



# ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### Εδαφικές Ωθήσεις

### Τοίχοι Αντιστήριξης

Διδάσκων: Κίρτας Εμμανουήλ

Σέρρες, Σεπτέμβριος 2010

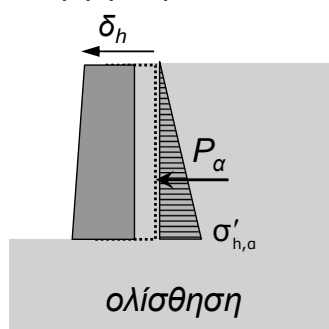
## Εδαφικές Ωθήσεις

- Το ίδιο βάρος του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη κατακόρυφων γεωστατικών τάσεων  $\sigma_v$  οι οποίες αυξάνονται με το βάθος.
- Αν αφαιρεθεί η επιρροή της πίεσης του νερού των πόρων  $u_w$ , η ενεργός κατακόρυφη τάση συμβολίζεται κατά τα γνωστά ως  $\sigma'_v$
- Η οριζόντια γεωστατική ενεργός τάση μπορεί να υπολογιστεί από την  $\sigma'_v$  και έναν συντελεστή  $K$  και συμβολίζεται ως  $\sigma'_h$
- Η συνισταμένη των οριζόντιων εδαφικών τάσεων ονομάζεται εδαφική ώθηση και έχει μεγάλο ενδιαφέρον στην μελέτη έργων αντιστήριξης (συγκράτησης εδαφικών πρηνών ή μαζών).
- Η τιμή των πλευρικών ωθήσεων δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται μεταξύ μιας μέγιστης και μιας ελάχιστης τιμής, ανάλογα με την σχετική μετακίνηση του έργου αντιστήριξης

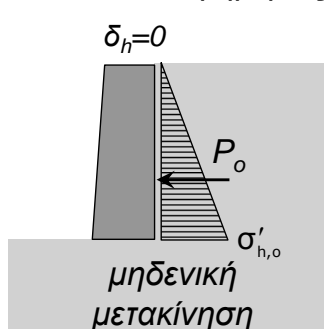
## Εδαφικές Ωθήσεις

- Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις ανάπτυξης ωθήσεων

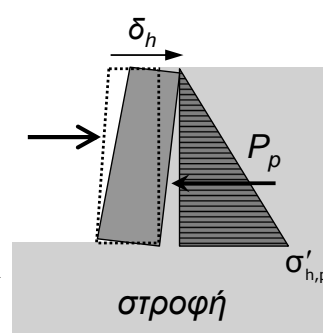
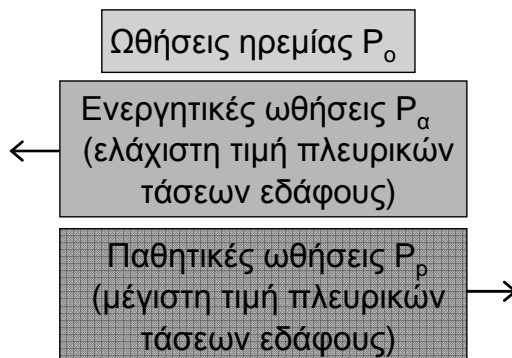
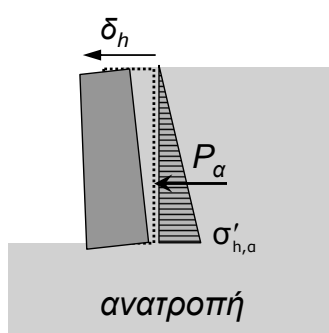
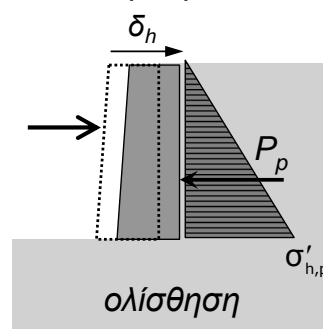
Ενεργητική κατάσταση



Κατάσταση ηρεμίας



Παθητική κατάσταση



## Εδαφικές Ωθήσεις

- Υπολογισμός ωθήσεων σε κατάσταση ηρεμίας

Ο προσδιορισμός των εδαφικών ωθήσεων σε κατάσταση ηρεμίας (μηδενική μετακίνηση εδάφους-τοίχου) γίνεται ως εξής:

- 1) Υπολογίζονται οι κατακόρυφες ενεργές τάσεις στο έδαφος  $\sigma'_v$
- 2) Προσδιορίζεται ο συντελεστής ωθήσεων σε ηρεμία  $K_o$
- 3) Υπολογίζονται οι οριζόντιες εδαφικές τάσεις στο έδαφος  $\sigma'_h$  από τη σχέση:

$$\sigma'_h = K_o \cdot \sigma'_v$$

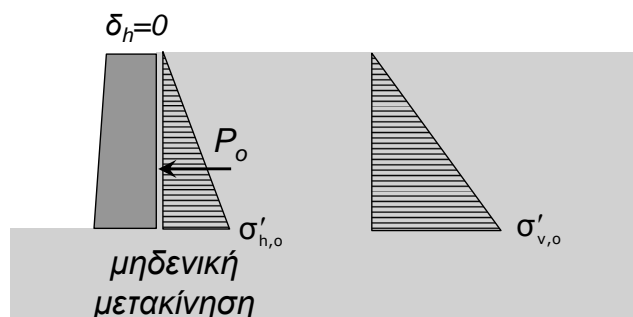
$K_o = \frac{\nu}{1 - \nu}$  για ισότροπο γραμμικά ελαστικό έδαφος (συνήθως δεν ισχύει)

$K_o = 1 - \sin \phi$  για κανονικά στερεοποιημένες άμμους-αργίλους (Jaky, 1944)

