



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΓΗ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
(SUBJECT: REINFORCED EARTH METHODS AND APPLICATIONS)



ΦΟΙΤΗΤΡΙΕΣ:

ΣΤΡΕΜΕΝΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ Α.Μ.: 7390

ΜΟΝΑΣΤΗΡΙΩΤΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ Α.Μ.: 7351

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, κατά το εαρινό εξάμηνο του 2021, από τις φοιτήτριες Ευαγγελία Στρεμένου και Βασιλική Μοναστηριώτη.

Η ολοκλήρωση της προπτυχιακής εργασίας βασίζεται στην εμπιστοσύνη της καθηγήτριας και Πρόεδρο του Τμήματος, Δρ. Ειρήνης Βγενοπούλου. Θα θέλαμε να την ευχαριστήσουμε για όλη τη βοήθεια και τις συμβουλές, που μας προσέφερε κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μας εργασίας, αλλά και για την υποστήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μας. Επιπλέον, θα θέλαμε να εκφράσουμε ένα βαθύ ευχαριστώ στον Αλέξανδρο Κουλούρη, Διπλωματούχο Χημικό Μηχανικό του Πανεπιστημίου Πατρών, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για να μας δώσει συμβουλές για τη δομή της εργασίας και στον τρόπο παρουσίασής της. Χρωστάμε επίσης ένα ευχαριστώ σε φίλους και συμφοιτητές για τη ψυχολογική υποστήριξη, η οποία ήταν ανεκτίμητη. Ευχαριστούμε ακόμα, μέσα από τα βάθη της καρδιάς μας, τις οικογένειές μας, που ήτανε πάντα στήριγμα στα όνειρα μας και μας έδωσαν τα θεμέλια να πετύχουμε κάθε μας στόχο. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε η μία την άλλη, για την κατανόηση και τη συνεργασία που είχαμε, αλλά κυρίως για την αγάπη που δείξαμε σε αυτή την πιεστική αλλά όμορφη περίοδο της ζωής μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην ακόλουθη πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η μέθοδος της οπλισμένης γης στις μέρες μας με τις μεθόδους και τις εφαρμογές της. Πιο συγκεκριμένα εμβαθύνει στα επιχώματα, γεωπλέγματα και όλες τις μεθόδους εφαρμογής της χωρίς να παραλείπεται η αναφορά στη σύσταση τους και στις κατασκευαστικές οδηγίες σχεδιασμού. Ανάλυση επίσης γίνεται στην μαθηματική μοντελοποίηση που περιλαμβάνει τους απαραίτητους ελέγχους ευστάθειας, ολίσθησης, ανατροπής και επάρκειας φέρουσας ικανότητας σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Τέλος η πτυχιακή αυτή ολοκληρώνεται αναφερόμενη σε έρευνες που έχουν λάβει μέρος στην βελτιστοποίηση της μεθόδου οπλισμένης γης ως προς το περιβάλλον.

ABSTRACT

This dissertation presents the method of the reinforced earth in nowadays with its methods and applications. More specifically it delves into the embankments, geogrids and all application methods without omitting the reference on the composition and design construction instructions. Furthermore, this work analyze the mathematical modeling that includes the check of stability, slip, tripping and bearing capacity according to European standards. Finally, this dissertation is completed with reference in studies that has taken part in the optimization of reinforced earth with the purpose to be friendly to the environment.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	12
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ.....	14
3.1 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ.....	14
3.2 ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΑ.....	15
3.3 ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ.....	16
3.4 ΓΕΩΔΙΚΤΥΑ.....	17
3.5 ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΕΣ.....	18
3.6 ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΑΡΓΙΛΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ.....	18
3.7 ΓΕΩΑΦΡΟΣ.....	19
3.8 ΑΛΛΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΙ.....	20
3.9 ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΠΑΡΕΙΩΝ.....	20
4. ΣΥΣΤΑΣΗ.....	22
4.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ (ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ).....	22
4.2 ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	22
4.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΛΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ.....	26
5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	27
5.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	27
5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ.....	29
5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.....	32
6. ΣΗΜΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	36
6.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	38
6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ.....	43
7. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ.....	46
8. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	55
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	58
10. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ.....	59
11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72
12. ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ.....	73

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Σύμβολο	Ορισμός	Μονάδα μέτρησης (S.I.)
L	στατικό ύψος	m
ΔL	μεταβολή μήκους	m
K_α	συντελεστής ώθησης γαιών	-
N	number of atoms / atom types	-
φ	γωνιακή μετατόπιση	rad
k	ενεργή ώθηση	-
φ'	γωνία εσωτερικής τριβής	rad
ϑ	παράμετρος κλίσης πρανούς ως προς την κατακόρυφο	rad
δ	γωνία εσωτερικής τριβής επιχώματος-οπλισμένων γαιών	rad
β	κλίση επιφάνειας εδάφους	rad
B_{ovr}	απαιτούμενο πλάτος οπλισμένης ζώνης	m
FS_{ovr}	συντελεστής ασφαλείας σε ανατροπή	-
Y_E	απόσταση συνισταμένης ωθήσεων από βάση τοίχου	m
E	συνισταμένη των ωθήσεων	Pa
σ_{umin}	ελάχιστη κατακόρυφη τάση στην βάση τοίχου	Pa
σ_{umax}	μέγιστη κατακόρυφη τάση στην βάση τοίχου	Pa
N	ορθή δύναμη στην βάση τοίχου	N
X_R	απόσταση δυνάμεως N από τον πόδα του τοίχου	m
X_W	μοχλοβραχίονας δυνάμεως W	m
X_Q	μοχλοβραχίονας δυνάμεως Q	m
W	ορθή δύναμη στον πόδα του τοίχου	N
Q	ορθή δύναμη στον πόδα του τοίχου	N
T_{ult}	ονομαστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης	Pa
T_k	μακροχρόνια εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης	Pa
$T_{k,s}$	βραχυχρόνια εφελκυστική αντοχή σε ταχεία φόρτιση	Pa
T_d	εφελκυστική αντοχή διάρκειας ωφέλιμης χρήσης έργου	Pa
$T_{d,s}$	εφελκυστική αντοχή βάσει λειτουργίας / ανθεκτικότητας	Pa
RF	παράμετρος μειωτικών συντελεστών	-
f_m	συντελεστής μείωσης έναντι αποκλίσεων	-
f_e	συντελεστής μείωσης λόγω περιβαλλοντικών προσβολών	-
f_d	συντελεστής μείωσης εξαιτίας φθορών	-
f_{cr}	συντελεστής μείωσης εξαιτίας συνθηκών ερπυσμού	-
γ_M	μειωτικός συντελεστής ασφαλείας	-
$T_{ru,k}$	αντοχή εξόλκευσης	Pa
L_e	μήκος αγκύρωσης στοιχείου όπλισης	m
σ'_n	ασκούμενη ορθή τάση	Pa
μ^*	συντελεστής έναντι εξόλκευσης	-
f_b	συντελεστής αλληλεπίδρασης έναντι εξόλκευσης	-
φ'_k	γωνία τριβής του υλικού επίχωσης	rad
$T_{SL,k}$	διατμητική αντοχή κατά της ολίσθησης	Pa
f_{ds}	συντελεστής αλληλεπίδρασης	-
μ	συντελεστής τριβής	-

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Σχεδιασμός τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα	11
Εικόνα 2.1: Η θεωρία του Henri Vidal.....	12
Εικόνα 2.2: Σύστημα Οπλισμένης γης.....	13
Εικόνα 3.1: Οπλισμένα επιχώματα-Βασικοί ορισμοί και ορολογία	14
Εικόνα 3.2: Απεικόνιση γεωπλέγματος.....	15
Εικόνα 3.3: Κάτοψη γεωπλέγματος.....	16
Εικόνα 3.4: Υφαντό μονόκλωνο γεωυφάσμα	16
Εικόνα 3.5: Μη υφαντό μονόκλωνο γεωύφασμα	17
Εικόνα 3.6: Γεωδίκτυα	17
Εικόνα 3.7: Γεωμεμβράνες.....	18
Εικόνα 3.8: Γεωσυνθετική αργιλική μεμβράνη	19
Εικόνα 3.9: Γεωαφρός.....	19
Εικόνα 3.10: Τυπικές διαμορφώσεις κατασκευών από οπλισμένη γη	21
Εικόνα 4.1: Χαλύβδινοι οπλισμοί κατά ΕΛΟΤ EN 14475	24
Εικόνα 4.2: Οπλισμοί από συνθετικά υλικά κατά ΕΛΟΤ 14475.....	25
Εικόνα 5.1: Σχεδιασμός οπλισμένης γης.....	28
Εικόνα 5.2: Κατασκευή οπλισμένης γης... ..	30
Εικόνα 5.3: Κατασκευή οπλισμένης γης... ..	30
Εικόνα 5.4: Κατασκευή οπλισμένης γης... ..	31
Εικόνα 5.5: Κατασκευή οπλισμένης γης... ..	31
Εικόνα 6.1: Απεικόνιση συμβατικού & οπλισμένου επιχώματος.....	36
Εικόνα 6.2: Εφαρμογή οπλισμένης γης σε λιμενικό έργο... ..	37
Εικόνα 6.3: Αντιστήριξη φυσικού εδάφους... ..	37
Εικόνα 6.4: Κατασκευή Εγναντίας οδού.....	38
Εικόνα 6.5: Κατασκευή τοίχων οπλισμένης γης Εγναντίας οδού... ..	39
Εικόνα 6.6: Κατασκευή Κέντρου Πολιτισμού Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος	41
Εικόνα 6.7: Σχεδιασμός και κατασκευή του λόφου με βάση την μέθοδο των γεωπλεγμάτων της οπλισμένης γης... ..	42
Εικόνα 6.8: Αυτοκινητόδρομος Blerick στην Ολλανδία	43
Εικόνα 6.9: Οπλισμένο επίχωμα με τεχνητή φύτευση.....	43
Εικόνα 6.10: Οπλισμένο επίχωμα με συρματοκιβώτια.....	44
Εικόνα 6.11: Χρήση οπλισμένης γης ως αντιπλημμυρική προστασία	44
Εικόνα 6.12: Κατασκευή λιμνοδεξαμενής.....	45
Εικόνα 6.13: Οπλισμένη γη σε έργο οδοποιίας	45
Εικόνα 7.1: Δυνάμεις ασκούμενες στην οπλισμένη ζώνη του επιχώματος χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πίεση πόρων.....	47
Εικόνα 7.2: Τυπική Διαμόρφωση τοίχου αντιστήριξης.....	48
Εικόνα 7.3: Σχηματική αναπαράσταση των παραμέτρων μαθηματικής μοντελοποίησης της εφαρμογής της οπλισμένης γης... ..	49
Εικόνα 7.4: Έλεγχος αντοχής οπλισμού σε εφελκυσμό.....	51
Εικόνα 7.5: Έλεγχος αντοχής οπλισμού σε εξόλκευση-ολίσθηση... ..	51
Εικόνα 8.1: Σχηματικό σύστημα ενισχυμένου εδάφους, που αποτελείται από στραγγιστικό γεώπλεγμα με μονάδα προσανατολισμού και γεωσυνθετικό αγωγό...55	

Εικόνα 8.2: Σύστημα οπλισμένης γης.....	56
Εικόνα 8.3: Σύστημα Οπλισμένης γης.....	56
Εικόνα 8.4: Σύστημα Οπλισμένης γης με χρήση πράσινης βλάστησης.....	57

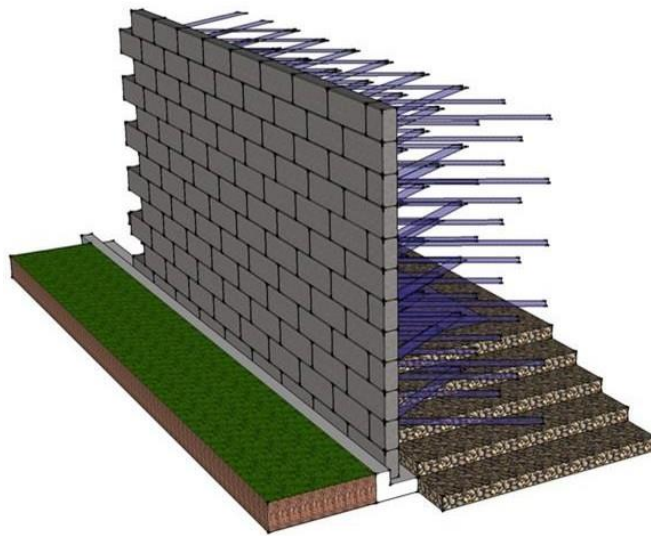
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χαλύβδινοι οπλισμοί σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα.....	23
Πίνακας 2: Οπλισμοί από συνθετικά υλικά σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα...	25
Πίνακας 3: Συνθήκες φόρτισης-Απαιτούμενος συνολικός συντελεστής ασφαλείας	34
Πίνακας 4: Κατάταξη έργου.....	34
Πίνακας 5: Δεδομένα προκαταρκτικής διαστασιολόγησης και σχεδιασμού Εγναντίας οδού.....	39
Πίνακας 6: Παράμετροι διατμητικής αντοχής των ζωνών κατασκευής της Εγναντίας οδού.....	40
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά διαστασιολόγησης και κατασκευής των τμημάτων του επιχώματος και των τοίχων της Εγναντίας οδού.....	40

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οπλισμένη γη αποτελεί ένα σώμα, το οποίο διαμορφώνεται από την γη και την ενίσχυση της. Με τον όρο γη, αναφερόμαστε στο εδαφικό υλικό, που καλύπτει όλες τις κατηγορίες εδάφους που συναντά κανείς στη φύση, συγκαταλεγόμενη από κοκκώδη εδάφη που εμφανίζουν συνοχή, καθώς και εκείνες που παράγονται από φυσικά ή χημικά μέσα. Είναι δυνατόν να περιέχει όλα τα μεγέθη σωματιδίων όπως λάσπη, άμμο, χαλίκι, πέτρες και όλα τα μεγέθη βράχων. Από την άλλη ο όρος ενίσχυση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των γραμμικών συστατικών που παρουσιάζουν σημαντική αντοχή στον εφελκυσμό. Η μορφή του οπλισμού που τοποθετείται είναι σε ράβδους, λωρίδες, μεταλλική, πλέγματα, φύλλα ή ίνες σε τυχαίο προσανατολισμό. Επομένως η γη είναι μία φυσική ποσότητα συστατικών ύλης, κυρίως με συμπαγή σχήματα πλησίον του κύβου και της σφαίρας τα οποία τα καλούμε "σωματίδια" ή "κόκκους". Τα ενισχυτικά μέλη αποτελούν επιμήκη στοιχεία με μεγάλες διαστάσεις. Συνεπώς ένα σώμα ενισχυμένης γης, είναι η κοκκώδη γη όπου σύμφωνα με την μηχανική του εδάφους παράγεται από μη συνεκτικά σωματίδια στα οποία όταν εισέλθουν οριζόντια εύκαμπτα στρώματα ή ευθύγραμμη ενίσχυση, όλο το σώμα παρουσιάζει συνοχή. Η συνοχή αυτή προέρχεται από την μετάδοση δυνάμεων, η οποία δημιουργείται από τη τριβή των κόκκων της γης έναντι των ενισχυτικών μελών, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει ολίσθηση και αυτό επιτυγχάνεται με την σωστή τοποθέτηση τους. Εφόσον η ενίσχυση εγκαθίσταται κατά μήκος των κατευθύνσεων ενός καρτεσιανού συστήματος, είναι εύκολα αντιληπτό πως το σώμα αυτό μεταβιβάζει συνοχή προς όλες τις κατευθύνσεις. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται εξαρτώνται από το ποσό ενεργειών επαφής ανάμεσα των σωματιδίων γης. Ως απόρροια, εάν η ενίσχυση τοποθετηθεί κατάλληλα, είναι εφικτό να αποφευχθεί οποιαδήποτε διάτμηση και ολίσθηση, έτσι ώστε ολόκληρη η μάζα να συμπεριφέρεται ως ένα συνεκτικό στερεό ικανό να υπομείνει τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές δυνάμεις. Η οπλισμένη γη βρίσκει εφαρμογή σε τεχνικά έργα και οι κατασκευές που την συνοδεύουν είναι τοίχοι αντιστήριξης, επιχώματα, πρανή.

Εν κατακλείδι, η τριβή αποτελεί την βάση της θεωρίας της οπλισμένης γης και αυτό λαμβάνεται εφόσον έχουμε την σωστή επαφή γης και ενίσχυσης, και υπολογίσουμε τις πιέσεις που αντιστοιχούν σε αυτές.



Εικόνα 1.1: Σχεδιασμός Τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1. Αποτελεί την οικονομικότερη λύση
2. Η κατασκευή της είναι εύκολη και γρήγορη
3. Δεν απαιτείται στήριξη του επιχώματος μέχρι το πέρας της ανέργεσης του
4. Σε συνθήκες σεισμικής δόνησης αποτελεί την πιο κατάλληλη κατασκευή
5. Η αποστράγγιση γίνεται εύκολα
6. Αισθητικά ο σχεδιασμός της είναι ικανοποιητικός

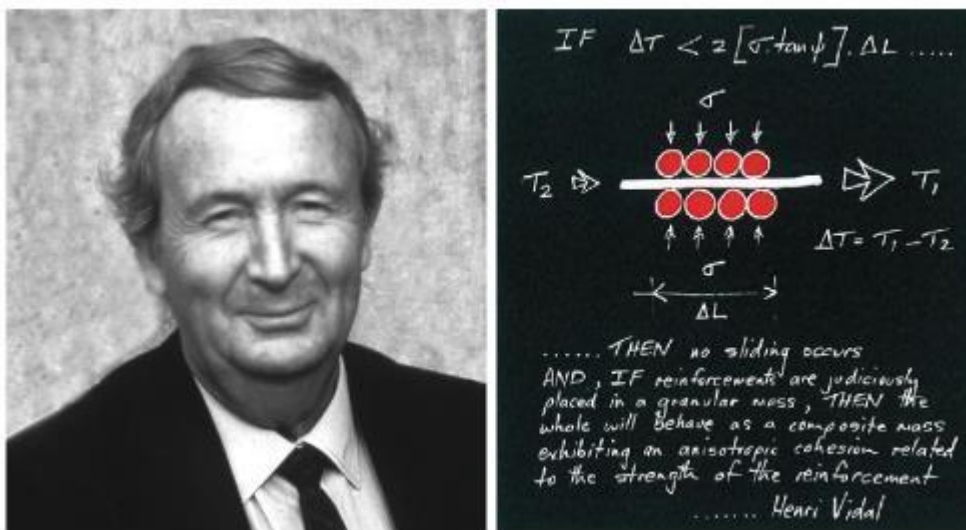
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1. Πιθανότητα διάβρωσης των μεταλλικών οπλισμών
2. Πιθανότητα μείωσης της αντοχής των γεωσυνθετικών οπλισμών λόγω φθοράς
3. Πιθανότητα μείωσης της αντοχής με τη πάροδο του χρόνου
4. Σε περιοχές ορυγμάτων υπάρχει περίπτωση η κατασκευή οπλισμένων επιχωμάτων να χρειαστεί εκσκαφή μεγαλύτερου πλάτους

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

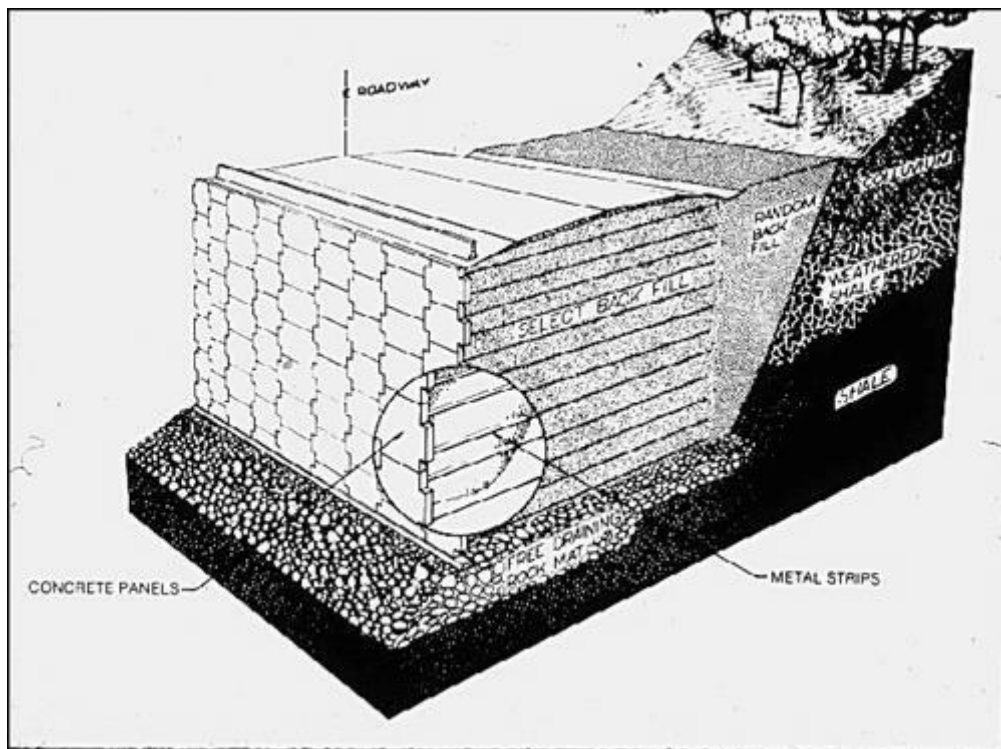
Από την αρχαιότητα η οπλισμένη γη αποτελούσε γνώριμη και ευρεία εφαρμογή σε κατασκευές, υπό την μορφή υλικών φυτικής προέλευσης όπως για παράδειγμα καλάμια, κλαδιά δένδρων και άχυρα, σε ανάμειξη με υγρή λάσπη. Μια ιστορική αναδρομή θα μπορούσε να τοποθετηθεί με αφετηρία το 200 π.Χ., στην Κίνα, όπου τμήματα του Σινικού τείχους έχουν κατασκευαστεί από το μείγμα χαλικιών και αργίλου με "οπλισμό" κλαδιών δένδρων. Στην συνέχεια, οι Ρωμαίοι αποτελούν έναν λαό γνώστη της τεχνικής της οπλισμένης γης, ένα παράδειγμα είναι ο ποταμός Τίβερης που διαθέτει προστατευτικά αναχώματα οπλισμένα με καλάμια. Ένα ακόμη παράδειγμα που απαρτίζει τον λαό αυτό, στο Λονδίνο τον 1^ο μ.Χ., είναι η ανακάλυψη προκουμιάς, η οποία κατασκευάστηκε με δοκούς από βελανίδια, στο κατακόρυφο τμήμα και στο επίχωμα. Έπειτα προς τον 19^ο αιώνα η τεχνική της οπλισμένης γης αξιοποιήθηκε για οχυρώσεις στρατιωτικών κατασκευών. Τέλος το 1904, στη Γουινέα παρατηρούμε την χρήση πλέγματος, συγκροτούμενο από χαλύβδινες ράβδους, ενώ στην Καλιφόρνια εισάχθηκε από τον Reed η τεχνική οπλισμού λιθορριπών της κατάντη παρειάς φραγμάτων, με σιδηροτροχιές των σιδηροδρόμων.

