ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΙΙ

3η ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ: ΘΕΩΡΙΑ COULOMB +RANKINE+ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΟΙΧΩΝ

Επιμέλεια:
Ταξιαρχούλα Λημναίου, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

κυψελωτός

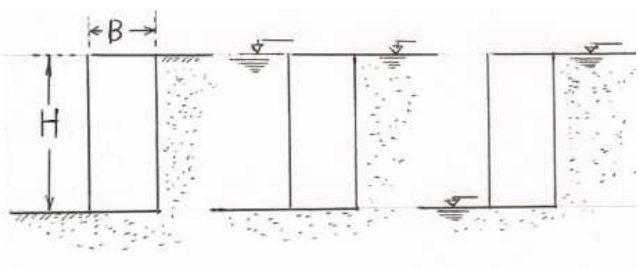
3.1 Ορθογωνικός τοίχος αντιστηρίξεως (γ_T= 20 kN/m^3) ύψους Η και πλάτους Β αντιστηρίζει έδαφος με φ = 35°, το οποίο εκτείνεται και κάτω από την βάση του τοίχου (Σχ. 1). Η παρειά του τοίχου θεωρείται ιδεωδώς λεία, ενώ η βάση του είναι τραχεία με γωνία συνάφειας με το έδαφος δ = 25°. Να υπολογισθεί το πλάτος Β συναρτήσει του ύψους Η (με έλεγχο της ευστάθειας σε ολίσθηση και ανατροπή) στις εξής περιπτώσεις:

α) Δεν υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας (Υ.Ο.) στο αντιστηριζόμενο έδαφος (Σχ.1α).

β) Η στάθμη του ύδατος βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και ο τοίχος είναι βυθισμένος (π.χ. λιμενικός κρηπιδότοιχος, Σχ.1β).

γ) Η στάθμη του Υ.Ο. στο μεν αντιστηριζόμενο έδαφος είναι στην άνω επιφάνειά του, στον δε πόδα έμπροσθεν του τοίχου, στην επιφάνεια όπως στο Σχήμα 1γ, στη στάθμη έδρασης του τοίχου.

Να χρησιμοποιηθούν εύλογες τιμές για την πυκνότητα του εδάφους.



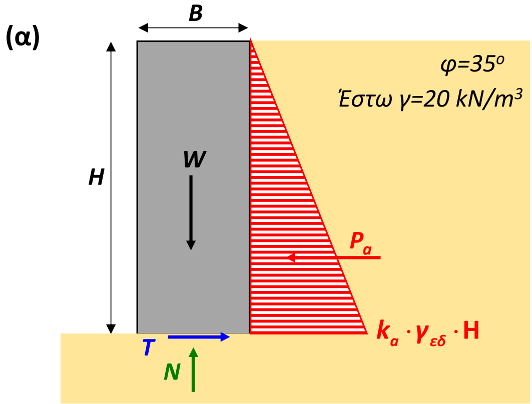
Σχ.1α Σχ.1β Σχ.1γ

Βάση του τοίχου -> ΠΟΤΕ λεία
δ = (2/3 – 1.0)φ

Αν πολύ τραχεία βάση: δ=φ

Εδώ δίνεται δ = 25^o (= 0.7φ)

(α)



RANKINE ή COULOMB?

- *λείος & κατακόρυφος τοίχος* → Rankine
- *μηδενική επιφόρτιση* → Rankine
- *οριζόντια επιφάνεια* → Rankine

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

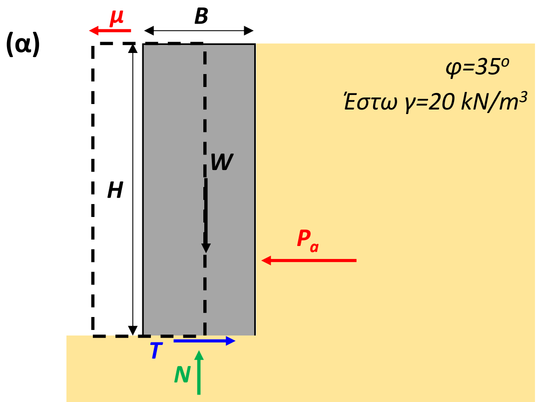
$$W = \gamma_\tau \cdot B \cdot H = 20 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$N = W = 20 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$T = N \cdot \tan\delta = 20 \cdot B \cdot H \cdot \tan 25^o = 9.33 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot k_a \cdot \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot H \cdot H = \frac{1}{2} \cdot \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot \tan^2\left(45 - \frac{35}{2}\right) \cdot 20 \cdot H^2 = 2.71 \cdot H^2$$

(α)



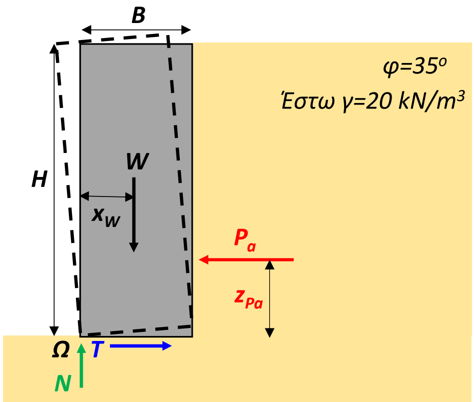
Έλεγχος ολίσθησης:

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{\textit{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\textit{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{T}{P_a} = \frac{9.33 \cdot B \cdot H}{2.71 \cdot H^2} = 3.44 \frac{B}{H}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

Άρα πρέπει: $FS_{ολίσθησης} \geq 1.3 \longrightarrow 3.44 \frac{B}{H} \geq 1.3 \longrightarrow \frac{B}{H} \geq 0.378$



Έλεγχος ανατροπής: *Σημείο περιστροφής Ω*

$$FS_{ανατροπής} = \frac{\textit{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\textit{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

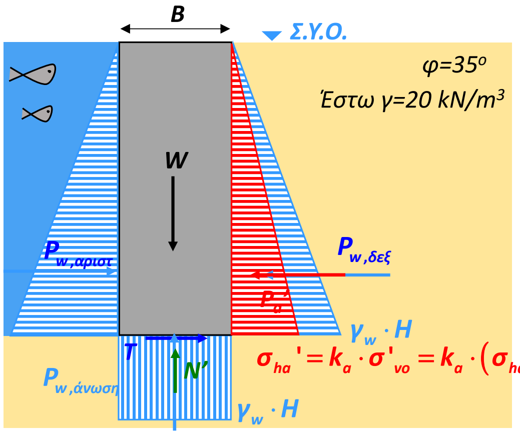
$$FS_{ανατροπής} = \frac{W \cdot x_W}{P_a \cdot z_{P_a}} = \frac{20 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2}}{2.71 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3}} = 11.07 \frac{B^2}{H^2}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5

Άρα πρέπει: $FS_{ανατροπής} \geq 1.5 \longrightarrow 11.07 \frac{B^2}{H^2} \geq 1.5 \longrightarrow \frac{B}{H} \geq 0.368$

Πρέπει να επαρκούν ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΟ συντελεστές ασφαλείας: $\longrightarrow \frac{B}{H} \geq \max(0.378, 0.368) = 0.378$

(β)



RANKINE ή COULOMB?

- λείος & κατακόρυφος τοίχος ⟶ Rankine
- μηδενική επιφόρτιση ⟶ Rankine
- οριζόντια επιφάνεια ⟶ Rankine

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

$$\sigma_{ha}' = k_a \cdot \sigma'_{vo} = k_a \cdot (\sigma_{ha} - u_o) \cdot \mathrm{H} = k_a \cdot (\gamma_{\varepsilon\delta} - \gamma_w) \cdot \mathrm{H}$$

$$P_{w,\delta\varepsilon\xi} = P_{w,\alpha\rho\iota\sigma\tau} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H \cdot H = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot H^2 = 5 \cdot H^2 \longrightarrow \text{αλληλοαναιρούνται}$$

$$P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} = \gamma_w \cdot H \cdot B$$

$$W = \gamma_\tau \cdot B \cdot H = 20 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

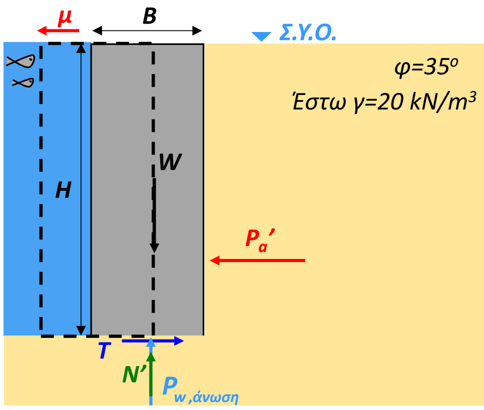
$$N' = W - P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} = 20 \cdot B \cdot H - 10 \cdot B \cdot H = 10 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$T = N' \cdot \tan\delta = 10 \cdot B \cdot H \cdot \tan 25^o = 4.67 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$P_a' = \frac{1}{2} \cdot k_a \cdot (\gamma_{\varepsilon\delta} - \gamma_w) \cdot H \cdot H = \frac{1}{2} \cdot \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot (\gamma_{\varepsilon\delta} - \gamma_w) \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot \tan^2\left(45 - \frac{35}{2}\right) \cdot 10 \cdot H^2 = 1.36 \cdot H^2$$

(β)

Στην άσκηση 3.1, εν ξηρώ (ερωτ. α) και υπό άνωση (ερωτ. β) προκύπτει «ίδιος» τοίχος. (B=0.38H)



<u>Έλεγχος ολίσθησης:</u>

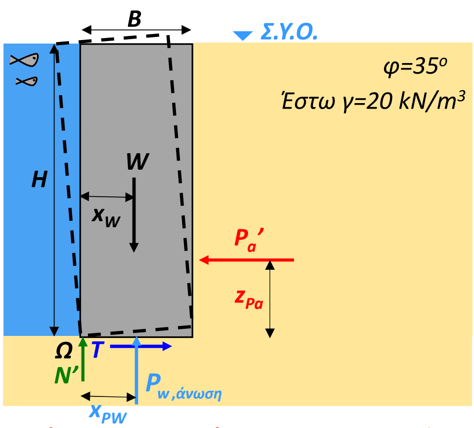
$$FS_{\text{ολίσθησης}} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$FS_{\text{ολίσθησης}} = \frac{\mathrm{T}}{P_a'} = \frac{4.66 \cdot B \cdot H}{1.36 \cdot H^2} = 3.43 \frac{B}{H}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

Άρα πρέπει: $FS_{\text{ολίσθησης}} \geq 1.3 \rightarrow 3.43 \frac{B}{H} \geq 1.3 \rightarrow \frac{B}{H} \geq 0.379$

