



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 !!!!

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ολίσθηση επί «επίπεδης» επιφάνειας



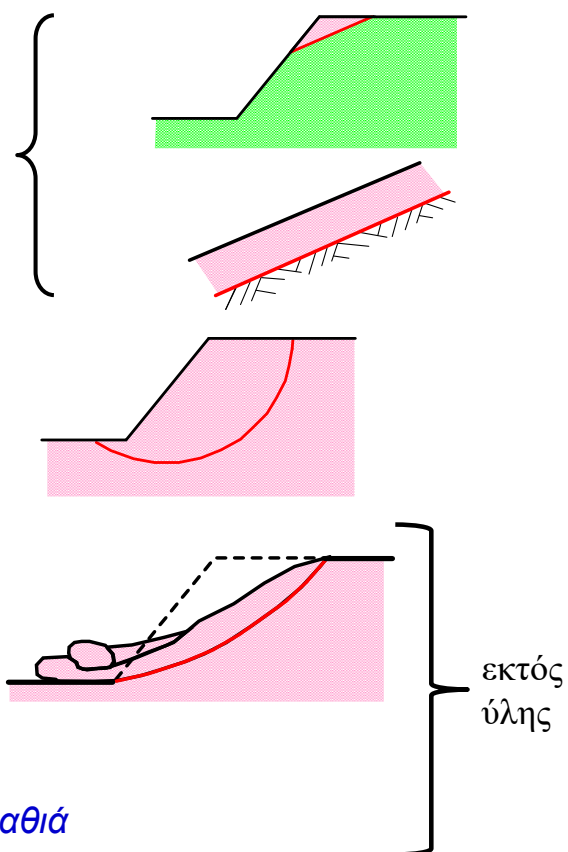
Μορφές «Αστάθειας» Πρανών

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

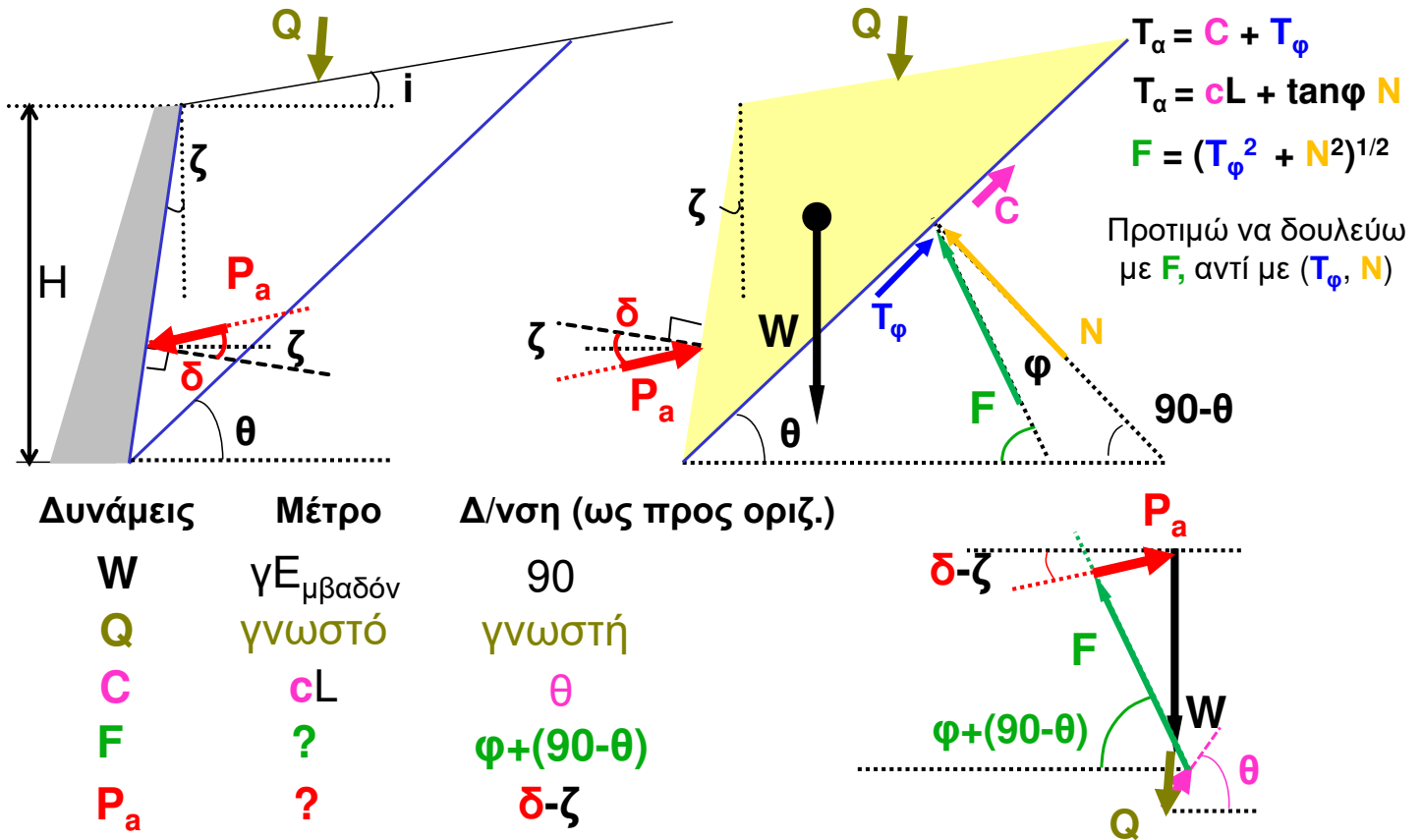
Ερπυσμός
σχετικά αργή κίνηση, επιφανειακή ή βαθιά



