



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τμήμα Α-Λ

3. Ευστάθεια πρανών

Επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης
Κυκλική επιφάνεια ολίσθησης

Κατολίσθηση Αμύνταιου 2017

ΒΑΘΙΑ ολίσθηση, επί «κυκλικής» επιφάνειας



80.000.000 m³ εδάφους !!!!

Επιφανειακή ολίσθηση επί «επίπεδης» επιφάνειας



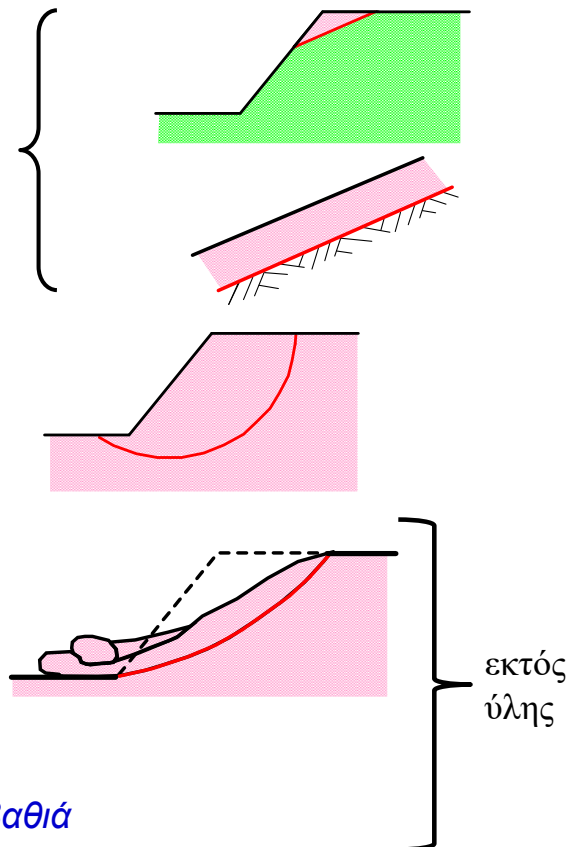
Μορφές «Αστάθειας» Πρανών

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ολίσθηση
(συνήθως) επί επίπεδης επιφάνειας

ΒΑΘΙΑ ολίσθηση
(συνήθως) επί καμπύλης επιφάνειας
(που ομοιάζει με κυκλική)

ΡΟΗ μάζας εδάφους-νερού (debris flow)
σχετικά γρήγορη κίνηση,
η μάζα ρέει ως παχύρρευστο υγρό

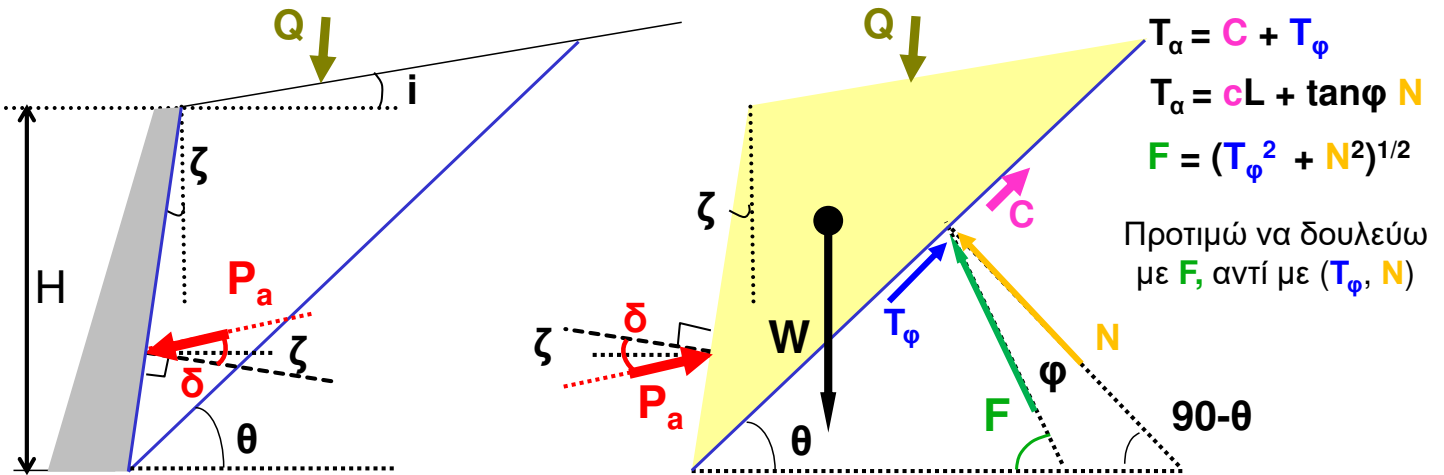
Ερπυσμός
σχετικά αργή κίνηση, επιφανειακή ή βαθιά



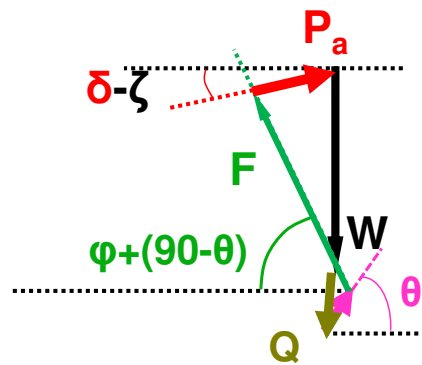
Υπενθύμιση Θεωρία Coulomb: ΕΝΕΡΓ. ΑΣΤΟΧΙΑ

Τοίχος: μη κατακόρυφος ($\zeta \neq 0$), μη λείος ($\delta \neq 0$)

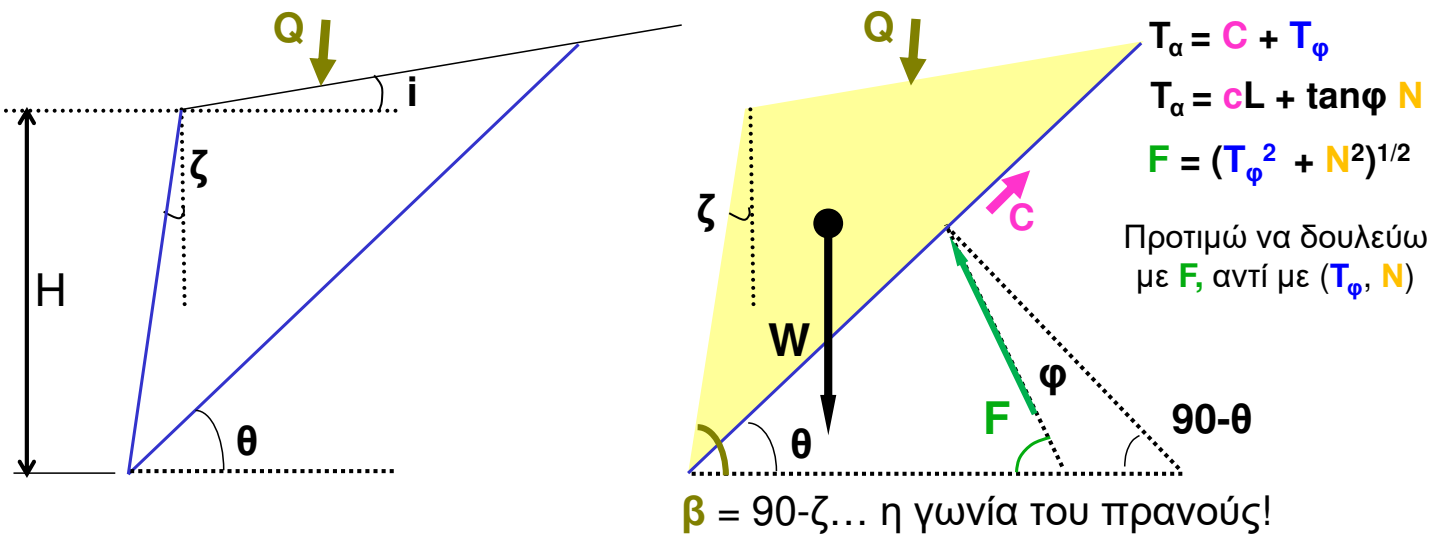
Έδαφος: μη οριζόντιο ($i \neq 0$), με $Q \neq 0$... και με $c \neq 0$



Δυνάμεις	Μέτρο	Δ/νση (ως προς οριζ.)
W	$\gamma E_{\mu\beta\alpha\delta\omicron\nu}$	90
Q	γνωστό	γνωστή
C	cL	θ
F	?	$\phi + (90 - \theta)$
P_a	?	$\delta - \zeta$



Αν δεν υπήρχε ο τοίχος;

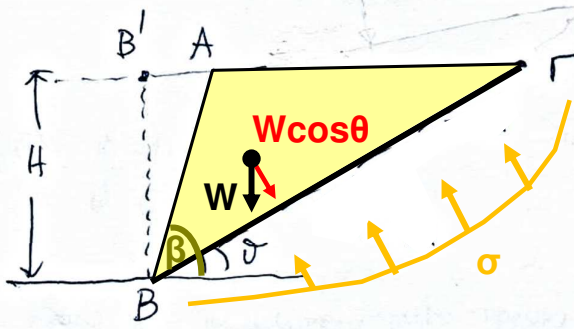


$P_a = 0$ επί του τοίχου ... και επί του πρίσματος εδάφους

Ολισθαίνει το πρίσμα;

