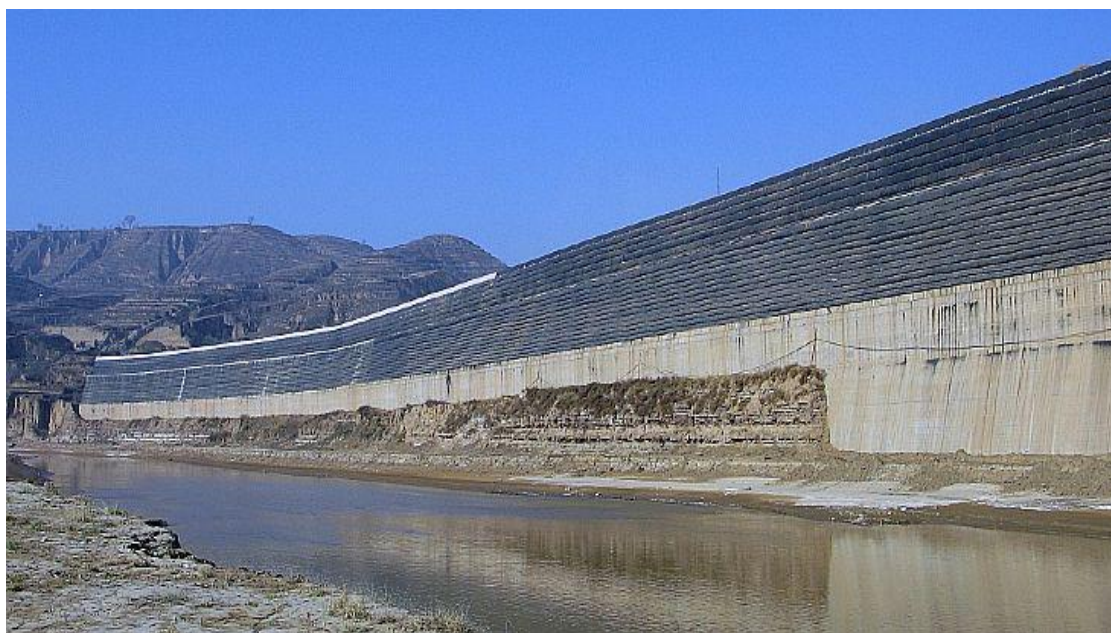


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**



**ΜΠΑΡΚΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ**

**ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ**

**ΣΟΦΙΑΝΟΣ ΜΑΡΚΟΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΩΡΓΟΣ ΖΗΣΙΜΑΤΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2012**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η τεχνολογία της όπλισης και ενίσχυσης του εδάφους με χρήση γεωσυνθετικών υλικών άρχισε να αναπτύσσεται από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, αν και οι θεμελιώδεις αρχές της μεθόδου είναι απλές και εύκολα κατανοητές και έχουν χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο επί χιλιετηρίδες. Η αναγνώριση και το ενδιαφέρον από τη διεθνή κοινότητα των Πολιτικών Μηχανικών για αυτήν τη μέθοδο βελτίωσης της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους αυξήθηκαν θεαματικά κατά τη δεκαετία του 1980 ως αποτέλεσμα της αποδεδειγμένης τεχνικής και οικονομικής επιτυχίας των εφαρμογών της πράξης.

Η ονομασία των γεωσυνθετικών υλικών προέρχεται από τη σύνθεση των λέξεων γεω- (γη- έδαφος) και – συνθετικό που σημαίνει κάτι το τεχνητό ή το βιομηχανοποιημένο. Η πρώτη λέξη (γη) δείχνει τον προορισμό, δηλαδή τα εδάφη, τις γεωκατασκευές και η δεύτερη τη σύσταση των υλικών, από πλαστικά ή πολυμερή προϊόντα. Τα βασικότερα πολυμερή υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γεωσυνθετικών υλικών είναι: το πολυαιθυλένιο (PE) υψηλής (HDPE) ή χαμηλής (LDPE) πυκνότητας, το πολυπροπυλένιο (PP), ο πολυεστέρας (PET) και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC). Τα κύρια αυτά υλικά που συνίσταται, κατά κύριο λόγο, από οργανικές ενώσεις, στοιχεία υδρογόνου και ορισμένες φορές, στοιχεία αζώτου και χλωρίου, αποτελούν παράγωγα του άνθρακα και του πετρελαίου.

Η χρήση των γεωσυνθετικών υλικών για την ενίσχυση των εδαφών βρίσκει εφαρμογή ως εναλλακτική μέθοδος που αντικαθιστά τις κλασικές μεθοδολογίες. Στην αύξηση αυτή συμβάλλουν αναμφίβολα αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μεθόδων, όπως : (α) η χρήση απλών και γρήγορων κατασκευαστικών μεθόδων χωρίς ιδιαίτερα εργοταξιακά μέσα, (β) η μη-απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού, και (γ) η οικονομικότητά τους.

Υπάρχουν επτά (7) διαδεδομένα είδη γεωσυνθετικών υλικών: γεωϋφάσματα, γεωπλέγματα, γεωδίκτυα, γεωμεμβράνες, γεωαφροί, γεωσύνθετα και γεω-άλλα (μια πολυσυλλεκτική κατηγορία που εμπεριέχει τα υλικά που δεν ανήκουν στις υπόλοιπες έξι κατηγορίες). Ανάλογα με το είδος τους και τον τύπο της γεωτεχνικής κατασκευής, τα υλικά αυτά επιτελούν πέντε (5) βασικές λειτουργίες (ή συνδυασμό αυτών): όπλιση, στράγγιση, διαχωρισμό, φίλτρο και στεγάνωση. Το ενδιαφέρον στην παρούσα εργασία εντοπίζεται στη λειτουργία όπλισης, την οποία προσφέρουν τα γεωσυνθετικά υλικά, λειτουργώντας ως οπλισμός μέσω του μηχανισμού διάτμησης και του μηχανισμού αγκύρωσης τους στο περιβάλλον έδαφος.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σελίδα Τίτλου.....	i
Πρόλογος.....	ii
Πίνακας περιεχομένων.....	iii
Κατάλογος σχημάτων.....	vi
Κατάλογος πινάκων.....	x
Ευχαριστίες – Αναγνωρίσεις.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ I: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Πεδίο εφαρμογής γεωσυνθετικών υλικών.....	1
1.2 Ιστορικά στοιχεία.....	2
1.3 Εφαρμογές γεωσυνθετικών σε κατασκευές οδοποιίας.....	7
1.3.1 Αποστράγγιση.....	7
1.3.2 Προστασία έναντι επιφανειακής διάβρωσης-συγκράτησης.....	8
1.3.3 Οπλισμός-Ενίσχυση.....	9
1.3.4 Διαχωρισμός.....	11
1.3.5 Προστασία.....	11
1.3.6 Επένδυση.....	12
1.3.7 Στεγάνωση.....	12
1.4 Εφαρμογές Αντιστήριξης Γαιών.....	13
1.5 Εφαρμογές Αναχωμάτων και Φραγμάτων.....	19
1.6 Εφαρμογές Θεμελιώσεων.....	21
1.7 Βιομηχανικές Εφαρμογές.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ II: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	27
2.1 Γεωφάσματα.....	27
2.1.1 Πρώτες ύλες, μέθοδοι κατασκευής και τύποι γεωφασμάτων....	28
2.2 Γεωμεμβράνες.....	33
2.2.1 Πρώτες ύλες, μέθοδοι κατασκευής και τύποι γεωμεμβρανών....	33
2.3 Γεωπλέγματα.....	37
2.3.1 Πρώτες ύλες, μέθοδοι κατασκευής και τύποι γεωπλεγμάτων....	38

2.4	Περίληψη.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ III: ΠΡΟΤΥΠΑ-ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ 41		
3.1	Μηχανικές ιδιότητες γεωσυνθετικών υλικών.....	41
3.1.1	Πρότυπο ASTM D4595: Ιδιότητες εφελκυσμού γεωυφασμάτων..... με τη μέθοδο πλατειάς λωρίδας.....	41
3.1.2	Πρότυπο ASTM D4632: Φορτίο θραύσης και επιμήκυνση θραύσης γεωυφασμάτων με τη μέθοδο μερικού εφελκυσμού (grab).....	50
3.1.3	Πρότυπο ASTM D 4533 : Αντοχή σε σχισμό τραπεζοειδούς δοκιμίου γεωυφάσματος.....	56
3.1.4	Πρότυπο ASTM D4833 : Δείκτης αντίστασης σε διάτρηση γεωυφασμάτων, γεωμεμβρανών και συναφών προϊόντων.....	62
3.1.5	Πρότυπο ASTM D5494 : Μέθοδος Προσδιορισμού της ..... Αντίστασης σε Διάτρηση με Πυραμιδοειδή Αιχμή. προστατευόμενων και Μη Προστατευόμενων Γεωμεμβρανών..	66
3.1.6	Πρότυπο ASTM D4885: Ιδιότητες Εφελκυσμού Γεωμεμβρανών με τη Μέθοδο Πλατειάς Λωρίδας.....	70
3.1.7	Πρότυπο DIN 54307 : Αντίσταση γεωσυνθετικών σε διάτρηση (έμβολο CBR).....	74
3.1.8	Πρότυπο prEN 918: Δυναμική δοκιμή διάτρησης γεωυφασμάτων (δοκιμή κώνου).....	78
3.2	Περίληψη.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV : ΕΝΙΣΧΥΣΗ – ΟΠΛΙΣΗ ΕΔΑΦΩΝ..... 84		
4.1.	Εφαρμογές σε έργα οδοποιίας.....	84
4.2.	Οπλισμένα επιχώματα.....	84
4.2.1.	Κατηγορίες οπλισμένων επιχωμάτων-απαιτήσεις σχεδιασμού..	86
4.2.2	Βασικές αρχές υπολογιστικών ελέγχων.....	87
4.2.2.1	Μεθοδολογία ελέγχων.....	87
4.2.2.2	Συνδυασμοί φορτίσεων – Γενικές απαιτήσεις ασφαλείας.....	88
4.2.2.3	Μηχανισμοί ελέγχου – καταστάσεις αστοχίας λειτουργικότητας...89	
4.2.3	Βασικές αρχές κατασκευαστικών διατάξεων.....	95
4.3	Τοίχοι αντιστήριξης.....	97

4.3.1	Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος.....	99
4.3.1.1	Μεθοδολογία σχεδιασμού.....	101
4.3.2	Ενίσχυση υλικού επίχωσης τοίχων αντιστήριξης.....	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....		107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....		115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....		121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.....		125

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα. 1.1:	Δημιουργία οπλισμένου εδάφους από τη διείδυση του ριζικού συστήματος των δέντρων του εδάφους.....	3
Σχήμα 1.2:	Αναπαράσταση Ρωμαϊκής προκυμαίας του 1ου μ.Χ. αιώνα, τμήματα της οποίας ανακαλύφθηκαν στις προσχώσεις του Τάμεση στο Λονδίνο.....	4
Σχήμα 1.3:	Κατασκευή αντιστήριξης του Munster.....	5
Σχήμα 1.4:	Τοίχος αντιστήριξης τύπου «ανεμόσκαλας» του Coyne.....	5
Σχήμα 1.5:	Κατασκευή αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους του H.Vidal...	6
Σχήμα 1.6:	Στοιχεία πρόσοψης από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούμενα σε τοίχους αντιστήριξης «Οπλισμένης Γης.....	7
Σχήμα 1.7:	Γεωσυνθετικά υλικά στην επένδυση σήραγγας.....	8
Σχήμα 1.8:	Προστασία όχθης καναλιού από διάβρωση.....	8
Σχήμα 1.9:	Ενίσχυση επιχώματος επί υπεδάφους χαμηλής αντοχής.....	9
Σχήμα 1.10:	Ενίσχυση υπόβασης οδοστρώματος πάνω σε έδαφος χαμηλής φέρουσας ικανότητας.....	10
Σχήμα 1.11:	Αποστράγγιση τάφρος.....	11
Σχήμα 1.12:	Γεώφασμα προστασίας.....	12.
Σχήμα 1.13:	Τυπική κατασκευή οπλισμένου εδάφους για την αντιστήριξη γαιών.....	13
Σχήμα 1.14:	Εφαρμογή οπλισμένου εδάφους για την επίτευξη ανισοσταθμίας μεταξύ αυτοτελών μονάδων οικιστικού συγκροτήματος (Σύστημα Architerra).....	14
Σχήμα 1.15:	(α) Βαθμιδωτή κατασκευή αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους (β) Χρήση συρματοκιβωτίων ως στοιχείων πρόσοψης κατασκευής οπλισμένου εδάφους.....	14
Σχήμα 1.16:	Κατασκευή οπλισμένου εδάφους για την έδραση σιδηροδρομικής γραμμής.....	15
Σχήμα 1.17:	Χρήση οπλισμένου εδάφους για την κατασκευή του ακρόβαθρου γέφυρας.....	15
Σχήμα 1.18:	Χρήση οπλισμένου εδάφους στην οδοποιία.....	16

Σχήμα 1.19: Εφαρμογή του οπλισμένου εδάφους για την αποκατάσταση της ευστάθειας φυσικών πρανών με χρήση μεταχειρισμένων ελαστικών αυτοκινήτων και μεταλλικών ή πλαστικών συνδέσμων.....	17
Σχήμα 1.20: Χρήση οπλισμένου εδάφους για την αποκατάσταση της ευστάθειας πρανούς στο οποίο σημειώθηκε κατολίσθηση.....	18
Σχήμα 1.21: Εφαρμογή «Εδαφικής Ήλωσης» για την αντιστήριξη κατακόρυφων μετώπων εκσκαφών σε μη-συνεκτικά εδάφη...	18
Σχήμα 1.22: Χρήση οπλισμένου εδάφους στην κατασκευή λιμενικών έργων.....	19
Σχήμα 1.23: Ανάχωμα οπλισμένου εδάφους.....	20
Σχήμα 1.24: Εφαρμογή του οπλισμένου εδάφους σε ανάχωμα σιδηροδρομικής γραμμής.....	20
Σχήμα 1.25: Προστατευτικό ανάχωμα οπλισμένου εδάφους γύρω από δεξαμενή αποθήκευσης υγρών καυσίμων.....	20
Σχήμα 1.26: Χρήση οπλισμένου εδάφους για την κατασκευή χωμάτινου φράγματος.....	21
Σχήμα 1.27: Χρήση κατασκευής οπλισμένου εδάφους για την αύξηση του ύψους χωμάτινου φράγματος.....	21
Σχήμα 1.28: Θεμελίωση αναχώματος σε στρώμα εδάφους οπλισμένου με γεωκυψέλες από συνθετικό γεώπλεγμα και επιλεγμένο αδρανές ως υλικό πλήρωσης.....	22
Σχήμα 1.29: Θεμελίωση αναχώματος σε μαλακό οπλισμένο με κυψέλες ή στήλες από γεώπλεγμα και επιλεγμένο αδρανές.....	22
Σχήμα 1.30: Χρήση Οπλισμένου Εδάφους για τη δημιουργία πλάκας υπόγειων κοιλωμάτων.....	23
Σχήμα 1.31: Θεμελίωση δεξαμενών αποθήκευσης σε στρώμα οπλισμένου εδάφους.....	24
Σχήμα 1.32: Έδραση μεμονωμένων θεμελίων σε στρώμα οπλισμένου εδάφους.....	24
Σχήμα 1.33: Χρησιμοποίηση «Εδαφικής Ήλωσης» για την επίτευξη ασφαλούς θεμελίωσης κατασκευών σε αστικές περιοχές.....	24

Σχήμα 1.34:	Χρήση τοίχων οπλισμένου εδάφους για τη δημιουργία χώρων αποθήκευσης ορυκτών.....	25
Σχήμα 1.35:	Χρήση οπλισμένου εδάφους σε εγκαταστάσεις εργοστασίου παραγωγής θραυστών βραχωδών υλικών.....	25
Σχήμα 1.36:	Χρήση οπλισμένου εδάφους για την κατασκευή ειδικών χώρων αποθήκευσης άνθρακα και άλλων ορυκτών.....	25
Σχήμα 2.1:	Τύποι ινών για την κατασκευή γεωυφασμάτων.....	30
Σχήμα 2.2:	Διαδικασία κατασκευής υφασμένων γεωυφασμάτων.....	30
Σχήμα 2.3:	Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας περιστροφικής συγκόλλησης.....	31
Σχήμα 3.1:	Υπολογισμός μέτρου εφελκυσμού από δομικές εφελκυσμού πλατείας λωρίδας.....	47
Σχήμα 3.2:	Τραπεζοειδές δοκίμιο για δοκιμή σχισίματος.....	58
Σχήμα 3.3:	Τυπικές καμπύλες δύναμης- επιμήκυνσης από δοκιμή αντοχής σε σχισμό.....	59
Σχήμα 3.4:	Εξαρτήματα για δοκιμή διάτρησης κατά ASTM D5494 .....	67
Σχήμα 3.5:	Υπολογισμός μέτρου εφελκυσμού από δοκιμές εφελκυσμού πλατείας λωρίδας.....	71
Σχήμα 4.1:	Εφαρμογές οπλισμένης γης σε οδικά επιχώματα.....	84
Σχήμα 4.2.:	Ενδεικτικές καταστάσεις και μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας για ελέγχους οπλισμένων επιχωμάτων.....	92
Σχήμα 4.3:	Μέτωπο πρσανούς οπλισμένου επιχώματος.....	95
Σχήμα 4.4:	Ενίσχυση επιχώματος από μαλακά εδαφικά υλικά.....	96
Σχήμα 4.5:	Γεωυφάσματα στη στρώση έδρασης επιχώματος.....	96
Σχήμα 4.6:	Γεωστατικές τάσεις που αναπτύσσονται σε ένα τοίχο αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος.....	102
Σχήμα 4.7:	Έλεγχος αστοχίας τοίχου από ανατροπή, ολίσθηση και φέρουσας ικανότητας.....	104
Σχήμα 4.8:	Ενίσχυση επανεπίχωσης σε τοίχο αντιστήριξης.....	105
Σχήμα Δ.1.:	Στρώσεις γεωυφάσματος.....	126
Σχήμα Δ.2.:	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά τοίχων αντιστήριξης.....	128



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Πεδίο εφαρμογής των διαφόρων τύπων των γεωσυνθετικών υλικών.....	2
Πίνακας 2.1: Τύποι χρησιμοποιούμενων γεωμεμβρανών.....	35
Πίνακας 4.1: Απαιτούμενοι συνολικοί συντελεστές ασφάλειας (Απόσπασμα πιν4.6 ΟΜΟΕ).....	87
Πίνακας 4.2: Τρόπος τοποθέτησης οπλισμώ.....	91
Πίνακας 4.3 Συντελεστής ασφαλείας για οριακούς ελέγχους οπλισμένων επιχωμάτων $\leq 3:1$ με πολυμερούς οπλισμούς.....	93
Πίνακας Δ.1 Μήκος γεφυφασμάτων.....	127
Πίνακας Δ.2 Μήκος αναδίπλωσης γεφυφάσματος.....	128

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ-ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ**

Ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Γιώργο Ζησιμάτο που μας πρόσφερε πολύτιμη βοήθεια αλλά και καθοδήγηση ώστε να διεκπεραιώσουμε την πτυχιακή μας εργασία.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το οπλισμένο έδαφος είναι ένα σύνθετο υλικό στη μάζα του οποίου έχουν ενσωματωθεί ενθέματα ανθεκτικά σε ελκυσμό που ονομάζονται οπλισμοί. Οι οπλισμοί μπορεί να έχουν την μορφή ράβδων, λωρίδων, πλεγμάτων, φύλλων ή ινών τυχαίου προσανατολισμού και να είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο ή συνθετικό πλαστικό ή φυσικά υλικά. Αντικειμενικός σκοπός της εισαγωγής των οπλισμών στην εδαφική μάζα είναι η βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς του εδαφικού υλικού τόσο από πλευράς μέγιστης διατμητικής αντοχής όσο και από πλευράς παραμορφώσεων.

### 1.1 Πεδίο εφαρμογής γεωσυνθετικών υλικών

Παρά το γεγονός ότι οι πρώτες χρήσεις των γεωσυνθετικών υλικών αφορούσαν ως επί το πλείστον την ενίσχυση της διατμητικής αντοχής εδαφών εντός του σώματος επιχωμάτων, σήμερα η εξέλιξη των υλικών αυτών έχει διευρύνει τον τομέα εφαρμογής τους. Η ποικιλία λοιπόν τόσο στους τύπους των γεωσυνθετικών υλικών όσο και στις επιμέρους ιδιότητες τους επιτρέπει την εκμετάλλευσή τους για την εξυπηρέτηση πρόσθετων λειτουργιών, σύμφωνα με επίσημη κατηγοριοποίηση (International Geosynthetic Society) ως εξής:

- Συγκράτηση (containment), για τη συγκράτηση κόκκων εδάφους σε γεωτεχνικά έργα με σκοπό τη διατήρηση συγκεκριμένης γεωμετρίας.
- Αποστράγγιση (drainage), για τη συλλογή και τη διοχέτευση υπογείων υδάτων σε συγκεκριμένες διαδρομές.
- Προστασία (protection). Γεωφάσματα, συνήθως, χρησιμοποιούνται για προστασία γεωμεμβρανών και άλλων ρητινούχων ή ασφαλτικών προϊόντων από επιμήκη, κοφτερά αδρανή του υπεδάφους ή της επένδυσης.
- Όπλιση (reinforcement), για την ενίσχυση της αντοχής του εδάφους, οδοστρώματος και ασφαλοταπήτων κυρίως μέσω της εφελκυστικής αντοχής των γεωσυνθετικών υλικών.
- Διαχωρισμός (separation), για την αποφυγή ανάμιξης εδαφικών υλικών διαφορετικής διαβάθμισης.
- Προστασία έναντι επιφανειακής διάβρωσης (superficial erosion control), για την αποφυγή της αιολικής διάβρωσης και της διάβρωσης εξαιτίας της επιφανειακής απορροής υδάτων.

- Ακόμα λειτουργούν ως ζώνες διήθησης και προστασίας (filtration), για τη διευθέτηση της ροής των υδάτων εντός του εδάφους με την ταυτόχρονη διατήρηση των εδαφικών κόκκων στη θέση τους.
- Τέλος, γεωσυνθετικά υλικά (γεωμεμβράνες) χρησιμοποιούνται ως φράγματα (barriers) για την αποφυγή εισροής ή διαφυγής (π.χ. υπογείων υδάτων) ή αερίων.

Για κάθε συγκεκριμένη λειτουργία επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος γεωσυνθετικού υλικού με σκοπό την αποτελεσματική χρήση του στις διάφορες εφαρμογές. Ορισμένα παραδείγματα του πεδίου εφαρμογής των διαφόρων τύπων γεωσυνθετικών υλικών παρουσιάζονται στον Πίνακα

Τύπος	Λειτουργίες					
	Διαχωρισμός	Όπλιση	Ζώνη διήθησης	Αποστράγγιση	Υδατο-στεγάνωση	Προστασία έναντι διάβρωσης
Γεωύφασμα	**	*	**	**	—	*
Γεώπλεγμα	*	**	—	—	—	*
Γεωμεμβράνη	*	—	—	**	—	—

Πίνακας 1.1: Πεδίο εφαρμογής των διαφόρων τύπων των γεωσυνθετικών υλικών

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ειδικά στο χώρο της οδοποιίας, η χρήση γεωσυνθετικών υλικών έχει επεκταθεί και ήδη εφαρμόζεται ευρύτατα σε ενίσχυση στρώσεων οδοστρωσίας και ασφαλτοταπήτων, όπου ασφαλικά γεωπλέγματα ή γεωσύνθετα αυξάνουν την αντοχή και αποτρέπουν τη διάδοση ρωγμών (reflective cracking).

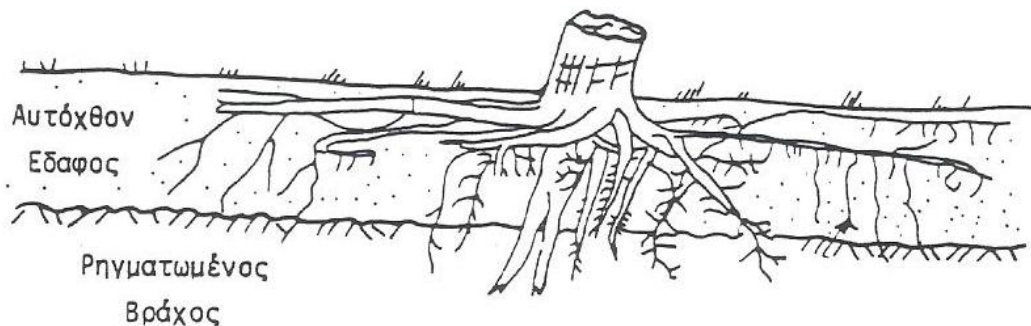
## 1.2 Ιστορικά Στοιχεία

Αν και η εισαγωγή της τεχνολογίας του οπλισμένου εδάφους στις κατασκευές του Πολιτικού Μηχανικού είναι σχετικά πρόσφατη (δεκαετία του 1960), η ιδέα του οπλισμού του εδάφους είναι πάρα πολύ παλιά:

1. Οι αρχαίοι κάτοικοι της Μεσοποταμίας τουλάχιστον από το 2000 π.Χ. κατασκεύαζαν τόπους λατρείας των θεών τους (τα Ζιγκουράτ) με ύψος πάνω από 50 m, από πλίνθους ψημένους στον ήλιο. Κάθε 8<sup>η</sup> ή 9<sup>η</sup> σειρά πλίνθων τοποθετούσαν πλέγματα από φυτικές ίνες (καλάμη, άχυρο) των

οποίων και οι δύο πλευρές εκαλύπτοντο από στρώμα λίθων και άμμου. Ανασκαφές έχουν αποκαλύψει ένα τμήμα τέτοιου πλέγματος από Ζιγκουράτ Aquar-quf (1400 π.Χ.), 32 km δυτικά της Βαγδάτης,

2. Η χρησιμοποίηση πλίνθων από άργιλο με ενσωματωμένες ίνες από άχυρο, για την αύξηση της αντοχής τους, ήταν διαδεδομένη στους λαούς της Μεσοποταμίας και της Αιγύπτου. Η διήγηση του 5<sup>ου</sup> κεφαλαίου της Εξόδου (του 2<sup>ου</sup> βιβλίου της Παλαιάς Διαθήκης), αναφέρεται σε ιστορικά γεγονότα του 1220 π.Χ. και περιγράφει τη χρήση του άχυρου στην πλινθουργία.
3. Η χρησιμοποίηση του οπλισμένου εδάφους φαίνεται ότι αποτελεί ενστικτώδη συνήθεια σε ζώα και πτηνά που την εφαρμόζουν κατά την κατασκευή της φωλιάς τους (χελιδονοφωλιές).
4. Η διείσδυση του ριζικού συστήματος των δέντρων και φυτών στο έδαφος, Σχ. 1, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός συστήματος οπλισμένου εδάφους, του οποίου η αυξημένη διατμητική αντοχή συντελεί στην ευστάθεια απότομων φυσικών πρανών.

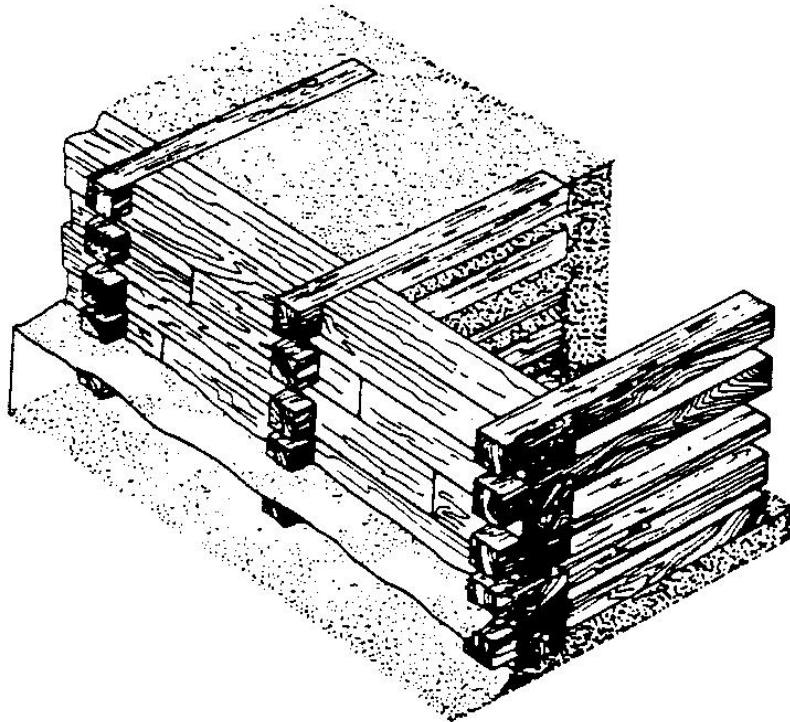


Σχήμα. 1.1: Δημιουργία οπλισμένου εδάφους από τη διείσδυση του ριζικού συστήματος των δέντρων του εδάφους

5. Τμήματα του Μεγάλου Σινικού Τείχους στην Κίνα που κατασκευάστηκαν πριν από το 200 π.Χ. περιέχουν παραδείγματα οπλισμένου εδάφους, αποτελούμενα από μίγμα αργίλου και χαλικιών, οπλισμένων με κλαδιά δέντρων.
6. Οι Ρωμαίοι ήταν γνώστες της τεχνικής του οπλισμένου εδάφους και έχουν αποκαλυφθεί προστατευτικά αναχώματα οπλισμένα με καλάμη κατά μήκος του ποταμού Τίβερη. Στο Λονδίνο έχουν ανακαλυφθεί πρόσφατα, τμήματα προκυμαίας που κατασκευάστηκε από Ρωμαίους το 1<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα. Η κατασκευή είχε ύψος 2.0 m και χρησιμοποιήθηκαν δοκοί από βαλανιδιά μήκους 9 m, τόσο για το κατακόρυφο μέτωπο, όσο και για τους οπλισμούς που ενσωματώθηκαν στο επίχωμα, Σχ. 1.2.

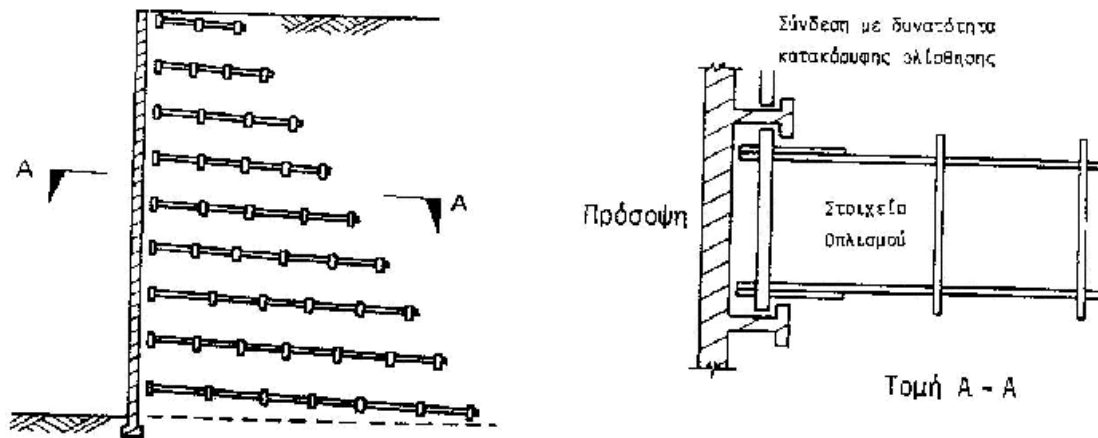
Παρόμοιες τεχνικές χρησιμοποιήθηκαν και από τους Γαλάτες για την κατασκευή οχυρωμάτων από εναλλασσόμενα στρώματα κορμών δέντρων και εδαφικού επιχώματος.

7. Μέχρι τον 19<sup>ο</sup> αιώνα η τεχνική του οπλισμένου σκυροδέματος εδάφους χρησιμοποιήθηκε κυρίως για στρατιωτικές οχυρώσεις. Το 1822 ο στρατηγός Pasley εισήγαγε ένα τύπο οπλισμένου εδάφους για στρατιωτικές κατασκευές του Βρετανικού στρατού. Ο Reed το 1904 εισήγαγε την τεχνική οπλισμού των λιθορριπών της κατάντη παρειάς φραγμάτων στην Καλιφόρνια με σιδηροτροχιές των σιδηρόδρομων. Παρόμοια τεχνική, αλλά με χρήση πλέγματος, αποτελούμενου από χαλύβδινες ράβδους διαμέτρου 2 cm, χρησιμοποιήθηκε στην Raqua (Γουινέα) μέχρι το 1962 ενώ άλλες εφαρμογές του συστήματος αυτού, αναφέρονται στη Νότια Αφρική, το Μεξικό και την Αυστραλία.



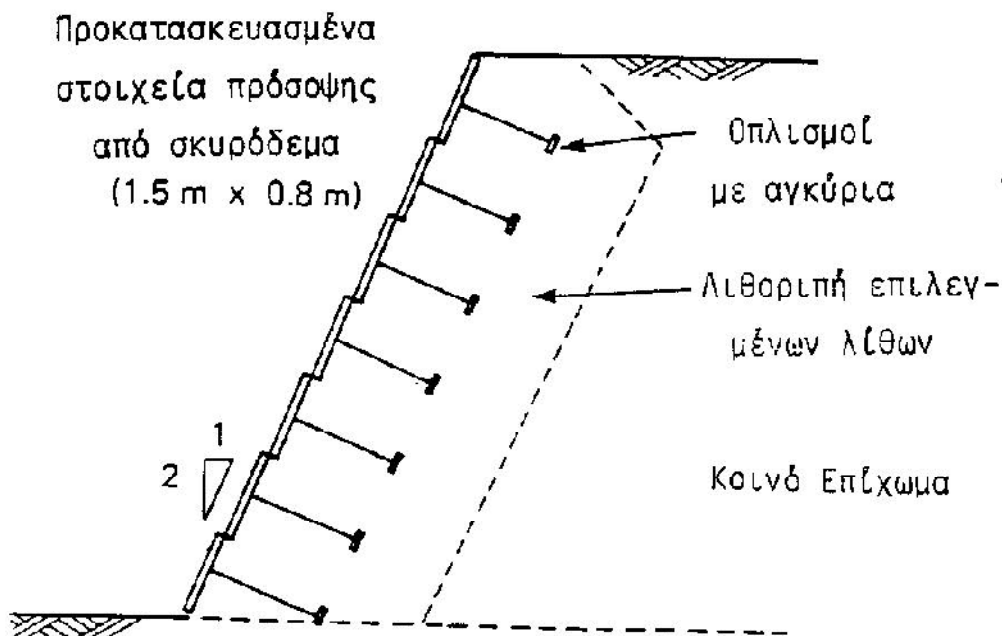
Σχήμα 1.2: Αναπαράσταση Ρωμαϊκής προκουμαίας του 1ου μ.Χ. αιώνα, τμήματα της οποίας ανακαλύφθηκαν στις προσχώσεις του Τάμεση στο Λονδίνο

Ο Munster εισήγαγε το 1925 στις Ηνωμένες Πολιτείες τοίχο οπλισμένου εδάφους με χρήση ξύλινων ράβδων οπλισμού και ελαφρών στοιχείων πρόσοψης με σύστημα που επέτρεπε την ελεύθερη καθίζηση του επιχώματος, Σχ. 1.3.



Σχήμα 1.3: Κατασκευή αντιστήριξης του Munster

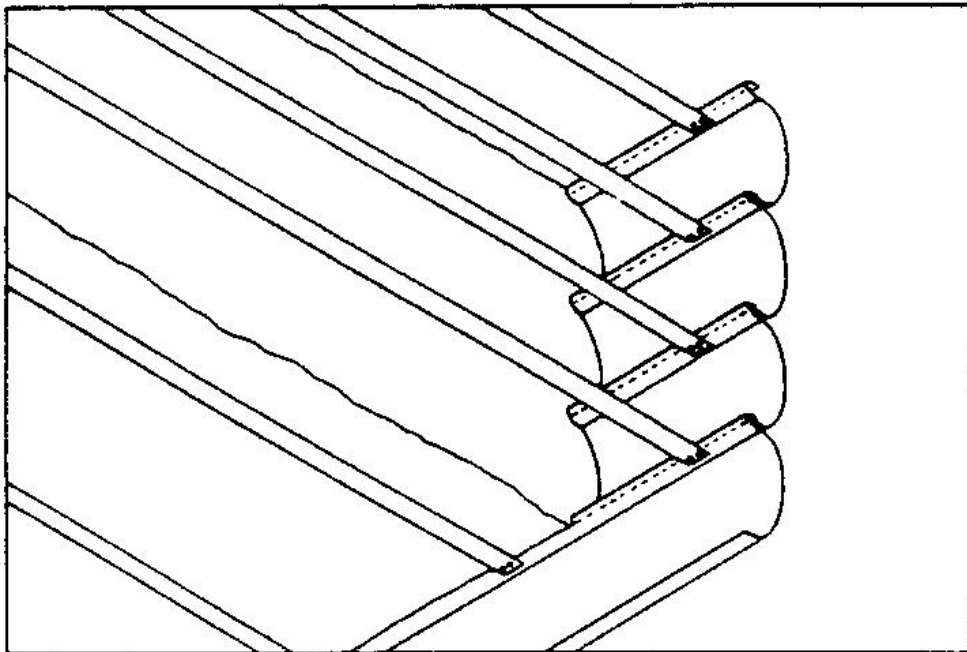
Ο Γάλλος Coyne εισήγαγε τη δεκαετία του 1930 ένα τύπο τοίχου αντιστήριξης που ονομάστηκε «τοίχος-ανεμόσκαλα» και που φαίνεται στο Σχ.1.4. Η κατασκευή αποτελείται από ένα στρώμα επιλεγμένου επιχώματος από λίθους που συγκρατείται από στοιχεία πρόσοψης σκυροδέματος (προκατασκευασμένα) 1.5 m x 0.8 m συνδεδεμένα σε μεταλλικές λωρίδες αγκύρωσης ενσωματωμένες στη μάζα του επιχώματος με μικρή πλάκα αγκύρωσης στο άκρο τους. Το 1945 ο Coyne αναγνώρισε ότι αν το επίχωμα είχε ικανοποιητική γωνία τριβής, η πλάκα αγκύρωσης στο άκρο των λωρίδων οπλισμού ήταν περιττή.



Σχήμα 1.4 Τοίχος αντιστήριξης τύπου «ανεμόσκαλας» του Coyne

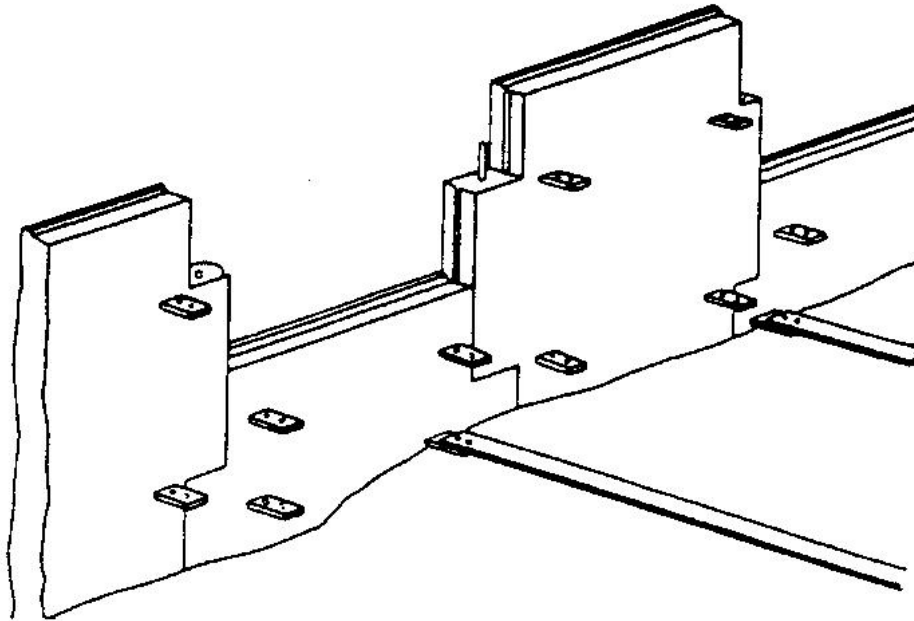
Η μορφή των σύγχρονων κατασκευών αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους προτάθηκε από το Γάλλο αρχιτέκτονα H. Vidal στη δεκαετία του

1960 και φαίνεται στο Σχ.1.5. Περιγράφεται ως σύνθετο υλικό που σχηματίζεται από την ενσωμάτωση μεταλλικών λωρίδων οπλισμού σε αμμώδες έδαφος. Η αλληλεπίδραση των δύο υλικών βασίζεται αποκλειστικά στην αναπτυσσόμενη μεταξύ τους τριβή κάτω απ' την επίδραση της βαρύτητας. Το σύνθετο αυτό υλικό ονομάστηκε «Οπλισμένη Γη» και σε αρκετές χώρες αποτελεί σήμα κατατεθέν της μεθόδου. Οι πρώτοι τοίχοι αυτής της μορφής κατασκευάστηκαν στη Νότια Γαλλία το 1968. Από το 1970, τα μεταλλικά στοιχεία πρόσοψης (διατομής U) αντικαταστάθηκαν με τα σταυροειδή στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος του Σχ. 6. Η πρώτη εφαρμογή τοίχου Vidal στις Ηνωμένες Πολιτείες έγινε το 1974 για την αντιμετώπιση μιας κατολίσθησης στην Καλιφόρνια. Από τη δεκαετία του 1960 άρχισαν να χρησιμοποιούνται συνθετικά γεωπλέγματα από πλαστικό για τον οπλισμό επιχωμάτων σιδηροδρομικών γραμμών ενώ τη δεκαετία του 1970 τα γεωυφάσματα άρχισαν να χρησιμοποιούνται για κατασκευές αντιστήριξης εδαφών και αναχωμάτων. Τέλος, οι σημαντικότερες εξελίξεις της δεκαετίας του 1980 περιλαμβάνουν την «επί-τόπου» δημιουργία οπλισμένου εδάφους με χρήση μεταλλικών ράβδων ήλωσης (Ηλωση Εδάφους) για τη σταθεροποίηση των επιφανειών μετώπων εκσκαφών καθώς και τη χρησιμοποίηση συνθετικών (πλαστικών) γεωπλεγμάτων για την επισκευή κατολισθήσεων των πρηνών εκσκαφών αυτοκινητοδρόμων.



Σχήμα 1.5: Κατασκευή αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους του H.Vidal.



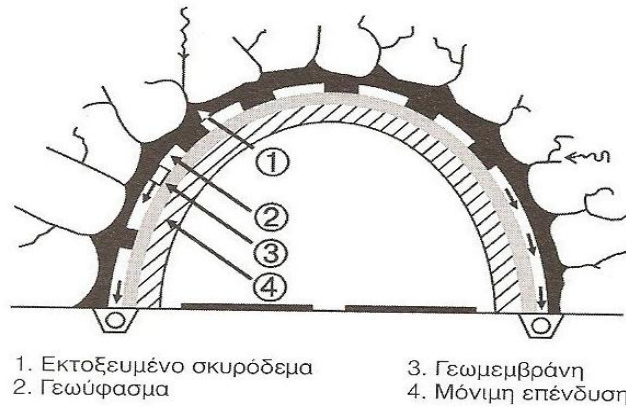


Σχήμα 1.6: Στοιχεία πρόσοψης από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούμενα σε τοίχους αντιστήριξης «Οπλισμένης Γης»

### 1.3 Εφαρμογές γεωσυνθετικών σε κατασκευές οδοποιίας

#### 1.3.1 Αποστράγγιση

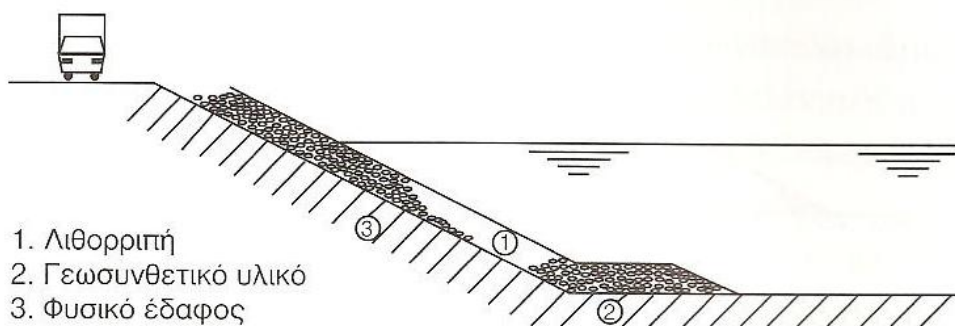
Οι διάφοροι τύποι γεωφασμάτων με τις ποικίλες ιδιότητες τους σε ότι αφορά την υδατοπερατότητά τους, γνωρίζουν μεγάλη εφαρμογή σε διάφορα έργα οδοποιίας για τη διοχέτευση υπογείων υδάτων σε επιθυμητές πορείες και θέσεις. Σε υπόγεια έργα, η τοποθέτηση γεωφασμάτων δημιουργεί υδραυλική βαθμίδα λόγω της μεγαλύτερης διαπερατότητας που έχει το γεώφασμα σε σχέση με το έδαφος. Συνήθως πρακτική σε εργασίες υπεδάφιας αποστάγγισης υπογείων έργων (σηράγγων), αποτελεί η χρησιμοποίηση γεωφασμάτων εξωτερικά από τη μόνιμη επένδυσή τους. Ανάμεσα από το γεώφασμα και τη μόνιμη εξ οπλισμένου σκυροδέματος τοποθετείται γεωμεμβράνη προστασίας (υδατοστεγάνωση) της επένδυσης της σήραγγας.