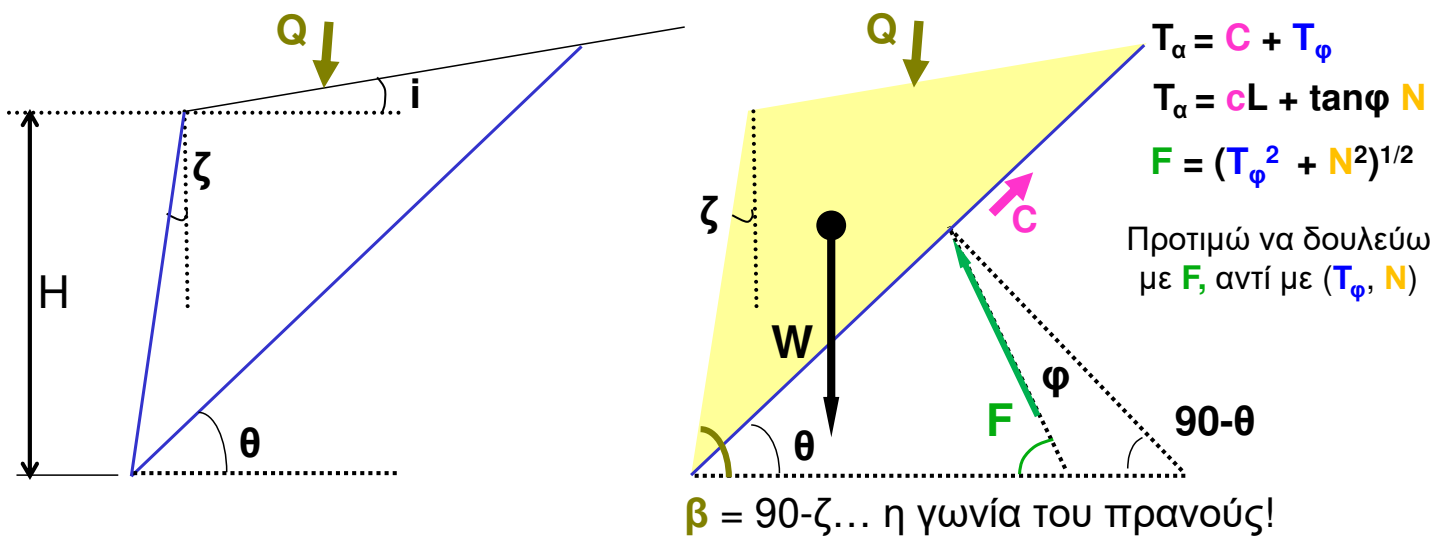
Υπενθύμιση Θεωρία Coulomb: ΕΝΕΡΓ. ΑΣΤΟΧΙΑ

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

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



Αν δεν υπήρχε ο τοίχος;

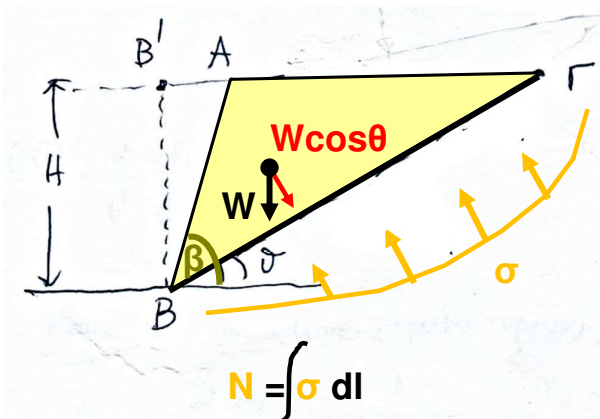


$P_a = 0$ επί του τοίχου ... και επί του πρίσματος εδάφους

Ολισθαίνει το πρίσμα;

Όχι αναγκαστικά! Θα ελεγχθεί η ισορροπία πρίσματος

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



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

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

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

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

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

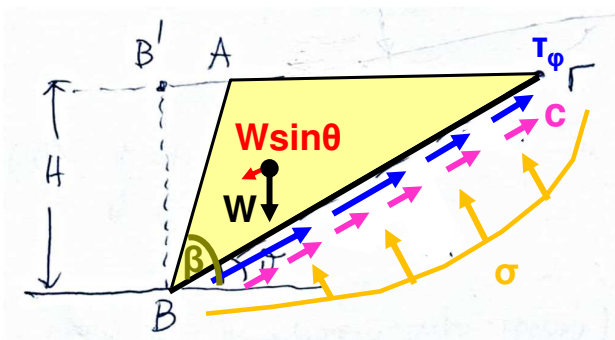
Γεωμετρία:

$$(BF) = L = H / \sin \vartheta$$

$$(AB') = \frac{H}{\tan \beta} \quad \left. \begin{array}{l} (AB') = \frac{H}{\tan \beta} \\ (FB') = \frac{H}{\tan \vartheta} \end{array} \right\} \Rightarrow E = \frac{1}{2} [(FB') - (AB')] H$$

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

Διάγραμμα Ελευθέρου Σώματος ΠΡΑΝΟΥΣ



συνισταμένη δύναμη
οριακής αντίστασης

$$T_\alpha = \int T_\alpha dl = \int (T_c + T_\varphi) dl$$

$$T_\alpha = \int (c + \sigma \tan \varphi) dl$$

$$T_\alpha = \int c dl + \tan \varphi \int \sigma dl$$

Προτιμώ να δουλεύω
με (T_φ , N)
και C (αν υπάρχει)

Συντελεστής Ασφαλείας έναντι
ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

$$T_\alpha = cL + \tan \varphi N = C + T_\varphi$$

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

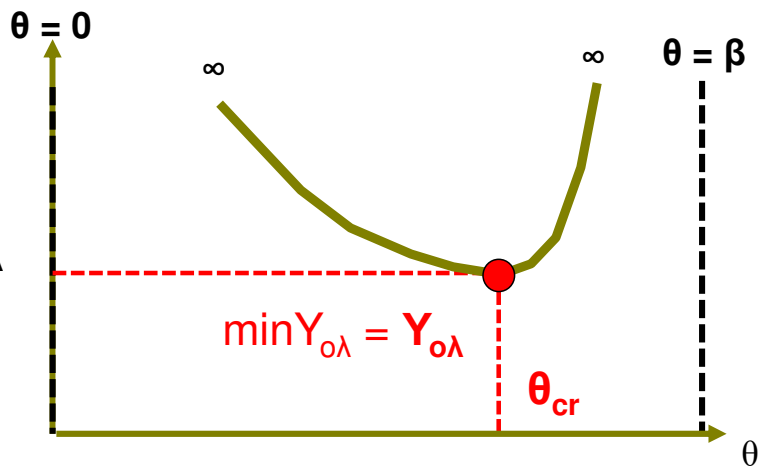
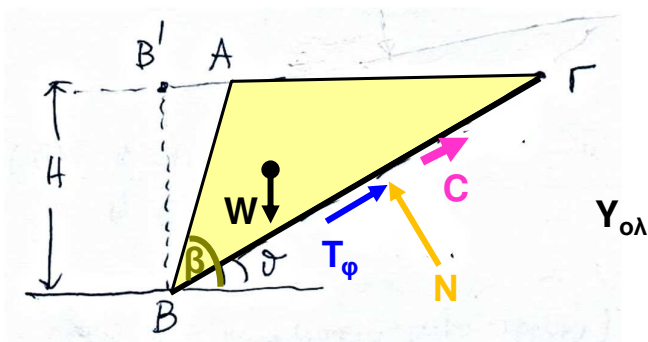
A) Όσο μεγαλώνει το ύψος H ή/και η κλίση β του πρανούς...

