

# ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

## « ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ »

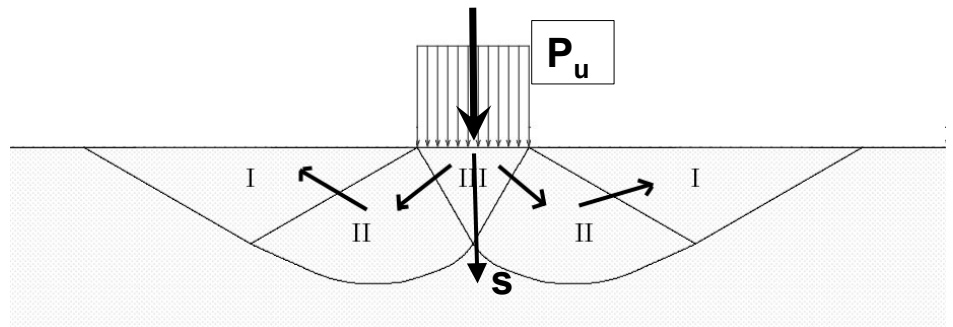
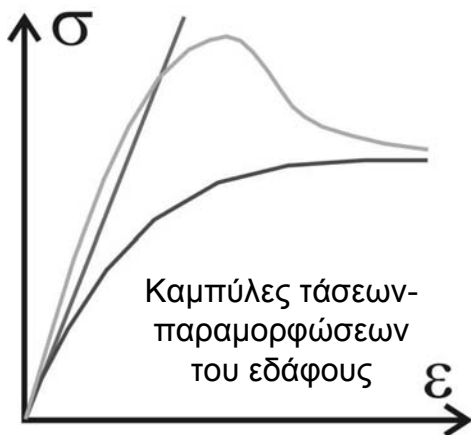
7ο ΕΞ. ΠΟΛ-ΜΗΧ. ΕΜΠ - Ακαδ. Έτος 2005 - 06

### ΔΙΑΛΕΞΗ 2

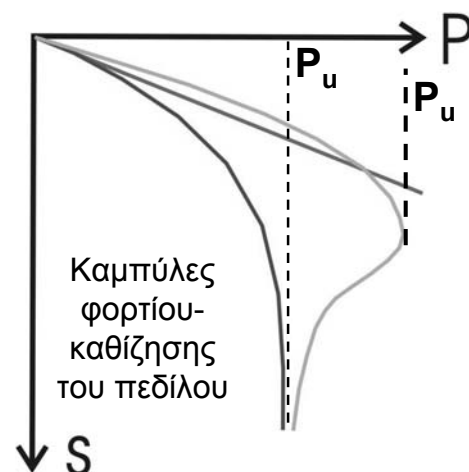
#### Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων

10.03.2007

#### Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)



- Γραμμική συμπεριφορά σ-ε του εδάφους (ιδεατή)
- Κρατυνόμενη συμπεριφορά σ-ε (χαλαρές άμμοι, μαλακές NC άργιλοι)
- Χαλαρούμενη συμπεριφορά σ-ε (πυκνές άμμοι, σκληρές OC άργιλοι)



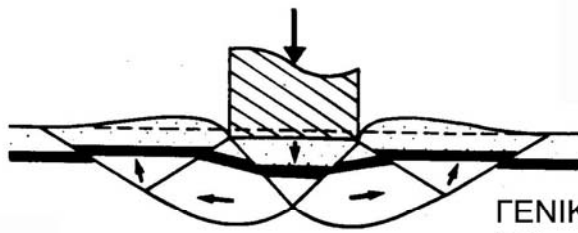
Η μέγιστη τιμή  $P_u$  του φορτίου του πεδίου, ή η αντίστοιχη μέγιστη τιμή της πίεσης :

$$p_u = P_u / A$$

ονομάζεται «φέρουσα ικανότητα»

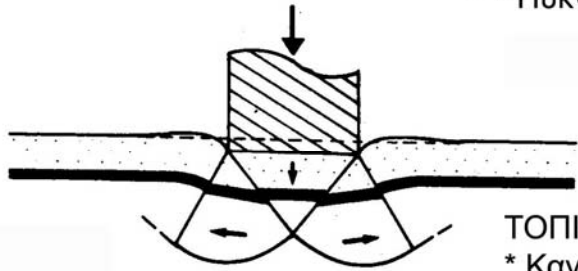
# Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

## Μορφές αστοχίας επιφανειακών θεμελιώσεων



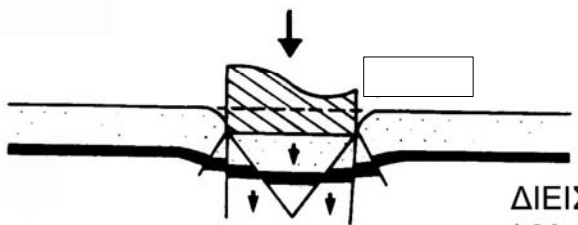
ΓΕΝΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ

- \* Υπερ-στερεοποιημένες άργιλοι
- \* Πυκνές άμμοι



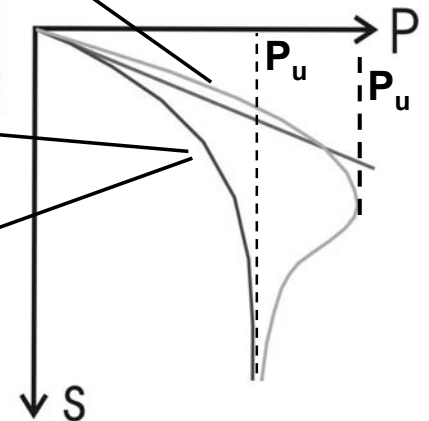
ΤΟΠΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ

- \* Κανονικά στερεοποιημένες άργιλοι



ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ

- \* Μαλακές άργιλοι
- \* Πολύ χαλαρές άμμοι



# Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

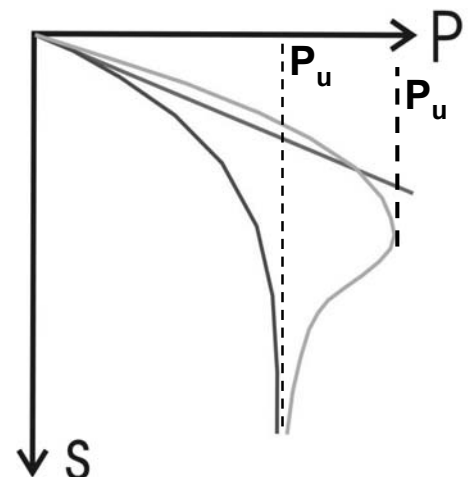
Σκοπός του σχεδιασμού των επιφανειακών θεμελιώσεων είναι η λειτουργία της θεμελίωσης με φορτίο ( $P$ ) που παρέχει :

- Επαρκές περιθώριο ασφαλείας από την αστοχία (φέρουσα ικανότητα =  $P_u$ )  
 $P \ll P_u \Rightarrow P = P_u / FS$ ,  $FS$  = συντελεστής ασφαλείας ( $>1$ )
- Μετακινήσεις (βύθιση και στροφή) που είναι αποδεκτές για την ανωδομή (στατικές και λειτουργικές απαιτήσεις) :  $P \leq P_{\text{αποδ}}$

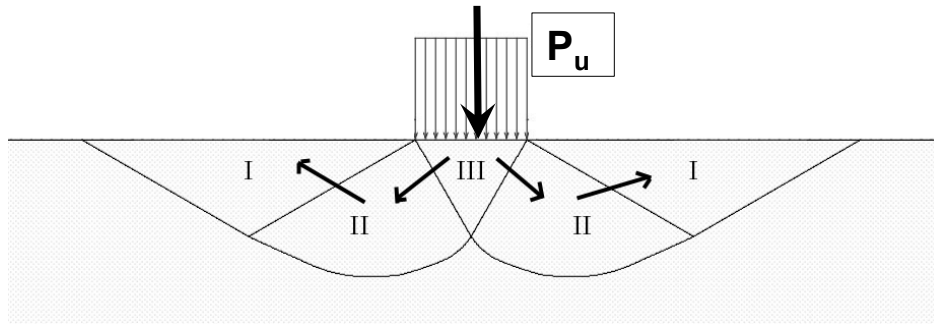
Συνεπώς :  $P \leq \min \{ P_u / FS , P_{\text{αποδ}} \}$

Δηλαδή, απαιτούνται δύο έλεγχοι της θεμελίωσης :

- (1) Εναντι φέρουσας ικανότητας :  $P \leq P_u / FS$
- (2) Εναντι μετακινήσεων :  $P \leq P_{\text{αποδ}}$



# Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)



Ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας πεδίων (όπως και η επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος Μηχανικής) απαιτεί την ικανοποίηση των εξής συνθηκών :

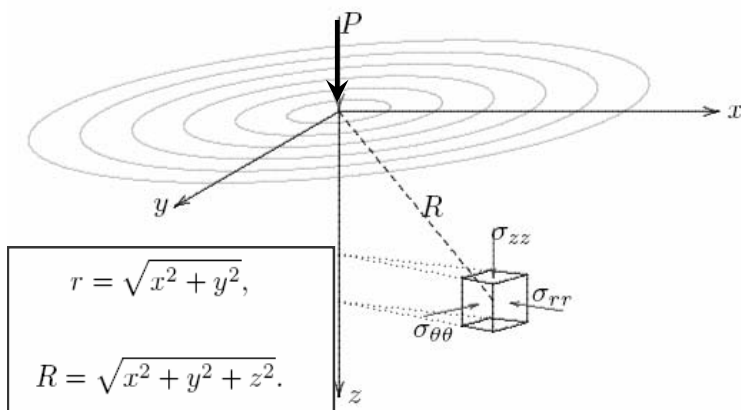
1. Εξισώσεις ισορροπίας
2. Σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων (σ-ε) και κριτήρια αστοχίας (π.χ. Coulomb)
3. Εξισώσεις συμβιβαστού παραμορφώσεων
4. Συνοριακές συνθήκες τάσεων και συνοριακές συνθήκες μετακινήσεων

Η ικανοποίηση όλων των ανωτέρω συνθηκών (με αναλυτική λύση) είναι δυσχερής σε πρακτικά προβλήματα.

## Μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων Μηχανικής :

### 1. Αναλυτικές λύσεις :

- ικανοποιούν επακριβώς όλες τις συνθήκες
- μπορούν να εφαρμοσθούν μόνον σε λίγες περιπτώσεις (π.χ. πρόβλημα Boussinesq)



$$\sigma_{zz} = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{R^5},$$

$$\sigma_{rr} = \frac{P}{2\pi} \left[ \frac{3r^2 z}{R^5} - (1 - 2\nu) \frac{1}{R(R + z)} \right],$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{P}{2\pi} \frac{1 - 2\nu}{R^2} \left( \frac{R}{R + z} - \frac{z}{R} \right),$$

$$\sigma_{rz} = \frac{3P}{2\pi} \frac{r z^2}{R^5}.$$

$$u_r = \frac{P(1 + \nu)}{2\pi E R} \left[ \frac{r^2 z}{R^3} - (1 - 2\nu) \left( 1 - \frac{z}{R} \right) \right],$$

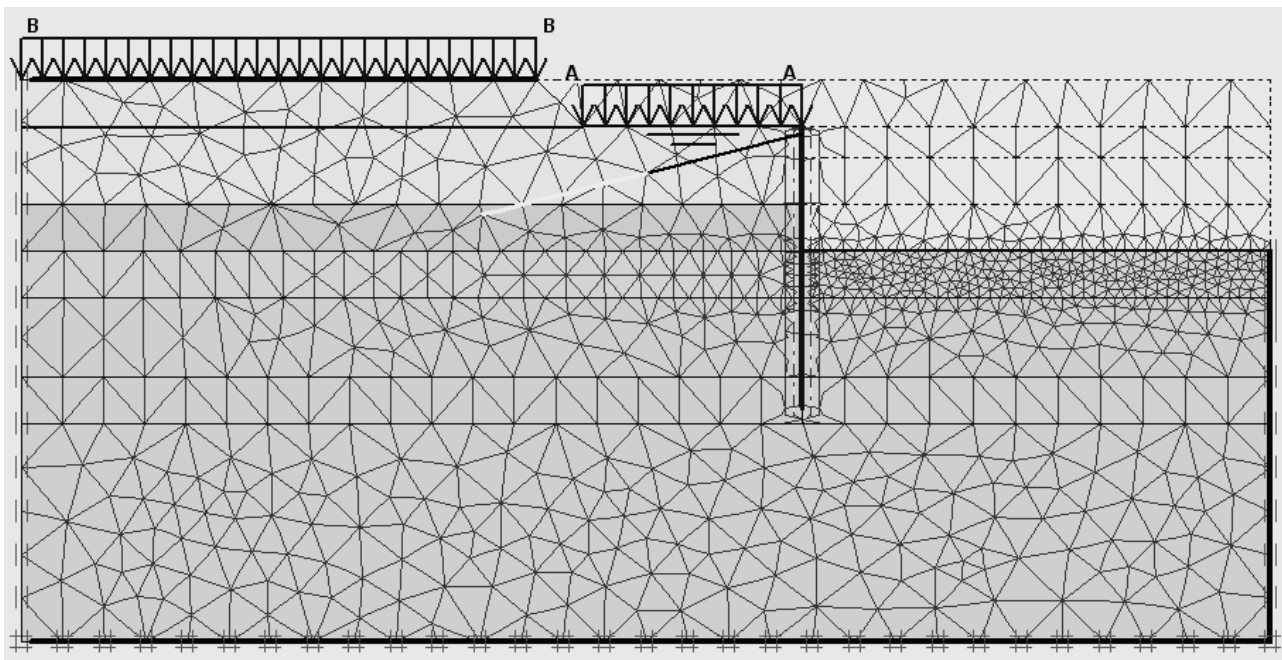
$$u_{\theta} = 0,$$

$$u_z = \frac{P(1 + \nu)}{2\pi E R} \left[ 2(1 - \nu) + \frac{z^2}{R^2} \right].$$

## Μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων Μηχανικής :

### 2. Αριθμητικές λύσεις (π.χ. Πεπερασμένα Στοιχεία, Πεπερασμένες Διαφορές, Συνοριακά Στοιχεία) :

- ικανοποιούν «κατά προσέγγιση» όλες τις συνθήκες
- μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλα τα προβλήματα
- απαιτούν τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή



## Μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων Μηχανικής :

### 3. Λύσεις «Οριακής Ανάλυσης» (Limit Analysis) :

- ικανοποιούν ορισμένες μόνον συνθήκες
- μπορούν να εφαρμοσθούν σε αρκετά προβλήματα (θεωρία Πλαστικότητας)
- παρέχουν μόνον το (οριακό) φορτίο που προκαλεί την αστοχία ( $P_u$ )

### Μέθοδοι «οριακής ανάλυσης» :

#### 1. Μέθοδοι «κατωτέρου ορίου» (lower bound) ή «στατικώς αποδεκτές» (statically admissible) :

- Ικανοποιούν τις εξής συνθήκες :
  - Εξισώσεις ισορροπίας
  - Κριτήρια αστοχίας (π.χ. Coulomb)
  - Συνοριακές συνθήκες τάσεων
- Η επίλυση δίνει οριακό φορτίο μικρότερο από το πραγματικό (κατώτερο όριο)

#### 2. Μέθοδοι «ανωτέρου ορίου» (upper bound) ή «κινηματικώς αποδεκτές» (kinematically admissible) :

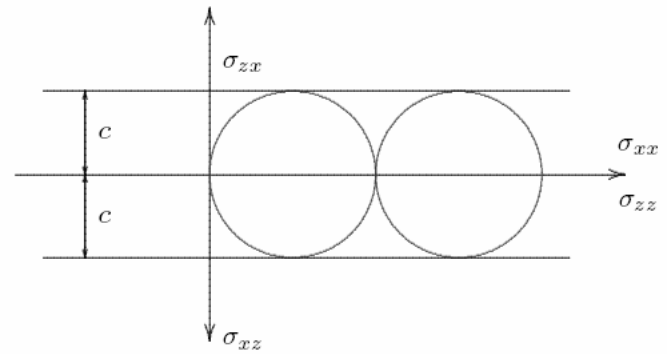
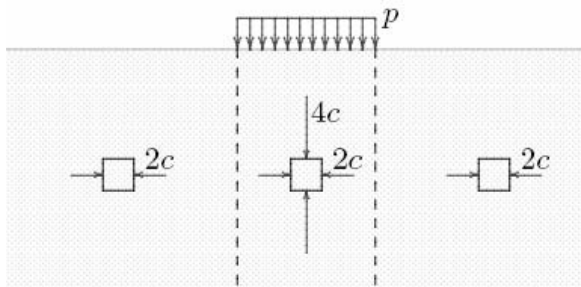
- Ικανοποιούν τις εξής συνθήκες :
  - Εξισώσεις συμβιβαστού παραμορφώσεων (οι μετακινήσεις είναι συνεχείς)
  - Κριτήρια αστοχίας (π.χ. Coulomb)
  - Συνοριακές συνθήκες μετακινήσεων
- Η επίλυση δίνει οριακό φορτίο μεγαλύτερο από το πραγματικό (ανώτερο όριο)

Λύσεις που αποτελούν ταυτοχρόνως «ανώτερο» και «κατώτερο» όριο είναι ακριβείς

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

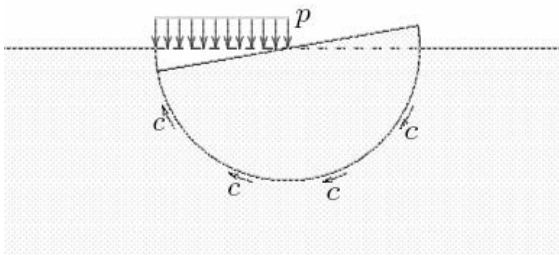
Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο σε καθαρώς συνεκτικό έδαφος ( $\varphi=0$ ,  $c \neq 0$ )

1. Οριακή ανάλυση «κατώτερου ορίου» :



$$p_u \geq 4c$$

2. Οριακή ανάλυση «ανώτερου ορίου» :



Ροπές ως προς το κέντρο περιστροφής :

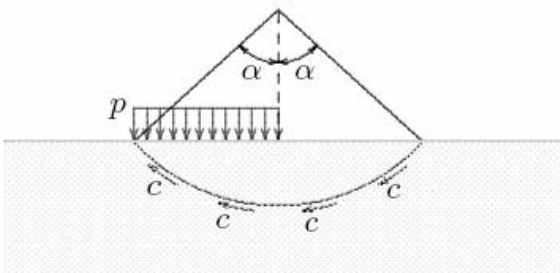
$$p_u R \frac{R}{2} \leq (\pi R c) R \Rightarrow$$

$$p_u \leq 2 \pi c = 6.28 c$$

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο σε καθαρώς συνεκτικό έδαφος ( $\varphi=0$ ,  $c \neq 0$ )

2. Οριακή ανάλυση «ανώτερου ορίου» :



Ροπές ως προς το κέντρο περιστροφής :

$$p_u \leq \frac{4c\alpha}{\sin^2 \alpha}$$

Ελαχιστοποίηση ως προς την γωνία «α» :

$$\alpha = 66.78^\circ \Rightarrow p_u \leq 5.52 c$$

$$\text{Συνεπώς : } 4c \leq p_u \leq 5.52 c$$

Παρατήρηση : Η ακριβής λύση είναι  $p_u = 5.14 c$

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

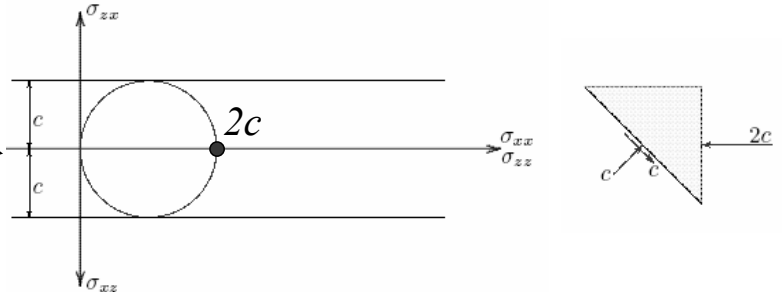
Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο σε καθαρώς  
συνεκτικό έδαφος ( $\varphi=0, c \neq 0$ )

### 3. Επίλυση Prandl :

#### 3.1 Ανάλυση «κατώτερου ορίου» (στατικώς αποδεκτή) :

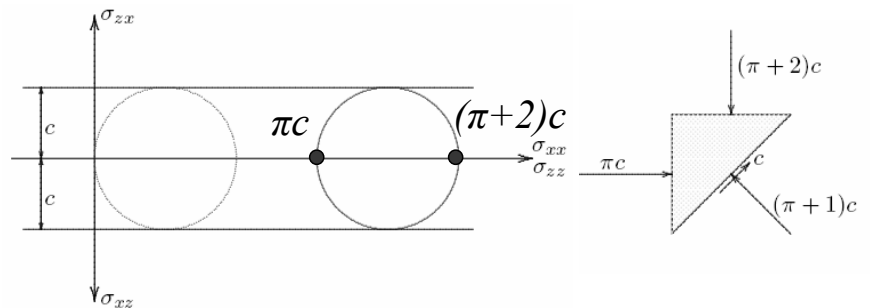
Παραδοχή κατανομών τάσεων :

$$\text{I : } \sigma_{xx} = 2c, \quad \sigma_{zz} = 0, \quad \sigma_{xz} = 0.$$

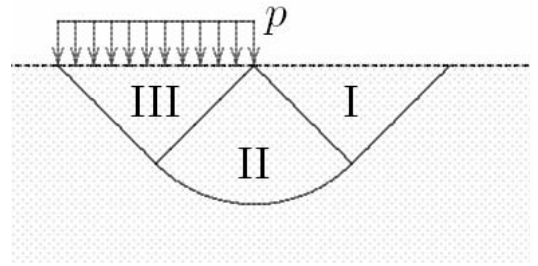


$$\text{II : } \sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = c + 2c\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right), \\ \sigma_{\theta r} = \sigma_{r\theta} = -c,$$

$$\text{III : } \sigma_{xx} = \pi c, \quad \sigma_{zz} = (\pi + 2)c, \\ \sigma_{xz} = 0.$$



$$\text{Αρα : } p_u \geq (\pi + 2) c = 5.14 c$$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο σε καθαρώς  
συνεκτικό έδαφος ( $\varphi = 0, c \neq 0$ )

