαλτοστρωμένους δρόμους και σιδηροδρομικές γραμμές. Επιπλέον, η μελέτη διερευνά τον τρόπο με τον οποίο τα γεωσυνθετικά συμβάλλουν στους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου τους στην κυκλική οικονομία, και παρέχει λεπτομερείς μελέτες περιπτώσεων εφαρμογών γεωσυνθετικών στην Ελλάδα.

Λέξεις – κλειδιά: γεωσυνθετικά υλικά, γεωφάσματα, γεωμεμβράνες, γεωπλέγματα, γεωκυψέλες, εφαρμογές, περιβαλλοντική προστασία, κυκλική οικονομία.

Abstract

Geosynthetics have been used extensively and successfully over the last 30 years to fulfil one or more of the following functions: separation, filtration, drainage, reinforcement. In recent years, public awareness of environmental issues has added the very important aspect of environmental protection to the use of geosynthetics.

An overview of geosynthetics is presented, covering their various types, fundamental characteristics, analysis and design principles, application guidelines, and several case studies. The properties of geosynthetics and the basic methods for determining these properties are discussed, along with their significance in the design process.

Furthermore, this study highlights the primary applications of geosynthetics, emphasizing their use in retaining walls, embankments, slopes, hydraulic and geoenvironmental engineering, slope erosion control, containment facilities, and tunnel linings. It also covers the application of geosynthetics in transport structures, particularly unpaved roads, paved roads, and railway tracks. Additionally, the study explores how geosynthetics contribute to sustainable development goals, including their role in the circular economy, and provides detailed case studies of geosynthetics applications in Greece.

Keywords: geosynthetics, geotextiles, geomembranes, geogrids, geocells, applications, environmental protection, circular economy.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	3
Abstract.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή	11
1.1 Ορισμός και εισαγωγικά στοιχεία για τα γεωσυνθετικά υλικά	11
1.2 Ιστορική αναδρομή στη χρήση των γεωσυνθετικών υλικών.....	14
1.3 Γεωσυνθετικά υλικά και περιβάλλον.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Τύποι γεωσυνθετικών υλικών.....	17
2.1 Γεωυφάσματα- Geotextiles (GT).....	17
2.1.1 Υφαντά γεωυφάσματα	18
2.1.2 Μη υφαντά γεωυφάσματα	18
2.1.3 Πλεκτά υφάσματα.....	19
2.1.4 Γεωυφάσματα συνδεδεμένα με βελονιά	20
2.2 Γεωπλέγματα – Geogrids (GG)	20
2.2.1 Μονοαξονικό γεωπλέγμα.....	21
2.2.2 Διαξονικό γεωπλέγμα	21
2.2.3 Τριαξονικό γεωπλέγμα	21
2.3 Γεωδίκτυα – Geonets (GN).....	22
2.4 Γεωμεμβράνες – Geomembranes (GM)	23
2.5 Γεωσυνθετικοί αργιλικοί φραγμοί – Geosynthetic clay liners (GCL).....	24
2.6 Γεωσωλήνες – Geopipes (GP)	25
2.7 Γεωαφρός - Geofoam (GF).....	25
2.8 Γεωσύνθετα υλικά Geocomposites (GC).....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ιδιότητες γεωσυνθετικών υλικών	29
3.1 Φυσικές ιδιότητες	29
3.1.1 Ειδικό βάρος	29
3.1.2 Μοναδιαία μάζα.....	30
3.1.3 Πάχος	30
3.1.4 Ακαμψία.....	31
3.2 Μηχανικές ιδιότητες	32
3.2.1 Ιδιότητες εφελκυσμού.....	33
3.2.2 Συμπιεστικότητα	36

3.2.3 Αντοχή της ραφής.....	36
3.2.4 Αντοχή σε διάρρηξη	37
3.2.5 Αντοχή σε σχίσσιμο	37
3.2.6 Αντοχή σε διάτρηση	38
3.2.7 Τριβή.....	38
3.2.8. Αντοχή σε εξόλκευση	39
3.3 Υδραυλικές ιδιότητες.....	40
3.3.1 Πορώδες.....	40
3.3.2 Ποσοστό ανοικτής επιφάνειας	41
3.3.3 Φαινόμενο μέγεθος ανοίγματος	41
3.3.4 Διαπερατότητα.....	41
3.3.5 Μεταφορικότητα.....	42
3.3.6 Συγκράτηση εδάφους.....	42
3.4 Ιδιότητες αντοχής.....	42
3.4.1 Βλάβες κατά την εγκατάσταση.....	42
3.4.2 Ερπυσμός και χαλάρωση τάσεων	43
3.4.3 Τριβή.....	43
3.4.4 Απόφραξη	44
3.5 Υποβάθμιση	44
3.5.1 Θερμοκρασία	45
3.5.2 Οξείδωση	45
3.5.3 Υδρόλυση.....	45
3.5.4 Χημική υποβάθμιση.....	46
3.5.5 Υπεριώδες φως	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Λειτουργίες των γεωσυνθετικών	47
4.1 Διήθηση	47
4.2 Διαχωρισμός	47
4.3 Ενίσχυση	48
4.4 Αποστράγγιση.....	48
4.5 Έλεγχος της επιφανειακής διάβρωσης.....	49
4.6 Προστασία	49
4.7 Φράγμα	50
4.8 Ανακούφιση από τις καταπονήσεις	51

4.9 Άλλες λειτουργίες	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εφαρμογές των γεωσυνθετικών	53
5.1 Συστήματα αποστράγγισης	53
5.2 Επενδύσεις και καλύμματα Χ.Υ.Τ.Α.	53
5.3 Έλεγχος διάβρωσης	55
5.4 Κατασκευή ανεπίστρωτων οδών	58
5.5 Προστασία των ακτών	60
5.6 Τοίχοι αντιστήριξης	61
5.7 Σταθεροποίηση σιδηροδρομικών γραμμών	62
5.8 Κατασκευή σήραγγας	65
5.9 Προστασία αγωγών.....	65
5.10 Επεξεργασία λυμάτων	66
5.11 Γεωργικές εφαρμογές	69
5.12 Έλεγχος χιονοστιβάδων	70
5.13 Αναχώματα και πρανή	70
5.14 Αβαθής θεμελίωση.....	72
5.15 Φίλτρα και αποχετεύσεις	72
5.16 Χωμάτινα φράγματα	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Βιωσιμότητα των γεωσυνθετικών υλικών	74
6.1 Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.....	74
6.1.1. Οικονομικά οφέλη που συνδέονται με τη χρήση γεωσυνθετικών.....	74
6.1.2. Μείωση της ποσότητας ή της ανάγκης για επιλεγμένο έδαφος υλικού.....	74
6.1.3. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας	75
6.1.4. Μικρότερη μακροπρόθεσμη συντήρηση που σχετίζεται με σημαντική συμβολή στη διάρκεια ζωής.....	75
6.1.5. Μείωση των εκπομπών	79
6.2 Κοινωνικά οφέλη	80
6.2.1. Η ανθεκτικότητα είναι εφικτή	80
6.2.2 Η οικονομική ανάπτυξη και η ευημερία ενεργοποιούνται	82
6.3 Μόλυνση του περιβάλλοντος ως αποτέλεσμα της χρήσης γεωσυνθετικών υλικών	82
6.3.1 Μόλυνση από μικροπλαστικά και ναυοπλαστικά.....	83
6.4. Η συμβολή των γεωσυνθετικών στην κυκλική οικονομία	84

6.4.1. Κυκλική οικονομία και αρχές της.....	84
6.4.2. Πώς τα γεωσυνθετικά υποστηρίζουν την κυκλική οικονομία;.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Μελέτες περίπτωσης εφαρμογής γεωσυνθετικών υλικών στην Ελλάδα	87
7.1 Ενίσχυση επιχωμάτων κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων	87
7.1.1 Ενισχυμένα επιχώματα κατά μήκος της Εγνατίας Οδού	87
7.1.2 Ενισχυμένο ανάχωμα κατά μήκος της εθνικής οδού Άρτας - Τρικάλων	90
7.2 Παράκτιο ανάχωμα σε ακατάλληλο έδαφος: Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης	92
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Σύστημα ταξινόμησης των γεωσυνθετικών υλικών. (Geotechnical Design Manual , 2022).....	12
Εικόνα 2. Γεωυφάσματα (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017).....	17
Εικόνα 3. Γεωύφασμα: Υφαντό μονόκλωνο (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017)	18
Εικόνα 4. Γεωύφασμα: Μη υφαντό βελονωτό (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017)	19
Εικόνα 5. Παραδείγματα γεωπλεγματος (GMA, 2016).....	21
Εικόνα 6. Γεωδίκτυα (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017).....	22
Εικόνα 7. Γεωμεμβράνη (Geofabrics, 2024)	23
Εικόνα 8. γεωσυνθετικοί αργιλικοί φραγμοί (GCL) (GMA, 2016).....	25
Εικόνα 9. Γεωσωλήνας (GMA, 2016)	25
Εικόνα 10. Γεωαφρός (Mittal et al., 2018)	26
Εικόνα 11. Γεωσύνθετα υλικά (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017).....	26
Εικόνα 12. Μεγέθη δοκιμίων για διάφορες δοκιμές εφελκυσμού: α) αρπάγη, b) γεωύφασμα μεγάλου πλάτους, c) γεωπλέγμα μεγάλου πλάτους, μέθοδος A, d) γεωπλέγμα μεγάλου πλάτους, μέθοδοι B και C (Perkins, 2006).	34
Εικόνα 13. Συσκευή για δοκιμή εξόλκευσης (Perkins, 2006)	39
Εικόνα 14. Γεωσυνθετικά υλικά ως διαχωριστές (Chatrabhuj, 2024).....	48
Εικόνα 15. Εφαρμογή γεωσυνθετικών στην αποστράγγιση (Chatrabhuj, 2024)	49
Εικόνα 16. Γεωκυψέλες (Shukla, 2016)	56
Εικόνα 17. (α) προστασία ενός ακροβάθρου- β) έλεγχος διάβρωσης μιας τάφρου	57
Εικόνα 18. Χρήση γεωσυνθετικών στην πρόληψη της ρηγμάτωσης (Chatrabhuj, 2024).	58
Εικόνα 19. Γεωύφασμα διαχωρισμού (IGS, 2023a)	59
Εικόνα 20. Πλευρική συγκράτηση με χρήση γεωσυνθετικού υλικού σε ανεπίστρωτες οδούς (IGS, 2023a)	60
Εικόνα 21. Σχήμα βασικών εφαρμογών γεωσυνθετικών σε σιδηροδρομικά έργα (IGS, 2023b)	62
Εικόνα 22. Τυπική διατομή σιδηροδρομικής γραμμής με γεωσύνθετα αποστράγγισης (GCD), δυνητικά τοποθετημένα στη βάση ή/και στη στέψη του επιχώματος(IGS, 2023b)	64
Εικόνα 23. Τοποθέτηση γεωσύνθετου αποστράγγισης στη βάση του σιδηροδρομικού επιχώματος. Σε αυτή την περίπτωση το GCD τοποθετείται κατά μήκος του επιχώματος (IGS, 2023b).....	64
Εικόνα 24. Πολλαπλές χρήσεις των γεωσυνθετικών στο σχεδιασμό χώρων υγειονομικής ταφής (Palmeira et al., 2008).	68
Εικόνα 25. Παράδειγμα αποκατάστασης πρανούς με όπλιση της διαμορφωμένης με επίχωση παρειάς του (IGS, 2023c).....	71
Εικόνα 26. Γεωμεμβράνη HDPE εγκατεστημένη στον ταμιευτήρα La Mericana (Jarandilla de la Vera-Cáceres-Ισπανία) (Touze, 2022).	78

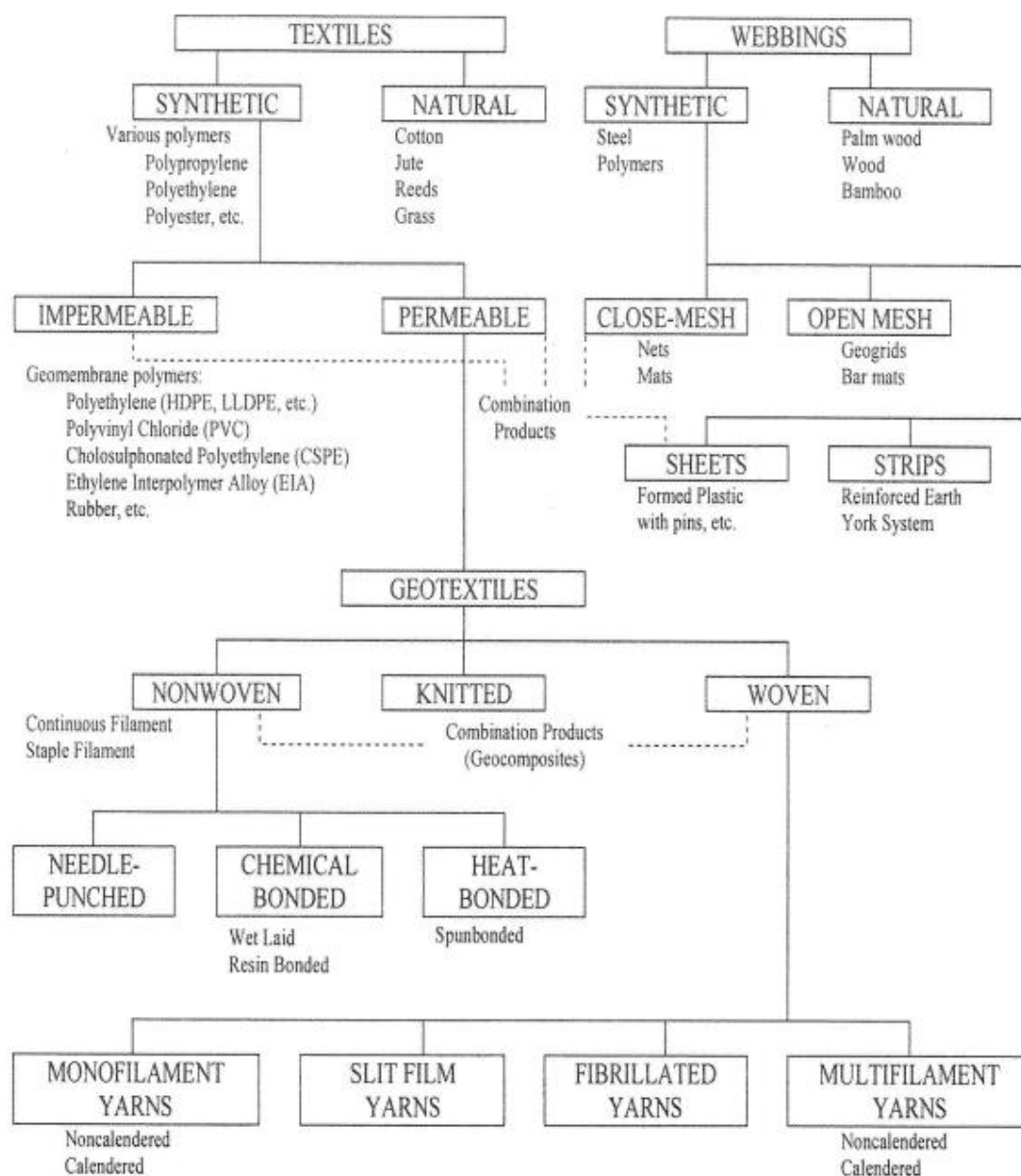
Εικόνα 27. Τυπική διατομή ενός ενισχυμένου επιχώματος ύψους 35m κατά μήκος τμήματος μήκους 250m της Εγνατίας οδού στην Ελλάδα, θεμελιωμένο σε σχηματισμό φλύσχη δίπλα σε ποταμό (Fikiris, 2008)	88
Εικόνα 28. Φωτογραφίες που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενισχυμένου επιχώματος κατά μήκος της Εγνατίας οδού (βλέπε επίσης Σχήμα 2). α) Εκσκαφές θεμελίωσης για την αγκύρωση του επιχώματος - β) τοποθέτηση γεωπλεγμάτων και διαδικασία επίχωσης (Fikiris, 2008).....	88
Εικόνα 29. Άποψη της τελικής γεωμετρίας του ενισχυμένου επιχώματος (βλέπε επίσης Σχήμα 2). Έναρξη της ανάπτυξης της βλάστησης. (Fikiris, 2008).....	88
Εικόνα 30. Τυπικές διατομές ενισχυμένων επιχωμάτων αυτοκινητοδρόμων κατά μήκος της Εγνατίας οδού που σχεδιάστηκαν επίσης ως μέτρα σταθεροποίησης πρανών παρέχοντας στάθμιση των πόδων του πρανούς προς τα κάτω. (Fikiris, 2008).	90
Εικόνα 31. Τυπική διατομή ενισχυμένου επιχώματος ύψους 13,0m, θεμελιωμένου σε έδαφος με απότομη κλίση σε τμήμα μήκους 60m της εθνικής οδού Άρτας - Τρικάλων στην Ελλάδα. (Fikiris, 2008).	90
Εικόνα 32. Άποψη της τελικής γεωμετρίας του ενισχυμένου επιχώματος κατά μήκος τμήματος της εθνικής οδού Άρτας – Τρικάλων (Fikiris, 2008).....	91
Εικόνα 33, Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης (Profillidis et al., 1996).	92
Εικόνα 34. Κατασκευή του επιχώματος (Profillidis et al., 1996).....	94
Εικόνα 35. Τυπικό προφίλ του αναχώματος(Profillidis et al., 1996).	94
Εικόνα 36. Ενδείξεις του μετρητή αρμών στερεωμένου στην ανώτερη στρώση γεωφάσματος(Profillidis et al., 1996).....	95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

1.1 Ορισμός και εισαγωγικά στοιχεία για τα γεωσυνθετικά υλικά

Σύμφωνα με τους Holtz, et al (2008), η ASTM (2014) D4439 ορίζει το γεωσυνθετικό ως ένα επίπεδο προϊόν κατασκευασμένο από πολυμερές υλικό που χρησιμοποιείται με χώμα, βράχο, γη ή άλλο γεωτεχνικό υλικό ως αναπόσπαστο μέρος ανθρωπογενούς έργου, δομής ή συστήματος.

Τα γεωσυνθετικά υλικά αποτελούνται από 4 βασικές ομάδες: τα γεωυφάσματα, τα γεωπλέγματα, τις γεωμεμβράνες και τα γεωσύνθετα υλικά (Salah et al., 2020). Καθεμία από αυτές τις βασικές ομάδες εξετάζεται λεπτομερέστερα παρακάτω. Τα υλικά από τα οποία αποτελούνται τα γεωσυνθετικά μπορεί να είναι είτε τεχνητά είτε φυσικά. Τα πιο συνηθισμένα τεχνητά υλικά αποτελούνται από συνθετικά πολυμερή όπως το πολυπροπυλένιο (PP), ο πολυεστέρας (PET) και το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Πρέπει να σημειωθεί ότι τα πολυμερή αυτά είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη βιολογική και χημική αποικοδόμηση. Άλλα τεχνητά πολυμερή που χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά είναι τα πολυαμίδια, το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και οι ίνες γυαλιού (GMA, 2016). Τα πολυαμίδια (π.χ. νάιλον) δεν είναι πολύ ανθεκτικά στο έδαφος, καθώς τείνουν να μαλακώνουν παρουσία νερού. Τα φυσικά υλικά αποτελούνται από βαμβάκι, γιούτα κ.λπ. ωστόσο, τα φυσικά υλικά είναι βιοδιασπώμενα και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για προσωρινές (< 1 έτος) εφαρμογές. Η Εικόνα 1 παρέχει ένα σύστημα ταξινόμησης των γεωσυνθετικών υλικών (Geotechnical Design Manual, 2022).



Εικόνα 1. Σύστημα ταξινόμησης των γεωσυνθετικών υλικών (Geotechnical Design Manual, 2022)

Τα γεωσυνθετικά χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές γεωτεχνικές, περιβαλλοντικές και υδραυλικές εφαρμογές που σχετίζονται με την ποιότητα και τον έλεγχο των υπόγειων υδάτων. Ένα από τα πιο συνηθισμένα παραδείγματα είναι η χρήση γεωφασμάτων φίλτρων σε αποχετεύσεις τάφρων. Τα συστήματα επένδυσης της βάσης και του καλύμματος των σύγχρονων χώρων υγειονομικής ταφής κάνουν επίσης εκτεταμένη χρήση γεωσυνθετικών με κύριο σκοπό την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας μόλυνσης των υπόγειων υδάτων. Επιπλέον, η χρήση γεωσυνθετικών αυξάνεται ραγδαία

σε εφαρμογές που σχετίζονται άμεσα με τον έλεγχο των υπόγειων υδάτων. Πρόκειται για τα συστήματα κατακόρυφων φραγμάτων από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των παραδοσιακών τοιχωμάτων αποκοπής εδάφους-βεντονίτη σε έργα που αφορούν την αποκατάσταση και τον έλεγχο των υπόγειων υδάτων (Zornberg & Christopher, 2007).

Η αγορά των γεωσυνθετικών είναι ισχυρή και αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς λόγω της συνεχιζόμενης χρήσης των γεωσυνθετικών σε καθιερωμένες εφαρμογές και, κυρίως, λόγω του αυξανόμενου αριθμού νέων εφαρμογών που κάνουν χρήση αυτών των προϊόντων. Η ισχύς της αγοράς γεωσυνθετικών μπορεί να εκτιμηθεί με την αξιολόγηση της αύξησης της εκτιμώμενης ποσότητας γεωσυνθετικών στη Βόρεια Αμερική κατά τη διάρκεια των ετών . Ενώ η συνολική ποσότητα γεωσυνθετικών που παρήχθησαν στη Βόρεια Αμερική ήταν λίγο πάνω από 83 εκατομμύρια m² το 1980, η παραγωγή γεωσυνθετικών ήταν περίπου 1 δισεκατομμύριο m² το 2005 (Zornberg & Christopher, 2007).

Οι εφαρμογές των γεωσυνθετικών είναι πολύ διαφορετικές. Για την εκπλήρωση διαφορετικών λειτουργιών στο σχεδιασμό γεωτεχνικών, περιβαλλοντικών και υδραυλικών συστημάτων, η βιομηχανία γεωσυνθετικών έχει αναπτύξει μια σειρά προϊόντων για να καλύψει τις ανάγκες των μηχανικών. Εκτός από τη χρήση γεωφασμάτων ως φίλτρα σε αποχετεύσεις τάφρων, γεωμεμβρανών σε συστήματα επένδυσης χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και κατακόρυφων πάνελ HDPE σε έργα ελέγχου των υπόγειων υδάτων, άλλα παραδείγματα εφαρμογών γεωσυνθετικών περιλαμβάνουν τη χρήση γεωφασμάτων ως στοιχεία φιλτραρίσματος σε φράγματα και συστήματα περιορισμού αποβλήτων, τη χρήση γεωσύνθετων υλικών ως στοιχεία ελέγχου της διάβρωσης σε κανάλια και πρανή και τη χρήση γεωπλεγμάτων ως στοιχεία ενίσχυσης σε εδαφικά αναχώματα (Zornberg & Christopher, 2007).

Έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες δοκιμές για τον χαρακτηρισμό των υδραυλικών και μηχανικών ιδιοτήτων των γεωσυνθετικών. Πολλές από αυτές τις ιδιότητες είναι σημαντικές για την κατασκευή και τον ποιοτικό έλεγχο των γεωσυνθετικών- ωστόσο, πολλές άλλες είναι επίσης σημαντικές και για τον σχεδιασμό. Οι ιδιότητες του υλικού που σχετίζονται κυρίως με την κατασκευή και τον ποιοτικό έλεγχο των γεωσυνθετικών αναφέρονται γενικά ως ιδιότητες δείκτη και εκείνες που σχετίζονται με το σχεδιασμό αναφέρονται ως ιδιότητες απόδοσης. Όταν συσχετίζονται κατάλληλα με τις ιδιότητες απόδοσης, ορισμένες ιδιότητες δείκτη μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για το

σχεδιασμό. Καθώς τα διάφορα γεωσυνθετικά προϊόντα μπορούν να επιτελέσουν διαφορετικές λειτουργίες, θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να ικανοποιούν ελάχιστα κριτήρια για να επιτελούν επαρκώς τις λειτουργίες αυτές σε έναν δεδομένο σχεδιασμό (Zornberg & Christopher, 2007).

Οι λειτουργίες που μπορούν να παρέχουν τα γεωσυνθετικά είναι οι εξής: διαχωρισμός, ενίσχυση, διήθηση, αποστράγγιση, φράγμα και προστασία ή ανακούφιση από τις τάσεις (Zornberg & Christopher, 2007).

Τα γεωσυνθετικά κατασκευάζονται σε μορφή φύλλων σε ελεγχόμενο εργοστασιακό περιβάλλον. Συνήθως συσκευάζονται σε ρολά για τη μεταφορά τους στο εργοτάξιο. Μπορούν επίσης να διπλωθούν ή να κοπούν και να στοιβάζονται και να τοποθετούνται σε χαρτοκιβώτια. Στο εργοτάξιο, τα γεωσυνθετικά φύλλα ξετυλίγονται στην προετοιμασμένη επιφάνεια του υπεδάφους, επικαλύπτονται για να σχηματίσουν μια συνεχή γεωσυνθετική κουβέρτα και συχνά συνδέονται μεταξύ τους με φυσικό τρόπο, για παράδειγμα, με συγκόλληση (γεωμεμβράνες) ή ραφή (γεωυφάσματα). Οι διάφοροι τύποι γεωσυνθετικών περιλαμβάνουν γεωυφάσματα, γεωμεμβράνες, γεωπλέγματα, γεωσυνθετικές αργλικές επιστρώσεις (GCL), γεωσυνθετικές αποχετεύσεις με φύλλα, γεωσυνθετικές αποχετεύσεις με λωρίδες (φυτίλια), γεωσωλήνες, προϊόντα ελέγχου διάβρωσης και συστήματα κατακόρυφων φραγμάτων HDPE (Zornberg & Christopher, 2007).

Τα γεωτεχνικά, περιβαλλοντικά και υδραυλικά συστήματα συχνά ενσωματώνουν διάφορους τύπους γεωσυνθετικών, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να επιτελούν περισσότερες από μία λειτουργίες στο σύστημα. Τα συστήματα επένδυσης του πυθμένα και του καλύμματος των εγκαταστάσεων περιορισμού αποβλήτων αποτελούν καλά παραδείγματα εφαρμογών που κάνουν χρήση γεωσυνθετικών για πολλαπλούς σκοπούς. Σε αυτές τις εγκαταστάσεις, τα διάφορα γεωσυνθετικά προϊόντα συνδυάζονται για να δημιουργήσουν το σύστημα της επένδυσης, της διήθησης, του διαχωρισμού, της αποστράγγισης, της προστασίας και της ενίσχυσης (Zornberg & Christopher, 2007).

1.2 Ιστορική αναδρομή στη χρήση των γεωσυνθετικών υλικών

Η χρήση γεωυφάσματος από φυσικές ίνες για κατασκευαστικά έργα μπορεί να εντοπιστεί στις αρχές της 5ης και 4ης χιλιετίας π.Χ. Τα υφάσματα χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά ως οπλισμός στις οδικές αρτηρίες στην αρχαία Αίγυπτο, όπου διαπιστώθηκε

ότι οι φυσικές ίνες, τα υφάσματα ή η βλάστηση βελτιώνουν την ποιότητα του εδάφους, ιδιαίτερα του χαλαρού εδάφους (Pritchard et al., 2000).

Επιπλέον, οι Venkatappa et al. (1997) στα ευρήματά τους δημοσίευσαν ότι η χρήση γεωσυνθετικών υλικών από εργολάβους και μηχανικούς αυξάνεται σταδιακά και υπάρχει μια παγκόσμια αύξηση στη χρήση, εφαρμογή και εγκατάσταση τους, γεγονός που αποδεικνύει ότι στο άμεσο μέλλον η αγορά γεωσυνθετικών θα ευδοκιμήσει σε υψηλά επίπεδα.

1.3 Γεωσυνθετικά υλικά και περιβάλλον

Η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας και η συνακόλουθη κλιματική αλλαγή απαιτούν μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω της μείωσης της χρήσης πρώτων υλών και ορυκτών καυσίμων. Η βιωσιμότητα είναι σημαντική, τόσο στην παραγωγή δομικών υλικών, όσο και στη διαδικασία κατασκευής. Η χρήση γεωσυνθετικών υλικών μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση (Voskamp & Retlaff, 2022).

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της χρήσης γεωσυνθετικών σε μια κατασκευή είναι η μείωση των εκπομπών CO₂. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά δομικά προϊόντα, όπως το σκυρόδεμα, η άμμος, το χαλίκι και ο χάλυβας, η μείωση μπορεί να ανέλθει σε 32-89%, ανάλογα με την εφαρμογή. Επιπλέον, υπάρχει μεγάλη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας σε σύγκριση με την παραδοσιακή μέθοδο κατασκευής. Αυτή μπορεί να ανέλθει έως και 85% ανάλογα με την επιλεγμένη τεχνολογία. Η χρήση των γεωσυνθετικών οδηγεί επίσης σε σημαντική μείωση των μεταφορών, καθώς χρειάζεται να μεταφερθούν λιγότερα παραδοσιακά (βαριά) δομικά υλικά, μερικές φορές σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας ως αποτέλεσμα των μειωμένων ποσοτήτων χρησιμοποιούμενων δομικών υλικών (Voskamp & Retlaff, 2022).

Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν και ορισμένα πρακτικά μειονεκτήματα. Η χρήση πλαστικών υλικών δημιουργεί απόβλητα που πρέπει να υποστούν επεξεργασία και να απομακρυνθούν από το περιβάλλον. Τα γεωσυνθετικά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και απομακρύνονται όταν κατεδαφίζεται η κατασκευή (π.χ. ένας δρόμος) στην οποία χρησιμοποιούνται (Voskamp & Retlaff, 2022). Μετά τη χρήση τους, μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να ανακυκλωθούν, οπότε το πολυμερές μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ως βασικό υλικό για την παραγωγή νέου πλαστικού υλικού. Σε άλλες περιπτώσεις, αποτεφρώνεται. Αν και παράγεται ενέργεια από εγκαταστάσεις

συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, η αποτέφρωση οδηγεί στην εκπομπή CO₂. Όταν όμως γίνεται σωστός χειρισμός, η διάθεση και η επεξεργασία των αποβλήτων μετά τη χρήση των γεωσυνθετικών υλικών δεν έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Voskamp & Retlaff, 2022).

Είναι σημαντικό να επιλέγονται τα σωστά γεωσυνθετικά που ταιριάζουν στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Η επιλογή των λανθασμένων υλικών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα μακροπρόθεσμα. Είναι πολύ σημαντικό να γίνονται οι σωστοί έλεγχοι και να λαμβάνονται μέτρα διαχείρισης σε όλες τις φάσεις του έργου. Αυτό περιλαμβάνει τη φάση του σχεδιασμού (απαιτείται ειδική τεχνογνωσία), την παράδοση υλικών (ο κατασκευαστής προμηθεύει τα υλικά σύμφωνα με τις προδιαγραφές), τη φάση της εκτέλεσης (εργολάβος/εγκαταστάτης με γνώση των γεωσυνθετικών) και τη φάση της λειτουργίας (επιθεωρήσεις, συντήρηση όπου χρειάζεται). Έχουν αναφερθεί ορισμένα παραδείγματα γεωυφασμάτων που δεν είχαν εγκατασταθεί σωστά και τα οποία βρίσκονταν στην επιφάνεια σε κατασκευές στις όχθες ποταμών. Η κίνηση των βράχων προκάλεσε φθορά και κομμάτια του γεωυφάσματος αποκολλήθηκαν (Voskamp & Retlaff, 2022). Αυτό αποτελεί ένα τυπικό παράδειγμα καθυστερημένης συντήρησης και κακής λειτουργικής διαχείρισης. Το γεωύφασμα που βγήκε στην επιφάνεια πρέπει να καλυφθεί σύμφωνα με τους κανονισμούς κατά τους επόμενους γύρους συντήρησης. Αν και τα προβλήματα αυτά είναι σπάνια, υπάρχει η αντίληψη ότι τα γεωυφάσματα μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές ποσότητες μικροπλαστικών στο περιβάλλον (Voskamp & Retlaff, 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Τύποι γεωσυνθετικών υλικών

2.1 Γεωυφάσματα- Geotextiles (GT)

Τα γεωυφάσματα ορίζονται ως κάθε διαπερατό ύφασμα που χρησιμοποιείται με έδαφος θεμελίωσης, βράχο, χώμα ή οποιοδήποτε άλλο υλικό που σχετίζεται με τη γεωτεχνική μηχανική ως αναπόσπαστο μέρος ενός ανθρωπογενούς έργου, δομής ή συστήματος (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017).



Εικόνα 2. Γεωυφάσματα (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017)

Τα γεωυφάσματα κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά κι όχι από φυσικά υλικά. Έτσι, τα υλικά αυτά είναι λιγότερο ευαίσθητα στη βιοαποικοδόμηση. Τα γεωυφάσματα είναι προϊόντα που μοιάζουν με φύλλα και η εμφάνισή τους μοιάζει με κανονικό ύφασμα (Sitharam et al., 2020). Το πολυπροπυλένιο είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες ίνες για γεωυφάσματα λόγω του χαμηλού κόστους, των αποδεκτών ιδιοτήτων εφελκυσμού και της χημικής αδρανείας του. Η ίνα αυτή έχει ένα πρόσθετο πλεονέκτημα λόγω της χαμηλής πυκνότητάς της, η οποία έχει ως αποτέλεσμα εξαιρετικά χαμηλό κόστος ανά όγκο. Το κύριο μειονέκτημα του πολυπροπυλενίου είναι η χαμηλή ευαισθησία του στην υπεριώδη ακτινοβολία. Επιπλέον, σε υψηλές θερμοκρασίες, η απόδοσή του επιδεινώνεται εύκολα, επιδεικνύοντας φτωχά χαρακτηριστικά ερπυσμού (Stepanovich et al., 2016).

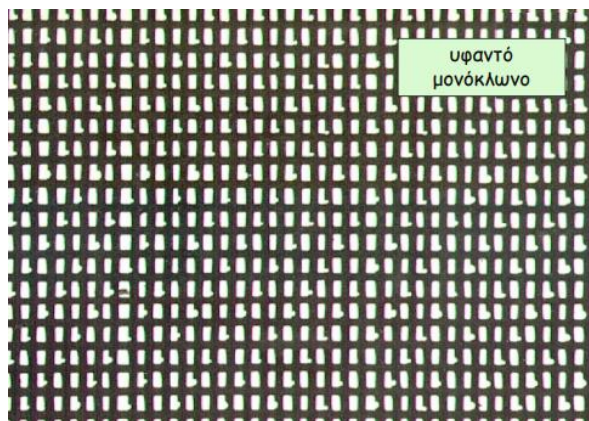
Μια άλλη σημαντική συνθετική ίνα για γεωυφάσματα είναι το PET. Έχει εξαιρετικές ιδιότητες εφελκυσμού και υψηλή αντοχή σε ερπυσμό. Τα γεωυφάσματα από ίνες πολυεστέρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Το κύριο μειονέκτημα της πολυεστερικής ίνας είναι ότι υδρολύεται και αποικοδομείται εύκολα στο έδαφος με τιμή pH μεγαλύτερη από 10 (Pelyk et al., 2019).