Σχήμα 1.7. Γεωσυνθετικά υλικά στην επένδυση σήραγγας.

### 1.3.2 Προστασία έναντι επιφανειακής διάβρωσης – Συγκράτησης

Η χρήση γεωσυνθετικών υλικών βρίσκει επίσης εφαρμογή στον τομέα της προστασίας έναντι επιφανειακών διαβρώσεων, όπως, για παράδειγμα, για την προστασία έναντι διάβρωσης της όχθης και της κοίτης ενός καναλιού εξαιτίας της επιφανειακής απορροής. Υφαντά ή μη υφαντά γεωυφάσματα από πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο και πολυεστέρα αποτελούν τα πλέον κατάλληλα υλικά για τη συγκράτηση των εδαφικών κόκκων της όχθης ώστε να διατηρείται σταθερό το έδαφος σε περίπτωση κατασκευής οδού παραπλεύρως του καναλιού. Το γεωσυνθετικό υλικό καλύπτεται συχνά από μια στρώση λιθορριπής με σκοπό να αποτρέπεται η φθορά του από πτώση λίθων αλλά και η συνεχής έκθεσή του στην ακτινοβολία και τις κλιματικές συνθήκες. Η χρήση του σε τέτοιο είδους εφαρμογές παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι το γεωύφασμα διαθέτει ικανοποιητική ελαστικότητα για να διαμορφώνεται, κατά την τοποθέτησή του, ανάλογα με το ανάγλυφο του εδάφους.



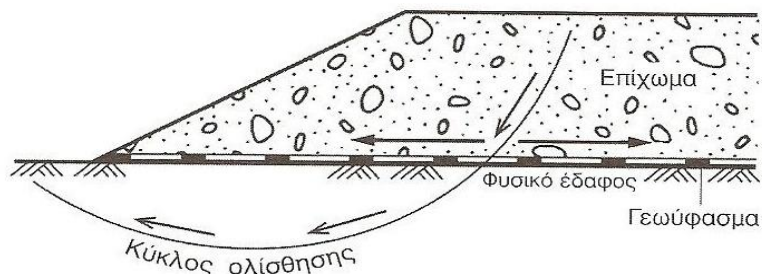
Σχήμα 1.8. Προστασία όχθης καναλιού από διάβρωση

### 1.3.3 Οπλισμός – Ενίσχυση

Τα γεωσυνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται για όπλιση εδαφών έχουν ως πρωταρχικό στόχο την αποφυγή της κατάρρευσης και των μόνιμων μεγάλων παραμορφώσεων των διαφόρων γεωτεχνικών κατασκευών. Η συμβολή τους στη βελτίωση της μηχανικής αντοχής των γεωκατασκευών βασίζεται στην παραλαβή μέρους των τάσεων μέσω της εφελκυστικής αντοχής κατά τρόπο ανάλογο με τον χάλυβα στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Η θετική επίδραση της χρήσης τους για όπλιση τεκμηριώνεται από πολλές εφαρμογές, όπως:

- **Θεμελίωση επιχωμάτων σε χαμηλής φέρουσας ικανότητας εδάφη**

Σε πολλές περιπτώσεις, κατά την κατασκευή επιχώματος σε εδάφη χαμηλής φέρουσας ικανότητας παρεμβάλλονται στρώσεις υφαντού γεωυφάσματος από πολυεστέρα υψηλού μέτρου ελαστικότητας, για την αποφυγή αστοχίας του επιχώματος που μπορεί να προκληθεί από θραύση του υπεδάφους. Ως εκ τούτου, απαιτούνται γεωσυνθετικά υλικά υψηλής εφελκυστικής αντοχής, μικρής επιμήκυνσης και παραμόρφωσης ερπυσμού. Το παρεμβαλλόμενο γεωύφασμα θα πρέπει να εξασφαλίζει ανάπτυξης υψηλής τριβής ανάμεσα στο υπέδαφος και το έδαφος του επιχώματος.

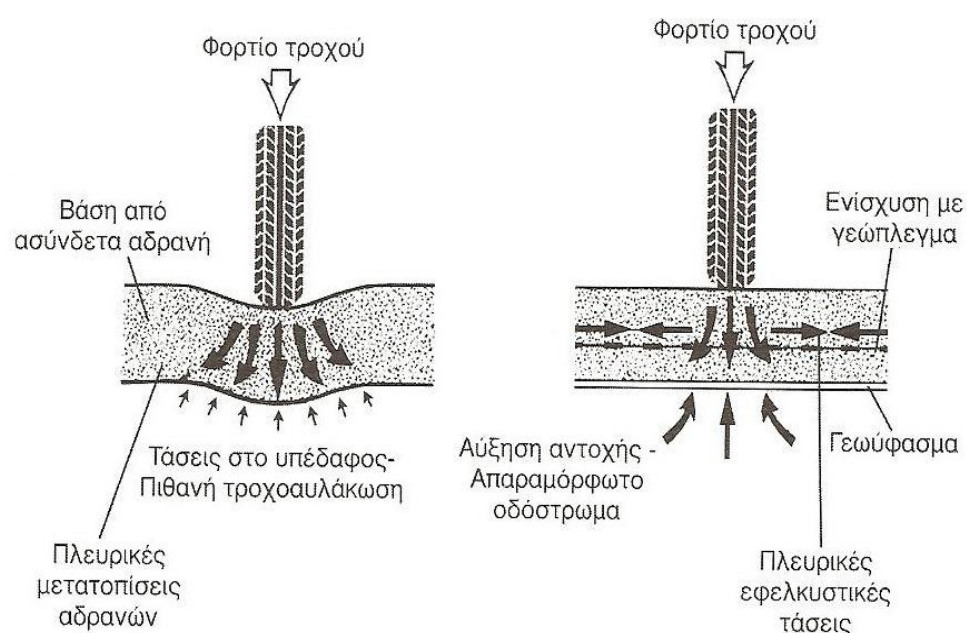


Σχήμα 1.9: Ενίσχυση επιχώματος επί υπεδάφους χαμηλής αντοχής.

Παράλληλα, είναι απαραίτητη η ύπαρξη επαρκούς υδατοπερατότητας ώστε να πραγματοποιείται η στερεοποίηση του εδάφους και να μειώνεται η πίεση του νερού των πόρων. Παραλλαγή της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι η τοποθέτηση γεωυφάσματος στην εξυγιαντική στρώση έδρασης του επιχώματος που είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις ιδιαίτερα συμπιεστών και χαλαρών εδαφών.

- **Ενίσχυση υπόβασης οδοστρώματος**

Ένας άλλος τομέας εφαρμογής όπου τα γεωσυνθετικά υλικά χρησιμοποιούνται ως στοιχείο όπλισης, είναι η ενίσχυση της υπόβασης του οδοστρώματος. Σε έργα συγκοινωνιακής υπόβασης τοποθετείται στρώση υφαντού υλικού από πολυεστέρα με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας εντός της υπόβασης, για αύξηση της φέρουσας ικανότητας και ταυτόχρονα μείωση του συνολικού πάχους. Σε περίπτωση που το γεωσυνθετικό υλικό βρίσκεται ανάμεσα από στρώματα κοκκωδών εδαφών ενδείκνυται η χρήση γεωπλέγματος. Το γεωπλέγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του είτε σε συνδυασμό με γεώφασμα.



Σχήμα 1.10: Ενίσχυση υπόβασης οδοστρώματος πάνω σε έδαφος χαμηλής φέρουσας ικανότητας.

Παράλληλα της τεχνικής αυτής υπάρχουν πολλές. Τα γεωσυνθετικά υλικά μπορούν να τοποθετηθούν στην επιφάνεια της τελικής χωματοουργικών ή και σε ενδιάμεσες στρώσεις οδοστρωσίας. Ανάλογα είναι, σε κάθε περίπτωση, και το είδος του γεωσυνθετικού που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση.

- **Οπλισμός επιχώματος απότομων κλίσεων**

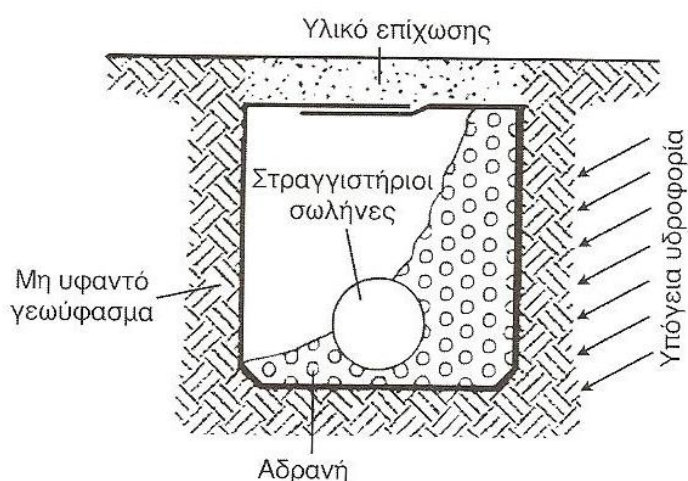
Γεωσυνθετικά υλικά που λειτουργούν ως στοιχεία όπλισης, έχουν χρησιμοποιηθεί ενσωματωμένα και σε καθορισμένη πυκνότητα στο έδαφος, για την κατασκευή επιχωμάτων με απότομες έως εντελώς κατακόρυφες κλίσεις.

Η μείωση του εύρους κατάληψης των επιχωμάτων, σε περίπτωση που επιλεγεί η λύση της “όπλισης”, καθιστά την κατασκευή τους ιδιαίτερα ανταγωνιστική, καθώς μειώνεται η έκταση των απαιτούμενων απαλλοτριώσεων (π.χ. σε περιοχές διέλευσης νέων οδών), και ο όγκος των απαιτούμενων υλικών κατασκευής. Αντίστοιχα, τα στοιχεία όψης που χρησιμοποιούνται, στην περίπτωση κατασκευής κατακόρυφων τοίχων στέψης οπλισμένου εδάφους, ικανοποιούν και τους πλέον αυστηρούς περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Για την όπλιση επιχωμάτων απότομων κλίσεων χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο γεωυφάσματα και γεωπλέγματα.

### 1.3.4 Διαχωρισμός

Γεωσυνθετικά υλικά χρησιμοποιούνται για να αποφευχθεί η ανάμιξη διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης εδαφών, για παράδειγμα κατά την τοποθέτηση επιχώματος από κοκκώδη υλικά σε υπέδαφος με υψηλό ποσοστό αργιλικών ή σε αποστραγγιστικές τάφρους. Κυρίως χρησιμοποιούνται με υφαντά γεωυφάσματα από πολυεστέρα, πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο, τα οποία παρουσιάζονται επαρκή ελαστικότητα για να μπορούν να ακολουθούν την καθίζηση του φυσικού εδάφους και εξασφαλίζουν την απαραίτητη υδατοπερατότητά και σταθερότητα του έργου.

Συχνά επίσης, γεωσυνθετικά υλικά χρησιμοποιούνται ως φίλτρα καθορισμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης για την προστασία έναντι διείσδυσης λεπτόκοκκων εντός επιχωμάτων ή ακόμα και φραγμάτων.



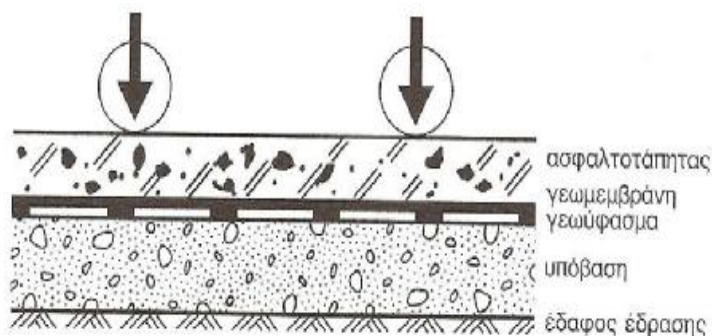
Σχήμα 1.11: Αποστράγγιση τάφρος.

### 1.3.5 Προστασία

Γεωυφάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προστασία γεωμεμβρανών και φύλλων στεγάνωσης (ασφαλτόπανων, κλπ.) που

εμφανίζουν κίνδυνο διάτρησης από υποκείμενες ή υπορκείμενες στρώσεις με αιχμηρά αδρανή. Η ικανότητα προστασίας, στις περιπτώσεις αυτές, εξαρτάται από την πυκνότητα του γεωυφάσματος και την αντοχή σε διάτρηση. Συνήθως χρησιμοποιούνται μη υφαντά γεωυφάσματα των 400 gr/m<sup>2</sup> κατ' ελάχιστον.

Η τεχνική αυτή βρίσκει εφαρμογή σε στρώσεις οδοστρώματος αλλά και σε δομικές κατασκευές όπως σε οχετούς, γέφυρες, σήραγγες. Σημαντικό κατασκευαστικό ζήτημα είναι η συμβατότητα παραμορφωσιμότητας γεωμεμβράνης και γεωυφάσματος που είναι απαραίτητη για την επιτυχία της εφαρμογής.



Σχήμα 1.12: Γεωύφασμα προστασίας.

### 1.3.6 Επένδυση

Γεωσυνθετικά υλικά χρησιμοποιούνται ως επένδυση πρανών για προστασία από επιφανειακή διάβρωση. Φυσικά γεωπλέγματα (jute), γεωυφασμάτα και γεωκυψέλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πρανή ορυγμάτων και επιχωμάτων, ενώ η τελική επιλογή του υλικού είναι συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της ποιότητας του εδάφους της γεωκατασκευής.

### 1.3.7 Στεγάνωση

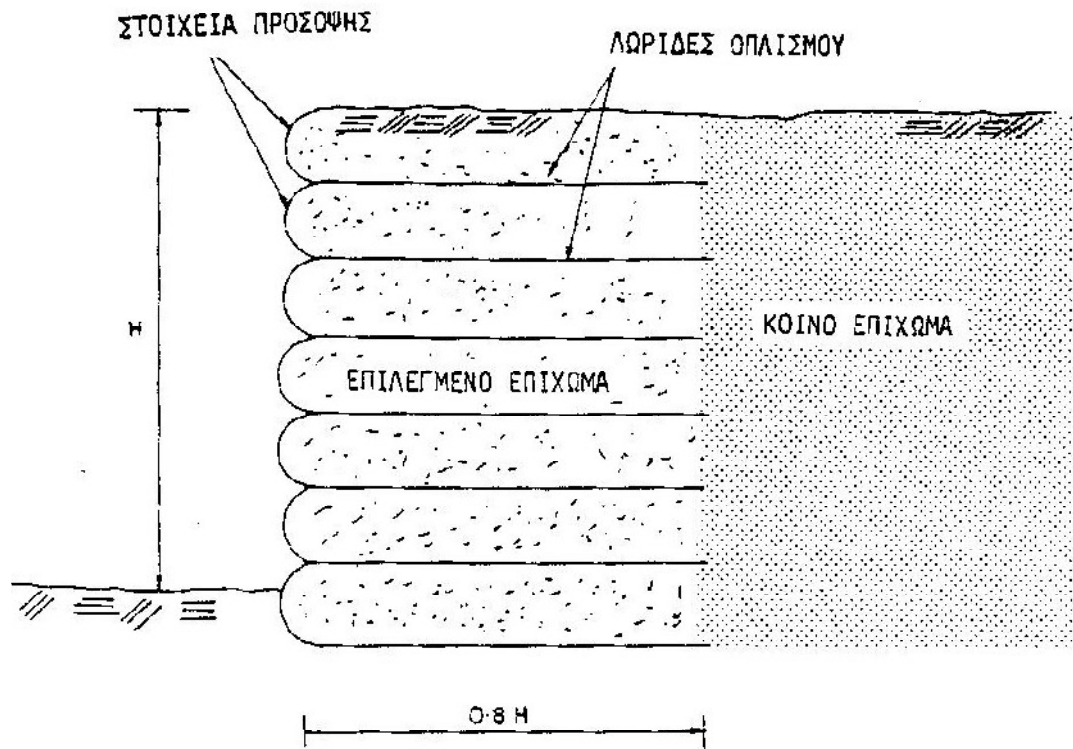
Η υδατοστεγάνωση είναι συχνά απαραίτητη σε τεχνικές εφαρμογές οδοποιίας, όπως στην τελική επένδυση σηράγγων, σε ασφαλτικά οδοστρώματα, σε προστασία τεχνικών έργων. Οι γεωμεμβράνες, αλλά και ο συνδυασμός γεωμεμβρανών με άλλα γεωσυνθετικά υλικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις περιπτώσεις αυτές.

Ακόμα, οι γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται για να αποτρέψουν την κατείδυση τοξικών ουσιών και να προστατέψουν υπογείους υδροφόρους ορίζοντες όπως, επί παραδείγματι, στις περιπτώσεις χώρων απόθεσης αστικών απορριμμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων. Στις εφαρμογές αυτές, συνήθως, οι γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με

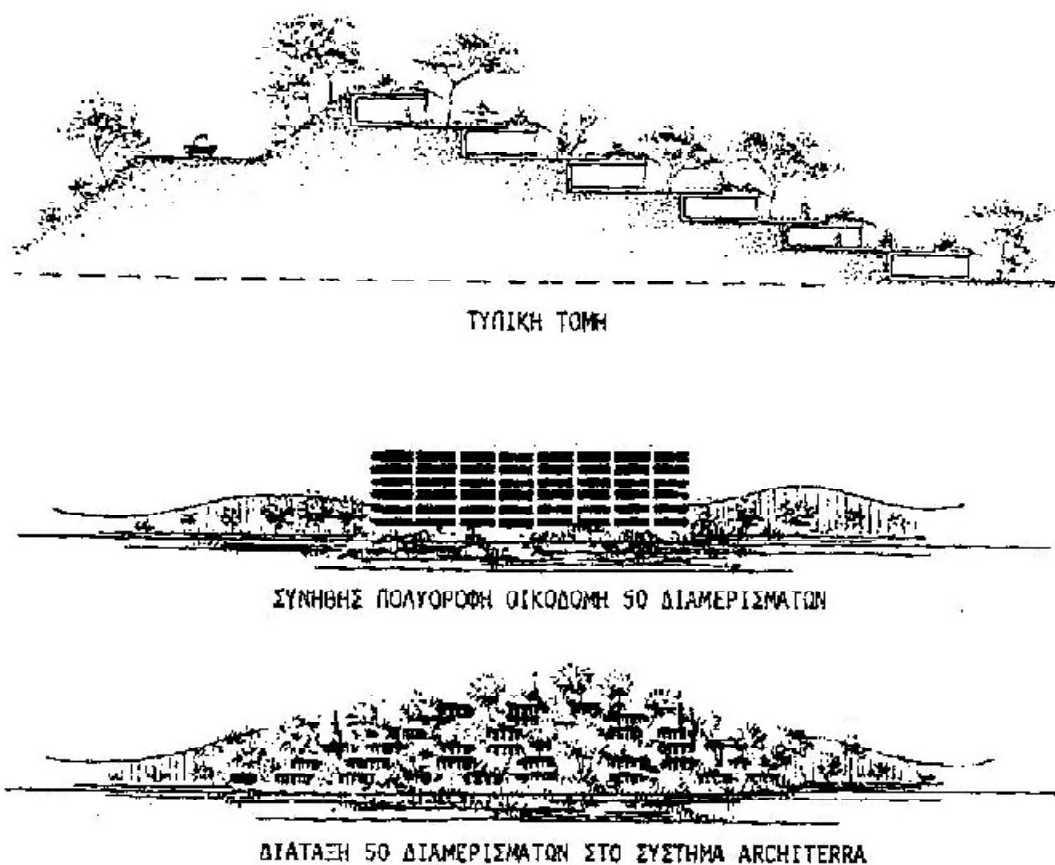
γεωφάσματα που εξασφαλίζουν προστασία έναντι διάτρησης και βελτιώνουν τη συνολική μηχανική αντοχή του προστατευτικού παρεμβλήματος.

#### 1.4 Εφαρμογές Αντιστήριξης Γαιών

Οι εφαρμογές αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν μεγάλη ποικιλία τεχνικών έργων: τυπικούς τοίχους αντιστήριξης, ακρόβαθρα γεφυρών, έργα αντιστήριξης πρανών οδοποιίας και σιδηροδρομικής και λιμενικά έργα. Στις περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις ως οπλισμοί χρησιμοποιούνται μεταλλικές λωρίδες ή φύλλα και πλέγματα από συνθετικό πλαστικό. Ως υλικό επιχώματος χρησιμοποιείται έδαφος με συνοχή και τριβή ενώ τα στοιχεία πρόσοψης κατασκευάζονται από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.13: Τυπική κατασκευή οπλισμένου εδάφους για την αντιστήριξη γαιών

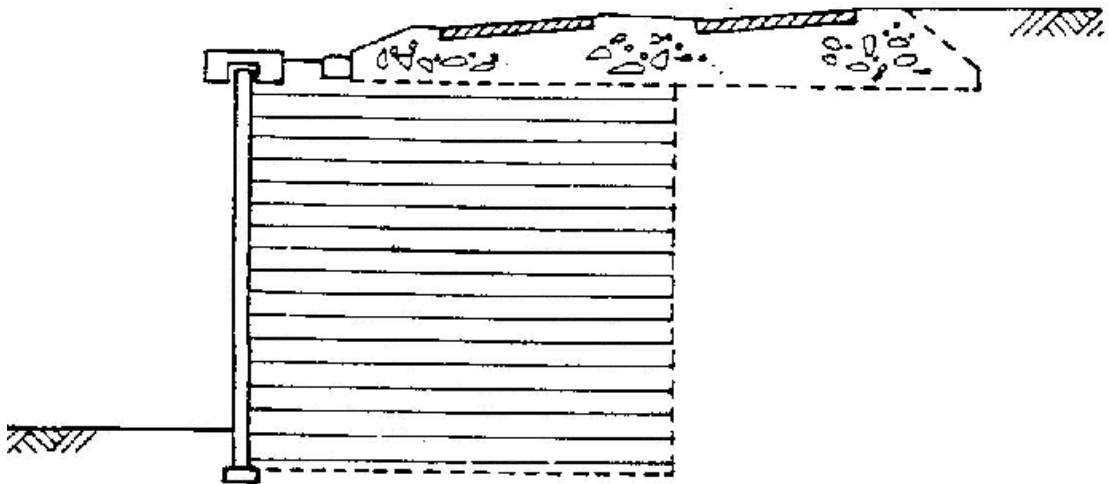


Σχήμα 1.14: Εφαρμογή οπλισμένου εδάφους για την επίτευξη ανισοσταθμίας μεταξύ αυτοτελών μονάδων οικιστικού συγκροτήματος (Σύστημα Architerra)

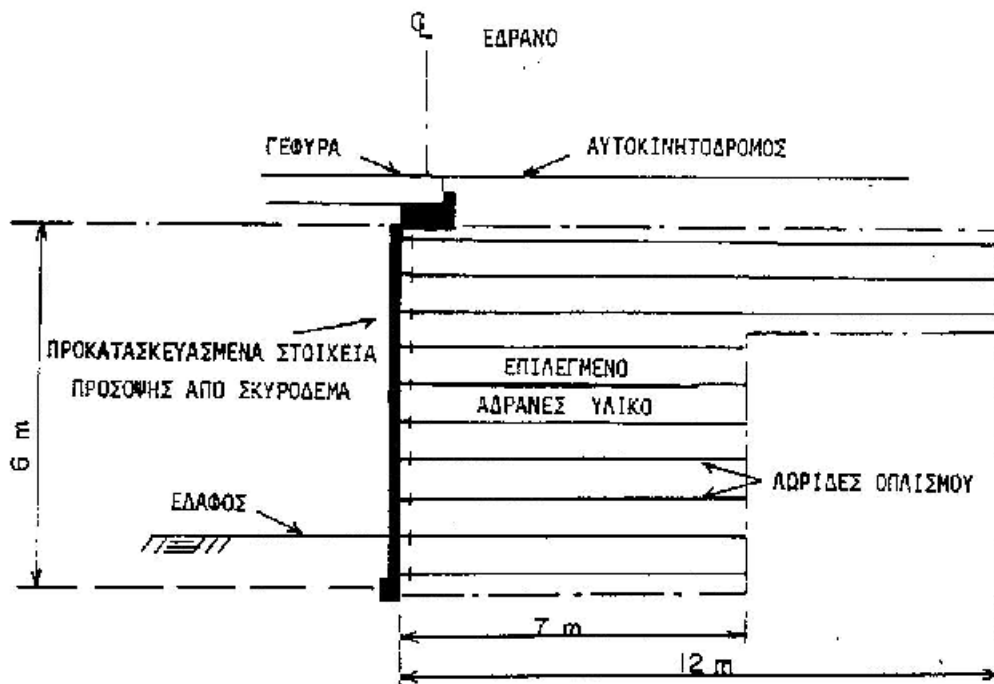


Σχήμα 1.15: (α) Βαθμιδωτή κατασκευή αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους. (β) Χρήση συρματοκιβωτίων ως στοιχείων πρόσοψης κατασκευής οπλισμένου εδάφους.

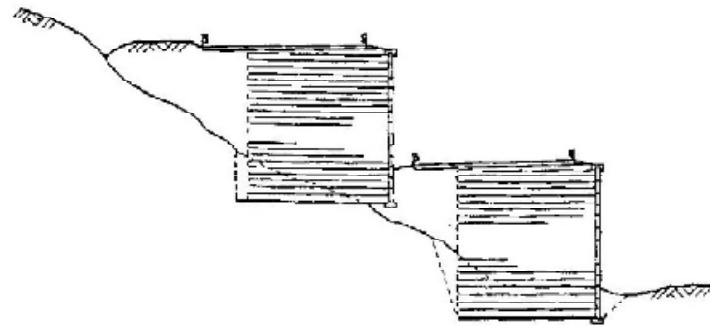




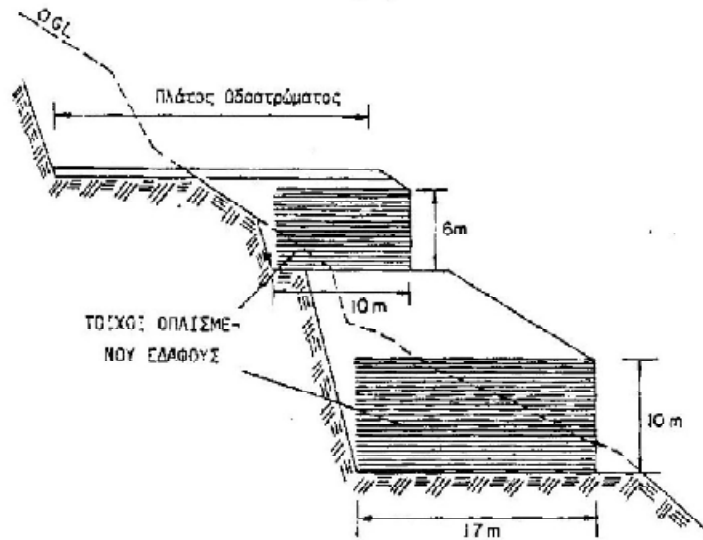
Σχήμα 1.16: Κατασκευή οπλισμένου εδάφους για την έδραση σιδηροδρομικής γραμμής



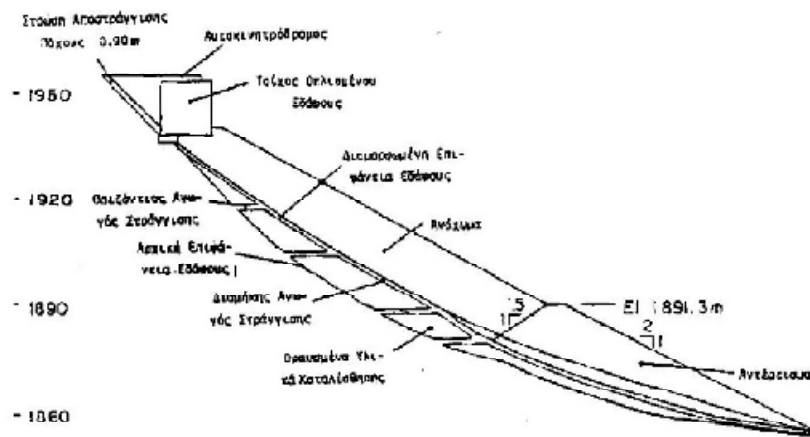
Σχήμα 1.17: Χρήση οπλισμένου εδάφους για την κατασκευή του ακρόβαθρου γέφυρας



( α )



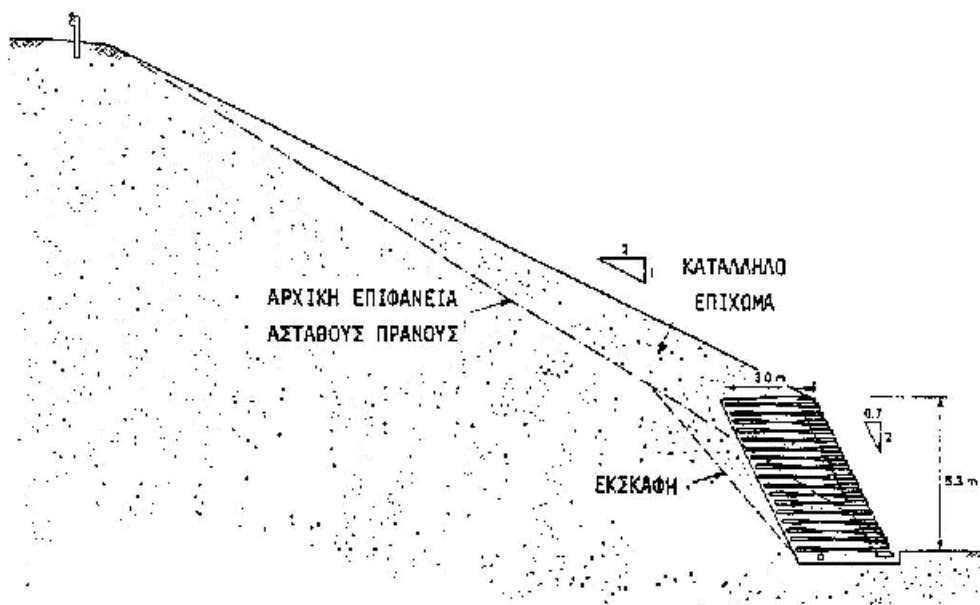
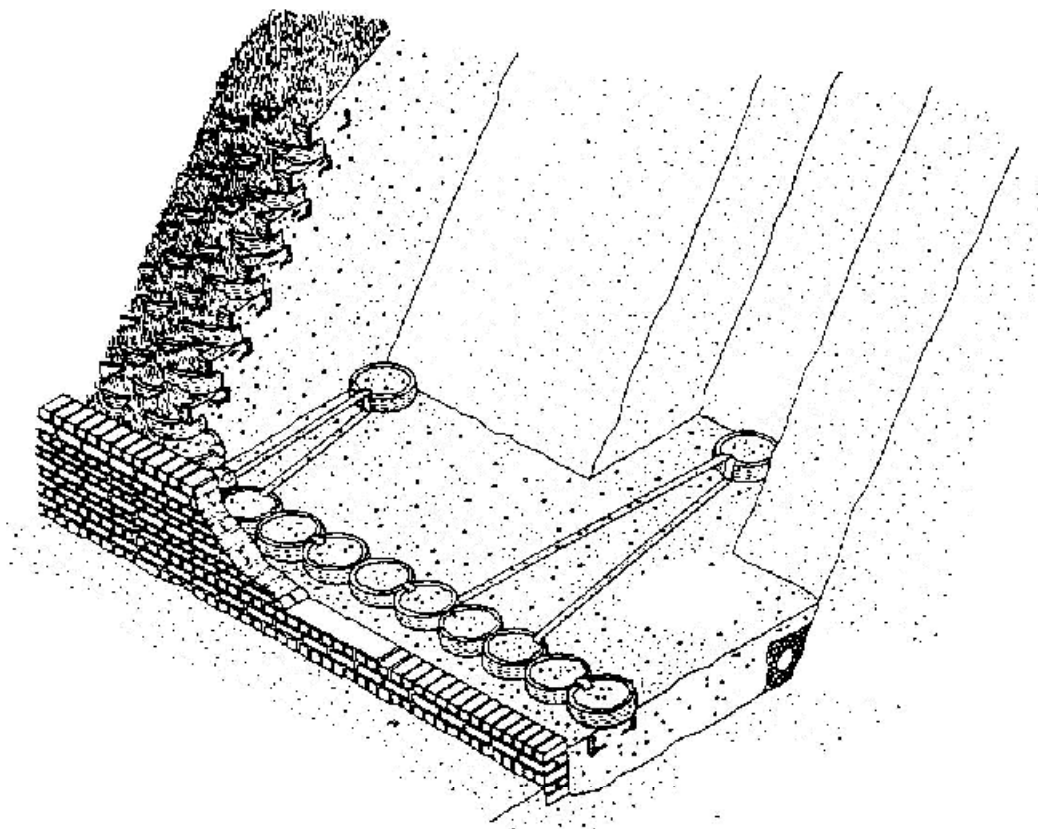
( β )



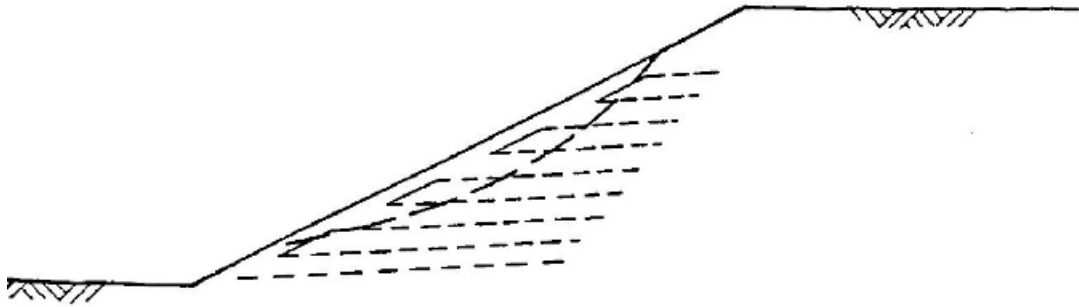
( γ )

Σχήμα 1.18: Χρήση οπλισμένου εδάφους στην οδοποιία.

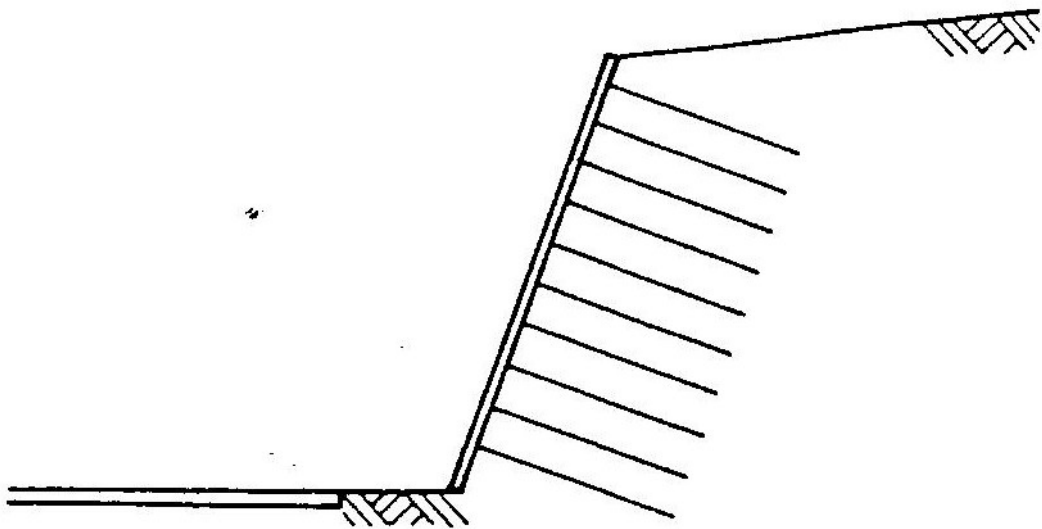
- (α) ανισόπεδη διάταξη των δύο κατευθύνσεων κυκλοφορίας
- (β) τμήμα του αυτοκινητόδρομου Γαλλίας-Ιταλίας (τοίχος Vinga)
- (γ) τμήμα του αυτοκινητόδρομου Route 39 στην Καλιφόρνια



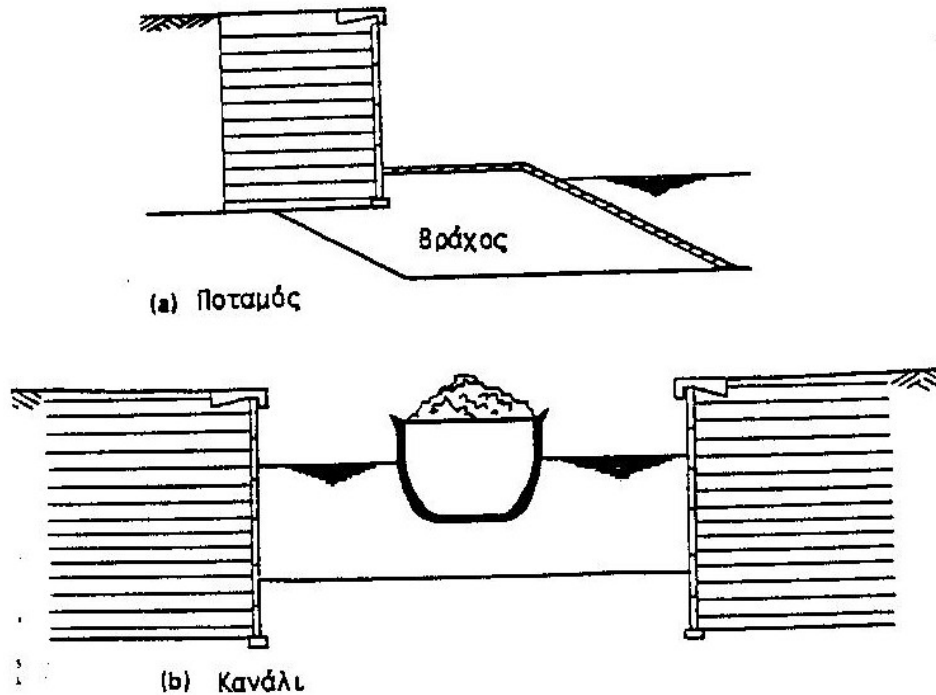
Σχήμα 1.19: Εφαρμογή του οπλισμένου εδάφους για την αποκατάσταση της ευστάθειας φυσικών πρανών με χρήση μεταχειρισμένων ελαστικών αυτοκινήτων και μεταλλικών ή πλαστικών συνδέσμων.



Σχήμα 1.20: Χρήση οπλισμένου εδάφους για την αποκατάσταση της ευστάθειας πρανούς στο οποίο σημειώθηκε κατολίσθηση.



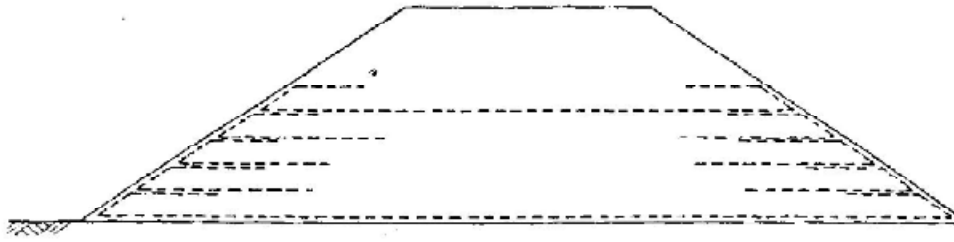
Σχήμα 1.21: Εφαρμογή «Εδαφικής Ήλωσης» για την αντιστήριξη κατακόρυφων μετώπων εκσκαφών σε μη-συνεκτικά εδάφη. Χρησιμοποιούνται χαλύβδινες ράβδοι και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ως στοιχείο πρόσοψης



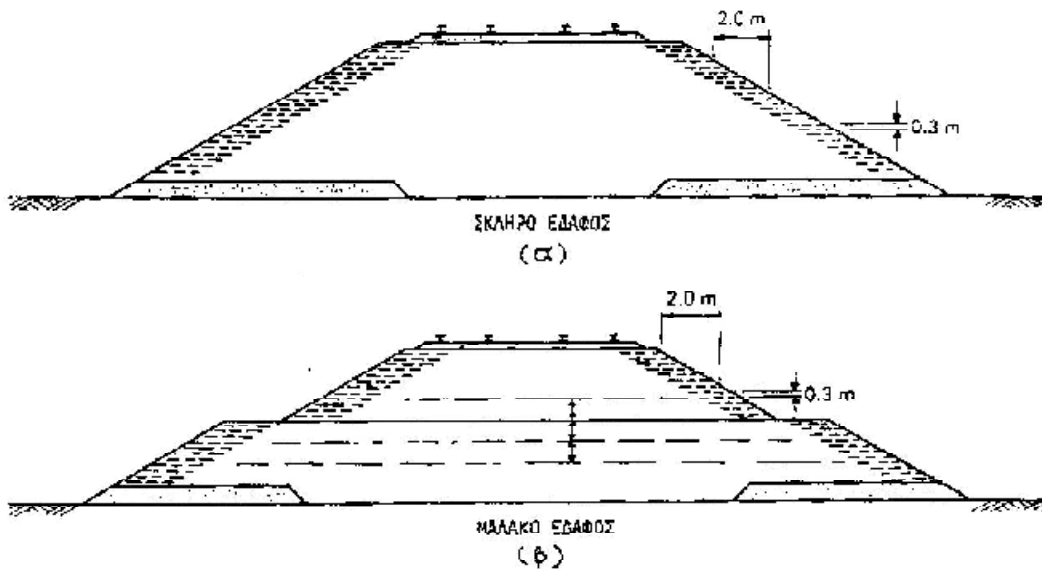
Σχήμα 1.22: Χρήση οπλισμένου εδάφους στην κατασκευή λιμενικών έργων.

### 1.5 Εφαρμογές Αναχωμάτων και Φραγμάτων

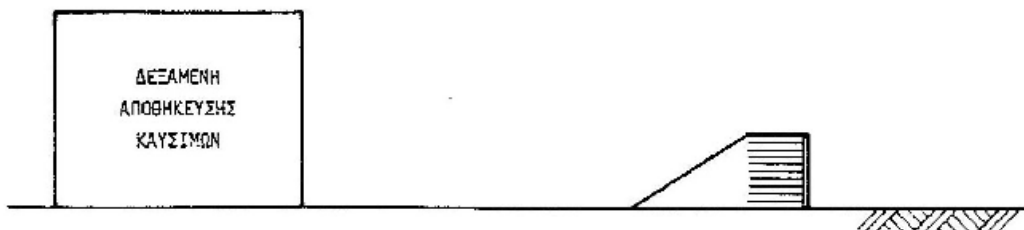
Η χρησιμοποίηση του οπλισμένου εδάφους στην κατασκευή αναχωμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι για ένα ανάχωμα ύψους 10 m, στην Αγγλία, μεταβολή της κλίσης των πρανών από 2(οριζ): 1(κατακ) σε 1:1 έχει ως αποτέλεσμα μείωση του κόστους κατά 300.000 δρχ./τρεχ. Μέτρο. Στις περισσότερες περιπτώσεις ως οπλισμοί χρησιμοποιούνται φύλλα γεωσυνθετικών υλικών ενώ για το υλικό του επιχώματος γίνεται χρήση των τοπικών διαθέσιμων εδαφών. Στις εφαρμογές κατασκευής φραγμάτων χρησιμοποιούνται κυρίως μεταλλικοί οπλισμοί και στοιχεία πρόσοψης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Κατασκευές οπλισμένου εδάφους χρησιμοποιούνται επίσης για την αύξηση του ύψους υφισταμένων φραγμάτων. Η παρουσία του νερού απαιτεί τη λήψη ειδικών μέτρων στεγάνωσης στις κατασκευές φραγμάτων.



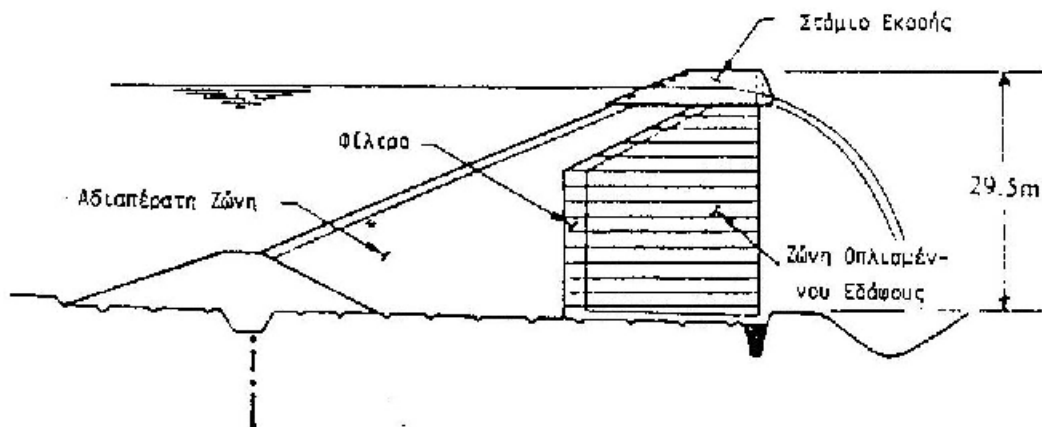
Σχήμα 1.23: Ανάχωμα οπλισμένου εδάφους. Διακρίνονται στρώματα οπλισμών που διατρέχουν ολόκληρο το πλάτος του αναχώματος και στρώματα που περιορίζονται στα πρηνή του αναχώματος.