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

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

....τόσο μεγαλώνει και η **Δύναμη αντίστασης $T_\alpha = C + T_\varphi$**

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



Συντελεστής Ασφαλείας έναντι
ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

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

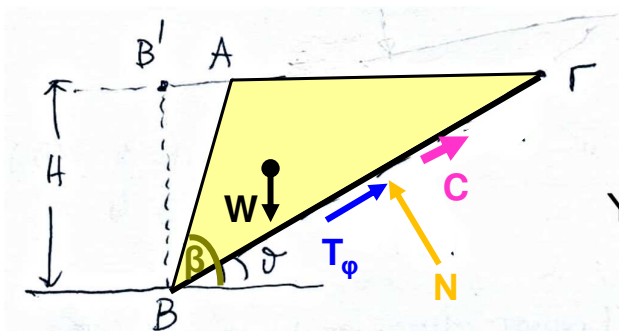
$$Y_{ol} = f(H, \beta, c, \phi, \theta)$$

$\downarrow$ Τοπογραφία
 $\uparrow$ Έδαφος

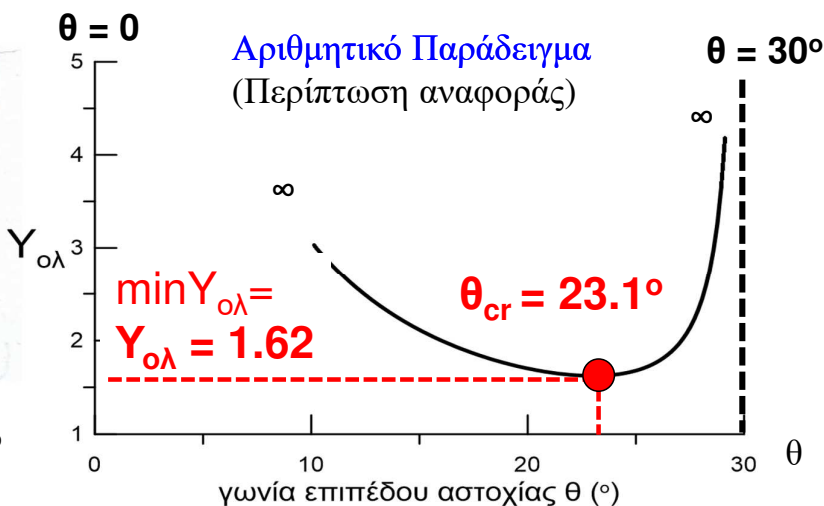
Όλες είναι μαθηματικά
αποδεκτές λύσεις...

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ $0 < \theta < \beta$

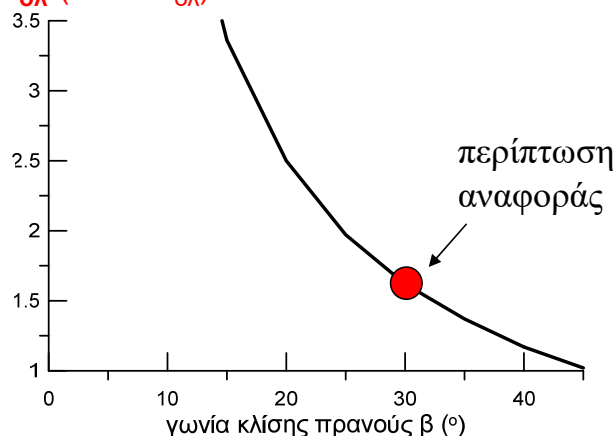
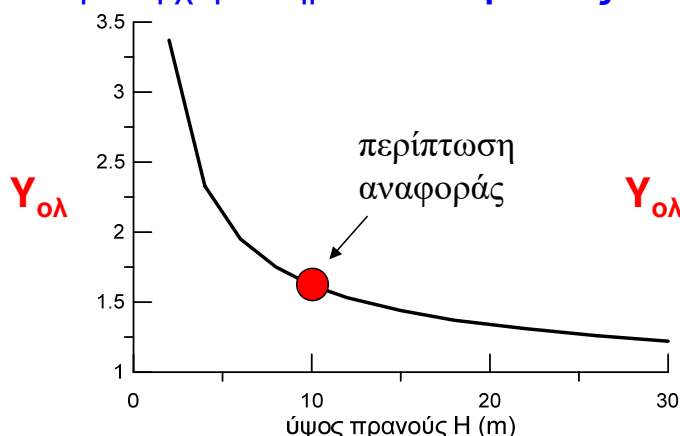
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



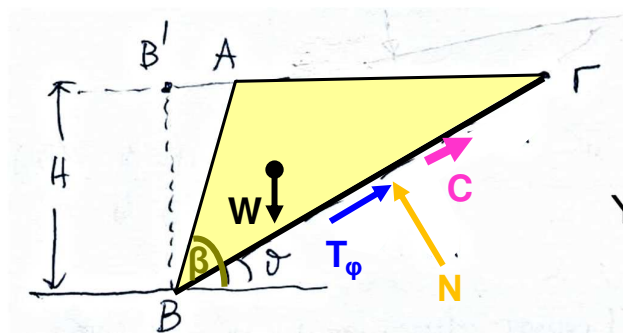
ΠΡΑΝΕΣ $H = 10\text{m}$, $\beta = 30^\circ$
ΕΔΑΦΟΣ $\gamma = 20\text{kN/m}^3$, $c = 5\text{kPa}$, $\phi = 25^\circ$



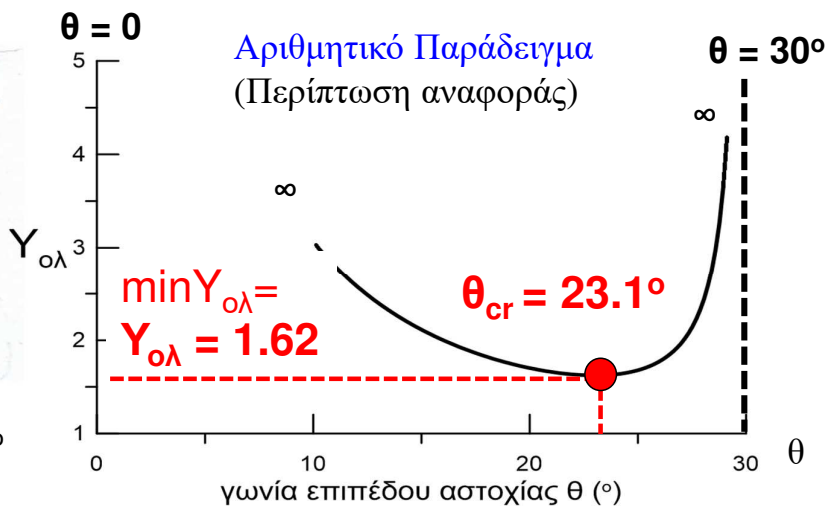
Επίδραση χαρακτηριστικών πρानούς στο $Y_{ol} (= \min Y_{ol})$