$K_o = (1 - \sin \phi) \cdot OCR^{0.5}$  για υπερστερεοποιημένα εδάφη (EC7, έδαφος δίχως κλίση)

- 4) Η συνισταμένη των οριζόντιων εδαφικών τάσεων δίνει την ώθηση ηρεμίας  $P_o$

Κατάσταση ηρεμίας

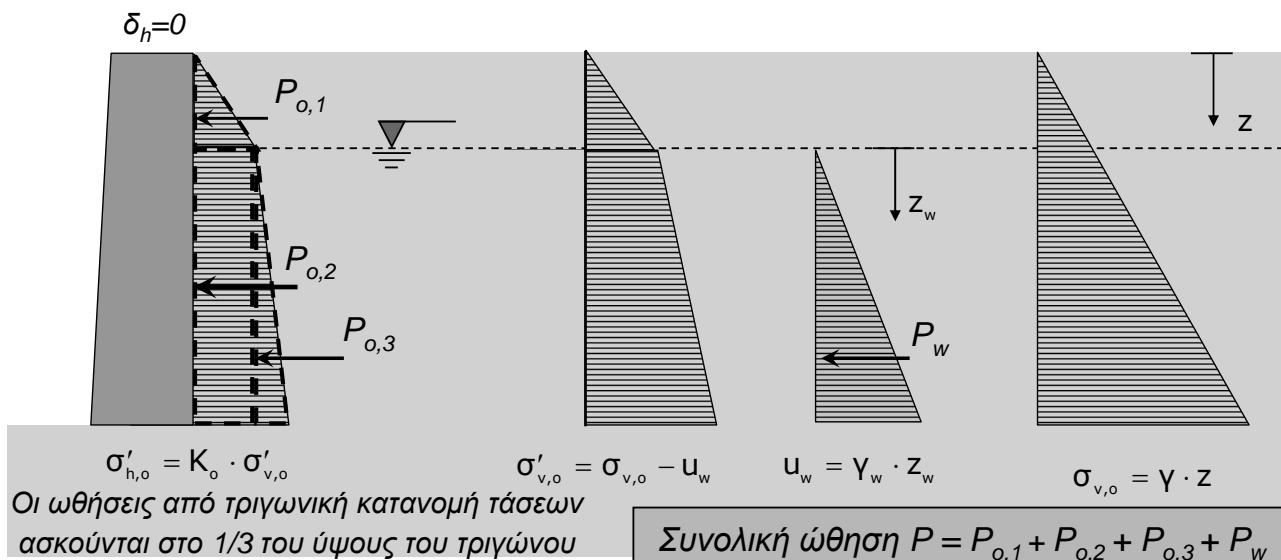


## Εδαφικές Ωθήσεις

### Υπολογισμός ωθήσεων σε κατάσταση ηρεμίας

Σε περίπτωση που υπάρχει υπόγειος υδάτινος ορίζοντας, πέραν της ώθησης του εδάφους στον τοίχο ασκείται και η υδροστατική πίεση, σύμφωνα με το σχήμα:

Κατάσταση ηρεμίας (μηδενική μετακίνηση τοίχου-εδάφους)

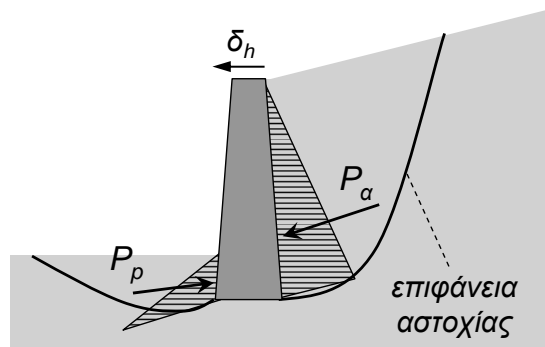


## Εδαφικές Ωθήσεις

### Υπολογισμός ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων

Ο προσδιορισμός των εδαφικών ωθήσεων σε κατάσταση αστοχίας (ενεργητικών ή παθητικών) δεν είναι εύκολη διαδικασία καθώς εμπλέκεται σημαντικός αριθμός παραμέτρων όπως:

- Η ύπαρξη τριβής μεταξύ τοίχου-εδάφους
- Η ύπαρξη κλίσης στην επιφάνεια του εδαφικού πρανούς
- Η πολυπλοκότητα της κατανομής των τάσεων στο έδαφος πίσω από τον τοίχο
- Η πραγματική επιφάνεια αστοχίας στο έδαφος δεν είναι ευθεία αλλά καμπύλη, και δεν είναι πάντα απλός ο προσδιορισμός της



Στη συνέχεια του Κεφαλαίου θα παρουσιαστεί ο προσδιορισμός των εδαφικών ωθήσεων με τη μέθοδο του Rankine (1857) που θεωρεί λεία επιφάνεια τοίχου και μηδενική κλίση του εδαφικού πρανούς που αντιστηρίζεται.

## Εδαφικές Ωθήσεις

### Υπολογισμός ενεργητικών ωθήσεων

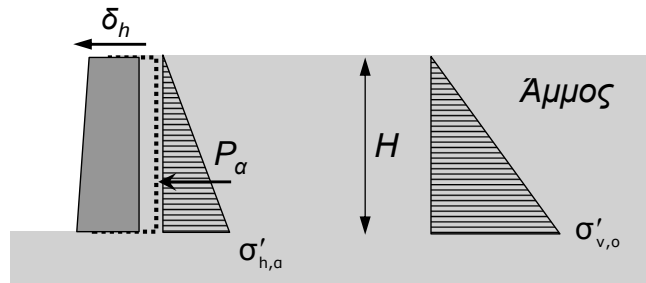
Ο προσδιορισμός των ενεργητικών εδαφικών ωθήσεων κατά Rankine συμβαίνει τη στιγμή που ο τοίχος κινείται **προς την εκσκαφή** και το έδαφος πίσω από τον τοίχο αστοχεί, άρα αναπτύσσεται η ελάχιστη οριζόντια τάση.