Στην σύγχρονη εποχή το 1963, ο Γάλλος Αρχιτέκτονας Henri Vidal, εφάρμοσε την τεχνική της οπλισμένης γης, με σκοπό να κατασκευάσει τοίχο αντιστήριξης, με αποτέλεσμα να κατοχυρώσει με διεθνές δίπλωμα ευρεσιτεχνίας την μέθοδο **Terre Armée** (οπλισμένη γη) η οποία στηρίζεται στις τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ των τενόντων και των κόκκων στο εσωτερικό του εδαφικού υλικού, διαμορφώνεται ένα "σύνθετο υλικό" με ομοιόμορφη συμπεριφορά και διακεκριμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Παρατήρηση του Henri Vidal, αποτελεί η εξής : "...με την κατάλληλη τοποθέτηση οπλισμού σε μια κοκκώδη μάζα, το σύστημα συμπεριφέρεται ως σύνθετη μάζα με ανισότροπη συνοχή ανάλογη με την αντοχή του οπλισμού..."



Εικόνα 2.1: Η θεωρία του Henri Vidal

Γεωπλέγματα και γεωφάσματα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται την δεκαετία του 60' και του 70' για τον οπλισμό σιδηροδρομικών γραμμών, για την αντιστήριξη εδαφών και αναχωμάτων. Τέλος την δεκαετία του 80' παρατηρούνται αξιοσημείωτες εξελίξεις, με την εφαρμογή μεταλλικών ράβδων για την σταθεροποίηση των επιφανειών μετώπων εκσκαφών και συνθετικών γεωπλεγμάτων για την διαχείριση κατολισθήσεων των πρανών στα έργα οδοποιίας.



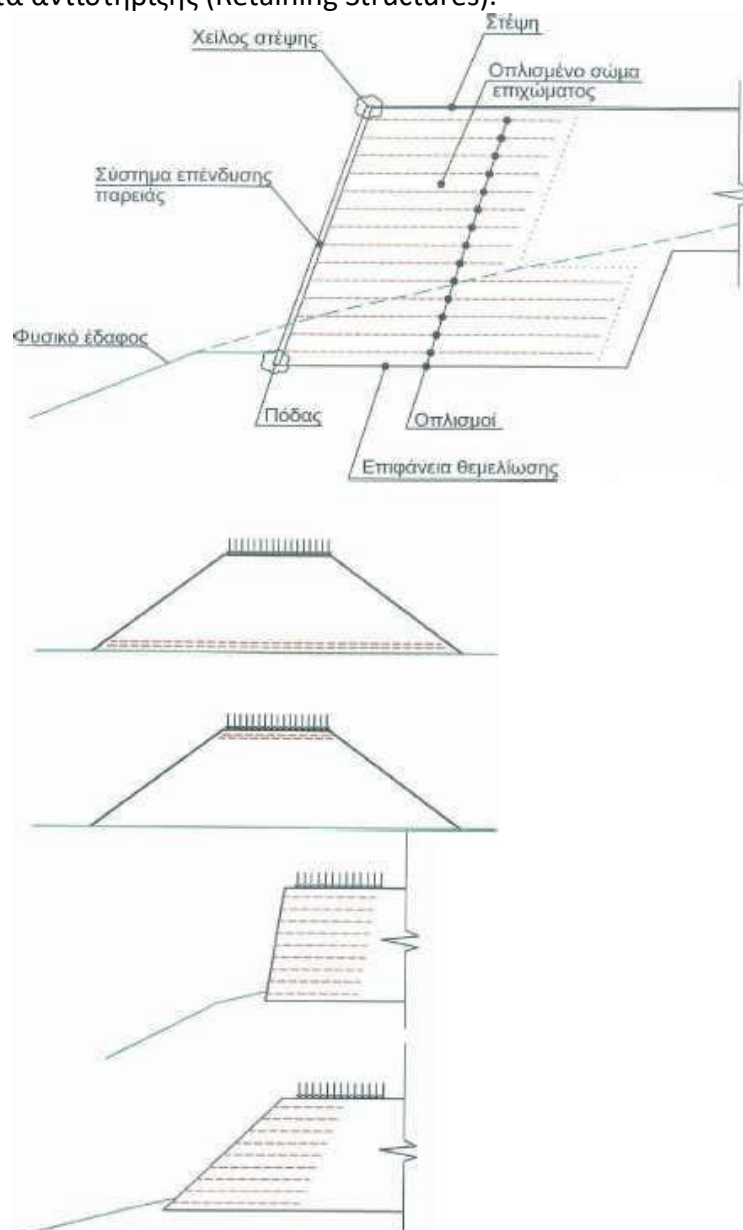
Εικόνα 2.2: Σύστημα Οπλισμένης γης

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ

3.1 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Τα οπλισμένα επιχώματα (οπλισμένη γη) διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Στα οπλισμένα επιχώματα ήπιας κλίσης πρανών, τα οποία αποσκοπούν στην αποφυγή των καθιζήσεων καθώς και την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας και πραγματοποιούνται στη στέψη ή στην θεμελίωση των πρανών.
- ii. Στα οπλισμένα επιχώματα κατακόρυφης ή απότομης κλίσης πρανών, τα οποία οφείλουν την ευστάθειά τους στην ύπαρξη όπλισης, γνωστά ως οπλισμένα επιχώματα αντιστήριξης (Retaining Structures).



Εικόνα 3.1: Οπλισμένα επιχώματα-Βασικοί ορισμοί και ορολογία

3.2 ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΑ

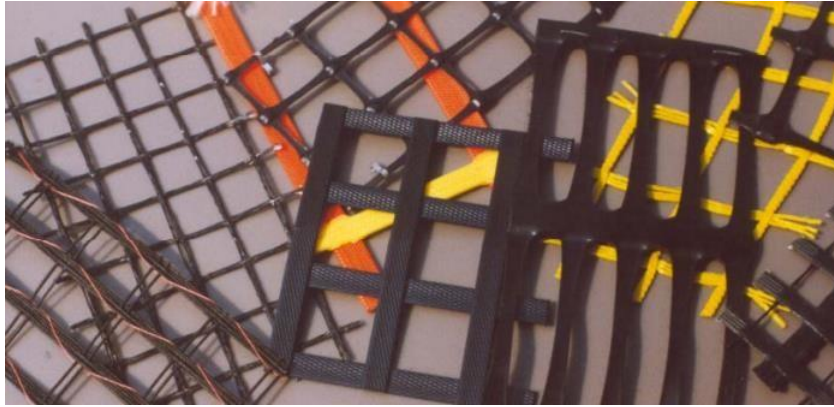
Τα γεωπλέγματα αποτελούν γεωσυνθετικά υλικά τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε οικοδομικές εργασίες ως οπλισμός, με την μορφή ενισχυτικού υλικού. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται στον οπλισμό του εδάφους και στον οπλισμό των τοίχων αντιστήριξης. Το υλικό αυτό έχει υψηλή ζήτηση και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι καλό στην τάση και έχει την μεγαλύτερη ικανότητα στο να κατανέμει το φορτίο σε μία μεγάλη περιοχή.



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση γεωπλέγματος

Επιπρόσθετα, τα γεωπλέγματα διακρίνονται και αυτά σε δύο θεμελιώδεις κατηγορίες, τα *μονοαξονικά* και τα *διαξονικά*. Αξίζει να αναφερθεί ότι και στα δύο είδη γεωπλεγμάτων, τόσο οι κόμβοι όσο και τα μέλη τους χαρακτηρίζονται από σημαντική αντοχή. Η ενδεικτική τιμή κόστους των γεωπλεγμάτων κυμαίνεται στα **1,83€/m²**.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια χαρακτηριστική απεικόνιση γεωπλεγμάτων.



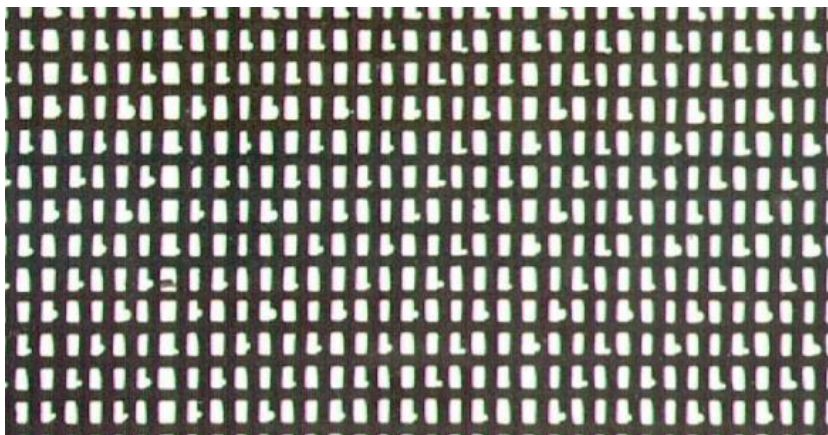
Εικόνα 3.3: Κάτοψη γεωπλεγμάτων

3.3 ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ

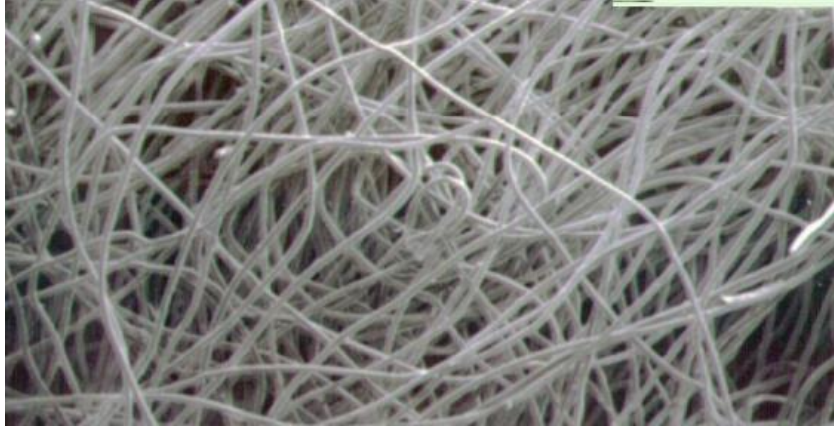
Τα γεωυφάσματα αποτελούν διαπερατά υφάσματα που όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με το έδαφος, έχουν την ικανότητα να διαχωρίζουν, να φιλτράρουν, να ενισχύουν, να προστατεύουν και να στραγγίζουν. Οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται είναι οι εξής:

1. Υφαντά: ταινιωτά, μονόκλινα ή πολύκλινα
2. Μη υφαντά

Θα πρέπει να σημειωθεί πως τα γεωυφάσματα χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή και μεγάλη παραμορφωσιμότητα. Όσον αφορά την οικονομική τους αξία, το ενδεικτικό τους κόστος κυμαίνεται στα **0,66€/m²**. Με στόχο την κατανόηση της μορφολογικής διαφοράς των δύο κατηγοριών γεωυφασμάτων, στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα δύο διαφορετικά είδη, δηλαδή ένα υφαντό και ένα μη υφαντό γεωύφασμα.



Εικόνα 3.4: Υφαντό μονόκλινο γεωύφασμα



Εικόνα 3.5: Μη υφαντό μονόκλωνο γεωύφασμα

3.4 ΓΕΩΔΙΚΤΥΑ

Τα γεωδίκτυα κατασκευάζονται από HDPE, το οποίο αποτελεί ένα αδιαφανές, λευκό και κεραμικό υλικό. Ειδικότερα, χαρακτηρίζεται ως προϊόν πολυμερισμού σε συνθήκες χαμηλής πίεσης παρουσία καταλύτη τύπου ziegler. Επιπρόσθετα, τα γεωδίκτυα ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. 2-D από συμπαγή μέλη
2. 2-D από πορώδη μέλη
3. 3-D από συμπαγή μέλη

Τέλος, τα γεωδίκτυα διαθέτουν επαρκή εφελκυστική αντοχή, ενώ η κοστολογική τους αξία κυμαίνεται στα **1,47 €/m²**. Μια χαρακτηριστική απεικόνιση ενός γεωδικτύου παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.6: Γεωδίκτυα

3.5 ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Οι γεωμεμβράνες κατασκευάζονται από διάφορα και ποικίλα υλικά, αναλόγως με την κατηγορία στην οποία εντάσσονται. Διακρίνονται λοιπόν σε τρία θεμελιώδη είδη:

1. Κρυσταλλικές: κυρίως HDPE και LLDPE
2. Πλαστικές από PVC
3. Πολυοφελίνης από PP

Το κατασκευαστικό κόστος των γεωμεμβρανών κυμαίνεται στα **5,88 €/m²**. Στην παρακάτω εικόνα, απεικονίζονται χαρακτηριστικές κατόψεις γεωμεμβρανών.



Εικόνα 3.7 : Γεωμεμβράνες

3.6 ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΑΡΓΙΛΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Οι μεμβράνες αυτές κατασκευάζονται από προκατασκευασμένα φύλλα μπετονίτη, μεταξύ γεωφασμάτων και γεωμεμβρανών. Επίσης, έχουν την ικανότητα να παραμορφώνονται πολύ εύκολα, ενώ η οικονομική τους αξία κυμαίνεται περίπου στα **2,94 €/m²**. Μια αντιπροσωπευτική απεικόνιση γεωσυνθετικής αργλικής μεμβράνης φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 3.8: Γεωσυνθετική αργιλική μεμβράνη

3.7 ΓΕΩΑΦΡΟΣ

Ο γεωαφρός κατασκευάζεται από συμπυκνωμένο πολυστυρένιο και πωλείται σε μορφή ορθογώνιων πρισμάτων μήκους 2-4 m, πλάτους 1-2 m και ύψους 50 cm. Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του γεωαφρού είναι το βάρος του, καθώς αποτελεί ένα υλικό εξαιρετικά ελαφρύ. Η ακόλουθη απεικόνιση παρουσιάζει μια τυπική κατασκευή γεωαφρού.



Εικόνα 3.9: Γεωαφρός

3.8 ΑΛΛΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΙ

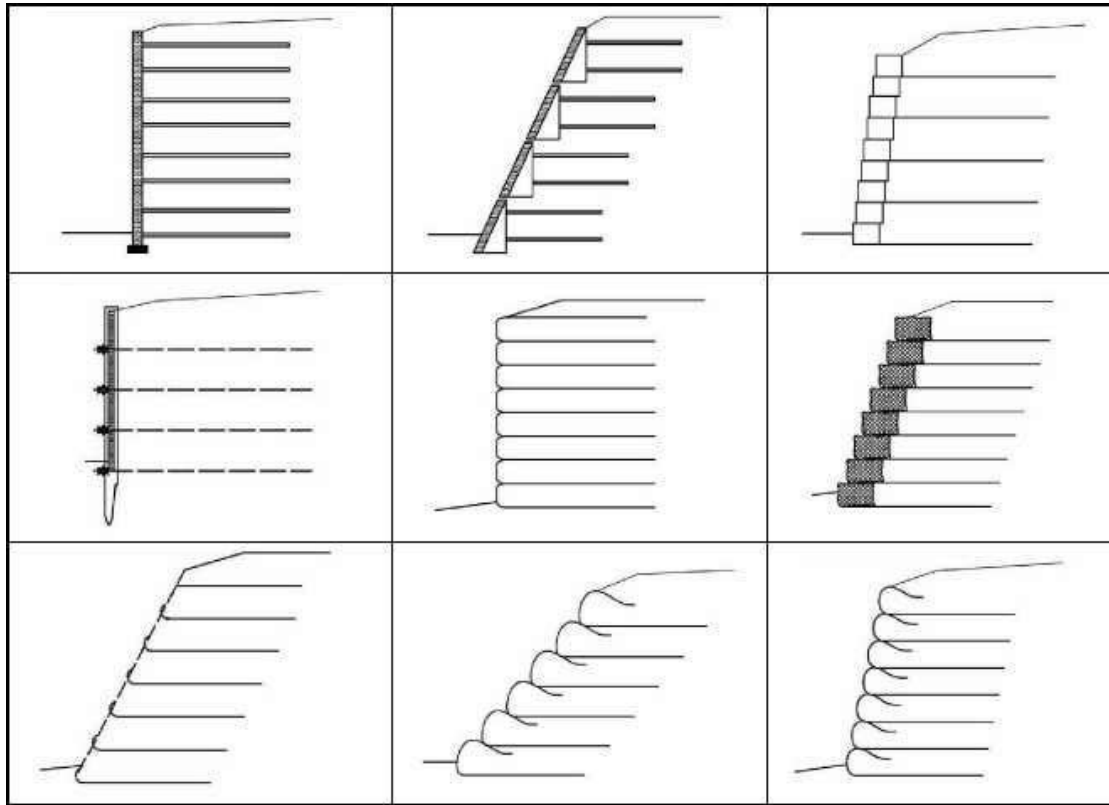
Πέρα από τις παραπάνω θεμελιώδεις κατηγορίες ή μεθόδους εφαρμογής της οπλισμένης γης, υπάρχουν και τα *γεωσυνθετικά υλικά* τα οποία αποτελούν συνδυασμούς γεωφασμάτων, γεωπλεγμάτων, γεωδικτύων και γεωμεμβρανών. Επιπρόσθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα κατασκευαστικά υλικά ως γεωσυνθετικά, όπως οι γεωτάπητες, οι γεωκυψέλες και οι γεωσωλήνες.

3.9 ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΠΑΡΕΙΩΝ

Στο οπλισμένο επίχωμα, η παρειά ανάλογα με την κλίση, την χρήση αλλά και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις επενδύεται κατάλληλα με διάφορους τρόπους. Προσοχή όμως χρειάζεται στην προστασία της παρειάς έναντι της διάβρωσης, για την ορθή χρήση της προβλεπόμενης χρονικής διάρκειας του έργου. Απαραίτητο κριτήριο αποτελεί η αντοχή στις αναμενόμενες διαφορικές καθιζήσεις με το πέρασμα του χρόνου καθώς και η προστασία τυχόν ανοιγμάτων ή αρμών, έτσι ώστε να μην υπάρξει διαρροή του υλικού του επιχώματος.

Γενικότερα διακρίνονται οι εξής κατηγορίες επένδυσης παρειών:

1. Δύσκαμπτες επενδύσεις που αποτελούνται από προκατασκευασμένες πλάκες ή αρθρωτά συνδεδεμένους αρμούς
2. Ημιεύκαμπτες επενδύσεις που αποτελούνται από χαλύβδινα πλέγματα, συρματοκιβώτια-συρματοπλέγματα και ημιελλειπτικά ελάσματα
3. Πλήρως εύκαμπτες επενδύσεις που αποτελούνται από αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων, ανεξάρτητες επενδύσεις παρειάς, με γεωδίκτυα και φυτικές γαίες



Εικόνα 3.10: Τυπικές διαμορφώσεις κατασκευών από οπλισμένη γη

4. ΣΥΣΤΑΣΗ

4.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ (ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ)

Όπως αναφέραμε παραπάνω το οπλισμένο επίχωμα (οπλισμένη γη) αποτελεί ένα κατασκευασμένο έδαφος με τεχνητή ενίσχυση, το οποίο χρησιμοποιείται για τοίχους αντιστήριξης, στηρίγματα γέφυρας, φράγματα, θαλάσσια αναχώματα. Τα ενισχυτικά υλικά που αξιοποιούνται, ποικίλουν, όμως περιλαμβάνουν χάλυβα και γεωσυνθετικά. Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται για ενίσχυση είναι συνήθως υπό την μορφή χαλύβδινων λωρίδων πλάτους 50 έως 120 mm, για πρόσθετη αντίσταση οι λωρίδες αυτές θα έχουν ραβδωτή μορφή. Ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται ως ενίσχυση, διάφοροι τύποι γεωσυνθετικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων των γεωπλέγματων και των γεωφασμάτων, τα οποία κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, πολυεστέρα και προπυλένιο. Τα υλικά αυτά είναι δυνατόν να βρίσκονται σε ραβδωτή μορφή και να έχουν διάφορα μεγέθη και αντοχές.

4.2 ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Οι οπλισμοί που τοποθετούνται ως ενίσχυση στο έδαφος είναι είτε από χάλυβα είτε από συνθετικά υλικά. Κατά την ανέγερση του επιχώματος η θέση που έχουν είναι διαδοχική σε οριζόντια επίπεδα και συνδέονται με το σύστημα επένδυσης της παρειάς. Αν όμως γίνει χρήση πολυμερικού τύπου οπλισμών τότε πριν την τοποθέτηση και την διάστρωση της στρώσης υλικού επιχώματος ακολουθεί ελαφρά τάνυση και προσωρινή στερέωση του πίσω άκρου της συμπυκνωμένης επιφάνειας επίχωσης.

Επιπλέον σύμφωνα με τις Γαλλικές οδηγίες και έπειτα τον έλεγχο ευστάθειας, για τη κατακόρυφη παρειά το ελάχιστο μήκος στον πόδα ή το μέσον είναι $L=0,4 Hm$ (όπου Hm το στατικό ύψος του οπλισμένου επιχώματος). Ο σχεδιασμός των οπλισμών θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να σχηματίζεται ένα γεωμετρικό κανονικό οπλισμένο πρίμα και για τυχόν αλλαγές μεταξύ των οπλισμών, το μήκος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το $\Delta L= 0,5 Hm$.

Τέλος για να διατηρεί το οπλισμένο επίχωμα την ομογενή συμπεριφορά του θα πρέπει οι διαδοχικές στρώσεις του οπλισμού να μην απέχουν κατά το ύψος λιγότερο από 0,20m.