Αν και οι ίνες πολυαιθυλενίου χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή γεωμεμβρανών, λόγω της έλλειψης προμήθειας ινών πολυαιθυλενίου χρησιμοποιούνται σπάνια στον τομέα των γεωφασμάτων. Το πολυαμίδιο χρησιμοποιείται επίσης σπάνια στα γεωφάσματα λόγω του κόστους και της χαμηλής συνολικής του απόδοσης (Rawal et al., 2016).

Τα υλικά αυτά είναι διαπερατά και εύκαμπτα λόγω της παρουσίας συνθετικών ινών. Τα γεωφάσματα κατασκευάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν την αποστράγγιση σε όλο το κατασκευασμένο επίπεδό τους και εντός του πάχους τους. Με βάση τη διαδικασία κατασκευής, τα γεωφάσματα ταξινομούνται σε υφαντά, μη υφαντά, πλεκτά και γεωφάσματα με ραφή (Sitharam et al., 2020).

2.1.1 Υφαντά γεωφάσματα

Αυτά τα γεωφάσματα κατασκευάζονται μέσω μιας συμβατικής διαδικασίας ύφανσης και αποτελούν τα πρώτα προϊόντα που αναπτύχθηκαν από τις συνθετικές ίνες. Τα υφαντά γεωφάσματα έχουν τη χαρακτηριστική εμφάνιση δύο σειρών παράλληλων νημάτων ή κλωστών. Το νήμα που διατρέχει το μήκος τους ονομάζεται περιτύλιγμα και το νήμα κάθετης κατεύθυνσης ονομάζεται υφάδι (Sitharam et al., 2020).

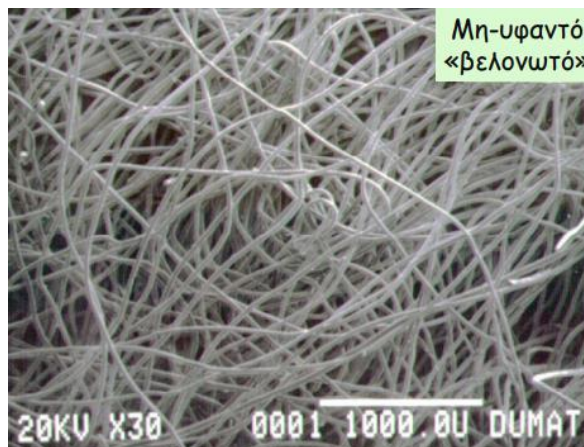


Εικόνα 3. Γεωφάσμα: Υφαντό μονόκλωνο (Τσατσανίφους & Παπαδημητρίου, 2017)

2.1.2 Μη υφαντά γεωφάσματα

Οι συνεχείς ή βραχύρρευστες ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των μη υφαντών γεωφασμάτων. Αυτά τα γεωσυνθετικά σχηματίζονται με τη συγκόλληση των ινών μεταξύ τους μέσω μηχανικών, θερμικών και χημικών τεχνικών. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως μηχανική σύμπλεξη ή χημική ή θερμική συγκόλληση των ινών. Το πάχος των μη υφαντών γεωσυνθετικών με χημική συγκόλληση είναι

σχετικά υψηλό σε σύγκριση με τα μη υφαντά με θερμική συγκόλληση. Η μεγάλη ποσότητα πολυμερούς νήματος απαιτείται για την παροχή επαρκούς συγκόλλησης μεταξύ των νημάτων στην περίπτωση της χημικής συγκόλλησης (Sitharam et al., 2020).



Εικόνα 4. Γεωύφασμα: Μη υφαντό βελονωτό (Τσατσανίφος & Παπαδημητρίου, 2017)

2.1.3 Πλεκτά υφάσματα

Αυτοί οι τύποι γεωσυνθετικών κατασκευάζονται με τη μέθοδο που ονομάζεται «πλέξιμο». Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία, μια σειρά από βρόχους νήματος αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους για να κατασκευαστούν τα γεωσυνθετικά. Το ύφασμα σχηματίζεται όταν ένας βρόχος νήματος ή μονόκλωνου νήματος τραβιέται μέσα από έναν προηγουμένως σχηματισμένο βρόχο. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για την παραγωγή ενός πλεκτού υφάσματος: πλεκτό στημόνι και πλεκτό υφάδι (Geofabrics, 2024).

Πλεκτό στημόνι

Με το πλέξιμο με στημόνι, οι προπαρασκευαστικές διαδικασίες είναι πιο περίπλοκες, επειδή τα νήματα πρέπει πρώτα να συναρμολογηθούν σε μια δοκό στημονιού, και στη συνέχεια, μόλις βρεθούν στη μηχανή, να περαστούν μέσα από οδηγούς στημονιού. Η διαδικασία πλέξης πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και ακρίβεια για να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη πλέξη. Στη συνέχεια, οι δοκοί στημονιού φορτώνονται στη μηχανή. Τα νήματα εισάγονται μέσα από μεμονωμένους οδηγούς στημονιού, που είναι προσαρτημένοι στις ράβδους οδήγησης (Geofabrics, 2024).

Πλεκτό υφάδι

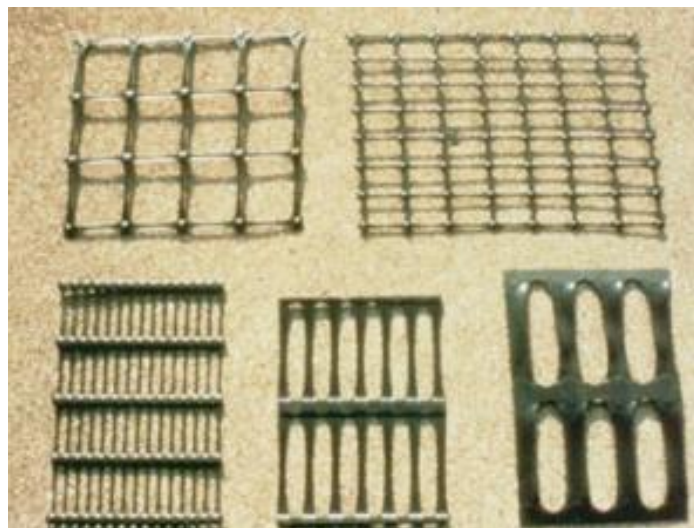
Πρόκειται για μια μέθοδο κατασκευής υφάσματος στην οποία οι βρόχοι που δημιουργούνται από κάθε νήμα σχηματίζονται ουσιαστικά σε όλο το πλάτος του υφάσματος. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι κάθε νήμα τροφοδοτείται περίπου κάθετα προς την κατεύθυνση παραγωγής του υφάσματος. Η πλέξη με υφάδι είναι μια σχετικά απλή μέθοδος για τη δημιουργία υφάσματος, επειδή ένα μόνο πακέτο νήματος μπορεί να παρέχει μια πολλαπλότητα υφασμάτων (Geofabrics, 2024).

2.1.4 Γεωυφάσματα συνδεδεμένα με βελονιά

Αυτά τα γεωυφάσματα σχηματίζονται με τη συρραφή των νημάτων ή των ινών μεταξύ τους (Sitharam et al., 2020).

2.2 Γεωπλέγματα – Geogrids (GG)

Το γεωπλέγμα είναι ένα πολυμερές και επίπεδο προϊόν που αποτελείται από ένα κανονικό ανοικτό δίκτυο από αναπόσπαστα συνδεδεμένα εφελκυστικά στοιχεία ή νευρώσεις. Οι νευρώσεις αυτές συνδέονται στις ενώσεις στο ίδιο επίπεδο μέσω της εξώθησης, της διαπλοκής ή της συγκόλλησης. Το άνοιγμα μεταξύ εγκάρσιων και διαμήκων νευρώσεων είναι γνωστό ως άνοιγμα. Το μέγεθος του ανοίγματος είναι αρκετά μεγάλο ώστε να παρέχει σύμπλεξη με τα περιβάλλοντα σωματίδια του εδάφους. Η κύρια εφαρμογή του προϊόντος γεωπλέγματος είναι η ενίσχυση του εδάφους. Περαιτέρω, τα γεωπλέγματα διέλασης κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους, δηλαδή σε μονοαξονικά, διαξονικά και τριαξονικά γεωπλέγματα (Sitharam et al., 2020).



Εικόνα 5. Παραδείγματα γεωπλέγματος (GMA, 2016)

2.2.1 Μονοαξονικό γεωπλέγμα

Το προϊόν αυτό κατασκευάζεται με τέντωμα του κανονικά διάτρητου φύλλου πολυμερούς κατά τη διαμήκη διεύθυνση. Έτσι, διαθέτει υψηλότερη εφελκυστική ικανότητα στη διαμήκη κατεύθυνση από ό,τι στην εγκάρσια. Ορισμένες από τις σημαντικότερες εφαρμογές του μονοαξονικού γεωπλέγματος περιλαμβάνουν τοίχους αντιστήριξης, κατασκευή επεκτάσεων αναχωμάτων, φράγματα και χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Sitharam et al., 2020).

2.2.2 Διαξονικό γεωπλέγμα

Τα προϊόν αυτά κατασκευάζεται με τέντωμα κανονικά διάτρητων φύλλων πολυμερούς τόσο κατά τη διαμήκη όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Ως εκ τούτου, προσφέρει παρόμοια εφελκυστική ικανότητα τόσο στη διαμήκη όσο και στην εγκάρσια διεύθυνση. Οι κύριες εφαρμογές του διαξονικού γεωπλέγματος περιλαμβάνουν την ενίσχυση του εδάφους, τις βάσεις οδών και τη σταθεροποίηση της σιδηροδρομικής γραμμής. Ωστόσο, τα διαξονικά γεωπλέγματα εμφανίζουν υψηλότερη ακαμψία και δυνατότητες σύμπλεξης από τα μονοαξονικά γεωπλέγματα (Sitharam et al., 2020).

2.2.3 Τριαξονικό γεωπλέγμα

Πρόκειται για τα πλέον προηγμένα προϊόντα γεωπλέγματος μεταξύ των διαφόρων τύπων γεωπλεγμάτων. Είναι ειδικά σχεδιασμένα για τις επιφάνειες με κυκλοφορία. Κατασκευάζονται με τον προσανατολισμό διάτρητων φύλλων πολυπροπυλενίου σε

πολλαπλές και ισόπλευρες κατευθύνσεις για τη δημιουργία τριγωνικών ανοιγμάτων. Αυτά τα γεωπλέγματα μπορούν να προσφέρουν υψηλή ακτινική ακαμψία. Οι πρόσφατες εφαρμογές του τριαξονικού γεωπλέγματος περιλαμβάνουν σιδηροδρομικά έργα (βελτίωση της φέρουσας ικανότητας), οδοστρώματα αεροδρομίων πάνω από μαλακό έδαφος και αυτοκινητοδρόμους (Sitharam et al., 2020).

2.3 Γεωδίκτυα – Geonets (GN)

Τα γεωδίκτυα είναι μια τρισδιάστατη μήτρα από πολυμερείς κλώνους που χρησιμοποιούνται για την αποστράγγιση στο επίπεδο. Σχεδόν όλα τα γεωδίκτυα κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο. Το λιωμένο πολυμερές εξωθείται μέσω σχισμών σε αντιδιαμετρικά περιστρεφόμενες μήτρες, σχηματίζοντας μια μήτρα ή ένα «δίκτυο» από στενά διατεταγμένες «στοιβαγμένες» νευρώσεις (GMA, 2016).



Εικόνα 6. Γεωδίκτυα (Τσατσανίφους, & Παπαδημητρίου, 2017)

Τα στοιχεία των γεωνημάτων διασταυρώνονται υπό γωνίες συνήθως μεταξύ 60° έως 80° για να σχηματίσουν ένα άνοιγμα σε σχήμα διαμαντιού. Συνήθως κατασκευάζονται με τη χρήση μιας διεργασίας με αντίθετα περιστρεφόμενη μήτρα που αναπτύχθηκε από την Netlon Limited. Η αντίθετα περιστρεφόμενη μήτρα αποτελείται από μια εσωτερική κυκλική μήτρα που είναι τοποθετημένη μέσα σε ένα σωληνοειδές χιτώνιο. Το εξωτερικό χιτώνιο έχει διαμήκεις εγχοπές στο εσωτερικό του, ενώ το εσωτερικό σωληνοειδές τμήμα έχει εγχοπές στο εξωτερικό του. Τόσο το χιτώνιο όσο και το σωληνοειδές τμήμα περιστρέφονται αντίθετα, όπου οι κλώνοι του πολυμερούς διασταυρώνονται και σχηματίζουν συνδέσεις. Το δίκτυο εξωθείται ως σωλήνας ο οποίος κόβεται και τραβιέται για να δημιουργηθεί ένα επίπεδο προϊόν έλασης (Geofabrics, 2024).

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες γεωδικτύων.

- 2-D γεωδίκτυα

- 3-D γεωδίκτυα
- Γεωδίκτυα τύπου κιβωτίου (Box γεωδίκτυα)

Τα 2-D γεωδίκτυα είναι οι αρχικοί και πιο συνηθισμένοι τύποι και αποτελούνται από δύο σειρές διασταυρούμενων νευρώσεων σε διαφορετικές γωνίες και αποστάσεις. Οι ίδιες οι νευρώσεις έχουν διαφορετικά μεγέθη και σχήματα για διαφορετικά στυλ.

Τα 3-D γεωδίκτυα έχουν παράλληλες κεντρικές νευρώσεις με μικρότερα σύνολα νευρώσεων πάνω και κάτω κυρίως για γεωμετρική σταθερότητα.

Τα Box γεωδίκτυα, αυτές οι νεότερες κατασκευές γεωδικτύων έχουν είτε κανάλια σε σχήμα κουτιού είτε προεξέχουσες στήλες από ένα υποκείμενο δίκτυο στήριξης (Geofabrics, 2024).

2.4 Γεωμεμβράνες – Geomembranes (GM)

Οι γεωμεμβράνες κατασκευάζονται γενικά από φύλλα πολυμερούς που εξωθούνται επίπεδα ή ως σωλήνες που χωρίζεται κατά τη διεύθυνση της μηχανής. Ωστόσο, μπορούν επίσης να κατασκευαστούν με τον εμποτισμό ενός γεωφάσματος με άσφαλτο ή ως σύνθετα υλικά από άσφαλτο πολλαπλών στρώσεων (Geofabrics, 2024).



Εικόνα 7. Γεωμεμβράνη (Geofabrics, 2024)

Οι γεωμεμβράνες εξυπηρετούν γενικά έναν μοναδικό σκοπό, να λειτουργούν ως φράγμα σε υγρά και αέρια, καθώς είναι γενικά αδιαπέραστες (10-10 m/s). Οι

γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου είναι απαραίτητο να αποτραπεί η απώλεια νερού ή τοξικών υλικών (Geofabrics, 2024).

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τέσσερις τύποι γεωμεμβρανών που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: γεωμεμβράνες που κατασκευάζονται επί τόπου (in situ) και γεωμεμβράνες που κατασκευάζονται στο εργοστάσιο με τη χρήση διαδικασίας εξώθησης η οποία μπορεί να ποικίλλει. Μέσα σε κάθε κατηγορία, υπάρχουν δύο υποκατηγορίες: οι μη ενισχυμένες και εκείνες με ενισχυτικό ύφασμα (Geofabrics, 2024).

Η κατασκευή των γεωμεμβρανών ξεκινά με την παραγωγή των πρώτων υλών, οι οποίες περιλαμβάνουν την πολυμερή ρητίνη (πλαστικό ή καουτσούκ) και διάφορα πρόσθετα, όπως αντιοξειδωτικά, πλαστικοποιητές, πληρωτικά, αιθάλη και λιπαντικά (ως βοηθητικό μέσο επεξεργασίας). Αυτές οι πρώτες ύλες (δηλ. η «σύνθεση») γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας σε φύλλα διαφόρων πλατών και πάχους με εξώθηση, καλανδράρισμα ή και με επάλειψη. Η σύνθεση μπορεί να είναι ένα πλαστικό (π.χ. PVC, HDPE, LLDPE) ένα καουτσούκ (π.χ. EPDM, EVA) ή ένας συνδυασμός των δύο (Geofabrics, 2024).

2.5 Γεωσυνθετικοί αργιτικοί φραγμοί – Geosynthetic clay liners (GCL)

Οι γεωσυνθετικοί αργιτικοί φραγμοί (GCL) είναι λεπτά στρώματα λεπτόκοκκου άργιλου μπεντονίτη. Όταν διαβρέχεται, η άργιλος διογκώνεται και γίνεται ένα πολύ αποτελεσματικό υδραυλικό φράγμα. Τα GCL κατασκευάζονται με σάντουιτς του μπεντονίτη μέσα ή με στρώσεις πάνω σε γεωυφάσματα ή και γεωμεμβράνες, ενώνοντας τα στρώματα με βελόνες, ραφές ή και χημικές κόλλες. Ο προτιμώμενος άργιλος μπεντονίτη νατρίου απαντάται στο Wyoming, τη Βόρεια Ντακότα και τη Μοντάνα των ΗΠΑ. Τα GCL χρησιμοποιούνται συνήθως για την ενίσχυση ή την αντικατάσταση συμπιεσμένων αργιλικών στρωμάτων ή γεωμεμβρανών (GMA, 2016).



Εικόνα 8. Γεωσυνθετικοί αργιλικοί φραγμοί (GCL) (GMA, 2016)

2.6 Γεωσωλήνες – Georipes (GP)

Ένα άλλο σημαντικό προϊόν που έχει «υιοθετηθεί» ως γεωσυνθετικό είναι ο πλαστικός σωλήνας. Οι συγκεκριμένες πολυμερείς ρητίνες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πλαστικών σωλήνων είναι: χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), πολυπροπυλένιο (PP), πολυβουτυλένιο (PB), ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο (ABS), και οξική κυτταρίνη (CAB). Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών πολιτικής μηχανικής για τα προϊόντα αυτά, όπως αποχετεύσεις άκρων αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών, αποχετεύσεις συλλογής και συστήματα αποστράγγισης (GMA, 2016).



Εικόνα 9. Γεωσωλήνας (GMA, 2016)

2.7 Γεωαφρός - Geofoam (GF)

Ο γεωαφρός είναι διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) που κατασκευάζεται σε μεγάλα ελαφριά μπλοκ. Το EPS Geofoam χρησιμοποιείται ως ελαφρύ υλικό πλήρωσης

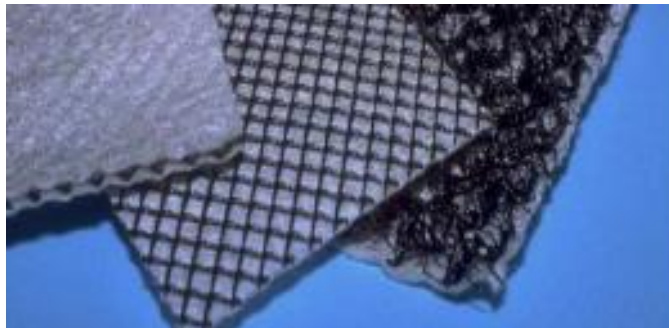
για κατασκευές σε μαλακό έδαφος, για καθίσματα σταδίων και θεάτρων, για απόσβεση θορύβου και κραδασμών, για σταθεροποίηση πρανών, για σιδηροδρομικά αναχώματα, για οχετούς, αγωγούς και θαμμένες κατασκευές, για πλήρωση τοίχων αντιστήριξης και θαμμένων τοίχων (Mittal et al., 2018).



Εικόνα 10. Γεωαφρός (Mittal et al., 2018)

2.8 Γεωσύνθετα υλικά Geocomposites (GC)

Ένα γεωσύνθετο είναι ένας συνδυασμός ενός ή περισσότερων γεωσυνθετικών υλικών που όταν επιλέγονται αποτελεσματικά μπορούν να επιτρέψουν στο χρήστη να επωφεληθεί από πολλαπλά χαρακτηριστικά με βέλτιστο τρόπο και με ελάχιστο κόστος. Η χρήση ενός σύνθετου υλικού επιτρέπει τη διευρυμένη λειτουργικότητα σε ένα μόνο υλικό και μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις ταχύτητες κατασκευής σε σύγκριση με εναλλακτικές λύσεις (Geofabrics, 2024).



Εικόνα 11. Γεωσύνθετα υλικά (Τσατσανίφος, & Παπαδημητρίου, 2017)

Υπάρχουν οι ακόλουθες κύριες μέθοδοι συνδυασμού υλικών για την παραγωγή ενός γεωσύνθετου υλικού (Geofabrics, 2024):

Συγκόλληση με κόλλα

Σε αυτή τη διαδικασία μια κόλλα εφαρμόζεται στα υλικά για να τα συνδέσει μεταξύ τους. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί μια κόλλα σε ένα υπόστρωμα. Οι κυριότερες είναι ο ψεκασμός, το λουτρό, το ρολό και η πίεση. Η επιλογή της κατάλληλης κόλλας είναι κρίσιμη τόσο για τις βραχυπρόθεσμες όσο και για τις μακροπρόθεσμες ιδιότητες του τελικού σύνθετου υλικού.

Θερμική πλαστικοποίηση

Πρόκειται για τη διέλευση υλικών (συνήθως θερμοπλαστικών) πάνω από μια πηγή θερμότητας για τη δημιουργία ενός λεπτού στρώματος λιωμένου πολυμερούς.

Συρραφή

Κατά τη διαδικασία αυτή τα εξαρτήματα ράβονται μεταξύ τους με νήματα υψηλής αντοχής, με τον ίδιο τρόπο που ράβονται τα υφάσματα για την κατασκευή παραδοσιακών υφασμάτων. Αυτός είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος συνδυασμού υλικών, μπορεί όμως να είναι μια πολύ χρονοβόρα διαδικασία κατασκευής.

Συγκόλληση

Τα περισσότερα θερμοπλαστικά μπορούν να συγκολληθούν αποτελεσματικά μεταξύ τους. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει αυτό. Όταν γίνεται αποτελεσματικά, η αντοχή ενός συγκολλημένου τμήματος μπορεί να είναι κοντά στην αντοχή του ίδιου του υλικού. Μια συνηθισμένη μέθοδος συγκόλλησης είναι η συγκόλληση με υπερήχους, όπου υπερηχητικές ακουστικές δονήσεις υψηλής συχνότητας εφαρμόζονται τοπικά σε τεμάχια που συγκρατούνται μεταξύ τους υπό πίεση για τη δημιουργία μιας συγκόλλησης στερεάς κατάστασης.

Γεωυφάσματα/σύνθετα γεωδίκτυα

Τα γεωυφάσματα συχνά τοποθετούνται με απανωτές στρώσεις σε μία ή και στις δύο πλευρές ενός γεωδικτύου. Σε αυτόν τον συνδυασμό το γεωδίκτυο παρέχει έναν κενό

χώρο για τη ροή υγρών/αερίων στο επίπεδο και το γεωφάσμα παρέχει τη λειτουργία διήθησης/διαχωρισμού.

Σύνθετα υλικά γεωφάσματος/γεωμεμβράνης

Τα γεωφάσματα τοποθετούνται σε στρώματα στη μία ή και στις δύο πλευρές μιας γεωμεμβράνης για να παρέχουν προστασία τόσο από βραχυπρόθεσμες βλάβες εγκατάστασης όσο και από μακροπρόθεσμες καταπονήσεις. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης ενός σύνθετου υλικού είναι οι εξαιρετικά αυξημένες ταχύτητες εγκατάστασης.

Σύνθετα υλικά γεωφάσματος/γεωπλέγματος

Τα γεωφάσματα συνδέονται με πλέγματα για να παρέχουν μια πρόσθετη λειτουργία φιλτραρίσματος και να επιτρέπουν το διαχωρισμό λεπτότερων εδαφών. Συνιστάται η επιλογή γεωφάσματος με υψηλή επιμήκυνση ώστε να διασφαλίζεται ότι δεν εμποδίζει τη λειτουργικότητα των γεωπλεγμάτων.

Σύνθετα υλικά γεωφάσματος/πυρήνα πολυμερούς

Ένα εξηλασμένο άκαμπτο πλαστικό φύλλο μπορεί να εξηλασθεί ή να παραμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει τη ροή πολύ μεγάλων ποσοτήτων υγρού εντός της δομής του και να λειτουργεί ως πυρήνας αποστράγγισης. Ο πυρήνας πρέπει να προστατεύεται από ένα γεωφάσμα, που λειτουργεί ως φίλτρο και διαχωριστής (Geofabrics, 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ιδιότητες γεωσυνθετικών υλικών

3.1 Φυσικές ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες των γεωσυνθετικών που παρουσιάζουν πρωταρχικό ενδιαφέρον είναι το ειδικό βάρος, η μοναδιαία μάζα (βάρος), το πάχος και η ακαμψία. Υπάρχουν μερικές ακόμη φυσικές ιδιότητες που είναι σημαντικές στην περίπτωση μόνο των γεωπλεγμάτων και των γεωδικτύων και είναι ο τύπος της δομής, ο τύπος της διασταύρωσης, το μέγεθος και το σχήμα του ανοίγματος, οι διαστάσεις των νευρώσεων, οι επίπεδες γωνίες που σχηματίζονται από τις διασταυρούμενες νευρώσεις και οι κατακόρυφες γωνίες που σχηματίζονται στο σημείο διασταύρωσης. Οι φυσικές ιδιότητες εξαρτώνται περισσότερο από τη θερμοκρασία και την υγρασία από ό,τι αυτές των εδαφών και των πετρωμάτων. Προκειμένου να επιτευχθούν συνεπή αποτελέσματα στο εργαστήριο, είναι επομένως σημαντικός ο καλός περιβαλλοντικός έλεγχος κατά τη διάρκεια των δοκιμών (Shukla, 2016).

3.1.1 Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος ενός πολυμερούς, από το οποίο κατασκευάζεται το γεωσυνθετικό, εκφράζεται ως ο λόγος του μοναδιαίου βάρους όγκου του (χωρίς κενά) προς εκείνο του καθαρού νερού στους 4 °C. Μπορεί να προσδιοριστεί με τη μέθοδο της μετατόπισης. Στην περίπτωση των γεωμεμβρανών, μια γνωστή μάζα ζυγίζεται στον αέρα και στη συνέχεια στο νερό. Το ειδικό βάρος του δείγματος γεωμεμβράνης είναι ο λόγος του βάρους του στον αέρα προς τη διαφορά μεταξύ του βάρους του στον αέρα και στο νερό (Shukla, 2016).

Το ειδικό βάρος ενός βασικού πολυμερούς είναι μια σημαντική ιδιότητα, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση του βασικού πολυμερούς των γεωσυνθετικών. Το ειδικό βάρος χρησιμοποιείται ευρέως στην ταυτοποίηση γεωμεμβρανών και στον ποιοτικό έλεγχο. Στην περίπτωση του πολυαιθυλενίου (PE), το ειδικό βάρος, ή πιο σωστά η πυκνότητα, είναι μια σημαντική ιδιότητα, δεδομένου ότι αποτελεί τη βάση για την ταξινόμηση του PE ως πολύ χαμηλής, χαμηλής, μεσαίας ή υψηλής πυκνότητας. Όταν υπάρχουν πρόσθετα, το ειδικό βάρος του προκύπτοντος πολυμερούς μπορεί να είναι υψηλότερο ή χαμηλότερο από αυτό του βασικού πολυμερούς, ανάλογα με το ειδικό βάρος και την αναλογία του χρησιμοποιούμενου πρόσθετου. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ειδικό βάρος ορισμένων από τα πολυμερή, όπως το πολυπροπυλένιο (PP) και το

πολυαιθυλένιο (PE) είναι μικρότερο από 1,0, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα κατά την εργασία με γεωσυνθετικά σε υποβρύχιες εφαρμογές, καθώς ορισμένα από αυτά μπορεί να επιπλέουν (Shukla, 2016).

3.1.2 Μοναδιαία μάζα

Η μοναδιαία μάζα (ή βάρος) ενός γεωσυνθετικού μετριέται με βάση τη μάζα (ή το βάρος) ανά μονάδα επιφάνειας σε αντίθεση με τη μάζα (ή το βάρος) ανά μονάδα όγκου λόγω των μεταβολών του πάχους υπό τις εφαρμοζόμενες θλιπτικές τάσεις. Συνήθως δίνεται σε μονάδες γραμμαρίων ανά τετραγωνικό μέτρο (g/m^2). Προσδιορίζεται με τη ζύγιση τετραγωνικών ή κυκλικών δοκιμίων γνωστών διαστάσεων (γενικά εμβαδού όχι μικρότερου από 100 cm^2), που κόβονται από τις θέσεις που κατανέμονται σε όλο το πλάτος και το μήκος του εργαστηριακού δείγματος. Οι γραμμικές διαστάσεις πρέπει να μετρώνται χωρίς καμία τάση στο δοκίμιο. Οι υπολογισμένες τιμές υπολογίζονται στη συνέχεια κατά μέσο όρο για να ληφθεί η μέση μάζα ανά μονάδα επιφάνειας του εργαστηριακού δείγματος. Η μάζα (βάρος) ανά μονάδα επιφάνειας, με τη γνώση της δομής του γεωσυνθετικού, μπορεί να αποτελέσει έναν καλό δείκτη του κόστους και πολλών άλλων ιδιοτήτων, όπως η αντοχή σε εφελκυσμό, η αντοχή σε σχίσσιμο, η αντοχή σε διάτρηση κ.λπ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ποιοτικό έλεγχο των γεωσυνθετικών που παραδίδονται για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης των δοκιμίων. Για τα συνήθως χρησιμοποιούμενα γεωσυνθετικά, κυμαίνεται σε τάξη μεγέθους από 100 έως 1000 g/m^2 . Για τα πλέγματα «Tensar» SR2 και SS2, η μάζα ανά μονάδα επιφάνειας εκτιμάται σε 930 και 345 g/m^2 , αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τα γεωφάσματα, οι γεωμεμβράνες μπορεί να έχουν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές μάζας ανά μονάδα επιφάνειας, ακόμη και αρκετές χιλιάδες γραμμάρια ανά τετραγωνικό μέτρο (Shukla, 2016).

3.1.3 Πάχος

Το πάχος ενός γεωσυνθετικού υλικού είναι η απόσταση μεταξύ της άνω και της κάτω επιφάνειάς του, μετρούμενη κάθετα στις επιφάνειες σε μια καθορισμένη ορθή θλιπτική τάση (γενικά $2,0 \text{ kPa}$ για τα γεωφάσματα και 20 kPa για τα γεωπλέγματα και τις γεωμεμβράνες για 5s). Θα πρέπει να μετράται με τη χρήση οργάνου ελέγχου πάχους με ακρίβεια τουλάχιστον 1 mil ($0,001 \text{ in.} \approx 0,025 \text{ mm}$). Το όργανο ελέγχου πάχους είναι βασικά ένα παχύμετρο που αποτελείται από μια βάση (ή αμόνι) και μια ελεύθερα

κινούμενη πλάκα πίεσης με παράλληλες επίπεδες επιφάνειες με επιφάνεια μεγαλύτερη από 2000 mm^2 . Κανονικά το πάχος των γεωφασμάτων πρέπει να προσδιορίζεται με τη μέτρηση μιας μόνο στρώσης. Σε περιπτώσεις όπου δύο ή περισσότερες στρώσεις χρησιμοποιούνται σε επαφή μεταξύ τους σε μια εφαρμογή, μπορεί να γίνει δοκιμή με συγκεκριμένο αριθμό στρώσεων αντί για μία, λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία των ευρημάτων αυτών. Το πάχος δεν αναφέρεται συνήθως για τα γεωφάσματα, εκτός από τα παχύτερα μη υφασμένα υφάσματα, αλλά το πάχος αναφέρεται πάντοτε για τις γεωμεμβράνες. Το πάχος των συνήθως χρησιμοποιούμενων γεωσυνθετικών κυμαίνεται από 10 έως 300 mils. Οι περισσότερες γεωμεμβράνες που χρησιμοποιούνται σήμερα έχουν πάχος 20 mils ή μεγαλύτερο. Το πάχος είναι μία από τις βασικές φυσικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ποιότητας πολλών γεωσυνθετικών. Οι τιμές πάχους απαιτούνται για τον υπολογισμό ορισμένων γεωσυνθετικών παραμέτρων, όπως η διαπερατότητα. Δεδομένου ότι πολλά γεωσυνθετικά, ιδίως τα γεωφάσματα και ορισμένα γεωσύνθετα αποστράγγισης, είναι ιδιαίτερα συμπιεστά, το μέτρο του πάχους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμοζόμενη κανονική θλιπτική τάση. Για το λόγο αυτό, μπορεί να είναι επιθυμητό να μετρηθεί το πάχος σε διάφορες κανονικές θλιπτικές τάσεις και να μελετηθεί η γενική σχέση μεταξύ πάχους και τάσης. Το πάχος των γεωσυνθετικών υλικών μειώνεται όταν αυξάνεται η εφαρμοζόμενη κανονική θλιπτική τάση. Αυτή η μείωση του πάχους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το μερικό κλείσιμο ή το άνοιγμα των κενών του γεωφάσματος, ανάλογα με την αρχική δομή του και τις οριακές συνθήκες. Θα πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις της κοπής και του χειρισμού, κατά την προετοιμασία στην πρόκληση μεταβολής του πάχους των γεωσυνθετικών (Shukla, 2016).

3.1.4 Ακαμψία

Η δυσκαμψία ή η καμπτική ακαμψία ενός γεωσυνθετικού είναι η ικανότητά του να αντιστέκεται στην κάμψη υπό το ίδιο του το βάρος. Μπορεί να μετρηθεί με την ικανότητά του να σχηματίζει μια δοκό προβόλου χωρίς να υπερβαίνει ένα ορισμένο ποσό κάμψης προς τα κάτω υπό το ίδιο του το βάρος. Στη δοκιμή που χρησιμοποιείται συνήθως, γνωστή ως δοκιμή μονής δοκού, το γεωσυνθετικό δοκίμιο τοποθετείται σε οριζόντια πλατφόρμα με ένα βάρος πάνω του. Κρατώντας το βάρος, το δοκίμιο μαζί με το βάρος ολισθαίνει αργά και σταθερά προς μια κατεύθυνση παράλληλη προς τη μεγάλη διάστασή του, έως ότου το μπροστινό άκρο προεξέχει πέρα από την άκρη της

πλατφόρμας. Το μήκος της προεξοχής μετράται όταν το άκρο του δοκιμίου συμπίεζεται υπό το βάρος του μέχρι το σημείο όπου η γραμμή που ενώνει το άκρο με την άκρη της πλατφόρμας σχηματίζει γωνία $41,5^\circ$ με το οριζόντιο επίπεδο. Το μισό αυτού του μήκους είναι το μήκος κάμψης. Ο κύβος αυτής της ποσότητας πολλαπλασιασμένος με το βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του γεωσυνθετικού υλικού είναι η καμπτική ακαμψία (Shukla, 2016).

