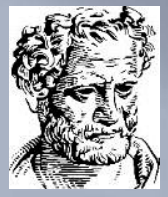


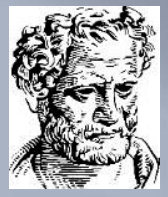
ΗΜΕΡΙΔΑ

Γεωσυνθετικα Υλικα σε Εργα Πολιτικου Μηχανικου

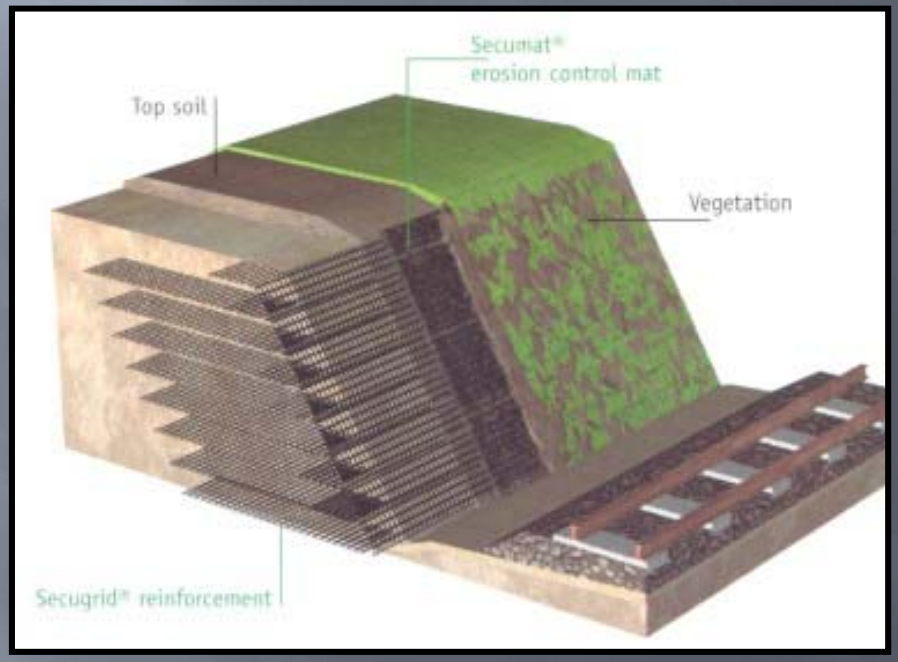
Ανάλυση & Σχεδιασμός Οπλισμένων Επιχωμάτων: μεθοδολογία, εφαρμογή και κρίσιμες παράμετροι

Νικόλαος Κλήμης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΔΠΘ

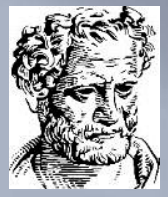
Μάνος Ψαρουδάκης, MSc Πολ. Μηχ., Υπ. Διδάκτωρ ΔΠΘ



Τι ορίζεται ως Οπλισμένο Επίχωμα;



Ως οπλισμένα επιχώματα ορίζονται όλα τα επιχώματα εκείνα που περιλαμβάνουν οποιονδήποτε, αποδεκτού τύπου, οπλισμό, είτε στο σύνολο του ύψους τους, είτε τοπικά στη βάση είτε μόνον στη στέψη τους με κλίση έως 70^0.



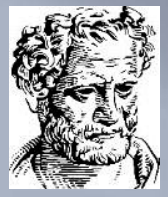
Μεθοδολογία Υπολογισμού & Έλεγχοι

Αρχές Σχεδιασμού και Διαστασιολόγησης:

- ✓ Αμερικανικές Οδηγίες (FHWA) Σχεδιασμού & Κατασκευής Οπλισμένων Επιχωμάτων (RSS) & Τοίχων Οπλισμένου Εδάφους (MSEW)
- ✓ Θεωρία οριακής ισορροπίας (Limit Equilibrium Methodology)

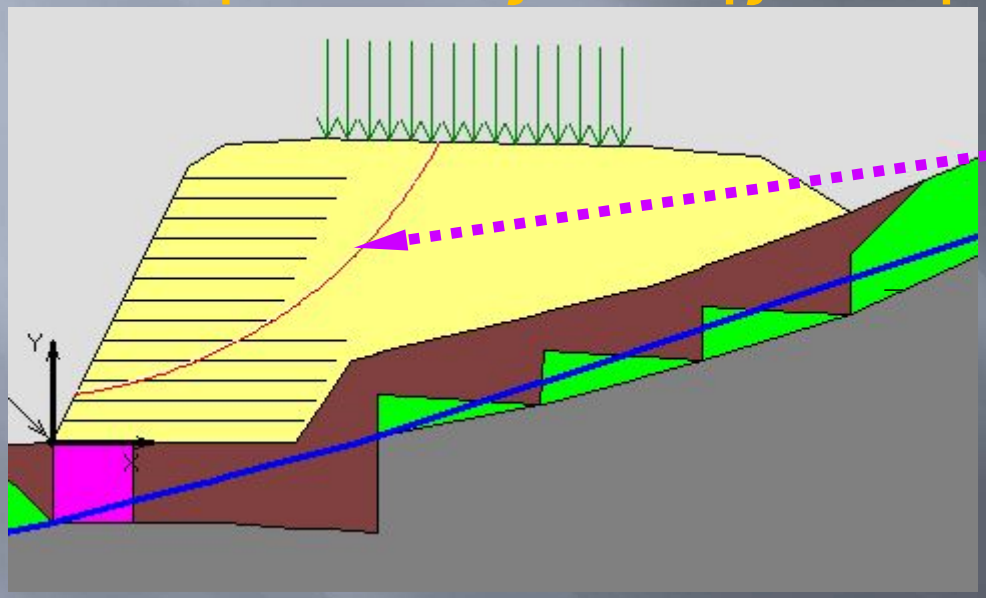
Έλεγχοι Ευστάθειας Οπλισμένου Επιχώματος:

- ➢ Ανάλυση ευστάθειας κυκλικής ολίσθησης (Rotational Failure Mode)
- ➢ Ανάλυση ευστάθειας μεταφορικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια γεωπλέγματος – υλικού επίχωσης (Translational Failure Mode)
- ➢ Ανάλυση ευστάθειας πολυγωνικής επιφάνειας ολίσθησης (3 - Part Wedge Failure Mechanism)
- ➢ Έλεγχος φέρουσας ικανότητας (Bearing Capacity)



Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας κυκλικής ολίσθησης (Rotational Failure Mode)



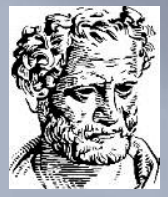
Κυκλική ολίσθηση
(rotational failure)

Έλεγχος:

Για τον συγκεκριμένο έλεγχο σε κυκλική ολίσθηση εξετάζεται ο λόγος:

$$\frac{\text{Ροπές Ευστάθειας}}{\text{Ροπές Ανατροπής}} = Fs$$

Με τον συντελεστή ασφάλειας να πρέπει να είναι:
Fs>1.3 (FHWA)