Αναλυτικότερα:

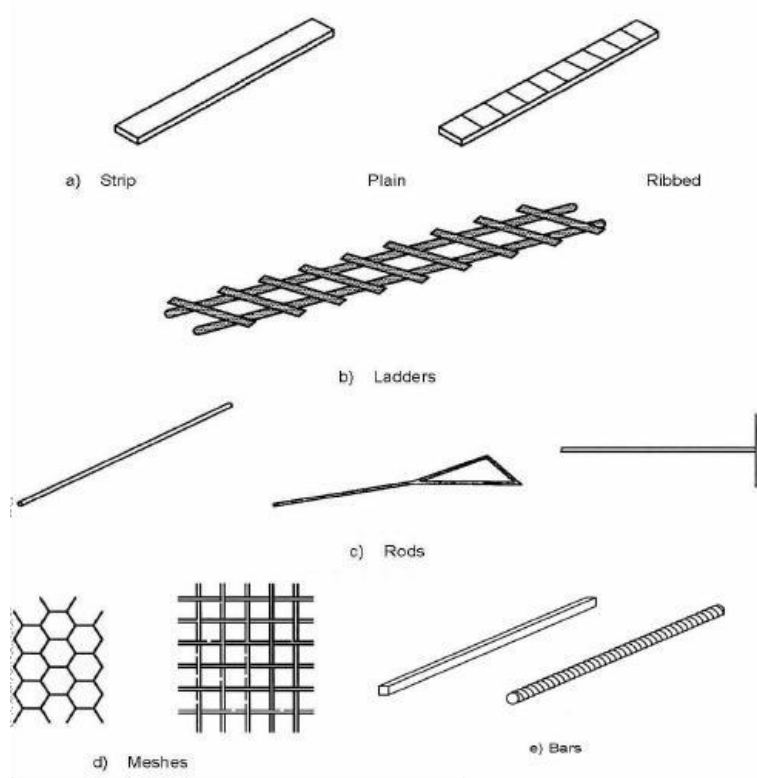
1. Για χαλύβδινους οπλισμούς

Τα χαρακτηριστικά που κατακλύουν έναν χαλύβδινο οπλισμό είναι η αντοχή σε εφελκυσμό και η εξόλκευση του φορτίου θραύσης και του συντελεστή τριβής, συναρτήσει των χαρακτηριστικών του εδαφικού υλικού. Η μορφή των χαλύβδινων οπλισμών είναι σε λωρίδες, ράβδους ή πλέγματα. Όσον αφορά τις μόνιμες κατασκευές ο οπλισμός πρέπει να είναι γαλβανισμένος. Επίσης για χρήση συρματοπλεγμάτων όπλισης τότε χρειάζεται γαλβάνισμα με κράμα Zn95Al5, ενώ απαραίτητη αποτελεί η προστασία του οπλισμού με επικάλυψη PVC. Για τις μη μόνιμες κατασκευές αποφεύγεται η χρήση ανοξειδωτων χαλυβών και κραμάτων αλουμινίου.

Πίνακας 1: Χαλύβδινοι οπλισμοί σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα

Για τους χαλύβδινους οπλισμούς έχουν εφαρμογή τα ακόλουθα Ευρωπαϊκά Πρότυπα:

ΕΛΟΤ EN 14475	Εκτέλεση ειδικών γεωτεχνικών έργων - Οπλισμένο επίχωμα
ΕΛΟΤ EN 10025.01	Προϊόντα θερμής έλασης για χάλυβες κατασκευών - Μέρος 1: Γενικοί τεχνικοί όροι παράδοσης
ΕΛΟΤ EN 10080	Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοί χάλυβες - Γενικές απαιτήσεις
ΕΛΟΤ EN 10218-1 E2	Χαλύβδινα σύρματα και προϊόντα συρμάτων - Γενικά - Μέρος 1 : Μέθοδοι δοκιμών
ΕΛΟΤ EN 10218-2 E2	Χαλύβδινα σύρματα και προϊόντα συρμάτων - Γενικά - Μέρος 2: Διαστάσεις και ανοχές συρμάτων
ΕΛΟΤ EN 10223-6 E2	Χαλύβδινα σύρματα και προϊόντα σύρματος για φράκτες - Μέρος 6: Χαλύβδινο συρματοπλέγμα απλής συστροφής
ΕΛΟΤ EN 10223-8	Χαλύβδινα σύρματα και συρμάτινα προϊόντα για περίφραξη και πλέγματα - Μέρος 8: Συρματοκιβώτια συγκολλημένου πλέγματος
ΕΛΟΤ EN ISO 1461 E2	Επικαλύψεις με γαλβανισμό εν θερμώ ετοιμών προϊόντων από σίδηρο και χάλυβα - Προδιαγραφές και μέθοδοι δοκιμών
ΕΛΟΤ EN 10326	Επικαλυμμένα χαλυβδόφυλλα και χαλυβδοτανίες κατασκευών με συνεχή εμβάπτιση εν θερμώ - Τεχνικοί όροι παράδοσης
ΕΛΟΤ EN 10244.01	Χαλύβδινα σύρματα και προϊόντα συρμάτων - Επικαλύψεις χαλύβδινων συρμάτων με μη σιδηρούχα μέταλλα - Μέρος 1: Γενικές αρχές



Εικόνα 4.1.: Χαλύβδινοι οπλισμοί κατά ΕΛΟΤ EN 14475

2. Για οπλισμούς από συνθετικά υλικά

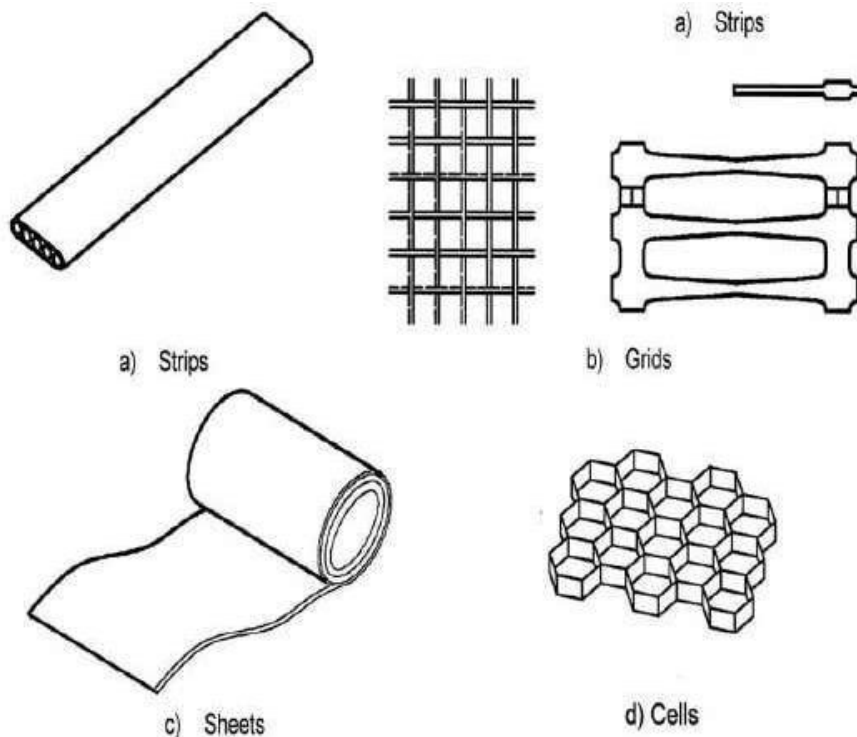
Οι οπλισμοί από συνθετικά υλικά ή αλλιώς οι πολυμερικοί οπλισμοί συνηθίζεται να είναι πολυεστερικής ή πολυαιθυλενικής σύστασης. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι οι ισόχρονες συνθήκες καμπύλες τάσεων, η αντοχή σε εφελκυσμό για διάφορες περιβαλλοντικές και θερμοκρασιακές συνθήκες, η συμπεριφορά τους σε ερπυσμό και ο συντελεστής τριβής σε εξόλκευση συναρτήσει των χαρακτηριστικών του εδαφικού υλικού.

Επιπρόσθετα μείωση μηχανικής αντοχής παρατηρείται στα γεωσυνθετικά όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 80 °C και στην υπεριώδη ακτινοβολία καθώς τα οξειδώνουν και τα διασπούν σε μοριακές αλυσίδες, με αποτέλεσμα το γεωσυνθετικό να γίνεται ψαθυρό. Αυτό ονομάζεται γήρανση. Στην συνέχεια η συνεχιζόμενη παραμόρφωση των γεωσυνθετικών υλικών, υπό σταθερό φορτίο συναρτήσει του χρόνου, αποδίδει τις δυνατότητες εφαρμογής τους και το μέγιστο φορτίο που μπορούν να δεχθούν.

Τέλος προσοχή χρειάζεται σε ορισμένα γεωσυνθετικά υλικά όπως το νάιλον (πολυαμίδιο) και τον πολυεστέρα, τα οποία είναι ευαίσθητα στην υδρόλυση κατά την επαφή τους με το νερό καθώς εξίσου πρέπει να παρατηρείται η ανθεκτικότητα των γεωσυνθετικών στα διάφορα χημικά και τους μικροοργανισμούς διότι παρουσιάζουν ευαισθησία στην αλκαλικότητα, ενώ το προπυλένιο είναι δυνατόν να προσβληθεί από μύκητες.

Για τους οπλισμούς από συνθετικά υλικά έχουν εφαρμογή τα ακόλουθα Ευρωπαϊκά Πρότυπα:

ΕΛΟΤ EN 14475	Εκτέλεση ειδικών γεωτεχνικών έργων - Οπλισμένο επίχωμα
ΕΛΟΤ EN 13251+A1	Γεωφάσματα και προϊόντα σχετικά με γεωφάσματα - Απαιτούμενα χαρακτηριστικά για χρήση σε χωματουργικά έργα, θεμελιώσεις και κατασκευές αντιστήριξης
ΕΛΟΤ EN ISO 13431	Γεωφάσματα και προϊόντα σχετικά με γεωφάσματα - Προσδιορισμός της συμπεριφοράς σε εφελκυστικό ερπυσμό και θραύση λόγω ερπυσμού
ΕΛΟΤ EN ISO 10722	Γεωσυνθετικά - Μεθοδολογία δοκιμής εκτίμησης της μηχανικής φθοράς υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση - Φθορά από κοκκώδη υλικά
ΕΛΟΤ EN ISO 12957.01	Γεωσυνθετικά - Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών τριβής - Μέρος 1: Δοκιμή άμεσης διάτμησης
ΕΛΟΤ EN ISO 12957.02	Γεωσυνθετικά - Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών τριβής - Μέρος 2: Δοκιμή σε κεκλιμένο επίπεδο
ΕΛΟΤ EN 12224	Γεωφάσματα και προϊόντα σχετικά με γεωφάσματα - Προσδιορισμός της αντοχής σε μεταβολές των καιρικών συνθηκών
ΕΛΟΤ EN 12225	Γεωφάσματα και προϊόντα σχετικά με γεωφάσματα - Μέθοδος προσδιορισμού της αντίστασης στη δράση μικροβίων με ταφή



Εικόνα 4.2: Οπλισμοί από συνθετικά υλικά κατά ΕΛΟΤ 14475

4.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΛΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ

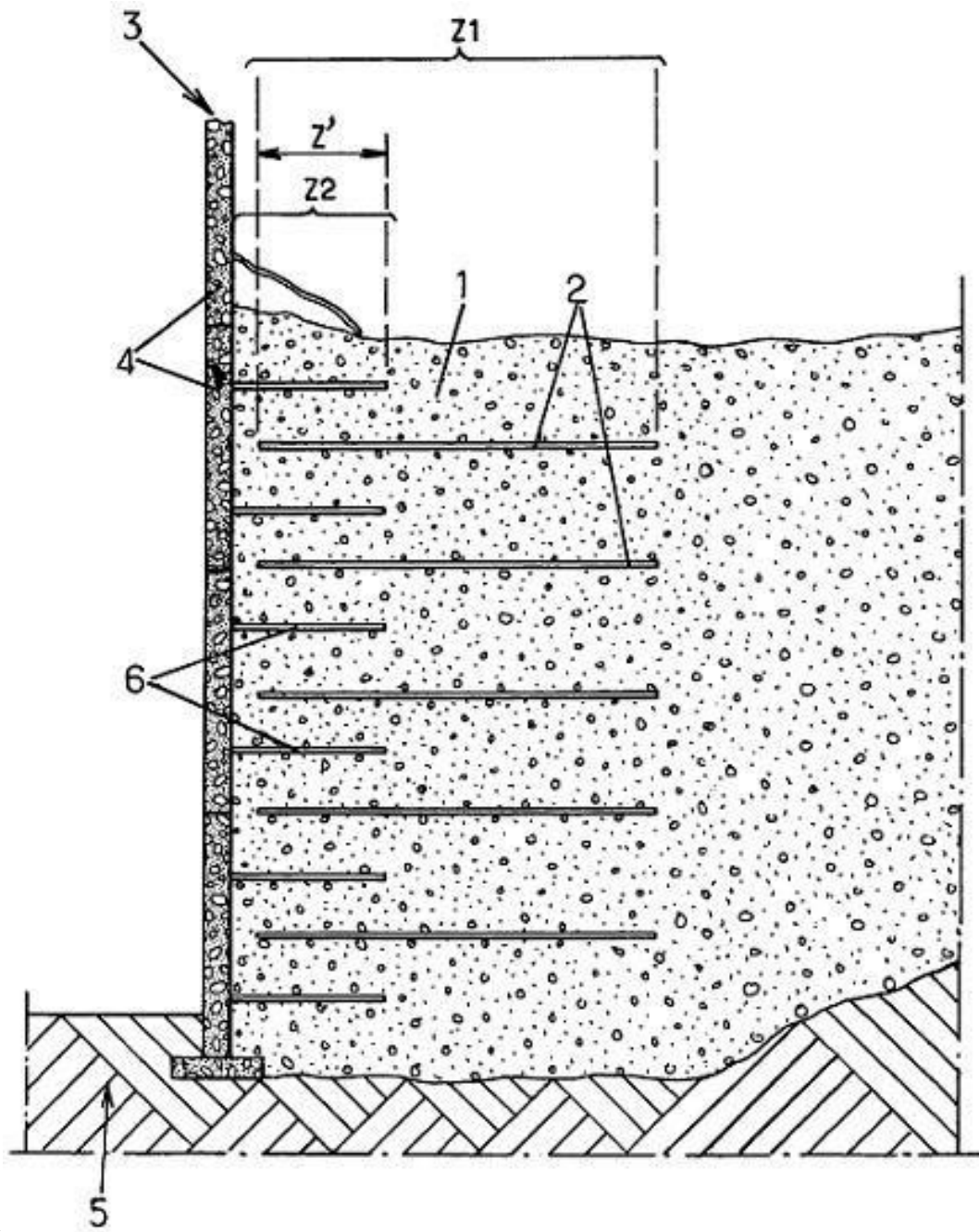
Τα συστατικά μέλη της οπλισμένης γης είναι το έδαφος, το δέρμα και η ενίσχυση.

- Το έδαφος της οπλισμένης γης αναπτύσσει επαρκή τριβή μεταξύ γης και ενίσχυσης, χωρίς να αναπτύσσεται πίεση νερού πόρων εντός των ενισχυμένων δομών του εδάφους. Για την αποφυγή διάβρωσης το έδαφος συμμορφώνεται με ορισμένες ηλεκτροχημικές συνθήκες.
- Ο οπλισμός αποτελείται από ενισχυμένα μέλη που αποτελούνται από λεπτές ευρείες λωρίδες που καλούνται δεσμοί. Επιπρόσθετα θα πρέπει ο οπλισμός να είναι ευέλικτος για την διευκόλυνση της τοποθέτησης και να έχει αρκετά χρόνια ζωής λόγω της διάβρωσης και των καιρικών συνθηκών.

5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

5.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- i. Τα οπλισμένα επιχώματα σχεδιάζονται με ελάχιστη διάρκεια ζωής εκατό χρόνια.
- ii. Στα σχέδια καθορίζονται τα φορτία σχεδιασμού που μεταφέρουν τα υποστρώματα των γεφυρών στις δομές. Επίσης λαμβάνονται υπόψη τα ζωντανά φορτία της γέφυρας καθώς και τα κατακόρυφα και πλευρικά φορτία από τις χωματουργικές εργασίες.
- iii. Η δομή των οπλισμένων επιχωμάτων θα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις ευστάθειας του AS 5100, για δομές συγκράτησης εδάφους.
- iv. Μέσω των γεωτεχνικών ερευνών του σχεδιαστή, λαμβάνονται οι επιτρεπόμενες πιέσεις στο υλικό των οικισμών κάτω από το ενισχυμένο έδαφος.
- v. Κλίση 1 προς 40 προβλέπεται, για ευθύγραμμους τοίχους, στην κατακόρυφη όψη του τοίχου.
- vi. Στα σχέδια πρέπει να σχεδιάζονται διατάξεις αποστράγγισης, όπου είναι αναγκαίο, για την αναχαίτιση και την έκτροπή υπόγειων και επιφανειακών υδάτων έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη υδροστατικής πίεσης πίσω από τα πάνελ καθώς και ο κορεσμός της κορεσμένης γης. Επιπλέον θα πρέπει να περιλαμβάνουν διατάξεις για την πρόληψη του κορεσμού, στην περίπτωση διαρροής νερού.
- vii. Στην περίπτωση μελλοντικών σε ύψος επεκτάσεων, τα αρχικά πάνελ ενίσχυσης και όψης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντιστέκονται στην μελλοντική προσαύξηση τοίχους, που βρίσκεται εκτός ρύθμισης.



Εικόνα 5.1: Σχεδιασμός σπλισμένης γης

5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ

Η διαδικασία κατασκευής της οπλισμένης γης ξεκινάει με τη αφαίρεση φυτικής γης, την μόρφωση της επιφάνειας έδρασης και την συμπύκνωση του εδάφους σε βαθμό 90-95% κατά Proctor, μέχρι το βάθος των 30 cm. Ακολουθεί η αντικατάσταση του εδάφους από μία στρώση υγιών λίθων, η οποία καλείται εξυγίανση του εδάφους.

Επιπλέον η διάστρωση των υλικών επίχωσης αρχίζει είτε από το πλησιέστερο προς την πηγή απόληψης σημείο του επιχώματος είτε από το πιο απομακρυσμένο. Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη περίπτωση, τα οχήματα μεταφοράς κινούνται επί διαστρωμένης επιφάνειας, την οποία συμπυκνώνουν με αποτέλεσμα η δράση των οδοστρωτήρων να μειωθεί, αφού οι στρώσεις θα έχουν κατά κάποιο σημείο συμπυκνωθεί. Από την άλλη στην δεύτερη περίπτωση, όπου η κατασκευή ξεκινάει από το πιο μακρινό σημείο, τα οχήματα μεταφοράς εξακολουθούν να συμπυκνώνουν το έδαφος έδρασης ενώ και η μεταφορά των υλικών δεν εμποδίζεται από την εργοταξιακή διαδικασία συμπύκνωσης.

Στην συνέχεια μετά την ολοκλήρωση των προπαρασκευαστικών εργασιών, έρχεται η διάστρωση των υλικών του επιχώματος όπου με τους κατάλληλους οδοστρωτήρες διαβρέχουμε και συμπυκνώνουμε κάθε στρώση. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε ομοιόμορφες ισοπαχείς επίπεδες στρώσεις και το πάχος του υλικό που διαστρώνεται θα πρέπει μετά την συμπύκνωση να είναι το προβλεπόμενο.

Όσον αφορά τις καθιζήσεις και τις συνιζήσεις θα πρέπει να προσδιορίζονται και να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα.

Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί τα οχήματα και τα μηχανήματα να είναι ελαφρού τύπου και η κίνηση τους να γίνεται μόνο αφού έχει διαστρωθεί υλικό επίχωσης πάχους τουλάχιστον 20 cm καθώς η απ' ευθείας επί των γεωσυνθετικών υλικών είναι δυνατόν να προκαλέσει φθορές και βλάβες.



Εικόνα 5.2: Κατασκευή οπλισμένης γης



Εικόνα 5.3: Κατασκευή οπλισμένης γης

Επιπρόσθετα τα φύλλα γεωσυνθετικών υλικών τοποθετούνται κάθετα προς τον άξονα της οδού. Αν έχουμε γεωσυνθετικά υλικά διαφορετικής αντοχής προς τις δύο κατευθύνσεις, θα πρέπει η κύρια διεύθυνση να τοποθετείται κάθετα προς τον άξονα της οδού. Τα στοιχεία οπλισμού τοποθετούνται έπειτα την συμπύκνωση της στρώσης του εδαφικού υλικού.

Για τη στερέωση των γεωσυνθετικών υλικών χρησιμοποιούνται απλές μεταλλικές ράβδοι. Όμως αν δεν προβλέπεται αναδίπλωση του γεωσυνθετικού υλικού δεν είναι αναγκαία η στερέωση. Η αναδίπλωση αποτελεί μια αποτελεσματική τεχνική μέθοδο αλλά παρουσιάζει κατασκευαστικές δυσκολίες και συνήθως εφαρμόζεται στα γεωυφάσματα και σε ορισμένα γεωπλέγματα χαμηλής αντοχής.

Τέλος τα συστατικά υλικά των γεωσυνθετικών φύλλων είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία και για αυτό επιβάλλεται η προστασία τους σε όλη τη διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας και αυτό επιτυγχάνεται αν η διάστρωση του υλικού επίχωσης επί του πρωτεύοντος οπλισμού γίνεται σε διάστημα μικρότερο των 48 ωρών για προστασία υλικού.



Εικόνα 5.4: Κατασκευή γης



Εικόνα 5.5: Κατασκευή γης

5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Με τον όρο ορισμό οπλισμένη επίχωση περιγράφουμε όλες τις γεωκατασκευές, όπως είναι τα έργα αντιστήριξης και τα επιχώματα, τα οποία ορίζονται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1475/ 13-03-2006. Το πρότυπο αυτό ορίζει, σχεδιάζει και κατασκευάζει τα επιχώματα έπειτα από τον υπολογιστικό έλεγχο, με κλίση αναβαθμών μικρότερη ή ίση από 71° και οποία οπλίζονται με γεωσυνθετικούς οπλισμούς. Όμως απαραίτητα προϋπόθεση είναι να έχει οριστεί από την αρχή η γεωτεχνική κατηγορία, στην οποία και ανήκει το εκάστοτε οπλισμένο επίχωμα καθώς και να τηρηθούν τα εξής βήματα:

1. Καθορισμός κατηγορίας και απαιτήσεων του επιχώματος

Για τη διάρκεια μιας ωφέλιμης χρήσης, τα επιχώματα κατατάσσονται σε κλάση 1 αν αφορούν προσωρινές κατασκευές με διάρκεια έως πέντε έτη και στις κλάσεις 2-5 για διάρκεια μεγαλύτερη των πέντε ετών σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 14475. Επίσης απαραίτητος είναι ο καθορισμός του είδους και της ποιότητας του γεωυλικού επίχωσης, εφόσον έχουν ληφθεί υπόψη οι συνθήκες επί το πεδίο καθώς και το είδος των στοιχείων όπλισης. Εξίσου αναγκαίος είναι ο καθορισμός τιμών των εφελκυστικών αντοχών, των σχετικών μειωτικών συντελεστών, των τιμών του μέτρου παραμορφωσιμότητας ανά επίπεδο φόρτισης και τέλος η διάρκεια της ωφέλιμης χρήσης

Όσον αφορά τη σπουδαιότητα, θα πρέπει να οριστεί εκ των προτέρων η γεωτεχνική κατηγορία κατά EN-1997-1, όπου αναφέρει τα παρακάτω:

i. A. Γεωτεχνική κατηγορία 1

Αφορά συνήθη απλά επιχώματα αμελητέου κινδύνου και περιορισμένων συνεπειών αν αστοχήσουν.

ii. B. Γεωτεχνική κατηγορία 2

Αφορά:

- Συνήθεις κινδύνους και δυσμενείς συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας
- Συνήθη οπλισμένα επιχώματα με εξαίρεση τα κατατασσόμενα στην GK3 & GK1)
- Ομαλές γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης

iii. Γ. Γεωτεχνική κατηγορία 3

Αφορά:

- Υψηλό κίνδυνο με σοβαρές επιπτώσεις αν υπάρξει αστοχία
- Ιδιαίτερα επιχώματα με απότομη κλίση ή σύνθετη γεωμετρία
- Επιχώματα με δύσκολη θεμελίωση ή με ασυνήθιστες φορτίσεις ή που βρίσκονται σε κρίσιμη σεισμική ζώνη, όπου επηρεάζεται η συνολική λειτουργία της κατασκευής
- Επιχώματα που δεν κατατάσσονται στις προαναφερθείσες κατηγορίες

Οι κατηγορίες αυτές έχουν στόχο την απρόσκοπτη λειτουργία του εκάστοτε έργου και υποδηλώνουν τη σπουδαιότητα της διατήρησης αυτού σε συνθήκες που λειτουργεί πλήρως. Επιπλέον σημειώνουν την έμφαση και τη ποιότητα των απαιτούμενων γεωτεχνικών ερευνών, τη βαρύτητα που πρέπει να δοθεί στην επίβλεψη της κατασκευής, αλλά και το κατάλληλο επίπεδο οργάνωσης και συντήρησης του έργου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Τέλος η μελέτη προσαρμόζεται με βάση το είδος και την ποιότητα των γεωυλικών, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά και τις τιμές των απαιτούμενων παραμέτρων των στοιχείων όπλισης.

