Ε. Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τοίχων Αντιστήριξης & Κρηπιδοτοίχων

Γ. Δ. Μπουκοβάλας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ημερίδα
Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος - Απρίλιος 2010

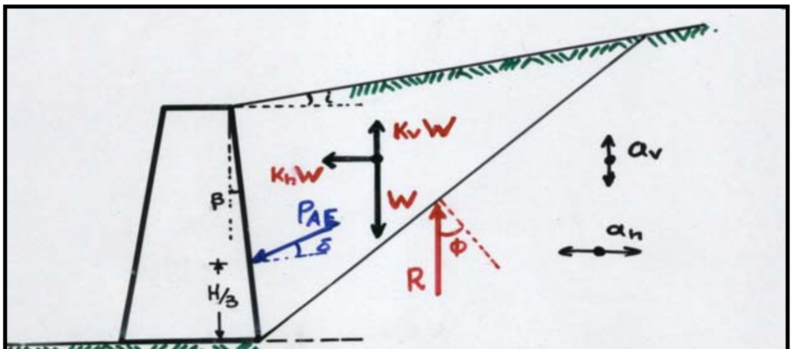
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
2. ΑΜΕΤΑΚΙΝΗΤΟΙ ΤΟΙΧΟΙ
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ (performance based design)
4. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ

www.georgebouckovalas.com

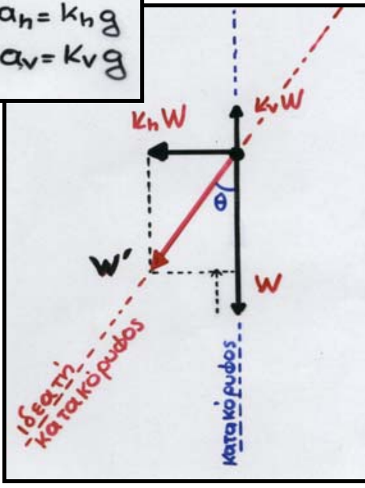
1. ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
(τοίχοι βαρύτητας, εύκαμπτα πετάσματα χωρίς αγκύρωση, κλπ.)

Μέθοδος MONONOBE - OKABE



μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση $a_h = k_h g$

μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση $a_v = k_v g$



- στροφή της κατακορύφου κατά ϑ,

  $\tan\vartheta = \dfrac{k_h}{1 \pm k_v}$

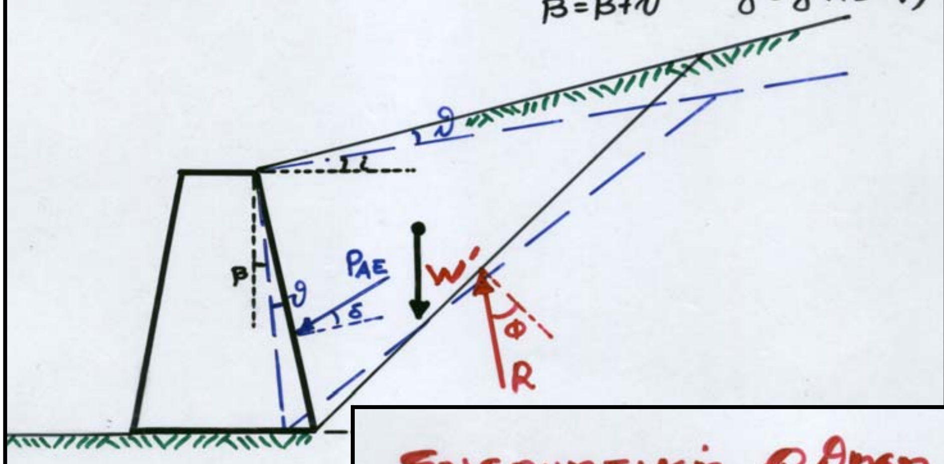
- $\gamma' = \gamma(1 \pm k_v)\sqrt{1+\tan^2\vartheta}$

  $\gamma' \approx \gamma(1 \pm k_v)$

Mononobe - Okabe $\equiv$ Coulomb

$i' = i + \vartheta$

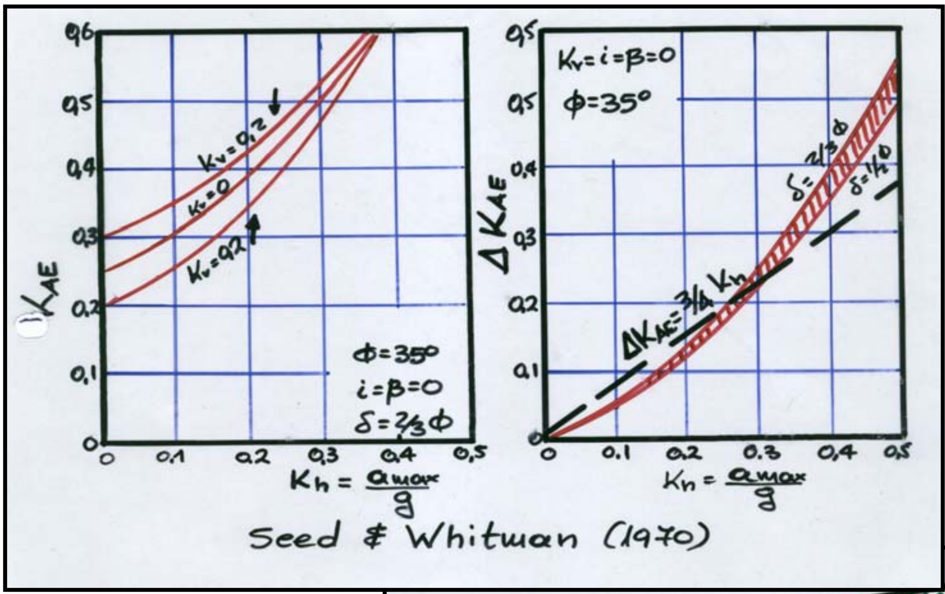
$\beta' = \beta + \vartheta$ $\quad \gamma' = \gamma(1 \pm k_v)$

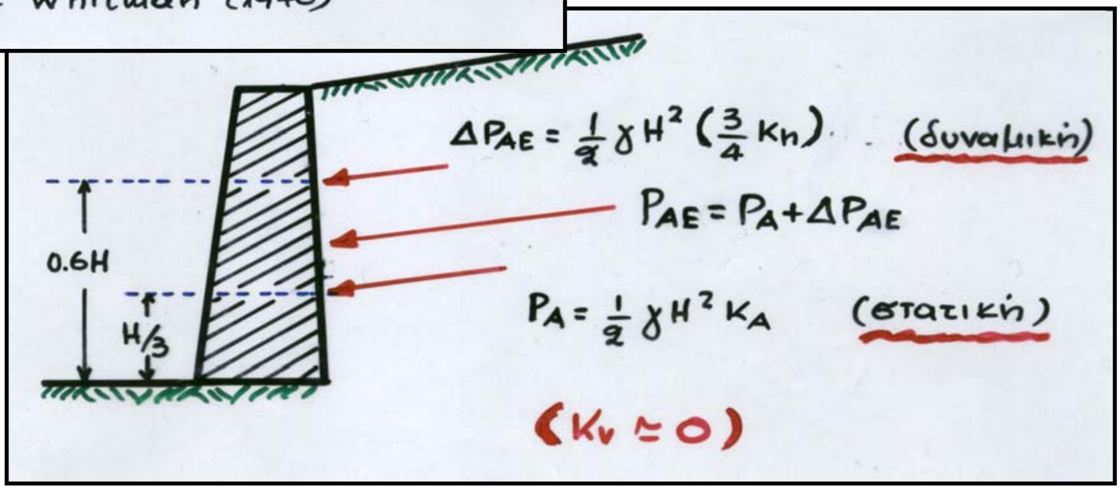


Ενεργητική ώθηση:

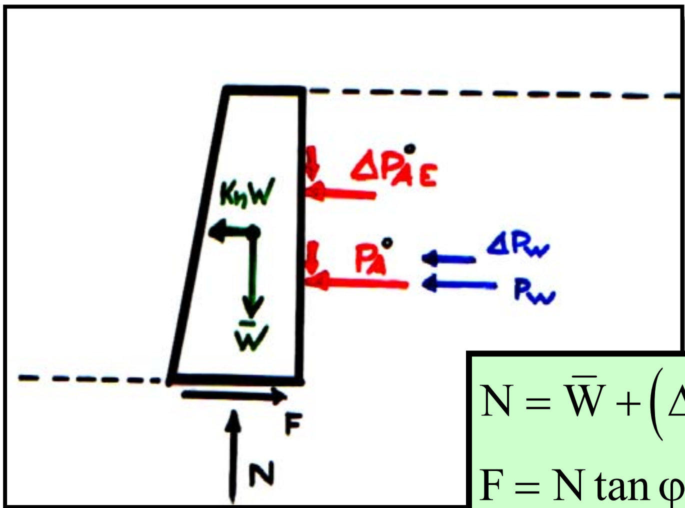
$$P_{AE} = \frac{1}{2}\gamma H^2 (1 \pm k_v)\, K_{AE}$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \beta - \theta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\beta \cdot \cos(\delta+\beta+\theta)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\theta-i)}{\cos(\delta+\beta+\theta)\cos(i-\beta)}}\right]^2}$$





ΨΕΥΔΟ-ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (αστοχίας)



$$N = \bar{W} + \left(\Delta P_{AE}^{o} + P_{A}^{o}\right)\tan\delta$$

$$F = N\tan\varphi_o$$

$$F.S.^{o\lambda} = \frac{N\tan\varphi_o}{P_A^o + \Delta P_{AE}^o + P_w + \Delta P_w + k_h W} \geq 1.0$$

δ: γωνία τριβής τοίχου-ανακουφ. πρίσματος

φ_o: γωνία τριβής έδρασης τοίχου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
2. ΑΜΕΤΑΚΙΝΗΤΟΙ ΤΟΙΧΟΙ
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ (performance based design)
4. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ

σε συνεργασία με
Γ. ΚΟΥΡΕΤΖΗ (Δρ. Πολ. Μηχανικό)

2. ΑΜΕΤΑΚΙΝΗΤΟΙ ΤΟΙΧΟΙ
(τοίχοι υπογείων έργων, πτερυγότοιχοι γεφυρών, κλπ.)

Η εφαρμογή της μεθόδου Mononobe-Okabe προϋποθέτει τη δυνατότητα μετακίνησης του τοίχου αντιστήριξης, για την ανάπτυξη της πλήρους ενεργητικής ώθησης πίσω από τον τοίχο.

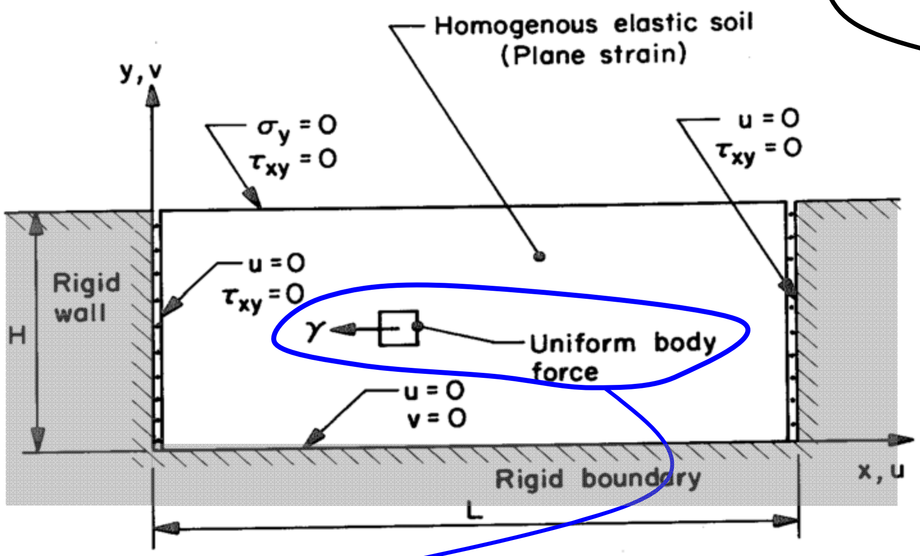
Ωστόσο, τοίχοι υπογείων που αντιστηρίζονται από πλάκες, πτερυγότοιχοι γεφυρών, πετάσματα με πολλαπλές αγκυρώσεις ή ακόμη και τοίχοι βαρύτητας θεμελιωμένοι σε στιφρά-βραχώδη εδάφη **δεν έχουν δυνατότητα μετακίνησης**.