Αμμώδη εδάφη ( $c=0$ ):

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right) \quad \text{Συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων}$$

$$\sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,a} \cdot H \quad \text{Υπολογίζεται ανάλογα με τη μορφή των } \sigma'_h \text{ κάθε φορά}$$

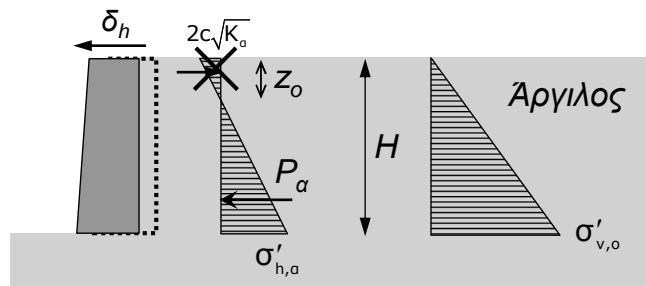


Αργιλικά εδάφη ( $c \neq 0$ ):

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right) \quad \text{Συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων}$$

$$\sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o} - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,a} \cdot (H - z_o) \quad \text{Υπολογίζεται ανάλογα με τη μορφή των } \sigma'_h \text{ κάθε φορά}$$



## Εδαφικές Ωθήσεις

### Υπολογισμός παθητικών ωθήσεων

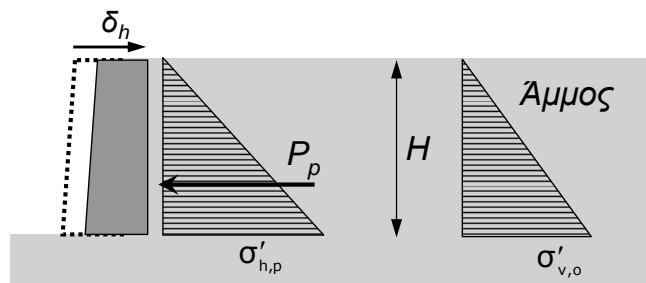
Ο προσδιορισμός των παθητικών εδαφικών ωθήσεων κατά Rankine συμβαίνει τη στιγμή που ο τοίχος κινείται **προς το έδαφος**, το οποίο εξαντλεί την αντοχή του και αστοχεί, άρα αναπτύσσεται η μέγιστη οριζόντια τάση.

Αμμώδη εδάφη ( $c=0$ ):

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) \quad \text{Συντελεστής παθητικών ωθήσεων}$$

$$\sigma'_{h,p} = K_p \cdot \sigma'_{v,o}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,p} \cdot H \quad \text{Υπολογίζεται ανάλογα με τη μορφή των } \sigma'_h \text{ κάθε φορά}$$

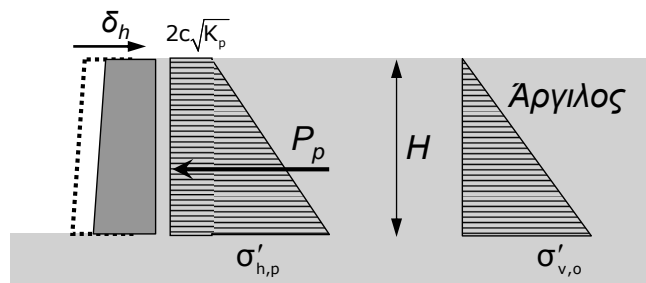


Αργιλικά εδάφη ( $c \neq 0$ ):

$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) \quad \text{Συντελεστής παθητικών ωθήσεων}$$

$$\sigma'_{h,p} = K_p \cdot \sigma'_{v,o} + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

$$P_p = \frac{\sigma'_{h,p} + 2c\sqrt{K_p}}{2} \cdot H \quad \text{Υπολογίζεται ανάλογα με τη μορφή των } \sigma'_h \text{ κάθε φορά}$$

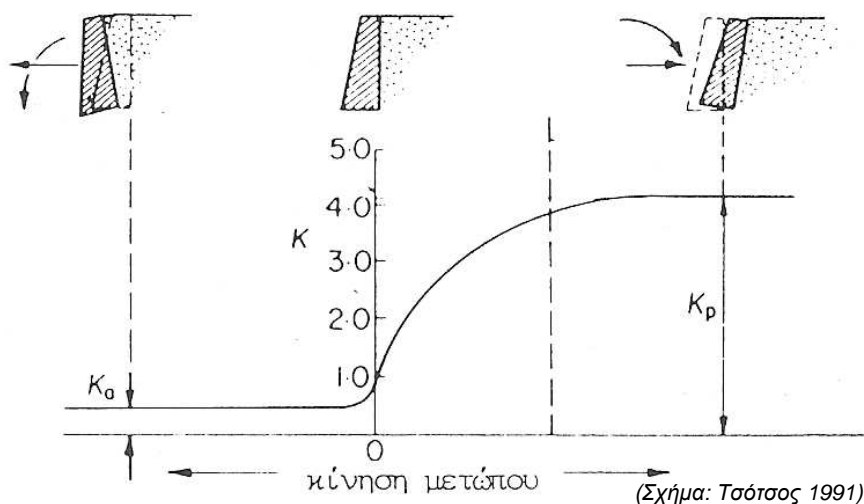


## Εδαφικές Ωθήσεις

### Υπολογισμός ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων

Για την πλήρη ανάπτυξη της ενεργητικής ή της παθητικής ώθησης απαιτείται μετακίνηση του τοίχου, σαφώς σημαντικότερη στην περίπτωση της παθητικής κατάστασης. Προκύπτουν μεγάλη τιμή του  $K_p$  και μεγάλες τιμές παθητικών ωθήσεων.