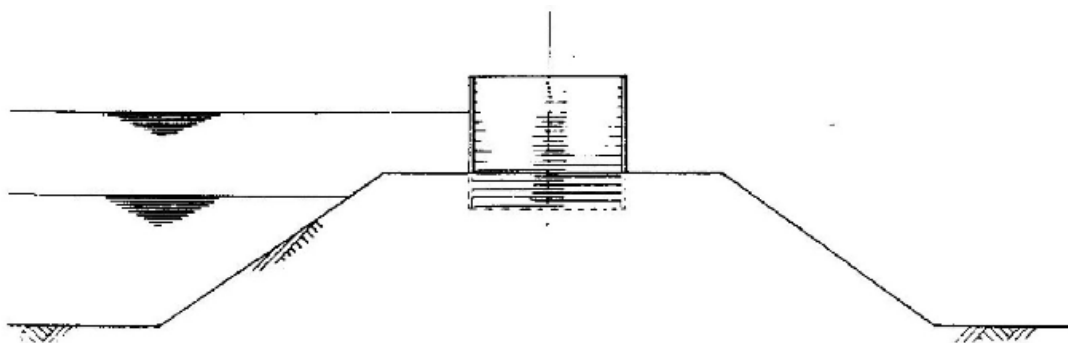
Σχήμα 1.24: Εφαρμογή του οπλισμένου εδάφους σε ανάχωμα σιδηροδρομικής γραμμής (α) σκληρό έδαφος θεμελίωσης, (β) μαλακό έδαφος θεμελίωσης.



Σχήμα 1.25: Προστατευτικό ανάχωμα οπλισμένου εδάφους γύρω από δεξαμενή αποθήκευσης υγρών καυσίμων.



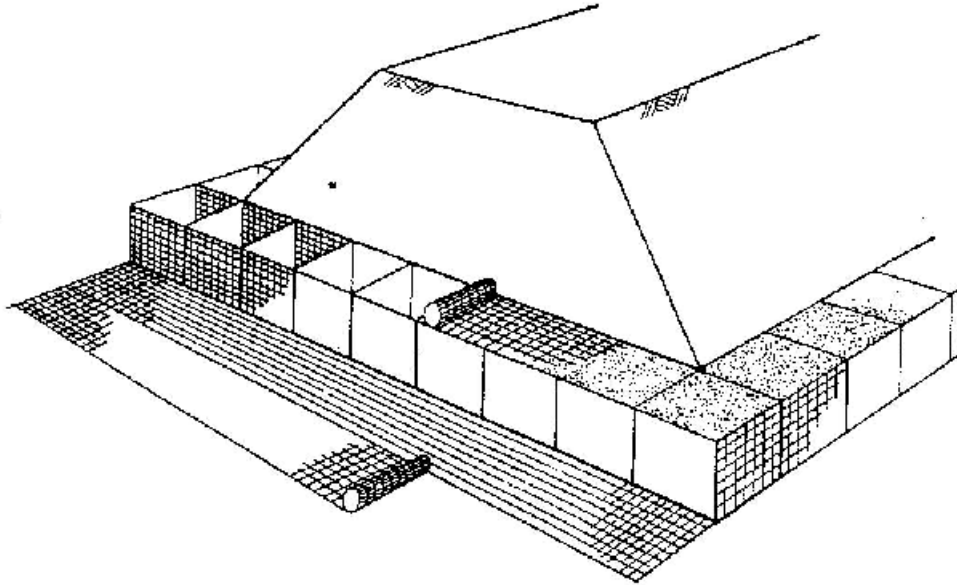
Σχήμα 1.26: Χρήση οπλισμένου εδάφους για την κατασκευή χωμάτινου φράγματος.



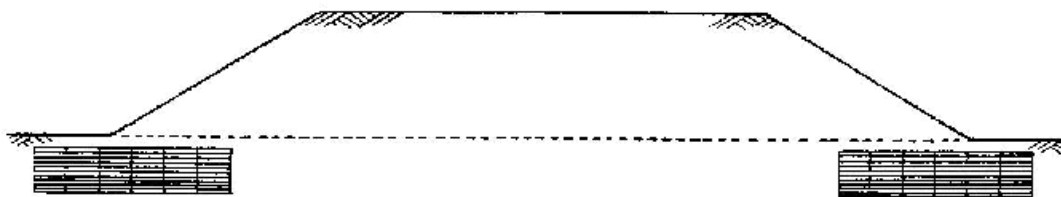
Σχήμα 1.27: Χρήση κατασκευής οπλισμένου εδάφους για την αύξηση του ύψους χωμάτινου φράγματος.

## 1.6 Εφαρμογές θεμελιώσεων

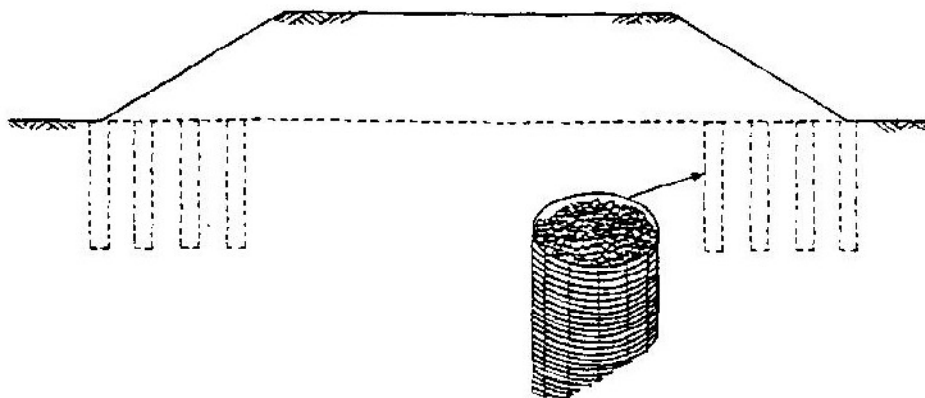
Η τεχνική του οπλισμένου εδάφους χρησιμοποιείται επίσης για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας των εδαφών θεμελίωσης. Οι περισσότερες εφαρμογές της πράξης συναντώνται προς το παρόν στη θεμελίωση κατασκευών μεγάλης επιφάνειας έδρασης, π.χ. αναχωμάτων, πάνω σε μαλακά εδάφη με χρήση γεωσυνθετικών υλικών. Μικρότερος είναι ο αριθμός εφαρμογών για στοιχεία θεμελίωσης μικρής επιφάνειας έδρασης, π.χ. μεμονωμένων θεμελίων, στις οποίες απαιτείται η χρησιμοποίηση μεταλλικών οπλισμών ή συνθετικών γεωπλεγμάτων υψηλής ακαμψίας.



Σχήμα 1.28: Θεμελίωση αναχώματος σε στρώμα εδάφους οπλισμένου με γεωκυψέλες από συνθετικό γεώπλεγμα και επιλεγμένο αδρανές ως υλικό πλήρωσης



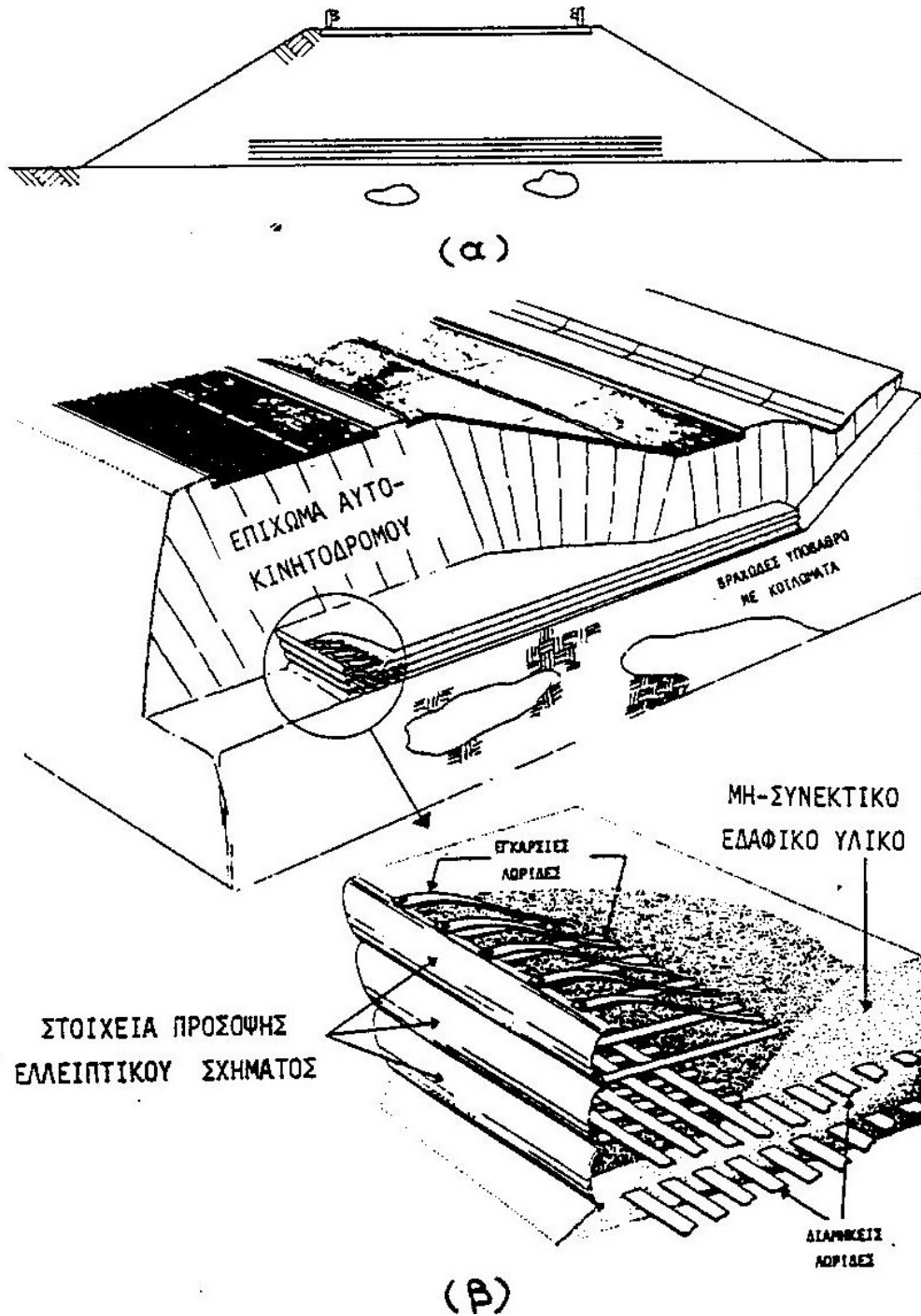
(α)



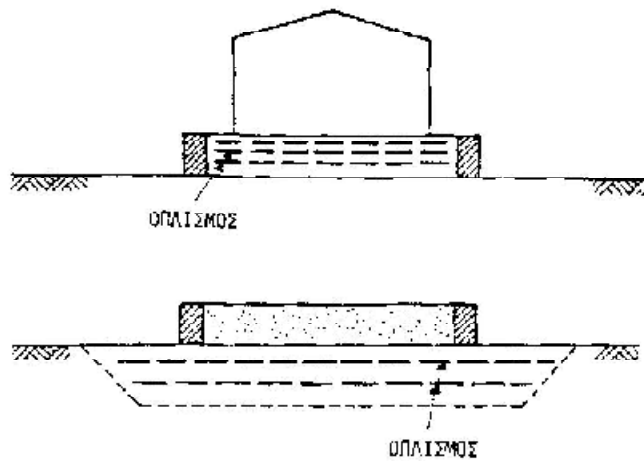
(β)

Σχήμα 1.29: Θεμελίωση αναχώματος σε μαλακό οπλισμένο με κυψέλες ή στήλες από γεώπλεγμα και επιλεγμένο αδρανές.

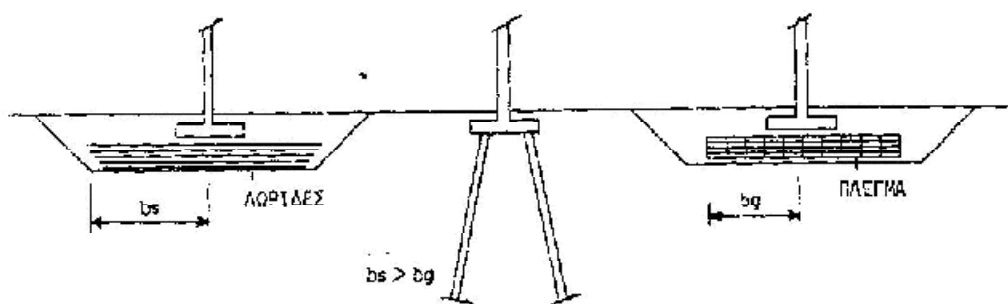




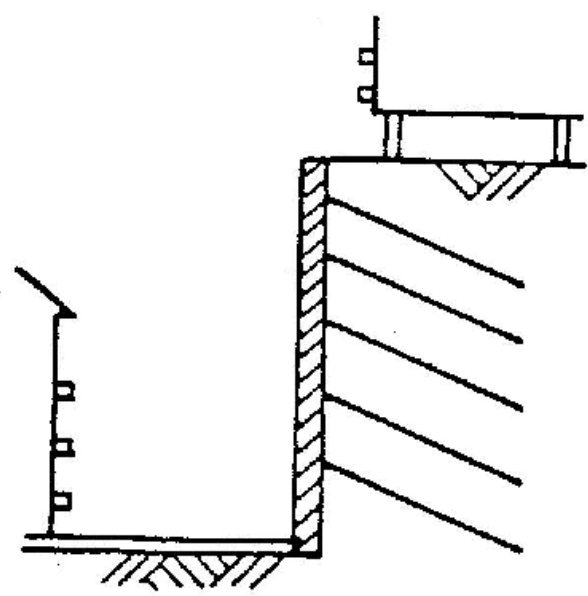
Σχήμα 1.30: Χρήση Οπλισμένου Εδάφους για τη δημιουργία πλάκας υπόγειων κοιλωμάτων. (α) γενική αρχή, (β) κατασκευαστική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε το 1975 στον Αυτοκινητόδρομο SR200 της Pennsylvania από την Reinforced Earth Company.



Σχήμα 1.31: Θεμελίωση δεξαμενών αποθήκευσης σε στρώμα οπλισμένου εδάφους.



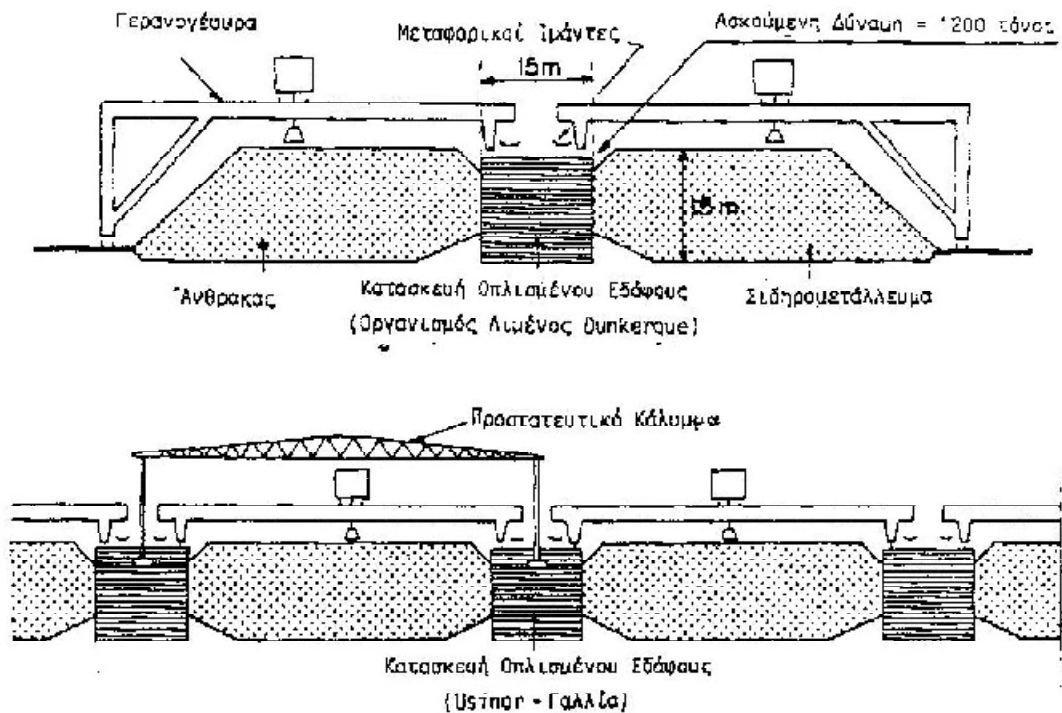
Σχήμα 1.32: Έδραση μεμονωμένων θεμελίων σε στρώμα οπλισμένου εδάφους (Σύγκριση με Χρήση Πασσάλων)



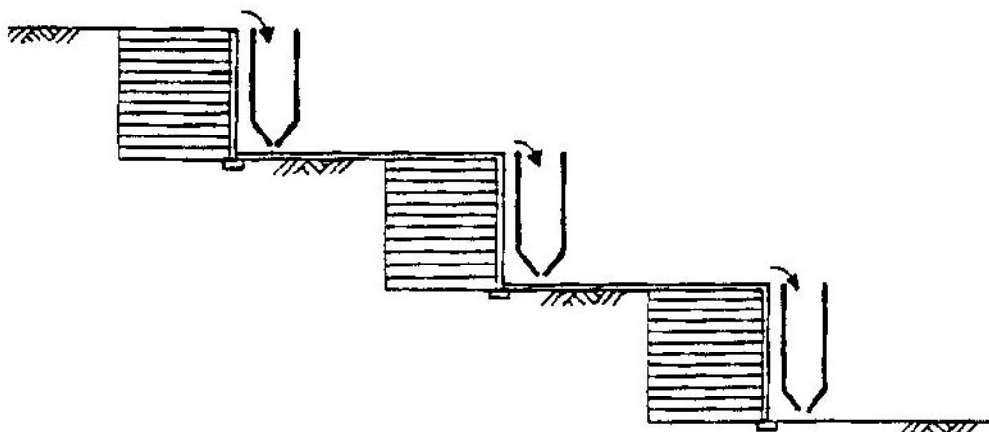
Σχήμα 1.33: Χρησιμοποίηση «Εδαφικής Ήλωσης» για την επίτευξη ασφαλούς θεμελίωσης κατασκευών σε αστικές περιοχές

## 1.7 Βιομηχανικές Εφαρμογές

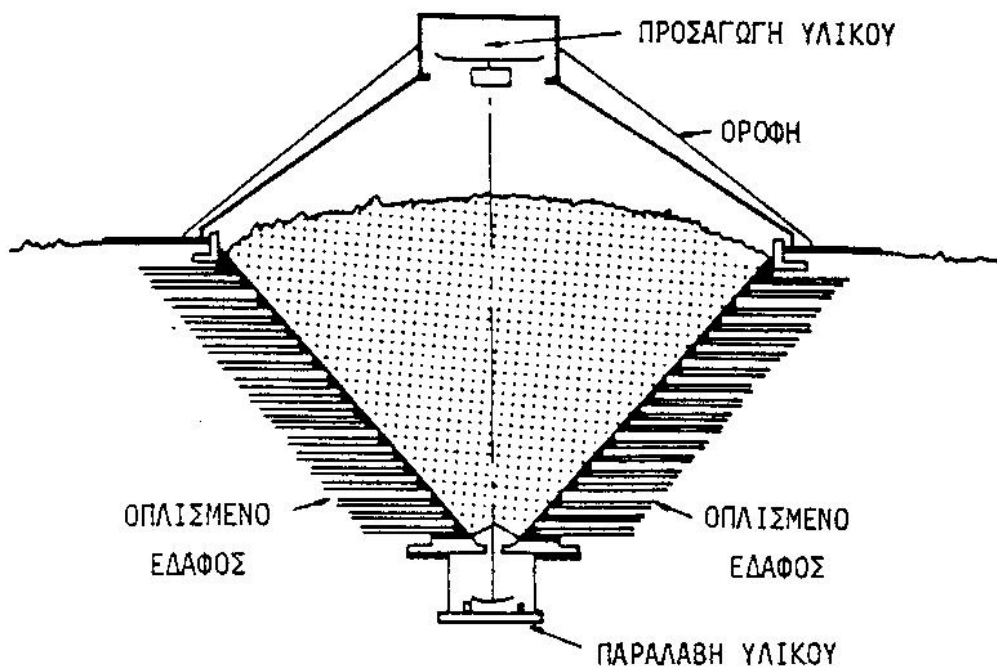
Η τεχνική του οπλισμένου εδάφους χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι μεγαλύτερες από πλευράς μεγέθους κατασκευές οπλισμένου εδάφους.



Σχήμα 1.34: Χρήση τοίχων οπλισμένου εδάφους για τη δημιουργία χώρων αποθήκευσης ορυκτών



Σχήμα 1.35: Χρήση οπλισμένου εδάφους σε εγκαταστάσεις εργοστασίου παραγωγής θραυστών βραχυδών υλικών.



Σχήμα 1.36: Χρήση οπλισμένου εδάφους για την κατασκευή ειδικών χώρων αποθήκευσης άνθρακα και άλλων ορυκτών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ II**

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

Ο κατάλογος των υλικών που χρησιμοποιεί ο Πολιτικός Μηχανικός στις κατασκευές εμπλουτίστηκε κατά τις τελευταίες δεκαετίες με μια καινούργια κατηγορία υλικών. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των νέων υλικών προέρχονται κυρίως από τη βιομηχανία των πλαστικών και, κατά συνέπεια, τα προϊόντα αυτά χαρακτηρίζονται ως “συνθετικά”. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως σε γεωτεχνικές κατασκευές, βαρείες κατασκευές, οικοδομικά έργα και έργα προστασίας του περιβάλλοντος. Επειδή οι διάφορες εφαρμογές των υλικών αυτών τα συσχετίζουν με τα εδάφη, τα πετρώματα και το υπόγειο νερό, είναι εύλογο να χρησιμοποιείται το πρόθεμα “γεω-“ στην ονομασία τους. Ο όρος “γεωσυνθετικό υλικό” είναι μια γενική ονομασία που χαρακτηρίζει τα συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές γεωτεχνικής μηχανικής ή σε συναφείς κατασκευές σε συνδυασμό με γεωυλικά.

Τα γεωσυνθετικά υλικά έχουν μορφή φύλλου (επίπεδη) και διακρίνονται, γενικά, σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: τα γεωυφάσματα, τα γεωπλέγματα, τις γεωμεμβράνες και τα γεωσύνθετα. Τα γεωυφάσματα είναι διαπερατά γεωσυνθετικά, με αποκλειστική σύνθεση υφάσματος. Τα γεωπλέγματα έχουν μορφή ορθογωνικού κανάβου, με σχετικά μεγάλα ανοίγματα. Οι γεωμεμβράνες είναι πρακτικά αδιαπέρατα φύλλα. Τα γεωσύνθετα είναι συνδυασμός γεωυφάσματος, γεωπλέγματος και γεωμεμβράνης, ανά δύο, ή και συνδυασμός ενός από αυτούς τους τρεις τύπους γεωσυνθετικού με άλλο υλικό.

Στις επόμενες παραγράφους του Κεφαλαίου αυτού παρουσιάζονται συνοπτικά γενικές πληροφορίες που αφορούν στα γεωυφάσματα, στις γεωμεμβράνες και στα γεωπλέγματα. Αναφέρονται οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, οι μέθοδοι κατασκευής και οι τύποι γεωυφασμάτων, γεωμεμβρανών και γεωπλεγμάτων. Περιγράφονται οι ιδιότητες, (φυσικές, υδραυλικές, αποδόμησης, ανθεκτικότητας στο χρόνο), οι λειτουργίες και οι εφαρμογές τους.

#### **2.1 Γεωυφάσματα**

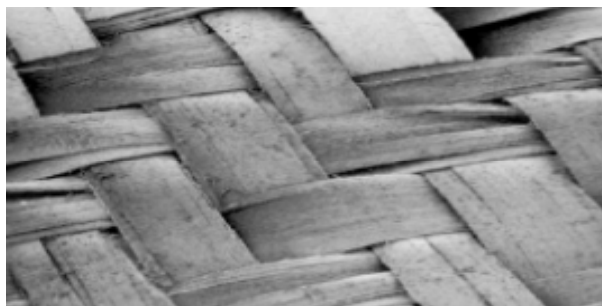
Τα γεωυφάσματα είναι διπερατά, συνηθως συνθετικά υλικά που ομοιάζουν με υφάσματα και ενσωματώνονται σε μια κατασκευή σε συνδυασμό με γεωυλικά, με στόχο τη βελτίωση της συμπεριφοράς, ή τη μείωση του

κόστους της κατασκευής (ορισμός σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 4439 προσαρμοσμένος κατά Koerner 1990).

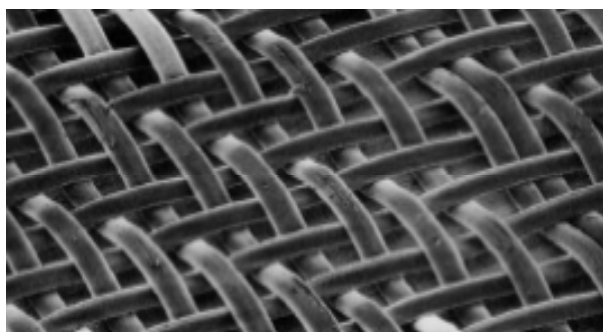
Τα γεωυφάσματα αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία γεωσυνθετικών, τόσο από άποψη αριθμού των διαθέσιμων στο εμπόριο προϊόντων, όσο και από την άποψη του εύρους των εφαρμογών και του όγκου των πωλήσεων. Σε σχετικό κατάλογο προϊόντων (Geotechnical Fabrics Report 1999) περιλαμβάνει 274 διαφορετικά προϊόντα που κατασκευάζονται από 18 εταιρίες. Ο Koerner (1994) αναφέρει πάνω από 100 διαφορετικές περιοχές όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωυφάσματα μεταξύ των οποίων και η προστασία γεωμεμβρανών.

### 2.1.1 Πρώτες ύλες, μέθοδοι κατασκευής και τύποι Γεωυφασμάτων

Τα γεωυφάσματα κατασκευάζονται από ίνες ή νήματα πολυπροπυλενίου, πολυεστέρα, πολυαιθυλενίου, πολυαμιδίου ή άλλων πολυμερών (Jagielski 1993, Koerner 1994). Επειδή για την κατασκευή τους δεν χρησιμοποιούνται φυτικές ίνες, τα γεωυφάσματα δεν παρουσιάζουν προβλήματα βιοαποδόμησης. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται κλασικές υφαντουργικές μηχανές και έτσι παράγονται τα λεγόμενα υφασμένα ή πλεκτά γεωυφάσματα.

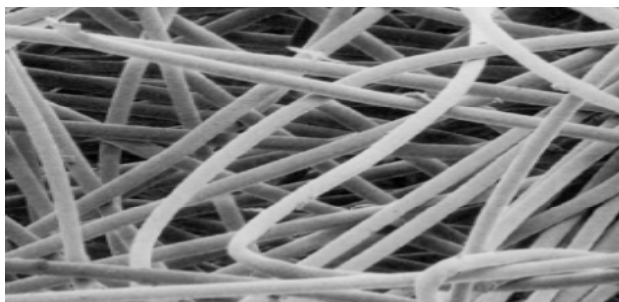


Εικόνα 2.1 Υφαντό γεωύφασμα με ταινίες



Εικόνα 2.2 Υφαντό γεωύφασμα με μονές ίνες.

Παράγονται όμως, και μάλιστα έχουν μεγαλύτερο όγκο πωλήσεων, και προϊόντα με τυχαίο προσανατολισμό των ινών, που ονομάζονται μη υφασμένα βελονοδιάτρητα γεωυφάσματα.



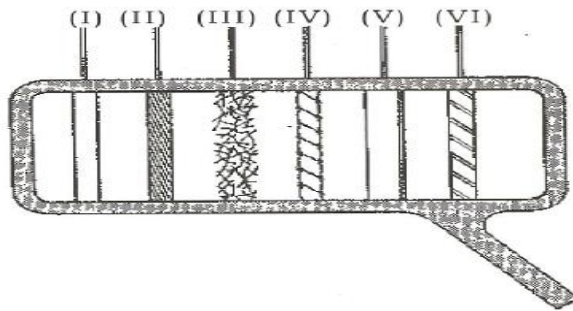
Εικόνα 2.3 Μη υφασμένο βελονοδιάτρητο γεωύφασμα

Πολλοί τύποι ινών και είδη γεωυφασμάτων έχουν αναπτυχθεί τόσο για γενική χρήση όσο και για εξειδικευμένες εφαρμογές. Σε κάθε περίπτωση, τρία σημεία είναι σημαντικά όσον αφορά την κατασκευή: ο τύπος του πολυμερούς, ο τύπος ίνας, και το ύφος του υφάσματος. Τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ινών των γεωυφασμάτων προέρχονται από τα ακόλουθα υλικά:

- Πολυπροπυλένιο ( =65% )
- Πολυεστέρας ( =32% )
- Πολυαμίδιο ( νάιλον) ( =2% )
- Πολυαιθυλένιο ( =1% )

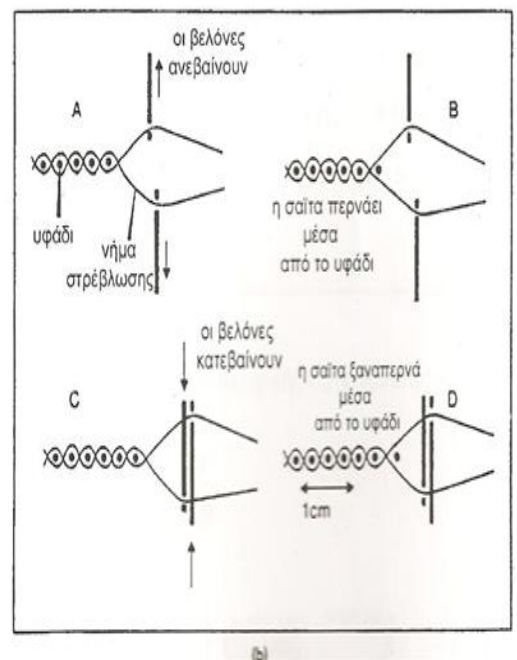
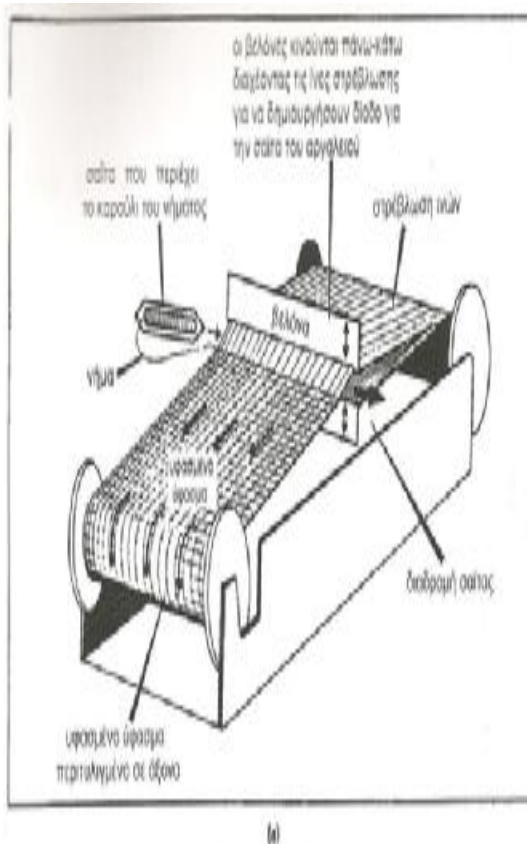
Τα βασικά πολυμερή μετατρέπονται σε ίνες ακολουθώντας μια διαδικασία κατά την οποία λαμβάνει χώρα η τήξη τους ενώ στη συνέχεια εξαναγκάζονται να περάσουν μέσα από συσκευές οι οποίες ομοιάζουν με την κεφαλή ενός σιφωνίου ντουζιέρας και οι οποίες δίνουν το σχήμα των ινών. Στην συνέχεια οι προκύπτουσες ίνες αποκτούν το συμπαγές προφίλ τους μέσω της διαδικασίας της ψύξης. Οι κύριες ίνες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των γεωυφασμάτων είναι οι εξής:

- Μονόκλωνες (I)
- Νήμα μονόκλωνων (II)
- Ακανόνιστα συνδεδεμένες (III)
- Νήμα ακανόνιστα συνδεδεμένων (IV)
- Ταινίες (V)
- Νήμα ταινιών (VI)



Σχήμα 2.1 Τύποι ινών για την κατασκευή γεωυφασμάτων

Μόλις οι ίνες, ή τα νήματα, όπως αναφέρονται στη βιομηχανία υφάσματα, κατασκευάζονται, πρέπει να μετατρέπουν σε υφάσματα. Οι βασικές επιλογές κατασκευής είναι υφασμένα, μη υφασμένα–βελονοδιάρτητα, ή πλεκτά γεωυφάσματα, αν και τα πλεκτά σπάνια χρησιμοποιούνται. Τα υφασμένα γεωυφάσματα κατασκευάζονται με κλασικές υφαντουργικές μηχανές σε ευρεία ποικιλία. Για την κατασκευή των γεωυφασμάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2 χρησιμοποιείται ένας απλοποιημένος τρόπος ύφανσης των ινών ο οποίος και έχει επικρατήσει και αυτός είναι η επίπεδη ύφανση.



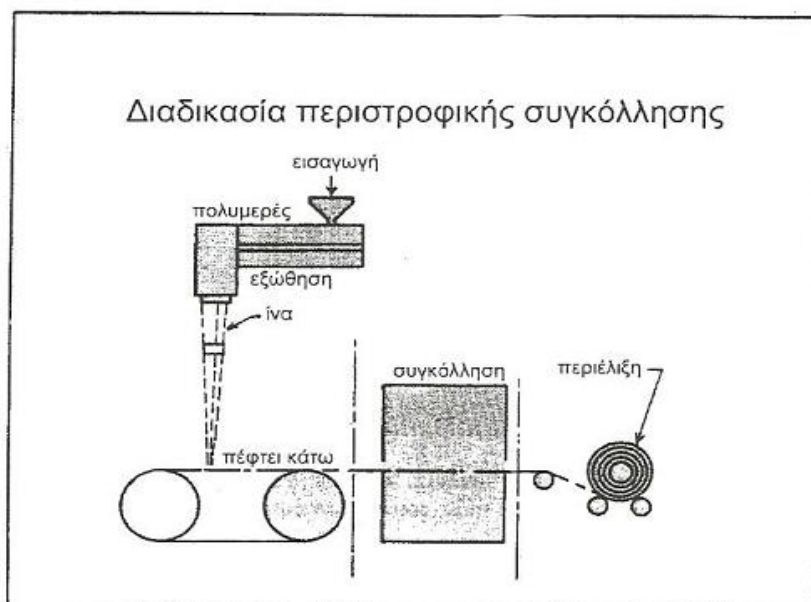
Σχήμα 2.2 Διαδικασία κατασκευής υφασμένων γεωυφασμάτων.



Η κατασκευή των μη υφασμένων γεωφασμάτων είναι πολύ διαφορετική από αυτή των υφασμένων και πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια:

- Προετοιμασία νήματος
- Σχηματισμό ιστού
- Σύνδεση επιμέρους ιστών και υλικού και
- Επεξεργασία

Από τα τέσσερα βασικά στάδια, η προετοιμασία του νήματος έχει ήδη αναφερθεί. Η διαδικασία της “περιστροφικής – σύνδεσης” καλύπτει τα υπόλοιπα τρία στάδια. Η περιστροφική– σύνδεση είναι μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία που χρησιμοποιείται ώστε να κατασκευαστεί ένα ύφασμα από ένα πολυμερές σώμα. Οι ίνες συνήθως τεντώνονται και μετά την ψύξη τους τοποθετούνται σε μια κινούμενη ταινία μεταφοράς για να διαμορφώσουν έναν συνεχή ιστό. Στη διαδικασία επεξεργασίας, ο επιθυμητός προσανατολισμός των ινών επιτυγχάνεται με διάφορα μέσα. Στην συνέχεια οι ίνες του υφάσματος συνδέονται, με θερμική, χημική ή μηχανική επεξεργασία πριν τυλιχτούν στην τελική μορφή ρολού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3



Σχήμα 2.3 Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας περιστροφικής συγκόλλησης

Εκτός από τις φυσικές ιδιότητες (πάχος, μάζα ανά μονάδα επιφάνειας) τα γεωφάσματα χαρακτηρίζονται και από ευρύ φάσμα μηχανικών ιδιοτήτων όπως η συμπεριφορά σε εφελκυσμό και οι αντοχές σε κρούση, διάτρηση,

διάρρηξη και σχισμό. Χαρακτηριστικές όμως αυτής της κατηγορίας γεωσυνθετικών , είναι και οι υδραυλικές ιδιότητες και ιδίως η διαπερατότητα. Τα γεωυφάσματα έχουν την ιδιότητα να επιτρέπουν ελεύθερη ροή από την επιφάνεια τους προς την άλλη (κάθετα στο επίπεδο τους) αλλά και στο εσωτερικό τους (παράλληλα προς το επίπεδο τους).

Ο σχεδιασμός έργων με γεωυφάσματα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη σωστή επιλογή γεωυφασμάτος ώστε αυτό να είναι ικανό να λειτουργήσει αποτελεσματικά ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου και τις συνθήκες του πεδίου . Οι πέντε κύριες λειτουργίες των γεωυφασμάτων είναι οι εξής: διαχωρισμός, ενίσχυση–όπλιση, φιλτράρισμα, στράγγιση και προστασία.

Τα γεωυφάσματα χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών υποστηρίζοντας συγκεκριμένες λειτουργίες οι βασικότερες των οποίων είναι οι εξής:

- I) Διαχωρισμός ανόμοιων υλικών
  - Μεταξύ υπόβασης και βάσης δρόμων
  - Μεταξύ των υλικών οδοστρωσίας
  - Μεταξύ των γεωμεμβρανών και των στρωμάτων αποστράγγισης
  - Μεταξύ του εδάφους θεμελίωσης και των αναχωμάτων
  - Μεταξύ του εδάφους θεμελίωσης και των τοίχων αντιστήριξης
  - Κάτω από τις πλάκες πεζοδρομίων
  - Κάτω από χώρους στάθμευσης
  - Κάτω από αθλητικές εγκαταστάσεις
  - Κάτω από προκατασκευασμένα τμήματα
  - Μεταξύ των διαφόρων ζωνών στα χωμάτινα φράγματα
  - Μεταξύ παλαιών και νέων στρωμάτων ασφάλτου
  
- II) Ενίσχυση των εδαφών
  - Σε μαλακά εδάφη δρόμων
  - Σε μαλακά εδάφη σιδηροδρόμων
  - Σε μαλακά εδάφη αθλητικών εγκαταστάσεων
  - Σε ασταθή υλικά οδοστρωσίας
  - Για την πλευρική συγκράτηση του έρματος σιδηροδρόμων
  - Σε χωμάτινα και βραχώδη φράγματα
  - Στην κατασκευή τοίχων “ οπλισμένου εδάφους ”
  - Για προστασία γεωμεμβρανών από τα υπερκείμενα ή υποκείμενα εδαφικά υλικά

III) Διήθηση (διαγώνιος– επίπεδη ροή )

- Περιμετρικά σε υπόγειους σωλήνες
- Κάτω από υλικά οδοστρωσίας
- Για την προστασία των υλικών σε στοές αποστράγγισης
- Μεταξύ του χώματος των τοίχων συγκράτησης
- Περιμετρικά σε φρεάτια
- Ως φίλτρο κάτω από κρηπιδώματα
- Ως φίλτρο κάτω από προκατασκευασμένα τμήματα λιμενοβραχίωνων

#### IV) Αποξήρανση

- Ως αγωγός εξαερισμού σε χωμάτινα φράγματα
- Πίσω από τους τοίχους αντιστήριξης
- Για παροχέτευση ύδατος κάτω από γεωμεμβράνες
- Για παροχέτευση αερίων κάτω από γεωμεμβράνες
- Ως αγωγός κάτω από αθλητικές εγκαταστάσεις

## 2.2 Γεωμεμβράνες

Οι γεωμεμβράνες είναι πρακτικά αδιαπέρατα φύλλα που χρησιμοποιούνται, συνήθως σε συνδυασμό με γεωυλικά, σε μια κατασκευή για τον έλεγχο της κίνησης ρευστών. Οι γεωμεμβράνες θεωρούνται η δεύτερη μεγάλη σε μέγεθος κατηγορία γεωσυνθετικών, αλλά με βάση το κόστος του όγκου πωλήσεων είναι περίπου ισοδύναμες με τα γεωυφάσματα (Koerner 1994). Σε σχετικό κατάλογο προϊόντων (Geotechnical Fabrics Report 1999) περιλαμβάνονται 211 διαφορετικά προϊόντα που κατασκευάζονται από 19 εταιρίες.

### 2.2.1 Πρώτες ύλες, μέθοδοι κατασκευής και τύποι Γεωμεμβρανών

Οι γεωμεμβράνες κατασκευάζονται από φύλλα πολυμερών και κυρίως πολυαιθυλενίου (40% ως 45% των προϊόντων), χλωριωμένου και χλωροθειωμένου πολυαιθυλενίου (15% ως 20% των προϊόντων) και πολυβινυλοχλωριδίου (25% ως 30% των προϊόντων).

Ανάλογα με τη μέθοδο της κατασκευής, τα φύλλα γεωμεμβρανών μπορεί να είναι μίας ή περισσοτέρων στρώσεων. Ακόμα κατασκευάζονται γεωμεμβράνες ενισχυμένες εσωτερικά με κάνναβο από νήματα που χρησιμοποιούνται συχνά για την κατασκευή των γεωυφασμάτων.



Εικόνα 2.4 Γεωμεμβράνες

Η κατασκευή των γεωμεμβρανών αρχίζει με την παραγωγή των πρώτων υλών, οι οποίες περιλαμβάνουν την πολυμερή ρητίνη, τους πλαστικοποιητές, μια ευρεία ποικιλία καταλυτών, αποσκληρυντικών και διαλυτικών χρώματος, καθώς επίσης και διαφόρων βοηθητικών επεξεργασίας. Αυτές οι πρώτες ύλες υποβάλλονται σε επεξεργασία με έναν από τους τρεις τρόπους.

Η πρώτη μέθοδος παράγει τον απλούστερο τύπο γεωμεμβρανών, μονού φύλλου μη ενισχυμένη. Κατά την μέθοδο αυτή, οι πρώτες ύλες αναμιγνύονται εκ των προτέρων και στην συνέχεια αφού ομογενοποιηθούν, δημιουργώντας έτσι μια ρευστή μάζα, αποθηκεύονται σε περιβάλλον κενού αέρος με αποτέλεσμα να απομακρύνονται τυχόν φυσαλίδες. Στην συνέχεια το υλικό μορφοποιείται σε φύλλα από 0,13 έως 5,10 χιλ. σε πάχος και από 0,9 έως 5,2 μ σε πλάτος. Αυτό το φύλλο, που μερικές φορές συγκολλάται εργαστηριακά σε μεγαλύτερα φύλλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, αλλά συνήθως ακολουθεί μια διαδικασία τελικής διαμόρφωσης. Αυτό μορφοποιείται τα φύλλα σε ένα ομοιόμορφο πάχος και ενισχύει τις μηχανικές ιδιότητες τους.

Η δεύτερη μέθοδος παραγωγής γεωμεμβρανών είναι λιγότερο απλή. Κατά τη μέθοδο αυτή οι γεωμεμβράνες διαμορφώνονται με επικόλληση αρκετών στρώσεων πλαστικού μεταξύ τους. Αυτοί οι τύποι μπορεί να είναι ενισχυμένοι ή μη ενισχυμένοι ανάλογα με την τοποθέτηση ή όχι ενίσχυσης μεταξύ των στρώσεων. Στην περίπτωση ενισχυμένων γεωμεμβρανών είναι απαραίτητο οι επιφάνειες της ενίσχυσης να εισχωρούν μέσα στη μάζα των εκατέρωθεν της ενίσχυσης στρώσεων ώστε να συνδέονται μονολιθικά.

Η τρίτη και πλέον σύγχρονη μέθοδος παραγωγής γεωμεμβρανών είναι η μέθοδος της επίστρωσης. Κατά την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται συνήθως ένα μη υφασμένο βελονοδιάτρητο γεωύφασμα ως υπόστρωμα πάνω στο

οποίο το λειωμένο πολυμερές τοποθετείται και διαχέεται στο τελικό του πάχος.