2. Βασικές αρχές υπολογιστικών ελέγχων:

Τα οπλισμένα επιχώματα θα ελέγχονται με τη μέθοδο οριακής ισορροπίας έναντι καταστάσεων αστοχίας με τη χρήση οποιαδήποτε μεθόδου ελέγχου ευστάθειας (Bishop, Janbu, Spencer), που πέραν των εδαφικών παραμέτρων λαμβάνονται υπόψη οι τριβές και οι αντοχές των οπλισμών. Τα στοιχεία όπλισης εξυπηρετούν στην αύξηση του συντελεστή ασφάλειας, με την εισαγωγή εφελκυστικής δύναμης στις εξισώσεις απότομης κλίσης ή υπεδάφους μειωμένης φέρουσας ικανότητας.

Με τον έλεγχο λειτουργικότητας επιτυγχάνεται ο υπολογισμός των μετακινήσεων και γενικότερα των παραμορφώσεων της γεωκατασκευής. Η βαρύτητα αυτών χαρακτηρίζεται ανεκτή όσο εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία της κατασκευής σε όλη τη διάρκεια της ωφέλιμης χρήσης. Στο κομμάτι των λειτουργικών ελέγχων περιλαμβάνονται έλεγχοι των καθιζήσεων του υπεδάφους της θεμελίωσης και των συνιζήσεων του επιχώματος κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1475. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται έλεγχος των οριζόντιων παραμορφώσεων της παρειάς του επιχώματος, όπου οι μέγιστες ανεκτές τιμές λαμβάνονται με τις παρακάτω Γαλλικές οδηγίες:

- i. Τοποθέτηση οπλισμών, συνδεδεμένοι επαρκώς με το σύστημα παρειάς και ελαφρά προέντασης της πίσω απόληξης τους κατά την τοποθέτηση
- ii. Τοποθέτηση οπλισμών, χωρίς επαρκή σύνδεση με το σύστημα παρειάς (ή έλλειψη φέροντος συστήματος παρειάς) και χωρίς συστηματική προένταση

Με σκοπό την διαστασιολόγηση των επιχωμάτων εξετάζονται οι πιθανοί μηχανισμοί δυναμικής αστοχίας (εξωτερική, εσωτερική, δυναμική ευστάθεια) για όλους τους συνδυασμούς φόρτισης και εφαρμόζονται οι ελάχιστοι συντελεστές ασφάλειας.

Κατά τους μετακατασκευαστικούς ελέγχους των οριζόντιων παραμορφώσεων, λαμβάνεται υπόψη η μείωση του μέτρου παραμορφωσιμότητας των οπλισμών σε συνάρτηση με τον χρόνο, υπό σταθερή ένταση, προσομοιάζοντας έτσι την ερπυστική συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα γεωσυνθετικά στοιχεία όπλισης.

Πίνακας 3 Συνθήκες φόρτισης-Απαιτούμενος συνολικός συντελεστής ασφαλείας

Συνδυασμός φόρτισης	Συνθήκες	Παράμετροι διατμητικής αντοχής για τα εδαφικά στρώματα	Απαιτούμενος συνολικός συντελεστής ασφαλείας
1	Βραχυχρόνιες στατικές	Αστράγγιστες συνθήκες (συνεκτικά εδάφη)	1.2
2	Μακροπρόθεσμες με σεισμό	Βελτιωμένη αστράγγιστη λόγω στερεοποίησης (συνεκτικά εδάφη)	1.00
3	Μακροπρόθεσμες με ανώτατη στάθμη υπογείου οριζοντα 50ετίας	Ενεργές παράμετροι αντοχής	1.30

Πίνακας 4: Κατάταξη έργου

Κατάταξη έργου	ΓΚ2		ΓΚ3	
	A	B	A	B
Τρόπος τοποθέτησης οπλισμών				
Για κλίσεις παρειάς $\mu:\beta > 3:1$	0.8%	0.4%	0.4%	0.2%
Για κλίσεις παρειάς $\mu:\beta \leq 3:1$	1.6%	0.8%	0.8%	0.4%

3. Σεισμικής ευστάθειας

Προκειμένου να γίνει ο καθορισμός της σεισμικής ευστάθειας εκτελείται μια ανάλυση ψευδοστατικού τύπου, η οποία πρέπει να τηρεί όσα αναγράφονται στα ΕΑΚ (2000) για πρανή-αναχώματα.

Σε περιοχές σεισμικότητας III ή IV, σε εδάφη κατηγορίας Γ και για κατασκευές σπουδαιότητας Σ3 ή Σ4, οι εκτιμήσεις των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής βασίζονται σε επιτόπιες ή και σε εργαστηριακές δοκιμές από ανακυκλική φόρτιση. Στη περίπτωση των αργιλικών εδαφών λαμβάνεται η μετά από μεγάλη παραμόρφωση, αντοχή. Η ευστάθεια αναχωμάτων με ύψος έως και 15 μέτρα, ελέγχεται με την θεώρηση επιπρόσθετων οριζόντιων ενεργών επιταχύνσεων της μάζας τους. Σε περίπτωση αναχωμάτων άνω των 15 μέτρων που φέρουν έργα μεγάλης σημασίας, δεν καλύπτεται από τον συγκεκριμένο κανονισμό και πρέπει να γίνει ειδική γεωτεχνική και σεισμική μελέτη.

4. Καθορισμός βασικών αρχών κατασκευαστικών διατάξεων

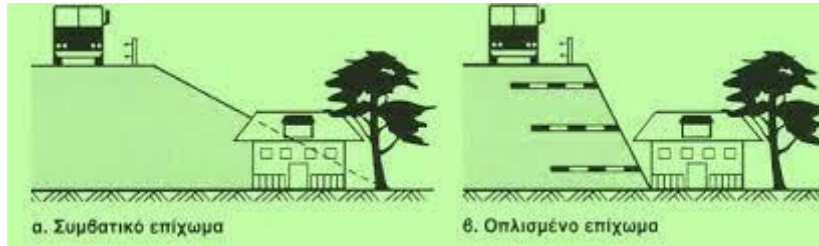
Οι κατασκευαστικές διατάξεις ορίζονται από τον ΕΛΟΤ EN 14475/ 13-3-2006, με τις παρακάτω διευκρινήσεις:

- Οι αποστάσεις καθ' ύψος των οπλισμών πρέπει να είναι ακέραια πολλαπλάσια του συμπυκνωμένου πάχους των επιμέρους στρώσεων του εδαφικού υλικού του επιχώματος, για να εξασφαλιστεί ικανοποιητική συμπύκνωση. Τα όρια τα οποία συνιστώνται είναι μεταξύ των 20 cm έως 80 cm, και να μην υπερβούν το 1 μέτρο, για να εξασφαλιστεί η μηχανική λειτουργία του οπλισμένου τμήματος ως σύνθετο υλικό.
- Συνίσταται τα μήκη και οι δυσκαμψίες να μην είναι έντονα ασυνεχές μεταβαλλόμενα καθ' ύψος.
- Για μη συνεχόμενα φύλλα οπλισμού τα οποία είναι τοποθετημένα οριζόντια, θα πρέπει οι μεταξύ τους αποστάσεις να μην υπερβαίνουν το διπλάσιο του πλάτους του.
- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί το βάθος θεμελίωσης των επιχωμάτων, κυρίως σε περιπτώσεις εγκάρσιας κλίσης εδάφους και σε περιπτώσεις έντονης κλίσης παρειάς.
- Οι προτάσεις για τον συνδυασμό γεωυλικών, στοιχείων όπλισης και συστημάτων επένδυσης παρειάς δεν αποτελούν προδιαγραφή, παρά μόνο οδηγία.
- Κάθε ειδικό χαρακτηριστικό υλικού πρέπει να καθορίζεται στη μελέτη του έργου.
- Σε λεπτόκοκκα υλικά επίχωσης με ποσοστά υγρασίας που ξεπερνούν την μέγιστη, δεν έχουμε την επιθυμητή συμπύκνωση.
- Σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έδρασης του έργου.

6. ΣΗΜΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ

Η μέθοδος της οπλισμένης γη εφαρμόζεται ευρέως στους εξής κατασκευαστικούς τομείς:

1. Σε έργα οδοποιίας ως:



Εικόνα 6.1: Απεικόνιση συμβατικού & οπλισμένου επιχώματος

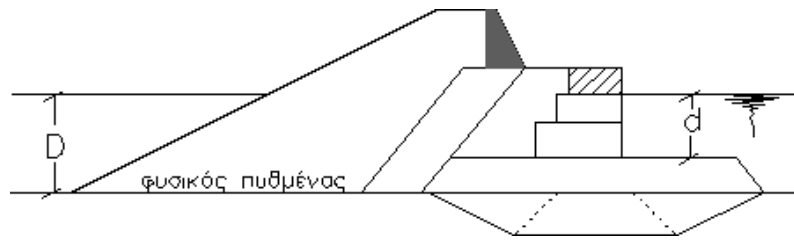
- Κυκλοφορούμενα επιχώματα:
 - i. Για την αντικατάσταση τοίχων αντιστήριξης ή πόδος, όταν στα άοπλα επιχώματα δεν έχουμε το κατάλληλο πλάτος για την εφαρμογή των ήπιων κλίσεων πρανών
 - ii. Για την αντικατάσταση έργων γεφύρωσης ή υψηλών τοίχων πόδος σε ισχυρή εγκάρσια κλίση εδάφους
 - iii. Για την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή την ομογενοποίησή της για την αποφυγή διαφορικών καθιζήσεων, τα οποία φέρουν οπλισμό στην στέψη ή στην βάση
- Επιχώματα ακροβαθρών είτε για την αντικατάσταση των τοίχων αντεπιστροφής είτε για την αντικατάσταση των ίδιων των βάθρων
- Αντιθоруβικά φράγματα για διαμορφώσεις με επιχώματα απότομης κλίσης συνήθως επενδυμένα με τεχνητή φύτευση

2. Στην διαμόρφωση χώρων:

Με την χρήση επιχωμάτων για την δημιουργία επίπεδων ή βαθμιδωτών επιφανειών

3. Στα κρηπιδώματα:

- i. Σε λιμενικά έργα ως οπλισμένα κατακόρυφα κρηπιδώματα
- ii. Στα υδατορεύματα ως οπλισμένες επενδύσεις πρανών απότομης κλίσης



Εικόνα 6.2: Εφαρμογή ολισμένης γης σε λιμενικό έργο

4. Στην αντιστήριξη απότομων πανών φυσικού εδάφους ή και ορυγμάτων



Εικόνα 6.3: Αντιστήριξη φυσικού εδάφους

Με την χρήση οπλισμένων αντίβαρων, απότομης κλίσης σε κατολισθαίνουσες ή επιρρεπείς προς κατολίσθηση περιοχές, με την κατασκευή τεχνητής βαθμίδας στη στέψη του επιχώματος, η οποία προσφέρει πρόσθετη παθητική προστασία στον κατάντη χώρο.

6.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην σύγχρονη εποχή, στην Ελλάδα έχουν μελετηθεί και κατασκευαστεί αρκετά σημαντικά οπλισμένα επιχώματα, με γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τεχνική δυσκολία των οποίων όμως η συμπεριφορά στον χρόνο υστερεί. Μερικά από αυτά είναι:

1. Εγνατία οδός (περιοχή Πολύμυλος-Λευκόπετρα)



Εικόνα 6.4: Κατασκευή Εγνατίας οδού

Για το τμήμα 5.1 της Εγνατίας οδού εισάχθηκε η ιδέα της αντικατάστασης της προβλεπόμενης από την οριστική μελέτη του έργου γέφυρας, του αριστερού κλάδου μεταξύ των σηράγγων Σ11 και Σ12 με υψηλό επίχωμα, οπλισμένο στην βάση του. Αυτό αποτελούσε αναγκαία λύση λόγω του έντονου ανάγλυφου του εδάφους της περιοχής, όπου στον αριστερό κλάδο ήταν απαραίτητη η κατασκευή γέφυρας, ενώ ο δεξιός κλάδος παρευρίσκεται σε ημιδιατομή με μεγάλο ύψος ορύγματος.

Με δύο επάλληλους τοίχους οπλισμένης γης, σχεδιάστηκε το οπλισμένο επίχωμα με τον κατώτερο να έχει ύψος 6,50 m και τον ανώτερο 7,50 m, με ενδιάμεση βαθμίδα πλάτους 4,00 m. Στην θέση των δύο επάλληλων τοίχων, το συνολικό ύψος του επιχώματος φθάνει τα 36 m, με το πρανάς που σχηματίζεται να έχει κλίση 1:1,75. Για την καλύτερη λειτουργία της οδού εξυπηρέτησης Εγνατίας κατάντη του αριστερού κλάδου σχεδιάστηκε τρίτος τοίχος αντιστήριξης, με ύψος 7,20 m με οριζόντια βαθμίδα πλάτους 10,00 m κατάντη αυτού.

Για τον οπλισμό χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά πλέγματα σε μορφή λωρίδων, με πλάτος 0,60 m κατακόρυφη απόσταση 0,75 m και σε αξονική απόσταση 1,00 m, με ονομαστική εφελκυστική αντοχή 72 kN/m, της εταιρείας VSL. Τα υλικά επίχωσης του οπλισμένου επιχώματος προέρχονται από προϊόντα εκσκαφής των εκατέρωθεν σηράγγων, γνευσιακής και γρανιτικής προέλευσης.



Εικόνα 6.5: Κατασκευή τοίχων οπλισμένης γης Εγνατίας οδού

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει δεδομένα προκαταρκτικής διαστασιολόγησης και γεωτεχνικού σχεδιασμού της Εγνατίας οδού βάσει θεμελιωδών θεωρητικών προσεγγίσεων.

Πίνακας 5: Δεδομένα προκαταρκτικής διαστασιολόγησης και σχεδιασμού Εγνατίας οδού

Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού

Γνεύσιος (gn)	Γρανίτης (gr)	Κορήματα (SC)
$\varphi' = 35^\circ$	$\varphi' = 35^\circ$	$\varphi' = 35^\circ$
$c' = 80 \text{ kPa}$	$c' = 120 \text{ kPa}$	$c' = 10 \text{ kPa}$
$\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
$E = 600 \text{ MPa}$	$E = 900 \text{ MPa}$	

Με την κατασκευή των επάλληλων τοίχων και του επιχώματος είναι απαραίτητη η χρήση διαφορετικής διαβάθμισης υλικών στον πόδα της οπλισμένης γης (υλικά κατηγορία E3, E4) αλλά και στο υπόλοιπο επίχωμα (υλικά κατηγορίας E1, E2), όπου δεν υπήρχαν παρόμοιες υψηλές απαιτήσεις ως προς την γωνία της εσωτερικής τριβής. Έτσι, η διαλογή των προϊόντων εκσκαφής των σηράγγων, όπου η κοκκομετρική διαβάθμιση των λαμβανομένων μερών θα πρέπει να εξασφαλίζει τις απαιτούμενες παραμέτρους διατμητικής αντοχής κατά ζώνη κατασκευής, έχει ως εξής:

Πίνακας 6: Παράμετροι διατμητικής αντοχής των ζωνών κατασκευής της Εγνατίας οδού

Ενεργές παράμετροι διατμητικής αντοχής επί μέρους ζωνών

άνω ζώνη επιχώματος	ζώνη οπλισμένης γης	στραγγιστική στρώση
$\varphi' = 35^\circ$	$\varphi' = 36^\circ$	$\varphi' = 35^\circ$
$c' = 5 \text{ kPa}$	$c' = 0 \text{ kPa}$	$c' = 0 \text{ kPa}$
$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι το κατασκευαστικό έργο της Εγνατίας οδού αντιστοιχεί, σύμφωνα με τον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του ΕΑΚ, στην Ζώνη II. Ειδικότερα, εξαιτίας της μη ομοιόμορφης διατομής και της ιδιαιτερότητάς της, κατά τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και το στάδιο κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν πολυποίκλοι συντελεστές οριζόντιας και κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης. Ιδίως, η διαστασιολόγηση κάθε επί μέρους τμήματος του επιχώματος και των τοίχων βασίστηκε στα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά διαστασιολόγησης και κατασκευής των τμημάτων του επιχώματος και των τοιχών της Εγνατίας οδού

σώμα επιχώματος	ah = 0,16	av = ±0,08
κάτω διπλός τοίχος	ah = 0,16	av = ±0,048
άνω τοίχος	ah = 0,20	av = ±0,06

2. Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (περιοχή Φαληρικό Δέλτα)

Το Κέντρο Πολιτισμού αυτό ολοκληρώθηκε το 2016 στον Φαληρικό Όρμο, στον οποίο φυσικά περιλαμβάνονται και οι κατασκευές της Εθνικής Λυρικής Σκηνής, της Εθνικής Βιβλιοθήκης και του πάρκου Σταύρος Νιάρχος. Μάλιστα, το έργο αυτό σχεδιάστηκε με την κατάλληλη μαθηματική μοντελοποίηση και κατ' επέκταση οικονομική επένδυση έτσι ώστε να παρουσιάζει τις ελάχιστες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Εικόνα 6.6: Κατασκευή Κέντρου Πολιτισμού Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος

Πιο συγκεκριμένα, ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και οικολογικής συνείδησης του κατασκευαστικού αυτού έργου είναι ο τεχνητός του λόφος, ο οποίος μάλιστα διαθέτει ύψος 14 m. Ο λόφος αυτός επεκτείνεται ως φυτεμένο δώμα πάνω από τα οικοδομήματα της Εθνικής Βιβλιοθήκης και της Εθνικής Λυρικής. Όσον αφορά λοιπόν τη φύτευσή του, διαθέτει 600 δένδρα και 70.000 θάμνους.

Παράλληλα, για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και την διαμόρφωση του τεχνητού αυτού λόφου απαιτήθηκαν επιχώσεις διαστάσεων έως και 500.000 m³, ενώ τα συστατικά τους μέλη (σύσταση) και τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά αναλύονται σε προϊόντα εκσκαφών και διάφορες κατασκευές του συγκροτήματος. Τέλος, όσον αφορά το κλείσιμο ή αλλιώς την στέγαση της κατασκευής του λόφου, χρησιμοποιήθηκε επιφανειακή στρώση από κηπευτικό χώμα το οποίο μάλιστα είναι και απαραίτητο για τις φυτεύσεις, αλλά και για τις αγροτικές δραστηριότητες, την γεωργία, την κτηνοτροφία και για διάφορα επαγγέλματα στον κλάδο της γεωπονίας. Η επιφανειακή στέγαση του λόφου με το κηπευτικό αυτό χώμα συνεισφέρει στην ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης του έργου και στην ελαχιστοποίηση των επιφανειακών απορροών και της υγρασίας.

Τέλος, όσον αφορά τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του λόφου που είναι και το αντικείμενο που αφορά την ερευνητική αυτή μελέτη, ο λόφος κατασκευάστηκε με την κλασική μέθοδο της **οπλισμένης γης**, βασισμένος στην χρήση των **γεωπλεγμάτων**. Ορισμένα σημαντικά σχεδιαστικά κριτήρια είναι ότι κατασκευάστηκαν 3.200 χαλικοπάσσαλοι, χρησιμοποιώντας 25.000 m³ θραυστό υλικό. Η επιλογή αυτή στηρίχτηκε στην επιθυμία για την αποφυγή ρευστοποίησης του εδάφους σε περίπτωση πιθανού έντονου σεισμού, αλλά και στην διευκόλυνση και ενίσχυση σχηματισμού αποστραγγισμάτων με στόχο την εξασφάλιση της αποφυγής καθιζήσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρουσία του υψηλού υδροφόρου

ορίζοντα στην περιοχή διευκολύνει την επίτευξη αυτή. Έτσι, μετά από κατάλληλες πειραματικές μετρήσεις εξήχθη ότι παρόλο που η αναμενόμενη καθίζηση ήταν 40 cm, εν τέλει, χάρη σε ενδείξεις σταθεροποίησης σε διάστημα έως και 3 μηνών, περιορίστηκε στα 20 cm.



