



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τμήμα Α-Λ

2^η ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ: ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ – ΘΕΩΡΙΑ RANKINE

Επιμέλεια

Ταξιαρχούλα Λημναίου, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

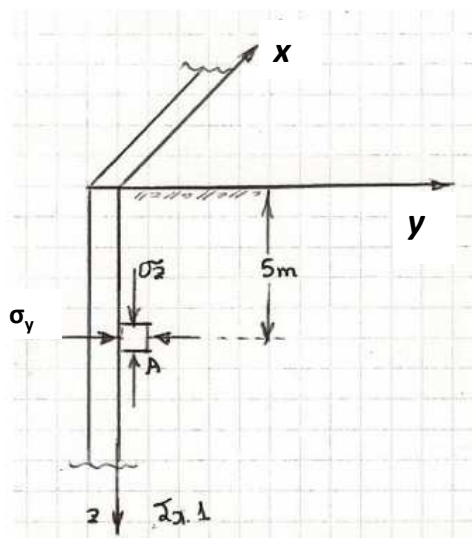
5^ο ΕΞΑΜΗΝΟ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

2^η Σειρά Ασκήσεων

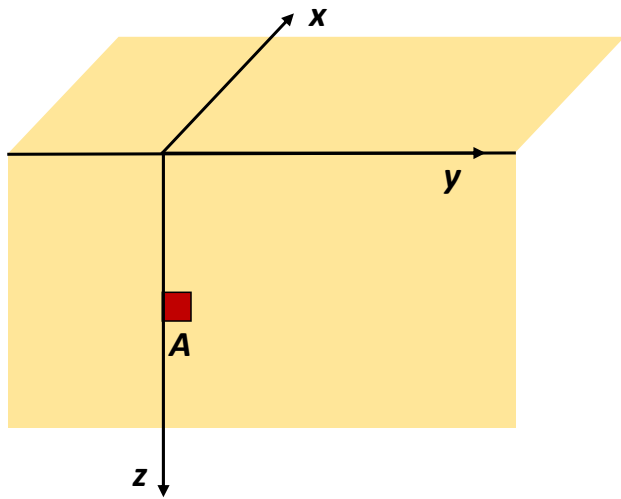
2.1 Λείος τοίχος απείρου βάθους (Σχήμα 1) αντιστηρίζει έδαφος με παραμέτρους $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 30^\circ$, $E = 60 \text{ MPa}$ και $\nu = 0,33$. Αν η οριζόντια τάση που ασκείται στο "στοιχείο" Α (Σχήμα 1) μετρήθηκε με τιμή $\sigma_y = 40 \text{ kPa}$, ζητείται να προσδιοριστούν οι ανηγμένες παραμορφώσεις ϵ_x, ϵ_y , υπό την απλοποιητική παραδοχή ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως γραμμικώς ελαστικό υλικό. (Δικαιολογείται στην περίπτωση αυτή η παραπάνω παραδοχή;)

Από το Σχήμα:

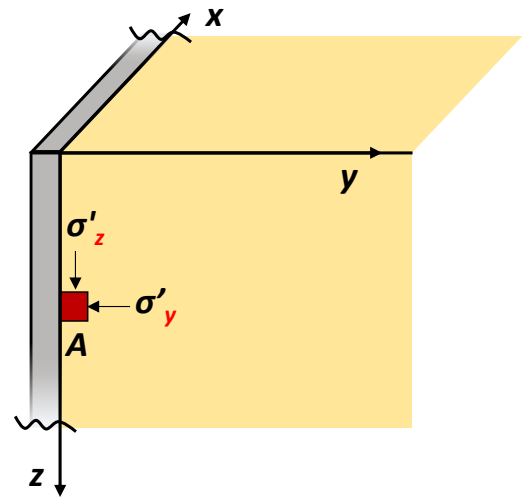
- Τοίχος κατακόρυφος
- Έδαφος οριζόντιο
- Επιφόρτιση μηδενική



Πριν την κατασκευή του τοίχου



Γίνεται εκσκαφή και το έδαφος αντιστηρίζεται με τοίχο



Αν ο τοίχος είναι ΠΛΗΡΩΣ ΑΜΕΤΑΚΙΝΗΤΟΣ: $\longrightarrow$ ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ στο σημείο A

δηλ. $\sigma'_y = k_o \cdot \sigma'_z$ $k_o = ?$

$\sigma'_z = \gamma \cdot z = 19 \cdot 5 = 95 \text{ kPa}$

}

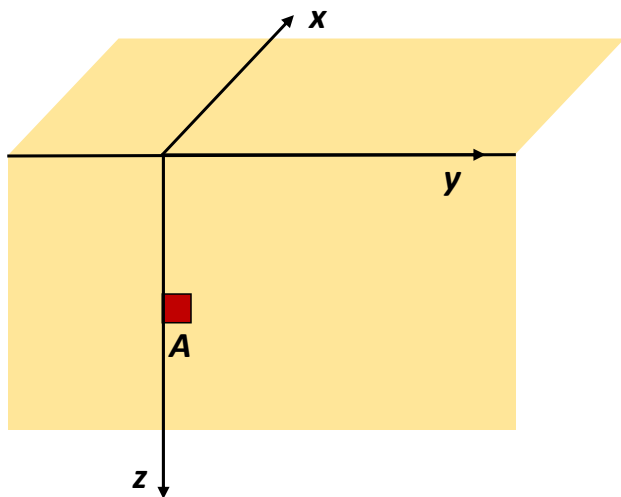
ελαστικότητα $k_o = \frac{\nu}{1-\nu} = \frac{\frac{1}{3}}{1-\frac{1}{3}} = 0.5$

εμπειρική σχέση - εργαστήριο $k_o = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 30^\circ = 0.5$

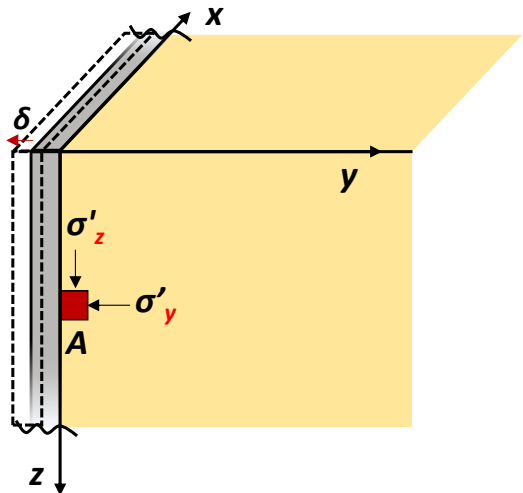
$\sigma'_y = 0.5 \cdot 95 = 47.5 \text{ kPa} > 40 \text{ kPa}$ τα οποία μετρήθηκαν στο A

Τι συμβαίνει??