λύσεις για αμετακίνητους τοίχους σε ελαστικό έδαφος

Wood (1973)

προσομοίωμα ελαστικού εδάφους μεταξύ δυο **ακλόνητων** τοίχων

$E_{wall} >> E_{soil}$



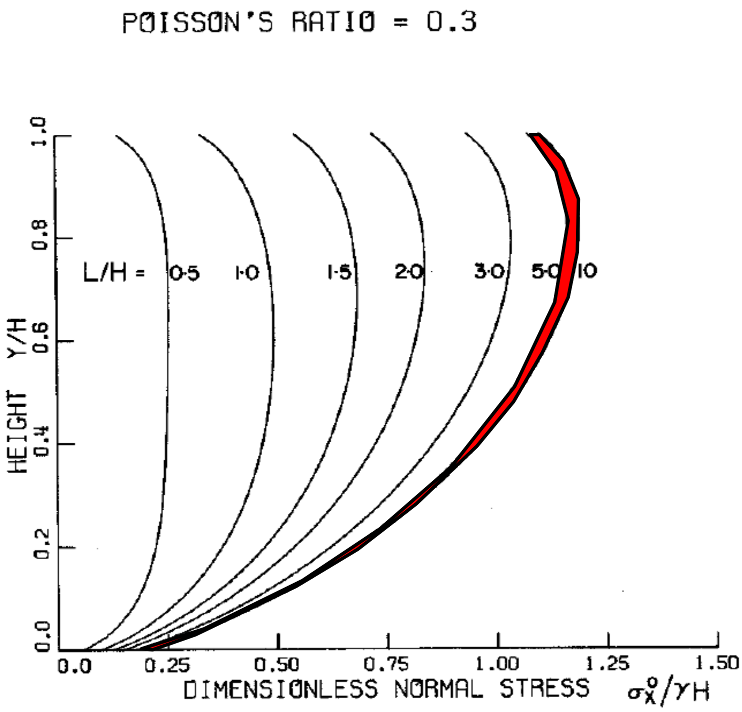
Παραδοχές

1. **ψευδοστατικές** συνθήκες ($T_{διεγερ}$>>4H/V_s) – *αρκετά συνήθης περίπτωση **(γιατί?)***
2. επίπεδη ένταση (plain strain)
3. ελαστικό έδαφος
4. λείοι & **άκαμπτοι** τοίχοι

Αναλυτικές εκφράσεις για πιέσεις, δυνάμεις και ροπές στους τοίχους, συναρτήσει του λόγου L/H και του λόγου του Poisson του ελαστικού εδάφους

Wood (1973)

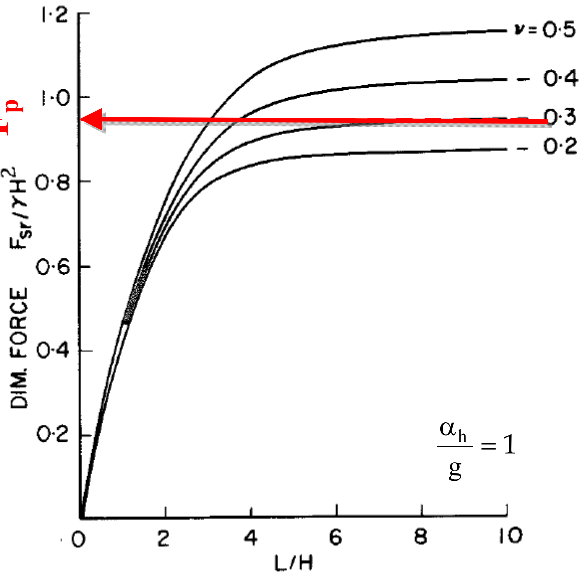
σεισμικές ωθήσεις στον τοίχο

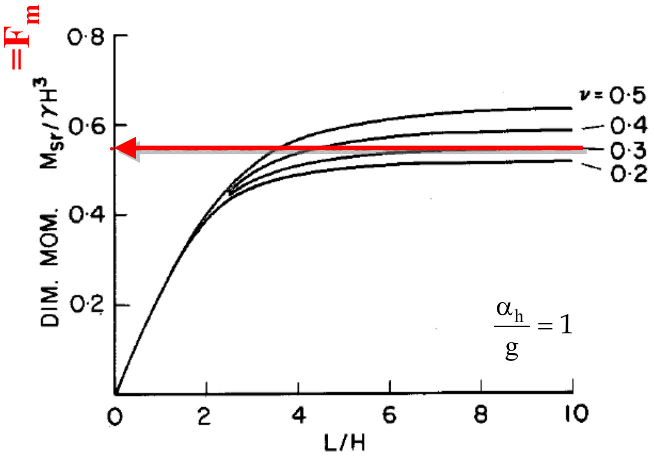


για $\frac{\alpha_h}{g} = 1$

Wood (1973)

Σεισμικές ροπές και τέμνουσες δυνάμεις



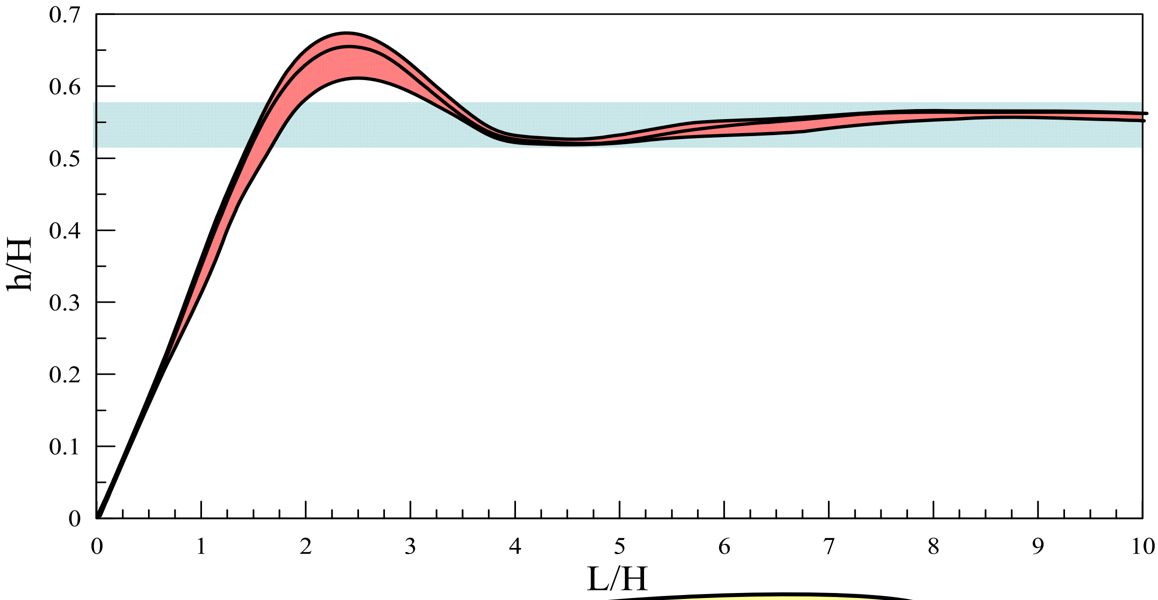


$$\Delta F_{eq} = F_P \gamma H^2 \frac{\alpha_h}{g}$$

$$\Delta M_{eq} = F_m \gamma H^3 \frac{\alpha_h}{g}$$

Wood (1973)

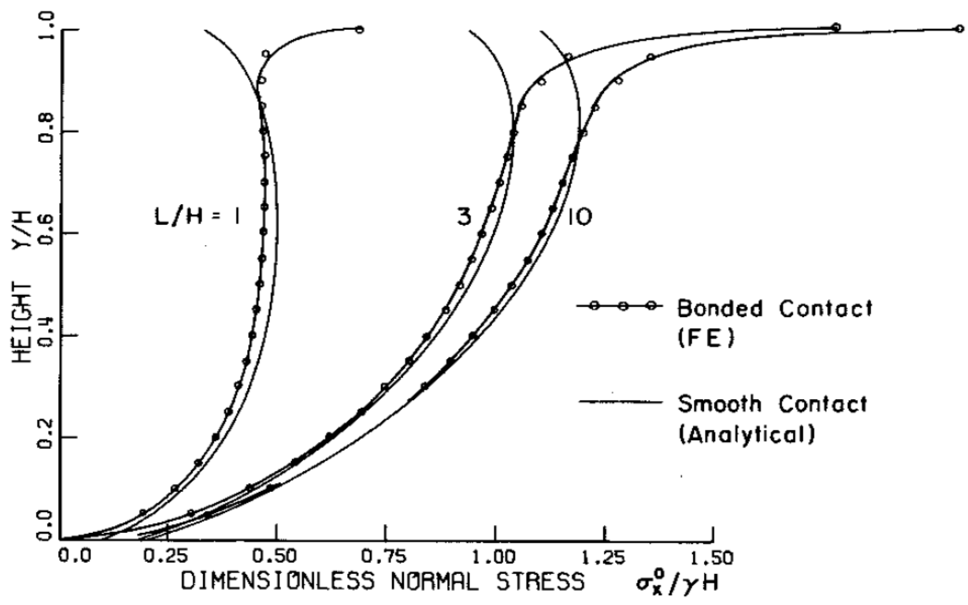
Σημείο εφαρμογής της συνιστάμενης δύναμης $h = \dfrac{\Delta M_{eq}}{\Delta P_{eq}}$



$$\frac{h}{H} \approx 0.55 \quad \left(\text{για } \frac{L}{H} > 4 \right)$$

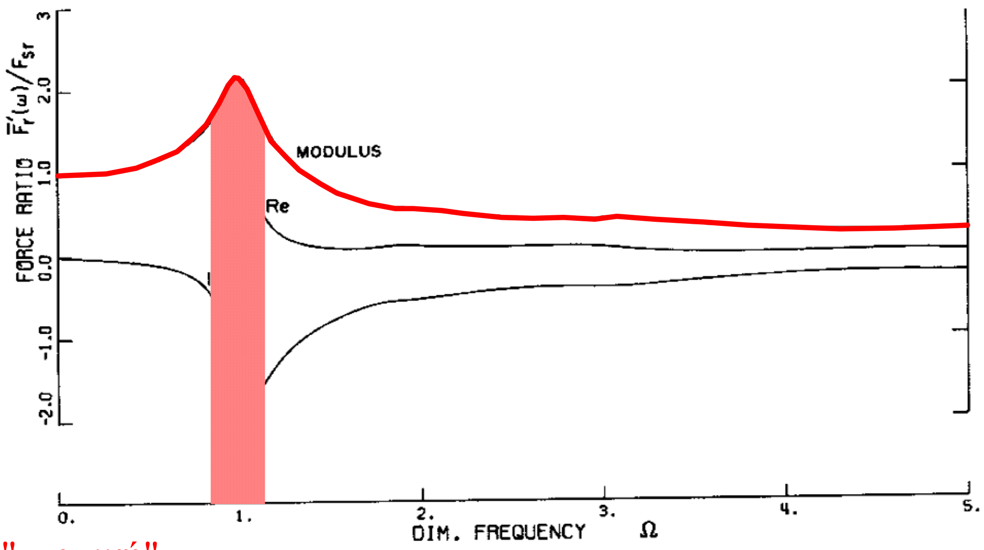
Wood (1973)