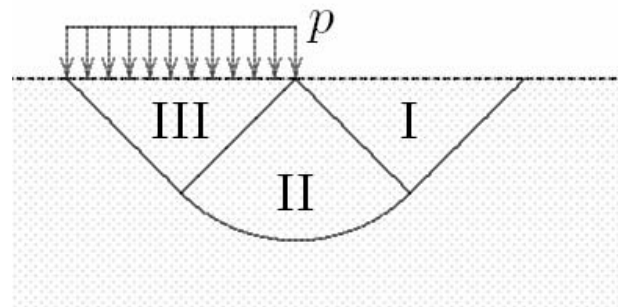
### 3. Επίλυση Prandl (1921) :

#### 3.2 Ανάλυση «ανώτερου ορίου» (κινηματικώς αποδεκτή) :

Αποδεικνύεται ότι ο παραπλεύρως μηχανισμός μετακινήσεων (κυκλική επιφάνεια στη Ζώνη II) είναι και κινηματικώς αποδεκτός. Με χρήση της θεωρίας Πλαστικότητας αποδεικνύεται ότι το αντίστοιχο οριακό φορτίο (ανώτερο όριο) είναι :

$$p_u \leq (\pi + 2) c = 5.14 c$$

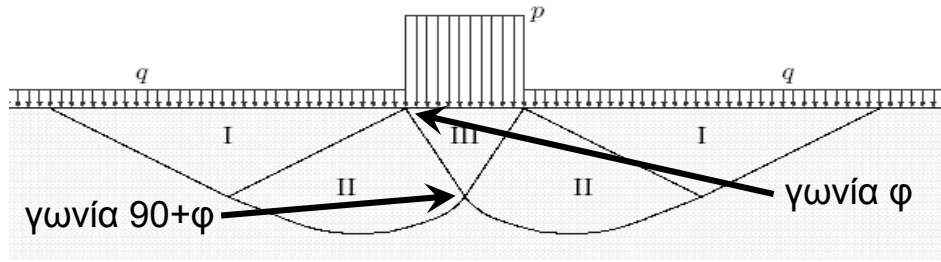
Συνεπώς, το πραγματικό οριακό φορτίο είναι :  $p_u = (\pi + 2) c = 5.14 c$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο πλάτους (B), στην επιφάνεια εδάφους με παραμέτρους αντοχής (c, φ), ειδικό βάρος (γ) και επιφόρτιση (q) :

4. Επίλυση Terzaghi (1943) (με λογαριθμική σπείρα στη ζώνη II)



$$p_u = c N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Σύσταση Terzaghi για χαλαρές άμμους & μαλακές αργίλους, προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι αυξημένες καθιζήσεις αρκετά πριν την οριακή κατάσταση.

Απομείωση των παραμέτρων αντοχής (c, φ) σε (c', φ') :

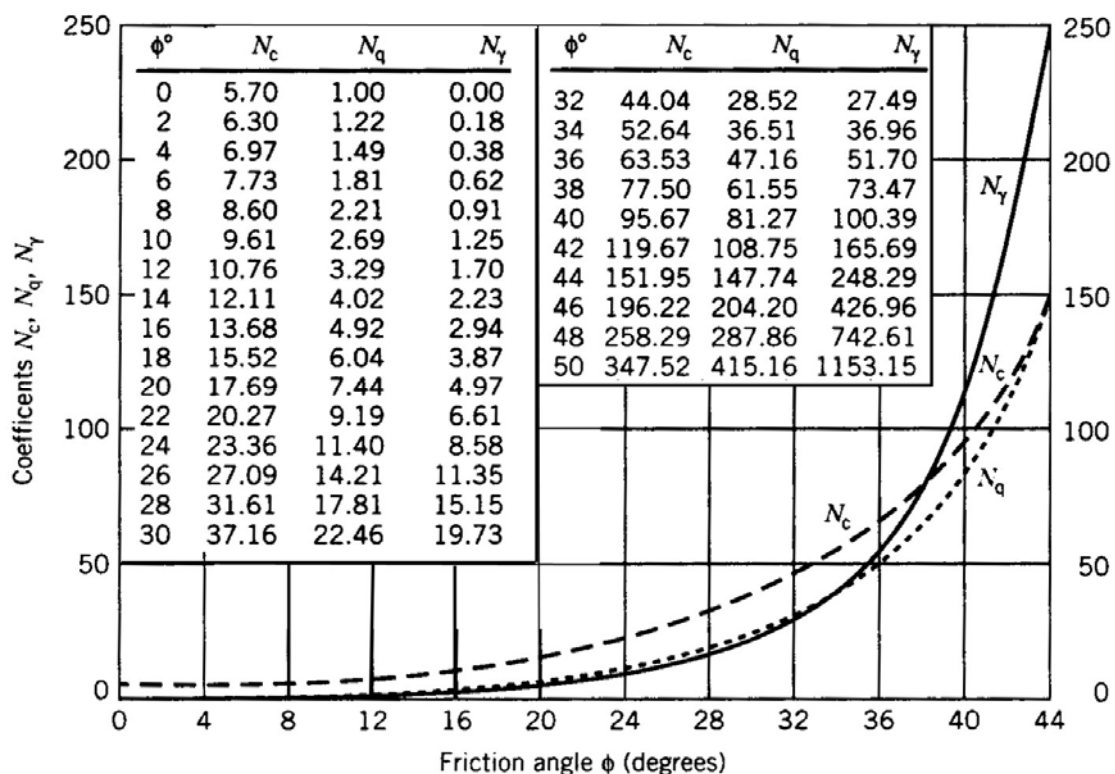
$$c' = \frac{2}{3} c$$

$$\phi' = \arctan\left(\frac{2}{3} \tan \phi\right)$$

Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο πλάτους (B), στην επιφάνεια εδάφους με παραμέτρους αντοχής (c, φ), ειδικό βάρος (γ) και επιφόρτιση (q) :

4. Επίλυση Terzaghi (1943) :  $p_u = c N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$

Τιμές των συντελεστών φέρουσας ικανότητας  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

Γενίκευση Terzaghi για ορθογωνικά πέδιλα (διαστάσεων  $B \times L$ ,  $L > B$ ), και κυκλικά πέδιλα (διάμετρος  $B$ ) σε έδαφος με  $c$  και  $\phi$ , ειδικό βάρος ( $\gamma$ ) και επιφόρτιση ( $q$ ) :

$$p_u = c N_c s_c + q N_q s_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma$$

Συντελεστές φέρουσας ικανότητας :  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  κατά Terzaghi (ως προηγουμένως)

Συντελεστές σχήματος :

1. Ορθογωνικά πέδιλα :

$$s_c = 1 + 0.3 \frac{B}{L}$$

$$s_q = 1$$

$$s_\gamma = 1 - 0.2 \frac{B}{L}$$

2. Κυκλικά πέδιλα :

$$s_c = 1.3$$

$$s_q = 1$$

$$s_\gamma = 0.6$$

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο πλάτους ( $B$ ) σε βάθος ( $D$ ) από την επιφάνεια, σε έδαφος με  $c$  και  $\phi$ , ειδικό βάρος ( $\gamma$ ) και επιφόρτιση ( $q$ ) :

### 5. Επίλυση Meyerhof (1963) :

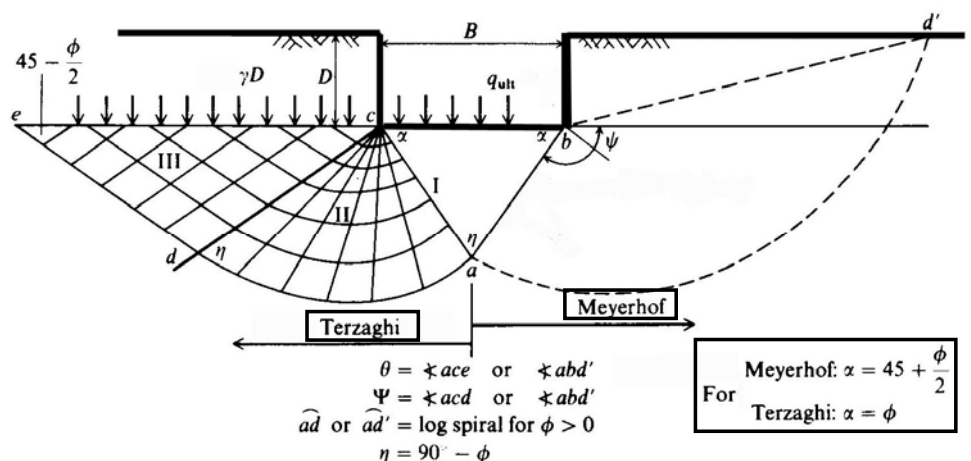
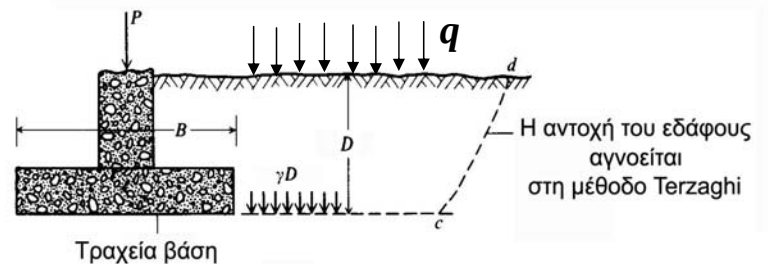
Ο Meyerhof έλαβε υπόψη την διατμητική αντοχή του εδάφους πάνω από τη στάθμη της θεμελίωσης (πάχος  $D$ ) και κατέληξε στον τύπο :

$$p_u = c N_c + (q + \gamma D) N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \exp(\pi \tan \phi)$$

$$N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \phi}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi)$$