Πριν την κατασκευή του τοίχου



Γίνεται εκσκαφή και το έδαφος αντιστηρίζεται με τοίχο



Η τάση που μετρήθηκε στο A είναι μικρότερη από τη γεωστατική $\longrightarrow$ μετακίνηση τοίχου

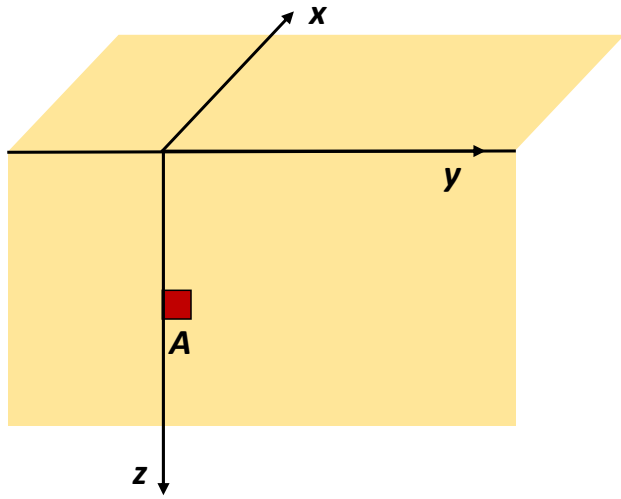
Έχει μετακινηθεί αρκετά ώστε να έχουμε «ενεργητική» αστοχία?

(κατά Rankine)

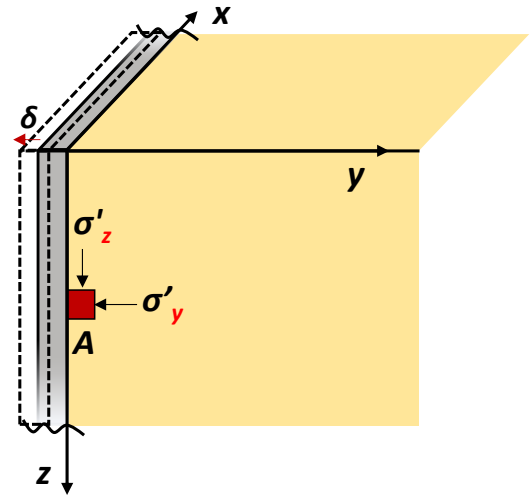
Προϋποθέσεις για Rankine:

- επίπεδη επιφάνεια OK
- λείος τοίχος + κατακόρυφος OK
- ομοιόμορφη επιφόρτιση ή 0 OK

Πριν την κατασκευή του τοίχου



Γίνεται εκσκαφή και το έδαφος αντιστηρίζεται με τοίχο



Η τάση που μετρήθηκε στο A είναι **μικρότερη από τη γεωστατική** → **μετακίνηση τοίχου**

Έχει μετακινηθεί αρκετά ώστε να έχουμε «ενεργητική» αστοχία?

Στην «ενεργητική» αστοχία:

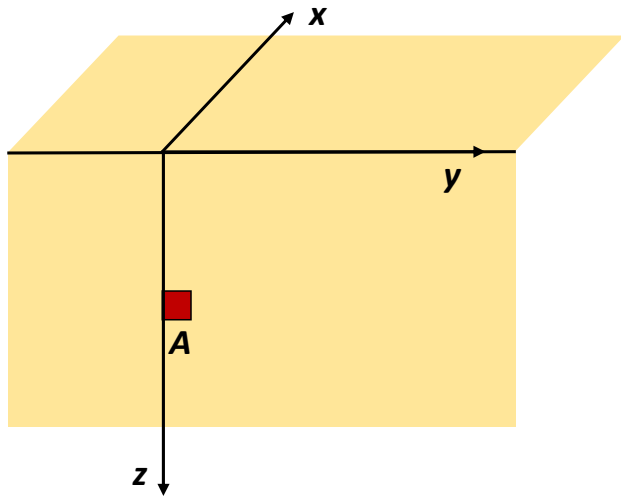
$$\sigma'_{y,a} = k_a \cdot \sigma'_{z,a}$$

$$k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) = \frac{1}{3}$$

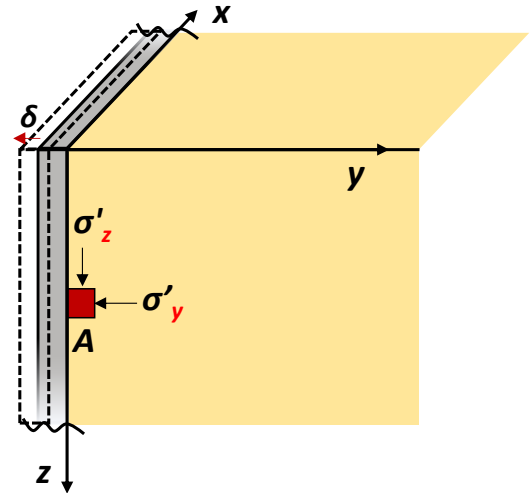
$$\sigma'_{y,a} = k_a \cdot \sigma'_{z,a} = \frac{1}{3} \cdot 95 = 31.67 \text{ kPa} < 40 \text{ kPa} \text{ τα οποία μετρήθηκαν στο A}$$

Τι συμβαίνει??

Πριν την κατασκευή του τοίχου



Γίνεται εκσκαφή και το έδαφος αντιστηρίζεται με τοίχο



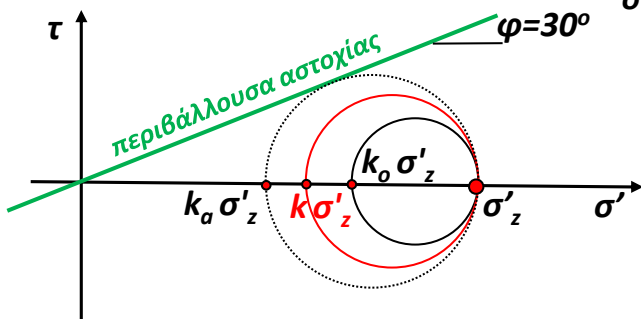
Ο τοίχος έχει μετακινηθεί, αλλά όχι τόσο ώστε να έχουμε «ενεργητική» αστοχία.