Διαφορές λείου - «συγκολλημένου» τοίχου



Wood (1973)

Επέκταση για δυναμική (αρμονική) φόρτιση –**τέμνουσα δύναμη**

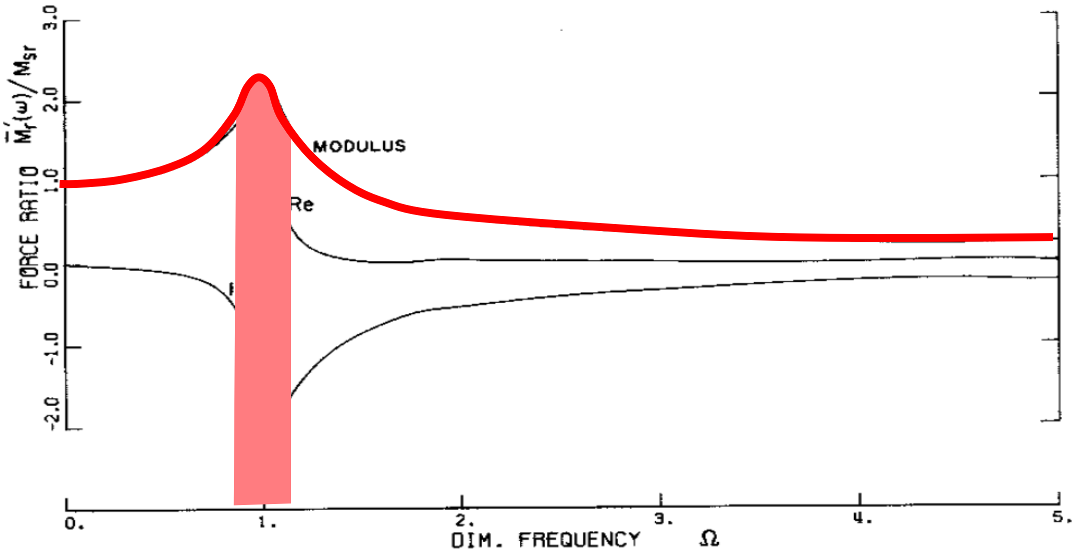


"στατική" λύση — συντονισμός — υψίσυχνες διεγέρσεις

$$\Omega = \frac{\omega_{excit}}{\omega_{soil}} = \frac{T_{soil}}{T_{excit}} << 1.0$$

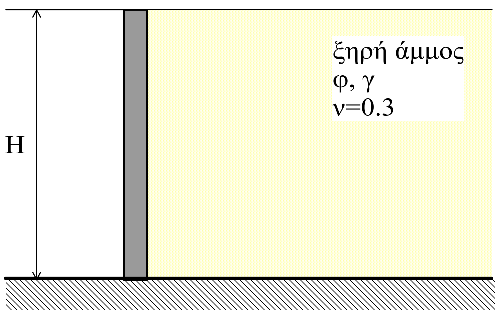
Wood (1973)

Επέκταση για δυναμική (αρμονική) φόρτιση –**ροπή κάμψης**



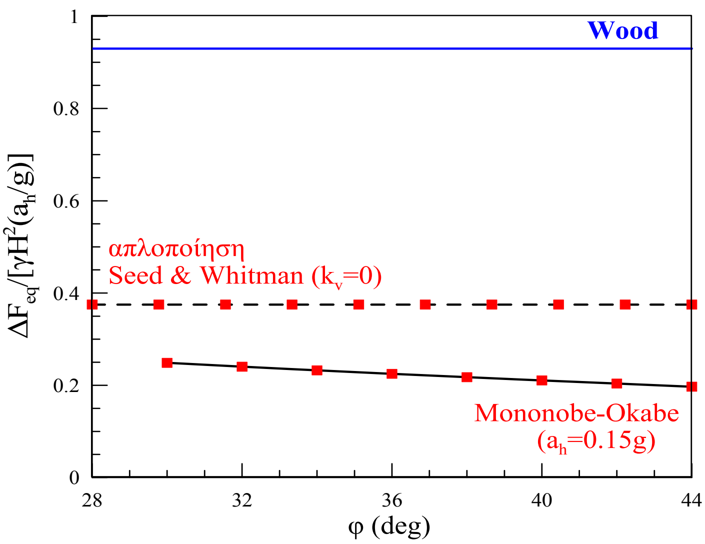
$$\Omega = \frac{\omega_{excit}}{\omega_{soil}} = \frac{T_{soil}}{T_{excit}} << 1.0$$

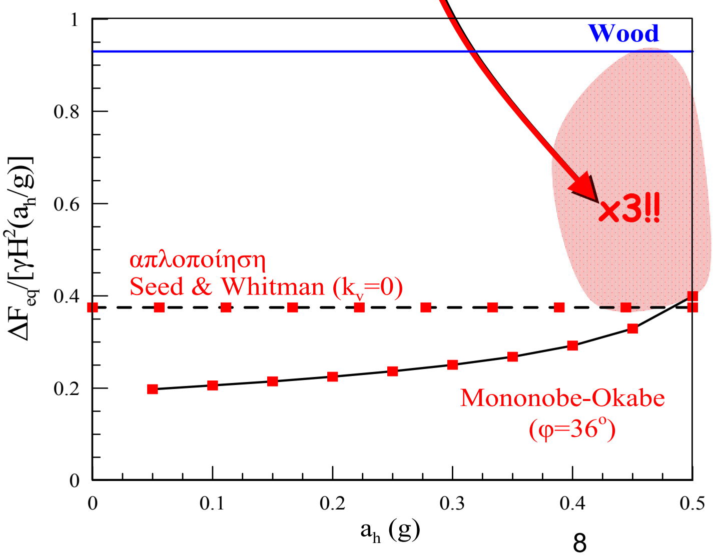
Wood (1973)



Σύγκριση με Mononobe-Okabe

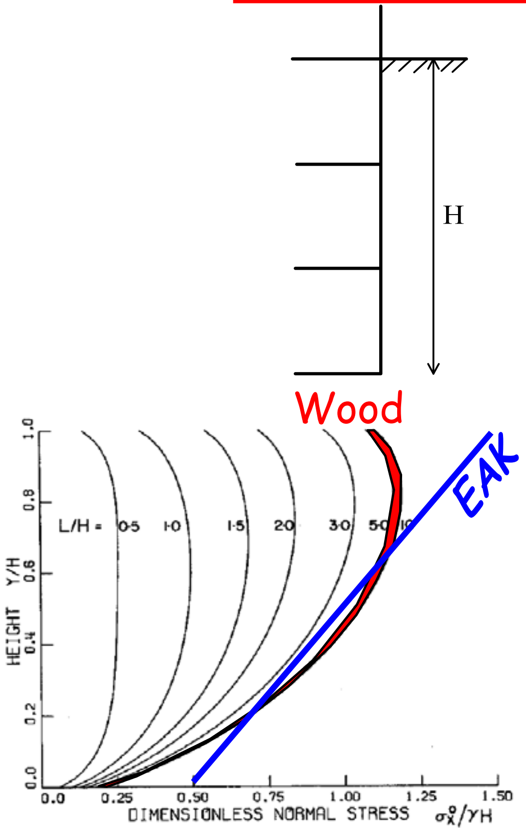
Ο λόγος για τον οποίο οι ελαστικές λύσεις έμειναν στο περιθώριο για 30 χρόνια… (σε συνδυασμό με την απουσία θεαματικών αστοχιών σε τοίχους)

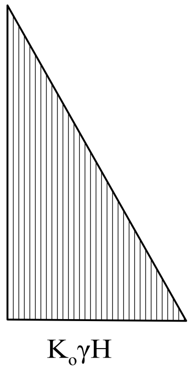




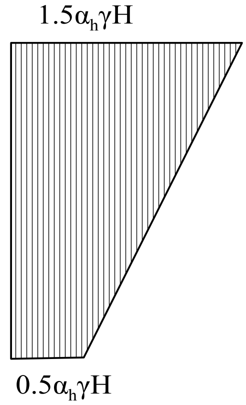
ΕΑΚ 2002

«ακλόνητοι & απαραμόρφωτοι τοίχοι»
π.χ. περιμετρικοί τοίχοι υπογείων που συνδέονται με πλάκες





ωθήσεις ηρεμίας

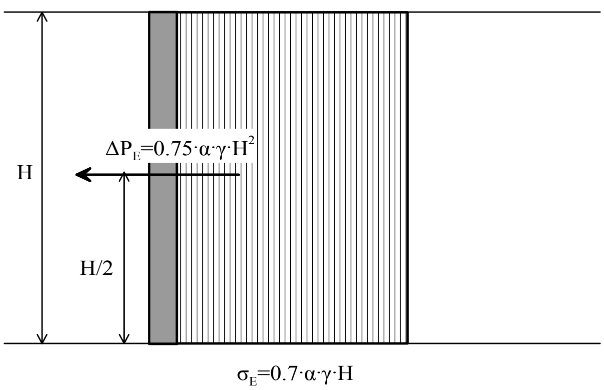


σεισμική επαύξηση

$$\left.\begin{aligned}\Delta P_{eq} &= \gamma H^3 \frac{\alpha_h}{g} \\ \Delta M_{eq} &= 0.58\gamma H^3 \frac{\alpha_h}{g}\end{aligned}\right\} \text{Wood}$$

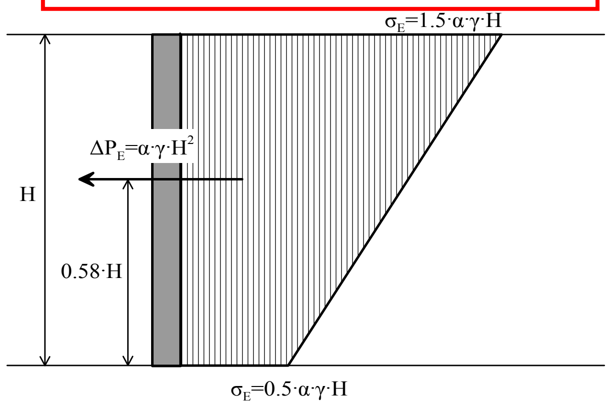
ΥΠΕΧΩΔΕ-εγκ.39/99 «Οδηγίες για την αντισεισμική μελέτη γεφυρών»

Τοίχοι με περιορισμένη δυνατότητα μετακίνησης 0.1%>U/H≥0.05%



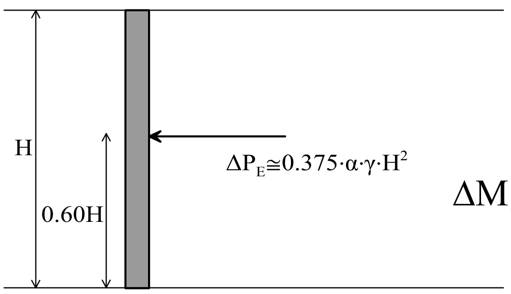
$$\Delta M_{eq} = 0.375\gamma H^3 \frac{\alpha_h}{g}$$