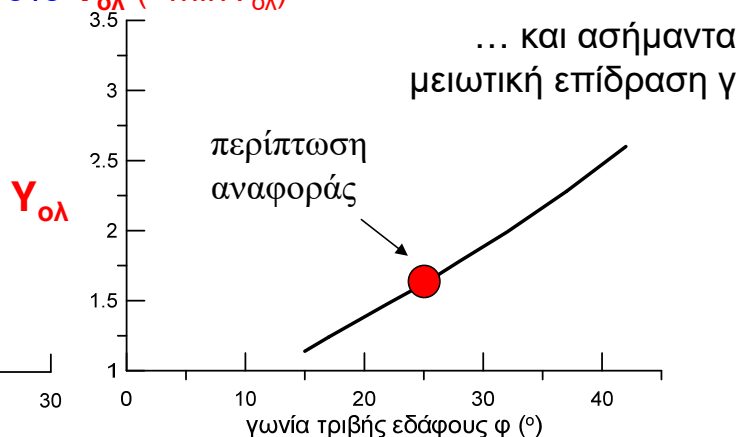
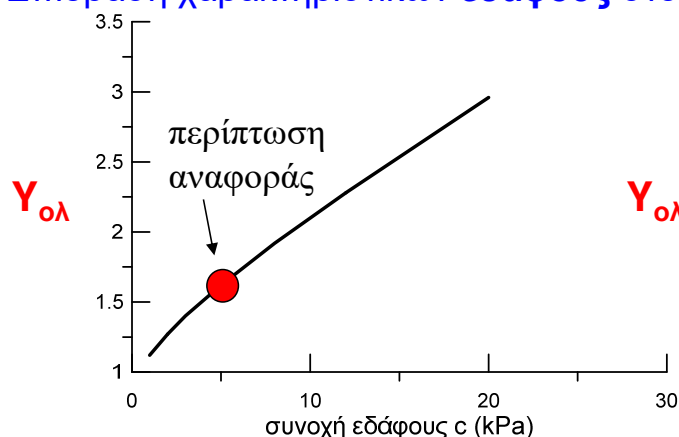
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



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

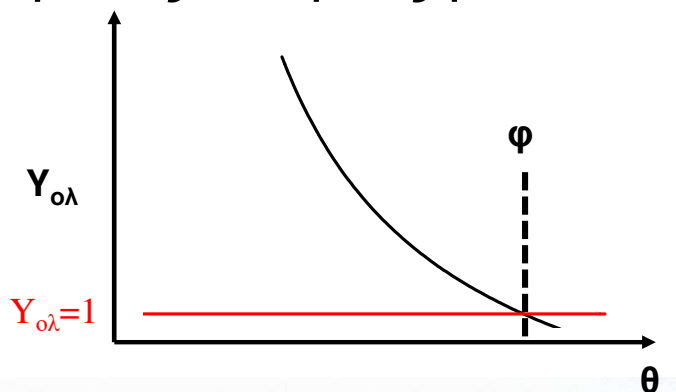
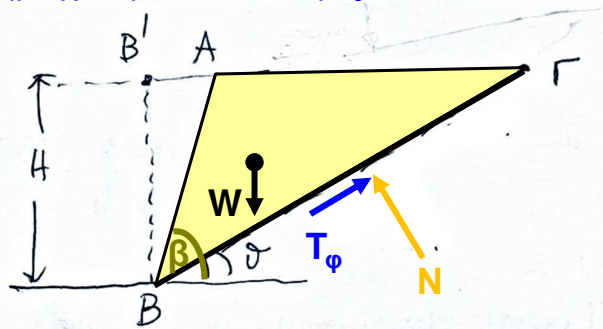


Επίδραση χαρακτηριστικών εδάφους στο Y_{ol} ($= \min Y_{ol}$)



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

Ξηρό χονδρόκοκκο έδαφος



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

$c=0 \Rightarrow \dots = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \cdot \tan \phi = \frac{\tan \phi}{\tan \theta}$

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:

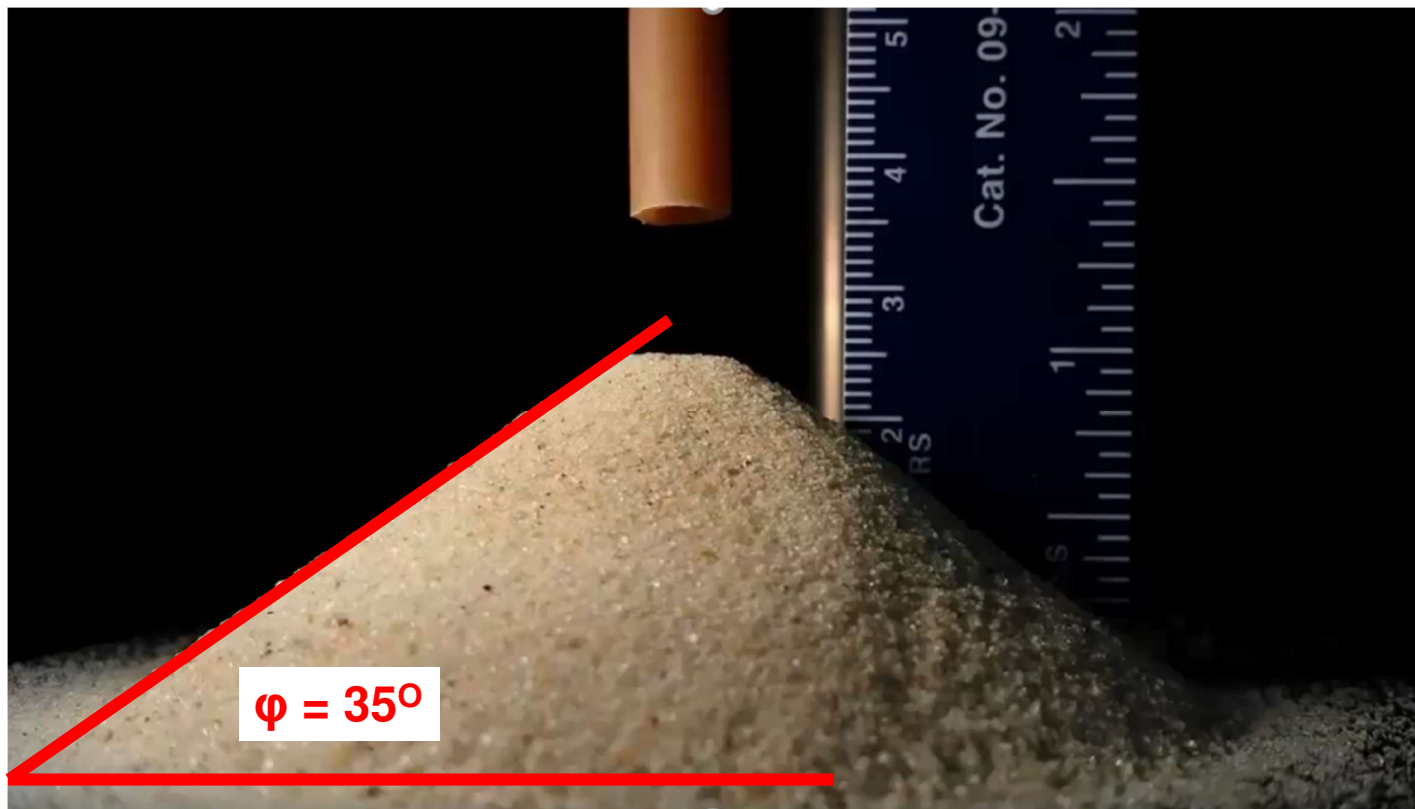
Ανεξαρτήτως γ και H ,

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 $c=0$, $\varphi>0$



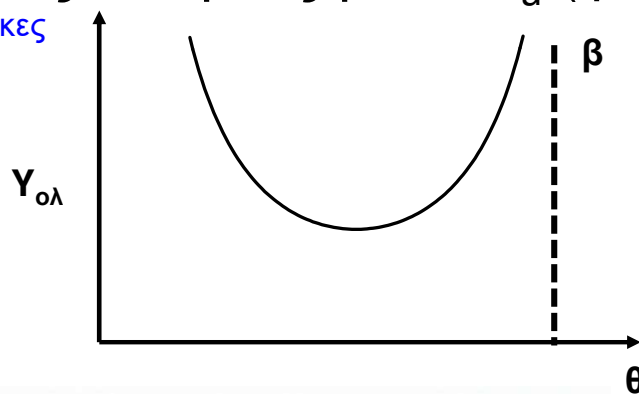
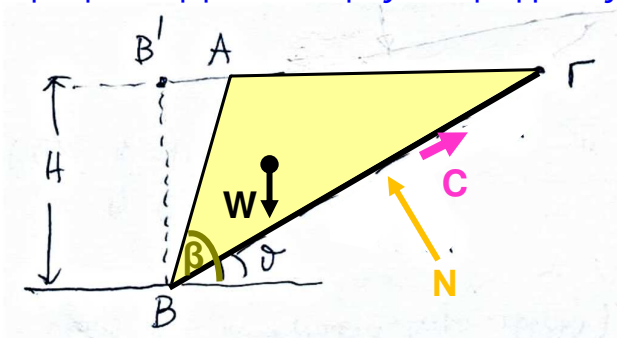
γωνία φυσικής απόθεσης ($\varphi = 35^\circ$): χαρακτηριστική του μεγέθους και σχήματος κόκκων

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

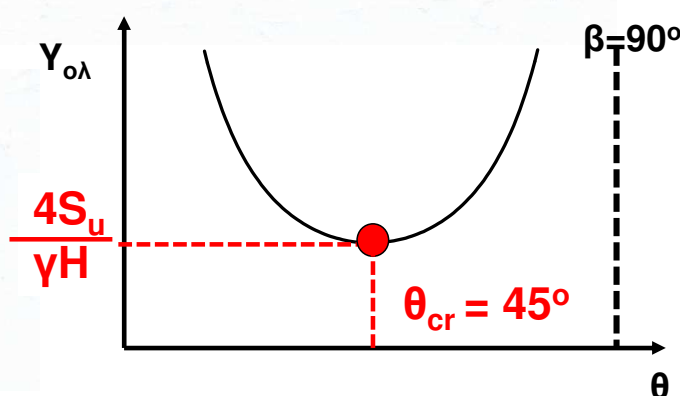


$$Y_{ol} = \frac{c \frac{H}{\sin \theta} + \frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\cos \theta}{\tan \theta} - \frac{\cos \theta}{\tan \beta} \right) \tan \theta}{\frac{\gamma H^2}{2} \left(\frac{\sin \theta}{\tan \theta} - \frac{\sin \theta}{\tan \beta} \right)} \quad c=S_u \quad \frac{2S_u}{\gamma H} \cdot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

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

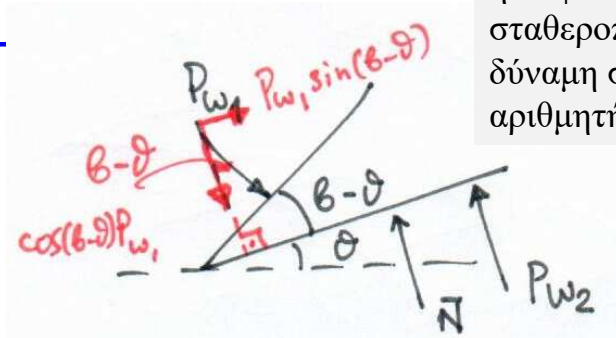
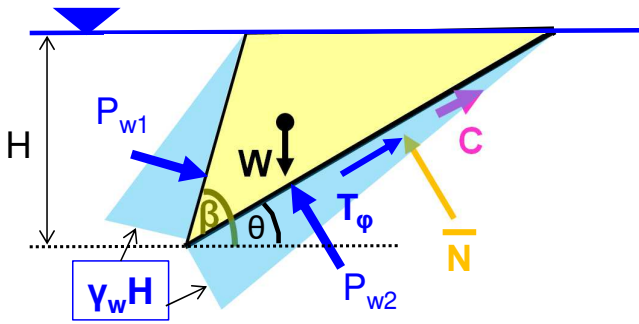
$$Y_{ol} = \frac{2S_u}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \theta \cos \theta} = \frac{4S_u}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin 2\theta}$$

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



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)

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

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

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

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

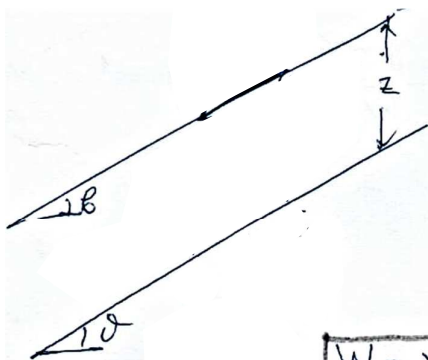
Ειδικά για άργιλο σε αστραγγιστές συνθήκες:

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

ΕΚΤΟΣ ΥΛΗΣ

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 $R_n \parallel R_{n+1} \parallel$ πρανός (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 (χρ' όσον
κι αν
προέρχεται)

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

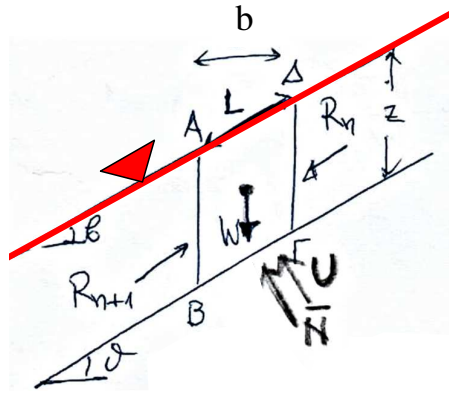
$$Y_{\alpha} = \frac{T_{\max}}{W \sin \beta} = \frac{c L + \bar{N} \tan \phi}{W \sin \beta} = \frac{c L + L(\gamma z \cos^2 \beta - u) \tan \phi}{\cancel{\gamma L z \cos \beta} \sin \beta} \Rightarrow$$

