

8. ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Χρήστος Τσατσανίφος
Δρ. Πολ.Μηχανικός

Αχ. Παπαδημητρίου
Επ. Καθηγητής

Φεβρουάριος 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 8.1 Γενικά περί Γεωσυνθετικών Υλικών
- 8.2 Εφαρμογές σε Οδικά, Γεωτεχνικά, Γεω-περιβαλλοντικά και Υδραυλικά Έργα
- 8.3 Οπλισμένη Γη

Στοιχεία από το Geosynthetic Institute
ιστοχώρος: www.geosynthetic-Institute.org
και από διαλέξεις του R. Koerner
ηλ.δι.: robert.koerner@coe.drexel.edu

8.1 Γενικά περί Γεωσυνθετικών Υλικών

- Τα γεωσυνθετικά είναι "γεωπολυμερή"
- Πρώτη ύλη το φυσικό αέριο από το οποίο προκύπτει ρητίνη σε μορφή νιφάδων
- Ανάμιξη με πρόσθετα
- Παραγωγή συγκεκριμένου τύπου γεωσυνθετικού υλικού

(πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, πολυαμίδιο (nylon), πολυβινυλοχλωρίδιο, πολυστυρένιο και πολυεστέρας)



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γεωσυνθετικά (GS) Υλικά

- Γεωυφάσματα - geotextiles (GT)
- Γεωπλέγματα - geogrids (GG)
- Γεωδίκτυα - geonets (GN)
- Γεωμεμβράνες - geomembranes (GM)
- Γεωσυνθετικοί αργιλικοί φραγμοί - geosynthetic clay liners (GCL)
- Γεωσωλήνες - georipes (GP)
- Γεωαφρός - geofoam (GF)
- Γεωσύνθετα υλικά - geocomposites (GC)



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

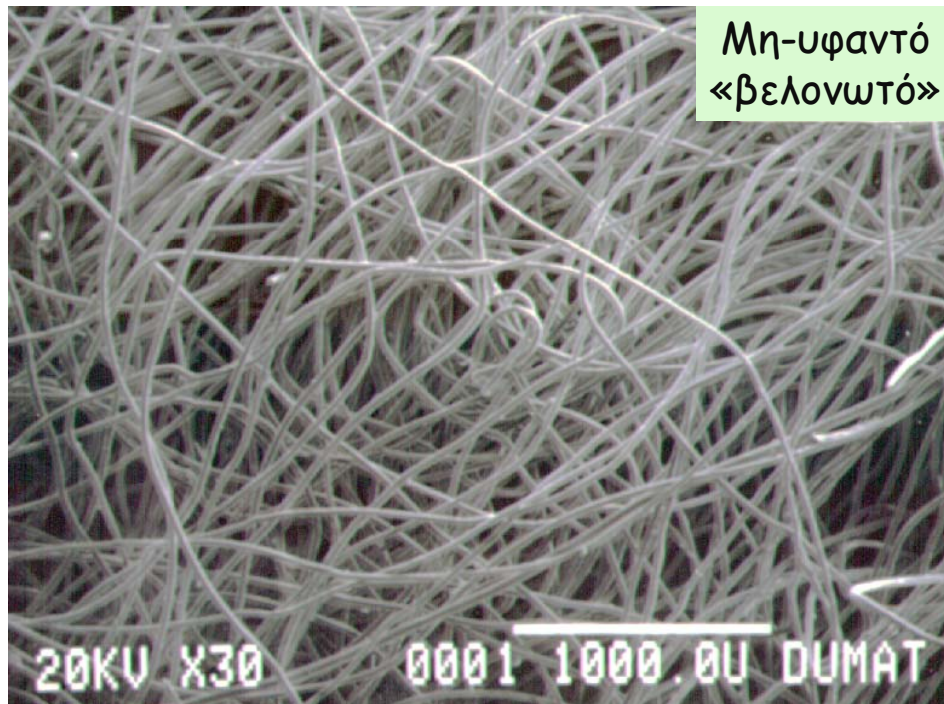


Γεωυφάσματα - Geotextiles (GT)

Διακρίνονται σε:

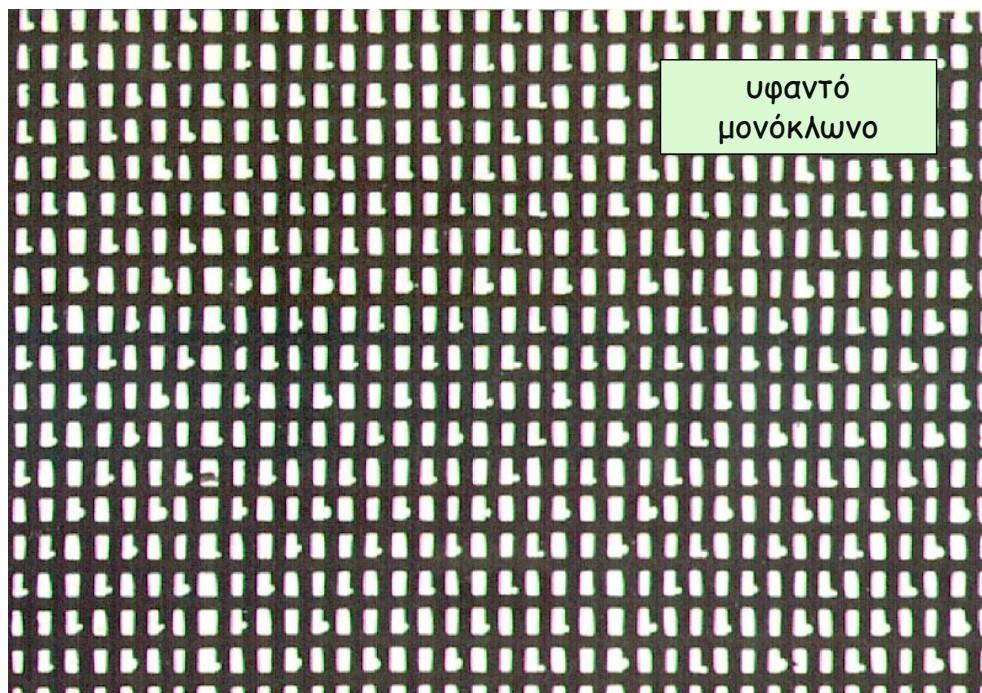
- Υφαντά (ταινιωτά, μονόκλωνα ή πολύκλωνα)
- Μη-υφαντά (η εμπλοκή των ινών γίνεται σε ειδικό μηχάνημα με βελόνες ή με θερμική κατεργασία)

Μη-υφαντά Γεωυφάσματα



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Υφαντά Γεωυφάσματα



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

1. Γεωφάσματα (GT)



Υλικό: PP, PET, PE, PA

Κατηγορίες: α) υφαντά

από μονές ή πολλαπλές
ίνες και από ταινίες

β) μη υφαντά

βελονωτά ή θερμοκολλητά

Σημαντική ιδιότητα: υψηλή αντοχή και
μεγάλη παραμορφωσιμότητα

Ενδεικτικό κόστος: \$0.90/m²

2. Γεωπλέγματα (GG)



