

ΕΡΓΟ: ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ
ΠΛΩΤΙΝΟΠΟΛΗΣ

ΘΕΣΗ: ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΠΛΩΤΙΝΟΠΟΛΗΣ, ΔΗΜΟΣ
ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟΥ, Π.Ε. ΕΒΡΟΥ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ: ΣΑΠΑΛΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2023

REVISION 1

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

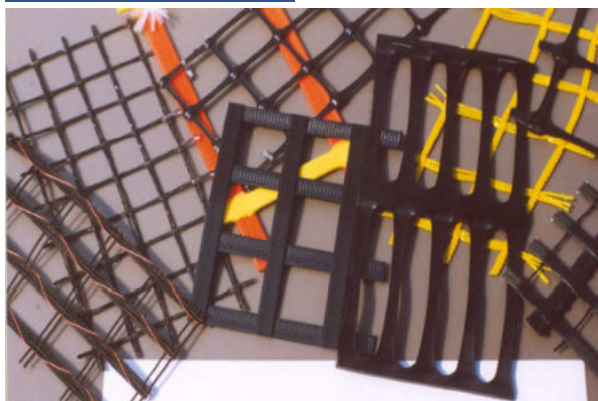
1.Γενικά στοιχεία για τα γεωσυνθετικά υλικά	4
1.1 Γεωπλέγματα (GG)	4
1.2 Μηχανισμοί ενίσχυσης.....	5
2. Ανάλυση ευστάθειας τοίχου οπλισμένης γης	7
2.1 Εξωτερική ευστάθεια τοίχου οπλισμένης γης	7
2.2 Εσωτερική ευστάθεια τοίχου οπλισμένης γης.....	10
3. Έλεγχος οπλισμένου πρανούς	13
4. Γενικά στοιχεία από ΟΜΟΕ 10 (Οδηγία Μελετών Οδικών Έργων – άρθρο 10)	17
5. Κατασκευαστικά στοιχεία	18
4.1 Κατηγορίες οπλισμών	18
4.2 Επιφανειακή επικάλυψη	18
4.3 Διαστάσεις του επιχώματος.....	18
4.4 Μέθοδος κατασκευής	19
4.5 Κριτήρια αποδοχής των παραπάνω εργασιών	20
6. Φωτογραφίες γεωπλεγμάτων από τη βιβλιογραφία	21

1.Γενικά στοιχεία για τα γεωσυνθετικά υλικά

Ο όρος γεωσυνθετικά υλικά (GS) ενδεικτικά περιλαμβάνει τα εξής:

- Γεωυφάσματα
- Γεωπλέγματα (GG=GeoGrid)
- Γεωδίκτυα
- Γεωμεμβράνες
- Γεωαφρούς

1.1 Γεωπλέγματα (GG)



Τα υλικά των γεωπλεγμάτων μπορεί να είναι: HDPE (HighDensityPolyEthulene), PP (Polypropylene), PET

Διακρίνονται σε δυο (2) κατηγορίες: i) μονοαξονικά ii) διαξονικά

Τελευταίας τεχνολογίας είναι και τα τριαξονικά γεωπλέγματα.

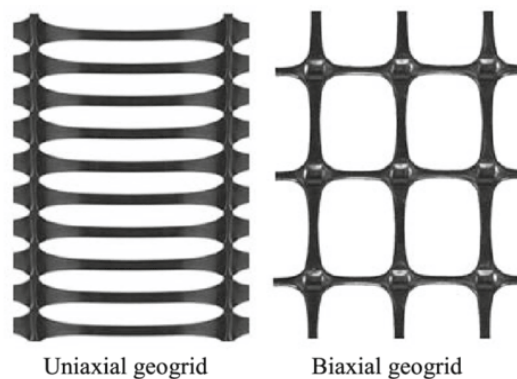
Σημαντική ιδιότητά τους είναι η αντοχή όχι μόνο των μελών αλλά και των κόμβων.

Τα γεωσυνθετικά μπορούν να έχουν πολλές λειτουργίες, όπως: διαχωρισμός, οπλισμός, διήθηση, στράγγιση και δράση ως φραγμός.

Εν προκειμένω, τα γεωπλέγματα δρουν ως οπλισμός της γη, όπως φαίνεται ακολούθως

Τύπος Γεωσυνθετικού	Διαχωρισμός	Οπλισμός	Διήθηση	Στράγγιση	Φραγμός
Γεωύφασμα	✓	✓	✓	✓	
Γεωπλέγμα		✓			
Γεωδίκτυο				✓	
Γεωμεμβράνη					✓
Γεωσυνθετικοί Αργιλικοί Φραγμοί					✓
Γεωσωλήνας				✓	
Γεωαφρός	✓				
Γεωσύνθετο	✓	✓	✓	✓	✓

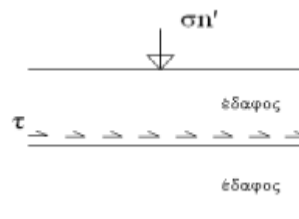
Εδώ, ενδείκνυται η χρήση διαξονικών γεωπλεγμάτων, τα οποία ελέγχουν τις διαφορικές καθιζήσεις, βελτιώνουν τη συμπύκνωση των επιχωμάτων, μειώνουν σημαντικά το πάχος του κοκκώδους υλικού, χωρίς μείωση της αντοχής.



1.2 Μηχανισμοί ενίσχυσης

Οι κοινοί μηχανισμοί ενίσχυσης για τα γεωυφάσματα και τα γεωπλέγματα είναι οι εξής:

Μηχανισμός διάτμησης



Στο μηχανισμό διάτμησης ορίζεται η μέγιστη διατμητική τάση μέσω του τύπου:

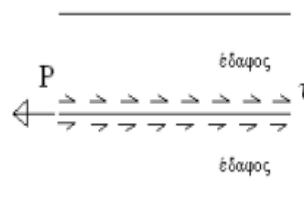
$$\tau = C_a + \sigma_n \cdot \tan \delta$$

όπου:

$C_a \Rightarrow$ η συνεκτικότητα του γεωσυνθετικού με το έδαφος

$\delta \Rightarrow$ η γωνία τριβής

Μηχανισμός αγκύρωσης

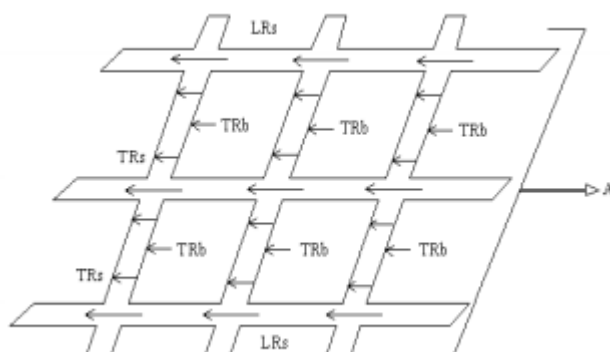


Στην εικόνα παραπάνω το P δηλώνει την ολίσθηση. Το γεωσυνθετικό παραμένει στη θέση του λόγω της εφελκυστικής αντοχής του.

Ισχύει: αντοχή αγκύρωσης = $\tau_{κάτω} + \tau_{πάνω}$

Μηχανισμός παθητικής αντίστασης

Τα γεωπλέγματα διαθέτουν παράλληλα και μηχανισμό παθητικής αντίστασης.