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

ΕΚΤΟΣ ΥΛΗΣ

Ειδική Περίπτωση 4: απειρομήκες πρανές (c, φ)

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

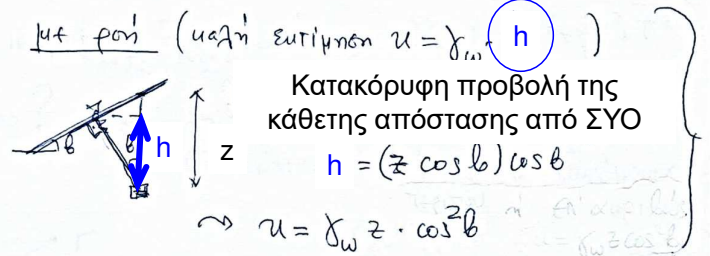
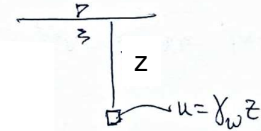


Γενική
σχέση

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

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

υδροστατικό



Κατακόρυφη προβολή της
κάθετης απόστασης από ΣΥΟ

$$h = (z \cos \beta) \cos \theta$$

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

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

Κεκλιμένη ΣΥΟ =
Υπόγεια ροή

Υπόγεια ροή →

Μείωση Y_{α}

δηλαδή
μείωση ευστάθειας

Ειδικότερα, για χονδρόκοκκο ($c=0$) έδαφος με **ροή** ($u \neq 0$)

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

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

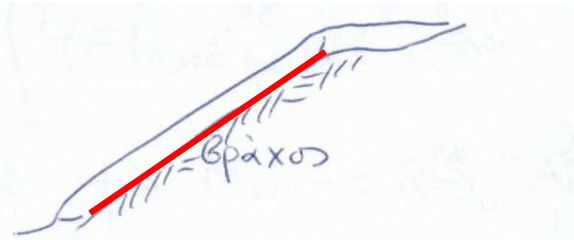
ΕΚΤΟΣ ΥΛΗΣ

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

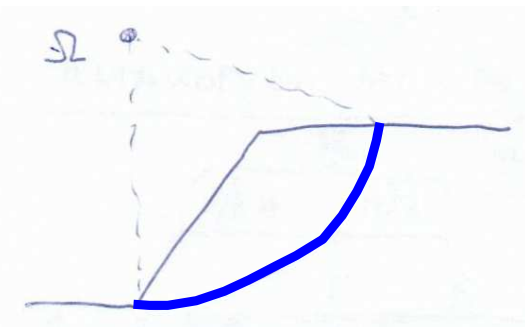
ΕΠΙΠΕΔΗ επιφάνεια



Πεπερασμένου ύψους H
Ολίσθηση πρίσματος εδάφους

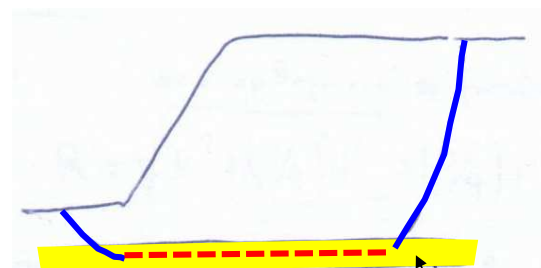


«απείρου» ύψους
Ολίσθηση «επιμήκους» πρίσματος εδάφους



ΚΥΚΛΙΚΗ επιφάνεια

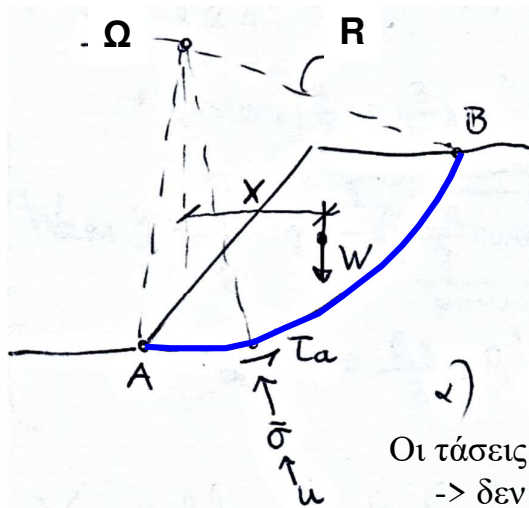
Περιστροφή πρίσματος εδάφους
γύρω από **Κέντρο Περιστροφής Ω**



«μαλακή» ή
χαλαρή στρώση

ΣΥΝΘΕΤΗ επιφάνεια

Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

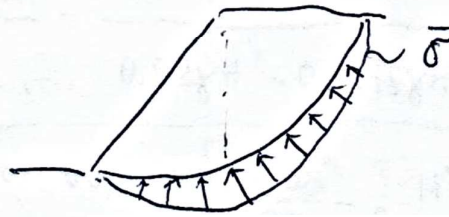


$$\tau_a = c + \bar{\sigma} + \alpha n_f = c + (\sigma - u) + \alpha n_f$$

$$Y_{\eta} = \frac{M_{EUGT}}{M_{AVAT}} = \frac{R \cdot \int_A^B (\bar{\sigma} \tan \phi + c) dl}{W \cdot x}$$

2) $\bar{\sigma} = 0$ χι σταθ, αιόμη η αν $c, \varphi = 6\pi \alpha \delta$

Οι τάσεις $\bar{\sigma}$ (και οι πιέσεις u) ασκούνται στην ακτινική διεύθυνση
 -> δεν δίνουν ροπή



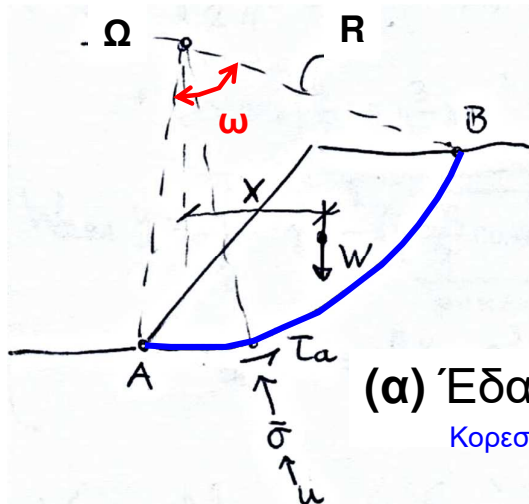
β) Φυγιά, επαναλήψεις
για διάφορα Ω & R
 $\rightarrow$ Υπερ.