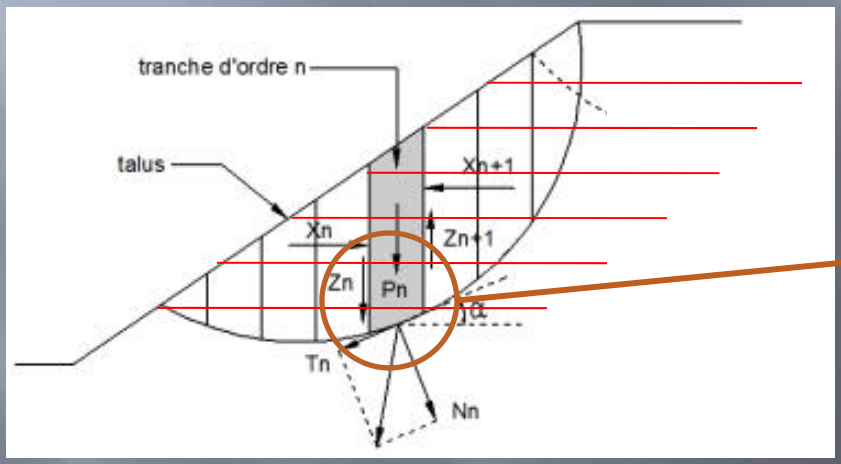


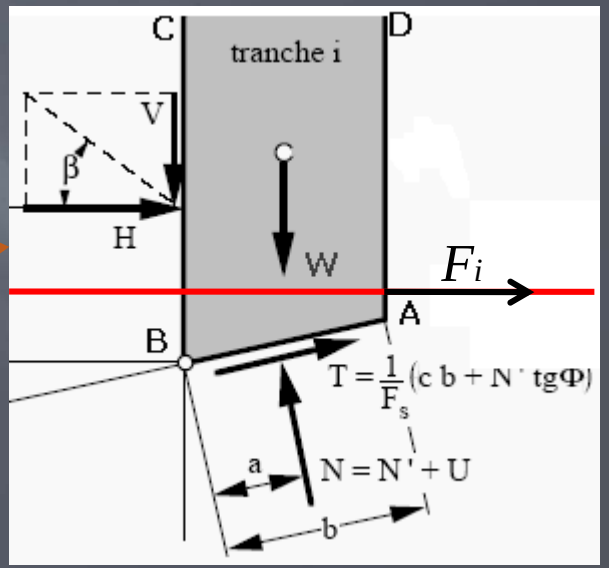
Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας κυκλικής ολίσθησης (Rotational Failure Mode)

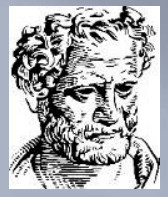
$$\frac{\text{Ροπές Ευστάθειας}}{\text{Ροπές Ανατροπής}} = Fs$$

Με τον συντελεστή ασφάλειας να πρέπει να είναι:
Fs>1.3 (FHWA)





$$F_i = \min\left\{ \frac{T_{ult} \times R_c}{RF_{id} \times RF_d \times RF_c \times RF_a} \quad \frac{F^* \times \gamma \times z_p \times L \times R_c}{SF_{PO}} \right\}$$



Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας κυκλικής ολίσθησης (Rotational Failure Mode)

$$F_i = \min \left\{ \frac{T_{ult} \times R_c}{RF_{id} \times RF_d \times RF_c \times RF_a} \quad \frac{F^* \times \gamma \times z_p \times L \times R_c}{SF_{PO}} \right\}$$

Όπου: T_{ult} : Η ονομαστική αντοχή του γεωπλέγματος (Εργοστ. Αντοχή)

R_c : Συντελεστής Επικάλυψης

RF_{id} : Συντελεστής ασφ. έναντι καταπόνησης κατά την τοποθέτηση

RF_d : Συντελεστής ασφ. έναντι ανθεκτικότητας

RF_c : Συντελεστής ασφ. έναντι ερπυσμού

RF_a : Επιπρόσθετος Συντελεστής ασφ.

F^* : Συντελεστής εξόλκευσης (από εργαστ. Δοκιμές ή εμπειρικές σχέσεις)

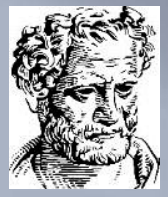
γ : Το ειδικό βάρος του εδάφους

z_p : Το βάθος του οπλισμού από την επιφάνεια

L : Το μήκος του οπλισμού πίσω από την επιφάνεια ολίσθησης

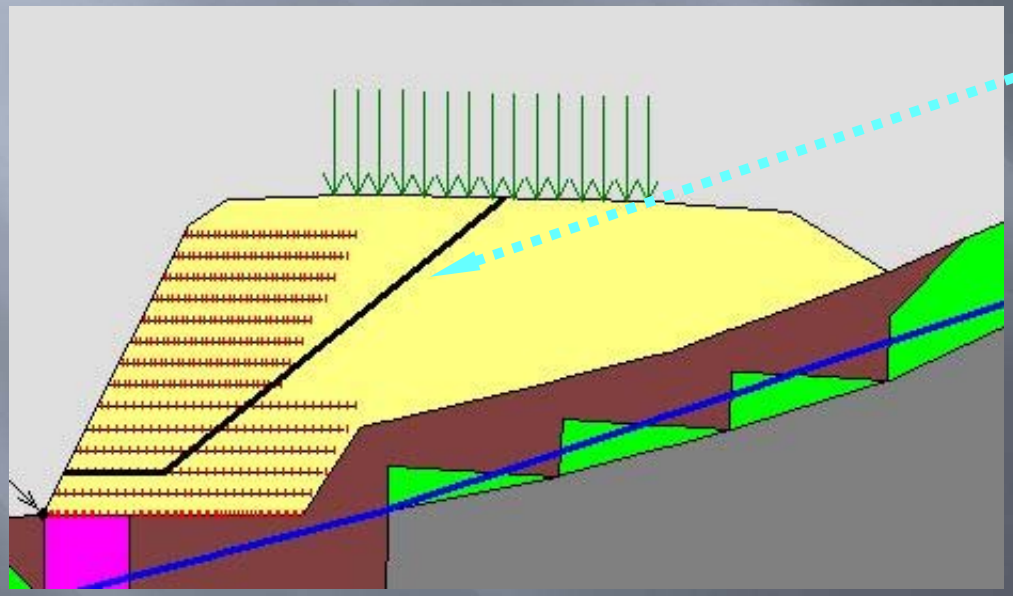
R_c : Συντελεστής επικάλυψης

SF_{PO} : Ο συντελεστής αντίστασης έναντι εξόλκευσης (=1.5)



Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας μεταφορικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια γεωπλέγματος – υλικού επίχωσης (Translational Failure)



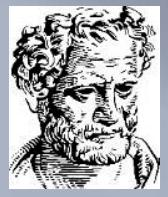
Έλεγχος μεταφορικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια γεωπλέγματος – υλικού επίχωσης (translational failure mode)

Έλεγχος:

Για τον συγκεκριμένο έλεγχο σε κυκλική ολίσθηση εξετάζεται ο λόγος:

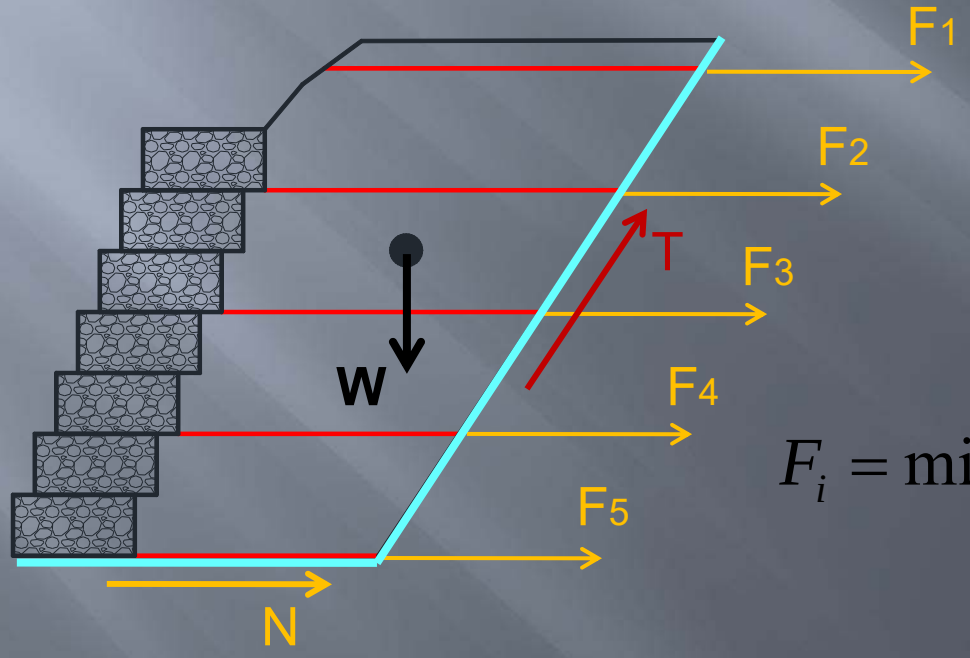
$$\frac{\text{Οριζόντιες Δυνάμεις Σταθεροποίησης}}{\text{Οριζόντιες Δυνάμεις Αποσταθεροποίησης}} = Fs$$

Με τον Συντελεστή να πρέπει να είναι: Fs>1.3 (FHWA)

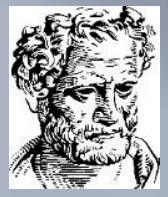


Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας μεταφορικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια γεωπλέγματος – υλικού επίχωσης (Translational Failure)

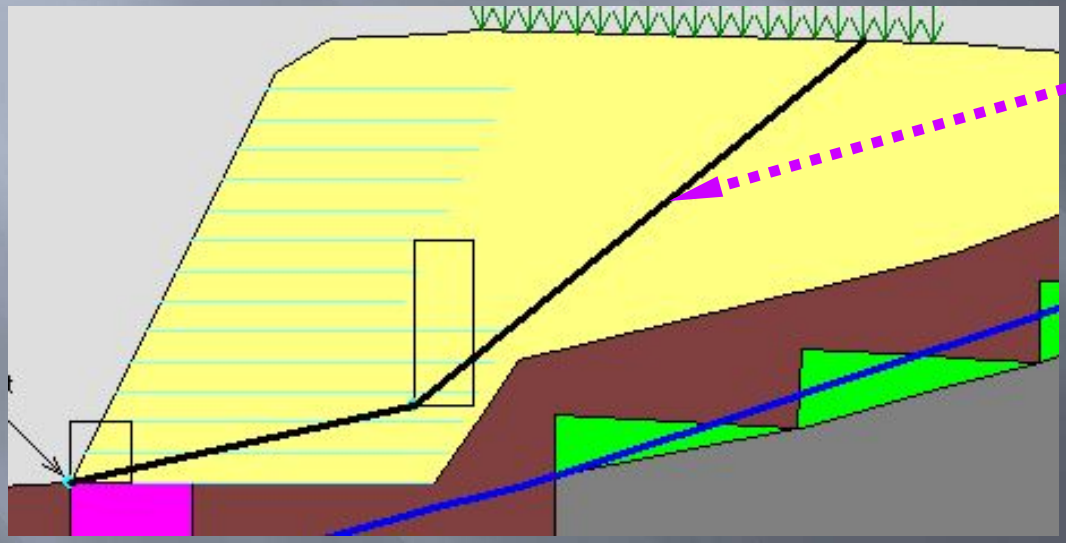


$$F_i = \min \begin{cases} \dfrac{F^* \times \gamma \times z_p \times L \times R_c}{SF_{PO}} \\ \dfrac{T_{ult} \times R_c}{RF_{id} \times RF_d \times RF_c \times RF_a} \end{cases}$$



Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας πολυγωνικής επιφάνειας ολίσθησης (3 - Part Wedge Failure Mechanism)



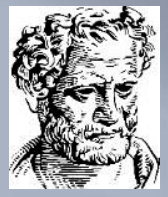
Επιφάνεια πολυγωνικής ολίσθησης (3 - Part Wedge Failure Mechanism)

Έλεγχος:

Για τον συγκεκριμένο έλεγχο σε κυκλική ολίσθηση εξετάζεται ο λόγος:

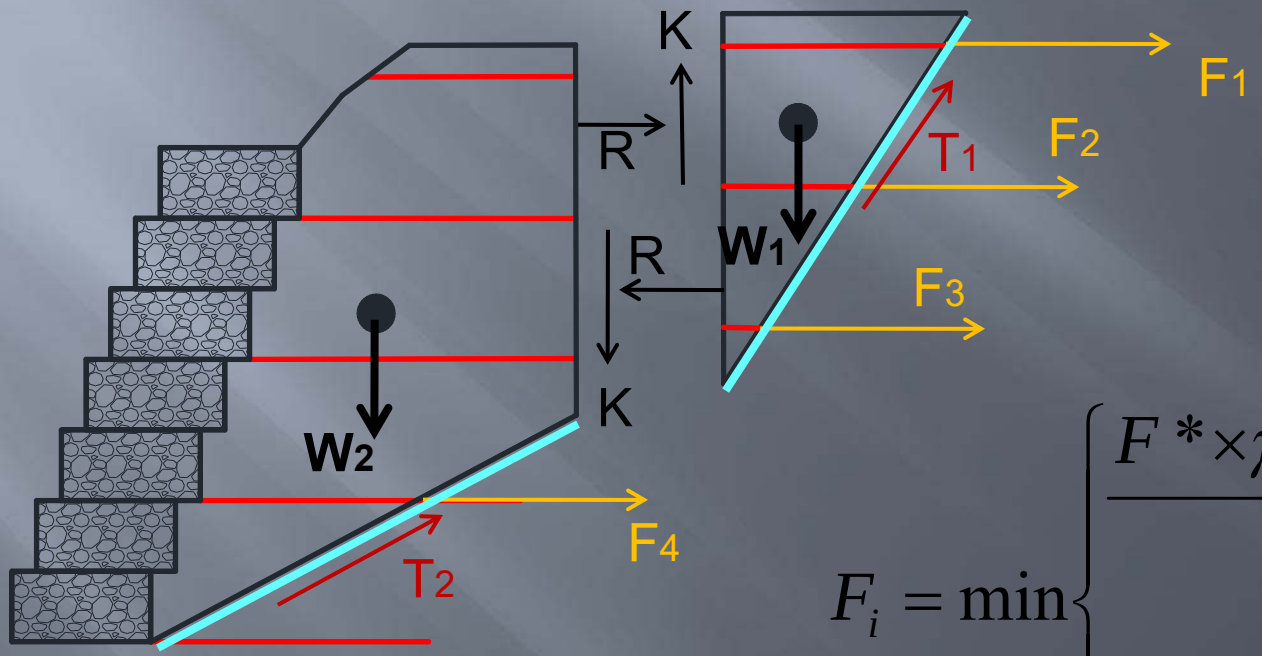
$$\frac{\text{Οριζόντιες Δυνάμεις Σταθεροποίησης}}{\text{Οριζόντιες Δυνάμεις Αποσταθεροποίησης}} = Fs$$