Όχι αναγκαστικά! Θα ελεγχθεί η ισορροπία πρίσματος

Έστω πρανές γωνίας κλίσης β , αφόρτιστο ($Q=0$)



$$N = \int \sigma dl$$

$\Sigma F_{\text{κάθετα}} = 0 \rightarrow$
(στην επιφάνεια ολίσθησης)

$$\Rightarrow N = W \cos \theta = \gamma E \cos \theta$$

$$\Rightarrow N = \frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\cos \theta}{\tan \theta} - \frac{\cos \theta}{\tan \beta} \right)$$

Γεωμετρία:

$$(B\Gamma) = L = H / \sin \theta$$

$$(AB') = \frac{H}{\tan \beta}$$

$$(A\Gamma') = \frac{H}{\tan \theta}$$

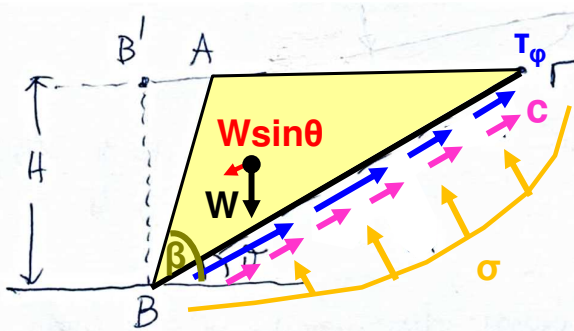
$$\Rightarrow E = \frac{1}{2} [(A\Gamma') - (AB')] H$$

$$\Rightarrow E = \frac{H^2}{2} \left[\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \beta} \right]$$

Όσο μεγαλώνει το ύψος H ή/και η κλίση β του πρανούς...

....τόσο μεγαλώνει το βάρος πρίσματος W , **άρα και η ορθή δύναμη N**

Διάγραμμα Ελευθέρου Σώματος ΠΡΑΝΟΥΣ



συνισταμένη δύναμη
οριακής αντίστασης

$$T_{\alpha} = \int T_{\alpha} dl = \int (T_c + T_{\phi}) dl$$

$$T_{\alpha} = \int (c + \sigma \tan \phi) dl$$

$$T_{\alpha} = \int c dl + \tan \phi \int \sigma dl$$

Προτιμώ να δουλεύω
με (T_{ϕ} , N)
και C (αν υπάρχει)

Συντελεστής Ασφαλείας έναντι
ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

$$T_{\alpha} = cL + \tan \phi N = C + T_{\phi}$$

$$Y_{ol} = F_{S_{\alpha}} = \frac{T_{\alpha}}{W \sin \theta} = \frac{c \frac{H}{\sin \theta} + \frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\cos \theta}{\tan \theta} - \frac{\cos \theta}{\tan \beta} \right) \tan \phi}{\frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\sin \theta}{\tan \theta} - \frac{\sin \theta}{\tan \beta} \right)} > 1.3$$

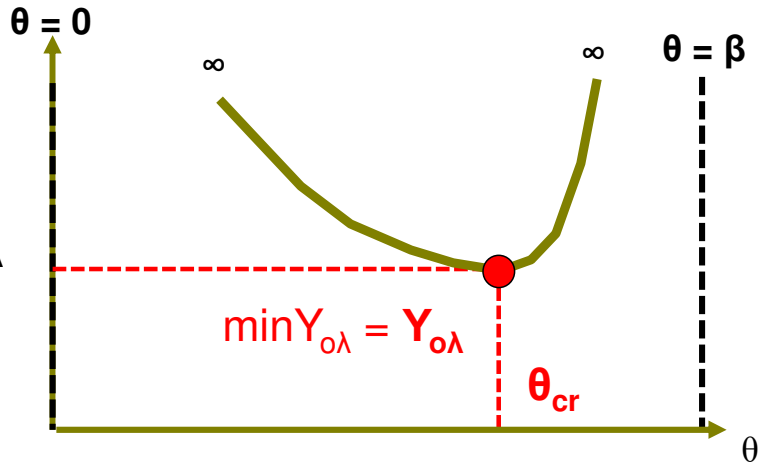
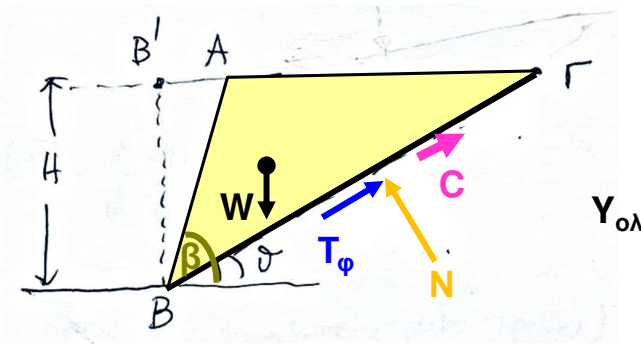
Όσο μεγαλώνει το ύψος H ή/και η κλίση β του πρανούς...

....τόσο μεγαλώνει το βάρος πρίσματος W , **άρα και η Δύναμη ολίσθησης $W \sin \theta$**

Όσο μεγαλώνει η διατμητική αντίσταση (c , ϕ) του πρανούς...

....τόσο μεγαλώνει και η **Δύναμη αντίστασης $T_{\alpha} = C + T_{\phi}$**

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



Συντελεστής Ασφαλείας έναντι ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

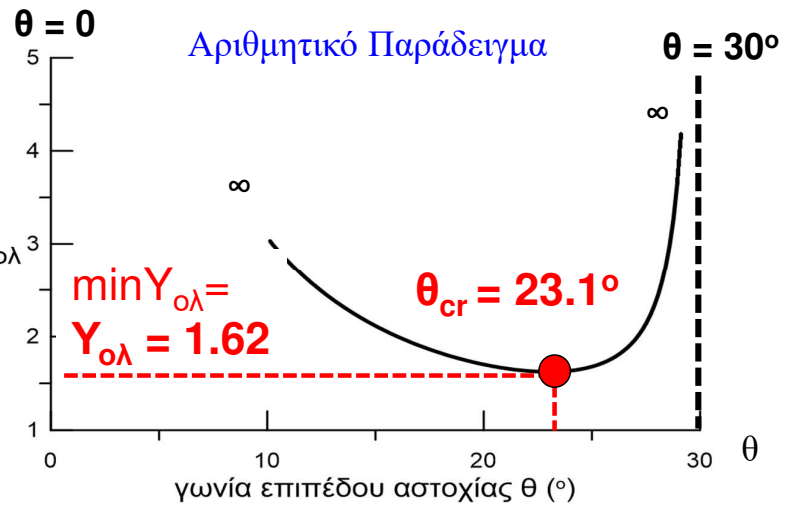
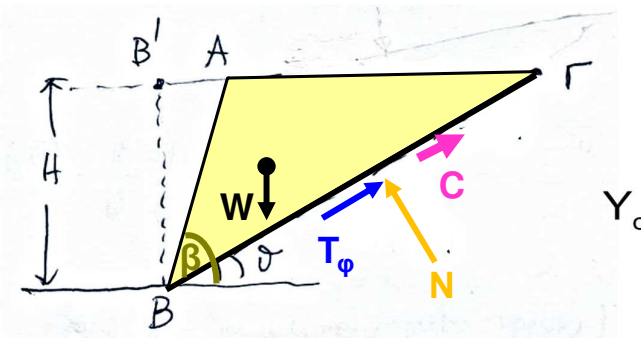
$$Y_{ol} = F_{S_{ol}} = \frac{T_{\alpha}}{W \sin \theta} = \frac{c \frac{H}{\sin \theta} + \frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\cos \theta}{\tan \theta} - \frac{\cos \beta}{\tan \beta} \right) \tan \phi}{\frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\sin \theta}{\tan \theta} - \frac{\sin \theta}{\tan \beta} \right)} > 1.3$$

$Y_{ol} = f(H, \beta, c, \phi, \gamma)$
 Topography: H, β
 Soil: c, ϕ, γ

Όλες είναι μαθηματικά αποδεκτές λύσεις...