Τοίχοι πρακτικώς αμετακίνητοι 0.05% > U/H



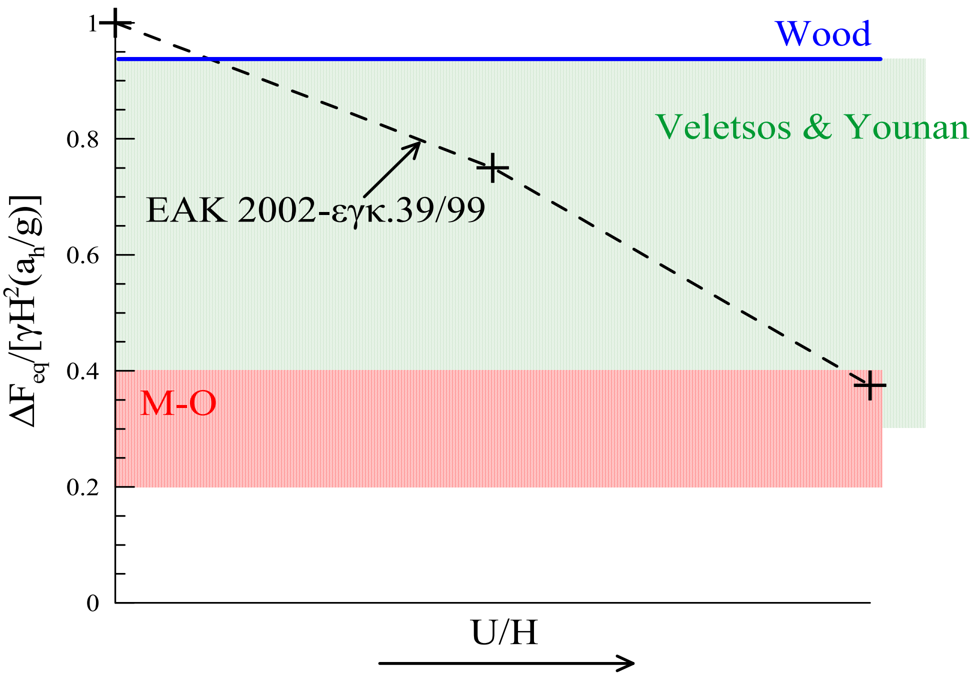
$$\Delta M_{eq} = 0.58\gamma H^3 \frac{\alpha_h}{g}$$

Υπενθύμιση: M-O (U/H>0.1%)



$$\Delta M_{eq} = 0.225\gamma H^3 \frac{\alpha_h}{g}$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ…

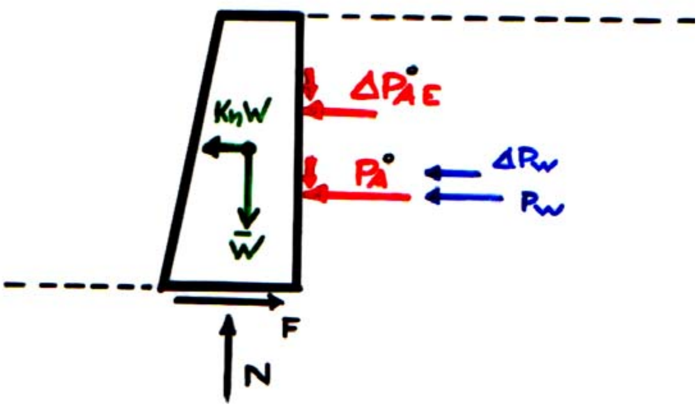


Wood
Veletsos & Younan
EAK 2002-εγκ.39/99
M-O
$\Delta F_{eq}/[\gamma H^2(a_h/g)]$
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
U/H

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

www.georgebouckovalas.com

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ (performance based design)



δ: γωνία τριβής τοίχου-ανακουφ. πρίσματος

φ_o: γωνία τριβής έδρασης τοίχου

$$N = \bar{W} + \left(\Delta P^o_{AE} + P^o_A\right)\tan\delta$$

$$F = N\tan\varphi_o$$

$$F.S.^{o\lambda} = \frac{N\tan\varphi_o}{P^o_A + \Delta P^o_{AE} + P_w + \Delta P_w + k_h W}$$

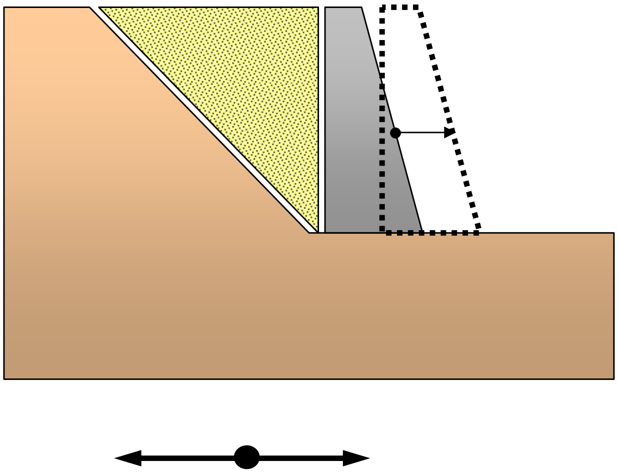
Performance based design:

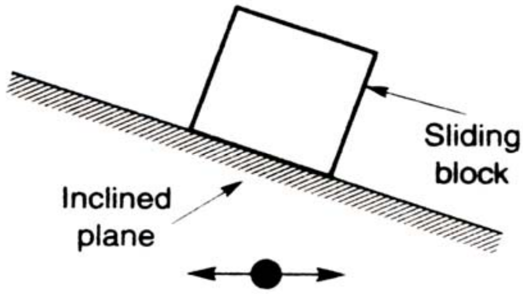
Ακόμη και όταν $F.S.^{o\lambda} < 1.0$ (αστοχία σε ολίσθηση)

<u>δεν έχουμε κατάρρευση</u> του έργου (!!),

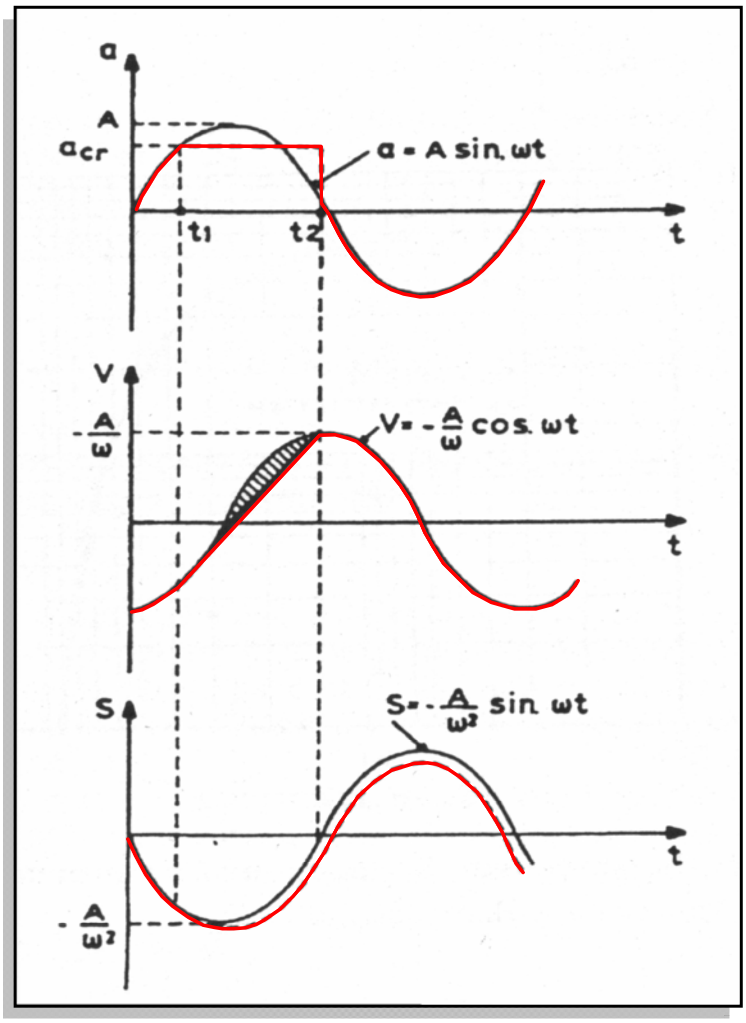
παρά μόνο κάποιες μετατοπίσεις, οι οποίες μπορεί να είναι αποδεκτές . . .

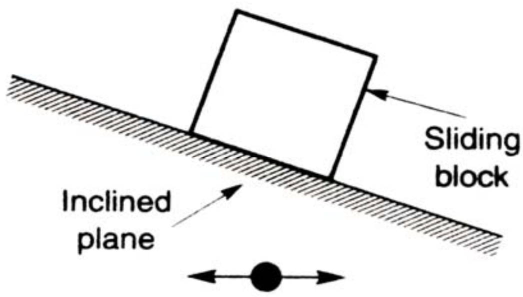
Κινηματική
«ολισθαίνοντος στερεού»
(για την απλή περίπτωση ημιτονικής διέγερσης)





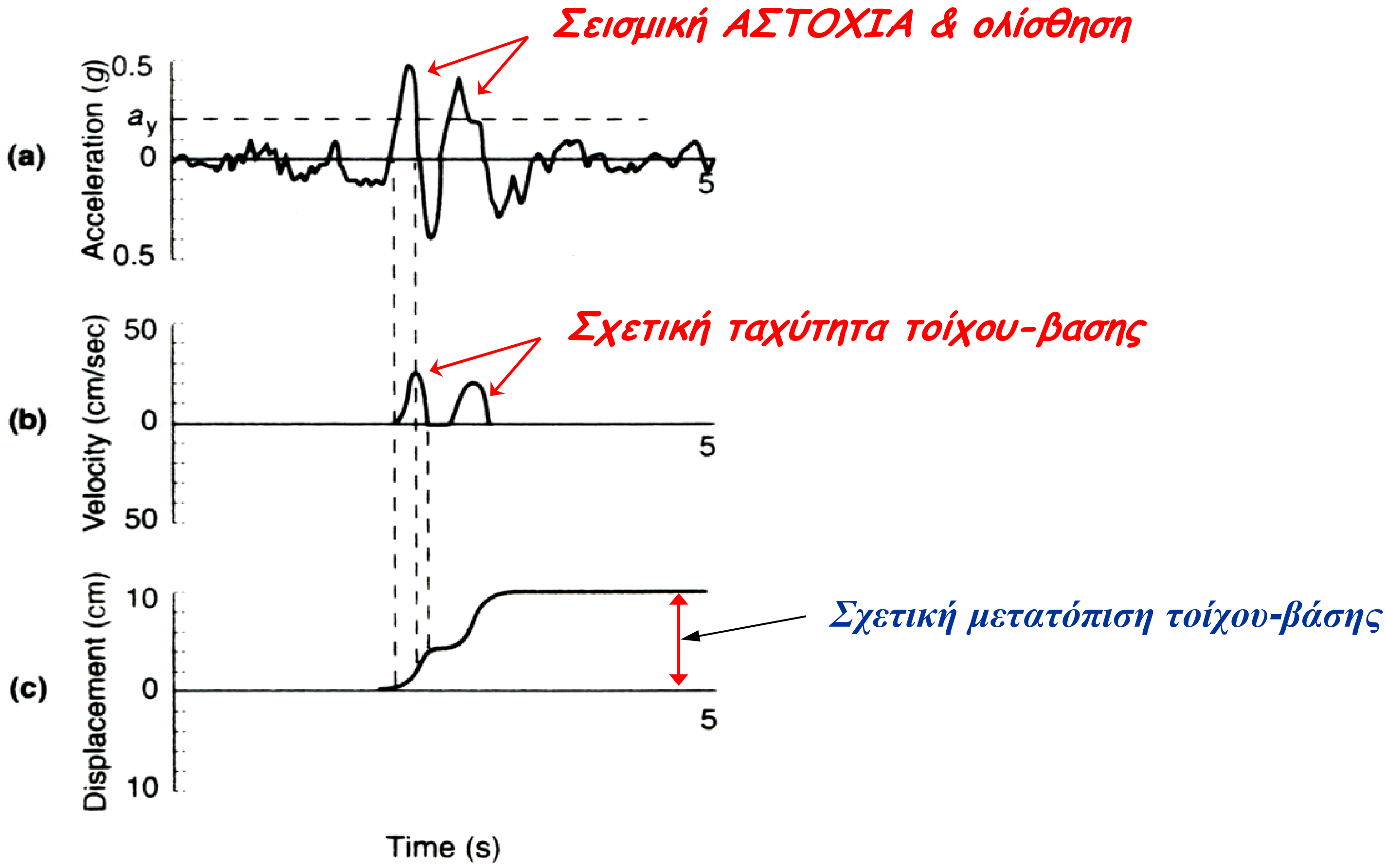
Κινηματική
«ολισθαίνοντος στερεού»
(για την απλή περίπτωση ημιτονικής διέγερσης)





κίνηση ΒΑΣΗΣ

κίνηση ΟΛΙΣΘΑΙΝΟΝΤΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ



Υπολογισμός σχετικής μεταόπισης τοίχου ….