Οι περισσότερες από τις πρώτες ύλες για την κατασκευή των γεωμεμβρανών ανήκουν στην κατηγορία πολυμερών ρητινών και έτσι είναι θερμοπλαστικά υλικά, που γίνονται εξ ορισμού μαλακά και εύκαμπτα όταν θερμανθούν χωρίς οποιαδήποτε αλλαγή στις υπάρχουσες ιδιότητες. Το πολυαιθυλένιο διαμορφώνεται από τον πολυμερισμό ενώσεων που περιέχουν έναν ακόρεστο δεσμό μεταξύ δύο ατόμων άνθρακα. Οι αρχικές κύριες χρήσεις ήταν στις βιομηχανίες συσκευασίας. Το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) είναι ένα άλλο μέλος αυτής της ομάδας που χρησιμοποιείται για να κατασκευάσει γεωμεμβράνες .

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι γεωμεμβράνες πολυαιθυλενίου χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στην Ευρώπη και κινήθηκαν προς τη Βόρεια Αμερική και αλλού, ενώ οι μεμβράνες πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) έχουν τις ρίζες τους στις Η.Π.Α. Μία άλλη πρώιμη γεωμεμβράνη, πολυαιθυλενίου (CSPE), εισήχθη προς το τέλος της δεκαετίας του '60, και σύντομα χρησιμοποιήθηκε και στην Ευρώπη. Σήμερα, γεωμεμβράνες κατασκευάζονται και διανέμονται σε όλον τον κόσμο, καθιστώντας διαθέσιμους όλους τους τύπους προϊόντων. Στον Πίνακα 2.1 παρατίθενται οι τύποι των γεωμεμβρανών που συναντώνται σε έργα υποδομής ανά την υφήλιο.

<b>Γεωμεμβράνες ευρείας χρήσης</b> Πολυβινυλοχλωρίδιο ( PVC ) Χλωροθειωμένο πολυαιθυλένιο ενισχυμένο ( CSPE-R ) Υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο ( HDPE ) Πολύ χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου ( VLDPE )
<b>Γεωμεμβράνες περιορισμένης χρήσης</b> Κράμα συμπολυμερούς αιθυλενίου – ενισχυμένο ( EIA – R ) Γραμμικό χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου ( LIDPE ) Χλωριωμένο πολυαιθυλένιο ( CPE )
<b>Σχετικά νέα προϊόντα</b> Εύκαμπτο πολυπροπυλένιο ( PP ) Ελαστομερές κράμα πλήρως διασταυρούμενης διακλάδωσης (FCEA)

Πίνακας 2.1: Τύποι χρησιμοποιούμενων γεωμεμβρανών

Η μηχανική συμπεριφορά των γεωμεμβρανών είναι σημαντική για το σχεδιασμό έργων με γεωμεμβράνες, λόγω των μηχανικών καταπονήσεων που υφίστανται τα υλικά αυτά στο πεδίο. Όμως, το κύριο χαρακτηριστικό των γεωμεμβρανών είναι η εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα σε σχέση με την διαπερατότητα "συμβατικών" υλικών που είναι ανταγωνιστικά των γεωμεμβρανών. Το ανταγωνιστικό υλικό είναι συνήθως η μπετονιτική άργιλος η οποία έχει, κατά προσέγγιση, διαπερατότητα της τάξεως των  $10^{-8}$  cm/sec. Αντίθετα, η διαπερατότητα μι τυπικής γεωμεμβράνης, από πλαστικό ή από καουτσούκ, είναι  $10^{-11}$  cm/sec έως  $10^{-13}$  cm/sec. Η βασική αυτή ιδιότητα των γεωμεμβρανών τις καθιστά ιδανικά υλικά για να λειτουργήσουν ως φραγμός στην κίνηση ρευστών ή αερίων. Έτσι οι πιθανές περιοχές εφαρμογής τους διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- α) παρεμπόδιση της κίνησης ή της διήθησης νερού ή άλλων ρευστών: η γεωμεμβράνη λειτουργεί σαν φραγμός μεταξύ του νερού και του περιβάλλοντος υλικού και ελαχιστοποιεί τη μεταφορά νερού από τη μια πλευρά της στην άλλη,
- β) παρεμπόδιση της διάδοσης ρύπων: η γεωμεμβράνη διαχωρίζει δύο υλικά και απαγορεύει οποιαδήποτε ανάμιξη τους.

Αναφέρονται περισσότερες από 30 περιπτώσεις έργων Πολιτικού Μηχανικού όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωμεμβράνες (Koerner 1994) με κυριότερα τις επενδύσεις δεξαμενών ( πόσιμου νερού, ρευστών αποβλήτων, αλμυρού νερού, νερού για άρδευση), τις επενδύσεις καναλιών, τις επενδύσεις περιοχών απόθεσης στερεών αποβλήτων (χώροι υγειονομικής ταφής απορριμάτων, ταφής επικίνδυνων αποβλήτων), την κατασκευή αδιαπέρατων ζωνών σε φράγματα και τις στεγανώσεις υπόγειων κατασκευών και χώρων. Οι τύποι των γεωμεμβρανών που χρησιμοποιούνται σε γεωτεχνικές και περιβαλλοντικές κατασκευές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 (Koerner 1994). Για επενδύσεις δεξαμενών πόσιμου νερού και άρδευσης χρησιμοποιείται πολύ συχνά πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), κυρίως για λόγους κόστους και ευκολίας στην τοποθέτηση, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και οποιοδήποτε υλικό που περιλαμβάνεται στον Πίνακα 2.2. Όταν το αποθηκευόμενο ρευστό περιέχει χημικές ουσίες (π.χ. οξέα, βάσεις, βαρέα μέταλλα, κτλ) η επιλογή γεωμεμβράνης βασίζεται στην αντοχή που παρουσιάζει έναντι των συγκεκριμένων χημικών ουσιών. Μια συντηρητική και ασφαλής επιλογή είναι η χρήση υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE) που είναι το υλικό με τη μεγαλύτερη "αδράνεια" έναντι χημικών ουσιών. Σε ανοιχτούς αγωγούς και κανάλια χρησιμοποιείται συχνά το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Όταν τα ρευστά περιέχουν χημικές ουσίες, εφαρμόζεται η ίδια πρακτική όπως και για επενδύσεις δεξαμενών. Σε περιοχές αποθήκευσης στερεών αποβλήτων, όπου συχνά αναμένεται η

δημιουργία στραγγισμάτων με έντονη χημική επιβάρυνση, η πρακτική οδηγεί πλέον σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE).

Ένα ευρύ φάσμα χρήσεων των γεωμεμβρανών αναπτύσσεται σήμερα. Μπορεί από τις χρήσεις των γεωμεμβρανών σε αστικές, γεωτεχνικές, και περιβάλλοντικές δραστηριότητες παρατίθενται κατωτέρω:

- Λιμνοδεξαμενές για πόσιμο νερό
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
- Αρδευτικά κανάλια
- Χωμάτινα φράγματα για έλεγχο διήθησης
- Στεγανοποίηση σηράγγων

### 2.3 Γεωπλέγματα

Τα γεωπλέγματα είναι επίπεδα πολυμερή υλικά τα οποία σχηματίζουν ομοιόμορφα κενά διαφόρων διαστάσεων στο επίπεδο τους και χρησιμοποιούνται σε τεχνικά έργα κατά κανόνα ώστε να ενισχύουν εδαφικά υλικά. Το κύριο χαρακτηριστικό των γεωπλεγμάτων είναι τα σχετικά μεγάλα ανοίγματα τους μεταξύ των διαμηκών και εγκάρσιων πλευρών τους με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η διείσδυση εδαφικού υλικού από την μια πλευρά του γεωπλέγματος στην άλλη.



Εικόνα 2.5 Γεωπλέγμα προστασίας πρανών

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής αντοχής του συστήματος εδαφικού υλικού– γεωπλέγματος καθώς τα επιμέρους υλικά λειτουργούν σαν ένα ενιαίο σύνολο. Η βασική τους λειτουργία είναι αυτή της ενίσχυσης, όμως σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για διαχωρισμό σε χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά με μεγάλο μέγεθος κόκκων (κροκάλες κ.α).

### **2.3.1 Πρώτες ύλες, μέθοδοι κατασκευής και τύποι γεωπλεγμάτων**

Τα πολυμερή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των γεωπλεγμάτων είναι υψηλού μοριακού βάρους πολυεστέρα (PET), πολυεστέρες υψηλής– αντοχής, ή πολυπροπυλενίο. Τα υλικά αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται σε μορφή επιπέδων φύλλων τυλιγμένων σε ρολά διέρχονται από διατρητική μηχανή ώστε να δημιουργηθούν τα ανοίγματα. Στην συνέχεια το φύλλο επιμηκύνεται μονοαξονικά ή διαξονικά. Διαξονικά γεωπλέγματα είναι αυτά που έχουν την ίδια εφελκυστική αντοχή και στις δύο διευθύνσεις (στην διεύθυνση μηχανής και στην κάθετη προς αυτήν), ενώ τα μονοαξονικά γεωπλέγματα έχουν την βασική εφελκυστική αντοχή κατά την διεύθυνση μηχανής και ελάχιστη αντοχή (ικανή να διατηρήσει την διαμόρφωση του πλέγματος) κατά την εγκάρσια διεύθυνση.

Κάτω από ελεγχόμενη θερμοκρασία και ρυθμό παραμόρφωσης, ώστε να αποφευχθεί η πιθανή θραύση του γεωπλέγματος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής. Η κρίσιμη μεταβλητή στη διαδικασία αυτή είναι ο ρυθμός παραμόρφωσης, όμως και άλλες μεταβλητές, όπως το μοριακό βάρος των πολυμερών, η διασπορά του μοριακού βάρους, και ο βαθμός πολυμερισμού τους παίζουν σημαντικό ρόλο.

Τα γεωπλέγματα συνεισφέρουν στην ενίσχυση των εδαφών παραλαμβάνοντας φορτία μέσω του σκελετού τους. Έτσι είναι προφανές πως θα πρέπει να έχουν ικανές αντοχές τόσο κατά την διεύθυνση παραγωγής τους όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση.

Ένας διαφορετικός τρόπος κατασκευής γεωπλεγμάτων βασίζεται στην επικόλληση λωρίδων πολυμερούς υλικού σε διεύθυνση κάθετη προς την διεύθυνση παραγωγής του γεωπλέγματος, όπου πάλι τοποθετούνται λωρίδες πολυμερούς υλικού. Η συγκόλληση των λωρίδων πραγματοποιείται με τοπική τήξη του πολυμερούς υλικού στα σημεία συγκόλλησης με αποτέλεσμα τον σχηματισμό του γεωπλέγματος. Τα φορτία που παραλαμβάνουν οι εγκάρσιες λωρίδες μεταφέρονται μέσω των συγκολλήσεων στις διαμήκεις (κατά την διεύθυνση παραγωγής). Είναι προφανές πως στην περίπτωση αυτή κρίσιμο



ρόλο στην αντοχή του γεωπλέγματος παίζει η ποιότητα και η αντοχή των συγκολλήσεων.

Εφόσον οι ίνες των γεωπλεγμάτων είναι διατεταγμένες κατά μήκος ενός άξονα, αυτά καλούνται μονοαξονικά (uniaxial), ενώ εάν είναι διατεταγμένες κατά μήκος δύο καθέτων αξόνων καλούνται διαξονικά (biaxial). Οι ίνες των γεωπλεγμάτων, επιμήκεις και εγκάρσιες, είναι δυνατό να κατασκευάζονται από σειρά διαφορετικών υλικών. Τις περισσότερες φορές είναι πιο δύσκαμπτες από τις ίνες των γεωυφασμάτων, ενώ συνδέσεις τους γίνονται με μηχανικές ή θερμικές μεθόδους. Το κύριο χαρακτηριστικό των γεωπλεγμάτων είναι τα μεγάλα ανοίγματα (apertures), μέγεθος από 10 έως 100 mm και η μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με γεωυφάσματα.

Τα γεωπλέγματα βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα τεχνικά έργα και ιδιαίτερα στην οδοποιία με βασική όμως λειτουργία την ενίσχυση/ όπλιση του εδάφους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών αποτελούν τα οπλισμένα επιχώματα στο χώρο των γεωκατασκευών, οι οπλισμένες στρώσεις ασφαλοταπήτων στο χώρο των ασφαλικών και οι ενισχυμένες στρώσεις στο χώρο των οδοστρωμάτων.

Πολλές από τις φυσικές ιδιότητες των γεωπλεγμάτων μπορούν να μετρηθούν σχετικά απλά, όπως η δομή τους, ο τύπος της σύνδεσης τους, το μέγεθος του ανοίγματος (10-70mm), το πάχος τους (0,5-1,5mm), το ποσοστό των κενών επιφάνειας που κυμαίνεται από 40 έως 95% και το ειδικό βάρος, που έχει μεγάλο εύρος διακύμανσης (από 200 έως 100gr/m<sup>2</sup>).

Μια φυσική ιδιότητα των γεωπλεγμάτων, που είναι ιδιαίτερης σημασίας για την εργασιμότητά τους, είναι η δυσκαμψία (stiffness), που προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D1388. Πρόκειται για ποσοτική μέθοδο προσδιορισμού της δυσκαμψίας των γεωπλεγμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ποιοτικό διαχωρισμό των γεωπλεγμάτων σε δύο τύπους:

- Τα δύσκαμπτα (stiff) γεωπλέγματα, που κατασκευάζονται κυρίως από πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο και χαρακτηρίζονται από τιμές καμπτικής αντοχής (flexural rigidity) μεγαλύτερο από 1000gr/cm<sup>2</sup>.
  - Τα εύκαμπτα (flexible) γεωπλέγματα, των οποίων η κατασκευή περιλαμβάνει μια διαδικασία παραγωγής υφάσματος από υλικά όπως ο πολυεστέρας, το νάυλον και οι ίνες γυαλιού (fiberglass). Χαρακτηρίζονται από τιμές καμπτικής αντοχής μικρότερες των 1000gr/cm<sup>2</sup>. Δεδομένης της κύριας χρήσης των γεωπλεγμάτων ως υλικά ενίσχυσης, η κρίσιμη ιδιότητά τους είναι αυτή της εφελκυστικής τους αντοχής (tensile strength), η επιμήκυνση στο όριο θραύσης και η αντίσταση εξόλκευσης. Οι χαρακτηριστικές τιμές αντοχής, ανάλογα με τον τύπο του γεωπλέγματος, προσδιορίζονται κατά τη μία ή κατά τις δύο διευθύνσεις από αντίστοιχες δοκιμές (ASTM D4959) μέσω τον

οποίων, προσδιορίζονται επίσης, οι αναπτυσσόμενες τάσεις εφελκυσμού σε επιμήκυνση 5% ή 10%, που θεωρείται ιδιαίτερα μεγάλη επιμήκυνση, ωστόσο, στις συνήθεις εφαρμογές παρατηρείται:

- Εφελκυστική αντοχή  $R_t = 20-40 \text{ Kn/m}$
- Επιμήκυνση στο όριο διαρροής  $\Delta \square = 5-15\%$ .

Ακόμα η αντίσταση εξόλκευσης (pullout resistance) προσδιορίζεται εργαστηριακά για κάθε γεωπλέγμα σε συνδυασμό με το έδαφος στο οποίο τοποθετείται ως ενίσχυση. Οι τιμές της παραμέτρου αυτής εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του γεωπλέγματος (υφή, πλέξη, άνοιγμα βροχίδας) και από τη γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους.

## 2.4 Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό έχει δοθεί έμφαση σε διαθέσιμες από την βιβλιογραφία πληροφορίες σχετικά τους πλέον διαδεδομένους τύπους γεωσυνθετικών υλικών δηλαδή τα γεωυφάσματα τις γεωμεμβράνες, και τα γεωπλέγματα. Αναλύονται διαδικασίες κατασκευής, χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες και επιμέρους κατηγορίες αυτών των γεωσυνθετικών, ενώ περιγράφονται επιγραμματικά οι βασικές λειτουργίες αυτών

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ III**

### **ΠΡΟΤΥΠΑ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ**

#### **3.1 Μηχανικές ιδιότητες γεωσυνθετικών υλικών**

Η μηχανική συμπεριφορά των γεωσυνθετικών υλικών είναι σημαντική για το σχεδιασμό έργων με χρήση τέτοιων υλικών, λόγω των μηχανικών καταπονήσεων που υφίστανται τα υλικά αυτά στο πεδίο. Ο καθορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των γεωσυνθετικών υλικών πραγματοποιείται με την εφαρμογή προκαθορισμένων διαδικασιών για την εκτέλεση των αντίστοιχων εργαστηριακών δοκιμών. Οι διαδικασίες αυτές περιγράφονται αναλυτικά σε εγχειρίδια και καλούνται πρότυπα. Ανάλογα με το είδος του γεωσυνθετικού υλικού καθώς και της μηχανικής ιδιότητας του που είναι κρίσιμο να καθοριστεί, εφαρμόζεται αντίστοιχο πρότυπο. Στη συνέχεια περιγράφονται τα πλέον διαδεδομένα πρότυπα για τον καθορισμό των σημαντικότερων μηχανικών ιδιοτήτων των προαναφερόμενων γεωσυνθετικών υλικών. Για κάθε πρότυπο αναφέρονται αρχικά γενικές πληροφορίες και ακολούθως παρουσιάζονται οι συσκευές και τα παρελκόμενα που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση των δοκιμών, η διαδικασία δειγματοληψίας, ο απαιτούμενος αριθμός δειγμάτων, η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής, οι σχετικοί υπολογισμοί και το περιεχόμενο της σχετικής τεχνικής έκθεσης.

##### **3.1.1 Πρότυπο ASTM D4595: Ιδιότητες εφελκυσμού γεωυφασμάτων με τη μέθοδο πλατειάς λωρίδας**

###### **Γενικά**

Με το πρότυπο αυτό καθορίζεται η διαδικασία εργαστηριακού προσδιορισμού των χαρακτηριστικών φορτίου–επιμήκυνσης με χρήση δοκιμίου μορφής πλατειάς λωρίδας. Το δοκίμιο συγκρατείται σε ολόκληρο το πλάτος του στους σφιγκτήρες μηχανής που επιβάλλει σταθερό ρυθμό επιμήκυνσης, εφαρμόζοντας ταυτόχρονα φορτίο εφελκυσμού κατά την έννοια του μήκους του δοκιμίου έως ότου αυτό αστοχήσει. Από τα πρωτογενή δεδομένα που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής, προσδιορίζονται η αντοχή σε εφελκυσμό, η επιμήκυνση στην αστοχία, το μέτρο εφελκυσμού ( αρχικό, γραμμικής περιοχής, χορδής ), και το ανηγμένο έργο θραύσης.

Οι βασικές διαφορές μεταξύ αυτής της μεθόδου και άλλων δοκιμών εφελκυσμού λωρίδας, είναι το πλάτος των δοκιμίων και ο ρυθμός εφαρμογής του φορτίου. Το μεγαλύτερο πλάτος των δοκιμίων που απαιτείται για τη

δοκιμή, αλλά και το γεγονός ότι το πλάτος του δοκιμίου είναι μεγαλύτερο από το μήκος του, ελαχιστοποιούν την επίδραση της εγκάρσιας παραμόρφωσης ( σχηματισμός λαιμού ) που συμβαίνει σε πολλά γεωυφάσματα που υποβάλλονται σε άλλου τύπου δοκιμές εφελκυσμού λωρίδας. Έτσι, ο περιορισμός της εγκάρσιας παραμόρφωσης και ο σημαντικά μικρότερος ρυθμός αξονικής παραμόρφωσης, οδηγούν σε μεγαλύτερη προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς του γεωυφάσματος στο πεδίο. Η δοκιμή αυτή θεωρείται δοκιμή επίδοσης και παρέχει τιμές παραμέτρων που χρησιμοποιούνται απευθείας για το σχεδιασμό εφαρμογών ενίσχυσης ή οπλισμού εδάφους και κατασκευή τοίχων αντιστήριξης και πρανών από οπλισμένο έδαφος. Η δοκιμή εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως δοκιμή αποδοχής παρτίδων γεωυφάσματος που παραδίδονται για χρήση, αλλά συνιστάται προσοχή, αφού δεν υπάρχουν ακόμα ικανοποιητικές πληροφορίες για τη συσχέτιση της ακρίβειας των διαφορετικών αποτελεσμάτων που προέρχονται από διαφορετικά εργαστήρια.

### **Συσκευές και παρελκόμενα**

Πρέπει να χρησιμοποιείται πλαίσιο φόρτισης τύπου ρυθμού επιμήκυνσης, εφοδιασμένο με κατάλληλο καταγραφικό όργανο ώστε να καταγράφεται ορθά η καμπύλη φορτίου – επιμήκυνσης. Οι σφικκτήρες πρέπει να έχουν ικανό πλάτος ώστε να συγκρατούν το δοκίμιο σε ολόκληρο το πλάτος του και να ασκούν ταυτόχρονα κατάλληλη δύναμη σύσφιξης για να αποτρέπεται η ολίσθηση και η καταστροφή του δοκιμίου. Κάθε σφικκτήρας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με σταγόνες με πλάτος μεγαλύτερο από το πλάτος του δοκιμίου ( 200mm ) και με ελάχιστο μήκος 50mm κατά τη διεύθυνση του εφαρμοζόμενου φορτίου. Για τη μέτρηση επιφανειών, μπορεί να χρησιμοποιείται όργανο ενσωματωμένο στο πλαίσιο φόρτισης ή ένα κοινό εμβασόμετρο. Τέλος πρέπει να χρησιμοποιείται απεσταγμένο νερό για την προετοιμασία δοκιμών που ελέγχονται σε υγρή κατάσταση.

### **Δειγματοληψία**

Ως δείγμα παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται ένας αριθμός ρολών γεωυφασμάτων που καθορίζονται από σχετική προδιαγραφή ή συμφωνείται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή. Από κάθε ρόλο του δείγματος μιας παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται, ως εργαστηριακό δείγμα, λωρίδα με πλάτος όσο και το πλάτος του ρολού και μήκος περίπου 1m κατά την διεύθυνση παραγωγής. Το δείγμα μπορεί να ληφθεί από το τελευταίο τμήμα

ενός δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό είναι παραμορφωμένο ή διαφορετικό από άλλα τμήματα του ρολού. Σε περιπτώσεις αμφισβήτησης, λαμβάνεται δείγμα που περιέχει υλικό από την εξωτερική στιβάδα ή την πρώτη εσωτερική στιβάδα ρολού.

Για ελέγχους κατά την διεύθυνση παραγωγής και κατά την εγκάρσια διεύθυνση, αντίστοιχα, λαμβάνεται από κάθε εργαστηριακό δείγμα, ο απαιτούμενος αριθμός δοκιμίων. Τα δοκίμια λαμβάνονται σε τυχαίες θέσεις του εργαστηριακού δείγματος. Αυτά που προορίζονται για έλεγχο κατά την διεύθυνση παραγωγής λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις κατά την έννοια του πλάτους του ρόλου και εκείνα που προορίζονται για έλεγχο κατά την εγκάρσια διεύθυνση από διαφορετικές θέσεις κατά την έννοια του μήκους του ρόλου. Ακατάλληλα θεωρούνται που λαμβάνονται σε απόσταση από την ούγια ή την άκρη του γεωυφάσματος μικρότερη του 1/10 του πλάτους του ρολού.

Ο αριθμός δοκιμίων ανά εργαστηριακό δείγμα, τόσο κατά τη διεύθυνση παραγωγής όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση, πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη να αναμένει με πιθανότητα 95% ότι το αποτέλεσμα της δοκιμής δε θα διαφέρει περισσότερο από 5% από τον πραγματικό μέσο όρο για το δείγμα. Όταν υπάρχει μια αξιόπιστη τιμή του  $v$  βασισμένη σε εκτεταμένες παλαιότερες δοκιμές για παρόμοια υλικά στο ίδιο εργαστήριο, ο απαιτούμενος αριθμός των δοκιμών,  $n$ , δίνεται από τη σχέση:  $n = (t * \frac{V}{A})^2$  όπου  $t$  είναι η τιμή της κατανομής  $t$  για επίπεδο πιθανότητας 95% και για τους βαθμούς ελευθερίας που σχετίζονται με την εκτίμηση της τιμής του  $v$ ,  $v$  είναι μια αξιόπιστη εκτίμηση του συντελεστή μεταβλητότητας μεμονωμένων παρατηρήσεων σε παρόμοια υλικά στο συγκεκριμένο εργαστήριο υπό συνθήκες ακρίβειας μοναδικού χειριστή (εκφρασμένο σε ποσοστό), και  $A$  είναι το 5% του μέσου όρου (η επιθυμητή τιμή της μεταβλητότητας).

Όταν δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση του  $v$ , λαμβάνονται έξι δοκίμια για κάθε διεύθυνση κατά την οποία πραγματοποιείται η δοκιμή. Κάθε δοκίμιο πρέπει να έχει πλάτος 200mm, με την διάσταση του μήκους κατάλληλα επισημασμένα επί του δοκιμίου και παράλληλη προς την διεύθυνση κατά την οποία θα γίνεται η μέτρηση (παραγωγής ή εγκάρσια). Ακολούθως σχεδιάζονται στην κεντρική περιοχή του δοκιμίου δυο γραμμές σε όλο το πλάτος του, κάθετα στη διάσταση του μήκους, σε απόσταση 100mm μεταξύ τους για τον προσδιορισμό της περιοχής ελέγχου.

Για μερικά υφασμένα γεωυφάσματα μπορεί να είναι απαραίτητο να κοπεί το δοκίμιο με πλάτους 210mm και έπειτα να αφαιρεθεί ίσος αριθμός νημάτων από κάθε πλευρά του για να αποκτήσει την τελική διάσταση των 200mm. Αυτό βοηθάει στη διατήρηση της ακεραιότητας του δοκιμίου κατά την διάρκεια της δοκιμής.

Το μήκος του δοκιμίου εξαρτάται από τον τύπο των σφιγκτήρων που χρησιμοποιούνται. Πρέπει να είναι αρκετά μακρύ ώστε να καλύπτεται όλο το μήκος των σφιγκτήρων. Όταν απαιτείται έλεγχος του γεωφάσματος σε υγρή κατάσταση επιπλέον του ελέγχου σε ξηρή κατάσταση, λαμβάνονται δοκίμια με μήκος τουλάχιστον διπλάσιο από το απαιτούμενο για μια τυπική δοκιμή. Το δοκίμιο κόβεται σε δύο ίσα μέρη, ένα για έλεγχο σε ξηρή κατάσταση και ένα για έλεγχο σε υγρή κατάσταση και κάθε τμήμα να φέρει τον ίδιο κωδικό αριθμό δοκιμίου. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε ζεύγος δοκιμών εκτελείται σε δοκίμια που περιέχουν κατά το δυνατόν την ίδια ποσότητα νημάτων ή ινών.

### **Διαδικασία εκτέλεσης δοκιμής**

Τα δοκίμια ελέγχονται με υγρασία την καθορισμένη για συνθήκες ελέγχου γεωφασμάτων (υγρασία  $65 \pm 5\%$  και θερμοκρασία  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Η εξισορρόπηση της υγρασίας ενός δοκιμίου θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί όταν η αύξηση της μάζας του δοκιμίου σε διαδοχικές ζυγίσεις, που απέχουν μεταξύ τους χρονικό διάστημα όχι μικρότερο των δύο ωρών, δεν υπερβαίνει το 0,1% της μάζας του. Στην πράξη, τα γεωφάσματα συχνά δεν ζυγίζονται για να καθοριστεί τότε έχει επιτευχθεί η ισορροπία της υγρασίας τους. Παρ' όλο που μια τέτοια διαδικασία δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή σε περιπτώσεις διαφωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, μπορεί να είναι αρκετό για μια συνηθισμένη δοκιμή να εκτεθεί το υλικό στη τυπική ατμόσφαιρα ελέγχου για μια λογική περίοδο χρόνου πριν από την εκτέλεση της δοκιμής. Διάστημα τουλάχιστον 24 ωρών αποδείχθηκε ικανοποιητικό στις περισσότερες περιπτώσεις, με εξαίρεση ορισμένα γεωφάσματα τα οποία μπορεί να επιδεικνύουν βραδείς ρυθμούς εξισορρόπησης της υγρασίας τους. Τα δείγματα που πρέπει να ελεγχθούν σε υγρή κατάσταση, εμβαπτίζονται σε νερό με θερμοκρασία  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ . Ο χρόνος εμβάπτισης πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να διαβρέχουν πλήρως τα δοκίμια και έχει διάρκεια τουλάχιστον 2 λεπτών.

Τα ξηρά δοκίμια ελέγχονται στην ατμόσφαιρα ελέγχου γεωφάσματα και τα υγρά δοκίμια μέσα σε 20 λεπτά μετά την απομάκρυνση τους από το νερό. Η απόσταση μεταξύ των σφιγκτήρων στην αρχή της δοκιμής ρυθμίζεται ώστε να είναι ίση προς  $100 \pm 3\text{mm}$ . Επιλέγεται το εύρος της κλίμακας μέτρησης του φορτίου που ασκείται στο δοκίμιο, έτσι ώστε η αστοχία να συμβαίνει μεταξύ του 10% και του 90% της πλήρους κλίμακας φορτίου. Το πλαίσιο ρυθμίζεται ώστε να επιβάλλει ρυθμό επιμήκυνσης ( $10 \pm 3\%$ ) mm/min. Ένας τουλάχιστον σφιγκτήρας πρέπει να διαθέτει έναν ελεύθερο στρόφαια ή έναν σύνδεσμο που να επιτρέπει στο σφιγκτήρα να περιστρέφεται στο επίπεδο του γεωφάσματος.

Το δοκίμιο τοποθετείται κεντρικά στους σφιγκτήρες, ώστε οι δύο γραμμές, που σχεδιάστηκαν σε απόσταση μεταξύ τους  $100\pm 3$  mm και εκτείνονται σε όλο το πλάτος του δοκιμίου, να συμπίπτουν ακριβώς με τα εσωτερικά άκρα της πάνω και κάτω σιαγόνας. Το μήκος του δοκιμίου, για έλεγχο είτε κατά την διεύθυνση παραγωγής είτε κατά την εγκάρσια διεύθυνση, πρέπει να είναι παράλληλο προς την διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου.

Ακολουθως, τίθεται σε λειτουργία το πλαίσιο φόρτισης και η συσκευή μέτρησης της επιφάνειας του δοκιμίου (εφόσον χρησιμοποιείται) και η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι την αστοχία του δοκιμίου. Τέλος, η μηχανή επαναφέρεται στην αρχική θέση της. Τα αποτελέσματα της δοκιμής καταγράφονται και αναφέρονται ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση ελέγχου.

Αν ένα δοκίμιο ολίσθησης στις σιαγόνες, σχισθεί στην άκρη ή στο εσωτερικό των σιαγόνων, ή αν λόγω οποιουδήποτε εσφαλμένου χειρισμού το αποτέλεσμα (φορτίο θραύσης) πέφτει εμφανώς κάτω από το μέσο όρο της ομάδας των δοκιμών, το αποτέλεσμα αυτό πρέπει να απορρίπτεται και να ελέγχεται ένα ακόμα δοκίμιο. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να ελεγχθεί ο απαιτούμενος αριθμός δοκιμών. Η απόφαση να απορριφθεί το αποτέλεσμα μιας δοκιμής βασίζεται σε παρατήρηση του δοκιμίου κατά την διάρκεια της δοκιμής λαμβάνοντας υπόψιν και την μεταβλητότητα της δομής του συγκεκριμένου γεωφάσματος. Εφ' όσον δεν υπάρχουν άλλα κριτήρια για την απόρριψη μιας δοκιμής, θα απορρίπτεται το αποτέλεσμα κάθε δοκιμής που η αστοχία (θραύση του γεωφάσματος), εμφανίζεται σε απόσταση έως 5mm από το άκρο των σιαγόνων και που η τιμή του φορτίου θραύσης είναι μικρότερη από το 80% του μέσου όρου όλων των άλλων δοκιμών. Δεν θα απορρίπτεται καμία άλλη αστοχία δοκιμίου παρά μόνο εάν είναι γνωστό ότι η δοκιμή εκτελέστηκε εσφαλμένα.

Η επιμήκυνση του γεωφάσματος μετράται με τη βοήθεια κατάλληλης συσκευής καταγραφής, την ίδια στιγμή που προσδιορίζεται το φορτίο εφελκυσμού. Η μέτρηση της παραμόρφωσης του δοκιμίου μπορεί να γίνεται με μέτρηση της απόστασης από σιαγόνα σε σιαγόνα κατά μήκος του κεντρικού άξονα του δοκιμίου. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας απλή μετροταινία, μηχανικά μηκυνσιόμετρα ή LVDT.

### **Υπολογισμοί**

Η αντοχή σε εφελκυσμό κάθε δοκιμίου, δηλαδή η μέγιστη δύναμη ανά μονάδα πλάτους που προκαλεί αστοχία, λαμβάνεται απευθείας από το όργανο ελέγχου και εκφράζεται σε N/m πλάτους χρησιμοποιώντας την σχέση:  $\alpha_f = F_f / W_s$ , όπου  $\alpha_f$  είναι η αντοχή σε εφελκυσμό (σε N/m),  $F_f$  είναι το φορτίο θραύσης (σε N) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).

Η επιμήκυνση κάθε δοκιμίου εκφράζεται ως ποσοστιαία αύξηση του μήκους, βασισμένη στο αρχικό μήκος ελέγχου του δοκιμίου χρησιμοποιώντας την σχέση  $\epsilon_p = (\Delta L \square 100)/L_g$  όπου  $\epsilon_p$  είναι η επιμήκυνση (%),  $L_g$  είναι αρχικά καθορισμένο μήκος ελέγχου (σε mm) και  $\Delta L$  είναι η μεταβολή του μήκους από μηδενικό φορτίο στο αντίστοιχο μετρημένο φορτίο (σε mm).

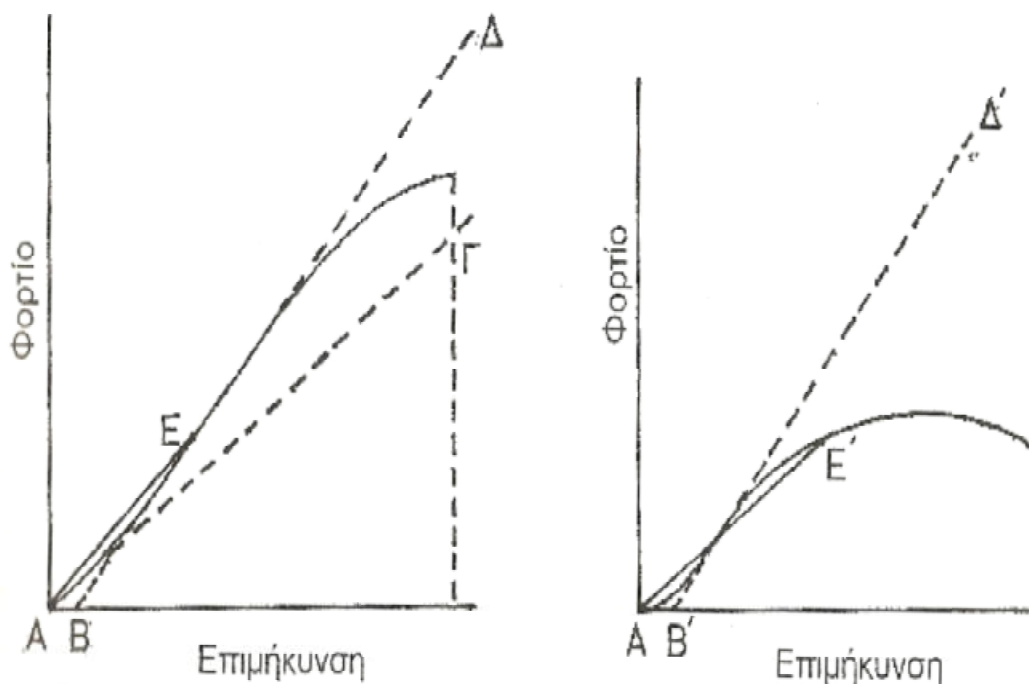
Το αρχικό μέτρο εφελκυσμού είναι η κλίση ευθείας εφαπτόμενης στο πρώτο τμήμα της καμπύλης φορτίου επιμήκυνσης (ευθεία ΑΓ στο Σχήμα 3.1), εκφράζεται σε N/m και υπολογίζεται από τη σχέση:  $J_i = (F \square 100)/(\epsilon_p \square W_s)$  όπου  $J_i$  είναι αρχικό μέτρο εφελκυσμού (σε N/m),  $F$  είναι η αντίστοιχη επιμήκυνση στο φορτίο  $F$  (σε %) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).

Το μέτρο εφελκυσμού γραμμικής περιοχής υπολογίζεται για ένα κεντρικό ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης φορτίου-επιμήκυνσης ή από την εφαπτομένη στην καμπύλη φορτίου-επιμήκυνσης στην θέση με την μέγιστη κλίση ευθείας ΒΔ ή Β'Δ' στο Σχήμα 3.1. υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:  $J_o = (F \square 100)/(\epsilon_p \square W_s)$  όπου  $J_o$  είναι το μέτρο εφελκυσμού γραμμικής περιοχής (σε N/m),  $F$  είναι το φορτίο που αντιστοιχεί σε επιλεγμένο σημείο της γραμμής ΒΔ ή Β'Δ' (σε N),  $\epsilon_p$  είναι η αντίστοιχη επιμήκυνση στο φορτίο  $F$  (σε %) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).

Το μέτρο εφελκυσμού χορδής είναι η κλίση μιας ευθείας που διέρχεται από δύο σημεία  $P_1$  και  $P_2$  της καμπύλης φορτίου-επιμήκυνσης, τα οποία αντιστοιχούν σε επιμήκυνση  $\epsilon_1$  και  $\epsilon_2$  (συνήθως 0% και 10%, αντίστοιχα) όπως οι γραμμές ΑΕ και Α'Ε' στο Σχήμα 3.1. Υπολογίζεται από τη σχέση:  $J_s = (F \square 100)/(\epsilon_p \square W_s)$  όπου  $J_s$  είναι το μέτρο εφελκυσμού χορδής (σε N/m),  $F$  είναι το φορτίο που αντιστοιχεί σε επιλεγμένο σημείο της γραμμής ΑΕ ή Α'Ε' (σε N),  $\epsilon_p$  είναι αντίστοιχη επιμήκυνση στο φορτίο  $F$  (σε %) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).

Για τον υπολογισμό του ανηγμένου έργου θραύσης, σχεδιάζεται στο διάγραμμα φορτίου-επιμήκυνσης ευθεία που διέρχεται από το σημείο του μεγίστου φορτίου και είναι κάθετη στον άξονα επιμήκυνσης. Προσδιορίζεται το εμβαδόν της περιοχής που ορίζεται από την καμπύλη φορτίου-επιμήκυνσης, την ευθεία αυτή και τον άξονα των επιμηκύνσεων. Το ανηγμένο έργο θραύσης (ή έργο θραύσης ανά μονάδα επιφάνειας) για κάθε δοκίμιο, υπολογίζεται ως λόγος του εμβαδού αυτού (εκφράζεται σε μονάδες  $N \square m$ ) προς το εμβαδόν του ελεγχόμενου δοκιμίου (200mmx100mm).





Σχήμα 3.1: Υπολογισμός μέτρου εφελκυσμού από δομικές εφελκυσμού πλατείας λωρίδας

### Τεχνική έκθεση

Αρχικά αναφέρονται ότι τα δομικά ελέγχθηκαν όπως καθορίζονται από την δοκιμή D 4595, περιγράφονται το υλικό ή το προϊόν που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγμα και η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε. Ακολούθως αναφέρονται όλα τα παρακάτω στοιχεία ή αποτελέσματα τόσο για την διεύθυνση παραγωγής όσο και για την εγκάρσια διεύθυνση:

- Ο μέσος όρος του φορτίου θραύσης ανά μονάδα πλάτους (N/m) ως αντοχή σε εφελκυσμό.
- Ο μέσος όρος της επιμήκυνσης στην θραύση (%).
- Αν απαιτείται, ο μέσος όρος του αρχικού μέτρου εφελκυσμού ή του μέτρου εφελκυσμού χορδής (N/m). Για το μέτρο εφελκυσμού χορδής αναφέρεται το τμήμα της καμπύλης φορτίου-επιμήκυνσης που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του, δηλαδή για το τμήμα από 0% έως 10% επιμήκυνση, αναφέρεται μέτρο εφελκυσμού χορδής για επιμήκυνση 10%.
- Αν απαιτείται, ο μέσος όρος του ανηγμένου έργου θραύσης ( $J/m^2$ ) με αναφορά στη μέθοδο υπολογισμού.

- Αν απαιτείται, στατιστικά στοιχεία όπως η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητότητας για οποιαδήποτε ιδιότητα.
- Αν απαιτείται, συμπεριλαμβάνεται καμπύλη φορτίου-επιμήκυνσης στη τεχνική έκθεση.

Τέλος περιγράφονται τα εξής:

- Η κατασκευή του δοκιμίου (ξηρό ή υγρό).
- Ο αριθμός των δοκιμίων που ελέγχθηκαν σε κάθε διεύθυνση.
- Ο κατασκευαστής και το μοντέλο του πλαισίου φόρτισης που χρησιμοποιήθηκε.
- Το μέγεθος των σιαγόνων που χρησιμοποιήθηκαν.
- Ο τύπος των επικαλύψεων που χρησιμοποιήθηκαν στις σιαγόνες, οι τροποποιήσεις των δοκιμίων ή οι τροποποιήσεις των σιαγόνων.
- Το εύρος της κλίμακας φορτίου που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή.
- Οποιαδήποτε τροποποίηση της διαδικασίας.

Ακολουθεί πρότυπο έντυπο

<b>ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ</b>			<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</b>				
<b>ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>			<b>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>				
<b>ΑΝΤΟΧΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ</b>				<b>ASTM D4595</b>			
<b>ΔΟΚΙΜΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΛΩΡΙΔΑΣ</b>							
ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: _____ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____ ΕΡΓΟ: _____ ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εμπορίου): _____ ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εργαστηρίου): _____ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____ Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ: _____ ΤΗΝ: _____ <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <span>(ονοματεπώνυμο)</span> <span>(ημερομηνία)</span> </div>							
<b>ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>			<b>ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ</b>				
<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>		<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>	<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>	<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>		<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>	<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ			α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ		
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
7				7			
8				8			
9				9			
10				10			
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ				ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ			
Συντελεστής Μεταβλητότητας				Συντελεστής Μεταβλητότητας			
<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</b> _____ _____ _____ _____ _____							

### **3.1.2 Πρότυπο ASTM D4632 : Φορτίο θραύσης και επιμήκυνση στη θραύση γεωφασμάτων με τη μέθοδο μερικού εφελκυσμού (grab)**

#### **Γενικά**

Το πρότυπο καθορίζει δοκιμή μονοαξονική εφελκυσμού στην οποία χρησιμοποιούνται δοκίμια με πλάτος μεγαλύτερο από το πλάτος των σιαγόνων της συσκευής. Το μέγεθος της συνεισφοράς των τμημάτων του δοκιμίου που βρίσκονται εκατέρωθεν των σιαγόνων εξαρτάται κυρίως από τη μέθοδο κατασκευής του γεωφάσματος. Η χρήση της μεθόδου αυτής για έλεγχο πλεκτών γεωφασμάτων δεν συνιστάται. Επιπλέον, λόγω της γεωμετρίας της δοκιμής και της συνεισφοράς των μη άμεσα φορτιζόμενων τμημάτων του δοκιμίου, δεν είναι δυνατόν να καταγραφεί μια απλή σχέση μεταξύ φορτίου και επιμήκυνσης και γίνεται χρήση της έννοιας της “φαινόμενης επιμήκυνσης”. Για τους λόγους αυτούς, η μέθοδος αποτελεί δοκιμή δείκτη και θεωρείται χρήσιμη για ποιοτικό έλεγχο και δοκιμές αποδοχής. Συγκριτική μελέτη μεταξύ γεωφασμάτων μπορεί να γίνει μόνο εφ’ όσον αυτά έχουν παρόμοια δομή διότι κάθε διαφορετική δομή ύφανσης συμπεριφέρεται κατά ένα μοναδικό και χαρακτηριστικό τρόπο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της δοκιμής.

#### **Συσκευές και παρελκόμενα**

Χρησιμοποιείται πλαίσιο φόρτισης τύπου σταθερού ρυθμού επιμήκυνσης, εφοδιασμένο με κατάλληλο καταγραφικό όργανο ώστε να καταγράφονται ορθά το φορτίο και η αντίστοιχη επιμήκυνση. Οι σφικτήρες πρέπει να ασκούν κατάλληλη δύναμη σύσφιξης για να αποτρέπεται η ολίσθηση και η καταστροφή του δοκιμίου. Κάθε σφικτήρας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με σιαγόνες με πλάτους 25.4mm και μήκος 50.8mm με τη μεγαλύτερη διάσταση παράλληλη στη διεύθυνση του εφαρμοζόμενου φορτίου. Πρέπει να χρησιμοποιείται απεσταγμένο νερό για την προετοιμασία δοκιμίων που ελέγχονται σε υγρή κατάσταση.