Με τον Συντελεστή να πρέπει να είναι: Fs>1.3 (FHWA)

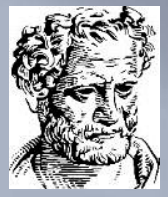


Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας πολυγωνικής επιφάνειας ολίσθησης (3 - Part Wedge Failure Mechanism)

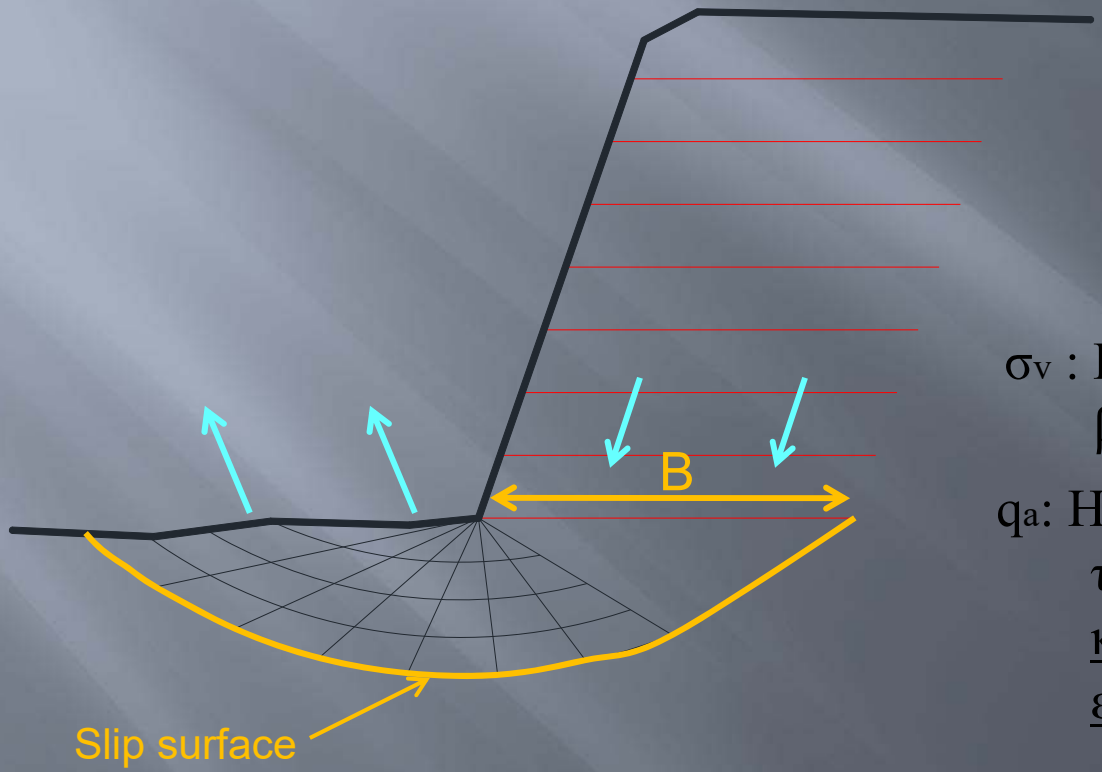


$$F_i = \min \left\{ \frac{F^* \times \gamma \times z_p \times L \times R_c}{SF_{PO}} \; ; \; \frac{T_{ult} \times R_c}{RF_{id} \times RF_d \times RF_c \times RF_a} \right.$$



Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Έλεγχος φέρουσας ικανότητας (Bearing Capacity)



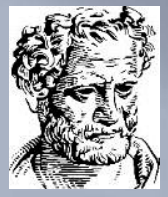
Υπολογισμός:

$$\sigma_v \le q_a = \frac{q_{ult}}{Fs}$$

σ_v : Η κατακόρυφη τάση στην βάση του επιχώματος

q_a: Η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του εδάφους <u>υπολογισμένη με κλασσικές μεθόδους εδαφομηχανικής</u>

Με τον Συντελεστή να πρέπει να είναι: Fs>2.5 (FHWA)

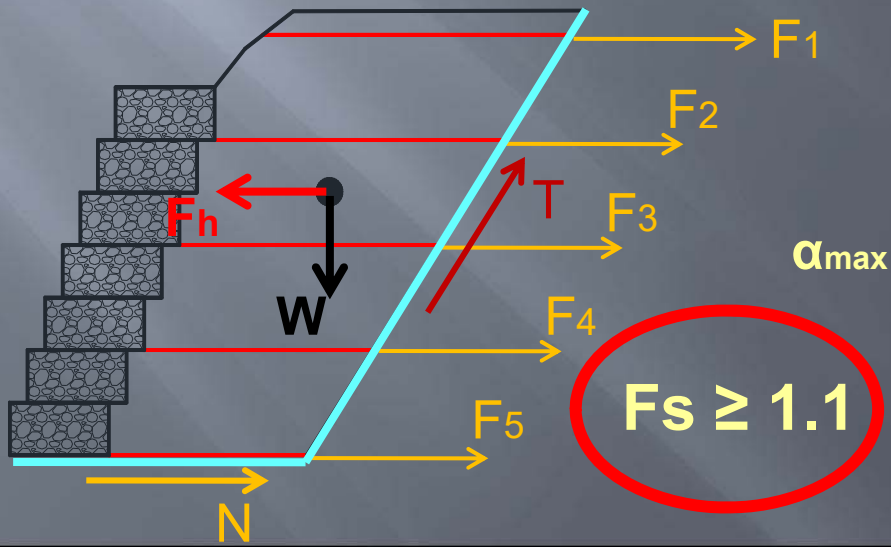


Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

Ανάλυση ευστάθειας υπό σεισμικές συνθήκες (seismic stability analysis)

Η ανάλυση πραγματοποιείται ψευδοστατικά (FHWA)

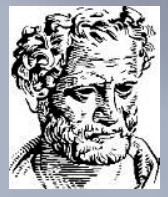
Εφαρμόζεται δηλαδή μία οριζόντια δύναμη αποσταθεροποίησης στο εκάστοτε, υπό εξέταση, τμήμα του επιχώματος, ανάλογη με την εδαφική επιτάχυνση όπως αυτή ορίζεται από τον κανονισμό.