A : συνολική αντοχή αγκύρωσης/εξόλκευσης

LRs: διατμητική αντοχή διαμήκους στελέχους

TRs: διατμητική αντοχή εγκάρσιου στελέχους

TRb: φέρουσα ικανότητα εγκάρσιου στελέχους

Τα γεωπλέγματα εν προκειμένω θα χρησιμοποιηθούν με στόχο την όπλιση των γαιών. Ειδικότερα, σε τμήματα που θα γίνουν εκσκαφές, δεν αρκεί απλώς η εναπόθεση και η συμπύκνωση χωμάτων. Τα γεωπλέγματα τοποθετούνται κάτω από στρώματα εδάφους ή μεταξύ αυτών, για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων αυτών των στρωμάτων εδάφους. Αποτελούνται από υψηλής ανθεκτικότητας ίνες πολυεστέρα, με μεγάλη ελαστικότητα, πολύ καλές ιδιότητες μακροπρόθεσμης αντοχής, καθώς και χημική και βιολογική σταθερότητα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία οπλισμένης γης.

Η οπλισμένη γη είναι κατασκευή βαρύτητας που χτίζεται σταδιακά με γαίες και στοιχεία οπλισμού (ικανά να παραλάβουν εφελκυστικά φορτία) και κατά περίπτωση με στοιχεία κάλυψης του μετωπικού πρανούς. Έτσι είναι δυνατή η κατασκευή πρανών/τοιχών μεγαλύτερου ύψους ή και κλίσης από όσο θα ήταν δυνατόν με τη χρήση μη οπλισμένων γαιών δεδομένης αντοχής.

Η οπλισμένη γη είναι κατά κάποιο τρόπο ανάλογη με το οπλισμένο σκυρόδεμα, χωρίς όμως να είναι όμοια η μηχανική συμπεριφορά των δυο συστημάτων. Στο οπλισμένο σκυρόδεμα, ο οπλισμός σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο που να μεταφέρει τις εφελκυστικές τάσεις στα δομικά στοιχεία, ενώ στην οπλισμένη γη οι γαίες παραμένουν διαρκώς υπό θλιπτικό φορτίο και οι οπλισμοί παραλαμβάνουν τα εφελκυστικά φορτία, τα οποία μεταβιβάζουν τελικώς στις γαίες μέσω εφελκυστικών τάσεων. Αποτέλεσμα αυτού του μηχανισμού είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής του σύμμικτου συστήματος.

Πλεονεκτήματα μάλιστα της οπλισμένης γης έναντι των συμβατικών τοίχων αντιστήριξης είναι τα κάτωθι:

- Οικονομικότερη λύση
- Εύκολη και γρήγορη κατασκευή
- Δεν απαιτείται προσωρινή στήριξη του επιχώματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής
- Καταλληλότερες κατασκευές έναντι σεισμικής φόρτισης

- Εύκολη αποστράγγιση
- Ικανοποίηση αισθητικών απαιτήσεων σχεδιασμού

Για τη διερεύνηση της εξωτερικής ευστάθειας, η οπλισμένη γη θεωρείται ως μια ομογενής σύμμικτη μάζα.

2. Ανάλυση ευστάθειας τοίχου οπλισμένης γης

Η ανάλυση ευστάθειας κατασκευών οπλισμένης γης γίνεται κυρίως με μεθόδους οριακής ισορροπίας. Βέβαια, υπάρχουν και αριθμητικές μέθοδοι (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων).

Η θεωρία της Οριακής Ισορροπίας χρησιμοποιείται δεκαετίες τώρα στο σχεδιασμό εδαφικών πρανών. Η υιοθέτηση αυτής της μεθόδου για τον υπολογισμό και τη διαστασιολόγηση οπλισμένων επιχωμάτων θεωρείται από πολλούς ενδεδειγμένη. Αυτό συμβαίνει όχι μόνο γιατί υπάρχει σημαντική μελετητική και κατασκευαστική εμπειρία, αλλά και λόγω της απλότητας των παραμέτρων που χρησιμοποιεί και των αποτελεσμάτων της, η ορθότητα των οποίων μπορεί να διασταυρωθεί είτε με άλλες αναλύσεις, είτε με απλουστευμένους υπολογισμούς.

Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αδυναμία της να προσδιορίσει μετακινήσεις και παραμορφώσεις. Άλλωστε, για τον προσδιορισμό μετακινήσεων και παραμορφώσεων, ο πλέον δόκιμος τρόπος είναι με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Η πλέον συνήθης μέθοδος ανάλυσης είναι του British Standard BS 8006: 2010, που προβλέπει δυο οριακές καταστάσεις:

- Τελική Οριακή Κατάσταση (Ultimate Limit State): το έδαφος ή η κατασκευή καταρρέουν ή οι μετακινήσεις της κατασκευής αντιστήριξης οδηγούν σε σοβαρές βλάβες των άλλων τμημάτων της κατασκευής ή παρακείμενων κατασκευών.
- Οριακή Κατάσταση Λειτουργίας (Serviceability Limit State): οι μετακινήσεις της κατασκευής είναι τέτοιες που επηρεάζουν μόνο την εμφάνιση ή την ικανοποιητική χρήση της κατασκευής ή παρακείμενων κατασκευών.

2.1 Εξωτερική ευστάθεια τοίχου οπλισμένης γης

Έλεγχος σε ολίσθηση

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 2, δίνεται ως εξής:

Σ.Α. = ανθισταμενες δυνάμεις/ωθούμενες δυνάμεις

$$\Sigma.A_{ολίσθηση} = \frac{\mu(\gamma_w H L + w_s L)}{(K_{ab} \gamma_b \frac{H^2}{2}) + K_{ab} w_s H} = \frac{2\mu(\gamma_w H + w_s)}{K_{ab}(\gamma_b H + 2w_s) \left(\frac{H}{L}\right)}$$

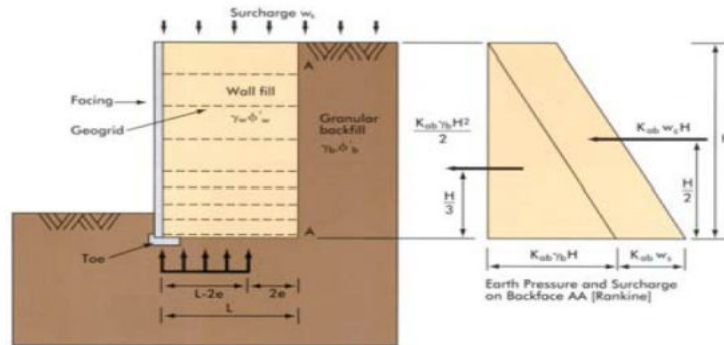
Έλεγχος σε ανατροπή

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 2, δίνεται ως εξής:

Σ.Α. = ροπές αποκατάστασης/εκτρεπτικές ροπές

$$\Sigma A_{\text{αναστροφή}} = \frac{3(\gamma_w H + w_s)}{K_{ab}(\gamma_b H + 3w_s)\left(\frac{H}{L}\right)^2}$$

Έλεγχος επάρκειας φέρουσας ικανότητας εδάφους – διαφορικές καθιζήσεις



Αρχικά, υπολογίζεται η εκκεντρότητα e , η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$e = \frac{K_{ab} H^2 (\gamma_b H + 3w_s)}{6L(\gamma_w H + w_s)}$$

Έπειτα, υπολογίζεται η αναπτυσσόμενη τάση σ_v , η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση, όπως ορίζεται στη δοθείσα γεωτεχνική έκθεση.

$$\sigma_v = \frac{\gamma_w H + w_s}{L - 2e}$$

Υπολογιστικό σκέλος

Με στόχο τη μελέτη της εξωτερικής ευστάθειας της σπλισμένης γης, μορφώθηκε υπολογιστικό φύλλο excel, μέσω του οποίου έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι.