ενεργός κατάσταση      κατάσταση σε ηρεμία      παθητική κατάσταση



## Εδαφικές Ωθήσεις

### Υπολογισμός ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων

Στον πίνακα δίνονται υπολογισμένες οι τιμές του συντελεστή ενεργητικών ωθήσεων  $K_a$  και του συντελεστή παθητικών ωθήσεων  $K_p$  κατά Rankine, για διάφορες γωνίες τριβής εδάφους.

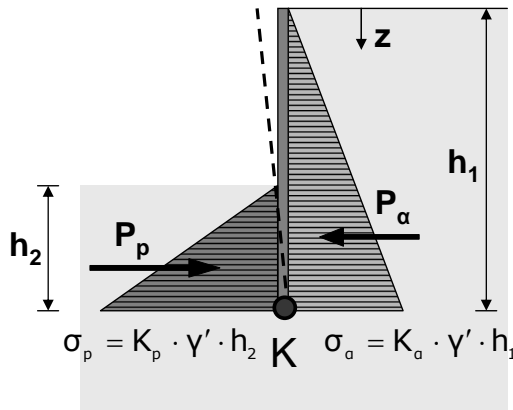
$\phi$ (°)	$K_a$	$K_p$	$\phi$ (°)	$K_a$	$K_p$
10	0.7041	1.4203	36	0.2596	3.8518
11	0.6795	1.4716	37	0.2486	4.0228
12	0.6558	1.5250	38	0.2379	4.2037
13	0.6327	1.5805	39	0.2275	4.3955
14	0.6104	1.6383	40	0.2174	4.5989
15	0.5888	1.6984	41	0.2077	4.8150
16	0.5678	1.7610	42	0.1982	5.0447
17	0.5475	1.8263	43	0.1891	5.2893
18	0.5279	1.8944	44	0.1802	5.5500
19	0.5088	1.9655	45	0.1716	5.8284
20	0.4903	2.0396	46	0.1632	6.1261
21	0.4724	2.1171	47	0.1552	6.4447
22	0.4550	2.1980	48	0.1474	6.7865
23	0.4381	2.2826	49	0.1398	7.1536
24	0.4217	2.3712	50	0.1325	7.5486
25	0.4059	2.4639	51	0.1254	7.9745
26	0.3905	2.5611	52	0.1186	8.4344
27	0.3755	2.6629	53	0.1120	8.9322
28	0.3610	2.7698	54	0.1056	9.4721
29	0.3470	2.8821	55	0.0994	10.0590
30	0.3333	3.0000	56	0.0935	10.6985
31	0.3201	3.1240	57	0.0877	11.3970
32	0.3073	3.2546	58	0.0822	12.1621
33	0.2948	3.3921	59	0.0769	13.0024
34	0.2827	3.5371	60	0.0718	13.9282
35	0.2710	3.6902			

## Εδαφικές Ωθήσεις

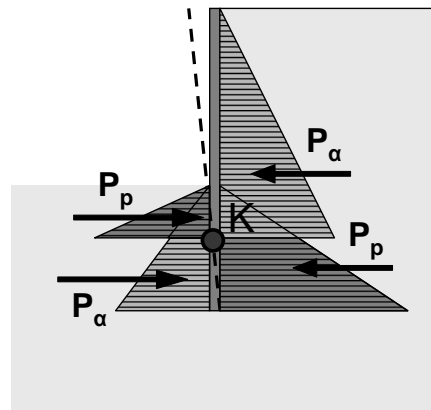
- Υπολογισμός ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων

Ενδεικτικά η ανάπτυξη ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων σε διάφραγμα για διαφορετική θέση του σημείου στροφής κατά την οριακή κατάσταση δίνεται στα παρακάτω σχήματα (Μαραγκός, 2009)

Το σημείο στροφής  $K$  βρίσκεται στη βάση του διαφράγματος



Το σημείο στροφής  $K$  βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση του διαφράγματος

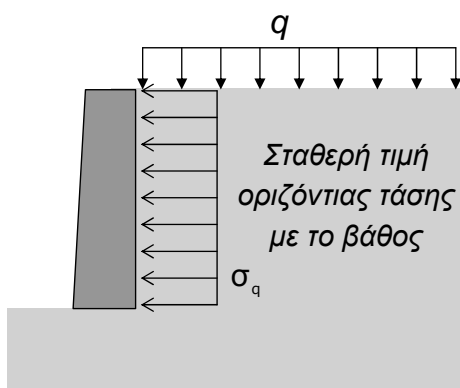


## Εδαφικές Ωθήσεις

- Ωθήσεις λόγω επιφόρτισης

Παρακάτω δίνονται οι πρόσθετες εδαφικές ωθήσεις λόγω επιφόρτισης είτε κατανεμημένης με άπειρο μήκος και πλάτος είτε λόγω σημειακού φορτίου. Περισσότερες περιπτώσεις δίνονται από τους Γραμματικόπουλο κ.α. (1994).