$F_h = k_h \cdot W$

$k_h = \alpha_{max} / 2$

α_{max}: επιτάχυνση ανάλογα με την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας



Παραδοχές Σχεδιασμού – Συντελεστές Ασφαλείας

Οι συντελεστές ασφάλειας για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση του οπλισμένου επιχώματος, σχετίζονται:

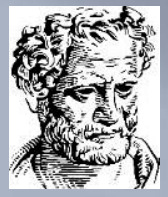
- **Με το γεωϋλικό επίχωσης**

(διατμητική αντοχή, μέγεθος και αδρότητα του κόκκου, με τις συνθήκες οξύτητας (PH) κ.α.)

- **Με την αντοχή των γεωπλεγμάτων**

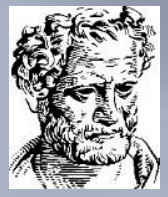
(τα μηχανικά του χαρακτηριστικά, τα μηχανικά χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης γεωπλέγματος-γεωϋλικού τα χαρακτηριστικά μακροχρόνιας ανθεκτικότητας κ.α.)

- **Με τον συνδυασμό των δράσεων σχεδιασμού**
- **Με τις διαφορετικές μορφές δυνητικής αστοχίας και τους σχετικούς ελέγχους**

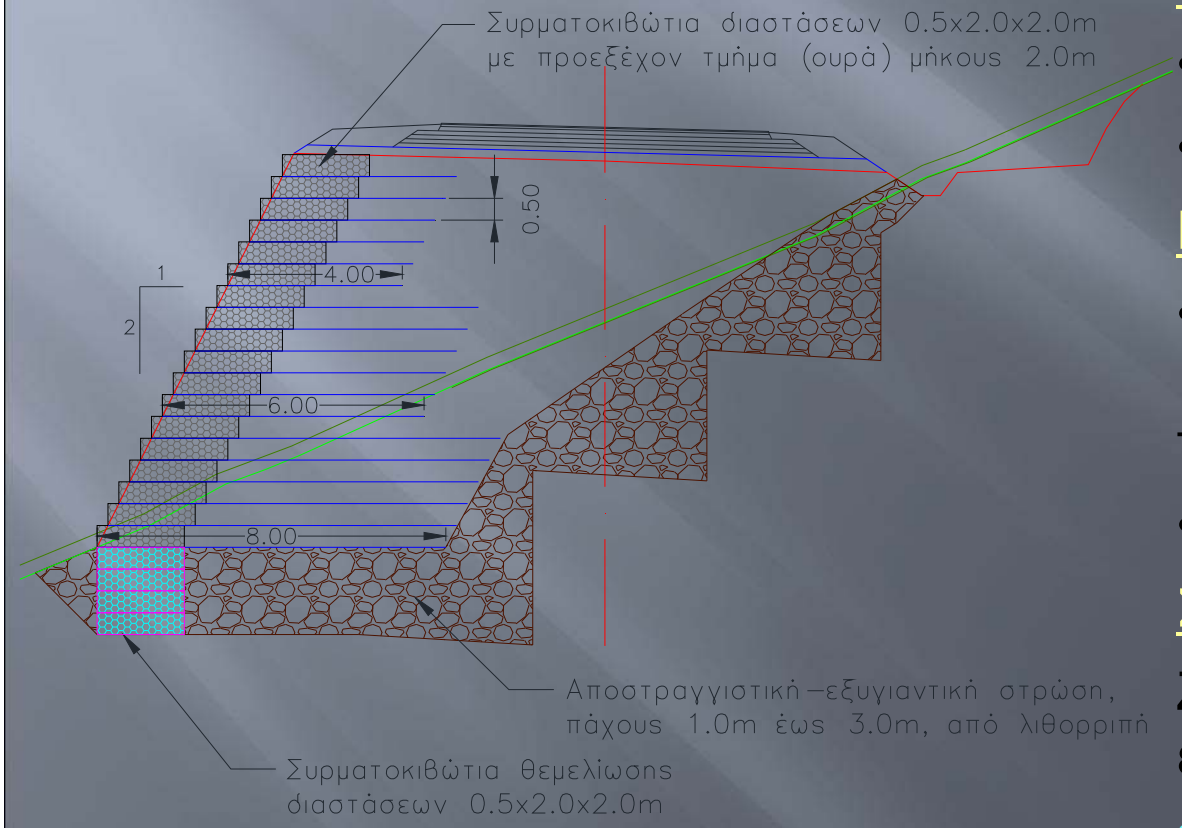


Παράδειγμα

Κομοτηνή-Νυμφαία-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα
(Χ.Θ.: 17+700,00)



Οπλισμένο Επίχωμα στον κάθετο άξονα Κομοτηνή-Νυμφαία-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα (Χ.Θ.: 17+700,00)



Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- Μέγιστο ύψος: H=9.0m
- Κλίση πρανούς: 63^{o}