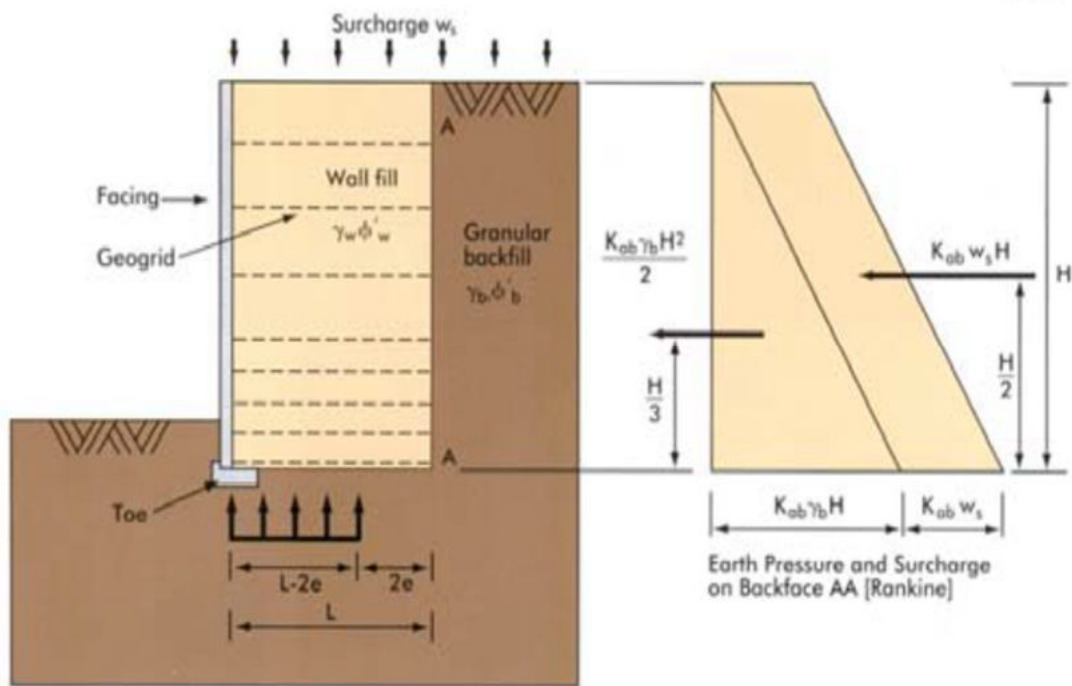
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από τη γεωτεχνική έκθεση και τη βιβλιογραφία ήταν τα εξής:

- $\gamma_w = 19.50 \text{ kN/m}^3$
- $\phi'_w = 25^\circ$
- $\gamma_b = 18.0 \text{ kN/m}^3$
- $\phi'_b = 33^\circ$
- Συντελεστής τριβής μ μεταξύ σπλισμένης γης και εδάφους θεμελίωσης = 0.50
- Φορτίο $w_s = 18.00 \text{ kN/m}^3$
- $\sigma_{\text{επ}} = 250 \text{ kPa}$ (σελ.37 γεωτεχνικής έκθεσης, για θεμελίωση επί του εδάφους με αργιλολυώδη άμμο)

Οι παραδοχές που έγιναν αναφορικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επιχώματος είναι οι εξής:

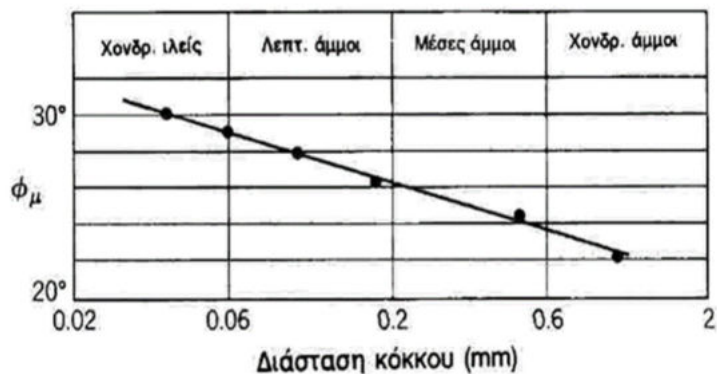
- Ύψος $H_{\text{ολικό}} = 2.0 \text{ m}$
- Μήκος $L_{\text{βάση}} = 3.0 \text{ m}$

Το τι είναι το κάθε μέγεθος που αναφέρεται παραπάνω, αποδίδεται στο ακόλουθο σχήμα



Παρακάτω ακολουθούν λίγες παρατηρήσεις/σχόλια, που αιτιολογούν τις παραπάνω επιλογές μεγεθών:

- Ως w_s ελήφθη μόνον το ι.β. του εδάφους υπέρ της ασφαλείας, διότι όσο μεγαλύτερο w_s ληφθεί στους υπολογισμούς, τόσο ευνοϊκότερο θα είναι για τον υπολογισμό της διατμητικής τάσης αντοχής τ_n .
- Όπου γ_w και ϕ'_w ορίζονται τα χαρακτηριστικά του εδάφους, στο οποίο θα ενσωματωθούν τα γεωπλέγματα. Αυτό το έδαφος θεωρείται ότι τα είναι άμμος και χαλίκια με τα εξής χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία:



- Όπου γ_b και ϕ'_b θα χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηριστικά του υφιστάμενου εδάφους, όπως δίνονται από τη γεωτεχνική έκθεση.

Υπολογιστικό σκέλος – αποτελέσματα

Έλεγχος σε ολίσθηση : $K_{ab} = 0.294$

$$(FS)_{ολίσθηση} = 4.00 > (FS)_{req} = 2.00$$

Έλεγχος σε ανατροπή : $(FS)_{ανατροπή} = 14.50 > (FS)_{req} = 2.00$

Έλεγχος επάρκειας φέρουσας ικανότητας εδάφους – διαφορικές καθιζήσεις: $e = 0.10m$

$$\sigma_v = 20 \text{ kPa} < 250 \text{ kPa}$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΩΝ									
ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ					
γωνία β	0	μοίρες		Συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων K_{ab}	0,294801			$\Sigma A_{ολισθηση} = \frac{\mu(\gamma_w H L + w_s L)}{(K_{ab} \gamma_B^2) + K_{ab} w_s H} = \frac{2\mu(\gamma_w H + w_s)}{K_{ab}(\gamma_B H + 2w_s)} \left(\frac{H}{L}\right)$	
γωνία ϕ_b	33	μοίρες		Συντελεστής Ασφάλειας Ολίσθησης	4,028142	>	2		
Βοηθητικές τιμές				Συντελεστής Ασφάλειας Ανατροπής	14,50131	>	2	TRUE	
Έλεγχος επάρκειας φέρουσας ικανότητας - έλεγχος καθιζήσεων									
Εκκεντρότητα e	0.103438909			$e = \frac{K_{ab} H^2 (\gamma_B H + 3w_s)}{6L(\gamma_w H + w_s)}$					
σ_v	20,40727054	kPa		<	$\sigma_{τε} =$	250	TRUE	$\sigma_v = \frac{\gamma_w H + w_s}{L - 2e}$	
Εσωτερική ευστάθεια - εφελκυσμός (θράυση)									
K_{sw}	0,405858517								
$h_i(m)$	19h + 10	18h + 30	$(h_i/4,1)^2$	0,33*(18h+30)/(3*(19h+10))	V(max) για TG1	V(max) για TG2			
0,2	13,8	33,6	0,00238	0,267826087	3,486772699	5,364265691			
0,4	17,6	37,2	0,009518	0,2325	2,729636239	4,199440368			
0,6	21,4	40,8	0,021416	0,209719626	2,239808387	3,445859056			
0,8	25,2	44,4	0,038073	0,193809524	1,89654251	2,917757708			
1	29	48	0,059488	0,182068966	1,642298482	2,526613049			
1,2	32,8	51,6	0,085663	0,17304878	1,446170836	2,224878209			
1,4	36,6	55,2	0,116597	0,165901639	1,290076118	1,984732489			
1,6	40,4	58,8	0,15229	0,16009901	1,162728287	1,788812749			
1,8	44,2	62,4	0,192742	0,155294118	1,056719212	1,625721865			
2	48	66	0,237954	0,15125	0,966984856	1,487669009			
Εσωτερική ευστάθεια - ολίσθηση									
γωνία B	32,5	μοίρες							
tan (B)	0,637070261								
$\phi'_w + B$	57,5	μοίρες							
tan($\phi'_w + B$)	1.569685577								