Η ακαμψία ενός γεωσυνθετικού υποδεικνύει τη δυνατότητα παροχής κατάλληλης επιφάνειας εργασίας για την εγκατάσταση. Η επιβιωσιμότητα (εργασιμότητα/κατασκευασιμότητα) ενός γεωσυνθετικού, η οποία ορίζεται ως η ικανότητά του να στηρίζει το εργατικό προσωπικό σε ακάλυπτη κατάσταση και τον κατασκευαστικό εξοπλισμό κατά τα αρχικά στάδια της τοποθέτησης της πλήρωσης κάλυψης, εξαρτάται από τη δυσκαμψία του γεωσυνθετικού καθώς και από ορισμένους άλλους παράγοντες, όπως η απορρόφηση νερού και η άνωση. Κατά την τοποθέτηση ενός γεωφάσματος ή γεωπλέγματος σε εξαιρετικά μαλακά εδάφη, είναι επιθυμητή η υψηλή ακαμψία. Η ακαμψία των γεωσυνθετικών μπορεί επίσης να έχει κάποιες επιπτώσεις στην απόδοσή τους όταν χρησιμοποιούνται για τον μετριασμό της διάβρωσης του εδάφους σε πρανή λόφων. Εάν το γεωσυνθετικό δεν έχει χαμηλή δυσκαμψία ώστε να προσαρμόζεται στο περίγραμμα του εδάφους, τότε μπορεί να παραμείνει ένα κενό μεταξύ του εδάφους και του γεωσυνθετικού, μέσω του οποίου μπορεί να ρέει το νερό και έτσι να διαβρώνεται το έδαφος. Ιδιότητες όπως το μέγεθος και το σχήμα του ανοίγματος, οι διαστάσεις των νευρώσεων κ.λπ. μπορούν να μετρηθούν άμεσα και προσδιορίζονται σχετικά εύκολα (Shukla, 2016).

3.2 Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες των γεωσυνθετικών σχετίζονται με εφαρμογές όπου το γεωσυνθετικό απαιτείται να φέρει φορτίο ή να υποστεί παραμόρφωση. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής εγκαταστάσεων που περιέχουν γεωσυνθετικά, μπορούν να εισαχθούν φορτία κάθετα στο επίπεδο του γεωσυνθετικού, καθώς το υλικό τοποθετείται σε ακανόνιστες επιφάνειες με το έδαφος να συμπίεζεται από πάνω. Τα φορτία αυτά μπορεί να είναι σημαντικά και συχνά υπαγορεύουν τις μηχανικές ιδιότητες που καθορίζονται για το γεωσυνθετικό. Η αποτυχία καθορισμού των κατάλληλων μηχανικών ιδιοτήτων για τις συνθήκες κατασκευής μπορεί να οδηγήσει σε φυσικές βλάβες (π.χ. τρυπήματα, σχισίματα) στο γεωσυνθετικό, οι οποίες στη συνέχεια μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τις

μηχανικές ιδιότητες που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία της εφαρμογής. Η φόρτιση μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στο επίπεδο του γεωσυνθετικού με αποτέλεσμα την ένταση του υλικού. Αυτός ο τύπος φόρτισης συνδέεται γενικά με τη λειτουργία της κατασκευασμένης εγκατάστασης και όπου οι μηχανικές ιδιότητες του γεωσυνθετικού χρησιμοποιούνται συνήθως στο σχεδιασμό της εγκατάστασης. Οι μηχανικές ιδιότητες που αφορούν την αντίσταση διάτμησης μεταξύ του γεωσυνθετικού και του περιβάλλοντος εδάφους είναι επίσης σημαντικές, καθώς η αντίσταση αυτή είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά του φορτίου από το έδαφος σε εφελκυσμό στο γεωσυνθετικό. Οι μηχανικές ιδιότητες των γεωσυνθετικών συχνά κατηγοριοποιούνται είτε ως ιδιότητες δείκτη είτε ως ιδιότητες απόδοσης. Οι ιδιότητες δείκτη αναφέρονται σε εκείνες που προσδιορίζονται στο ίδιο το γεωσυνθετικό ελλείψει περιβάλλοντος εδάφους. Αυτές οι ιδιότητες αναφέρονται μερικές φορές ως ιδιότητες εντός της απομόνωσης. Οι ιδιότητες απόδοσης αφορούν εκείνες που προσδιορίζονται παρουσία ενός πρότυπου εδάφους ή του συγκεκριμένου εδάφους της τοποθεσίας (Perkins, 2006).

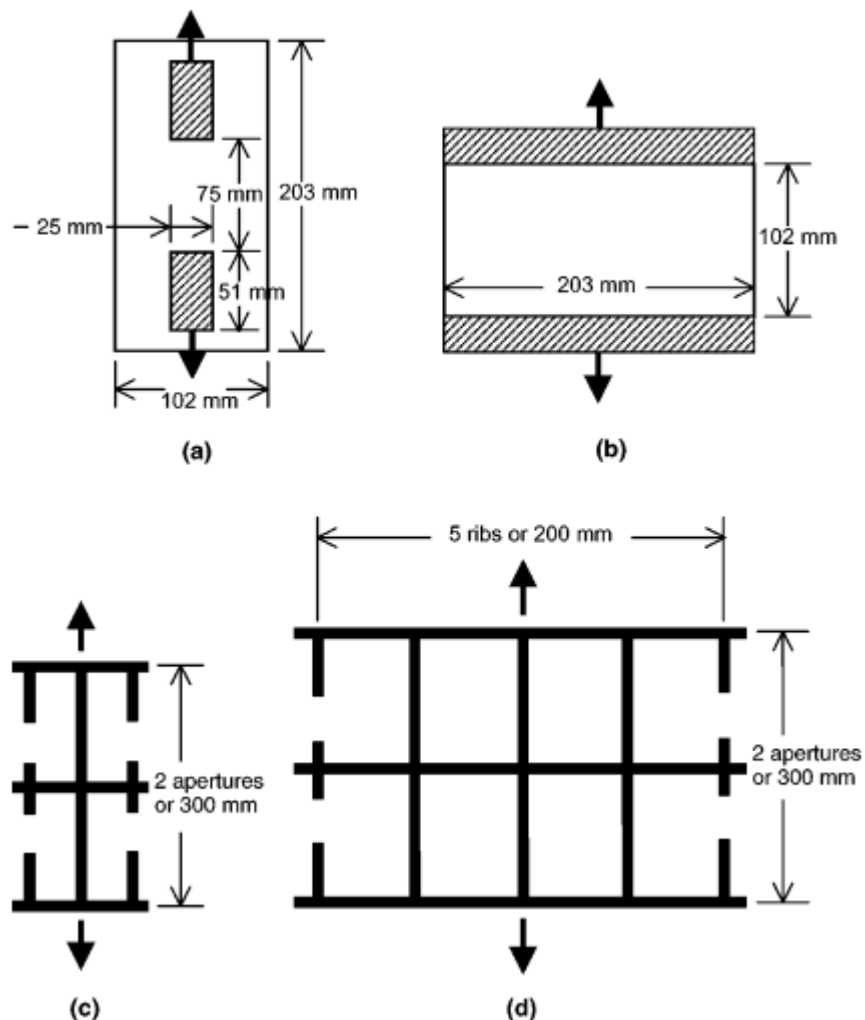
3.2.1 Ιδιότητες εφελκυσμού

Οι εφελκυστικές ιδιότητες των γεωσυνθετικών είναι γενικά το σημαντικότερο σύνολο ιδιοτήτων, ιδίως για εφαρμογές όπου η ενίσχυση είναι η κύρια λειτουργία του γεωσυνθετικού. Οι ιδιότητες εφελκυσμού χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ποιότητας (QA) και ως παράμετροι σχεδιασμού για διάφορες εφαρμογές. Οι δοκιμές που χρησιμοποιούνται για σκοπούς QC (Quality Control) και QA (Quality Assurance) τείνουν να είναι απλούστερες και λιγότερο χρονοβόρες στην εκτέλεση και ερμηνεία από εκείνες που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία παραμέτρων σχεδιασμού (Perkins, 2006).

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα των διαφόρων τύπων δοκιμών εφελκυσμού. Η Εικόνα 12(α) είναι γνωστή ως δοκιμή εφελκυσμού με αρπαγή. Η δοκιμή εφελκυσμού με αρπαγή εκτελείται σε γεωφάσματα και παρέχει πληροφορίες για την ποιότητα γεωφασμάτων με παρόμοια δομή, δεδομένου ότι κάθε δομή υλικού αποδίδει με μοναδικό τρόπο σε αυτή τη δοκιμή. Η δοκιμή εκτελείται με τη σύλληψη του δοκιμίου, και την εφαρμογή ενός συνεχώς αυξανόμενου φορτίου έως ότου επέλθει ρήξη. Το φορτίο κατά τη θραύση και η αντίστοιχη επιμήκυνση μετρώνται και αναφέρονται. Η δοκιμή εφελκυσμού λαβής αντιπροσωπεύει επίσης τη φόρτιση που μπορεί να συμβεί στο

πεδίο λόγω της δράσης εξάπλωσης δύο τεμαχίων χονδρόκοκκων αδρανών υλικών σε επαφή με το γεωσυνθετικό (Perkins, 2006).

Στην Εικόνα 12(b), (c) και (d) απεικονίζονται δοκιμές εφελκυσμού που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων σχεδιασμού εφελκυσμού των γεωφασμάτων και των γεωπλεγμάτων. Στην Εικόνα 12 (b) παρουσιάζεται το μέγεθος του δοκιμίου για δοκιμές εφελκυσμού μεγάλου πλάτους σε γεωφάσματα. Για τα γεωπλέγματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε δοκίμια πολλαπλών ράβδων (Εικόνα 12b) είτε δοκίμια μιας ράβδου (Εικόνα 12d). Για τις δοκιμές που παρουσιάζονται στην Εικόνα 12(a), (b) και (c), προσδιορίζονται συνήθως η τελική αντοχή, η παραμόρφωση σε αστοχία και το μέτρο ελαστικότητας (Perkins, 2006).



Εικόνα 12. Μεγέθη δοκιμίων για διάφορες δοκιμές εφελκυσμού: α) αρπάγη, β) γεωφάσμα μεγάλου πλάτους, γ) γεωπλέγμα μεγάλου πλάτους, μέθοδος Α, δ) γεωπλέγμα μεγάλου πλάτους, μέθοδοι Β και C (Perkins, 2006).

Η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας εκφράζονται συνήθως ως φορτίο ανά μονάδα πλάτους υλικού και όχι ως τάση, δεδομένου ότι η τάση απαιτεί τον ορισμό του πάχους του υλικού, το οποίο είναι γενικά δύσκολο να περιγραφεί για τα περισσότερα γεωσυνθετικά και δεν παραμένει σταθερό κατά την εφελκυστική φόρτιση. Το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να οριστεί ως αρχικό μέτρο ελαστικότητας, δευτερεύον μέτρο ελαστικότητας ή μετατοπισμένο εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας (Perkins, 2006).

Δεδομένου ότι τα γεωσυνθετικά εξαρτώνται από το ρυθμό και τη θερμοκρασία, θα πρέπει επίσης να ακολουθούνται πρότυπα όσον αφορά αυτές τις μεταβλητές δοκιμής. Τα γεωσυνθετικά υλικά εξαρτώνται συνήθως από την κατεύθυνση, πράγμα που σημαίνει ότι οι δοκιμές εφελκυσμού πρέπει να εκτελούνται και στις δύο κύριες κατευθύνσεις του υλικού. Για δοκιμές όπου μετράται η επιμήκυνση ή η παραμόρφωση, οι τεχνικές μέτρησης της μετατόπισης καθίστανται σημαντικές. Εάν η μετατόπιση μετράται ως μετακίνηση μεταξύ των λαβών, τότε δεν πρέπει να παρατηρείται ολίσθηση εντός των λαβών. Για γεωφάσματα με αντοχές μικρότερες από 90 kN/m, οι συμβατικές λαβές σύσφιξης είναι συνήθως επαρκείς. Οι σφηνοειδείς λαβές μπορεί να είναι καλές για υλικά με αντοχές μεταξύ 90 και 180 kN/m. Για υλικά με αντοχές που υπερβαίνουν τα 180 kN/m, χρησιμοποιούνται συνήθως κυλινδρικές λαβές (Perkins, 2006).

Οι δοκιμές εφελκυσμού που περιγράφονται ανωτέρω εκτελούνται χωρίς να καλύπτεται το γεωσυνθετικό από έδαφος και είναι επομένως γνωστές ως δοκιμές εντός απομόνωσης ή δοκιμές στον αέρα. Το έδαφος που καλύπτει το γεωσυνθετικό παρέχει περιορισμό στο υλικό, το οποίο γενικά έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής του υλικού. Οι αυξήσεις του μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής είναι πιο σημαντικές για τα μη υφαντά γεωφάσματα, αλλά είναι επίσης αξιοσημείωτες για τα υφαντά γεωφάσματα και τα γεωπλέγματα (Elias et al., 1998). Αυτό προκύπτει από την εσωτερική τριβή μεταξύ ινών ή νημάτων, την ευθυγράμμιση των καμπύλων ινών ή νημάτων και την εμπλοκή του εδάφους εντός των ανοιγμάτων ή των οπών των γεωσυνθετικών (Elias et al., 1998). Οι δύο πρώτοι παράγοντες συνεπάγονται επίδραση στις εγγενείς ιδιότητες φορτίου-παραμόρφωσης του γεωσυνθετικού, ενώ ο τρίτος παράγοντας αντανακλά την αλληλεπίδραση μεταξύ του γεωσυνθετικού και του εδάφους με τις μετρούμενες ιδιότητες φορτίου-παραμόρφωσης να αντανακλούν έτσι τις συζευγμένες αποκρίσεις του ίδιου του υλικού και της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον έδαφος.

Για αναλύσεις όπου το γεωσυνθετικό και το περιβάλλον έδαφος αντιμετωπίζονται ως συζευγμένο σύστημα, είναι κατάλληλη η χρήση ιδιοτήτων φορτίου-παραμόρφωσης από δοκιμές εφελκυσμού. Για αναλύσεις όπου οι εγγενείς ιδιότητες του γεωσυνθετικού είναι αποσυνδεδεμένες από την αλληλεπίδραση μεταξύ του γεωσυνθετικού και του εδάφους, τότε η χρήση ιδιοτήτων φορτίου-παραμόρφωσης από δοκιμές σε αέρα είναι καταλληλότερη. Παράδειγμα ασύζευκτης ανάλυσης είναι η ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, όπου οι ιδιότητες φορτίου-παραμόρφωσης του γεωσυνθετικού καθορίζονται μαζί με τις ιδιότητες διάτμησης της διεπιφάνειας (εξαρτώμενη από τον περιορισμό διατμητική δυσκαμψία και γωνία τριβής) που περιγράφουν την αλληλεπίδραση μεταξύ του γεωσυνθετικού και του περιβάλλοντος εδάφους. Για την αξιολόγηση της απόκρισης φορτίου-παραμόρφωσης του υλικού έχουν διεξαχθεί δοκιμές διαξονικού εφελκυσμού για εφαρμογές όπου το φορτίο εφαρμόζεται ταυτόχρονα σε δύο κατευθύνσεις του υλικού (McGown and Kupec, 2004). Οι διαξονικές δοκιμές εκτελούνται με τη διαμόρφωση δοκιμίων σε σχήμα σταυρού και την ταυτόχρονη εφαρμογή φορτίου στις διευθύνσεις μηχανής και σταυρού-μηχανής. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας υπό συνθήκες διαξονικής φόρτισης (Perkins et al., 2004).

3.2.2 Συμπιεστότητα

Η συμπιεστότητα των γεωσυνθετικών ορίζεται ως η σχέση μεταξύ του πάχους του υλικού ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης κανονικής τάσης και είναι μια δοκιμή που είναι καταλληλότερη για τα γεωφάσματα και τα γεωνήματα που πρέπει να διατηρούν ένα συγκεκριμένο πάχος για να εξασφαλίζουν τη διαπερατότητα του νερού. Για τα γεωφάσματα, τα μη υφασμένα υλικά με βελόνα τείνουν να είναι τα πιο συμπιεστά, ενώ τα υφασμένα και μη υφασμένα υλικά με θερμοκόλληση παρουσιάζουν μικρά επίπεδα συμπιεστότητας. Ορισμένα υλικά, ιδίως τα γεωφάσματα, τείνουν να παρουσιάζουν μικρά επίπεδα συμπίεσης πριν από την κατάρρευση. Για τα υλικά αυτά, η αντοχή σε συμπίεση έχει μεγαλύτερη σημασία (Perkins, 2006).

3.2.3 Αντοχή της ραφής

Τα γεωσυνθετικά υλικά κατασκευάζονται γενικά σε ρολά συγκεκριμένου πλάτους και μήκους. Συγκεκριμένες εργασίες μπορεί να απαιτούν μια περιοχή κάλυψης που υπερβαίνει το μέγεθος του κατασκευασμένου ρολού και όπου τα γειτονικά ρολά

μπορεί να ενώνονται μηχανικά ή χημικά είτε στο πεδίο είτε στο εργοστάσιο κατασκευής. Τα γεωσυνθετικά μπορούν να ενωθούν με ράψιμο, συρραφή, κόλληση ή τήξη ή με τη χρήση ράβδων bodkin που εκτείνονται μέσα από τα ανοίγματα των γεωπλεγμάτων. Οι δοκιμές εφελκυσμού εκτελούνται συνήθως σε δοκίμια μεγάλου πλάτους για την αξιολόγηση της εφελκυστικής αντοχής των ραφών. Η αντοχή της ραφής συγκρίνεται με την εφελκυστική αντοχή του ίδιου του γεωσυνθετικού για να προκύψει η απόδοση της αντοχής της ραφής. Αποδόσεις 100% είναι δυνατές για γεωφάσματα με αντοχή σε εφελκυσμό μικρότερη από 44 kN/m και πέφτουν στο 50% για υλικά με αντοχή μεγαλύτερη από 440 kN/m (Koerner, 2006).

3.2.4 Αντοχή σε διάρρηξη

Οι δοκιμές αντοχής σε διάρρηξη εκτελούνται σε γεωφάσματα και γεωμεμβράνες προκαλώντας την έκταση ενός κυκλικού κομματιού υλικού που είναι στερεωμένο περιμετρικά σε σχήμα ημισφαιρίου με την εφαρμογή πίεσης στη μία πλευρά του υλικού. Το υλικό τεντώνεται σε εφελκυσμό έως ότου επέλθει ρήξη. Στο πεδίο, τα γεωφάσματα μπορεί να υποστούν αυτό το είδος φόρτισης όταν χρησιμοποιούνται ως διαχωριστικό μεταξύ μαλακού υπεδάφους και χονδροειδών αδρανών. Καθώς το υπόστρωμα συμπιέζεται προς τα πάνω μεταξύ των κενών των χονδρόκοκκων αδρανών, το γεωφάσμα παίρνει ημισφαιρικό σχήμα παρόμοιο με αυτό που παρατηρείται στη δοκιμή αντοχής σε διάρρηξη. Οι γεωμεμβράνες μπορεί να υποστούν αυτού του είδους τη φόρτιση σε εφαρμογές υγειονομικής ταφής όπου μπορεί να ανοίξει ένα κενό κάτω από τη στρώση γεωμεμβράνης (Perkins, 2006).

3.2.5 Αντοχή σε σχίσμο

Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης των γεωφασμάτων, μπορεί να επιβληθούν τάσεις που προκαλούν την έναρξη και τη διάδοση σχισμών. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι δοκιμών για την περιγραφή της αντοχής των γεωφασμάτων σε σχίσμο. Η πιο συνηθισμένη δοκιμή είναι η δοκιμή τραπεζοειδούς τομής. Σε αυτή τη δοκιμή, το δοκίμιο διαμορφώνεται σε σχήμα τραπεζοειδούς και γίνεται μια τομή 15 mm κατά μήκος του ενός άκρου του δοκιμίου. Οι δύο μη παράλληλες πλευρές του δοκιμίου συγκρατούνται σε παράλληλες λαβές ενός πλαισίου φορτίου εφελκυσμού με τις δύο λαβές να ευθυγραμμίζονται παράλληλα με την τομή που έχει γίνει στο υλικό και να απέχουν μεταξύ τους απόσταση 25 mm. Αυτό επιτυγχάνεται επιτρέποντας την εμφάνιση πτυχών

στο υλικό με πλάτος μεγαλύτερο από 25 mm. Στη συνέχεια εφαρμόζεται τάση και η τομή στο υλικό διαδίδεται σε όλο το δοκίμιο καθώς σχίζονται μεμονωμένες κλωστές του γεωφάσματος. Οι ελάχιστες τιμές της αντοχής σε σχίσμο καθορίζονται γενικά για τον έλεγχο των ζημιών εγκατάστασης των γεωφασμάτων (Perkins, 2006).

3.2.6 Αντοχή σε διάτρηση

Εκτός από την πιθανότητα σχισίματος κατά την εγκατάσταση, τα γεωφάσματα και οι γεωμεμβράνες μπορεί να υποστούν διατρήσεις από πέτρες, ρίζες, ξύλα ή άλλα συντρίμια. Έχει αναπτυχθεί μια δοκιμή για τη μέτρηση της αντοχής σε διάτρηση αυτών των υλικών, όπου μια χαλύβδινη ράβδος διαμέτρου 8 mm χρησιμοποιείται για να τρυπήσει ένα γεωσυνθετικό τεντωμένο και στερεωμένο σταθερά πάνω σε έναν κύλινδρο εσωτερικής διαμέτρου 45 mm. Η δύναμη που απαιτείται για να τρυπήσει η ράβδος το υλικό είναι γνωστή ως αντίσταση διάτρησης (Perkins, 2006).

3.2.7 Τριβή

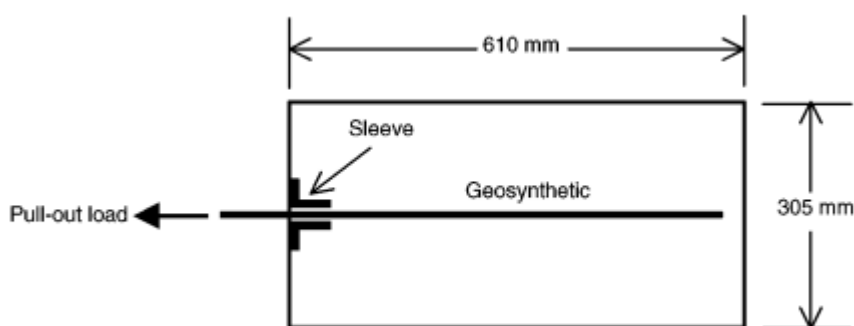
Μια προσαρμογή της δοκιμής άμεσης διάτμησης για εδάφη χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντίστασης διάτμησης ή τριβής μεταξύ γεωσυνθετικών και εδαφών και μεταξύ δύο στρώσεων γεωσυνθετικών. Αυτή η μέθοδος δοκιμής απαιτεί ένα κουτί διάτμησης διαστάσεων 300 mm επί 300 mm. Το κουτί διάτμησης διαμορφώνεται έτσι ώστε να περιέχει χώμα στο κάτω μισό και το γεωσυνθετικό στερεωμένο στο πάνω μισό του κουτιού. Εντός των ορίων του άνω μισού του κιβωτίου και πάνω από το στερεωμένο γεωσυνθετικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χώμα ή ένα τεμάχιο με υφή για την ομοιόμορφη μεταφορά του διατμητικού φορτίου στην επιφάνεια του γεωσυνθετικού. Η δοκιμή εκτελείται παρόμοια με τη δοκιμή άμεσης διάτμησης στο έδαφος, με κανονικό περιορισμό του κιβωτίου πριν από την εφαρμογή οριζόντιας διατμητικής μετατόπισης που προκαλεί μετατόπιση και διάτμηση των δύο μισών του κιβωτίου μεταξύ τους. Το διατμητικό φορτίο μετράται και διαιρείται με την επιφάνεια της διάτμησης και απεικονίζεται ως προς την οριζόντια διατμητική μετατόπιση. Η τελική διατμητική αντίσταση απεικονίζεται συναρτήσει της κανονικής τάσης περιορισμού για διάφορες δοκιμές σε διαφορετικά επίπεδα περιορισμού. Οι τιμές της συνοχής και της γωνίας τριβής συγκρίνονται με εκείνες που λαμβάνονται για το ίδιο το έδαφος για να προκύψουν οι αποδοτικότητες των παραμέτρων διατμητικής αντοχής. Παρόμοιες διαδικασίες ακολουθούνται για δοκιμές που πραγματοποιούνται μεταξύ δύο στρώσεων

γεωσυνθετικών. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών έχουν εφαρμογές σε χώρους υγειονομικής ταφής όπου τα γεωσυνθετικά φύλλα έρχονται σε επαφή με εδαφικά υλικά ή άλλα γεωσυνθετικά φύλλα σε πρανή όπου μπορεί να συμβεί ολίσθηση (Perkins, 2006).

3.2.8. Αντοχή σε εξόλκευση

Οι δοκιμές εξόλκευσης εκτελούνται συνήθως για την αξιολόγηση της ικανότητας αγκύρωσης ή εξόλκευσης των γεωσυνθετικών. Η ικανότητα αυτή είναι σημαντική σε περιπτώσεις όπως τοίχοι αντιστήριξης, πρανή και γεφύρωση πάνω από κενά, όπου το γεωσυνθετικό αγκυρώνεται σε σταθερό έδαφος που βρίσκεται εκτός της ζώνης αστοχίας. Η δοκιμή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της αντίστασης σε διάτμηση και των ιδιοτήτων δυσκαμψίας της διεπιφάνειας για εφαρμογές όπου το έδαφος κινείται σε σχέση με το γεωσυνθετικό, όπως σε ενισχυμένους δρόμους (Perkins, 2006).

Η δοκιμή εκτελείται σε μια συσκευή που περιγράφεται στην Εικόνα 13, όπου οι διαστάσεις που παρουσιάζονται είναι ελάχιστες που μπορεί να χρειαστεί να αυξηθούν ανάλογα με τη δομή του γεωσυνθετικού, το μέγεθος των σωματιδίων του εδάφους και τις διατάξεις για τη μείωση της τριβής των πλευρικών τοιχωμάτων. Ο περιορισμός των κανονικών τάσεων παρέχεται από έναν αερόσακο που τοποθετείται μεταξύ της κορυφής του εδάφους και ενός πλαισίου αντίδρασης. Ένα χιτώνιο τοποθετείται στο μπροστινό μέρος του πλαισίου όπου εισέρχεται το γεωσυνθετικό και εκτείνεται τουλάχιστον 150 mm μέσα στο πλαίσιο. Ο σκοπός του χιτωνίου είναι να μειώσει το ποσό της κανονικής τάσης που δημιουργείται κατά μήκος του εμπρόσθιου τοιχώματος του κιβωτίου καθώς το γεωσυνθετικό τραβιέται προς τα έξω (Perkins, 2006).



Εικόνα 13. Συσκευή για δοκιμή εξόλκευσης (Perkins, 2006)

Οι μετρήσεις κατά τη διάρκεια των δοκιμών αποτελούνται συνήθως από το εφαρμοζόμενο φορτίο εξόλκευσης, την οριζόντια μετατόπιση του μετώπου του

γεωσυνθετικού και την οριζόντια μετατόπιση του γεωσυνθετικού σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του υλικού. Η αντίσταση εξόλκευσης ή η ικανότητα αγκύρωσης υπολογίζεται ως φορτίο γραμμής που λαμβάνεται ως η δύναμη που είναι απαραίτητη για την πρόκληση εξόλκευσης διαιρούμενη με το πλάτος του δοκιμίου. Αυτή η δύναμη χρησιμοποιείται συνήθως για τον υπολογισμό ενός συντελεστή αλληλεπίδρασης, ο οποίος είναι ουσιαστικά ο λόγος της γωνίας τριβής της διεπιφάνειας γεωσυνθετικού-εδάφους προς εκείνη του ίδιου του εδάφους. Για να γίνουν οι υπολογισμοί που περιγράφονται παραπάνω, είναι σημαντικό να συμβεί αρκετά μεγάλη μετατόπιση κατά μήκος όλου του μήκους ενσωμάτωσης του γεωσυνθετικού, έτσι ώστε να κινητοποιηθεί πλήρως η τελική αντίσταση σε διάτμηση. Για μεγάλα μήκη ενσωμάτωσης και μεγάλο περιορισμό της ορθής τάσης, αυτό μπορεί να μην ισχύει και η δοκιμή πρέπει τότε να ερμηνευθεί ως πρόβλημα οριακών τιμών, όπου έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι (Perkins, 2006).

3.3 Υδραυλικές ιδιότητες

Οι υδραυλικές ιδιότητες των γεωσυνθετικών υλικών είναι σημαντικές σε εφαρμογές όπου το υλικό χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ή την παρεμπόδιση της ροής υγρών και αερίων. Τα γεωφάσματα, οι γεωμεμβράνες, οι γεωσυνθετικές αργιλικές επενδύσεις και τα σύνθετα υλικά αποστράγγισης είναι όλα υλικά που καλούνται να επιτελέσουν αυτές τις λειτουργίες. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν υλικά αποστράγγισης πίσω από τοίχους και μέσα σε πρανή, δρόμους και χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, υλικά φιλτραρίσματος μέσα σε δρόμους και γύρω από τάφρους αποστράγγισης, και συγκράτηση υγρών και αερίων για λίμνες, για κανάλια και μέσα σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Perkins, 2006).

3.3.1 Πορώδες

Το πορώδες έχει τον ίδιο ορισμό (ο λόγος του κενού όγκου προς τον συνολικό όγκο) με αυτόν που χρησιμοποιείται για τα εδάφη. Ο κενός όγκος, ωστόσο, είναι δύσκολο να μετρηθεί, οπότε το πορώδες πρέπει να υπολογίζεται από άλλες φυσικές ιδιότητες (μάζα ανά μονάδα επιφάνειας, πυκνότητα και πάχος). Ως αποτέλεσμα, έχουν αναπτυχθεί άλλα μέτρα, όπως το ποσοστό ανοικτής επιφάνειας και το φαινόμενο μέγεθος ανοίγματος (δοκιμή AOS), που σχετίζονται με το πορώδες αλλά μετριοούνται ευκολότερα και σχετίζονται πιο άμεσα με συγκεκριμένες εφαρμογές (Perkins, 2006).

3.3.2 Ποσοστό ανοικτής επιφάνειας

Το ποσοστό ανοικτής επιφάνειας είναι μια ιδιότητα που προσδιορίζεται και μετράται για τα υφαντά γεωυφάσματα και περιγράφει τον λόγο της ανοικτής επιφάνειας προς τη συνολική επιφάνεια. Η ανοιχτή επιφάνεια μετράται συνήθως με τη διέλευση φωτός μέσα από το υλικό και την προβολή του φωτός αυτού σε μια οθόνη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση και το άθροισμα των ανοιχτών επιφανειών. Η δοκιμή αυτή δεν είναι κατάλληλη για μη υφαντά γεωυφάσματα, δεδομένου ότι η επικάλυψη των υφασμάτων εμποδίζει το μεγαλύτερο μέρος του φωτός να διαπεράσει, παρόλο που η μετάδοση υγρών είναι ακόμη πολύ πιθανή (Perkins, 2006).

3.3.3 Φαινόμενο μέγεθος ανοίγματος

Η δοκιμή AOS αναπτύχθηκε αρχικά για υφαντά γεωυφάσματα, αλλά πλέον χρησιμοποιείται και για μη υφαντά υλικά. Η δοκιμή αυτή συνίσταται στη διέλευση γυάλινων σφαιριδίων διαδοχικά μεγαλύτερης διαμέτρου μέσα από το υλικό έως ότου περάσει μόνο το 5% των σφαιριδίων. Το μέγεθος των σφαιριδίων σε χιλιοστά στο οποίο περνάει το 5% είναι γνωστό ως O95. Το αντίστοιχο μέγεθος στο μέγεθος κόσκινου των ΗΠΑ είναι το AOS. Το AOS ή το O95 αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο σωματίδιο που θα μπορούσε να περάσει αποτελεσματικά μέσα από το γεωύφασμα. Το ισοδύναμο μέγεθος ανοίγματος (EOS) έχει την ίδια σημασία με το AOS, αλλά μπορεί να καθοριστεί για άλλες τιμές ποσοστού διέλευσης, όπως O50 ή O90. Το AOS καθορίζεται συνήθως σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις για διήθηση, με τις κατάλληλες προδιαγραφές που προβλέπουν τη συγκράτηση του εδάφους χωρίς απόφραξη του χώρου των πόρων (Perkins, 2006).

3.3.4 Διαπερατότητα

Η διαπερατότητα περιγράφει την ικανότητα ροής ρευστού στο επίπεδο του γεωσυνθετικού. Επίσημα ορίζεται ως η διαπερατότητα του εγκάρσιου επιπέδου διαιρούμενη με το πάχος του γεωσυνθετικού. Οι τιμές της διαπερατότητας σε εγκάρσιο επίπεδο για τα γεωυφάσματα κυμαίνονται από 0,0008 έως 0,23 cm/s με αντίστοιχο εύρος διαπερατότητας που κυμαίνεται από 0,02 έως 2,1 s⁻¹. Τα μη υφαντά γεωυφάσματα με βελόνες παρουσιάζουν μικρή έως μέτρια μείωση της διαπερατότητας καθώς αυξάνεται ο περιορισμός της κανονικής τάσης στο υλικό. Τα γεωυφάσματα έχουν τιμές

διαπερατότητας της τάξης του 1-10 cm/s. Οι γεωμεμβράνες έχουν τιμή 10-11 cm/s, ενώ οι γεωσυνθετικές αργλικές επενδύσεις έχουν κορεσμένες τιμές που κυμαίνονται από $5,0 \times 10^{-9}$ έως $1,0 \times 10^{-10}$ cm/s (Perkins, 2006).

3.3.5 Μεταφορικότητα

Η μεταφορικότητα περιγράφει την ικανότητα ροής ρευστού εντός του επιπέδου του υλικού και ορίζεται ως η διαπερατότητα εντός του επιπέδου επί το πάχος του υλικού. Οι τιμές της μεταφορικότητας στο επίπεδο των γεωφασμάτων κυμαίνονται από 0,0006 έως 0,04 cm/s με αντίστοιχες τιμές διαπερατότητας που κυμαίνονται από $3,0 \times 10^{-9}$ έως $2,0 \times 10^{-6}$ m² /s (Perkins, 2006).

3.3.6 Συγκράτηση εδάφους

Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται συχνά ως φράκτες για τη συγκράτηση λεπτών υλικών καθώς το θολό νερό ρέει από τις διαταραγμένες περιοχές προς τα ρέματα ή τις λίμνες. Η ικανότητα του γεωφάσματος να επιτρέπει τη ροή του νερού ενώ συγκρατεί τα σωματίδια του εδάφους καθορίζεται από μια δοκιμή κατά την οποία το ειδικό για την περιοχή έδαφος αναμιγνύεται με νερό για να σχηματιστεί πολτός και χύνεται σε ένα κιβώτιο με αυλό που τοποθετείται σε κλίση 8% με το κατάντη άκρο να καλύπτεται από το υποψήφιο γεωφάσμα. Ο ρυθμός ροής του μείγματος εδάφους-νερού που διέρχεται από το γεωφάσμα μετράται μαζί με την ποσότητα των λεπτών υλών. Οι μετρήσεις αυτές επιτρέπουν τον προσδιορισμό του ρυθμού ροής του αιωρήματος και της απόδοσης κατακράτησης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τρεις φορές για να προσδιοριστεί ο βαθμός απόφραξης που εμφανίζεται (Perkins, 2006).