NEWMARK (1965)

$$\delta = 0.50 \cdot \left(\frac{V_{max}^2}{a_{max}} \right) \cdot \frac{\left(1 - \bar{a}_{CR} \right)}{\bar{a}_{CR}^{\,2}}$$

.

.

.

$$\delta \approx 0.50 \cdot \left(\frac{V_{max}^2}{a_{max}} \right) \cdot \frac{1}{\bar{a}_{CR}^{\,2}}$$

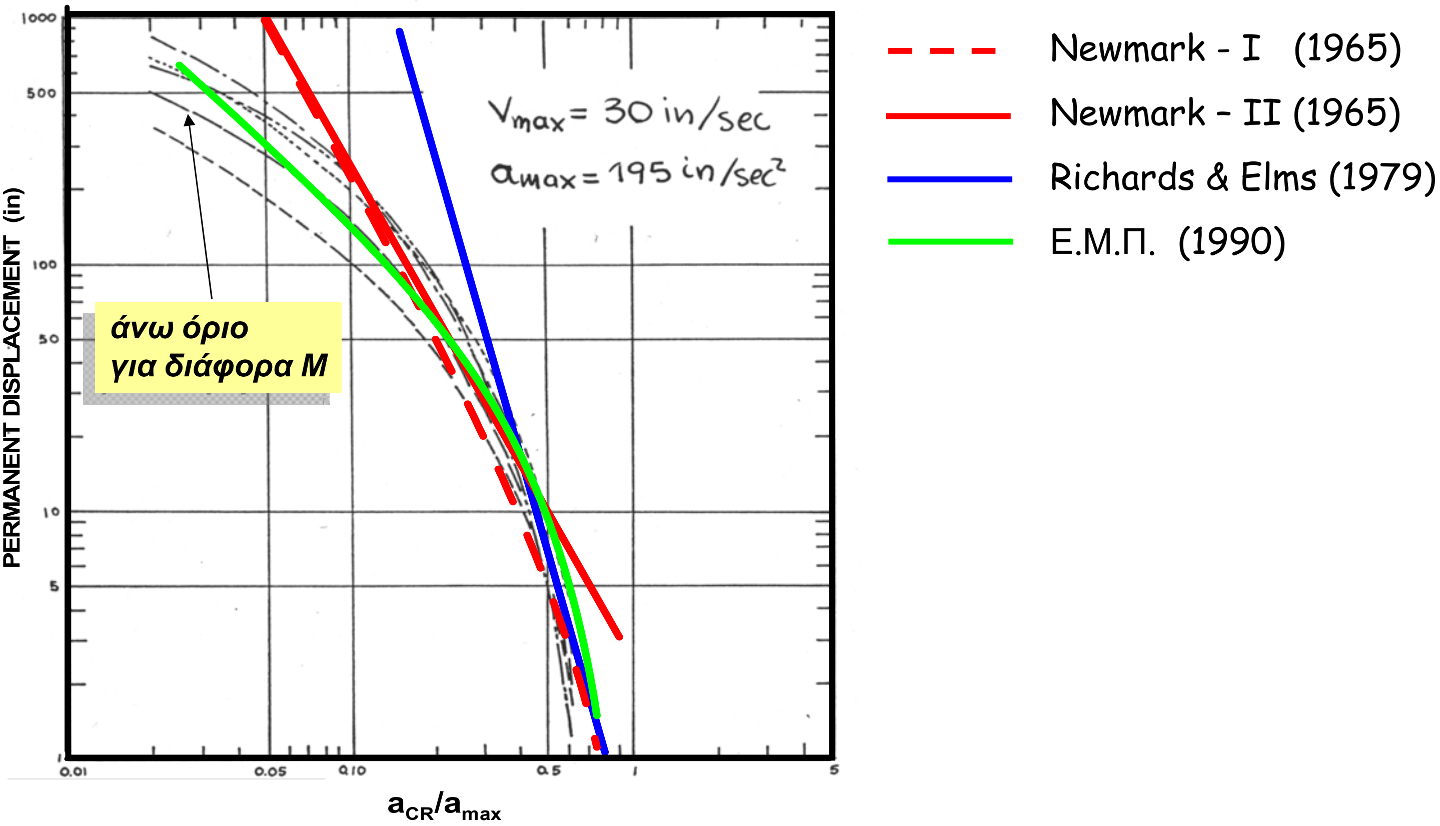
RICHARDS & ELMS (1979)

$$\delta \approx 0.087 \cdot \left(\frac{V_{max}^2}{a_{max}} \right) \cdot \frac{1}{\bar{a}_{CR}^{\,4}}$$

Ε.Μ.Π. (1990)

$$\delta \approx 0.080 \cdot t^{1.15} \cdot \left(\frac{V_{max}^2}{a_{max}} \right) \cdot \left[1 - \bar{a}_{CR}^{\,(1-\bar{a}_{CR})} \right] \cdot \frac{1}{\bar{a}_{CR}}$$

Σύγκριση με αριθμητικές αναλύσεις για πραγματικούς σεισμούς (Franklin & Chang, 1977) . . . .



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ «ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ»

Νέα φιλοσοφία σχεδιασμού:

$$\delta = 0.087 \frac{V_{max}^2}{\alpha_{max}} \left(\frac{k_h^*}{k_h} \right)^{-4}$$

$$k_h^* = \frac{\alpha_{max}^*}{g} = k_h \left[0.087 \frac{V_{max}^2}{\alpha_{max} \delta} \right]^{1/4}$$

αντί να σχεδιάσω τον τοίχο για $k_h = a_{max}/g$, διαλέγω ένα μικρότερο k_h^* ($< k_h$) που είναι συνάρτηση της αποδεκτής μετατόπισης δ. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφαλείας είναι F.S.=1.00

εναλλακτικά:

$$k_h^* = \frac{k_h}{q_w} \qquad \text{με:}\ \ q_w = \frac{1}{\left[0.087 \frac{V_{max}^2}{\alpha_{max} \delta} \right]^{1/4}}$$

Σύμφωνα με αυτή τη φιλοσοφία σχεδιασμού, ο ΕΑΚ επιβάλλει:

$$k_h = \frac{\alpha \cdot \gamma_n}{q_w} \qquad \left(k_h^* = \frac{k_h}{q_w} \right)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{max}}{g}$$

γ_n=συντελεστής σπουδαιότητας

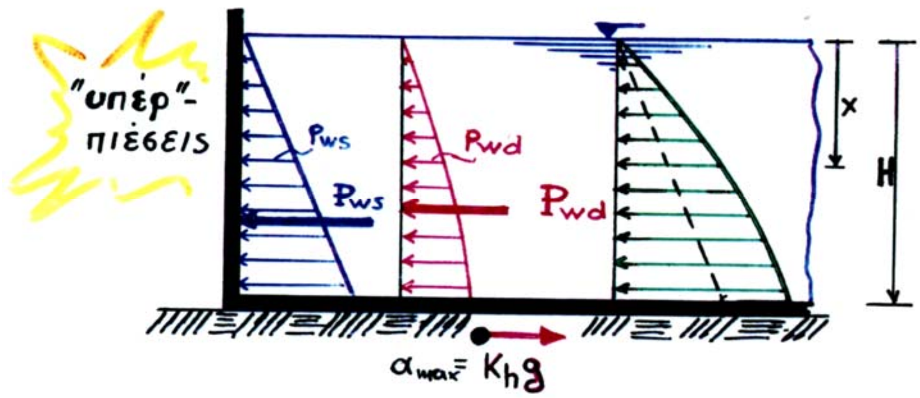
$$q_w = \begin{cases} 2.00 & \delta(mm)=300a \\ 1.50 & \delta(mm)=200a \\ 1.25 & \delta(mm)=100a \text{ (τοίχοι από Ο.Σ.)} \\ 1.00 & \text{αγκυρωμένοι, αντηριδωτοί τοίχοι} \\ 0.75 & \text{τοίχοι υπογείων, ακροβάθρων} \end{cases}$$

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

www.georgebouckovalas.com

4. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ
(κρηπιδότοιχοι, τοιχοι δεξαμενών, κλπ)

Θεωρία WESTERGAARD (1933)

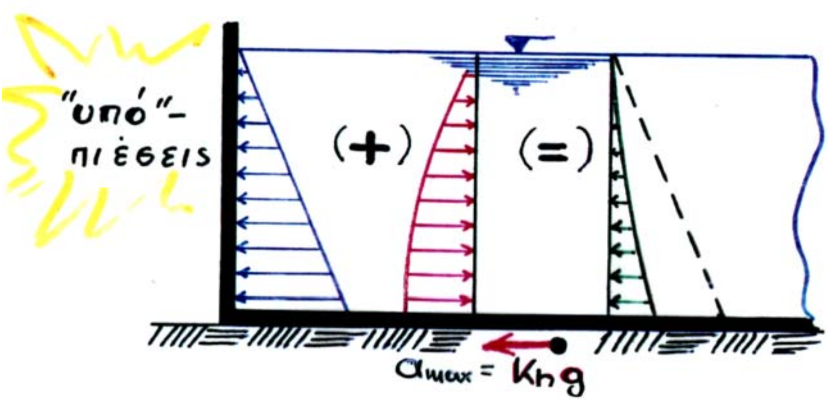


υδρο-στατικές πιέσεις

$$p_{ws}(x) = \gamma_w x$$

$$P_{ws} = \int_0^H p_{ws}(x)dx = \frac{1}{2}\gamma_w H^2$$

σημείο εφαρμογής: *H/3 από την βάση*



υδρο-δυναμικές πιέσεις

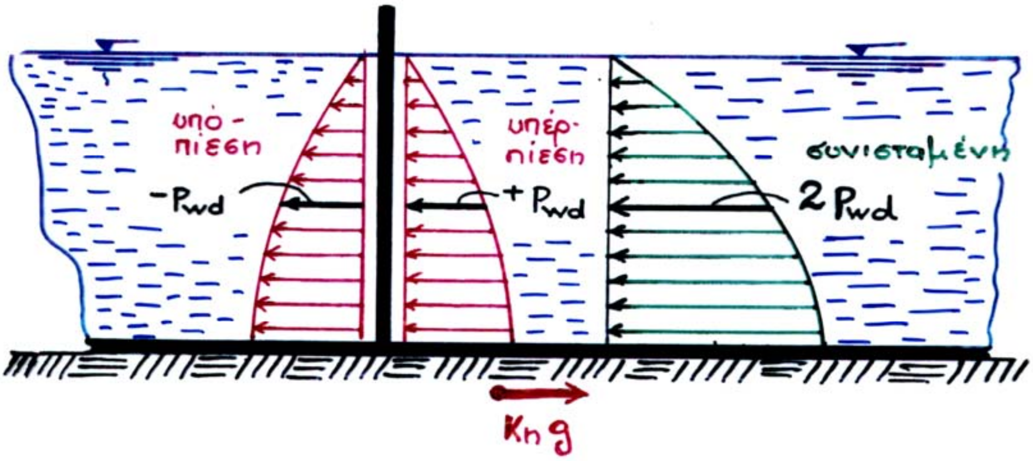
$$\pm p_{wd}(x) = \frac{7}{8} k_h \gamma_w H \sqrt{x/H}$$

$$\pm P_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2 \quad (= 1.17 k_h P_{ws})$$

σημείο εφαρμογής: *0.40H από την βάση*

ΠΡΟΣΟΧΗ !