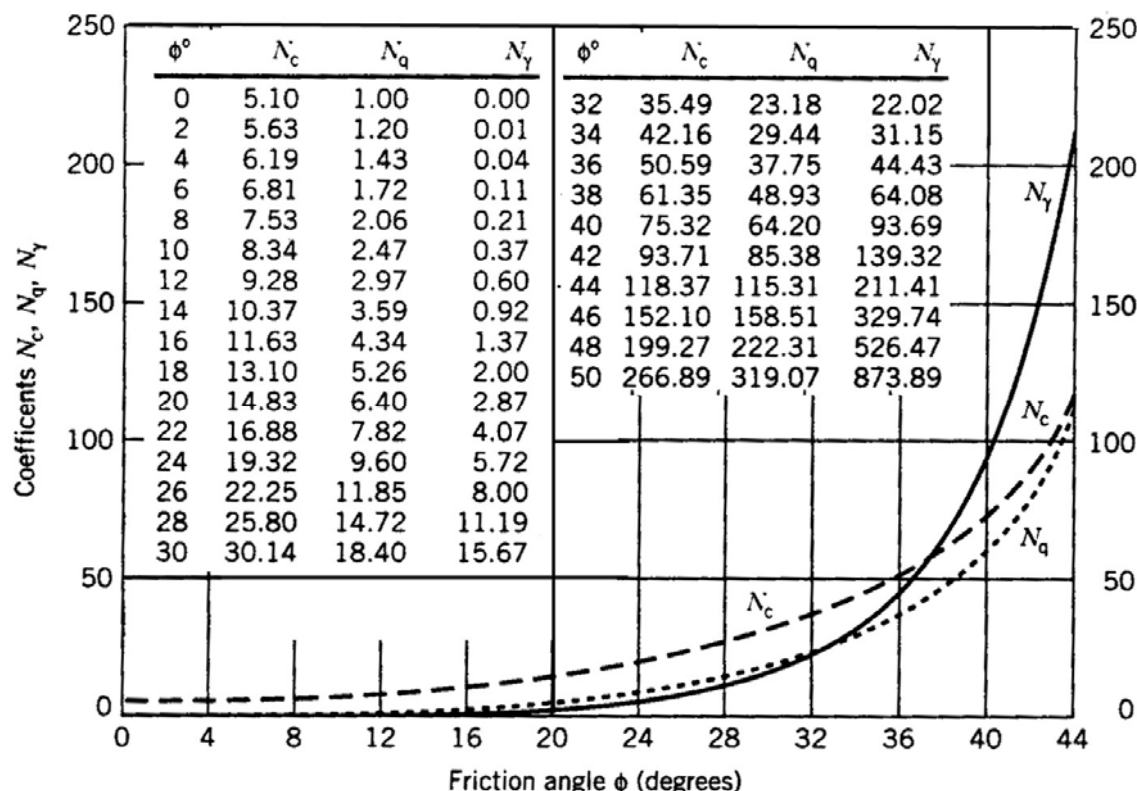




## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Εφαρμογή : Λωριδωτό πέδιλο πλάτους (B) σε βάθος (D) από την επιφάνεια, σε έδαφος με c και φ, ειδικό βάρος (γ) και επιφόρτιση (q) :

$$\text{Επίλυση Meyerhof (1963)} : p_u = c N_c + (q + \gamma D) N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Γενίκευση Meyerhof για ορθογωνικά πέδιλα (διαστάσεων B x L, L>B), εδραζόμενα σε βάθος (D) και λοχή φόρτιση (γωνία θ ως προς την κατακόρυφο), σε έδαφος με c και φ, ειδικό βάρος (γ) και επιφόρτιση (q) :

$$p_u = c N_c s_c d_c i_c + (q + \gamma D) N_q s_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Συντελεστές φέρουσας ικανότητας :  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  κατά Meyerhof (ως προηγουμένως)

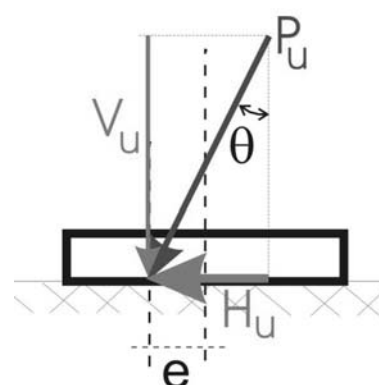
$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \exp(\pi \tan \phi) \quad N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \phi} \quad N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi)$$

Συντελεστές σχήματος :

$$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B}{L} \quad \text{όπου : } K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\text{Για } \phi > 10^\circ : s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 K_p \frac{B}{L}$$

$$\text{Για } \phi = 0 : s_q = s_\gamma = 1$$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Γενίκευση Meyerhof (1963) για ορθογωνικά πέδιλα (διαστάσεων  $B \times L$ ,  $L > B$ ), εδραζόμενα σε βάθος ( $D$ ) και λοξή φόρτιση (γωνία  $\theta$  ως προς την κατακόρυφο), σε έδαφος με  $c$  και  $\phi$ , ειδικό βάρος ( $\gamma$ ) και επιφόρτιση ( $q$ ):

$$p_u = c N_c s_c d_c i_c + (q + \gamma D) N_q s_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

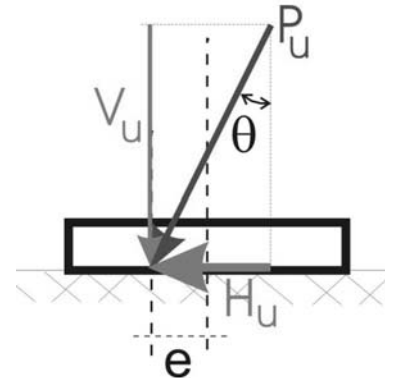
Συντελεστές βάθους ( $D$ ):

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\text{Για } \phi > 10^\circ: d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$$

$$\text{Για } \phi = 0: d_q = d_\gamma = 1$$



Συντελεστές λοξότητας της φόρτισης ( $\theta$ ):

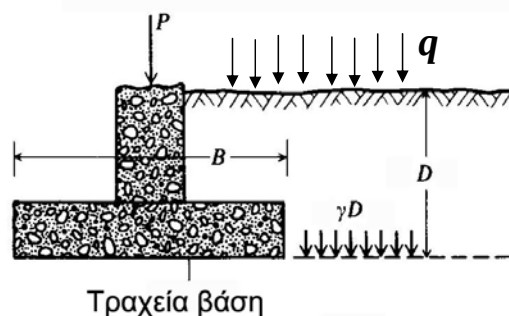
$$i_c = i_q = \left( 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \right)^2$$

$$\text{Για } \phi > 10^\circ: i_\gamma = \left( 1 - \frac{\theta}{\phi} \right)^2 \quad \text{Για } \phi = 0: i_\gamma = 0$$

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Σύνοψη των μεθόδων υπολογισμού για κεντρική φόρτιση λωριδωτών πεδίων

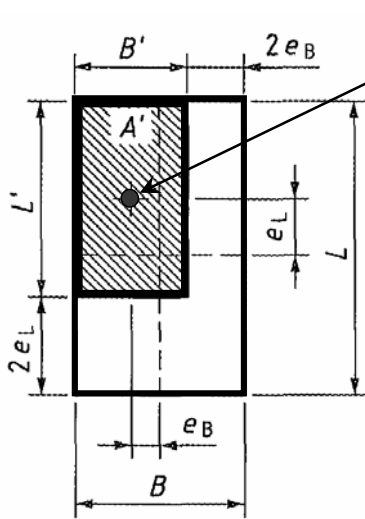
| Μέθοδος                                                                  | Τύπος                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Prandl :<br>$c \neq 0$                                                   | $p_u = c N_c \quad N_c = 5.14$                                     |
| Terzaghi :<br>$c \neq 0, \phi \neq 0, q \neq 0, \gamma \neq 0$           | $p_u = c N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$              |
| Meyerhof :<br>$c \neq 0, \phi \neq 0, q \neq 0, \gamma \neq 0, D \neq 0$ | $p_u = c N_c + (q + \gamma D) N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$ |



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

6. Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

- Για ορθογωνικά πέδιλα (διαστάσεων  $B \times L$ ,  $L > B$ ), εδραζόμενα σε βάθος ( $D$ ), σε έδαφος με  $c$  και  $\phi$ , ειδικό βάρος ( $\gamma$ ) και επιφόρτιση ( $q$ ). Λοξότητα βάσης =  $\alpha$ .
- Φόρτιση λοξή (γωνία  $\theta$  ως προς την κατακόρυφο) και έκκεντρη (εκκεντρότητα « $e$ » ως προς το κέντρο του πεδίου). Η λοξότητα και εκκεντρότητα μπορεί να είναι κατά την διεύθυνση του πλάτους « $B$ » ή του μήκους « $L$ » του πεδίου ( $\theta_B$ ,  $\theta_L$ ,  $e_B$ ,  $e_L$ ).



Σημείο εφαρμογής της φόρτισης

$$e_B = \frac{M_B}{V}$$

$$e_L = \frac{M_L}{V}$$

Φέρουσα ικανότητα πεδίου =  $p_u$

Υπολογισμός απομειωμένης (ενεργού) διατομής του πεδίου :

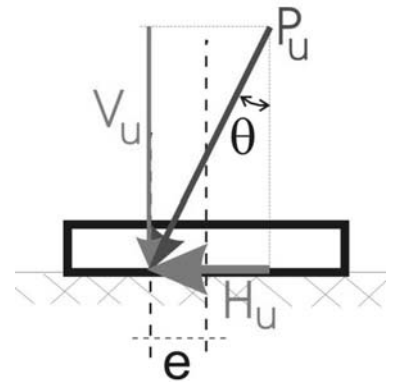
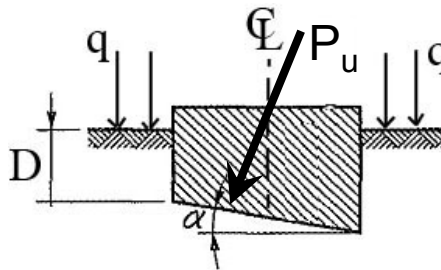
$$A' = L' B' \quad \text{όπου:} \quad B' = B - 2e_B \quad \text{και} \quad L' = L - 2e_L$$

Κατακόρυφη και οριζόντια συνιστώσα  $V_u$ ,  $H_u$  του οριακού φορτίου  $P_u$  :

$$V_u = p_u B' L'$$

$$H_u = V_u \tan \theta$$

$$P_u = V_u / \cos \theta$$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

6. Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

Κατακόρυφη και οριζόντια συνιστώσα  $V_u$ ,  $H_u$  του οριακού φορτίου  $P_u$  :

$$V_u = p_u B' L'$$

$$H_u = V_u \tan \theta$$

$$P_u = V_u / \cos \theta$$

Απαιτούμενοι έλεγχοι επάρκειας του πεδίου :

(1) Έλεγχος έναντι αξονικής φέρουσας ικανότητας :

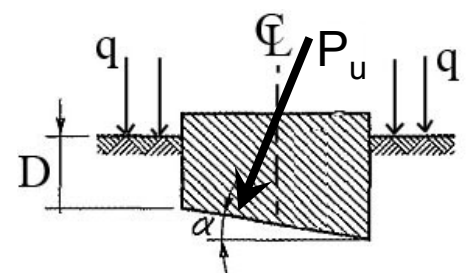
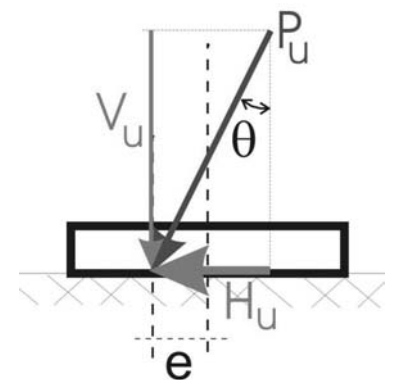
Υπολογισμός του  $V_u$  και έλεγχος ότι :  $V \leq V_u / FS$

όπου  $FS$  = συντ. ασφαλείας έναντι φέρουσας ικανότητας

(2) Έλεγχος έναντι ολίσθησης :