Αν ο τοίχος δεν ήταν κυψελωτός (γ_τ=25kN/m³), θα προέκυπτε μικρότερος τοίχος υπό άνωση (στο ερωτ. β), απ' ότι εν ξηρώ (ερωτ. α) (B=0.3H, έναντι B=033H)



<u>Έλεγχος ανατροπής:</u> Σημείο περιστροφής Ω

$$FS_{\text{ανατροπής}} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

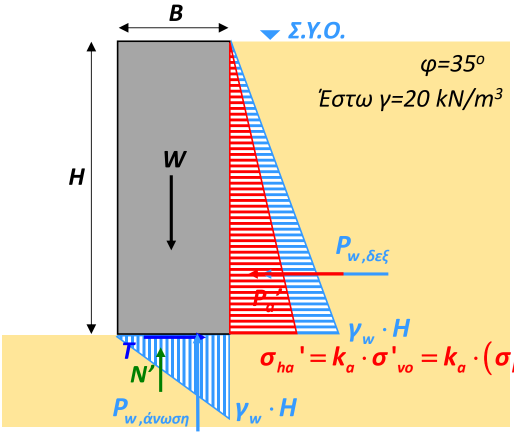
$$FS_{\text{ανατροπής}} = \frac{W \cdot x_W - P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} \cdot x_{P_W}}{P_a' \cdot z_{P_a}} = \frac{20 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2} - 10 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2}}{1.36 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3}} = 11.02 \frac{B^2}{H^2}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5

Άρα πρέπει: $FS_{\text{ανατροπής}} \geq 1.5 \rightarrow 11.02 \cdot \frac{B^2}{H^2} \geq 1.5 \rightarrow \frac{B}{H} \geq 0.368$

Πρέπει να επαρκούν ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΟ συντελεστές ασφαλείας: $\longrightarrow \frac{B}{H} \geq \max(0.379, 0.368) = 0.379$

(γ)



RANKINE ή COULOMB?

- λείος & κατακόρυφος τοίχος ⟶ Rankine
- μηδενική επιφόρτιση ⟶ Rankine
- οριζόντια επιφάνεια ⟶ Rankine

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

$$\sigma_{ha}' = k_a \cdot \sigma'_{vo} = k_a \cdot (\sigma_{ha} - u_o) \cdot H = k_a \cdot (\gamma_{\varepsilon\delta} - \gamma_w) \cdot H$$

$$P_{w,\delta\varepsilon\xi} = 5 \cdot H \cdot H = 5 \cdot H^2$$

$$P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H \cdot B = 5 \cdot H \cdot B$$

$$W = \gamma_\tau \cdot B \cdot H = 20 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$N' = W - P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} = 20 \cdot B \cdot H - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot B \cdot H = 15 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

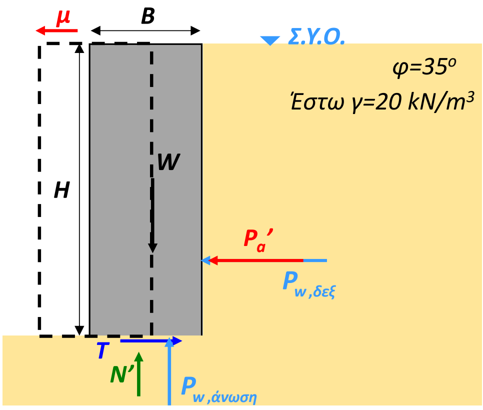
$$T = N' \cdot \tan\delta = 15 \cdot B \cdot H \cdot \tan 25^o = 6.99 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$P_a' = \frac{1}{2} \cdot k_a \cdot (\gamma_{\varepsilon\delta} - \gamma_w) \cdot H \cdot H = \frac{1}{2} \cdot \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot (\gamma_{\varepsilon\delta} - \gamma_w) \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot \tan^2\left(45 - \frac{35}{2}\right) \cdot 10 \cdot H^2 = 1.36 \cdot H^2$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στο ερωτ. γ, η θεώρηση υδροστατικών πιέσεων πίσω από τον τοίχο είναι απλουστευτική και συντηρητική.

Αν επιλυθεί το πρόβλημα της υπόγειας ροής, οι πιέσεις πόρων προκύπτουν λίγο μικρότερες από υδροστατικές, και συνεπώς το πρόβλημα «αστάθειας» του τοίχου λιγότερο έντονο απ' ό,τι προκύπτει στην άσκηση 3.1γ.

(γ)



Η υπόγεια ροή πίσω από τον τοίχο είναι έντονα κατά της ασφαλείας του τοίχου

B=1.18H , έναντι B=0.38H

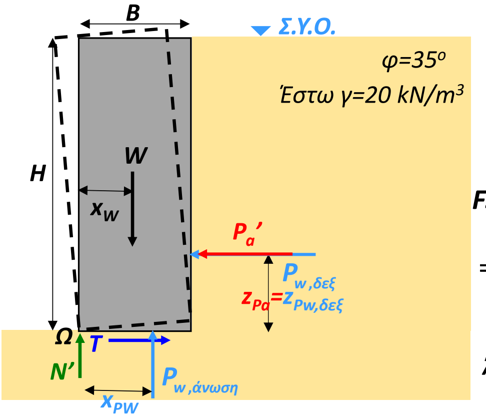
Έλεγχος ολίσθησης:

$$FS_{o\lambda\acute{\iota}\sigma\vartheta\eta\sigma\eta\varsigma} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$FS_{o\lambda\acute{\iota}\sigma\vartheta\eta\sigma\eta\varsigma} = \frac{T}{P_a' + P_{w,\delta\varepsilon\xi}} = \frac{6.99 \cdot B \cdot H}{1.36 \cdot H^2 + 5 \cdot H^2} = 1.1 \frac{B}{H}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

Άρα πρέπει: $FS_{o\lambda\acute{\iota}\sigma\vartheta\eta\sigma\eta\varsigma} \geq 1.3 \rightarrow 1.1 \cdot \frac{B}{H} \geq 1.3 \rightarrow \frac{B}{H} \geq 1.18$



Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής Ω

$$FS_{\alpha\nu\alpha\tau\rho o\pi\acute{\eta}\varsigma} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

$$FS_{\alpha\nu\alpha\tau\rho o\pi\acute{\eta}\varsigma} = \frac{W \cdot x_W - P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} \cdot x_{P_W}}{P_a' \cdot z_{P_a} + P_{w,\delta\varepsilon\xi} \cdot z_{P_{w,\delta\varepsilon\xi}}} = \frac{20 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2} - 5 \cdot B \cdot H \cdot \frac{2 \cdot B}{3}}{1.36 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3} + 5 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3}} = 3.14 \cdot \frac{B^2}{H^2}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5

Άρα πρέπει: $FS_{\alpha\nu\alpha\tau\rho o\pi\acute{\eta}\varsigma} \geq 1.5 \rightarrow 3.14 \cdot \frac{B^2}{H^2} \geq 1.5 \rightarrow \frac{B}{H} \geq 0.69$

Πρέπει να επαρκούν ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΟ συντελεστές ασφαλείας: $\longrightarrow \frac{B}{H} \geq \max(1.18, 0.69) = 1.18$

3.2

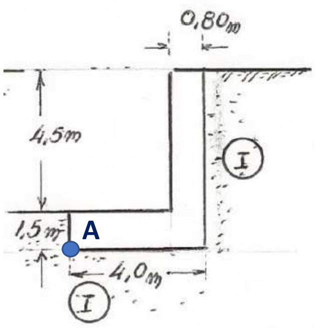
Ο τοίχος σκυροδέματος του Σχήματος 2 (γ=25 kN/m^3) σχεδιάζεται, ώστε να αντιστηρίζει έδαφος με φ= 34° και γ= 18 kN/m^3. Ζητείται ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής (περί το Α) και έναντι ολίσθησης υπό τις ακόλουθες τρεις συνθήκες:

α) Ο τοίχος δεν έχει κανέναν περιορισμό σε μετακίνηση.

β) Ο τοίχος δεν επιτρέπεται να μετακινηθεί περισσότερο από 1 cm στην κορυφή του.

γ) Αγνοείται (υπέρ της ασφαλείας) η παθητική αντίσταση, διότι το έδαφος έμπροσθεν του τοίχου δεν είναι εξασφαλισμένο.

Και στις τρεις περιπτώσεις οι κατακόρυφες παρειές του τοίχου να θεωρηθούν ως πρακτικώς λείες, ενώ η γωνία συνάφειας δ στην πολύ τραχεία βάση της θεμελιώσεως του τοίχου είναι δ= φ =34°.

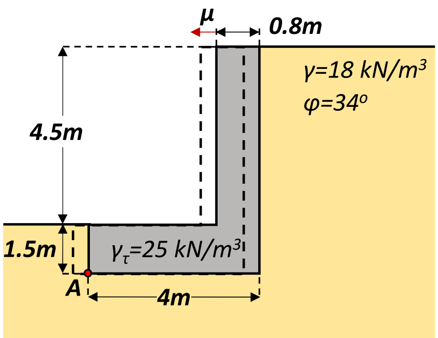


Σχ. 2

Βάση του τοίχου -> ΠΟΤΕ λεία
δ = (2/3 – 1.0)ϕ

Αν πολύ τραχεία βάση: δ=ϕ

Εδώ δίνεται δ = ϕ



RANKINE ή COULOMB?

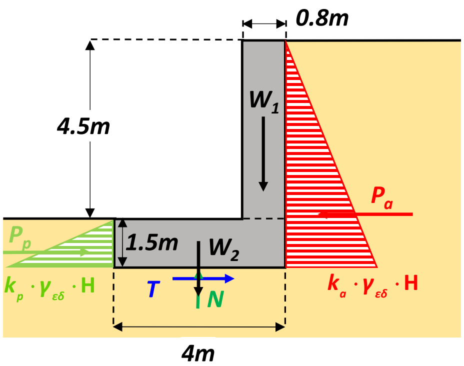
- ***λείος τοίχος στην παρειά*** ⟶ ***Rankine***
- ***κατακόρυφος τοίχος*** ⟶ ***Rankine***
- ***οριζόντια επιφάνεια*** ⟶ ***Rankine***
- ***μηδενική φόρτιση*** ⟶ ***Rankine***

Ο τοίχος δεν έχει <u>κανέναν περιορισμό στη μετακίνηση:</u> ⟶ ***Μετακινείται αρκετά έτσι ώστε:***

Α. να αναπτυχθεί ενεργητική ώθηση πίσω από τον τοίχο.

Β. να αναπτυχθεί <u>πλήρης</u> παθητική ώθηση μπροστά από τον τοίχο.

