



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

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

Επιμέλεια:

Ταξιαρχούλα Λημναίου, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

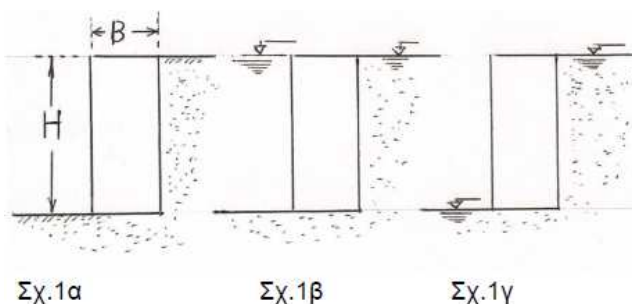
3.1 ^{κυψελωτός} Ορθογωνικός τοίχος αντιστηρίξεως ($\gamma_i = 20 \text{ kN/m}^3$) ύψους H και πλάτους B αντιστηρίζει έδαφος με $\phi = 35^\circ$, το οποίο εκτείνεται και κάτω από την βάση του τοίχου (Σχ. 1). Η παρειά του τοίχου θεωρείται ιδεωδώς λεία, ενώ η βάση του είναι τραχεία με γωνία συνάφειας με το έδαφος $\phi_b = 25^\circ$. Να υπολογισθεί το πλάτος B συναρτήσει του ύψους H (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 κρηπίδοτοιχος, Σχ.1β).

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

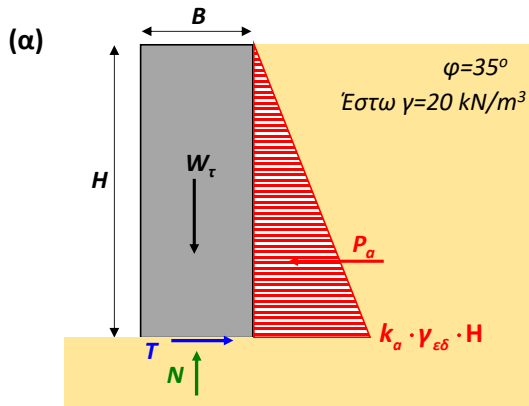
Να χρησιμοποιηθούν εύλογες τιμές για την πυκνότητα του εδάφους.



Βάση του τοίχου -> ΠΟΤΕ λεία
 $\phi_b = (0.67 - 1.0)\phi$

Αν πολύ τραχεία βάση: $\phi_b = \phi$
Συνήθους τιμή $\phi_b = 0.8\phi$

Εδώ δίνεται $\phi_b = 25^\circ (= 0.7\phi)$



RANKINE ή COULOMB?

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

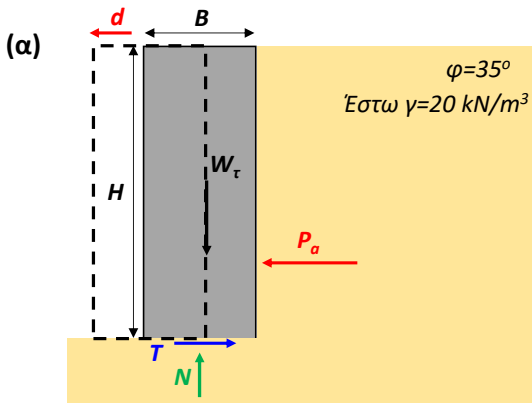
Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

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

$$N = W_{\tau} = 20 \cdot B \cdot H \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T = N \cdot \tan \varphi_b = 20 \cdot B \cdot H \cdot \tan 25^{\circ} = 9.33 \cdot B \cdot H \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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



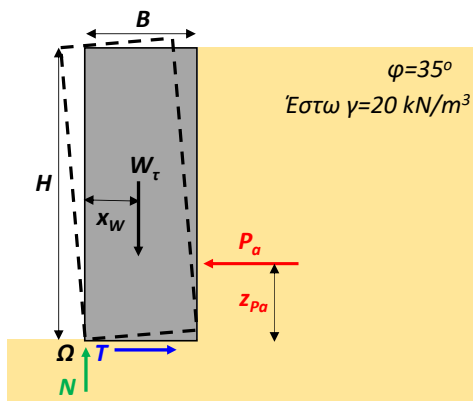
Έλεγχος ολίσθησης:

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

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

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



Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής Ω

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

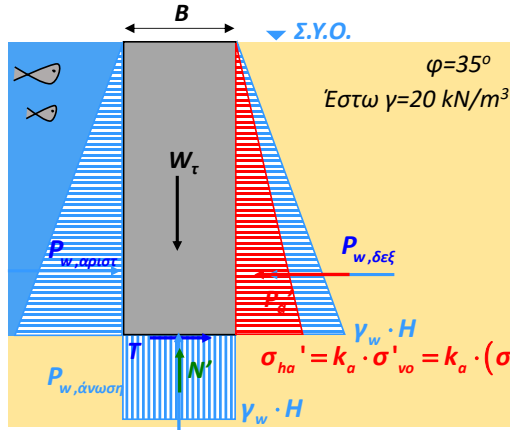
$$FS_{\text{ανατροπής}} = \frac{W_{\tau} \cdot x_W}{P_a \cdot z_{P_a}} = \frac{20 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2}}{2.71 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3}} = 11.07 \frac{B^2}{H^2}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5

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

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

(β)



RANKINE ή COULOMB?

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

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

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

$$P_{w, δεξ} = P_{w, αριστ} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H \cdot H = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot H^2 = 5 \cdot H^2 \rightarrow \text{αλληλοαναιρούνται}$$

$$P_{w, άνωση} = \gamma_w \cdot H \cdot B$$

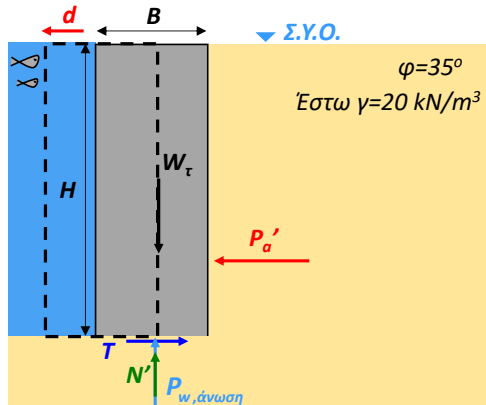
$$W_\tau = \gamma_\tau \cdot B \cdot H = 20 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$N' = W_\tau - P_{w, άνωση} = 20 \cdot B \cdot H - 10 \cdot B \cdot H = 10 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

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

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

(β)



Έλεγχος ολίσθησης:

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

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

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

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

Αν ο τοίχος δεν ήταν κυψελωτός (γ_τ=25kN/m³), θα προέκυπτε μικρότερος τοίχος γενικά:

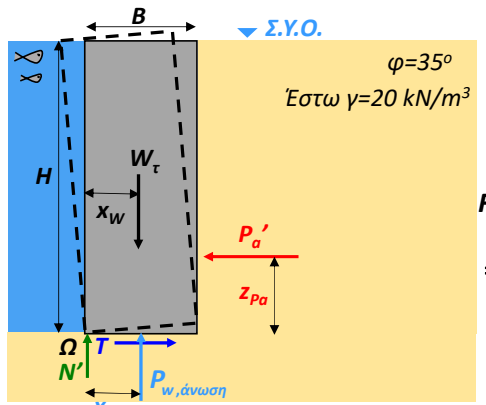
Υπό άνωση:

B=0.3H

Εν ξηρώ:

B=0.33H

< 0.38H



Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής Ω

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

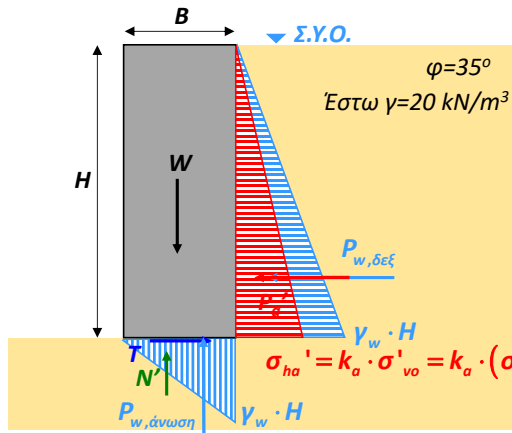
$$FS_{ανατροπής} = \frac{W_\tau \cdot x_W - P_{w, άνωση} \cdot x_{P_w}}{P_a' \cdot z_{Pa}} = \frac{20 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2} - 10 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2}}{1.36 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3}} = 11.02 \frac{B^2}{H^2}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5

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

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

(γ)



RANKINE ή COULOMB?

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

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

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.

$$P_{w,δεξ} = 5 \cdot H \cdot H = 5 \cdot H^2$$

$$P_{w,άνωση} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H \cdot B = 5 \cdot H \cdot B$$

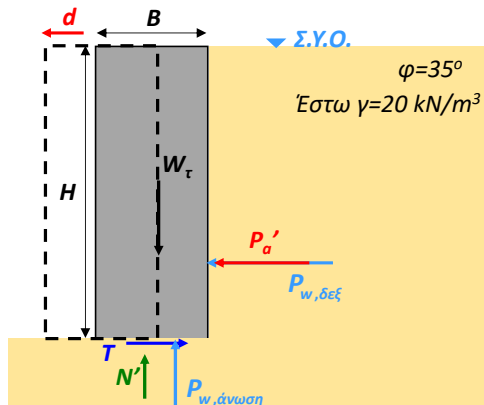
$$W_t = \gamma \cdot B \cdot H = 20 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

$$N' = W_t - P_{w,άνωση} = 20 \cdot B \cdot H - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot B \cdot H = 15 \cdot B \cdot H \frac{kN}{m}$$

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

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

(γ)



Έλεγχος ολίσθησης:

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

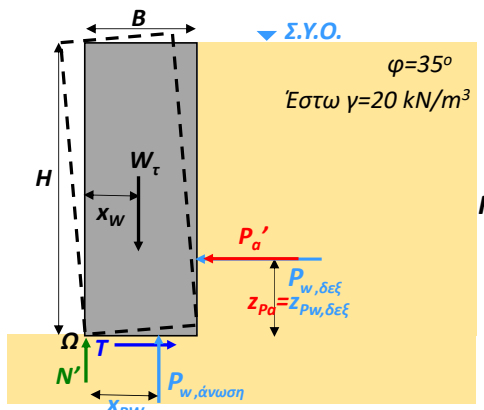
$$FS_{ολίσθησης} = \frac{T}{P_a' + P_{w,δεξ}} = \frac{6.99 \cdot B \cdot H}{1.36 \cdot H^2 + 5 \cdot H^2} = 1.1 \frac{B}{H}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

$$\text{Άρα πρέπει: } FS_{ολίσθησης} \geq 1.3 \rightarrow 1.1 \cdot \frac{B}{H} \geq 1.3 \rightarrow \frac{B}{H} \geq 1.18$$

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

$$B = 1.18H, \text{ έναντι } B = 0.38H$$



Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής Ω

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

$$FS_{ανατροπής} = \frac{W_t \cdot x_w - P_{w,άνωση} \cdot x_{P_w}}{P_a' \cdot z_{pa} + P_{w,δεξ} \cdot z_{P_w,δεξ}} = \frac{20 \cdot B \cdot H \cdot \frac{B}{2} - 5 \cdot B \cdot H \cdot \frac{2 \cdot B}{3}}{1.36 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3} + 5 \cdot H^2 \cdot \frac{H}{3}} = 3.14 \cdot \frac{B^2}{H^2}$$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5

$$\text{Άρα πρέπει: } FS_{ανατροπής} \geq 1.5 \rightarrow 3.14 \cdot \frac{B^2}{H^2} \geq 1.5 \rightarrow \frac{B}{H} \geq 0.69$$

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

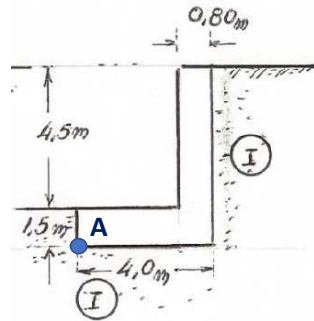
3.2 Ο τοίχος σκυροδέματος του Σχήματος 2 ($\gamma=25 \text{ kN/m}^3$) σχεδιάζεται, ώστε να αντιστηρίξει έδαφος με $\varphi=34^\circ$ και $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$. Ζητείται ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής (περί το A) και έναντι ολίσθησης υπό τις ακόλουθες τρεις συνθήκες:

α) Ο τοίχος δεν έχει κανέναν περιορισμό σε μετακίνηση. $d \rightarrow \infty$

β) Ο τοίχος δεν επιτρέπεται να μετακινηθεί περισσότερο από 1 cm στην κορυφή του. $d=1 \text{ cm}$ (προς τα «έξω»)

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 νωνία συνάφειας ϕ_b στην πολύ τραχεία βάση του θεμελίου του τοίχου είναι $\phi_b = \phi = 34^\circ$

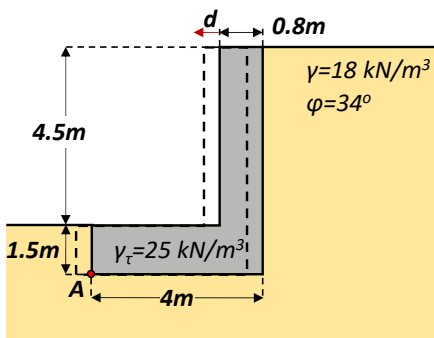


Σχ. 2

Βάση του τοίχου -> ΠΟΤΕ λεία
 $\phi_b = (0.67 - 1.0)\phi$

Αν πολύ τραχεία βάση: $\phi_b = \phi$
 Συνήθης τιμή $\phi_b = 0.8\phi$

Εδώ δίνεται: $\phi_b = \phi$



RANKINE ή COULOMB?

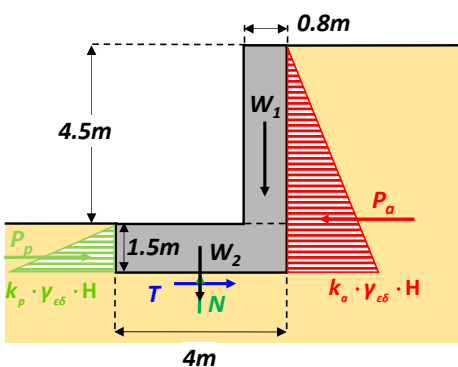
- λείος τοίχος στην παρειά \longrightarrow Rankine
- κατακόρυφος τοίχος \longrightarrow Rankine
- οριζόντια επιφάνεια \longrightarrow Rankine
- μηδενική φόρτιση \longrightarrow Rankine

Ο τοίχος δεν έχει κανέναν περιορισμό στη μετακίνηση: \longrightarrow Μετακινείται αρκετά έτσι ώστε:

A. να αναπτυχθεί ενεργητική ώθηση πίσω από τον τοίχο.

B. να αναπτυχθεί πλήρης παθητική ώθηση μπροστά από τον τοίχο.

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?



$$W_1 = \gamma_1 \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 25 \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$W_2 = \gamma_1 \cdot 1.5 \cdot 4 = 25 \cdot 1.5 \cdot 4 = 150 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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

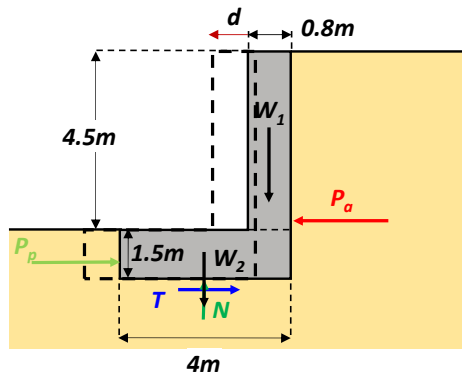
$$T = N \cdot \tan \phi_b = 240 \cdot \tan 34^\circ = 161.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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

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

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

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

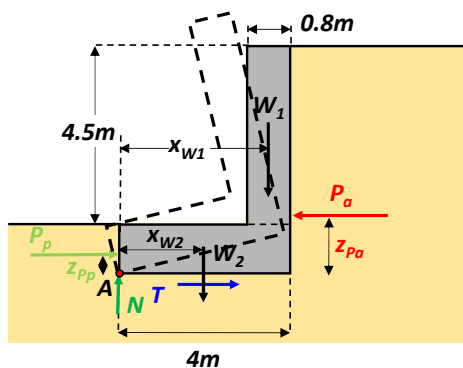


Έλεγχος ολίσθησης:

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

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 \rightarrow ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

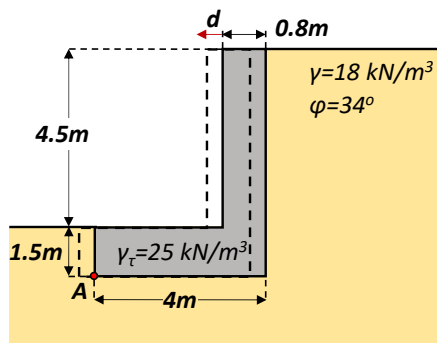


Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής A

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

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 \rightarrow ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ



RANKINE ή COULOMB?

- λείος τοίχος στην παρειά \rightarrow Rankine
- κατακόρυφος τοίχος \rightarrow Rankine
- οριζόντια επιφάνεια \rightarrow Rankine
- μηδενική φόρτιση \rightarrow Rankine

Ο τοίχος δεν επιτρέπεται να μετακινηθεί περισσότερο από 1 cm στην κορυφή του. \rightarrow Μετακινείται τόσο ώστε: $\epsilon_h \approx 0.01/6 \approx 0.17\%$

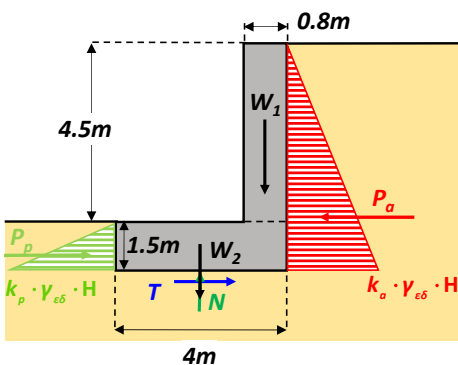
A. να αναπτυχθεί πλήρης ενεργητική ώθηση πίσω από τον τοίχο.

B. να αναπτυχθεί ένα μέρος της παθητικής ώθησης μπροστά από τον τοίχο. Έστω το 50% αυτής.

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

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

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



$$W_1 = \gamma_t \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 25 \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

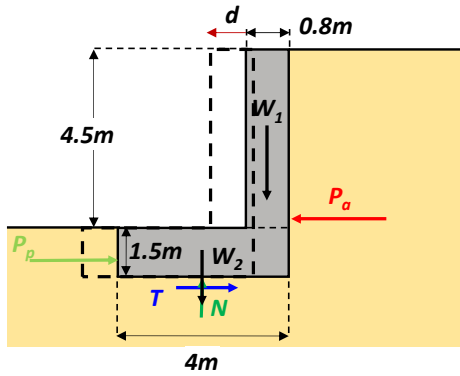
$$W_2 = \gamma_t \cdot 1.5 \cdot 4 = 25 \cdot 1.5 \cdot 4 = 150 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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

$$T = N \cdot \tan \varphi_b = 240 \cdot \tan 34^\circ = 161.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot k_o \cdot \gamma_{\epsilon\delta} \cdot (4.5 + 1.5)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.282 \cdot 18 \cdot (4.5 + 1.5)^2 = 91.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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



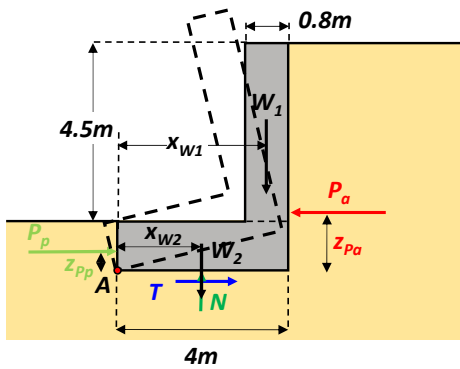
Έλεγχος ολίσθησης:

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

$$f = 2$$

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 → ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

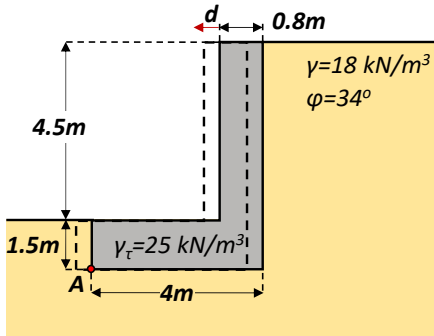


Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής A

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

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

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

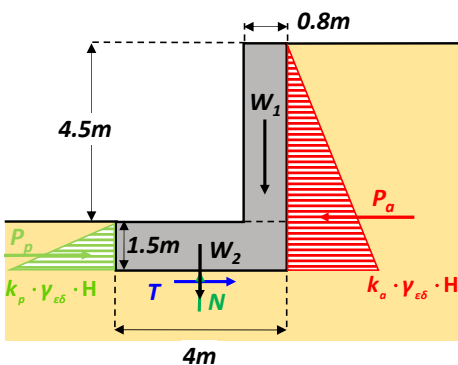
A. αναπτύσσεται πλήρης ενεργητική ώθηση πίσω από τον τοίχο.

B. αγνοείται πλήρως η παθητική ώθηση

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

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

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



$$W_1 = \gamma_t \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 25 \cdot 4.5 \cdot 0.8 = 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

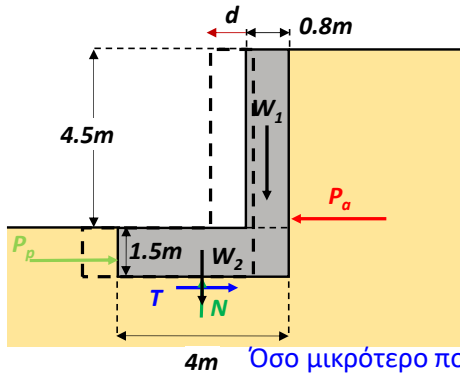
$$W_2 = \gamma_t \cdot 1.5 \cdot 4 = 25 \cdot 1.5 \cdot 4 = 150 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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

$$T = N \cdot \tan \varphi_b = 240 \cdot \tan 34^\circ = 161.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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

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



Έλεγχος ολίσθησης:

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

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

Η P_p αγνοείται ΠΛΗΡΩΣ

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 \rightarrow ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

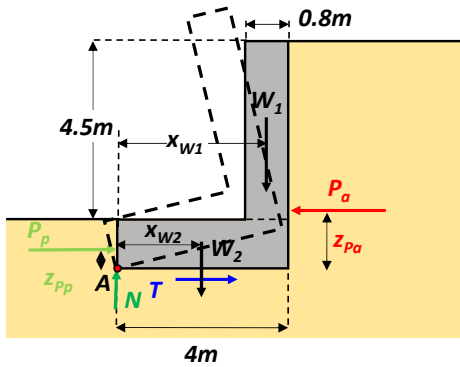
Όσο μικρότερο ποσοστό της P_p λαμβάνεται υπόψη \rightarrow τόσο μικρότεροι οι FS για δεδομένο μέγεθος τοίχου
 \rightarrow τόσο μεγαλύτερος ο τοίχος για δεδομένες τιμές FS
 \rightarrow τόσο πιο συντηρητικός ο σχεδιασμός

Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής A

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

$$FS_{ανατροπής} = \frac{W_1 \cdot x_{w1} + W_2 \cdot x_{w2} + 0 \cdot P_p \cdot z_{pp}}{P_a \cdot z_{pa}} = \frac{90 \cdot (4 - 0.4) + 150 \cdot \frac{4}{2} + 0 \cdot 71.69 \cdot \frac{1.5}{3}}{91.37 \cdot \frac{(4.5 + 1.5)}{3}} = 3.44$$

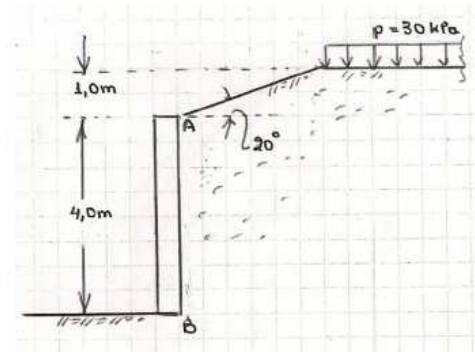
Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 \rightarrow ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ



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:

- Μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω (αριστερά).
- Μετακίνηση του τοίχου προς τα μέσα (δεξιά).

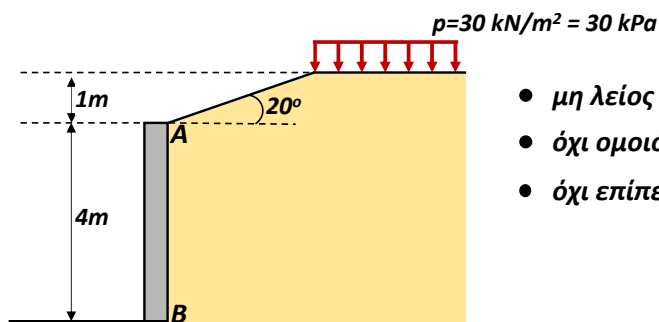
Δίδονται οι γεωτεχνικές παράμετροι του εδάφους: $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 30^\circ$, $c = 5 \text{ kPa}$, γωνία τριβής τοίχου-γαιών $\delta = 15^\circ$. ($\delta = 0.5\phi$ που αφορά στην κατακόρυφη παρειά)



γ) Επιπλέον ερώτημα:

Για την περίπτωση (α), να σχεδιαστεί ο τοίχος οπλισμένου σκυροδέματος ($\gamma_t = 25 \text{ kN/m}^3$)

Σχ.4



RANKINE ή COULOMB?

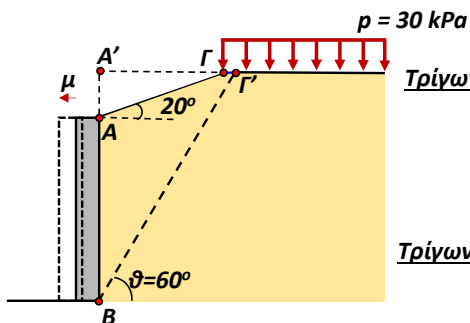
- μη λείος & κατακόρυφος τοίχος → **Coulomb**
- όχι ομοιόμορφη φόρτιση → **Coulomb**
- όχι επίπεδη επιφάνεια → **Coulomb**

Μέθοδος **Coulomb**: υπόθεση ενός πρίσματος αστοχίας → μελέτη οριακής ισορροπίας του πρίσματος

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

Έστω γωνία πρίσματος $\vartheta = 60^\circ (= 45 + \varphi/2)$

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



Τρίγωνο BA'Γ': $\tan(90^\circ - 60^\circ) = \frac{A'G'}{BA'} \rightarrow A'G' = \tan(30^\circ) \cdot BA' \rightarrow$

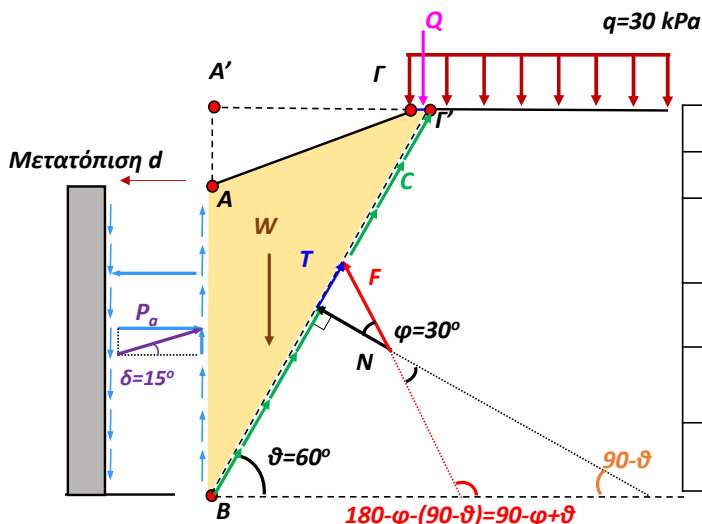
$A'G' = \tan(30^\circ) \cdot (4 + 1) = 2.87m$

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

Τρίγωνο AA'Γ': $\tan 20^\circ = \frac{AA'}{A'G'} \rightarrow A'G' = \frac{AA'}{\tan 20^\circ} \rightarrow A'G' = \frac{1}{\tan 20^\circ} = 2.74m$

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

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



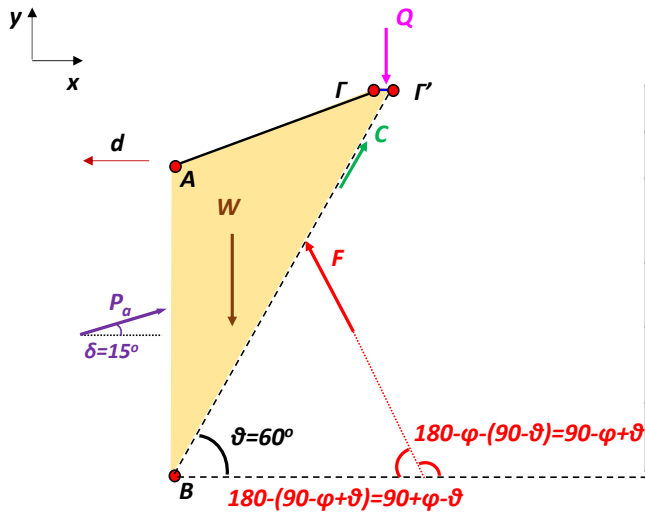
	Μέτρο	Διεύθυνση
W	$\gamma \cdot (ABG'G)$	κατακόρυφη
C	$c \cdot BG'$	$\vartheta = 60^\circ$ από την οριζόντια
Q	$q \cdot \Gamma\Gamma'$	κατακόρυφη
F	?	$90 - \varphi + \vartheta = 120^\circ$ από την οριζόντια
P_a	?	$\delta = 15^\circ$ από την οριζόντια

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

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

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

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



	Μέτρο	Διεύθυνση
W	$\gamma \cdot (\text{ΑΒΓ}'\Gamma)$	κατακόρυφη
C	$c \cdot \text{ΒΓ}'$	$\vartheta = 60^\circ$ από την οριζόντια
Q	$q \cdot \Gamma\Gamma'$	κατακόρυφη
F	?	$90 - \varphi + \vartheta = 120^\circ$ από την οριζόντια
P_a	?	$\delta = 15^\circ$ από την οριζόντια

Μέθοδος Α: Ισορροπία δυνάμεων

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

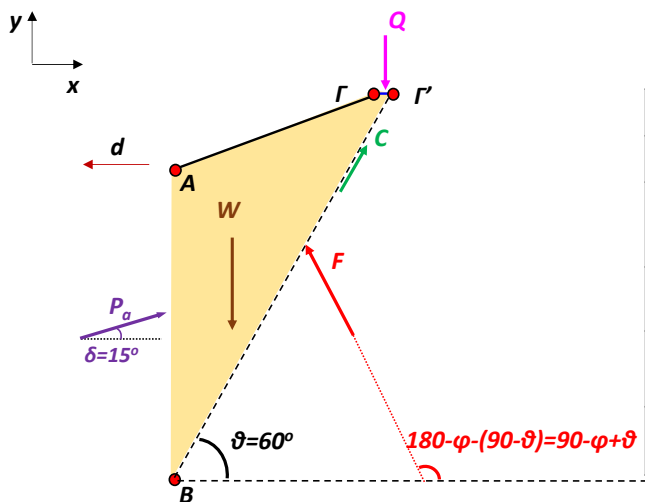
$$P_a \cdot \cos 15^\circ - F \cdot \cos(90 + 30^\circ - 60^\circ) + 28.85 \cdot \cos 60^\circ = 0 \quad (1)$$

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

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

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

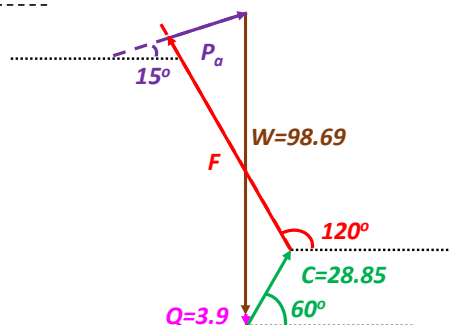
A. Μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω (αριστερά): Έστω γωνία πρίσματος $\vartheta = 60^\circ$



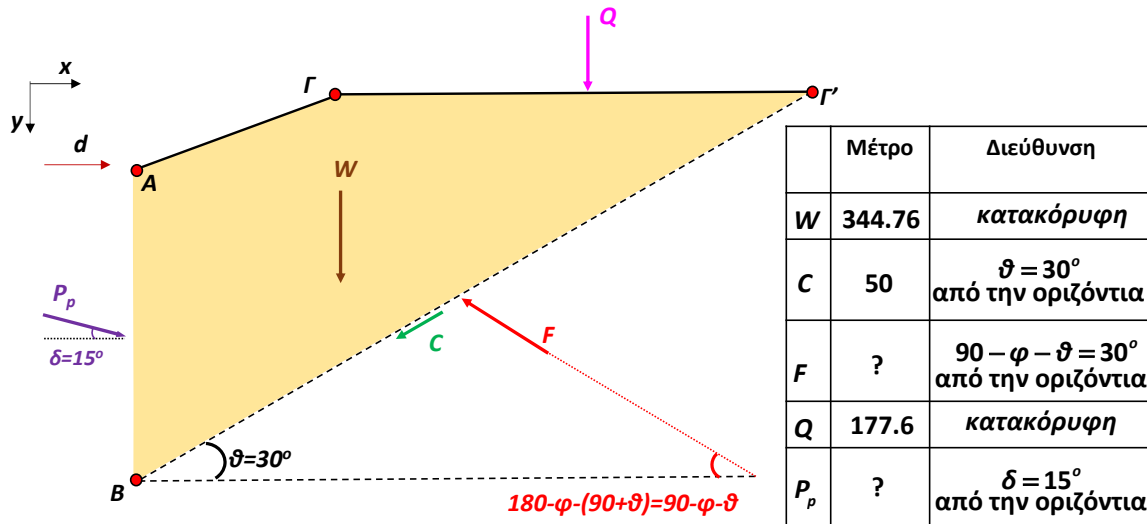
	Μέτρο	Διεύθυνση
W	$\gamma \cdot (\text{ΑΒΓ}'\Gamma)$	κατακόρυφη
C	$c \cdot \text{ΒΓ}'$	$\vartheta = 60^\circ$ από την οριζόντια
Q	$q \cdot \Gamma\Gamma'$	κατακόρυφη
F	?	$90 - \varphi + \vartheta = 120^\circ$ από την οριζόντια
P_a	?	$\delta = 15^\circ$ από την οριζόντια

Μέθοδος Β: Δυναμοπολύγωνο

ΠΡΟΣΟΧΗ!! Ίδια κλίμακα, χάρακας + μοιρογνωμόνιο



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



Μέθοδος Α: Ισορροπία δυνάμεων

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

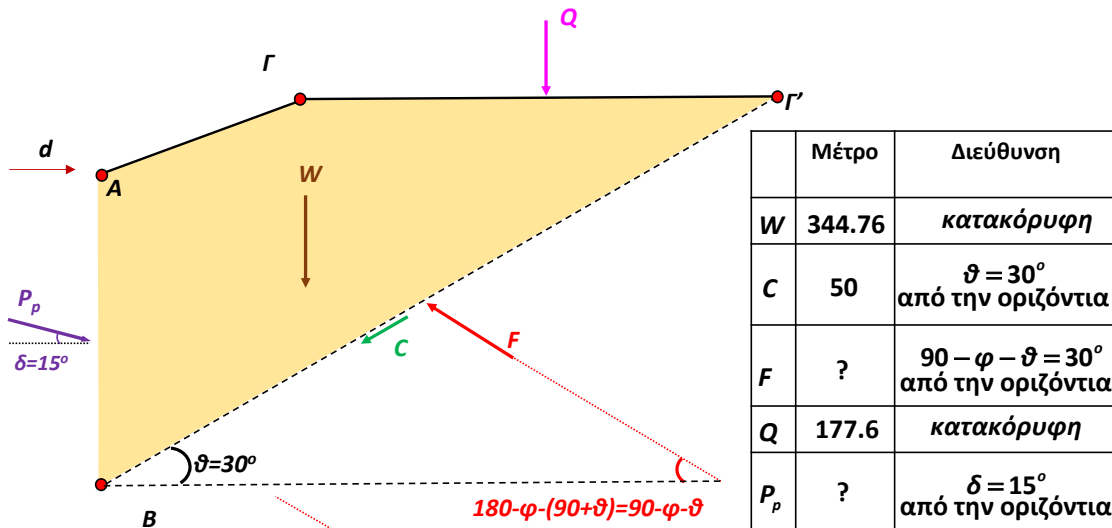
$$P_p \cdot \cos 15^\circ - F \cdot \cos(90 - 30^\circ - 30^\circ) - 50 \cdot \cos 30^\circ = 0 \quad (1)$$

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

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

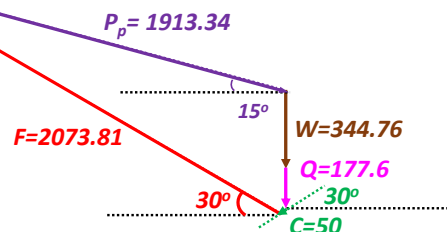
Από (1) & (2) $\rightarrow P_p = 1913.34 \frac{kN}{m}$

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

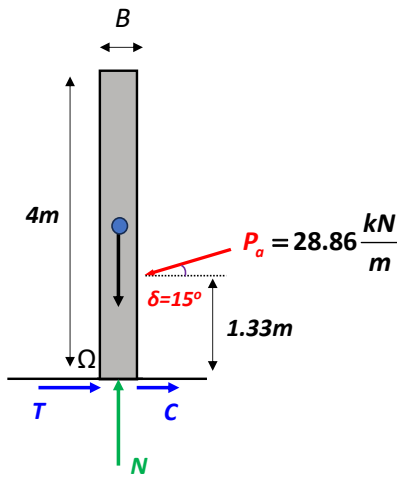


Μέθοδος Β: Δυναμοπολύγωνο

ΠΡΟΣΟΧΗ!! Ίδια κλίμακα, χάρακας + μοιρογνωμόνιο



Γ. Σχεδιασμός τοίχου: Παραδοχή για τη (συνήθη) βάση του τοίχου: $\phi_b = 0.8\phi = 24^\circ$ & $c_b = 0.8c = 4\text{kPa}$
 Παραδοχή για το ύψος εφαρμογής της P_a στο $H/3 = 1.33\text{m}$
 Μέτρο της $P_a = 28.86\text{ kN/m}$ από ερώτημα (α)



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

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

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

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

Έλεγχος ολίσθησης:

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

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 $\rightarrow B \geq 0.68\text{m}$

Στον έλεγχο ανατροπής:
 Η δύναμη N διέρχεται από το Ω

Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής Ω

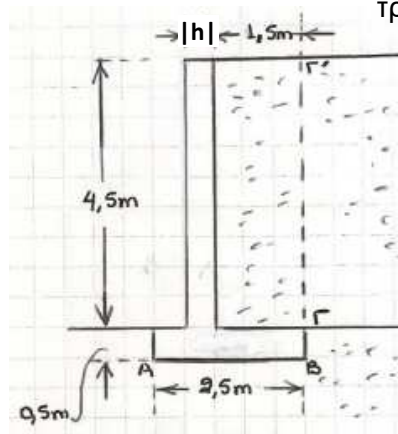
$$FS_{ανατροπής} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \rightarrow$$

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 $\rightarrow B \geq 0.95\text{m}$

Άρα τελικώς: $B \geq 0.95\text{m}$

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 $\gamma = 18\text{ kN/m}^3$, $\phi = 35^\circ$, ενώ το πάχος κορμού του τοίχου, h (που γενικώς υπολογίζεται βάση της καμπτικής επάρκειας), ας επιλεγεί κατ' εκτίμηση. Να γίνει συντηρητική εκτίμηση της τραχύτητας της βάσης του τοίχου.



Rankine \rightarrow λείος & κατακόρυφος τοίχος
 \rightarrow οριζόντιες ωθήσεις

Βάση του τοίχου \rightarrow ΠΟΤΕ λεία $\phi_b = (0.67 - 1.0)\phi$

Αν πολύ τραχεία βάση: $\phi_b = \phi$

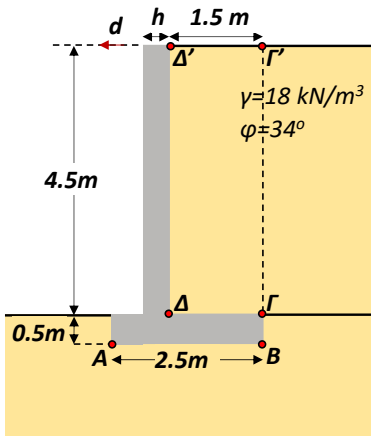
Συνήθης τιμή $\phi_b = 0.8\phi$

Αν δεν αναφέρεται πολύ τραχεία βάση $\rightarrow \phi_b < \phi$

Παραδοχή: έστω $h = 0.5\text{ m}$

Σχ.5

Εδώ $\phi_b = 2/3\phi$ (ζητείται συντηρητικότητα)



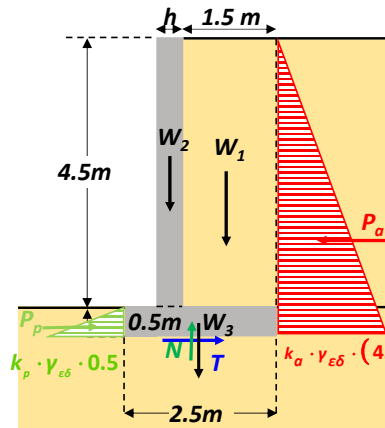
Η περιοχή του εδάφους ΓΓ'Δ'Δ λειτουργεί σαν «τμήμα της αντιστήριξης» →

Αν ο τοίχος πάει να ολισθήσει ή να ανατραπεί, θα την συμπαράσχει

Παραδοχή: έστω $h = 0.5 \text{ m}$

Ωθήσεις κατά RANKINE (από εκφώνηση)

Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?



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

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

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

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

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

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

$$T = N \cdot \tan \varphi_b = 209 \cdot \tan \left(\frac{2}{3} \cdot 35^\circ \right) = 90.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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

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

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

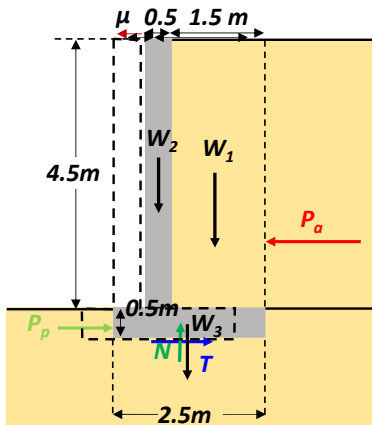
Έλεγχος ολίσθησης:

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

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

Παραδοχή: $f = 2$

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3 → ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

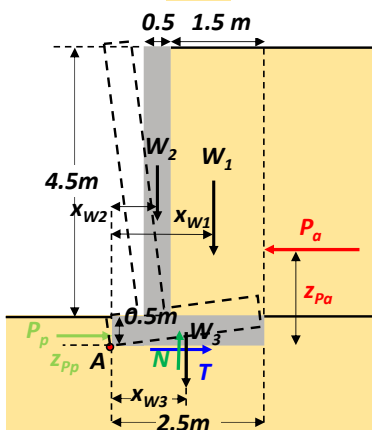


Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής A

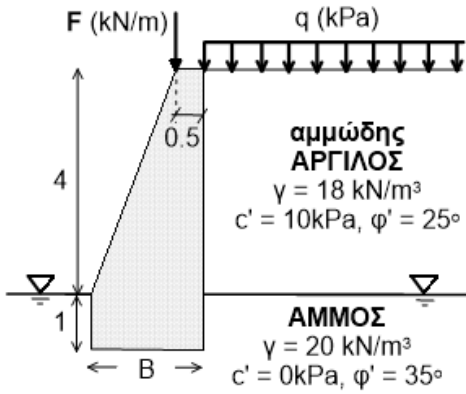
$$FS_{\text{ανατροπής}} = \frac{\text{Ροπές που αντιστέκονται στην ανατροπή}}{\text{Ροπές που βοηθούν στην ανατροπή}} \rightarrow$$

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής = 1.5 → ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ



Επιπλέον Άσκηση



Ο λείος κατακόρυφος τοίχος βαρύτητας του σχήματος από ελαφρώς σπλισμένο σκυρόδεμα ($\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$) αντιστηρίζει οριζόντια στρώση ξηρής αμμώδους αργίλου πάχους 4m και θεμελιώνεται εντός κορεσμένης άμμου (σε βάθος 1m). Το αντιστηριζόμενο έδαφος επιφορτίζεται ομοιόμορφα με $q = 20 \text{ kPa}$, ενώ ο τοίχος δέχεται κατακόρυφο φορτίο $F = 20 \text{ kN/m}$ (όπως φαίνεται στο σχήμα). Τα χαρακτηριστικά των εδαφών δίνονται στο σχήμα. Η στάθμη Υδροφόρου Οριζόντα βρίσκεται στην οριζόντια διεπιφάνεια της αργίλου με την άμμο.

Να εκτιμηθούν:

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

Αφού Rankine -> λείος & κατακόρυφος τοίχος -> **οριζόντιες ωθήσεις, και ενεργητικές και παθητικές**

(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 οριζόντα υποβιβάζεται κατά 1m. Αυτή η μεταβολή επηρεάζει την ασφάλεια του τοίχου, και αν ναι, θετικά ή αρνητικά και γιατί;

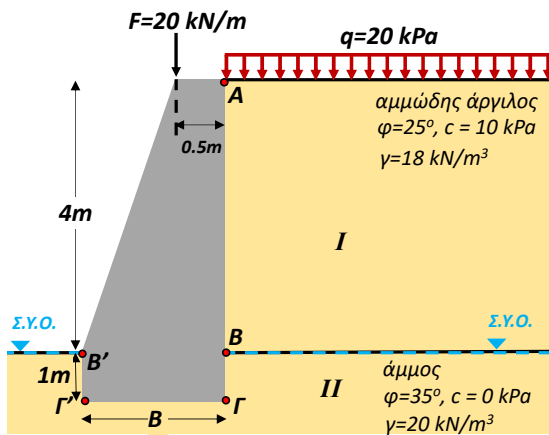
Σημειώσεις:

- Κατά Rankine ισχύει: $\sigma'_{ha} = K_a \sigma'_{va} - 2c'(K_a)^{0.5}$ & $\sigma'_{hp} = K_p \sigma'_{vp} + 2c'(K_p)^{0.5}$, 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 πλήρη αιτιολόγηση, αρκούν.

Βάση του τοίχου -> ΠΟΤΕ λεία $\phi_b = (0.67 - 1.0)\phi$

Αν πολύ τραχεία βάση: $\phi_b = \phi$
Συνήθης τιμή $\phi_b = 0.8\phi$

Εδώ δεν αναφέρεται κάτι:
→ συνήθης τιμή $\phi_b = 0.8\phi$



Ωθήσεις γαιών (κατά Rankine)

Σημείο Α:

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

Σημείο Β^{κάτω}:

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

Σημείο Γ':

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

Σημείο Β^{πάνω}:

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

Σημείο Γ:

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

Σημείο Β':

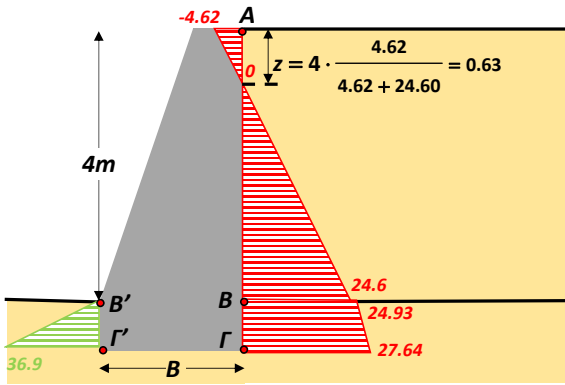
$$\begin{aligned} \sigma_v &= 0 \text{ kPa} \\ u &= 0 \text{ kPa} \\ \sigma'_v &= 0 \text{ kPa} \\ \sigma'_{h,a} &= 0 \text{ kPa} \end{aligned}$$

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

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

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

Ωθήσεις γαιών (κατά Rankine)



Σημείο Α:

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

Σημείο Βπάνω:

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

Σημείο Βκάτω:

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

Σημείο Γ:

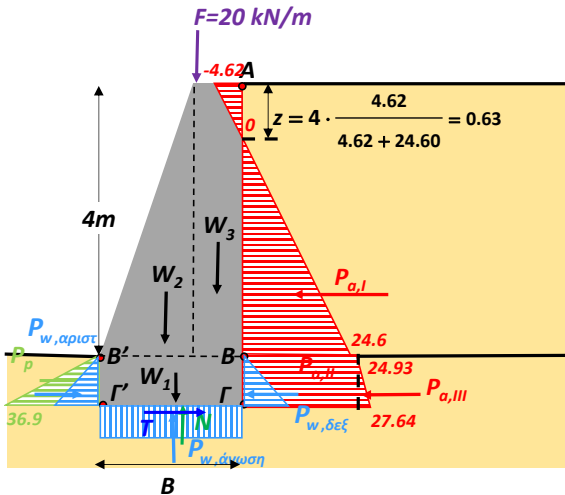
$$\begin{aligned} \sigma_v &= q + 4 \cdot 18 + 1 \cdot 20 = 112 \text{ kPa} \\ u &= 1 \cdot 10 = 10 \text{ kPa} \\ \sigma'_v &= 112 - 10 = 102 \text{ kPa} \\ \sigma'_{h,a} &= k_{a,II} \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_{a,II}} = \\ &= 0.271 \cdot 102 - 2 \cdot 0 \cdot \sqrt{0.271} = 27.64 \text{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

Σημείο Γ':

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

Σημείο Β':

$$\begin{aligned} \sigma_v &= 0 \text{ kPa} \\ u &= 0 \text{ kPa} \\ \sigma'_v &= 0 \text{ kPa} \\ \sigma'_{h,a} &= 0 \text{ kPa} \end{aligned}$$



Ποιες δυνάμεις ασκούνται στον τοίχο?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

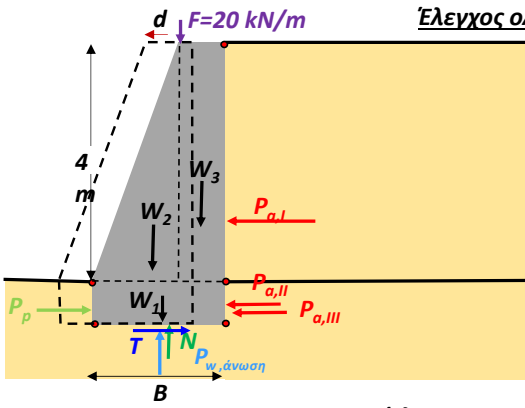
$$P_{w,\acute{\alpha}\nu\omega\sigma\eta} = \gamma_w \cdot B \cdot 1 = 10 \cdot B \cdot 1 = 10 \cdot B \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

→ αλληλοαναιρούνται

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

Παραδοχή: $\phi_b = 0.8 \cdot \phi$

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



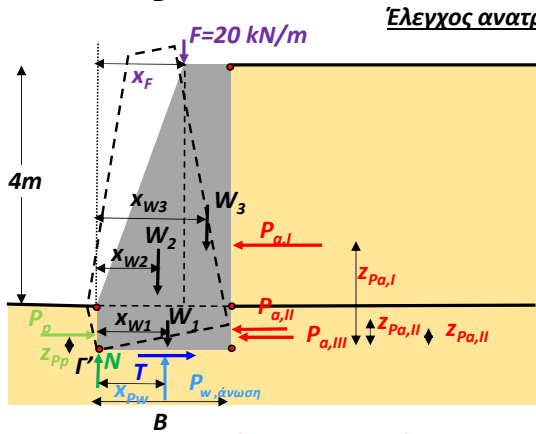
Έλεγχος ολίσθησης:

$$FS_{ολίσθησης} = \frac{\text{Δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση}}{\text{Δυνάμεις που βοηθούν στην ολίσθηση}} \rightarrow \text{Παραδοχή: } f = 3$$

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.3

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



Έλεγχος ανατροπής: Σημείο περιστροφής Γ'

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

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

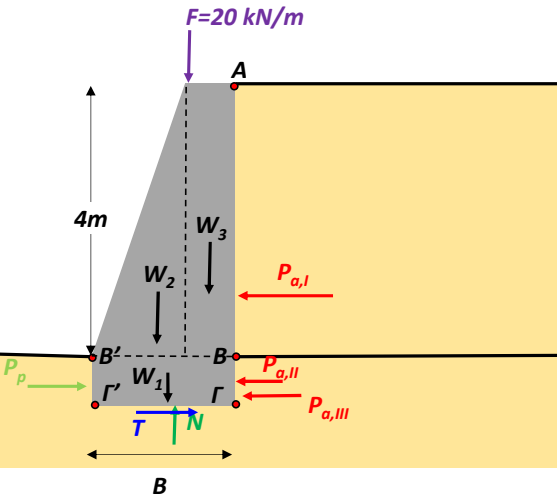
$$= \frac{24 \cdot B \cdot \frac{B}{2} + 48 \cdot (B - 0.5) \cdot \frac{2}{3} \cdot (B - 0.5) + 48 \cdot (B - 0.25) \cdot \frac{B}{2} - 10 \cdot B \cdot \frac{B}{2} + 20 \cdot (B - 0.5) + \frac{18.45}{3} \cdot \frac{1}{3}}{41.42 \cdot 2.12 + 24.93 \cdot 0.5 + 1.36 \cdot 0.333}$$

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

Ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης = 1.5

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

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



$$P_{a,I} = 41.42 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Δεν αλλάζει}$$

Αν κατέβει ο Υ.Ο.....

$$P_{a,II} = 24.93 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Δεν αλλάζει}$$

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

$$P_{a,III} = \frac{1}{2} \cdot (30.35 - 24.93) \cdot 1 = 2.71 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Αυξάνεται ελάχιστα} \rightarrow \text{λίγο επιζήμιο}$$

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

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot 79.2 \cdot 1 = 39.6 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Αυξάνεται} \rightarrow \text{ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΟ}$$

$$W_1 = 24 \cdot B \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Δεν αλλάζει}$$

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

$$W_3 = \gamma \cdot 0.5 \cdot 4 = 48 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Δεν αλλάζει}$$

$$P_{w,άνωση} = 0 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Μηδενίζεται} \rightarrow \text{ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΟ}$$

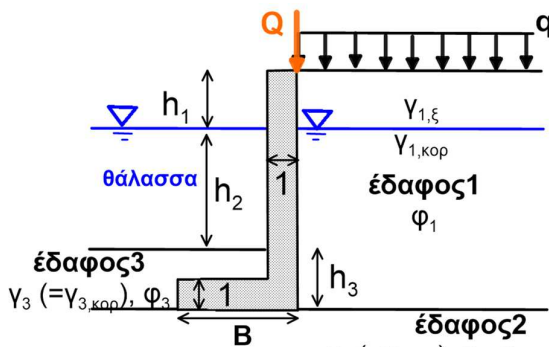
$$F = 20 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Δεν αλλάζει}$$

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

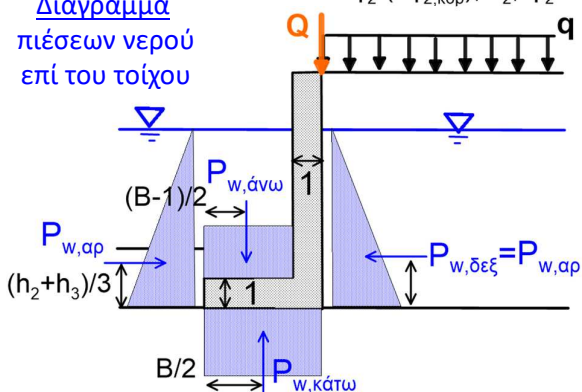
$$N = W_1 + W_2 + W_3 + F - P_{w,άνωση} = 24 \cdot B + 48 \cdot (B - 0.5) + 48 + 20 - 0 = (72 \cdot B + 44) \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Αυξάνεται} \rightarrow \text{ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΟ}$$

$$T = N \cdot \tan \phi_b = (72 \cdot B + 44) \cdot \tan(0.8 \cdot 35^\circ) = (72 \cdot B + 44) \cdot 0.532 \frac{kN}{m} \rightarrow \text{Αυξάνεται} \rightarrow \text{ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΟ}$$

**Επιπλέον παρατηρήσεις επί του υπολογισμού ωθήσεων γαιών
και άνωσης επί τοίχου βαρύτητας**



Διάγραμμα πιέσεων νερού επί του τοίχου



- 1) Το φορτίο Q (kN/m) ασκείται επί του τοίχου και όχι επί του εδάφους, άρα αφορά την ισορροπία του τοίχου και όχι τις προϋποθέσεις Rankine.
- 2) Η επιφόρτιση q (kPa) ασκείται επί του εδάφους και όχι επί του τοίχου, άρα αφορά τις προϋποθέσεις Rankine και επηρεάζει την ισορροπία του τοίχου μέσω της ενεργητικής ώθησης P_a .
- 3) Για παράδειγμα, αν ο εικονιζόμενος κατακόρυφος τοίχος είναι λείος, τότε μπορεί να εφαρμοστεί η θεωρία Rankine.
- 4) Η ενεργητική ώθηση P_a εκτιμάται με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους 1 πίσω από τον τοίχο, π.χ., αν ισχύει η θεωρία Rankine, στη βάση του τοίχου:

$$\sigma'_{ha} = K_{a1} \sigma'_v = K_{a1} [q + \gamma_{1,\xi} h_1 + (\gamma_{1,κορ} - \gamma_w)(h_2 + h_3)]$$
 (δεν ενδιαφέρει η σ'_{ha} κάτω από τη διεπιφάνεια εδαφών 1 και 2)
- 5) Η παθητική ώθηση P_p εκτιμάται με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους 3 μπροστά από τοίχο, π.χ., αν ισχύει η θεωρία Rankine, στη βάση του θεμελίου:

$$\sigma'_{hp} = K_{p3} \sigma'_v = K_{p3} [\gamma_{3,κορ} - \gamma_w] h_3$$
 (δεν ενδιαφέρει η σ'_{hp} κάτω από τη διεπιφάνεια εδαφών 3 και 2)
- 6) Οι δυνάμεις αντίστασης λόγω τριβών T και συνοχής C στη βάση του τοίχου εκτιμώνται με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους 2 κάτω από τον τοίχο.
- 7) Οι δυνάμεις λόγω πιέσεων νερού $P_{w,απ} = P_{w,δεξ} = 0.5\gamma_w(h_2+h_3)^2$ αλληλο-αναιρούνται. Η άνωση A (κατακόρυφη προς τα άνω, kN/m) ισούται με τη συνισταμένη των δυνάμεων λόγω πιέσεων νερού, δηλαδή:

$$A = P_{w,κάτω} - P_{w,άνω} = B\gamma_w(h_2+h_3) - (B-1)\gamma_w(h_2+h_3-1) = \gamma_w(\text{όγκος εμβαπτισμένου τοίχου})$$
- 8) Αν λείος τοίχος, η ενεργός ορθή δύναμη N' στη βάση του τοίχου ισούται με $W_t + Q + (\text{βάρος νερού} + \text{βάρος κορεσμένου εδάφους 3 πάνω από το θεμέλιο}) - P_{w,κάτω}$