#### **Δειγματοληψία**

Ως δείγμα παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται ένας αριθμός γεωφάσματος που καθορίζεται από σχετική προδιαγραφή ή συμφωνείται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή. Από κάθε ρόλο του δείγματος μιας παρτίδας παραγωγής, λαμβάνεται ως εργαστηριακό δείγμα μια λωρίδα με πλάτος όσο και το πλάτος του ρολού και μήκος περίπου 1m κατά την διεύθυνση παραγωγής. Το δείγμα μπορεί να ληφθεί από το τελευταίο τμήμα

ενός ρολού εφόσον δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό είναι παραμορφωμένο ή διαφορετικό από άλλα τμήματα του ρολού. Σε περιπτώσεις αμφισβήτησης, λαμβάνεται δείγμα που δεν περιέχει υλικό από την εξωτερική στιβάδα ή την πρώτη εσωτερική στιβάδα του ρολού.

Για ελέγχους κατά την διεύθυνση παραγωγής και κατά την εγκάρσια διεύθυνση, αντίστοιχα, λαμβάνεται από κάθε εργαστήριο δείγμα ο απαιτούμενος αριθμός δοκιμίων. Χρησιμοποιούνται ορθογωνικά δοκίμια διαστάσεων 101.6mm x 203.2mm. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για δοκιμές μερικού εφελκυσμού κατά την διεύθυνση παραγωγής κόβονται με τη μεγαλύτερη διάσταση παράλληλη στη διεύθυνση παραγωγής και τα δοκίμια για έλεγχο κατά την εγκάρσια διεύθυνση κόβονται με τη μεγαλύτερη διάσταση παράλληλη στην εγκάρσια διεύθυνση. Τα δοκίμια λαμβάνονται κατά μήκος μιας διαγωνίου του εργαστηριακού δείγματος ώστε να αντιπροσωπεύεται κατάλληλα η ανομοιομορφία του γεωφάσματος. Σε κάθε δοκίμιο σχεδιάζονται κεντρικά δύο γραμμές παράλληλες προς το πλάτος του με μεταξύ τους απόσταση  $75 \pm 1$ mm και άλλες δύο γραμμές παράλληλες προς το μήκος του με μεταξύ τους απόσταση 25.4mm ώστε να διευκολύνεται η τοποθέτηση του δοκιμίου στους σφιγκτήρες. Ακατάλληλα θεωρούνται δοκίμια που λαμβάνονται σε απόσταση από την ουρία ή την άκρη του γεωφάσματος μικρότερη του 1/20 του πλάτους του ρολού ή των 150mm.

Ο αριθμός δοκιμίων ανά εργαστηριακό δείγμα, τόσο κατά τη διεύθυνση παραγωγής όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση, πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη να αναμένει με πιθανότητα 95% ότι το αποτέλεσμα της δοκιμής δε θα διαφέρει περισσότερο από 5% από τον πραγματικό μέσο όρο για το δείγμα. Όταν υπάρχει μια αξιόπιστη τιμή του  $v$  βασισμένη σε εκτεταμένες παλιότερες δοκιμές για παρόμοια υλικά στο ίδιο εργαστήριο, ο απαιτούμενος αριθμός των δοκιμίων,  $n$ , δίνεται από την εξίσωση  $n = (t * v/A)^2$ , όπου  $t$  είναι η τιμή της κατανομής  $t$  για επίπεδο πιθανότητας 95%, και για του βαθμούς ελευθερίας που σχετίζονται με την εκτίμηση της τιμής του  $v$ , και είναι μια αξιόπιστη εκτίμηση του συντελεστή μεταβλητότητας μεμονομένων παρατηρήσεων σε παρόμοια υλικά στο συγκεκριμένο εργαστήριο υπό συνθήκες ακρίβειας μοναδικού χειριστή (εκφρασμένη σε ποσοστό) και  $A$  είναι το 5% του μέσου όρου (η επιθυμητή τιμή της μεταβλητότητας).

Όταν δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση του  $v$ , λαμβάνονται δέκα δοκίμια για κάθε διεύθυνση κατά την οποία πραγματοποιείται η δοκιμή.

### **Διαδικασίες εκτέλεσης δοκιμής**

Τα δοκίμια ελέγχονται με υγρασία, την καθορισμένη για συνθήκες ελέγχου γεωφασμάτων (υγρασία  $65 \pm 5\%$  και θερμοκρασία  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Η

εξισορρόπηση της υγρασίας ενός δοκιμίου θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί όταν η αύξηση της μάζας του δοκιμίου σε διαχρονικές ζυγίσεις, που απέχουν μεταξύ τους χρονικό διάστημα όχι μικρότερη των δυο ωρών, δεν υπερβαίνουν το 0,1% της μάζας του. Στην πράξη, τα γεωυφάσματα συχνά δεν ζυγίζονται για να καθορισθεί πότε έχει επιτευχθεί η ισορροπία της υγρασίας τους. Παρ' όλο που μια τέτοια διαδικασία δε μπορεί να γίνει αποδεκτή σε περιπτώσεις διαφωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών μπορεί να είναι αρκετό για μια συνηθισμένη δοκιμή να εκτεθεί το υλικό στη τυπική ατμόσφαιρα ελέγχου για μια λογική περίοδο χρόνου πριν από την εκτέλεση της δοκιμής. Ένα διάστημα τουλάχιστον 24 ωρών βρέθηκε ικανοποιητικό στις περισσότερες περιπτώσεις, με εξαίρεση ορισμένα γεωυφάσματα τα οποία μπορεί να επιδεικνύουν βραδείς ρυθμούς εξισορρόπησης της υγρασίας τους. Τα δείγματα που πρέπει να ελεγχθούν σε υγρή κατάσταση, εμβαπτίζονται σε νερό με θερμοκρασία  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ . Ο χρόνος εμβάπτισης πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να διαβραχούν πλήρως τα δοκίμια και έχει διάρκεια τουλάχιστον 2 λεπτών.

Η απόσταση μεταξύ των σφιγκτήρων στην αρχή της δοκιμής ρυθμίζεται ώστε να είναι ίση προς  $75 \pm 1\text{mm}$ . Επιλέγεται το εύρος της κλίμακας μέτρησης του φορτίου που ασκείται στο δοκίμιο, έτσι ώστε η αστοχία να συμβαίνει μεταξύ του 10% και του 90% της πλήρους κλίμακας φορτίου. Το πλαίσιο ρυθμίζεται ώστε να επιβάλλει ρυθμό επιμήκυνσης  $300 \pm 10\text{mm/min}$ . Το δοκίμιο ασφαρίζεται στους σφιγκτήρες, φροντίζοντας ώστε η μεγαλύτερη διάσταση να είναι παράλληλη στη διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου και ώστε περίπου το ίδιο μήκος του γεωυφάσματος να εκτείνεται πέρα από την κάθε σιαγόνα. Οι σιαγόνες τοποθετούνται κεντρικά στη διεύθυνση του πλάτους με τη βοήθεια των γραμμών που έχει σχεδιαστεί επί του δοκιμίου. Ιδιαίτερα για υφασμένα γεωυφάσματα, εξασφαλίζεται έτσι ότι πιάνονται τα ίδια κατά μήκος νήματα και στους δύο σφιγκτήρες. Ακολούθως, τίθεται σε λειτουργία το πλαίσιο και η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι την αστοχία του δοκιμίου. Η επιμήκυνση του γεωυφάσματος μετράται με τη βοήθεια κατάλληλης συσκευής καταγραφής, την ίδια στιγμή που προσδιορίζεται το φορτίο εφελκυσμού. Τέλος, η μηχανή επαναφέρεται στην αρχική θέση της. Τα αποτελέσματα της δοκιμής καταγράφονται και αναφέρονται ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση ελέγχου.

Αν ένα δοκίμιο ολισθήσει στις σιαγόνες, σχισθεί στην άκρη ή στο εσωτερικό των σιαγόνων, ή αν για οποιοδήποτε λόγο οφειλόμενο σε λανθασμένο χειρισμό το αποτέλεσμα πέφτει εμφανώς κάτω από το μέσο όρο της ομάδας των δοκιμών, το αποτέλεσμα αυτό πρέπει να απορρίπτεται και να ελέγχεται ένα ακόμα δοκίμιο. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να ελεγχθεί ο απαιτούμενος αριθμός δοκιμών. Η απόφαση να απορριφθεί το αποτέλεσμα μιας δοκιμής βασίζεται σε παρατήρηση του δοκιμίου κατά την

διάρκεια της δοκιμής λαμβάνοντας υπόψη και την μεταβλητότητα της δοκιμής του συγκεκριμένου γεωυφάσματος. Εφ' όσον δεν υπάρχουν άλλα κριτήρια για την απόρριψη μιας δοκιμής, θα απορρίπτεται το αποτέλεσμα κάθε δοκιμής που η αστοχία (θραύση του γεωυφάσματος), εμφανίζεται σε απόσταση έως 5mm από το άκρο των σιαγόνων και που η τιμή του φορτίου θραύσης είναι μικρότερη από το 80% του μέσου όρου όλων των άλλων δοκιμών. Δεν απορρίπτεται καμία άλλη αστοχία δοκιμίου παρά μόνο εάν είναι γνωστό ότι η δοκιμή εκτελέστηκε εσφαλμένα.

## **Υπολογισμοί**

Το φορτίο αστοχίας προσδιορίζεται από τον μέσο όρο των τιμών του φορτίου αστοχίας για όλα τα αποδεκτά αποτελέσματα των δοκιμών. Το φορτίο αστοχίας προσδιορίζεται ξεχωριστά για τα δοκίμια κατά την διεύθυνση παραγωγής και κα δοκίμια κατά την εγκάρσια διεύθυνση.

Η φαινόμενη επιμήκυνση που αντιστοιχεί στο φορτίο αστοχίας στο φορτίο αστοχίας ή σε άλλα συγκεκριμένα φορτία, προσδιορίζεται από τον μέσο όρο των τιμών της επιμήκυνσης για όλα τα αποδεκτά αποτελέσματα των δοκιμών. Η επιμήκυνση προσδιορίζεται ξεχωριστά για τα δοκίμια κατά την εγκάρσια διεύθυνση βασισμένη στο αρχικό μήκος του δοκιμίου.

## **Τεχνική έκθεση**

Αρχικά αναφέρονται ότι τα δοκίμια ελέγχθηκαν όπως καθορίζεται από την δοκιμή D 4632 και περιγράφονται το υλικό ή το προϊόν που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγμα και η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε. Ακολούθως αναφέρονται όλα τα παρακάτω στοιχεία ή αποτελέσματα τόσο για την διεύθυνση παραγωγής όσο και για την εγκάρσια διεύθυνση:

- Ο μέσος όρος του φορτίου αστοχίας.
- Ο μέσος όρος της φαινόμενης επιμήκυνσης στην αστοχία (%).
- Ο αριθμός των δοκιμών που ελέγχθηκαν σε κάθε διεύθυνση.
- Ο κατασκευαστής και το μοντέλο του πλαισίου φόρτισης που χρησιμοποιήθηκε.
- Το μέγεθος των σιαγόνων που χρησιμοποιήθηκε.
- Ο τύπος των επικαλύψεων που χρησιμοποιήθηκαν στις σιαγόνες, οι τροποποιήσεις των δοκιμών ή οι τροποποιήσεις των σιαγόνων.
- Το εύρος της κλίμακας φορτίου που χρησιμοποιήθηκε για την δοκιμή.

- Οποιαδήποτε τροποποίηση της διαδικασίας.

Ακολουθεί πρότυπο έντυπο



<b>ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ</b>			<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</b>		
<b>ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>			<b>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>		
<b>ΑΝΤΟΧΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ</b>				<b>ASTM D4632</b>	
<b>ΔΟΚΙΜΗ ΜΕΡΙΚΟΥ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ</b>					
ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: _____			ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____		
ΕΡΓΟ: _____					
ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εμπορίου): _____			ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εργαστηρίου): _____		
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____					
Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ: _____			ΤΗΝ: _____		
(ονοματεπώνυμο)			(ημερομηνία)		
<b>ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>			<b>ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ</b>		
<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>		<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>	<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>	<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>	
				<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>	
				<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>	
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ			α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ
1				1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	
6				6	
7				7	
8				8	
9				9	
10				10	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ				ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
Συντελεστής Μεταβλητότητας				Συντελεστής Μεταβλητότητας	
<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</b> _____					
_____					
_____					
_____					
_____					

### **3.1.3 Πρότυπο ASTM D 4533 : Αντοχή σε σχισμό τραπεζοειδούς δοκιμίου γεωυφάσματος.**

#### **Γενικά**

Με το πρότυπο αυτό καθορίζεται η διαδικασία εργαστηριακού προσδιορισμού του φορτίου που απαιτείται για τη διάδοση προϋπάρχουσας σχισμής σε δοκίμιο γεωυφάσματος. Το δοκίμιο συγκρατείται κατά μήκος δύο μη παραλλήλων πλευρών ενός ισοσκελούς τραπεζίου, που επιβάλλει σταθερό ρυθμό επιμήκυνσης εφαρμόζοντας ταυτόχρονα φορτίο ώστε το σχίσσιμο να επεκτείνεται κατά πλάτος του δοκιμίου. Η μέθοδος είναι χρήσιμη για ποιοτικό έλεγχο και δοκιμές αποδοχής αλλά δεν παρέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής και, συνεπώς, θεωρείται δοκιμή δείκτη. Εφαρμόζεται στους περισσότερους τύπους γεωυφασμάτων, συμπεριλαμβανομένων υφασμένων, μη υφασμένων και πλεκτών. Η αντοχή σε σχισμό είναι συνάρτηση του τύπου των ινών ή των νημάτων και της μεθόδου κατασκευής του γεωυφάσματος. Για υφασμένα γεωυφάσματα εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες των νημάτων που συγκρατούνται από τις αρπαγές. Για μη υφασμένα γεωυφάσματα, όπου οι ίνες έχουν τυχαίο προσανατολισμό και μπορούν να υποστούν μερικό αναπροσανατολισμό κατά τη διεύθυνση του εφαρμοζόμενου φορτίου, η μέγιστη αντοχή σε σχισμό προσεγγίζεται όταν η αντίσταση σε περαιτέρω αναπροσανατολισμό είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη που απαιτείται για να αστοχήσουν ταυτόχρονα μια ή περισσότερες ίνες.

#### **Συσκευές και παρελκόμενα**

Χρησιμοποιείται πλαίσιο φόρτισης τύπου σταθερού ρυθμού επιμήκυνσης, εφοδιασμένο με κατάλληλο καταγραφικό όργανο ώστε να καταγράφονται ορθά το εφαρμοζόμενο φορτίο και η αντίστοιχη επιμήκυνση. Οι σφιγκτήρες πρέπει να έχουν όλες τις επιφάνειες σύσφιξης παράλληλες, επίπεδες και ικανές να εμποδίζουν την ολίσθηση του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Κάθε σφιγκτήρας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με σιαγόνες μήκους 50,8mm και πλάτους μεγαλύτερου από 76,2mm με τη μεγαλύτερη διάσταση κάθετη στη διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου.

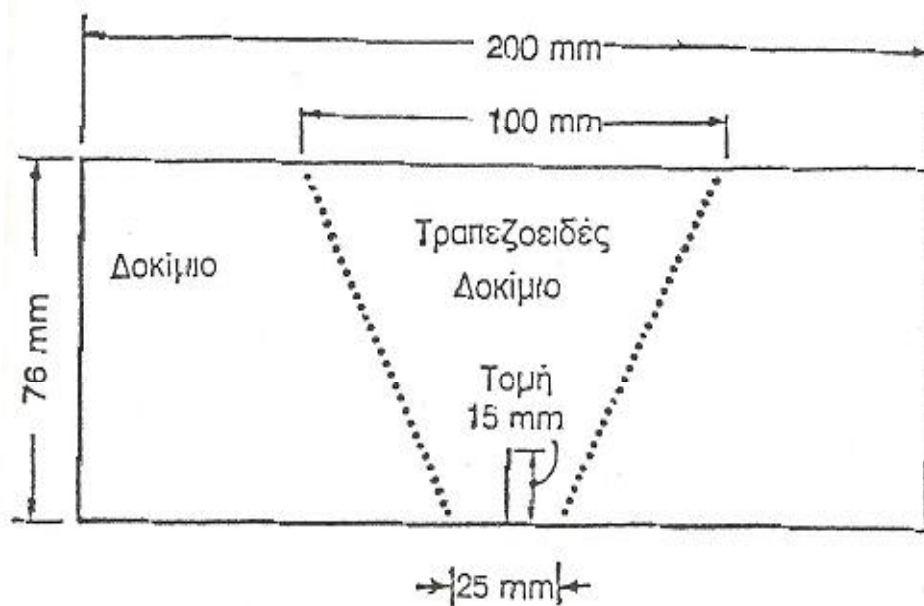
#### **Δειγματοληψία**

Ως δείγμα παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται ένας αριθμός ρολών γεωυφάσματος που καθορίζεται από σχετική προδιαγραφή ή συμφωνείται

μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή. Από κάθε ρολό του δείγματος μιας παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται, ως εργαστηριακό δείγμα, λωρίδα με πλάτος όσο και το πλάτος του ρολού και μήκος περίπου 1m κατά την διεύθυνση παραγωγής. Το δείγμα μπορεί να ληφθεί από το τελευταίο τμήμα ενός ρολού εφ' όσον δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό είναι παραμορφωμένο ή διαφορετικό από άλλα τμήματα του ρολού. Σε περιπτώσεις αμφισβήτησης λαμβάνεται δείγμα που δεν περιέχει υλικό από την εξωτερική στιβάδα του ρολού.

Στην περίπτωση που το ελεγχόμενο γεωύφασμα είναι υφασμένο, τα δοκίμια κόβονται έτσι ώστε το κάθε ένα να αποτελείται από διαφορετική ομάδα νημάτων. Για μη υφασμένα γεωυφάσματα τα δοκίμια κόβονται διάσπαρτα κατά την έννοια του μήκους ή του πλάτους του γεωυφάσματος. Κατά τον τρόπο αυτό, καλύπτεται κατάλληλα η πιθανή ανομοιομορφία ή ανομοιογένεια του γεωυφάσματος. Ακατάλληλα θεωρούνται δοκίμια που λαμβάνονται σε απόσταση από την ούγια ή την άκρη του γεωυφάσματος μικρότερη του 1/20 του πλάτους του ρολού ή τα 150mm (όποιο από τα δύο είναι μικρότερο).

Ο αριθμός δοκιμίων ανά εργαστηριακό δείγμα τόσο κατά τη διεύθυνση παραγωγής όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη να αναμένει με πιθανότητα 95% ότι το αποτέλεσμα της δοκιμής δεν θα διαφέρει περισσότερο από 5% από τον πραγματικό μέσο όρο για το δείγμα. Όταν υπάρχει αξιόπιστη τιμή του  $n$  βασισμένη σε παλαιότερες δοκιμές για παρόμοια υλικά στο ίδιο εργαστήριο, ο απαιτούμενος αριθμός δοκιμίων είναι  $n = (t * v/a)^2$  όπου  $t$  είναι η τιμή της κατανομής  $t$  για επίπεδο πιθανότητας 95% και για βαθμούς ελευθερίας που σχετίζονται με την εκτίμηση της τιμής του  $v$ ,  $v$  είναι μια αξιόπιστη εκτίμηση του συντελεστή μεταβλητότητας μεμονωμένων παρατηρήσεων σε παρόμοια υλικά στο συγκεκριμένο εργαστήριο υπό συνθήκες ακρίβειας μοναδικού χειριστή (εκφρασμένη ως ποσοστό) και  $A$  είναι το 5% του μέσου όρου (η επιθυμητή τιμή της μεταβλητότητας). Όταν δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση του  $v$  λαμβάνονται δέκα δοκίμια για κάθε διεύθυνση κατά την οποία πραγματοποιείται η δοκιμή.



Σχήμα 3.2: Τραπεζοειδές δοκίμιο για δοκιμή σχισίματος

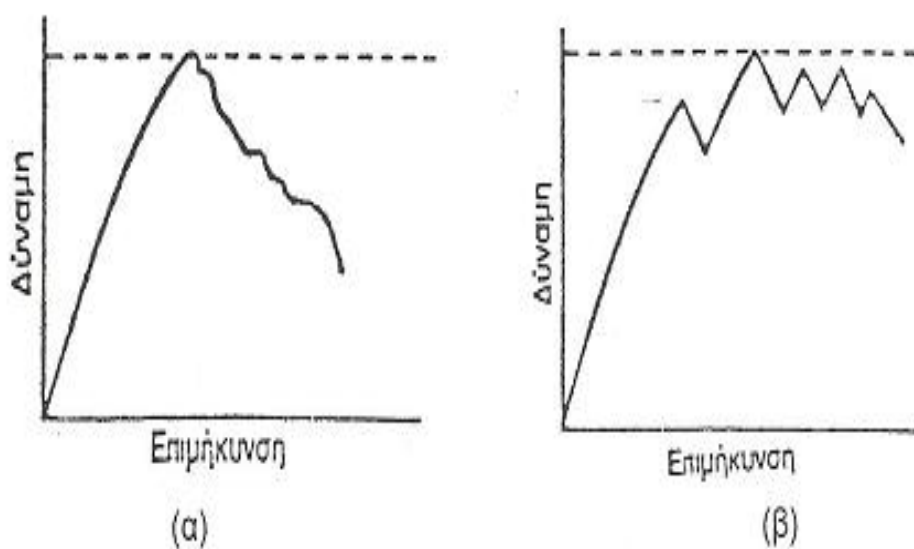
Κάθε δοκίμιο πρέπει να έχει πλάτος 76,2mm και μήκος 201,6mm. Τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν για έλεγχο κατά τη διεύθυνση παραγωγής, κόβονται με τη μεγαλύτερη διάσταση παράλληλη στη διεύθυνση παραγωγής και τα δοκίμια που θα ελεγχθούν κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Ακολούθως, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2, σε κάθε δοκίμιο σχεδιάζεται κεντρικά ένα περίγραμμα ισοσκελούς τραπέζιου, του οποίου οι παράλληλες πλευρές ταυτίζονται με τις πλευρές που αντιστοιχούν στο μήκος του δοκιμίου και γίνεται μια προκαταρκτική τομή μήκους 15,9mm στο κέντρο της μικρής βάση του τραπέζιου.

### Διαδικασίες εκτέλεσης δοκιμής

Τα δοκίμια ελέγχονται με υγρασία την καθορισμένη για συνθήκες ελέγχου γεωφασμάτων (υγρασία  $65 \pm 5\%$  και θερμοκρασία  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Η εξισορρόπηση της υγρασίας ενός δοκιμίου θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί όταν η αύξηση της μάζας του δοκιμίου σε διαδοχικές ζυγίσεις, που απέχουν μεταξύ τους χρονικό διάστημα όχι μικρότερο των δύο ωρών δεν υπερβαίνει το 0,1% της μάζας του. Στην πράξη τα γεωφάσματα συχνά δεν ζυγίζονται για να καθοριστεί πότε έχει επιτευχθεί η ισορροπία της υγρασίας τους. Παρόλο που μια τέτοια διαδικασία δεν είναι δυνατόν να γίνει αποδεκτή σε περιπτώσεις διαφωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, μπορεί να είναι αρκετό για μια συνηθισμένη δοκιμή να εκτεθεί το υλικό στην τυπική ατμόσφαιρα ελέγχου για μια λογική περίοδο χρόνου πριν από την εκτέλεση της δοκιμής. Ένα διάστημα τουλάχιστον 24 ωρών βρέθηκε ικανοποιητικό στις περισσότερες περιπτώσεις

με εξαίρεση ορισμένα γεωυφάσματα τα οποία μπορεί να επιδεικνύουν βραδείς ρυθμούς εξισορρόπησης της υγρασίας τους. Τα δείγματα που πρέπει να ελεγχθούν σε υγρή κατάσταση, εμβάπτιζονται σε νερό με θερμοκρασία  $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Ο χρόνος εμβάπτισης πρέπει να είναι επαρκής ώστε να διαβρέχουν πλήρως τα δοκίμια και να έχει διάρκεια τουλάχιστον δύο λεπτά.

Τα ξηρά δοκίμια ελέγχονται στην ατμόσφαιρα ελέγχου γεωυφασμάτων και τα υγρά δοκίμια μέσα σε δύο λεπτά μετά την απομάκρυνσή τους από το νερό. Η απόσταση μεταξύ των σφιγκτήρων στην αρχή της δοκιμής ρυθμίζεται ώστε να είναι ίση προς  $25\pm 1\text{mm}$ . Επιλέγεται το εύρος της κλίμακας μέτρησης του φορτίου που ασκείται στο δοκίμιο ώστε η αστοχία να συμβαίνει μεταξύ του 15% και του 85% της πλήρους κλίμακας φορτίου. Το πλαίσιο ρυθμίζεται ώστε να επιβάλλει ρυθμό επιμήκυνσης  $300\pm 10\text{mm/min}$ . Το δοκίμιο τοποθετείται στους σφιγκτήρες, ώστε οι δύο μη παράλληλες πλευρές του τραπεζίου το οποίο σχεδιάστηκε πάνω στο δοκίμιο, να συμπίπτουν ακριβώς με τα εσωτερικά άκρα της πάνω και της κάτω σιαγόνες, τα οποία απέχουν μεταξύ τους 25mm και η σχισμή να βρίσκεται στο ενδιάμεσο της απόστασης μεταξύ των σιαγόνων. Έτσι η μικρή βάση του τραπεζίου είναι τετρωμένη ενώ η μεγάλη βάση αναδιπλώνεται μεταξύ των σιαγόνων. Ακολούθως τίθεται σε λειτουργία το πλαίσιο φόρτισης και η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι κάποια μέγιστη τιμή αστοχία. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής γίνεται συνεχής καταγραφή του εφαρμοζόμενου φορτίου το οποίο μπορεί να αυξάνεται μονοτονικά μέχρι κάποια μέγιστη τιμή η να εμφανίζει πολλαπλές κορυφές στο Σχήμα 3.3. Ως αποτέλεσμα της δοκιμής θεωρείται η μέγιστη τιμή του φορτίου που έχει καταγραφεί. Τα αποτελέσματα της δοκιμής καταγράφονται και αναφέρονται ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση ελέγχου.



Σχήμα 3.3: Τυπικές καμπύλες δύναμης- επιμήκυνσης από δοκιμή αντοχής σε σχισμό (α) Με ένα μέγιστο, (β) Με πολλά μέγιστα

Αν ένα δοκίμιο ολισθήσει στις σιαγόνες ή αν περισσότερο από το 25% των δοκιμών σχίζονται σε απόσταση έως 5mm από την άκρη των σιαγόνων, τότε είτε οι σιαγόνες μπορούν να επικαλυφθούν, είτε το γεώφασμα μπορεί να επενδυθεί στην περιοχή επαφής του με τις σιαγόνες, είτε η επιφάνεια της όψης της σιαγόνας μπορεί να τροποποιηθεί. Αν χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις παραπάνω τροποποιήσεις είναι απαραίτητο να αναφερθεί η μέθοδος τροποποίησης. Αν το αποτέλεσμα (φορτίο αστοχίας) μιας δοκιμής παρεκκλίνει κατά 25% ή περισσότερο από το μέσο όρο των αποτελεσμάτων των δοκιμών, αυτό πρέπει να απορριφθεί και να ελεγχθεί ένα επιπλέον δοκίμιο.

### **Υπολογισμοί**

Υπολογίζεται ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών του φορτίου που καταγράφηκε σε κάθε δοκιμή, τόσο κατά τη διεύθυνση παραγωγής όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση.

### **Τεχνική έκθεση**

Αρχικά αναφέρονται ότι τα δοκίμια ελέγχθηκαν όπως καθορίζεται από το πρότυπο ASTM D4533, και περιγράφονται το υλικό ή το προϊόν που χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα και η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε. Ακολούθως αναφέρονται τα παρακάτω στοιχεία ή αποτελέσματα.

- Ο μέσος όρος των αντοχών σε σχισμό (σε N) για κάθε διεύθυνση.
- Η κατάσταση του δοκιμίου (ξηρό ή υγρό).
- Ο αριθμός των δοκιμών που ελέγχθηκαν σε κάθε διεύθυνση.
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας της παρατηρούμενης αντοχής σε σχισμό μεμονωμένων δοκιμών, αν απαιτείται.

Ακολουθεί πρότυπο έντυπο

<b>ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ</b> <b>ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>	<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</b> <b>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>
<b>ΑΝΤΟΧΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΙΣΙΜΟ</b>	<b>DIN 4533</b>
ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: _____ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____	
ΕΡΓΟ: _____	
ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εμπορίου): _____	ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εργαστηρίου): _____
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____	
Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ: _____	ΤΗΝ: _____
(ονοματεπώνυμο)	(ημερομηνία)

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ			ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ		
ΔΟΚΙΜΙΟ		ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΧΙΣΙΜΟ (N)	ΔΟΚΙΜΙΟ		ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΧΙΣΙΜΟ (N)
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ		α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>			<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		
<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>			<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>		

<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</b> _____ _____ _____ _____ _____
--

### **3.1.4 Πρότυπο ASTM D4833 : Δείκτης αντίστασης σε διάτρηση γεωφασμάτων, γεωμεμβρανών και συναφών προϊόντων**

#### **Γενικά**

Με το πρότυπο αυτό καθορίζεται η διαδικασία εργαστηριακού προσδιορισμού της αντίστασης σε διάτρηση γεωφασμάτων, γεωμεμβρανών και συναφών προϊόντων. Η μέθοδος αποτελεί δοκιμή δείκτη μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και ως δοκιμή αποδοχής παρτίδων γεωσυνθετικών που παραδίδονται για χρήση. Σημειώνεται ότι τα γεωφάσματα με μεγάλα κενά ή ανοίγματα, γεωπλέγματα και γεωδίκτυα δεν μπορεί να ελεγχθούν με βάση αυτή τη μέθοδο.

#### **Συσκευές και παρελκόμενα**

Χρησιμοποιείται πλαίσιο φόρτισης εφελκυσμού-θλίψης του τύπου σταθερού ρυθμού επιμήκυνσης, εφοδιασμένο με κατάλληλο καταγραφικό όργανο ώστε να καταγράφεται ορθά το μέγιστο φορτίο που αναπτύσσεται και αποτελεί την αντίσταση σε διάτρηση του δοκιμίου. Για τη συγκράτηση των δοκιμίων χρησιμοποιούνται δυο ομόκεντροι δακτύλιοι με εσωτερική διάμετρο  $45\pm 0.025\text{mm}$  και εξωτερική διάμετρο  $100\pm 0.025\text{mm}$ . Για τη σύσφιξη των δυο δακτυλίων συνιστάται η χρήση έξι μπουλονιών με παξιμάδια σε οπές διαμέτρου 8mm που ισαπέχουν μεταξύ τους και έχουν τα κέντρα τους στην περιφέρεια κύκλου ακτίνας 37mm. Οι εσωτερικές επιφάνειες των δακτυλίων φέρουν ομόκεντρες αυλακώσεις για καλύτερη συγκράτηση του δοκιμίου. Η διάτρηση του γεωφάσματος γίνεται με ασάλινο έμβολο το οποίο καταλήγει σε κυλινδρικό τμήμα μήκους  $50\pm 1\text{mm}$  και διαμέτρου  $8\pm 1\text{mm}$  του οποίου η επιφάνεια επαφής με το γεωφάσμα έχει αποτμηθεί περιμετρικά υπό γωνία  $45^\circ$  σε μήκος 0.8mm.

#### **Δειγματοληψία**

Ως δείγμα παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται ένας αριθμός ρολών γεωφάσματος που καθορίζεται από σχετική προδιαγραφή ή συμφωνείται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή. Από κάθε ρολό του δείγματος της παρτίδας παραγωγής, λαμβάνεται ως εργαστηριακό δείγμα μια λωρίδα με πλάτος όσο και το πλάτος του ρολού και μήκος ικανό να αποδώσει τον απαιτούμενο αριθμό δοκιμίων με την κατάλληλη διασπορά ως προς το μήκος και το πλάτος του δείγματος. Το δείγμα μπορεί να ληφθεί από το τελευταίο



τμήμα ενός ρολού εφ' όσον δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό είναι παραμορφωμένο ή διαφορετικό από άλλα τμήματα του ρολού.

Η ελάχιστη διάμετρος των δοκιμίων πρέπει να είναι 100mm για να διευκολύνεται η συγκράτηση τους μεταξύ των δακτυλίων. Τα δοκίμια κόβονται κατά μήκος μιας διαγωνίου του εργαστηριακού δείγματος. Ακατάλληλα θεωρούνται δοκίμια που δεν λαμβάνονται σε απόσταση από ούγια ή από την άκρη του γεωφάσματος μικρότερο 1/10 του πλάτους του ρολού.

Ο αριθμός δοκιμίων ανά εργαστηριακό δείγμα, τόσο κατά τη διεύθυνση παραγωγής όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση, πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη να αναμένει με πιθανότητα 95% ότι το αποτέλεσμα της δοκιμής δε θα διαφέρει περισσότερο από 5% από τον πραγματικό μέσο όρο για το δείγμα. Όταν υπάρχει μια αξιόπιστη τιμή του  $v$  βασισμένη σε εκτεταμένες παλαιότερες δοκιμές για παρόμοια υλικά στο ίδιο εργαστήριο, ο απαιτούμενος αριθμός των δοκιμίων,  $n$ , δίνεται από την εξίσωση  $n = (t * v/A)^2$ , όπου  $t$  είναι η τιμή της κατανομής  $t$  για επίπεδο πιθανότητας 95%, για τους βαθμούς ελευθερίας που σχετίζονται με την εκτίμηση της τιμής του  $v$ , και  $v$  είναι μια αξιόπιστη εκτίμηση του συντελεστή μεταβλητότητας μεμονωμένων παρατηρήσεων σε παρόμοια υλικά στο συγκεκριμένο εργαστήριο υπό συνθήκες ακρίβειας μοναδικού χειριστή (εκφρασμένη σε ποσοστό) και  $A$  είναι το 5% του μέσου όρου (η επιθυμητή τιμή της μεταβλητότητας). Όταν δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση του  $v$ , λαμβάνοντας δεκαπέντε δοκίμια.

### **Διαδικασίες εκτέλεσης δοκιμής**

Τα δοκίμια ελέγχονται με υγρασία, την καθορισμένη για συνθήκες ελέγχου γεωφασμάτων (υγρασία  $65 \pm 5\%$  και θερμοκρασία  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Η εξισορρόπηση της υγρασίας ενός δοκιμίου θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί όταν αύξηση της μάζας του δοκιμίου σε διαδοχικές ζυγίσεις, που απέχουν μεταξύ τους χρονικό διάστημα όχι μικρότερο των δύο ωρών, δεν υπερβαίνει το 0,1% της μάζας του. Στη πράξη, τα γεωφάσματα συχνά δεν ζυγίζονται για να καθοριστεί πότε έχει επιτευχθεί η ισορροπία της υγρασίας τους. Παρ' όλο που μια τέτοια διαδικασία δε μπορεί να γίνει αποδεκτή σε περιπτώσεις διαφωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών μπορεί να είναι αρκετό, για μια συνηθισμένη δοκιμή, να εκτεθεί το υλικό στην τυπική ατμόσφαιρα ελέγχου για μια λογική περίοδο χρόνου πριν από την εκτέλεση της δοκιμής. Ένα διάστημα τουλάχιστον 24 ωρών βρέθηκε ικανοποιητικό στις περισσότερες περιπτώσεις, με εξαίρεση ορισμένα γεωφάσματα τα οποία μπορεί να επιδεικνύουν βραδείς ρυθμούς εξισορρόπησης της υγρασίας τους. Τα δείγματα που πρέπει να ελεγχθούν σε υγρή κατάσταση, εμβαπτίζοντας σε νερό με θερμοκρασία

21±2°C. Ο χρόνος εμφάνισης πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να διαβρέχουν πλήρως τα δοκίμια και έχει διάρκεια τουλάχιστον 2 λεπτών.

Επιλέγεται το εύρος της κλίμακας μέτρησης του φορτίου που ασκείται στο δοκίμιο έτσι ώστε η αστοχία να συμβαίνει μεταξύ του 10% και του 90% της πλήρους κλίμακας φορτίου. Το πλαίσιο φόρτισης ρυθμίζεται ώστε να επιβάλλει ρυθμό μετακίνησης του εμβόλου διάτρησης 300±10mm/min. Το δοκίμιο τοποθετείται μεταξύ των δύο δακτυλίων στη βάση συγκράτησης του και τοποθετείται στο πλαίσιο φόρτισης έτσι ώστε το έμβολο να βρίσκεται στη κατακόρυφο που περνάει από το κέντρο του δοκιμίου. Ακολουθώντας, τίθεται σε λειτουργία το πλαίσιο και η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι τη διάτρηση του δοκιμίου. Θεωρείται ως αντοχή σε διάτρηση το μέγιστο φορτίο που έχει καταγραφεί. Όταν ελέγχονται γεωυφάσματα και δεν αστοχούν τα νήματα είτε λόγω ολίσθησης του δοκιμίου μεταξύ των δακτυλίων συγκράτησης του είτε λόγω διεύθυνσης του εμβόλου μεταξύ τους, το αποτέλεσμα απορρίπτεται δύο ή περισσότερες κορυφές στο ασκούμενο φορτίο, ως αντοχή σε διάτρηση λαμβάνεται πάντα η τιμή για την πρώτη κορυφή.

### **Υπολογισμοί**

Υπολογίζεται ο μέσος όρος της αντίστασης σε διάτρηση και η τυπική απόκλιση για τα δοκίμια που ελέγχθηκαν.

### **Τεχνική έκθεση**

Αρχικά αναφέρονται ότι τα δοκίμια ελέγχθηκαν όπως καθορίζεται από το πρότυπο ASTM D4833, περιγράφεται το υλικό ή το προϊόν που χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα και η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε. Ακολουθώντας αναφέρονται όλα τα παρακάτω στοιχεία ή αποτελέσματα:

- Ο μέσος όρος της αντίστασης σε διάτρηση των δοκιμίων που ελέγχθηκαν.
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας (εάν είναι γνωστός) και η τυπική απόκλιση για κάθε ομάδα δοκιμίων.
- Η μέθοδος συγκράτησης των δοκιμίων.
- Οποιαδήποτε απόκλιση από την προβλεπόμενη διαδικασία.

Ακολουθεί πρότυπο έντυπο

<b>ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ</b> <b>ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>	<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</b> <b>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>
<b>ΑΝΤΟΧΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ</b>	<b>DIN 54307</b>
ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: _____ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____	
ΕΡΓΟ: _____	
ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εμπορίου): _____	ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εργαστηρίου): _____
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____	
Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ: _____	ΤΗΝ: _____
(ονοματεπώνυμο)	(ημερομηνία)

ΔΟΚΙΜΙΟ			ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ		
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	(N)	α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	(N)
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>			<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		
<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>			<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>		

<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</b> _____ _____ _____ _____ _____
--

### 3.1.5 Πρότυπο ASTM D5494 : Μέθοδος Προσδιορισμού της Αντίστασης σε Διάτρηση με Πυραμιδοειδή Αιχμή Προστατευόμενων και Μη Προστατευόμενων Γεωμεμβρανών

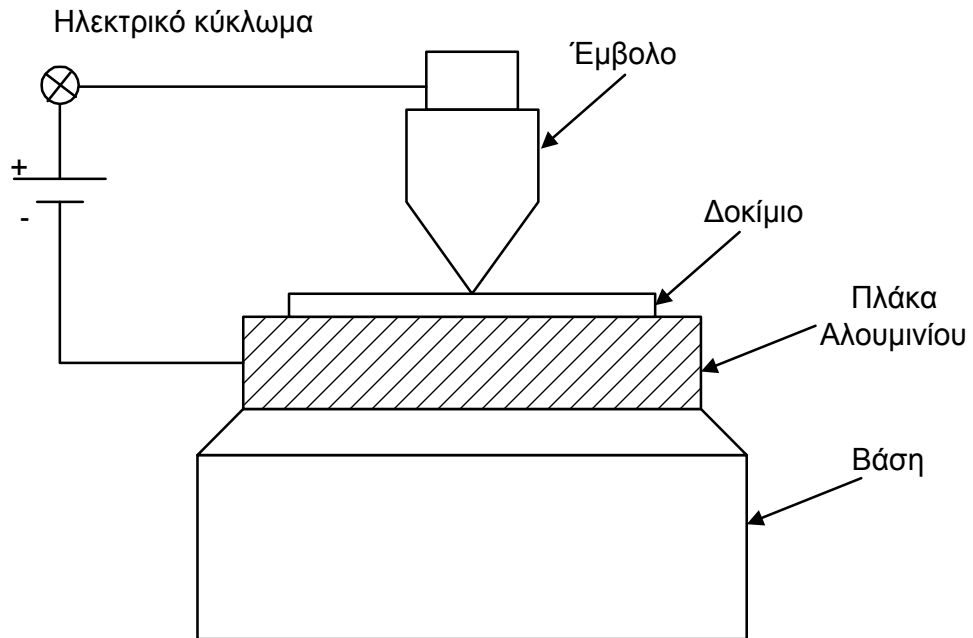
Με το πρότυπο αυτό καθορίζεται η διαδικασία εργαστηριακού προσδιορισμού της αντίστασης σε διάτρηση γεωμεμβρανών χωρίς προστασία ή και με προστασία μέσω μη υφασμένου γεωυφάσματος ή άλλου γεωσυνθετικού υλικού. Με τη μέθοδο αυτή, κατά συνέπεια, γίνεται ποσοτική εκτίμηση της αύξησης της αντίστασης σε διάτρηση που οφείλεται στη χρήση προστατευτικού υλικού, όπως ένα μη υφασμένο γεωύφασμα. Η μέθοδος αποτελεί δοκιμή δείκτη μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και ως δοκιμή αποδοχής παρτίδων παραγωγής γεωμεμβρανών ή προστατευόμενων γεωμεμβρανών που παραδίδονται για χρήση. Το πρότυπο καθορίζει διαφορετικές διαδικασίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υλικού επί του οποίου εδράζεται η γεωμεμβράνη κατά την διάρκεια της δοκιμής. Η Μέθοδος A προβλέπει έδραση της γεωμεμβράνης πάνω σε νερό ώστε να προσομοιώνεται ένα υλικό πολύ εύκαμπτο ή εξαιρετικά χαμηλής αντοχής. Η Μέθοδος B προβλέπει έδραση της γεωμεμβράνης πάνω σε πλάκα αλουμινίου ώστε να προσομοιώνεται ένα δύσκαμπτο, σκληρό και υψηλής αντοχής υλικό. Στα επόμενα δίνονται στοιχεία για τη Μέθοδο B, αφού αυτή εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιείται πλαίσιο φόρτισης του τύπου σταθερού ρυθμού μετακίνησης. Το πλαίσιο μπορεί να είναι είτε εφελκυσμού - θλίψης είτε απλώς θλίψης και να είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο καταγραφικό όργανο ώστε να καταγράφονται ορθά το μέγιστο φορτίο που αναπτύσσεται (αντίσταση σε διάτρηση) και η αντίστοιχη μετακίνηση του εμβόλου φόρτισης. Το φορτίο πρέπει να καταγράφεται με ακρίβεια τουλάχιστον 2 N.

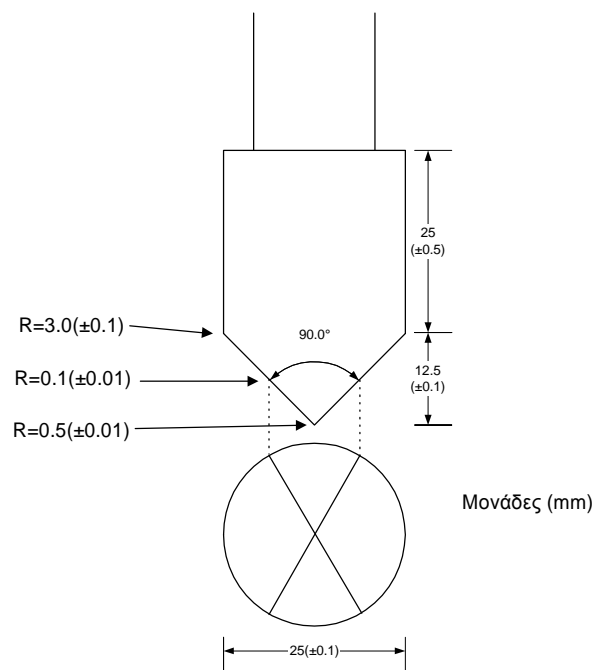
Κατά τη Μέθοδο B το δοκίμιο εδράζεται επί πλάκας αλουμινίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.α. Η πλάκα αλουμινίου πρέπει να έχει επιφάνεια ικανή να δεχθεί δοκίμια με διάμετρο τουλάχιστον 50mm.

Για τη διάτρηση των δοκιμίων χρησιμοποιείται χαλύβδινο κυλινδρικό έμβολο διαμέτρου  $25\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$  που καταλήγει σε αιχμή μορφής πυραμίδας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.β. Η αιχμή αυτή έχει τη μορφή τετράπλευρης πυραμίδας με γωνία κορυφής 90 μοιρών η οποία είναι στρογγυλευμένη με ακτίνα  $0.5\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$ . Οι ακμές της πυραμίδας είναι στρογγυλευμένες με ακτίνα  $0.1\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$  και η περίμετρος συναρμογής της πυραμίδας με το υπόλοιπο κυλινδρικό τμήμα του εμβόλου είναι στρογγυλευμένη με ακτίνα  $3\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ . Για τον εντοπισμό της χρονικής στιγμής, και συνεπώς του φορτίου, κατά την οποία συμβαίνει η διάτρηση, χρησιμοποιείται ηλεκτρικό κύκλωμα μεταξύ του εμβόλου διάτρησης και του υλικού έδρασης του

δοκίμιου. Το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να περιλαμβάνει λαμπτήρα για την λήψη οπτικού σήματος τη στιγμή της διάτρησης. Για δοκιμές σύμφωνα με τη Μέθοδο Β, τα δοκίμια πρέπει να έχουν διάμετρο τουλάχιστον 50mm και πρέπει να ελέγχονται τουλάχιστον 10 δοκίμια. Τα δοκίμια ελέγχονται υπό πρότυπες συνθήκες για έλεγχο γεωσυνθετικών (υγρασία 60 έως 70% και θερμοκρασία  $21 \pm 2$  °C).