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?



$$W_1 = \gamma_\tau \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 25 \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 90\,\frac{kN}{m}$$

$$W_2 = \gamma_\tau \cdot 1.5 \cdot 4 = 25 \cdot 1.5 \cdot 4 = 150\,\frac{kN}{m}$$

$$N = W_1 + W_2 = 90 + 150 = 240\,\frac{kN}{m}$$

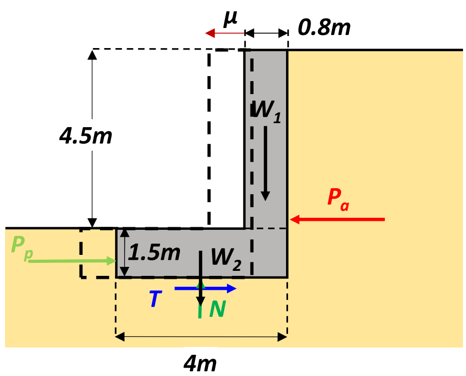
$$T = N \cdot \tan\delta = 240 \cdot \tan 34^o = 161.88\,\frac{kN}{m}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot k_a \cdot \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot (4.5+1.5)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.282 \cdot 18 \cdot (4.5+1.5)^2 = 91.37\,\frac{kN}{m}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot k_p \cdot \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot 1.5^2 = \frac{1}{2} \cdot 3.54 \cdot 18 \cdot 1.5^2 = 71.69\,\frac{kN}{m}$$

$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 - \frac{34}{2}\right) = 0.283$$

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{34}{2}\right) = 3.54$$

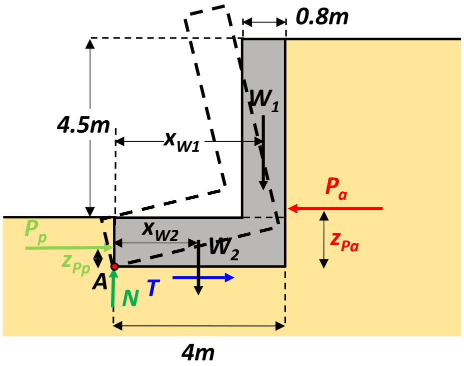


Έλεγχος ολίσθησης:

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{T + P_p}{P_a} = \frac{161.88 + 71.69}{91.37} = 2.56$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 ⟶ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ



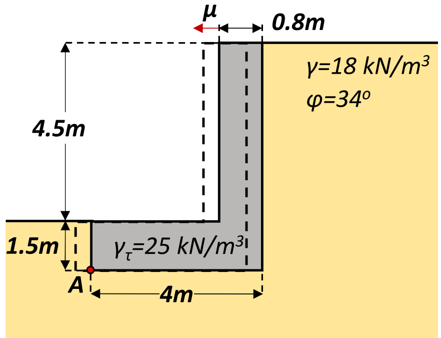
Έλεγχος ανατροπής:

Σημείο περιστροφής A

$$FS_{ανατροπής} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

$$FS_{ανατροπής} = \frac{W_1 \cdot x_{W1} + W_2 \cdot x_{W2} + P_p \cdot z_{P_p}}{P_a \cdot z_{P_a}} = \frac{90 \cdot (4 - 0.4) + 150 \cdot \frac{4}{2} + 71.69 \cdot \frac{1.5}{3}}{91.37 \cdot \frac{(4.5 + 1.5)}{3}} = 3.61$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 ⟶ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ



RANKINE ή COULOMB?

- λείος τοίχος στην παρειά ⟶ Rankine
- κατακόρυφος τοίχος ⟶ Rankine
- οριζόντια επιφάνεια ⟶ Rankine
- μηδενική φόρτιση ⟶ Rankine

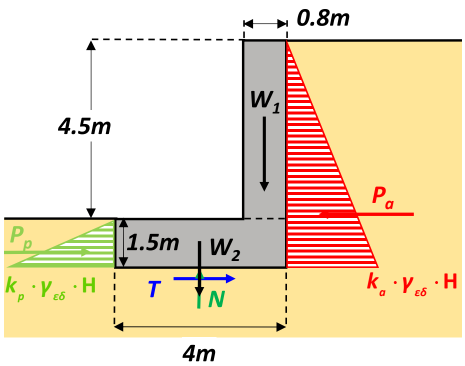
$\varepsilon_h \approx 0.01/6 \approx 0.2\%$

Ο τοίχος δεν επιτρέπεται να μετακινηθεί περισσότερο από 1 cm στην κορυφή του. ⟶ Μετακινείται τόσο ώστε:

Α. να αναπτυχθεί πλήρης ενεργητική ώθηση πίσω από τον τοίχο.

Β. να αναπτυχθεί <u>ένα μέρος</u> της παθητικής ώθησης μπροστά από τον τοίχο. Έστω το 50% αυτής.

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?



$$W_1 = \gamma_\tau \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 25 \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 90\,\frac{kN}{m}$$

$$W_2 = \gamma_\tau \cdot 1.5 \cdot 4 = 25 \cdot 1.5 \cdot 4 = 150\,\frac{kN}{m}$$

$$N = W_1 + W_2 = 90 + 150 = 240\,\frac{kN}{m}$$

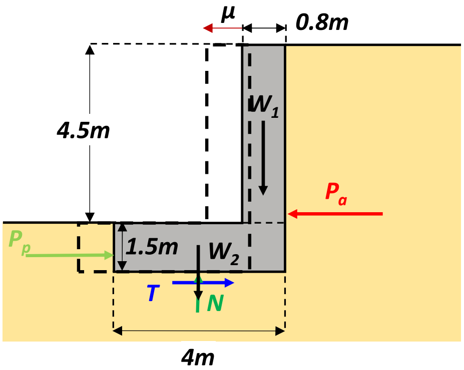
$$T = N \cdot \tan\delta = 240 \cdot \tan 34^o = 161.88\,\frac{kN}{m}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot k_a \cdot \gamma_{εδ} \cdot (4.5 + 1.5)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.282 \cdot 18 \cdot (4.5 + 1.5)^2 = 91.37\,\frac{kN}{m}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot k_p \cdot \gamma_{εδ} \cdot 1.5^2 = \frac{1}{2} \cdot 3.54 \cdot 18 \cdot 1.5^2 = 71.69\,\frac{kN}{m}$$

$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 - \frac{34}{2}\right) = 0.283$$

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{34}{2}\right) = 3.54$$



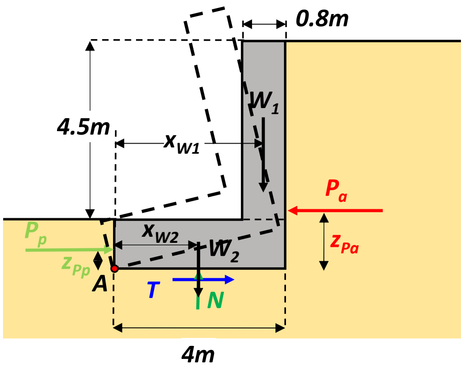
Έλεγχος ολίσθησης:

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$f = 2$$

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{T + \frac{P_p}{\boxed{f}}}{P_a} = \frac{161.88 + \frac{71.69}{\boxed{2}}}{91.37} = 2.16$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 → *ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ*

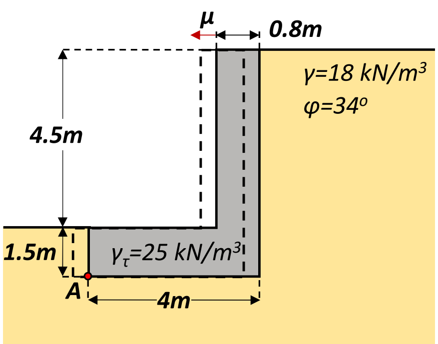


Έλεγχος ανατροπής: *Σημείο περιστροφής Α*

$$FS_{ανατροπής} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

$$FS_{ανατροπής} = \frac{W_1 \cdot x_{W1} + W_2 \cdot x_{W2} + \frac{P_p}{\boxed{f}} \cdot z_{P_p}}{P_a \cdot z_{P_a}} = \frac{90 \cdot (4 - 0.4) + 150 \cdot \frac{4}{2} + 0.5 \cdot \frac{71.69}{\boxed{2}} \cdot \frac{1.5}{3}}{91.37 \cdot \frac{(4.5 + 1.5)}{3}} = 3.51$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 → *ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ*

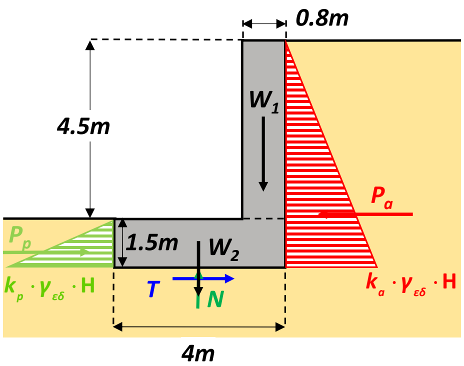


RANKINE ή COULOMB?

- *λείος τοίχος στην παρειά* → *Rankine*
- *κατακόρυφος τοίχος* → *Rankine*
- *επίπεδη επιφάνεια* → *Rankine*
- *μηδενική φόρτιση* → *Rankine*

Α. αναπτύσσεται πλήρης ενεργητική ώθηση πίσω από τον τοίχο.