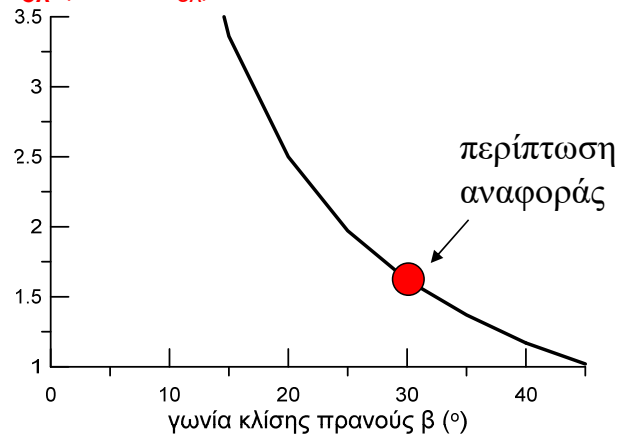
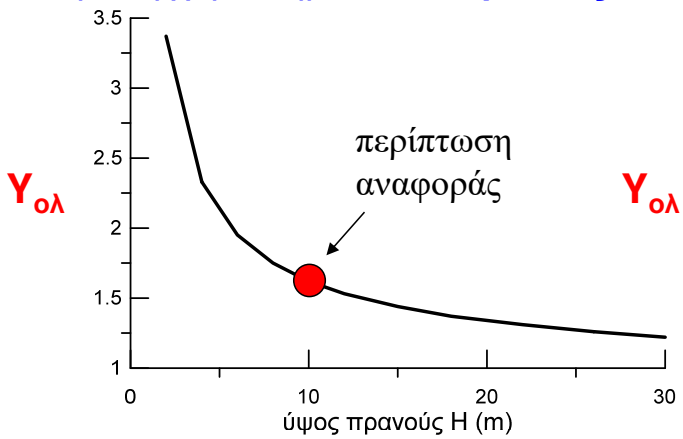
ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ $0 < \theta < \beta$

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

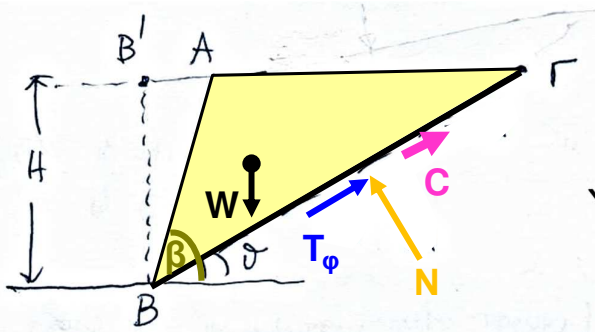


ΠΡΑΝΕΣ $H = 10\text{m}$, $\beta = 30^\circ$
 ΕΔΑΦΟΣ $\gamma = 20\text{kN/m}^3$, $c = 5\text{kPa}$, $\phi = 25^\circ$

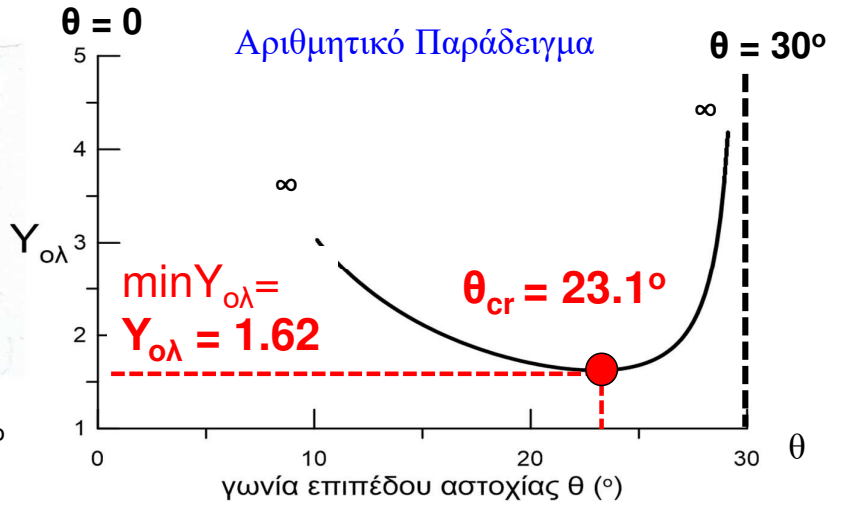
Επίδραση χαρακτηριστικών πρानούς στο $Y_{ol} (= \min Y_{ol})$



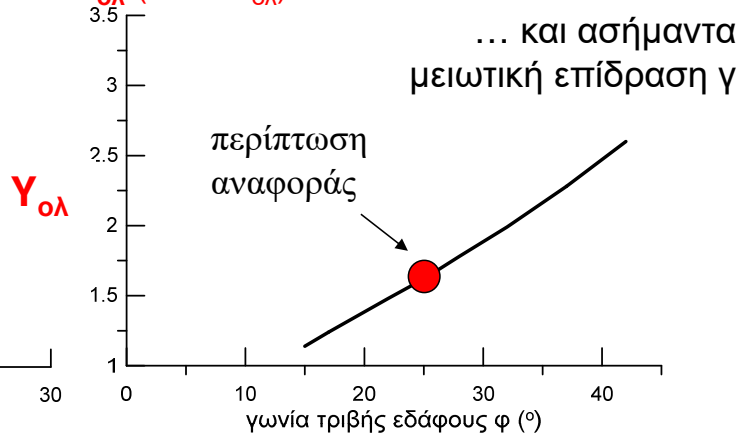
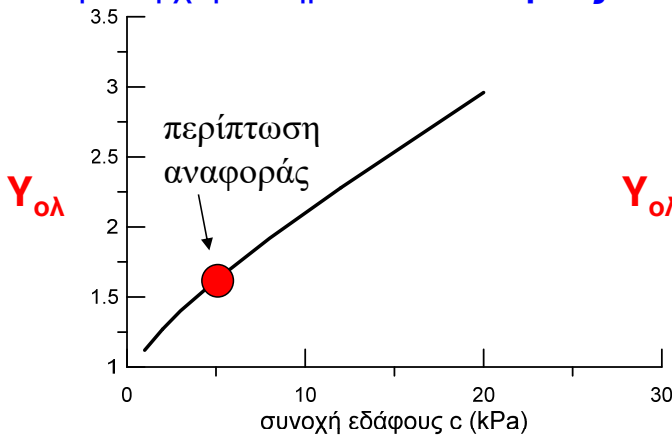
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



ΠΡΑΝΕΣ $H = 10\text{m}$, $\beta = 30^\circ$
 ΕΔΑΦΟΣ $\gamma = 20\text{kN/m}^3$, $c = 5\text{kPa}$, $\phi = 25^\circ$

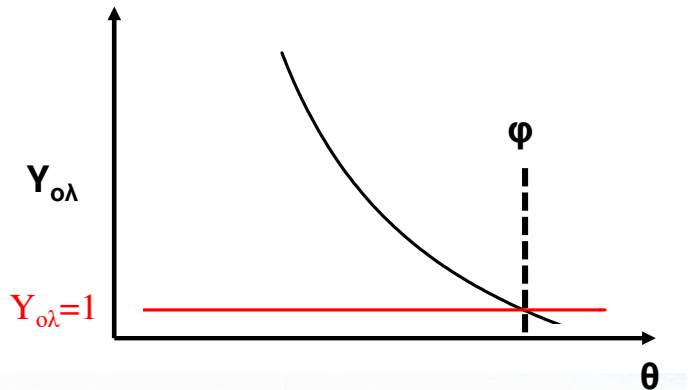
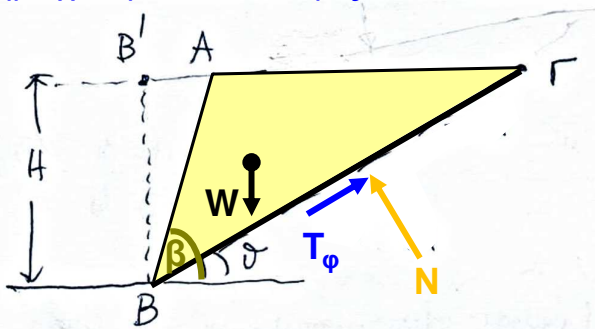


Επίδραση χαρακτηριστικών εδάφους στο Y_{ol} ($= \min Y_{ol}$)



Ειδική Περίπτωση 1: πρανές εδάφους με $c=0$

Ξηρό χονδρόκοκκο έδαφος



$$Y_{ol} = \frac{c \frac{H}{\sin \theta} + \frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\cos \theta}{\tan \theta} - \frac{\cos \theta}{\tan \beta} \right) \tan \theta}{\frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\sin \theta}{\tan \theta} - \frac{\sin \theta}{\tan \beta} \right)} \quad c=0 \quad \dots = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \cdot \tan \phi = \frac{\tan \phi}{\tan \theta}$$

Άρα έχουμε ολίσθηση ($Y_{ol} < 1$) για κάθε $\theta > \phi$

Όμως, για να υπάρχει πρίσμα: $\theta < \beta$

Ανεξαρτήτως γ και H ,

κάθε (ξηρό) χονδρόκοκκο ($c=0$) πρανές με $\beta > \phi$...