3.4 Ιδιότητες αντοχής

Οι ιδιότητες αντοχής των γεωσυνθετικών εστιάζουν στον τρόπο με τον οποίο οι βραχυπρόθεσμες ιδιότητες επηρεάζονται από τον χρόνο της διάρκειας ζωής της εγκατάστασης. Ζητήματα αντοχής προκύπτουν καθώς το υλικό εγκαθίσταται, ενώ το φορτίο διατηρείται και ενώ παρατηρείται ροή ρευστού (Perkins, 2006).

3.4.1 Βλάβες κατά την εγκατάσταση

Οι παραμορφώσεις και οι τάσεις που υφίστανται τα γεωσυνθετικά κατά την εγκατάσταση μπορεί να είναι πιο σοβαρές από τις πραγματικές τάσεις σχεδιασμού για την προβλεπόμενη εφαρμογή και προκύπτουν από την τοποθέτηση και συμπύκνωση της

υπερκεείμενης πλήρωσης. Οι βλάβες μπορεί να εμφανιστούν με τη μορφή οπών, σχισμών και ρήξεων, γεγονός που επηρεάζει τις μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες του υλικού. Τα κριτήρια για την επιβιωσιμότητα των γεωσυνθετικών υλικών λαμβάνουν υπόψη τις συνθήκες κατασκευής του υπεδάφους, την πίεση επαφής που παρέχεται από τον εξοπλισμό κατασκευής και το πάχος της συμπτυκνωμένης στρώσης βάσης που θα χρησιμοποιηθεί. Με βάση το συνδυασμό αυτών των συνθηκών, εκτιμάται το επίπεδο επιβιωσιμότητας του γεωσυνθετικού. Το επίπεδο επιβιωσιμότητας εκφράζεται στη συνέχεια με βάση ορισμένες ιδιότητες του γεωσυνθετικού δείκτη. Οι δοκιμές πεδίου μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν με τη χρήση των ειδικών εδαφικών συνθηκών, του εξοπλισμού κατασκευής και των διαδικασιών του εργοταξίου, με εκταφή του τοποθετημένου υλικού αμέσως μετά την τοποθέτηση για την εκτίμηση των ζημιών (Perkins, 2006).

3.4.2 Ερπυσμός και χαλάρωση τάσεων

Ως ερπυσμός ορίζεται η επιμήκυνση ενός υλικού υπό σταθερό φορτίο. Χαλάρωση τάσης είναι η μείωση της τάσης, όταν ένα υλικό φορτίζεται και στη συνέχεια διατηρείται σε σταθερό επίπεδο τάσης. Ο ερπυσμός αποτελεί σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού, καθώς μεγάλα επίπεδα ερπυσμού μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολική παραμόρφωση των ενισχυμένων κατασκευών ή σε πιθανή ρήξη γεωσυνθετικών υλικών λόγω ερπυσμού. Η χαλάρωση της τάσης μπορεί να οδηγήσει στην ανάληψη μεγαλύτερου φορτίου από το έδαφος, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει επικίνδυνες συνθήκες για καταστάσεις όπου το έδαφος βρίσκεται κοντά στην αστοχία. Ο ερπυσμός και η χαλάρωση τάσεων είναι πιο σημαντικές για τα γεωσυνθετικά που αποτελούνται από πολυπροπυλένιο και πολυαιθυλένιο και λιγότερο σημαντικές για τα γεωσυνθετικά από πολυεστέρα και πολυαμίδιο. Το μέγεθος του ερπυσμού και της χαλάρωσης τάσεων αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, το μέγεθος του φορτίου και ο χρόνος (Greenwood and Myles, 1986).

3.4.3 Τριβή

Η τριβή των γεωσυνθετικών ορίζεται ως η φθορά οποιουδήποτε τμήματος ενός υλικού από την τριβή σε μια άλλη επιφάνεια. Η υπερβολική τριβή μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ιδιοτήτων, π.χ. αντοχής, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία. Στην πιο σχετική προδιαγραφή για τη δοκιμή τριβής το δείγμα τοποθετείται σε μια

σταθερή οριζόντια πλατφόρμα και τρίβεται από ένα λειαντικό (συνήθως γυαλόχαρτο) τοποθετημένο σε ένα επίπεδο μπλοκ. Η κατακόρυφη πίεση ελέγχεται ενώ το μπλοκ που περιέχει το λειαντικό κινείται μπρος-πίσω κατά μήκος μιας μονοαξονικής διαδρομής. Η αντίσταση στην τριβή εκφράζεται ως ποσοστό της αρχικής αντοχής του υλικού. Ενώ η δοκιμή αυτή είναι τεχνικά έγκυρη για γεωπλέγματα και γεωμεμβράνες, έχει αξιολογηθεί μόνο για γεωφάσματα και απαιτείται μεγαλύτερη βάση δεδομένων αποτελεσμάτων πριν χρησιμοποιηθεί για άλλα υλικά (Perkins, 2006).

3.4.4 Απόφραξη

Η απόφραξη είναι μια ιδιότητα αντοχής που αφορά περισσότερο τα γεωφάσματα. Η απόφραξη μπορεί να εμφανιστεί μακροπρόθεσμα, καθώς το ρευστό ρέει μέσα από το γεωφάσμα μεταφέροντας μαζί του αιωρούμενα σωματίδια που κατακάθονται μέσα στο υλικό. Εάν υπάρχουν κενά μεταξύ του γεωφάσματος και του εδάφους, τα εδαφικά λεπτόκοκκα τείνουν να συγκεντρώνονται μέσα σε αυτά τα κενά και να σχηματίζουν εδαφική μάζα. Αυτό οδηγεί σε απόφραξη της επιφάνειας του γεωφάσματος και αναφέρεται ως θάμπωμα. Τα υλικά με ελικοειδή επιφάνεια, όπως τα μη υφασμένα υλικά με βελόνα, τείνουν να προσαρμόζονται περισσότερο στην ακανόνιστη επιφάνεια ενός εδάφους, να σχηματίζουν λιγότερα κενά και να παρουσιάζουν λιγότερο θάμπωμα (Giroud, 1994).

3.5 Υποβάθμιση

Η υποβάθμιση ενός γεωσυνθετικού υλικού προκύπτει από θεμελιώδεις μεταβολές του πολυμερούς σε μοριακό επίπεδο από την κατάσταση όπως κατασκευάστηκε. Οι διεργασίες αποικοδόμησης που οδηγούν στη γήρανση του πολυμερούς περιλαμβάνουν τη διάσπαση της μοριακής αλυσίδας, το σπάσιμο των δεσμών, τη διασύνδεση και την εξαγωγή συστατικών. Υπάρχουν διαθέσιμες μέθοδοι χημικού αποτυπώματος που ανιχνεύουν τις μεταβολές του πολυμερούς. Ωστόσο, η εκτέλεση αυτών των μεθόδων είναι δαπανηρή. Για τον λόγο αυτό, διενεργούνται κοινές και λιγότερο δαπανηρές δοκιμές, όπως η αντοχή σε εφελκυσμό και η επιμήκυνση, για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος αυτών των αλλαγών (Perkins, 2006).

3.5.1 Θερμοκρασία

Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως κύριο αποτέλεσμα την επιτάχυνση άλλων μηχανισμών υποβάθμισης. Επομένως, όταν η θερμοκρασία θεωρείται ως μηχανισμός υποβάθμισης, συσχετίζεται γενικά με άλλους μηχανισμούς, όπως αυτοί που αφορούν διαδικασίες οξείδωσης, υδρόλυσης, χημικές, ραδιενεργές, βιολογικές και υπεριώδους (UV) φωτός. Οι υψηλές θερμοκρασίες που πλησιάζουν το σημείο τήξης του πολυμερούς (165 °C για το πολυπροπυλένιο και 125 °C για το πολυαιθυλένιο) αποτελούν προφανή παράγοντα και πρέπει να αποφεύγονται. Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν την ευθραυστότητα και την αντοχή σε κρούση των γεωσυνθετικών, γεγονός που επηρεάζει την εργασιμότητα και την πιθανότητα ζημιών κατά την εγκατάσταση (Perkins, 2006).

3.5.2 Οξείδωση

Η οξείδωση είναι μια αντιδραστική διαδικασία κατά την οποία τα στοιχεία ενός υλικού χάνουν ηλεκτρόνια όταν εκτίθενται σε οξυγόνο και το σθένος τους αυξάνεται αντίστοιχα. Στα γεωσυνθετικά, η αντίδραση αυτή οδηγεί σε μια θεμελιώδη αλλαγή του πολυμερούς και σε υποβάθμιση των ιδιοτήτων του υλικού. Το πολυπροπυλένιο και το πολυαιθυλένιο είναι γενικά τα πιο ευαίσθητα πολυμερή στη διαδικασία οξείδωσης (Perkins, 2006).

3.5.3 Υδρόλυση

Η υδρόλυση είναι μια διαδικασία κατά την οποία μια χημική ένωση αποσυντίθεται με την αντίδρασή της με το νερό. Τα γεωυφάσματα μπορούν να υποστούν υποβάθμιση λόγω υδρόλυσης από εσωτερική ή εξωτερική αποικοδόμηση του νήματος η οποία γίνεται πιο σημαντική για πολυεστερικά υλικά και για υγρά με υψηλή αλκαλικότητα. Τα πολυαμίδια μπορούν να επηρεαστούν από υγρά με πολύ χαμηλές τιμές pH. Για να αξιολογηθεί η επίδραση της υδρόλυσης, διεξάγονται απλές δοκιμές όπου ένα υλικό βυθίζεται σε υγρό με το επίπεδο pH που ενδιαφέρει και σε θερμοκρασίες 20 °C και 50 °C. Η αντοχή του υλικού προσδιορίζεται μετά από ορισμένο χρόνο εμβάπτισης και συγκρίνεται με τις αρχικές τιμές για την ανίχνευση των επιπέδων υποβάθμισης (Perkins, 2006).

3.5.4 Χημική υποβάθμιση

Η χημική υποβάθμιση αφορά τη μεταβολή των ιδιοτήτων του υλικού όταν το γεωσυνθετικό βυθίζεται σε διάφορες χημικές ουσίες. Δοκιμές για την εμφάνιση γεωσυνθετικών σε χημικά υγρά χρησιμοποιούνται συχνότερα σε σχέση με γεωσυνθετικά που χρησιμοποιούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής και ως επενδύσεις σε δεξαμενές, λίμνες και φράγματα (Perkins, 2006).

3.5.5 Υπεριώδες φως

Το υπεριώδες φως είναι η συνιστώσα του φωτός από τον ήλιο με μήκη κύματος μικρότερα από 400 nm. Τα φωτόνια του υπεριώδους φωτός μπορούν να διασπάσουν τους χημικούς δεσμούς (διάσπαση δεσμών) του πολυμερούς και να οδηγήσουν σε υποβάθμιση των ιδιοτήτων. Το πολυαιθυλένιο είναι το πιο ευαίσθητο στην υποβάθμιση από την υπεριώδη ακτινοβολία και μπορεί να παρουσιάσει απώλεια αντοχής 50% μέσα σε 4-24 εβδομάδες έκθεσης. Η αιθάλη και άλλοι σταθεροποιητές χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στο πολυμερές προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία, πράγμα που γενικά σημαίνει ότι τα γεωσυνθετικά που έχουν ανοιχτό χρώμα είναι πιο ευαίσθητα. Δεδομένου ότι τα περισσότερα γεωσυνθετικά θάβονται στο έδαφος, το ζήτημα της υποβάθμισης από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι σημαντικό μόνο κατά τη μεταφορά, την αποθήκευση και την κατασκευή. Κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση, λαμβάνονται προφυλάξεις για την περιτύλιξη των ρολών γεωσυνθετικού με προστατευτικό κάλυμμα για την αποφυγή ζημιών από την υπεριώδη ακτινοβολία. Για περιπτώσεις όπου είναι σημαντικό να αξιολογηθεί η υποβάθμιση των γεωσυνθετικών σε μακροχρόνια έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, μπορούν να διεξαχθούν δοκιμές με έκθεση των γεωσυνθετικών σε φυσική ή τεχνητή ακτινοβολία. Στις πηγές τεχνητής ακτινοβολίας περιλαμβάνονται ο φωτισμός τόξου ξένου και ο φωτισμός φθορισμού (Perkins, 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Λειτουργίες των γεωσυνθετικών

Τα γεωσυνθετικά εξυπηρετούν μια ποικιλία βασικών λειτουργιών στην πολιτική μηχανική, τις κατασκευές και τις περιβαλλοντικές εφαρμογές. Η ευελιξία τους τα καθιστά πολύτιμα στοιχεία για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων. Το πρότυπο ISO 10318-1:2015 παρέχει τυποποιημένους ορισμούς των λειτουργιών των γεωσυνθετικών υλικών, οι οποίοι περιλαμβάνουν όρους που σχετίζονται με ορισμούς, λειτουργίες και προϊόντα. Ακολουθούν οι βασικές λειτουργίες των γεωσυνθετικών υλικών (Chatrabhuj, 2024):

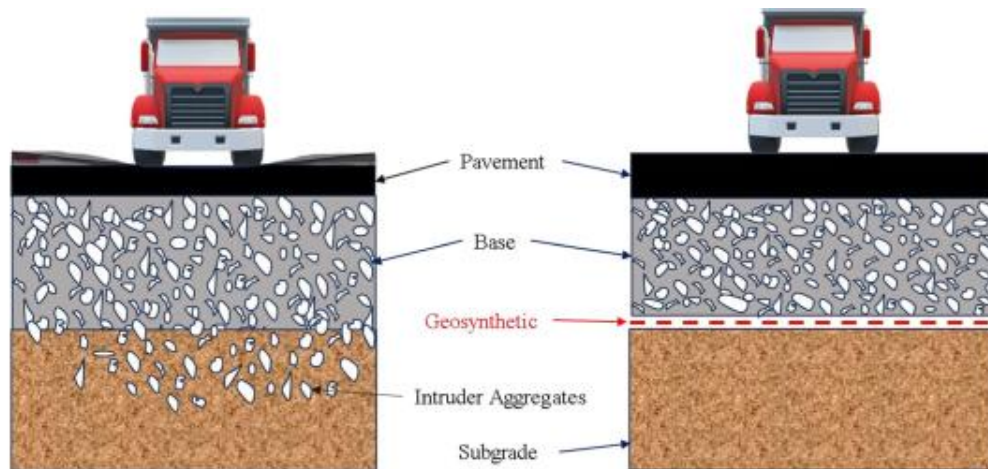
4.1 Διήθηση

Τα γεωσυνθετικά λειτουργούν ως υλικό φίλτρου, επιτρέπουν τη ροή του υγρού και συγκρατούν τα σωματίδια του εδάφους σε αυτά. Το γεωσυνθετικό λειτουργεί ως φίλτρο για να εμποδίζει τη μετακίνηση των σωματιδίων του εδάφους στα συστήματα αποστράγγισης, ενώ επιτρέπει τη διέλευση του νερού. Όταν το γεωσυνθετικό υλικό χρησιμοποιείται στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργείται ασυνέχεια μεταξύ του εδάφους και του γεωσυνθετικού στρώματος στην οποία κάποια σωματίδια εδάφους που έχουν μικρότερη διάμετρο από το γεωσυνθετικό ρέουν στη διαρροή. Το γεωσυνθετικό για να λειτουργήσει ως φίλτρο πρέπει να διατηρηθεί η κατάσταση ισορροπίας. Στην ισορροπία, δημιουργούνται τρεις ζώνες: πρώτα το αδιατάρακτο έδαφος, μετά το εδαφικό στρώμα φίλτρου και τέλος το στρώμα γεφύρωσης. Επιτυγχάνεται έτσι ένας μεγάλος αριθμός εφαρμογών, όπως η αποστράγγιση αυτοκινητοδρόμων, τα τοιχεία κατακράτησης χωματερών και τα συστήματα συλλογής στραγγισμάτων. Η λειτουργία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ακεραιότητας των δομών και την αποφυγή της απόφραξης (Chatrabhuj, 2024).

4.2 Διαχωρισμός

Τα γεωσυνθετικά δημιουργούν ένα φράγμα μεταξύ διαφορετικών εδαφικών στρωμάτων με διαφορετικές ιδιότητες, εμποδίζοντας την ανάμιξη και διατηρώντας τα επιθυμητά χαρακτηριστικά κάθε στρώματος. Αυτός ο διαχωρισμός ενισχύει τη σταθερότητα των δομικών στοιχείων. Ορίζεται ως η τοποθέτηση εύκαμπτου γεωσυνθετικού υλικού μεταξύ δύο παρόμοιων υλικών έτσι ώστε να βελτιώνεται η ακεραιότητα και η ικανότητα λειτουργίας (Εικόνα 14). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε

ασφαλτοστρωμένους ή μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους, σιδηροδρόμους κ.λπ. Συνήθως χρησιμοποιούνται γεωφάσμα, γεωμεμβράνη και γεωπλέγμα (Chatrabhuij, 2024).



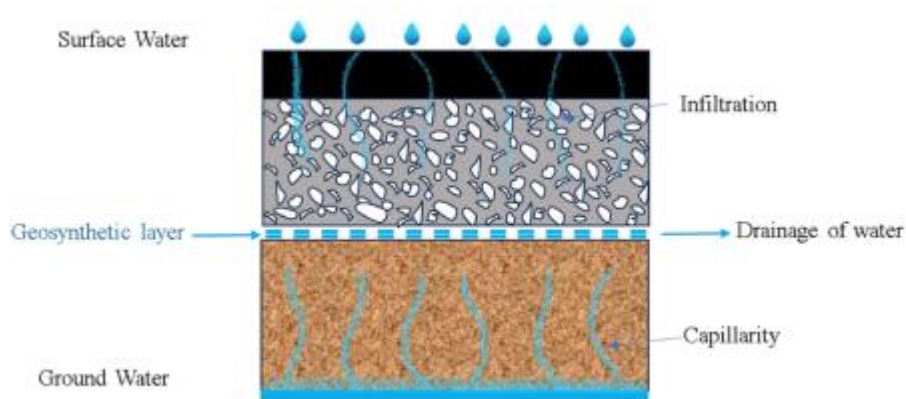
Εικόνα 14. Γεωσυνθετικά υλικά ως διαχωριστές (Chatrabhuij, 2024).

4.3 Ενίσχυση

Η ενίσχυση του εδάφους είναι ένας από τους κύριους σκοπούς των γεωσυνθετικών. Ενισχύουν την αντοχή του εδάφους σε εφελκυσμό και τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους ενισχύοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά του. Είναι η βελτίωση της συνολικής αντοχής του εδάφους με την προσθήκη γεωφάσματος, γεωπλέγματος και γεωκυψελών. Η ενίσχυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μηχανικός σταθεροποιητής για τοίχους αντιστήριξης και σταθεροποίηση απότομων πρανών. Το γεωσυνθετικό υλικό στο έδαφος ενισχύει ή προσθέτει αντοχή όταν χρησιμοποιείται σε στρώσεις. Όταν το έδαφος έχει χαμηλή γωνιακή πρόσφυση και διατμητική αντοχή σε αυτά τα χαλαρά εδάφη η αντοχή πρέπει να βελτιωθεί (Chen et al., 2019).

4.4 Αποστράγγιση

Τα γεωσυνθετικά διευκολύνουν την αποτελεσματική αποστράγγιση (Εικόνα 15) παρέχοντας διόδους για τη ροή του νερού εντός της δομής του εδάφους. Βοηθούν στον έλεγχο της πίεσης του νερού των πόρων, μειώνουν τον κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους και συμβάλλουν στη σταθερότητα των κατασκευών (Chatrabhuij, 2024). Η αποστράγγιση επιτρέπει τη ροή του υγρού από τα σωματίδια του εδάφους. Σχεδιάζεται γενικά κοντά σε μεγάλα υδάτινα σώματα, όπως λίμνες και λεκάνες ποταμών. Οι τύποι των γεωσυνθετικών που χρησιμοποιούνται έχουν πολλές εφαρμογές όπως σε τοίχους αντιστήριξης, σε γήπεδα, σε φράγματα και δεξαμενές καναλιών (Chatrabhuij, 2024).



Εικόνα 15. Εφαρμογή γεωσυνθετικών στην αποστράγγιση (Chatrabhuji, 2024)

4.5 Έλεγχος της επιφανειακής διάβρωσης

Ο έλεγχος της επιφανειακής διάβρωσης παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές εφαρμογές μηχανικής επειδή εμποδίζει τη διάβρωση του εδάφους και διατηρεί σταθερά τα πρανή, τα αναχώματα και άλλες χωμάτινες κατασκευές. Τα γεωσυνθετικά υλικά συμβάλλουν σημαντικά στη διαχείριση της επιφανειακής διάβρωσης παρέχοντας ενίσχυση, διήθηση και προστασία από υδραυλικές καταπονήσεις. Τα γεωσυνθετικά υλικά όπως τα γεωπλέγματα ενισχύουν το έδαφος και βελτιώνουν την αντίσταση στη διάβρωση, τα γεωφάσματα λειτουργούν ως φίλτρα που εμποδίζουν το έδαφος να παρασυρθεί μαζί με τη ροή του νερού, παγιδεύουν το έδαφος και διατηρούν την ακεραιότητά του. Το γεωκύτταρο, μια τρισδιάστατη δομή με κηρήθρες, σταθεροποιεί την επιφάνεια του εδάφους συγκρατώντας το έδαφος στους θύλακές του. Το γεωφάσμα μαζί με τη φυτοκάλυψη χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση των σπόρων, της υγρασίας και βοηθά στη μείωση της διάβρωσης. Αυτές οι μέθοδοι συμβάλλουν στον μακροπρόθεσμο έλεγχο της διάβρωσης, στους φράχτες λάσπης, στον έλεγχο των ιζημάτων, στην προστασία των πρανών και των καναλιών. Η προσαρμοστικότητά τους, η ανθεκτικότητα και η αποτελεσματικότητά τους τα καθιστούν απαραίτητα συστατικά των μεθόδων ελέγχου της διάβρωσης σε πολλά έργα υποδομής (Chatrabhuji, 2024).

4.6 Προστασία

Τα γεωσυνθετικά παρέχουν προστατευτικά στρώματα για τη θωράκιση ευάλωτων επιφανειών από μηχανικές βλάβες ή περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για την προστασία γεωμεμβρανών, επενδύσεων και άλλων ευαίσθητων στοιχείων (Chatrabhuj, 2024).

Το γεωσυνθετικό υλικό όταν τοποθετείται μεταξύ διαφορετικών υλικών, λειτουργεί ως στρώμα προστασίας επιτρέποντας την ομοιόμορφη κατανομή της τάσης στην επιφάνεια του εδάφους. Χρησιμοποιώντας ως ασπίδες, φράγματα ή ενισχύσεις, τα γεωσυνθετικά βελτιώνουν τη σταθερότητα, τη διάρκεια ζωής και τη λειτουργικότητα των τεχνικών έργων. Προσφέροντας ένα μακράς διάρκειας ρυθμιστικό στρώμα, τα γεωσυνθετικά υλικά, όπως τα γεωφάσματα, χρησιμοποιούνται συχνά για να θωρακίζουν τις γεωμεμβράνες από τριβές ή διατρήσεις. Επιπλέον, τα πρανή, οι ακτογραμμές και τα αναχώματα σταθεροποιούνται με τη χρήση γεωσυνθετικών προϊόντων, όπως τα γεωπλέγματα και τα γεωκύτταρα, τα οποία μειώνουν τον κίνδυνο διάβρωσης και δομικής αστοχίας που προκαλείται από την κίνηση του εδάφους. Εκτός από την προστασία των αποθεμάτων υπόγειων υδάτων και τον διαχωρισμό των επικίνδυνων χημικών ουσιών από το περιβάλλον, τα γεωσυνθετικά χρησιμοποιούνται επίσης ως προστατευτικά καλύμματα ή επενδύσεις σε δεξαμενές, σε λίμνες περιορισμού και χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Επιπλέον, τα γεωσυνθετικά παρέχουν προστασία από τη βιολογική φθορά, τις ακτίνες UV και τη χημική φθορά (Chatrabhuj, 2024).

4.7 Φράγμα

Τα γεωσυνθετικά δημιουργούν αδιαπέραστα φράγματα, εμποδίζοντας την κίνηση υγρών ή αερίων. Αυτή η λειτουργία είναι ζωτικής σημασίας σε εφαρμογές όπου ο περιορισμός και η προστασία του περιβάλλοντος είναι υψίστης σημασίας, όπως σε επενδύσεις λιμνών και χώρους διάθεσης αποβλήτων. Η κατανόηση αυτών των λειτουργιών επιτρέπει στους μηχανικούς και τους ερευνητές να ενσωματώνουν στρατηγικά τα γεωσυνθετικά στα κατασκευαστικά έργα για να βελτιώσουν την απόδοση, την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα. Τα χαρακτηριστικά διόγκωσης του πηλού μπεντονίτη αξιοποιούνται από τις γεωσυνθετικές αργλικές επενδύσεις (GCL) για να σχηματίσουν ένα αδιαπέραστο φράγμα έναντι του νερού και των ρύπων. Παρόμοια με αυτό, τα σύνθετα υλικά γεωφάσματος-γεωμεμβράνης προσφέρουν αποτελεσματικές λύσεις περιορισμού και φραγμού για μια σειρά τεχνικών εργασιών, συνδυάζοντας τις διηθητικές δυνάμεις των γεωφασμάτων με την αδιαπερατότητα των γεωμεμβρανών. Για τον έλεγχο της κίνησης και της εξάπλωσης των ρευστών και των ρύπων στο έδαφος, τα γεωσυνθετικά με λειτουργίες φραγμού είναι ζωτικής σημασίας για την περιβαλλοντική

προστασία, τον περιορισμό αποβλήτων, τη διαχείριση των υπόγειων υδάτων και την ανάπτυξη υποδομών, παρέχοντας μακροχρόνιες, οικονομικές και βιώσιμες λύσεις (Chatrabhuji, 2024).

4.8 Ανακούφιση από τις καταπονήσεις

Τα γεωσυνθετικά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανακούφιση από τις τάσεις για τις ασφαλικές επικαλύψεις, απορροφώντας και διαχέοντας τις τάσεις και βελτιώνοντας τη δομική ακεραιότητα και την απόδοση του οδοστρώματος. Η έξυπνη ενσωμάτωσή τους μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της διάρκειας ζωής των υφιστάμενων οδοστρωμάτων και στη βελτίωση της συνολικής βιωσιμότητας των υποδομών μεταφορών. Τα γεωφύσματα και τα γεωπλέγματα εξυπηρετούν μια πολυδιάστατη λειτουργία στην ανακούφιση από τις τάσεις για τις ασφαλικές επικαλύψεις, συμπεριλαμβανομένων πλεονεκτημάτων όπως η αποφυγή ρωγμών, η μείωση των αυλακώσεων, η διαχείριση των θερμοκρασιακών τάσεων, η αυξημένη αποτελεσματικότητα της μεταφοράς φορτίου, η περιβαλλοντική βιωσιμότητα, η αποδοτικότητα και η συμβατότητα με διάφορους τύπους οδοστρωμάτων. Η στρατηγική ενσωμάτωσή τους βελτιώνει τη δομική ακεραιότητα και τις επιδόσεις των συστημάτων οδοστρωμάτων, συμβάλλοντας τελικά στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και αειφορία των υποδομών μεταφορών (Chatrabhuji, 2024).

4.9 Άλλες λειτουργίες

Οι βασικές λειτουργίες των γεωσυνθετικών μπορούν να περιγραφούν ποσοτικά με τυποποιημένες δοκιμές ή τεχνικές σχεδιασμού ή και τα δύο. Τα γεωσυνθετικά μπορούν επίσης να επιτελέσουν και ορισμένες άλλες λειτουργίες, οι οποίες είναι στην πραγματικότητα ποιοτικές περιγραφές, εξαρτώμενες κυρίως από τις βασικές λειτουργίες, και δεν υποστηρίζονται ακόμη από τυποποιημένες δοκιμές ή γενικά αποδεκτές τεχνικές σχεδιασμού. Τέτοιες λειτουργίες των γεωσυνθετικών, που περιγράφουν βασικά χαρακτηριστικά απόδοσής τους, είναι οι ακόλουθες:

- Απορρόφηση: Ένα γεωσυνθετικό παρέχει απορρόφηση εάν χρησιμοποιείται για την αφομοίωση ή την ενσωμάτωση ενός ρευστού, όπως για παράδειγμα η απορρόφηση νερού σε εφαρμογές ελέγχου της διάβρωσης και η ανάκτηση επιπλεόντων πετρελαίων από επιφανειακά ύδατα μετά από οικολογικές καταστροφές.

- Συγκράτηση: Ένα γεωσυνθετικό παρέχει συγκράτηση όταν χρησιμοποιείται για τον εγκιβωτισμό/συγκράτηση ενός υλικού, όπως χώμα, βράχος ή νωπό σκυρόδεμα, σε μια συγκεκριμένη γεωμετρία και αποτρέπει την απώλειά του.
- Προστασία: Ένα γεωσυνθετικό παρέχει προστασία όταν χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και τελικά για την απόσβεση των δυναμικών μηχανικών δράσεων. Αυτή η λειτουργία πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα για τις εφαρμογές γεωσυνθετικών σε αναβαθμούς καναλιών, σε προστασία ακτών, σε προστασία των επικαλύψεων οδοστρωμάτων από ανακλαστικές ρωγμές και σε σεισμική απομόνωση της βάσης των χωμάτων κατασκευών.
- Μόνωση: Ένα γεωσυνθετικό παρέχει μόνωση όταν χρησιμοποιείται για τη μείωση της διέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας ή ήχου.
- Προβολή: Ένα γεωσυνθετικό παρέχει προστασία όταν τοποθετείται κατά μήκος της διαδρομής ενός ρέοντος ρευστού που μεταφέρει λεπτά σωματίδια σε αιώρηση για να συγκρατήσει μερικά ή όλα τα σωματίδια ενώ επιτρέπει τη διέλευση του ρευστού. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, τα σωματίδια συσσωρεύονται στο γεωσυνθετικό και, ως εκ τούτου, απαιτείται το γεωσυνθετικό να είναι σε θέση να αντέχει τις πιέσεις που δημιουργούνται από τα συσσωρευμένα σωματίδια και την αυξανόμενη πίεση του ρευστού (Chatrabhuj, 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εφαρμογές των γεωσυνθετικών

Τα γεωσυνθετικά βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές σε διάφορες κατασκευές και περιβαλλοντικά έργα. Η ευελιξία τους και οι ευεργετικές τους ιδιότητες συμβάλλουν στην επίλυση μιας σειράς τεχνικών προκλήσεων. Τα γεωσυνθετικά είναι μία από τις πιο οικονομικές μεθόδους που είναι διαθέσιμες σε σύγκριση με άλλα υλικά. Σήμερα χρησιμοποιούνται σε γεωτεχνικά, περιβαλλοντικά, υδραυλικά και αντιδιαβρωτικά πεδία.

5.1 Συστήματα αποστράγγισης

Τα γεωσυνθετικά παίζουν ζωτικό ρόλο στα συστήματα αποστράγγισης διευκολύνοντας την αποτελεσματική ροή του νερού, αποτρέποντας τη διάβρωση του εδάφους και ελέγχοντας την πίεση του νερού των πόρων. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε διάφορες εφαρμογές αποστράγγισης για την ενίσχυση της απόδοσης και της μακροζωίας των έργων υποδομής. Τα γεωσύνθετα είναι αποτελεσματικά στα συστήματα αποστράγγισης λόγω της ικανότητάς τους να παρέχουν τόσο λειτουργίες στράγγισης όσο και αποστράγγισης. Τα γεωυφάσματα λειτουργούν ως φλυσίδες, επιτρέποντας τη διέλευση του νερού, ενώ εμποδίζουν τα σωματίδια του εδάφους να φράξουν τα κανάλια αποστράγγισης. Τα γεωυφάσματα παρέχουν δομική υποστήριξη και προωθούν την ταχεία ροή του νερού στα συστήματα αποστράγγισης (Chatrabhuij, 2024).

5.2 Επενδύσεις και καλύμματα Χ.Υ.Τ.Α.

Ο χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι μια εγκατάσταση που περιέχει στερεά απόβλητα. Τα απόβλητα είναι συνήθως δημοτικά παραγόμενα και πρέπει να απορρίπτονται. Στη βάση, την κλίση και την κορυφή του χώρου υγειονομικής ταφής τοποθετείται ένα σύστημα επένδυσης που αποτελείται από πολλαπλά στρώματα φραγμού και αποστράγγισης. Το σύστημα επένδυσης είναι υπεύθυνο για τον περιορισμό των στραγγισμάτων. Τα στραγγίσματα είναι το νερό που σχηματίζεται από την αποσύνθεση των εδαφικών αποβλήτων γνωστό ως πρωτογενές στράγγισμα και το νερό που διεισδύει στον χώρο υγειονομικής ταφής και διαρρέει μέσα στα απόβλητα που ονομάζεται δευτερογενές στράγγισμα. Το σύστημα συλλογής στραγγισμάτων συλλέγει τα στραγγίσματα που παράγονται από τους χώρους υγειονομικής ταφής και τα στέλνει στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Το σύστημα αυτό πρέπει να είναι κατασκευασμένο από ιδιαίτερα αδιαπέραστο υλικό, όπως η γεωμεμβράνη. Κατά την αποσύνθεση, τα απόβλητα

απελευθερώνουν αέρια, όπως το μεθάνιο, το οποίο έχει άσχημη οσμή και είναι εξαιρετικά εύφλεκτο, οπότε για την αντιμετώπισή του σχεδιάζεται ένα σύστημα συλλογής και ελέγχου αυτού του αερίου, το οποίο χρησιμοποιεί το παραγόμενο μεθάνιο για την παραγωγή ενέργειας (Long et al., 2007).

Για να αποτραπεί η διαρροή και η διείσδυση νερού σε έναν χώρο υγειονομικής ταφής, σχεδιάζεται ένα ανώτερο κάλυμμα που μοιάζει με φράγμα. Τόσο το φράγμα για την επένδυση του ΧΥΤΑ όσο και το σύστημα κάλυψης μπορεί να κατασκευαστούν από συμπιεσμένη αργιλική επένδυση. Στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, τα γεωφάσματα αντικαθίστανται από παραδοσιακά κοκκώδη εδαφικά στρώματα, γεγονός που οδηγεί σε μείωση του βάρους και μείωση της καθίζησης του χώρου υγειονομικής ταφής. Είναι χρήσιμα για την αποφυγή ζημιών από διάτρηση της επένδυσης γεωμεμβράνης λειτουργώντας ως προστατευτική επένδυση (Oyegbile & Oyegbile, 2017).