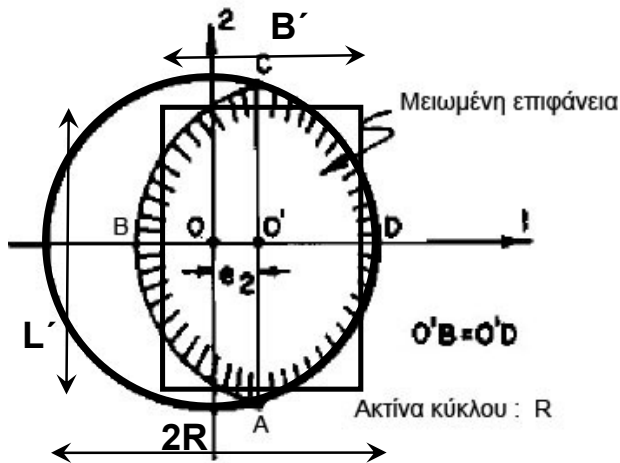
Υπολογισμός του  $H_u$  και έλεγχος ότι :  $H \leq H_u / FS$

όπου  $FS$  = συντ. ασφαλείας έναντι ολίσθησης



Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

Κυκλικά πέδιλα ακτίνας (R) : Υπολογισμός των μειωμένων διαστάσεων B' και L' ισοδύναμου ορθογωνικού πεδίου κατά το American Petroleum Institute (API, 1987) :



V = κατακόρυφο φορτίο του πεδίου

M<sub>2</sub> = ροπή περί τον άξονα «2»

e<sub>2</sub> = εκκεντρότητα ως προς τον άξονα «2» :

$$e_2 = \frac{M_2}{V}$$

Μειωμένο εμβαδόν A' = (ABCD) :

$$A' = \pi R^2 - 2 \left[ e_2 \sqrt{R^2 - e_2^2} + R^2 \arcsin\left(\frac{e_2}{R}\right) \right]$$

Προσοχή : arcsin σε rad

$$L' = \sqrt{(A')} \sqrt{\frac{R + e_2}{R - e_2}} \quad B' = A'/L'$$

Ειδική περίπτωση : Κυκλικό πέδιλο (ακτίνας R) με κεντρική φόρτιση (e=0)

Το ισοδύναμο τετραγωνικό πέδιλο έχει :

$$A' = \pi R^2 \quad B' = L' = B = L = R\sqrt{\pi}$$

Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

1. Φέρουσα ικανότητα για αστράγγιστη φόρτιση (φ=0, c = c<sub>u</sub>) :

$$p_u = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + (q + \gamma D)$$

b<sub>c</sub> = συντ. λοξότητας  
βάσης πεδίου

s<sub>c</sub> = συντ. σχήματος  
πεδίου

i<sub>c</sub> = συντ. απόκλισης της φόρτισης από την  
κατακόρυφο (με δοκιμές ως προς V<sub>u</sub>)

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{(\pi + 2)}$$

$$s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'}$$

$$i_c = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{V_u \tan \theta}{B' L' c_u}} \right)$$

Κατακόρυφη και οριζόντια συνιστώσα V<sub>u</sub>, H<sub>u</sub> του οριακού φορτίου P<sub>u</sub> :

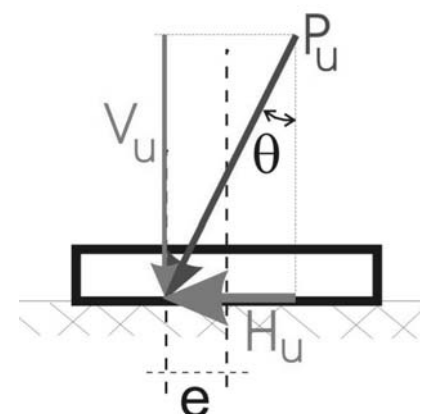
$$V_u = p_u B' L'$$

$$P_u = V_u / \cos \theta$$

$$H_u = V_u \tan \theta$$

Προσοχή : Μέγιστη τιμή του οριζόντιου φορτίου ώστε να αποφευχθεί η ολίσθηση του πεδίου :

$$H_u \leq B' L' c_u$$

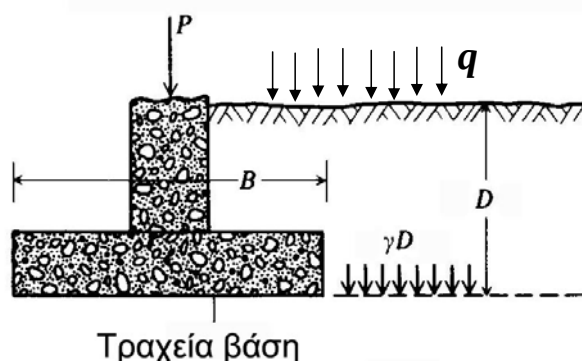


Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

## 1. Φέρουσα ικανότητα για αστράγγιστη φόρτιση ( $\phi=0$ , $c = c_u$ ) :

Ειδική περίπτωση : Κατακόρυφη ( $\theta=0$ ) και κεντρική φόρτιση ( $e=0$ ) οριζόντιου ( $\alpha = 0$ ) ορθογωνικού πεδίου διαστάσεων  $B \times L$

$$p_u = (\pi + 2) \left( 1 + 0.2 \frac{B}{L} \right) c_u + (q + \gamma D)$$



Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

## 2. Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για στραγγισμένη φόρτιση ( $\phi \neq 0$ ) :

$$p_u = c N_c b_c s_c i_c + (q + \gamma D) N_q b_q s_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

• Συντελεστές φέρουσας ικανότητας  $N$  :

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \exp(\pi \tan \phi)$$

$$N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \phi}$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \phi$$

| $\phi$ | $N_c$  | $N_q$ | $N_\gamma$ |
|--------|--------|-------|------------|
| 0      | 5.142  | 1.000 | 0.000      |
| 1      | 5.379  | 1.094 | 0.003      |
| 2      | 5.632  | 1.197 | 0.014      |
| 3      | 5.900  | 1.309 | 0.032      |
| 4      | 6.185  | 1.433 | 0.060      |
| 5      | 6.489  | 1.568 | 0.099      |
| 6      | 6.813  | 1.716 | 0.151      |
| 7      | 7.158  | 1.879 | 0.216      |
| 8      | 7.527  | 2.058 | 0.297      |
| 9      | 7.922  | 2.255 | 0.397      |
| 10     | 8.345  | 2.471 | 0.519      |
| 11     | 8.798  | 2.710 | 0.665      |
| 12     | 9.285  | 2.974 | 0.839      |
| 13     | 9.807  | 3.264 | 1.045      |
| 14     | 10.370 | 3.586 | 1.289      |
| 15     | 10.977 | 3.941 | 1.576      |
| 16     | 11.631 | 4.335 | 1.913      |
| 17     | 12.338 | 4.772 | 2.307      |
| 18     | 13.104 | 5.258 | 2.767      |
| 19     | 13.934 | 5.798 | 3.304      |
| 20     | 14.835 | 6.399 | 3.930      |

| $\phi$ | $N_c$  | $N_q$  | $N_\gamma$ |
|--------|--------|--------|------------|
| 20     | 14.835 | 6.399  | 3.930      |
| 21     | 15.815 | 7.071  | 4.661      |
| 22     | 16.833 | 7.821  | 5.512      |
| 23     | 18.049 | 8.661  | 6.504      |
| 24     | 19.324 | 9.603  | 7.661      |
| 25     | 20.721 | 10.662 | 9.011      |
| 26     | 22.254 | 11.854 | 10.558     |
| 27     | 23.942 | 13.199 | 12.432     |
| 28     | 25.803 | 14.720 | 14.590     |
| 29     | 27.860 | 16.443 | 17.121     |
| 30     | 30.140 | 18.401 | 20.093     |
| 31     | 32.671 | 20.631 | 23.591     |
| 32     | 35.490 | 23.177 | 27.715     |
| 33     | 38.638 | 26.092 | 32.590     |
| 34     | 42.164 | 29.440 | 38.366     |
| 35     | 46.124 | 33.296 | 45.228     |
| 36     | 50.586 | 37.753 | 53.404     |
| 37     | 55.630 | 42.920 | 63.178     |
| 38     | 61.352 | 48.933 | 74.899     |
| 39     | 67.867 | 55.957 | 89.007     |
| 40     | 75.313 | 64.195 | 106.054    |

# Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα 7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

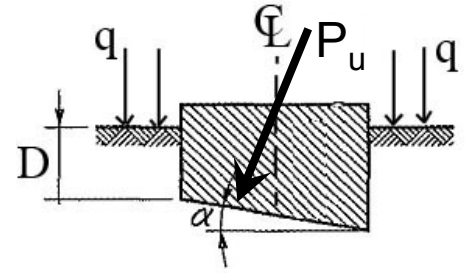
2. Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για στραγγισμένη φόρτιση ( $\phi \neq 0$ ) :

$$p_u = c N_c b_c s_c i_c + (q + \gamma D) N_q b_q s_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

- Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου (κατά Vesic, 1975) :

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \tan \phi)^2$$

$$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c \tan \phi} \quad \text{Για } \phi=0 : b_c = 1 - \frac{2\alpha}{(\pi + 2)}$$

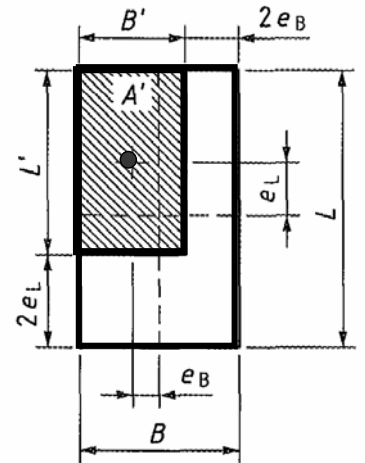


- Συντελεστές σχήματος πεδίου (κατά Vesic, 1975) :

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \phi$$

$$s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1} \quad \text{Για } \phi=0 : s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \frac{B'}{L'}$$



Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

2. Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για στραγγισμένη φόρτιση ( $\phi \neq 0$ ) :

$$p_u = c N_c b_c s_c i_c + (q + \gamma D) N_q b_q s_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

- Συντελεστές απόκλισης του φορτίου από την κατακόρυφο (γωνία  $\theta$ ) κατά EC-7 & Vesic, 1975):

Παρατήρηση : Οι συντελεστές απόκλισης κατά DIN 4017 δίνονται στο επόμενο φύλλο

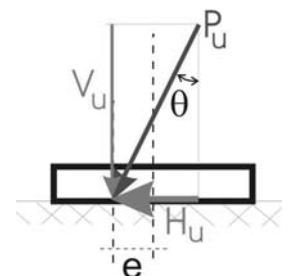
$$i_q = \left[ 1 - \frac{\tan \theta}{1 + \frac{B' L' c}{V_u \tan \phi}} \right]^m \quad i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{(N_q - 1)} \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{\tan \theta}{1 + \frac{B' L' c}{V_u \tan \phi}} \right]^{m+1}$$

$$\text{Για } \phi \rightarrow 0 : i_\gamma = i_q = 1 \quad \text{και : } i_c = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{V_u \tan \theta}{B' L' c_u}} \right)$$

$$\text{όπου : } m = m_B = \frac{2 + (B' / L')}{1 + (B' / L')} \quad \text{όταν το φορτίο Η δρά κατά την διεύθυνση του πλάτους } B'$$

$$m = m_L = \frac{2 + (L' / B')}{1 + (L' / B')} \quad \text{όταν το φορτίο Η δρά κατά την διεύθυνση του μήκους } L'$$

$$m = m_L \cos^2 \beta + m_B \sin^2 \beta \quad \text{όταν το φορτίο Η δρά κατά διεύθυνση που σχηματίζει γωνία } (\beta) \text{ με το μήκος } L'$$



Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα EC-7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

2. Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για στραγγισμένη φόρτιση ( $\phi \neq 0$ ) :

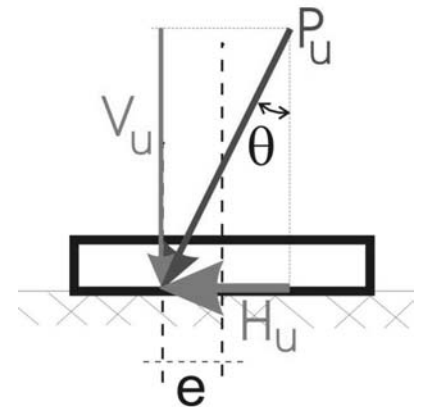
$$p_u = c N_c b_c s_c i_c + (q + \gamma D) N_q b_q s_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

• Συντελεστές απόκλισης του φορτίου από την κατακόρυφο (γωνία  $\theta$ ) κατά DIN 4017 :

$$i_q = \left[ 1 - 0.7 \frac{\tan \theta}{1 + \frac{B' L' c}{V_u \tan \phi}} \right]^3 \quad i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{(N_q - 1)} \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{\tan \theta}{1 + \frac{B' L' c}{V_u \tan \phi}} \right]^3$$

Για  $\phi \rightarrow 0$  :

$$i_\gamma = i_q = 1 \quad \text{και} : \quad i_c = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{V_u \tan \theta}{B' L' c_u}} \right)$$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα 7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

Ειδική περίπτωση : Κατακόρυφη ( $\theta=0$ ) και κεντρική φόρτιση ( $e=0$ ) οριζόντιου ( $\alpha = 0$ ) ορθογωνικού πεδίου διαστάσεων  $B \times L$

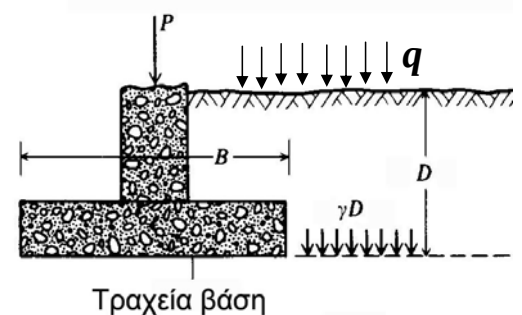
$$p_u = c N_c s_c + (q + \gamma D) N_q s_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma$$

• Συντελεστές N :

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \exp(\pi \tan \phi)$$

$$N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \phi}$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \phi$$



• Συντελεστές σχήματος πεδίου :

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \sin \phi \quad s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1} \quad s_\gamma = 1 - 0.3 \frac{B}{L}$$

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα 7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

Παράδειγμα εφαρμογής : Εκκεντρη (κατακόρυφη) φόρτιση λωριδωτού πεδίου

Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για διάφορες τιμές της εκκεντρότητας (e)

$$p_u = c N_c b_c s_c i_c + (q + \gamma D) N_q b_q s_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου :  $\alpha = 0 \Rightarrow b = 1$

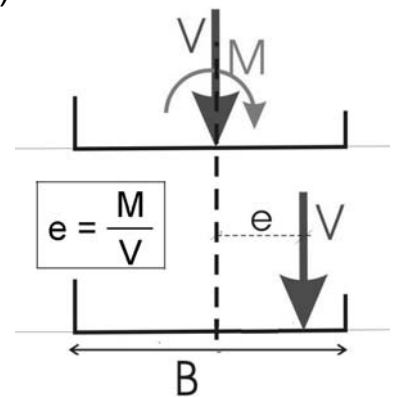
Συντελεστές σχήματος πεδίου :  $L = \infty \Rightarrow s = 1$

Συντελεστές απόκλισης του φορτίου από την κατακόρυφο :  $\theta = 0 \Rightarrow i = 1$

Επιφανειακή έδραση πεδίου (D=0), μηδενική επιφόρτιση (q=0)

Εκκεντρότητα (e) :  $B' = B - 2e$

$$p_{u,e} = c N_c + \frac{1}{2} \gamma (B - 2e) N_\gamma \Rightarrow V_{u,e} = p_{u,e} (B - 2e)$$



## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

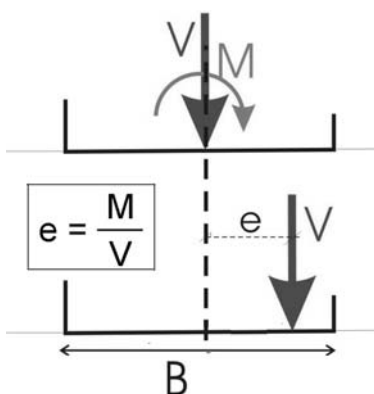
Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα 7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

Παράδειγμα εφαρμογής : Εκκεντρη (κατακόρυφη) φόρτιση λωριδωτού πεδίου

Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για διάφορες τιμές της εκκεντρότητας (e)

$$\text{Για κεντρική φόρτιση (e = 0) : } V_{u,0} = \left( \frac{c}{\gamma B} N_c + \frac{1}{2} N_\gamma \right) \gamma B^2$$

$$\text{Για έκκεντρη φόρτιση (e \neq 0) : } \frac{V_{u,e}}{V_{u,0}} = \frac{\frac{c}{\gamma B} N_c + \frac{1}{2} \left( 1 - 2 \frac{e}{B} \right) N_\gamma}{\frac{c}{\gamma B} N_c + \frac{1}{2} N_\gamma} \left( 1 - 2 \frac{e}{B} \right)$$





# Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

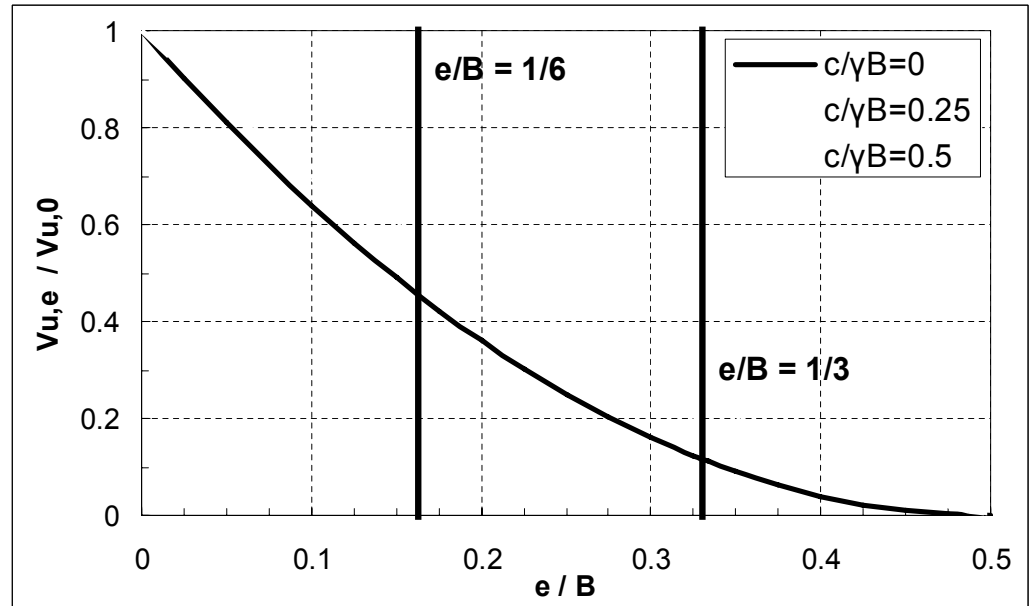
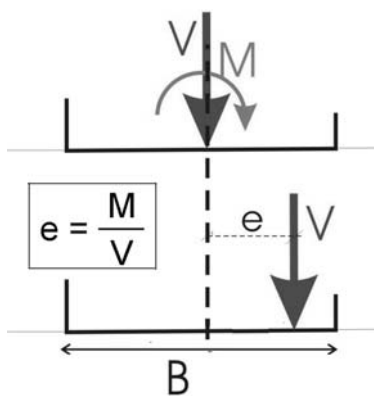
Μέθοδος κατά τον Ευρωκώδικα 7 (Παράρτημα D) και κατά το DIN 4017 :

Παράδειγμα εφαρμογής : Εκκεντρη φόρτιση λωριδωτού πεδίου

Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για διάφορες τιμές της εκκεντρότητας ( $e$ )

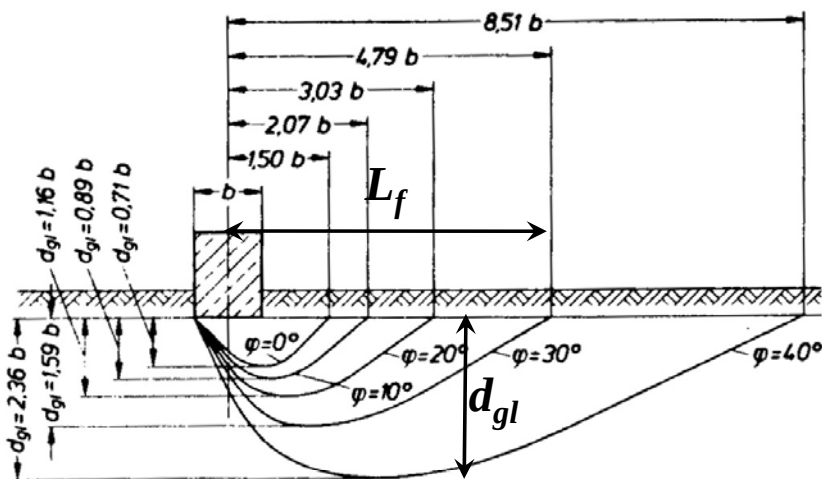
$$\frac{V_{u,e}}{V_{u,0}} = \frac{\frac{c}{\gamma B} N_c + \frac{1}{2} \left( 1 - 2 \frac{e}{B} \right) N_\gamma}{\frac{c}{\gamma B} N_c + \frac{1}{2} N_\gamma} \left( 1 - 2 \frac{e}{B} \right)$$

Για :  $\phi = 35^\circ \Rightarrow N_c = 46.1, N_\gamma = 45.2$

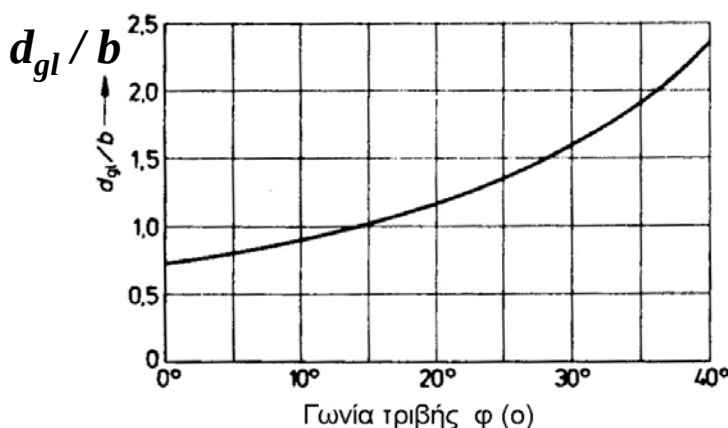


## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Εκτίμηση του βάθους επιρροής ( $d_{gl}$ ) πεδίων (κατά το DIN 4017) :