Πόσο είναι εν προκειμένω το k ?? $k = \frac{\sigma'_y}{\sigma'_z} = \frac{40}{95} = 0.42$

$$k_a = 0.33 < k < k_o = 0.50$$

ενεργητική
αστοχία

ουδέτερη
ώθηση

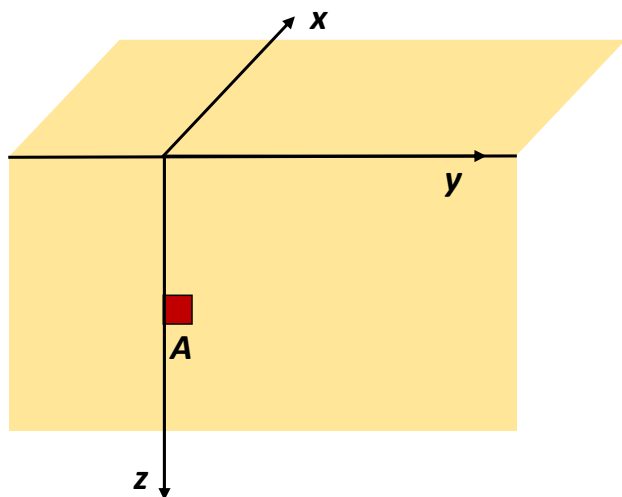


Δεν έχει φθάσει στην αστοχία

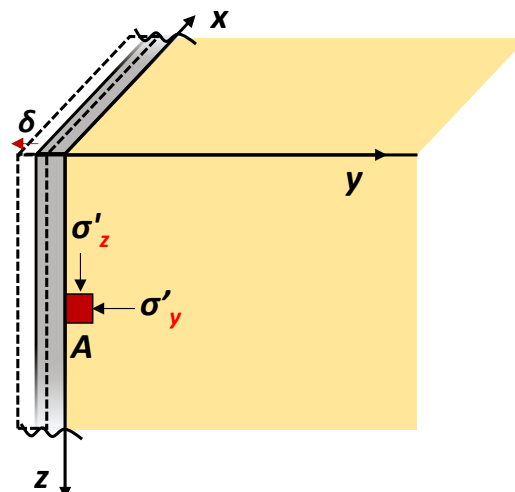
είναι στον ελαστικό κλάδο

(ισχύουν οι σχέσεις ελαστικότητας...)

Πριν την κατασκευή του τοίχου



Γίνεται εκσκαφή και το έδαφος αντιστηρίζεται με τοίχο



Τι προκαλεί παραμόρφωση?? → Η «αποφόρτιση» από τις γεωστατικές συνθήκες

γεωστατικές: $\sigma'_y = 47.5 \text{ kPa}$
με αντιστήριξη: $\sigma'_y = 40 \text{ kPa}$

$$\Delta\sigma'_y = 40 - 47.5 = -7.5 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma'_z = 0 \quad (\text{Δεν άλλαξε το κατακόρυφο φορτίο})$$

$$\Delta\sigma'_x = \nu \cdot (\Delta\sigma'_y + \Delta\sigma'_z) = 0.33 \cdot (-7.5 + 0) = -2.5 \text{ kPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} \cdot [\Delta\sigma'_y - \nu \cdot (\Delta\sigma'_x + \Delta\sigma'_z)] = \frac{1}{60000} \cdot [-7.5 - 0.33 \cdot (-2.5 + 0)] = \frac{-6.68}{60000} = -0.00011 = -1.1 \cdot 10^{-4}$$

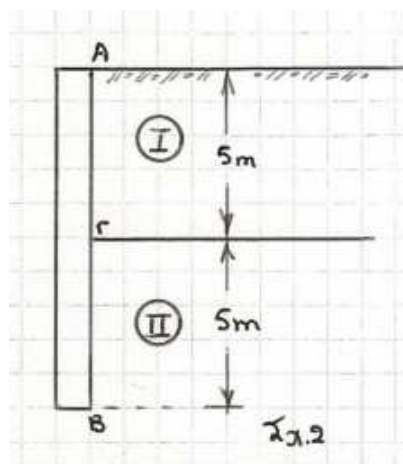
$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \cdot [\Delta\sigma'_z - \nu \cdot (\Delta\sigma'_y + \Delta\sigma'_x)] = \frac{1}{60000} \cdot [0 - 0.33 \cdot (-7.5 - 2.5)] = \frac{3.29}{60000} = 0.55 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \cdot [\Delta\sigma'_x - \nu \cdot (\Delta\sigma'_y + \Delta\sigma'_z)] = \frac{1}{60000} \cdot [-2.5 - 0.33 \cdot (-7.5 - 0)] = 0 \quad |\varepsilon_y| \ll |\varepsilon_{ha}| = 0.2-0.5\%, \text{ συνήθως}$$

2.2 Οι γεωτεχνικές παράμετροι κατά στρώση του δίστρωτου αμμώδους σχηματισμού του Σχήματος 2 δίδονται στον Πίνακα:

Στρώση	γ (kN/m ³)	φ°	K_0
I	18,0	30	0,50
II	20,0	38	0,50

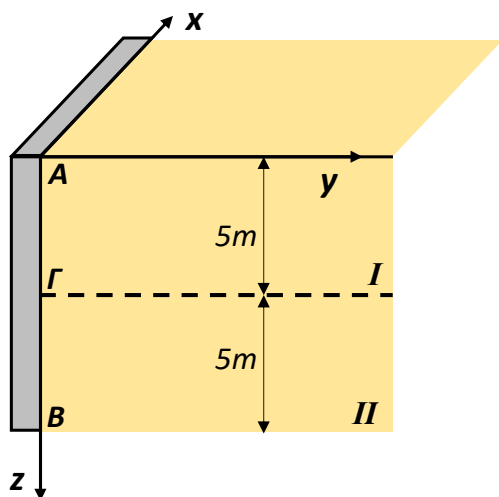
Ζητείται να υπολογιστούν τα διαγράμματα κατανομής με το βάθος: (α) των οριζοντίων εδαφικών τάσεων σ_{ho} (χωρίς μετακίνηση της λείας κατακόρυφης παρειάς AB) και (β) των οριζοντίων ενεργητικών τάσεων σ_{ha} (για "αρκετά μεγάλη" μετακίνηση της παρειάς προς τα έξω).