Τα γεωσυνθετικά διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον περιορισμό και τη διαχείριση των αποβλήτων για την πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Οι γεωμεμβράνες και τα GCL (Geo- Clay- Liners= Γεωσυνθετικές Στρώσεις Αργίλου) είναι βασικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής για τη δημιουργία αδιαπέραστων φραγμών που εμποδίζουν την έκλυση των ρύπων στο περιβάλλον έδαφος και τα υπόγεια ύδατα. Οι γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται ως πρωτογενείς επενδύσεις στη βάση και στις πλευρές των χώρων υγειονομικής ταφής. Απομονώνουν αποτελεσματικά τα υλικά αποβλήτων από το περιβάλλον και παρέχουν μακροπρόθεσμη προστασία από τη ρύπανση. Το GCL αποτελείται από ένα στρώμα πηλού μπεντονίτη που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο γεωφασμάτων, προσφέροντας ένα πρόσθετο εμπόδιο στη μετακίνηση των ρευστών και ενισχύοντας τις δυνατότητες περιορισμού των επενδύσεων των χώρων υγειονομικής ταφής. Επιπλέον, τα γεωσυνθετικά χρησιμοποιούνται στα καλύμματα των χώρων υγειονομικής ταφής για τον έλεγχο των οσμών, τη διαχείριση των εκπομπών αερίων και την αποτροπή της διήθησης των κατακρημνισμάτων στον χώρο υγειονομικής ταφής. Τα γεωσυνθετικά συμβάλλουν στην ασφαλή και περιβαλλοντικά υπεύθυνη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις υγειονομικής ταφής, μειώνοντας τον κίνδυνο μόλυνσης και προστατεύοντας την ανθρώπινη υγεία και τους φυσικούς πόρους (Chatrabhuji, 2024).

5.3 Έλεγχος διάβρωσης

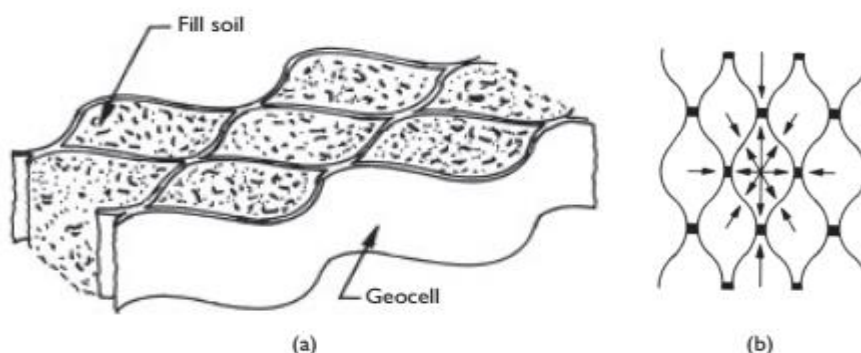
Τα γεωσυνθετικά είναι ζωτικής σημασίας συστατικά που σταθεροποιούν τις εδαφικές επιφάνειες, μειώνουν τη διάβρωση και παρέχουν προστασία από τον άνεμο και το νερό. Σε εφαρμογές ελέγχου της διάβρωσης χρησιμοποιούνται συχνά γεωυφάσματα, κουβέρτες και στρώματα. Ενθαρρύνουν τη διήθηση, η οποία σταματά τη διάβρωση αφήνοντας το νερό να περάσει, ενώ συγκρατούν τα σωματίδια του εδάφους. Οι φυσικές ή συνθετικές ίνες στις κουβέρτες και τα χαλιά ελέγχου της διάβρωσης στερεώνονται μεταξύ τους με συνθετικό ή βιοδιασπώμενο δίχτυ. Τα υλικά αυτά απλώνονται σε επικλινείς περιοχές για να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη της χλωρίδας και να προσφέρουν άμεση πρόληψη της διάβρωσης. Τα γεωσυνθετικά βοηθούν στη μείωση των αρνητικών συνεπειών της διάβρωσης, όπως η απώλεια εδάφους, η καθίζηση σε υδάτινους αποδέκτες και οι ζημιές στις υποδομές, σταθεροποιώντας τις εδαφικές επιφάνειες και ενθαρρύνοντας την ανάπτυξη της βλάστησης. Χρησιμοποιούνται εκτενώς σε πολλές τοποθεσίες που είναι ευάλωτες στη διάβρωση, όπως εργοτάξια, όχθες ποταμών και αναχώματα αυτοκινητοδρόμων, για τη διατήρηση της σταθερότητας του εδάφους, τη διατήρηση των οικολογικών ενδιαιτημάτων και την προστασία από υλικές ζημιές (Chatrabhuji, 2024).

Τα γεωσυνθετικά έχουν ήδη κερδίσει μια αναγνωρισμένη θέση στον τομέα του ελέγχου της διάβρωσης. Τα γεωυφάσματα και τα γεωδίκτυα χρησιμοποιούνται σήμερα ως υποκατάστατο των διαβαθμισμένων κοκκωδών φίλτρων που χρησιμοποιούνται συνήθως κάτω από τη θωράκιση των αναβαθμών για να συγκρατούν το διαβρώσιμο έδαφος στη θέση του και έχουν κριθεί πολύ αποτελεσματικά στον έλεγχο της διάβρωσης. Ο βασικός στόχος κατά τη χρήση του γεωυφασμάτινου φίλτρου είναι η αποτελεσματική προστασία του υπεδάφους από την έκπλυση από τα υδραυλικά φορτία (Shukla, 2016).

Τα γεωσυνθετικά δίκτυα και πλέγματα που διατίθενται σε διάφορες μορφές έχουν αποδειχθεί επιτυχημένα τόσο σε προσωρινά όσο και σε μακροπρόθεσμα έργα ελέγχου της διάβρωσης. Τα προϊόντα αυτά προστατεύουν την επιφάνεια του εδάφους από τη διάβρωση, το νερό και τον άνεμο, ενώ παράλληλα επιταχύνουν τη φυτική ανάπτυξη. Τα δίκτυα ή τα πλέγματα μπορεί να περιέχουν σταθεροποιητές υπεριώδους ακτινοβολίας για ελεγχόμενη αποικοδόμηση. Αυτά τα πλέγματα και τα δίκτυα μπορούν τελικά να γίνουν βιοδιασπώμενα, επωφελώντας το περιβάλλον (Shukla, 2016).

Τα τρισδιάστατα γεωσυνθετικά στρώματα και τα γεωκύτταρα ελέγχου της διάβρωσης που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο με διάφορες διαστάσεις μπορούν να

χρησιμοποιηθούν σε μόνιμα συστήματα ελέγχου της διάβρωσης. Οι γεωκυψέλες είναι τρισδιάστατες κυψελοειδείς δομές που διαθέτουν ένα μοναδικό κυψελοειδές σύστημα περιορισμού που σχηματίζεται από μια σειρά αυτοτελών κυψελών βάθους έως και 20 cm. Έχουν την ικανότητα να περιορίζουν με φυσικό τρόπο το έδαφος που τοποθετείται στο εσωτερικό των κελιών (Εικ. 16). Συγκρατούν το έδαφος, την υγρασία και τον σπόρο και έτσι δημιουργούν καταστάσεις για την ανάπτυξη φυτικών στρωμάτων σε πλαγιές όπου η βλάστηση μπορεί να είναι δύσκολο να αναπτυχθεί. Ταυτόχρονα, το κυψελοειδές σύστημα περιορισμού διευκολύνει την αποστράγγιση του πρανούς (Shukla, 2016).



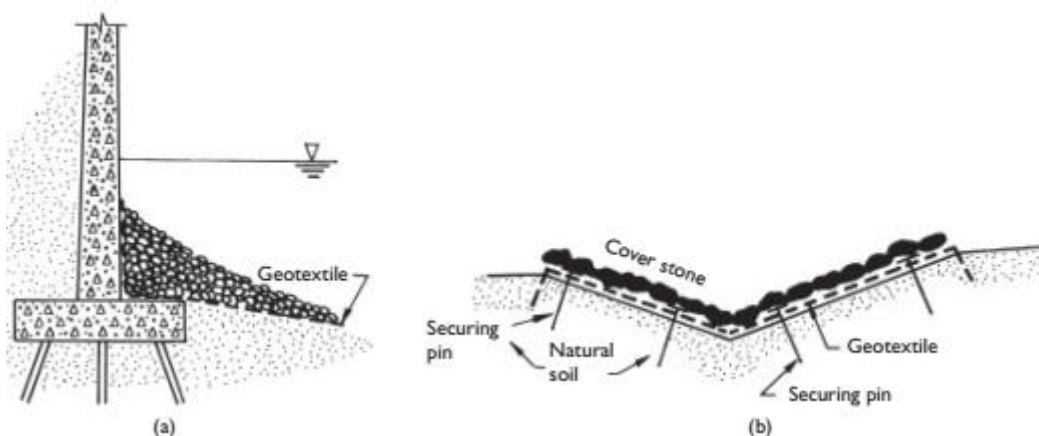
Εικόνα 16. Γεωκυψέλες (Shukla, 2016)

Τα μακροπρόθεσμα μη διασπώμενα (μόνιμα) τρισδιάστατα προϊόντα ελέγχου διάβρωσης σε κυλινδρικές κυψέλες κατασκευάζονται επίσης στο εμπόριο ως χαλί ενίσχυσης χλοοτάπητα (TRM). Η ενίσχυση χλοοτάπητα είναι στην πραγματικότητα μια μέθοδος ή ένα σύστημα με το οποίο η φυσική ικανότητα της βλάστησης να προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση ενισχύεται με τη χρήση γεωσυνθετικών υλικών. Ένα εύκαμπτο τρισδιάστατο πλέγμα συγκρατεί σπόρους και χώμα, διεγείρει τη βλάστηση των σπόρων, επιταχύνει την ανάπτυξη των σποροφύτων και, το σημαντικότερο, συμπλέκεται με τις αναπτυσσόμενες ρίζες και τους βλαστούς των φυτών για να σταθεροποιήσει μόνιμα το στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους. Τα TRM παρέχουν υπερδιπλάσια προστασία από τη διάβρωση σε σχέση με τη μη ενισχυμένη βλάστηση. Στην πραγματικότητα, τα συστήματα αυτά είναι ικανά να αντέχουν τις βραχυπρόθεσμες ροές υψηλής ταχύτητας χωρίς διάβρωση- επομένως είναι πιο κατάλληλα όταν αναμένεται έντονη απορροή ή έκπλυση του καναλιού. Η υψηλότερη αντίσταση στη ροή έχει ως αποτέλεσμα την ευρεία πρακτική της χρήσης της ενίσχυσης με χλοοτάπητα ως εναλλακτική λύση σε σχέση με τα ριπάκια, το σκυρόδεμα και άλλα συστήματα θωράκισης στην προστασία ανοικτών

καναλιών, αποστραγγιστικών τάφρων, λεκανών συγκράτησης και απότομων πρανών (Shukla, 2016).

Ο οπλισμός αναχώματος με χλοοτάπητα είναι επίσης ένας από τους τύπους οπλισμών που χρησιμοποιούνται κυρίως σε γεωργικές εφαρμογές με στόχο την αποτροπή της διάβρωσης των αναχωμάτων από υδραυλικές δυνάμεις. Η ανάπτυξη ενός ισχυρού χλοοτάπητα αναλημματικού αναχώματος είναι θέμα χρόνου. Επίσης, η επιτυχία του εξαρτάται από την καλή συντήρηση (Shukla, 2016).

Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται επίσης στην προστασία του πυθμένα, η οποία συνίσταται στη θωράκιση της επιφάνειας της παραλίας ή του πυθμένα μπροστά από μια κατασκευή για την αποτροπή της απόξεσης και της υποσκαφής από τα κύματα και τα ρεύματα του νερού (Εικόνα 17). Η σταθερότητα του πόδα είναι ουσιαστική, διότι η αστοχία του οδηγεί γενικά σε αστοχία ολόκληρης της κατασκευής.



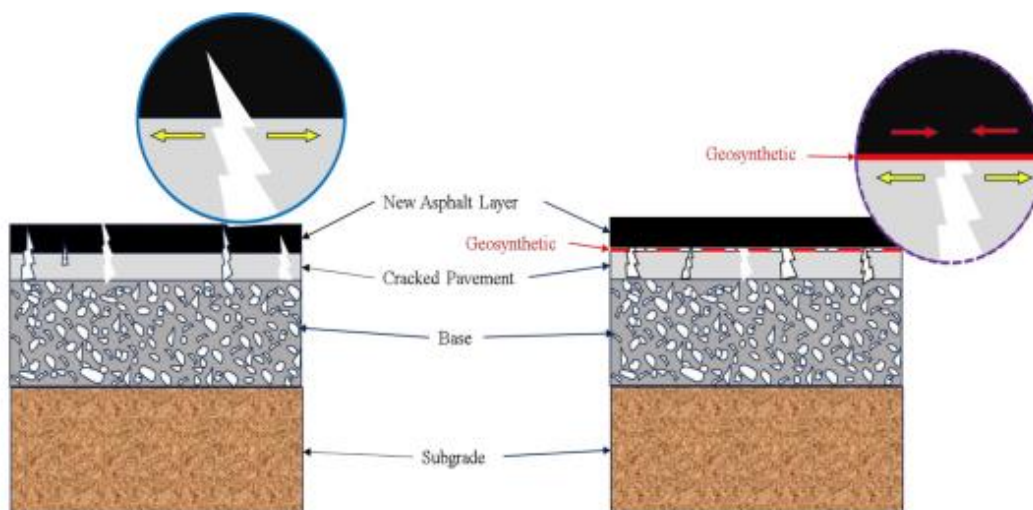
Εικόνα 17. (α) προστασία ενός ακροβάθρου- β) έλεγχος διάβρωσης μιας τάφρου

Σε πολλές περιπτώσεις, το γεωφάσμα χρησιμοποιείται για να τυλίξει ένα υλικό πλήρωσης (άμμο, χαλίκι, άσφαλτο ή κονίαμα), δημιουργώντας γεωσακούλες, γεωσωλήνες ή γεωματίνες, γνωστές συλλογικά ως γεωπεριέκτες, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην υδραυλική και παράκτια μηχανική. Το γεωφασματικό κάλυμμα πρέπει να λειτουργεί ως φίλτρο για την πλήρωση, η οποία είναι διαπερατή, όπως και ο περιέκτης. Μερικές φορές το δοχείο χρησιμοποιείται επίσης ως στοιχείο φίλτρου σε σχέση με το υπέδαφος, δηλαδή όταν χρησιμοποιείται ως πλήρωση απόπλυσης ή ως στρώμα πρόληψης απόπλυσης. Ο όγκος των γεωδοχείων που χρησιμοποιούνται στην πράξη κυμαίνεται από 100 έως 1000 m³. Οι γεωπεριέκτες είναι κατάλληλοι για την προστασία πρανών, ακροβάθρων και πυθμένα, αλλά η κύρια εφαρμογή τους έγκειται στην κατασκευή βαγονιών, πεσμένων παραλιών και υπεράκτιων κυματοθραυστών.

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση και απομόνωση μολυσμένων υλικών που προέρχονται από την εκβάθυνση λιμένων ή/και ως περιφράγματα για τα έργα ανάπλασης. Τα γεωπεριβλήματα προσφέρουν τα πλεονεκτήματα της απλότητας στην τοποθέτηση και την κατασκευασιμότητα, της οικονομικής αποδοτικότητας και της ελάχιστης επίπτωσης στο περιβάλλον. Έτσι, μπορούν να αποτελέσουν μια καλή εναλλακτική λύση για τα παραδοσιακά συστήματα ελέγχου των υλικών και της διάβρωσης και ως εκ τούτου αξίζει να εφαρμοστούν σε μεγάλη κλίμακα (Shukla, 2016).

5.4 Κατασκευή ανεπίστρωτων οδών

Για τη βελτίωση της λειτουργικότητας, της ανθεκτικότητας και της διάρκειας ζωής των δρόμων και άλλων πλακόστρωτων επιφανειών, τα γεωσυνθετικά έχουν διάφορες χρήσεις. Στην ενίσχυση, όπου υλικά όπως τα γεωπλέγματα και τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της δομικής ακεραιότητας των στρώσεων του οδοστρώματος, τα γεωσυνθετικά παίζουν καθοριστικό ρόλο (Neves et al., 2016). Για την αποτελεσματικότερη κατανομή των φορτίων, την ελαχιστοποίηση των αυλακώσεων και την αύξηση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος, τα γεωπλέγματα τοποθετούνται συνήθως μεταξύ των στρώσεων του οδοστρώματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 18.



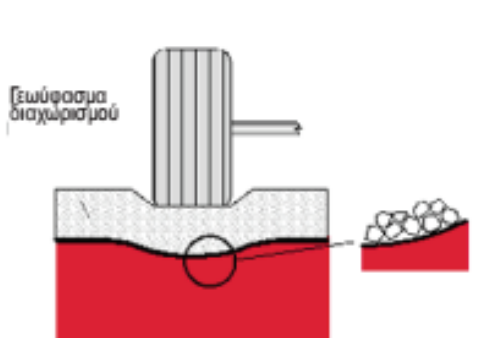
Εικόνα 18. Χρήση γεωσυνθετικών στην πρόληψη της ρηγμάτωσης (Chatrabhuj, 2024).

Αντίθετα, τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται συχνά ως στρώσεις διήθησης και διαχωρισμού μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του οδοστρώματος, αποφεύγοντας την

ανάμιξη των υλικών και διευκολύνοντας την κατάλληλη αποστράγγιση. Για να εμποδιστεί η διείσδυση του νερού στις στρώσεις του οδοστρώματος και η αποδυνάμωσή του, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία του οδοστρώματος, τα γεωφάσματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως φραγμός υγρασίας.

Η αποστράγγιση είναι ξεκάθαρα ένα βασικό συστατικό για την επιτυχημένη κατασκευή και λειτουργία οποιασδήποτε οδού. Η αποτελεσματική αποστράγγιση αποτρέπει τη δυνητικά επιζήμια τοπική αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων και την αποδυνάμωση της δομής του οδοστρώματος που προκαλείται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της κατασκευής κατακόρυφων στραγγιστηρίων πληρωμένων με αδρανή υλικά και την κατασκευή στραγγιστικών στρώσεων ή και στρώσεων βάσης ή τη χρήση γεωσύνθετων υλικών αποστράγγισης.

Τα αδρανή υλικά προστατεύονται από τη διείσδυση των λεπτόκοκκων συστατικών του υπεδάφους με γεωφάσματα διαχωρισμού / φίλτρου, διασφαλίζοντας τη διατήρηση της διαπερατότητας των αδρανών. Τα γεωσύνθετα αποστράγγισης μπορούν να προσφέρουν παρόμοια (και μερικές φορές μεγαλύτερη) ικανότητα αποστράγγισης, σε συνδυασμό με σημαντική εξοικονόμηση αδρανών υλικών, χρόνου εκσκαφής και κατασκευής (IGS, 2023a).

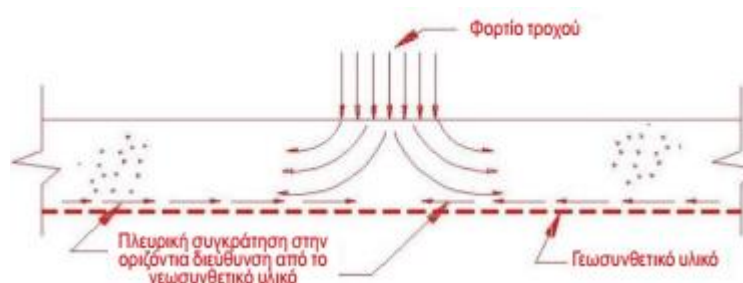


Εικόνα 19. Γεωφάσμα διαχωρισμού (IGS, 2023a)

Για ανεπίστρωτες οδούς σε σταθερό υπέδαφος, ο διαχωρισμός είναι πολύ αποτελεσματικός. Ωστόσο, σε πιο μαλακά εδάφη μπορεί να απαιτηθεί ενίσχυση της οδού και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση γεωσυνθετικών υλικών μέσω των λειτουργιών σταθεροποίησης ή ενίσχυσης (IGS, 2023a).

Με απλοϊκούς όρους, η σταθεροποίηση λειτουργεί σε χαμηλά επίπεδα παραμόρφωσης του συστήματος, ενώ η ενίσχυση είναι σημαντικότερη όταν η παραμόρφωση του συστήματος είναι υψηλότερη. Η σταθεροποίηση βασίζεται στην

ικανότητα του γεωσυνθετικού υλικού, συνήθως γεωπλέγματος ή γεωκυψελών, να έχει επαρκή αλληλεπίδραση με τα αδρανή οδοστρώσias, ώστε η κίνηση των αδρανών να περιορίζεται αποτελεσματικά. Αυτός ο μηχανισμός είναι γνωστός ως πλευρική συγκράτηση και δημιουργεί ένα φαινόμενο γνωστό ως περιορισμό, κατά τον οποίο τα αδρανή υλικά και το γεωσυνθετικό σχηματίζουν μία πιο άκαμπτη σύνθετη στρώση που έχει σημαντικά βελτιωμένες ιδιότητες αντοχής/μέτρου δυσκαμψίας και έχει ως αποτέλεσμα χαμηλά επίπεδα παραμόρφωσης και καταπόνησης υπό κυκλοφορία. Η επαρκής αλληλεπίδραση γεωσυνθετικών/αδρανών είναι σημαντική και πρέπει να αποδεικνύεται (IGS, 2023a).



Εικόνα 20. Πλευρική συγκράτηση με χρήση γεωσυνθετικού υλικού σε ανεπίστρωτες οδούς (IGS, 2023a)

Επιπλέον, τα γεωσύνθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση του οδοστρώματος και να μειώσουν τον κίνδυνο ζημιών που σχετίζονται με το νερό. Με τη χρήση αυτών των υλικών οι μηχανικοί μπορούν να μειώσουν το πάχος του οδοστρώματος, βελτιώνοντας τις συνθήκες κυκλοφορίας. Η χρήση τους λειτουργεί ως ζώνη προσκρούσεων που μειώνει την πίεση ή τις επιπτώσεις της ρηγμάτωσης. Τα γεωσυνθετικά βοηθούν στην αντίσταση σε ρωγμές όπως οι αντανάκλαστικές ρωγμές, στεγανοποιούν τις στρώσεις και αντιστέκονται στις ρωγμές κόπωσης. Λειτουργούν επίσης ως φραγμός ρευστότητας, ο οποίος προστατεύει τις κατώτερες στρώσεις του οδοστρώματος εμποδίζοντας την εισροή επιφανειακής υγρασίας από πάνω και από κάτω, ενώ παράλληλα παρέχει προστασία από τριχοειδή και υπόγεια ύδατα (Zornberg et al., 2017).

5.5 Προστασία των ακτών

Η προστασία των παράκτιων περιοχών από τη διάβρωση, τη δράση των κυμάτων και άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές είναι μια κρίσιμη λειτουργία των γεωσυνθετικών.

Στις κατασκευές παράκτιας προστασίας, τα γεωφάσματα και τα γεωκύτταρα χρησιμοποιούνται συχνά για τη σταθεροποίηση των αμμωδών εδαφών, τη διακοπή της διάβρωσης και τη μείωση των επιπτώσεων των κυμάτων και των ρευμάτων. Κατά μήκος των παραλιών, των αμμοθινών και των ακτογραμμών, τα γεωφάσματα τοποθετούνται συχνά ως μαλακή θωράκιση για τη μείωση της κυματικής ενέργειας και τη διασπορά των διαβρωτικών επιδράσεων. Ενθαρρύνουν την ανάπτυξη της βλάστησης, η οποία σταθεροποιεί την ακτογραμμή καθιστώντας σταθερό το έδαφος και μειώνοντας την επίδραση των κυμάτων (Li et al., 2023).

Οι γεωκυψέλες είναι τρισδιάστατες δομές που μοιάζουν με κηρήθρες και κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά όπως το HDPE. Χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση παράκτιων υποδομών και πρανών. Τα αναχώματα ή τα φράγματα ελέγχου της διάβρωσης μπορούν να δημιουργηθούν με την πλήρωσή τους με χώμα ή αδρανή υλικά και στη συνέχεια με τη φύτευση βλάστησης για να αποκτήσουν φυσική εμφάνιση. Για τη δημιουργία φραγμών ή την αποκατάσταση υποβαθμισμένων παραλιών, οι γεωσυνθετικοί σωλήνες και σάκοι χρησιμοποιούνται επίσης για έργα προστασίας της ακτογραμμής και τροφοδοσίας της παραλίας. Γεμίζονται με άμμο ή άλλα υλικά. Επιπλέον, για τη σταθεροποίηση των παράκτιων υποδομών και την παροχή προστασίας από τις παλιρροϊκές δυνάμεις και τα κύματα καταιγίδων, τα γεωσυνθετικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή θαλάσσιων τοίχων, κρηπιδωμάτων και κυματοθραυστών (Rasabian et al., 2012).

5.6 Τοίχοι αντιστήριξης

Τα γεωσυνθετικά διαδραματίζουν διάφορους σημαντικούς ρόλους στην κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, συμβάλλοντας στη βελτίωση της απόδοσης, της ανθεκτικότητας και της σταθερότητας. Για τη σταθεροποίηση του εδάφους και την ενίσχυση σε συστήματα τοίχων αντιστήριξης χρησιμοποιούνται συχνά γεωπλέγματα και γεωφάσματα. Τα γεωπλέγματα που εγκαθίστανται εντός της εδαφικής μάζας είναι υλικά υψηλής αντοχής, συνήθως αποτελούμενα από χάλυβα ή πολυμερή, τα οποία αυξάνουν την αντοχή της εδαφικής μάζας στις πλευρικές τάσεις και την εφελκυστική αντοχή. Τα γεωπλέγματα συμβάλλουν στην αυξημένη σταθερότητα και δομική ακεραιότητα του τοίχου αντιστήριξης με την πιο ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων και τον περιορισμό της μετακίνησης του εδάφους (Kilic et al., 2021).

Για να σταματήσει η διάβρωση του εδάφους και η συσσώρευση νερού πίσω από τον τοίχο αντιστήριξης, τα γεωυφάσματα χρησιμοποιούνται ως στρώματα αποστράγγισης. Λειτουργούν επίσης ως στρώμα απομόνωσης μεταξύ των δομικών στοιχείων του τοίχου και του οπισθογενούς εδάφους, μειώνοντας τη μετακίνηση του εδάφους και διατηρώντας την ακεραιότητα της κατασκευής με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, τα γεωσύνθετα υλικά, όπως οι γεωσύνθετες αποχετεύσεις, μπορούν να ενσωματωθούν στα σχέδια των τοίχων αντιστήριξης για τη βελτίωση της αποστράγγισης και τη μείωση της υδροστατικής πίεσης πίσω από τον τοίχο (Chatrabhuj, 2024).

5.7 Σταθεροποίηση σιδηροδρομικών γραμμών

Οι σιδηροδρομικές γραμμές προκειμένου να αντέχουν τα τεράστια φορτία και τους κραδασμούς που παράγονται από τα τρένα, είναι εξαιρετικά ανθεκτικές και μακράς διάρκειας. Κάθε τμήμα, συμπεριλαμβανομένου του έρματος, δηλαδή του ανυψωμένου υποστρώματος χαλικιών μέσα στο οποίο τοποθετούνται οι στρωτήρες, των γραμμών και των στρωτήρων, πρέπει να λειτουργεί σωστά όταν εφαρμόζεται το βάρος για να επιτευχθεί αυτό. Τα γεωσυνθετικά είναι απαραίτητα για αυξημένη αποδοτικότητα και απόδοση.

Τα γεωσυνθετικά μπορούν να παρέχουν τις ακόλουθες λειτουργίες στις νέες σιδηροδρομικές κατασκευές αλλά και στην ανακατασκευή τους : Διαχωρισμό των υλικών με διαφορετική κοκκομετρία, φιλτράρισμα, αποστράγγιση, ενίσχυση της βάσης και σταθεροποίηση του εδάφους. Στις σιδηροδρομικές κατασκευές, μπορεί να γίνει τοποθέτηση των γεωσυνθετικών μέσα και κάτω από το έρμα αλλά και στις υποκείμενες στρώσεις (IGS, 2023b).



Εικόνα 21. Σχήμα βασικών εφαρμογών γεωσυνθετικών σε σιδηροδρομικά έργα (IGS, 2023b)

Η κύλιση του τρένου στην σιδηροτροχιά, προκαλεί κίνηση των στρωτήρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα λεπτόκοκκα υλικά του υπεδάφους να μετακινούνται προς τις υπερκείμενες στρώσεις των αδρανών, μειώνοντας την αντοχή και την αποστραγγιστική ικανότητά τους (IGS, 2023).

Όταν το έρμα τοποθετείται απευθείας πάνω σε άργιλο ή ιλύ, υπάρχει πιθανότητα να σχηματιστεί πολφός (slurry) στην διεπιφάνεια μεταξύ έρματος και υπεδάφους, ιδιαίτερα αν εμφανίζονται καθιζήσεις στο συγκεκριμένο σημείο. Η συχνή κυκλοφορία προκαλεί την ταλάντωση της επιφάνειας του έρματος και με την παρουσία του νερού στις λακκούβες (pockets), προκαλείται ο σχηματισμός πολφού. Καθώς το έρμα διαστέλλεται, ο πολφός μετακινείται προς τα κενά. Έπειτα ο πολφός ανεβαίνει προς τα πάνω, καθώς το έρμα συστέλλεται (IGS, 2023b). Αυτό το γρήγορο, κυκλικό φαινόμενο αναγκάζει τα σωματίδια αργίλου/ιλύος να μετακινούνται προοδευτικά προς το έρμα. Τα γεωσυνθετικά παρέχουν μια ιδανική εναλλακτική λύση έναντι των παραδοσιακών μεθόδων, όπως τη χρήση ενός διαβαθμισμένου υποστρώματος επιδομής ή μιας στρώσης άμμου που τοποθετείται στην υποδομή για να λειτουργήσει ως φίλτρο/διαχωριστής για την πρόληψη του φαινομένου άντλησης λεπτόκοκκων υλικών (pumping).

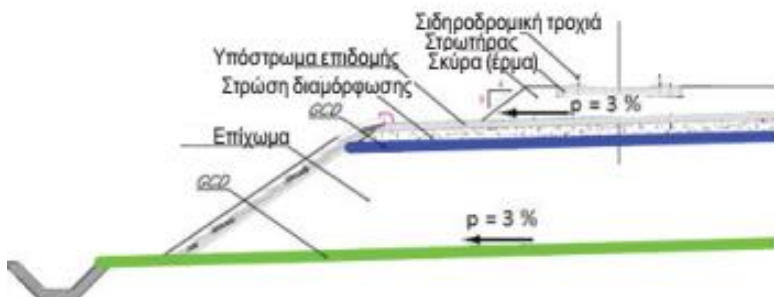
Σε αντίθεση με την άμμο, τα γεωσυνθετικά μπορούν να μεταφερθούν εύκολα και τοποθετούνται γρήγορα. Τα γεωσυνθετικά είναι εργοστασιακά ελεγμένα προϊόντα, τα οποία σε αντίθεση με την άμμο, δεν βασίζονται στην απαίτηση κατασκευής σωστού πάχους στρώσης σε όλο το μήκος και πλάτος της σιδηροδρομικής γραμμής. Επιπροσθέτως οι εκσκαφές και η απόθεση εδαφικών υλικών μειώνεται με τη χρήση γεωσυνθετικών για την αντικατάσταση της στρώσης άμμου (IGS, 2023b).

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ορισμένα σημεία, όπως οι καμπύλες, οι διακλαδώσεις και οι σιδηροδρομικές διαβάσεις. Ο διαχωρισμός είναι η θεμελιώδης ιδέα πίσω από τον τρόπο λειτουργίας των γεωσυνθετικών- λειτουργούν ως φράγμα για να αποτρέψουν τη συνένωση φρέσκου έρματος και χώματος. Το έρμα διαρρέει στο έδαφος του υποβάθρου ως αποτέλεσμα των κραδασμών, γεγονός που μειώνει την αποδοτικότητα της γραμμής (Chatrabhuji, 2024).

Η αποστράγγιση είναι απαραίτητη για τη σταθερότητα του εδάφους μακροπρόθεσμα. Ο κινούμενος τροχός υπάρχει πιθανότητα να αντλήσει λάσπη, γεγονός που μειώνει την αντοχή και την ικανότητα του εδάφους να φέρει φορτίο. Το νερό μπορεί να αποστραγγιστεί από το γεωσυνθετικό και να καταλήξει σε πλευρικούς αγωγούς

(Chatrabhuji, 2024). Το γεωσύνθετο αποστράγγισης μπορεί να τοποθετηθεί είτε στη στέψη του σιδηροδρομικού επιχώματος (συνήθως κάτω από το υπόστρωμα επιδομής ή στην στρώση διαμόρφωσης) ή στη βάση του επιχώματος.

Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται εγκάρσια κλίση 2,0 – 3,0%. Ως εκ τούτου, η υδραυλική κλίση εντός του γεωσύνθετου αποστράγγισης είναι: $i = 0,02 - 0,03$ (IGS, 2023).



Εικόνα 22. Τυπική διατομή σιδηροδρομικής γραμμής με γεωσύνθετα αποστράγγισης (GCD), δυνητικά τοποθετημένα στη βάση ή/και στη στέψη του επιχώματος (IGS, 2023b)

Όταν το γεωσύνθετο αποστράγγισης τοποθετείται στο κάτω μέρος του επιχώματος, το στατικό φορτίο που προκύπτει από το βάρος του επιχώματος είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το φορτίο των τροχών της αμαξοστοιχίας, το οποίο προκαλεί αμελητέα φόρτιση στο γεωσύνθετο αποστράγγισης. Ως εκ τούτου, όταν το γεωσύνθετο τοποθετείται στο κάτω μέρος του σιδηροδρομικού επιχώματος, το φορτίο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το μόνιμο μακροχρόνιο στατικό φορτίο, με αμελητέα συνεισφορά από το δυναμικό φορτίο κυκλοφορίας τρένου (IGS, 2023b).



Εικόνα 23. Τοποθέτηση γεωσύνθετου αποστράγγισης στη βάση του σιδηροδρομικού επιχώματος. Σε αυτή την περίπτωση το GCD τοποθετείται κατά μήκος του επιχώματος (IGS, 2023b)

5.8 Κατασκευή σήραγγας

Τα γεωσυνθετικά χρησιμεύουν για τη βελτίωση της δομικής ακεραιότητας, τη στεγανοποίηση των επιφανειών και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ανθεκτικότητας. Τα γεωφάσματα και οι γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται σε έργα κατασκευής σήραγγας. Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται συνήθως ως στρώματα διαχωρισμού μεταξύ διαφορετικών υλικών κατασκευής εντός μιας σήραγγας, αποφεύγοντας την ανάμιξη υλικών και προάγοντας τη σωστή αποστράγγιση. Λειτουργούν επίσης ως προστατευτικά στρώματα, αποτρέποντας ζημιές στις μεμβράνες στεγανοποίησης και σε άλλα στοιχεία της σήραγγας κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Οι γεωμεμβράνες χρησιμεύουν ως βασικά φράγματα στεγανοποίησης, εμποδίζοντας τη διείσδυση νερού στη δομή της σήραγγας. Τοποθετούνται στα τοιχώματα, τα δάπεδα και τις οροφές της σήραγγας για να παρέχουν ένα συνεχές αδιαπέραστο φράγμα που εμποδίζει τη διείσδυση των υπόγειων υδάτων και προστατεύει από ζημιές από το νερό (Jang et al., 2015).