... δεν ευσταθεί, καθώς ολισθαίνει με $\theta = \phi$

Είναι αδύνατη κλίση πρανούς $\beta > \phi$

έχουμε ολίσθηση ($Y_{ol} < 1$) για κάθε θ , όπου $\phi < \theta < \beta$

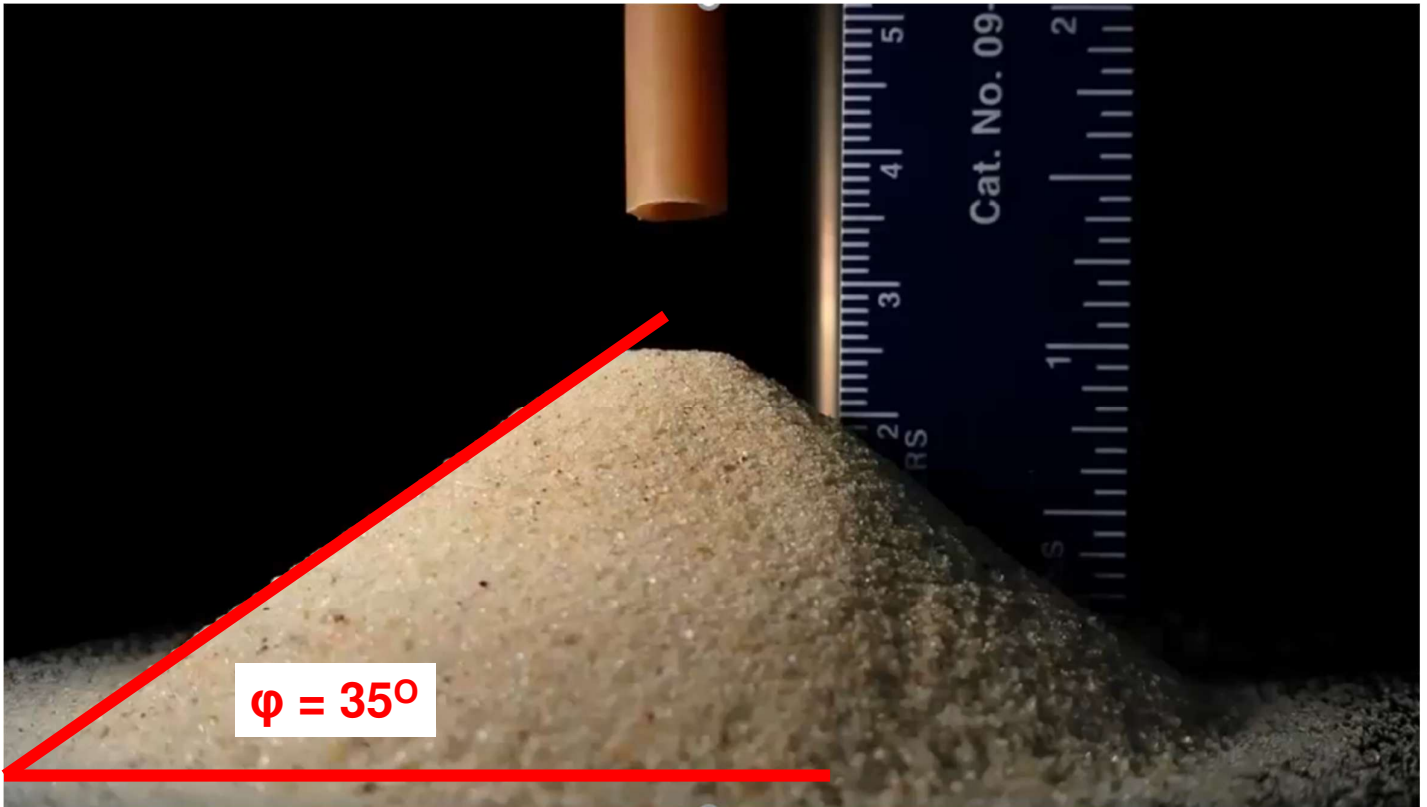
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ:

Ανεξαρτήτως γ και H ,

δεν έχουμε ολίσθηση ($Y_{ol} > 1$) για κανένα θ , όπου $\theta < \beta < \phi$

Πρανές με $\beta < \phi$ είναι ευσταθές

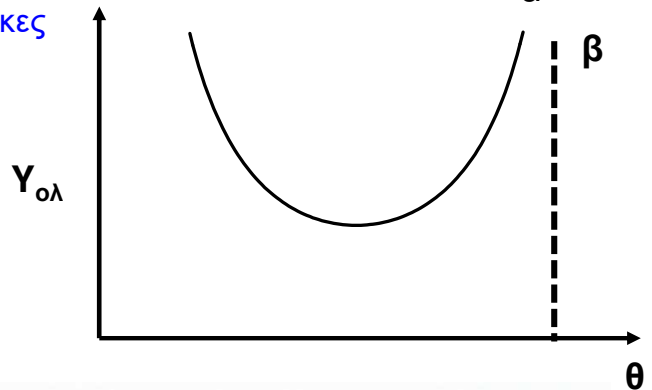
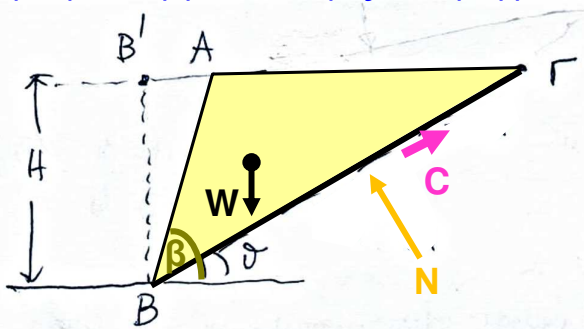
Ειδική Περίπτωση 1: πρανές εδάφους με $c=0$, $\varphi>0$



γωνία φυσικής απόθεσης ($\varphi = 35^\circ$): χαρακτηριστική του μεγέθους και σχήματος κόκκων
 Είναι αδύνατη κλίση πρανούς $\beta > \varphi$ Πρανές με $\beta < \varphi$ είναι ευσταθές

Ειδική Περίπτωση 2: πρανές εδάφους με $c=S_u$ ($\varphi=0$)

Κορεσμένο αργιλικό έδαφος - αστράγγιστες συνθήκες



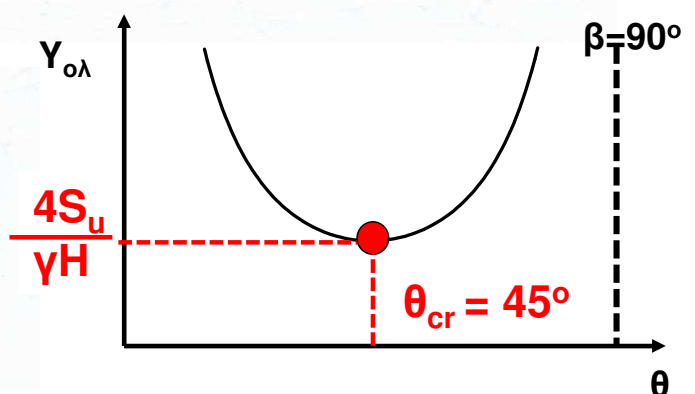
$$Y_{ol} = \frac{c \frac{H}{\sin \theta} + \frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\cos \theta}{\tan \theta} - \frac{\cos \theta}{\tan \beta} \right) \tan \theta}{\frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\sin \theta}{\tan \theta} - \frac{\sin \theta}{\tan \beta} \right)}$$

$$c = S_u \quad \frac{2 S_u}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \theta} \cdot \frac{1}{\left(\cos \theta - \frac{\sin \theta}{\tan \beta} \right)}$$

Έστω $\beta = 90^\circ$ (κατακόρυφο πρανός)

$$Y_{ol} = \frac{2 S_u}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \theta \cos \theta} = \frac{4 S_u}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin 2\theta}$$

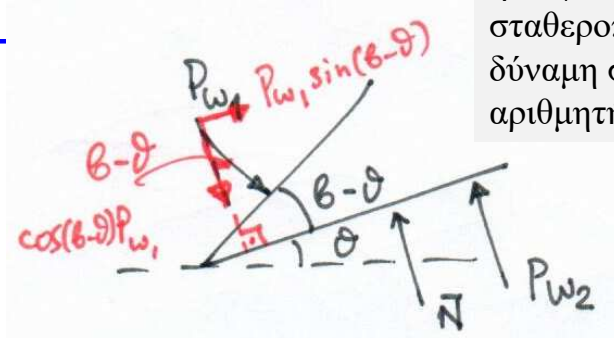
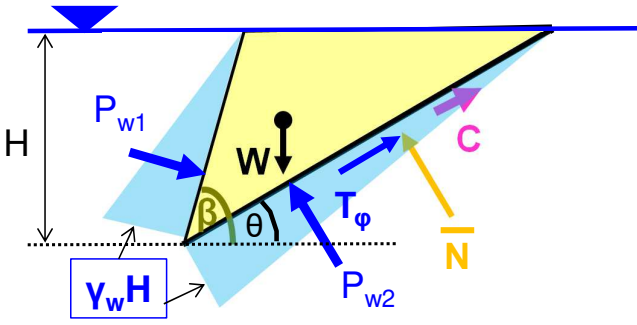
$$\min Y_{ol} = \frac{4 S_u}{\gamma H} \quad (\text{για } \sin 2\theta = 1)$$



Ειδική Περίπτωση 3: εμβαπτισμένο πρανές (c, φ)

Κορεσμένο έδαφος – Στραγγιζόμενες συνθήκες

ή ασφαλέστερα, την σταθεροποιητική δύναμη στον αριθμητή



$$\Sigma F_{\text{κάθετα}} = 0 \rightarrow$$

(στην επιφάνεια ολίσθησης)

$$\left. \begin{aligned} P_{w1} &= \frac{1}{2} (\gamma_w H) \frac{H}{\sin \beta} \\ P_{w2} &= \frac{1}{2} (\gamma_w H) \frac{H}{\sin \theta} \end{aligned} \right\} P_{w2} > P_{w1}$$

$$W \cos \theta + P_{w1} \cos(\beta - \theta) = N = \bar{N} + P_{w2}$$

$$\Rightarrow \bar{N} = N - P_{w2} = W \cos \theta + P_{w1} \cos(\beta - \theta) - P_{w2}$$