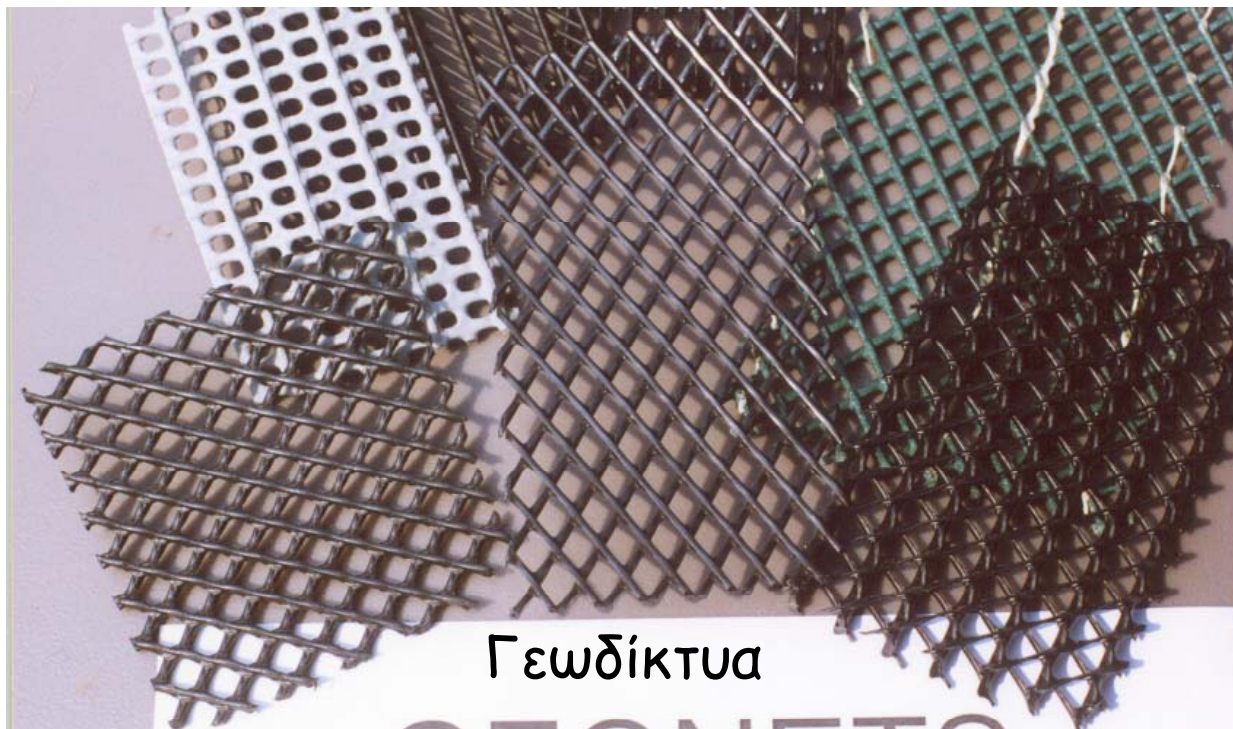
Υλικό: HDPE, PP, PET

Κατηγορίες: α) μονοαξονικά

β) διαξονικά

Σημαντική ιδιότητα: αντοχή των μελών
αλλά και των κόμβων

Ενδεικτικό κόστος: \$2.50/m²



Γεωδίκτυα GEONETS



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.



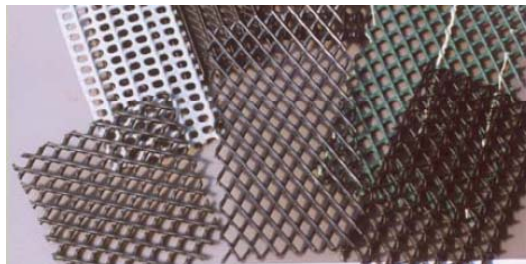
Γεωμεμβράνες GEOMEMBRANES



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

3. Γεωδίκτυα (GN)



Υλικό: HDPE

Κατηγορίες: α) 2-D από συμπαγή μέλη

β) 2-D από πορώδη μέλη

γ) 3-D από συμπαγή μέλη

Σημαντική ιδιότητα: επαρκής εφελκυστική
αντοχή

Ενδεικτικό κόστος: \$2.00/m²

4. Γεωμεμβράνες (GM)



Υλικό: ανάλογα με την κατηγορία

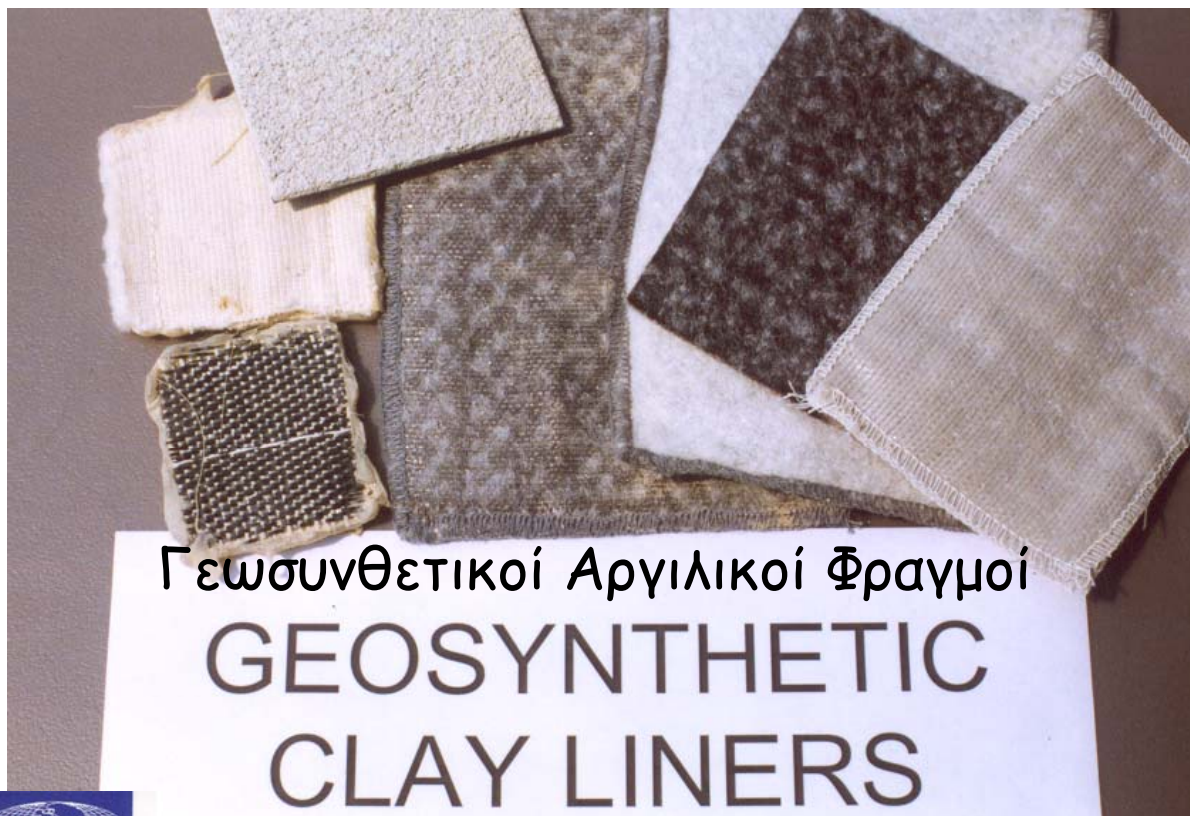
Κατηγορίες: α) κρυσταλλικές κυρίως

HDPE, LLDPE

β) πλαστικές PVC

γ) πολυολεφίνης κυρίως PP

Ενδεικτικό κόστος: \$8.00/m²



Γεωσυνθετικοί Αργιλικοί Φραγμοί

GEOSYNTHETIC
CLAY LINERS



Γεωαφρός - GEOFOAM



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5. Γεωσυνθετική αργιλική μεμβράνη (GCL)



Υλικό: προκατασκευασμένα φύλλα
μπετονίτη μεταξύ γεωφασμάτων
και γεωμεμβράνων

Σημαντική ιδιότητα: παραμορφωσιμότητα

Ενδεικτικό κόστος: \$4.00/m²

6. Γεωαφρός (GF)



Υλικό: διογκωμένο πολυστυρένιο, EPS
Διατίθεται υπό την μορφή ορθογώνιων
πρισμάτων μήκους 2-4m, πλάτους 1-2m
και ύψους 0.5m

Σημαντική ιδιότητα: εξαιρετικά ελαφρύ
υλικό



Γεωσύνθετα Υλικά GEOCOMPOSITES



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.



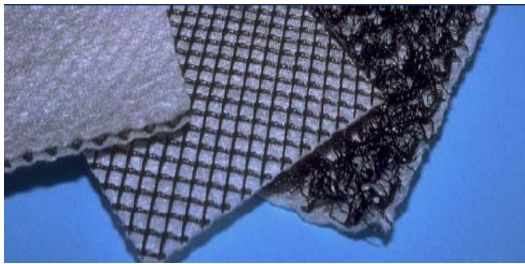
Γεωσωλήνες - ΓΕΟΡΙΠΕΣ



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

7. Γεωσύνθετα (GC)



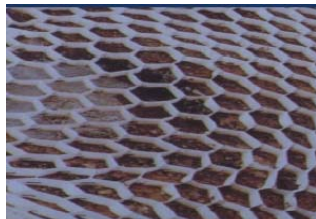
Συνδυασμός: γεωφασμάτων (GT),
γεωπλεγμάτων (GG),
γεωδικτυωτών (GN) και
γεωμεμβράνων (GM)

Ενδεικτικό κόστος: \$4.00/m²

8. Γεω-άλλα (Geo-others)



γεωτάπητας



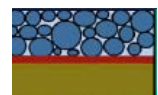
γεωκυψέλη



γεωσολήνας

Λειτουργία Γεωσυνθετικών

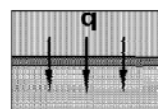
Διαχωρισμός: διαχωρίζουν ανόμοια υλικά προκειμένου αυτά να λειτουργούν όπως σχεδιάστηκαν



Οπλισμός: προσδίδουν εφελκυστική αντοχή στα εδάφη



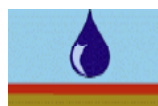
Διήθηση - Λειτουργία ως Φίλτρων: επιτρέπουν την ροή κάθετα στην επιφάνειά τους, ενώ δεν επιτρέπουν την διείσδυση κόκκων από το ανώτερο προς το κατώτερο στρώμα



Λειτουργία ως Στραγγιστηρίων: επιτρέπουν την ροή παράλληλα προς το επίπεδό τους, ενώ δεν επιτρέπουν την διείσδυση κόκκων από το ανώτερο προς το κατώτερο εδαφικό στρώμα