(α)



(β)

Σχήμα 3.4: Εξαρτήματα για δοκιμή διάτρησης κατά ASTM D5494 (α) πλάκα αλουμινίου και διάταξη συστήματος, (β) έμβολο διάτρησης  
Κατά τη Μέθοδο Β το πλαίσιο φόρτισης ρυθμίζεται ώστε να επιβάλλει ρυθμό μετακίνησης του εμβόλου διάτρησης  $1.0 \pm 0.1$  mm/min. Καταγράφεται το φορτίο τη στιγμή της διάτρησης (μόλις κλείσει το ηλεκτρικό κύκλωμα). Ως αποτέλεσμα της δοκιμής θεωρείται ο μέσος όρος της αντίστασης σε διάτρηση (σε N) τουλάχιστον δέκα δοκιμίων.

### 3.1.6 Πρότυπο ASTM D4885: Ιδιότητες Εφελκυσμού Γεωμεμβρανών με τη Μέθοδο Πλατειάς Λωρίδας

Με το πρότυπο αυτό καθορίζεται η διαδικασία εργαστηριακού προσδιορισμού των χαρακτηριστικών φορτίου - επιμήκυνσης με χρήση δοκιμίου μορφής πλατειάς λωρίδας. Το δοκίμιο συγκρατείται σε ολόκληρο το πλάτος του στους σφιγκτήρες μηχανής που επιβάλλει σταθερό ρυθμό επιμήκυνσης, εφαρμόζοντας ταυτόχρονα φορτίο εφελκυσμού κατά την έννοια του μήκους του δοκιμίου έως ότου αυτό αστοχήσει. Από τα πρωτογενή δεδομένα που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής, προσδιορίζονται η αντοχή σε εφελκυσμό, η επιμήκυνση στην αστοχία, το μέτρο εφελκυσμού (αρχικό, γραμμικής περιοχής, χορδής), και το ανηγμένο έργο θραύσης.

Οι βασικές διαφορές μεταξύ αυτής της μεθόδου και άλλων δοκιμών εφελκυσμού λωρίδας είναι το πλάτος των δοκιμών και ο ρυθμός εφαρμογής του φορτίου. Το μεγαλύτερο πλάτος δοκιμίου που απαιτείται για αυτή τη δοκιμή, αλλά και το γεγονός ότι το πλάτος του δοκιμίου είναι μεγαλύτερο από το μήκος του, ελαχιστοποιούν την επίδραση της εγκάρσιας παραμόρφωσης (σχηματισμός λαιμού) που συμβαίνει σε πολλές γεωμεμβράνες που υποβάλλονται σε άλλου τύπου δοκιμές εφελκυσμού λωρίδας. Έτσι, ο περιορισμός της εγκάρσιας παραμόρφωσης και ο σημαντικά μικρότερος ρυθμός αξονικής παραμόρφωσης, οδηγούν σε μεγαλύτερη προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς της γεωμεμβράνης στο πεδίο. Η δοκιμή αυτή θεωρείται δοκιμή επίδοσης και δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιείται ως δοκιμή αποδοχής παρτίδων γεωμεμβρανών που παραδίδονται για χρήση. Για αυτό το σκοπό μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα περισσότερο εύχρηστα πρότυπα, όπως το πρότυπο ASTM D751 και ASTM D882.

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιείται πλαίσιο φόρτισης τύπου σταθερού ρυθμού επιμήκυνσης, εφοδιασμένο με κατάλληλο καταγραφικό όργανο ώστε να καταγράφεται ορθά η καμπύλη φορτίου - επιμήκυνσης. Οι σφιγκτήρες πρέπει να έχουν ικανό πλάτος ώστε να συγκρατούν το δοκίμιο σε ολόκληρο το πλάτος του και να ασκούν ταυτόχρονα κατάλληλη δύναμη σύσφιξης για να αποτρέπεται η ολίσθηση ή/και η καταστροφή του δοκιμίου. Κάθε σφιγκτήρας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με σιαγόνες με πλάτος μεγαλύτερο από το πλάτος του δοκιμίου (200mm) και με ελάχιστο μήκος 50mm κατά τη διεύθυνση του εφαρμοζόμενου φορτίου.

Οι δοκιμές γίνονται τόσο κατά τη διεύθυνση παραγωγής όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Ο απαιτούμενος αριθμός δοκιμών λαμβάνεται από τυχαίες θέσεις του εργαστηριακού δείγματος. Ακατάλληλα θεωρούνται δοκίμια που λαμβάνονται σε απόσταση από την ούγια ή την άκρη του δείγματος

μικρότερη του 1/10 του πλάτους του ρολού. Όταν σε ένα εργαστήριο δεν υπάρχουν στοιχεία από εκτεταμένες παλαιότερες δοκιμές σε παρόμοια υλικά και, κατά συνέπεια, δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση του συντελεστή μεταβλητότητας μεμονομένων παρατηρήσεων σε παρόμοια υλικά υπό συνθήκες ακρίβειας μοναδικού χειριστή, λαμβάνονται έξι δοκίμια για κάθε διεύθυνση κατά την οποία πραγματοποιείται η δοκιμή. Κάθε δοκίμιο πρέπει να έχει πλάτος 200 mm και μήκος τουλάχιστον 200 mm, με τη διάσταση του μήκους κατάλληλα επισημασμένη επί του δοκιμίου και παράλληλη προς την διεύθυνση κατά την οποία θα γίνεται η μέτρηση (παραγωγής ή εγκάρσια). Ακολούθως σχεδιάζονται στην κεντρική περιοχή του δοκιμίου δυο γραμμές σε όλο το πλάτος του, κάθετα στη διάσταση του μήκους, σε απόσταση 100 mm μεταξύ τους για τον προσδιορισμό της περιοχής ελέγχου.

Τα δοκίμια ελέγχονται με υγρασία την καθορισμένη για συνθήκες ελέγχου γεωμεμβρανών (υγρασία  $60\pm 10\%$  και θερμοκρασία  $21\pm 2^\circ\text{C}$ ). Η απόσταση μεταξύ των σφιγκτήρων στην αρχή της δοκιμής ρυθμίζεται ώστε να είναι ίση προς  $100\pm 3\text{mm}$ . Το πλαίσιο ρυθμίζεται ώστε να επιβάλλει ρυθμό επιμήκυνσης  $1\text{ mm/min}$ . Αν ένα δοκίμιο ολισθήσει στις σιαγόνες, σχισθεί στην άκρη ή στο εσωτερικό των σιαγόνων, ή αν λόγω οποιουδήποτε εσφαλμένου χειρισμού το αποτέλεσμα (φορτίο θραύσης) πέφτει εμφανώς κάτω από το μέσο όρο της ομάδας των δοκιμών, το αποτέλεσμα αυτό πρέπει να απορρίπτεται και να ελέγχεται ένα ακόμα δοκίμιο. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να ελεγχθεί ο απαιτούμενος αριθμός δοκιμών. Η απόφαση να απορριφθεί το αποτέλεσμα μιας δοκιμής βασίζεται σε παρατήρηση του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής λαμβάνοντας υπόψη και τη μεταβλητότητα της δομής της συγκεκριμένης γεωμεμβράνης. Εφόσον δεν υπάρχουν άλλα κριτήρια για την απόρριψη μιας δοκιμής, θα απορρίπτεται το αποτέλεσμα κάθε δοκιμής που η αστοχία (θραύση της γεωμεμβράνης) εμφανίζεται σε απόσταση έως 5mm από το άκρο των σιαγόνων και που η τιμή του φορτίου θραύσης είναι μικρότερη από το 80% του μέσου όρου όλων των άλλων δοκιμών.

Η αντοχή σε εφελκυσμό κάθε δοκιμίου, δηλαδή η μέγιστη δύναμη ανά μονάδα πλάτους που προκαλεί αστοχία, λαμβάνεται απευθείας από το όργανο ελέγχου και εκφράζεται σε N/m πλάτους χρησιμοποιώντας την σχέση:  $\alpha_f = F_f / W_s$ , όπου  $\alpha_f$  είναι η αντοχή σε εφελκυσμό (σε N/m),  $F_f$  είναι το φορτίο θραύσης (σε N) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).

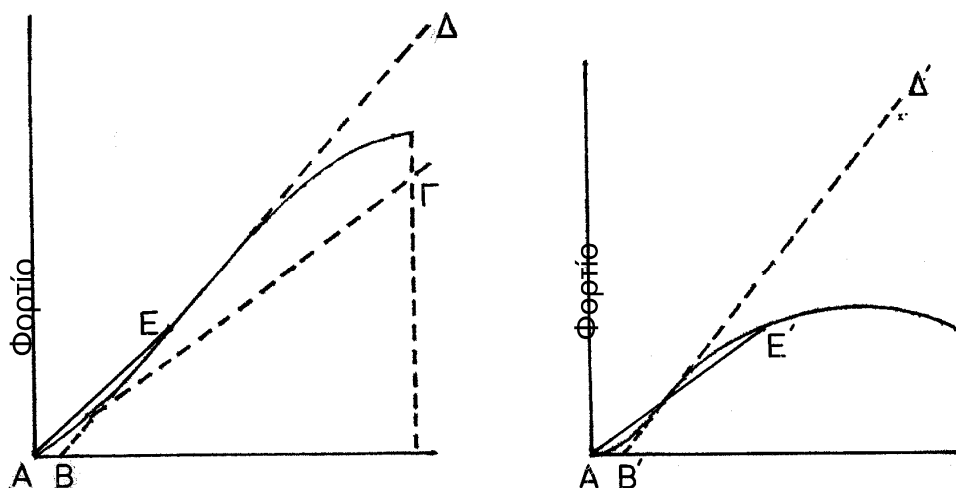
Η επιμήκυνση κάθε δοκιμίου εκφράζεται ως ποσοστιαία αύξηση του μήκους, βασισμένη στο αρχικό μήκος ελέγχου του δοκιμίου χρησιμοποιώντας την σχέση  $\epsilon_p = (\Delta L \cdot 100) / L_0$ , όπου  $\epsilon_p$  είναι η επιμήκυνση (%),  $L_0$  είναι το αρχικά καθορισμένο μήκος ελέγχου (σε mm) και  $\Delta L$  είναι η μεταβολή του μήκους απο μηδενικό φορτίο στο αντίστοιχο μετρημένο φορτίο (σε mm).



Το αρχικό μέτρο εφελκυσμού είναι η κλίση ευθείας εφαπτόμενης στο πρώτο τμήμα της καμπύλης φορτίου - επιμήκυνσης (ευθεία ΑΓ στο Σχήμα 3.4), εκφράζεται σε N/m και υπολογίζεται από τη σχέση :  $J_i = (F \cdot 100) / (\epsilon_p \cdot W_s)$  όπου,  $J_i$  είναι το αρχικό μέτρο εφελκυσμού (σε N/m),  $F$  είναι το φορτίο που αντιστοιχεί σε επιλεγμένο σημείο της γραμμής ΑΓ (σε N),  $\epsilon_p$  είναι η αντίστοιχη επιμήκυνση στο φορτίο  $F$  (σε %) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).

Το μέτρο εφελκυσμού γραμμικής περιοχής υπολογίζεται για ένα κεντρικό ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης φορτίου - επιμήκυνσης ή από την εφαπτόμενη στην καμπύλη φορτίου - επιμήκυνσης στη θέση με την μέγιστη κλίση (ευθείες ΒΔ ή Β'Δ' στο Σχήμα 3.4. Υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση :  $J_o = (F \cdot 100) / (\epsilon_p \cdot W_s)$  όπου,  $J_o$  είναι το μέτρο εφελκυσμού γραμμικής περιοχής (σε N/m),  $F$  είναι το φορτίο που αντιστοιχεί σε επιλεγμένο σημείο της γραμμής ΒΔ ή Β'Δ' (σε N),  $\epsilon_p$  είναι η αντίστοιχη επιμήκυνση στο φορτίο  $F$  (σε %) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).

Το μέτρο εφελκυσμού χορδής είναι η κλίση μιας ευθείας που διέρχεται από δύο σημεία  $P_1$  και  $P_2$  της καμπύλης φορτίου - επιμήκυνσης, τα οποία αντιστοιχούν σε επιμήκυνση  $\epsilon_1$  και  $\epsilon_2$  (συνήθως 0% και 10%, αντίστοιχα) όπως οι γραμμές ΑΕ και Α'Ε' στο Σχήμα 3.4. Υπολογίζεται από τη σχέση :  $J_s = (F \times 100) / (\epsilon_p \times W_s)$  όπου,  $J_s$  είναι το μέτρο εφελκυσμού χορδής (σε N/m),  $F$  είναι το φορτίο που αντιστοιχεί σε επιλεγμένο σημείο της γραμμής ΑΕ ή Α'Ε' (σε N),  $\epsilon_p$  είναι η αντίστοιχη επιμήκυνση στο φορτίο  $F$  (σε %) και  $W_s$  είναι το πλάτος του δοκιμίου (σε m).



Σχήμα 3.5: Υπολογισμός μέτρου εφελκυσμού από δοκιμές εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας

Για τον υπολογισμό του ανηγμένου έργου θραύσης, σχεδιάζεται στο διάγραμμα φορτίου - επιμήκυνσης ευθεία που διέρχεται από το σημείο του

μέγιστου φορτίου και είναι κάθετη στον άξονα της επιμήκυνσης. Προσδιορίζεται το εμβαδόν της περιοχής που ορίζεται από την καμπύλη φορτίου - επιμήκυνσης, την ευθεία αυτή και τον άξονα των επιμηκύνσεων. Το ανηγμένο έργο θραύσης (ή έργο θραύσης ανά μονάδα επιφάνειας), για κάθε δοκίμιο, υπολογίζεται ως ο λόγος του εμβαδού αυτού (εκφρασμένου σε μονάδες N·m) προς το εμβαδόν του ελεγχόμενου δοκιμίου (200mmx100mm).

Ακολουθεί πρότυπο έντυπο

<b>ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ</b>			<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</b>		
<b>ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>			<b>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>		
<b>ΑΝΤΟΧΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ</b>				<b>ASTM D4885</b>	
<b>ΔΟΚΙΜΗ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΛΩΡΙΔΑΣ</b>					
ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: _____			ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____		
ΕΡΓΟ: _____					
ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εμπορίου): _____			ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εργαστηρίου): _____		
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____					
Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ: _____			ΤΗΝ: _____		
(ονοματεπώνυμο)			(ημερομηνία)		
<b>ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>			<b>ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ</b>		
<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>		<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>	<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>	<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>	
<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>		<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>		<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>	
<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>		<b>ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)</b>		<b>ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (%)</b>	
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ			α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ
1				1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	
6				6	
7				7	
8				8	
9				9	
10				10	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ				ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
Συντελεστής Μεταβλητότητας				Συντελεστής Μεταβλητότητας	
<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</b> _____					
_____					
_____					
_____					
_____					

### **3.1.7 Πρότυπο DIN 54307 : Αντίσταση γεωσυνθετικών σε διάτρηση (έμβολο CBR)**

#### **Γενικά**

Με το πρότυπο αυτό καθορίζεται εναλλακτική διαδικασία εργαστηριακού προσδιορισμού της αντίστασης σε διάτρηση γεωυφασμάτων. Η μέθοδος είναι παρόμοια με αυτή που καθορίζεται από το πρότυπο ASTM D 4833 διαφέρει όμως, ως προς το μέγεθος και τον αριθμό των δοκιμών και ως προς τη διάμετρο και την ταχύτητα κίνησης του εμβόλου διάτρησης. Η μέθοδος αυτή αποτελεί δοκιμή δείκτη, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και ως δοκιμή αποδοχής παρτίδων γεωυφασμάτων ή άλλων γεωσυνθετικών που παραδίδονται για χρήση. Πλεονεκτεί έναντι της αντίστοιχης μεθόδου κατά ASTM αφού η χρήση της δεν περιορίζεται από το μέγεθος των ανοιγμάτων ή των κενών γεωυφάσματος.

#### **Συσκευές και παρελκόμενα**

Χρησιμοποιείται πλαίσιο φόρτισης εφελκυσμού-θλίψης τύπου σταθερού ρυθμού επιμήκυνσης, εφοδιασμένο με κατάλληλο γραφικό όργανο ώστε να καταγράφεται ορθά το μέγιστο φορτίο που αναπτύσσεται και αποτελεί την αντίσταση σε διάτρηση του δοκιμίου. Για τη συγκράτηση του δοκιμίου χρησιμοποιούνται δύο ομόκεντρους δακτύλιοι με εσωτερική διάμετρο 150mm και εξωτερική 250mm. Για τη σύσφιξη των δύο δακτυλίων χρησιμοποιούνται έξι μπουλόνια με παξιμάδια σε οπές διαμέτρου 8mm που ισαπέχουν μεταξύ τους και έχουν τα κέντρα τους στην περιφέρεια κύκλου ακτίνας 75mm. Οι εσωτερικές επιφάνειες των δακτυλίων φέρουν ομόκεντρες αυλακώσεις για καλύτερη συγκράτηση του δοκιμίου. Η διάτρηση του γεωυφάσματος γίνεται με ασάλινο έμβολο το οποίο διαθέτει κυλινδρική κεφαλή μήκους 30mm και διάμετρο 50mm.

#### **Δειγματοληψία**

Ως δείγμα παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται ένας αριθμός ρολών γεωυφάσματος που καθορίζεται από σχετική προδιαγραφή ή συμφωνείται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή. Από κάθε ρολό του δείγματος μιας παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται, ως εργαστηριακό δείγμα, λωρίδα με πλάτος όσο και το πλάτος του και μήκος περίπου 1m κατά τη διεύθυνση παραγωγής. Το δείγμα μπορεί να ληφθεί από το τελευταίο τμήμα του ρολού εφόσον δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό είναι παραμορφωμένο ή διαφορετικό

από τα άλλα τμήματα του ρολού. Σε περιπτώσεις αμφισβήτησης λαμβάνεται δείγμα που δεν περιέχει υλικό από την εξωτερική στοιβάδα του ρολού.

Στην περίπτωση που το ελεγχόμενο γεωύφασμα είναι υφασμένο τα δοκίμια κόβονται έτσι ώστε το κάθε ένα να αποτελείται από διαφορετική ομάδα νημάτων. Για μη υφασμένα γεωυφάσματα τα δοκίμια κόβονται διάσπαρτα κατά την έννοια του μήκους ή του πλάτους του γεωυφάσματος. Κατά τον τρόπο αυτό καλύπτεται κατάλληλα η πιθανή ανομοιομορφία ή ανομοιομορφία του γεωυφάσματος. Ακατάλληλα θεωρούνται δοκίμια που λαμβάνονται σε απόσταση από την ούγια ή την άκρη του γεωυφάσματος μικρότερη από 1/10 του πλάτους του ρολού. Η ελάχιστη διάμετρος των δοκιμίων πρέπει να είναι 250mm για διευκόλυνση κατά την τοποθέτησή τους στους δακτυλίους.

Ο αριθμός δοκιμίων ανά εργαστηριακό δείγμα πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη να αναμένει, με πιθανότητα 95%, ότι το αποτέλεσμα της δοκιμής δεν θα διαφέρει περισσότερο από 5% από τον πραγματικό μέσο όρο για το δείγμα. Όταν υπάρχει αξιόπιστη τιμή του  $v$ , βασισμένη σε παλαιότερες δοκιμές για παρόμοια υλικά στο ίδιο εργαστήριο, ο απαιτούμενος αριθμός των δοκιμίων είναι  $n = (t \cdot v/A)^2$ , όπου  $t$  είναι η τιμή της κατανομής  $t$  για επίπεδο πιθανότητας 95% και για τους βαθμούς ελευθερίας που σχετίζονται με την εκτίμηση της τιμής του  $v$ ,  $v$  είναι μια αξιόπιστη εκτίμηση του συντελεστή μεταβλητότητας μεμονωμένων παρατηρήσεων σε παρόμοια υλικά στο συγκεκριμένο εργαστήριο υπό συνθήκες ακρίβειας μοναδικού χειριστή (εκφρασμένη σε ποσοστό), και  $A$  είναι το 5% του μέσου όρου (η επιθυμητή τιμή της μεταβλητότητας). Όταν δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση του  $v$ , λαμβάνονται δέκα δοκίμια.

### **Διαδικασίες εκτέλεσης δοκιμής**

Τα δοκίμια ελέγχονται με υγρασία την καθορισμένη για συνθήκες ελέγχου γεωυφασμάτων (υγρασία  $65 \pm 5\%$  και θερμοκρασία  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Η εξισορρόπηση της υγρασίας ενός δοκιμίου θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί όταν η αύξηση της μάζας του δοκιμίου σε διαδοχικές ζυγίσεις, που απέχουν μεταξύ τους χρονικό διάστημα όχι μικρότερο των δύο ωρών, δεν υπερβαίνει το 0,1% της μάζας του. Στην πράξη, τα γεωυφάσματα συχνά δεν ζυγίζονται για να καθοριστεί τότε έχει επιτευχθεί η ισορροπία της υγρασίας τους. Παρ' όλο που μια τέτοια διαδικασία δε μπορεί να γίνει αποδεκτή σε περίπτωση διαφωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, μπορεί να είναι αρκετό για μια συνηθισμένη δοκιμή να εκτεθεί το υλικό στην τυπική ατμόσφαιρα ελέγχου για μια λογική περίοδο χρόνου πριν από την εκτέλεση της δοκιμής. Διάστημα τουλάχιστον 24 ωρών αποδείχθηκε ικανοποιητικό στις περισσότερες

περιπτώσεις, με εξαίρεση ορισμένα γεωυφάσματα τα οποία μπορεί να επιδεικνύουν βραδείς ρυθμούς εξισορρόπησης της υγρασίας τους. Τα δείγματα που πρέπει να ελεγχθούν σε υγρή κατάσταση, εμβάπτιζονται σε νερό με θερμοκρασία  $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Ο χρόνος εμβάπτισης πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να διαβρέχουν πλήρως τα δοκίμια και έχει διάρκεια τουλάχιστον 2 λεπτών. Τα ξηρά δοκίμια ελέγχονται στην ατμόσφαιρα ελέγχου γεωυφασμάτων και τα υγρά δοκίμια μέσα σε 20 λεπτά μετά την απομάκρυνση τους από το νερό.

Επιλέγεται το εύρος κλίμακας μέτρησης του φορτίου που ασκείται στο δοκίμιο, έτσι ώστε η αστοχία να συμβαίνει μεταξύ του 10% και του 90% της πλήρους κλίμακας φορτίου. Το πλαίσιο φόρτισης ρυθμίζεται ώστε να επιβάλλει ρυθμό μετακίνησης του εμβόλου διάτρησης 50mm/min. Το δοκίμιο τοποθετείται μεταξύ των δύο δακτυλίων στη βάση συγκράτησης του και τοποθετείται στο πλαίσιο φόρτισης έτσι ώστε το έμβολο να βρίσκεται στην κατακόρυφο που περνάει από το κέντρο του δοκιμίου. Ακολουθώντας, τίθεται σε λειτουργία το πλαίσιο και η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι τη διάτρηση του δοκιμίου. Θεωρείται ως αντοχή σε διάτρηση το μέγιστο φορτίο που έχει καταγραφεί. Όταν ελέγχονται γεωυφάσματα και δεν αστοχούν τα νήματα είτε λόγω διείσδυσης του εμβόλου μεταξύ τους, το αποτέλεσμα απορρίπτεται και ελέγχεται ένα επιπλέον δοκίμιο. Όταν ελέγχονται σύνθετα και παρατηρούνται δυο η περισσότερες κορυφές στο ασκούμενο φορτίο ως αντοχή σε διάτρηση λαμβάνεται πάντα η τιμή για την πρώτη κορυφή.

## **Υπολογισμοί**

Υπολογίζεται ο μέσος όρος της αντίστασης σε διάτρηση και η τυπική απόκλιση για τα δοκίμια που ελέγχθηκαν.

Αρχικά αναφέρεται ότι τα δοκίμια ελέγχθηκαν όπως καθορίζεται από το πρότυπο DIN54307, περιγράφονται το υλικό ή το προϊόν που χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα και η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε. Ακολουθώντας αναφέρονται όλα τα παρακάτω στοιχεία ή αποτελέσματα:

- Ο μέσος όρος της αντίστασης σε διάτρηση των δοκιμίων που ελέγχθηκαν.
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας (εάν είναι γνωστός) και η τυπική απόκλιση για κάθε ομάδα δοκιμίων.
- Η μέθοδος συγκράτησης των δοκιμίων.
- Οποιαδήποτε απόκλιση από την προβλεπόμενη διαδικασία.

Ακολουθεί πρότυπο έντυπο

<b>ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ</b> <b>ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>	<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</b> <b>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>
<b>ΑΝΤΟΧΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ</b>	<b>DIN 54307</b>
ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: _____ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____	
ΕΡΓΟ: _____	
ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εμπορίου): _____	ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εργαστηρίου): _____
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____	
Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ: _____	ΤΗΝ: _____
(ονοματεπώνυμο)	(ημερομηνία)

ΔΟΚΙΜΙΟ			ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ		
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	(N)	α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	(N)
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>			<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		
<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>			<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>		

<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</b> _____ _____ _____ _____ _____
--

### **3.1.8 Πρότυπο prEN 918: Δυναμική δοκιμή διάτρησης γεωφασμάτων (δοκιμή κώνου)**

#### **Γενικά**

Με το πρότυπο αυτό καθορίζεται η διαδικασία εργαστηριακού προσδιορισμού της αντοχής γεωφασμάτων σε κρούση, η οποία προσομοιώνεται με την πτώση επί του γεωφάσματος ενός χαλύβδινου κώνου από συγκεκριμένο ύψος. Ο βαθμός διείδυσης του κώνου (η διάμετρος της οπής που διανοίγεται) είναι μια ένδειξη της συμπεριφοράς του προϊόντος σε περίπτωση πτώσης στην επιφάνεια του αντικείμενων, όπως αιχμηρά αδρανή και εργαλεία κατά τα στάδια τοποθέτησης και επικάλυψης στο πεδίο.

#### **Συσκευές και παρελκόμενα**

Χρησιμοποιείται ειδικό πλαίσιο για την υποστήριξη των δακτυλίων που συγκρατούν το γεωφάσμα. Το πλαίσιο διαθέτει δοκό “ανάρτηση” του κώνου και σύστημα απελευθέρωσης του τελευταίου από ύψος ίσο με 500mm. Το πλαίσιο εδράζεται σε σκληρή με ελαστική επιφάνεια. Για τη συγκράτηση του δοκιμίου χρησιμοποιούνται δύο ομόκεντροι δακτύλιοι με εσωτερική διάμετρο  $150\pm 0.025\text{mm}$  και εξωτερική διάμετρο  $250\pm 0.025\text{mm}$ . Για τη σύσφιξη των δύο δακτυλίων χρησιμοποιούνται έξι μπουλόνια με παξιμάδια σε οπές διαμέτρου 8mm που ισαπέχουν μεταξύ τους και έχουν τα κέντρα τους στην περιφέρεια κύκλου 7,5mm. Οι εσωτερικές επιφάνειες των δακτυλίων φέρουν ομόκεντρες αυλακώσεις για καλύτερη συγκράτηση του δοκιμίου. Χρησιμοποιείται κώνος διάτρησης από ανοξειδωτο χάλυβα με γωνία αιχμής  $45^\circ$ , λεία επιφάνεια και μάζα 1000gr συμπεριλαμβανόμενης της ράβδου-οδηγού. Για τη μέτρηση της διαμέτρου της οπής που δημιουργείται στο γεωφάσμα χρησιμοποιείται κώνος βάρους 600gr και γωνίας  $14^\circ$  που φέρει περιμετρικά εγκοπές ανά 2mm διαμέτρου και μέχρι 50mm. Η οριζοντίωση του δείγματος και η καθετότητα του άξονα πτώσης του κώνου εξασφαλίζεται με τη χρήση αεροστάθμης και κοχλία οριζοντίωσης.

#### **Δειγματοληψία**

Ως δείγμα παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται ένας αριθμός ρολών γεωφάσματος που καθορίζεται από σχετική προδιαγραφή η συμφωνείται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή. Από κάθε ρολό του δείγματος μιας παρτίδας παραγωγής λαμβάνεται ως εργαστηριακό δείγμα, λωρίδα με πλάτος



όσο και το πλάτος του και μήκος 1m κατά την διεύθυνση παραγωγής. Το δείγμα μπορεί να ληφθεί από το τελευταίο τμήμα ενός ρολού εφόσον δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό είναι παραμορφωμένο ή διαφορετικό από τα άλλα τμήματα του ρολού. Σε περιπτώσεις αμφισβήτησης λαμβάνεται δείγμα που δεν έχει υλικό από την εξωτερική στοιβάδα του ρολού.

Στην περίπτωση που το ελεγχόμενο γεωύφασμα είναι υφασμένο τα δοκίμια κόβονται έτσι ώστε το κάθε ένα να αποτελείται από διαφορετική ομάδα νημάτων. Για μη υφασμένα γεωυφάσματα τα δοκίμια κόβονται διάσπαρτα κατά την έννοια του μήκους ή του πλάτους του γεωυφάσματος. Κατά τον τρόπο αυτό καλύπτεται κατάλληλα η πιθανή ανομοιομορφία ή ανομοιογένεια του γεωυφάσματος. Ακατάλληλα θεωρούνται δοκίμια που λαμβάνονται σε απόσταση από την ούγια ή την άκρη του γεωυφάσματος μικρότερη από το 1/10 του πλάτους του ρολού. Η ελάχιστη διάμετρος των δοκιμίων πρέπει να είναι 250mm για διευκόλυνση κατά την τοποθέτηση τους στους δακτυλίους.

Ο αριθμός δοκιμίων ανά εργαστηριακό δείγμα πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη να αναμένει με πιθανότητα 95% ότι το αποτέλεσμα της δοκιμής δεν θα διαφέρει περισσότερο από 5% από τον πραγματικό μέσο όρο για το δείγμα. Όταν υπάρχει αξιόπιστη τιμή του  $n$ , βασισμένη σε παλαιότερες δοκιμές για παρόμοια υλικά στο ίδιο εργαστήριο, ο απαιτούμενος αριθμός των δοκιμίων είναι  $n=(t \cdot n/A)^2$ , όπου  $t$  είναι η τιμή της κατανομής  $t$  για επίπεδο πιθανότητας 95% και για τους βαθμούς ελευθερίας που σχετίζονται με την εκτίμηση της τιμής του  $n$ ,  $n$  είναι η αξιόπιστη εκτίμηση του συντελεστή μεταβλητότητας μεμονωμένων παρατηρήσεων σε παρόμοια υλικά στο συγκεκριμένο εργαστήριο υπό συνθήκες ακρίβειας μοναδικού χειριστή (εκφρασμένη σε ποσοστό), ποσοστό  $A$  είναι το 5% του μέσου όρου (η επιθυμητή τιμή της μεταβλητότητας). Όταν δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση του  $n$ , λαμβάνονται δέκα δοκίμια.

### **Διαδικασία εκτέλεσης δοκιμίου**

Το δοκίμιο ασφαλίζεται ανάμεσα στους χαλύβδινους κατά τρόπο ώστε το μέρος του δοκιμίου που παραμένει ελεύθερο, να μην δημιουργεί “κοιλία”. Στη συνέχεια το δείγμα και οι χαλύβδινοι δακτύλιοι τοποθετούνται στην αντίστοιχη θέση στο πλαίσιο. Ο κώνος απελευθερώνεται έτσι ώστε να πέσει κατακόρυφα από το ύψος  $500 \pm 2\text{mm}$  στο κέντρο της επιφάνειας του δοκιμίου. Ασυνήθιστα γεγονότα, όπως η δημιουργία δεύτερης τρύπας λόγω αναπήδησης του κώνου, πρέπει να σημειωθούν. Σ’ αυτή την περίπτωση πρέπει να μετρηθεί το βάθος της μεγαλύτερης τρύπας (τοποθέτηση πούδρας στην επιφάνεια του δοκιμίου βοηθά στον προσδιορισμό του σημείου της

πρώτης επαφής του κώνου με την επιφάνεια του δείγματος). Αμέσως μετά τοποθετείται ο κώνος μέτρησης μέσα στην τρύπα. Η ανάγνωση της διαμέτρου της τρύπας με βάση τις διαβαθμίσεις του κώνου μέτρησης πρέπει να γίνει αφού περάσουν 10 δευτερόλεπτα.

### **Υπολογισμοί**

Υπολογίζεται ο μέσος όρος της αντοχής σε κρούση από τις καταγραφείσες τιμές, δηλαδή ο μέσος όρος των διαμέτρων των οπών που δημιουργήθηκαν, με ακρίβεια 0,1mm.

### **Τεχνική έκθεση**

Αρχικά αναφέρονται ότι τα δοκίμια ελέγχθηκαν όπως καθορίζεται από το πρότυπο prEN918, περιγράφεται το υλικό ή το προϊόν που χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα και η μέθοδος δειγματοληψίας που εφορμόστηκε. Ακολούθως αναφέρονται όλα τα παρακάτω στοιχεία ή αποτελέσματα:

- Ο μέσος όρος της αντίστασης σε διάτρηση των δοκιμίων που ελέγχθηκαν.
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας (εάν είναι γνωστός) και η τυπική απόκλιση για κάθε ομάδα δοκιμίων.
- Η μέθοδος συγκράτησης των δοκιμίων.
- Οποιαδήποτε απόκλιση από την προβλεπόμενη διαδικασία.

Ακολουθεί πρότυπο έντυπο

<b>ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ</b> <b>ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>	<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</b> <b>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ</b>
<b>ΑΝΤΟΧΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΡΟΥΣΗ</b>	<b>prEN 918</b>
ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: _____ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: _____	
ΕΡΓΟ: _____	
ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εμπορίου): _____	ΔΕΙΓΜΑ (κωδικός εργαστηρίου): _____
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____	
Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ: _____	ΤΗΝ: _____
(ονοματεπώνυμο)	(ημερομηνία)

ΔΟΚΙΜΙΟ		ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΟΠΗΣ (mm)	ΔΟΚΙΜΙΟ		ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΟΠΗΣ (mm)
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ		α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>			<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		
<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>			<b>Συντελεστής Μεταβλητότητας</b>		

<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</b> _____ _____ _____ _____ _____
--

### 3.2 Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα πρότυπα για την εργαστηριακή μέτρηση μηχανικών ιδιοτήτων: ASTM D4595 (δοκιμή εφελκυσμού πλατείας λωρίδας γεωφασμάτων), ASTM D4632 (δοκιμή μερικού εφελκυσμού (grab) γεωφασμάτων), ASTM D4533 (δοκιμή αντοχής σε σχίσμο γεωφασμάτων), ASTM D4833 (δοκιμή αντίστασης σε διάτρηση γεωφασμάτων), ASTM D5494 (δοκιμή αντίστασης γεωμεμβρανών σε διάτρηση με πυραμιδοειδή αιχμή), ASTM D4885 (Δοκιμή εφελκυσμού γεωμεμβρανών με τη Μέθοδο Πλατείας Λωρίδας), DIN 54307 (αντίσταση σε διάτρηση με έμβολο CBR) και prEN 918 (αντοχή σε κρούση),

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV**

### **ΕΝΙΣΧΥΣΗ – ΟΠΛΙΣΗ ΕΔΑΦΩΝ**

#### **4.1 Εφαρμογές σε έργα οδοποιίας**

Από το πλήθος εφαρμογών ενίσχυσης εδαφών με χρήση γεωσυνθετικών υλικών όπως αυτές περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο I, ευρύτατη εφαρμογή βρίσκει η τεχνική αυτή στα έργα οδοποιίας. Τα τεχνητά πρηνή τα οποία δημιουργούνται κατά τη φάση εκτέλεσης χωματοουργικών εργασιών μπορούν να διαμορφωθούν με κλίσεις περισσότερο έντονες εφόσον τοποθετηθούν κατάλληλα γεωσυνθετικά υλικά ως οπλισμός τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των απαιτούμενων εκσκαφών και την εξοικονόμηση υλικών. Ανάμεσα στις περισσότερο έντονες κλίσεις που επιτάσσει η οικονομία και το περιβάλλον και τις πιο ήπιες που υπαγορεύει η ασφάλεια των κατασκευών, ο μελετητής καλείται να προσδιορίσει τη χρυσή τομή και να δώσει την ενδεδειγμένη λύση για τη διαμόρφωση τους για κάθε ξεχωριστό έργο οδοποιίας.

Η τεχνική αυτή της κατάλληλης όπλισης του εδάφους για την διαμόρφωση εντονότερων κλίσεων πρηνών εφαρμόζεται και στη περίπτωση κατασκευής οπλισμένων επιχωμάτων οδοποιίας. Οπλισμένα επιχώματα ονομάζονται γεωκατασκευές στις οποίες τα υλικά επίχωσης ενισχύονται με παρεμβολή μεταλλικών και κυρίως, γεωσυνθετικών στοιχείων. Σήμερα, η ενίσχυση των επιχωμάτων γίνεται πρωτίστως με γεωυφάσματα ή γεωπλέγματα.

Τέλος, η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης με χρήση γεωσυνθετικών υλικών σε αντίθεση με την κλασική μεθοδολογία κατασκευής τους από οπλισμένο σκυρόδεμα, επιτρέπει τη διαμόρφωση κατασκευών μεγάλου ύψους με σημαντικά μικρότερο κόστος. Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται διεξοδικά οι παραπάνω αναφερόμενες περιπτώσεις γεωτεχνικών κατασκευών στα έργα οδοποιίας.

#### **4.2. Οπλισμένα επιχώματα**

Η εφαρμογή της αρχής της “οπλισμένης γης” στην κατασκευή επιχωμάτων καλύπτει ένα ευρύ πεδίο, ωστόσο, αναφέρονται συνήθως ως “οπλισμένα επιχώματα” οι γεωκατασκευές με πρηνή που έχουν ενισχυθεί με συνθετικά ή μεταλλικά στοιχεία.

Η ενίσχυση αυτή των επιχωμάτων επιτρέπει την αύξηση της κλίσης των πρηνών, που για τα συνήθη επιχώματα κυμαίνεται μεταξύ 1:1,5 και 1:2,

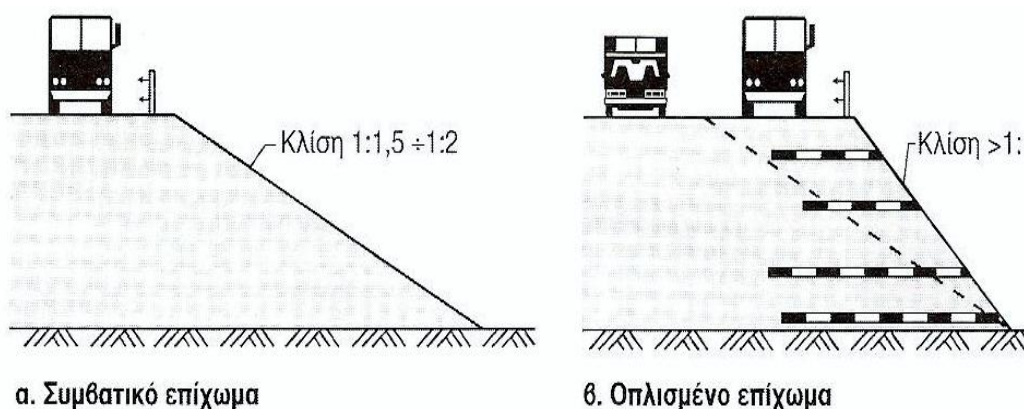
μέχρι και σε γωνία  $90^\circ$ , τη διαμόρφωση, δηλαδή, κατακόρυφου πρανούς. Ακόμη, μέσω της ενίσχυσης των επιχωμάτων αντιμετωπίζονται φαινόμενα παραμορφώσεων, καθιζήσεων και συνιζήσεων αλλά και βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας.

Οι εφαρμογές, συνεπώς, του οπλισμένου εδάφους στην περίπτωση των οδικών επιχωμάτων είναι οι ακόλουθες:

- Όπλιση πρανών για βελτίωση ευστάθειας του επιχώματος έναντι περιστροφικής ολίσθησης
- Ενίσχυση παρειάς για βελτίωση ευστάθειας έναντι επίπεδης επιφανειακής/ τοπικής αστοχίας
- Ενίσχυση σώματος επιχώματος για μείωση της συνιζήσης
- Ενίσχυση επιφάνειας έδρασης επιχώματος για μείωση καθιζήσεων και βελτίωση ευστάθειας
- Όπλιση υλικού επίχωσης τοίχων αντιστήριξης

Γενικώς, τα πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζουν οι διάφορες τεχνικές όπλισης του εδάφους στην οδοποιία είναι οι εξής:

- 1) Μεγάλη ευκαμψία και ικανότητα προσαρμογής σε παραμορφώσεις και καθιζήσεις της γεωκατασκευής
- 2) Μικρό κόστος κατασκευής
- 3) Απλή και σύντομη διαδικασία τοποθέτησης
- 4) Δυνατότητα αποστράγγισης



Σχήμα 4.1: Εφαρμογές οπλισμένης γης σε οδικά επιχώματα.

Για τους λόγους αυτούς, οι τεχνικές όπλισης του εδάφους έχουν διαδοθεί ιδιαίτερα σε έργα οδοποιίας και αποτελούν πλέον μια μέθοδο συστηματικής εφαρμογής σε κατασκευές επιχωμάτων.

Τα στοιχεία όπλισης των επιχωμάτων διακρίνονται σε όλκιμα ή εύκαμπτα (extensible) και σε άκαμπτα (inextensible). Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται τα γεωφάσματα, ενώ στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι μεταλλικές ράβδοι και τα χαλύβδινα πλέγματα.

#### **4.2.1. Κατηγορίες οπλισμένων επιχωμάτων-απαιτήσεις σχεδιασμού**

Από πλευράς διάρκειας ωφέλιμης χρήσης κατά τον σχεδιασμό τους, τα οπλισμένα επιχώματα κατατάσσονται στη κλάση 1(Class 1) που αφορά προσωρινές κατασκευές με διάρκεια ωφέλιμης χρήσης έως 5 έτη και στις κλάσεις 2-5(Class 2-5) με διάρκεια ωφέλιμης χρήσης μεγαλύτερη των 5 ετών κατά τα αναφερόμενα στο ΕΛΟΤ EN 14475. Η κλάση κάθε οπλισμένου επιχώματος θα ορίζεται εξ αρχής.

Από πλευράς σπουδαιότητας, θα πρέπει εξ αρχής (πριν από τον σχεδιασμό και τους ελέγχους), να ορίζεται επίσης η γεωτεχνική κατηγορία ΓΚ, στην οποία θα κατατάσσεται το κάθε οπλισμένο επίχωμα, λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες οδηγίες:

#### **Γεωτεχνικές κατηγορίες κατά EN-1997-1:**

##### **Γεωτεχνική Κατηγορία 1: (ΓΚ1)**

- Συνήθη απλά επιχώματα όπου είναι αμελητέος ο κίνδυνος και περιορισμένες οι συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας.

##### **Γεωτεχνική Κατηγορία 2: (ΓΚ2)**

- Συνήθεις κίνδυνοι και δυσμενείς συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας.
- Συνήθη οπλισμένα επιχώματα (εξαιρούνται τα κατατασσόμενα στην ΓΚ3&ΓΚ1).
- Συνήθεις –ομαλά γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης ή συνθήκες θεμελίωσης αντιμετώπισιμες χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία.

##### **Γεωτεχνική Κατηγορία 3: (ΓΚ3)**

- Υψηλοί κίνδυνοι, σοβαρότατες συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας.
- «Ιδιαίτερα» οπλισμένα επιχώματα (π.χ. πολύ υψηλά και απότομα, συνθήκες γεωμετρίας και κατασκευής κ.λπ.).
- Επιχώματα που θεμελιώνονται σε ιδιαίτερα δύσκολες εδαφικές συνθήκες θεμελίωσης ή επιβάλλονται ασυνήθεις σπάνιες φορτίσεις, ή ο σεισμός αποτελεί κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού και επηρεάζει τη γενικότερη λειτουργία της κατασκευής.

- Στην κατηγορία ΓΚ3 κατατάσσονται και τα επιχώματα που δεν δύναται να ενταχθούν στις δύο προηγούμενες κατηγορίες.

Οι προαναφερθείσες γεωτεχνικές κατηγορίες δεν μεταβάλλουν κατ' ανάγκη τις τιμές του επιδιωκόμενου γενικού συντελεστή ή των επιμέρους συντελεστών χαρακτηρίζουν την κρισιμότητα της διατήρησης αυτού σε συνθήκες πλήρους λειτουργίας. Ταυτόχρονα οριοθετούν την έκταση και την ποιότητα των ασφάλειας. Αποσκοπούν στην απρόσκοπτη λειτουργία του συνολικού έργου και απαιτούμενων γεωτεχνικών ερευνών. Την έμφαση στην επίβλεψη κατά την διάρκεια της κατασκευής, καθώς και το απαιτούμενο επίπεδο οργάνωσης και συντήρησης κατά τη λειτουργία του έργου.

