



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ & ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Διδάσκων:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

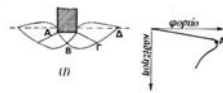
ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

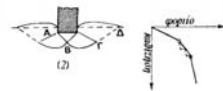
Η αντοχή του εδάφους σε θραύση λόγω διατμητικών τάσεων ονομάζεται φέρουσα ικανότητα του εδάφους.

Υπάρχουν τρεις μορφές θραύσης του εδάφους κάτω από μία επιφάνεια θεμελίωσης:

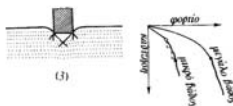
➤ Η γενική θραύση



➤ Η τοπική θραύση και

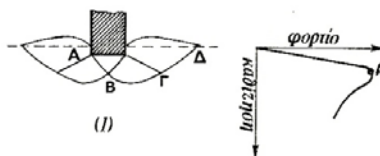


➤ Η βύθιση του θεμελίου

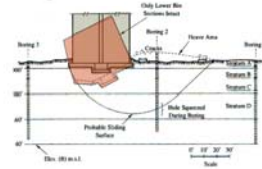


ΓΕΝΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

- Λαμβάνει χώρα σε εδάφη υψηλής πυκνότητας και χαμηλής συμπιεστότητας (άμμους υψηλής πυκνότητας, αργίλους υψηλής αντοχής).
- Συνοδεύεται από ισχυρή παραμόρφωση και έντονη ανύψωση στην επιφάνεια του εδάφους.
- Οι επιφάνειες αστοχίας εμφανίζονται καλά αναπτυγμένες, ξεκινώντας από το άκρο της θεμελίωσης και φτάνοντας έως την επιφάνεια του εδάφους.
- Πρόκειται για μια σχετικά ψαθυρή και καθολική θραύση της θεμελίωσης.

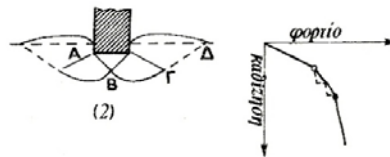


Αστοχία θεμελίωσης η οποία έλαβε χώρα τον Οκτώβριο του 1913 στην North Transcona, Manitoba, Canada. Έλαβε χώρα όταν η πίεση της θεμελίωσης σχεδόν εξισώθηκε με τη φέρουσα ικανότητα της υποκείμενης πλαστικής αργίλου με αποτέλεσμα να διαμορφωθεί σαφής επιφάνεια αστοχίας.



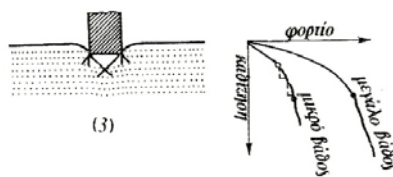
ΤΟΠΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ

- Λαμβάνει χώρα σε εδάφη μέσης πυκνότητας και μέσης συμπίεσότητας.
- Δεν εμφανίζεται μεγάλη ανύψωση της επιφάνειας του εδάφους.
- Οι επιφάνειες αστοχίας διαμορφώνονται τοπικά κάτω από το θεμέλιο, χωρίς να φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους.
- Η θεμελίωση αστοχεί χωρίς να ορίζεται με ακρίβεια το φορτίο αστοχίας.



ΒΥΘΙΣΗ ΘΕΜΕΛΙΟΥ

- Λαμβάνει χώρα σε χαλαρά εδάφη μικρής πυκνότητας και μεγάλης συμπιεστότητας.
- Κατά την εκδήλωσή τους το θεμέλιο βυθίζεται χωρίς την εμφάνιση ανύψωσης στην επιφάνεια του εδάφους.
- Η μεγάλη συμπιεστότητα του υλικού επιτρέπει την καθίζηση του θεμελίου εξαιτίας της συμπύκνωσής του. Παράλληλα διαμορφώνονται επιφάνειες αστοχίας περιορισμένης έκτασης κάτω από την θεμελίωση.



Έκκεντρη βύθιση θεμελίων σε κατοικία στην πόλη Izmit, στην Τουρκία, μετά από ρευστοποίηση που έλαβε χώρα εξαιτίας σεισμού, μεγέθους 7,4, στις 17 Αυγούστου 1999.