Β. <u>αγνοείται</u> πλήρως η παθητική ώθηση



Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

$$W_1 = \gamma_\tau \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 25 \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 90 \frac{kN}{m}$$

$$W_2 = \gamma_\tau \cdot 1.5 \cdot 4 = 25 \cdot 1.5 \cdot 4 = 150 \frac{kN}{m}$$

$$N = W_1 + W_2 = 90 + 150 = 240 \frac{kN}{m}$$

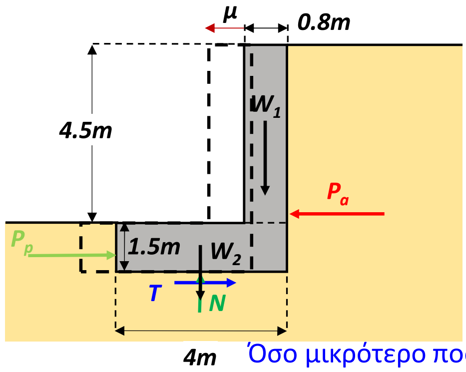
$$T = N \cdot \tan\delta = 240 \cdot \tan 34^o = 161.88 \frac{kN}{m}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot k_a \cdot \gamma_{εδ} \cdot (4.5 + 1.5)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.282 \cdot 18 \cdot (4.5 + 1.5)^2 = 91.37 \frac{kN}{m}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot k_p \cdot \gamma_{εδ} \cdot 1.5^2 = \frac{1}{2} \cdot 3.54 \cdot 18 \cdot 1.5^2 = 71.69 \frac{kN}{m}$$

$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 - \frac{34}{2}\right) = 0.283$$

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{34}{2}\right) = 3.54$$



Έλεγχος ολίσθησης:

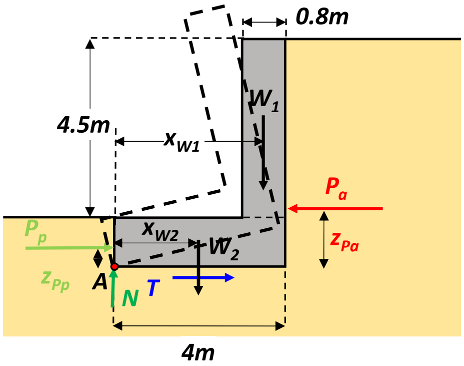
$$FS_{ολίσθησης} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{T + \boxed{0} \cdot P_p}{P_a} = \frac{161.88 + \boxed{0} \cdot 71.69}{91.37} = 1.77$$

Η P_p αγνοείται ΠΛΗΡΩΣ

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 → ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Όσο μικρότερο ποσοστό της P_p λαμβάνεται υπόψη -> τόσο μικρότεροι οι FS για δεδομένο μέγεθος τοίχου
-> τόσο μεγαλύτερος ο τοίχος για δεδομένες τιμές FS
-> τόσο πιο συντηρητικός ο σχεδιασμός



Έλεγχος ανατροπής: ***Σημείο περιστροφής Α***

$$FS_{ανατροπής} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

$$FS_{ανατροπής} = \frac{W_1 \cdot x_{W1} + W_2 \cdot x_{W2} + \boxed{0} \cdot P_p \cdot z_{P_p}}{P_a \cdot z_{P_a}} = \frac{90 \cdot (4 - 0.4) + 150 \cdot \frac{4}{2} + \boxed{0} \cdot 71.69 \cdot \frac{1.5}{3}}{91.37 \cdot \frac{(4.5 + 1.5)}{3}} = 3.44$$

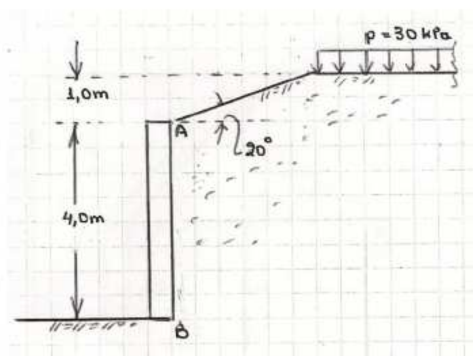
Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 → ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

3.4 Να εξετασθούν με την μέθοδο του Coulomb δύο δοκιμαστικά πρίσματα (Σχήμα 4) και να προσδιορισθεί η τιμή της ασκούμενης δύναμης επί του τοίχου για τις δύο αντίστοιχες περιπτώσεις:

α) Μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω (αριστερά).

β) Μετακίνηση του τοίχου προς τα μέσα (δεξιά).

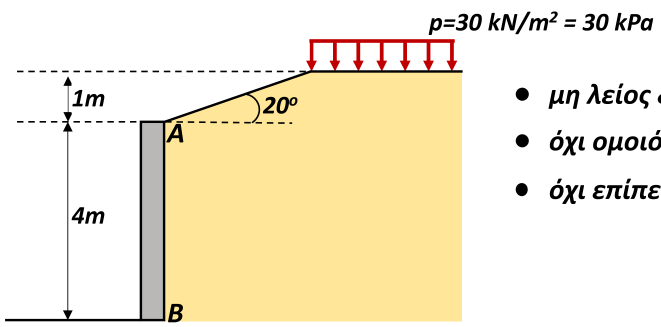
Δίδονται οι γεωτεχνικές παράμετροι του εδάφους: γ=17 kN/m^3, φ= 30°, c=5 kPa, γωνία τριβής τοίχου-γαιών δ= 15°.



Σχ.4

γ) Επιπλέον ερώτημα:

Για την περίπτωση (α), να σχεδιαστεί ο τοίχος οπλισμένου σκυροδέματος ($γ_τ$=25kN/m^3)



RANKINE ή COULOMB?

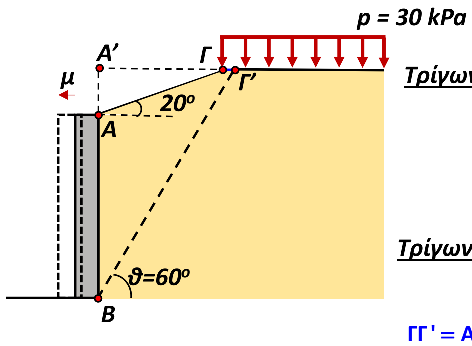
- *μη λείος & κατακόρυφος τοίχος* ⟶ **Coulomb**
- *όχι ομοιόμορφη φόρτιση* ⟶ **Coulomb**
- *όχι επίπεδη επιφάνεια* ⟶ **Coulomb**

Μέθοδος <u>Coulomb:</u> υπόθεση ενός πρίσματος αστοχίας ⟶ μελέτη <u>οριακής ισορροπίας</u> του πρίσματος

A. *Μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω (αριστερά):*

Έστω γωνία πρίσματος $\vartheta = 60^o$ (= 45 + φ/2)

... όση θα είχε αν ίσχυε η θεωρία Rankine για ενεργητική αστοχία



<u>Τρίγωνο ΒΑ'Γ':</u> $\tan(90^\circ - 60^\circ) = \dfrac{A'\Gamma'}{BA'} \rightarrow A'\Gamma' = \tan(30^\circ)\cdot BA' \rightarrow$

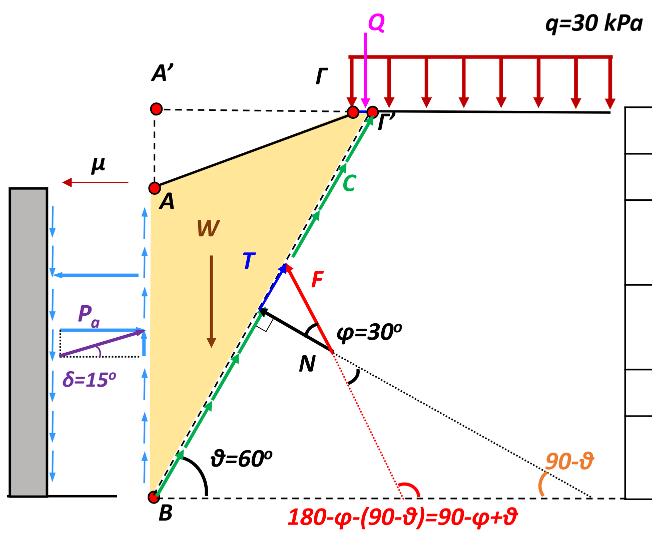
$$A'\Gamma' = \tan(30^\circ)\cdot(4+1) = 2.87m$$

$$B\Gamma' = \sqrt{(BA')^2 + (A'\Gamma')^2} = \sqrt{5^2 + 2.87^2} = 5.77m$$

<u>Τρίγωνο ΑΑ'Γ:</u> $\tan 20^\circ = \dfrac{AA'}{A'\Gamma} \rightarrow A'\Gamma = \dfrac{AA'}{\tan 20^\circ} \rightarrow A'\Gamma = \dfrac{1}{\tan 20^\circ} = 2.74m$

$$\Gamma\Gamma' = A'\Gamma' - A'\Gamma = 2.87 - 2.74 = 0.13m$$

A. *Μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω (αριστερά): Έστω γωνία πρίσματος $\vartheta = 60^o$*



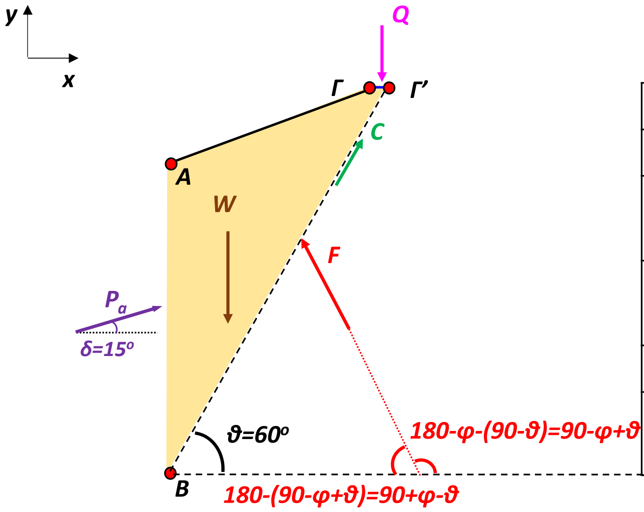
	Μέτρο	Διεύθυνση
W	$\gamma\cdot(AB\Gamma'\Gamma)$	*κατακόρυφη*
C	$c\cdot B\Gamma'$	$\vartheta = 60^o$ από την οριζόντια
F	?	$90 - \varphi + \vartheta = 120^o$ από την οριζόντια
Q	$q\cdot\Gamma\Gamma'$	*κατακόρυφη*
P_a	?	$\delta = 15^o$ από την οριζόντια

$$W = \gamma\cdot(AB\Gamma'\Gamma) = \gamma\cdot\left[(BA'\Gamma') - (AA'\Gamma)\right] = 17\cdot\left[\frac{2.87\cdot 5}{2} - \frac{2.74\cdot 1}{2}\right] = 98.69\frac{kN}{m}$$

$$C = c\cdot B\Gamma' = 5\cdot 5.77 = 28.85\frac{kN}{m}$$

$$Q = q\cdot\Gamma\Gamma' = 30\cdot 0.13 = 3.9\frac{kN}{m}$$

A. Μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω (αριστερά): *Έστω γωνία πρίσματος ϑ = 60°*



	Μέτρο	Διεύθυνση
W	98.69	κατακόρυφη
C	28.85	$\vartheta = 60^o$ από την οριζόντια
F	?	$90-\varphi+\vartheta = 120^o$ από την οριζόντια
Q	3.9	κατακόρυφη
P_a	?	$\delta = 15^o$ από την οριζόντια

Μέθοδος Α: Ισορροπία δυνάμεων

κατά x: $\Sigma F_x = 0 \rightarrow P_a \cdot \cos\delta - F \cdot \cos(90+\varphi-\vartheta) + C \cdot \cos\vartheta = 0 \rightarrow$