Από το Σχήμα:

- Έδαφος οριζόντιο
- Επιφόρτιση μηδενική

Γίνεται εκσκαφή και το έδαφος αντιστηρίζεται με τοίχο



Στρώση	γ (kN/m ³)	ϕ°	k_o
I	18.0	30	0.50
II	20.0	38	0.50

- Τοίχος λείος
- Τοίχος κατακόρυφος
- Έδαφος οριζόντιο
- Επιφόρτιση μηδενική

Αν ο τοίχος είναι **ΠΛΗΡΩΣ ΑΜΕΤΑΚΙΝΗΤΟΣ**: $\longrightarrow$ **ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

ΟΥΔΕΤΕΡΗ ΩΘΗΣΗ ΓΑΙΩΝ

Σημείο A:

$$\sigma_z = 18 \cdot 0 = 0 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 0 \text{ kPa}$$

Σημείο Γ_{πάνω}:

$$\sigma_z = 18 \cdot 5 = 90 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = 90 - 0 = 90 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0.50 \cdot 90 = 45 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 45 + 0 = 45 \text{ kPa}$$

Σημείο Γ_{κάτω}:

$$\sigma_z = 18 \cdot 5 + 20 \cdot 5 = 190 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = 190 - 0 = 190 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0.50 \cdot 190 = 95 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 95 + 0 = 95 \text{ kPa}$$

Σημείο B:

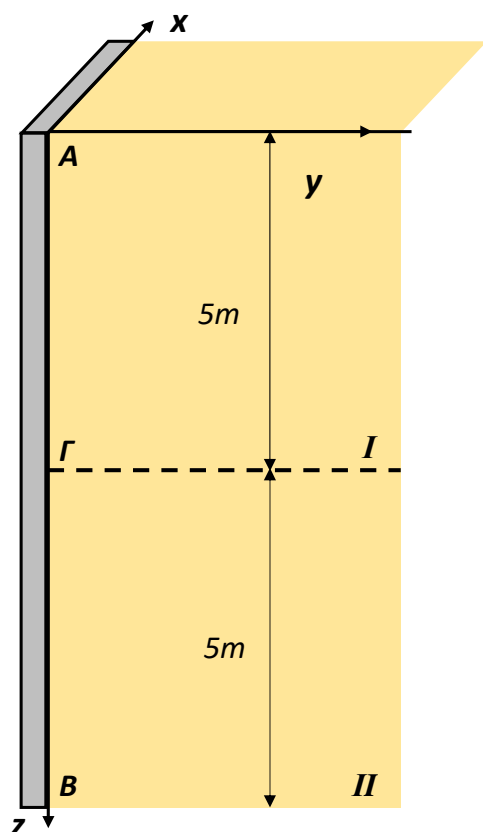
$$\sigma_z = 18 \cdot 5 + 20 \cdot 5 = 190 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

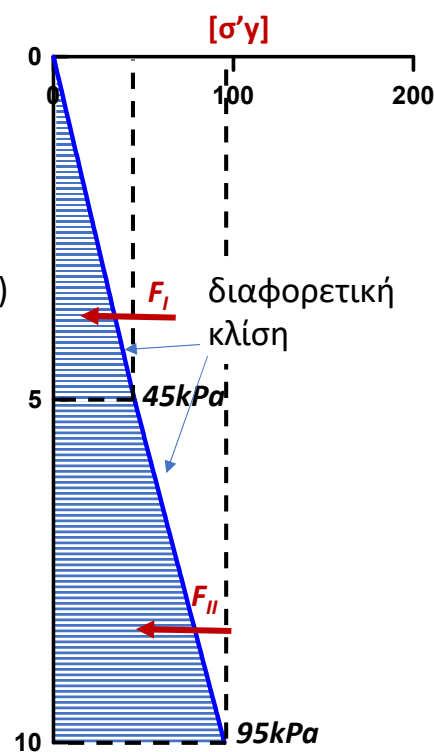
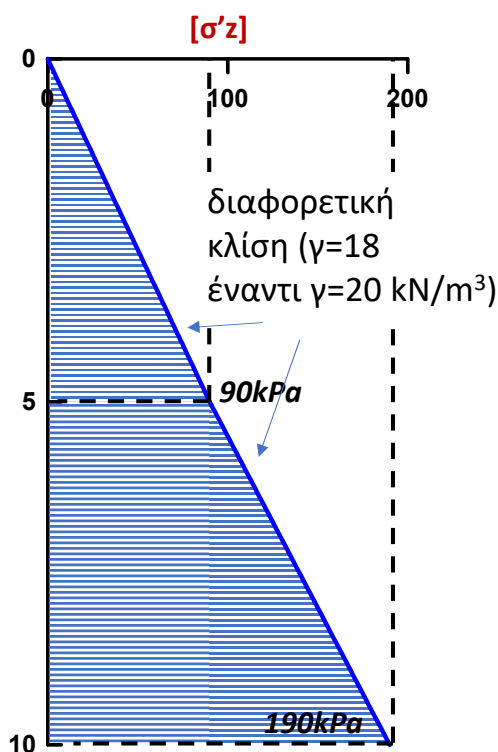
$$\sigma'_z = 190 - 0 = 190 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0.50 \cdot 190 = 95 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 95 + 0 = 95 \text{ kPa}$$



ΟΥΔΕΤΕΡΗ ΩΘΗΣΗ ΓΑΙΩΝ



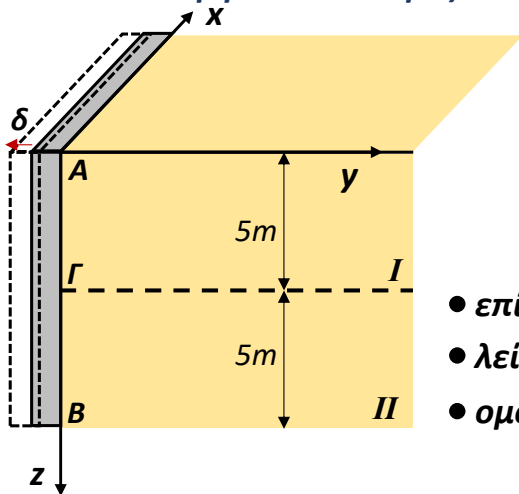
Συνισταμένη οριζόντια δύναμη πάνω στον τοίχο

$$F_I = \frac{5 \cdot 45}{2} = 112.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{II} = 5 \cdot \frac{(45 + 95)}{2} = 350 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\Sigma F = 112.5 + 350 = 462.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Γίνεται εκσκαφή και το έδαφος αντιστηρίζεται με τοίχο



Στρώση	γ (kN/m ³)	ϕ°	k_o	k_a
I	18.0	30	0.50	0.333
II	20.0	38	0.50	0.238

Προϋποθέσεις για **Rankine**:

- επίπεδη επιφάνεια **OK**
- λείος τοίχος + κατακόρυφος **OK**
- ομοιόμορφη επιφόρτιση ή 0 **OK**

Αν ο τοίχος μετακινηθεί αρκετά προς τα έξω: $\longrightarrow$ **ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ**

ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΩΘΗΣΗ ΓΑΙΩΝ (κατά Rankine)

$$k_{a,I} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = \frac{1}{3}$$

$$k_{a,II} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{38}{2} \right) = 0.238$$

Σημείο A:

$$\sigma_z = 18 \cdot 0 = 0 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 0 \text{ kPa}$$

Σημείο Γ_{πάνω}:

$$\sigma_z = 18 \cdot 5 = 90 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = 90 - 0 = 90 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0.333 \cdot 90 = 30 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 30 + 0 = 30 \text{ kPa}$$