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΥ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ (VESIC, 1963)

Όπου

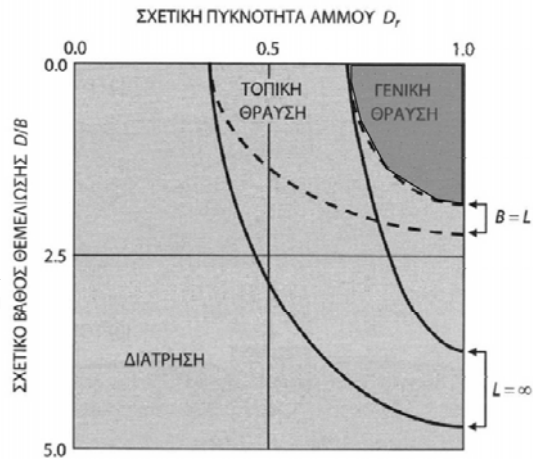
D_r : Σχετική πυκνότητα της άμμου

B : Πλάτος θεμελίου

L : Μήκος θεμελίου

D : Βάθος θεμελίωσης

Το παρόν διάγραμμα δίνει λύσεις για τετραγωνικό πέδιλο ($B=L$) καθώς και για πέδιλο άπειρου μήκους.



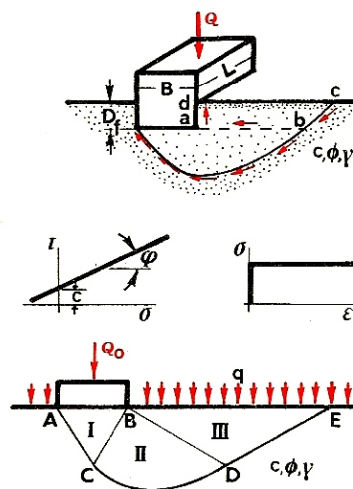
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΕΡΖΑΓΗ

Η θεωρία του Terzaghi για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Το έδαφος συμπεριφέρεται σαν στερεό πλαστικό σώμα.
- Αγνοείται η διατμητική αντίσταση του εδάφους πάνω από τη θεμελίωση και το υπερκείμενο έδαφος αντικαθίσταται με ομοιόμορφο φορτίο.
- Αγνοείται η τριβή του υπερκείμενου εδάφους και της θεμελίωσης (στην πλευρά ad).
- Το μήκος της θεμελίωσης ορίζεται πολύ μεγαλύτερο από το πλάτος $L/B > 5$.

Οι παραπάνω παραδοχές είναι υπέρ της ασφάλειας.

Η παραδοχή ότι το έδαφος είναι στερεό πλαστικό σώμα συνεπάγεται ότι η συγκεκριμένη θεωρητική λύση ανταποκρίνεται στη γενική θραύση, δηλ. για σχετικά ασυμπίεστα εδάφη.



Σύμφωνα με τη θεωρία του Terzaghi η φέρουσα ικανότητα θεμέλιου άπειρου μήκους δίνεται από τον τύπο:

$$q = c \cdot N_c + \gamma_a D_f N_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma_k \cdot N_\gamma$$

Όπου :

B= το πλάτος της θεμελίωσης

D_f = το βάθος θεμελίωσης

γ_α = το φαινόμενο βάρος του εδάφους πάνω από τη στάθμη της θεμελίωσης

γ_κ = το φαινόμενο βάρος του εδάφους κάτω από τη στάθμη της θεμελίωσης

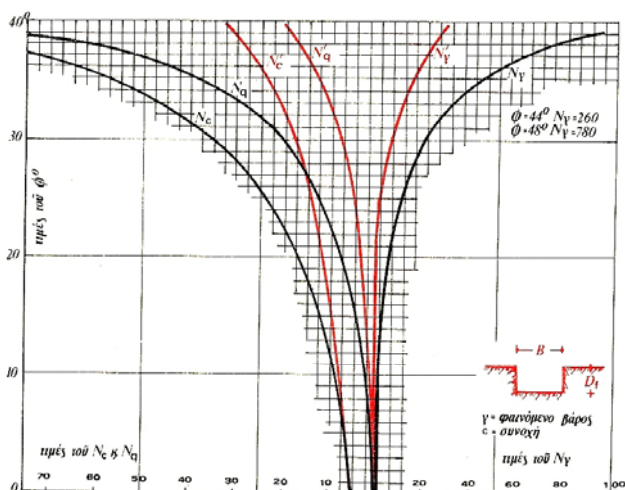
N_γ = ο συντελεστής επιφανειακής αντοχής ψαθυρού εδάφους

N_c = ο συντελεστής συνοχής

N_q = ο συντελεστής βάθους θεμελίωσης

Όταν στην επιφάνεια του εδάφους επιβάλλεται φορτίο, αυτό συνυπολογίζεται και αντί του (γ_αD_f) γίνεται χρήση του (γ_αD_f + εξωτερικό φορτίο).