Λειτουργία ως μέσου συγκράτησης - Ψεραγμού: Εμποδίζουν την διαφυγή υγρών, αερίων ή στερεών



Λειτουργία Τύπων Γεωσυνθετικών

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



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ Κ ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΩΝ

ΚΟΙΝΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

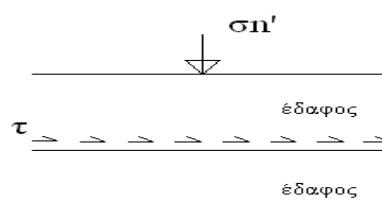
• Μηχανισμός Διάτμησης

Μέγιστη διατμητική τάση:

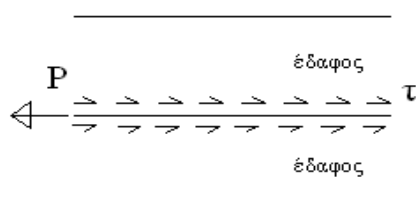
$$\tau = C_a + \sigma_n' \tan \delta$$

C_a = συνεκτικότητα του γεωσυνθετικού με το έδαφος

δ = γωνία τριβής



• Μηχανισμός Αγκύρωσης



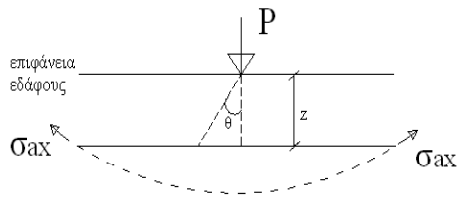
$P \rightarrow$ ολίσθηση

Το γεωσυνθετικό παραμένει στην θέση του χάρη στην εφελκυστική του αντοχή

$$\text{Αντοχή αγκύρωσης} = \tau_{\text{κάτω}} + \tau_{\text{πάνω}}$$

ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ (GT)

• Μηχανισμός Μεμβράνης



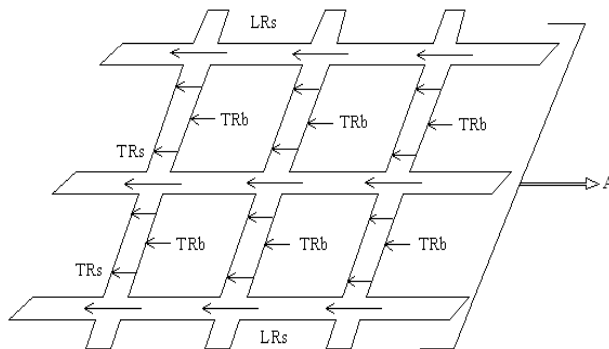
Αξονικές εφελκυστικές τάσεις:

$$\sigma_{ax} = \frac{P}{2\pi z^2} \left[3\sin^2\theta \cos^3\theta - \frac{(1-2\mu)\cos^2\theta}{1+\cos\theta} \right]$$

Ανάληψη του εφελκυσμού από το γεωσυνθετικό

ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΑ (GG)

• Μηχανισμός Παθητικής Αντίστασης



A = συνολική αντοχή
αγκύρωσης/εξόλκευσης
LRs = διατμητική αντοχή
διαμήκους στελέχους
TRs = διατμητική αντοχή
εγκάρσιου στελέχους
TRb = φέρουσα ικανότητα
εγκάρσιου στελέχους

8.2 Εφαρμογές σε Τεχνικά Έργα

Επιλογή Γεωσυνθετικού Υλικού

- i. "Δαπάνη Κατασκευής"- βασίζεται στην εμπειρία / διαθεσιμότητα
- ii. "Προδιαγραφή" - για συνήθεις εφαρμογές
- iii. "Λειτουργία" - για εξειδικευμένες περιπτώσεις, κρίσιμες και/ή μόνιμες εφαρμογές



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Εφαρμογές σε Οδικά και Γεωτεχνικά Έργα

- GTs για φίλτρα ή διαχωρισμό
- GTs και GGs για τοίχους οπλισμένης γης
- GTs και GGs για ενίσχυση πρανών
- GC για στραγγιστήρια - Wick Drains
- GC για συστήματα ελέγχου διάβρωσης



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Γεωπεριβαλλοντικές Εφαρμογές

- Συστήματα στεγάνωσης ΧΥΤΑ
- Συστήματα κάλυψης ΧΥΤΑ
- Κατακόρυφοι διαφραγματικοί τοίχοι
- Στεγάνωση τεχνητών λιμνών



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Εφαρμογές σε Υδραυλικά Έργα

- Στεγάνωση Φραγμάτων
- Στεγάνωση Διωρύγων
- Στεγάνωση Ταμιευτήρων
- Στεγάνωση και Αποκατάσταση Στεγάνωσης Σηράγγων
- Αποκατάσταση Σωλήνων
- Κατασκευή Γεωσωλήνων



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Ιστότοποι για Γεωσυνθετικά Υλικά

- Geosynthetic Institute (GSI)
 - <http://www.geosynthetic-institute.org>
- International Geosynthetics Society (IGS)
 - <http://www.igs.rmc.ca>
- Geosynthetics Materials Association (GMA)
 - <http://www.gmanow.com>
- International Standards Organization (ISO)
 - <http://www.iso.ch/iso/en/ISOOnline.frontpage>
- ASTM International
 - <http://www.astm.org>



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Εκδόσεις για Γεωσυνθετικά Υλικά

- Journal of Geotextiles and Geomembranes - Prof. R. K. Rowe, Editor
 - www.sciencedirect.com
- Geosynthetics International Journal - Dr. T. S. Ingold, Editor
 - www.ifai.com
- GFR Magazine - Mr. Chris Kelsey, Editor
 - www.ifai.com
- Designing With Geosynthetics - Prof. R. M. Koerner, Author
 - www.geosynthetic-institute.org



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

8.3 Τοίχοι Αντιστήριξης από Οπλισμένη Γη

Mechanically Stabilized Earth Walls (MSEW)



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

Βασικές Αρχές

Η Οπλισμένη Γη είναι κατασκευή βαρύτητας, που κτίζεται σταδιακά με γαίες (χαμηλού κόστους δομικά στοιχεία που μπορούν να παραλάβουν θλιπτικά φορτία, όχι όμως εφελκυστικά) και με στοιχεία οπλισμού (ικανά να παραλάβουν εφελκυστικά φορτία), και, κατά περίπτωση, με στοιχεία κάλυψης του μετωπικού τους πρσανούς. Έτσι είναι δυνατή η κατασκευή πρσανών / τοίχων μεγαλύτερου ύψους ή / και κλίσης από όσο θα ήταν δυνατόν με την χρήση μη οπλισμένων γαιών δεδομένης αντοχής.

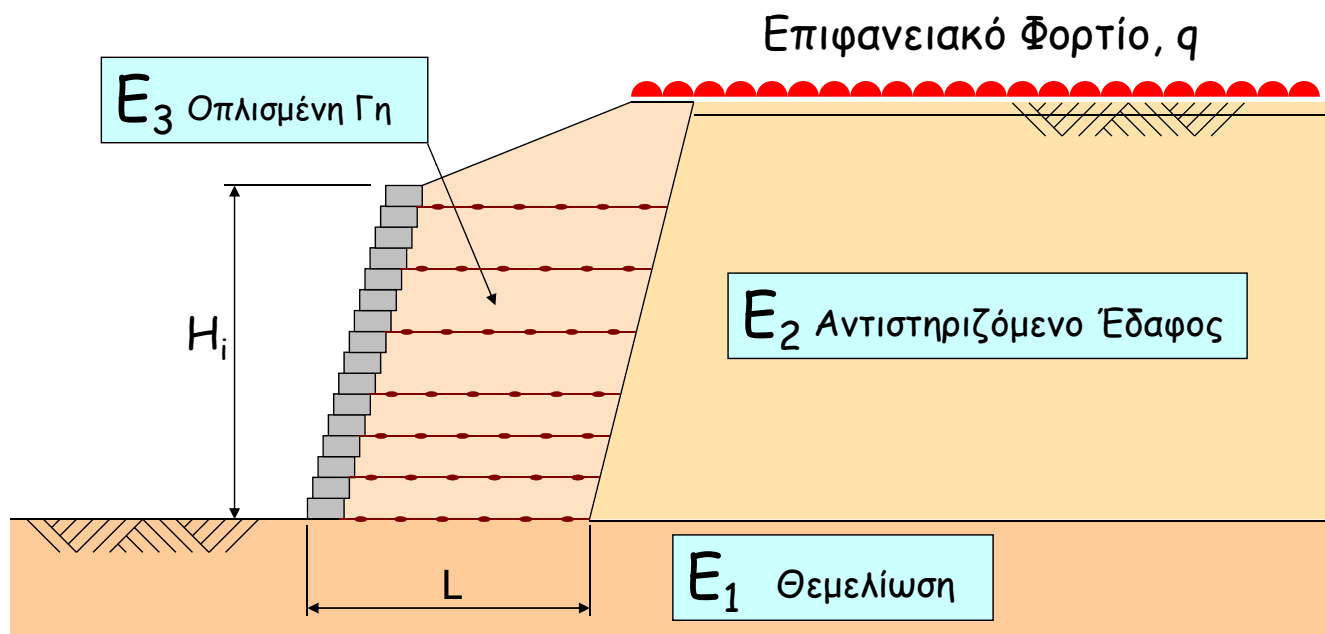
Η οπλισμένη γη είναι κατά κάποιο τρόπο ανάλογη προς το ωπλισμένο σκυρόδεμα, χωρίς, όμως, να είναι όμοια η μηχανική συμπεριφορά των δύο συστημάτων. Στο οπλισμένο σκυρόδεμα ο οπλισμός σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο που να μεταφέρει τις εφελκυστικές τάσεις στα δομικά στοιχεία, ενώ στην οπλισμένη γη οι γαίες παραμένουν συνεχώς υπό θλιπτικό φορτίο και οι οπλισμοί παραλαμβάνουν τα εφελκυστικά φορτία και μέσω διατμητικών τάσεων τα μεταβιβάζουν στις γαίες. Ο μηχανισμός αυτός έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής αντοχής του σύμμεικτου συστήματος.