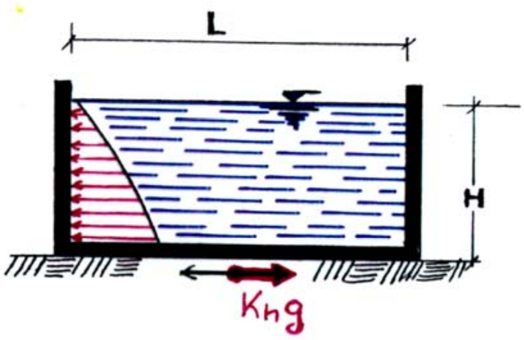
Αναπτύσσονται υπερ-πιέσεις μπροστά από τον τοίχο και υπό-πιέσεις πίσω από αυτόν, με αποτέλεσμα η συνολική υδροδυναμική ώθηση να 2-πλασιάζεται !



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

η θεωρία Westergaard ισχύει υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- **νερό χωρίς έδαφος**
- **κατακόρυφη παρειά τοίχου**
- **πολύ μεγάλο (θεωρητικά άπειρο) μήκος λιμενολεκάνης**



Επίδραση Μήκους Λιμενολεκάνης

$$\pm p_{wd}(x) = \frac{7}{8} C_n k_h \gamma_w H \sqrt{x/H}$$

$$\pm P_{wd} = \frac{7}{12} C_n k_h \gamma_w H^2$$

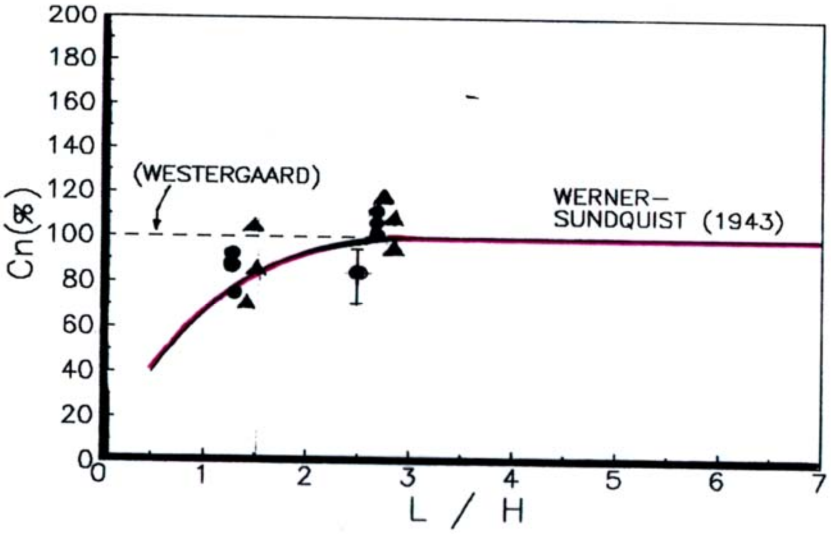
$$\left(= 1.17 C_n k_h P_{ws}\right)$$

όπου

$$C_n = \frac{4}{3} \frac{L/H}{1 + L/H} < 1.0$$

$$(C_n = 1.00 \quad \text{για} \quad L/H > 2.70)$$

σημείο εφαρμογής: *0.40H από την βάση*



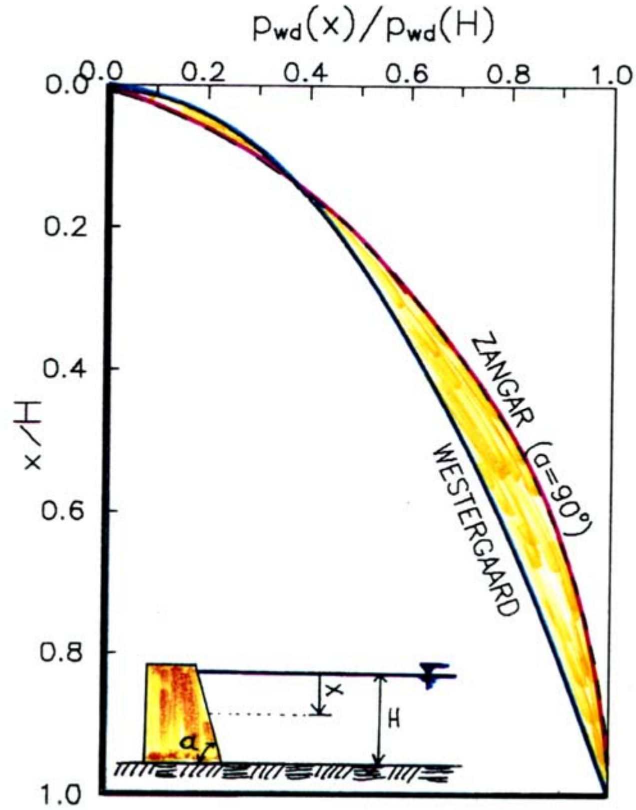
Επίδραση Κεκλιμένου Τοίχου

Zangar (1953) & Chwang (1978)

$$\pm p_{wd}(x,\alpha) = C_m(\alpha) k_h \gamma_w H \left[\frac{x}{H}\left(2-\frac{x}{H}\right) + \sqrt{\frac{x}{H}\left(2-\frac{x}{H}\right)} \right]$$

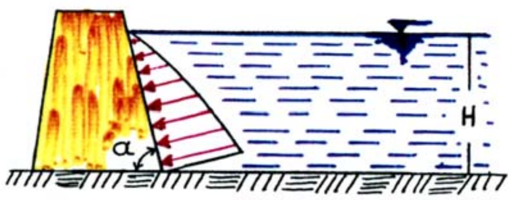
ή, προσεγγιστικά

$$\pm p_{wd}(x,\alpha) = C_m(\alpha) \underbrace{\left[\frac{7}{8} k_h \gamma_w H \sqrt{\frac{x}{H}} \right]}_{\text{Westergaard}}$$



Επίδραση Κεκλιμένου Τοίχου

$$\pm p_{wd}(x,\alpha) = \frac{7}{8} C_m k_h \gamma_w H \sqrt{\frac{x}{H}}$$



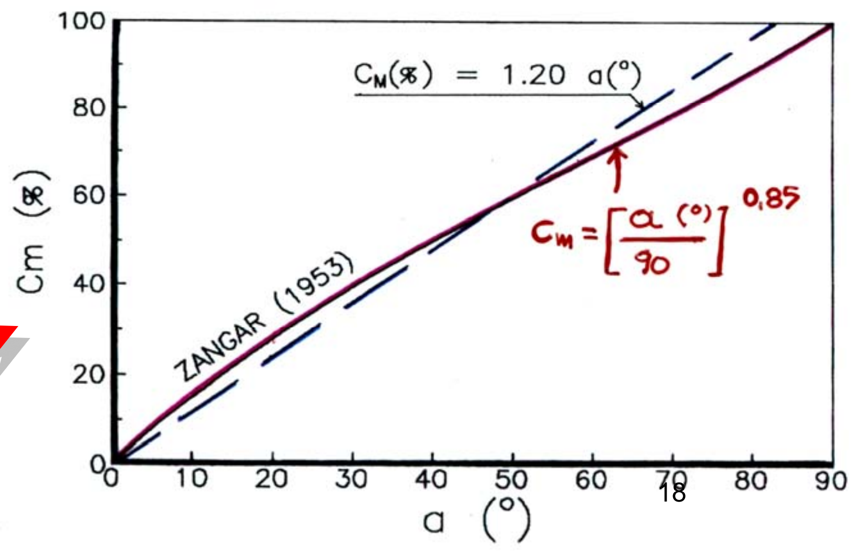
και

$$\pm P_{wd} = \frac{7}{12} C_m k_h \gamma_w H^2$$

$$(= 1.17 C_m k_h P_{ws})$$

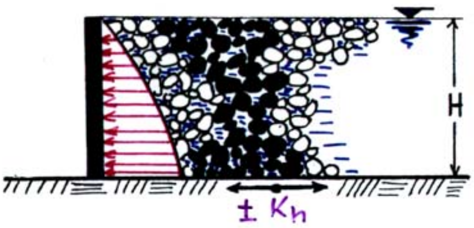
όπου

$$C_m \approx 0.012\alpha(^o) \approx 2.0 \frac{\alpha(\text{rad})}{\pi}$$



σημείο εφαρμογής: *0.40H από την βάση*

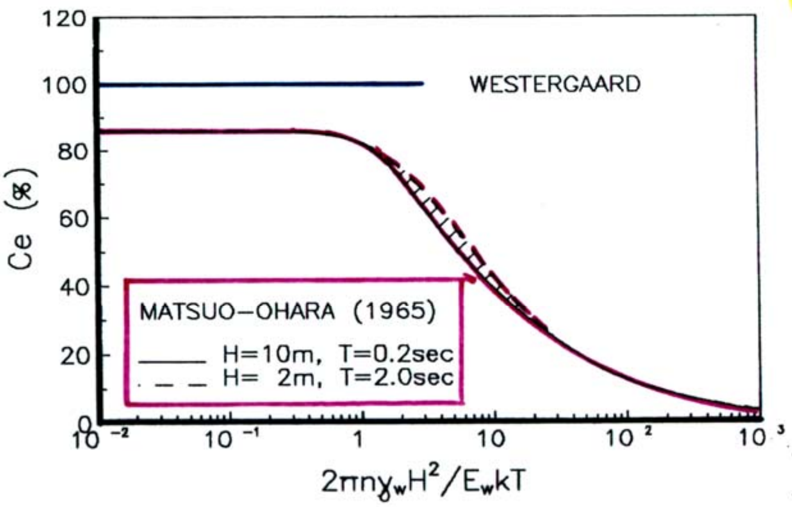
Επίδραση ανακουφιστικού πρίσματος



$$\pm p_{wd}(x,e,..) = \frac{7}{8} C_e k_h \gamma_w H \sqrt{x/H}$$

$$\pm P_{wd}(e,..) = \frac{7}{12} C_e k_h \gamma_w H^2$$

$$\left(\approx 1.17 C_e k_h P_{ws}\right)$$



όπου

$$C_e \approx 0.5 - 0.5\tanh\left[\log \frac{2\pi n \gamma_w H^2}{7 E_w k T}\right]$$

με

n = πορώδες

γ_w = ειδικό βάρος νερού

H = βάθος νερού

E_w =Μέτρο συμπ. νερού ($\approx 2 \cdot 10^6$kPa)

k = συντελεστής διαπερατότητας

T = δεσπόζουσα περίοδος δόνησης

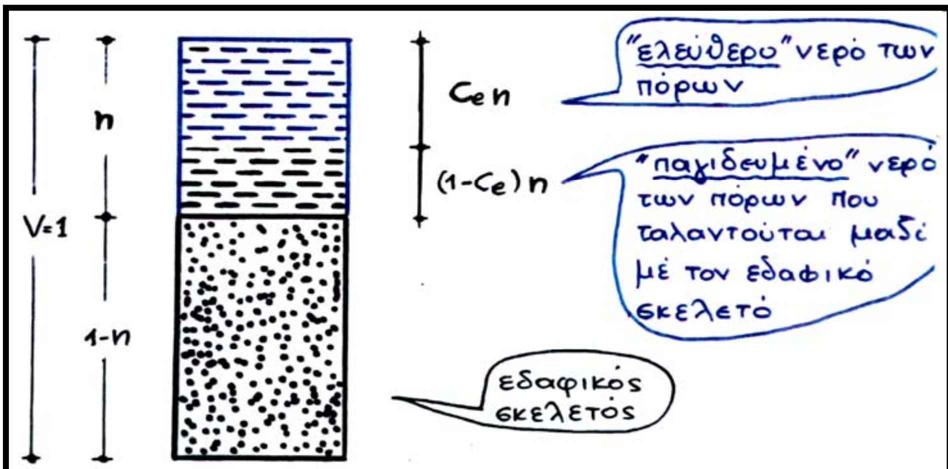
ΝΕΡΟ + ΕΔΑΦΟΣ

Φυσικό ανάλογο (Matsuzawa et al. 1985)

με άλλα λόγια….