Εικόνα 1: Υπολογιστικό φύλλο excel υπολογισμού των γεωπλεγμάτων

2.2 Εσωτερική ευστάθεια τοίχου οπλισμένης γης

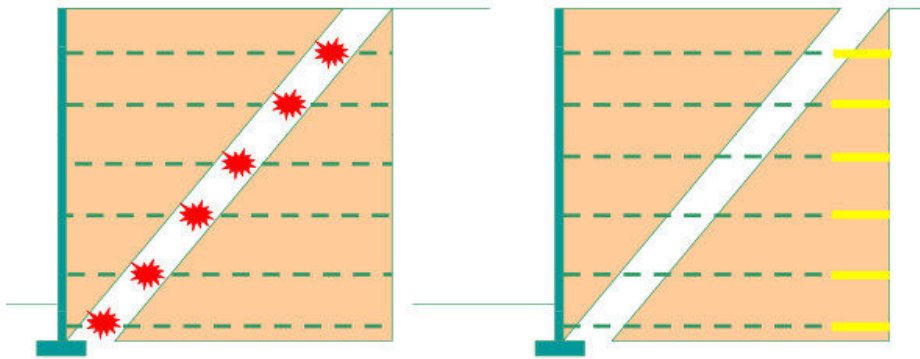
Με την ανάλυση εσωτερικής ευστάθειας προσδιορίζεται η απαιτούμενη εφελκυστική αντοχή κάθε στρώσης, η οποία εξασφαλίζει ότι το οπλισμένο τμήμα του επιχώματος δε θα αστοχήσει λόγω του ιδίου βάρους και της επιφόρτισης του. Αυτή η ανάλυση προσδιορίζει την εφελκυστική δύναμη ανά στρώση οπλισής.

Αυτή η εφελκυστική δύναμη εξασφαλίζει την εσωτερική ευστάθεια έναντι πλευρικών ωθήσεων και στηρίζει το πρανές, ώστε να μην ολισθήσει κατά μήκος των πιθανών επιφανειών ολίσθησης, που ξεκινούν από το μέτωπο του πρανούς.

Αναφορικά με την εσωτερική ευστάθεια του τοίχου οπλισμένης γης θα πρέπει να ελεγχθούν:

(i) αστοχία σε εφελκυσμό/θραύση

(ii) ολίσθηση οπλισμού πέραν του επιπέδου αστοχίας. Τα παραπάνω αποδίδονται στην κάτωθι εικόνα.



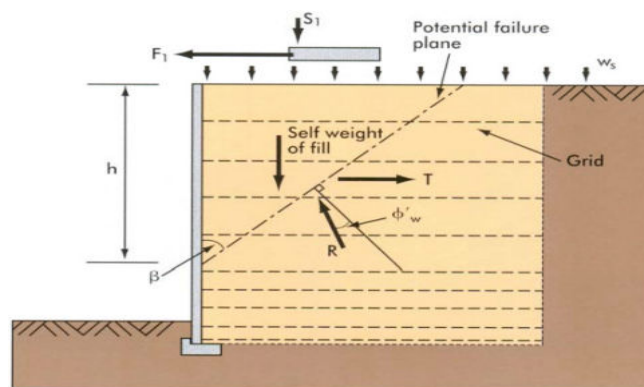
Εικόνα 2: Αστοχία σε εφελκυσμό/θραύσης Εικόνα 3: Ολίσθηση οπλισμού πέραν του επιπέδου αστοχίας

Έλεγχος για Αστοχία σε εφελκυσμό/θραύση

Γίνεται η παραδοχή ότι χρησιμοποιούνται διαξονικά γεωπλέγματα με αντοχή εφελκυσμού 20kN/m.

Άρα, design strength = 20kN/m

Έλεγχος αντοχής οπλισμού σε ολίσθηση – εξόλκευση



Μηχανισμοί μεταφοράς φορτίων μεταξύ του οπλισμού και των γαιών

Τα φορτία πρέπει να μεταφερθούν από τις γαίες στους οπλισμούς. Αυτό γίνεται με τους εξής τρόπους/μηχανισμούς.

- Μέσω της τριβής των επιφανειών επαφής
- Μέσω της παθητικής αντίστασης.

Η παθητική αντίσταση στις ωθήσεις γαιών σε επιφάνειες του οπλισμού που τοποθετείται εγκάρσια στη διεύθυνση της κίνησης της εξόλκευσης του από τη μάζα των γαιών.

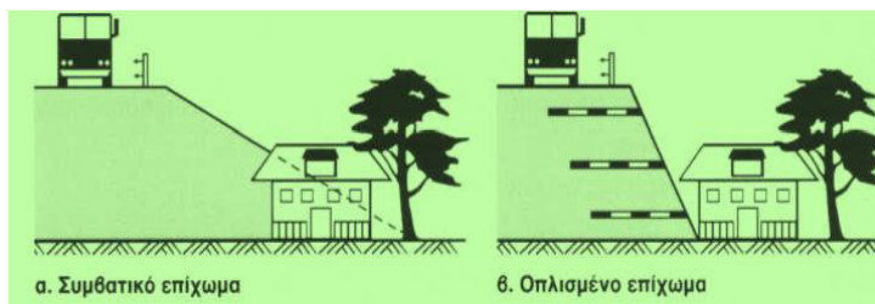


3. Έλεγχος οπλισμένου πρανούς

Τα στοιχεία όπλισης των επιχωμάτων διακρίνονται σε όλκιμα ή εύκαμπτα (extensible) και σε άκαμπτα (inextensible).

Τα γεωφύσματα και τα γεωπλέγματα κατατάσσονται στην 1^η κατηγορία. Στη 2^η κατηγορία κατατάσσονται οι μεταλλικές ράβδοι και τα χαλύβδινα πλέγματα.

Τα οπλισμένα πρανά διαμορφώνονται με κλίσεις περισσότερο απότομες από εκείνες των συμβατικών επιχωμάτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται το εύρος κατάληψης και να εξοικονομούνται υλικά.



Αξιοποιώντας αυτή τη δυνατότητα των οπλισμένων επιχωμάτων, επιλέγεται όπως προαναφέρθηκε παραπάνω $H = 2\text{m}$ και $L_{\text{βάση}} = 3\text{m}$ και $L_{\text{στέψη}} = 1\text{m}$ το οποίο μεταφράζεται σε κλίση 1:1 και γωνία πρανούς $\beta = 45^\circ$.