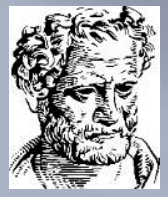
Γεωλογικά στοιχεία

- Επιφανειακός μανδύας αποσάθρωσης πάχους 2.0- 3.0m
- Γνευσιακό υπόβαθρο

Σεισμολογικά δεδομένα

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: Ι

a_{max}= 0.16g

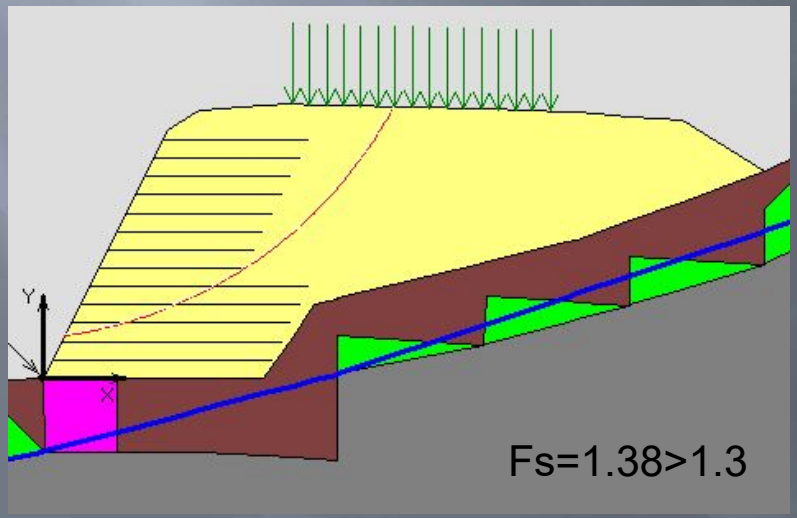


Έλεγχοι Ευστάθειας του Επιχώματος

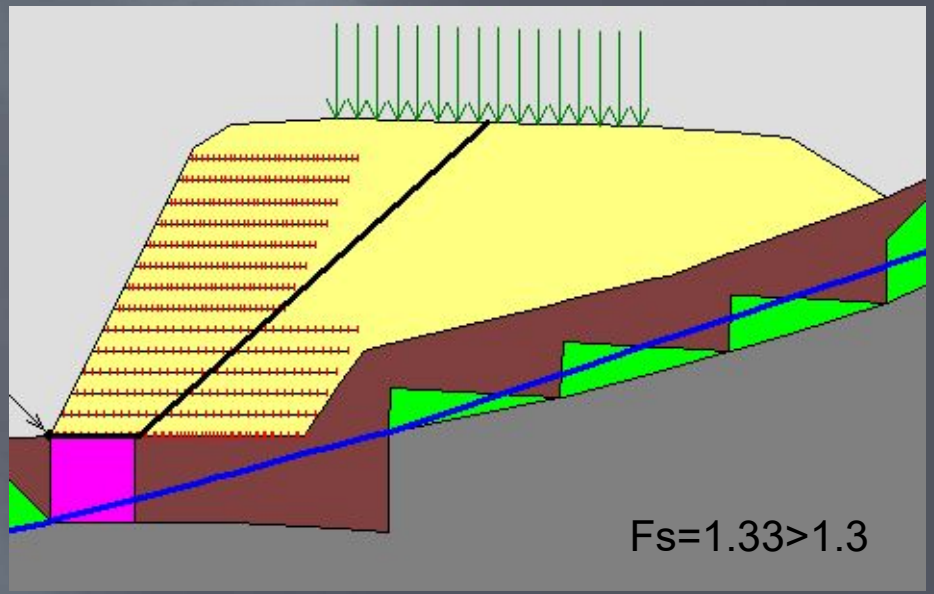
Για τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **ReSSa V2.0 (2002)** της Adama Engineering, Inc.

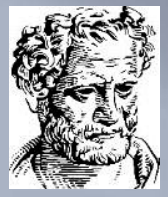
Κρίσιμες επιφάνειες αστοχίας τυπικής διατομής του έργου

Έλεγχος κυκλικής ολίσθησης (rotational failure mode)

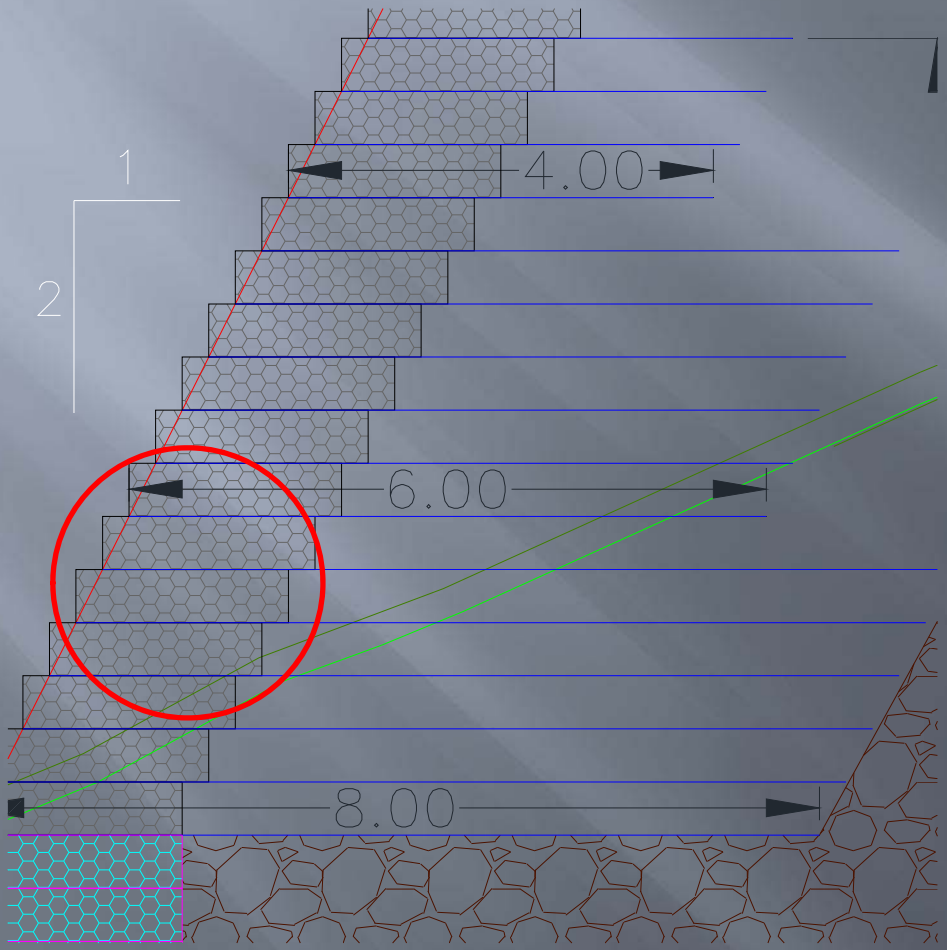


Έλεγχος μεταφορικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια γεωπλέγματος – υλικού επίχωσης (translational failure mode)



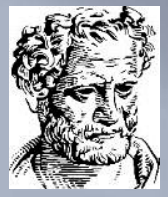


Όπλιση Επιχώματος

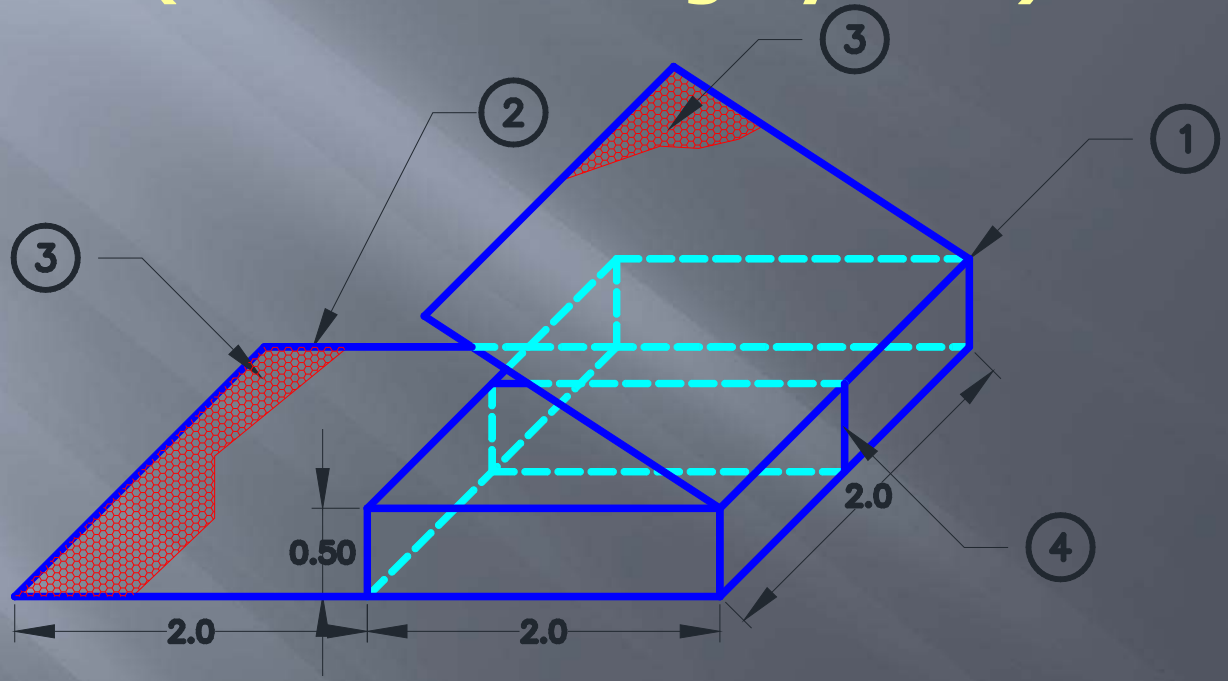


- ✓ Πολυμερικά γεωπλέγματα: πολυεστερικοί τένοντες σε περίβλημα πολυαιθυλενίου
- ✓ Ονομαστική οριακή αντοχή σε ελκυσμό, για **βραχυχρόνια φόρτιση**: κατ' ελάχιστο 60.0 kN/m. Η τιμή αυτή για **μακροχρόνια φόρτιση** (T=120 έτη) γίνεται 24.79kN/m.