Πραγματικός $Y_{\text{περ}}$ του πρανούς = $\min\{Y_{\text{περ}}\}$

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



$$\tau_a = c + \bar{\sigma} + \alpha n_f = c + (\sigma - u) + \alpha n_f$$

$$Y_{\eta\varphi} = \frac{M_{\text{EUGZ}}}{M_{\text{AVAZ}}} = \frac{R \cdot \int_A^B (\bar{\sigma} \tan \phi + c) d\ell}{W \cdot x}$$

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

Κορεσμένη άργιλος – αστράγγιστες συνθήκες

$$\varphi=0 \rightarrow M_{\text{SUGT}} = R \cdot \int_A^B (\bar{\sigma} \tan \phi + c) dl \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_{\text{ευγτ}} = R \int_A^B S_u(l) dl \xrightarrow{S_u = \sigma \tau \theta} M_{\text{ευγτ}} = R S_u \widehat{AB} = R S_u \widehat{\omega}^2$$

$\downarrow$
 μήκος
 κυλινδρ.
 τόξου
 $= \widehat{\omega} R$
 $\downarrow$
 rad

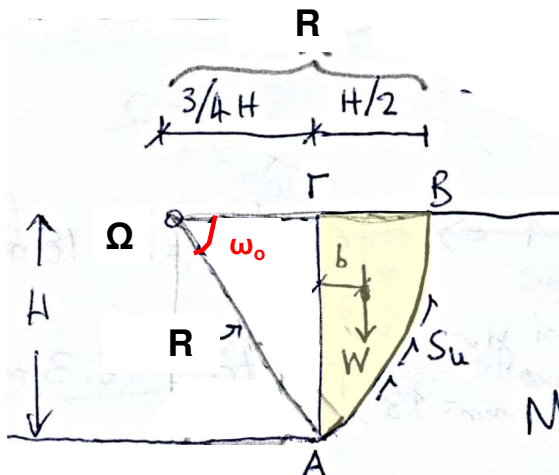
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

(β) Κατακόρυφο πρανές 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

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



από ορθογώνιο τρίγωνο

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

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

προσεγγιστικά

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

επακριβώς
από κέντρο βάρους
κυκλικού τομέα ΩΒΑ

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

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

κυκλικός τομέας - τρίγωνο

$$\rightarrow M_{\text{ανατ}} = 0.33 \gamma H^3$$

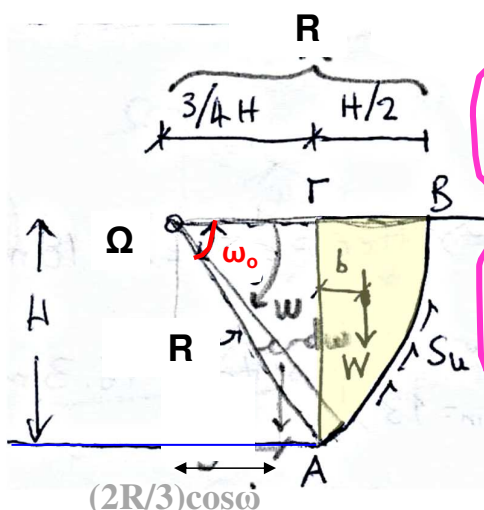
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

(β) Κατακόρυφο πρανές 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

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



Επακριβής εκτίμηση $M_{\text{ανατ}}$

τρίγωνο

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

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

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

πολλαπλασιασμός

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

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

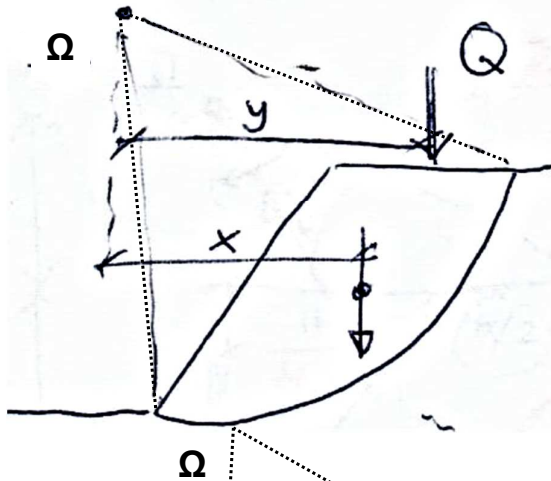
Για τα δεδομένα (Ω , R) $\rightarrow Y_{\text{περ}} = 4.4 S_u / (\gamma H)$ **ΕΠΙΠΕΔΗ επιφάνεια: $\min Y_{\text{ολ}} = 4 S_u / \gamma H$**

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

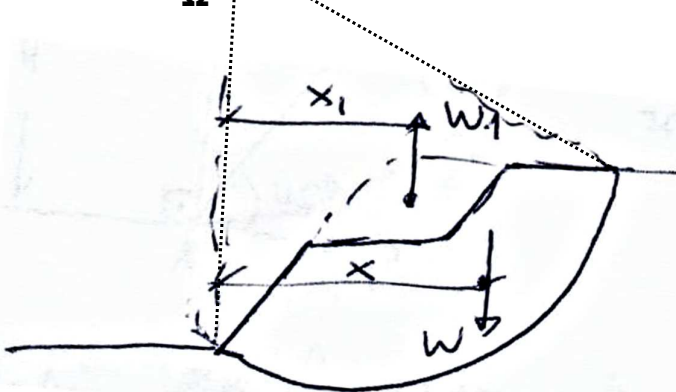
ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ



Αν υπάρχει Q?

$$\gamma_{\pi\epsilon\phi} = \frac{M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{W \cdot x + Q \cdot y}$$

ΕΚΣΚΑΦΗ



$$\gamma_{\pi\epsilon\phi} = \frac{M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{W \cdot x - W_1 \cdot x_1}$$

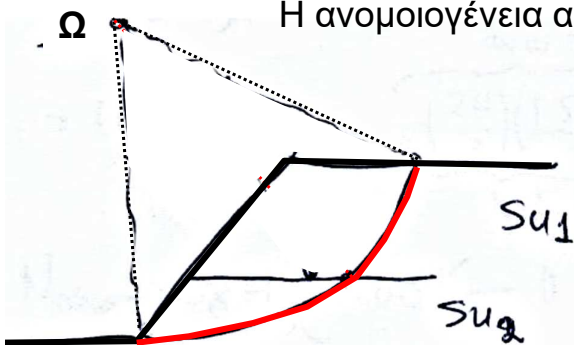
Συντ. Ασφαλείας έναντι ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Άλλες περιπτώσεις:

Δι-στρωτο έδαφος

Κορεσμένες άργιλοι – αστράγγιστες συνθήκες

Η ανομοιογένεια αφορά στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή S_u , όχι το γ