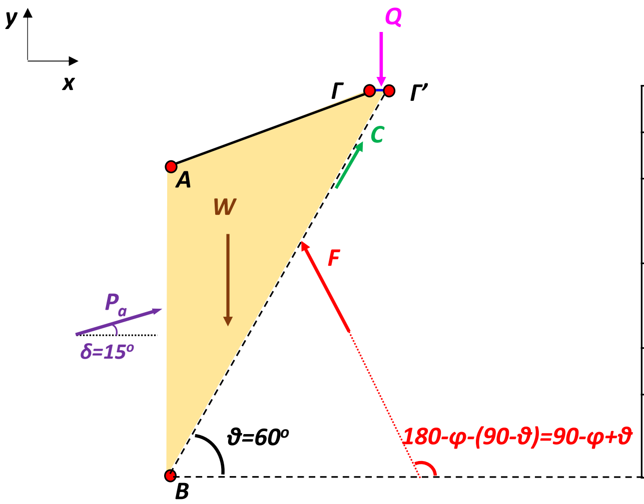
$$P_a \cdot \cos 15^o - F \cdot \cos(90+30^o-60^o) + 28.85 \cdot \cos 60^o = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow P_a \cdot \sin\delta + F \cdot \sin(90+\varphi-\vartheta) + C \cdot \sin\vartheta - Q - W = 0 \rightarrow$$

$$P_a \cdot \sin 15^o + F \cdot \sin(90+30^o-60^o) + 28.85 \cdot \sin 60^o - 3.9 - 98.69 = 0 \quad (2)$$

Από (1) & (2) $\rightarrow P_a = 28.86 \dfrac{kN}{m}$

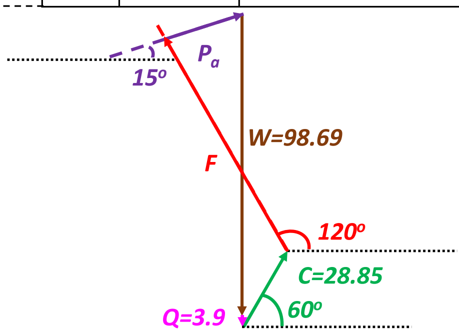
A. Μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω (αριστερά): *Έστω γωνία πρίσματος ϑ = 60°*

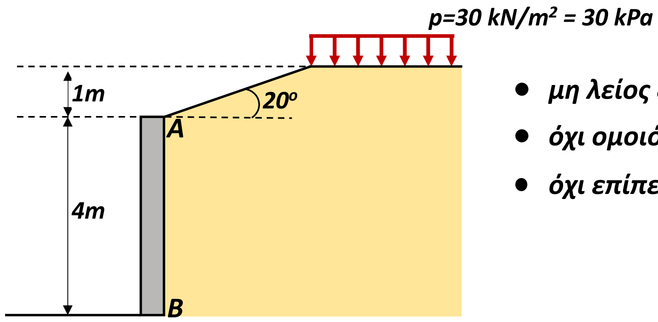


	Μέτρο	Διεύθυνση
W	98.69	κατακόρυφη
C	28.85	$\vartheta = 60^o$ από την οριζόντια
F	?	$90-\varphi+\vartheta = 120^o$ από την οριζόντια
Q	3.9	κατακόρυφη
P_a	?	$\delta = 15^o$ από την οριζόντια

Μέθοδος Β: Δυναμοπολύγωνο

ΠΡΟΣΟΧΗ!! Ίδια κλίμακα, χάρακας + μοιρογνωμόνιο





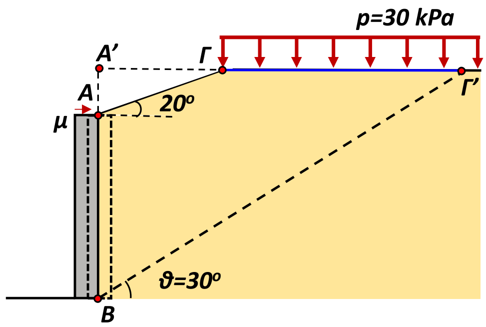
RANKINE ή COULOMB?

- *μη λείος & κατακόρυφος τοίχος* ⟶ **Coulomb**
- *όχι ομοιόμορφη φόρτιση* ⟶ **Coulomb**
- *όχι επίπεδη επιφάνεια* ⟶ **Coulomb**

Μέθοδος __Coulomb:__ υπόθεση ενός πρίσματος αστοχίας ⟶ μελετη __οριακής ισορροπίας__ του πρίσματος

B. *Μετακίνηση του τοίχου προς τα μέσα (δεξιά):* *Έστω γωνία πρίσματος ϑ = 30° (= 45 – φ/2)*

… όση θα είχε αν ίσχυε η θεωρία Rankine για παθητική αστοχία



__*BA'Γ':*__ $\tan\left(90^\circ - 30^\circ\right) = \dfrac{A'\Gamma'}{BA'} \rightarrow A'\Gamma' = \tan\left(60^\circ\right) \cdot BA' \rightarrow$

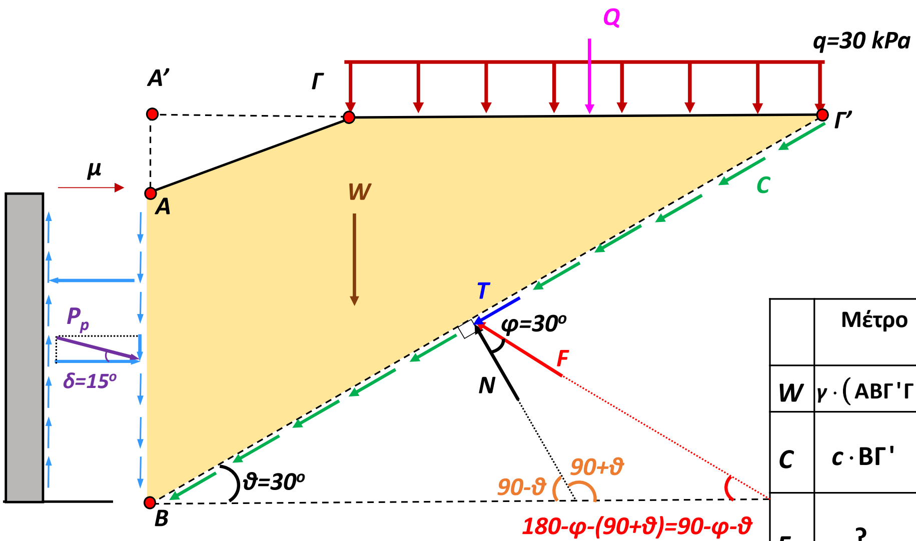
$$A'\Gamma' = \tan\left(60^\circ\right) \cdot \left(4+1\right) = 8.66m$$

$$B\Gamma' = \sqrt{\left(BA'\right)^2 + \left(A'\Gamma'\right)^2} = \sqrt{5^2 + 8.66^2} = 10m$$

__*AA'Γ:*__ $\tan 20^\circ = \dfrac{AA'}{A'\Gamma} \rightarrow A'\Gamma = \dfrac{AA'}{\tan 20^\circ} \rightarrow A'\Gamma = \dfrac{1}{\tan 20^\circ} = 2.74m$

$$\Gamma\Gamma' = A'\Gamma' - A'\Gamma = 8.66 - 2.74 = 5.92m$$

B. *Μετακίνηση του τοίχου προς τα μέσα (δεξιά):* *Έστω γωνία πρίσματος ϑ = 30°*



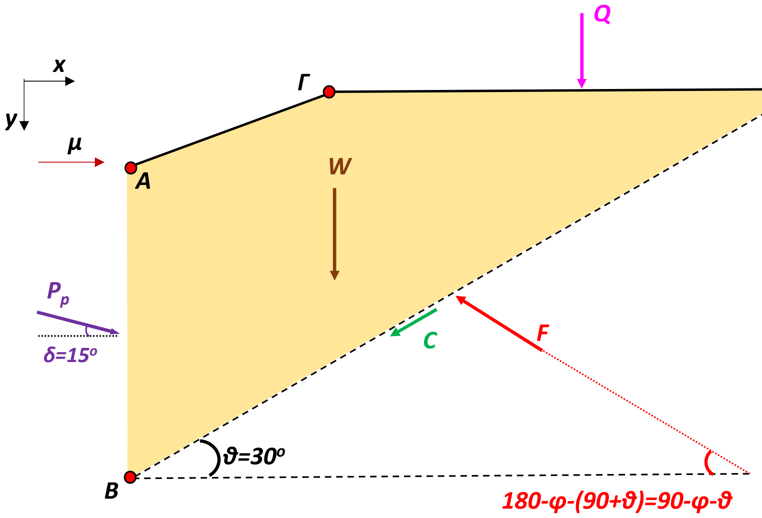
	Μέτρο	Διεύθυνση
W	$\gamma \cdot (AB\Gamma'\Gamma)$	*κατακόρυφη*
C	$c \cdot B\Gamma'$	$\vartheta = 30^\circ$ από την οριζόντια
F	?	$90 - \varphi - \vartheta = 30^\circ$ από την οριζόντια
Q	$q \cdot \Gamma\Gamma'$	*κατακόρυφη*
P_p	?	$\delta = 15^\circ$ από την οριζόντια

$$W = \gamma \cdot \left(AB\Gamma'\Gamma\right) = \gamma \cdot \left[\left(BA'\Gamma'\right) - \left(AA'\Gamma\right)\right] = 17 \cdot \left[\frac{8.66 \cdot 5}{2} - \frac{2.74 \cdot 1}{2}\right] = 344.76 \frac{kN}{m}$$

$$C = c \cdot B\Gamma' = 5 \cdot 10 = 50 \frac{kN}{m}$$

$$Q = q \cdot \Gamma\Gamma' = 30 \cdot 5.92 = 177.6 \frac{kN}{m}$$

B. Μετακίνηση του τοίχου προς τα μέσα (δεξιά): *Έστω γωνία πρίσματος $\vartheta = 30^o$*



	Μέτρο	Διεύθυνση
W	344.76	κατακόρυφη
C	50	$\vartheta = 30^o$ από την οριζόντια
F	?	$90-\varphi-\vartheta = 30^o$ από την οριζόντια
Q	177.6	κατακόρυφη
P_p	?	$\delta = 15^o$ από την οριζόντια

Μέθοδος Α: Ισορροπία δυνάμεων

κατά x: $\Sigma F_x = 0 \rightarrow P_p \cdot \cos\delta - F\cdot\cos(90-\varphi-\vartheta) - C\cdot\cos\vartheta = 0 \rightarrow$

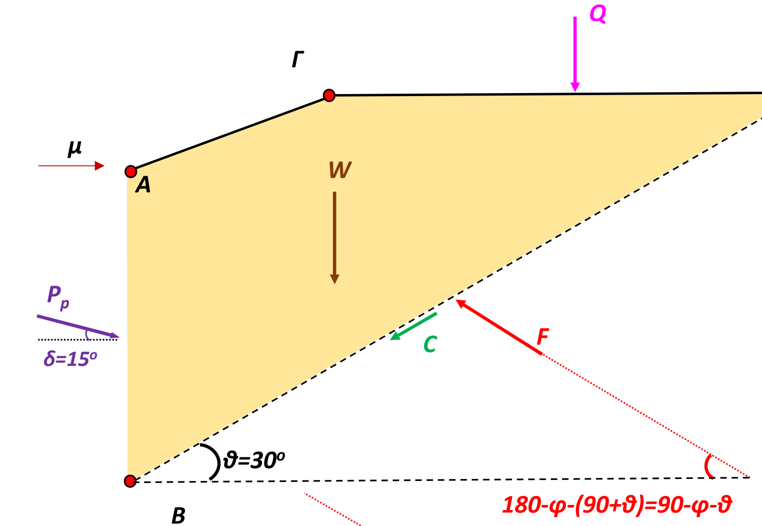
$$P_p \cdot \cos 15^o - F\cdot\cos(90-30^o-30^o) - 50\cdot\cos 30 = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow P_p \cdot \sin\delta - F\cdot\sin(90-\varphi-\vartheta) + C\cdot\sin\vartheta + Q + W = 0 \rightarrow$$

$$P_p \cdot \sin 15^o - F\cdot\sin(90^o-30^o-30^o) + 50\cdot\sin 30^o + 177.6 + 344.76 = 0 \quad (2)$$

Από (1) & (2) $\rightarrow$ $P_p = 1913.34 \dfrac{kN}{m}$

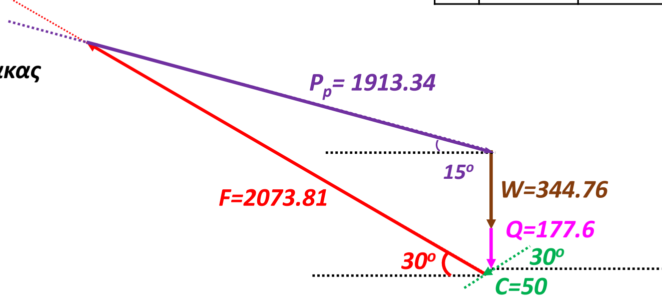
B. Μετακίνηση του τοίχου προς τα μέσα (δεξιά): *Έστω γωνία πρίσματος $\vartheta = 30^o$*



	Μέτρο	Διεύθυνση
W	344.76	κατακόρυφη
C	50	$\vartheta = 30^o$ από την οριζόντια
F	?	$90-\varphi-\vartheta = 30^o$ από την οριζόντια
Q	177.6	κατακόρυφη
P_p	?	$\delta = 15^o$ από την οριζόντια

Μέθοδος Β: Δυναμοπολύγωνο

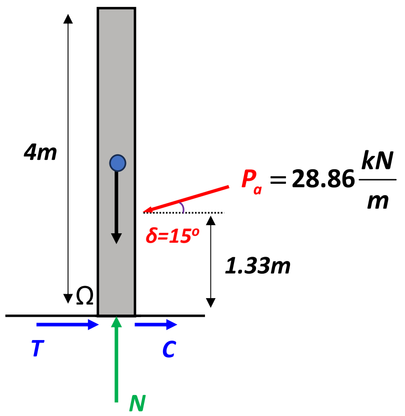
ΠΡΟΣΟΧΗ!! Ίδια κλίμακα, χάρακας + μοιρογνωμόνιο



Γ. Σχεδιασμός τοίχου: Παραδοχή για τη (συνήθη) βάση του τοίχου: $\varphi_b = 0.8\varphi = 24^o$ & $c_b = 0.8c = 4kPa$

Παραδοχή για το ύψος εφαρμογής της P_a στο H/3 = 1.33m

Μέτρο της P_a από ερώτημα (α)



$W_\tau = \gamma_\tau \cdot B \cdot H = 25 \cdot B \cdot 4 = 100 \cdot B$

$N = W_\tau + P_\alpha \cdot \sin\delta = 100 \cdot B + 7.47$

$T = N \cdot \tan\varphi_b = (100 \cdot B + 7.47) \cdot \tan 24^o = 44.52 \cdot B + 3.33$

$C = c_b \cdot B = 4 \cdot B$

Έλεγχος ολίσθησης:

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{T + C}{P_a \cos\delta} = \frac{48.52 \cdot B + 3.33}{27.88} \geq 1.3$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 ⟶ ***B ≥ 0.68m***

Έλεγχος ανατροπής: *Σημείο περιστροφής Ω*

$$FS_{ανατροπής} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

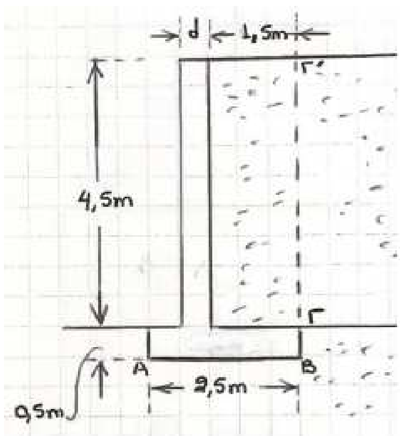
$$FS_{ανατροπής} = \frac{W_\tau \cdot (B/2)}{P_a \cdot \cos\delta \cdot (1.33) - P_a \cdot \sin\delta \cdot B} = \frac{100 \cdot B^2 / 2}{37.08 - 7.47 \cdot B} \geq 1.5$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 ⟶ ***B ≥ 0.95m***

Άρα τελικώς B ≥ 0.95m

3.5 Ζητείται να ελεγχθεί η ευστάθεια του τοίχου αντιστηρίξεως οπλισμένου σκυροδέματος με πέλμα του Σχήματος 5, με την απλοποιητική παραδοχή ότι στην επιφάνεια ΓΓ΄ αναπτύσσεται ενεργητική ώθηση σύμφωνα με τη θεωρία Rankine. Το αντιστηριζόμενο έδαφος είναι άμμος με γ=18 kN/m^3, φ= 35°, ενώ το πάχος κορμού του τοίχου, d (που γενικώς υπολογίζεται βάση της καμπτικής επάρκειας), ας επιλεγεί κατ' εκτίμηση.

Παραδοχή: έστω d = 0.5 m



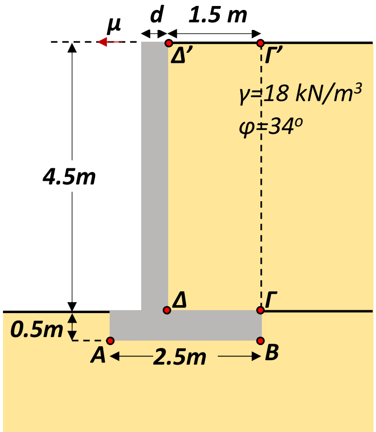
Σχ.5

Rankine -> λείος & κατακόρυφος τοίχος
-> οριζόντιες ωθήσεις

Βάση του τοίχου -> ΠΟΤΕ λεία
δ = (2/3 – 1.0)φ

Αν πολύ τραχεία βάση: δ=φ

Αν δεν αναφέρεται πολύ τραχεία βάση, τότε δ < φ. Εδώ δ = 2/3φ (συντηρητικά)

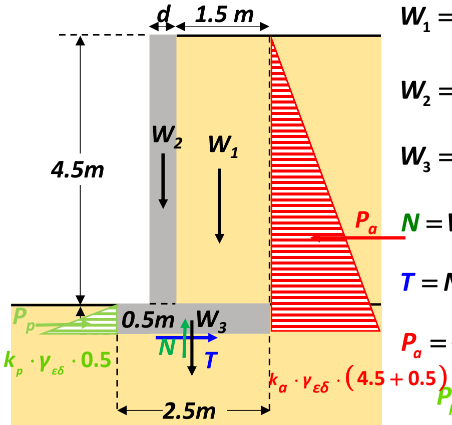


Η περιοχή του εδάφους ΓΓ'Δ'Δ λειτουργεί σαν «τμήμα της αντιστήριξης» $\longrightarrow$ Αν ο τοίχος πάει να ολισθήσει ή να ανατραπεί, θα την συμπαρασύρει

Παραδοχή: έστω d = 0.5 m

<u>Ωθήσεις κατά RANKINE</u> (από εκφώνηση)

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?



$$W_1 = \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot 1.5 \cdot 4.5 = 18 \cdot 1.5 \cdot 4.5 = 121.5\,\frac{kN}{m}$$

$$W_2 = \gamma_\tau \cdot 0.5 \cdot 4.5 = 25 \cdot 0.5 \cdot 4.5 = 56.25\,\frac{kN}{m}$$

$$W_3 = \gamma_\tau \cdot 0.5 \cdot 2.5 = 25 \cdot 0.5 \cdot 2.5 = 31.25\,\frac{kN}{m}$$

$$N = W_1 + W_2 + W_3 = 121.5 + 56.25 + 31.25 = 209\,\frac{kN}{m}$$

$$T = N \cdot \tan\delta = 209 \cdot \tan\left(\frac{2}{3}35^o\right) = 90.15\,\frac{kN}{m}$$

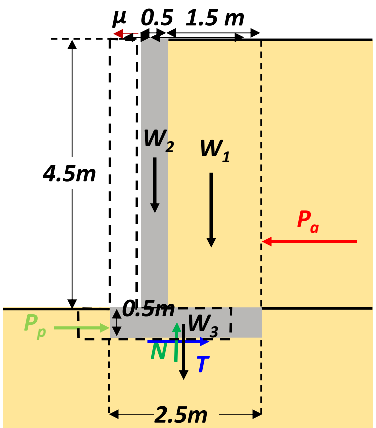
$$P_a = \frac{1}{2} \cdot k_a \cdot \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot (4.5+0.5)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.271 \cdot 18 \cdot (4.5+0.5)^2 = 60.98\,\frac{kN}{m}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot k_p \cdot \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot 0.5^2 = \frac{1}{2} \cdot 3.69 \cdot 18 \cdot 0.5^2 = 8.3\,\frac{kN}{m}$$

$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 - \frac{35}{2}\right) = 0.271$$

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{35}{2}\right) = 3.69$$

Παραδοχή: $\delta = \frac{2}{3} \cdot \varphi$



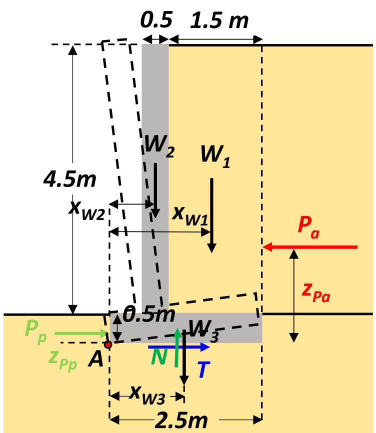
<u>Έλεγχος ολίσθησης:</u>

$$FS_{\text{ολίσθησης}} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \longrightarrow$$

$$FS_{\text{ολίσθησης}} = \frac{T + \frac{P_p}{f}}{P_a} = \frac{90.15 + \frac{8.3}{2}}{60.75} = 1.55$$

Παραδοχή: $f = 2$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 $\longrightarrow$ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ



<u>Έλεγχος ανατροπής:</u>

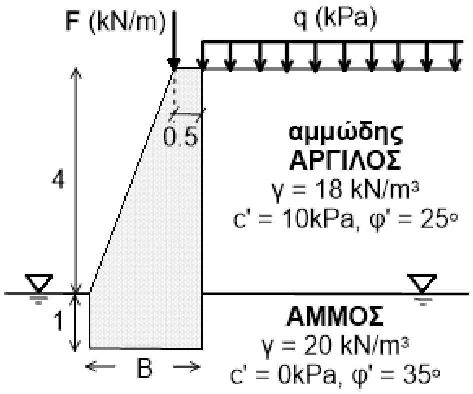
Σημείο περιστροφής A

$$FS_{\text{ανατροπής}} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \longrightarrow$$

$$FS_{\text{ανατροπής}} = \frac{W_1 \cdot x_{W1} + W_2 \cdot x_{W2} + W_3 \cdot x_{W3} + \frac{P_p}{f} \cdot z_{P_p}}{P_a \cdot z_{P_a}} = \frac{121.5 \cdot 1.75 + 56.25 \cdot 0.75 + 31.25 \cdot 1.25 + \frac{8.3}{2} \cdot \frac{0.5}{3}}{60.98 \cdot \frac{(4.5+0.5)}{3}} = 2.90$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 $\longrightarrow$ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Επιπλέον Άσκηση



Ο λείος κατακόρυφος τοίχος βαρύτητας του σχήματος από ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα (γ_b = 24kN/m³) αντιστηρίζει οριζόντια στρώση ξηρής αμμώδους αργίλου πάχους 4m και θεμελιώνεται εντός κορεσμένης άμμου (σε βάθος 1m). Το αντιστηριζόμενο έδαφος επιφορτίζεται ομοιόμορφα με **q = 20kPa**, ενώ ο τοίχος δέχεται κατακόρυφο φορτίο **F = 20 kN/m** (όπως φαίνεται στο σχήμα). Τα χαρακτηριστικά των εδαφών δίνονται στο σχήμα. Η Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα βρίσκεται στην οριζόντια διεπιφάνεια της αργίλου με την άμμο.

Ποια είναι τα «σημαντικά» σημεία που εκτιμώνται οι ωθήσεις κατά Rankine?

<u>Να εκτιμηθούν</u>:

(α) Η κατανομή οριζοντίων ενεργών ωθήσεων γαιών (κατά Rankine) και πιέσεων νερού στις κατακόρυφες παρειές του τοίχου.

(β) Να γίνει εκτίμηση του αναγκαίου πλάτους B του τοίχου ώστε να επιτυγχάνονται τιμές Συντελεστών Ασφαλείας του τοίχου έναντι ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ και ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ίσοι με 1.3 και 1.5, αντίστοιχα.

(γ) Σε περίπτωση μακράς ξηρασίας, η στάθμη υδροφόρου ορίζοντα υποβιβάζεται κατά 1m. Αυτή η μεταβολή επηρεάζει την ασφάλεια του τοίχου, και αν ναι, θετικά ή αρνητικά και γιατί;

<u>**Σημειώσεις:**</u>

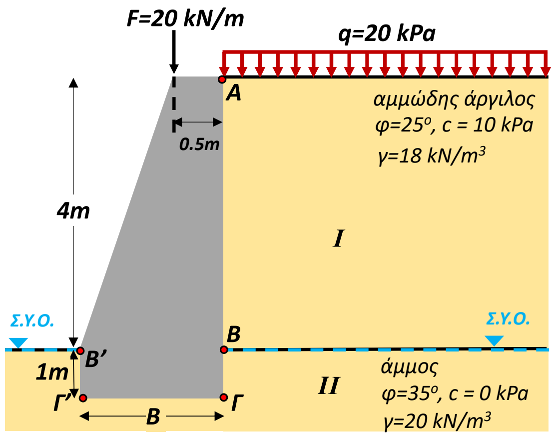
- Κατά Rankine ισχύει: $\sigma'_{ha} = K_a\, \sigma'_{vo} - 2c'(K_a)^{0.5}$ & $\sigma'_{hp} = K_p\, \sigma'_{vo} + 2c'(K_p)^{0.5}$,
  όπου $K_a = (1-\sin\phi')/(1+\sin\phi')$ & $K_p = 1/K_a$.
- Αν υπάρχουν ενεργές παθητικές ωθήσεις, να θεωρηθούν με ένα μειωτικό συντελεστή f = 3, χάριν ασφαλείας. Για το **(γ)** ενδεικτικοί υπολογισμοί, αλλά με <u>πλήρη</u> αιτιολόγηση, αρκούν.

Αν Rankine -> λείος & κατακόρυφος τοίχος -> οριζόντιες ωθήσεις

Βάση του τοίχου -> ΠΟΤΕ λεία
δ = (2/3 – 1.0)φ

Αν πολύ τραχεία βάση: δ=φ

Αν δεν αναφέρεται πολύ τραχεία βάση, τότε δ < φ. Εδώ δ = 0.8φ (μέση τιμή)



$$k_{a,I} = \tan^2\left(45 - \frac{25}{2}\right) = 0.406$$

$$k_{a,II} = \tan^2\left(45 - \frac{35}{2}\right) = 0.271$$

$$k_{p,II} = \tan^2\left(45 + \frac{35}{2}\right) = 3.69$$

<u>Ωθήσεις γαιών</u> (κατά Rankine)

<u>*Σημείο A:*</u>

$$\sigma_v = q = 20kPa$$
$$u = 0kPa$$
$$\sigma'_v = 20 - 0 = 20kPa$$
$$\sigma'_{h,a} = k_{a,I}\cdot\sigma'_v - 2\cdot c\sqrt{k_{a,I}} =$$
$$0.406\cdot 20 - 2\cdot 10\sqrt{0.406} = -4.62kPa$$

<u>*Σημείο B^πάνω:*</u>

$$\sigma_v = q + 4\cdot 18 = 92kPa$$
$$u = 0kPa$$
$$\sigma'_v = 92 - 0 = 92kPa$$
$$\sigma'_{h,a} = k_{a,I}\cdot\sigma'_v - 2\cdot c\sqrt{k_{a,I}} =$$
$$0.406\cdot 92 - 2\cdot 10\sqrt{0.406} = 24.6kPa$$

<u>*Σημείο B^κάτω:*</u>

$$\sigma_v = q + 4\cdot 18 = 92kPa$$
$$u = 0kPa$$
$$\sigma'_v = 92 - 0 = 92kPa$$
$$\sigma'_{h,a} = k_{a,II}\cdot\sigma'_v - 2\cdot c\sqrt{k_{a,II}} =$$
$$0.271\cdot 92 - 2\cdot 0\cdot\sqrt{0.271} = 24.93kPa$$

<u>*Σημείο Γ:*</u>

$$\sigma_v = q + 4\cdot 18 + 1\cdot 20 = 112kPa$$
$$u = 1\cdot 10 = 10kPa$$
$$\sigma'_v = 112 - 10 = 102kPa$$
$$\sigma'_{h,a} = k_{a,II}\cdot\sigma'_v - 2\cdot c\sqrt{k_{a,II}} =$$
$$0.271\cdot 102 - 2\cdot 0\cdot\sqrt{0.271} = 27.64kPa$$

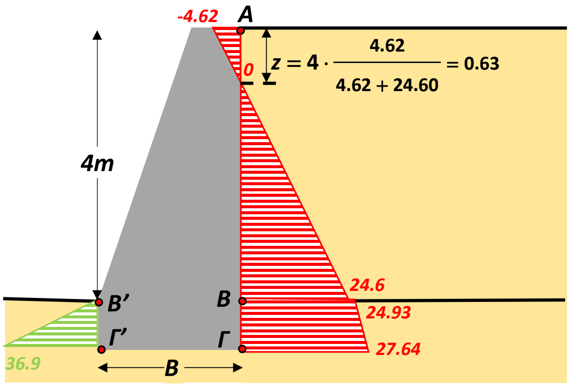
<u>*Σημείο Γ':*</u>

$$\sigma_v = 1\cdot 20 = 20kPa$$
$$u = 1\cdot 10 = 10kPa$$
$$\sigma'_v = 20 - 10 = 10kPa$$
$$\sigma'_{h,a} = k_{p,II}\cdot\sigma'_v = 3.96\cdot 10 = 36.9kPa$$

<u>*Σημείο B':*</u>

$$\sigma_v = 0kPa$$
$$u = 0kPa$$
$$\sigma'_v = 0kPa$$
$$\sigma'_{h,a} = 0kPa$$

Ωθήσεις γαιών (κατά Rankine)



Σημείο Α:

$\sigma_v = q = 20kPa$

$u = 0kPa$

$\sigma'_v = 20 - 0 = 20kPa$

$\sigma'_{h,a} = k_{a,I} \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c \sqrt{k_{a,I}} =$

$0.406 \cdot 20 - 2 \cdot 10\sqrt{0.406} = -4.62kPa$

Σημείο Β^{πάνω}:

$\sigma_v = q + 4 \cdot 18 = 92kPa$

$u = 0kPa$

$\sigma'_v = 92 - 0 = 92kPa$

$\sigma'_{h,a} = k_{a,I} \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c \sqrt{k_{a,I}} =$

$0.406 \cdot 92 - 2 \cdot 10\sqrt{0.406} = 24.6kPa$

Σημείο Β^{κάτω}:

$\sigma_v = q + 4 \cdot 18 = 92kPa$

$u = 0kPa$

$\sigma'_v = 92 - 0 = 92kPa$

$\sigma'_{h,a} = k_{a,II} \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c \sqrt{k_{a,II}} =$

$0.271 \cdot 92 - 2 \cdot 0 \cdot \sqrt{0.271} = 24.93kPa$

Σημείο Γ:

$\sigma_v = q + 4 \cdot 18 + 1 \cdot 20 = 112kPa$

$u = 1 \cdot 10 = 10kPa$

$\sigma'_v = 112 - 10 = 102kPa$

$\sigma'_{h,a} = k_{a,II} \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c \sqrt{k_{a,II}} =$

$0.271 \cdot 102 - 2 \cdot 0 \cdot \sqrt{0.271} = 27.64kPa$

Σημείο Γ':

$\sigma_v = 1 \cdot 20 = 20kPa$

$u = 1 \cdot 10 = 10kPa$

$\sigma'_v = 20 - 10 = 10kPa$

$\sigma'_{h,a} = k_{p,II} \cdot \sigma'_v = 3.96 \cdot 10 = 36.9kPa$

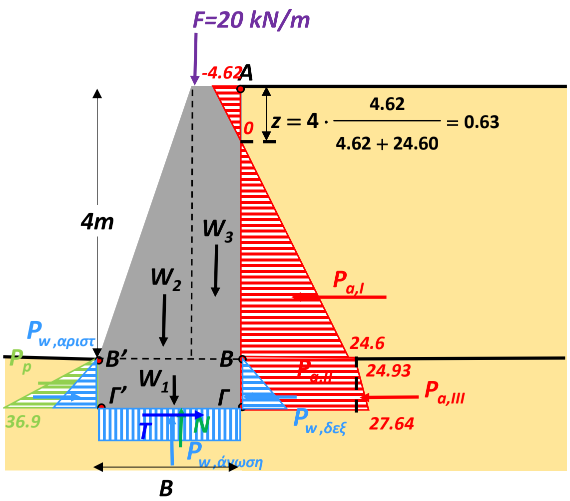
Σημείο Β':

$\sigma_v = 0kPa$

$u = 0kPa$

$\sigma'_v = 0kPa$

$\sigma'_{h,a} = 0kPa$



Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

$P_{a,I} = \frac{1}{2} \cdot 24.6 \cdot (4 - 0.63)^2 = 41.42 \frac{kN}{m}$

$P_{a,II} = 24.93 \cdot 1 = 24.93 \frac{kN}{m}$

$P_{a,III} = \frac{1}{2} \cdot (27.64 - 24.93) \cdot 1 = 1.36 \frac{kN}{m}$

$P_p = \frac{1}{2} \cdot 36.9 \cdot 1 = 18.45 \frac{kN}{m}$

$W_1 = \gamma_T \cdot B \cdot 1 = 24 \cdot B \cdot 1 = 24 \cdot B \frac{kN}{m}$

$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_T \cdot (B - 0.5) \cdot 4 = \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot (B - 0.5) \cdot 4 = 48 \cdot (B - 0.5) \frac{kN}{m}$

$W_3 = \gamma_T \cdot 0.5 \cdot 4 = 48 \frac{kN}{m}$

ΠΡΟΣΟΧΗ!! Η δύναμη που προκύπτει από τις εφελκυστικές ενεργητικές ωθήσεις, ΑΓΝΟΕΙΤΑΙ

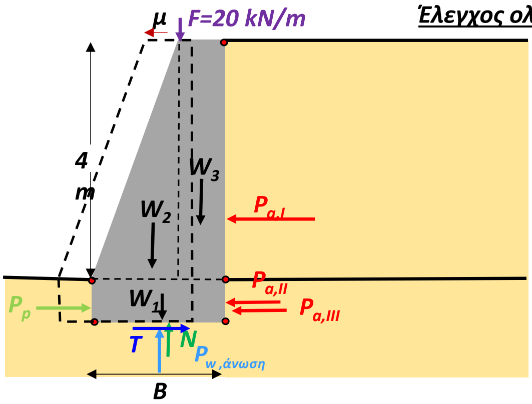
$P_{w,\delta\varepsilon\xi} = P_{w,\alpha\rho\iota\sigma\tau} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot 1 \cdot 1 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 5 \frac{kN}{m} \longrightarrow$ αλληλοαναιρούνται

$P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} = \gamma_w \cdot B \cdot 1 = 10 \cdot B \cdot 1 = 10 \cdot B \frac{kN}{m}$

$N = W_1 + W_2 + W_3 + F - P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} = 24 \cdot B + 48 \cdot (B - 0.5) + 48 + 20 - 10 \cdot B = (62 \cdot B + 44) \frac{kN}{m}$

Παραδοχή: $\delta = 0.8 \cdot \varphi$

$T = N \cdot \tan\delta = (62 \cdot B + 44) \cdot \tan(0.8 \cdot 35^o) = (62 \cdot B + 44) \cdot 0.532 \frac{kN}{m}$



Έλεγχος ολίσθησης:

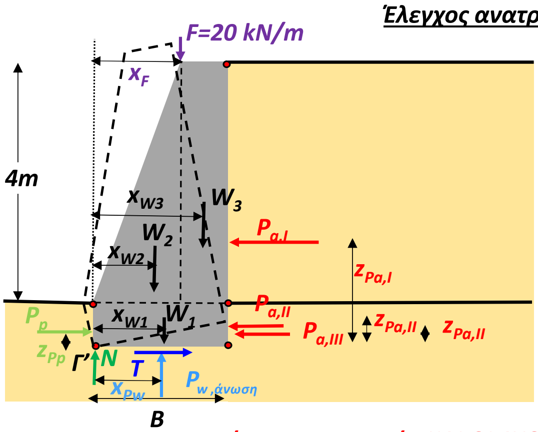
$$FS_{ολίσθησης}=\frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}}\longrightarrow$$

Παραδοχή: $f=3$

$$FS_{ολίσθησης}=\frac{T+\frac{P_p}{f}}{P_{a,I}+P_{a,II}+P_{a,III}}=\frac{(62\cdot B+44)\cdot 0.532+\frac{18.45}{3}}{41.42+24.93+1.36}=\frac{32.98\cdot B+29.56}{67.71}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

Άρα πρέπει: $FS_{ολίσθησης}\geq 1.3\rightarrow\frac{32.98\cdot B+29.56}{67.71}\geq 1.3\rightarrow B\geq 1.77m$



Έλεγχος ανατροπής: *Σημείο περιστροφής Γ'*

$$FS_{ανατροπής}=\frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}}\longrightarrow$$

$$FS_{ανατροπής}=\frac{W_1\cdot x_{W1}+W_2\cdot x_{W2}+W_3\cdot x_{W3}-P_{w,άνωση}\cdot x_{P_w}+F\cdot x_F+\frac{P_p}{f}\cdot z_{P_p}}{P_{a,I}\cdot z_{P_a,I}+P_{a,II}\cdot z_{P_a,II}+P_{a,III}\cdot z_{P_a,III}}=$$

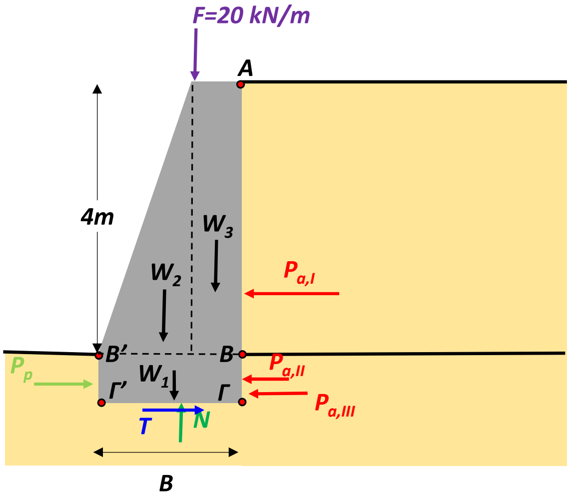
$$=\frac{24\cdot B\cdot\frac{B}{2}+48\cdot(B-0.5)\cdot\frac{2}{3}\cdot(B-0.5)+48\cdot(B-0.25)-10\cdot B\cdot\frac{B}{2}+20\cdot(B-0.5)+\frac{18.45}{3}\cdot\frac{1}{3}}{41.42\cdot 2.12+24.93\cdot 0.5+1.36\cdot 0.333}=$$

$$=\frac{39\cdot B^2+52\cdot B-19.95}{100.72}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.5

Άρα πρέπει: $FS_{ανατροπής}\geq 1.5\rightarrow\frac{39\cdot B^2+52\cdot B-19.95}{100.72}\geq 1.5\rightarrow B\geq 1.53m$

Πρέπει να επαρκούν ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΟ συντελεστές ασφαλείας: $\longrightarrow B\geq\max(1.77,1.53)=1.77m$



Η ***αύξηση*** *των* P_p *και* T*, σε συνδυασμό με το* ***μηδενισμό*** *της* $P_{w,άνωσης}$ *εχουν μεγαλύτερη επίδραση, απ' ότι η* ***μικρή αύξηση*** *της* $P_{a,III}$*. Επομένως, το κατέβασμα της στάθμης του Υ.Ο. είναι* ***συνολικά ευεργετικό για τον τοίχο.***

Αν κατέβει ο Υ.Ο.......

$P_{a,I}=41.42\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Δεν αλλάζει*

$P_{a,II}=24.93\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Δεν αλλάζει*

Αλλάζει η τάση στο Γ: $\sigma'_{h,a}=k_{a,II}\cdot\sigma'_v-2\cdot c\sqrt{k_{a,II}}=0.271\cdot 112-0=30.35kPa$

$P_{a,III}=\frac{1}{2}\cdot(30.35-24.93)\cdot 1=2.71\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Αυξάνεται* $\longrightarrow$ *επιζήμιο*

Αλλάζει η τάση στο Γ': $\sigma'_{h,a}=k_{p,II}\cdot\sigma'_v=3.96\cdot 20=79.2kPa$

$P_p=\frac{1}{2}\cdot 79.2\cdot 1=39.6\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Αυξάνεται* $\longrightarrow$ *ευεργετικό*

$W_1=24\cdot B\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Δεν αλλάζει*

$W_2=48\cdot(B-0.5)\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Δεν αλλάζει*

$W_3=\gamma_T\cdot 0.5\cdot 4=48\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Δεν αλλάζει*

$P_{w,άνωση}=0\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Μηδενίζεται* $\longrightarrow$ *ευεργετικό*

$F=20\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Δεν αλλάζει*

$N=W_1+W_2+W_3+F-P_{w,άνωση}=24\cdot B+48\cdot(B-0.5)+48+20-0=(72\cdot B+44)\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Αυξάνεται* $\longrightarrow$ *ευεργετικό*

$T=N\cdot\tan\delta=(72\cdot B+44)\cdot\tan(0.8\cdot 35^o)=(72\cdot B+44)\cdot 0.532\frac{kN}{m}\longrightarrow$ *Αυξάνεται* $\longrightarrow$ *ευεργετικό*