Κατανεμημένο φορτίο  $q$



Ενεργητική τάση

$$\sigma_{a,q} = K_a \cdot q$$

Παθητική τάση

$$\sigma_{p,q} = K_p \cdot q$$

Σημειακό φορτίο  $Q$



Ενεργητική τάση

$$\sigma_{a,Q} = K_a \cdot \frac{Q}{4 \cdot s^2}$$

Παθητική τάση

$$\sigma_{p,Q} = K_p \cdot \frac{Q}{4 \cdot s^2}$$

## Εδαφικές Ωθήσεις

### Υπολογισμός ωθήσεων σε τοίχο αντιστήριξης

Ο υπολογισμός της ενεργητικής και της παθητικής ώθησης κατά Rankine είναι περισσότερο πολύπλοκος από τις απλές περιπτώσεις των προηγούμενων διαφανειών λόγω της ενδεχόμενης ταυτόχρονης:

- (α) ύπαρξης υπόγειου υδάτινου ορίζοντα
- (β) ύπαρξης διαφορετικών εδαφικών στρώσεων στο ύψος του τοίχου αντιστήριξης
- (γ) ύπαρξης επιφόρτισης στην επιφάνεια του εδάφους

Η διαδικασία προσδιορισμού των ωθήσεων κατά Rankine μπορεί να περιγραφεί ως:

- 1) Υπολογισμός των κατακόρυφων ενεργών τάσεων λόγω ιδίου βάρους του εδάφους με το βάθος
- 2) Υπολογισμός των οριζόντιων τάσεων λόγω ιδίου βάρους του εδάφους με το βάθος
- 3) Υπολογισμός των οριζόντιων υδροστατικών τάσεων με το βάθος
- 4) Υπολογισμός των οριζόντιων τάσεων λόγω επιφόρτισης με το βάθος
- 5) Προσδιορισμός της τιμής και θέσης εφαρμογής της οριζόντιας ώθησης για κάθε ένα από τα (2) – (3) – (4) ως συνισταμένη των αντίστοιχων οριζόντιων τάσεων

## Εδαφικές Ωθήσεις



### ❖ Εφαρμογή :

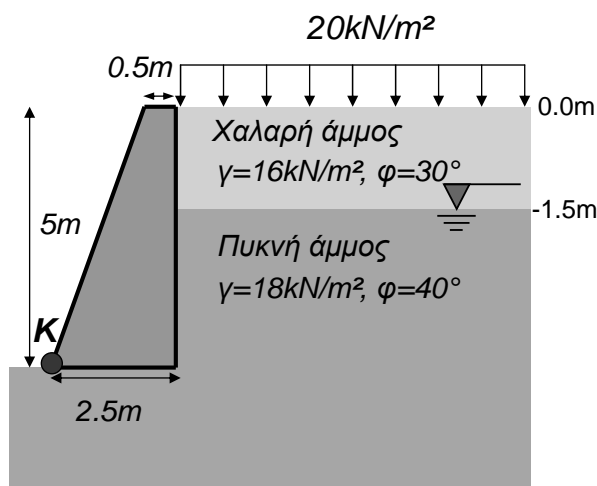
Να σχεδιαστεί το διάγραμμα οριζόντιων ενεργητικών τάσεων κατά Rankine και η συνισταμένη ώθηση στον τοίχο αντιστήριξης του σχήματος. Στη συνέχεια να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας σε ανατροπή και ολίσθηση του τοίχου (απλοποιητικά  $\gamma = \gamma_{\text{κορ}}$ ,  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{ακυροδ}} = 25 \text{ kN/m}^3$ ). Στη βάση αδιαπέρατο υλικό.

### Επίλυση :

Η ενδεχόμενη ανατροπή του τοίχου θα ελεγχθεί ως προς το σημείο Κ, όπου θα πρέπει η ροπή ευστάθειας να είναι μεγαλύτερη από τη ροπή ανατροπής.

Η δύναμη και η ροπή ευστάθειας οφείλονται στο ίδιο βάρος του τοίχου που δρα σταθεροποιητικά.

Η δύναμη ολίσθησης και η ροπή ανατροπής οφείλονται στις ενεργητικές ωθήσεις του εδάφους (λόγω ιδίου βάρους, επιφόρτισης και υδροστατικών τάσεων).



Το αδιαπέρατο υλικό στη βάση εμποδίζει την ανάπτυξη υποπίεσεων του νερού

## Εδαφικές Ωθήσεις



## ❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των ενεργητικών ωθήσεων στο έδαφος

(1) Υπολογίζονται οι κατακόρυφες ενεργές τάσεις λόγω του ίδιου βάρους εδάφους

$$z = 1.5\text{m} \rightarrow \sigma_{v,o} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1.5\text{m} = 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$u_w = 0$$

$$\sigma'_{v,o} = \sigma_{v,o} - u_w = 24 \text{ kPa}$$

$$z = 5.0\text{m} \rightarrow \sigma_{v,o} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1.5\text{m} + 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 3.5\text{m} = 87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$u_w = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 3.5\text{m} = 35 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{v,o} = \sigma_{v,o} - u_w = 52 \text{ kPa}$$

(2) Υπολογίζονται οι οριζόντιες τάσεις του εδάφους λόγω ίδιου βάρους

$$\text{Χαλαρή άμμος } (\varphi=30^\circ) \rightarrow K_a=0.3333 \quad z = 0.0\text{m} \rightarrow \sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o} = 0.3333 \cdot 0 = 0 \text{ kPa}$$

$$z = 1.5\text{m} \rightarrow \sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o} = 0.3333 \cdot 24 = 8.00 \text{ kPa}$$

## Εδαφικές Ωθήσεις



## ❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των ενεργητικών ωθήσεων στο έδαφος

(2) Υπολογίζονται οι οριζόντιες τάσεις του εδάφους λόγω ίδιου βάρους

$$\text{Πυκνή άμμος } (\varphi=40^\circ) \rightarrow K_a=0.2174 \quad z = 1.5\text{m} \rightarrow \sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o} = 0.2174 \cdot 24 = 5.22 \text{ kPa}$$

$$z = 5.0\text{m} \rightarrow \sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o} = 0.2174 \cdot 52 = 11.30 \text{ kPa}$$

(3) Υπολογίζονται οι οριζόντιες υδροστατικές τάσεις

Η τιμή και η κατανομή των οριζόντιων υδροστατικών τάσεων με το βάθος είναι όμοιες με τις κατακόρυφες υδροστατικές τάσεις