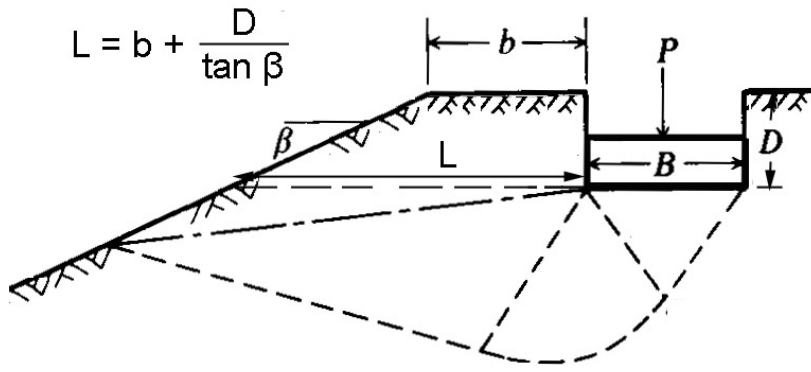
Στην περίπτωση έδρασης πεδίων κοντά σε πρανές, υπάρχει επιρροή του πρανούς στη φέρουσα ικανότητα του πεδίου (μείωση) εάν η απόσταση του πεδίου από το πρανές είναι μικρότερη από το εύρος της ζώνης αστοχίας ( $L_f$ )



Στην περίπτωση έδρασης πεδίων επί ανομοιογενούς εδάφους, οι παράμετροι αντοχής ( $c, \phi$ ) και το ειδικό βάρος ( $\gamma$ ) λαμβάνονται ως ζυγισμένες τιμές στην εδαφική ζώνη πάχους ( $d_{gl}$ )

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Επιρροή της γειτνίασης με πρανές στην φέρουσα ικανότητα



$L_f$  = εύρος της ζώνης αστοχίας

$L$  = απόσταση του πεδίλου από το πρανές

$$p_u = c N_c b_c s_c i_c g_c + (q + \gamma D) N_q b_q s_q i_q g_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma g_\gamma$$

Συντελεστές κλίσης πρανούς ( $g_c$ ,  $g_q$ ,  $g_\gamma$ ) κατά Hansen :

$$\text{Εάν } L \geq L_f : g_c = g_q = g_\gamma = 1$$

$$\text{Εάν } L < L_f : g_c = 1 - \left(1 - \frac{L}{L_f}\right) \left(\frac{2\beta}{\pi + 2}\right) \quad g_q = g_\gamma = \left(1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L}{L_f}\right) \tan \beta\right)^5$$

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Επιρροή του βάθους ( $d$ ) του υδροφόρου ορίζοντα (κατά NAVFAC DM-7.2) :

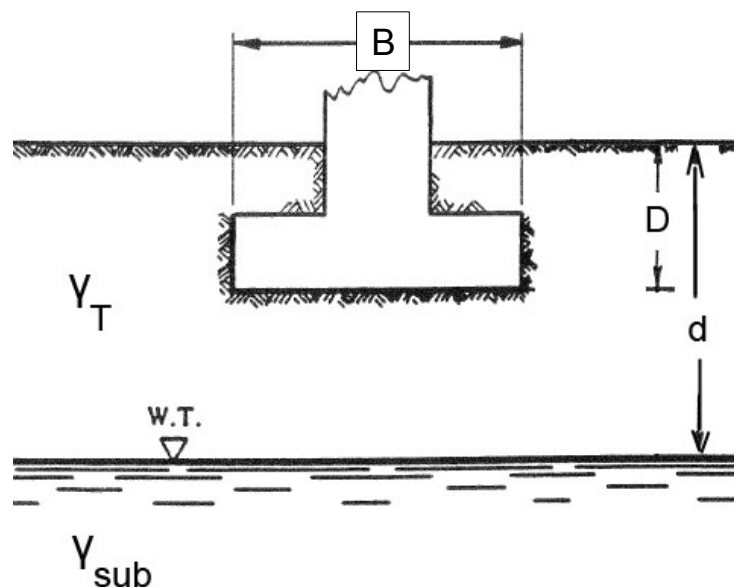
$$p_u = c N_c + (q + \gamma_1 D) N_q + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma$$

$$\gamma_1 = \gamma_T \quad \text{εάν } d > D$$

$$\gamma_1 = \frac{\gamma_T d + \gamma_{sub} (D - d)}{D} \quad \text{εάν } d < D$$

$$\gamma_2 = \gamma_{sub} + F(\gamma_T - \gamma_{sub})$$

Οι τιμές του συντελεστή  $F$  δίνονται στο επόμενο νομογράφημα



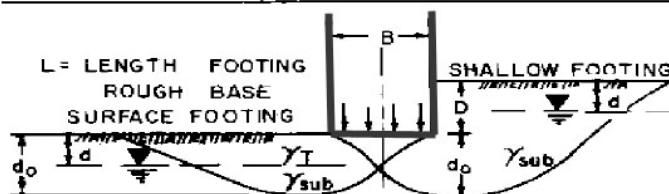
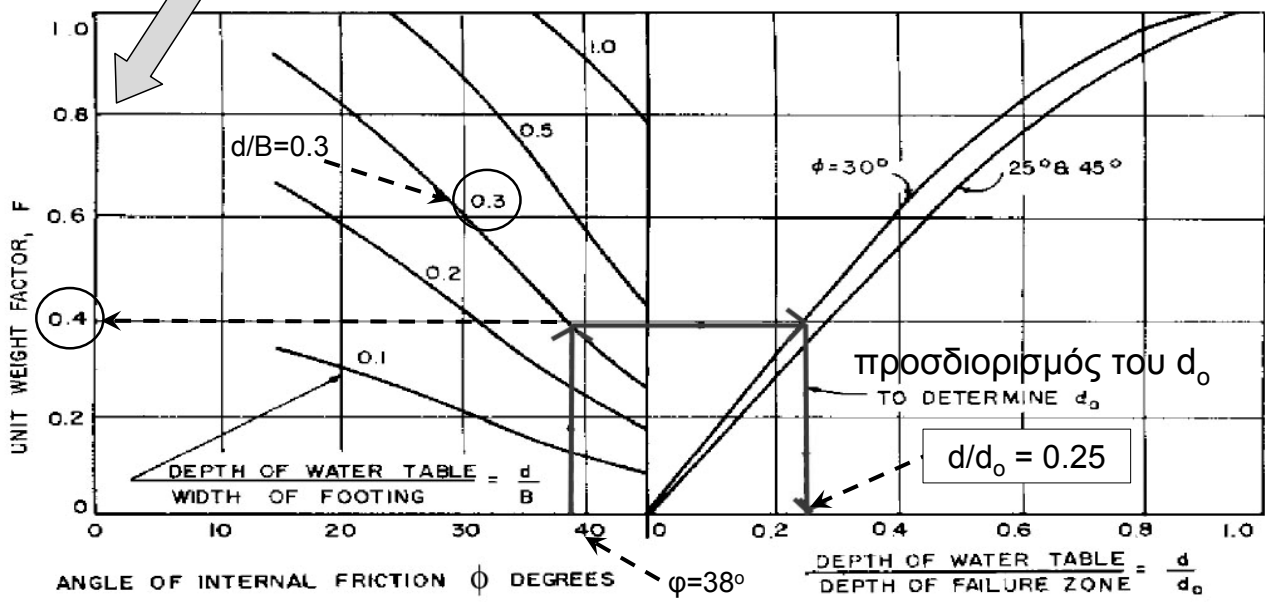
$\gamma_{sub}$  = υπό άνωση ειδικό βάρος

$\gamma_T$  = υγρό ειδικό βάρος

Επιρροή του βάθους (d) του υδροφόρου ορίζοντα (κατά NAVFAC DM-7.2) :

$$p_u = c N_c + (q + \gamma_1 D) N_q + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma \quad \gamma_1 = \gamma_T \quad \text{εάν } d > D$$

$$\gamma_2 = \gamma_{sub} + F(\gamma_T - \gamma_{sub}) \quad \gamma_1 = \frac{\gamma_T d + \gamma_{sub}(D - d)}{D} \quad \text{εάν } d < D$$



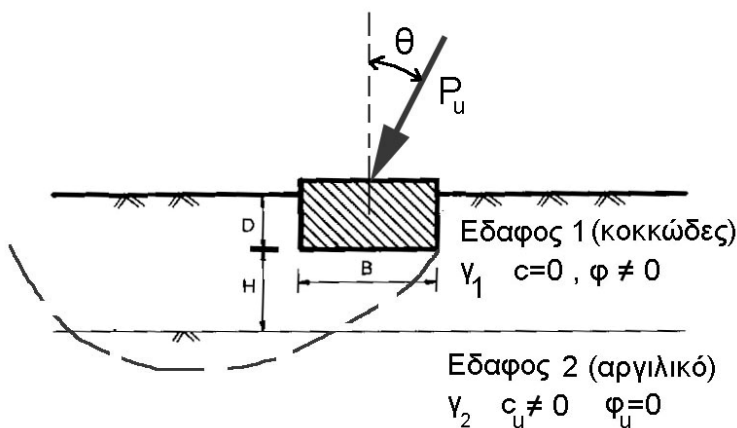
$\gamma_{sub}$  = υπό άνωση ειδικό βάρος

$\gamma_T$  = υγρό ειδικό βάρος

## Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίλων)

Φέρουσα ικανότητα λωριδωτού πεδίλου υπό λοξή φόρτιση σε δίστρωτο σχηματισμό, με μή-συνεκτική ανώτερη στρώση (π.χ. αμμοχάλικο) και συνεκτική κατώτερη στρώση (άργιλος υπό αστράγγιστες συνθήκες) – Επίλυση κατά Meyerhof & Hanna (1978)

Η περίπτωση αυτή είναι πολύ συνήθης σε πέδιλα εδραζόμενα σε μαλακές αργίλους (έδαφος 2) μέσω εξυγιαντικής στρώσης από κοκκώδες υλικό (έδαφος 1)



$p_{u2}$  = οριακή φέρουσα ικανότητα του πεδίου θεωρούμενου ως εδραζόμενου στο έδαφος 2 (άργιλος με  $c_u$ ) – χωρίς την παρουσία του εδάφους 1

$$p_{u2} = (\pi + 2) i_c c_u + (q + \gamma_1 D)$$

$p_{u1}$  = οριακή φέρουσα ικανότητα του πεδίου θεωρούμενου ως εδραζόμενου σε μεγάλου πάχους έδαφος 1 (κοκκώδες με γωνία τριβής  $\phi$ )

$$p_{u1} = (q + \gamma_1 D) N_q i_q + 0.5 \gamma_1 B N_\gamma i_\gamma$$

$p_u$  = οριακή φέρουσα ικανότητα του πεδίου στο δίστρωτο έδαφος :

$$p_u = \min \left\{ p_{u1}, p_{u2} + \gamma_1 H \left[ \left( 1 + 2 \frac{D}{H} \cos \theta \right) \frac{H}{B} K_s i_s \tan \phi - 1 \right] \right\}$$