Σημείο Γ_{κάτω}:

$$\sigma_z = 18 \cdot 5 = 90 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = 90 - 0 = 90 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0.238 \cdot 90 = 21.4 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 21.4 + 0 = 21.4 \text{ kPa}$$

Σημείο B:

$$\sigma_z = 18 \cdot 5 + 20 \cdot 5 = 190 \text{ kPa}$$

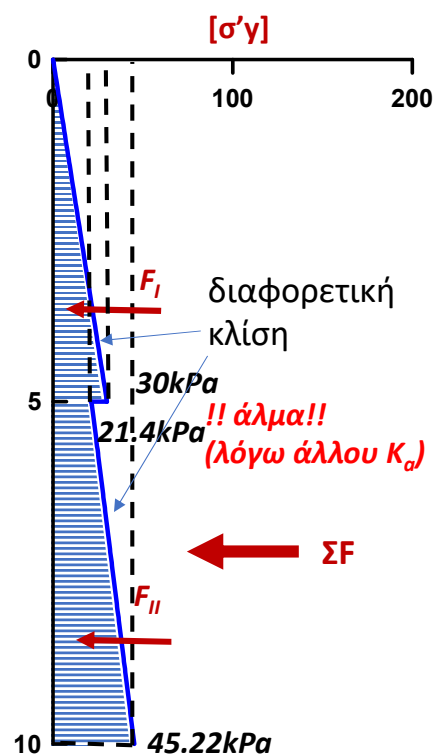
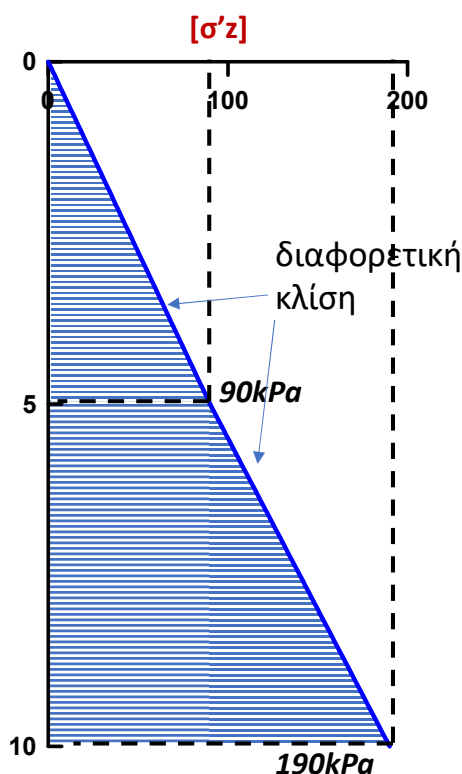
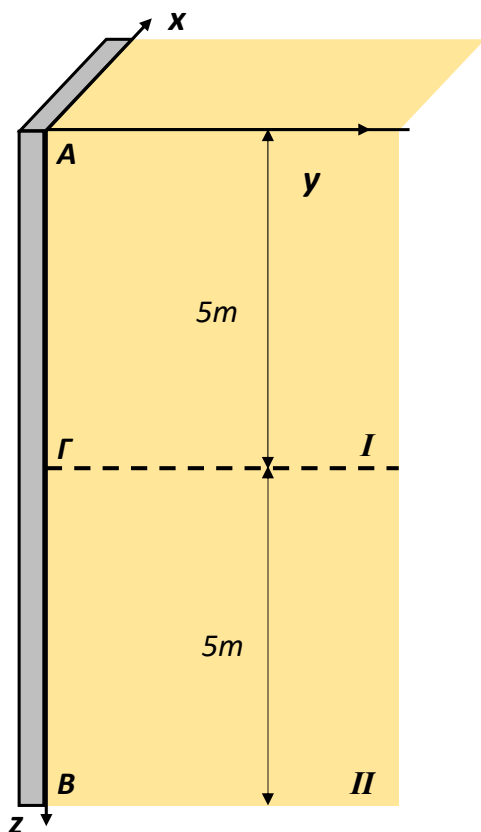
$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = 190 - 0 = 190 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_y = 0.238 \cdot 190 = 45.22 \text{ kPa}$$

$$\sigma_y = 45.22 + 0 = 45.22 \text{ kPa}$$

ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΩΘΗΣΗ ΓΑΙΩΝ



Συνισταμένη οριζόντια δύναμη πάνω στον τοίχο

$$F_I = \frac{5 \cdot 30}{2} = 75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{II} = 5 \cdot \frac{(45.22 + 21.4)}{2} = 166.55 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\Sigma F = 75 + 166.5 = 241.55 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \ll 462.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ (ουδέτερη ώθηση)}$$



Σημείο Α:

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{\text{v}} = 0.33 \cdot 30 = 10 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 10 + 0 = 10 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_1 = 0.33 \cdot 66 = 22 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 22 + 0 = 22 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 22 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 22 \text{ kPa}$$

$$u = 1 \cdot 10 = 10 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 0.33 \cdot 76 = 25.3 \text{ kPa}$$

$$\sigma_n = 25.3 + 10 = 35.3 \text{ kPa}$$

$$u = 10 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 0.27 \cdot 76 = 20.52 \text{ kPa}$$

$$\sigma_n = 20.52 + 10 = 30.52 \text{ kPa}$$

- **επίπεδη επιφάνεια** **OK**

- λείος τοίχος + κατακόρυφος **OK**

- ομοιόμορφη επιφόρτιση ή 0 **OK**

$$k_{a,l} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_l}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = \frac{1}{3}$$

$$k_{a,II} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_{II}}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{35}{2} \right) = 0.27$$