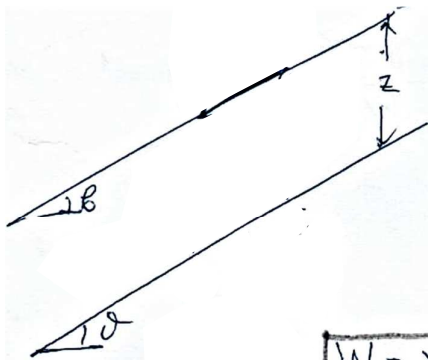
$$Y_{\alpha} = \frac{T_a}{W \sin \theta - P_{w1} \sin(\beta - \theta)} = \frac{c \left(\frac{H}{\sin \theta} \right) + \bar{N} \tan \phi}{W \sin \theta - P_{w1} \sin(\beta - \theta)} = \frac{c \left(\frac{H}{\sin \theta} \right) + W \cos \theta \tan \phi + \overbrace{(P_{w1} \cos(\beta - \theta) - P_{w2}) \tan \phi}^{\text{αρνητικό}}}{W \sin \theta - \underbrace{P_{w1} \sin(\beta - \theta)}_{\text{σταθεροποιητική δύναμη}}}$$

Ειδικά για άργιλο σε αστραγγιστες συνθήκες:

$c = S_u$ (και $\phi = 0$), οπότε Y_{α} (εμβαπτισμένου) $>$ Y_{α} (χωρίς νερό)

Ειδική Περίπτωση 4: απειρομήκες πρανές (c, φ)

Πρανές κλίσης β , που ολισθαίνει σε επιφάνεια βάθους z με γωνία κλίσης $\theta = \beta$



Έστω πρίσμα οριζόντιου πλάτους b και βάθους z

- Διατομές (ΑΒ) και (ΔΓ) --- Ισοδύναμες
 - $R_n = R_{n+1}$
 - Διεύθυνση $R_n \parallel R_{n+1} \parallel$ πρανής (αν όχι \rightarrow ροπή \rightarrow στροφή)
- χρόνω απείρων μήκους

$$W = \gamma E = \gamma b z = \gamma (L \cos \beta) z$$

$$\Sigma F_{\text{κάθετα}} = 0 \rightarrow$$

(στην επιφάνεια ολίσθησης)

$$W \cos \beta = \bar{N} + U, \text{ όπου } U = u L$$

πίεση πόρων (δη'όπου κι αν προέρχεται)

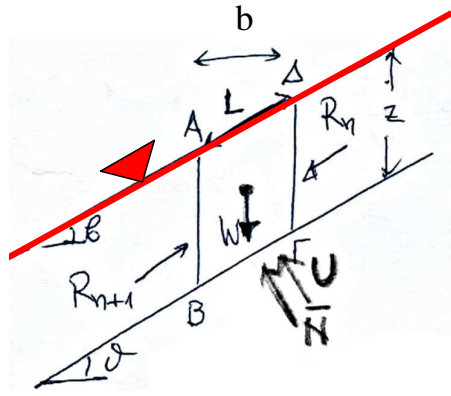
$$\Rightarrow N = W \cos \beta - U = L (\gamma z \cos^2 \beta - u)$$

$$Y_{\alpha} = \frac{T_{\max}}{W \sin \beta} = \frac{c L + \bar{N} \tan \phi}{W \sin \beta} = \frac{c L + L (\gamma z \cos^2 \beta - u) \tan \phi}{\cancel{\gamma L} z \cos \beta \sin \beta} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Y_{\alpha} = \frac{c + (\gamma z \cos^2 \beta - u) \tan \phi}{\gamma z \cos \beta \sin \beta}$$

Ειδική Περίπτωση 4: απειρομήκες πρανές (c, φ)

Πρανές κλίσης β, που ολισθαίνει σε επιφάνεια βάθους z με γωνία κλίσης θ = β

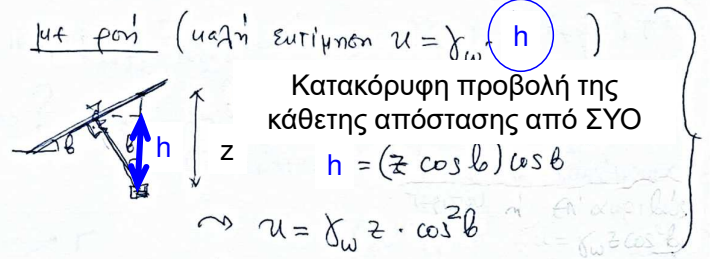
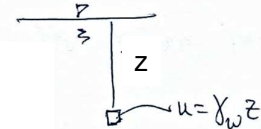


Γενική σχέση

$$Y_{ολ} = \frac{c + (\gamma z \cos^2 \theta - u) \tan \phi}{\gamma z \cos \theta \sin \theta}$$

-> Έδαφος με **κεκλιμένη ΣΥΟ** ($u \neq 0$), δηλ. με **υπόγεια ροή**

υδροστατικά



Κατακόρυφη προβολή της κάθετης απόστασης από ΣΥΟ
 $h = (z \cos \theta) \cos \theta$

$$u = \gamma_w z \cdot \cos^2 \theta$$

Κεκλιμένη ΣΥΟ = **Υπόγεια ροή**

$$Y_{ολ} = \frac{c + (\gamma z \cos^2 \theta - \gamma_w z \cos^2 \theta) \tan \phi}{\gamma z \cos \theta \sin \theta} < Y_{ολ}(\xi \eta \rho \delta)$$

Υπόγεια ροή →

Μείωση $Y_{ολ}$

Ειδικότερα, για **χονδρόκοκκο (c=0) έδαφος με ροή (u ≠ 0)**

$$Y_{ολ} = \frac{(\gamma z \cos^2 \theta - \gamma_w z \cos^2 \theta) \tan \phi}{\gamma z \cos \theta \sin \theta} = \frac{(\gamma - \gamma_w) \cos \theta \tan \phi}{\gamma \sin \theta} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Y_{ολ} = \frac{(\gamma - \gamma_w)}{\gamma} \frac{\tan \phi}{\tan \theta} \approx 0.5 \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta} \right)$$

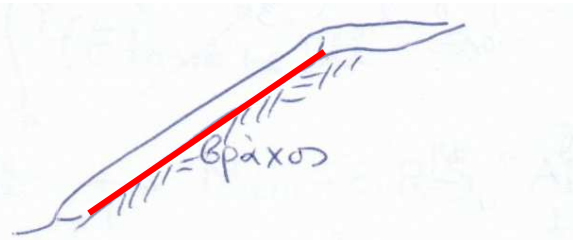
δηλαδή **μείωση ευστάθειας**

Έστω πρανές γωνίας κλίσης β, αφόρτιστο (Q=0)

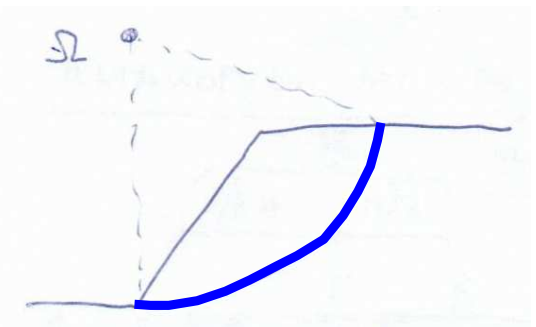
ΕΠΙΠΕΔΗ επιφάνεια



Πεπερασμένου ύψους H
Ολίσθηση πρίσματος εδάφους

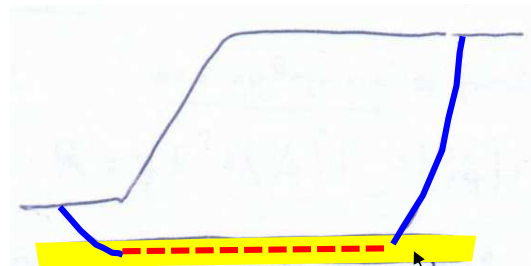


«απείρου» ύψους
Ολίσθηση «επιμήκου» πρίσματος εδάφους



ΚΥΚΛΙΚΗ επιφάνεια

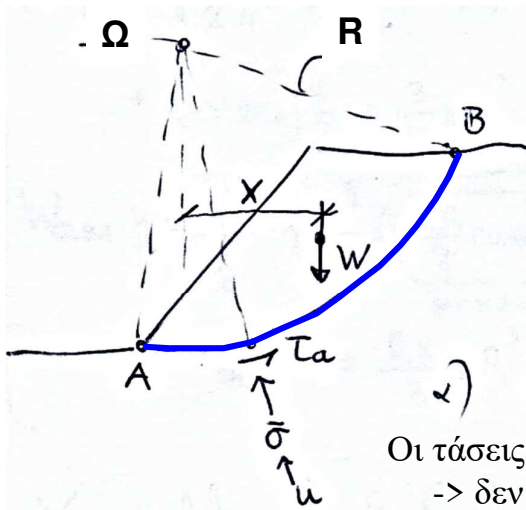
Περιστροφή πρίσματος εδάφους γύρω από **Κέντρο Περιστροφής Ω**



«μαλακή» ή χαλαρή στρώση

ΣΥΝΘΕΤΗ επιφάνεια

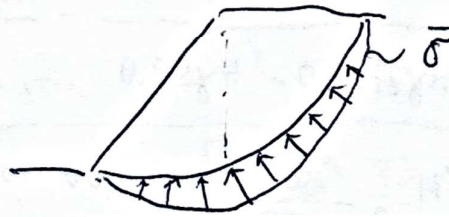
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



$$\tau_a = c + \bar{\sigma} \tan \varphi = c + (\sigma - u) \tan \varphi$$

$$Y_{\pi\varphi} = \frac{M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{M_{\alpha\nu\alpha\tau}} = \frac{R \cdot \int_A^B (\bar{\sigma} \tan \varphi + c) dl}{W \cdot x}$$

α) $\bar{\sigma} = \text{όχι σταθ}$, αιόμνη u αν $c, \varphi = \text{σταθ}$
 Οι τάσεις $\bar{\sigma}$ (και οι πιέσεις u) ασκούνται στην ακτινική διεύθυνση
 → δεν δίνουν ροπή



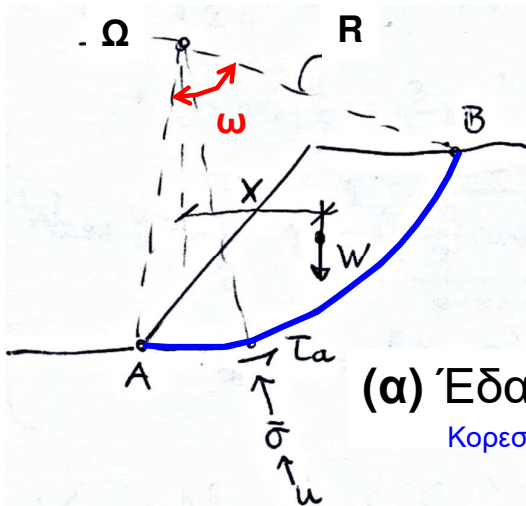
β) Φυσικά, επαναλήψεις για διάφορα Ω κ' R
 → $Y_{\pi\varphi}$.