## **4.2.2 Βασικές αρχές υπολογιστικών ελέγχων**

### **4.2.2.1 Μεθοδολογία ελέγχων**

Τα οπλισμένα επιχώματα ελέγχονται με την μέθοδο της οριακής ισορροπίας έναντι καταστάσεων αστοχίας, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε κλασική μέθοδο οριακών ελέγχων ευστάθειας (π.χ. Bishop, Janbu, Spencer, κ.λπ.), που επιπροσθέτως των εδαφικών παραμέτρων λαμβάνει επίσης υπόψη τις αντοχές και τη γωνία τριβής διεπιφάνειας οπλισμού-εδάφους. Τα στοιχεία όπλισης συνεισφέρουν στην αύξηση του γενικού συντελεστή ασφάλειας, με εισαγωγή αντίστοιχης εφελκυστικής δύναμης στις βασικές εξισώσεις ισορροπίας. Επικουρικά, μπορεί να χρησιμοποιείται και ανάλυση συνεχούς μέσου (πεπερασμένες διαφορές ή πεπερασμένα στοιχεία).

Τυχόν συμπληρωματικοί ή επιμέρους έλεγχοι (σε ειδικές περιπτώσεις, αν απαιτηθούν, όπως π.χ. έλεγχος φέρουσας ικανότητας υπεδάφους θεμελίωσης σε ειδικές περιπτώσεις απότομης κλίσης υψηλών επιχωμάτων εδραζόμενων σε έδαφος απότομης εγκάρσιας κλίσης ή και υπεδάφους μειωμένης φέρουσας ικανότητας) μπορούν να εκπονούνται με αναλυτικές μεθόδους.

Ο έλεγχος λειτουργικότητας αποσκοπεί στο να υπολογίζονται οι μετακινήσεις και γενικότερα οι παραμορφώσεις της κατασκευής. Το μέγεθος αυτών χαρακτηρίζεται ως ανεκτό όταν διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία της κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης, με αποδοτικές απαιτήσεις περιοδικής συντήρησης.

Στους λειτουργικούς ελέγχους περιλαμβάνονται οι έλεγχοι των καθιζήσεων του υπεδάφους θεμελίωσης και των συνιζήσεων του σώματος του επιχώματος. Σε ειδικές περιπτώσεις και εφόσον απαιτηθεί από την αντίστοιχη



κατασκευαστική εταιρία θα γίνεται και έλεγχος οριζόντιων παραμορφώσεων της παρειάς του επιχώματος κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

#### 4.2.2.2 Συνδυασμοί φορτίσεων – Γενικές απαιτήσεις ασφαλείας

Όλοι οι έλεγχοι των οπλισμένων επιχωμάτων θα διεξάγονται με τους συνδυασμούς φορτίσεων που προβλέπονται στις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (Ο.Μ.Ο.Ε.)/2003 με επιδιωκόμενο συνολικό συντελεστή ασφαλείας:  $\min FS > \text{απαιτούμενου } FS \text{ του } 4.6 \text{ των Ο.Μ.Ο.Ε., τεύχος } 11, \text{ κεφ. } 4.$

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
1	Βραχυχρόνιες στατικές	Αστράγγιστες συνθήκες (συνεκτικά εδάφη)	1,20
2	Μακροπρόθεσμες με σεισμό	Βελτιωμένη αστράγγιστη λόγω στερεοποίησης (συνεκτικά εδάφη)	1,00
3(1)	Μακροπρόθεσμες με ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50 ετίας	Ενεργές παράμετροι αντοχής	1,30

Πίνακας 4.1: Απαιτούμενοι συνολικοί συντελεστές ασφαλείας (Απόσπασμα πιν4.6 ΟΜΟΕ)

Σημείωση (1): Ο συνδυασμός φόρτισης 3 και ο αντίστοιχος απαιτούμενος συνολικός συντελεστής ασφαλείας καλύπτει και την περίπτωση κατά την οποία δεν υφίσταται στάθμη υπόγειου ορίζοντα στη ζώνη επιρροής της κατασκευής. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, η συνθήκη ανώτατης στάθμης νερού 50ετίας μπορεί να μην περιλαμβάνει καμία δράση νερού.

Διευκρινίζεται επίσης, ότι αναφορικά με τις φορτίσεις και γενικότερα τις δράσεις (ίδια βάρη, εξωτερικές φορτίσεις, υπόγεια νερά, καθώς και σεισμική φόρτιση), ισχύουν οι ίδιες οδηγίες των ΟΜΟΕ και του ΕΑΚ, όπως και στα άοπλα επιχώματα.

#### 4.2.2.3 Μηχανισμοί ελέγχου – καταστάσεις αστοχίας – λειτουργικότητας

Για τη διαστασιολόγηση ενός οπλισμένου επιχώματος εξετάζονται όλοι οι πιθανοί μηχανισμοί δυναμικής αστοχίας, για κάθε συνδυασμό φόρτισης, και προσδιορίζονται οι ελάχιστοι συνολικοί συντελεστές ασφάλειας, οι οποίοι συγκρίνονται με τους αντίστοιχους απαιτούμενους συνολικούς συντελεστές του πίνακα 1.

Οι πιθανές μορφές (μηχανισμοί) δυναμικής αστοχίας, ομαδοποιούνται γενικώς στις εξής τρεις καταστάσεις δυναμικής αστοχίας, οι οποίες στο παρόν κείμενο, για λόγους πρακτικούς συμβολίζονται ως:ES, IS και CS και περιγράφονται ως εξής:

- **ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ (External Stability) (ES)**

Στη συγκεκριμένη κατάσταση δυναμικής αστοχίας, το οπλισμένο σώμα του επιχώματος αντιμετωπίζεται στον έλεγχο ως ένα πρακτικώς απαραμόρφωτο στερεό σώμα, το οποίο μπορεί να παραλάβει ωθήσεις και να μεταβιβάσει υπό την βάση του δυνάμεις θλίψης και διάτμησης. Στην κατάσταση αυτή, δεν παίζουν άμεσα ρόλο τα στοιχεία όπλισης (παρά μόνο στον γεωμετρικό καθορισμό του οπλισμένου τμήματος του επιχώματος). Περιλαμβάνονται οι εξής επιμέρους μηχανισμοί δυναμικής αστοχίας:

**[ES.1] Αστοχία βαθιάς ολίσθησης:**

Διερευνάται με περιστροφικές ή πολυγωνικές επιφάνειες δυναμικής ολίσθησης, οι οποίες δεν τέμνουν τα στοιχεία (Σχ. 4.2,ES.1).

**[ES.2] Ολίσθηση του στερεού (οπλισμένου σώματος) στη βάση:**

Διερευνάται με πολυγωνικές επιφάνειες δυναμικής ολίσθησης στη βάση έδρασης του επιχώματος (Σχ. 4.2,ES.2).

**[ES.3] Αστοχία του υπεδάφους θεμελίωσης:**

Διερευνάται είτε με περιστροφικές επιφάνειες δυναμικής ολίσθησης, είτε με κλασσικές μεθόδους φέρουσας ικανότητας.

- **ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ (Internal Stability) (IS)**

Στη συγκεκριμένη κατάσταση αστοχίας ελέγχονται οι πιθανοί μηχανισμοί δυναμικής αστοχίας (πολυγωνικές & περιστροφικές επιφάνειες, οι

οποίες αναπτύσσονται εντός του οπλισμένου σώματος του επιχώματος) συνυπολογίζοντας και τη συνεισφορά των οπλισμών. Περιλαμβάνονται οι εξής επιμέρους μηχανισμοί δυναμικής αστοχίας:

**[IS.1] Περιστροφικός ή Πολυγωνικός μηχανισμός αστοχίας:**

Διερευνάται με περιστροφικές ή πολυγωνικές επιφάνειες δυναμικής ολίσθησης, οι οποίες διέρχονται αποκλειστικά εντός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.2, IS.1).

**[IS.2] Ολίσθηση κατά μήκος διεπιφανειών μειωμένης αντοχής εντός του οπλισμένου σώματος:**

Διερευνάται με πολυγωνικές επιφάνειες, που περιλαμβάνουν τμήμα διεπιφάνειας μειωμένης αντοχής (μεταξύ εδάφους- στοιχείου όπλισης), διεπιφάνειας μειωμένης αποκλειστικά εντός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.2, IS.2).

- **ΣΥΜΜΕΙΚΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ (Compound Stability), (CS)**

Στη συγκεκριμένη κατάσταση αστοχίας ελέγχονται οι πιθανοί μηχανισμοί δυναμικής αστοχίας (πολυγωνικές & περιστροφικές επιφάνειες), οι οποίες διέρχονται ταυτόχρονα τόσο εντός, όσο και εκτός του οπλισμένου σώματος του επιχώματος. Περιλαμβάνονται οι εξής επιμέρους μηχανισμοί δυναμικής αστοχίας:

**[CS.1] Περιστροφικός ή Πολυγωνικός μηχανισμός αστοχίας:**

Διερευνάται με περιστροφικές ή πολυγωνικές επιφάνειες δυναμικής ολίσθησης, οι οποίες αναπτύσσονται ταυτόχρονα εντός και εκτός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.2, CS.1).

**[CS.2] Ολίσθηση κατά μήκος διεπιφανειών μειωμένης αντοχής εντός του οπλισμένου σώματος:**

Διερευνάται με πολυγωνικές επιφάνειες, που περιλαμβάνουν τμήμα διεπιφάνειας μειωμένης αντοχής (μεταξύ εδάφους- στοιχείου όπλισης), διερχόμενης ταυτόχρονα εντός και εκτός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.2, CS.2).

Όλοι οι απαιτούμενοι συντελεστές ασφάλειας για τους ελέγχους των παραπάνω μηχανισμών/καταστάσεων αστοχίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Κατά τον έλεγχο της κατάστασης λειτουργικότητας, υπολογίζονται οι μετακινήσεις και γενικότερα οι παραμορφώσεις της γεωκατασκευής. Για τους υπολογισμούς των λειτουργικών ελέγχων ο συνολικός συντελεστής ασφάλειας και οι επιμέρους συντελεστές είτε επί των φορτίσεων, είτε επί των εδαφικών παραμέτρων λαμβάνονται ίση με τη μονάδα.

Στους λειτουργικούς ελέγχους συμπεριλαμβάνεται ο έλεγχος των καθιζήσεων του υπεδάφους θεμελίωσης του οπλισμένου επιχώματος (ειδικά μάλιστα στις περιπτώσεις που το υπέδαφος περιλαμβάνει συμπιεστά στρώματα), πράγμα που αντιμετωπίζεται κατά τα σχετικώς αναφερόμενα στις Ο.Μ.Ο.Ε., όπως και για τα άοπλα επιχώματα. Επιπλέον πρέπει να διενεργείται έλεγχος των συνιζήσεων του σώματος του επιχώματος. Υποδείξεις σχετικά με τα ανεκτά όρια της διαφορικής καθίζησης – συνίζησης (σε σχέση με το σύστημα επένδυσης της παρειάς του οπλισμένου επιχώματος), αναφέρονται στο ΕΛΟΤ EN 14475 (Πίνακες C.1 – C.12) .

Για το σχεδιασμό ενός οπλισμένου επιχώματος απαιτείται από τους παραμέτρους αντοχής να καθορίζονται εξ αρχής:

- Το είδος και η ποιότητα του γεωυλικού επίχωσης , λαμβάνοντας υπόψη τις επιτόπου συνθήκες του έργου.
- Είδος στοιχείων όπλισης. Πέραν των εφελκυστικών αντοχών και των σχετικών επιμέρους μειωτικών συντελεστών, θα καθορίζονται οι τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας αναλόγως του επιπέδου φόρτισης και της διάρκειας ωφέλιμης χρήσης.

Κατά τη φάση κατασκευής θα γίνεται προσαρμογή της μελέτης, η οποία θα λαμβάνει υπόψη τόσο το είδος και την ποιότητα των διατιθέμενων γεωυλικών στο έργο (προς χρήση για την κατασκευή του σώματος του επιχώματος), όσο και τα ακριβή χαρακτηριστικά και τις τιμές των απαιτούμενων παραμέτρων των στοιχείων όπλισης (τα οποία θα έχουν ήδη επιλεχθεί για να τοποθετηθούν τελικώς στο έργο). λαμβάνονται από τις αντίστοιχες Γαλλικές οδηγίες (NF G38064) ως ακολούθως (εκτός και αν κατά περίπτωση ζητηθούν διαφορετικές τιμές):

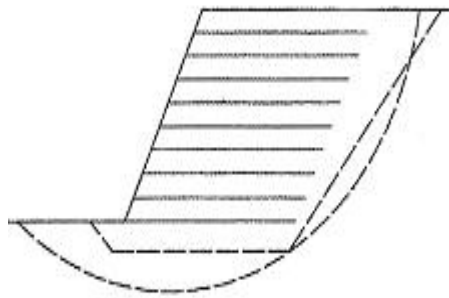
Κατάταξη έργου:	ΓΚ2		ΓΚ3	
Τρόπος τοποθέτησης οπλισμού:	A	B	A	B
Για κλίσεις παρειάς $\mu:\beta > 3:1$	0,8%	0,4%	0,4%	0,2%
Για κλάσεις παρειάς $\mu:\beta \leq 3:1$	1,6%	0,8%	0,8%	0,4%

Πίνακας 4.2:

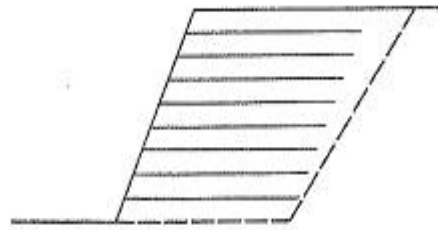
Τρόπος τοποθέτησης οπλισμών A: Συνδεδεμένοι επαρκώς με το σύστημα παρειάς και ελαφρά προέκταση της πίσω απόληξής τους κατά την τοποθέτηση

Τρόπος τοποθέτησης οπλισμών B: Χωρίς επαρκή σύνδεση με το σύστημα παρειάς (ή έλλειψη φέροντος συστήματος παρειάς) χωρίς συστηματική προέκταση

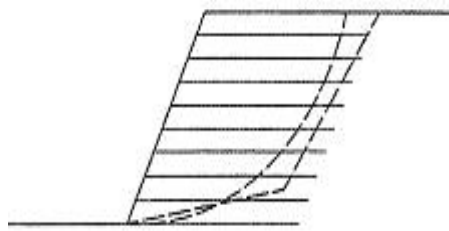
Κατά τους ελέγχους των μετακατασκευαστικών οριζοντίων παραμορφώσεων, θα λαμβάνεται υπόψη η διαφοροποίηση (μείωση) του μέτρου παραμορφωσιμότητας των οπλισμών συναρτήσει του χρόνου, υπό σταθερή ένταση, προσομοιάζοντας έτσι την ερπυστική συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα γεωσυνθετικά στοιχεία όπλισης.



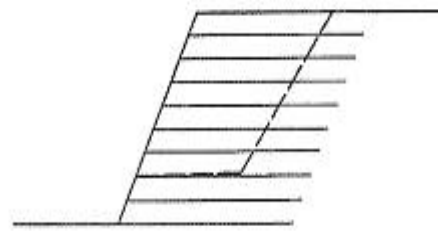
ES.1



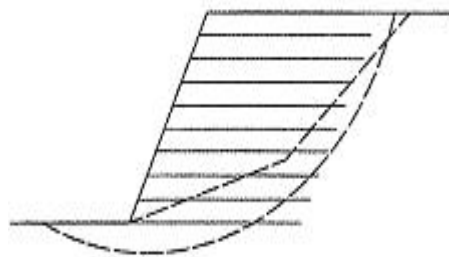
ES.2



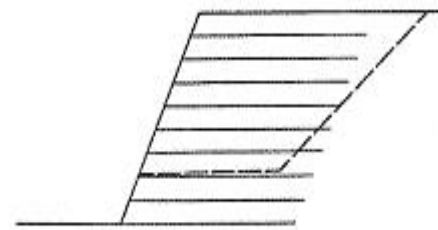
IS.1



IS.2



CS.1



CS.2

Σχήμα 4.2.: Ενδεικτικές καταστάσεις και μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας για ελέγχους οπλισμένων επιχωμάτων

ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ				3. Μακροπρόθεσμες με W50 <sup>(1)</sup>	2. Μακροπρόθεσμες με σεισμό και maxW	1. Βραχυχρόνιες <sup>(4)</sup> στατικές συνθήκες με	
Μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας προς έλεγχο	Καταστάσεις Ελέγχου			Εξωτερική ευστάθεια ES Εσωτερική ευστάθεια IS Σύνθετη ευστάθεια CS	Εξωτερική ευστάθεια ES Εσωτερική ευστάθεια IS Σύνθετη ευστάθεια CS	Εξωτερική ευστάθεια ES Εσωτερική ευστάθεια IS Σύνθετη ευστάθεια CS	
	ES	IS	CS				
Κυκλικές	ES.1	IS.1	CS.1	<b>minFS<sup>(2)</sup>≥1,30</b>	<b>minFS≥1,00</b>	<b>minFS≥1,20</b>	
Πολυγωνικές	(ES.1)	(IS.1)	(CS.1)				
Ολίσθηση βάσης	ES.2	-	-				
Επιτρεπόμενη τάση θεμελίωσης <sup>(3)</sup>		-	-				
Ολίσθηση σε διεπιφάνεια οπλισμού-υλικού επίχωσης	-	IS.2	CS.2				
				ΓΚ1,ΓΚ2,ΓΚ3	ΓΚ1,ΓΚ2,ΓΚ3	ΓΚ1,ΓΚ2,ΓΚ3	
					Εναλλακτική A <sup>(5)</sup>	Εναλλακτική B <sup>(5)</sup>	
Μειωτικός συντελεστής: Στην εφελκυστική αντοχή των οπλισμών T <sub>ut,k</sub>	Y <sub>M</sub> :			<b>1,30</b> (Χρήση T <sub>d</sub> )	<b>1,00</b> (Χρήση T <sub>d</sub> )	<b>1,50</b> (Χρήση T <sub>d</sub> )	<b>1,20</b> (Χρήση T <sub>d</sub> )
Μειωτικός συντελεστής: Έναντι εξολκευσης οπλισμών (τριβής)	Y <sub>pu</sub> :			<b>1,50</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>
Μειωτικός συντελεστής: Έναντι ολίσθησης βάσης κ.λπ. διεπιφανειών Οπλισμού (τριβής)	Y <sub>sl</sub> :			<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

**Πίνακας 4.3** ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΟΡΙΑΚΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ≤3:1 ΜΕ ΠΟΛΙΜΕΡΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ

### Σημειώσεις:

<sup>(1)</sup>.  $maxW$ : μέγιστη ετήσια υπογείων υδάτων,  $W50$ =μέγιστη δράση υπογείων υδάτων περιόδου επαναφοράς  $T = 50$  έτη

<sup>(2)</sup>.  $minFS$ : Απαιτούμενος ολικός συντελεστής ασφαλείας για κάθε συνδυασμό φόρτισης

<sup>(3)</sup>. Η επιτρεπόμενη τάση του υπεδάφους θεμελίωσης θα καθορίζεται με συντελεστή ασφαλείας  $FS_{ES,3} = 2,00$  σε στατικές συνθήκες και  $FS_{ES,3} = 1,30$  σε σεισμό.

Η τιμή της οριακής φέρουσας ικανότητας του εδάφους θα λαμβάνει υπόψη την κλίση της επιφάνειας του εδάφους και την συνυπάρχουσα οριζόντια τάση έδρασης (κλίση φορτίου).

<sup>(4)</sup>. Ο συνδυασμός φόρτισης 1 αφορά ελέγχους με ολικές τάσεις ( $\varphi_{u,k}$ ,  $c_{u,k}$ ), εφόσον συντρέχει τέτοια περίπτωση

<sup>(5)</sup>. Προτείνονται δύο εναλλακτικές μέθοδοι

#### Μέθοδος A:

Λαμβάνεται η τιμή  $T_d$  αντί της τιμής  $T_{d,s}$  με σκοπό να μην αγνοηθεί ο συντελεστής ερπυσμού  $f_{cr}$  κατά το σεισμικό έλεγχο. Στην περίπτωση αυτή ο μειωτικός συντελεστής  $\gamma_m$  ισούται με  $\gamma_m = 1,0$ .

#### Μέθοδος B:

Η τιμή του συντελεστή  $\gamma_m$  λαμβάνεται ίση με  $\gamma_m = 1,50$ .

#### **Παρατηρήσεις:**

α. Όλοι οι επιμέρους συντελεστές επί των μόνιμων και κινητών φορτίων τίθεται ίσοι προς 1.

β. Όλοι οι επιμέρους συντελεστές στις παραμέτρους  $\varphi_k, c_k, \varphi_u, k, c_u, k$  των γεωυλικών τίθενται ίσοι προς 1.

γ. Οι περιπτώσεις ελέγχων που βρίσκονται εντός παρενθέσεων, θα διεξάγονται μόνο εφόσον συντρέχουν οι αναλογούσες προϋποθέσεις.

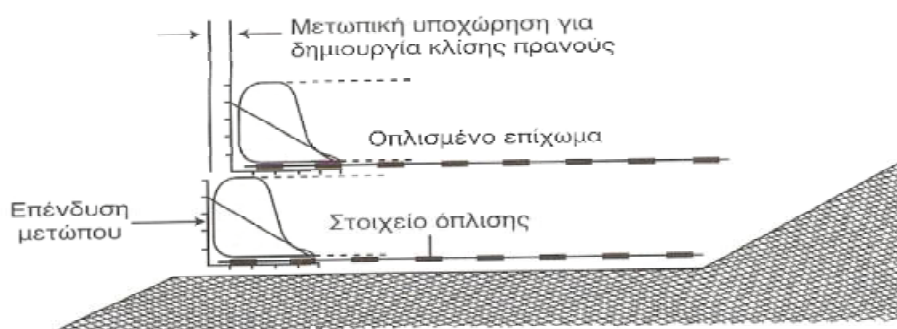
### 4.2.3 Βασικές αρχές κατασκευαστικών διατάξεων

Ο πρωτεύον οπλισμός ενός επιχώματος έχει ως στόχο να εξασφαλίσει ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας έναντι περιστροφικής ή επίπεδης ολίσθησης σε πρηνή με απότομες κλίσεις. Η μέθοδος διαστασιολόγησης προσδιορίζει το μέγεθος και την πυκνότητα του πρωτεύοντος οπλισμού, ώστε να προκύψει ο απαιτούμενος, κατά περίπτωση και ανάλογα με τη σημασία του έργου, συντελεστής ασφαλείας. Αν, και κατά τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται η ευστάθεια του πρηνούς του επιχώματος, δεν αποτρέπεται κάποια επιφανειακή αστοχία στο ενδιάμεσο των ενισχυμένων στρώσεων, ειδικότερα όταν η καθ' ύψος πυκνότητα των οπλισμών δεν είναι μεγάλη (120-150 cm) και η κλίση του πρηνούς είναι αρκετά έντονη. Στις περιπτώσεις αυτές,



μεταξύ των στρώσεων του κυρίως οπλισμού, τοποθετούνται μια ή περισσότερες στρώσεις δευτερεύοντος οπλισμού.

Όταν η γωνία πρανούς του οπλισμού επιχώματος είναι περίπου  $45^\circ$ , ο δευτερεύον οπλισμός τοποθετείται ανά καθ' ύψος αποστάσεις 30-60cm και έχει μήκος 2m. Η αναδίπλωση των φύλλων των γεωσυνθετικών υλικών και η αγκύρωση τους στην αμέσως ανώτερη στρώση βελτιώνει την επιφανειακή ευστάθεια και προστατεύει από διάβρωση.

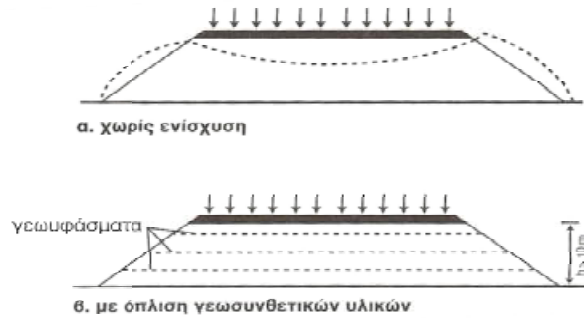


Σχήμα 4.3: Μέτωπο πρανούς οπλισμένου επιχώματος

Όταν η γωνία πρανούς τείνει προς τις  $90^\circ$ , ακόμη αποτελεσματικότερα μέτρα προστασίας είναι απαραίτητα. Η αναδίπλωση των γεωσυνθετικών φύλλων είναι απαραίτητη και η επιφάνεια του πρανούς διαμορφώνεται από τα κατακόρυφα μέτωπα των στρώσεων μέσω συρματοκιβωτίων ή άλλων μεθόδων κατασκευής.

Γεωσυνθετικά υλικά ενίσχυσης τοποθετούνται στο σώμα του επιχώματος για μείωση της παραμορφωσιμότητας και της συνίζησης. Η πρακτική αυτή εφαρμόζεται σε υψηλά επιχώματα ( $h > 10\text{m}$ ) που κατασκευάζονται από συνεκτικά εδαφικά υλικά μεγάλης παραμορφωσιμότητας.

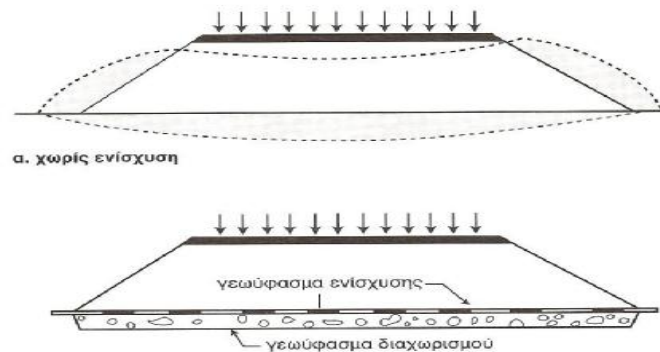
Στις περιπτώσεις αυτές, τα στοιχεία όπλισης τοποθετούνται ανά 2-3 μέτρα (καθ' ύψος) ανάλογα με τη φύση του υλικού και τη γεωμετρία της διατομής. Η παρεμβολή γεωφασμάτων είναι δυνατόν να συνδυασθεί και με την κατασκευή στρώσης στράγγισης, εφόσον το υλικό επίχωσης είναι μικρής διαπερατότητας και η πιθανότητα διείσδυσης ομβρίων σοβαρή.



Σχήμα 4.4: Ενίσχυση επιχώματος από μαλακά εδαφικά υλικά

Η ενίσχυση της θεμελίωσης του επιχώματος μέσω γεωυφασμάτων γίνεται σε περιπτώσεις έδρασης των γεωκατασκευών σε συμπιεστά εδαφικά στρώματα μεγάλου πάχους (αργιλοίλεις, μαλακές άργιλοι, οργανικά εδάφη). Ένα πρώτο γεωύφασμα τοποθετείται στον πυθμένα της εξυγιαντικής κλίνης.

Ακολουθεί η κατασκευή της “εξυγίανσης” από κροκάλες ή θραυστό υλικό, μεγάλων διαστάσεων 100/200mm. Η εξυγιαντική στρώση καλύπτεται εν συνεχεία από γεωυφάσματα ενίσχυσης, που σε συνδυασμό με το σύνολο της κατασκευής της θεμελίωσης, βελτιώνει την ευστάθεια της γεωκατασκευής και συντελεί στη μείωση της δευτερογενούς καθίζησης.



Σχήμα 4.5: Γεωυφάσματα στη στρώση έδρασης επιχώματος.

Εξίσου σημαντική μπορεί να είναι η συμβολή του γεωυφάσματος ή του γεωπλέγματος στην έδραση επιχώματος επί φυσικού πρανούς. Ανάλογα με τη γεωμετρία της κατασκευής και τη φύση των υλικών, η παρεμβολή γεωσυνθετικών υλικών σε συνδυασμό με αποστράγγιση κλίση μειώνει σημαντικά τις πιθανότητες ολίσθησης του επιχώματος.

### 4.3 Τοίχοι αντιστήριξης

Τα έργα αντιστήριξης στην οδοποιία κατασκευάζονται για να εξασφαλίσουν την ευστάθεια εδαφικών μαζών, εκεί όπου οι συνθήκες δεν

επιτρέπουν στα πρανή να διαμορφωθούν κατά τη φυσική τους κλίση, εκείνη δηλαδή, που καθορίζουν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, και κυρίως οι παράμετροι διατμητικής αντοχής. Σε έργα οδοποιίας η εκτέλεση διατάξεων αντιστήριξης επιβάλλεται όταν, λόγω περιορισμένου εύρους κατάληψης, δεν είναι δυνατή η διαμόρφωση των πρανών με την ενδεδειγμένη, από γεωτεχνικής άποψης, κλίση. Ακόμα, έργα αντιστήριξης μπορεί να προβλέπονται για προστασία της οδού από τοπικές καταπτώσεις ή κατολισθήσεις γαιωδών και βραχωδών πρανών ορυγμάτων, για προστασία των κατόντη κατασκευών από πιθανή ολίσθηση οδικών επιχωμάτων και σε θέσεις επανεπίχωσης τεχνικών έργων (οχετών, γεφυρών).

Ένα έργο αντιστήριξης (earth-retaining structure) είναι μια κατασκευή που σκοπό έχει να εμποδίσει οποιαδήποτε οριζόντια μετακίνηση του εδάφους προς τα κατόντη, η οποία αναπτύσσεται σε ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα της οδού. Τα έργα αντιστήριξης είναι έργα ανάσχεσης των μικρών και μεγαλύτερων μετακινήσεων του εδάφους, οι οποίες τείνουν να δημιουργήσουν πρανή κατά τη φυσική κλίση απόθεσης του συγκεκριμένου γεωυλικού.

Ανάλογα με το είδος της κάθε κατασκευής και με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η ευστάθεια σε κάθε περίπτωση, τα έργα αντιστήριξης διακρίνονται σε:

- 1) Τοίχους βαρύτητας (gravity walls)
- 2) Τοίχους αντιστήριξης ή “τοίχους – προβόλους” (cantilever walls)
- 3) Αντηριδωτούς τοίχους (counterfort walls)
- 4) “Τοίχους Βερολίνου” (Berlin-type retaining walls)
- 5) Ειδικά έργα αντιστήριξης, με σπάνια εφαρμογή στην οδοποιία, όπως τα διαφράγματα, οι πασσαλοσανίδες, οι κιβωτιόσχημοι τοίχοι (timber crib walls), οι σπονδυλωτοί τοίχοι από προκατασκευασμένα στοιχεία (modular block walls) και άλλες κατασκευές.

Στα έργα αντιστήριξης θα μπορούσαν να ενταχθούν και οι διάφορες εφαρμογές της οπλισμένης γης, όπως τα οπλισμένα επιχώματα και οι τοίχοι οπλισμένης γης.

Ειδικές περιπτώσεις έργων αντιστήριξης αποτελούν τα ακρόβαθρα γεφυρών, οι πτερυγότοιχοι και οι τοίχοι αντεπιστροφής τεχνικών έργων, των οποίων η διαμόρφωση ποικίλει ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τα ιδιαίτερα στοιχεία (φορτία, συνθήκες θεμελίωσης, εδαφικά υλικά, υλικά κατασκευής) του κάθε έργου.

Εκτός από την ως άνω κατάταξη των έργων αντιστήριξης στην οδοποιία υπάρχουν και πολλές άλλες. Μια από αυτές προτείνει κατάταξη των έργων σε τοίχους βαρύτητας (οπλισμένα επιχώματα κατακόρυφων πρανών,

τοίχους άοπλου σκυροδέματος, τοίχους από κυβόλιθους ή πλίνθους, σπονδυλωτούς τοίχους), τοίχοι ημιβαρύτητας (τοίχους αντιστήριξης, διατομής L ή T, από έγχυτο σκυρόδεμα ή προκατασκευασμένα στοιχεία) και έργα πλήρους αντιστήριξης όπου το βάρος δεν παίζει κανέναν απολύτως ρόλο (διαφράγματα, πασσαλοσανίδες, “τοίχοι Βερολίνου”, αγκυρωμένοι τοίχοι, πασσαλοσυστοιχίες). Αν και η σημασία των ως άνω έργων για την οδοποιία είναι δεδομένη και η εφαρμογή καθολική, υπάρχει, ωστόσο, μια επιλεκτική αντιμετώπιση από τους μελετητές- μηχανικούς που οδηγεί σταδιακά τα κλασσικά έργα αντιστήριξης σε δεύτερο ρόλο σε σχέση με περισσότερο σύγχρονες τεχνικές, όπως είναι οι “τοίχοι Βερολίνου”, οι πασαλότοιχοι και όλες οι εφαρμογές της “οπλισμένης γης”.

#### **4.3.1 Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος**

Υπάρχουν αρκετοί τύποι τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο γεωσυνθετικό υλικό. Οι κυριότεροι και πιο ευρέως διαδεδομένοι είναι οι εξής:

1. Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος με στρώση γεωφασμάτων
2. Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος με στρώση γεωπλεγμάτων

Η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος βασίζεται σε μια επαναλαμβανομένη διαδικασία τοποθέτησης στρώσης εδαφικού υλικού πάνω σε οριζόντια τοποθετημένο γεωύφασμα.

Η μεθοδολογία κατασκευής αυτού του τύπου τοίχων αντιστήριξης διαφοροποιείται κατά μεγάλο βαθμό από την κλασσική μεθοδολογία κατασκευής με χρήση οπλισμένου σκυροδέματος, χωρίς να απαιτείται κατασκευή πεδίου θεμελίωσης. Εδώ η βασική απαίτηση είναι η εξομάλυνση του εδάφους έδρασεις ώστε να τοποθετηθεί οριζόντια η πρώτη στρώση γεωυφάσματος. Τα διαδοχικά βήματα κατασκευής έχουν ως εξής:

1. Τοποθετείται κατά μήκος του υπό κατασκευή τοίχου μεταλλότυπος ή ξυλότυπος σχήματος “L” με ύψος λίγο μεγαλύτερο από το πάχος της εδαφικής στρώσης
2. Ξεδιπλώνεται το γεωύφασμα και τοποθετείται κατά τρόπο ώστε να εξέχει περίπου 1 μετρό πάνω από τον τοποθετημένο ξυλότυπο ή μεταλλότυπο. Εάν το πάχος του γεωυφάσματος είναι αρκετό ώστε να ικανοποιεί το απαιτούμενο μήκος ακύρωσης τότε μπορεί να ξετυλιχθεί παράλληλα στην πρόσοψη του τοίχου ενώ σε αντίθετη περίπτωση

απλώνεται κάθετα στον τοίχο σε διαδοχικά αλληλοκαλυπτόμενα τμήματα

3. Τοποθετείται υλικό επίχωσης στο μισό του επιθυμητού ύψους της εδαφικής στρώσης και συμπυκνώνεται χρησιμοποιώντας ελαφρύ εξοπλισμό. Το πάχος του υλικού επίχωσης κυμαίνεται από 200 έως 400mm. Επιπλέον η επιλογή του εδαφικού υλικού θα πρέπει να είναι προσεκτική, από άποψη κοκκομετρικής διαβάθμισης, ώστε αυτό να μην προκαλέσει σχίσιμο ή διάρρηξη του γεωφάσματος, ενώ θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην αποφυγή ανάπτυξης υδροστατικών πιέσεων λόγω κακής στράγγισης που θα οδηγούσε η επιλογή ενός λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού. Για του λόγους αυτούς ως βέλτιστο υλικό επίχωσης θεωρείται η άμμος.
4. Τοποθετείται το υπόλοιπο υλικό επίχωσης ώστε να προκύψει το επιθυμητό ύψος της εδαφικής στρώσης και συμπυκνώνεται κατάλληλα.
5. Το ελεύθερο κομμάτι του γεωφάσματος που εκτείνεται περίπου 1m πάνω απ' το ξυλότυπο ή μεταλλότυπο αναδιπλώνεται ώστε να καλύψει την εδαφική στρώση.
6. Ολοκληρώνεται η επίχωση και συμπυκνώνεται κατάλληλα.
7. Για την κατασκευή της επόμενης στρώσης του τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος επαναλαμβάνονται τα βήματα 1 έως 6. Θα πρέπει να αναφερθεί πως το ύψος της κάθε στρώσης είναι ίσο ή υποπολλαπλάσιο της αρχικής και δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνά τα 0.90m.

Όταν ολοκληρωθούν όλα τα στάδια καθ' ύψους κατασκευής του τοίχου αντιστήριξης είναι απαραίτητο να καλυφτεί η πρόσοψη με κατάλληλα υλικά ώστε να εξασφαλιστεί έναντι της έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία και της εκούσιας καταστροφής του. Η επένδυση της πρόσοψης του τοίχου πραγματοποιείται αφενός μεν με τη χρήση ασφαλικών γαλακτωμάτων, αφετέρου δε με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Τέλος υπάρχει και η δυνατότητα τοποθέτησης προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος.

Σε ότι αφορά τα ασφαλικά γαλακτώματα, αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι σχετικά εύκαμπτα και συμπεριφέρονται κατά παρόμοιο τρόπο σε σχέση με τον τοίχο αντιστήριξης, παρόλα αυτά μειονεκτούν ως προς την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτά και κατά συνέπεια ως προς την συντήρησή τους.

Η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος είναι συνηθέστερη, όμως σε αυτή την περίπτωση απαιτείται η κατασκευή στοιχείου θεμελίωσης από οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω στο οποίο εδράζεται η επικάλυψη της πρόσοψης του τοίχου.

Στο Παράρτημα Β παρατίθενται οι Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ 11-02-05-00) που αφορούν σε έργα αντιστήριξης από οπλισμένη γη όπου προδιαγράφονται υλικά και διαδικασίες για την κατασκευή τέτοιων έργων.

#### 4.3.1.1 Μεθοδολογία Σχεδιασμού

Η μεθοδολογία σχεδιασμού ενός τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος βασίζεται στον καθορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν την ευστάθεια του τοίχου, οι οποίες αναλύονται χρησιμοποιώντας γνωστά θεωρητικά μοντέλα σε ότι αφορά τις ωθήσεις γαιών.

Οι ωθήσεις των γαιών είναι οι δυνάμεις που ασκεί το έδαφος στην επιφάνεια του τοίχου αντιστήριξης. Οι ωθήσεις διακρίνονται σε ενεργητικές και παθητικές.

Αρκετές μέθοδοι και θεωρητικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί ώστε να είναι δυνατός ο καθορισμός των ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων οι οποίες υπολογίζονται ως ποσοστό των γεωστατικών τάσεων και των επιφορτίσεων. Οι πιο γνωστές από αυτές τις μεθόδους είναι η θεωρία του Rankine, η μέθοδος Coulomb κ' η μέθοδος Mononobe-Okabe, σε κάθε μια από τις οποίες υπολογίζονται οι συντελεστές ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων  $K_a$  κ'  $K_p$  αντίστοιχα. Σε ότι αφορά τους τοίχους αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος βρίσκει εφαρμογή η μέθοδος Rankine.

##### Μέθοδος Rankine

Κατά τη μέθοδο αυτή θεωρείται πως δεν αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής μεταξύ του τοίχου και του εδάφους, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη η σεισμική επιφόρτιση. Ως εκ τούτου η μέθοδος αυτή απέχει αρκετά από τις πραγματικές συνθήκες. Ο συντελεστής ενεργητικής ώθησης δίνεται από τη σχέση:

$$k_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad [\text{Σχέση 4.1}]$$

ενώ ο συντελεστής παθητικής ώθησης  $K_p$  δίνεται από τη σχέση:

$$k_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad [\text{Σχέση 4.2}]$$

Όπου  $\varphi$  είναι η γνωστή γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους

Έτσι σε έναν τοίχο αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος όπως αυτός αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.6 οι ενεργητικές ωθήσεις που αναπτύσσονται κατηγοριοποιούνται σε ωθήσεις οφειλόμενες στις γεωστατικές τάσεις, σε ωθήσεις λόγω εδάφους επιφόρτισης, και σε ωθήσεις λόγω των κινητών φορτίων, κάθε μια εκ των οποίων υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma_{hs} = k_a * \gamma * z \quad [\text{Σχέση 4.3}]$$

$$\sigma_{hq} = k_a * q \quad [\text{Σχέση 4.4}]$$

$$\sigma_{hl} = P * x^2 * \frac{Z}{R^5} \quad [\text{Σχέση 4.5}]$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} + \sigma_{hl} \quad [\text{Σχέση 4.6}]$$

Όπου:

$\sigma_{hs}$ : ώθηση λόγω γεωστατικών τάσεων

$k_a$  : συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων

$\varphi$ : γωνία εσωτερικής τριβής εδάφους

$\gamma$ : ειδικό βάρος εδάφους

$z$ : βάθος από την επιφάνεια του εδάφους

$\sigma_{hq}$ : ώθηση λόγω επιφόρτισης

$q$ : φορτίο εδάφους επιφόρτισης

$\gamma_d$ : ειδικό βάρος εδάφους επιφόρτισης

$D$ : ύψος εδάφους επιφόρτισης

$\sigma_{hl}$ : ώθηση λόγω κινητών φορτίων

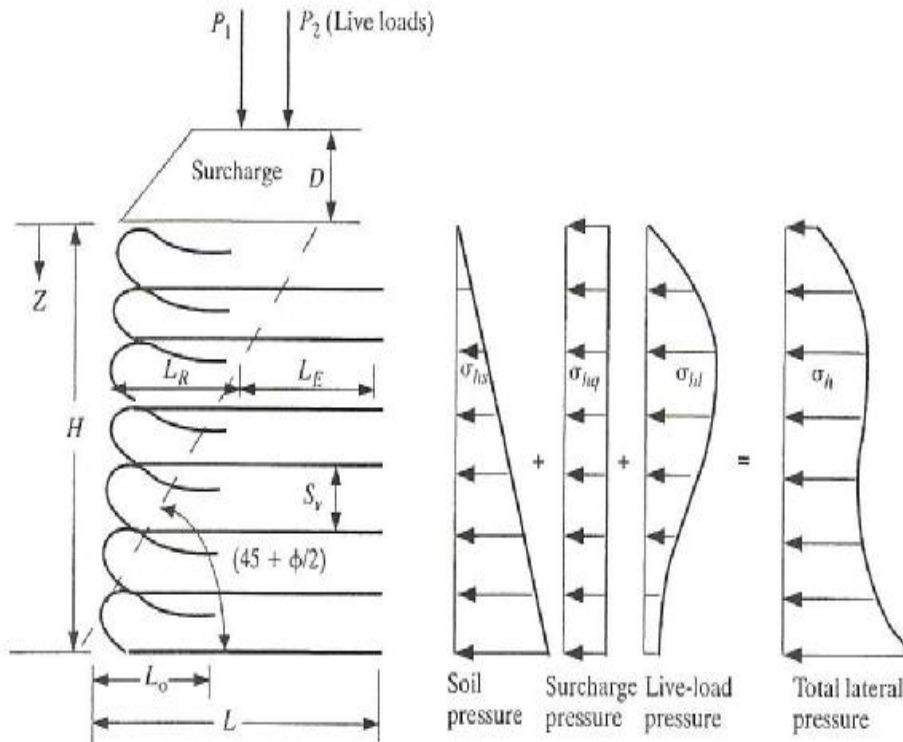
$P$ : συγκεντρωμένο κινητό φορτίο

$x$ : οριζόντια απόσταση εφαρμογής κινητού φορτίου από το τοίχο

$R$ : απόσταση εφαρμογής κινητού φορτίου από το σημείο όπου υπολογίζονται οι ωθήσεις γαιών

$\sigma_h$ : ώθηση γαιών στον τοίχο

Θα πρέπει να τονιστεί πως σε ότι αφορά στον υπολογισμό των ωθήσεων  $\sigma_{hl}$  λόγω κινητών φορτίων, αυτός γίνεται με εφαρμογή της ελαστικής θεωρίας Boussinesq.



Σχήμα 4.6: Γεωστατικές τάσεις που αναπτύσσονται σε ένα τοίχο αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος.