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

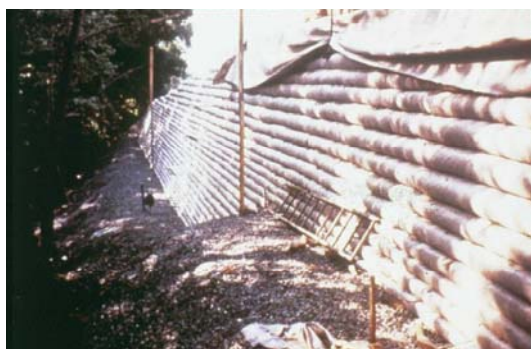
Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Τοίχος Αντιστήριξης Οπλισμένης Γης Διάταξη



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Τοίχοι Αντιστήριξης Οπλισμένης Γης



Αναδιπλωμένο
γεωύφασμα



Εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος

Όψη από
σκυρόδεμα
πάνω από
αναδιπλωμένο
γεωύφασμα



Φάσεις διαμόρφωσης
πράσινης όψης



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

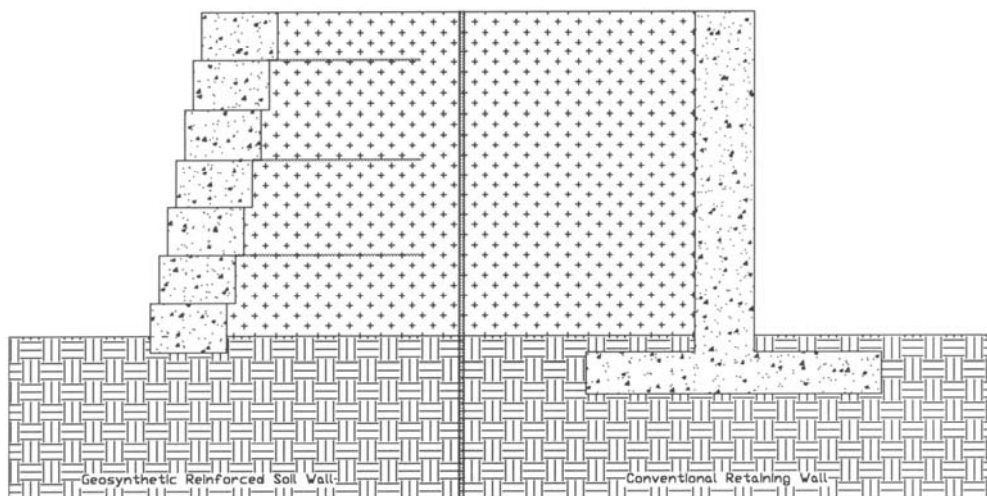
Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Σπονδυλωτοί Τοίχοι Αντιστήριξης



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ωπλισμένης Γης έναντι Συμβατικών Τοίχων Αντιστήριξης



Τοίχος αντιστήριξης από ωπλισμένη γη

Συμβατικός τοίχος αντιστήριξης
από ωπλισμένο σκυρόδεμα



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Πλεονεκτήματα

- Οικονομικότερη λύση.
- Εύκολη και γρήγορη κατασκευή.
- Δεν απαιτείται προσωρινή στήριξη του επιχώματος κατά την διάρκεια της κατασκευής.
- Σχετικά εύκαμπτη κατασκευή με μεγάλες ανοχές σε οριζόντιες και κατακόρυφες (διαφορικές) μετατοπίσεις.
- Καταλληλότερες κατασκευές έναντι σεισμικής φόρτισης.
- Το υλικό της επίχωσης μπορεί να περιέχει και σημαντικό ποσοστό λεπτοκόκκων υλικών.
- Είναι εύκολη η αποστράγγιση.
- Ικανοποιούν αισθητικές απαιτήσεις σχεδιασμού.



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Μειονεκτήματα

- Πιθανή διάβρωση των μεταλλικών οπλισμών.
- Πιθανή μείωση της αντοχής των γεωσυνθετικών οπλισμών λόγω φθοράς τους κατά την διάρκεια της κατασκευής.
- Πιθανή μείωση της αντοχής των γεωσυνθετικών οπλισμών με το χρόνο (ερπυστικές παραμορφώσεις).
- Η κατασκευή οπλισμένων επιχωμάτων σε περιοχές ορυγμάτων απαιτεί εκσκαφή μεγαλύτερου πλάτους.
- Οι δυνατότητες περαιτέρω εκσκαφής όπισθεν του οπλισμένου επιχώματος είναι περιορισμένες.
- Η σήμερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος σχεδιασμού είναι αρκετά συντηρητική και χρήζει τροποποιήσεων.



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Αρχές Σχεδιασμού Οπλισμένης Γης

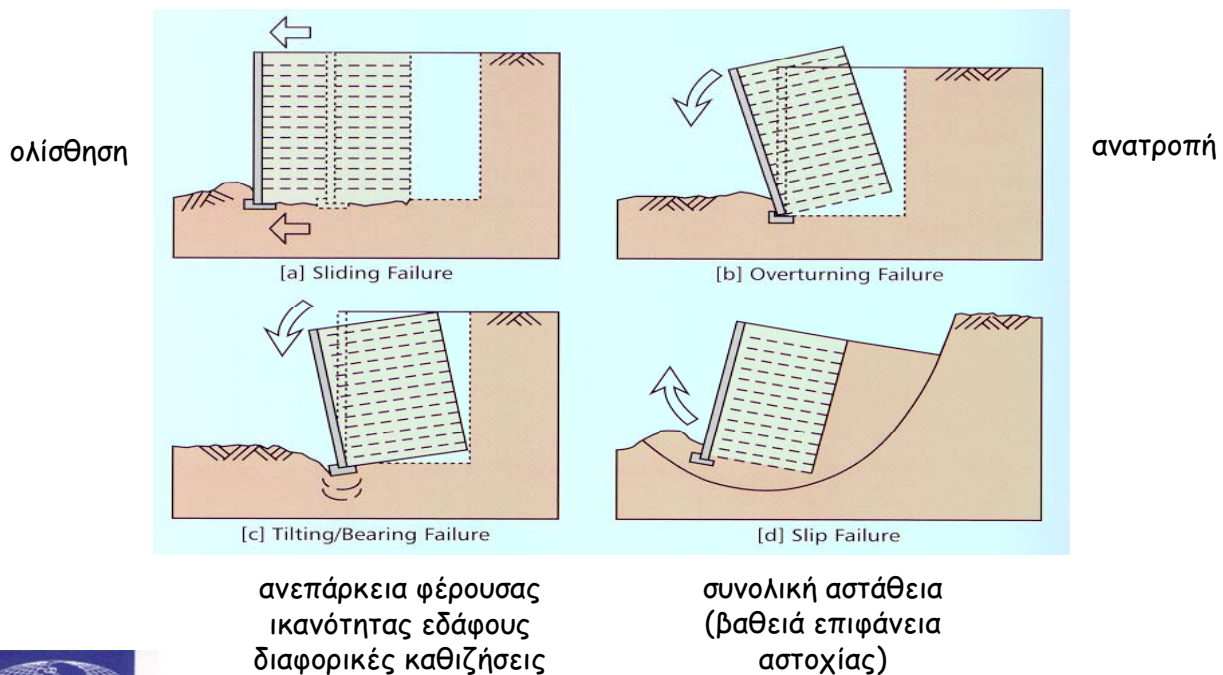
Η ανάλυση της ευστάθειας κατασκευών οπλισμένης γης αποσκοπεί στον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων σε οπλισμό της κατασκευής ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει προβλήματα **εσωτερικής και εξωτερικής ευστάθειας**.

Για την διερεύνηση της εξωτερικής ευστάθειας η οπλισμένη γη θεωρείται ως μία ομογενής σύμμεικτη μάζα.