ο διορθωτικός συντελεστής C_e εκφράζει το ποσοστό εκείνο του νερού των πόρων που ταλαντώνεται **ΕΛΕΥΘΕΡΑ**,

ανεξάρτητα δηλαδή από τον εδαφικό σκελετό.



Άρα, δυναμικές ωθήσεις γαιών επιβάλλει **ο σκελετός ΚΑΙ το «παγιδευμένο νερό»**, οπότε (αποδεικνύεται εύκολα ότι) οι σχέσεις Mononobe-Okabe ισχύουν για :

$$\gamma^* = \gamma_{ΞΗΡΟ} C_e + \gamma_{ΚΟΡ.}(1 - C_e)$$

για ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

n=40%, γ_w=10 kN/m³
E_w=2 106 kPa, T=0.30 sec

$$C_e = 0.5 - 0.5\tanh\left[\log\left(6\cdot 10 - 6\frac{H^2}{k}\right)\right]$$

υλικό επιχώσεως	k (m/s)	Ce H=5m	Ce H=10m	Ce H=20m
Καλά διαβαθμ. λιθορριπή	10^1	1.0	1.0	1.0
χάλικες	10^0	1.0	1.0	1.0
χονδρόκοκκη άμμος	10^{-2}	1.0	0.95	0.80
λεπτή άμμος	10^{-4}	0.42	0.16	0.04
ιλύς	10^{-6}	0.0	0.0	0.0
αργιλώδες αμμοχάλικο	10^{-8}	0.0	0.0	0.0

C_e > 0.80 →
p_{wd} ≈ Westergaard

C_e = 0.20÷0.90 →
p_{wd} ≈ Ce·Westergaard

C_e < 0.20 →
p_{wd} ≈ 0

για ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

n=40%, γ_w=10 kN/m³
E_w=2 106 kPa, T=0.30 sec

$$C_e = 0.5 - 0.5\tanh\left[\log\left(6\cdot 10 - 6\frac{H^2}{k}\right)\right]$$

διαβαθμισμένη λιθορριπή

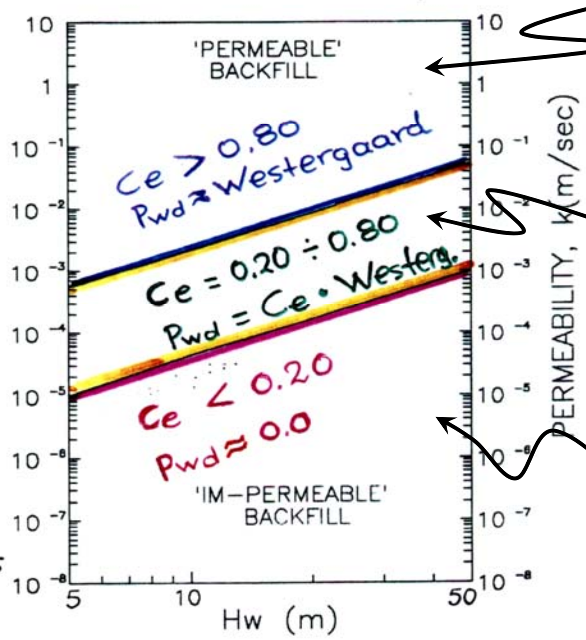
χάλικες

χονδρόκοκκη άμμος

λεπτή άμμος

ιλύς

ιλυώδης-αμμώδης άργιλος



"Διαπερατό" επίχωμα:
λιθορριπή, χάλικες, χονδρόκοκκη άμμος (H<20m)

"Ημι-διαπερατό» επίχωμα:
χονδρόκοκκη άμμος (H>20m), λεπτή άμμος (H<20m)

"Αδιαπέρατο" επίχωμα:
ιλύς, άργιλος, αργιλώδες ή ιλυώδες αμμοχάλικο

ΣΥΝΟΨΗ Υδροδυναμικών Πιέσεων

Υδροδυναμικές Πιέσεις από την Θαλάσσια πλευρά

$$p_{wd}(x) = \frac{7}{8} C_m C_n k_h \gamma_w H \sqrt{x/H}$$

$$P_{wd} = \frac{7}{12} C_m C_n k_h \gamma_w H^2$$

$$\left(= 1.17 C_m C_n k_h P_{ws}\right)$$

C_m = *επίδραση κεκλιμένης παρειάς*

C_n = *επίδραση μήκους λιμενολεκάνης*

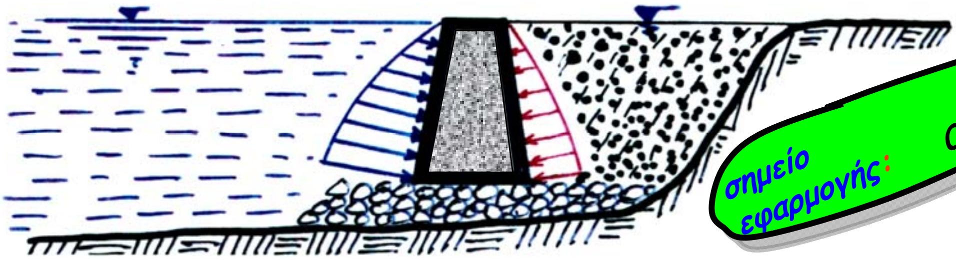
Υδροδυναμικές Πιέσεις από την πλευρά της επίχωσης

$$p_{wd}(x) = \frac{7}{8} C_m C_n C_e k_h \gamma_w H \sqrt{x/H}$$

$$P_{wd} = \frac{7}{12} C_m C_n C_e k_h \gamma_w H^2$$

$$\left(= 1.17 C_m C_n C_e k_h P_{ws}\right)$$

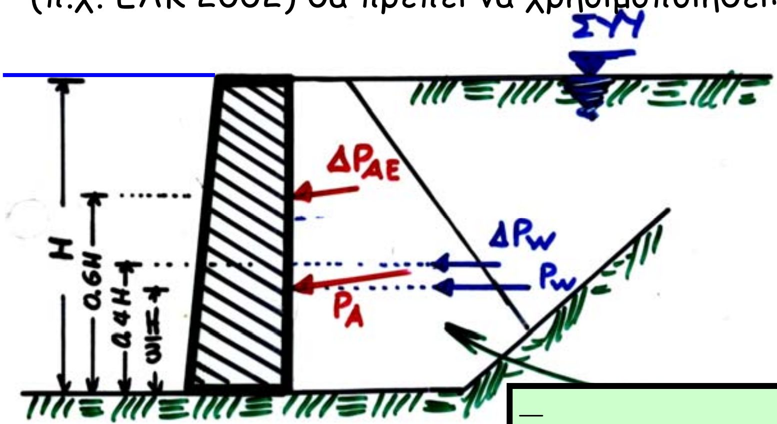
C_e = *επίδραση επιχώματος*



σημείο εφαρμογής: 0.40H από την βάση

ΠΡΟΣΟΧΗ !

Για τον υπολογισμό του P_a χρησιμοποιείται το ($\gamma_{κορ}$-γ_w) ενώ για τον υπολογισμό του ΔP_{AE} χρησιμοποιείται το γ*. Όταν ο υπολογισμός των P_a και ΔP_{AE} γίνεται από ενιαίες σχέσεις (π.χ. ΕΑΚ 2002) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί:



- το υπό άνωση ειδικό βάρος ($\gamma_{κορ}$-γ_w)
- ένας τροποποιημένος σεισμικός συντελεστής

$$k_h{}^* = k_h \frac{\gamma^*}{\gamma_{κορ} - \gamma_w}$$

$$\overline{P}_a = \text{ενεργητική ώθηση γαιών} \left[= \frac{1}{2} k_a (\gamma_{ΚΟΡ} - \gamma_W) H^2 \right]$$

$$P_W = \frac{1}{2} \gamma_W H^2$$

$$\Delta P_W = P_{Wd} = \text{υδροδυναμικές ωθήσεις (κατά τα προηγούμενα)}$$

$$\Delta P_{AE} = \text{δυναμικές ωθήσεις γαιών} \left[= \frac{1}{2} \left(\frac{3}{4} k_h\right) \gamma^* H^2 \right]$$

$$\text{με} \quad \gamma^* = C_e \gamma_{ΞΗΡΟ} + (1 - C_e) \gamma_{ΚΟΡ}$$

ειδική περίπτωση: «ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΗ» επίχωση

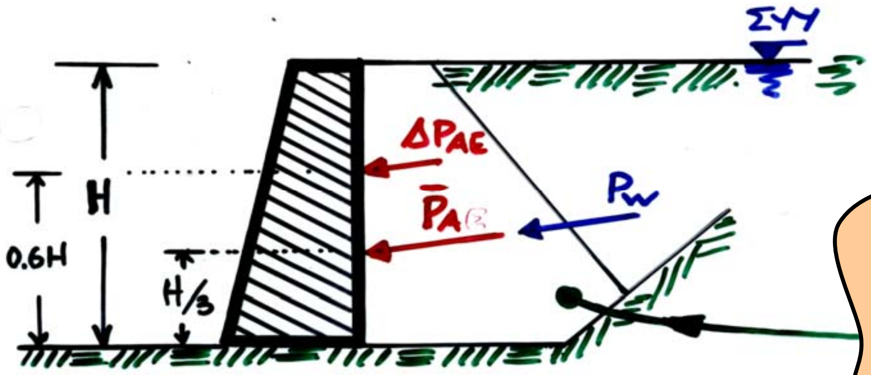
$$\overline{P}_a = \text{ενεργητική ώθηση γαιών} \left[= \frac{1}{2} k_a (\gamma_{KOP} - \gamma_W) H^2 \right]$$

$$P_W = \frac{1}{2} \gamma_W H^2$$

$$\Delta P_W = P_{Wd} = \text{υδροδυναμικές ωθήσεις} = 0$$

$$\Delta P_{AE} = \text{δυναμικές ωθήσεις γαιών} \left[= \frac{1}{2} (\frac{3}{4} k_h) \gamma^* H^2 \right]$$

με $\gamma^* = \gamma_{KOP}$ $\quad (C_e = 0)$



- αργιλώδης άμμος
- αργιλώδης ιλύς
- ιλυώδης άμμος
- αργιλώδες ή ιλυώδες αμμοχάλικο