Εικόνα 6.7: Σχεδιασμός και κατασκευή του λόφου με βάση την μέθοδο των γεωπλεγμάτων της οπλισμένης γης

6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ



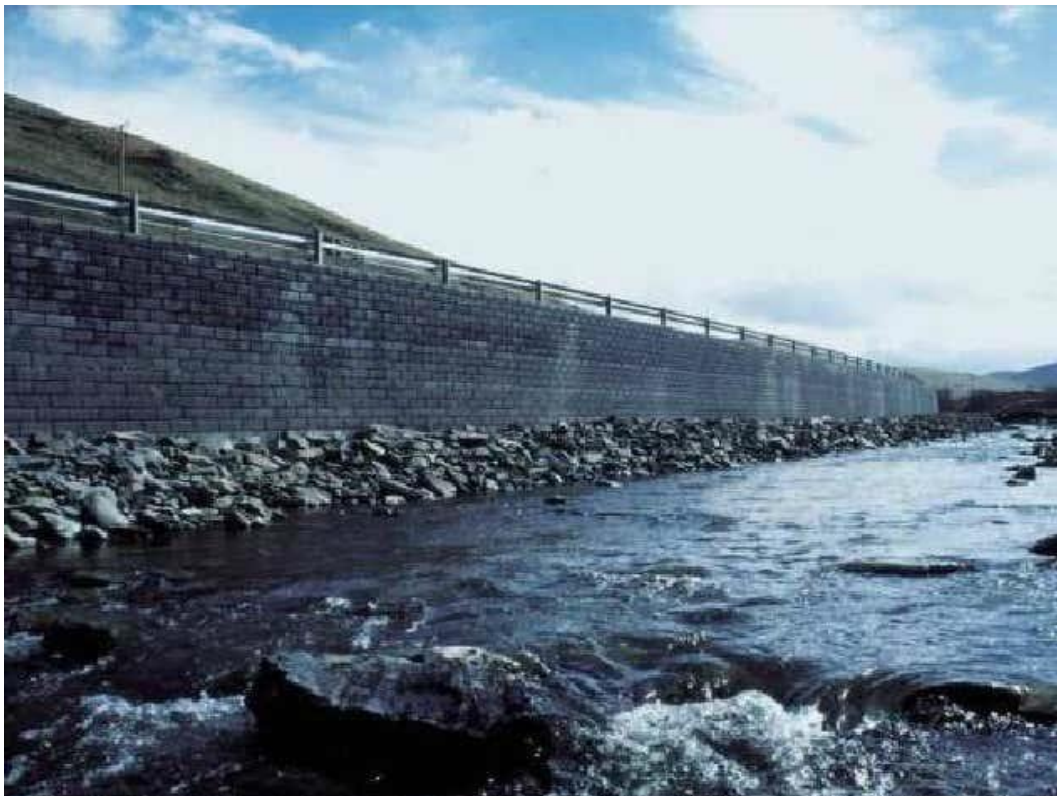
Εικόνα 6.8: Αυτοκινητόδρομος Blerick στην Ολλανδία



Εικόνα 6.9: Οπλισμένο επίχωμα με τεχνητή φύτευση



Εικόνα 6.10: Οπλισμένο επίχωμα με συρματοκιβώτια



Εικόνα 6.11: Χρήση οπλισμένης γης ως αντιπλημμυρική προστασία



Εικόνα 6.12: Κατασκευή λιμνοδεξαμενής



Εικόνα 6.13: Οπλισμένη γη σε έργο οδοποιίας

7. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα για την μελέτη και εφαρμογή της οπλισμένης γης είναι το πως μοντελοποιούνται μαθηματικά οι παράμετροι και οι συντελεστές σχεδιασμού της. Η βασική παράμετρος λοιπόν που λαμβάνεται υπόψη κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι η **ευστάθεια τοίχου οπλισμένης γης**.

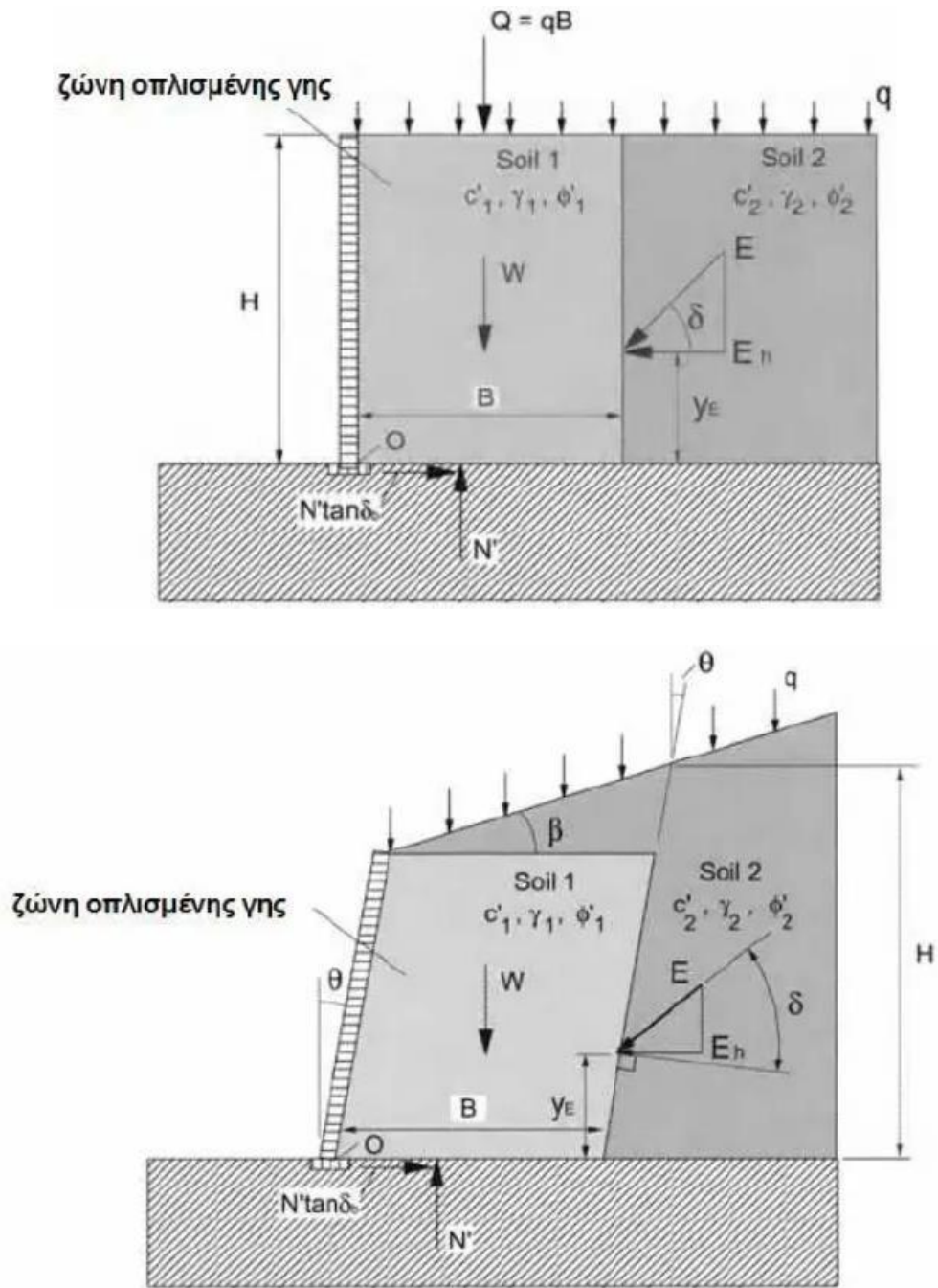
Στο γενικότερο πλαίσιο, η ευστάθεια των κατασκευών έχει ως στόχο τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων για τον οπλισμό τους με στόχο να αντιμετωπιστούν προβλήματα και κατασκευαστικά ζητήματα που σχετίζονται με την *εσωτερική και εξωτερική ευστάθεια*. Η ευστάθεια κατασκευών λοιπόν της οπλισμένης γης γίνεται με δύο μεθόδους:

1. Μέθοδος οριακής ισορροπίας
2. Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

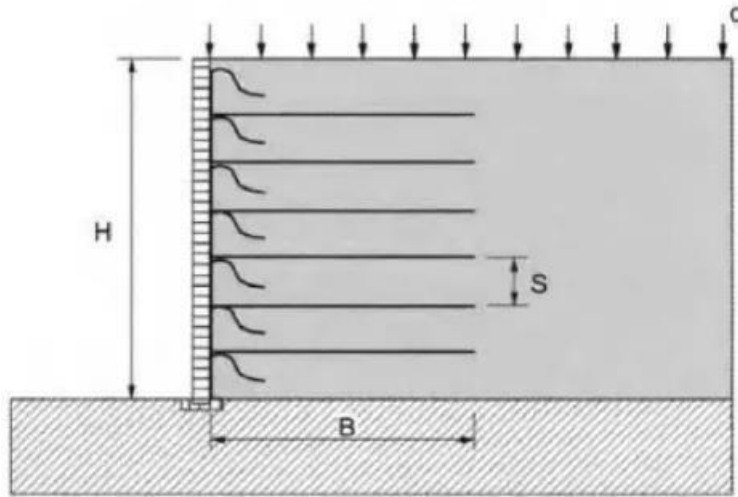
Η ευστάθεια τοίχου οπλισμένης γης αναφέρεται και ως *μηχανισμός δυνητικής αστοχίας*, ενώ με βάση τα μαθηματικά μοντέλα και τις αποδεικτέες εξισώσεις που έχουν προκύψει παρατηρούνται τρεις καταστάσεις δυνητικής αστοχίας (ευστάθειας τοίχου). Οι μορφές λοιπόν αυτές είναι η **εξωτερική ευστάθεια (ES)**, η **εσωτερική ευστάθεια (IS)** και η **σύμμεικτη ευστάθεια (CS)** και αναλύονται ακολούθως.

a) Εξωτερική ευστάθεια (External Stability):

Στην δεδομένη συνθήκη (μηχανισμό) δυνητικής αστοχίας, το οπλισμένο σώμα του επιχώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον έλεγχο ως ένα ασυμπίεστο και μη παραμορφώσιμο στερεό (στατικό) σώμα που έχει την ικανότητα να παραλάβει ωθήσεις και να μεταβιβάσει υπό την βάση του δυνάμεις θλίψης και διάτμησης. Επιπλέον, δεν λαμβάνουν χώρα στοιχεία και μηχανισμοί όπλισης, με εξαίρεση βέβαια την περίπτωση γεωμετρικού καθαρισμού του οπλισμένου τμήματος του επιχώματος. Παράλληλα, στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τυπικές διατομές ανάλυσης της ισορροπίας των τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένη γη βάσει της εξωτερικής ευστάθειας. Ειδικότερα, όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η οπλισμένη ζώνη δέχεται το ίδιο βάρος της, ένα ομοιόμορφα κατανεμημένο επιφανειακό φορτίο και τις ωθήσεις των γαιών της όπισθεν αυτής επίχωσης.



Εικόνα 7.1: Δυνάμεις ασκούμενες στην οπλισμένη ζώνη του επιχώματος, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πίεση πόρων



Εικόνα 7.2: Τυπική διατομή τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένη γη

Αξίζει να αναφερθεί ότι στις παραπάνω εικόνες δεν αντιστοιχεί δεδομένο υλικό πλήρωσης της οπλισμένης ζώνης και του πρίσματος όπισθεν αυτής καθώς μπορεί να διαφέρουν με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους και της οικονομικότητας της κατασκευής.

Η πρώτη βασική παράμετρος που μελετάται κατά τον έλεγχο της εξωτερικής ευστάθειας είναι η ενεργή ώθηση των γαιών. Με σκοπό την εκτίμησή της, έχουν προταθεί διάφορες θεμελιώδεις θεωρητικές προσεγγίσεις και μαθηματικές μοντελοποιήσεις. Η διασημότερη από αυτές είναι η θεωρία του Rankine, καθώς αποτελεί την πιο αυστηρή, ορθή και συντηρητική προσέγγιση της μελέτης αυτής. Στην περίπτωση λοιπόν οριζόντιας επιφάνειας του εδάφους, η ενεργός ώθηση κατά Rankine εκτιμάται μέσω του υπολογισμού του συντελεστή ώθησης γαιών, ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη εμπειρική εξίσωση:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1 - \sin(\varphi)}{1 + \sin(\varphi)} \quad (1)$$

Πέρα όμως από την σχέση του Rankine, μια αρκετά γνωστή και θεμελιώδης έκφραση είναι αυτή του Coulomb, κατά την οποία η ενεργή ώθηση υπολογίζεται ως εξής:

$$k = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2(\theta) \cdot \cos^2(\theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi' + \delta) \cdot \sin(\varphi' - \beta)}{\cos(\theta - \delta) \cdot \cos(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (2)$$

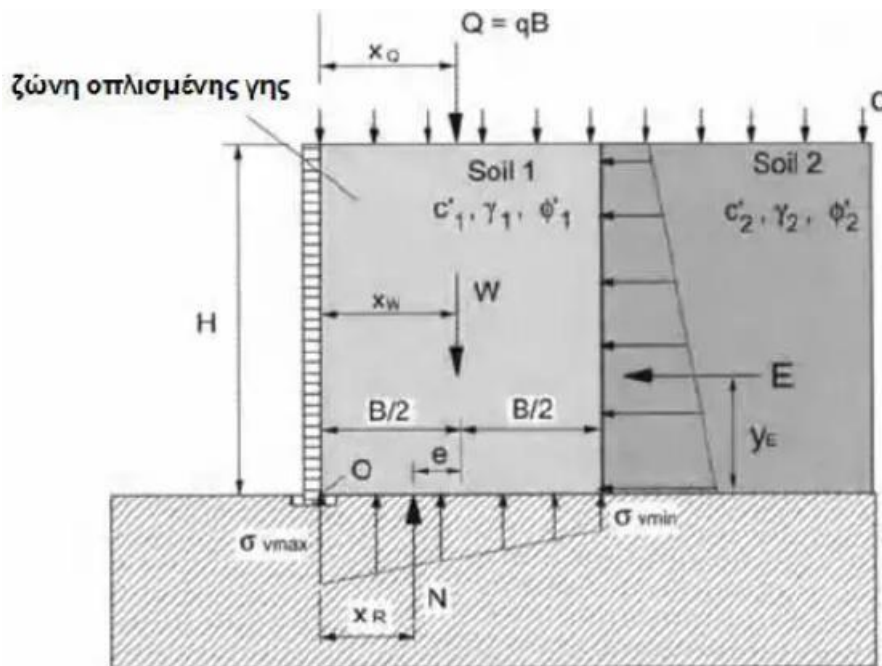
Στην παραπάνω σχέση ως φ' ορίζεται η γωνία εσωτερικής τριβής, η παράμετρος θ αντιπροσωπεύει την κλίση πρανούς ως προς την κατακόρυφο, η μεταβλητή δ αντιστοιχεί στην γωνία εσωτερικής τριβής επιχώματος – οπλισμένων γαιών και η σταθερά β αναπαριστά την κλίση της επιφάνειας του εδάφους.

Μια ακόμη παράμετρος λειτουργίας κατά την εκτίμηση της εξωτερικής ευστάθειας είναι ο έλεγχος σε ανατροπή. Η παράμετρος αυτή εκφράζει την αντίσταση του τοίχου αντιστήριξης σε ανατροπή με κέντρο περιστροφής τον πόδα του τοίχου, ο οποίος αντιστοιχεί στο σημείο O της εικόνας 1. Ξεκάθαρα, ο έλεγχος σε ανατροπή αποτελεί βασική συνθήκη ευστάθειας οποιουδήποτε τοίχου αντιστήριξης. Ειδικότερα, η παράμετρος αυτή εκτιμάται μέσω του συντελεστή ασφαλείας σε ανατροπή που αποτελεί πρακτικά τον λόγο των ροπών ευστάθειας και ανατροπής ως προς το κέντρο περιστροφής (σημείο O), οι οποίες μάλιστα δημιουργούνται από τις ίδιες τις δυνάμεις που ασκούνται στον τοίχο. Και στην περίπτωση αυτή λοιπόν, η θεωρία του *Rankine* μπορεί να αποδώσει τον συντελεστή αυτό ασφαλείας. Συγκεκριμένα, η αντίστοιχη έκφρασή του στηρίζεται στον υπολογισμό του ελάχιστου πλάτους της βάσης του τοίχου της ζώνης οπλισμένης γης ώστε οριακά να εξασφαλίζεται η μη ανατροπή του και έτσι να συμβάλει και στην προκαταρκτική διαστασιολόγηση και σχεδιασμό της κατασκευής με τα ελάχιστα απαιτούμενα οικονομικά έξοδα. Η εξίσωση λοιπόν που αποδίδει το ελάχιστο αυτό πλάτος εξήχθη ακολούθως:

$$B_{ovr} = \sqrt{\frac{2 \cdot FS_{ovr} \cdot E \cdot \gamma_E}{\gamma_1 \cdot H + q}} \quad (3)$$

Στην παραπάνω έκφραση ο συντελεστής B_{ovr} αντιστοιχεί στο απαιτούμενο πλάτος οπλισμένης ζώνης με στόχο την εξασφάλιση μη ανατροπής, ενώ η μεταβλητή FS_{ovr} αναφέρεται στον συντελεστή ασφαλείας σε ανατροπή, ο οποίος στις περισσότερες περιπτώσεις λαμβάνει την τιμή 1.5. Τέλος, η παράμετρος γ_E εκφράζει την απόσταση του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης των ωθήσεων E από την βάση του τοίχου.

Η παραπάνω λοιπόν ανάλυση και η συνολική μαθηματική μοντελοποίηση περιγράφεται από την ακόλουθη εικόνα που σχηματικά παρουσιάζει όλες τις αναλυόμενες μεταβλητές και παραμέτρους.



Εικόνα 7.3: Σχηματική αναπαράσταση των παραμέτρων μαθηματικής μοντελοποίησης της εφαρμογής της οπλισμένης γης

Η τελευταία παράμετρος που μελετάται κατά την εκτίμηση της εξωτερικής ευστάθειας της οπλισμένης γης είναι η κατανομή τάσεων στην βάση του τοίχου. Γενικότερα, στην βάση του τοίχου ασκείται δύναμη φορτίου που μπορεί να χαρακτηριστεί ως έκκεντρη. Ακόμα, με στόχο την εξαγωγή των απαιτούμενων σχέσεων που μοντελοποιούν με μαθηματική ακρίβεια τις ασκούμενες τάσεις στον τοίχο, πραγματοποιείται η παραδοχή ότι το διάγραμμα των αναπτυσσόμενων τάσεων είναι τραπεζοειδές και φυσικά καταλαμβάνει το συνολικό πλάτος επαφής ανωδομής-εδάφους.

Η ελάχιστη τιμή των αναπτυσσόμενων κατακόρυφων τάσεων υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma_{vmin} = \frac{2 \cdot N}{B} \cdot \left(\frac{3 \cdot x_R}{B} - 1 \right) \quad (4)$$

Αντίστοιχα, η μέγιστη τιμή των αναπτυσσόμενων κατακόρυφων τάσεων προκύπτει ίση με:

$$\sigma_{vmax} = \frac{2 \cdot N}{B} \cdot \left(2 - \frac{3 \cdot x_R}{B} \right) \quad (5)$$

Η μεταβλητή x_R των εξισώσεων (4) και (5) αποδίδεται μέσω κατάλληλης γεωμετρικής απόδειξης από την ακόλουθη συναρτησιακή σχέση:

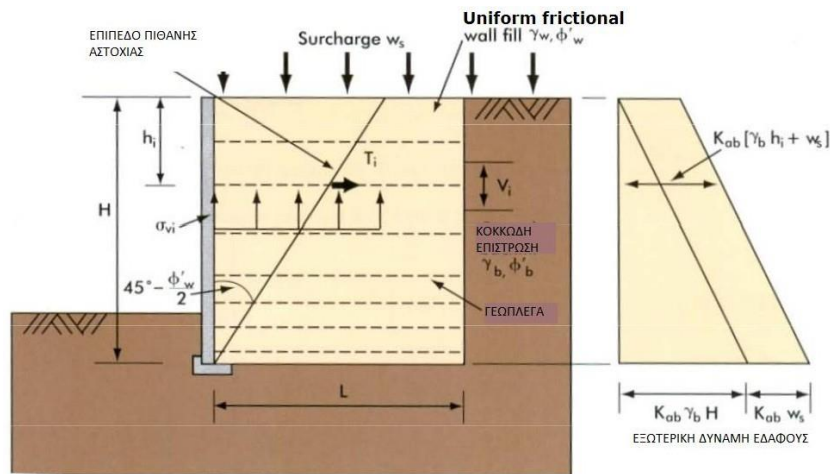
$$x_R = \frac{W \cdot x_W + Q \cdot x_Q - E \cdot y}{W + Q} \quad (6)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι στις εκφράσεις (4), (5) και (6) όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ως σ_{vmax} ορίζεται η μέγιστη κατακόρυφη τάση στην βάση του τοίχου και αντιστοίχως ως σ_{vmin} η ελάχιστη. Επιπλέον, η παράμετρος N αποτελεί την ορθή δύναμη στη βάση του τοίχου, όπου σύμφωνα με την εικόνα 3 με στόχο την επίτευξη οριακής εξωτερικής ευστάθειας (ισορροπίας) είναι ίση με:

$$N = Q + W \quad (7)$$

Τέλος, η μεταβλητή x_R που ορίζεται στην εξίσωση (6) ουσιαστικά αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ του σημείου εφαρμογής της δυνάμεως N και του πόδα του τοίχου (σημείο O). Οι όροι x_W και x_Q αναφέρονται στους μοχλοβραχίονες των δυνάμεων W και Q αντιστοίχως ως προς το σημείο O (κέντρο περιστροφής στον πόδα του τοίχου).

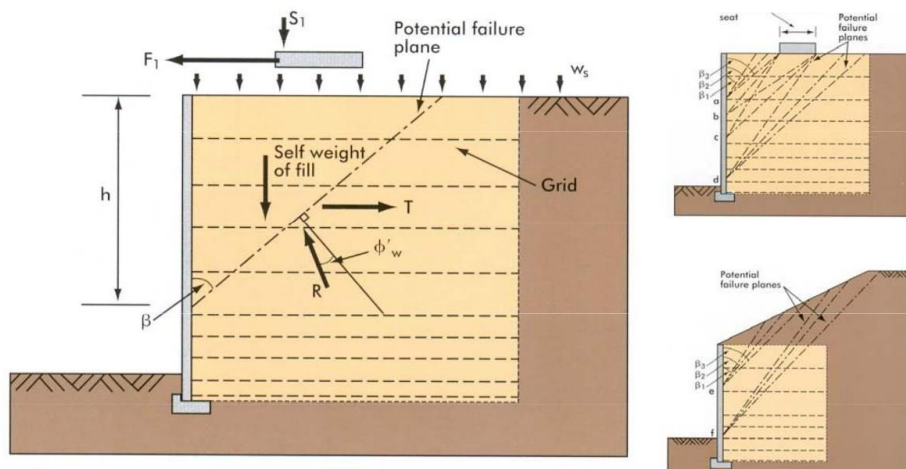
b) Εσωτερική ευστάθεια (Internal Stability):



Εικόνα 7.4: Έλεγχος αντοχής οπλισμού σε εφελκυσμό

Όσον αφορά την εσωτερική ευστάθεια, η κατάσταση αυτή αστοχίας στηρίζεται στον έλεγχο πιθανών μηχανισμών δυνητικής αστοχίας χρησιμοποιώντας πολυγωνικές και περιστροφικές επιφάνειες, οι οποίες ασκούνται εντός του οπλισμένου σώματος του επιχώματος (στο εσωτερικό του). Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την εκτίμησή τους, συνυπολογίζεται και η συνεισφορά που προκύπτει από το κομμάτι των οπλισμών. Μερικοί έλεγχοι εσωτερικής ευστάθειας αναφέρονται ως εξής:

1. Θραύση οπλισμού
2. Ολίσθηση οπλισμού
3. Αστοχία σύνδεσης
4. Διατμητική αστοχία
5. Ανατροπή



Εικόνα 7.5: Έλεγχος αντοχής οπλισμού σε εξόγκωση-ολίσθηση

c) Σύμμεικτη ευστάθεια (Compound Stability):

Η τρίτη και τελευταία αυτή συνθήκη αστοχίας βασίζεται στην ανάλυση των πιθανών μηχανισμών και καταστάσεων δυνητικής αστοχίας χρησιμοποιώντας στην περίπτωση αυτή πολυγωνικές και περιστροφικές επιφάνειες. Οι επιφάνειες αυτές έχουν την δυνατότητα να διέρχονται ταυτόχρονα τόσο εντός όσο και εκτός του οπλισμένου σώματος του επιχώματος.