Πραγματικός $Y_{\pi\varphi}$ του πρανούς = $\min\{Y_{\pi\varphi}\}$

Στην επίπεδη ολίσθηση, οι επαναλήψεις αφορούν: θέση και γωνία κλίσης θ επιπέδου

Στην κυκλική ολίσθηση, οι επαναλήψεις αφορούν: θέση Ω , ακτίνα R κυκλικού τόξου

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



$$\tau_a = c + \bar{\sigma} \tan \varphi = c + (\sigma - u) \tan \varphi$$

$$Y_{\pi\varphi} = \frac{M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{M_{\alpha\nu\alpha\tau}} = \frac{R \cdot \int_A^B (\bar{\sigma} \tan \varphi + c) dl}{W \cdot x}$$

(α) Έδαφος: ομοιογενής άργιλος ($c=S_u, \varphi=0$)

Κορεσμένη άργιλος – αστράγγιστες συνθήκες

$$\begin{aligned} \varphi=0 \rightarrow M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau} &= R \cdot \int_A^B (\bar{\sigma} \tan \varphi + c) dl \Rightarrow \\ c=S_u & \\ \Rightarrow M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau} &= R \int_A^B S_u dl \rightarrow M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau} = R S_u \widehat{AB} = R S_u \widehat{\omega}^2 \\ S_u &= \text{σταθ} & \widehat{AB} &= \text{μήκος κυκλικού τόξου} = \widehat{\omega} R \\ & & & \downarrow \\ & & & \text{rad} \end{aligned}$$

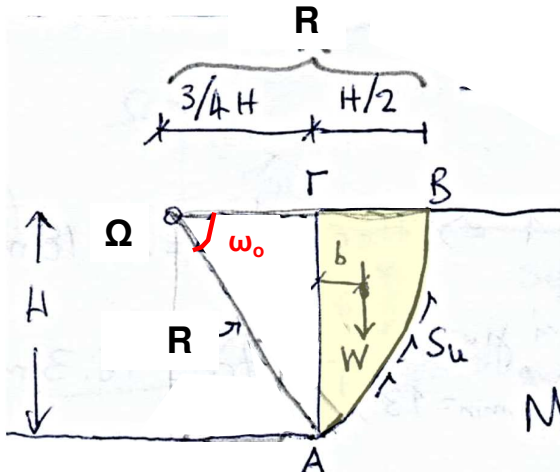
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

(β) Κατακόρυφο πρηνές ομοιογενούς αργίλου ($c=S_u$, $\phi=0$)

Κορεσμένη άργιλος – αστράγγιστες συνθήκες

1. Έστω Ω σε απόσταση $3H/4$
2. Φέρνω κυκλικό τόξο που διέρχεται από πόδα, ακτίνας R
3. Εκτιμώ επικεντρική γωνία ω_0

$$Y = \frac{M_{\text{ευδτ}}}{M_{\text{ανατ}}} = \frac{R^2 S_u \hat{\omega}}{W \cdot x}$$



από ορθογώνιο τρίγωνο

$$R = \sqrt{H^2 + (3/4 H)^2} = (5/4) H$$

$$\tan \omega_0 = \frac{H}{3/4 H} \rightarrow \omega_0 = 53.1^\circ = 0.93 \text{ rad}$$

προσεγγιστικά

$$M_{\text{ανατ}} = W_{\text{ΑΒΓ}} \left(\frac{3}{4} H + b \right) = W_{\text{ΩΒΑ}} y - W_{\text{ΩΓΑ}} \frac{2}{3} \left(\frac{3}{4} H \right)$$

επακριβώς

από κέντρο βάρους κυκλικού τομέα ΩΒΑ

Προσεγγιστική εκτίμηση $M_{\text{ανατ}}$

$$W_{\text{ΑΒΓ}} \approx \gamma \left[\frac{\pi R^2 \omega_0}{2\pi} - \frac{3}{8} H^2 \right], \quad b \approx 0.4 \left(\frac{H}{2} \right) = 0.2 H \rightarrow M_{\text{ανατ}} = 0.33 \gamma H^3$$

κυκλικός τομέας - τρίγωνο

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

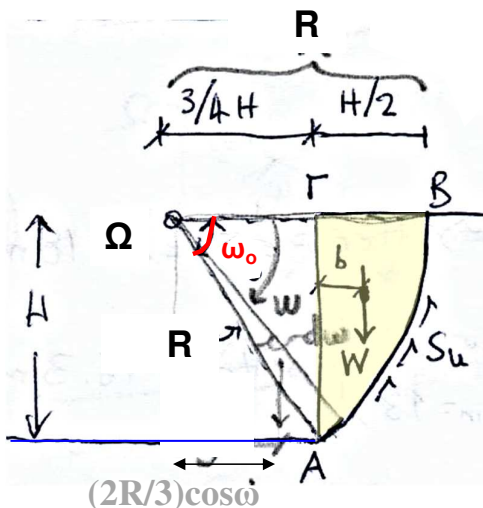
(β) Κατακόρυφο πρηνές ομοιογενούς αργίλου ($c=S_u$, $\phi=0$)

Κορεσμένη άργιλος – αστράγγιστες συνθήκες

1. Έστω Ω σε απόσταση $3H/4$
2. Φέρνω κυκλικό τόξο που διέρχεται από πόδα, ακτίνας R
3. Εκτιμώ επικεντρική γωνία ω_0

$$Y = \frac{M_{\text{ευδτ}}}{M_{\text{ανατ}}} = \frac{(5H/4)^2 (0.93) S_u}{0.33 \gamma H^3} = 4.4 \frac{S_u}{\gamma H}$$

Επακριβής εκτίμηση $M_{\text{ανατ}}$



τρίγωνο

$$(W_{\text{ΩΓΑ}}) = \gamma \frac{1}{2} \frac{3}{4} H^2 = \frac{3}{8} \gamma H^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow (W_{\text{ΩΓΑ}}) \frac{H}{2} = \frac{3}{16} \gamma H^3 = 0.1875 \gamma H^3$$

$$W_{\text{ΩΒΑ}} y = \int_0^{\omega_0} \gamma \left(\frac{R^2}{2} \cdot \left(\frac{2R}{3} \cos \omega \right) d\omega \right) = \gamma \frac{R^3}{3} \int_0^{\omega_0} \cos \omega d\omega = \frac{\gamma R^3}{3} [\sin \omega]_0^{\omega_0} = \frac{\gamma R^3}{3} \sin \omega_0$$

μοχλοβραχίονας

$$\rightarrow W_{\text{ΩΒΑ}} y = \frac{0.8}{3} \gamma R^3 = 0.2666 \gamma R^3 = 0.52 \gamma H^3$$

$$\rightarrow M_{\text{ανατ}} = 0.52 \gamma H^3 - 0.1875 \gamma H^3 = 0.3325 \gamma H^3$$

$$M_{\text{ανατ}} = W_{\text{ΩΒΑ}} y - W_{\text{ΩΓΑ}} \frac{2}{3} \left(\frac{3}{4} H \right)$$

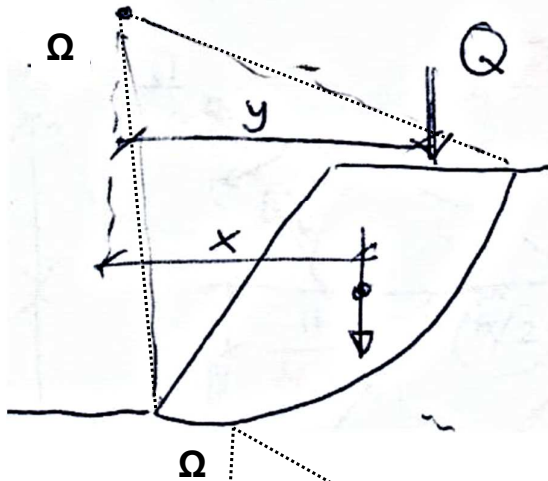
Για τα δεδομένα (Ω , R) $\rightarrow Y_{\text{περ}} = 4.4 S_u / (\gamma H)$ **ΕΠΙΠΕΔΗ επιφάνεια: $\min Y_{\text{ολ}} = 4 S_u / \gamma H$**