Τα πρανά διαθέτουν πρωτεύων και δευτερεύων οπλισμό.

Ο πρωτεύων οπλισμός έχει στόχο να εξασφαλίσει ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας έναντι περιστροφικής ή επίπεδης ολίσθησης. Η μέθοδος διαστασιολόγησης προσδιορίζει το μέγεθος και την πυκνότητα του πρωτεύοντος οπλισμού, ώστε να προκύπτει ο απαιτούμενος συντελεστής ασφάλειας.

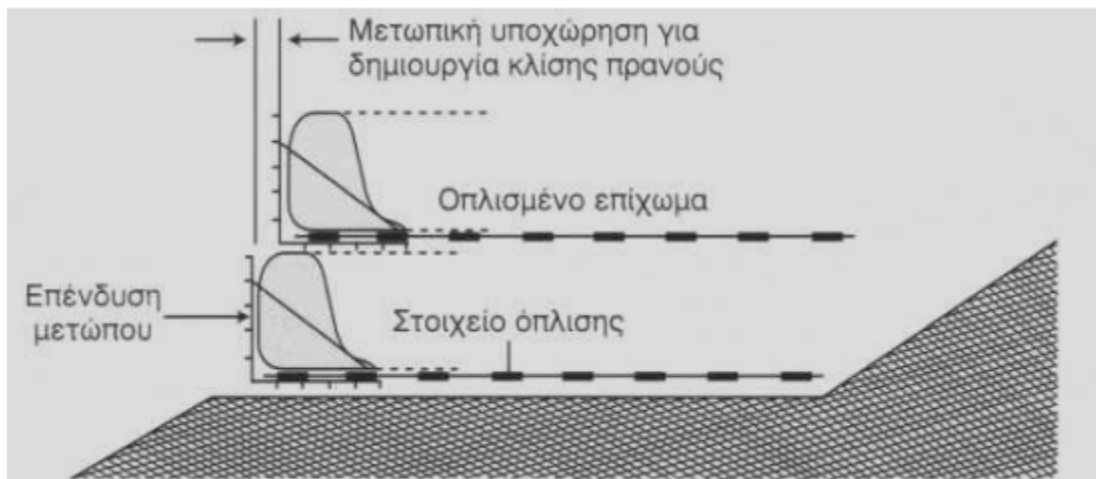
Ο απαιτούμενος συντελεστής προκύπτει ανάλογα με τη σημασία του έργου.

Όταν η γωνία πρανούς του οπλισμένου επιχώματος είναι περίπου 45° , ο δευτερεύων οπλισμός τοποθετείται ανά αποστάσεις καθύψους 30cm – 60cm και έχει μήκος 2m.

Εν προκειμένω, αποφασίζεται ο δευτερεύων οπλισμός να έχει μήκος ίσο με 2.0m και να τοποθετείται ανά 30cm.

Με τη βοήθεια του δευτερεύοντος οπλισμού (στην πρόσοψη του πρανούς) επιτυγχάνεται συμπύκνωση της πρόσοψης, με αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους και την αντίσταση κατά της διάβρωσης. Επίσης, ο δευτερεύων οπλισμός δρα σαν ενίσχυση έναντι των αβαθών αστοχιών.

Η αναδίπλωση των φύλλων των γεωσυνθετικών υλικών και η αγκύρωση τους στην αμέσως επόμενη στρώση βελτιώνει την επιφανειακή ευστάθεια και προστατεύει από διάβρωση (βλ. παρακάτω σχήμα).

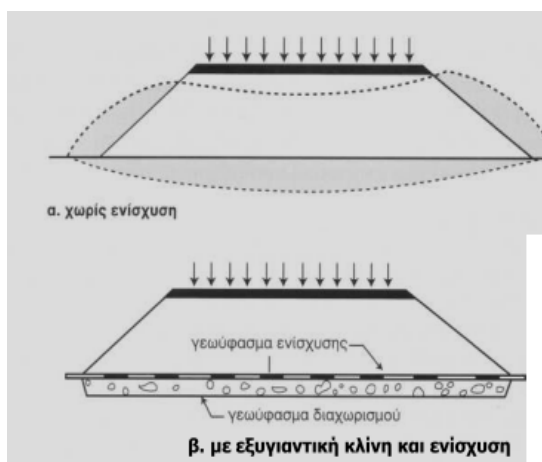


Εδώ επιλέγεται τα φύλλα να αναδιπλώνονται.

Αξίζει να τονιστεί ότι θα πρέπει να ενισχυθεί κι η θεμελίωση του επιχώματος.

Η ενίσχυση της θεμελίωσης του επιχώματος μέσω γεωφασμάτων γίνεται σε περιπτώσεις έδρασης των γεωκατασκευών σε συμπιεστά εδαφικά στρώματα μεγάλου πάχους (αργιλοιλείς, μαλακές άργιλοι, οργανικά εδάφη).

Εν προκειμένω, το επίχωμα μας το οποίο έχει ύψος ίσο με 2.0m θεμελιώνεται σε “κακό” έδαφος αργιλολυώδους άμμου, οπότε επιλέγεται να τοποθετηθεί ένα γεωύφασμα στον πυθμένα της εξυγιαντικής κλίνης.



Η εξυγιαντική στρώση η οποία καλύπτεται από ένα πρώτο γεωύφασμα όπως αναφέρθηκε παραπάνω, βελτιώνει την ευστάθεια της κατασκευής εν συνόλω και συντελεί στη μείωση της δευτερογενούς καθίζησης.

Μέθοδος διαστασιολόγησης μέσω της ισορροπίας των δυο σφηνών

Η προσέγγιση οριακής ισορροπίας των δυο σφηνών είναι η μέθοδος οριακής ισορροπίας η οποία εφαρμόζεται διεθνώς για τη διαστασιολόγηση οπλισμένων επιχωμάτων.

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, η πιθανή αστοχία θεωρείται ότι είναι πάντα η αστοχία στον πόδα.

Βασικές παραδοχές μεθόδου είναι ότι το υλικό επίχωσης είναι ομοιογενές και το υπέδαφος απαράμορφωτο.

Παρακάτω ακολουθούν υπολογισμοί διαστασιολόγησης με τη βοήθεια νομογραφημάτων. Σύμφωνα με τη θεωρία, τα νομογραφήματα μπορούν να εφαρμοστούν όταν ικανοποιούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