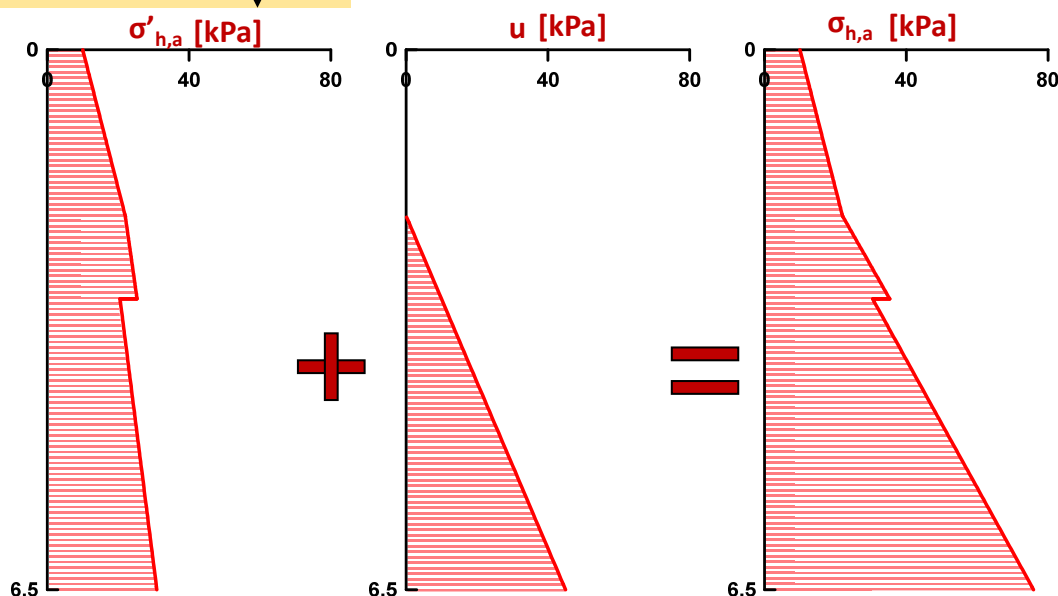
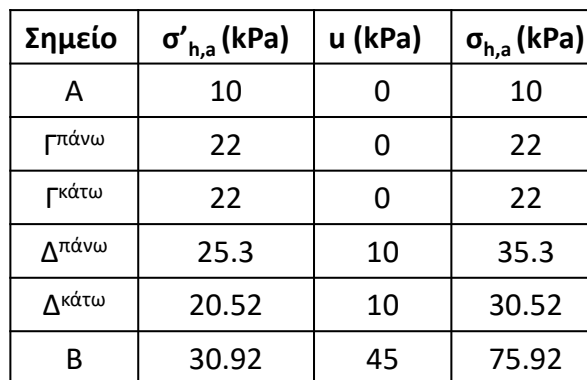
$$\sigma_v = 30 + 18 \cdot 2 + 1 \cdot 20 + 21 \cdot 3.5 = 159.5 \text{ kPa}$$

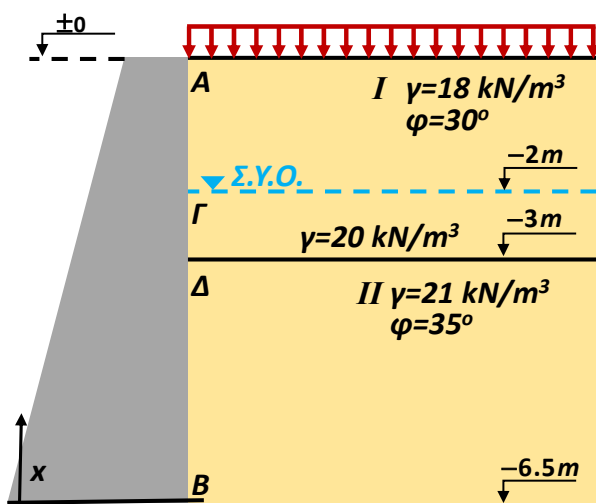
$$u = 4.5 \cdot 10 = 45 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 159.5 - 45 = 114.5 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_b = 0.27 \cdot 114.5 = 30.92 \text{ kPa}$$

$$\sigma_b = 30.92 + 45 = 75.92 \text{ kPa}$$





$$P'_I = 10 \cdot 2 = 20 \frac{kN}{m}$$

$$P'_{II} = 2 \cdot \frac{(22 - 10)}{2} = 12 \frac{kN}{m}$$

$$P'_{III} = 22 \cdot 1 = 22 \frac{kN}{m}$$

$$P'_{IV} = 1 \cdot \frac{(25.3 - 22)}{2} = 1.65 \frac{kN}{m}$$

$$P'_V = 20.52 \cdot 3.5 = 71.8 \frac{kN}{m}$$

$$P'_{VI} = 3.5 \cdot \frac{(30.92 - 20.52)}{2} = 18.2 \frac{kN}{m}$$

$$x'_I = 3.5 + 1 + 1 = 5.5m$$

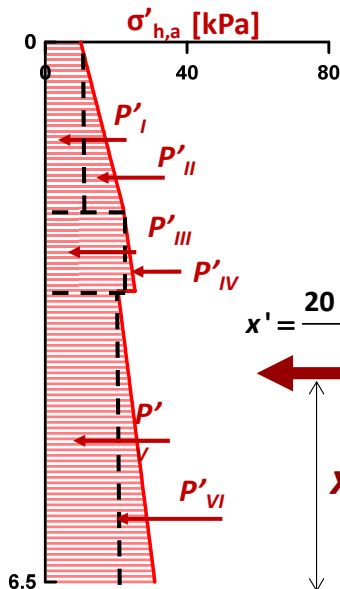
$$x'_{II} = 3.5 + 1 + \frac{2}{3} = 5.17m$$

$$x'_{III} = 3.5 + 0.5 = 4m$$

$$x'_{IV} = 3.5 + \frac{1}{3} = 3.833m$$

$$x'_V = \frac{3.5}{2} = 1.75m$$

$$x'_{VI} = \frac{3.5}{3} = 1.17m$$

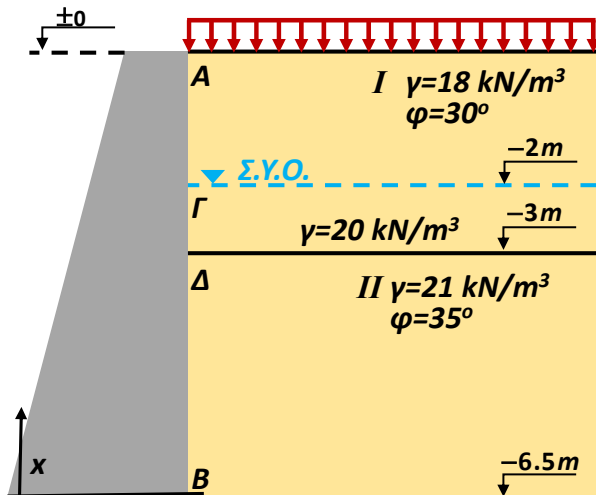


$$\Sigma P' = 20 + 12 + 22 + 1.65 + 71.8 + 18.2 = 145.65 \frac{kN}{m} = P'_a$$

πού ασκείται?

$$x' = \frac{20 \cdot 5.5 + 12 \cdot 5.17 + 22 \cdot 4 + 1.65 \cdot 3.83 + 71.8 \cdot 1.75 + 18.2 \cdot 1.17}{145.65} = 2.84m$$