(4) Υπολογίζονται οι οριζόντιες τάσεις λόγω επιφόρτισης

Για επιφόρτιση ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο  $q=20\text{kN/m}^2$  προκύπτουν οριζόντιες ενεργητικές τάσεις:

$$\text{Χαλαρή άμμος: } \sigma'_{a,q} = K_a \cdot q = 0.3333 \cdot 20 \text{ kPa} = 6.67 \text{ kPa}$$

$$\text{Πυκνή άμμος: } \sigma'_{a,q} = K_a \cdot q = 0.2174 \cdot 20 \text{ kPa} = 4.35 \text{ kPa}$$

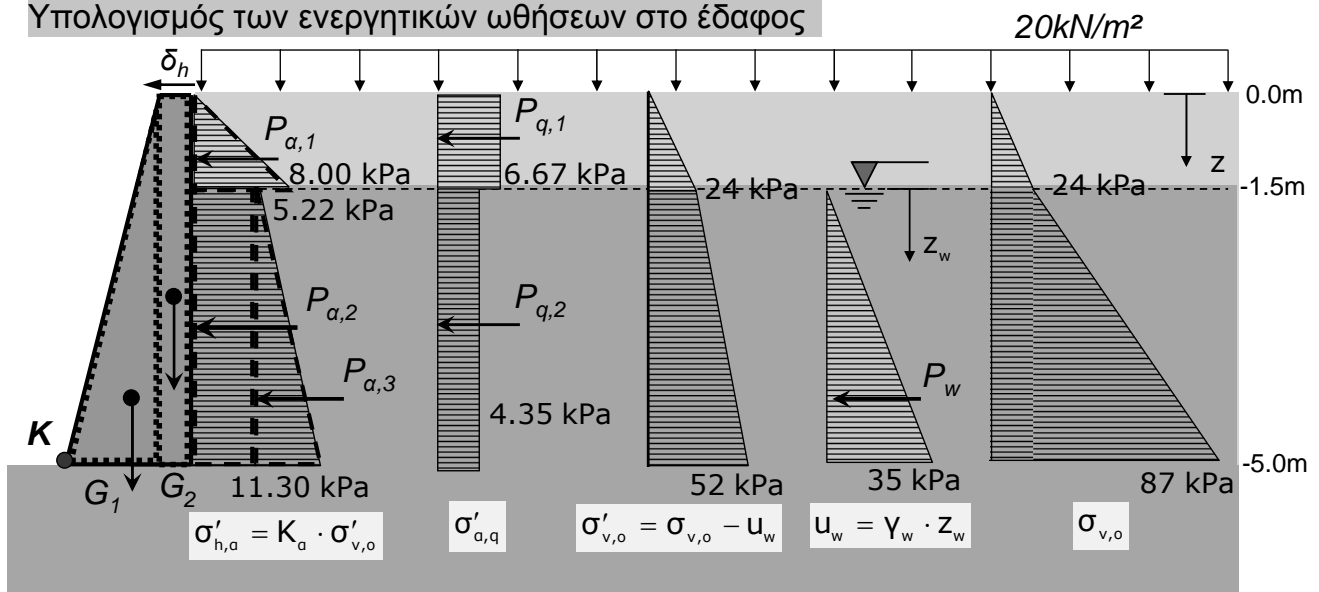


## Εδαφικές Ωθήσεις



❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των ενεργητικών ωθήσεων στο έδαφος



(5) Υπολογίζονται οι τιμές και οι θέσεις εφαρμογής των ενεργητικών ωθήσεων

Ο υπολογισμός της τιμής και της θέσης εφαρμογής της κάθε ώθησης συχνά απαιτεί τη διάσπαση του διαγράμματος τάσεων σε απλά σχήματα (τρίγωνα και ορθογώνια) με γνωστό κέντρο βάρους

## Εδαφικές Ωθήσεις



❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των ενεργητικών ωθήσεων στο έδαφος

(5) Υπολογίζονται οι τιμές και οι θέσεις εφαρμογής των ενεργητικών ωθήσεων

Ενεργητική ώθηση εδάφους:

$$P_{a,1} = \frac{1}{2} \cdot 8.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.5 \text{ m} = 6.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_{a,1} \text{ από τη βάση του τοίχου: } \frac{1}{3} \cdot 1.5 \text{ m} + 3.5 \text{ m} = 4.00 \text{ m}$$

$$P_{a,2} = 5.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.5 \text{ m} = 18.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_{a,2} \text{ από τη βάση του τοίχου: } \frac{1}{2} \cdot 3.5 \text{ m} = 1.75 \text{ m}$$

$$P_{a,3} = \frac{1}{2} \cdot (11.30 - 5.22) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.5 \text{ m} = 10.64 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_{a,3} \text{ από τη βάση του τοίχου: } \frac{1}{3} \cdot 3.5 \text{ m} = 1.167 \text{ m}$$

## Εδαφικές Ωθήσεις



❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των ενεργητικών ωθήσεων στο έδαφος

(5) Υπολογίζονται οι τιμές και οι θέσεις εφαρμογής των ενεργητικών ωθήσεων

Ωθηση λόγω υδροστατικών πιέσεων:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot 35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.5 \text{ m} = 61.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Σημείωση: οι μονάδες kN/m αναφέρονται σε δύναμη (kN) ανά μέτρο μήκους του τοίχου αντιστήριξης}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_w \text{ από τη βάση του τοίχου: } \frac{1}{3} \cdot 3.5 \text{ m} = 1.167 \text{ m}$$

Ωθηση λόγω επιφόρτισης  $q=20\text{kN/m}^2$ :

$$P_{q,1} = 6.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.5 \text{ m} = 10.01 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_{q,1} \text{ από τη βάση του τοίχου: } \frac{1}{2} \cdot 1.5 \text{ m} + 3.5 \text{ m} = 4.25 \text{ m}$$

$$P_{q,2} = 4.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.5 \text{ m} = 15.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_{q,2} \text{ από τη βάση του τοίχου: } \frac{1}{2} \cdot 3.5 \text{ m} = 1.75 \text{ m}$$