Τοποθέτηση σε οριζόντιες στρώσεις, με καθ' ύψος απόσταση S_v=0.5m σε ολόκληρο το ύψος του επιχώματος.



Σαρζανέτια ή Συρματοκιβώτια
(Gabions Facing System)

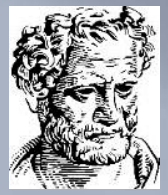


① Μονάδα συρματοκιβωτίου επένδυσης παρειάς οπλισμένου επιχώματος, διαστάσεων (μήκος/πλάτος/ύψος) 2.0x2.0x0.5m

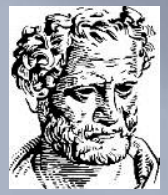
② Προεξέχον τμήμα συρματοκιβωτίου επένδυσης παρειάς τοίχου οπλισμένου εδάφους (ουρά), μήκους 2.0m

③ Εξαγωνικό πλέγμα

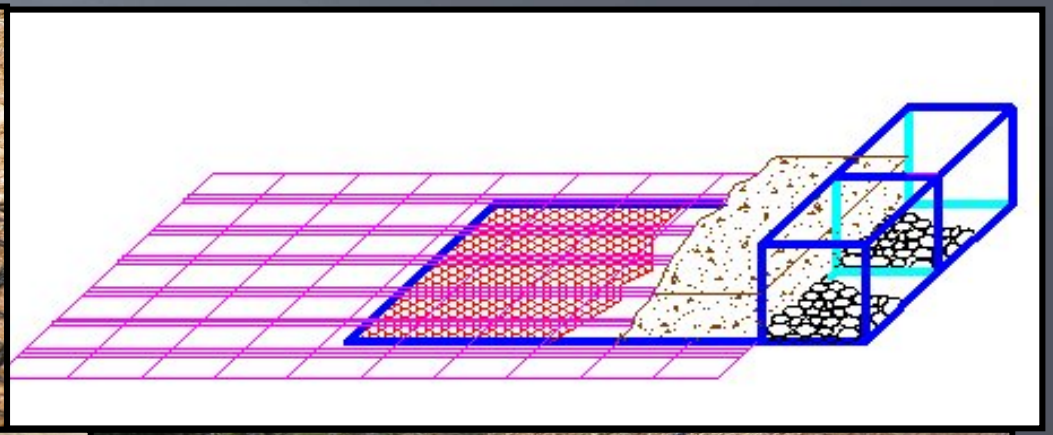
④ Διαχωριστικό διάφραγμα

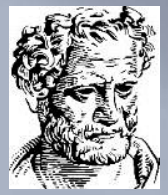


Κατασκευή Επιχώματος

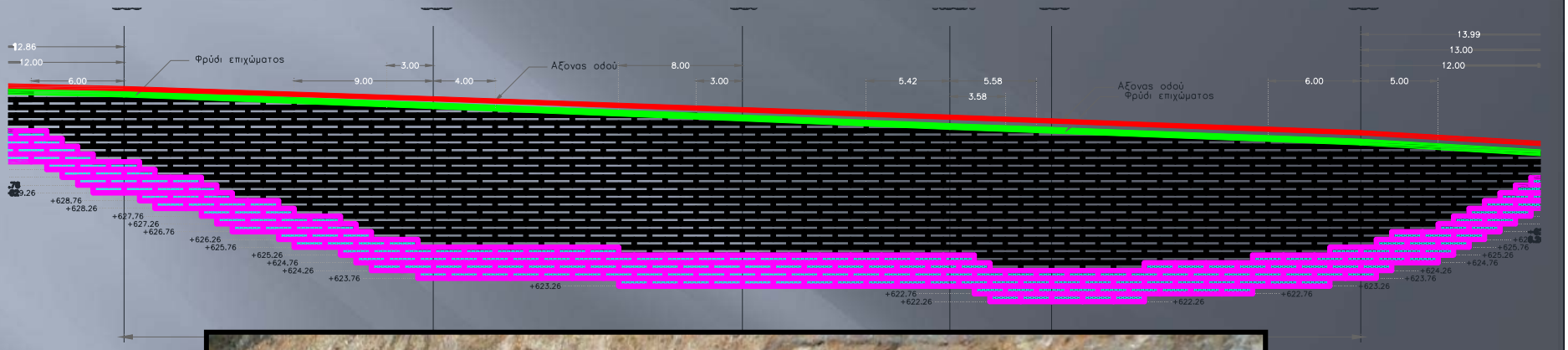


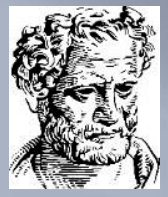
Κατασκευή Επιχώματος



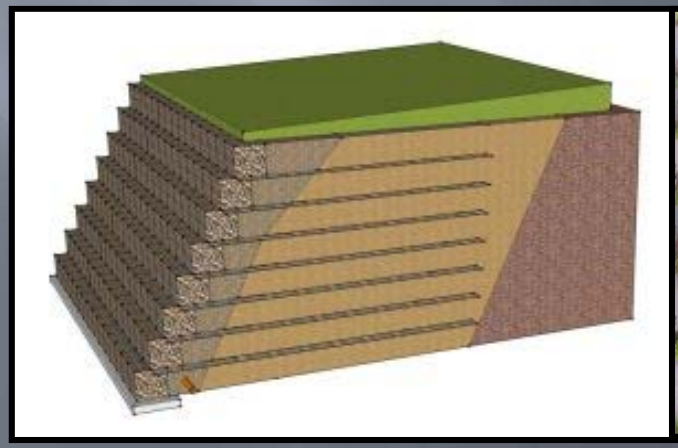


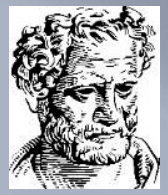
Όψη Επιχώματος



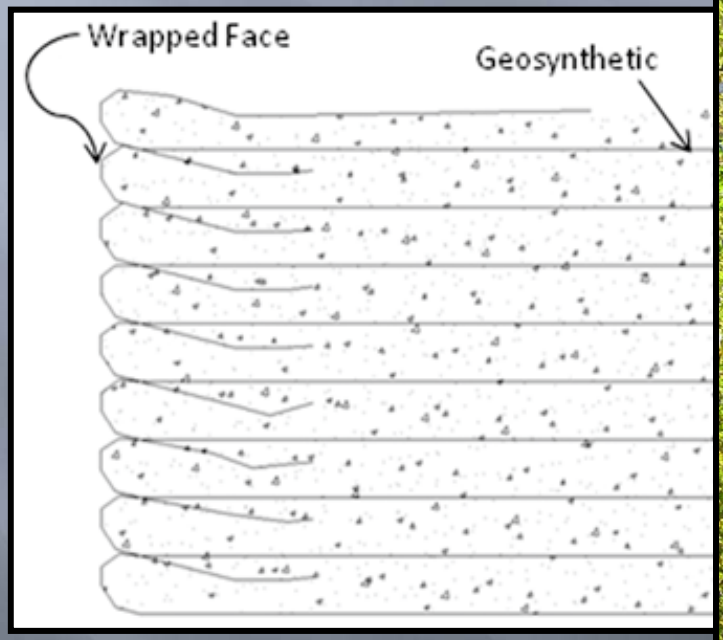