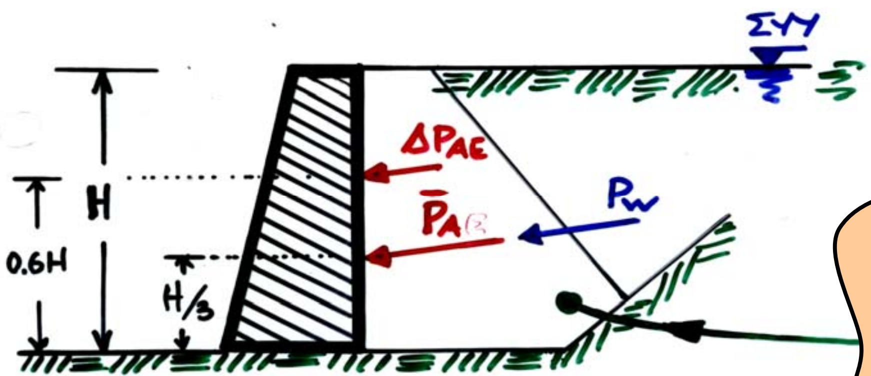
ειδική περίπτωση: «ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΗ» επίχωση

$$\Delta P_W = P_{Wd} = \text{υδροδυναμικές ωθήσεις} = 0$$

$$\Delta P_{AE} = \text{δυναμικές ωθήσεις γαιών} \left[= \frac{1}{2} (\frac{3}{4} k_h) \gamma_{KOP} H^2 \right]$$

ή

$$\Delta P_{AE} = \left[= \frac{3}{8} \underbrace{(k_h \frac{\gamma_{KOP}}{\gamma_{KOP} - \gamma_W})}_{k_h^* \approx 2.2\, k_h} (\gamma_{KOP} - \gamma_W) H^2 \right]$$



- αργιλώδης άμμος
- αργιλώδης ιλύς
- ιλυώδης άμμος
- αργιλώδες ή ιλυώδες αμμοχάλικο

ειδική περίπτωση: «ΔΙΑΠΕΡΑΤΗ» επίχωση

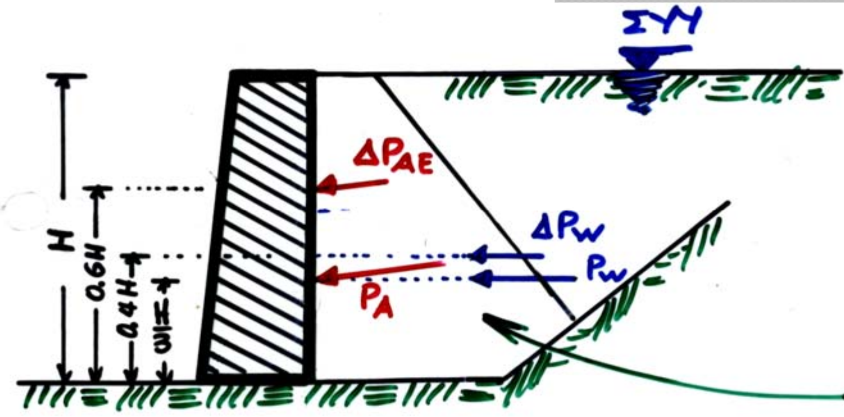
$$\overline{P}_a = \text{ενεργητική ώθηση γαιών} \left[= \frac{1}{2} k_a (\gamma_{KOP} - \gamma_W) H^2 \right]$$

$$P_W = \frac{1}{2} \gamma_W H^2$$

$$\Delta P_W = P_{Wd} = \text{υδροδυναμικές ωθήσεις} \neq 0$$

$$\Delta P_{AE} = \text{δυναμικές ωθήσεις γαιών} \left[= \frac{1}{2} (\frac{3}{4} k_h) \gamma^* H^2 \right]$$

με $\gamma^* = \gamma_{\Xi HP.}$ $\qquad (C_e = 1)$



- άμμος
- αμμοχάλικο
- κροκκάλες
- θραυστό λατομείου

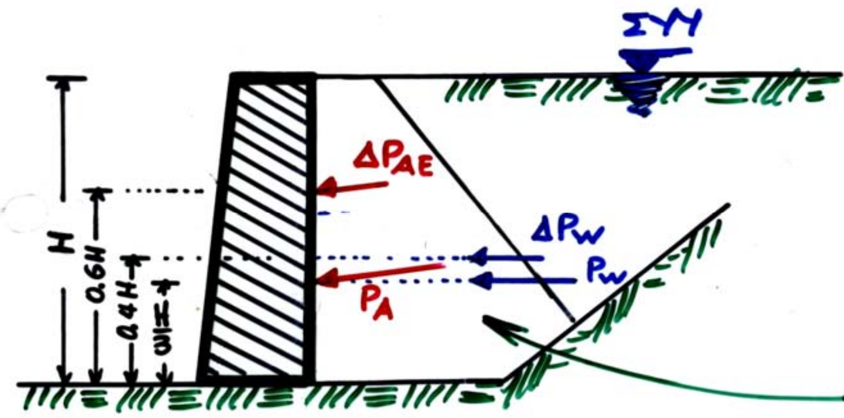
ειδική περίπτωση: «ΔΙΑΠΕΡΑΤΗ» επίχωση

$$\Delta P_W = P_{Wd} = \text{υδροδυναμικές ωθήσεις} \neq 0$$

$$\Delta P_{AE} = \text{δυναμικές ωθήσεις γαιών} \left[= \frac{1}{2} (\frac{3}{4} k_h) \gamma_{\Xi HP} H^2 \right]$$

ή

$$\Delta P_{AE} = \left[= \frac{3}{8} \underbrace{(k_h \frac{\gamma_{\Xi HP}}{\gamma_{KOP} - \gamma_W})}_{k_h^* \approx 1.6\, k_h} (\gamma_{KOP} - \gamma_W) H^2 \right]$$

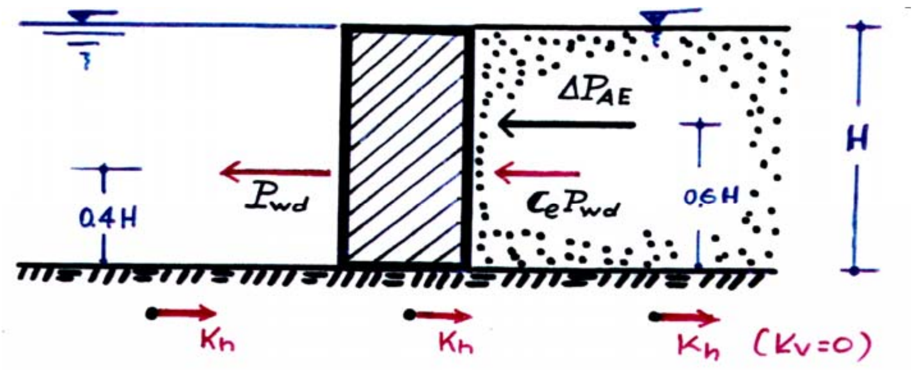


- άμμος
- αμμοχάλικο
- κροκκάλες
- θραυστό λατομείου

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: **Τι γίνεται όταν δεν είμαι σίγουρος περί της «διαπερατότητας» της επίχωσης**

Κατακόρυφος & λείος τοίχος
Ανοικτή λιμενολεκάνη

$$C_m = C_n = 0$$



Επίχωμα:

$\gamma_{ΞΗΡΟ}$=16 kN/m3

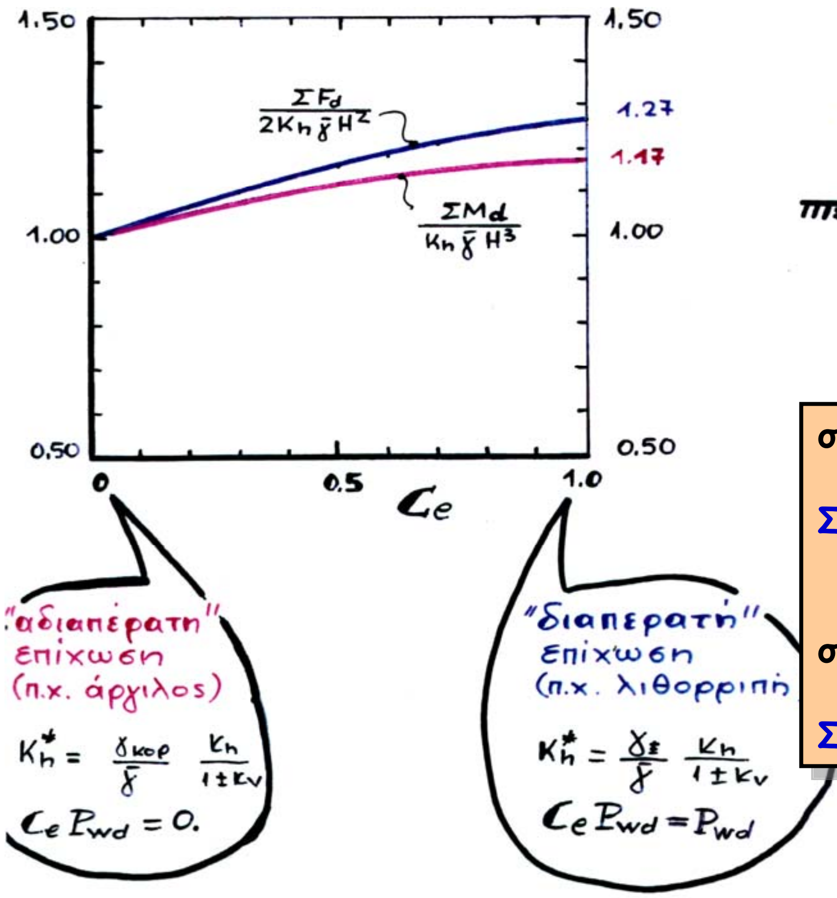
$\gamma_{ΚΟΡ.}$ = 20 kN/m3

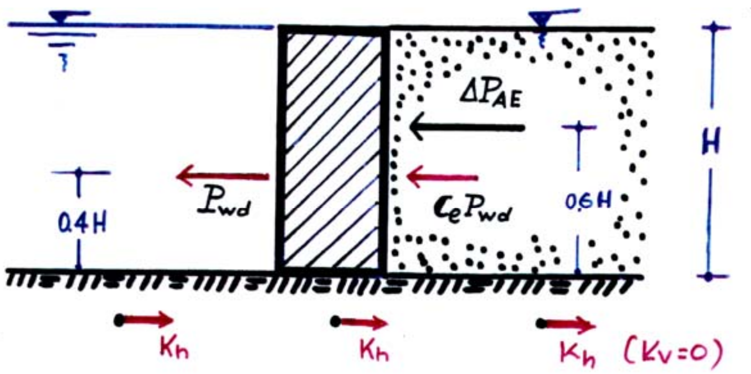
C_e = 0 ÷ 1.0

$$\Delta P_W = P_{Wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

$$\Delta P_{AE} = \frac{1}{2}\left(\frac{3}{4}k_h^*\right)(\gamma_{κορ} - \gamma_w)H^2$$

$$\mu\varepsilon \quad k_h{}^* = \frac{C_e \gamma_{ΞΗΡΟ} + (1 - C_e)\gamma_{ΚΟΡ}}{\gamma_{κορ} - \gamma_w} k_h$$





συνισταμένη οριζόντια ώθηση:

$\Sigma F_d = \Delta P_{AE} + P_{wd} + C_e P_{wd}$

συνισταμένη ροπή ανατροπής:

$\Sigma M_d = 0.60H \ \Delta P_{AE} + 0.40H \ (1+C_e) \ P_{wd}$