Μετά από επαναλήψεις (για πολλά Ω , R) $\rightarrow \min Y_{\text{περ}} = 3.85 S_u / (\gamma H)$ **Κρίσιμη η ΚΥΚΛΙΚΗ επιφάνεια**

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Άλλες περιπτώσεις: Για κάθε τύπου έδαφος

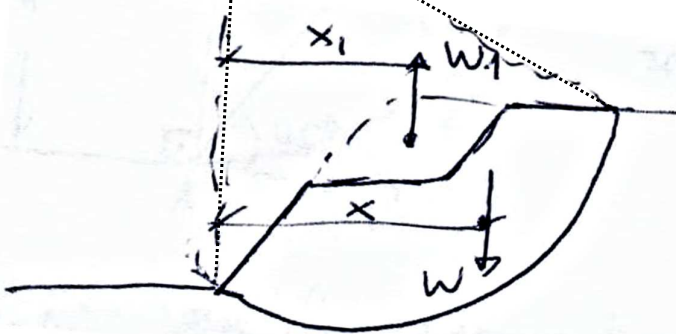
Επιφόρτιση



Αν υπάρχει Q?

$$\gamma_{\text{πρφ}} = \frac{M_{\text{ευστ}}}{W \cdot x + Q \cdot y}$$

Εκσκαφή



$$\gamma_{\text{πρφ}} = \frac{M_{\text{ευστ}}}{W \cdot x - W_1 \cdot x_1}$$

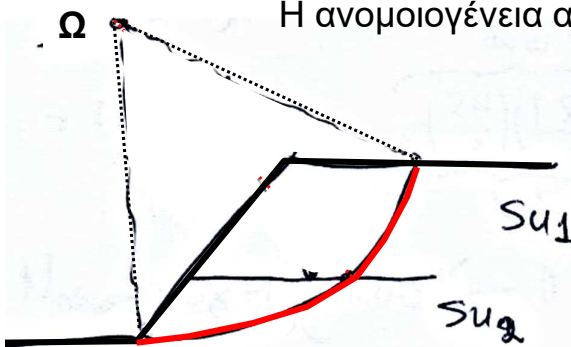
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Άλλες περιπτώσεις:

Δι-στρωτο έδαφος

Κορεσμένες άργιλοι – αστράγγιστες συνθήκες

Η ανομοιογένεια αφορά στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή S_{u1} , όχι το γ



$$\gamma_{\text{πρφ}} = \frac{\hat{M}_{\text{ευστ}}}{W \cdot x}$$

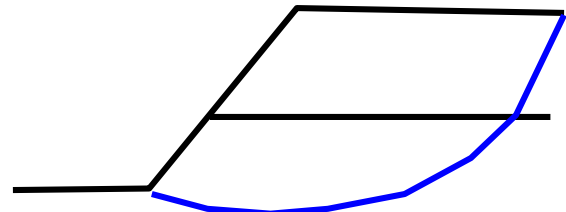
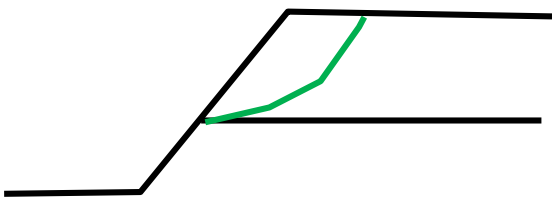
Είναι αυτή ΠΑΝΤΑ μια ΕΥΛΟΓΗ κυκλική επιφάνεια;

αν $S_{u1} \ll S_{u2}$

επιφανειακά «ασθενής» στρώση

αν $S_{u1} \gg S_{u2}$

επιφανειακά «ισχυρή» στρώση



Το εύλογον της επιφάνειας ολίσθησης είναι θέμα εμπειρίας...

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Άλλες περιπτώσεις:

(Ω, R, ω₀)

Εκτίμηση M_{ανστ}

Ομοιογενές vs. Ανομοιογενές έδαφος

Κορεσμένες άργιλοι – αστράγγιστες συνθήκες

Η ανομοιογένεια αφορά στην S_u, όχι το γ

$\tan \omega_0 \approx \frac{1.5H}{\frac{2H}{3}} = 2.25 \rightarrow \omega_0 = 66.038^\circ = 1.153 \text{ rad}$
 $(\eta/2 = 1.571)$

$x = \frac{2R \sin(\omega_0/2)}{3(\omega_0/2)} = 1.05H$
 για να βρω μοχλοβραχίονα κ.β. υψηλούς τμήμα

$\omega_{\text{πρωτ}} = \gamma \frac{R^2 \hat{\omega}_0}{2H} = \gamma \cdot 1.6014 H^2$
 $y = x \cdot \sin\left(\frac{\omega_0}{2}\right) = 0.57H$

$M_{\text{ανστ}} = \omega_{\text{πρωτ}} \cdot y - \underbrace{\gamma \left(\frac{2H}{3}\right) \left(\frac{1.5H}{2}\right) \left(\frac{1.5H}{3}\right)}_{W_1} - \underbrace{\left(\gamma \frac{H^2}{2}\right) \times \frac{H}{3}}_{W_2}$

$\Rightarrow M_{\text{ανστ}} = \gamma H^3 (0.913 - 0.25 - 0.167) \approx 0.496 \gamma H^3$

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Άλλες περιπτώσεις:

Ομοιογενές vs. Ανομοιογενές έδαφος

Κορεσμένες άργιλοι – αστράγγιστες συνθήκες

Η ανομοιογένεια αφορά στην S_u, όχι το γ

Εκτίμηση M_{ευστ}

Ομοιογενής άργιλος (S_u = σταθ)
 $M_{\text{ευστ}} = R \cdot (S_u \hat{\omega}_0 R) = R^2 S_u \hat{\omega}_0 = 3.203 H^2 S_u$
 $\rightarrow Y_{\text{περ}} = \frac{3.203 H^2 S_u}{0.496 \gamma H^3} = 6.46 \frac{S_u}{\gamma H}$

(Γραμμικώς) ανομοιογενής άργιλος (S_u = mz)

«Μαλακή» άργιλος
 $S_u = 0.25 \sigma'_v$
 $S_u \approx 2.5z$
 $Y_{\text{περ}} \approx 4.2 \times 2.5 / 20 = 0.53$

$M_{\text{ευστ}} = R \int S_u dl = R \int S_u (R d\theta)$
 $M_{\text{ευστ}} = R^2 \int_0^{\hat{\omega}_0} \left(m \frac{H}{3} (5 \cos \theta - 2) \right) d\theta$
 $= m \frac{2.78 H^3}{3} \int_0^{\hat{\omega}_0} (5 \cos \theta - 2) d\theta$
 $= 0.926 m H^3 [5 \sin \hat{\omega}_0 - 2 \hat{\omega}_0]$
 $= 2.1 m H^3$
 $\rightarrow Y_{\text{περ}} = \frac{2.1 m H^3}{0.496 \gamma H^3} = 4.2 m / \gamma$

μέσο S_u = 2.5(H/2) = 1.25H
 $Y_{\text{περ}} \approx 6.46 \times 1.25H / (20H)$
 $Y_{\text{περ}} \approx 0.40$

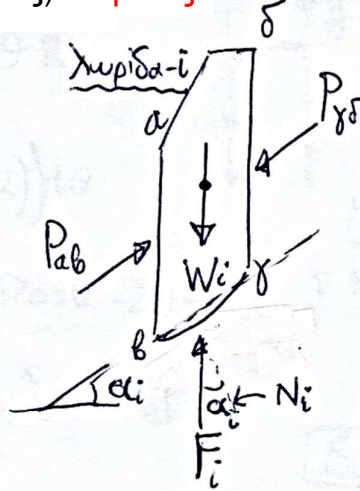
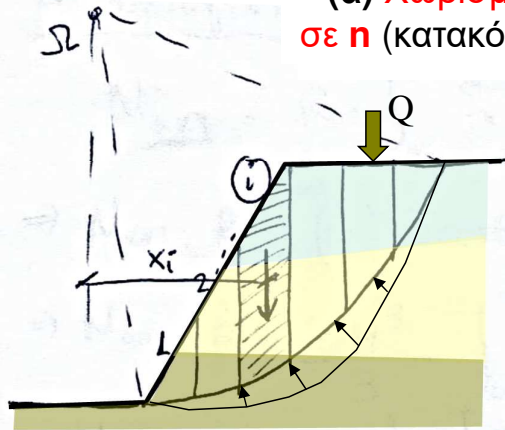
$\theta = 0 \rightarrow z = R - \frac{2H}{3} = H$
 $\theta = \omega_0 \rightarrow z = 0$
 $\forall \theta \rightarrow z = R \cos \theta - \frac{2H}{3}$
 $\Rightarrow z = \frac{H}{3} (5 \cos \theta - 2)$
 $S_u = mz = m \frac{H}{3} (5 \cos \theta - 2)$

Y_{περ} ανεξάρτητος του H
min Y_{περ} = 4m/γ (β=45°)

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Γενική περίπτωση: Έδαφος ανομοιομορφο & αντοχή = f(κατανομής σ')

(α) Χωρισμός πρίσματος σε n (κατακόρυφες) λωρίδες



Απλοποιητικά: $\vec{P}_{ab} = -\vec{P}_{\gamma\delta}$

$W_i = F_i$ (κατακόρυφη ισορροπία)