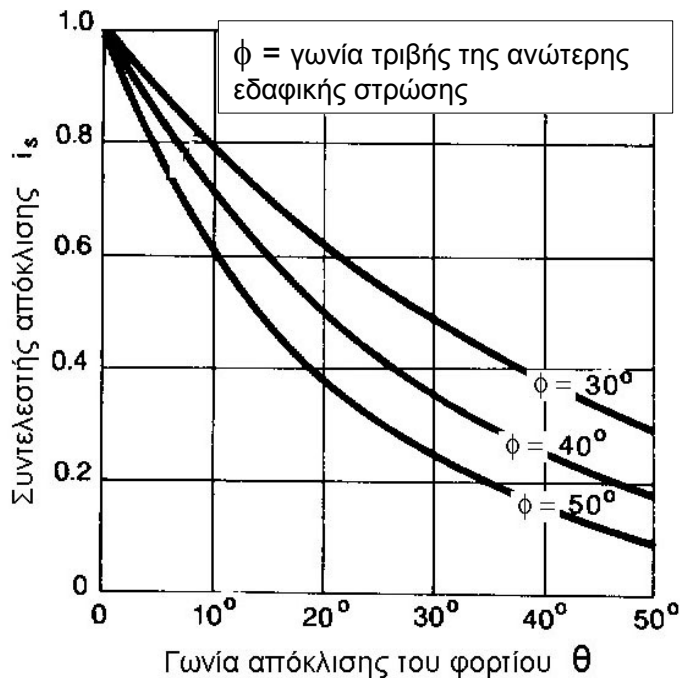
Οριακό κατακόρυφο φορτίο :  $V_u = p_u B L$

Οριακό φορτίο :  $P_u = V_u / \cos \theta$

# Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

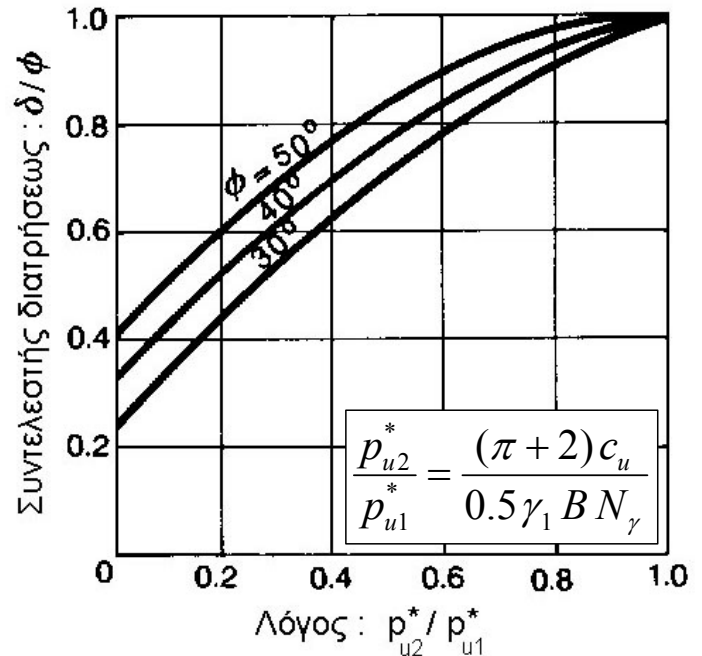
Φέρουσα ικανότητα λωριδωτού πεδίου υπό λοξή φόρτιση σε δίστρωτο σχηματισμό, με μή-συνεκτική ανώτερη στρώση (π.χ. αμμοχάλικο) και συνεκτική κατώτερη στρώση (άργιλος υπό αστράγγιστες συνθήκες) – Επίλυση κατά Meyerhof & Hanna (1978)

$i_s$  = συντελεστής απόκλισης του φορτίου από την κατακόρυφο (γωνία  $\theta$ )



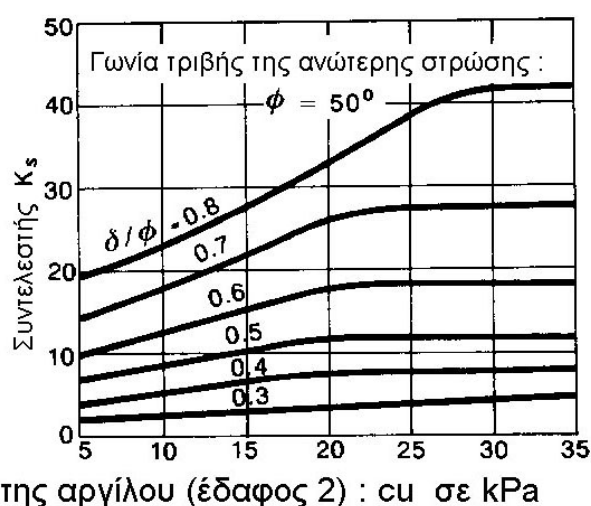
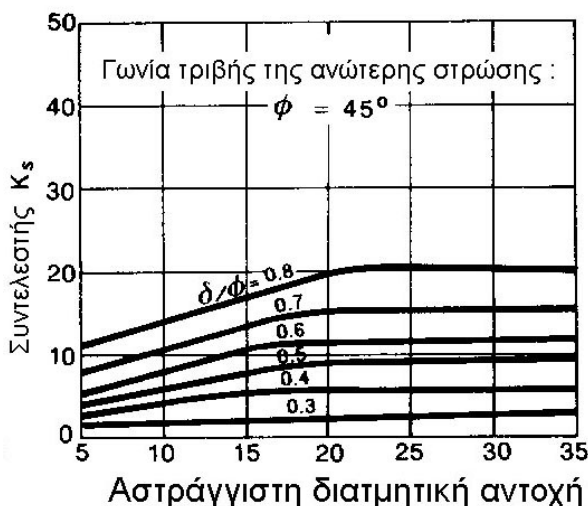
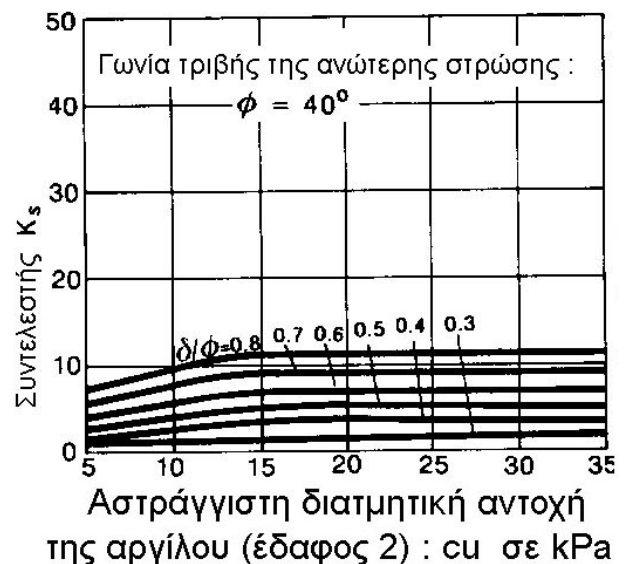
$K_s$  = συντελεστής διατρήσεως της ανώτερης εδαφικής στρώσης. Προκύπτει ως συνάρτηση του ακόλουθου συντελεστή ( $\delta/\phi$ )

$N_\gamma$  = συντ. φέρουσας ικανότητας του εδάφους 1



Φέρουσα ικανότητα λωριδωτού πεδίου υπό λοξή φόρτιση σε δίστρωτο σχηματισμό, με μή-συνεκτική ανώτερη στρώση (π.χ. αμμοχάλικο) και συνεκτική κατώτερη στρώση (άργιλος υπό αστράγγιστες συνθήκες) – Επίλυση κατά Meyerhof & Hanna (1978)

$K_s$  = συντελεστής διατρήσεως της ανώτερης εδαφικής στρώσης. Προκύπτει ως συνάρτηση του συντελεστή ( $\delta/\phi$ )



# Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

## Σύνοψη διαθέσιμων μεθόδων υπολογισμού

1. Κεντρική φόρτιση πεδίων ( $M=0$ ) :
  - Μέθοδος Terzaghi
  - Μέθοδος Meyerhof
2. Κεντρική ( $M=0$ ) ή έκκεντρη ( $M \neq 0$ ) φόρτιση πεδίων :
  - Μέθοδος Ευρωκώδικα 7 (EC-7)
  - Μέθοδος DIN 4017
3. Πέδιλα σε δίστρωτο σχηματισμό :
  - Μέθοδος Meyerhof & Hanna

## Έλεγχος επάρκειας επιφανειακών θεμελιώσεων έναντι υπέρβασης της αξονικής Φέρουσας Ικανότητας

Σημείωση : Απαιτείται και έλεγχος αποδεκτών καθιζήσεων για την ανωδομή  
Μέθοδος του συνολικού συντελεστή ασφαλείας (FS) :

$$(FS) V \leq V_u \Rightarrow V \leq \frac{V_u}{(FS)}$$

$V_u$  = κατακόρυφη συνιστώσα της οριακής φέρουσας ικανότητας :  $V_u = p_u B' L'$

$V$  = κατακόρυφο φορτίο λειτουργίας εκ της ανωδομής (χωρίς συντελεστές δράσεων)

Συνήθεις τιμές του συντελεστή ασφαλείας επιφανειακών θεμελιώσεων (κατά Vesic, 1975):

| Είδος έργου            | Γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών |              |
|------------------------|--------------------------------|--------------|
|                        | Καλή                           | Περιορισμένη |
| Δομικά έργα            | 2                              | 3 *          |
| Οδικές γέφυρες         | 2.5 *                          | 3.5 *        |
| Σιδηροδρομικές γέφυρες | 3 *                            | 4 *          |
| Τοίχοι αντιστηρίξεως   | 1.3                            | 1.5          |
| Επιχώματα              | 1.5                            | 2            |

\* Για προσωρινά έργα, οι τιμές μπορούν να απομειωθούν κατά 25%, αλλά πάντοτε  $FS > 2$

Έλεγχος επάρκειας επιφανειακών θεμελιώσεων  
έναντι ολίσθησης στη βάση

Μέθοδος του συνολικού συντελεστή ασφαλείας (FS) :

$$(FS) H \leq H_u \Rightarrow H \leq \frac{H_u}{(FS)}$$

$$H_u = \min\{V_u \tan \theta, V \tan \delta\}$$

$H_u$  = οριζόντια συνιστώσα της οριακής φέρουσας ικανότητας

$H$  = οριζόντιο φορτίο λειτουργίας εκ της ανωδομής (χωρίς συντελεστές δράσεων)

$\theta$  = απόκλιση του φορτίου του πεδίλου από την κατακόρυφο

$V_u$  = κατακόρυφη συνιστώσα της οριακής φέρουσας ικανότητας

$V$  = κατακόρυφο φορτίο λειτουργίας εκ της ανωδομής (χωρίς συντελεστές δράσεων)

$\delta$  = γωνία τριβής βάσης πεδίλου και εδάφους :

Για τραχύ πέδιλο :  $\delta = (2/3) \varphi$

Για σχετικώς λείο πέδιλο :  $\delta = (1/2) \varphi$

Συνήθης τιμή του απαιτούμενου συντελεστή ασφαλείας  
έναντι ολίσθησης :  $FS = 1.5 \div 2.0$