Συνισταμένη ενεργός ενεργητική ώθηση



$$P_I = 10 \cdot 2 = 20 \frac{kN}{m}$$

$$P_{II} = 2 \cdot \frac{(22 - 10)}{2} = 12 \frac{kN}{m}$$

$$P_{III} = 22 \cdot 1 = 22 \frac{kN}{m}$$

$$P_{IV} = 1 \cdot \frac{(35.3 - 22)}{2} = 6.65 \frac{kN}{m}$$

$$P_V = 30.52 \cdot 3.5 = 106.82 \frac{kN}{m}$$

$$P_{VI} = 3.5 \cdot \frac{(75.92 - 30.52)}{2} = 79.45 \frac{kN}{m}$$

$$x_I = 3.5 + 1 + 1 = 5.5m$$

$$x_{II} = 3.5 + 1 + \frac{2}{3} = 5.17m$$

$$x_{III} = 3.5 + 0.5 = 4m$$

$$x_{IV} = 3.5 + \frac{1}{3} = 3.833m$$

$$x_V = \frac{3.5}{2} = 1.75m$$

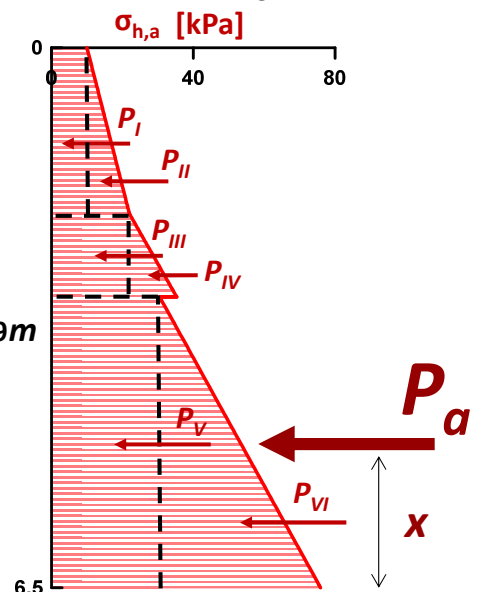
$$x_{VI} = \frac{3.5}{3} = 1.17m$$

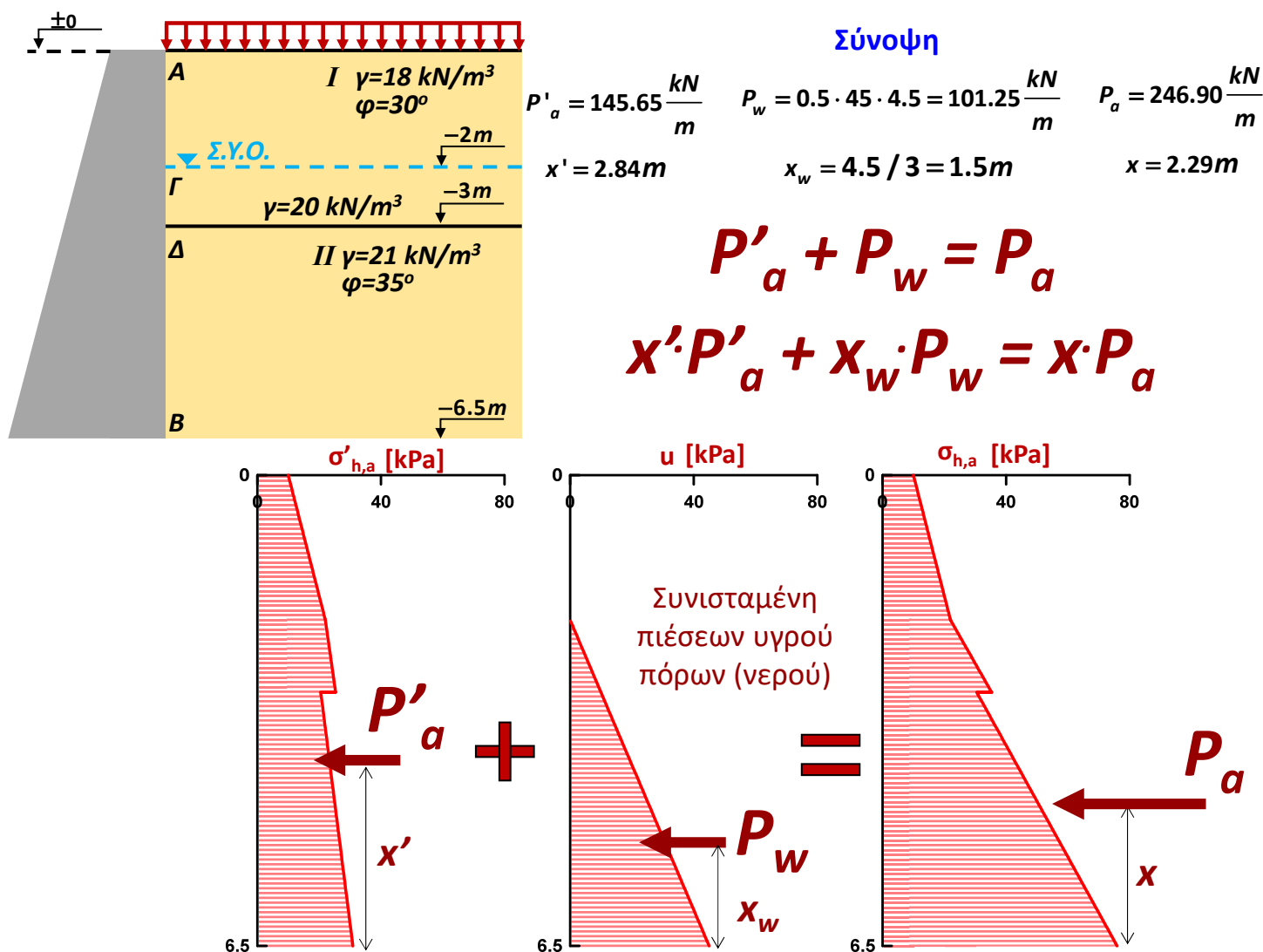
$$\Sigma P = 20 + 12 + 22 + 6.65 + 106.82 + 79.45 = 246.90 \frac{kN}{m} = P_a$$

πού ασκείται?

$$x = \frac{20 \cdot 5.5 + 12 \cdot 5.17 + 22 \cdot 4 + 6.65 \cdot 3.83 + 106.82 \cdot 1.75 + 79.45 \cdot 1.17}{246.90} = 2.29m$$