$N_i = F_i \cos \alpha_i$ (κάθετη συνιστώσα)

$\sigma_{\theta\gamma, i} = \frac{N_i}{(\beta\gamma)_i}$

$\tau_{\alpha\beta, i} = \sigma_{\theta\gamma, i} \tan \phi + c$

$$Y_{\pi\phi} = \frac{R \cdot \sum_{i=1}^n (\tau_{\alpha\beta, i}) \cdot (\beta\gamma)_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot x_i}$$

(ε) εκτίμηση $Y_{\pi\phi}$

Επανάληψη της διαδικασίας (α) έως (ε) για διάφορα Ω , R ... μέχρι να βρεθεί **min** $Y_{\pi\phi}$

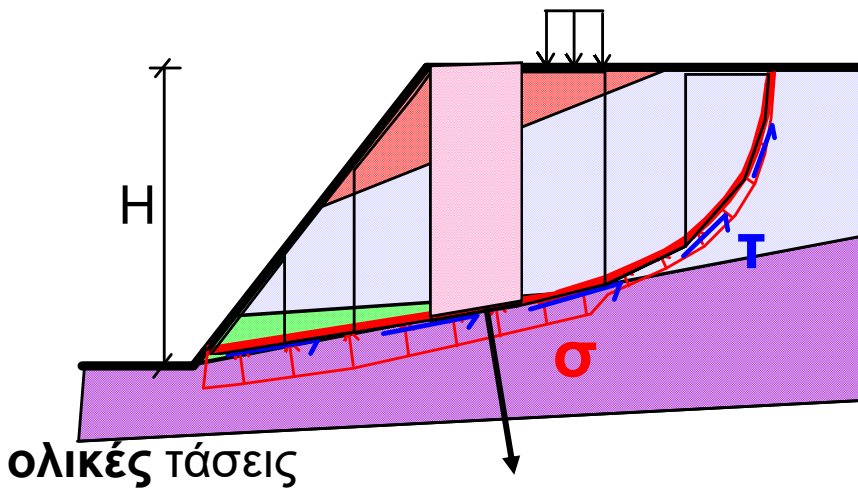
(β) **ισοροπία ανά λωρίδα**

με παραδοχή: αλληλο-αναιρέση των δυνάμεων ανάμεσα στις n λωρίδες

(γ) **εκτίμηση $M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}$** με άθροιση ροπών μέγιστων δυνάμεων αντίστασης των n λωρίδων

(δ) **εκτίμηση $M_{\alpha\nu\alpha\tau}$** με άθροιση ροπών βάρους (και επιφόρτισης) των n λωρίδων

Γενική περίπτωση: ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΩΡΙΔΩΝ



τυχαίας μορφής επιφάνεια ολίσθησης

άγνωστη κατανομή τάσεων σ και τ

ΕΝΕΡΓΕΣ τάσεις

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

$$\tau_i = \frac{1}{FS} (c_i + \sigma_i' \tan \phi_i')$$

$$T_i = \frac{1}{FS} (c_i l_i + N_i' \tan \phi_i')$$

$$\tau_f = S_{u, i}$$

$$\tau_i = \frac{1}{FS} (S_{u, i})$$

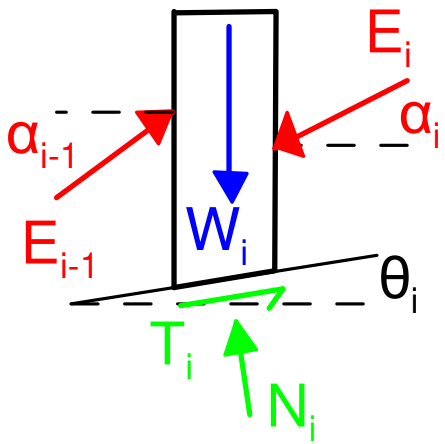
$$T_i = \frac{1}{FS} (S_{u, i} l_i)$$

άργιλος - αστράγγιστες

στραγγιζόμενες συνθήκες

Γενική περίπτωση: ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΩΡΙΔΩΝ

n λωρίδες



Άγνωστοι

n ορθές N_i

n-1 πλευρικές E_i

n-1 γωνίες α_i

1 FS

3n-1 άγνωστοι

για την επίλυση, χρειάζονται **3n-1** εξισώσεις

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_{v,i} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n F_{h,i} &= 0 \end{aligned} \right\} \text{2η εξισώσεις}$$

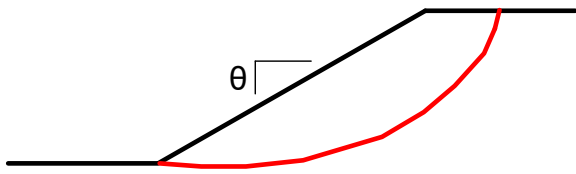
→ λείπουν n-1 εξισώσεις → ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ για την επίλυση!

Γενική περίπτωση: ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΩΡΙΔΩΝ

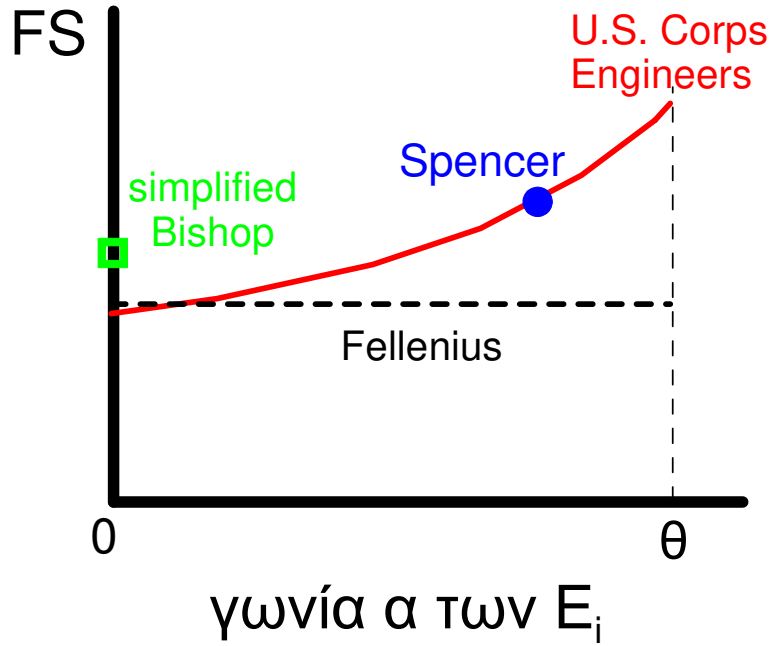
<u>Μέθοδος</u>	<u>Επιφάνεια</u>	<u>Παραδοχή</u>	<u>Υπολογισμός FS</u>
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II Fellenius	κυκλική		$\Sigma M_o = 0$
Simplified Bishop	κυκλική		$\Sigma M_o = 0$
U.S. Corps Engineers	τυχαία		$\sum_{i=1}^n F_{h,i} = 0$ $\sum_{i=1}^n F_{v,i} = 0$ $\left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_{h,i} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n F_{v,i} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n M_i &= 0 \end{aligned} \right.$
Spencer			

Σύγκριση μεθόδων λωρίδων

Σύγκριση Μεθόδων



έδαφος με c' και ϕ'
κυκλική επιφάνεια

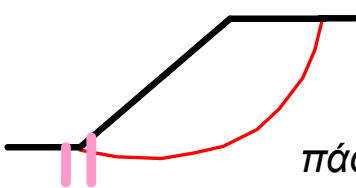


Spencer → τυχαίας μορφής επιφάνεια ολίσθησης
→ “σωστός” FS
ή ισοδύναμα η μέθοδος των **Morgenstern - Price**

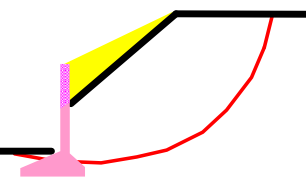
Αρχές σταθεροποίησης πρανών

$$FS = Y = \frac{\text{Αντίσταση}}{\text{Αίτιο Ολίσθ.}}$$

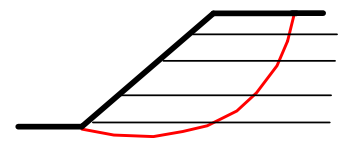
1. ΑΥΞΗΣΗ Αντίστασης



πάσσαλοι –
διάφραγμα

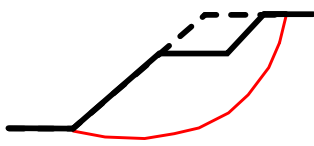


τοίχος
αντιστήριξης

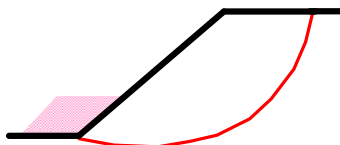


οπλισμένη γη

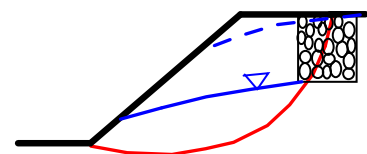
2. ΜΕΙΩΣΗ Αιτίου Ολίσθησης



αλλαγή κλίσης
ή
εκσκαφή στη στέψη



επίχωμα ποδός



Μείωση ΣΥΟ

- φρέατα
- στοές αποστράγγισης