Ο πρώτος προσθετός λαμβάνει υπόψη τη συνοχή του εδάφους θεμελίωσης, ο δεύτερος λαμβάνει υπόψη το βάρος του εδάφους πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης και ο τρίτος την τριβή του εδάφους κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης.



Οι όροι N_c, N_q, N_γ υπολογίζονται βάσει τη γωνία τριβής του εδάφους κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης.

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,70	1,00	0,00	5,70	1,00	0,00
5	7,30	1,60	0,50	6,70	1,40	0,20
10	9,60	2,7	1,20	8,00	1,90	0,50
15	12,90	4,40	2,50	9,70	2,70	0,90
20	17,70	7,40	5,00	11,80	3,90	1,70
25	25,10	12,70	9,70	14,80	5,60	3,20
30	37,20	22,50	19,70	19,00	8,30	5,70
34	52,60	36,50	35,00	23,70	11,70	9,00
35	57,80	41,40	42,40	25,20	12,60	10,10
40	95,70	81,30	100,40	34,90	20,50	18,80
45	172,30	173,30	297,50	51,20	35,10	37,70
48	258,30	287,90	780,10	66,80	50,50	60,40
50	347,50	415,10	1153,20	81,30	65,60	87,10

Για τον υπολογισμό της επιτρεπόμενης τάσης, $q_{επ}$, η φέρουσα ικανότητα, q , διαιρείται με συντελεστή ασφάλειας $v = 2,5$ έως $3,0$.

$$q_{επ} = \frac{q}{v}$$

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΤΟΠΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ, ΚΑΤΑ TERZAGHI

Στην περίπτωση όπου το έδαφος είναι συμπιεστό και υπάρχει δυνατότητα εκδήλωσης τοπικής θραύσης ο τύπος του Terzaghi διαμορφώνεται ως εξής:

$$q = c \cdot N_c' + \gamma_a D_f N_q' + \frac{1}{2} B \cdot \gamma_k \cdot N_\gamma'$$

Οι τιμές των παραμέτρων N_c' , N_q' , N_γ' υπολογίζονται με τη χρήση των προαναφερόμενων διαγραμμάτων.

Επειδή για τον υπολογισμό τους απαιτούνται οι τιμές της ενεργού γωνίας τριβής, ϕ' , και της ενεργού συνοχής, c' , για τον υπολογισμό των παραμέτρων χρησιμοποιούνται οι τιμές ϕ και c που υπολογίζονται από τους τύπους:

$$\tan \phi' = \frac{2}{3} \tan \phi$$

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

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας θεμελίου περιορισμένου μήκους έχουν προταθεί οι ακόλουθες σχέσεις:

$$q = c \cdot N_c \cdot J_c + \gamma_a \cdot D_f \cdot N_q \cdot J_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma_k \cdot N_\gamma \cdot J_\gamma$$

Μορφή πεδίλου	J_c	J_q	J_γ
Όρθογωνική	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \text{tg } \varphi$	$1 - 0,4 \left(\frac{B}{L}\right)$
Τετραγωνική ή κυκλική	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \text{tg } \varphi$	0,60

Επίσης οι σχέσεις:

Για τετραγωνικά πέδιλα: $q = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma_a \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \cdot B \cdot \gamma_k \cdot N_\gamma$

Για Κυκλικά Πέδιλα: $q = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma_a \cdot D_f \cdot N_q + 0,3 \cdot B \cdot \gamma_k \cdot N_\gamma$