Ο υπολογισμός της κατακόρυφης απόστασης όπου τοποθετείται η κάθε στρώση γεφυφάσματος προκύπτει από τις εξισώσεις ισορροπίας δυνάμεων σε ένα στοιχειώδες εδαφικό στοιχείο κατά την οριζόντια διεύθυνση και έχει ως εξής:

$$S_v = \frac{T_{\epsilon\pi\iota\rho}}{\sigma_h \cdot FS} \quad [\text{Σχέση 4.7}] \quad \text{όπου:}$$

$S_v$ : κατακόρυφη απόσταση τοποθέτησης στρώσης γεφυφάσματος

$T_{\epsilon\pi\iota\rho}$ : επιτρεπόμενη τάση γεφυφάσματος

$\sigma_h$ : ώθηση γαιών στον τοίχο

FS: συντελεστής ασφαλείας (Συνήθως 1,3-1,5)

Επιπλέον μέσω των εξισώσεων ισορροπίας δυνάμεων σε ένα στοιχειώδες εδαφικό στοιχείο προκύπτει το μήκος αγκύρωσης του γεφυφάσματος  $L_e$ . Σε αυτό είναι επιβεβλημένο να προστεθεί το ενεργό μήκος του γεφυφάσματος  $L_r$  δηλαδή το μήκος εκείνο το οποίο βρίσκεται εντός της ζώνης πιθανής ολίσθησης του εδάφους που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του τοίχου. Έτσι το συνολικό μήκος του γεφυφάσματος  $L$  θα είναι:

$$L = L_e + L_r \quad [\text{Σχέση 4.8}]$$



Όπου

$$L_R = \frac{S_v \cdot \sigma_h \cdot FS}{2(C + \gamma \cdot z \cdot \tan \delta)} \quad [\text{Σχέση 4.9}]$$

Όπου:

$T$ : διατμητική αντοχή εδάφους γεωυφάσματος

$L_e$ : απαιτούμενο μήκος ακύρωσης

$S_v$ : κατακόρυφη απόσταση στρώσεων γεωυφάσματος

$\sigma_h$ : ώθηση γαιών στον τοίχο

$FS$ : συντελεστής ασφαλείας

$C$ : συνοχή εδάφους

$\gamma$ : ειδικό βάρος εδάφους

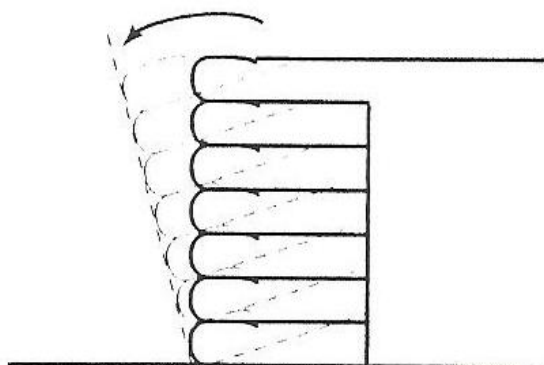
$z$ : βάθος από την επιφάνεια του εδάφους

$\delta$ : γωνία τριβής εδάφους γεωυφάσματος

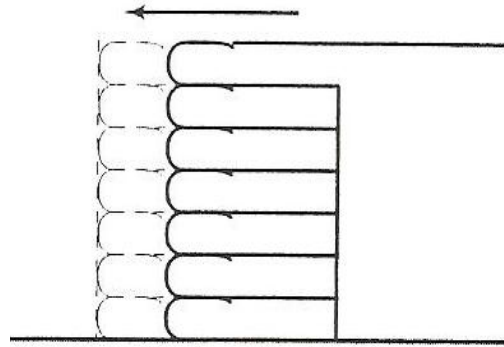
Η τελευταία παράμετρος σχεδιασμού η οποία απομένει να καθοριστεί είναι το μήκος αναδίπλωσης  $L_o$  το οποίο προκύπτει με αντίστοιχη θεώρηση ισορροπίας δυνάμεων όπως αναπτύχθηκε προηγουμένως. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί πως το βάθος  $Z$  από την επιφάνεια του εδάφους μετράται στο μέσον κάθε εδαφικής στρώσης. Επιπλέον έχει αποδειχτεί ότι η μέγιστη τιμή των τάσεων σε υλικά ενίσχυσης όπως τα γεωυφάσματα και τα γεωπλέγματα λαμβάνουν τη μέγιστη τιμή τους πλησίον του επίπεδου αστοχίας αλλά φθίνουν δραστικά στις ακραίες περιοχές του τοίχου (πρόσοψη και έσχατο σημείο μήκους ακύρωσης). Με βάση αυτή την παρατήρηση και για τον υπολογισμό του μήκους αναδίπλωσης του γεωυφάσματος λαμβάνεται η τιμή  $0,5 \cdot \sigma_h$  βάση της οποίας προκύπτει:

$$L_o = \frac{S_v \cdot \sigma_h \cdot FS}{4(C + \gamma \cdot Z \cdot \tan \delta)} \quad [\text{Σχέση 4.10}]$$

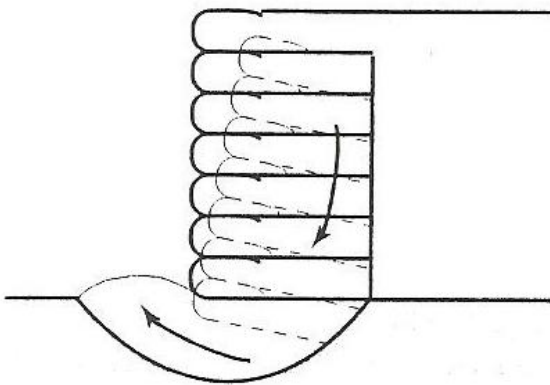
Για κατασκευαστικούς λόγους η τιμή του μήκους αναδίπλωσης πάντοτε λαμβάνεται μεγαλύτερη του ενός(1) μέτρου.



(α) Έλεγχος ολίσθησης.



(β) Έλεγχος ανατροπής



(γ) Έλεγχος φέρουσας ικανότητας.

Σχήμα 4.7: Έλεγχος αστοχίας τοίχου από ανατροπή, ολίσθηση και φέρουσας ικανότητας

Από τη στιγμή που έχουν καθοριστεί όλες οι προαναφερόμενες παράμετροι που αφορούν στο συνθετικό υλικό (ύφασμα, γεωλογία) ελέγχεται ο τοίχος αντιστήριξης έναντι αστοχίας λόγω ανατροπής, ολίσθησης και απώλειας φέρουσας ικανότητας, καταστάσεις οι οποίες καταγράφονται στο σχήμα.4.7.

Οι έλεγχοι ανατροπής, ολίσθησης και απώλειας φέρουσας ικανότητας γίνονται με την ίδια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στους τοίχους βαρύτητας και στους τοίχους προβόλους. Γενικά συστήνεται Συν/της Ασφαλείας έναντι ανατροπής και απώλειας φέρουσας ικανότητας να παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 2 ( $FS \geq 2$ ) ενώ αυτός έναντι ολίσθησης μπορεί να παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 1,5 ( $FS \geq 1,5$ ).

Τέλος η ολοκλήρωση σχεδιασμού ενός τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος απαιτεί την επίλυση κατασκευαστικών λεπτομερειών, όπως η επιλογή κατάλληλης μεθόδου συγκόλλησης των γεωσυνθετικών

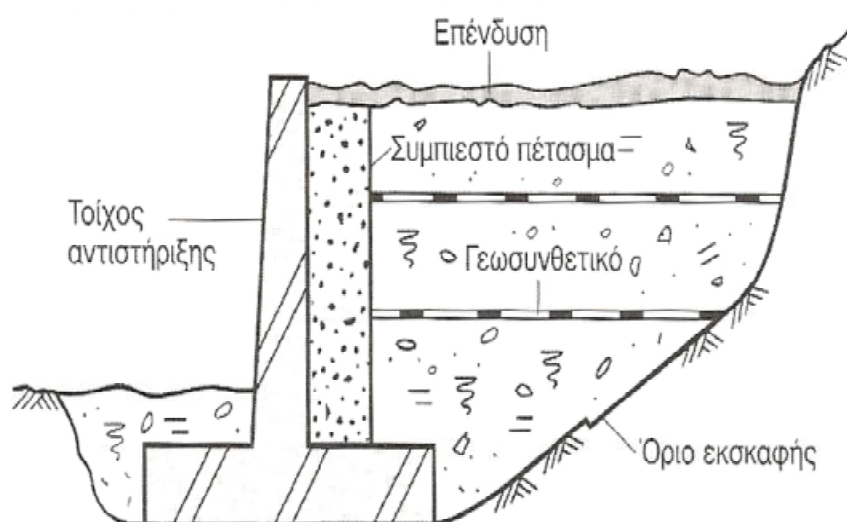
υλικών εάν προκύπτει τέτοια απαίτηση, ο σχεδιασμός στραγγιστηριών, ο τρόπος σύνδεσης της πρόσοψης προστασίας με τον τοίχο, κ.α.

Στο Παράρτημα Δ συνέχεια παρατίθεται Παράδειγμα σχεδιασμού τοίχου αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους.

#### 4.3.2 Ενίσχυση υλικού επάγχωσης τοίχων αντιστήριξης

Η παρεμβολή φύλλων γεωσυνθετικών υλικών σε υλικά επανεπίχωσης τοίχων αντιστήριξης είναι μια χρήσιμη πρακτική που προσφέρει τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Η πρακτική συνήθως εφαρμόζεται όταν υλικό επανεπίχωσης με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά συνδυάζεται με μεγάλο ύψος τοίχου. Οι απαιτούμενες διαστάσεις της διατομής του οπλισμένου σκυροδέματος γίνονται πολύ μεγάλες στην περίπτωση αυτήν και το έργο, ενδεχομένως, ασύμφορο.

Η παρεμβολή φύλλων γεωφασμάτων ή γεωπλεγμάτων στο υλικό επανεπίχωσης μειώνει τις ενεργητικές ωθήσεις που ασκούνται στον τοίχο και, κατά συνέπεια, και τις διαστάσεις της διατομής εκ σκυροδέματος. Μεταξύ του μετώπου της επανεπίχωσης και του τοίχου εκ σκυροδέματος παρεμβάλλεται ένα πέτασμα από συμπιεστό υλικό (άμμος, διογκωμένη πολυστερίνη) το οποίο παραλαμβάνει επίσης ένα μέρος των ενεργητικών



Σχήμα 4.8: Ενίσχυση επανεπίχωσης σε τοίχο αντιστήριξης.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**



Δοκίμιο τοποθετημένο στους σφιγκτήρες



Δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής

Εικόνα Α.1: Δοκιμή εφελκυσμού πλατείας λωρίδας



Δοκίμιο τοποθετημένο στους σφιγκτήρες πριν από την έναρξη της δοκιμής



Δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής

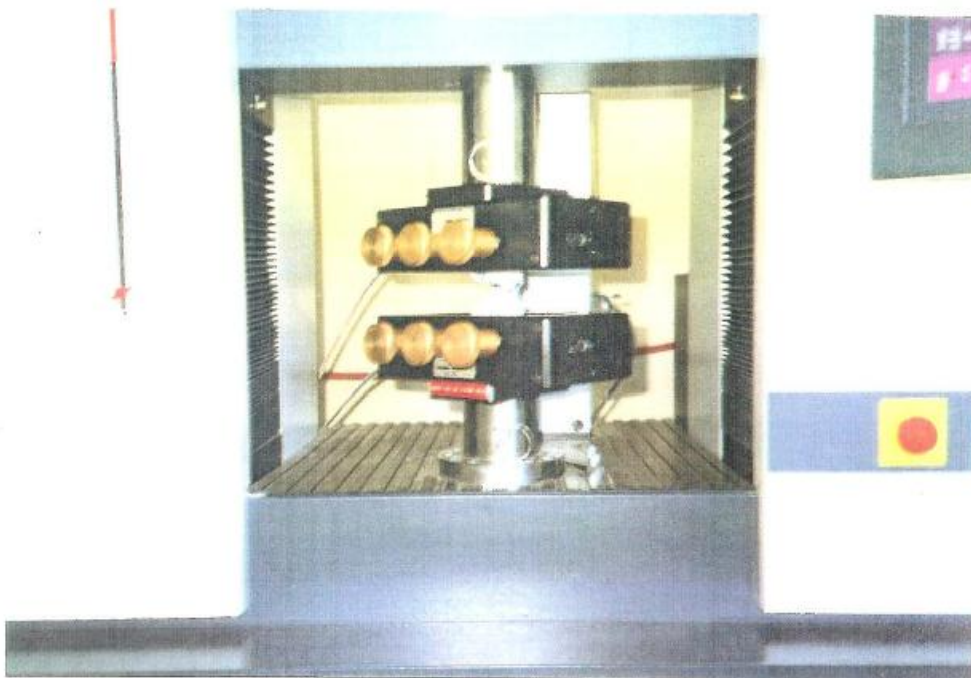
Εικόνα Α.2: Δοκιμή μερικού εφελκυσμού.



Δοκίμιο τοποθετημένο στους σφιγκτήρες



Αμέσως μετά την έναρξη της δοκιμής



Δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής

Εικόνα Α.3: Δοκιμή αντοχής σε σχισμό.



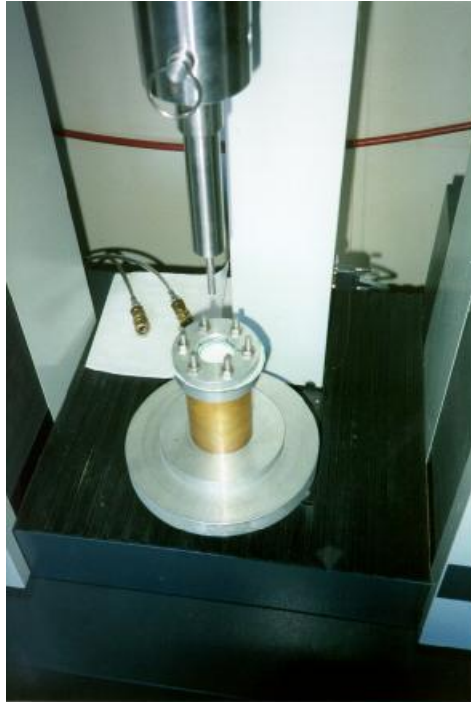
Δοκίμιο πριν από την έναρξη της δοκιμής



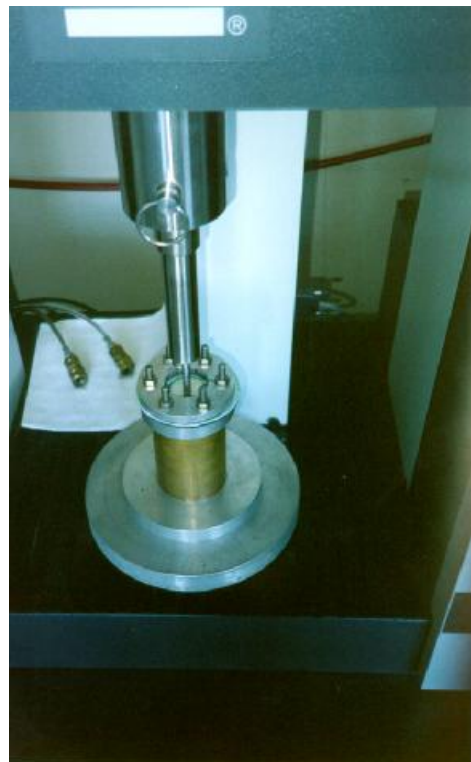
Δοκίμιο κατά τη εκτέλεση της δοκιμής

Εικόνα Α.4: Δοκιμή διάτρηση κατά ASTM D4833

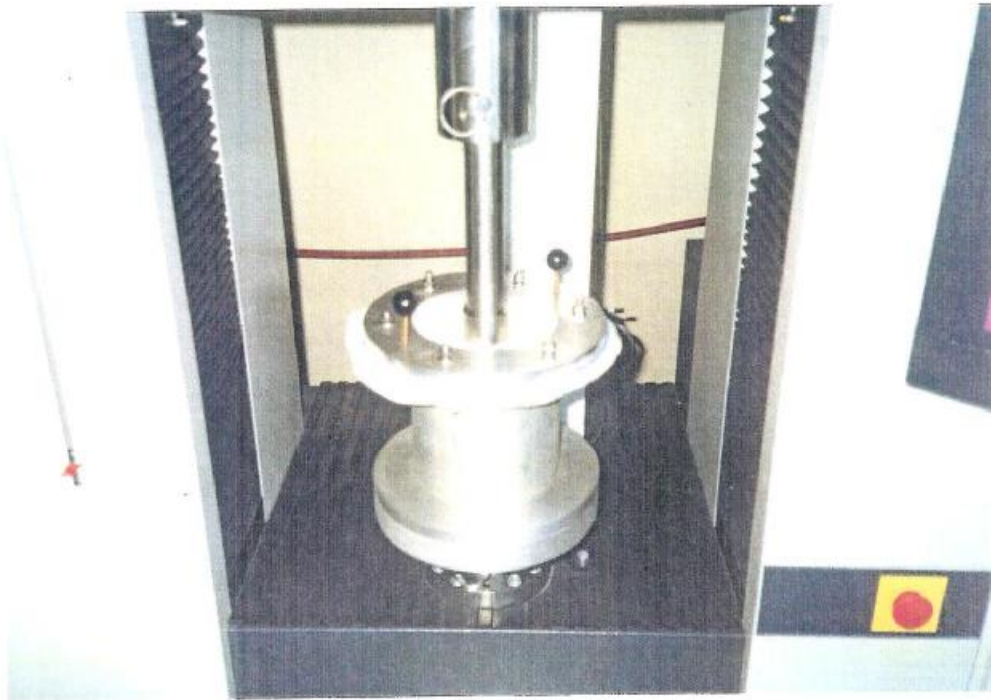




Εμβολο - δοκίμιο - Σύστημα στηριξης



Εικόνα Α.5: Δοκιμή αντίστασης σε διάτρηση κατά ASTM D4833

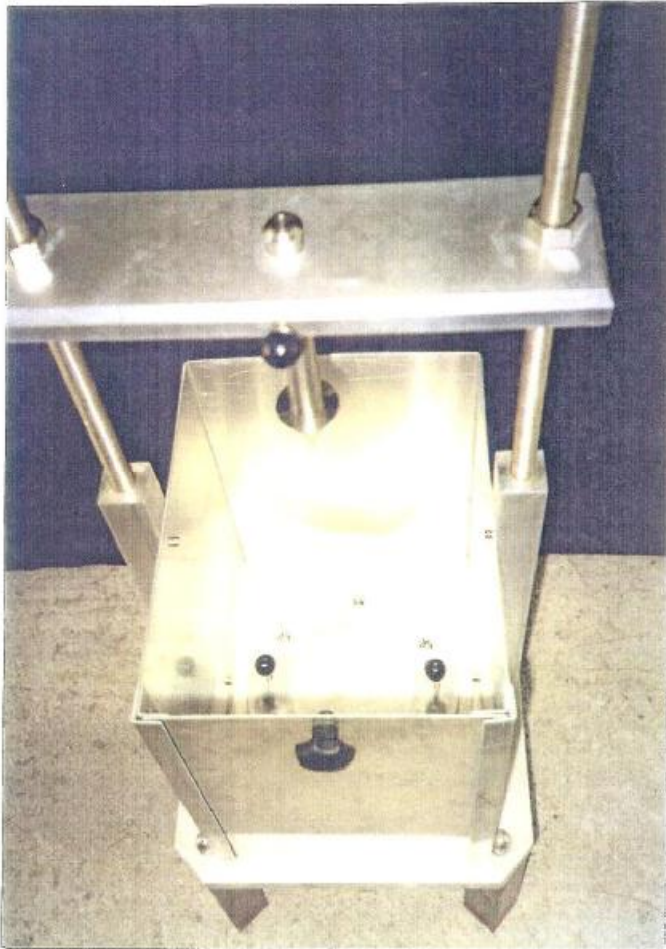


Δοκίμιο τοποθετημένο στους δακτυλίους και έμβολο διάτρησης

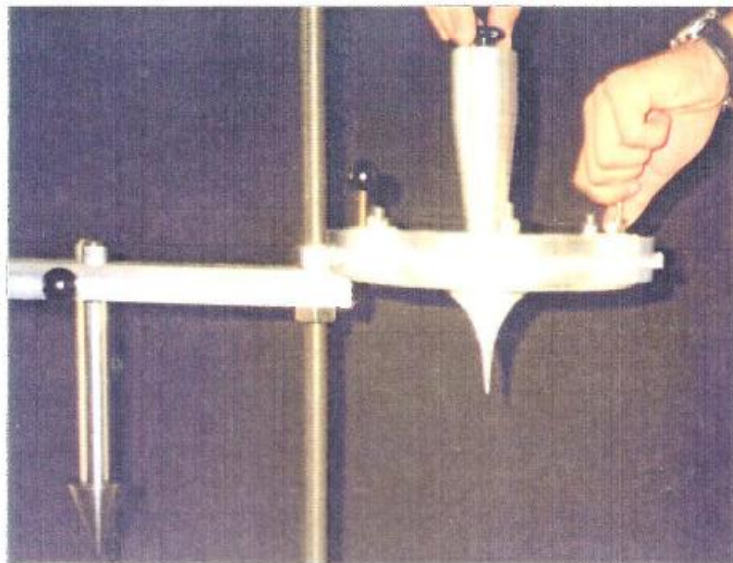


Δοκίμιο κατά τη εκτέλεση της δοκιμής

Εικόνα Α.6: Δοκιμή διάτρηση κατά DIN 54307.



Συσκευή για την εκτέλεση της δοκιμής κρούσης με το δοκίμιο τοποθετημένο



Μέτρηση της οπής του δοκίμιου με τη βοήθεια του διαβαθμισμένου κώνου μέτρησης

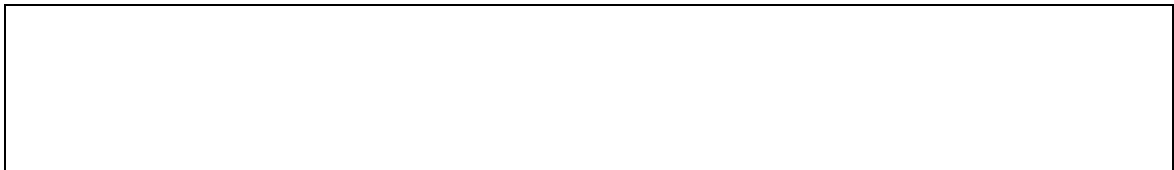
Εικόνα Α.7: Δοκιμή κρούσης κατά το πρότυπο prEN 918.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Β

**Τίτλος:** Πίνακας καταλληλότητας γεωυλικών σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 14475  
(Μετάφραση στα Ελληνικά)

**Κατάλληλα γεωυλικά συναρτήσει του είδους της γεωκατασκευής, των**



**στοιχείων όπλισης και του συστήματος επένδυσης παρειάς**

**Πίνακας Β.1-Τυπικοί συνδυασμοί γεωυλικών, στοιχείων όπλισης και επενδύσεων παρειάς**

ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ		Τύπος 1	Τύπος 2			Τύπος 3		Τύπος 4
		Ελεύθερα Στραγγιζόμενα	Κοκκώδες			Ενδιάμεσο		Λεπτόκοκο
Γεωμηχανικά χαρακτηριστικά	% διερχόμενη από βροχίδα 80 μικρών	<5%	<12%	12 έως 35%	12 έως 35%	>35%	άλλα	
	% διερχόμενη από βροχίδα 20 μικρών	n.a	n.a	<10%	>10%	<40%		
	Δείκτης Πλαστικότητας	n.a	n.a	n.a	<25	<25		
<b>ΕΙΔΟΣ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</b>								

Το μέρος της κατασκευής εκτεθειμένο σε πλημμύρα και/ή σε απότομη πτώση της στάθμης του ύδατος	A	B	B	Δ	Δ	Δ
Γεωκατασκευές στις οποίες εδράζονται ακρόβαθρα γέφυρας, σιδηροδρομικές γραμμές, κτίρια	A	A	B	Γ(α)	Δ	Δ
Υψηλοί οπλισμένοι τοίχοι	A	A	B	B	Δ	Δ
Υψηλά οπλισμένα επιχώματα	A	A	B	B	Γ(β)	Γ(β)
Συνήθεις τοίχοι και επιχώματα	A	A	A	B	Γ(β)	Γ(β)
<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΛΙΣΗΣ</b>						
Λεία λωριδωτά ή ραβδωτά στοιχεία (μεταλλικά ή πολυμερικά)	A	A		Γ(α)		Δ

	Λωριδωτά ή ραβδωτά στοιχεία με νευρώσεις (μεταλλικά ή πολυμερικά)	A	A	B	Γ(β)	Δ
	Πλέγματα ράβδων ,εννιαία φύλλα όπλισης ,γεωπλέγματα (μεταλλικά ή πολυμερικά)	A	A	B	Γ(β)	Δ
	Γεωσυνθετικά αποστράγγισης (Διαπερατότητα στο επίπεδό τους)	B	A	A	Γ(β)	
<b>ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΠΑΡΕΙΑΣ</b>						
	Άκαμπτη	A	A	Δ(α)		Δ
	Ημι – άκαμπτη	A	A	Γ(ε)		Δ
	Εύκαμπτη	A	A	A	B	Γ(ε)



	<b>ΣΗΜΕΙΩΣΗ:</b>	<b>A: Συνήθης πρακτική</b>
		<b>B: Όχι Συχνή εφαρμογή</b>
		<b>Γ: Απαιτεί ειδική μελέτη</b>
		<b>Δ: Δεν συνιστάται</b>

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**

**Τίτλος:** Μέθοδοι υπολογισμού του ολικού συντελεστή ασφάλειας οπλισμένου επιχώματος

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφάλειας ενός οπλισμένου επιχώματος, γίνεται με βάση τη γενική [B1], στην οποία η εφελκυστική δύναμη του στοιχείου όπλισης, εισάγεται στον παρανομαστή και συνεισφέρει στην μείωση των ροπών ολίσθησης  $M_D$ :

$$FS_{\text{Οπλισμένο}} = M_R / (M_D - T_S * R) \quad [\Gamma 1]$$

όπου:

$FS_{\text{Οπλισμένο}}$ : Συντελεστής ασφαλείας οπλισμένου πρανούς.

$M_R (\varphi, c, R, T_S)$ : Άθροισμα Ροπών Αντοχής (Συνάρτηση διατμητικής αντοχής εδάφους

& Εφελκυστικών δυνάμεων αντίστασης)

$M_R$ : Άθροισμα Ροπών Ολίσθησης.

$T_S$ : Άθροισμα Εφελκυστικών δυνάμεων αντίστασης (ανά m πλάτους) όλων των στοιχείων όπλισης τα οποία τέμνει ο κύκλος ολίσθησης. (Προκύπτουν από την περιβάλλουσα αντοχής του στοιχείου)

$R$ : Βραχίονας ροπών της εφελκυστικής δύναμης  $T_S$  γύρω από το υπολογιστικό κέντρο του κύκλου ολίσθησης.

Η εφελκυστική δύναμη του στοιχείου όπλισης ( $T_s$ ) στο σημείο της τομής της με την επιφάνεια ολίσθησης, θεωρείται ότι δρα είτε οριζόντια, είτε εφαπτομενικά στον κύκλο ολίσθησης, είτε υπό γωνία μεταξύ των δύο παραπάνω κατευθύνσεων. Η θεώρηση δράσης της εν λόγω δύναμης κατά την οριζόντια διεύθυνση, οδηγεί σε συντηρητικότερη διαστασιολόγηση. Σε κάθε περίπτωση τα λογισμικά που διατίθενται στο εμπόριο δίδουν συνήθως τη δυνατότητα επιλογής από το χρήστη της γωνίας δράσης της αντίστοιχης δύναμης.

Η παραπάνω σχέση θεωρείται αντιπροσωπευτική και προτείνεται από διεθνή συγγράμματα της διεθνούς βιβλιογραφίας ως πλέον κατάλληλη για τον υπολογισμό οπλισμένων συστημάτων. Ορισμένα λογισμικά διαθέτουν εναλλακτικά διαφορετική προσέγγιση του συντελεστή ασφαλείας ενός οπλισμένου επιχώματος με βάση τη γενική σχέση [Γ2], στην οποία η εφελκυστική δύναμη του στοιχείου όπλισης, εισάγεται στον αριθμητή και συνεισφέρει στην αύξηση των ροπών αντοχής  $M_R$ :

$$FS_{\text{Οπλισμένο}} = (M_R + T_s * R) / M_D \quad [\Gamma 2]$$

Με βάση τη συγκεκριμένη σχέση φαίνεται ότι για συνθήκες οριακής ισορροπίας ( $FS = 1,0$ ) ο συντελεστής ασφαλείας ( $FS_{\text{Οπλισμένο}}$ ) εφαρμόζεται ως συντελεστής απομείωσης, τόσο επί των παραμέτρων αντοχής του εδάφους<sup>1</sup>  $c$  και  $\tan\phi$ , όσο και επί της δύναμης  $T_s$  καθόσον ισχύει:

Από [Γ2]

$$1,0 = (M_R / FS_{\text{Οπλισμένο}}) + (T_s * R / FS_{\text{Οπλισμένο}}) / (M_D) \quad [\Gamma 3]$$

{<sup>1</sup>Υπολογιστικά απομείωση των παραμέτρων αντοχής  $\phi$  &  $c$  γίνεται και με την χρήση της σχέσης [Γ1]}

Είναι φανερό ότι με εφαρμογή της σχέσης [Γ3] απομειώνονται υπολογιστικά οι παράμετροι αντοχής και όπλισης σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$C_{\text{calc}} = c / FS_{\text{Οπλισμένο}} \quad [\Gamma 3.1]$$

$$\tan\varphi_{\text{calc}} = \tan\varphi / FS_{\text{Οπλισμένο}}$$

[Γ3.2]

$$T_{s,\text{calc}} = T_s / FS_{\text{Οπλισμένο}}$$

[Γ3.3]

Για σωστή διαχείριση της σχέσης [Γ3] και την επίλυση οπλισμένων επιχωμάτων με επιδίωξη γενικού συντελεστή ασφαλείας ίσου π.χ. με  $FS_{\text{Οπλισμένο}} = 1,30$ , η τιμή του συντελεστή απομείωσης  $\gamma_m$  επί της εφελκυστικής αντοχής των στοιχείων όπλισης θα λαμβάνεται ίση με τη μονάδα ( $\gamma_m = 1,0$ ) και όχι με  $\gamma_m = 1,30$ , καθόσον με βάση τη μεθοδολογία της σχέσης [Γ3] η  $T_s$  είναι ήδη απομειωμένη κατά 1,30 ( $FS_{\text{Οπλισμένο}}$ ) (Σχέση Γ3.3)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**

Ζητείται ο σχεδιασμός τοίχου αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους ύψους 6m που καλείται να φέρει φορτίο στέψης 10kPa. Ως υλικό επιστρωμάτωσης χρησιμοποιείται κοκκώδες (SP) ειδικού βάρους  $\gamma=18\text{kN/m}^3$ , γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi=36^\circ$  και συνοχής  $c=0$ . Χρησιμοποιείται υφασμένο γεωύφασμα εφελκυστικής αντοχής στη διεύθυνση παραγωγής 50kN/m (δοκιμή πλατειάς λωρίδας) και γωνίας τριβής εδάφους-γεωυφάσματος  $\delta=24^\circ$ . Ο προσανατολισμός του γεωυφάσματος είναι παράλληλος στην πρόσοψη του τοίχου ενώ ο απαιτούμενος Συντελεστής Ασφαλείας θεωρείται ίσος με 1.4.

Καθορίζεται η οριζόντια πίεση ως συνάρτηση του βάθους  $z$  ώστε να υπολογιστεί η απόσταση  $S_v$  μεταξύ των στρώσεων του γεωσυνθετικού υλικού.

$$Ka = \tan^2(45 - \varphi/2) = \tan^2(45 - 36/2) = 0,26$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} = Ka \cdot \gamma \cdot z + Ka \cdot q = 0,26 \times 18 \times z + 0,26 \times 10 = 4,68z + 2,60$$

Η επιτρεπόμενη τάση του γεωσυνθετικού προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω μειωτικούς συντελεστές.

$$T_{\text{επιτρ}} = \frac{T_{\text{θραύσης}}}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CBD}} = \frac{50}{1,2 \times 2,5 \times 1,26} = 50/3,78 = 13,2\text{kN/m}$$

Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των στρώσεων του γεωσυνθετικού υπολογίζεται για διάφορα βάθη με βάση τη σχέση 4.8. Έτσι:

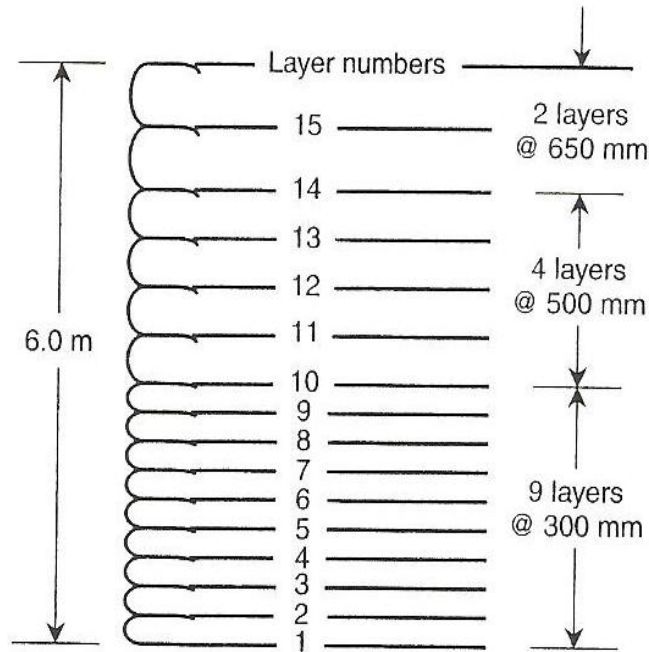
Σε βάθος 6m προκύπτει:

$$S_v = \frac{T_{\text{επιτρ}}}{\sigma_h(FS)} = \frac{13,2}{[4,68 \times Z + 2,60] \times 1,4} = \frac{13,2}{(4,68 \times 6,0 + 2,60) \times 1,4} \Rightarrow S_v = 0,307$$

Για κατασκευαστικούς λόγους λαμβάνεται η τιμή  $S_v=0,307$

Σε βάθος  $z=3,3\text{m}$  με δοκιμές προκύπτει  $S_v=0,52$  και λαμβάνεται η τιμή  $S_v=0,50$ , ενώ σε βάθος  $z=1,3\text{m}$  από την ίδια σχέση πάλι με δοκιμές προκύπτει η τιμή  $S_v=1,08$  η οποία για κατασκευαστικούς λόγους μειώνεται σε  $S_v=0,65$ .

Έτσι, οι στρώσεις γεωυφάσματος καθώς και η κατακόρυφη μεταξύ τους απόσταση αποτυπώνονται στο Σχήμα Δ.1



**Σχήμα Δ.1.:** Στρώσεις γεωφάσματος

Η χρήση τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος στην οδοποιία με την κατασκευή οδοστρώματος στη στέψη του τοίχου εισάγει τη απαίτηση της ικανοποίησης του κριτηρίου της λειτουργικότητας, βάση του οποίου καθορίζονται όρια στην αποδεκτή παραμόρφωση του τοίχου. Για το λόγω αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη η παραμόρφωση του γεωφάσματος, η οποία καθορίζεται κατά τη δοκιμή πλατειάς λωρίδας με το μέγεθος της να αντιστοιχεί σε αυτό που προκύπτει όταν η τάση λάβει τιμή ίση με την επιτρεπόμενη τάση (τάση σχεδιασμού).

Το μήκος της κάθε στρώσης γεωφάσματος θα είναι

$$L = L_e + L_r$$

Όπου:

$$L_e = \frac{Sv * \sigma_n * (FS)}{2(c + \gamma * Z * \tan\delta)} = \frac{Sv(4,68 * Z + 2,60) * 1,4}{2(0 + 18 * Z * \tan 24^\circ)} = \frac{Sv(6,55 * z + 3,64)}{16,0 * z}$$

Και

$$L_r = (H - Z) * \tan(45 - 36/2) \rightarrow$$

$$L_r = (6,0 - Z) * 0,509.$$

Βάση των προαναφερόμενων εξισώσεων και για κάθε βάθος που αντιστοιχεί στη θέση τοποθέτησης της εκάστοτε στρώσης γεωφάσματος, προκύπτει ο Πίνακας που ακλουθεί στον οποίο καθορίζεται μήκος των στρώσεων γεωφάσματος.



Layer No.	Depth, z (m)	Spacing, S <sub>u</sub> (m)	L <sub>e</sub> (m)	L <sub>e</sub> min (m)	L <sub>R</sub> (m)	L <sub>calc</sub> (m)	L <sub>spec</sub> (m)
15	0.65	0.65	0.49	1.0	2.72	3.72	Use 4.0
14	1.30	0.65	0.38	1.0	2.39	3.39	
13	1.80	0.50	0.27	1.0	2.14	3.14	
12	2.30	0.50	0.26	1.0	1.88	2.88	Use 3.0
11	2.80	0.50	0.25	1.0	1.63	2.63	
10	3.30	0.50	0.24	1.0	1.37	2.37	
9	3.60	0.30	0.14	1.0	1.22	2.22	
8	3.90	0.30	0.14	1.0	1.07	2.07	
7	4.20	0.30	0.14	1.0	0.92	1.92	
6	4.50	0.30	0.14	1.0	0.76	1.76	Use 2.0
4	4.80	0.30	0.14	1.0	0.61	1.61	
5	5.10	0.30	0.14	1.0	0.46	1.46	
3	5.40	0.30	0.14	1.0	0.31	1.31	
2	5.70	0.30	0.14	1.0	0.15	1.15	
1	6.00	0.30	0.13	1.0	0.00	1.00	

**Πίνακας Δ.1.:** Μήκος γεωφασμάτων

Θα πρέπει να τονιστεί πως οι τιμές του μήκους αγκύρωσης κάθε στρώσης γεωφάσματος προκύπτουν μικρότερες του ενός μέτρου, και για το λόγω αυτό επιλέγεται όπως προαναφέρθηκε ως ελάχιστη τιμή  $L_e=1m$ . Επιπλέον η τιμή που προκύπτει ως συνολικό μήκος γεωφάσματος στρογγυλοποιείται για κατασκευαστικούς λόγους στην αμέσως μεγαλύτερη ακέραια τιμή μετρούμενη σε μέτρα.

Επιπλέον υπολογίζεται η τιμή του μήκους αναδίπλωσης  $L_o$  βάση της σχέσης 4.11:

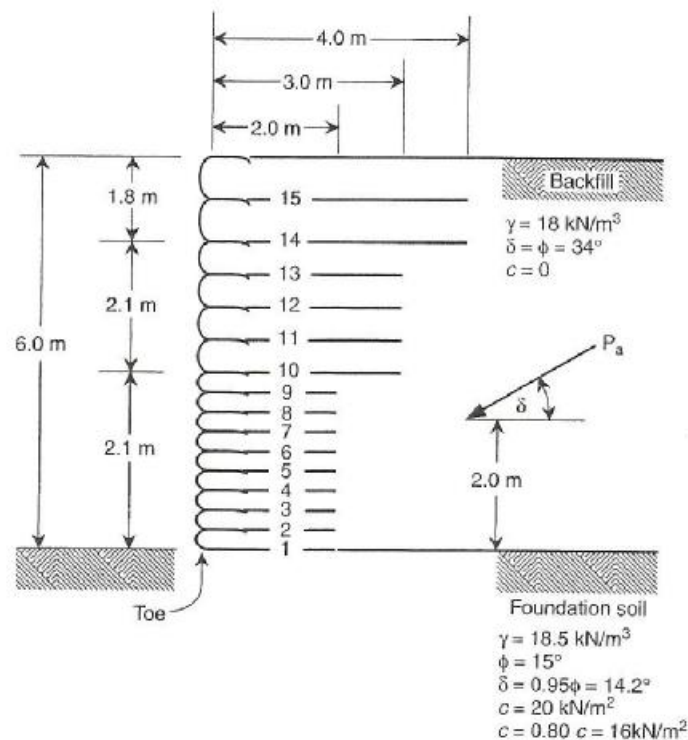
$$L_o = \frac{S_v \cdot \sigma_n \cdot (FS)}{4(c + \gamma \cdot Z \cdot \tan \delta)} = \frac{S_v \cdot [4,68 \cdot z + 5,60] \cdot 1,4}{4 [0 + 18 \cdot z \cdot \tan 24^\circ]}$$

Layer No.	Depth, z (m)	Spacing, S <sub>u</sub> (m)	L <sub>o</sub> (m)
15	0.65	0.65	0.25
14	1.30	0.65	0.19
13	1.80	0.50	0.13
12	2.30	0.50	0.13

11	2.80	0.50	0.12
10	3.30	0.50	0.12
9	3.60	0.30	0.07
8	3.90	0.30	0.07
7	4.20	0.30	0.07
6	4.50	0.30	0.07
5	4.80	0.30	0.07
4	5.10	0.30	0.07
3	5.40	0.30	0.07
2	5.70	0.30	0.07
1	6.00	0.30	0.07

**Πίνακας Δ.2.** Μήκος αναδίπλωση γεφυφάσματος

Δεδομένου πως η μέγιστη τιμή προκύπτει  $L_o=0,25m$ , όπως προαναφέρθηκε, για κατασκευαστικούς λόγους λαμβάνεται ελάχιστη τιμή  $L_o = 1m$ . Έτσι τα γεωμετρικά στοιχεία του τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα Δ.2.** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά τοίχων αντιστήριξης.

Από τη στιγμή που έχουν καθοριστεί οι γεωμετρικές παράμετροι του τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια εσωτερικής ευστάθειας του, γίνεται έλεγχος εξωτερικής ευστάθειας του τοίχου έναντι ολίσθησης, ανατροπής και φέρουσας ικανότητας. Έτσι, με

βάση τη θεωρία Rankine, ο συντελεστής ενεργητικής ώθησης  $k_a$  προκύπτει από τη σχέση 4.2:

$$k_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left( 45 - \frac{34}{2} \right) = 0.28$$

Οι ενεργητικές ωθήσεις υπολογίζονται από τη σχέση:

$$P_a = 0.5 \gamma * H^2 * k_a = 0.5 * 18 * 36 * 0.28 = 90.7 \text{ kn/m}$$

Και

$$P_a \cos 34 = 75.2 \text{ kn/m}$$

$$P_a \sin 34 = 50.7 \text{ kn/m}$$

Έτσι, σε ότι αφορά τον Συντελεστή Ασφαλείας έναντι ανατροπής, αυτός προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τις ροπές που αναπτύσσονται στον πόδα του τοίχου. Έτσι προκύπτει.

$$FS_{an} = \frac{\sum \text{ροπή ευσταθειας}}{\text{ροπή ανατροπης}} = \frac{\omega_1 * x_1 + \omega_2 * x_2 + \omega_3 * x_3 + P_a \sin \delta * 4}{P_a \cos \delta * 2} =$$

$$\frac{6 * 2 * 18 * 1 + 3.9 * 1 * 18 * 2.5 + 1.8 * 1 * 1.8 * 3.5 + 50.7 * 4}{75.2 * 2} = 4.7$$

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί πως η τιμή του Συντελεστή Ασφαλείας έναντι ανατροπής προέκυψε πολύ μεγάλη και αυτό είναι χαρακτηριστικό για τους τοίχους αντιστήριξης αυτής της κατηγορίας οι λόγω του ότι είναι πολύ εύκαμπτες κατασκευές, θεωρείται πως είναι εξαιρετικά απίθανο να αστοχήσουν κατά αυτόν τον τρόπο.

Σε ότι αφορά στον Συντελεστή Ασφαλείας έναντι ολίσθησης, αυτός προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τις οριζόντιες δυνάμεις οι οποίες ενεργούν στην επιφάνεια έδρασης του τοίχου. Έτσι προκύπτει:

$$FS_{ολ} = \frac{\text{Δυναμεις ευσταθειας}}{\text{Δυναμεις ολισθησης}} = \frac{\left[ c + \left( \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + P_a \sin \delta}{2} \right) \tan \delta \right] * 2}{P_a \cos \delta}$$

$$= \frac{\left[ 16 + \left( \frac{216 + 70.2 + 32.4 + 50.7}{2} \right) \tan 14.2 \right] * 2}{75.2} = 1.7$$

$$> 1.5$$

Σε ότι αφορά στον έλεγχο της φέρουσας ικανότητας του εδάφους έδρασης του τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος, χρησιμοποιείται η θεωρία φέρουσας ικανότητας άβαθων θεμελίων κατά την οποία σε συνεχές θεμέλιο πλάτους B, η ολική οριακή φέρουσα ικανότητα δίνεται από τη σχέση του Terzaghi:

$$q'_{αστ} = 0.5 * \gamma * B * N_{\gamma} + c * N_c + \gamma * D_z * N_q \quad \text{όπου:}$$

$N_\gamma$ : Αδιάστατος συντελεστής φέρουσας ικανότητας επίδρασης βάρους εδάφους

$N_c$ : Αδιάστατος συντελεστής φέρουσας ικανότητας επίδρασης συνοχής

$N_q$ : Αδιάστατος συντελεστής φέρουσας ικανότητας επίδρασης επιφόρτισης

B: Πλάτος τοίχους αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους

C: Συνοχή εδάφους θεμελίωσης

$\gamma$ : Ειδικό βάρος εδάφους θεμελίωσης

$D_z$ : Βάθος θεμελίωσης

Οι αδιάστατοι συντελεστές  $N_\gamma$ ,  $N_c$ ,  $N_q$  προκύπτουν από το Νομογράφημα Terzaghi συντελεστών φέρουσας ικανότητας του εδάφους που ακολουθεί.

Οι επιβαλλόμενες τάσεις στο έδαφος θεμελίωσης προκύπτουν από το άθροισμα του βάρους του τοίχου αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους και της επιφόρτισης.

Έτσι ο συντελεστής ασφαλείας φέρουσας ικανότητας εδάφους θεμελίωσης δίνεται από τη σχέση:

$$FS_{\phi,I} = \frac{q'_{αστ}}{q} = \frac{269}{118} = 2.3$$

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Koerner , R.M. (1990), “Designing with Geosynthetics” , Prentice-hall Inc , Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.

Graham Barnes , (1995) , “Soil Mechanics: Principles and Practice”