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Εξωτερική Ευστάθεια Τοίχου Αντιστήριξης Οπλισμένης Γης Μορφές Αστοχίας

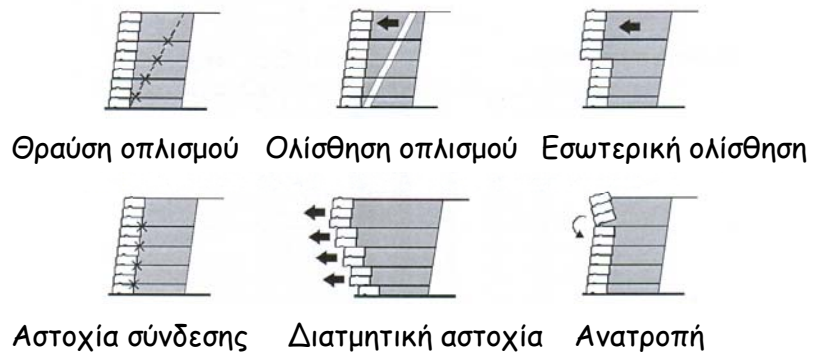


Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Εσωτερική Ευστάθεια Τοίχου Αντιστήριξης Ωπλισμένης Γης

Οι έλεγχοι της εσωτερικής ευστάθειας περιλαμβάνουν



Από τους ελέγχους εσωτερικής ευστάθειας προκύπτουν:

- Η απόσταση των οπλισμών
- Το μήκος των οπλισμών
- Η ασκούμενη δύναμη στους συνδέσμους της όψης



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Ανάλυση Ευστάθειας Τοίχου Οπλισμένης Γης

Η ευστάθεια κατασκευών οπλισμένης γης γίνεται είτε με μεθόδους οριακής ισορροπίας (κυρίως), είτε και με αριθμητικές μεθόδους (μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων).

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

- Τελική Οριακή Κατάσταση (Ultimate Limit State): το έδαφος ή η κατασκευή καταρρέουν ή οι μετακινήσεις της κατασκευής αντιστήριξης οδηγούν σε σοβαρές βλάβες άλλων τμημάτων της κατασκευής ή παρακειμένων 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 παρακειμένων κατασκευών.



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

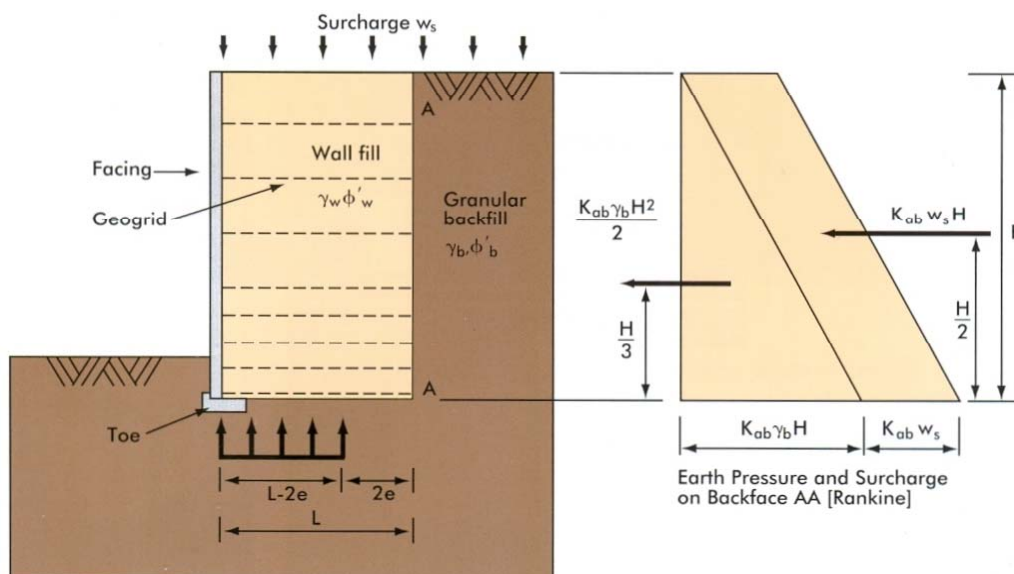
Οι διαθέσιμες Μέθοδοι Τεπερασμένων Στοιχείων διακρίνονται:

- Σε αυτές όπου η οπλισμένη γη εξιδανικεύεται σε μία σύμμεικτη κατασκευή στην οποία ο οπλισμός προσομοιώνεται ως ένα τοπικά ομογενές ορθότροπο υλικό. Οι ιδιότητες του σύμμεικτου υλικού αντιστοιχούν στις ιδιότητες των γαιών, του οπλισμού και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο αυτών υλικών.
- Σε αυτές όπου η οπλισμένη γη θεωρείται ως ετερογενές σύστημα, στο οποίο οι γαίες και ο οπλισμός ελέγχονται ξεχωριστά.



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ Ευστάθεια Τοίχου Οπλισμένης Γης



Σχηματική διάταξη ελέγχων εξωτερικής ευστάθειας



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Οι ωθήσεις του εδάφους επί της οπλισμένης γης είναι οι κατά Rankine ενεργές ωθήσεις και ο συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων, K_a , δίνεται από την σχέση:

$$K_{a,b} = \cos\beta \left(\frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi_b}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi_b}} \right)$$

όπου β είναι η κλίση της επιφάνειας του εδάφους πίσω από τον τοίχο (στην προκειμένη περίπτωση 0°) και ϕ_b είναι η γωνία διατμητικής αντοχής του αντιστηριζομένου εδάφους.



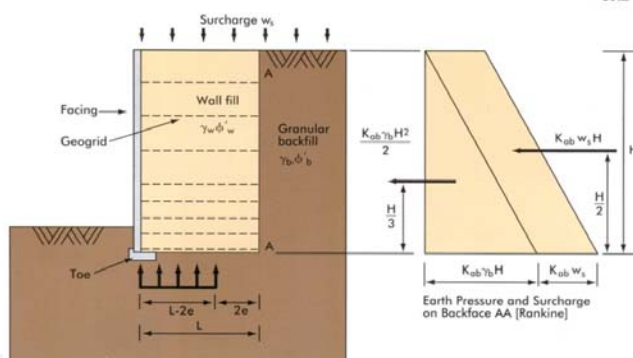
Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Έλεγχος σε Ολίσθηση

Ο Συντελεστής Ασφαλείας έναντι Ολίσθησης δίνεται από την σχέση:

$$\Sigma.A_{ολίσθηση} = \frac{\text{Ανθιστάμενες δυνάμεις}}{\text{Ωθούσες δυνάμεις}}$$

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



$$\Sigma.A_{ολίσθηση} \geq 2$$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

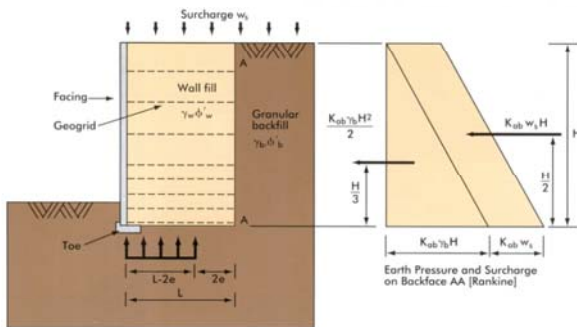
Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Έλεγχος σε Ανατροπή

Ο Συντελεστής Αφαιρίας έναντι Ανατροπής δίνεται από την σχέση:

$$\Sigma.A_{\text{ανατροπή}} = \frac{\text{Ροπές Αποκατάστασης}}{\text{Εκτρεπτικές Ροπές}}$$

$$\text{Εκτρεπτικές Ροπές} = \left(K_{ab} \gamma_b \frac{H^3}{6} \right) + \left(K_{ab} w_s \frac{H^2}{2} \right) \quad \text{Ροπές Αποκατάστασης} = \left(\gamma_w \frac{HL^2}{2} \right) + \left(w_s \frac{L^2}{2} \right)$$



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

$$\Sigma.A_{\text{ανατροπή}} \geq 2$$

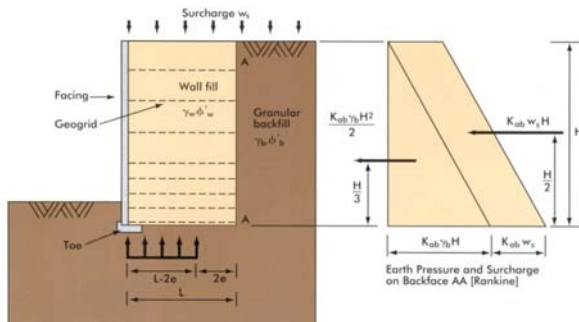


Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Έλεγχος Επάρκειας Φέρουσας Ικανότητας Εδάφους - Διαφορικές Καθιζήσεις

$$\text{Η εκκεντρότητα } e \text{ δίνεται από την σχέση: } e = \frac{K_{ab} H^2 (\gamma_b H + 3w_s)}{6L(\gamma_w H + w_s)}$$

Πίεση της κατασκευής επί του εδάφους θεμελίωσης:



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

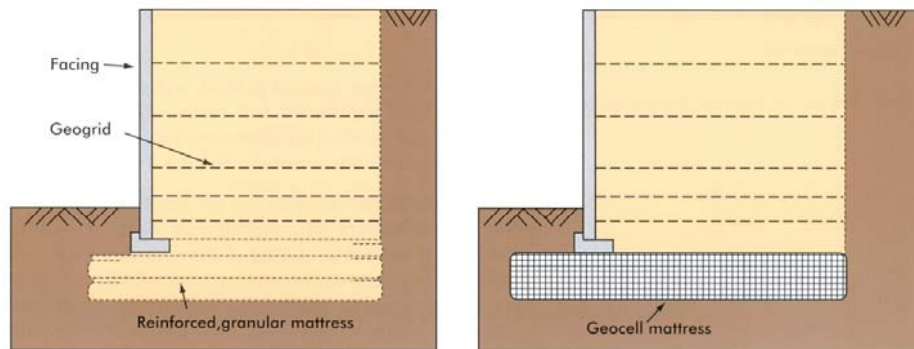
$$\sigma_v = \frac{(\gamma_w H + w_s)}{1 - \frac{K_{ab}(\gamma_b H + 3w_s)}{3(\gamma_w H + w_s)} \left(\frac{H}{L}\right)^2}$$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

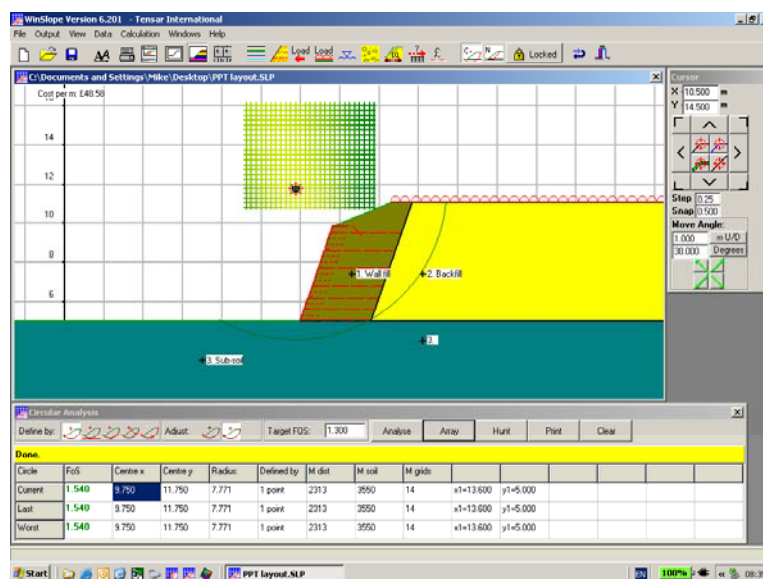
Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Ο επιθυμητός Συντελεστής Ασφαλείας έναντι Φέρουσας Ικανότητας
είναι $\Sigma.Α.Φ.Ι. \geq 2$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Συνολική ευστάθεια (βαθεία επιφάνεια αστοχίας)



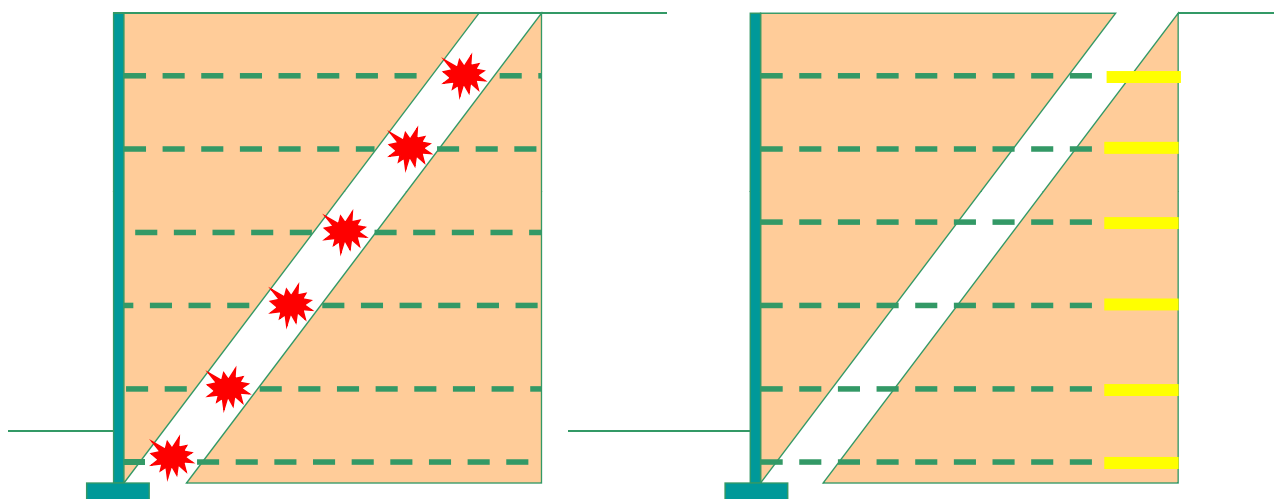
Ο επιθυμητός Συντελεστής Ασφαλείας έναντι Βαθείας Ολίσθησης
είναι $\Sigma.Α.Β.Ο. \geq 1.5$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Ευστάθεια Τοίχου Οπλισμένης Γης



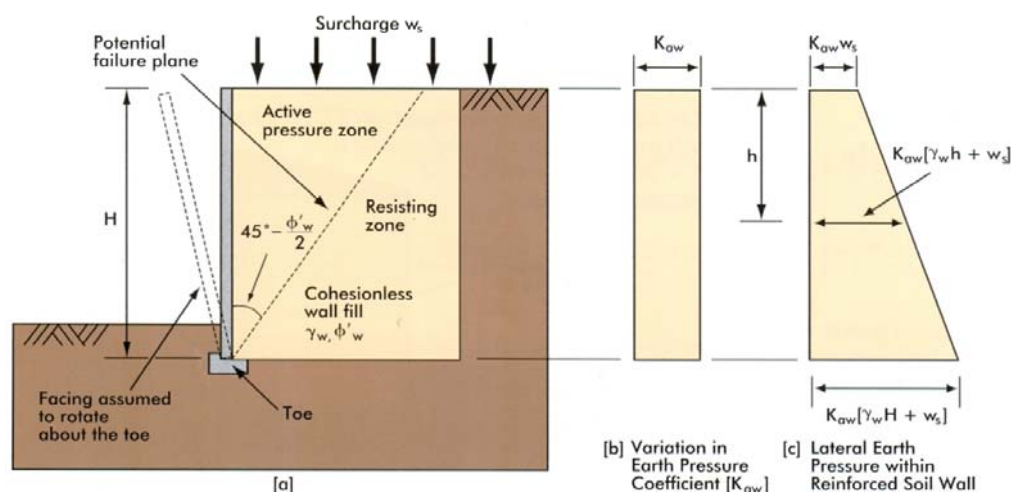
Αστοχία σε
Εφελκυσμό - Θραύση

Ολίσθηση οπλισμού πέραν του
επιπέδου αστοχίας



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Εφαρμογή Μεθόδου Αγκυρωμένου Πρίσματος (Tie-back Wedge Method)

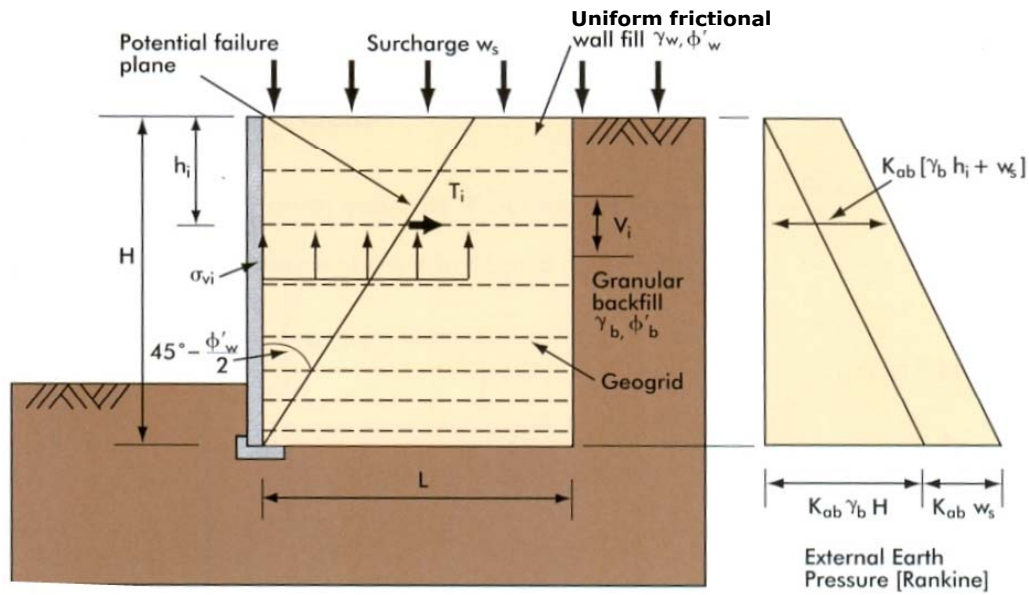


Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

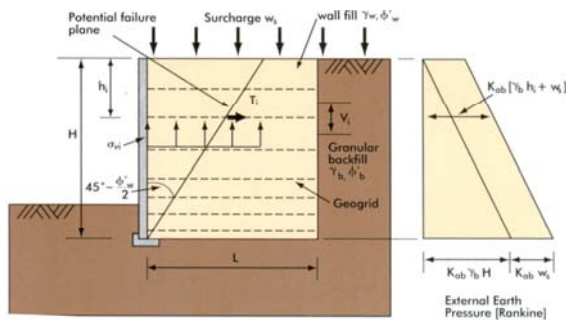
Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