Συνισταμένη ολική ενεργητική ώθηση



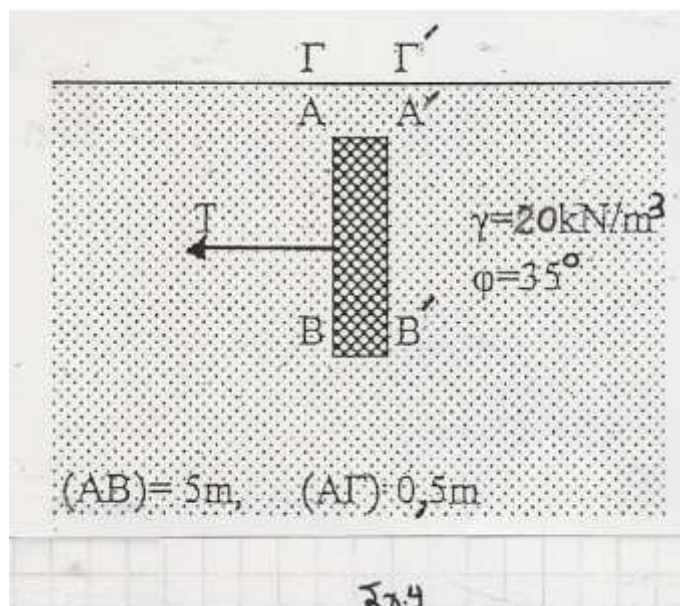


2.4 Η πλάκα ABBA' βρίσκεται μέσα σε άμμο (Σχήμα 4) και έλκεται με δύναμη T που προκαλεί αρκετή μετακίνηση της πλάκας, ώστε στην παρειά AB να αναπτυχθεί παθητική ώθηση. Θεωρώντας πως οι παρειές AB, A'B', AA', BB' είναι απολύτως λείες, ζητούνται:

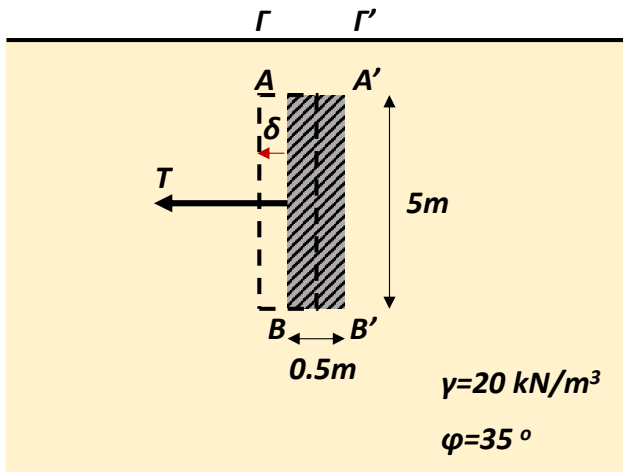
- το διάγραμμα των εδαφικών ωθήσεων επί της πλάκας,
- η μέγιστη τιμή της δύναμης T που μπορεί να παραληφθεί από την πλάκα.

Από το Σχήμα:

- Έδαφος οριζόντιο
- Επιφόρτιση ομοιόμορφη
- Αριστερός «τοίχος» κατακόρυφος
- Δεξιός «τοίχος» κατακόρυφος



Σημείωση: Δεν είναι αναγκαστικό να ισχύουν οι ίδιες συνθήκες (προϋποθέσεις) τοίχου-εδάφους-επιφόρτισης, στην αριστερή και δεξιά παρειά του τοίχου!



Η πλάκα μετακινείται προς τα αριστερά.

Αν έχει μετακινηθεί επαρκώς ώστε να έχει αναπτυχθεί παθητική ώθηση στην παρειά AB, τότε σίγουρα έχει αναπτυχθεί ενεργητική ώθηση στην παρειά A'B'.

Γιατί ???

Σημείο A (παθητική):

$$\sigma_v = 20 \cdot 0.5 = 10 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 10 - 0 = 10 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_h = 3.69 \cdot 10 = 36.9 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 36.9 + 0 = 36.9 \text{ kPa}$$

Σημείο A' (ενεργητική):

$$\sigma_v = 20 \cdot 0.5 = 10 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 10 - 0 = 10 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_h = 0.27 \cdot 10 = 2.7 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 2.7 + 0 = 2.7 \text{ kPa}$$

Σημείο B (παθητική):

$$\sigma_v = 20 \cdot 5.5 = 110 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 110 - 0 = 110 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_h = 3.69 \cdot 110 = 405.92 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 405.92 + 0 = 405.92 \text{ kPa}$$

Σημείο B' (ενεργητική):

$$\sigma_v = 20 \cdot 5.5 = 110 \text{ kPa}$$

$$u = 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_v = 110 - 0 = 110 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_h = 0.27 \cdot 110 = 29.7 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 29.7 + 0 = 29.7 \text{ kPa}$$

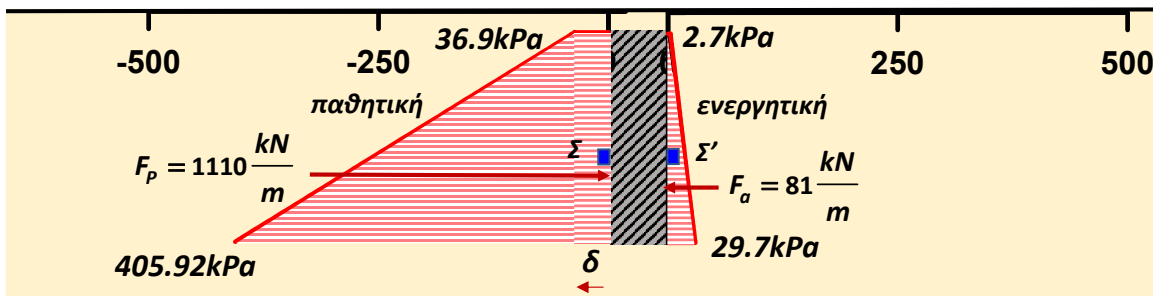
Ενεργητικές + παθητικές ωθήσεις γαιών (κατά Rankine)

- επίπεδη επιφάνεια **OK**
- λείος τοίχος + κατακόρυφος **OK**
- ομοιόμορφη επιφόρτιση ή 0 **OK**

$$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{35}{2} \right) = 0.27$$

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

Πώς εξελίσσεται η συνολική δύναμη που ασκείται πάνω στην πλάκα? Έστω τα σημεία Σ και Σ', εκατέρωθεν της πλάκας.



Σημείο	$\sigma_{h,a}$ (kPa)
A	36.9
B	405.92
A'	2.7
B'	29.7

1) Αρχικά, **ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ** → Σ και Σ' ίδιες τάσεις + δυνάμεις

2) Καθώς εξελίσσεται η μετακίνηση, σημείο Σ' → **ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ** $F_a = 5 \frac{(2.7 + 29.7)}{2} = 81 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

σημείο Σ: μακριά από την αστοχία

3) Η μετακίνηση συνεχίζει, σημείο Σ → **ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ** $F_p = 5 \frac{(37 + 407)}{2} = 1110 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

σημείο Σ': παραμένει σε ενεργητική αστοχία

$$\max T = F_p - F_a = 1029 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