Πέρα από την θεμελιώδη παράμετρο της ευστάθειας τοίχου οπλισμένης γης που λαμβάνεται υπόψη κατά την μαθηματική μοντελοποίηση, ένας ακόμη απαραίτητος έλεγχος είναι αυτός του **σχεδιασμού στοιχείων οπλισμού**. Ειδικότερα, καθώς οι γεωσυνθετικοί οπλισμοί δεν έχουν σταθερή εφελκυστική αντοχή, αλλά παρατηρείται εξάρτηση από το χρονικό διάστημα που τους επιβάλλεται κάποια φόρτιση και από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, οι εφελκυστικές αντοχές σχεδιασμού των στοιχείων όπλισης κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου και τις συνθήκες ταχείας φόρτισης, διαφοροποιούνται, και προκύπτουν από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$T_k = \frac{T_{ult}}{RF} \quad (8)$$

$$T_d = \frac{T_k}{\gamma_M} \quad (9)$$

$$T_{k,s} = \frac{T_{ult}}{f_m \cdot f_e \cdot f_d} \quad (10)$$

$$T_{d,s} = \frac{T_{k,s}}{\gamma_M} \quad (11)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις, ως T_{ult} χαρακτηρίζεται η ονομαστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης (εργοστασιακή αντοχή), ενώ η μεταβλητή T_k αντιπροσωπεύει την χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης σε μακροχρόνιες συνθήκες, διάρκειας ίση με την διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του έργου. Επιπρόσθετα, η παράμετρος $T_{k,s}$ αναφέρεται στην αντίστοιχη χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης σε βραχυχρόνιες συνθήκες ταχείας φόρτισης, ο συντελεστής T_d παρουσιάζει την εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού στοιχείου όπλισης στην απαιτούμενη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του κατασκευαστικού έργου και ως $T_{d,s}$ ορίζεται η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού στοιχείου όπλισης σε βραχυχρόνιες συνθήκες ταχείας φόρτισης και δεδομένης διάρκειας λειτουργίας και ανθεκτικότητας. Τέλος, η παράμετρος RF ($= f_m \cdot f_e \cdot f_d \cdot f_{cr}$) χαρακτηρίζει τους επαλληλιζόμενους επιμέρους μειωτικούς συντελεστές επί της ονομαστικής εφελκυστικής αντοχής του στοιχείου όπλισης. Ειδικότερα, f_m είναι ο συντελεστής

μείωσης έναντι αποκλίσεων της παραγωγής και της χρονικής προέκτασης δεδομένων, f_e ο συντελεστής μείωσης εξαιτίας περιβαλλοντικών προσβολών (χημικών, βιολογικών και υπεριώδους ακτινοβολίας), f_d ο συντελεστής μείωσης λόγω φθορών κατά την τοποθέτηση και κατασκευή, f_{cr} ο συντελεστής μείωσης εξαιτίας συνθηκών ερπυσμού σε δεδομένη θερμοκρασία εδάφους και για την απαιτούμενη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του κατασκευαστικού έργου, ενώ τέλος γ_M είναι ο επιμέρους μειωτικός συντελεστής ασφαλείας επί των χαρακτηριστικών εφελκυστικών αντοχών του στοιχείου όπλισης προκειμένου να μετατραπούν οι χαρακτηριστικές αντοχές σε τιμές σχεδιασμού. Αξίζει να αναφερθεί ότι, οι τιμές της παραμέτρου γ_M διαφοροποιούνται στις περιπτώσεις ελέγχων με χρήση της βραχυχρόνιας ή της μακροχρόνιας αντοχής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των συντελεστών μείωσης και της εργοστασιακής αντοχής καθορίζονται από τα αντίστοιχα πιστοποιητικά του στοιχείου του εκάστοτε οπλισμού. Εάν όμως δεν επιλεγθούν εμπορικοί τύποι των στοιχείων, τα παραπάνω μεγέθη παίρνουν τις τιμές των επιμέρους συντελεστών των προϊόντων.

Η τρίτη βασική παράμετρος που θεμελιώνει την μαθηματική μοντελοποίηση της οπλισμένης γης είναι η **αντίσταση έναντι εξόλκευσης στοιχείων όπλισης**. Πιο συγκεκριμένα, όταν το εφελκυσμένο στοιχείο όπλισης διατέμνεται από επιφάνεια δυνητικής ολίσθησης, τείνει να εξολκευτεί από το περιβάλλον έδαφος. Η χαρακτηριστική λοιπόν αντοχή εξόλκευσης $T_{pu,k}$ υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$T_{pu,k} = 2 \cdot \mu^* \cdot L_e \cdot \sigma'_n \quad (12)$$

Ειδικότερα, η μεταβλητή L_e ορίζεται ως το μήκος αγκύρωσης του στοιχείου, σ'_n είναι η ασκούμενη ορθή τάση και η παράμετρος μ^* αφορά τον συντελεστή έναντι εξόλκευσης. Ο συντελεστής λοιπόν αυτός μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$\mu^* = f_b \cdot \tan \varphi'_k \quad (13)$$

Στην έκφραση αυτή, f_b είναι ο συντελεστής αλληλεπίδρασης έναντι εξόλκευσης και η παράμετρος φ'_k αντιπροσωπεύει την χαρακτηριστική ενεργό γωνία τριβής του υλικού επίχωσης.

Αν, μάλιστα, κατά την μελέτη δεν έχει επιλεγθεί εμπορικός τύπος στοιχείου όπλισης και δεν έχουν διεξαχθεί οι απαραίτητες δοκιμές εξόλκευσης, τότε ο συντελεστής αλληλεπίδρασης έναντι της εξόλκευσης, λαμβάνεται ανάλογα με το υλικό αλλά και τις συνηθέστερες τιμές σχετικών συντελεστών για αυτά τα προϊόντα.

Η τέταρτη και τελευταία παράμετρος πάνω στην οποία στηρίζεται η μαθηματική μοντελοποίηση της οπλισμένης γης είναι η **αντίσταση κατά της ολίσθησης κατά μήκος των διεπιφανειών εδάφους-στοιχείων όπλισης**. Με σκοπό λοιπόν τον υπολογισμό της αντίστασης έναντι της ολίσθησης αυτής χρησιμοποιείται ο αντίστοιχος συντελεστής αλληλεπίδρασης f_{ds} και συνδέεται με τον ζητούμενο συντελεστή τριβής μ σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

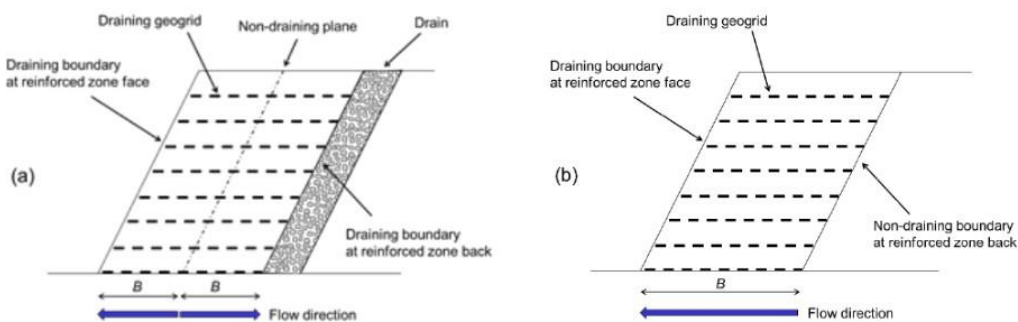
$$\mu = f_{ds} \cdot \tan \varphi'_k \quad (14)$$

Τέλος, η διατμητική αντοχή μιας τέτοιας διεπιφάνειας $T_{SL,k}$, με την παρουσία τριβής ορθής τάσης δίνεται ως εξής:

$$T_{SL,k} = \mu \cdot L_S \cdot \sigma'_n \quad (15)$$

8. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Σύμφωνα με έρευνες οι μηχανικοί συνηθίζουν να εργάζονται με υψηλής ποιότητας υλικά και με υψηλό κόστος. Όμως σε συνεργασία με τους γεωτεχνικούς μηχανικούς μπορούν να εργαστούν προς όφελος του περιβάλλοντος για τις μελλοντικές γενιές έτσι ώστε να επικρατεί μία αρμονία με την φύση. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η χρήση του ανακυκλωμένου υλικού, το οποίο παράγεται από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα είναι δυνατόν να σχεδιαστούν ενισχυμένες δομές εδάφους κάνοντας χρήση των στραγγισμένων γεμισμάτων χωρίς να είναι απαραίτητη η εισαγωγή κοκκώδους γεμίσματος, το οποίο έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά και μεγάλο κόστος. Η λάθος αποστράγγιση στο δομικό γέμισμα μειώνει τον δεσμό μεταξύ του γεμίσματος και του οπλισμού πλέγματος. Κατά το 2015-2017, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται τοίχοι με την χρήση ενός νέου γεωσυνθετικού υλικού, το οποίο συνδυάζει την ενίσχυση και την αποστράγγιση, με βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον κλίσεις. Η προσέγγιση αυτή σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο και περιλαμβάνει την κατασκευή ενισχυμένων πλαγιών και τοίχων, ύψους έως 17 m, με τα γεμίσματα να έχουν χαμηλή διαπερατότητα.



Εικόνα 8.1 Σχηματικό σύστημα ενισχυμένου εδάφους, που αποτελείται από στραγγιστικό γεώπλεγμα με μονάδα προσανατολισμού και γεωσυνθετικό αγωγό

Εναλλακτικός τρόπος βελτιστοποίησης του σχηματισμού οπλισμένων πρανών και επιχωμάτων είναι η χρήση πράσινης βλάστησης στην επιφάνεια (Σταθεροποιημένη Γη). Η κατασκευή του αποτελείται από χαλύβδινα πλέγματα διπλής πλέξης, επενδυμένο με γεωσυνθετικό ελέγχου διάβρωσης και ενισχυμένο με συγκολλημένα πάνελ. Τέλος η πρόσθια όψη είναι κεκλιμένη και σε συνδυασμό με το γεωσυνθετικό υλικό διάβρωσης διευκολύνουν την ανάπτυξη φυσικής βλάστησης.

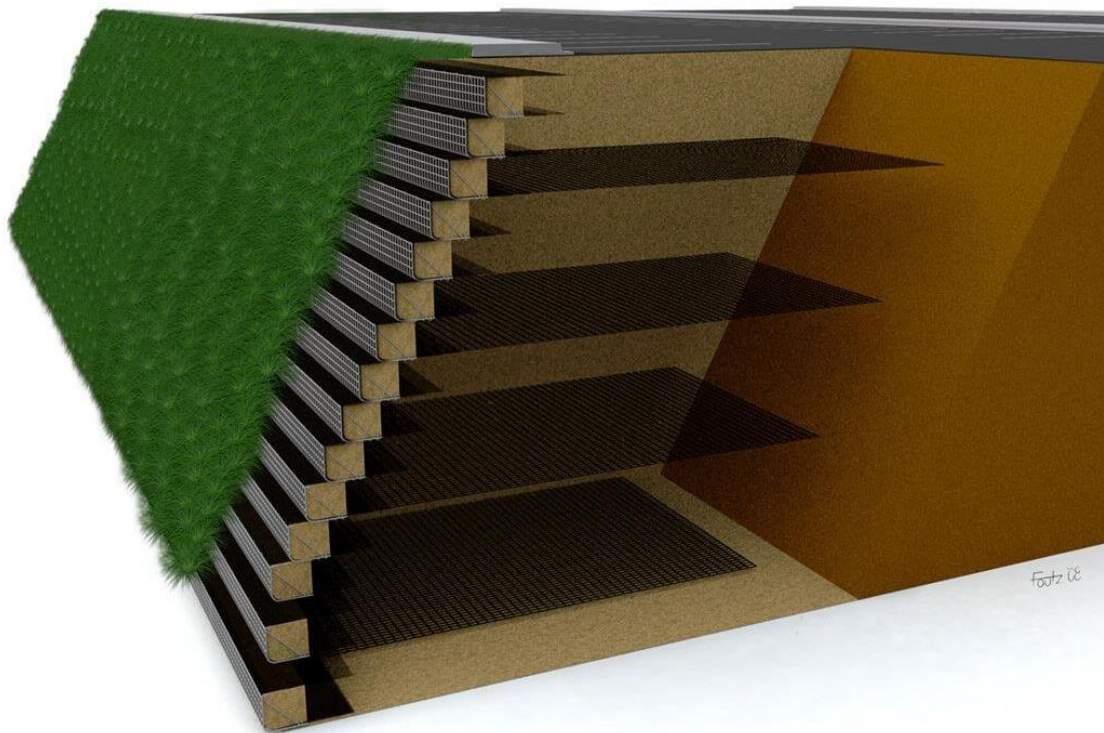


Εικόνα 8.2 Σύστημα Οπλισμένης γης [Green Terramesh]



Εικόνα 8.3 Σύστημα Οπλισμένης γης

Άλλη μία μελέτη πάνω στην βελτιστοποίηση ξεκίνησε λαμβάνοντας υπόψη τις οικολογικές ανάγκες σχεδιασμού της σπλισμένης γης. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η απόκτηση του ελάχιστου κόστους αλλά και της ελάχιστης εκπομπής CO₂ των τοίχων αντιστήριξης από σπλισμένο σκυρόδεμα διασφαλίζοντας πάντα τις συνθήκες σταθερότητας. Με τη χρήση δύο συναρτήσεων πραγματοποιηθήκαν οι αναλύσεις βελτιστοποίησης έτσι ώστε να ανακαλυφθεί το ποσοστό συνεισφοράς των παραλλαγών στο κόστος και τις εκπομπές CO₂, προκειμένου να είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα το ύψος του στελέχους και το πλάτος της θεμελίωσης ήταν τα μεταβλητά μεγέθη στην σχεδίαση. Δημιουργήθηκαν διάφορες δοκιμές βελτιστοποίησης σε σχέση με την αλλαγή του βάθους εκσκαφής, το ποσό της πρόσθετης επιβάρυνσής που προστέθηκε στο πάνω μέρος των τοίχων, το βάρος του εδαφικού υλικού, το κόστος και τις εκπομπές CO₂ τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στις ράβδους ενίσχυσης. Με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από τις διάφορες δοκιμές, επιλέχθηκε εκείνη η οποία αποτελούσε έναν οικολογικό σχεδιασμό, με το ελάχιστο κόστος και τη ελάχιστη εκπομπή αερίου.



Εικόνα 8.4 Σύστημα σπλισμένης γης με χρήση πράσινης θλάστησης στην επιφάνεια

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Μέσα από όλη την παραπάνω ερευνητική μελέτη και διατριβή μπορούν να σημειωθούν αξιοσημείωτα συμπεράσματα πάνω στις μεθόδους και εφαρμογές της οπλισμένης γης. Αρχικά, παρόλο που η σχεδιαστική τεχνική της προκαλεί μερική υποβάθμιση των υλικών κατασκευής της, αποτελεί την οικονομικότερη, αποδοτικότερη και απλούστερη μέθοδο χρήσης και επένδυσης. Όσον αφορά τις μεθόδους εφαρμογής της, αποδεικνύεται ότι τα γεωυφάσματα παρουσιάζουν ως πρώτη ύλη τα ελάχιστα δυνατά κοστολογικά έξοδα για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό, την διαστασιολόγηση και την κατασκευή τους συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους και τεχνικές. Στη συνέχεια, παρατηρείται ότι σε επίπεδο συστάσεως, η οπλισμένη γη μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας μια ευρεία ποικιλία συνθετικών υλικών, ενώ τόσο τα κριτήρια σχεδιασμού της όσο και η κατασκευαστική της διαδικασία στηρίζονται σε θεμελιώδεις παραμέτρους διαστασιολόγησης και κανονιστικές διατάξεις, οι οποίες μάλιστα είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη σε όλα τα επιμέρους βήματα μελέτης.

Επιπρόσθετα, κατά την μαθηματική μοντελοποίηση της οπλισμένης γης διακρίνεται ότι η ευστάθεια τοίχου της είναι ίσως η πολυπλοκότερη, συνθετότερη και σημαντικότερη παράμετρος που απαιτείται να προσομοιωθεί, ενώ μάλιστα θα πρέπει να αναλυθεί και στις τρεις κατηγορίες της, την εξωτερική, την εσωτερική και την σύμμεικτη ευστάθεια. Παρόλα αυτά, με στόχο την βελτιστοποίηση της κατασκευής και εφαρμογής της, θα πρέπει σίγουρα να ληφθούν υπόψη και οι παράμετροι του σχεδιασμού στοιχείων οπλισμού, της αντίστασης έναντι εξόλκευσης στοιχείων όπλισης και της αντίστασης κατά της ολίσθησης κατά μήκος των διεπιφανειών εδάφους-στοιχείων όπλισης. Τέλος, στο κομμάτι των περιβαλλοντικών προδιαγραφών, η επένδυση των σύγχρονων κατασκευαστικών εταιρειών στην χρήση ανακυκλωμένων υλικών, στραγγισμένων γεμισμάτων και στην πράσινη βλάστηση της επιφάνειας, συνεισφέρει στην προστασία των σημερινών κατασκευών οπλισμένης γης αλλά και στην ενίσχυση της οικολογικής συνείδησης του ανθρώπινου δυναμικού.

10.ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οπλισμένα επιχώματα

1 Αντικείμενο

Αντικείμενο της παρούσας Προδιαγραφής είναι ο καθορισμός των απαιτήσεων για την κατασκευή οπλισμένων επιχώσεων (ενσωματούμενα υλικά - εφαρμογή).

Οι οπλισμένες επιχώσεις θα κατασκευάζονται σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη, στην οποία θα καθορίζεται το είδος και η μορφή των στοιχείων οπλισμού, η διάταξη αυτών, το πάχος των στρώσεων εδαφικού υλικού, η διαμόρφωση της επικάλυψης και η σύνδεση / αγκύρωση των οπλισμών με τα στοιχεία επικάλυψης.

2 Τυποποιητικές παραπομπές

Η παρούσα Προδιαγραφή ενσωματώνει, μέσω παραπομπών, προβλέψεις άλλων δημοσιεύσεων, χρονολογημένων ή μη. Οι παραπομπές αυτές αναφέρονται στα αντίστοιχα σημεία του κειμένου και κατάλογος των δημοσιεύσεων αυτών παρουσιάζεται στη συνέχεια. Προκειμένου περί παραπομπών σε χρονολογημένες δημοσιεύσεις, τυχόν μεταγενέστερες τροποποιήσεις ή αναθεωρήσεις αυτών θα έχουν εφαρμογή στην παρούσα όταν θα ενσωματωθούν σε αυτή, με τροποποίηση ή αναθεώρησή της. Όσον αφορά τις παραπομπές σε μη χρονολογημένες δημοσιεύσεις ισχύει η τελευταία έκδοσή τους.

ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-01-00	Construction of embankments with suitable excavation or borrow materials -- Κατασκευή επιχωμάτων με κατάλληλα προϊόντα εκσκαφών ή δανειοθαλάμων.
ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-02-00	Refill of excavations for foundation works -- Επανεπιχώσεις σκαμμάτων θεμελίων τεχνικών έργων.
ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-05-00	Lining of road embankment slopes and filling of road islands with horticultural soil -- Επένδυση πρανών - πλήρωσης νησίδων με φυτική γη.
ΕΛΟΤ EN 388	Protective gloves against mechanical risks -- Γάντια προστασίας έναντι μηχανικών κινδύνων
ΕΛΟΤ EN 397	Industrial safety helmets -- Βιομηχανικά κράνη ασφαλείας
ΕΛΟΤ EN 863	Protective clothing - Mechanical properties - Test method: Puncture resistance -- Προστατευτική ενδυμασία. Μηχανικές ιδιότητες - Μέθοδος δοκιμής : Αντοχής σε διάτρηση.
ΕΛΟΤ EN 933-1	Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method -- Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας - Μέθοδος με κόσκινα.
ΕΛΟΤ EN 933-8	Test for geometrical properties of aggregates - Part 8: Assessment of fines - Sand equivalent test -- Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 8: Αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλης) - Δοκιμή ισοδυνάμου άμμου

ΕΛΟΤ EN ISO 20345	Personal protective equipment – Safety footwear – Μέσα ατομικής προστασίας – Υποδήματα τύπου ασφαλείας
ΕΛΟΤ EN 13286-2	Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 2: Test methods for the determination of the laboratory reference density and water content - Proctor compaction. -- Μίγματα μη σταθεροποιημένα και σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες. Μέρος 2: Μέθοδοι δοκιμής για τον προσδιορισμό της εργαστηριακής πυκνότητας αναφοράς και της περιεκτικότητας σε νερό. Συμπύκνωση Proctor.
ΕΛΟΤ EN 13286-4	Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 4: Test methods for laboratory reference density and water content - Vibrating hammer -- Μίγματα μη σταθεροποιημένα και σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες - Μέρος 4: Εργαστηριακές μέθοδοι δοκιμής αναφορικά με τη φαινόμενη πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε νερό – Δονητική σφύρα.
ΕΛΟΤ EN 13286-41	Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test method for the determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures -- Μίγματα μη σταθεροποιημένα και σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες - Μέρος 41: Μέθοδος δοκιμής για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες μιγμάτων.
ΕΛΟΤ EN 13286-51	Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 51: Method for the manufacture of test specimens of hydraulically bound mixtures using vibrating hammer compaction -- Μίγματα μη σταθεροποιημένα και σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες - Μέρος 51: Μέθοδος παρασκευής δοκιμίων από μίγματα σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες με συμπύκνωση με δονητική σφύρα
ΕΛΟΤ EN ISO 14688-2	Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 2: Principles for a classification -- Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές - Ταυτοποίηση και ταξινόμηση εδαφών - Μέρος 2: Αρχές ταξινόμησης
ΕΛΟΤ EN 932-1	Tests for general properties of aggregates - Part 1: Methods for sampling -- Δοκιμές για τον προσδιορισμό των γενικών ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 1: Μέθοδος δειγματοληψίας
ΕΛΟΤ EN ISO 22475-1	Geotechnical investigation and testing -- Sampling methods and groundwater measurements -- Part 1: Technical principles for execution -- Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές - Μέθοδοι δειγματοληψίας και μετρήσεις υπόγειου νερού - Μέρος 1: Τεχνικές αρχές εκτέλεσης εργασιών
prEN-ISO 22476-13	Geotechnical investigation and testing -- Part 13: plate loading test -- Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές . Μέρος 13: Δοκιμή φορτιζομένης πλάκας.