## Εδαφικές Ωθήσεις



❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των δυνάμεων ευστάθειας

Οι δυνάμεις ευστάθειας είναι το βάρος του τοίχου αντιστήριξης

$$G_1 = A_1 \cdot \gamma_{\text{σκυροδ}} = \frac{1}{2} \cdot (2.5 - 0.5) \text{ m} \cdot 5.0 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 125.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Απόσταση εφαρμογής της } G_1 \text{ από το σημείο Κ: } \frac{2}{3} \cdot (2.5 - 0.5) \text{ m} = 1.333 \text{ m}$$

$$G_2 = A_2 \cdot \gamma_{\text{σκυροδ}} = 0.5 \text{ m} \cdot 5.0 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 62.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Απόσταση εφαρμογής της } G_2 \text{ από το σημείο Κ: } (2.5 - 0.5) \text{ m} + \frac{0.5 \text{ m}}{2} = 2.25 \text{ m}$$

## Εδαφικές Ωθήσεις



## ❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των ροπών ευστάθειας ως προς το Κ:

$$M_{\text{ευστ}} = G_1 \cdot 1.333 \text{ m} + G_2 \cdot 2.25 \text{ m} = 125 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.333 \text{ m} + 62.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2.25 \text{ m} = 307.25 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Σημείωση: οι μονάδες kNm/m αναφέρονται σε ροπή (kNm) ανά μέτρο μήκους του τοίχου αντιστήριξης

Υπολογισμός των ροπών ανατροπής ως προς το Κ:

$$M_{\text{ανατρ}} = P_{a,1} \cdot 4.00 \text{ m} + P_{a,2} \cdot 1.75 \text{ m} + P_{a,3} \cdot 1.167 \text{ m} + P_w \cdot 1.167 \text{ m} + P_{q,1} \cdot 4.25 \text{ m} + P_{q,2} \cdot 1.75 \text{ m} \Rightarrow$$

$$M_{\text{ανατρ}} = 6.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4.00 \text{ m} + 18.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.75 \text{ m} + 10.64 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.167 \text{ m} + 61.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.167 \text{ m} \\ + 10.01 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4.25 \text{ m} + 15.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.75 \text{ m} \Rightarrow$$

$$M_{\text{ανατρ}} = 209.06 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας σε ανατροπή:

$$FS_{\text{ανατρ}} = \frac{M_{\text{ευσταθ}}}{M_{\text{ανατρ}}} = \frac{307.25}{209.06} = 1.47$$

## Εδαφικές Ωθήσεις



## ❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας σε ολίσθηση:

Δυνάμεις ολίσθησης:

$$F_{\text{ολισθ}} = P_{a,1} + P_{a,2} + P_{a,3} + P_w + P_{q,1} + P_{q,2} \Rightarrow$$

$$F_{\text{ολισθ}} = 6.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 18.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 10.64 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 61.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 10.01 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 15.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 121.40 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Δυνάμεις ευστάθειας σε ολίσθηση:

Ως δύναμη ευστάθειας σε ολίσθηση λειτουργεί η τριβή μεταξύ της βάσης του τοίχου και του εδάφους (πυκνή άμμος) που αναπτύσσεται λόγω του βάρους του τοίχου

$$F_{\text{ευσταθ}} = G_{\text{ολ}} \cdot \tan \varphi = (125.0 + 62.5) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \tan 40^\circ = 157.33 \text{ kN}$$

Συντελεστής ασφαλείας σε ολίσθηση:

$$FS_{\text{ολισθ}} = \frac{F_{\text{ευσταθ}}}{F_{\text{ολισθ}}} = \frac{157.33}{121.40} = 1.30$$

## Εδαφικές Ωθήσεις



### ❖ Εφαρμογή :

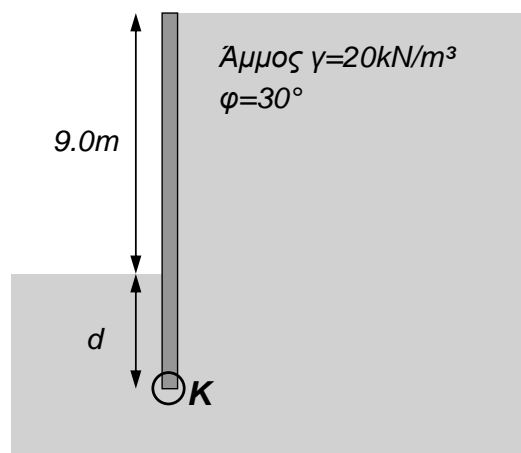
Να υπολογιστεί το βάθος έμπηξης της πασσαλοσανίδας του σχήματος ώστε να εξασφαλιστεί η ισορροπία της σε στροφή γύρω από τη βάση (σημείο Κ) (Μαραγκός, 2009).