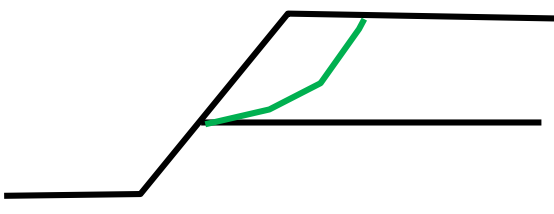


$$\gamma_{\pi\epsilon\phi} = \frac{\hat{M}_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{W \cdot x}$$

Είναι αυτή ΠΑΝΤΑ μια ΕΥΛΟΓΗ κυκλική επιφάνεια;

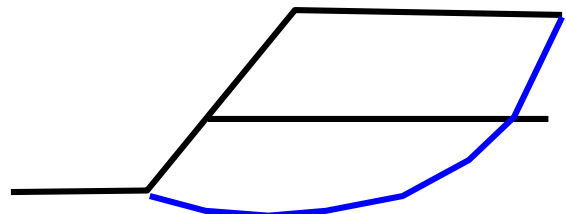
αν $S_{u1} \ll S_{u2}$

επιφανειακά «ασθενής» στρώση



αν $S_{u1} \gg S_{u2}$

επιφανειακά «ισχυρή» στρώση



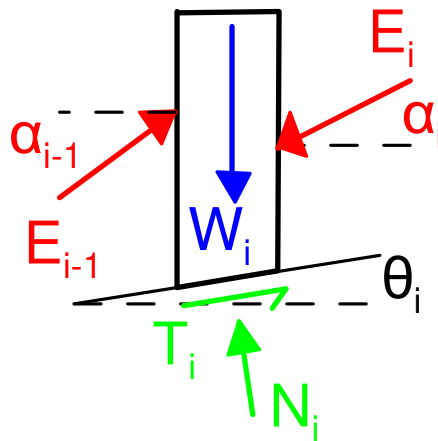
Το εύλογον της επιφάνειας ολίσθησης είναι θέμα εμπειρίας...

$$S_u = m z = m \frac{H}{3} (5 \cos \theta - 2)$$

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**

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

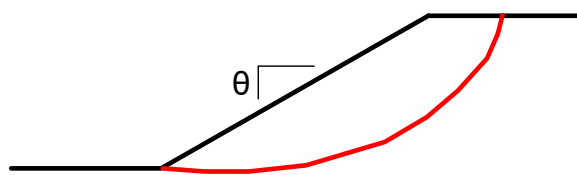
→ λείπουν n-1 εξισώσεις → ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ για την επίλυση!

Γενική περίπτωση: ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΩΡΙΔΩΝ

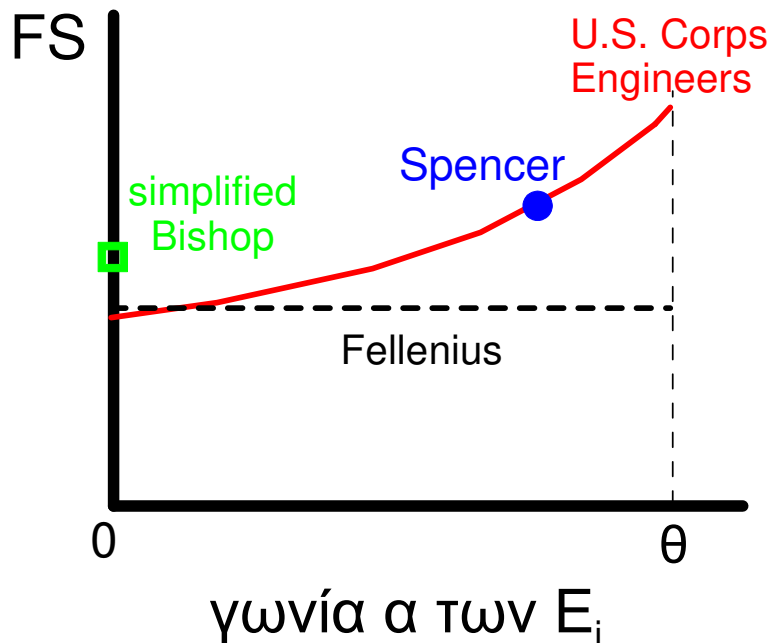
Μέθοδος	Επιφάνεια	Παραδοχή	Υπολογισμός FS
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II			
Fellenius	κυκλική		$\Sigma M_o = 0$
Simplified Bishop	κυκλική		$\Sigma M_o = 0$
U.S. Corps Engineers	τυχαία		$\sum_{i=1}^n F_{h,i} = 0 \quad \sum_{i=1}^n F_{v,i} = 0$
Spencer	τυχαία		$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_{h,i} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n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

Σύγκριση μεθόδων λωρίδων

Σύγκριση Μεθόδων



έδαφος με c' και ϕ'
κυκλική επιφάνεια

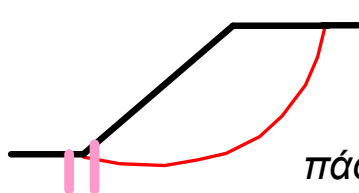


Spencer → τυχαίας μορφής επιφάνεια ολίσθησης
→ “σωστός” FS
ή ισοδύναμα η μέθοδος των **Morgenstern - Price**

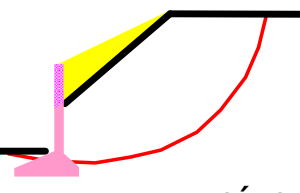
Αρχές σταθεροποίησης πρανών

$$FS = Y = \frac{\text{Αντίσταση}}{\text{Αίτιο Ολίσθησης}}$$

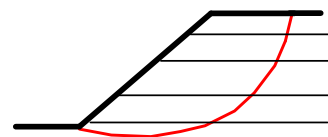
1. ΑΥΞΗΣΗ Αντίστασης



πάσσαλοι –
διάφραγμα

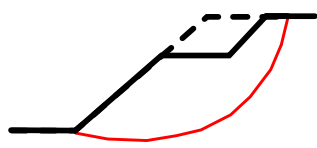


τοίχος
αντιστήριξης

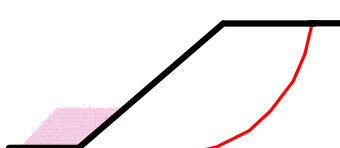


οπλισμένη γη

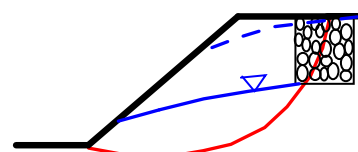
2. ΜΕΙΩΣΗ Αιτίου Ολίσθησης



αλλαγή κλίσης
ή
εκσκαφή στη στέψη



επίχωμα ποδός



Μείωση ΣΥΟ

- φρέατα
- στοές αποστράγγισης