5.9 Προστασία αγωγών

Τα γεωφάσματα και οι γεωμεμβράνες χρησιμεύουν ως προστατευτικά στρώματα, θωρακίζοντας τους αγωγούς από εξωτερικά στοιχεία, όπως πέτρες, αιχμηρά αντικείμενα και λειαντικά σωματίδια του εδάφους, μειώνοντας τον κίνδυνο φυσικών ζημιών και διάβρωσης των επιστρώσεων των αγωγών. Τα γεωσύνθετα υλικά μαλακώνουν τους σωλήνες, διαχέοντας τα εξωτερικά φορτία, μειώνοντας τις συγκεντρώσεις τάσεων και αποτρέποντας τις δομικές βλάβες. Τα γεωσυνθετικά υλικά ενισχύουν επίσης το περιβάλλον έδαφος για να βελτιώσουν τη φέρουσα ικανότητά του, σταθεροποιούν τις επιφάνειες του εδάφους για να αποτρέψουν τη διάβρωση και θωρακίζουν τον αγωγό από διαβρωτικά εδάφη και ηλεκτρολύτες, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του. Τα γεωσυνθετικά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανθεκτικότητα, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των υποδομών των αγωγών, εξασφαλίζοντας την ασφαλή και αποτελεσματική διαμετακόμιση των καυσίμων και των προμηθειών ενέργειας. Τα γεωπλέγματα εγκαθίστανται οριζόντια μεταξύ στρώσεων καλάθων gabion για να βελτιώσουν την κατανομή του φορτίου, να μειώσουν τις καθιζήσεις και να ενισχύσουν τη συνολική αντοχή της δομής. Τα γεωσυνθετικά, όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα καλάθια gabion, βελτιώνουν την απόδοση και την

αντοχή των τοίχων gabion, καθιστώντας τα εξαιρετικές λύσεις για πολυάριθμες εφαρμογές πολιτικής μηχανικής και τοπίου, όπως η σταθεροποίηση πρανών, η προστασία της όχθης των ποταμών και η διαχείριση της παράκτιας διάβρωσης (Chatrabhuji, 2024).

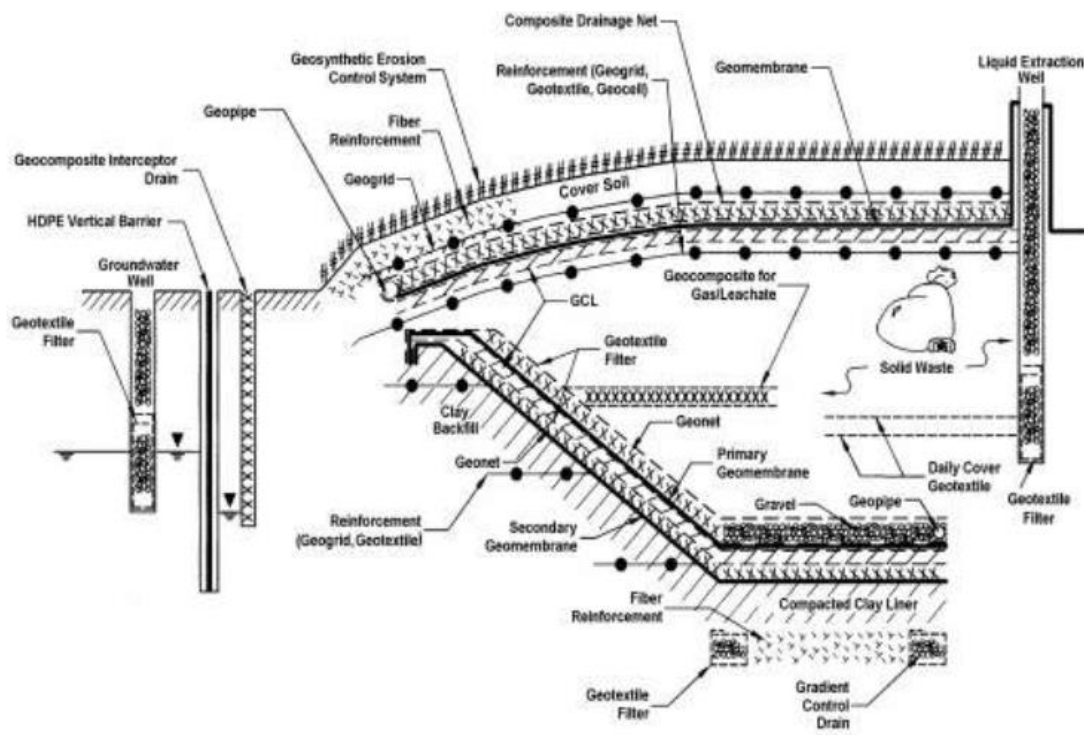
5.10 Επεξεργασία λυμάτων

Οι γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται συχνά ως επένδυση σε εγκαταστάσεις περιορισμού, όπως λίμνες λυμάτων, λιμνοδεξαμενές και χωματερές, σχηματίζοντας αδιαπέραστα φράγματα που εμποδίζουν τη διαρροή τοξινών στο περιβάλλον έδαφος και τα υπόγεια ύδατα. Οι μεμβράνες GCL χρησιμοποιούνται επίσης λόγω της χαμηλής διαπερατότητας και της υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητάς τους, οι οποίες βελτιώνουν τη συγκράτηση των λυμάτων και επιτρέπουν την αποτελεσματική συλλογή και διαχείριση των στραγγισμάτων. Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται επίσης σε συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για διήθηση και διαχωρισμό, γεγονός που βοηθά στην απομάκρυνση των αιωρούμενων υλικών, στην απομάκρυνση των ακαθαρσιών και στην αποτελεσματική αποστράγγιση του επεξεργασμένου νερού. Τα γεωσύνθετα υλικά, τα οποία συνδυάζουν διάφορα γεωσυνθετικά συστατικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή πολυλειτουργικών λύσεων, όπως η αποστράγγιση και η ενίσχυση σε υποδομές επεξεργασίας λυμάτων.

Οι πολλαπλές χρήσεις των γεωσυνθετικών στο σχεδιασμό των σύγχρονων χώρων υγειονομικής ταφής αστικών στερεών αποβλήτων είναι ένα καλό παράδειγμα εφαρμογής στην οποία τα διάφορα γεωσυνθετικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και έχουν χρησιμοποιηθεί για να επιτελέσουν όλες τις λειτουργίες που συζητήθηκαν προηγουμένως. Ουσιαστικά όλοι οι διαφορετικοί τύποι γεωσυνθετικών που συζητήθηκαν προηγουμένως έχουν χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό τόσο των συστημάτων επένδυσης βάσης όσο και των συστημάτων κάλυψης των εγκαταστάσεων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Palmeira et al., 2008).

Η Εικόνα 24 απεικονίζει τις εκτεταμένες πολλαπλές χρήσεις των γεωσυνθετικών τόσο στα συστήματα κάλυψης όσο και στα συστήματα επένδυσης βάσης μιας σύγχρονης εγκατάστασης υγειονομικής ταφής (Zornberg & Christopher 2007). Το σύστημα επένδυσης βάσης που απεικονίζεται στο σχήμα είναι ένα διπλό σύνθετο σύστημα επένδυσης. Τα συστήματα διπλής σύνθετης επένδυσης χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις για τη συγκράτηση αστικών στερεών αποβλήτων και χρησιμοποιούνται συχνά για χώρους υγειονομικής ταφής που έχουν σχεδιαστεί για τη συγκράτηση

επικίνδυνων αποβλήτων. Το σύστημα βασικής επένδυσης που απεικονίζεται στο σχήμα περιλαμβάνει ένα σύνθετο υλικό γεωμεμβράνης/GCL ως πρωτεύον σύστημα επένδυσης και ένα σύνθετο υλικό γεωμεμβράνης/συμπυκνωμένης αργίλου ως δευτερεύον σύστημα. Το σύστημα ανίχνευσης διαρροών, το οποίο βρίσκεται μεταξύ της πρωτεύουσας και της δευτερεύουσας επένδυσης, είναι ένα σύνθετο γεωφύσματος/geonet. Το σύστημα συλλογής στραγγισμάτων που βρίσκεται πάνω από την πρωτεύουσα επένδυση στον πυθμένα του συστήματος επένδυσης αποτελείται από χαλίκι με δίκτυο διάτρητων σωλήνων. Ένα στρώμα προστασίας γεωφύσματος κάτω από το χαλίκι παρέχει ένα μαξιλάρι για την προστασία της πρωτογενούς γεωμεμβράνης από τη διάτρηση από πέτρες στο υπερκείμενο χαλίκι. Το σύστημα συλλογής στραγγισμάτων που βρίσκεται πάνω από την πρωτογενή μεμβράνη στα πλευρικά πρανή του συστήματος μεμβράνης είναι ένα γεωσύνθετο φύλλο αποστράγγισης (σύνθετο γεωφύσμα) που συγχωνεύεται σε ένα στρώμα χαλικιού. Ένα φίλτρο γεωφύσματος καλύπτει ολόκληρο το ίχνος του ΧΥΤΑ και ελαχιστοποιεί την απόφραξη του συστήματος συλλογής και απομάκρυνσης στραγγισμάτων. Η στάθμη των υπόγειων υδάτων μπορεί να ελέγχεται στον πυθμένα του ΧΥΤΑ με αποχετεύσεις ελέγχου της κλίσης που κατασκευάζονται με τη χρήση φίλτρων γεωφύσματος. Επιπλέον, το έδαφος θεμελίωσης κάτω από τον πυθμένα του ΧΥΤΑ μπορεί να σταθεροποιηθεί, όπως φαίνεται στο σχήμα, με τη χρήση τυχαία καταναμημένων οπλισμών ινών, ενώ τα απότομα πλευρικά εδαφικά πρανή κάτω από την επένδυση μπορούν επίσης να ενισχυθούν με τη χρήση γεωπλεγμάτων. Για τη σταθεροποίηση των εδαφών θεμελίωσης θα μπορούσαν να έχουν επιλεγεί διαφορετικοί τύποι γεωσυνθετικών (π.χ. γεωπλέγματα, γεωφύσματα, ίνες) (Palmeira et al., 2008).



Εικόνα 24. Πολλαπλές χρήσεις των γεωσυνθετικών στο σχεδιασμό χώρων υγειονομικής ταφής (Palmeira et al., 2008).

Το σύστημα κάλυψης του ΧΥΤΑ που απεικονίζεται στην Εικόνα 24 περιέχει ένα σύνθετο στρώμα φραγμού γεωμεμβράνης/GCL. Το στρώμα αποστράγγισης που βρίσκεται πάνω από τη γεωμεμβράνη είναι ένα γεωσύνθετο αποστραγγιστικό φύλλο (γεωφάσμα). Επιπλέον, το σύστημα εδαφοκάλυψης μπορεί να περιλαμβάνει ενισχύσεις από γεωπλέγμα, γεωφάσμα ή γεωκυψέλες κάτω από το σύστημα φραγμού διήθησης. Αυτό το στρώμα ενισχύσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση των τάσεων που θα μπορούσαν να προκληθούν στα στρώματα φραγμού από διαφορετικές καθιζήσεις των απορριμμάτων ή από μελλοντική κατακόρυφη επέκταση του χώρου υγειονομικής ταφής. Επιπλέον, το σύστημα κάλυψης θα μπορούσε να περιλαμβάνει οπλισμό γεωπλέγματος ή γεωφάσματος πάνω από το φράγμα διήθησης για να παρέχει σταθερότητα στο φυτικό έδαφος κάλυψης. Ο οπλισμός ινών μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη σταθεροποίηση του απότομου τμήματος του εδάφους φυτοκάλυψης. Ένα γεωσύνθετο σύστημα ελέγχου διάβρωσης πάνω από το έδαφος φυτοκάλυψης υποδεικνύεται στο σχήμα και παρέχει προστασία από τη διάβρωση με φύλλα και οχετούς (Palmeira et al., 2008).

Στην Εικόνα 24 απεικονίζεται επίσης η χρήση γεωσυνθετικών υλικών εντός της μάζας των αποβλήτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διευκόλυνση της τοποθέτησης των αποβλήτων κατά την υγειονομική ταφή. Συγκεκριμένα, το σχήμα απεικονίζει τη χρήση γεωφασμάτων ως καθημερινές στρώσεις κάλυψης και γεωσύνθετων υλικών εντός της μάζας αποβλήτων για τη συλλογή αερίων και στραγγισμάτων. Τα γεωσυνθετικά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μέρος του συστήματος φρεατίων συλλογής υπόγειων υδάτων και στραγγισμάτων. Η χρήση των γεωφασμάτων ως φίλτρων στα φρεάτια συλλογής υπόγειων υδάτων και στραγγισμάτων απεικονίζεται στο σχήμα. Τέλος, το σχήμα δείχνει τη χρήση ενός συστήματος κατακόρυφων φραγμάτων HDPE και ενός γεωσύνθετου αγωγού αναχαίτισης κατά μήκος της περιμέτρου της εγκατάστασης (Palmeira et al., 2008).

5.11 Γεωργικές εφαρμογές

Τα γεωσυνθετικά χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες γεωργικές εφαρμογές για την καταπολέμηση της διάβρωσης του εδάφους, την αύξηση της σταθερότητας του εδάφους, τη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτων και την προώθηση της βιώσιμης γεωργίας. Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο της διάβρωσης σε πλαγιές, αναχώματα και όχθες ποταμών, όπου σταθεροποιούν τις εδαφικές επιφάνειες, μειώνουν τη διάβρωση και ενισχύουν την ανάπτυξη της βλάστησης. Οι γεωμεμβράνες και τα GCL χρησιμοποιούνται σε επενδύσεις λιμνών και ταμιευτήρων για την αποτροπή της διαρροής, τη συγκράτηση του νερού και την αποτελεσματική άρδευση και αποθήκευση. Τα γεωκύτταρα και τα γεωπλέγματα χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση του εδάφους σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στη διάβρωση ή συμπιεσμένες, καθώς και για την παροχή δομικής στήριξης σε δρόμους πρόσβασης, χώρους στάθμευσης και αγροτικές διαδρομές. Τα γεωφάσματα χρησιμοποιούνται επίσης για τον έλεγχο ζιζανίων, τη συγκόλληση και την προστασία των ριζών, για την αύξηση της υγείας του εδάφους και της ανάπτυξης των φυτών. Τα γεωσυνθετικά συμβάλλουν στην προώθηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών, στη διατήρηση του εδάφους και στην απόδοση των καλλιεργειών, παρέχοντας λύσεις για τον έλεγχο της διάβρωσης, τη σταθερότητα του εδάφους, τη διαχείριση των υδάτων και τη φυτική υποστήριξη (Chatrabhui, 2024).

5.12 Έλεγχος χιονοστιβάδων

Τα γεωσυνθετικά εξυπηρετούν σημαντικό ρόλο στα μέτρα ελέγχου των χιονοστιβάδων, παρέχοντας νέες λύσεις για τη μείωση του κινδύνου χιονοστιβάδων και την προστασία των υποδομών, των οδών διέλευσης και των κοινοτήτων σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε χιονοστιβάδες. Τα δίκτυα χιονιού, οι φράκτες χιονιού και τα φράγματα χιονοστιβάδων από γεωσυνθετικά υλικά τοποθετούνται στρατηγικά κατά μήκος των διαδρομών χιονοστιβάδων για να αναχαιτίσουν και να περιορίσουν την κίνηση του χιονιού, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο καταστροφικών χιονοστιβάδων. Αυτές οι γεωσυνθετικές κατασκευές έχουν ως στόχο να διασκορπίζουν την ενέργεια των χιονοστιβάδων, να δρομολογούν ελεγχόμενες απελευθερώσεις χιονιού και να απομακρύνουν τα συντρίμια της χιονοστιβάδας από ευαίσθητες περιοχές. Τα γεωφασμάτινα στρώματα ή οι κουβέρτες χρησιμοποιούνται επίσης για τη σταθεροποίηση των πλαγιών και την ενίσχυση της βλάστησης, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο συσσώρευσης χιονιού και έναρξης χιονοστιβάδων. Τα γεωσυνθετικά προσφέρουν μεθόδους μετριασμού του κινδύνου χιονοστιβάδων με χαμηλό κόστος και είναι φιλικές προς το περιβάλλον, βελτιώνοντας την ασφάλεια και την ανθεκτικότητα σε ορεινά και αλπικά περιβάλλοντα (Chatrabhuji, 2024).

5.13 Αναχώματα και πρανή

Πρόκειται για μάζες χώματος που κατασκευάζονται για την ανύψωση δρόμων, αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών. Όταν διερευνάται χαλαρό έδαφος σε μια περιοχή, υιοθετούνται διάφορες μέθοδοι σταθεροποίησης του εδάφους για να κάνει το έδαφος να αντέξει τα φορτία είτε με αντικατάσταση του εδάφους είτε με βελτίωση με την προσθήκη πρόσθετων όπως ασβέστης, τσιμέντο και τέφρα πυρίτιδας είτε με τη χρήση διαδικασιών όπως η τσιμεντοποίηση, η συμπίεση και οι αποστραγγίσεις άμμου. Το πρόβλημα είναι ότι αυτές οι πρακτικές είναι χρονοβόρες και δαπανηρές. Από την άλλη πλευρά, η χρήση γεωσυνθετικών υλικών όπως γεωφάσμα, γεωπλέγμα και γεωμεμβράνη στη θεμελίωση επιχώματος μπορεί να κατασκευαστεί απευθείας πάνω από αυτό. Χρησιμεύει ως ενίσχυση, αποστράγγιση και διαχωρισμός. Η λειτουργία της ενίσχυσης βελτιώνει τη σταθερότητα του πρανούς και η αποστράγγιση βελτιώνει τη σταθεροποίηση των εδαφικών σωματιδίων μειώνοντας την πίεση του νερού των πόρων. Ο διαχωρισμός βοηθά στην αποτροπή της ανάμιξης διαφορετικών στρωμάτων (Watanabe et al. 2020).

Τα γεωσυνθετικά υλικά όπλισης, διαστρωμένα σε οριζόντιες στρώσεις και με λειτουργία κύριου (πρωτεύοντος) οπλισμού, χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ευστάθειας πρανών έναντι δυνητικών ολισθήσεων. Οπλισμένα πρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση υφιστάμενων πρανών ή/και για την ενίσχυση της ευστάθειας εδαφικών πρανών επίχωσης (IGS, 2023c).

Με τη χρήση γεωσυνθετικών υλικών όπλισης είναι δυνατή η διαμόρφωση πρανών επίχωσης με αρκετά εντονότερες κλίσεις έναντι αυτών των συμβατικών (άοπλων) επιχωμάτων. Στην περίπτωση αυτή, ενδέχεται να απαιτηθεί η πρόσθετη ενίσχυση της παρειάς του επιχώματος (κατά τη φάση κατασκευής του) μέσω της διάστρωσης δευτερεύοντος γεωσυνθετικού οπλισμού σε οριζόντιες σειρές μικρού μήκους και σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις ή / και της αναδίπλωσης των στρώσεων οπλισμού στο μέτωπο του πρανού (IGS, 2023c).

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η εξωτερική παρειά των οπλισμένων πρανών οφείλει επίσης να προστατεύεται και έναντι διάβρωσης. Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωσυνθετικά υλικά κατάλληλα αγκυρωμένα στο μέτωπο του πρανού, όπως γεωκυψέλες λεπτής διατομής πληρωμένες με εδαφικό υλικό ή εύκαμπτα γεωπλέγματα, τα οποία συγκρατούν προσωρινά τη βλάστηση και διευκολύνουν την ανάπτυξή της (IGS, 2023c).

Στην ακόλουθη εικόνα σημειώνεται η ανάγκη πρόβλεψης κατασκευής ενός συστήματος αποστράγγισης όπισθεν των οπλισμών, ώστε να εξαλείφεται πρακτικώς η δυνατότητα ανάπτυξης υπερπιέσεων πόρων εντός του έμπροσθεν οπλισμένου πρίσματος της επίχωσης (IGS, 2023c).



Εικόνα 25. Παράδειγμα αποκατάστασης πρανού με όπλιση της διαμορφωμένης με επίχωση παρειάς του (IGS, 2023c)

5.14 Αβαθής θεμελίωση

Τα γεωσυνθετικά κερδίζουν δημοτικότητα για την εφαρμογή τους σε ρηχά θεμέλια που έχουν μικρότερο βάθος. Για να κατασκευαστεί ένα θεμέλιο πρέπει να σταθεροποιηθεί το μαλακό έδαφος. Σε αυτή την περίπτωση συνήθως χρησιμοποιούνται μία ή περισσότερες στρώσεις γεωσυνθετικού υλικού (Amiri et al., 2023).

Αυτό το έδαφος με το γεωσυνθετικό υλικό λειτουργεί ως οπλισμός που βελτιώνει την ικανότητα μεταφοράς φορτίων. Τα γεωσυνθετικά που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως γεωφάσμα, γεωκύτταρο, γεωσύνθετο και γεωπλέγμα, τα οποία δρουν ως διαχωριστικά μεταξύ του μαλακού εδάφους και της βάσης θεμελίωσης. Για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση, τα γεωσυνθετικά στρώματα τοποθετούνται οριζόντια όσον αφορά τη βάση θεμελίωσης (Robinson & Howard, 2021).

Τα γεωσυνθετικά δρουν επίσης ως μέθοδος απόθησης του νερού. Λόγω υψηλών βροχοπτώσεων ή αύξησης της στάθμης των υπόγειων υδάτων το νερό μειώνει την αντοχή του εδάφους ακριβώς κάτω από τη θεμελίωση με αποτέλεσμα είτε αστοχία, βύθιση, κλίση ή διαφορική καθίζηση. Όλα αυτά μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση γεωσυνθετικών υλικών. Για τη διερεύνηση της επίδρασης του υφαντού γεωφάσματος στη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας της θεμελίωσης σε ασθενές έδαφος εξετάζονται πολλοί παράγοντες, όπως το μέγεθος του γεωφάσματος, ο αριθμός των γεωφασμάτων, οι στρώσεις του γεωφάσματος, το πλάτος του γεωφάσματος και η απόσταση μεταξύ των στρώσεων του γεωφάσματος (Sheng et al., 2021).

5.15 Φίλτρα και αποχετεύσεις

Υπάρχουν πολλές περιοχές όπου τα γεωσυνθετικά μπορούν να λειτουργήσουν ως υλικό σε αποχετεύσεις οδών, σε συστήματα μεταφοράς νερού από διαρροές, σε αποχετεύσεις τοίχων αντιστήριξης, σε αποχετεύσεις πρανών, σε συστήματα συλλογής στραγγισμάτων από χωματερές και σε στήλες αποστράγγισης σε αναχώματα και φράγματα. Παραδοσιακά, για τη στράγγιση χρησιμοποιούνταν διαβαθμισμένα κοκκώδη πετρώματα, αλλά στη σύγχρονη εποχή το γεωφάσμα έχει πάρει τη θέση του, επειδή είναι εύκολο στην εγκατάσταση, οικονομικό, φτηνό, ελαφρύ σε βάρος, σταθερό, ανθεκτικό και εύκολο στη συντήρηση. Για τη χρήση του γεωφάσματος τρία φαινόμενα επηρεάζουν την ικανότητα στράγγισης: η απόφραξη των πόρων του γεωφάσματος, η οποία θα επηρεάσει την αποτελεσματικότητά του, η μείωση της δέσμευσης και η απόφραξη, τα οποία μειώνουν την ικανότητα του γεωφάσματος (Chatrabhuji, 2024).

5.16 Χωμάτινα φράγματα

Τα χωμάτινα φράγματα είναι ογκώδεις κατασκευές που κατασκευάζονται με χώμα και πέτρες για την αποθήκευση νερού. Το χώμα και οι πέτρες που χρησιμοποιούνται είναι τοπικά διαθέσιμα και τοποθετούνται και συμπιέζονται. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να φτάσει σε επαρκές ύψος. Πρόκειται για μια πολύ παλιά μέθοδο αποθήκευσης νερού που έχει πολύ μικρή αποτελεσματικότητα, επειδή το έδαφος επιτρέπει στο νερό να διηθείται από αυτό. Έτσι, χρησιμοποιούνται γεωσυνθετικά υλικά για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα. Τα γεωσυνθετικά υλικά είναι μαλακά και εύκαμπτα, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε σχήμα και να διαμορφωθούν σε διάφορα μεγέθη. Διαθέτουν επίσης μηχανική αντοχή, ώστε να αντέχουν την τάση και την παραμόρφωση. Η γεωμεμβράνη και το γεωφάσμα έχουν χαμηλή διαπερατότητα και χρησιμοποιούνται σε φράγματα για να περιορίζουν τη διείσδυση του νερού στο έδαφος. Η ενίσχυση μπορεί να επιτευχθεί με γεωπλέγματα και γεωφάσματα που βοηθούν στη σταθεροποίηση πρανών. Οι εφαρμογές αυτές αναδεικνύουν την ευελιξία των γεωσυνθετικών σε διάφορους κλάδους και καταδεικνύουν το ρόλο τους στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της μηχανικής, τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των υποδομών και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών σε διάφορα σενάρια της πραγματικής ζωής (Chatrabhuji, 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Βιωσιμότητα των γεωσυνθετικών υλικών

6.1 Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη

Υπάρχει μια κοινή παρανόηση ότι οι βιώσιμες λύσεις για τις υποδομές θα κοστίζουν περισσότερο. Αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση των γεωσυνθετικών υλικών. Στην πραγματικότητα, πολλές λύσεις γεωσυνθετικών αναπτύχθηκαν για να προσφέρουν οικονομικά οφέλη και μόνο αργότερα έγιναν εμφανή τα τεράστια οφέλη από την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και τα περιβαλλοντικά οφέλη (IGS, 2021c). Στη συνέχεια της παρούσας ενότητας θα παρουσιαστούν τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση γεωσυνθετικών.

6.1.1. Οικονομικά οφέλη που συνδέονται με τη χρήση γεωσυνθετικών

Η χρήση των γεωσυνθετικών σε εφαρμογές έργων υποδομής παρέχει συχνά οικονομικά οφέλη με τη μείωση του κόστους των εισαγόμενων υλικών, τη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων και γενικά παρέχει αποδοτικότερη χρήση των πόρων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές λύσεις που χρησιμοποιούν χώμα, σκυρόδεμα και χάλυβα (Jones 2015). Οι πληροφορίες που επιτρέπουν την αξιολόγηση της εξοικονόμησης κόστους χάρη στη χρήση γεωσυνθετικών είναι ελάχιστες. Η χρήση γεωσυνθετικών σε οδούς είναι η καλύτερα τεκμηριωμένη πρακτική όσον αφορά τη μακροπρόθεσμη απόδοση. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν τέσσερις τύποι εξοικονόμησης κόστους:

- Μείωση της ποσότητας ή της ανάγκης για επιλεγμένο εδαφικό υλικό,
- Ευκολότερη ή/και ταχύτερη κατασκευή,
- Βελτιωμένη μακροπρόθεσμη απόδοση, και
- Βελτιωμένη βιωσιμότητα.

Οι πτυχές αυτές παρουσιάζονται λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

6.1.2. Μείωση της ποσότητας ή της ανάγκης για επιλεγμένο έδαφος υλικού

Για τη μείωση της χρήσης ορισμένων εδαφικών υλικών, τα γεωσυνθετικά συχνά αντικαθιστούν τα συγκεκριμένα εδαφικά και βραχώδη υλικά με κόστος υλικού και εγκατάστασης μικρότερο από εκείνο της εναλλακτικής λύσης με φυσικό υλικό. Επιπλέον, τα γεωσυνθετικά χρησιμοποιούνται συχνά σε γεωτεχνικά συστήματα και, λόγω της βελτιωμένης απόδοσης, μπορούν να μειώσουν τον όγκο άλλων γεωτεχνικών υλικών που χρησιμοποιούνται στο εν λόγω σύστημα. Οι μειώσεις αυτές συνδυάζονται με οικονομική

εξοικονόμηση τόσο από την αγορά όσο και από τη μεταφορά αδρανών υλικών, εδαφών και άμμου. Συνήθως, αυτό και μόνο καλύπτει το κόστος του γεωσυνθετικού (IGS, 2021c). Σε πολλές περιπτώσεις το όφελος από το κόστος είναι τέτοιο που η χρήση γεωσυνθετικών αποτελεί πλέον συνήθη πρακτική.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η ενίσχυση με γεωσυνθετικά είναι πολλά υποσχόμενη στις σιδηροδρομικές κατασκευές. Η χρήση υλικών όπως μίγματα μη τυποποιημένων υλικών και αποβλήτων εξόρυξης αντί έρματος μπορεί να μειώσει περαιτέρω το κόστος κατασκευής, ιδίως σε περιοχές όπου τα καλής ποιότητας υλικά πλήρωσης είναι σπάνια ή ακριβά. Γενικότερα, η καλύτερη χρήση των υπολειμμάτων και των αποβλήτων στα τεχνικά έργα είναι σημαντική για τη μείωση της εκμετάλλευσης των φυσικών υλικών και τη διατήρηση του περιβάλλοντος. Ο συνδυασμός γεωσυνθετικών υλικών με τέτοια υπολείμματα μπορεί να προσφέρει λιγότερο δαπανηρές και πιο φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις (Palmeira et al., 2021).

6.1.3. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας

Σε σχέση με τη μείωση της ποσότητας του προς μεταφορά υλικού όταν τα γεωσυνθετικά αντικαθιστούν τα αδρανή υλικά, τη μείωση της επιτόπου δραστηριότητας που σχετίζεται με την εκσκαφή του επιτόπου υλικού και την τοποθέτηση και συμπίκνωση των εδαφών και των αδρανών υλικών, λογικά μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας. Τα οφέλη αυτά ισχύουν ιδίως για την αντικατάσταση της αργίλου από αδιαπέρατα γεωσυνθετικά σε χώρους υγειονομικής ταφής, λίμνες, φράγματα και ταμιευτήρες, αλλά και όταν χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση αδρανών υλικών που εκπληρώνουν τη λειτουργία αποστράγγισης σε διάφορες εφαρμογές (IGS, 2021c).

6.1.4. Μικρότερη μακροπρόθεσμη συντήρηση που σχετίζεται με σημαντική συμβολή στη διάρκεια ζωής

Τα γεωσυνθετικά υλικά αυξάνουν τη διάρκεια ζωής των υποδομών στις οποίες περιλαμβάνονται, εξοικονομώντας πόρους, κόστος και χρόνο (IGS, 2021d). Πράγματι, τα γεωσυνθετικά υλικά εξασφαλίζουν μεγάλη διάρκεια ζωής στα έργα στα οποία αξιοποιούνται, διατηρώντας την απόδοσή τους για δεκαετίες. Στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί θα δοθεί έμφαση στην ανθεκτικότητα των γεωμεμβρανών, στο πλαίσιο των υδραυλικών εφαρμογών.

Οι υδραυλικές εφαρμογές είναι εκείνες για τις οποίες υπάρχει η μεγαλύτερη ανατροφοδότηση σχετικά με τη διάρκεια ζωής των εκτεθειμένων γεωμεμβρανών που αξιολογούνται με επιτόπου δειγματοληψία. Στις ακόλουθες υποενότητες εξετάζεται η ανθεκτικότητα των εκτεθειμένων οξειδωμένων ασφατικών γεωμεμβρανών, των πολυμερών ασφατικών γεωμεμβρανών, των γεωμεμβρανών PVC-P, των γεωμεμβρανών PP, των γεωμεμβρανών HDPE και των γεωμεμβρανών EPDM σε υδραυλικές εφαρμογές με βάση πρόσφατα ευρήματα μετά από επιτόπιες δειγματοληψίες εκτεθειμένων γεωμεμβρανών και επακόλουθες δοκιμές (Touze, 2022).

6.1.4.1 Ανθεκτικότητα των οξειδωμένων ασφατικών γεωμεμβρανών

Στην επιφάνεια των οξειδωμένων ασφατικών γεωμεμβρανών μπορούν να παρατηρηθούν μικρορωγμές όταν αυτές μένουν εκτεθειμένες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η απόδοση της γεωμεμβράνης είναι ισοδύναμη, αλλά όχι καλύτερη, από εκείνη ενός στρώματος αργίλου πάχους ενός μέτρου με υδραυλική αγωγιμότητα της τάξης των 10^9 έως 10^8 m/s. Όταν μια οξειδωμένη ασφατική γεωμεμβράνη χωρίς μηχανική προστασία παραμένει κάτω από το νερό, η απώλεια της απόδοσης είναι λιγότερο έντονη από ό,τι για μια γεωμεμβράνη που εκτίθεται στον αέρα και την υπεριώδη ακτινοβολία. Για τις καλυμμένες οξειδωμένες ασφατικές γεωμεμβράνες, στη μία περίπτωση που εξετάστηκε, δεν εμφανίζονται μικρορωγμές και η απόδοση παραμένει σταθερή για 30 χρόνια μετά την εγκατάσταση. Συνεπώς, οι οξειδωμένες ασφατικές γεωμεμβράνες δεν πρέπει να παραμένουν εκτεθειμένες εάν ο στόχος είναι η μακροπρόθεσμη υδραυλική απόδοση (Touze, 2022).

6.1.4.2 Ανθεκτικότητα των ελαστομερών ασφατικών γεωμεμβρανών

Τα αποτελέσματα για τις οξειδωμένες ασφατικές γεωμεμβράνες δεν μπορούν και δεν πρέπει να επεκταθούν στις ελαστομερείς ασφατικές γεωμεμβράνες. Η ανάλυση δειγμάτων δείχνει ότι το πολυμερές καταναλώνεται πλήρως μέσα στα πρώτα λίγα μικρόμετρα της επιφάνειας των γεωμεμβρανών που εκτίθενται για πάνω από 15 χρόνια. Παράλληλα, εντός του ίδιου επιφανειακού στρώματος των γεωμεμβρανών που εκτίθενται για πάνω από 15 χρόνια, η άσφαλτος οξειδώνεται. Ωστόσο, η εξαφάνιση του πολυμερούς και η οξείδωση της άσφαλτου δεν επεκτείνονται σε ολόκληρο το στρώμα του ασφατικού συνδετικού υλικού. Για τις γεωμεμβράνες που εκτίθενται για 30 χρόνια, το πολυμερές, αν και εξακολουθεί να υπάρχει στον πυρήνα, αλλοιώνεται. Παρόλα αυτά,

αυτές οι γεωμεμβράνες εξακολουθούν να παρέχουν το ίδιο επίπεδο στεγανότητας με τις παρθένες γεωμεμβράνες. Έτσι, οι υδραυλικές ιδιότητες των γεωμεμβρανών δεν επηρεάζονται σημαντικά από αυτές τις χημικές τροποποιήσεις στην επιφάνεια της γεωμεμβράνης (Touze, 2022).

6.1.4.3. Ανθεκτικότητα των γεωμεμβρανών PVC-P

Οι Cazzuffi et al. (2010) αναφέρουν τη χρήση γεωμεμβρανών PVC-P σε φράγματα που κατασκευάστηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι, σε αυτού του είδους το περιβάλλον, η διάρκεια ζωής των σύνθετων γεωμεμβρανών PVC-P υπερβαίνει τα 50 έτη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ποιότητα των γεωμεμβρανών PVC-P είναι σήμερα καλύτερη από ό,τι ήταν τη δεκαετία του 1970, αναμένεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Η διάρκεια ζωής των γεωμεμβρανών PVC-P μπορεί επομένως να προσδιοριστεί λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητή. Ανάλογα με τη σύνθεσή της, η γεωμεμβράνη μπορεί να διαρκέσει από ένα έως δύο χρόνια για γεωμεμβράνες κακής σύνθεσης έως και πάνω από 20 χρόνια, ακόμη και 26 χρόνια. Μια λύση για τη μείωση της συρρίκνωσης που προκαλείται από τη διαδικασία κατασκευής και από τη γήρανση είναι η χρήση ενισχυμένων γεωμεμβρανών ή σύνθετων γεωμεμβρανών (δηλαδή, με σχετικό γεωύφασμα), οι οποίες μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα σε μεγάλες κατασκευές όπως το φράγμα Barlovento, για το οποίο η γεωμεμβράνη παραμένει σε καλή κατάσταση 23 χρόνια μετά την εγκατάσταση, ιδίως στη μη εκτεθειμένη πλευρά. Ομοίως, καλά αποτελέσματα επιτεύχθηκαν για τις γεωμεμβράνες στον ταμιευτήρα Barranco de Benijos 19 χρόνια μετά την εγκατάσταση (Touze, 2022).