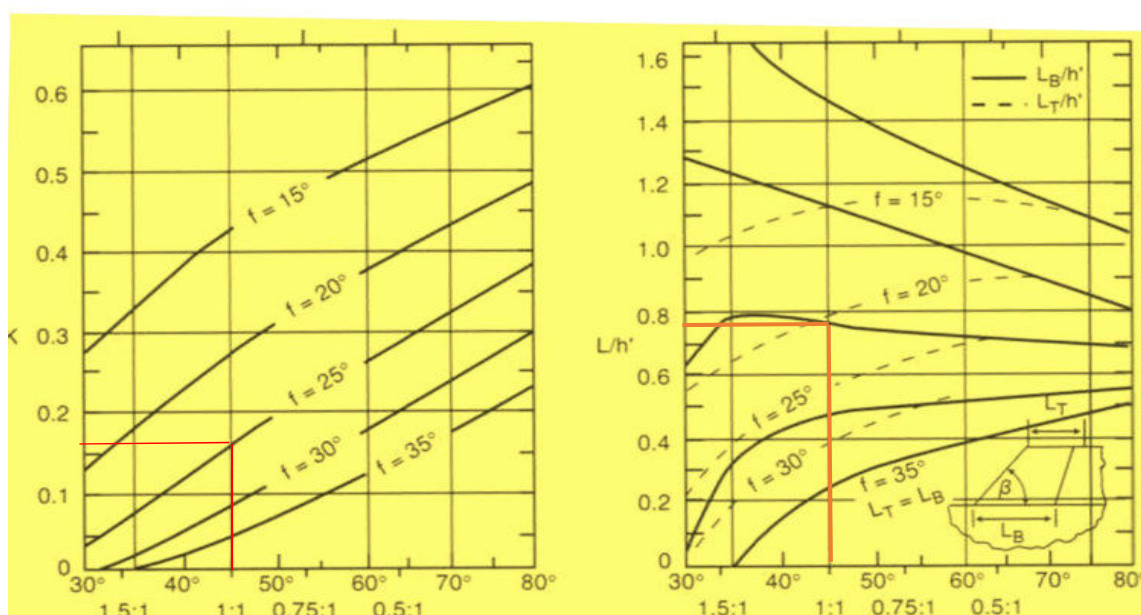
- Κλίση πρανούς β : $10^\circ < \beta < 70^\circ \Rightarrow$ έχουμε $\beta = 45^\circ$ (OK)
- Γωνία τριβής ϕ υλικού επίχωσης : $15^\circ < \phi < 50^\circ \Rightarrow$ έχουμε $\phi = 25^\circ$

Υπολογίζεται μια γωνία f , Η οποία δεν έχει ποιοτικό νόημα, αλλά ο υπολογισμός της είναι βασικός για την αξιοποίηση των νομογραφημάτων

$$\tan(f) = \tan(\phi) / SF = \tan(25^\circ) / 1.50 = 0.47 / 1.50 = 0.313 \Rightarrow f = 17.38^\circ$$

Ο συντελεστής ασφαλείας παίρνει τιμές από 1.30 έως 1.50. Εδώ υπέρ της ασφαλείας, λαμβάνεται: $SF = 1.50$

Η γωνία f στρογγυλοποιείται στις 20° .



Από το 1^ο νομογράφημα, έχουμε: $f = 25^\circ$ και κλίση 1:1, λαμβάνεται: $K = 0.15$

Η μέγιστη αναπτυσσόμενη δύναμη $T_{\max}$ που πρέπει να παραληφθεί από τα στοιχεία όπλισης είναι:

$$T_{\max} = 0.5 * K * \gamma * h^2 = 0.50 * 0.15 * 19.50 \text{ kN/m}^3 * 2^2 \text{ m}^2 = 5.85 \text{ kN/m}$$

Στη συνέχεια επιλέγεται ένα στοιχείο όπλισης, ένα γεωφάσμα δηλαδή, το οποίο θα είναι ενιαίο για το σύνολο του ύψους του επιχώματος με αντοχή P . Η αντοχή P δίνεται συνήθως έτοιμη, ως προϊόν δοκιμαστικών φορτίσεων και ελέγχων.

Εν προκειμένω, επιλέγονται γεωπλέγματα με αντοχή εφελκυσμού ίση με 20 kN/m .

Επιλέγεται να τοποθετηθούν γεωπλέγματα με κατακόρυφη απόσταση $S_v = 0.50 \text{ m}$.

Άρα, το πλήθος των γεωπλεγμάτων: $N = h / S_v = 2 \text{ m} / 0.50 \text{ m} = 5 \Rightarrow N = 4$

Η S_v , η οποία επιλέχθηκε ίση με 0.50 m , πρέπει να ελεγχθεί ότι δεν ξεπερνά μια μέγιστη τιμή για κάθε στρώση.

Επειδή η διαστασιολόγηση προβλέπει απόσταση S_v ενιαία για το σύνολο του ύψους του επιχώματος, ο έλεγχος αυτός περιορίζεται μόνο στην κατώτερη στάθμη.

Για την κατώτερη στάθμη λοιπόν το $z_i = 1.60\text{m}$, μιας και το z_i μετράται από την επιφάνεια του επιχώματος.

Συνεπώς: $S_{v,max} = P_o / K \cdot \gamma \cdot z_i$

$$= 20 / (0.15 \cdot 19.50 \cdot 1.60)$$

$$= 20 / 4.68 = 4.27\text{m}$$

Από το νομογράφημα παραπάνω προκύπτουν τα εξής:

$$L_T / h' = 0.75 \Rightarrow L_T = 0.75 \cdot h' = 0.75 \cdot 2\text{m} = 1.5\text{m} \Rightarrow \text{έχει επιλεγεί } L_T = 3\text{m} > 1.5\text{m} \text{ (OK)}$$

Τονίζεται ότι, οι εκτιμήσεις των ελάχιστων μηκών L_T και L_B βασίζονται στην παραδοχή σταθερού συντελεστή αλληλεπίδρασης μεταξύ εδάφους και στοιχείου όπλισης $\mu = 0.90$

Εάν θέλουμε να υπολογίσουμε το συντελεστή μ με μεγαλύτερη ακρίβεια, χρησιμοποιούμε τον κάτω πίνακα.

Ομάδα εδάφους	Γωνία τριβής	Γεώπλεγμα	Γεωύφασμα
GW, GM	$\varphi \geq 34^\circ$	$\mu = 0,80$	$\mu = 0,90$
SW, SM	$\varphi \geq 30-33^\circ$	$\mu = 0,75$	$\mu = 0,80$
SC, ML	$\varphi \geq 27-29^\circ$	$\mu = 0,60$	$\mu = 0,70$

Προκύπτει ότι το $\mu = 0.75$.

Επειδή το $\mu_{\text{προκύπτον}} = 0.75 < \mu_{\text{νομογραφημάτων}} = 0.90$, τότε καλό είναι να γίνει ο παρακάτω έλεγχος:

Για την κατώτερη στρώση: $T_{\max} < L_B \cdot \gamma \cdot Z_2 \cdot \mu \cdot \tan f$

$$= 3\text{m} \cdot 19.50\text{kN/m}^3 \cdot 0.75 \cdot 1.60\text{m} \cdot 0.30 = 21\text{kN/m} \text{ (OK)}$$

4. Γενικά στοιχεία από ΟΜΟΕ 10 (Οδηγία Μελετών Οδικών Έργων – άρθρο 10)

Τα έργα διακρίνονται σε 4 κατηγορίες, βάσει του χρόνου χρήσης τους:

- Κατηγορία I : προσωρινές κατασκευές με ελάχιστο χρόνο χρήσης 5 έτη
- Κατηγορία II : κατασκευές περιορισμένης διάρκειας, με ελάχιστο χρόνο χρήσης 30 έτη
- Κατηγορία III : μόνιμες κατασκευές με ελάχιστο χρόνο χρήσης 70 έτη

Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται έργα σε αυτοκινητόδρομους, εθνικές οδούς, επαρχιακές οδούς κλπ

- Κατηγορία IV : μόνιμες κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας, με ελάχιστο χρόνο χρήσης 100 έτη. Οι κατασκευές που κατατάσσονται στην κατηγορία IV έχουν μεγάλους συντελεστές ασφαλείας.

Το μελετώμενο έργο κατατάσσεται στην κατηγορία IV.