3 Όροι και ορισμοί

3.1 Οπλισμένη επίχωση

Εδαφικές στρώσεις με διάταξη στοιχείων οπλισμού κατά στρώσεις, τα οποία αλληλεπιδρούν μέσω δυνάμεων τριβής με το εδαφικό υλικό (βλ. Σχήματα 1 και 2).

3.2 Επίχωμα πλήρωσης

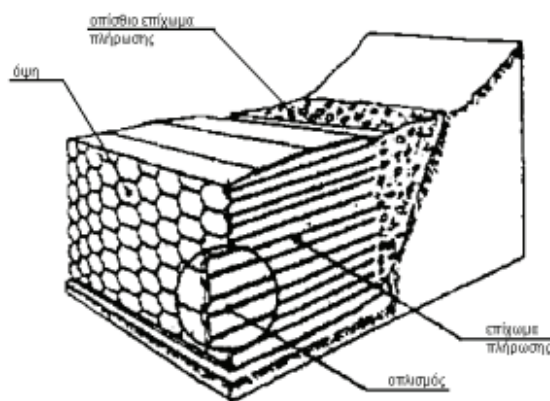
Οι εδαφικές στρώσεις που περιβάλλουν τον οπλισμό (βλ. Σχήματα 1 και 2).

3.3 Επικάλυψη όψης

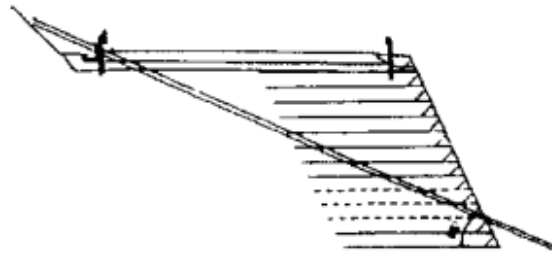
Η εξωτερική προστατευτική ή διακοσμητική επιφάνεια (κεκλιμένη ή κατακόρυφη) του επιχώματος που διαμορφώνεται με προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος (πετάσματα), ή γαιόσυνθετικά (γεωκυψέλες - γεωπλέγματα), επί των οποίων αγκυρώνονται οι ράβδοι οπλισμού.

3.4 Οπλισμός

Το μέσον που χρησιμοποιείται για την παραλαβή των οριζοντίων δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά την αλληλεπίδρασή του με το υλικό πλήρωσης (ελάσματα ή ράβδοι από χάλυβα, γεωπλέγματα, γεωϋφάσματα κλπ.).

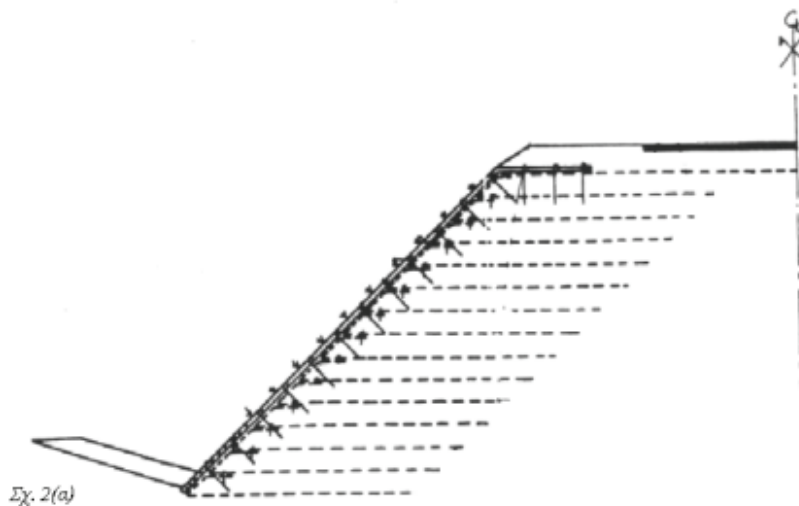


Σχ. 1(α)

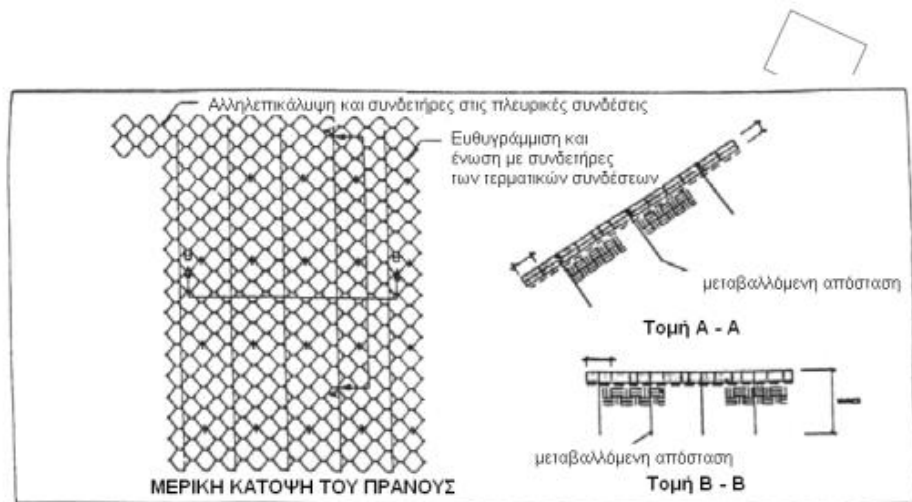


Σχ. 1(β)

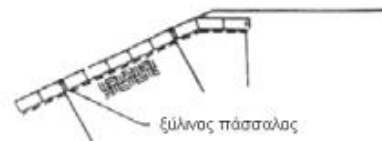
Σχήμα 1 – Περίπτωση προκατασκευασμένων πλακών



Σχ. 2(α)



ΤΥΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ, ΡΑΒΔΩΝ ΠΑΚΤΩΣΕΩΣ, ΓΕΩΚΥΨΕΛΩΝ



ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΚΑΙ ΦΡΥΔΙΟΥ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

Σχ. 2(β)

Σχήμα 2 – Περίπτωση με γεωκυψέλες

4 Απαιτήσεις

4.1 Αδρανή υλικά επίχωσης

Για τις οπλισμένες επιχώσεις χρησιμοποιούνται προϊόντα εκσκαφών ή δανειοθαλάμων και υλικά προέλευσης λατομείου, απαλλαγμένα από φυτική γη, αποσυνθέσιμα υλικά και εν γένει προσμίξεις επιβλαβείς που μπορούν να επιφέρουν φθορές στον οπλισμό και να οδηγήσουν ως εκ τούτου σε μείωση της διάρκειας ζωής της οπλισμένης επίχωσης.

Το υλικό της επίχωσης θα πρέπει επιπλέον να πληροί τα γεωτεχνικά και χημικά / ηλεκτροχημικά κριτήρια που περιγράφονται παρακάτω.

Επισημαίνεται ρητά, ότι τα υλικά κατασκευής είτε γαιωδών, είτε βραχωδών οπλισμένων επιχώσεων θα λαμβάνονται κατ' αρχήν από τα προϊόντα εκσκαφής ορυγμάτων και μόνον όταν αυτά είναι ακατάλληλα ή δεν επαρκούν ή δεν είναι δυνατός ο συντονισμός των εργασιών ορυγμάτων - επιχωμάτων, σύμφωνα με το πρόγραμμα των έργων, θα γίνεται δανειοληψία για την προμήθειά τους έπειτα από έγγραφη έγκριση της Υπηρεσίας.

Ο Ανάδοχος υποχρεούται κατά την εκτέλεση των πάσης φύσεως εκσκαφών να λαμβάνει όλα τα κατάλληλα μέτρα, ώστε τα κατάλληλα προϊόντα εκσκαφών να μπορούν να αξιοποιηθούν για τις ανάγκες των έργων.

Σε περίπτωση που από υπαιότητα του Αναδόχου δεν καταστεί δυνατή η χρησιμοποίηση στις κατασκευές των παραγόμενων καταλλήλων προϊόντων εκσκαφής, τότε ο Ανάδοχος υποχρεούται αυτόν τον όγκο του χαμένου υλικού να τον αντικαταστήσει, με δικά του έξοδα, με δάνεια υλικά.

Επισημαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση ειδικές παραδοχές ή αποκλίσεις από τα ανωτέρω θα αναφέρονται ρητά στην υποχρεωτική και εγκεκριμένη μελέτη εφαρμογής της οπλισμένης επίχωσης, με τις παρακάτω πρόσθετες απαιτήσεις.

Το υλικό της οπλισμένης επίχωσης θα είναι αμμοχαλικώδες, των ομάδων Α1α ή Α1β ή Α2-4 κατά το Πρότυπο AASHTO και θα συμφωνεί με την ακόλουθη διαβάθμιση, που θα προσδιορίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών της Προδιαγραφής του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε 105-86 (αρ.7 και 8) (βλέπε Βιβλιογραφία της παρούσας) και να έχει «συντελεστή ομοιομορφίας» μεγαλύτερο ή ίσο με 2.

Πίνακας 1 – Διαβάθμιση υλικού επιχώματος πλήρωσης

Άνοιγμα βροχίδας	% Διερχόμενο (Κατά βάρος)
250 mm	100
75 mm	≥75
10 mm	≥10
75 μm	0-15

Αν το υλικό της οπλισμένης επίχωσης περιέχει περισσότερο από 15% διερχόμενο από το κόσκινο των 75 μm, το υλικό μπορεί να είναι ακόμη αποδεκτό, πράγμα που εξαρτάται από τα αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης με αραιότερο και άμεσης διάτμησης (προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών Εδαφομηχανικής Ε 105-86, υπ' αριθμό 9 και 16 αντίστοιχα) (βλέπε Βιβλιογραφία της παρούσας).

Για το σκοπό αυτό θα εξετάζεται το ποσοστό του υλικού του λεπτότερου από 75 μm και:

- αν αυτό είναι περισσότερο από 20%, το υλικό είναι ακατάλληλο.
- αν είναι λιγότερο από 10%, το υλικό είναι κατάλληλο.

Η οπλισμένη επίχωση δεν θα περιλαμβάνει υλικά τα οποία χάνουν τα χαρακτηριστικά τριβής τους με την πάροδο του χρόνου, υλικά ευαίσθητα στο νερό ή ακατάλληλα υλικά όπως:

- υλικά από βάλτους.
- τύρφη φυτικές γαίες και υλικά που φθείρονται.
- υλικά που αυτοαναφλέγονται.
- υλικά σε παγωμένη κατάσταση.
- υλικά με περιεχόμενη υγρασία μεγαλύτερη από την βέλτιστη που αντιστοιχεί στα συγκεκριμένα υλικά.

Το υλικό επίχωσης θα είναι συμβατό ως προς τη διαβάθμιση με το πάχος των στρώσεων που πρόκειται να συμπυκνωθούν και θα έχει επιπλέον την ιδιότητα να συμπυκνώνεται επαρκώς, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που τίθενται, χρησιμοποιώντας τα συνηθισμένα εργοταξιακά μηχανήματα. Η επίχωση δεν θα πρέπει να περιλαμβάνει στοιχεία (κόκκους) διαμέτρου μεγαλύτερης των 250 mm.

4.1.1 Υποχωρήσεις οπλισμένης επίχωσης

Οι διαστάσεις, κλίσεις, γραμμές και υψόμετρα των οπλισμένων επιχώσεων που φαίνονται στα συμβατικά σχέδια είναι τα τελικά, δηλ. εκείνα που θα έχουν τα έργα μετά την αναμενόμενη συνίζηση του υλικού επιχωμάτων - επιχώσεων και την καθίζηση του εδάφους με τα φορτία της επίχωσης.

Ο Ανάδοχος υποχρεούται να προσδώσει, είτε εφ' άπαξ, είτε με διαδοχικές συμπληρώσεις, τήση επαύξηση στο ύψος και το πλάτος αυτών, όση θα απαιτηθεί για την αντιστάθμιση των κάθε είδους υποχωρήσεων.

4.2 Υλικά όπλισης

Τα υλικά όπλισης ή προστασίας θα πρέπει να είναι βιομηχανοποιημένα και με πιστοποιητικά διασφάλισης ποιότητας και θα πρέπει να παρέχονται με στοιχεία αντοχής σε εφελκυσμό και μακροχρόνιες συνθήκες εφαρμογής. Τα τεχνικά και λοιπά χαρακτηριστικά των προς χρήση υλικών προδιαγράφονται στην εκάστοτε ειδική μελέτη.

Επιπλέον, τα υλικά θα πρέπει να είναι πρακτικά απρόσβλητα από βιολογική ή χημική δράση, καθώς και από υπεριώδη ακτινοβολία.

4.3 Υλικά προστασίας εξωτερικής επιφάνειας πρανού

Για την επιφανειακή προστασία των εξωτερικών παρειών των πρανών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- α. Γεωκυψέλες, ελάχιστων διαστάσεων κυψελών πλευράς 20 cm και ύψους 10 cm, με φύλλα διαστάσεων της τάξης των 2,5 x 6,0 m. Οι γεωκυψέλες θα μορφώνονται από λωρίδες πολυαιθυλενίου πάχους 1,0 - 1,4 mm, ώστε να εξασφαλίζεται η διάρκεια ζωής που προβλέπεται από την μελέτη, και θα αγκυρώνονται με σιδηροπρασάλους μορφής J για να αποφεύγονται οι μετακινήσεις.

Στη συνέχεια οι γεωκυψέλες γεμίζονται με φυτικές γαίες για την ανάπτυξη της προβλεπόμενης από την μελέτη φυτοκάλυψης.

- β. Ειδικά φυτικά γεωϋφάσματα για τη συγκράτηση του φυτικού χώματος για τη διευκόλυνση της έδρασης και ανάπτυξης του ριζικού συστήματος.

Τα χρησιμοποιούμενα φυτικά γεωϋφάσματα, πρέπει να περιέχουν ειδικό μίγμα από λιπάσματα, βιοεξοδτερουόμενα προϊόντα, τύρφη και φυτικές ίνες ή ότι άλλο προβλέπει η ειδική μελέτη. Τα εν λόγω υλικά ενεργούν σαν υπόστρωμα μαζί με τις φυτικές γαίες για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος της φυτοκάλυψης.

4.3.1 Υλικά φυτοκάλυψης

Αν δεν υπάρχει ειδική πρόβλεψη στα τεύχη δημοπράτησης ή την ειδική μελέτη οπλισμένης επίχωσης, τα υλικά της φυτοκάλυψης θα επιλέγονται από την Υπηρεσία μετά από σχετική πρόταση του Αναδόχου.

4.3.2 Πλάκες επικάλυψης

Εάν προβλέπεται τελική κάλυψη της επιφάνειας της επίχωσης με προκατασκευασμένες πλάκες, αυτές θα είναι υποχρεωτικά συμβατές με το επιλεγέν σύστημα όπλισης. Σε οποιαδήποτε περίπτωση η αρχιτεκτονική εμφάνιση των υπόψη πλακών, θα είναι της έγκρισης της Υπηρεσίας.

5 Μεθοδολογία εκτέλεσης εργασιών

5.1 Γενικά

Πριν από κάθε κατασκευαστική ενέργεια θα προηγείται η μελέτη ευστάθειας των πρανών.

Ο οπλισμός της επίχωσης θα τοποθετείται σε οριζόντιες στρώσεις κατά τη διεύθυνση της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής τους, το δε επίχωμα θα κατασκευάζεται σταδιακά κατά στρώσεις.

Για να υλοποιηθεί η κλίση της παρειάς είτε θα χρησιμοποιείται ξυλότυπος κατά την κατασκευή κάθε στρώσης, είτε θα τοποθετείται στο άκρο λωρίδα υφαντού γεωϋφάσματος, βάρους σύμφωνα με την ειδική μελέτη, το οποίο θα περιτυλίγει το αμμοχάλικο. Επιφανειακά, η παρειά του επιχώματος μετά την κατασκευή του θα καλύπτεται με γεωκυψέλες, οι οποίες θα πληρούνται με φυτική γη και θα επακολουθεί σπορά.

Τα γεωπλέγματα μπορούν να τοποθετηθούν σε απόσταση μεταξύ τους π.χ. ανά 0,50 m, ή όποια άλλη απόσταση προκύψει από την ειδική μελέτη που θα έχει προηγηθεί.

Η ειδική μελέτη μπορεί, εναλλακτικά μετά από οικονομοτεχνική θεώρηση, να προτείνει αύξηση της απόστασης μεταξύ των γεωπλεγμάτων π.χ. από 0.50 m σε 0.80 m με επιλογή των απαιτούμενων κατά περίπτωση χαρακτηριστικών τους.

Το υλικό των γεωπλεγμάτων είναι υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο, το οποίο είναι πρακτικά απρόσβλητο από βιολογική - χημική δράση καθώς και υπεριώδη ακτινοβολία.

5.2 Θεμελιώσεις οπλισμένων επιχώσεων

Η κατασκευή των οπλισμένων επιχώσεων, θα γίνεται με βάση τα αποτελέσματα της εκάστοτε γεωτεχνικής έρευνας και της μελέτης ευστάθειας και καθιζήσεων των επιχώσεων αυτών.

Γενικά μέτρα (για όλα τα επιχώματα ανεξαρτήτως ύψους επιχώματος ή κλίσης πρανούς):

- Αφαίρεση φυτικής γης σε όσο βάθος απαιτηθεί (συνήθως 0,30 – 0,50 m).
- Εφ' όσον το επιτρέπουν οι συνθήκες αποστράγγισης των όμβριων, είναι προτιμητέο να διεξάγεται πρόσθετη εκσκαφή μικρού βάθους (π.χ. της τάξης των 0,80 – 1,00 m από την αρχική επιφάνεια του εδάφους), ώστε να αφαιρεθούν τυχόν χαλαρά και ακατάλληλα εδάφη. Σε κάθε περίπτωση, η εκσκαφή αυτή δεν θα πρέπει να είναι βαθύτερη από 1,00 m ή να επεκτείνεται κάτω από τη στάθμη τυχόν υπογείων υδάτων. Όπως προαναφέρθηκε, εφ' όσον υπάρχουν προβλήματα με όμβρια ύδατα, είναι προτιμητέο να μη διενεργηθεί η εκσκαφή αυτή, υπό την προϋπόθεση βεβαίως ότι θα απομακρυνθεί πλήρως η φυτική γη και το οργανικό έδαφος κάτω από τη στάθμη έδρασης του επιχώματος.
- Τοποθέτηση διαχωριστικού γεωυφάσματος επί του εδάφους έδρασης (ή εναλλακτικά διαχωριστικής στρώσης άμμου σε πάχος της τάξης των 30-40 cm τουλάχιστον). Όταν τα σκάμματα περιέχουν λιμνάζοντα ύδατα που δεν είναι δυνατόν να παροχετευτούν ή υφίστανται χαλαρώσεις εδάφους από εισροή υπογείων αναβλυζόντων υδάτων, και είναι ως εκ τούτου πρακτικά ανέφικτη η προσπάθεια για καθαρισμό της σκάφης ή και για διάστρωση γεωυφάσματος, προτείνεται η σταθεροποίηση του πυθμένα εκσκαφής με χρήση κροκάλας ή σκύρων, μεγέθους κόκκων 5-8 cm και πάντως όχι μεγαλύτερου των 15 cm, το οποίο θα διαστρώνεται τμηματικά και με τη διέλευση ελαστικοφόρων ή ερπυστριφόρων μηχανημάτων θα διεισδύει πλήρως στο μαλακό υπεδάφος. Πρέπει να σημειωθεί ότι στις περιπτώσεις αυτές λόγω της αυξημένης υγρασίας του υπεδάφους, είναι πρακτικά αδύνατη η συμπίκνωση της σκάφης στη φάση αυτή.
- Επί του γεωυφάσματος (ή της διαχωριστικής στρώσης άμμου), θα κατασκευάζεται η βάση του επιχώματος σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στη σχετική μελέτη.

5.3 Κατασκευή

5.3.1 Γενικά

Η κατασκευή θα γίνεται σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη, ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις ποιότητες των υλικών, αφού προηγουμένως προετοιμαστεί η επιφάνεια θεμελίωσης (βλ. παράγραφο 5.2), όπως γενικά περιγράφεται και στις Προδιαγραφές ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-01-00 και 1501-02-07-02-00.

Για τη διάστρωση και τη συμπίκνωση έχουν εφαρμογή τα καθοριζόμενα στις Προδιαγραφές ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-01-00 και ΕΛΟΤ 1501-02-07-02-00 με τις επισημάνσεις που γίνονται παρακάτω.

Για την κυκλοφορία κατά τη διάρκεια της κατασκευής, ισχύουν τα καθοριζόμενα στις Προδιαγραφές ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-01-00 και ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-02-00.

Το υλικό κατασκευής της οπλισμένης επίχωσης θα πρέπει να είναι αμμοχαλικώδες, ορυκτής προέλευσης, όπως περιγράφεται στην παρ. 4.1. Η βάση επιχώματος μέχρι ύψος 0.80m πάνω από το φυσικό έδαφος

καθώς και η τελευταία άνω στρώση αυτού, πάχους 0.50 m, θα πρέπει να είναι με υλικά κατηγορίας τουλάχιστον E3 κατά την κατηγοριοποίηση κατά ΥΠΕΧΩΔΕ.

Η διατομή του επιχώματος είναι δυνατόν να είναι είτε συμμετρική, με αμφίπλευρες απότομες κλίσεις ή και ασύμμετρη, εφαρμοζόμενης της απότομης κλίσης στην μια μόνο παρειά, η δε απέναντι παρειά του επιχώματος, εφ' όσον διατίθεται χώρος, θα κατασκευάζεται με τις κλίσεις που προβλέπονται στις Προδιαγραφές ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-01-00 και 1501-02-07-02-00, έτσι όπως προβλέπεται στη μελέτη του έργου.

Στην περίπτωση εφαρμογής των κλίσεων που προβλέπονται στην ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-01-00 και ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-02-00, δεν απαιτείται όπλιση με γεωπλέγματα. Τα μέτρα ωστόσο στην έδραση του επιχώματος, πρέπει να είναι κοινά και ενιαία καθ' όλο το πλάτος της διατομής, ούτως ώστε η συμπεριφορά του επιχώματος έναντι καθιζήσεων να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφη και συμμετρική.