6.1.4.4. Ανθεκτικότητα γεωμεμβρανών από πολυπροπυλένιο

Στη μελέτη του ο Peggs (2008) συνόψισε τη χρήση γεωμεμβρανών PP για διάφορες υδραυλικές εφαρμογές: δεξαμενές πόσιμου νερού, λίμνες για διάφορες εφαρμογές και πλωτά καλύμματα σε δεξαμενές πόσιμου νερού. Στην περίπτωση των δεξαμενών πόσιμου νερού και των καλυμμάτων παρουσιάστηκαν αρκετές αστοχίες, συνήθως μετά από 3 έως 10 χρόνια λειτουργίας. Ωστόσο, οι γεωμεμβράνες PP απέδωσαν εξαιρετικά καλά σε άλλες εφαρμογές που εκτίθενται στις καιρικές συνθήκες, ακόμη και στην περίπτωση των καλυμμάτων δεξαμενών πόσιμου νερού. Για παράδειγμα, ο Wallace (2008) αναφέρει ικανοποιητικές επιδόσεις επί 5 έτη για πλωτά καλύμματα σε δεξαμενές

πόσιμου νερού. Επιπλέον, έχουν γίνει διαθέσιμες διαφορετικές ρητίνες PP, ανοίγοντας την πόρτα σε δυνητικά πιο αποδοτικές γεωμεμβράνες από ό,τι ήταν δυνατό προηγουμένως.

6.1.4.5. Ανθεκτικότητα των γεωμεμβρανών πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας

Η αντοχή σε ρωγμές λόγω τάσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής των γεωμεμβρανών HDPE, παρόλο που το HDPE είναι το πιο χημικά σταθερό πολυμερές που διατίθεται. Για μια γεωμεμβράνη που εγκαταστάθηκε στα Κανάρια Νησιά υπό υποτροπικό κλίμα και ετήσια έκθεση στον ήλιο, ερευνητές αναφέρουν καλή απόδοση μιας γεωμεμβράνης HDPE 20 χρόνια μετά την εγκατάσταση. Επιστήμονες μελέτησαν επίσης την ανθεκτικότητα μιας γεωμεμβράνης HDPE μετά από 17 χρόνια λειτουργίας σε μια δεξαμενή νερού στην Ισπανία υπό υψηλά επίπεδα υπερϊώδους ακτινοβολίας. Ανέφεραν ότι η γεωμεμβράνη συνέχισε να λειτουργεί ως αδιαπέραστο φράγμα παρά τη σημαντική μείωση της αντίστασης στη ρηγμάτωση λόγω τάσης.



Εικόνα 26. Γεωμεμβράνη HDPE εγκατεστημένη στον ταμιευτήρα La Mericana (Jarandilla de la Vera-Cáceres-Ισπανία) (Touze, 2022).

6.1.4.6. Ανθεκτικότητα των γεωμεμβρανών

Οι Blanco et al. (2017a) προτείνουν ότι η επιμήκυνση κατά τη θραύση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής των γεωμεμβρανών EPDM. Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 21 ετών, οι Noval et al. (2014b) ανέλυσαν την εξέλιξη μιας γεωμεμβράνης EPDM που εγκαταστάθηκε στον ταμιευτήρα El Boqueron στη νήσο Τενερίφη στην Ισπανία. Παρατήρησαν ότι ο προσανατολισμός της

γεωμεμβράνης επηρεάζει τη γήρανσή της. Παρά την εξέλιξη της γεωμεμβράνης (απώλεια και οξείδωση των παραφινικών ελαίων), η ροή μέσω της γεωμεμβράνης μετά από 21 χρόνια που μετρήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο EN 14150 (CEN 2019) ήταν μικρότερη από $10^6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, η οποία συμφωνεί με τις τιμές που λαμβάνονται για παρθένες γεωμεμβράνες. Οι αναφορές που παρατίθενται σε μελέτες τεσσάρων πρόσθετων ταμειυτήρων συζητούν καταστάσεις όπου οι ιδιότητες των γεωμεμβρανών παρέμειναν σταθερές για 13 έως 15 έτη μετά την εγκατάσταση.

Έτσι, αν και οι ιδιότητες των γεωμεμβρανών εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου, τα περισσότερα αποτελέσματα δείχνουν ότι η υδραυλική απόδοση των εκτεθειμένων γεωμεμβρανών παραμένει σταθερή, εκτός από τις οξειδωμένες ασφατικές γεωμεμβράνες, οι οποίες πρέπει να καλύπτονται για να διατηρηθεί η μακροπρόθεσμη απόδοση.

6.1.5. Μείωση των εκπομπών

Για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της απαιτούνται δύο κατηγορίες δράσεων: ο μετριασμός για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και η προσαρμογή. Τα γεωσυνθετικά μπορούν να συμβάλουν στον μετριασμό, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την κατασκευή και τη λειτουργία των υποδομών.

Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι ένα μέτρο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται άμεσα ή έμμεσα από ένα άτομο, έναν οργανισμό, ένα γεγονός ή ένα προϊόν. Το ανθρακικό αποτύπωμα μπορεί να περιλαμβάνει τις εκπομπές καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος ή μιας κατασκευής. Ο ενσωματωμένος άνθρακας (EC) είναι ένας δείκτης των σωρευτικών εκπομπών άνθρακα που χρησιμοποιούνται στη λύση που υιοθετείται. Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής (AKZ) είναι ένα εργαλείο για τη μέτρηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων ή των συστημάτων κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Εξετάζει την εξόρυξη πρώτων υλών, την παραγωγή, τη χρήση, την ανακύκλωση και τη διάθεση των αποβλήτων. Προσφέρει όχι μόνο μια βάση για την καλύτερη λήψη οικονομικών αποφάσεων, αλλά δείχνει τις οικολογικές επιπτώσεις της επιλογής μιας συγκεκριμένης μεθόδου κατασκευής (Touze, 2022).

Η βιωσιμότητα των υλικών και των διαδικασιών αξιολογείται συνήθως με τον υπολογισμό των παραγόμενων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂ που μπορούν να

χρησιμοποιηθούν ως «σύντομη AKZ» για την οικολογική αξιολόγηση. Λαμβάνοντας υπόψη την εξόρυξη και την παραγωγή των χρησιμοποιούμενων δομικών υλικών, τη φόρτωση, τη μεταφορά και την εγκατάσταση, προσδιορίζονται η αθροιστική ζήτηση ενέργειας (CED) και οι εκπομπές CO₂ για κάθε μία από τις εναλλακτικές λύσεις κατασκευής. Αν και πρόκειται για απλοποίηση, η ευκολία υπολογισμού ενθαρρύνει τις συγκρίσεις μεταξύ των λύσεων και καθιστά τις εν λόγω αξιολογήσεις προσιτές, διαφανείς και επαναλαμβανόμενες, ώστε το εκπεμπόμενο CO₂ να μπορεί ευκολότερα να προσμετρηθεί για την επίτευξη των βιομηχανικών, εθνικών και διεθνών στόχων (Touze, 2022).

Τα τελευταία χρόνια έχει βελτιωθεί η γνώση των τεχνικών της AKZ στον τομέα των γεωσυνθετικών υλικών. Οι τελευταίοι υπολογισμοί που έγιναν από ερευνητικές ομάδες είναι ενδεικτικοί της προόδου που έχει σημειωθεί στον τομέα αυτό, στον οποίο εξελίσσεται μια ολοένα και περισσότερο κατασκευασμένη τυπική προσέγγιση με τη χρήση τιμών EK που είναι αντιπροσωπευτικές για τα γεωσυνθετικά και με τη σύγκριση των τιμών EK για ολόκληρες κατασκευαστικές λύσεις. Έτσι, τα αποτελέσματα αναγνωρίζονται όταν το συμπέρασμα δείχνει ότι οι λύσεις με χρήση γεωσυνθετικών μειώνουν σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Touze, 2022).

Η IGS εργάζεται επί του παρόντος για την ανάπτυξη ενός υπολογιστή που επικεντρώνεται στον εντοπισμό, την επίδειξη και τη μέτρηση των γενικών περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων και των πλεονεκτημάτων βιωσιμότητας από τη χρήση γεωσυνθετικών.

6.2 Κοινωνικά οφέλη

6.2.1. Η ανθεκτικότητα είναι εφικτή

Το νερό είναι η προέλευση της ζωής, αλλά απειλεί επίσης τη ζωή όταν ξεφεύγει από τα φυσιολογικά της όρια: όλοι οι τρόποι ανθρώπινης ζωής απαιτούν ισορροπία μεταξύ νερού και εδάφους. Δυστυχώς, μια τέτοια ισορροπία δεν αποτελεί μόνιμη κατάσταση σε πολλά κατοικημένα μέρη του κόσμου. Το ζήτημα της προστασίας από το νερό αποκτά μεγαλύτερη σημασία, καθώς αυξάνεται η πυκνότητα του πληθυσμού σε περιοχές του κόσμου που εκτίθενται στην απειλή της κλιματικής αλλαγής. Τα γεωσυνθετικά μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην προσαρμογή, ιδίως βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων και των υποδομών έναντι ακραίων κλιματικών καταστροφών, όπως οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις. Στο πλαίσιο της κλιματικής

αλλαγής και της συνεπαγόμενης αναμενόμενης αύξησης της συχνότητας και του μεγέθους των φυσικών καταστροφών, τα διαμήκη αναχώματα, αποτελούν μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ενεργές δομικές μεθόδους για τον έλεγχο της πορείας ενός ποταμού. Τα αναχώματα κατασκευάζονται συνήθως από διάφορα φυσικά υλικά, αλλά μπορούν επίσης να ενσωματώνουν και γεωσυνθετικά υλικά (Touze, 2022).

Πρόσφατα εκπονήθηκε από τους Rimoldi et al. (2021) μια σύνθεση σχετικά με την κατάλληλη χρήση γεωσυνθετικών σε αναχώματα και τα πλεονεκτήματά τους στο πλαίσιο αυτό. Ο στόχος της παρούσας εργασίας ανασκόπησης ήταν η σύνθεση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για το θέμα αυτό, ώστε να εξεταστούν οι πολλοί τρόποι με τους οποίους τα γεωσυνθετικά συμβάλλουν στη βιώσιμη κατασκευή των αναχωμάτων και συνεπώς στη διαχείριση των υδατικών συστημάτων. Στην παρούσα εργασία δόθηκε έμφαση στο γεγονός ότι η χρήση γεωσυνθετικών όχι μόνο επιτρέπει την εφαρμογή οικονομικότερων μεθόδων κατασκευής, αλλά και φέρνει λύσεις με αυξημένη ανθεκτικότητα για την αντιμετώπιση των ακραίων καταπονήσεων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, ενώ ταυτόχρονα επιφέρει θετική συμβολή στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την ίδια τη διαδικασία κατασκευής. Η κατάλληλη χρήση γεωσυνθετικών υλικών σε αναχώματα σε σχέση με τη διήθηση και το διαχωρισμό, τη διαχείριση της αποστράγγισης του νερού εντός της κατασκευής με την πάροδο του χρόνου, την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της διάβρωσης στην κατασκευή και την ενίσχυση των φραγμών στη ροή του νερού, συμβάλλει στη βελτίωση της διατομής των αναχωμάτων και στη μείωση της τρωτότητάς τους έναντι των πλημμυρών (Rimoldi et al., 2021).

Οι Damians et al. (2021) ασχολήθηκαν με το ζήτημα της βιώσιμης χρήσης των γεωσυνθετικών στην πρόληψη των κατολισθήσεων. Οι κατολισθήσεις σημειώνονται από αρχαιοτάτων χρόνων, ακόμη και χωρίς να έχει προκληθεί μετασχηματισμός του εδάφους από ανθρώπινες ενέργειες. Ιστορικά, έχουν εξεταστεί διάφορες κατασκευαστικές λύσεις με στόχο την αποφυγή μετατοπίσεων του εδάφους, ιδίως όταν υπάρχει κίνδυνος για τη ζωή ή όταν οι υποδομές, τα κτίρια ή οι εγκαταστάσεις υπηρεσιών είναι ευάλωτες σε ζημιές. Μεταξύ των φυσικών αιτιών, οι πιο συχνές είναι η διήθηση του βρόχινου νερού, η άνοδος της στάθμης των υπόγειων υδάτων, η απώλεια της φυτεμένης επιφάνειας, η διάβρωση και η αποσάθρωση. Οι Damians et al. (2021) έχουν προσδιορίσει τους παράγοντες αειφορίας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εφαρμογή των γεωσυνθετικών για τους σκοπούς αυτούς και παρουσιάζουν μια επισκόπηση με βάση την

υπάρχουσα βιβλιογραφία για να καταδείξουν πώς τα γεωσυνθετικά υπερτερούν συνήθως έναντι των παραδοσιακών μεθόδων σε μια σειρά κριτηρίων αειφορίας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής. Η χρήση γεωσυνθετικών αποδεικνύεται ότι όχι μόνο εξοικονομεί χρόνο και χρήμα κατά την εγκατάσταση, αλλά και σώζει ζωές. Οι μέθοδοι αξιολόγησης της βιωσιμότητας που λαμβάνουν υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το κόστος και τις κοινωνικές/λειτουργικές εκτιμήσεις γίνονται ένα σημαντικό εργαλείο για τους πολιτικούς μηχανικούς, ώστε να κάνουν την καλύτερη επιλογή μεταξύ πολλαπλών λύσεων που εκτελούν την ίδια λειτουργία, όπως αποδεικνύεται από τους εν λόγω συγγραφείς που προσφέρουν ένα μοντέλο για την ανάλυση περιπτώσεων εφαρμογών μετριασμού κατολισθήσεων στο πλαίσιο μιας συνολικής προσέγγισης της βιωσιμότητας.

6.2.2 Η οικονομική ανάπτυξη και η ευημερία ενεργοποιούνται

Η χρήση των γεωσυνθετικών επιφέρει οικονομικά οφέλη, σε σχέση με μια σειρά από αποφευγόμενες δαπάνες. Συνεπώς, υπάρχουν περισσότερα διαθέσιμα χρήματα. Για παράδειγμα, εάν η κατασκευή και η συντήρηση των υποδομών είναι πιο αποτελεσματική, τότε περισσότερα επενδυτικά κεφάλαια είναι διαθέσιμα για πρόσθετα έργα που συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη. Η απλή προσθήκη μιας επέκτασης της σιδηροδρομικής γραμμής ή η κατασκευή ενός ανθεκτικού δρόμου θα μπορούσε να συμβάλει στη βελτίωση της ζωής και των προοπτικών ολόκληρων κοινοτήτων (IGS, 2021c).

6.3 Μόλυνση του περιβάλλοντος ως αποτέλεσμα της χρήσης γεωσυνθετικών υλικών

Τα υπολείμματα των γεωσυνθετικών υλικών μπορούν να καταλήξουν στο περιβάλλον με διάφορους τρόπους:

- Ως απορρίμματα, εάν τα υπολείμματα μείνουν πίσω μετά το τέλος της διάρκειας ζωής τους (μικροπλαστικά).
- Σχηματισμός μικρών σωματιδίων λόγω φθοράς ή επιφανειακής βλάβης κατά τη διάρκεια της διάρκειας ζωής (μικροπλαστικά).
- Μόλυνση λόγω έκλυσης πρόσθετων ουσιών κατά τη διάρκεια της διάρκειας ζωής.

Μέσω της εφαρμογής κατευθυντήριων γραμμών, πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία υπολειμματικών υλικών μετά το τέλος της διάρκειας ζωής τους, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε μικροπλαστικά. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η μόλυνση από έκλυση,

πράγμα που σημαίνει ότι το γεωσυνθετικό υλικό που χρησιμοποιείται πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις σχετικά με τις μέγιστες ποσότητες εκπλυόμενου υλικού. Οι απαιτήσεις αυτές βασίζονται στην οδηγία της ΕΕ 2020/2184: σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

6.3.1 Μόλυνση από μικροπλαστικά και νανοπλαστικά

Τα μικροπλαστικά είναι μικρά πλαστικά σωματίδια ($< 5 \text{ mm}$), ενώ τα νανοπλαστικά είναι πολύ μικρά σωματίδια ($< 100 \text{ νανόμετρα}$). Αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από συνθετικά πολυμερή στα οποία έχουν προστεθεί πρόσθετα, έλαια, πληρωτικά, επιβραδυντές φλόγας κ.λπ. κατά τη διαδικασία παραγωγής. Γίνεται διάκριση μεταξύ των πρωτογενών μικροπλαστικών, τα οποία παράγονται και χρησιμοποιούνται ως ξεχωριστό σωματίδιο, και των δευτερογενών μικροπλαστικών, τα οποία είναι σωματίδια που σχηματίζονται από το πλαστικό υλικό λόγω καιρικών συνθηκών ή φθοράς. Τα μικροπλαστικά από τα γεωσυνθετικά μπορούν να εισέλθουν στο περιβάλλον μέσω του κατακερματισμού των απορριμμάτων στην ξηρά. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το γενικότερο πρόβλημα των (μικρο)πλαστικών απορριμμάτων, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στη μείωση των απορριμμάτων από την κατηγορία των συσκευασιών ειδικότερα. Για το σκοπό αυτό, η οδηγία 2019/904 της ΕΕ έχει τεθεί σε ισχύ από το 2021. Η εν λόγω οδηγία περιλαμβάνει την απαγόρευση της εμπορίας ορισμένων πλαστικών προϊόντων μίας χρήσης. Τα συστήματα εγγύησης για τα πλαστικά μπουκάλια θα μειώσουν περαιτέρω τον αριθμό των πλαστικών μπουκαλιών στα απορρίμματα, ενώ στην ΕΕ αναπτύσσονται κανονισμοί που απαιτούν έως το 2030 όλες οι συσκευασίες στην Ευρώπη να είναι οικονομικά επαναχρησιμοποιήσιμες, ανακυκλώσιμες ή βιοδιασπώμενες (Voskamp & Retzlaff, 2022).

Τα περισσότερα γεωσυνθετικά κατασκευάζονται στο έδαφος και δεν εκτίθενται σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV) ή σε άμεση φθορά. Ως εκ τούτου, η πιθανότητα απελευθέρωσης λεπτών σωματιδίων ως αποτέλεσμα φθοράς ή τριβής είναι πολύ μικρή. Η φθορά μπορεί να εμφανιστεί σε ορισμένες εφαρμογές, για παράδειγμα όταν ένα γεωσυνθετικό είναι ενσωματωμένο ως στρώμα φίλτρου στην όχθη μιας υδάτινης οδού. Τότε μπορεί να προκληθεί φθορά λόγω τριβής (Voskamp & Retzlaff, 2022).

Αυτό σημαίνει ότι κατά το σχεδιασμό των γεωσυνθετικών και την επιλογή των εφαρμοζόμενων γεωσυνθετικών, θα πρέπει να τίθενται απαιτήσεις για την αντοχή στη φθορά. Τα γεωσυνθετικά μπορούν να δοκιμαστούν για την ιδιότητα αυτή. Στο ISO TC

221 έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος δοκιμής με την οποία μπορεί να μετρηθεί η αντοχή στη φθορά. Στη συνέχεια, οι απαιτήσεις καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο. Ως παράδειγμα μπορούν να αναφερθούν οι απαιτήσεις της Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) στη Γερμανία. Με τον καθορισμό περιορισμών και προδιαγραφών με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αποφευχθεί σε μεγάλο βαθμό η φθορά ή η τριβή των γεωσυνθετικών υλικών (Voskamp & Retzlaff, 2022).

6.4. Η συμβολή των γεωσυνθετικών στην κυκλική οικονομία

6.4.1. Κυκλική οικονομία και αρχές της

Τα τελευταία χρόνια, η κυκλική οικονομία έχει αποκτήσει όλο και μεγαλύτερη σημασία ως εργαλείο που παρουσιάζει λύσεις σε προκλήσεις της παγκόσμιας βιώσιμης ανάπτυξης. Με την αντιμετώπιση των βαθύτερων αιτιών, η κυκλική οικονομία είναι μια οικονομία στην οποία τα απόβλητα και η ρύπανση δεν υπάρχουν εκ κατασκευής, τα προϊόντα και τα υλικά διατηρούνται σε χρήση και τα φυσικά συστήματα αναγεννούνται. Οι πόροι δεν καταναλώνονται, αλλά ανακτώνται σε ένα σύστημα που είναι συνεχές και μακροχρόνιο, με στόχο να διατηρείται η λειτουργία τους στο μέγιστο δυναμικό τους. Αντί να καταστρέφεται η αξία μετά τη φάση της χρήσης, η αξία διατηρείται μέσω κύκλων επαναχρησιμοποίησης, επισκευής, ανακατασκευής ή ανακύκλωσης.

6.4.2. Πώς τα γεωσυνθετικά υποστηρίζουν την κυκλική οικονομία;

Όσον αφορά τη στροφή προς την ανακυκλώσιμη ενέργεια, τα γεωσυνθετικά συμβάλλουν διευκολύνοντας την ανάκτηση βιοαερίου σε γεωργικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές, αλλά και μέσω φωτοβολταϊκών καλυμμάτων για την κάλυψη λιμνών σε υδραυλικές εφαρμογές ή στα καλύμματα των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, για παράδειγμα, πάνω από γεωμεμβράνες (Touze, 2022).

Η χρήση των γεωσυνθετικών μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και των επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, συμβάλλοντας έτσι έμμεσα στην αναγέννηση της φύσης με τη μείωση των επιπτώσεων στα οικοσυστήματα σε σύγκριση με άλλες τεχνικές, όπως η χρήση σκυροδέματος. Επιπλέον, τα γεωσυνθετικά έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, όπου προστατεύουν το έδαφος από τη μόλυνση από υγρά ή στερεά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των πυρηνικών αποβλήτων. Γενικότερα, τα γεωσυνθετικά έχουν χρησιμοποιηθεί στην αποκατάσταση ρυπασμένων περιοχών. Ειδικότερα, τα

ηλεκτροκινητικά γεωσυνθετικά έχουν αποδειχθεί ότι διευκολύνουν την αφυδάτωση αποβλήτων, όπως τα ρευστά λεπτόκοκκα απόβλητα που παράγονται από τη βιομηχανία πετρελαϊκής άμμου ή την απορρύπανση του εδάφους. Τέλος, η χρήση των γεωσυνθετικών για γεωτεχνικούς σκοπούς αποτελεί ένα καλό παράδειγμα ιδιαίτερης κυκλικότητας, καθώς το πετρέλαιο που λαμβάνεται από το υπέδαφος γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας και χρησιμοποιείται για την από κοινού επίτευξη αναπτυξιακών στόχων και την επιστροφή του πόρου στο έδαφος, χωρίς την απελευθέρωση του άνθρακα που περιλαμβάνεται στο γεωσυνθετικό. Είναι μία από τις λίγες εφαρμογές προϊόντων με βάση το πετρέλαιο, όπου το δυναμικό της εκπομπής CO₂ επιστρέφει στο έδαφος (Touze, 2022).

Όπως παρατηρήθηκε προηγουμένως, τα γεωσυνθετικά έχουν σχεδιαστεί για να διαρκούν για δεκαετίες. Όταν έρθει η ώρα της αποδόμησης, η απαίτηση της ανακυκλωσιμότητας εκπληρώνεται πάντα από τα γεωσυνθετικά. Τα σημαντικότερα εμπόδια για την ανακύκλωση ενός γεωσυνθετικού προϊόντος στο τέλος της ζωής του είναι η απόσταση της συγκεκριμένης τοποθεσίας του έργου από την πιθανή εγκατάσταση ανακύκλωσης και ο απαραίτητος καθαρισμός. Η IGS αναφέρει το παράδειγμα μιας εταιρείας που περισυλλέγει γεωμεμβράνες που χρησιμοποιήθηκαν σε περιορισμούς πριν τις παραδώσει σε εταίρους ανακύκλωσης για επεξεργασία με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους. Αυτό συμβάλλει στην αγορά ανακυκλωμένων υλικών, ενώ παράλληλα εκτρέπει τα υλικά από την υγειονομική ταφή (Touze, 2022).

Η μεγαλύτερη χρήση ανακυκλωμένων υλικών για την παραγωγή γεωσυνθετικών είναι δυνατή, αλλά, όπως και για κάθε άλλο προϊόν, πρέπει να προωθηθεί εάν και εφόσον είναι κατάλληλη και χρήσιμη για τους περιβαλλοντικούς μας στόχους, λαμβάνοντας υπόψη το γεωσυνθετικό στην εφαρμογή του και το υψηλότερο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος των χημικά ανακυκλωμένων πολυμερών σε σύγκριση με τα μηχανικά ανακυκλωμένα πολυμερή (Touze, 2022).

Τα γεωσυνθετικά προϊόντα που έχουν σχεδιαστεί για την ενίσχυση της οδικής ασφάλτου και την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των δρόμων μπορούν να κατασκευαστούν από 100% ανακυκλωμένο πλαστικό που προέρχεται από μπουκάλια και τα ίδια τα γεωσυνθετικά προϊόντα μπορούν να ανακυκλωθούν στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους, συνήθως μέσω φρεζαρίσματος και ανακατασκευής (IGS 2021d). Υπάρχουν πολλά σημεία στον κόσμο των γεωσυνθετικών όπου ανακυκλωμένα ρεύματα τροφοδοσίας μπορούν και συνεισφέρουν σήμερα σε μη κρίσιμες εφαρμογές. Καθώς βελτιώνεται η ποιότητα των ανακυκλωμένων ρευμάτων τροφοδοσίας, η χρήση τους

μπορεί να επεκταθεί. Στο «Spotlight on Sustainable Initiatives in Geosynthetics», η IGS αναφέρει εταιρείες που χρησιμοποιούν ανακυκλωμένο περιεχόμενο στα προϊόντα τους συμβάλλοντας έτσι στην εκτροπή από εκατομμύρια πλαστικά μπουκάλια από την απόρριψη σε χώρους υγειονομικής ταφής ή σε υδάτινους δρόμους (Touze, 2022).

Ο κλάδος των γεωσυνθετικών παίζει ολοένα και μεγαλύτερο ρόλο στην αξιοποίηση πολύτιμων υλικών που διαφορετικά θα σπαταλούνταν και θα απορρίπτονταν απρόσεκτα. Τα απόβλητα υλικά υποβαθμίζονται με το χρόνο και μπορεί να περιέχουν ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση του εδάφους. Συνεπώς, η υπεύθυνη επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση, σχεδιασμό και ενδεδειγμένες δοκιμές, ώστε να διασφαλίζεται ότι αποκομίζονται όλα τα οφέλη των κυκλικών πρακτικών, χωρίς να προκαλείται ζημία (Touze, 2022).

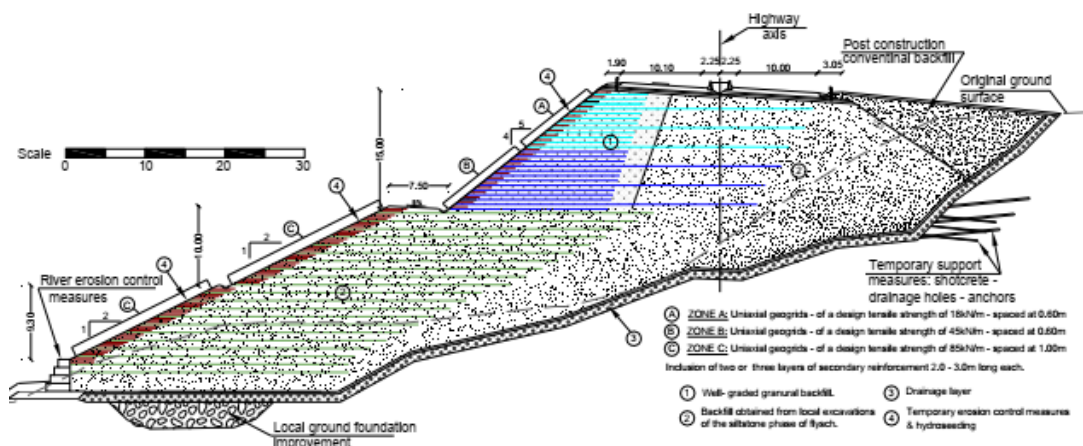
Τα γεωσυνθετικά έχουν, εξ ορισμού, και λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα πλεονεκτήματα που προσφέρουν σε σύγκριση με τις παλαιότερες τεχνολογίες, τη δυνατότητα να αποτελέσουν τον πόρο ανταλλαγής για την αντικατάσταση για παράδειγμα του σκυροδέματος σε διάφορες εφαρμογές, όπως η επένδυση καναλιών και τα αδρανή στην οδοποιία, επιτρέποντας σημαντική εξοικονόμηση κόστους και περιβαλλοντικά οφέλη (Touze, 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Μελέτες περίπτωσης εφαρμογής γεωσυνθετικών υλικών στην Ελλάδα

7.1 Ενίσχυση επιχωμάτων κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων

7.1.1 Ενισχυμένα επιχώματα κατά μήκος της Εγνατίας Οδού

Η Εγνατία Οδός είναι ένας ελληνικός οδικός άξονας με προσανατολισμό από τα δυτικά προς τα ανατολικά, που ξεκινά από το λιμάνι της Ηγουμενίτσας και καταλήγει στη γέφυρα των Κήπων στα ελληνοτουρκικά σύνορα. Κατά μήκος της Εγνατίας Οδού έχουν κατασκευαστεί πολυάριθμα ενισχυμένα αναχώματα, πολλά από τα οποία βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της, το οποίο θεωρείται το πιο δύσκολο για την κατασκευή της. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο υψόμετρο, στις απότομες πλαγιές των βουνών και στον φλύσχη, που είναι ο κυρίαρχος γεωλογικός σχηματισμός στην περιοχή, προκαλώντας σε ορισμένες περιπτώσεις κατολισθήσεις μεγάλης κλίμακας. Ο φλύσχος αντιπροσωπεύει έναν τυπικό δομικά πολύπλοκο γεωλογικό σχηματισμό που περιλαμβάνει διαφορετικές λιθολογικές ενότητες όπως άργιλο, σχιστόλιθο, μάρμες, ιλύολιθους, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή και συνδέεται στενά με την αλπική ορογένεση. Αυτή η πολύπλοκη λιθολογία και δομή σε συνδυασμό με τις δυσμενείς γεωμορφολογικές και κλιματολογικές συνθήκες των περιοχών αυτών προκαλούν σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα. Τα φαινόμενα αστάθειας αναπτύσσονται κυρίως λόγω του πυκνού μανδύα αποσάθρωσης και η κατασκευή δρόμων σε αυτά τα ασταθή ή οριακά σταθερά γεωλογικά χαρακτηριστικά είναι πολύ προβληματική και σε κάθε περίπτωση δύσκολη (Fikiris, 2008). Ένα από τα υψηλότερα ενισχυμένα αναχώματα βρίσκεται κοντά στο Μέτσοβο. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί ένα σχετικά υψηλό και μακρύ ανάχωμα δίπλα στον ποταμό Μετσοβίτικο, υιοθετήθηκε η λύση της κατασκευής ενός ενισχυμένου αναχώματος (Εικόνες 27, 28, 29) (Fikiris, 2008).



Εικόνα 27. Τυπική διατομή ενός ενισχυμένου επιχώματος ύψους 35m κατά μήκος τμήματος μήκους 250m της Εγνατίας οδού στην Ελλάδα, θεμελιωμένο σε σχηματισμό φλύσχη δίπλα σε ποταμό (Fikiris, 2008)



Εικόνα 28. Φωτογραφίες που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενισχυμένου επιχώματος κατά μήκος της Εγνατίας οδού (βλέπε επίσης Σχήμα 2). α) Εκσκαφές θεμελίωσης για την αγκύρωση του επιχώματος - β) τοποθέτηση γεωπλεγμάτων και διαδικασία επίχωσης (Fikiris, 2008)



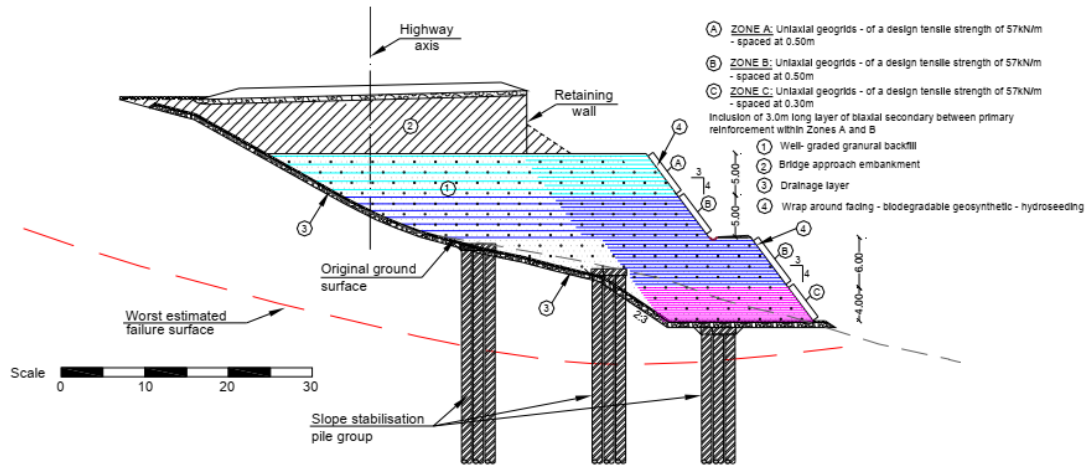
Εικόνα 29. Άποψη της τελικής γεωμετρίας του ενισχυμένου επιχώματος (βλέπε επίσης Σχήμα 2). Έναρξη της ανάπτυξης της βλάστησης. (Fikiris, 2008)

Το ύψους 35 μέτρων ανάχωμα σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε έχοντας στα υψηλότερα τμήματα κλίση πρανών 4:5 (κατακόρυφο : οριζόντιο) ενώ στα χαμηλότερα τμήματα κλίση πρανών 1:2 (κατακόρυφο : οριζόντιο). Μεταξύ των πρανών με διαφορετικές κλίσεις, προβλέφθηκε ένα ανάχωμα πλάτους 7,5 μέτρων. Προβλέφθηκε επίσης ένα στενότερο ανάχωμα στο μέσο του ύψους του χαμηλότερου πρανού με κλίση 1:2. Έγινε πρόβλεψη για στρώση αποστράγγισης βάσης πάχους περίπου 1,00m. Για το ανώτερο, πιο απότομο τμήμα του ενισχυμένου επιχώματος χρησιμοποιήθηκε κοκκώδες επίχωμα, ενώ για το κατώτερο τμήμα του επιχώματος χρησιμοποιήθηκαν τοπικά διαθέσιμα υλικά. Η διατημητική αντοχή αυτών των ακατάλληλων, σε κάθε άλλη περίπτωση, δομικών υλικών ενισχύθηκε με την εισαγωγή γεωσυνθετικών οπλισμών, δηλαδή γεωπλεγμάτων (Fikiris, 2008).

Πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη εφαρμογή γεωπλεγμάτων μονοαξονικού πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας, με μακροπρόθεσμη αντοχή σχεδιασμού, ανάλογα με το υψόμετρο τοποθέτησης, που κυμαίνεται από 18kN/m, 45kN/m έως 85kN/m. Μικρά μήκη ελαφρύτερων διαξονικά προσανατολισμένων γεωπλεγμάτων τοποθετήθηκαν επίσης μεταξύ των πρωτογενών οπλισμών, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διόγκωση της όψης και οι τοπικές καταρρεύσεις εδαφικών σωματιδίων (Fikiris, 2008). Ωστόσο, δεν έγινε πρόβλεψη για ειδικές μονάδες επένδυσης, εκτός από την τοποθέτηση στο εξωτερικό πρανές ενός προσωρινού - βιοδιασπώμενου γεωσυνθετικού, το οποίο βοήθησε στην ανάπτυξη της βλάστησης μετά την υδροσπορά (Fikiris, 2008).

Λίγα χιλιόμετρα μετά το ενισχυμένο ανάχωμα που περιγράφηκε προηγουμένως, η χάραξη της Εγνατίας οδού διέρχεται από κατολισθήσεις μεγάλης κλίμακας. Λόγω αυτής της γεωτεχνικής ιδιαιτερότητας καθώς και των περιορισμών χώρου σχεδιάστηκαν λύσεις με μια σειρά από ενισχυμένα επιχώματα προκειμένου να αντιμετωπιστεί τόσο η γεωμετρία της ευθυγραμμίας όσο και η σταθεροποίηση των πρανών (Εικόνα 30). Τα ίδια τα ενισχυμένα επιχώματα παρέχουν, σε συνεργασία με άλλα μέτρα αποστράγγισης (π.χ. ένα πλέγμα κατακόρυφων φρεατίων αποστράγγισης από την επιφάνεια μέχρι μια θαμμένη χαλκώδη κοίτη ποταμού), ένα μέσο σταθεροποίησης που λειτουργεί ως βαρίδιο για τους πόδες του πρανού. Τυπικές διατομές των γεωμετριών των ενισχυμένων αναχωμάτων παρουσιάζονται στην Εικόνα 30. Ως ενισχύσεις χρησιμοποιήθηκαν γεωπλέγματα μονοαξονικού πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας. Για τα τμήματα των επιχωμάτων που έχουν εξωτερική κλίση πρανών άνω των 45° υιοθετήθηκε η λύση της

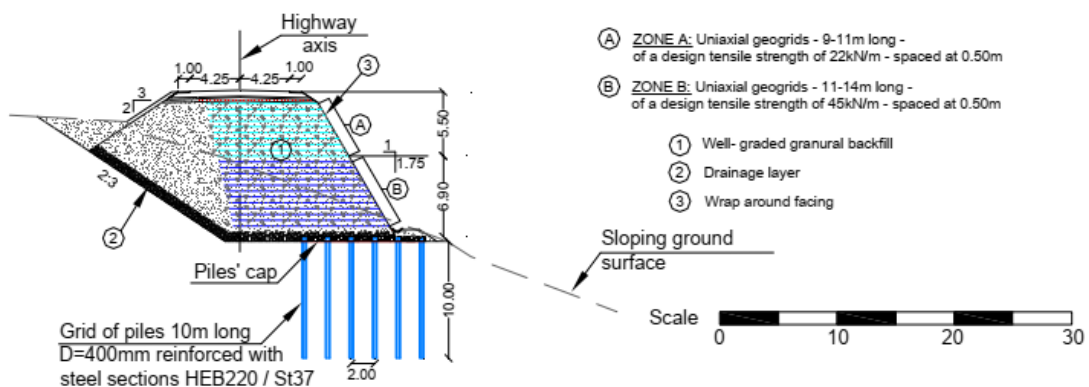
περιτύλιξης. Μετά την ολοκλήρωση των επιχωμάτων καθορίστηκε μεταγενέστερη υδροσπορά, η οποία ενισχύθηκε επίσης με βιοδιασπώμενα γεωσυνθετικά (Fikiris, 2008).



Εικόνα 30. Τυπικές διατομές ενισχυμένων επιχωμάτων αυτοκινητοδρόμων κατά μήκος της Εγνατίας οδού που σχεδιάστηκαν επίσης ως μέτρα σταθεροποίησης πρανών παρέχοντας στάθμιση των πόδων του πρανούς προς τα κάτω. (Fikiris, 2008).

7.1.2 Ενισχυμένο ανάχωμα κατά μήκος της εθνικής οδού Άρτας - Τρικάλων

Κατά μήκος ενός τμήματος μήκους 60 μέτρων της εθνικής οδού Άρτας - Τρικάλων, λίγο πριν από την είσοδο της σήραγγας Αγίας Κυριακής, η τοπική γεωμορφολογία της απότομης επιφάνειας καθόρισε την ανάγκη κατασκευής ενός ενισχυμένου επιχώματος (Εικόνες 32 και 33).



Εικόνα 31. Τυπική διατομή ενισχυμένου επιχώματος ύψους 13,0m, θεμελιωμένου σε έδαφος με απότομη κλίση σε τμήμα μήκους 60m της εθνικής οδού Άρτας - Τρικάλων στην Ελλάδα. (Fikiris, 2008).



Εικόνα 32. Άποψη της τελικής γεωμετρίας του ενισχυμένου επιχώματος κατά μήκος τμήματος της εθνικής οδού Άρτας – Τρικάλων (Fikiris, 2008).

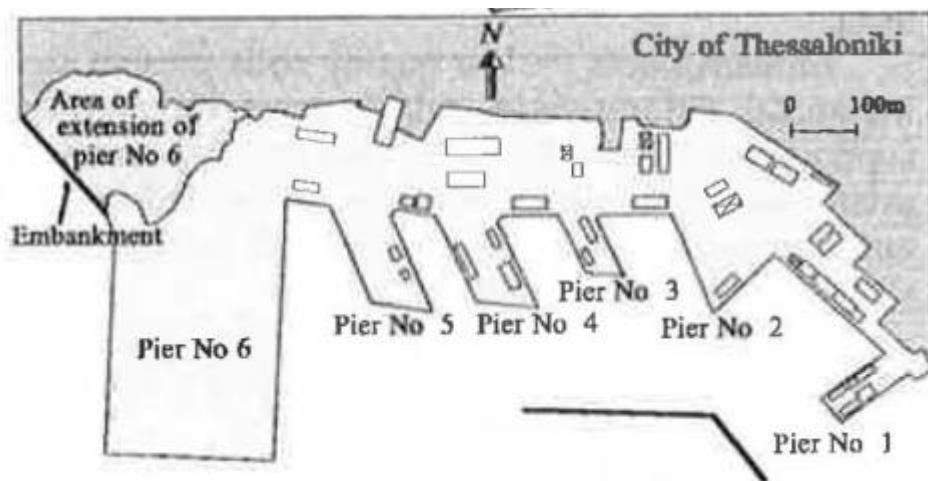
Επιλέχθηκε η χρήση επιχώματος με απότομη όψη και πλευρική κλίση 1,75:1 (κάθετα : οριζόντια) για να μειωθεί ο καταλαμβανόμενος χώρος στη βάση του. Χρησιμοποιήθηκαν μονοαξονικά γεωπλέγματα ως πρωτεύοντες οπλισμοί και υιοθετήθηκε μια τυπική λεπτομέρεια περιτύλιξης της όψης του πλέγματος. Οι τιμές μακροχρόνιας αντοχής σχεδιασμού των οπλισμών καθορίστηκαν από 22kN/m για τα υψηλότερα επίπεδα του επιχώματος έως 45kN/m για τα χαμηλότερα επίπεδά του. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής ανεγέρθηκε ένα ελαφρύ, προσωρινό ικρίωμα με ευρέως διατεταγμένες σανίδες για τον καθορισμό της γεωμετρίας του επιχώματος. Οι μονοαξονικές στρώσεις πρωτογενούς οπλισμού πλέγματος κόπηκαν στο μήκος σχεδιασμού και τοποθετήθηκαν οριζόντια πάνω σε συμπυκνωμένο επίχωμα με τον μακρύ άξονά τους να τρέχει κάθετα προς την επιφάνεια (Fikiris, 2008).

Οι εξωτερικοί υπολογισμοί ευστάθειας του πρανούς έδειξαν την ανάγκη βελτίωσης της θεμελίωσης, καθώς εκτιμήθηκαν μη ικανοποιητικοί συντελεστές ασφαλείας. Για το λόγο αυτό, το μισό εξωτερικό τμήμα της οπλισμένης θεμελίωσης του επιχώματος βελτιώθηκε με ένα πλέγμα μικροπασσάλων σκυροδέματος μήκους 10m, οπλισμένων με χαλύβδινη διατομή HEB220/St37 που διατάχθηκαν σε πλέγμα 2,0x2,0m. Κατά μήκος της βάσης καθορίστηκε στρώμα αποστράγγισης πάχους περίπου 0,8m, προκειμένου να αποφευχθούν υψηλές πιέσεις πόρων εντός του ίδιου του επιχώματος. Για το κοκκώδες υλικό της στρώσης αποστράγγισης καθορίστηκε ομοιόμορφη κοκκομετρική

κατανομή με εύρος κοκκομετρικών διαστάσεων μεταξύ 5 - 150mm με μέγιστο ποσοστό λεπτόκοκκων ($d < 0,076$ mm) μικρότερο από 10%. Επιπλέον, για την αποφυγή μελλοντικής απόφραξης του εν λόγω στρώματος αποστράγγισης, καθορίστηκε ένα φίλτρο πάνω από αυτό με επίσης ομοιόμορφη κοκκομετρική κατανομή με εύρος κοκκομετρικών μεγεθών μεταξύ 0 - 50mm με μέγιστο ποσοστό λεπτόκοκκων ($d < 0,076$ mm) μικρότερο από 10% (Fikiris, 2008). Τέλος, για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ζητημάτων καθορίστηκε λύση φύτευσης με τη μέθοδο της υδροσποράς μετά την τοποθέτηση βιοαποικοδομήσιμου γεωσυνθετικού υλικού.

7.2 Παράκτιο ανάχωμα σε ακατάλληλο έδαφος: Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης

Στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης ήταν αναγκαία τα έργα επέκτασης των δραστηριοτήτων του βου προβλήτα. Ωστόσο, η περιοχή των έργων αποτελείται από κακό έδαφος με έντονες αποθέσεις ρυπασμένων υλικών, λόγω της λειτουργίας βυρσοδεψείων επί σειρά ετών στην ευρύτερη περιοχή (Profillidis et al, 1996).



Εικόνα 33. Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης (Profillidis et al., 1996).

Η πρώτη ιδέα για την αντιμετώπιση του προβλήματος, ήταν η αντικατάσταση της μολυσμένης περιοχής συνολικής επιφάνειας 300000m² σε βάθος 2m. Το ενδεχόμενο αυτό απορρίφθηκε για δύο λόγους (Profillidis et al, 1996):

1. Κυρίως για περιβαλλοντικούς κινδύνους: μείωση του οξυγόνου στο θαλάσσιο νερό και μείωση της θνησιμότητας των μικρών ψαριών και της χλωρίδας.
2. Το κόστος της αντικατάστασης σε μια μεγάλη περιοχή δεν πρέπει να υποτιμηθεί.

Για τους παραπάνω λόγους, είναι προτιμότερο να μην διαταραχθεί η υφιστάμενη κατάσταση στον πυθμένα. Για να διασφαλιστεί η διατήρηση του περιβάλλοντος και η ενίσχυση της ποιότητας του εδάφους, έχουν χρησιμοποιηθεί γεωφάσματα.

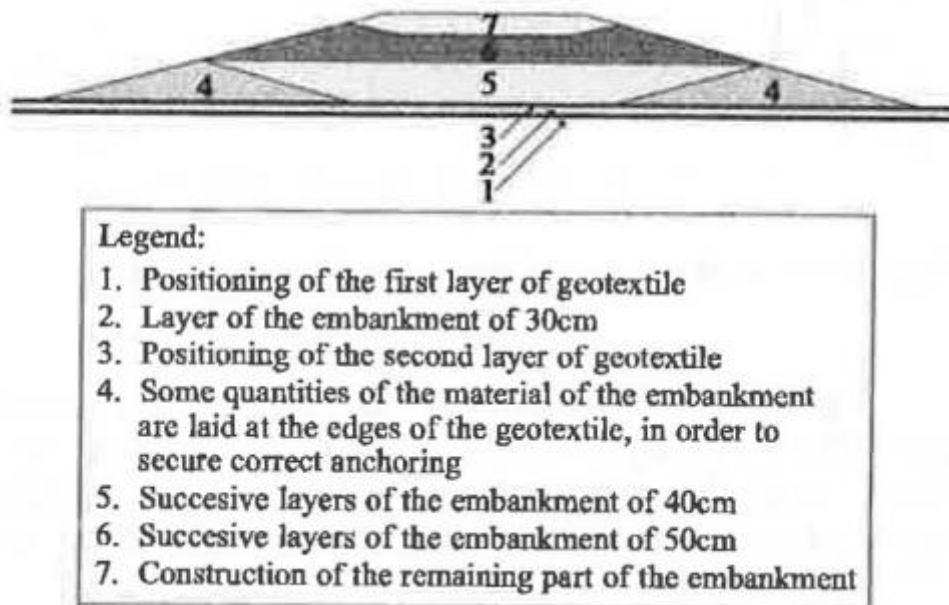
Τα επιχώματα σε εδάφη χαμηλής ποιότητας παρουσιάζουν έντονες οριζόντιες παραμορφώσεις, οι οποίες πρέπει να υποστηρίζονται επαρκώς από το έδαφος. Εάν το έδαφος δεν έχει την κατάλληλη αντοχή, τότε μπορεί να προκληθεί τοπική ή συνολική αστοχία του επιχώματος. Η χρήση γεωφασμάτων μπορεί να μειώσει σημαντικά ένα τέτοιο γεγονός (Profillidis et al, 1996). Έτσι, το γεωφάσμα που χρησιμοποιείται στην περιοχή των έργων επέκτασης του λιμένα Θεσσαλονίκης πληροί τις ακόλουθες λειτουργίες (Profillidis et al, 1996):

- Αύξηση των συνθηκών αποστράγγισης
- ενίσχυση της ανθεκτικότητας του εδάφους
- αύξηση της σταθερότητας του αναχώματος

Η κατασκευή του έργου πραγματοποιήθηκε με την ακόλουθη διαδικασία:

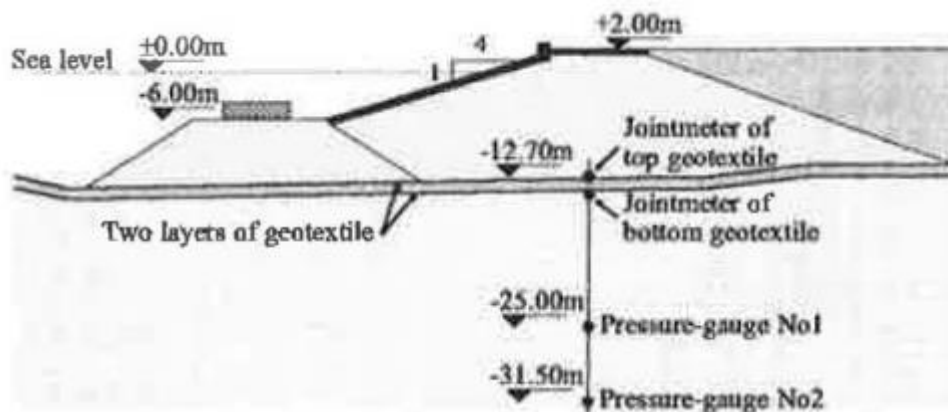
- εκσκαφή στρώματος βάθους 1m, προκειμένου να εξομαλυνθεί ο πυθμένας και να βελτιωθεί η θεμελίωση του αναχώματος
- τοποθέτηση συσκευών για την παρακολούθηση των πιέσεων που ασκούνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής
- τοποθέτηση της πρώτης στρώσης του γεωφάσματος
- τοποθέτηση συσκευών για την παρακολούθηση των παραμορφώσεων του γεωφάσματος
- κατασκευή της πρώτης στρώσης του επιχώματος πάχους 30 cm
- τοποθέτηση της δεύτερης στρώσης του γεωφάσματος
- κατασκευή του επιχώματος με τοποθέτηση διαδοχικών στρώσεων πάχους κάθε φορά περίπου 50cm
- τοποθέτηση συσκευών για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων και των τάσεων του επιχώματος

Στην Εικόνα 34 απεικονίζονται τα διαδοχικά στάδια κατασκευής του επιχώματος. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στη σωστή και μόνιμη αγκύρωση του γεωφάσματος (Profillidis et al, 1996).



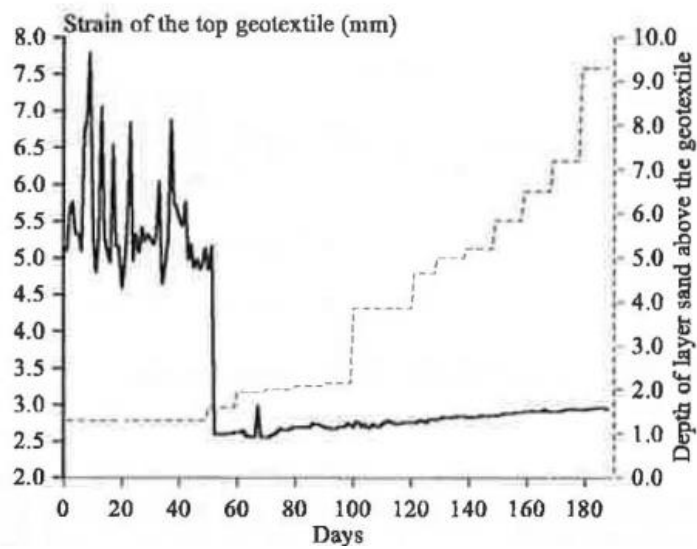
Εικόνα 34. Κατασκευή του επιχώματος (Profillidis et al., 1996).

Στην Εικόνα 35 απεικονίζεται η θέση, όπου τοποθετούνται οι κατάλληλες συσκευές για την παρακολούθηση της εξέλιξης της τάσης του γεωφάσματος και της πίεσης πόρων του εδάφους κάτω από το γεωφάσμα. (Profillidis et al, 1996).



Εικόνα 35. Τυπικό προφίλ του αναχώματος (Profillidis et al., 1996).

Στην Εικόνα 36 απεικονίζεται η τάση στο ανώτερο στρώμα του γεωφάσματος. Βλέπουμε ότι η καμπύλη ομαλοποιείται μετά από 50 ημέρες, όταν μια δεύτερη στρώση άμμου 60 cm τοποθετείται πάνω στην πρώτη στρώση 130 cm.



Εικόνα 36. Ενδείξεις του μετρητή αρμών στερεωμένου στην ανώτερη στρώση γεωυφάσματος(Profillidis et al., 1996).

Όσον αφορά την παραμόρφωση στην κάτω στρώση του γεωυφάσματος είναι πιο ομοιογενής και δεν εξαρτάται από τη στρώση άμμου που τοποθετείται πάνω στο ανώτερο γεωύφασμα (Profillidis et al, 1996).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη, γίνεται μια λεπτομερής επισκόπηση των γεωσυνθετικών υλικών που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά δομικά υλικά στη σταθεροποίηση του εδάφους. Τα γεωσυνθετικά έχουν αναδειχθεί ως απαραίτητα υλικά στις σύγχρονες κατασκευές και στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Ο πολύπλευρος ρόλος τους συμβάλλει στην ανθεκτικότητα, την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα των τεχνικών έργων. Πολλές έρευνες τονίζουν τον κομβικό ρόλο που διαδραματίζουν τα γεωσυνθετικά στη σύγχρονη μηχανική, τις κατασκευές και τις περιβαλλοντικές εφαρμογές. Με τη διερεύνηση των διαφόρων τύπων, λειτουργιών και χρήσεων των γεωσυνθετικών, η παρούσα μελέτη υπογραμμίζει την ευελιξία και την αποτελεσματικότητά τους στην αντιμετώπιση ενός ευρέος φάσματος τεχνικών προκλήσεων. Καθώς περιηγούμαστε στις πολυπλοκότητες των σύγχρονων κατασκευών και της περιβαλλοντικής διαχείρισης, τα γεωσυνθετικά ξεχωρίζουν ως απαραίτητα εργαλεία, προσφέροντας ανθεκτικές και βιώσιμες λύσεις.

Μελλοντικές μελέτες μπορούν να επικεντρωθούν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων, την τελειοποίηση των κατευθυντήριων γραμμών σχεδιασμού και τη διερεύνηση νέων εφαρμογών για τα γεωσυνθετικά. Οι εφαρμογές τους επιφέρουν κοινά οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλα γεωτεχνικά υλικά κατασκευής. Συμβάλλουν, επίσης, στην επαναχρησιμοποίηση υλικών κακής ποιότητας, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων αποβλήτων, συμβάλλοντας στη μηχανική ή υδραυλική απόδοση της προκύπτουσας κατασκευής. Αυτό αποτελεί μια πρώτη συμβολή στην κυκλική οικονομία.

Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές έχουν εργαστεί στον τομέα της περιβαλλοντικής ανάλυσης της δόμησης με γεωσυνθετικά, αποτιμώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους σε γεωτεχνικά, υδραυλικά και αντιδιαβρωτικά έργα. Η χρήση τους διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στα συστήματα αποστράγγισης, καθώς διευκολύνει την αποτελεσματικότερη ροή του νερού, αποφεύγοντας περιπτώσεις διάβρωσης του εδάφους. Σημαντικό ρόλο παίζουν, επίσης, στον περιορισμό και στη διαχείριση των αποβλήτων για την πρόληψη της περιβαλλοντικής μόλυνσης και κατ' επέκταση την προώθηση της ανάπτυξης της χλωρίδας.

Η συνεχής πρόοδος που σημειώνεται στον τομέα κατασκευής των γεωσυνθετικών υλικών συμβάλλει στη συνεχή βελτίωση της ποιότητάς τους. Μέσω της συνεχούς προσπάθειας που καταβάλλεται για τη βελτίωση των πρακτικών, την παροχή υλικών

υψηλών επιδόσεων, μακράς διάρκειας και περιβαλλοντικά ορθών, ο κλάδος των γεωσυνθετικών υλικών, αποτελεί σημαντικό κλάδο συμβολής προς την κατεύθυνση της επίτευξης των στόχων της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amiri A, Tafreshi SN, Dawson AR. Vibration response of machine foundations protected by use of adjacent multi-layer geocells. *Geotext Geomembr.* 2023;51(4):15–35. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2023.03.001>.
2. ASTM International, (2014), Annual Book of ASTM Standards, Section 4 – Construction, Volume 04.13 – Geosynthetics.
3. Blanco, M., Mateo, B., Cazzuffi, D., Crespo, M. (2017a). “Lining of reservoirs with synthetic membranes”. *Proceedings Geofrafrica 2017*, Marrakech, Morocco, pp. 113-153.
4. Cazzuffi, D., Giroud, J.P., Scuero, A. and Vascetti, G. (2010). Geosynthetic barriers systems for dams. Keynote Lecture, *Proceedings of the 9th International Conference on Geosynthetics*, 9 ICG, Guarujá, Brazil, Vol. 1, 115–163
5. Chatrabhuj, Meshram, K. (2024). Use of geosynthetic materials as soil reinforcement: an alternative eco-friendly construction material. *Discov Civ Eng* 1, 41 <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00050-6>
6. Chen JF, Guo XP, Xue JF, Guo PH. Load behaviour of model strip footings on reinforced transparent soils. *Geosynth Int.* 2019;26(3):251–60. <https://doi.org/10.1680/jgein.19.00003>
7. Damians, I. P., Bathurst, R. J., Olivella, S., Lloret, A., and Josa, A. (2021). 3D Modelling of Strip Reinforced MSE walls. *Acta Geotech.* 16 (3), 711–730. doi:10.1007/s11440-020-01057-w
8. Elias, V., Yuan, Z., Swan, R. H. and Bachus, R. C. (1998), ‘Development of protocols for confined extension/creep testing of geosynthetics for highway applications’, Publication FHWA-RD-97-143, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC
9. Fikiris I. (2008), "Design and construction of high-reinforced motorway embankments in Greece: Experiences and lessons learned", *EuroGeo4*, Edinburgh 2008. <https://library.geosyntheticssociety.org/wp-content/uploads/resources/proceedings/D.07%20Design%20and%20Construction%20of%20High-Reinforced%20Motorway%20Embankments%20in%20Greece%20Experiences%20and%20Lessons%20Learned.pdf>

10. GEOFABRICS 2024
<https://geofabrics.com/wp-content/uploads/2024/02/Introduction-to-Geosynthetics.pdf>
11. Geotechnical Design Manual 2022 Chapter 20: Geotechnical Design
<https://www.scdot.org/content/dam/scdot-legacy/business/pdf/geotech/2022-by-chapter/Chapter20-GeosyntheticDesign-11082021.pdf>
12. Giroud, J. P. (1994), ‘Quantification of geosynthetic behavior’, Proceedings of the 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, September 1994, International Geosynthesis Society, South East Asia Chapter, Singapore, pp. 1249–1273
13. GMA 2016 Handbook of Geosynthetics https://geosynthetics.textiles.org/wp-content/uploads/sites/10/2016/06/gma_handbook.pdf
14. Greenwood, J. H. and Myles, B., “Creep and Stress Relaxation of Geotextiles,” Proceedings of the Third International Conference on Geotextiles, Vienna, Austria, III, 1986, 821-826.
15. Holtz, R. D., Christopher, B. R., and Berg, R.R., (2008), Geosynthetic Design and Construction Guidelines, (FHWA NHI-07-092), U.S. Department of Transportation, National Highway Institute, Federal Highway Administration, Washington D.C
<https://www.ijaar.org/articles/Volume4-Number11/Sciences-Technology-Engineering/ijaar-ste-v4n10-oct18-p25.pdf>
16. IGS (2021c). “Did You Know... choosing geosynthetics offers the best of both worlds in cost effectiveness and sustainability”, https://www.geosyntheticssociety.org/wp-content/uploads/2021/10/IGS_DidYouKnow4_CostSustainability_web.pdf
17. IGS (2021d). “Did You Know?... the enduring durability of geosynthetics saves resources, time and costs”. <https://www.geosyntheticssociety.org/did-you-know-the-enduring-durability-of-geosynthetic>
18. IGS International Geosynthetics Society Γεωσυνθετικά Υλικά σε Ανεπίστρωτες Οδούς (2023a)
<https://library.geosyntheticssociety.org/educational-documents/unpaved-roads-gr/>
19. IGS International Geosynthetics Society Γεωσυνθετικά Υλικά σε Πρανή επί Σταθερού Εδάφους (2023c)
<https://library.geosyntheticssociety.org/educational-documents/slopes-over-stable-foundations-gr/>

20. IGS International Geosynthetics Society Γεωσυνθετικά Υλικά σε Σιδηροδρομικά Έργα: Εφαρμογές & Οφέλη (2023b)
<https://library.geosyntheticssociety.org/educational-documents/geosynthetics-in-railways-gr/>
21. Jang YS, Kim B, Lee JW. Evaluation of discharge capacity of geosynthetic drains for potential use in tunnels. *Geotext Geomembr.* 2015;43(3):228–39.
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.03.001>
22. Jones, D.R.V. (2015). “Using Geosynthetics for Sustainable development”. Proceedings The 2nd International GSI-Asia Geosynthetics conference (GSI-Asia 2015), Seoul, Korea, 4p
23. Kilic IE, Cengiz C, Edincliler A, Guler E. Seismic behavior of geosynthetic-reinforced retaining walls backfilled with cohesive soil. *Geotext Geomembr.* 2021;49(5):1256–69. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2021.04.004>.
24. Koerner, R. M. (2006), *Designing with geosynthetics*, 5th edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 816 pp
25. Li Y, You ZJ, Ma Y, Ren B. Quantitative assessment of the shoreline protection performance of geotextile sandbags at an in-situ coastal experimental station. *Geotext Geomembr.* 2023;51(3):371–80. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2023.01.001>
26. Long PV, Bergado DT, Abuel-Naga HM. Geosynthetics reinforcement application for tsunami reconstruction: evaluation of interface parameters with silty sand and weathered clay. *Geotext Geomembr.* 2007;25(4–5):311–23.
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2007.02.007>
27. McGown, A. and Kupec, J. (2004), ‘A new approach to the assessment of the behavior of geogrids subject to biaxial loading’, in *Proceedings of the 3rd European Geosynthetics Conference, (EuroGeo 3), Munich, Germany, 1–3 March 2004*, Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, Munich
28. Mittal Ayush, 2018 "Geosynthetics: An Overview", *IJSRSET*, , Vol. 4, PP. 231-238, Print ISSN: 2395-1990, Online ISSN: 2394-4099.
29. Neves J, Lima H, Gonçalves M. A numerical study on the implications of subgrade reinforcement with geosynthetics in pavement design. *Proc Eng.* 2016;143:888–95.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.151>
30. Noval, A., Blanco, Castillo, F., Leiro, A., Mateoa, B., Zornberg, J.G., Aguiar, E., Torregrosa, J.B., Redón, M. (2014b). “Long-term performance of the HDPE

- geomembrane at the “San Isidro” reservoir”. Proceedings 10th International Conference on geosynthetics, Berlin, Germany, 8 p.
31. Oyegbile BO, Oyegbile BA. Applications of geosynthetic membranes in soil stabilization and coastal defence structures. *Int J Sustain Built Environ.* 2017;6(2):636–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.04.001>.
 32. Palmeira, E. M., Araújo, G. L. S., & Santos, E. C. G. (2021). Sustainable Solutions with Geosynthetics and Alternative Construction Materials—A Review. *Sustainability*, 13(22), 12756. <https://doi.org/10.3390/su132212756>
 33. Palmeira, E.M., Tatsuoka, F., Bathurst, R.B., Stevenson, P.E., and Zornberg, J.G. (2008). “Advances in Geosynthetics Materials and Applications for Soil Reinforcement and Environmental Protection Works.” *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 13, Special Issue State of the Art in Geotechnical Engineering, December, pp. 1-38.
 34. Peggs, I.D. (2008). “Observations and thoughts on the performance of polypropylene geomembrane liners and floating covers: towards improved specifications”. Proceedings Eurogeo4, 4th European Conference on geosynthetics, Edinburgh, Scotland, UK, 7p
 35. Pelyk, L.V.; Vasylechko, V.O.; Kyrychenko, O.V. Influence of Biodestructors on the Wear Resistance of Polyester Geotextile Materials. *Colloids and Interfaces* **2019**, 3, 21.
 36. Perkins W. S. (2006) Chapter 2: The material properties of geosynthetics. In: *Geosynthetics in civil engineering*. (eds: Sarsby, R. W). Woodhead Publishing.
 37. Perkins, S. W., Christopher, B. R., Cuelho, E. L., Eiksund, G. R., Hoff, I., Schwartz, C. W., Svanø, G. and Watn, A. (2004), ‘Development of design methods for geosynthetic reinforced flexible pavements’, FHWA Report DTFH61-01-X-00068, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, 263 pp
 38. Profillidis V. G. Botzoris, A. Grigoriadis Coastal embankment on bad soil: The port of Thessaloniki, In: *Geosynthetics: Applications, Design and Construction*, Oe Groot, Den Hoedt & Termaat (eds) 1996 Balkema, Rotterdam. ISBN 90 54108363
 39. Pritchard, M., Sarsby, R. W., & Anand, S. C. (2000). *Handbook of Technical Textiles*. *Handbook of Technical Textiles*. <https://doi.org/10.1533/9781855738966.372>

40. Rajabian A, Viswanadham BVS, Ghiassian H, Salehzadeh H. Centrifuge model studies on anchored geosynthetic slopes for coastal shore protection. *Geotext Geomembr.* 2012;34:144–57. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2012.06.001>
41. Rawal, A.; Shah, T.; Anand, S. Geotextiles in civil engineering. In *Handbook of Technical Textiles*; Elsevier:Amsterdam, The Netherlands, 2016; pp. 111–133
42. Rimoldi, P., M. Lelli, P. Pezzano, and F. Trovato. 2021. “Geosynthetic reinforced soil structures for slope stabilization and landslide rehabilitation in Asia.” In *Understanding and reducing landslide disaster risk*, 397–404. Berlin: Springer.
43. Robinson WJ, Howard IL. Implications of incorporating geosynthetics in airfield pavements. *Transport Geotech.* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100533>.
44. Salah, H. (2020). Technical specifications of geotextile and applications in marine works. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 07(01) 385-395
45. Sheng T, Bian X, Xiao C, Chen Y, Liu G, Li Y. Experimental study on a geosynthetics isolator for the base vibration isolation of buildings neighboring metro transportation. *Geotext Geomembr.* 2021;49(4):1066–78. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2021.03.001>
46. Shukla, S. (2016.) *An Introduction to Geosynthetic Engineering*, Taylor & Francis Group, London, UK
47. Sitharam et al., (2020) *Sustainable Water Resource Development Using Coastal Reservoirs*, 1st Edition, ISBN:9780128180020, Butterworth-Heinemann, 3rd August 2020, Elsevier Book.
48. Stepanovic, J.M.; Trajkovic, D.; Stojiljkovic, D.; Djordjic, D. Predicting the behavior of nonwoven geotextile materials made of polyester and polypropylene fibers. *Text. Res. J.* **2016**, *86*, 1385–1397.
49. Touze N. (2022) The role of geosynthetics in sustainable development and the circular economy. Université Paris-Saclay, INRAE, France <https://www.geosyntheticssociety.org/wp-content/uploads/2022/10/Touze-Bologna-2022.pdf>
50. Venkatappa Rao, G., & Banerjee, P. K. (1997). Geosynthetics: Recent developments. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 22(4), 318–336
51. Voskamp W & Retlaff J 2022 Geosynthetics, sustainability, durability and the environment <https://www.vakbladgeotechniek.nl/files/2022-04-P38-Voskamp.pdf>

52. Wallace, R.B. (2008). “Floating covers for potable water reservoirs - Two case histories”. Proceedings Geoamericas, The first Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition, Cancun, pp. 1667-1672
53. Watanabe K, Nakajima S, Fujii K, Matsuura K, Kudo A, Nonaka T, Aoyagi Y. Development of geosynthetic-reinforced soil embankment resistant to severe earthquakes and prolonged overflows due to tsunamis. Soils Found. 2020;60(6):1371–86. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.08.006>
54. Zornberg JG, Azevedo M, Sikkema M, Odgers B. Geosynthetics with enhanced lateral drainage capabilities in roadway systems. Transport Geotech. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2017.08.008>
55. Zornberg, J.G., and Christopher, B.R. (2007). “Chapter 37: Geosynthetics.” In: The Handbook of. Groundwater Engineering, 2nd Edition, Jacques W.Delleur (Editor in Chief), CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida
56. Τσατσανίφορ, Χ. & Παπαδημητρίου Α. (2017). Γεωσυνθετικά Υλικά http://users.ntua.gr/gbouck/download/special_topics_of_foundation_engineering-8_16.pdf