Επιπλέον, τα έργα κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες, βάσει της επιρροής του περιβάλλοντος:

- Κατηγορία Α : Κατασκευές έξω από το νερό (αυτές που δεν κατακλύζονται ποτέ από νερό)
- Κατηγορία Β : Κατασκευές μέσα σε γλυκό νερό (κατακλύζονται μόνιμα ή περιοδικά, μερικώς ή πλήρως από νερό)
- Κατηγορία Γ : Κατασκευές σε αλμυρό ή υφάλμυρο νερό
- Κατηγορία Δ : Ιδιαίτερες κατασκευές (αυτές που βρίσκονται σε περιβάλλον ιδιαίτερα επιθετικό για το χάλυβα ή το σκυρόδεμα)

Οι παραπάνω κατατάξεις δεν επηρεάζουν μεγέθη που υπεισέρχονται τους στατικούς υπολογισμούς, αλλά διατυπώνονται απλά για λόγους πληρότητας.

5. Κατασκευαστικά στοιχεία

4.1 Κατηγορίες οπλισμών

Για την κατασκευή των οπλισμένων επιχωμάτων χρησιμοποιούνται δυο είδη οπλισμών:

- ο Χαλύβδινος οπλισμός

Συμπεριλαμβάνονται λωρίδες, ράβδοι και πλέγματα, τα οποία είναι γαλβανισμένα ανάλογα με τον τύπο και τη διάρκεια ζωής του έργου. Υπάρχουν διάφορες προδιαγραφές που αφορούν τους χαλύβδινους οπλισμούς.

- ο Πολυμερικοί οπλισμοί

Συμπεριλαμβάνονται πολυμερικές λωρίδες, πολυμερικά γεωπλέγματα ή φύλλα, που είναι συνήθως πολυεστερικής ή πολυαιθυλενικής σύστασης. Υπάρχουν προδιαγραφές σχετικές με τους πολυμερικούς οπλισμούς.

Σύμφωνα με την ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-07-04-00:2009, ορίζονται τα εξής:

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

Εν προκειμένω, επιλέγονται διαξονικά γεωπλέγματα από φύλλα πολυπροπυλενίου, τα οποία θα έχουν προκύψει με τη μέθοδο της εξώθησης για τη δημιουργία μιας διάτρητης επιφάνειας, που ακολουθείται από το τάνυσμα του υλικού και προς τις δύο κατευθύνσεις, κάτω από ελεγχόμενη θερμοκρασία.

4.2 Επιφανειακή επικάλυψη

Το επίχωμα θα πρέπει να “ντυθεί” εξωτερικά, όχι μόνο για αισθητικούς λόγους, αλλά και για λόγους προστασίας των οπλισμών που θα υπάρχουν εντός αυτού. Το είδος της επικάλυψης εξαρτάται από: i) περιβαλλοντικούς παράγοντες ii) τα χαρακτηριστικά του έργου.

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες επενδύσεων:

- Εύκαμπτη επένδυση με αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων
- Ημιεύκαμπτες επενδύσεις από συνθετικά υλικά (πολυμερή), συρματοπλέγματα ή συρματοκιβώτια
- Δύσκαμπτες επενδύσεις από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πλάκες σκυροδέματος, μεταλλικά φύλλα και ξύλο

Σύμφωνα με τις ΠΕΤΕΠ 11-02-05-00:2006, η επιφανειακή επικάλυψη θα πρέπει να πληρεί κάποια κριτήρια (πχ να επιτρέπει τις απαιτούμενες κατακόρυφες και οριζόντιες αποκλίσεις), ώστε να γίνει αποδεκτή. Το μήκος αναδίπλωσης δεν μπορεί να είναι μικρότερο από 1.5m.

Εν προκειμένω, επιλέγεται η επιφανειακή επικάλυψη να είναι μια εύκαμπτη επένδυση με αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων.

Αναφορικά με την επιλογή της βλάστησης, θα πρέπει να είναι συμβατή με τα τοπικά φυτοκομικά και αγρονομικά κριτήρια, καθώς και με κριτήρια για τη συντήρησή της.

4.3 Διαστάσεις του επιχώματος

Σύμφωνα με τις γαλλικές οδηγίες, με τον έλεγχο ευστάθειας θα υπολογιστεί το κατάλληλο μήκος οπλισμού που απαιτείται για την κατασκευή. Πρέπει να ισχύει:

$L > 0.4 \cdot H_m$ (στον πόδα)

Κατά το σχεδιασμό, θα πρέπει να δημιουργείται ένα όσο το δυνατόν πιο κανονικό γεωμετρικά, οπλισμένο πρίσμα. Μεταξύ δυο διαδοχικών οπλισμών, θα πρέπει να ισχύει το εξής για τη διαφορά μήκους:

$$\Delta L_{\max} = 0.15 \cdot H_m$$

Αναφορικά με την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών, συνίσταται να κυμαίνεται μεταξύ 20cm – 80cm, ώστε το επίχωμα διατηρεί ομοιογενή συμπεριφορά.

🔧 Εν προκειμένω, ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις:

$$L = 3m > 0.4 \cdot H_m = 0.8m \text{ (ok)}$$

🔧 Επιλέγονται:

$$\Delta L = 0.10m < \Delta L_{\max} = 0.15 \cdot H_m = 0.30m$$

$$\text{Κατακόρυφη απόσταση οπλισμών} = 0.4m (< 0.80m \Rightarrow \text{ok})$$

4.4 Μέθοδος κατασκευής

Τα βήματα που ακολουθούνται για την κατασκευή ενός οπλισμένου επιχώματος είναι τα εξής:

- Διάστρωση γεωπλεγμάτων και γεωυλικών: Μπορεί να γίνει χειρωνακτικά ή και με άλλο τρόπο. Οι στρώσεις του γεωυλικού θα είναι από 25-65cm. Στην ακραία ζώνη επίχωσης, οι στρώσεις θα έχουν πάχος 20-25cm. Το γεωυλικό θα πρέπει να είναι αμμοχαλικώδες. Η βάση του επιχώματος, όπως και η άνω στρώση θα πρέπει να είναι με υλικό κατηγορίας τουλάχιστον E3.
- Δονητική συμπίκνωση: Μέσω αυτής επιτυγχάνεται βαθμός συμπίκνωσης υψηλότερος από 95% της βέλτιστης εργαστηριακής πυκνότητας του υλικού κατά E106-86/2. Στην ακραία ζώνη επίχωσης, οι στρώσεις θα έχουν πάχος 20-25cm.
- Διαμόρφωση εξωτερικής παρειάς: Γίνεται με τη βοήθεια ξυλοτύπων ή με ειδικά εξαρτήματα από ανοξείδωτο χάλυβα (αγκυρώσεις, μεταλλικά πλέγματα, τένοντες, κλπ), βάσει της μελέτης.
- Τοποθέτηση γεωκυψελών εξωτερικά του επιχώματος: Αποτελούνται από λωρίδες πολυαιθυλενίου με πάχος 1.0-1.4mm, που θα είναι συγκολλημένες μεταξύ τους, σχηματίζοντας τετραγωνικές ή εξαγωνικές κυψέλες. Οι γεωκυψέλες θα πληρωθούν με φυτική γη.

Λόγω ευαισθησίας των συστατικών υλικών των γεωσυνθετικών φύλλων στην υπεριώδη ακτινοβολία, επιβάλλεται η προστασία τους από την υπεριώδη ακτινοβολία καθόλη τη διάρκεια της κατασκευής.

Δε συνίσταται η χρήση δονητικών οδοστρωτήρων ή οδοντωτών κυλίνδρων σε στρώση με πάχος 30cm ή μικρότερου πάνω από τον κύριο οπλισμό.

Ακόμα και απλή διέλευση οχημάτων σε φύλλα γεωσυνθετικών υλικών προκαλεί απόσπαση και αναδίπλωση των φύλλων, τα οποία θα πρέπει να επανατοποθετηθούν, εφόσον δεν έχουν καταστραφεί.