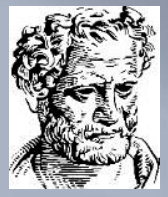
Άλλα Παραδείγματα Οπλισμένων Επιχωμάτων



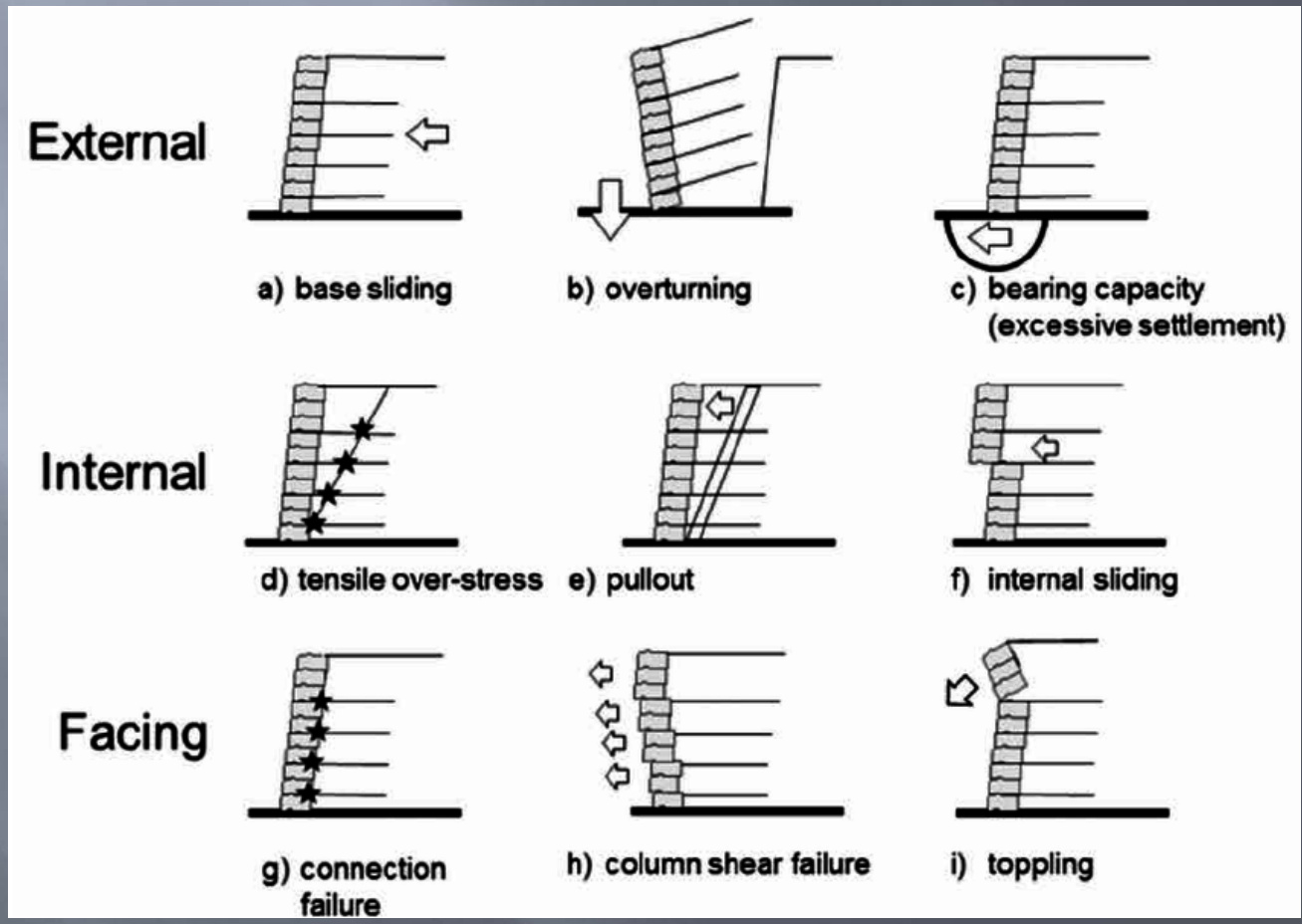


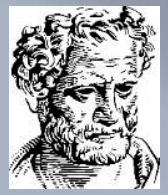
Άλλα Παραδείγματα Οπλισμένων Επιχωμάτων





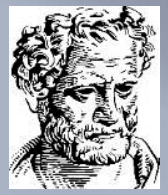
Αστοχίες Οπλισμένων Επιχωμάτων



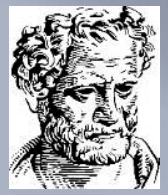


Αστοχίες Οπλισμένων Επιχωμάτων

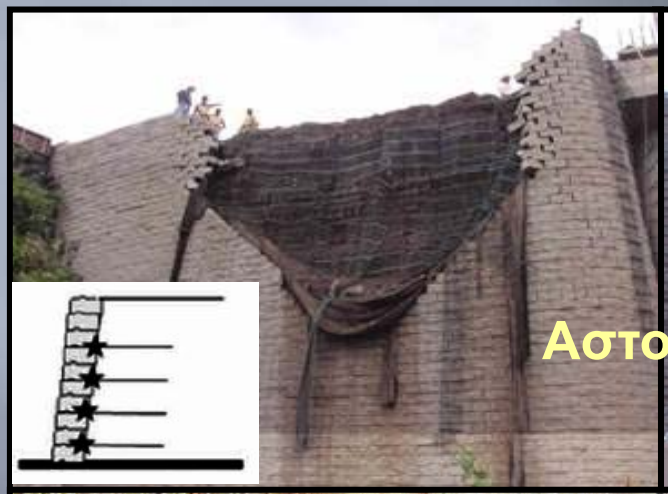
Από υπέρβαση εφελκυστικής αντοχής του οπλισμού



Αστοχίες Οπλισμένων Επιχωμάτων



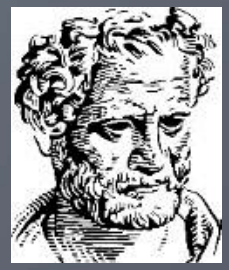
Αστοχίες Οπλισμένων Επιχωμάτων



Αστοχία παρειάς

Υπέρβαση Φ.Ι.

Διατμητική αστοχία παρειάς



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργ. Εδαφομηχανικής & Θεμελιώσεων

Σας Ευχαριστώ

ΟΜΙΛΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΘΡΑΚΗΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