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ

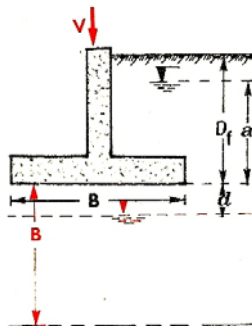
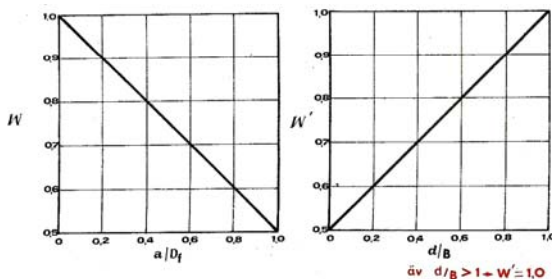
Η παρουσία του υδροφόρου ορίζοντα συνεπάγεται τη μείωση της διατμητικής αντοχής των υλικών θεμελίωσης. Στην περίπτωση που η στάθμη βρίσκεται πάνω από τη στάθμη θεμελίωσης μειώνει και την αντίσταση από το βάρος των υπερκειμένων υλικών.

Όταν η στάθμη του υδροφόρου εντοπίζεται πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης τότε ο τύπος της φέρουσας ικανότητας διαμορφώνεται ως εξής:

$$q = c \cdot N_c + \gamma_a \cdot D_f \cdot N_q \cdot W + \frac{1}{2} B \cdot \gamma_k' \cdot N_\gamma$$

Όταν η στάθμη εντοπίζεται από κάτω ως εξής:

$$q = c \cdot N_c + \gamma_a \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma_k \cdot N_\gamma \cdot W'$$

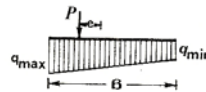
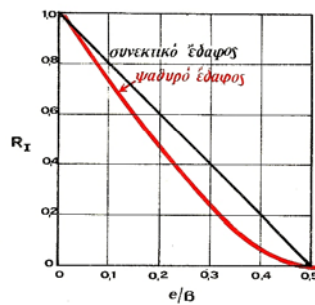


γ : φαινόμενο βάρος υπό άνωση

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Η εκκεντρότητα των επιβαλλομένων φορτίων επί της επιφάνειας θεμελίωσης συνεπάγεται τη μείωση της φέρουσας ικανότητας, κατά μειωτικό συντελεστή R_I .

$$q' = q R_I$$



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ HANSEN

Σύμφωνα με τη θεωρία του Hansen η φέρουσα ικανότητα δίνεται από τον τύπο:

$$q_{οριακή} = (s_c \cdot d_c \cdot l_c) \cdot c \cdot N_c + (s_q \cdot d_q \cdot l_q) \cdot \gamma_a \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma_k \cdot N_\gamma (s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot l_\gamma)$$

Όπου :

B = το πλάτος της θεμελίωσης

D_f = το βάθος θεμελίωσης

γ_a = το φαινόμενο βάρος του εδάφους πάνω από τη στάθμη της θεμελίωσης

γ_k = το φαινόμενο βάρος του εδάφους κάτω από τη στάθμη της θεμελίωσης

N_γ = ο συντελεστής επιφανειακής αντοχής ψαθυρού εδάφους

N_c = ο συντελεστής συνοχής

N_q = ο συντελεστής βάθους θεμελίωσης

s_c, s_q, s_γ = συντελεστές επιρροής του σχήματος της θεμελίωσης

d_c, d_q, d_γ = συντελεστές επιρροής του βάθους της θεμελίωσης

i_c, i_q, i_γ = συντελεστές επιρροής της κλίσης του φορτίου

Οι διάφοροι συντελεστές προκύπτουν από τους ακόλουθους τύπους:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \cdot \tan^2(45 + \varphi/2)$$

$$i_v = i_q - (1 - i_q/N_q - 1)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi$$

$$i_q = \left[1 - \left(\frac{0.5H}{N + A \cdot c \cdot \cot \varphi} \right)^5 \right]$$

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi$$

$$i_\gamma = \left[1 - \left(\frac{0.5H}{N + A \cdot c \cdot \cot \varphi} \right)^5 \right]$$

$$s_c = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \cdot \left(\frac{B}{L} \right)$$

H: Οριζόντια φόρτιση
 N: Κατακόρυφη φόρτιση
 A: Εμβαδό βάσης

$$s_q = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \cdot \tan \varphi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$d_c = 1 + 0.4K$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot K$$

$$d_\gamma = 1.0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \left(\frac{D}{B} \right) \text{ για } D/B \leq 1 \\ K = \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right) \text{ για } D/B \geq 1 \end{array} \right.$$

Όταν η γωνία τριβής είναι $\varphi=0$ ο τύπος του Hansen διαμορφώνεται ως εξής :

$$q_{οριακή} = 5.14 c_u (1 + s_c + d_c - i_c) + \gamma_A + D_f$$

Όπου:

$$s_c = 0.2 \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$d_c = 0.4 K$$

$$i_c = 0.5 + 0.5 \left[1 - \left(\frac{H}{A \cdot c_u} \right) \right]$$

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΜΕYERHOF

Σύμφωνα με τη θεωρία του Meyerhof η φέρουσα ικανότητα δίνεται από τον τύπο:

$$q_{οφαικη} = (s_c d_c i_c) c \cdot N_c + (s_q d_q i_q) \cdot \gamma_\alpha \cdot D_f \cdot N_q + 1/2 \cdot B \cdot \gamma_R \cdot N_\gamma \cdot (s_\gamma d_\gamma i_\gamma)$$

Όπου :

B= το πλάτος της θεμελίωσης

D_f = το βάθος θεμελίωσης

γ_α = το φαινόμενο βάρος του εδάφους πάνω από τη στάθμη της θεμελίωσης

γ_κ = το φαινόμενο βάρος του εδάφους κάτω από τη στάθμη της θεμελίωσης

N_γ = ο συντελεστής επιφανειακής αντοχής ψαθυρού εδάφους

N_c = ο συντελεστής συνοχής

N_q = ο συντελεστής βάθους θεμελίωσης

s_c, s_q, s_γ = συντελεστές επιρροής του σχήματος της θεμελίωσης

d_c, d_q, d_γ = συντελεστές επιρροής του βάθους της θεμελίωσης

i_c, i_q, i_γ = συντελεστές επιρροής της κλίσης του φορτίου

$$N_q = e^{n \tan \varphi} \tan^2(45 + \varphi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1,4\varphi)$$

$$i_c = i_q = [1 - (\theta/90^\circ)]^2$$

$$i_\gamma = [1 - (\theta/90^\circ)]^2$$

$$i_\gamma = 0$$

Για κάθε φ

Για φ ≥ 10°

Για φ ≤ 10°

$$s_c = 1 + \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot 0,2(B/L)$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0,1 \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot (B/L)$$

$$s_q = s_\gamma = 1$$

Για κάθε φ

Για φ ≥ 10°

Για φ ≤ 10°

$$d_c = 1 + 0,2 \tan(45 + \varphi/2) \cdot (D_f/B)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \tan(45 + \varphi/2) \cdot (D_f/B)$$

$$d_q = d_\gamma = 1$$

Για κάθε φ

Για φ ≥ 10°

Για φ ≤ 10°

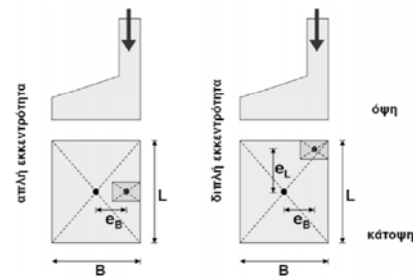
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΤΑ HANSEN & MEYERHOF

Σύμφωνα με τους Hansen & Meyerhof όταν υπάρχει εκκεντρότητα e_B και e_L κατά πλάτος και κατά μήκος αντίστοιχα απομειώνεται το εμβαδό των θεμελίων κατά

$$B' = B - 2e_B \text{ και } L' = L - 2e_L$$

Επομένως κατά τον έλεγχο υπέρβασης της επιτρεπόμενης τάσης θα πρέπει:

$$\sigma_{\text{αναπτ}} = \frac{N}{B' \cdot L'} \leq q_{\text{επ}} = \frac{q}{2,5 \sim 3,5}$$



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γραμματικόπουλος Γ., Μάνου - Ανδρεάδου Ν., Χατζηγώγος Θ. (1998), Εδαφομηχανική - ασκήσεις και προβλήματα, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Καββαδάς Μ. (2009) Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Παπαδόπουλος Β. (2003), Στοιχεία Γεωτεχνικής, Σημειώσεις ΕΜΠ.
- Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι., (1999) Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Τσότσος Στ. (1991), Εδαφομηχανική - Θεωρία Μέθοδοι Εφαρμογές, Εκδόσεις Φ. Βερβερίδης & Π. Πολυχρονίδης α.ε., Θεσσαλονίκη.