Γωνιώδεις λίθοι, αιχμηρά αντικείμενα, ράβδοι σιδηρού οπλισμού και άλλα μεταλλικά στοιχεία μπορούν να σχίσουν το γεωύφασμα στη φάση της κατασκευής.

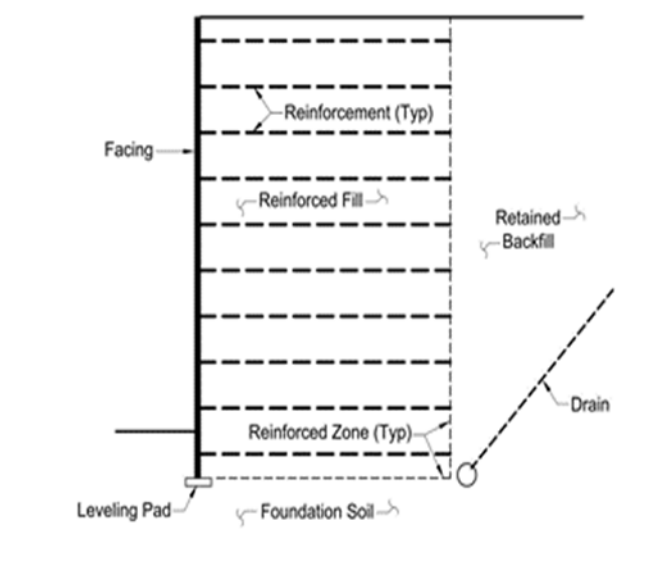
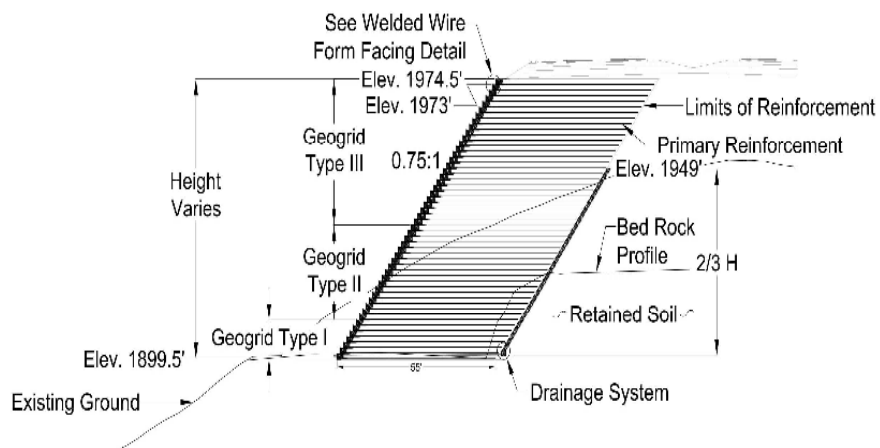
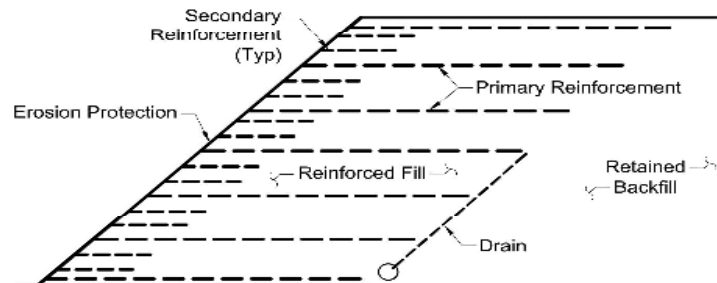
Γενικά, η διάστρωση και η συμπύκνωση της στρώσης της υπερκείμενης του γεωσυνθετικού υλικού θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.

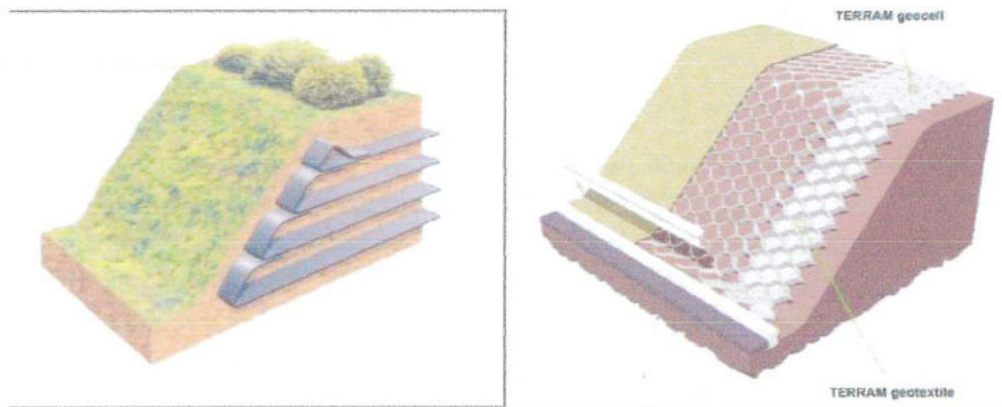
4.5 Κριτήρια αποδοχής των παραπάνω εργασιών

- Έλεγχος και παραλαβή: Η ανώτατη στάθμη του επιχώματος δεν μπορεί να παρουσιάζει απόκλιση μεγαλύτερη από 30cm.
- Δοκιμές: Στον πίνακα αναγράφονται οι δοκιμές που είναι απαραίτητο να γίνουν για τα εδαφικά υλικά, βάσει των αντίστοιχων προτύπων. Κατά τη διάρκεια των εργασιών, θα πρέπει να γίνονται ποιοτικοί έλεγχοι και στα υλικά και στην κατασκευή.

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 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 συμπύκνωσης	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

6. Φωτογραφίες γεωπλεγμάτων από τη βιβλιογραφία





Εικόνα 2-7 : Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών με (α) αναδυσλώσεις γεωπλεγμάτων και (β) γεωδυκτίων (www.terram.com)

Τέλος, αξίζει να τονιστεί ότι όπου κριθεί απαραίτητο ο εργολάβος οφείλει να συντάξει σχέδιο λεπτομέρειας εφαρμογής της σπλισμένης γης.

Ο ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΣΑΠΑΛΙΔΗΣ ΔΗΜ. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
ΔΙΠΛ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Α.Π.Θ.
ΜΕΛΟΣ Τ.Ε.Ε. ΑΡ. ΜΗΤΡ. 82735
ΜΕΛΟΜΕΝΗΣ 20 ΧΟΛΑΡΓΟΣ
ΤΗΛ. 6940027 - 0937 417515 - ΑΘΗΝΑ
Α.Φ.Μ. 044694943 - ΔΟΥ ΧΟΛΑΡΓΟΥ

Χ. & Θ. ΨΙΜΟΠΟΥΛΟΣ Ο.Ε.
ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ
Ο.Τ. 456 ΑΡΚΑΔΙΑΣ & ΜΥΡΩΝΟΣ - ΑΣΠΡΟΥΡΓΟΣ
ΑΦΜ 999928515 - ΔΟΥ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ
ΤΗΛ. 210 49 49 482

ΘΕΩΡΗΘΗΚΕ
Σύμφωνα με τους όρους της
απόφασης ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
52329/15-2-23
215773/17-5-24
Ο ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΠΡΟΪΣΤΑΜΕΝΟΣ
ΤΗΣ ΔΑΑΜ ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ ΒΛΑΧΟΥΛΗΣ

Το παρόν συνοδεύει την
σημ. 215773/17-5-24
Απόφαση του ΥΠΠΟ