8.27

Έλεγχος Αντοχής Οπλισμού σε Εφελκυσμό



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε



$$T_i = K_{aw} \sigma_{vi} V_i$$

$$\sigma_{vi} = \frac{\gamma_w h_i + w_s}{1 - \frac{K_{ab}(\gamma_b h_i + 3w_s) \left(\frac{h_i}{L}\right)^2}{3(\gamma_w h_i + w_s)}}$$

$$T_i = K_{aw} \left[\frac{\gamma_w h_i + w_s}{1 - \frac{K_{ab}(\gamma_b h_i + 3w_s) \left(\frac{h_i}{L}\right)^2}{3(\gamma_w h_i + w_s)}} \right] V_i$$

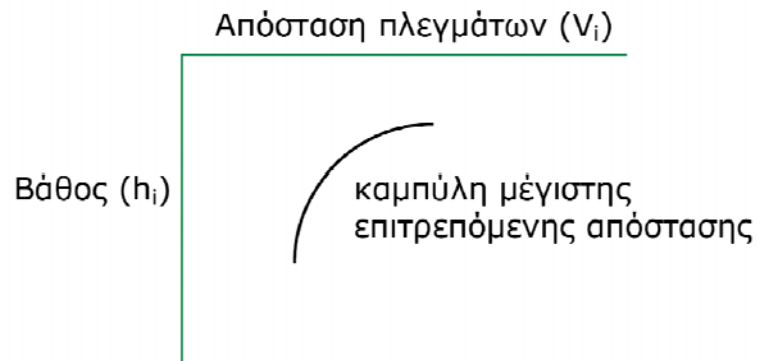
$$T_i = \left[K_{aw} \left[\frac{\gamma_w h_i + w_s}{1 - \frac{K_{ab}(\gamma_b h_i + 3w_s) \left(\frac{h_i}{L}\right)^2}{3(\gamma_w h_i + w_s)}} \right] - 2c'_w \sqrt{K_{aw}} \right] V_i$$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

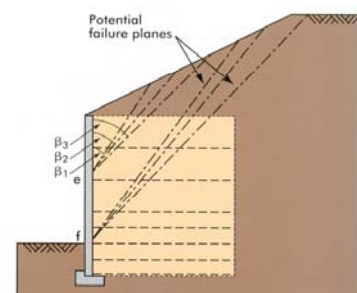
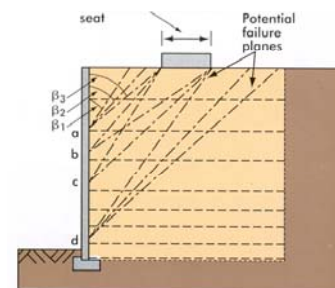
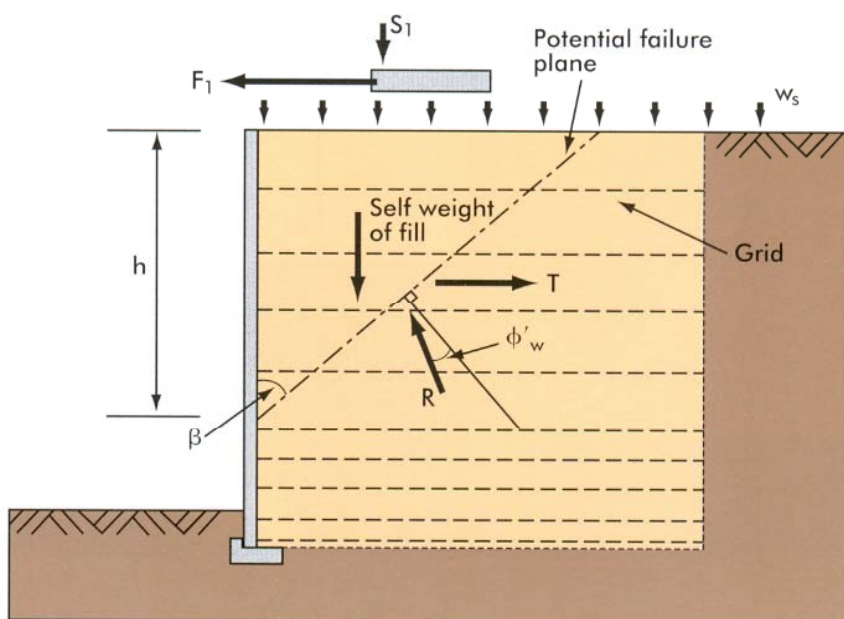
Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

$$T_i = K_{aw} \left[\frac{\gamma_w h_i + w_s}{1 - \frac{K_{ab}(\gamma_b h_i + 3w_s) \left(\frac{h_i}{L} \right)^2}{3(\gamma_w h_i + w_s)}} \right] V_i$$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Έλεγχος Αντοχής Οπλισμού σε Εξόλκευση - Ολίσθηση

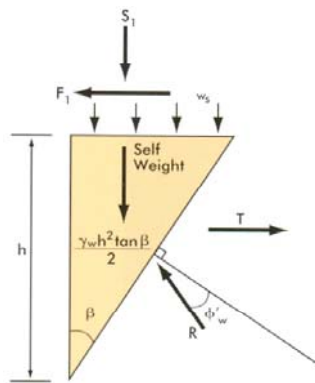


Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Εσωτερική Ευστάθεια Τοίχου Οπλισμένης Γης

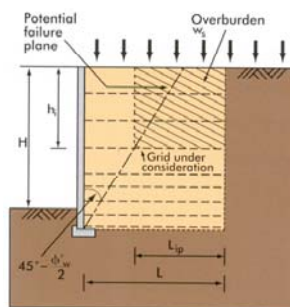
Έλεγχος Αντοχής Οπλισμού σε Εξόλκευση - Ολίσθηση



$$T = \frac{W}{\tan(\phi'_w + \beta)}$$

$$T = \frac{h \tan \beta (\gamma_w h + 2w_s)}{2 \tan(\phi'_w + \beta)} \quad T_{\max} \text{ για } \beta = 45^\circ - \frac{\phi'_w}{2}$$

$$T = \left[\frac{h \tan \beta (\gamma_w h + 2w_s) + 2S_1}{2 \tan(\phi'_w + \beta)} \right] + F_1$$



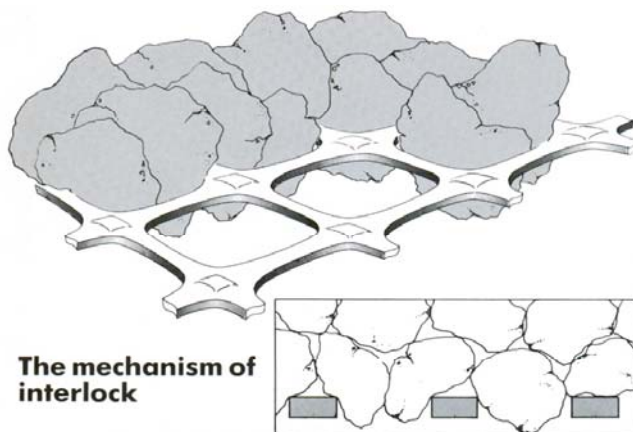
αντίσταση

$$T_{ai} = \frac{L_{ip} \cdot 2\alpha_p \tan \phi'_w (\gamma_w h_i + w_s)}{\text{factor of safety}}$$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Συντελεστής αλληλεπίδρασης = $\alpha_s = (\tan \phi' \text{ επίχωσης με οπλισμό}) / (\tan \phi' \text{ χωρίς οπλισμό})$