5.3.2 Διάστρωση

Η κατασκευή θα γίνεται με διάστρωση των γεωπλεγμάτων, χειρονακτικά ή με άλλο δόκιμο τρόπο της έγκρισης της Υπηρεσίας, και επ' αυτών θα γίνεται διάστρωση των κατάλληλων αδρανών με ελαστικοφόρα μηχανήματα ή άλλα κατάλληλα μέσα, στρώσεις πάχους από 25 έως 65 cm σύμφωνα με τη μελέτη και τις δυνατότητες των συμπυκνωτικών μέσων που διατίθενται επιτόπου. Για την ακραία ζώνη της επίχωσης (περιοχή επικάλυψης του γεωπλέγματος ή / και χρήσης γεωφασμάτων) οι στρώσεις θα είναι 20-25 cm.

5.3.3 Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση θα γίνεται μετά την αποπεράτωση της διάστρωσης κάθε στρώσης, ώστε με την εφαρμογή, κατά προτίμηση, δονητικής συμπύκνωσης να επιτυγχάνεται επιτόπου βαθμός συμπύκνωσης υψηλότερος του 95% της βέλτιστης εργαστηριακής πυκνότητας του υλικού (τροποποιημένο Proctor) κατά E 106 – 86/2.

Η συμπύκνωση της παραπάνω αναφερόμενης, ακραίας ζώνης επίχωσης θα επιτυγχάνεται με χρήση ελαφρών δονητικών μέσων (ελαφρές ή βαριές δονητικές πλάκες), ώστε να επιτυγχάνεται αντίστοιχος βαθμός συμπύκνωσης με τη λοιπή κατασκευή (> 95%).

5.3.4 Μόρφωση εξωτερικής επιφάνειας

Η εξωτερική επιφάνεια πρέπει να μορφώνεται ή μέσω ξυλοτύπων ή με ειδικά εξαρτήματα από ανοξείδωτο χάλυβα (τένοντες, άξονες, δοκοί βάσης και συγκράτησης, αγκυρώσεις, μεταλλικά πλέγματα κλπ), ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής που θα προκριθεί μετά από μελέτη που θα εγκριθεί αρμοδίως.

5.3.4.1 Εξωτερική προστασία με γεωκυψέλες

Οι γεωκυψέλες θα τοποθετούνται επί του πρανούς, θα πληρώνονται με φυτική γη και θα επακολουθεί σπορά με κατάλληλο μίγμα σπόρων. Οι γεωκυψέλες θα αποτελούνται από λωρίδες πολυαιθυλενίου, πάχους 1.0 – 1.4 mm, εργασιακά συγκολλημένες μεταξύ τους ώστε να σχηματίζουν τετραγωνικές ή εξαγωνικές κυψέλες όταν αναπτυχθούν. Κάθε φύλλο θα έχει πλάτος της τάξης των 2.5 m και μήκος της τάξης των 6.0 m σε πλήρη ανάπτυξη.

Τα φύλλα των γεωκυψελών θα τοποθετούνται επί του πρανούς και πρέπει να συρράπτονται μεταξύ τους. Για τη σταθεροποίησή τους, πριν από την πλήρωση με εδαφικό υλικό, χρησιμοποιούνται σίδηροι πάσσαλοι μορφής J από χάλυβα Φ12 ή Φ14 μήκους 0.80 m έως και 1.20 m ανά αποστάσεις της τάξης του 1.0 m κατά μήκος και 0.75 έως 1.00 m κατά τη διεύθυνση της κλίσης του πρανούς.

Στο φρύδι του πρανούς είναι σκόπιμη η αγκύρωση των φύλλων έτσι όπως φαίνεται στα σχετικά σκαριφήματα των Σχημάτων 2 και 3.

Στο φρύδι της επίχωσης η γεωκυψέλη θα αγκυρώνεται, ενώ στο πόδι, αν προβλέπεται επενδεδυμένη τάφρος, προτιμητέο είναι να πληρωθεί η κυψέλη με άοπλο ισχνό σκυρόδεμα, μέχρι ύψους $\approx 1,0$ m διαμορφώνοντας έτσι και το επενδεδυμένο τοίχωμα της τάφρου.

5.3.4.2 Γεώφασμα φυτοκάλυψης

Το γεώφασμα θα αποτελέσει τη βάση στήριξης της φυτοκάλυψης και στην εσωτερική του επιφάνεια πρέπει να υπάρχει δυνατότητα να προστεθούν, με επάλειψη ή ψεκασμό, υλικά που να μπορούν να τροφοδοτήσουν την ανάπτυξη ριζικού συστήματος του υλικού της φυτοκάλυψης.

Το γεώφασμα θα διαστρώνεται χειρονακτικά και μετά την τοποθέτηση φυτικού υλικού θα κυλινδρώνεται με κατάλληλα χειροκίνητα μέσα, για να συνδεθεί με το υπόλοιπο σώμα της οπλισμένης γης και να είναι έτοιμο να δεχτεί τη φυτοκάλυψη. Το υλικό της φυτοκάλυψης πρέπει να πληροί τις Προδιαγραφές της οικείας Προδιαγραφής ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-05-00.

5.3.4.3 Φυτοκάλυψη

Μπορεί να γίνει και με υδροσπορά. Οι σπόροι που θα χρησιμοποιηθούν στην φυτοκάλυψη θα καθορίζονται από τη μελέτη.

6 Κριτήρια αποδοχής περαιωμένων εργασιών

6.1 Έλεγχοι και παραλαβή

6.1.1 Απαιτήσεις ακριβείας γεωμετρικών στοιχείων κατασκευής

6.1.1.1 Στάθμη

Η Ανώτατη Επιφάνεια της Οπλισμένης Επίχωσης δεν πρέπει να παρουσιάζει σε καμία περίπτωση αποκλίσεις, σε σχέση με τα θεωρητικά υψόμετρα (υψόμετρα μελέτης), μεγαλύτερες από ± 30 m.

6.1.1.2 Χωροστάθμιση

Η πυκνότητα των χωροσταθμικών σημείων θα πληροί τα ακόλουθα:

- Ανά διατομή: Θα χωροσταθμούνται τα χαρακτηριστικά σημεία της διατομής (κορυφογραμμές, άκρα διατομής, σύνδεση με υπάρχον επίχωμα) και τα ενδιάμεσα σημεία, ώστε η οριζόντια απόσταση να μην είναι ποτέ πάνω από 5,0 m.
- Μέγιστες αποστάσεις μεταξύ διατομών: Οι μέγιστες αποστάσεις μεταξύ διατομών θα είναι ανά 5,0 m κατά μήκος της οπλισμένης επίχωσης, ενώ για διακριτή τροποποίηση ύψους οπλισμένης επίχωσης, σύμφωνα με τα άρθρα τιμολογίου, θα αποτυπώνονται και οι διατομές αλλαγής από μία κατηγορία σε άλλη (π.χ. από ύψος της οπλισμένης επίχωσης 0-2 σε 2-4 m, από 2-4 σε 4-6 κτλ.).

6.2 Δοκιμές

Οι δοκιμές εδαφικών υλικών θα εκτελούνται σύμφωνα με τις παρακάτω μεθόδους που αναγράφονται στον ακόλουθο Πίνακα 2:

Πίνακας 2

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	
ΔΟΚΙΜΗ	ΠΡΟΤΥΠΟ
Δειγματοληψία αργών υλικών	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 932-1
Αναγνώριση και δειγματοληψία εδαφών	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 14688-2
Προπαρασκευή διατεταγμένων δειγμάτων εδαφών	Πρότυπα ΕΛΟΤ EN ISO 22475-1 και ΕΛΟΤ EN

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	
	13286.51
Κοκκομετρική ανάλυση	Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 933.01- 933.08
Όριο υδαρότητας	Προδιαγραφή ΥΠΕΧΩΔΕ Ε 105 – 86/5
Όριο πλαστικότητας	Προδιαγραφή ΥΠΕΧΩΔΕ Ε 105 – 86/6
Δείκτης πλαστικότητας	Προδιαγραφή ΥΠΕΧΩΔΕ Ε 105 – 86/6
Κατάταξη εδαφών	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 14688-2
Σχέση υγρασίας – πυκνότητας	Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 13286.02 και ΕΛΟΤ EN 13286.04
Έλεγχος συμπίκνωσης	Προδιαγραφή ΥΠΕΧΩΔΕ Ε 106 – 86/2
Δοκιμή CBR	Προδιαγραφή ΥΠΕΧΩΔΕ Ε 105 – 86/12- και Πρότυπα AASHTO T193-ASTM 1883
Δοκιμαστική φόρτιση (Μέθοδος Φορτιζόμενης Πλάκας)	Πρότυπο prEN-ISO 22476-13

Κατά τη διάρκεια των κατασκευών, θα εκτελούνται ποιοτικοί έλεγχοι επιμέρους υλικών και κατασκευών σύμφωνα με τον συνημμένο πίνακα (υπόδειγμα) του Παραρτήματος.

7 Όροι υγείας – ασφάλειας και προστασίας περιβάλλοντος

7.1 Πιθανοί κίνδυνοι κατά την εκτέλεση των εργασιών

- Ολισθήσεις ασταθών πρανών κατά την φάση της επίχωσης.
- Εισροή υδάτων.
- Τραυματισμός προσώπων κινούμενων στη ζώνη ελιγμών των μηχανημάτων.
- Χρήση μηχανικού εξοπλισμού συμπίκνωσης.
- Εκφόρτωση με ανατροπή.
- Καταπτώσεις / ολισθήσεις πρανών ορύγματος κατά τη συμπίκνωση των στρώσεων του υλικού επίχωσης, λόγω των δημιουργούμενων δονήσεων.

7.2 Μέτρα υγείας – ασφάλειας

- Συμμόρφωση προς την Οδηγία 92/57/ΕΕ.
- Συμμόρφωση με τις διατάξεις Ελληνική Νομοθεσία περί υγιεινής και ασφάλειας (βλέπε Βιβλιογραφία).
- Συμμόρφωση με τα προβλεπόμενα στο Σχέδιο Ασφάλειας και Υγείας (ΣΑΥ) του έργου.

Υποχρεωτική επίσης είναι η χρήση μέσων ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) κατά την εκτέλεση των εργασιών. Οι ελάχιστες απαιτήσεις είναι οι εξής:

Πίνακας 3 – Ελάχιστες απαιτήσεις μέσων ατομικής προστασίας

Προστατευτική ενδυμασία	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 863
Προστασία χεριών και βραχιόνων	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 388
Προστασία κεφαλιού	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 397
Προστασία ποδιών	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 20345

7.3 Μέτρα προστασίας περιβάλλοντος

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών ο Ανάδοχος πρέπει να λαμβάνει όλα τα μέτρα, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι διαταραχές και οχλήσεις στο περιβάλλον, όπως ενδεικτικά:

- Μέτρα αντιμετώπισης διάβρωσης του εδάφους στους χώρους εκτέλεσης της εργασίας.
- Μέτρα μείωσης του θορύβου στα αποδεκτά από τις ισχύουσες διατάξεις όρια.
- Μέτρα περιορισμού δημιουργίας σκόνης, όπως κατάβρεγμα μεταφερόμενων υλικών επίχωσης, συστηματικός καθαρισμός οδοστρωμάτων κτλ.
- Χρήση μηχανημάτων έργων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας για τη μείωση των ρυπογόνων εκπομπών, σύμφωνα με τις ισχύουσες Κανονιστικές Οδηγίες περί μηχανικού εξοπλισμού.

8 Τρόπος επιμέτρησης

Η επιμέτρηση των εργασιών γίνεται με βάση επιμετρητικά σχέδια και πίνακες, λαμβανομένων υπόψη στοιχείων της μελέτης.

Η επιμέτρηση θα γίνεται σε τετραγωνικά μέτρα (m²) κατακόρυφης προβολής έτοιμης κατασκευής, που πληροί τις χωροσταθμικές απαιτήσεις της μελέτης με τις ανοχές του παρόντος άρθρου, με λήψη διατομών κατ' ελάχιστο ανά 5 m κατά μήκος του άξονα της οδού και σ' όλες τις διατομές αλλαγής άρθρου τιμολογίου (π.χ. ύψος κατασκευής από 0-2 σε 2-4 m, από 2-4 m σε 4-6 m κτλ. αλλά και από 8-6 m σε 6-4 m κτλ.).

Δεν επιμετρώνται χωριστά, διότι είναι ενσωματωμένες, όλες οι αναγκαίες εργασίες καθώς και τα πάσης φύσεως υλικά και εξοπλισμός, η εξασφάλιση και η κατανάλωση της ενέργειας, καθώς και κάθε άλλη συμπαραγομαρτούσα δράση απαιτούμενη για την πλήρη και έντεχνη κατά τα ανωτέρω εκτέλεση της εργασίας κατασκευής οπλισμένων επιχωμάτων. Ειδικότερα ενδεικτικά αλλά όχι περιοριστικά, δεν επιμετρώνται χωριστά τα παρακάτω:

- Το καθάρισμα του εδάφους έδρασης της οπλισμένης γης.
- Η εκσκαφή του εδάφους μέχρι το επίπεδο έδρασης της οπλισμένης επίχωσης σύμφωνα με τη μελέτη.
- Η προμήθεια, μεταφορά και τοποθέτηση γεωπλεγμάτων, γεωϕασμάτων και λοιπών προβλεπόμενων από τη μελέτη υλικών, σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη, καθώς και όλων των απαραίτητων υλικών και μικροϋλικών σχηματισμού και αντιστήριξης της εξωτερικής επιφάνειας του πρσανούς (μεταλλικά στοιχεία, αγκυρώσεις, δοκοί βάσης και συγκράτησης, τένοντες, μεταλλικά πλέγματα, ξυλότυποι κτλ).

- Η προμήθεια, μεταφορά και διάστρωση των απαραίτητων αδρανών σε στρώσεις πάχους προσδιοριζόμενων από την μελέτη.
- Η συμπύκνωση με κατάλληλα συμπυκνωτικά μέσα ανάλογα της απόστασης από το «φρύδι» της κατασκευής.
- Η τοποθέτηση γεωκυβελών ή φυτικού γεωυφάσματος στην εξωτερική παρειά του πρανούς, αγκύρωση ή κυλίνδρωση κατά περίπτωση.
- Η προσθήκη φυτικών γαιών.
- Η υδροσπορά ή άλλος τρόπος για φυτοκάλυψη που προδιαγράφεται στην εγκεκριμένη μελέτη.
- Η προμήθεια των απαραίτητων αναλώσιμων ή μη υλικών
- Η μεταφορά και προσωρινή αποθήκευσή τους στο έργο
- Η ενσωμάτωση ή η χρήση τους στο έργο
- Η φθορά και απομείωση των υλικών και η απόσβεση και οι στάλεις του εξοπλισμού.
- Η διάθεση και απασχόληση του απαιτούμενου προσωπικού, εξοπλισμού και μέσων για την εκτέλεση των εργασιών σύμφωνα με τους όρους της παρούσας Προδιαγραφής.
- Η συγκέντρωση των απορριμμάτων πάσης φύσεως που προκύπτουν κατά την εκτέλεση των εργασιών και την μεταφορά τους προς οριστική απόθεση.
- Η πραγματοποίηση όλων των απαιτούμενων δοκιμών, ελέγχων κλπ για την πλήρη και έντεχνη εκτέλεση της εργασίας σύμφωνα με την παρούσα Προδιαγραφή, καθώς και των τυχόν διορθωτικών μέτρων (εργασία και υλικά) εάν διαπιστωθούν μη συμμορφώσεις κατά τις δοκιμές και τους ελέγχους.

Επίσης περιλαμβάνονται η προμήθεια και μεταφορά των απαραίτητων κατάλληλων αδρανών προϊόντων εκσκαφής ή δανείων ή προϊόντων λατομείου ανεξάρτητα από την απόσταση μεταφοράς, ενώ η εργασία της υδροσποράς ή άλλου είδους φυτοκάλυψης θα συμφωνεί με τα προδιαγραφόμενα στην οικεία Προδιαγραφή ΕΛΟΤ ΤΠ.

Παράρτημα Α

Υπόδειγμα Προγράμματος Ποιότητας Εργασιών (ΠΠΕ)

Α/Α	Αντικείμενο	Ελεγχόμενο Χαρακτηριστικό	Υπεύθυνος Ελέγχου Αναδόχου	Κριτήριο Αποδοχής	Αναφορές – Πρότυπα	Διαδικασία ελέγχου/δοκιμής	Συχνότητα ελέγχου / δείγματα/πληθύνων	Έντυπο καταγραφής
1.	Καταλληλότητα υλικών επίχωσης		Μηχανικός έλεγχου ποιότητας (Μ.Ε.Π.)					
		Κοκκομετρία	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	E-105,	Μέτρηση	3/Δανειοθάλαμο	ΦΕΕ
		Δραστικότητα ιόντων υδρογόνου	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	BS1377	Μέτρηση	3/Δανειοθάλαμο	ΦΕΕ
		Ηλεκτρική αντίσταση	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	Γαλλικός κανονισμός 1979	Μέτρηση	3/Δανειοθάλαμο	ΦΕΕ
2.	Υλικά επίχωσης		(Μ.Ε.Π.)					
		Κοκκομετρία	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	E-105	Μέτρηση	1/100 m ³ ή κατ' ελάχιστο 1/στρώση	ΦΕΕ
3.	Υλικά όπλισης	Χαρακτηριστικά Μελέτης εφαρμογής	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ/ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ	Οπτικός	Κατά την κατασκευή	ΦΕΕ
4.	Χειρισμός υλικών όπλισης	Χαρακτηριστικά Μελέτης εφαρμογής	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	Μελέτη εφαρμογής	Οπτικός	Κατά την κατασκευή	ΦΕΕ
5.	Αρμοί	Χαρακτηριστικά Μελέτης εφαρμογής	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	Μελέτη εφαρμογής	Οπτικός	Κατά την κατασκευή	ΦΕΕ
6.	Συμπύκνωση υλικού επίχωσης				Μελέτη εφαρμογής			
		Max Πυκνότητα	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	E-105	Μέτρηση	1/100 m ³ ή κατ' ελάχιστο 1/στρώση ωπλισμένης επίχωσης συγκεκριμένου ύψους	ΦΕΕ
		Πυκνότητα επί τόπου	(Μ.Ε.Π.)	Μελέτη εφαρμογής	E-106	Μέτρηση	1/5000 m ³ ή κατ' ελάχιστο 1/στρώση ωπλισμένης επίχωσης συγκεκριμένου ύψους	ΦΕΕ
7.	Θέση	Γεωμετρία	Τοπικό συνεργείο	Μελέτη εφαρμογής	Μελέτη εφαρμογής	Μέτρηση	Τέλος εργασιών	Επιμετρητικά Φύλλα, ΦΕΕ
8.	Διαστάσεις	Γεωμετρία	Τοπικό συνεργείο	Μελέτη εφαρμογής	Μελέτη εφαρμογής	Μέτρηση	Τέλος εργασιών	Επιμετρητικά Φύλλα, ΦΕΕ
9.	Υψόμετρο	Χωροστάθμιση	Τοπικό συνεργείο	Μελέτη εφαρμογής	Μελέτη εφαρμογής	Μέτρηση	Τέλος εργασιών	Επιμετρητικά Φύλλα, ΦΕΕ

11.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- H. Vidal. (1969). *The Principle of Reinforced Earth*. Highway Research Board, 282.
- C. Facilitator. (2021). Reinforced Earth Wall, components, applications and advantages
- Reinforced Earth, "Our History"
- Γ. Χριστοδουλιάς, Παν. Αναγνωστόπουλος.(2015). *Εφαρμογές Οπλισμένης Γης, Αρχιμήδης*
- [Reinforced Earth Structures - Materials, Design Criteria and Uses \(theconstructor.org\)](http://theconstructor.org)
- [CONCEPT OF REINFORCED EARTH STRUCTURE DESIGN - The Constructor](#)
- ΕΑΚ 2000, (2001), Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, Οργανισμός αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.), Αθήνα.
- Εγνατία οδός, (2007), Οδηγίες σύνταξης μελετών οπλισμένων επιχωμάτων Εγνατίας - ΕΛΟΤ EN 14475: Execution of special geotechnical works - Reinforced fill, Ελλάδα.

10. ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

- <https://texdelta.com/en/blog/geogrids-main-features-and-applications>
- [http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special topics of foundat ion engineering-8 16.pdf](http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special%20topics%20of%20foundat%20ion%20engineering-8%2016.pdf)
- <https://www.journals.elsevier.com/geotextiles-and-geomembranes>].
- <http://artemis.library.tuc.gr/DT2000-0102/DT2000-0102.pdf>
- [http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special topics of foundation _engineering-8_ 16.pdf](http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special%20topics%20of%20foundation%20engineering-8%2016.pdf)
- <https://www.geomembranesliner.com/en/product/Textured-geomembrane-HDPE-liner.html>
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266114401000255?casa_token=17y5pjAL0HwAAAAA:gA0uzqKqQ8dRTDCfHjtp9Zpiip7vfp4WnjNmrDCtQmz4cIt5iADNM5FEIM7jde1Bgabkdp4MPQ
- <https://www.indiamart.com/proddetail/geosynthetic-membrane-12350921855.html>
- <https://unisol.gr/%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B1%CF%86%CF%81%CE%BF%CF%82/>
- <https://theconstructor.org/geotechnical/reinforced-earth-structures-design/492/>
- <http://www.igs-greece.gr/uploads/1/2/2/2/12220305/%CE%9F%CE%94%CE%97%CE%93%CE%99%CE%95%CE%A3%CE%A3%CE%A5%CE%9D%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%97%CE%A3%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%A9%CE%9D.pdf>
- <https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/PEY110/%CE%A4%CE%95%CE%9F%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%97%208%CE%B7%CE%91A.pdf>
- <http://www.amoives.gr/%CE%BA%CE%B5%CF%86%CE%AC%CE%B%CE%B1%CE%B9%CE%BF-%CE%B4-%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CF%84%CE%B5%CF%82-%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CF%89%CE%BD-%CE%BD-3316-05-dt16.html>
- <https://avax.gr/ta-erga-mas/tmima-egnatias-polimilos-leukopetra/>
- <https://www.protagon.gr/epikairoτητα/oi-agnwstes-agwnies-oriakos-sxediasmos-to-dna-tou-ergou-46373>

- <https://www.geoace.com/case/Earthwork-Construction/Reinforced-Earth-Embankment%2C-Miaoli%2C-Taiwan>
- www.choromonotiki.gr
- <https://www.evros24.gr/se-teliki-eytheia-i-oloklirosi-toy-erg/>
- <https://www.terre-armee.com/reinforced-earth/terra-link>
- <https://www.terrearmeeindia.com/wp-content/uploads/2019/07/Slope-Engineering-Pamphlet-for-web.pdf>
- https://www.researchgate.net/publication/328249202_Sustainable_and_environmentally_friendly_reinforced_soil_slopes_and_walls_constructed_with_draining_geogrids_recent_UK_experience
- <https://www.maccaferri.com/gr/%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1/green-terramesh-%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1-%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%B7%CF%82-2/>
- <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6087/htm>
 - <https://www.geogrid.com/en-us/applications/reinforced-steep-slopes>
 - <http://sate.gr/html/pdfDocuments/02-07-04-00.pdf>