### Επίλυση :

Το έδαφος τη στιγμή της αστοχίας (στροφή γύρω από το Κ) αναπτύσσει τόσο ενεργητικές όσο και παθητικές ωθήσεις

Ενεργητικές ωθήσεις στο έδαφος αναπτύσσονται από την δεξιά πλευρά της πασσαλοσανίδας και τείνουν να την ανατρέψουν ως προς το σημείο Κ

Παθητικές ωθήσεις στο έδαφος αναπτύσσονται από την αριστερά πλευρά της πασσαλοσανίδας και τείνουν να διατηρήσουν την ισορροπία ως προς το Κ



## Εδαφικές Ωθήσεις



### ❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Ανάπτυξη ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων

Σχεδιάζεται το σκαρίφημα με την μετατόπιση της πασσαλοσανίδας και τα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων οριζόντιων τάσεων

Υπολογισμός των ενεργητικών ωθήσεων στο έδαφος

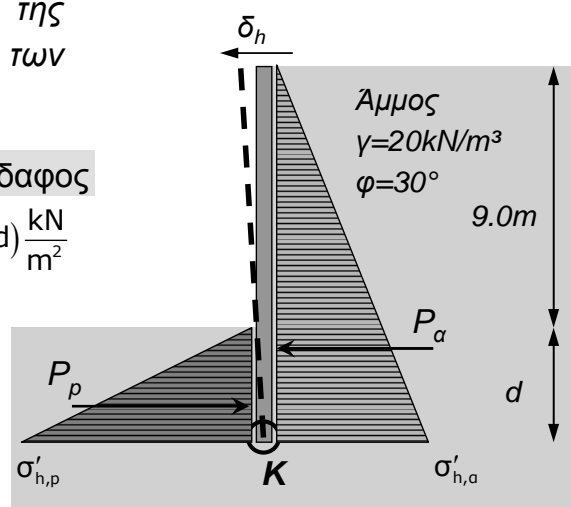
$$z = (9 + d) \text{ m} \rightarrow \sigma'_{v,o} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (9 + d) \text{ m} = 20 \cdot (9 + d) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Άμμος } \phi=30^\circ \rightarrow K_a=0.3333$$

$$\sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o} = 6.667 (9 + d) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,a} \cdot (9 + d) = 3.333 \cdot (9 + d)^2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_a \text{ από το Κ: } \frac{1}{3} \cdot (9 + d) \text{ m}$$



## Εδαφικές Ωθήσεις



### ❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός των παθητικών ωθήσεων στο έδαφος

$$z = d \text{ m} \rightarrow \sigma'_{v,o} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot d \text{ m} = 20 \cdot d \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Άμμος } \varphi=30^\circ \rightarrow K_p=3.0000$$

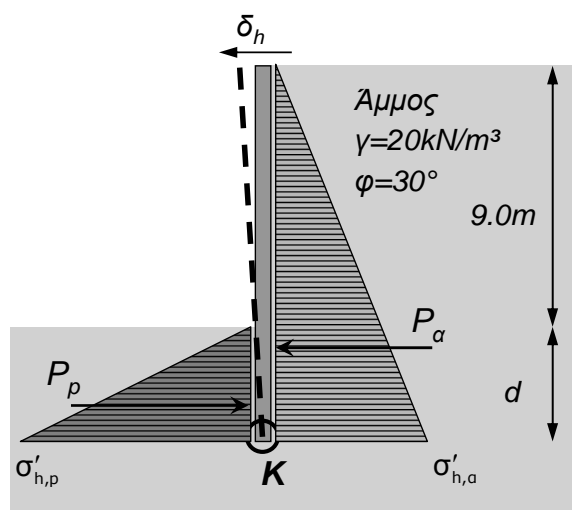
$$\sigma'_{h,p} = K_p \cdot \sigma'_{v,o} = 60 \cdot d \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,p} \cdot d = \frac{1}{2} \cdot (60 \cdot d) \cdot d = 30 \cdot d^2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Προς την πλευρά της ασφαλείας θεωρείται πως η παθητική ώθηση (δύναμη ευστάθειας) δεν αναπτύσσεται με την πλήρη τιμή της αλλά με τα 2/3 της τιμής της.

$$P_p = \frac{2}{3} \left( 30 \cdot d^2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) = 20 \cdot d^2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Θέση εφαρμογής της } P_p \text{ από το } K: \frac{1}{3} \cdot d \text{ m}$$



## Εδαφικές Ωθήσεις



### ❖ Συνέχεια εφαρμογής :

Υπολογισμός απαιτούμενου βάθους έμπηξης d:

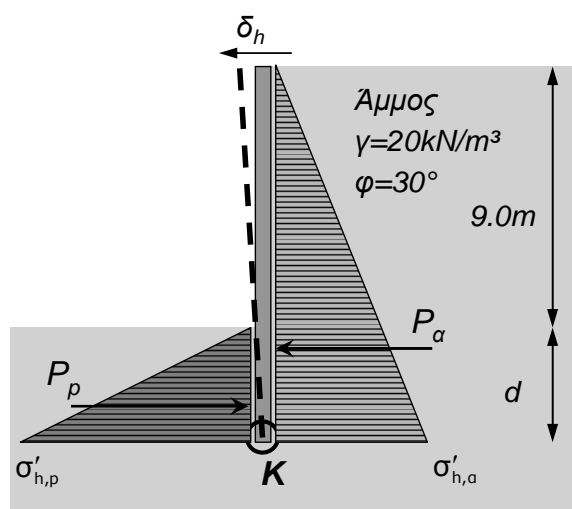
Για να μην ανατραπεί η πασσαλοσανίδα γύρω από το σημείο K θα πρέπει το άθροισμα των ροπών των ωθήσεων ως προς K να είναι ίσο με μηδέν.

$$\Sigma M_K = 0 \Rightarrow P_p \cdot \frac{1}{3} d - P_a \cdot \frac{1}{3} (9 + d) = 0 \Rightarrow$$

$$20 \cdot d^2 \cdot \frac{1}{3} d - 3.333 \cdot (9 + d)^2 \cdot \frac{1}{3} (9 + d) = 0 \Rightarrow$$

$$20 \cdot d^3 - 3.333 \cdot (9 + d)^3 = 0$$

Από την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης προκύπτει ότι  $d=11.02\text{m}$



Συνεπώς θα πρέπει το μήκος έμπηξης d της πασσαλοσανίδας να είναι τουλάχιστο 11.02m ώστε να μην ανατραπεί λόγω των αναπτυσσόμενων εδαφικών ωθήσεων