Ενδεικτικές Τιμές Συντελεστή
Αλληλεπίδρασης για Γεωπλέγματα

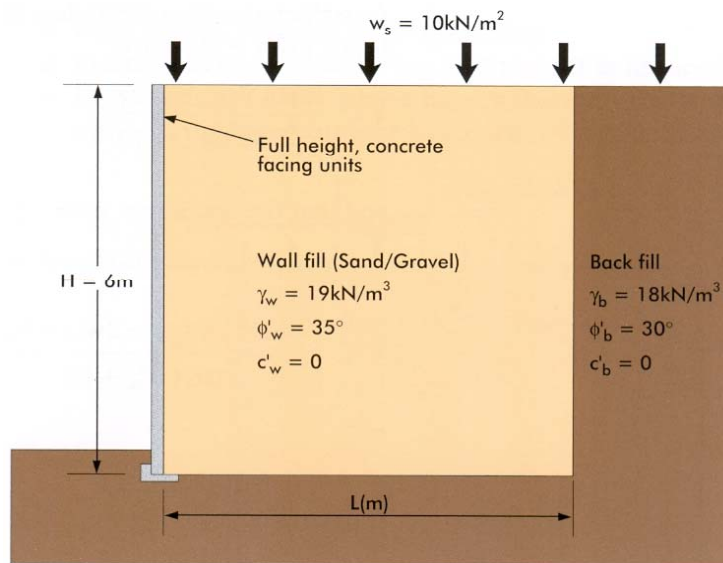
0.9÷1.0 για χάλικες και θραυστά αδρανή
0.85÷0.95 για άμμους
0.6÷0.7 για αργίλους



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ σχεδιασμού τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένη γη



Δεδομένα

$$\sigma_{\varepsilon\pi} = 200 \text{ kPa}$$

Ελαχίστη Μακροχρόνια

Αντοχή Γεωπλέγματος

$$80RE = 20.4 \text{ kN/m}$$

$$55RE = 13.6 \text{ kN/m}$$

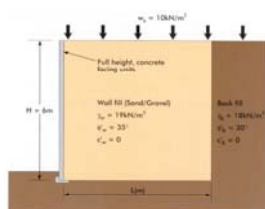
Συντελεστής τριβής
μεταξύ οπλισμένης γης και
εδάφους θεμελίωσης
 $\mu = 0.5$

Συντελεστής
Αλληλεπίδρασης $\alpha_p = 0.9$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Εξωτερική Ευστάθεια



$$K_{ab} = \frac{(1 - \sin 30^\circ)}{(1 + \sin 30^\circ)} = 0.33$$

$$\Sigma.A_{\text{ολίσθηση}} = \frac{2 \times 0.5(19 \times 6 + 10)}{0.33(18 \times 6 + 20)\left(\frac{H}{L}\right)}$$

Πρέπει $\Sigma.A_{\text{ολίσθηση}} \geq 2$, οπότε $L \geq 0.68H \Rightarrow L \geq 4.08 \text{ m}$. Έστω $L = 4.1 \text{ m}$

$$\Sigma.A_{\text{ανατροπή}} = \frac{3(19 \times 6 + 10)}{0.33(18 \times 6 + 30)\left(\frac{6}{4.1}\right)^2} = 3.8 (>2)$$

$$\sigma_v = \frac{19 \times 6 + 10}{1 - \frac{0.33(18 \times 6 + 30)\left(\frac{6}{4.1}\right)^2}{3(19 \times 6 + 10)}} = 168 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{\varepsilon\pi} = 200 \text{ kPa}$$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Εσωτερική Ευστάθεια - Εφελκυσμός (Θραύση)

$$K_{aw} = \frac{(1 - \sin 35^\circ)}{(1 + \sin 35^\circ)} = 0.27$$

$$T_i = 0.27 \left[\frac{19h_i + 10}{1 - \left(\frac{0.33(18h_i + 30)}{3(19h_i + 10)} \right) \left(\frac{h_i}{4.1} \right)^2} \right] V_i$$

$$V_{i(max)} = \frac{\text{Design Strength}}{0.27 \left[\frac{19h_i + 10}{1 - \left(\frac{0.33(18h_i + 30)}{3(19h_i + 10)} \right) \left(\frac{h_i}{4.1} \right)^2} \right]}$$

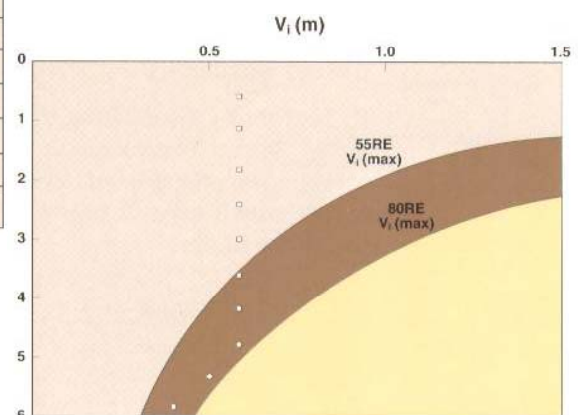


Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Εσωτερική Ευστάθεια - Εφελκυσμός (Θραύση)

h_i (m)	$V_{i(max)}$ for 80RE (m)	$V_{i(max)}$ for 55RE (m)
0.5	3.86	2.57
1	2.58	1.72
1.5	1.92	1.28
2	1.52	1.01
2.5	1.24	0.83
3	1.04	0.69
3.5	0.89	0.59
4	0.77	0.51
4.5	0.67	0.45
5	0.59	0.39
5.5	0.51	0.34
6	0.45	0.30

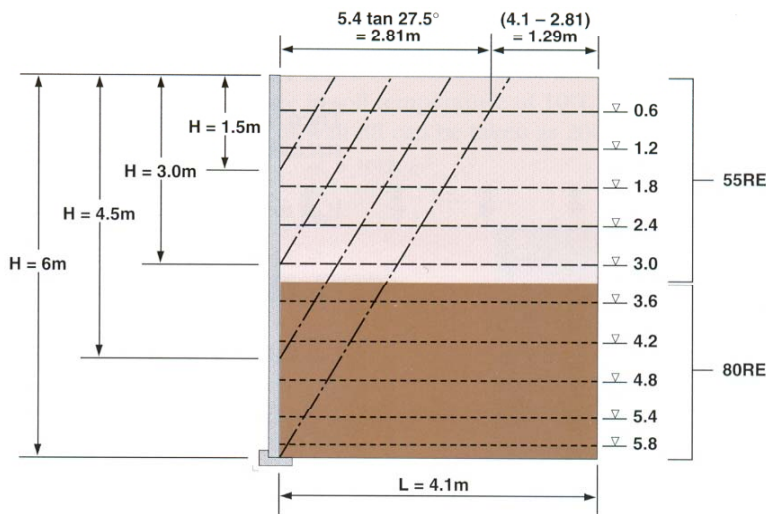
h_i (m)



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Εσωτερική Ευστάθεια - Ολίσθηση



$$\beta = 45 - \frac{\phi'_w}{2} = 27.5^\circ$$

$$T = \frac{h \tan 27.5^\circ [19h + (2 \times 10)]}{2 \tan (35^\circ + 27.5^\circ)}$$

$$= 0.14h(19h + 20)$$

$$T_{ai} = \frac{(4.1 - 5.4 \tan 27.5^\circ) \times 2 \times 0.9 \tan 35^\circ \times 19 \times 0.6}{2} = 9.26 \text{ kN/m} < 55\text{RE} = 13.6 \text{ kN/m}$$



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

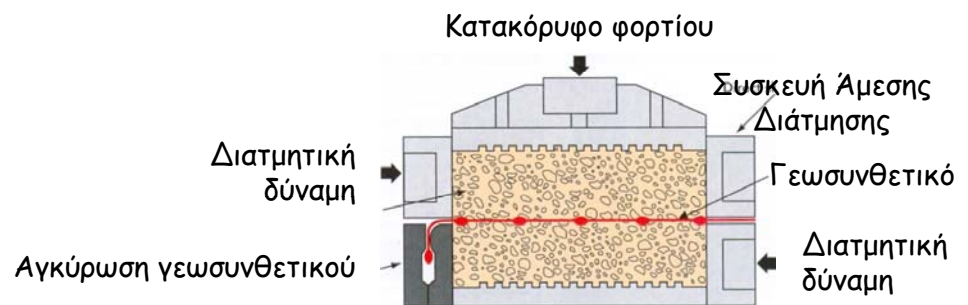
h (m)	T (kN/m)		Effective number of grids N		Total reinforcement resistance ΣT_{ai}	
	with surcharge	without surcharge	55RE	80RE	with surcharge	without surcharge
1.50	10.19	5.78	2		27.20	27.20
3.00	32.34	23.13	4		54.40	54.40
4.50	66.47	52.04	5	2	108.80	108.80
6.00	112.56	92.52	5	5	170.00	165.66



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Μηχανισμοί μεταφοράς φορτίων μεταξύ του οπλισμού και των γαιών



α. Η τριβή μεταξύ των επιφανειών επαφής

β. Η παθητική αντίσταση στις ωθήσεις γαιών σε επιφάνειες του οπλισμού που τοποθετείται εγκάρσια στην διεύθυνση της κίνησης της εξόλκευσής του από την μάζα των γαιών.

Ο μηχανισμός (α) δρα σε οπλισμό τύπου λωρίδων, φύλλων και ράβδων, ενώ ο μηχανισμός (β) σε οπλισμό πλεγμάτων (στην περίπτωση αυτή η συνολική αντίσταση προέρχεται και από τους δύο μηχανισμούς).



Χ. ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ / ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε