



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

4^η ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ: ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

Επιμέλεια:

Ταξιαρχούλα Λημναίου, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

5^ο ΕΞΑΜΗΝΟ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

4^η Σειρά Ασκήσεων

4.1 Στο κορεσμένο αργιλικό έδαφος του Σχ.1 πρόκειται να γίνει εκσκαφή κατακορύφου πρανούς, ύψους $H=6\text{ m}$. Ζητούνται:

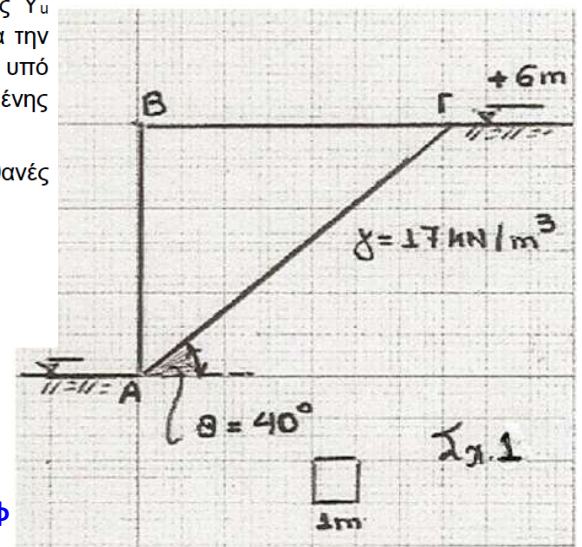
- Για τη δοκιμαστική επιφάνεια ολισθήσεως ΑΓ, ζητείται ο Συντελεστής Ασφαλείας Y_u (αμέσως μετά την εκσκαφή). Για την περίπτωση αυτή, όπου δεν υπάρχει χρόνος για την αποτόνωση των αναπτυσσομένων υδατικών υπερπίεσεων πόρων, η ανάλυση γίνεται υπό αστράγγιστες συνθήκες συναρτήσει των ολικών τάσεων με παραμέτρους της φαινομένης περιβάλλουσας αστοχίας $\varphi = 0^\circ$ και $c = s_u = 90\text{ kPa}$. Να ληφθεί $\gamma = 17\text{ kN/m}^3$.
- Ο ελάχιστος («βραχυπρόθεσμος») συντελεστής ασφάλειας $Y_{u,\min}$ (για όλες τις πιθανές επίπεδες επιφάνειες αστοχίας).
- Το αντίστοιχο κρίσιμο ύψος του πρανούς, H_{cr} .

κορεσμένη άργιλος + αστράγγιστες συνθήκες ->

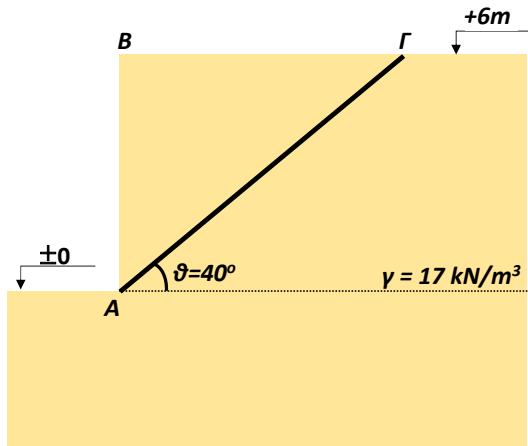
-> ανάλυση με ολικές τάσεις και περιβάλλουσα αστοχίας $\tau_a = S_u$

για όλες τις άλλες περιπτώσεις εδαφών ή συνθηκών στράγγισης ->

-> ανάλυση με ενεργές τάσεις και περιβάλλουσα αστοχίας $\tau_a = c + \sigma' \tan \phi$



α) Πρίσμα $\vartheta = 40^\circ$



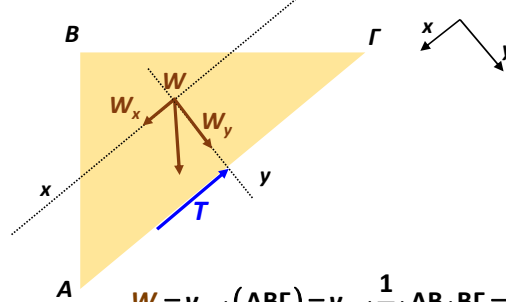
Τρίγωνο ABΓ: $\cos(90^\circ - 40^\circ) = \frac{AB}{A\Gamma} \rightarrow A\Gamma = \frac{AB}{\cos(50^\circ)} \rightarrow$

$$A\Gamma = \frac{6}{\cos(50^\circ)} = 9.33m$$

$\tan(90^\circ - 40^\circ) = \frac{B\Gamma}{AB} \rightarrow B\Gamma = \tan(50^\circ) \cdot AB \rightarrow$

$$B\Gamma = \tan(50^\circ) \cdot 6 = 7.15m$$

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στο πρίσμα αστοχίας?



$$W = \gamma_{εδ} \cdot (AB\Gamma) = \gamma_{εδ} \cdot \frac{1}{2} \cdot AB \cdot B\Gamma = 17 \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 7.15 = 364.65 \frac{kN}{m}$$

$$T = S_u \cdot A\Gamma = 90 \cdot 9.33 = 839.7 \frac{kN}{m}$$

Στη διεύθυνση της ολίσθησης:

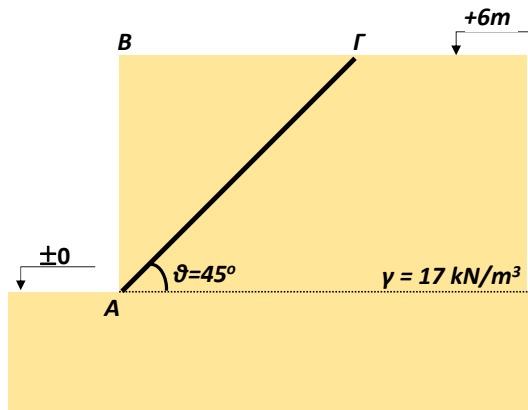
$$W_x = W \cdot \sin 40^\circ = 364.65 \cdot \sin 40^\circ = 234.4 \frac{kN}{m}$$

Επίπεδη επιφάνεια αστοχίας $\rightarrow$ Έλεγχος όλίσθησης

$$FS = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση του πρίσματος}}{\text{Δυνάμεις που προκαλούν ολίσθηση του πρίσματος}} \rightarrow$$

$$FS = \frac{T}{W_x} = \frac{839.7}{234.4} = 3.58$$

β) Κρίσιμη γωνία ϑ :



Κρίσιμη γωνία ϑ για κατακόρυφο πρανές, ύψους H με $c = S_u$, ($\varphi = 0$) $\xrightarrow{\text{δες θεωρία}}$ $FS = \frac{4S_u}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin 2\vartheta}$

$FS = FS_{\min}, \vartheta = \vartheta_{cr} \rightarrow \vartheta_{cr} = 45^\circ$

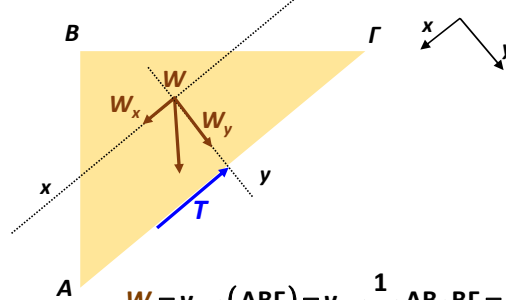
Τρίγωνο ABΓ: $\cos(90^\circ - 45^\circ) = \frac{AB}{A\Gamma} \rightarrow A\Gamma = \frac{AB}{\cos(45^\circ)} \rightarrow$

$$A\Gamma = \frac{6}{\cos(45^\circ)} = 8.49m$$

$\tan(90^\circ - 45^\circ) = \frac{B\Gamma}{AB} \rightarrow B\Gamma = \tan(45^\circ) \cdot AB \rightarrow$

$$B\Gamma = \tan(45^\circ) \cdot 6 = 6m$$

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στο πρίσμα αστοχίας?



$$W = \gamma_{εδ} \cdot (AB\Gamma) = \gamma_{εδ} \cdot \frac{1}{2} \cdot AB \cdot B\Gamma = 17 \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 6 = 306 \frac{kN}{m}$$

$$T = S_u \cdot A\Gamma = 90 \cdot 8.49 = 764.1 \frac{kN}{m}$$

Στη διεύθυνση της ολίσθησης:

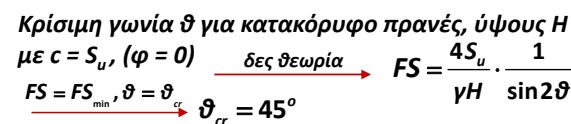
$$W_x = W \cdot \sin 45^\circ = 306 \cdot \sin 45^\circ = 216.37 \frac{kN}{m}$$

Επίπεδη επιφάνεια αστοχίας $\rightarrow$ Έλεγχος όλίσθησης

$$FS = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση του πρίσματος}}{\text{Δυνάμεις που προκαλούν ολίσθηση του πρίσματος}} \rightarrow$$

$$FS = \frac{T}{W_x} = \frac{764.1}{216.37} = 3.53$$

→ $FS = 1, \vartheta_{cr} = 45^\circ$


$$A\Gamma = \frac{H_{cr}}{\cos(45^\circ)} = \sqrt{2} \cdot H$$

$$B\Gamma = \tan(45^\circ) \cdot H = H$$

$$T = S_u \cdot \sqrt{2} \cdot H = 90 \cdot \sqrt{2} \cdot H = 127.28 \cdot H$$

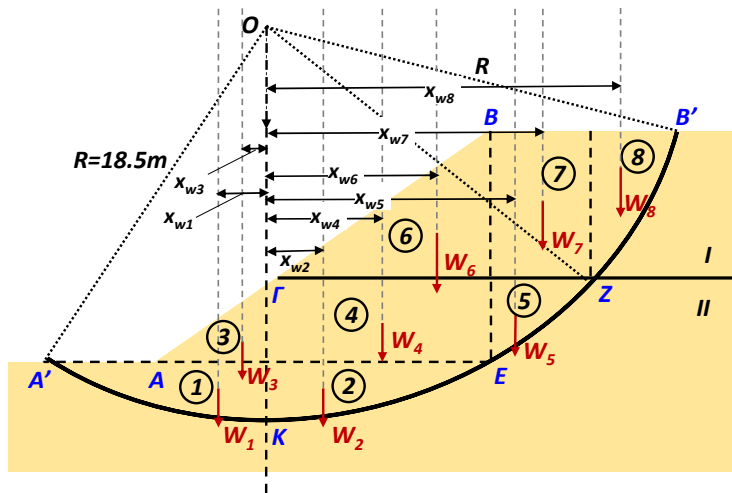
$$W_v = W \cdot \sin 45^\circ = 8.5 \cdot H^2 \cdot \sin 45^\circ = 6 \cdot H^2$$

$$FS = \frac{T}{W_y} = \frac{127.28 \cdot H}{6 \cdot H^2} \xrightarrow[H = H_{cr}]{FS = 1} 6 \cdot H_{cr}^2 = 127.28 \cdot H_{cr} \rightarrow$$

$$H_{cr} = 21.21m$$

→ περιβάλλουσα αστοχίας $\tau_n = c + \sigma' \tan \phi$

Σχήμα υπό κλίμακα:
Επιτρέπεται η μέτρηση αποστάσεων με χάρακα και γωνιών με μοιρογνωμόνιο



Κυκλική επιφάνεια αστοχίας → Έλεγχος περιστροφής

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στην εδαφική μάζα που πάει να ολισθήσει?

B) Βάρος

Τεμάχη 1 + 2:

Οι ροπές των βαρών τους ως προς το O αλληλοαναιρούνται

Τεμάχος 3:

$$E_3 = \frac{4 \cdot 5}{2} = 10 \text{ m}^2 \quad W_3 = \gamma_{II} \cdot E_3 = 19 \cdot 10 = 190 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad x_{w3} = \frac{5}{3} = 1.67 \text{ m}$$

Τεμάχος 4:

$$E_4 \approx 4 \cdot 10 = 40 \text{ m}^2 \quad W_4 = \gamma_{II} \cdot E_4 = 19 \cdot 40 = 760 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad x_{w4} = 5 \text{ m}$$

Τεμάχος 5:

$$E_5 \approx \frac{4 \cdot 4.5}{2} = 9 \text{ m}^2 \quad W_5 = \gamma_{II} \cdot E_5 = 19 \cdot 9 = 171 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad x_{w5} = 11.5 \text{ m}$$

Τεμάχος 6:

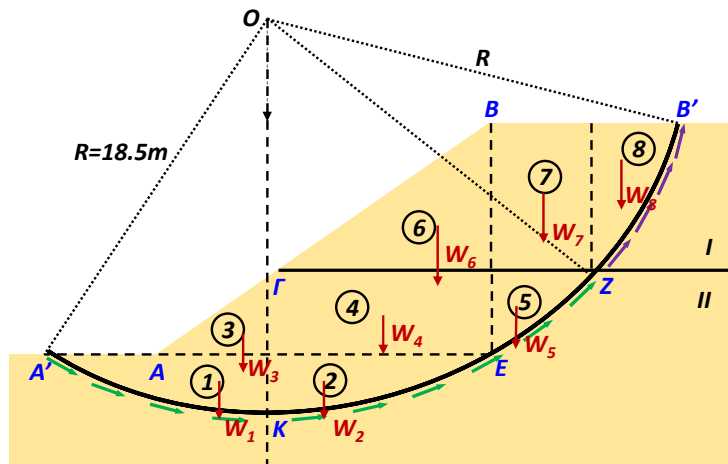
$$E_6 = \frac{10 \cdot 7}{2} = 35 \text{ m}^2 \quad W_6 = \gamma_I \cdot E_6 = 17 \cdot 35 = 595 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad x_{w6} = 6.67 \text{ m}$$

Τεμάχος 7:

$$E_7 = 4.8 \cdot 7 = 33.6 \text{ m}^2 \quad W_7 = \gamma_I \cdot E_7 = 17 \cdot 33.6 = 571.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad x_{w7} = 12.4 \text{ m}$$

Τεμάχος 8:

$$E_8 = \frac{7 \cdot 3.2}{2} = 11.2 \text{ m}^2 \quad W_8 = \gamma_I \cdot E_8 = 17 \cdot 11.2 = 190.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad x_{w8} = 15.87 \text{ m}$$



Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας, για περιστροφική επιφάνεια αστοχίας (ως προς το O)

$$FS = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που προκαλούν ανατροπή}}$$

$$FS = \frac{(S_{ul} \cdot (B'Z) + S_{ulI} \cdot (A'Z)) \cdot R}{\underbrace{-W_1 \cdot x_{w1} + W_2 \cdot x_{w2} - W_3 \cdot x_{w3} + W_4 \cdot x_{w4} + W_5 \cdot x_{w5} + W_6 \cdot x_{w6} + W_7 \cdot x_{w7} + W_8 \cdot x_{w8}}_{\text{αλληλοαναιρούνται}}}$$

$$FS = \frac{(40 \cdot (7.12) + 60 \cdot (27.26)) \cdot 18.5}{-190 \cdot 1.67 + 760 \cdot 5 + 171 \cdot 11.5 + 595 \cdot 6.67 + 571.2 \cdot 12.4 + 190.4 \cdot 15.87} = 1.82$$

4.4 Εξετάζεται η ευστάθεια του αργιλικού πρανούς του Σχ.4 με αστράγγιστη διατμητική αντοχή $s_u=30$ kPa και $\gamma=16$ kN/m³. Για μια δοκιμαστική κυκλική επιφάνεια ολίσθησης ABΓ, ακτίνας $R=10$ m και κέντρου Ο επί της κατακόρυφου που διέρχεται από τον πόδα του πρανούς, ζητούνται:

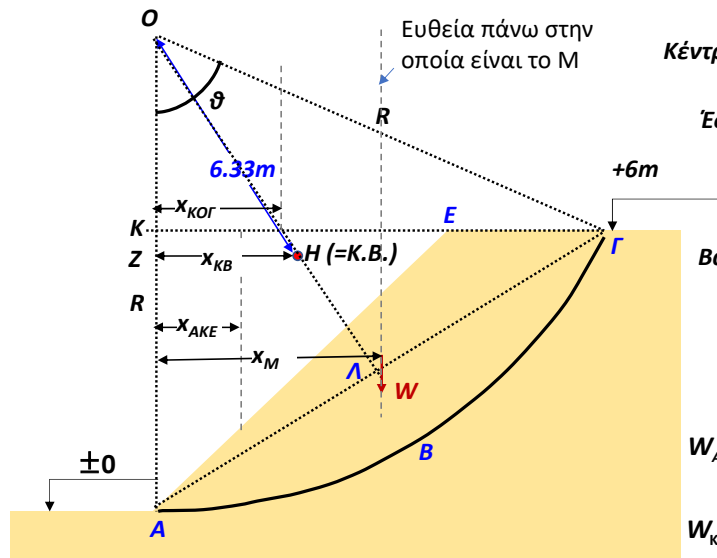
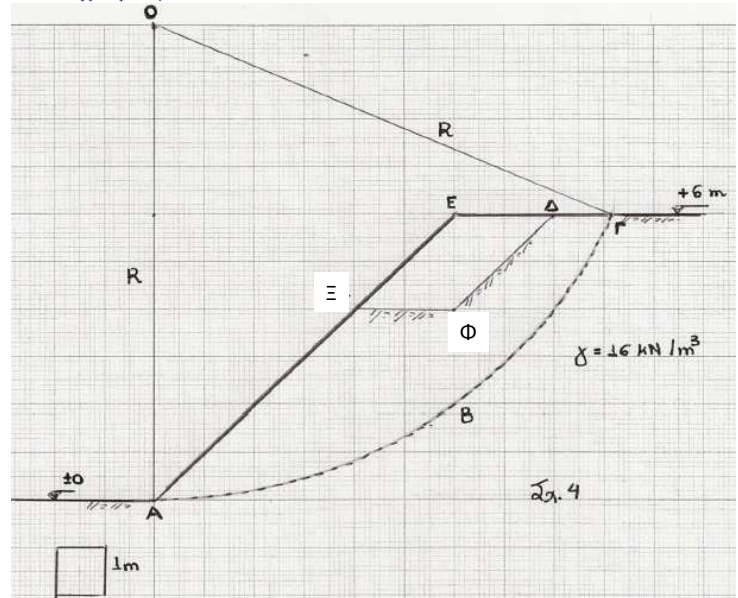
- Ο Συντελεστής Ασφαλείας του πρανούς ως έχει (ΑΒΓΕΑ).
- Ο Συντελεστής Ασφαλείας μετά την εκσκαφή και την απομάκρυνση του τμήματος ΕΞΦΗ

Υπόδειξη: Το βάρος της ολισθαίνουσας μάζας και το Κ.Β. μπορούν να υπολογισθούν γραφικά, κατά προσέγγιση ή με ακρίβεια από τα γεωμετρικά στοιχεία που δίνονται.

κορεσμένη άργιλος + αστράγγιστες συνθήκες ->

- ανάλυση με ολικές τάσεις
- περιβάλλουσα αστοχίας $\tau_u = s_u$

Σχήμα υπό κλίμακα:
Επιτρέπεται η μέτρηση αποστάσεων με χάρακα και γωνιών με μοιρογνωμόνιο



Τρίγωνο ΑΚΓ: $ΑΓ = \sqrt{ΑΚ^2 + ΚΓ^2} = \sqrt{6^2 + 9^2} = 10.82m$

Τρίγωνο ΑΟΛ: $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{ΑΛ}{R} = \frac{\frac{ΑΓ}{2}}{R} = \frac{\frac{10.82}{2}}{10} = 0.541 \rightarrow \theta = 65.5^\circ = 1.14rad$

Κ.Β. κυκλικού τομέα (σημείο Η) σε απόσταση από Ο: $\frac{2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}(rad)\right)}{3 \cdot \frac{\theta}{2}(rad)} = \frac{2 \cdot 10 \cdot \sin(0.57)}{3 \cdot 0.57} = 6.33m$

Τρίγωνο ΗΖΟ: $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{ΗΖ}{ΟΗ} \rightarrow ΗΖ = 6.33 \cdot \sin 32.75 = 3.40m$

Κέντρο θάρους της εδαφικής μάζας → Από ισορροπία ροπών ως προς το Ο

Έστω M , το ΚΒ της εδαφικής μάζας:

$$x_M = \frac{W_{o\lambda} \cdot x_{KB} - W_{AKE} \cdot x_{AKE} - W_{KO\Gamma} \cdot x_{KO\Gamma}}{(W_{o\lambda} - W_{AKE} - W_{KO\Gamma})}$$

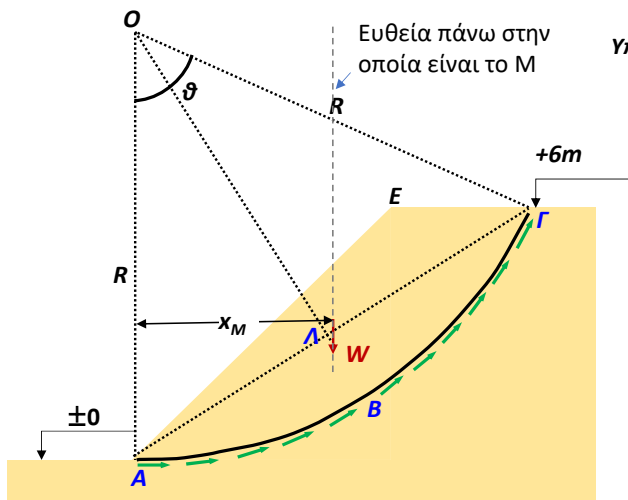
Βάρος κυκλικού τομέα: $W_{o\lambda} = E_{o\lambda} \cdot \gamma_{εδ}$
 $E_{o\lambda} = \frac{\theta}{2\pi} \cdot \pi R^2 = \frac{\theta}{2} \cdot R^2 = 0.57 \cdot 10^2 = 57m^2$

$W_{o\lambda} = 57 \cdot 16 = 912 \frac{kN}{m}$

$W_{AKE} = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 6 \cdot 16 = 288 \frac{kN}{m}$

$W_{KO\Gamma} = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 9 \cdot 16 = 288 \frac{kN}{m}$

$x_M = \frac{912 \cdot 3.4 - 288 \cdot 2 - 288 \cdot 3}{(912 - 288 - 288)} = 4.94m$



Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας, για περιστροφική επιφάνεια αστοχίας (ως προς το O)

$$FS = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που προκαλούν ανατροπή}}$$

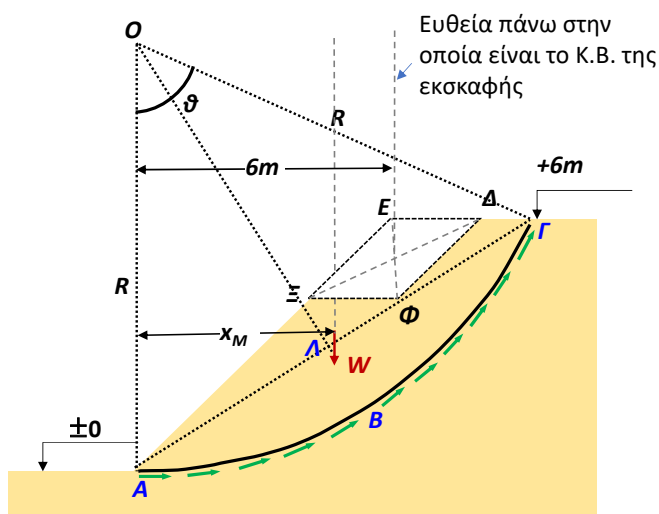
$$FS = \frac{S_u \cdot (AG) \cdot R}{W \cdot x_M} = \frac{S_u \cdot (R \cdot \theta) \cdot R}{(W_{ολ} - W_{AKE} - W_{KOG}) \cdot x_M} = \frac{30 \cdot (10 \cdot 1.14^{rad}) \cdot 10}{(912 - 288 - 288) \cdot 4.94} = 2.06$$

Κυκλική επιφάνεια αστοχίας → Έλεγχος περιστροφής

Αν αφαιρέσουμε ένα τμήμα εδάφους...

Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας, για περιστροφική επιφάνεια αστοχίας (ως προς το O)

$$W_{E\Xi\Phi\Delta} = 2 \cdot 2 \cdot 16 = 64 \frac{kN}{m}$$



$$FS = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που προκαλούν ανατροπή}}$$

$$FS = \frac{S_u \cdot (AG) \cdot R}{W' \cdot x'_M} = \frac{S_u \cdot (R \cdot \theta) \cdot R}{(W_{ολ} - W_{AKE} - W_{KOG}) \cdot x_M - W_{E\Xi\Phi\Delta} \cdot 6} = \frac{30 \cdot (10 \cdot 1.14^{rad}) \cdot 10}{(912 - 288 - 288) \cdot 4.94 - 64 \cdot 6} = 2.68$$

Σημείωση: η ροπή του βάρους της εκσκαφής αφαιρείται από τον παρονομαστή και δεν προστίθεται στον αριθμητή, γιατί ο παρονομαστής αποτυπώνει τη ροπή ανατροπής του συνολικού εδάφους βάρους W' (μετά την εκσκαφή)

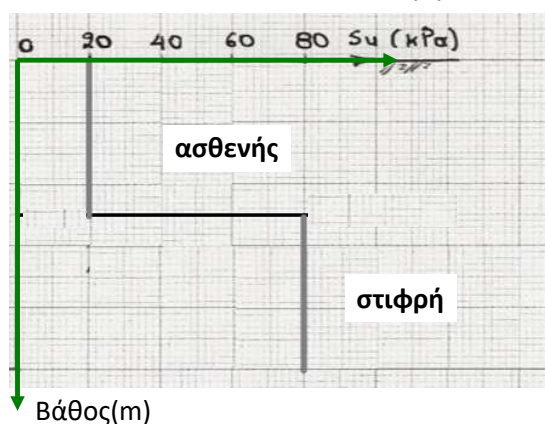
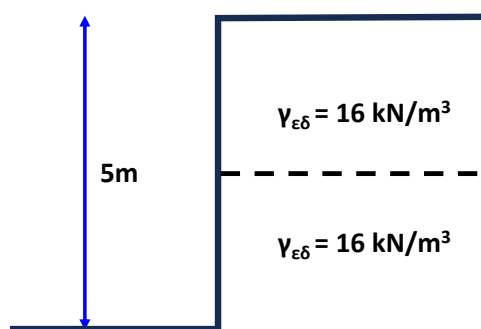
Κυκλική επιφάνεια αστοχίας → Έλεγχος περιστροφής

4.5 Σε κατακόρυφο, ανομοιογενές, αργιλικό πρανές ύψους 5 m, οι τιμές της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής παρουσιάζουν την κατανομή που φαίνεται στο Σχ. 5. Ζητείται να προσδιορισθεί ο συντελεστής ασφαλείας για δύο δοκιμαστικές επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης (αιτιολογημένης επιλογής).

κορεσμένη άργιλος + αστράγγιστες συνθήκες ->

→ ανάλυση με ολικές τάσεις

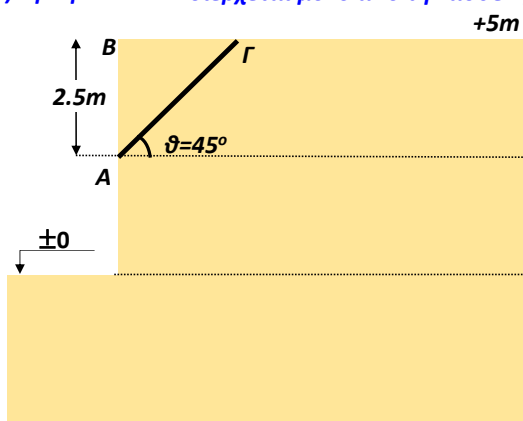
→ περιβάλλουσα αστοχίας $\tau_u = S_u$



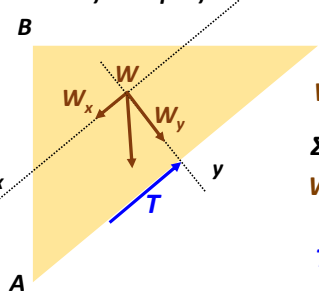
Πρωτότερο σχόλιο: Αν η εκφώνηση έλεγε να προσδιορισθεί ο συντελεστής ασφαλείας για μια **εύλογη** επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης, τότε το πρίσμα A που διέρχεται μόνο από την ασθενή στρώση θα ήταν η απάντηση.

α) Πρίσμα A → διέρχεται μόνο από την ασθενή στρώση

Επίπεδη επιφάνεια αστοχίας → Έλεγχος ολίσθησης



Ποιες δυνάμεις ασκούνται στο πρίσμα αστοχίας?



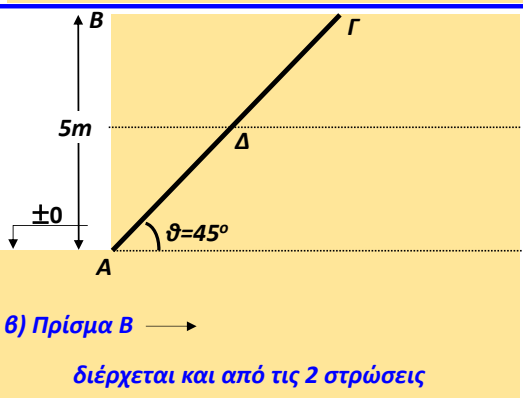
$$W = \gamma_{εδ} \cdot (AB\Gamma) = \gamma_{εδ} \cdot \frac{1}{2} \cdot AB \cdot B\Gamma = 16 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2.5 \cdot 2.5 = 50 \frac{kN}{m}$$

Στη διεύθυνση της ολίσθησης:

$$W_x = W \cdot \sin 45^\circ = 50 \cdot \sin 45^\circ = 35.36 \frac{kN}{m}$$

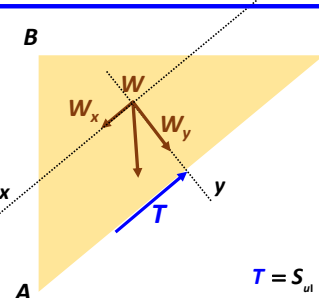
$$T = S_{u1} \cdot A\Gamma = 20 \cdot \sqrt{2.5^2 + 2.5^2} = 70.71 \frac{kN}{m}$$

$$FS = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση του πρίσματος}}{\text{Δυνάμεις που προκαλούν ολίσθηση του πρίσματος}} = \frac{T}{W_x} = \frac{70.71}{35.35} = 2$$



β) Πρίσμα B →

διέρχεται και από τις 2 στρώσεις



$$W = \gamma_{εδ} \cdot (AB\Gamma) = \gamma_{εδ} \cdot \frac{1}{2} \cdot AB \cdot B\Gamma = 16 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 5 = 200 \frac{kN}{m}$$

Στη διεύθυνση της ολίσθησης:

$$W_x = W \cdot \sin 45^\circ = 200 \cdot \sin 45^\circ = 141.42 \frac{kN}{m}$$

$$T = S_{u1} \cdot \Delta\Gamma + S_{u2} \cdot A\Delta = 20 \cdot \sqrt{2.5^2 + 2.5^2} + 80 \cdot \sqrt{2.5^2 + 2.5^2} = 353.55 \frac{kN}{m}$$

$$FS = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση του πρίσματος}}{\text{Δυνάμεις που προκαλούν ολίσθηση του πρίσματος}} = \frac{T}{W_x} = \frac{353.55}{141.42} = 2.5$$