ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΙΙ

ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ για καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

(βασισμένες εν πολλοίς σε σημειώσεις του Μ. Καββαδά, Καθηγητή ΕΜΠ)

Διδάσκων: **Αχιλλέας Παπαδημητρίου – Λέκτορας**

Στοιχεία Επικοινωνίας: 24210-74140
apapad@civ.uth.gr

Ιστοσελίδα Μαθήματος: **http://apapad.users.uth.gr/sm2.shtml**

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

Συνολική καθίζηση: $\rho = \rho_i + \rho_c + \rho_s$

ρ_i άμεση καθίζηση (υπό αστράγγιστες συνθήκες)
ρ_c καθίζηση στερεοποίησης
ρ_s ερπυστική (δευτερεύουσα) καθίζηση

Steinbrenner

Άργιλοι: Εκτίμηση ρ_i υπό αστράγγιστες συνθήκες με χρήση $E=E_u$, $v=v_u=0.5$

(E_u μέτρο ελαστικότητας υπό αστράγγιστες συνθήκες: $E_u=1.5E'/(1+v')$, για $v'=0.33 \rightarrow E_u=1.13E'$)

Άμμοι: Εκτίμηση $\rho=\rho_i$ υπό στραγγιζόμενες συνθήκες με χρήση $E=E'$, $v=v'$

(πρακτικώς $v'=0.33$, ενώ E' μέτρο ελαστικότητας που συνδέεται με το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης D σύμφωνα με: $E'=D(1+v')(1-2v')/(1-v')$)

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

Steinbrenner, για γωνία εύκαμπτου πέδιλου

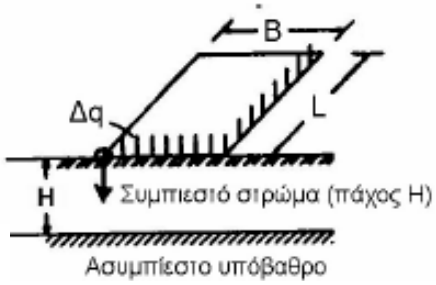
Καθίζηση (ρ) της γωνίας εύκαμπτου ορθογωνικού πεδίλου (δηλ. ομοιόμορφης πίεσης = Δq), πλάτους B και μήκους L (≥ B) σε βάθος D από την επιφάνεια. Το συμπιεστό στρώμα έχει πάχος H και «ελαστικές» σταθερές (E, ν).

$$\rho = \Delta q \; B \; \frac{1-\nu^2}{E}\left(F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu}F_2\right) I_D$$

Προσοχή : $\Delta q = q - q_o$ (q_o = αρχική πίεση)

I_D = συντελεστής βάθους. Για επιφανειακή θεμελίωση (D=0) : $I_D = 1$

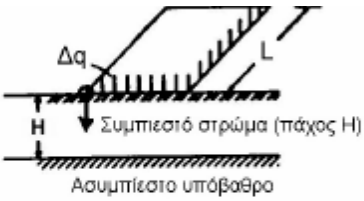
F_1 , F_2 = συντελεστές σχήματος. Εξαρτώνται από τις τιμές των L/B και H/B (βλέπε επόμενα)



ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

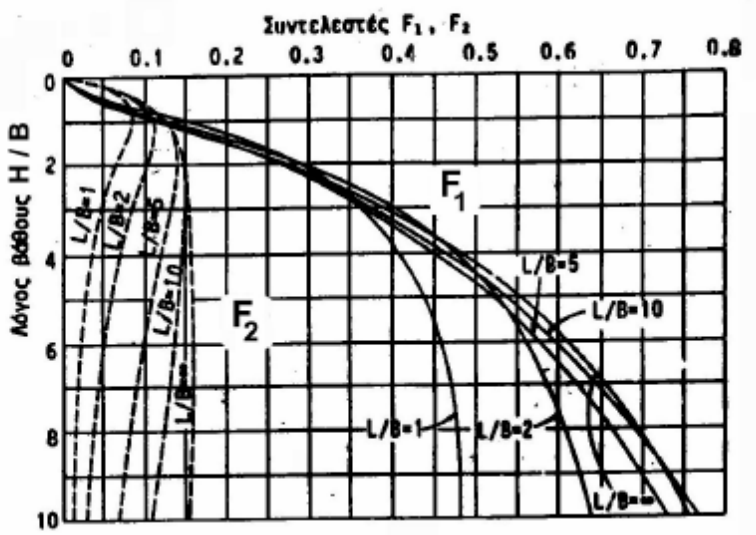
Steinbrenner, για γωνία εύκαμπτου πέδιλου



$$\rho = \Delta q \, B \frac{1-\nu^2}{E}\left(F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu}F_2\right) I_D$$

ρ = καθίζηση της γωνίας του πεδίλου

Πινακοποιημένες τιμές των συντελεστών F_1 και F_2



ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

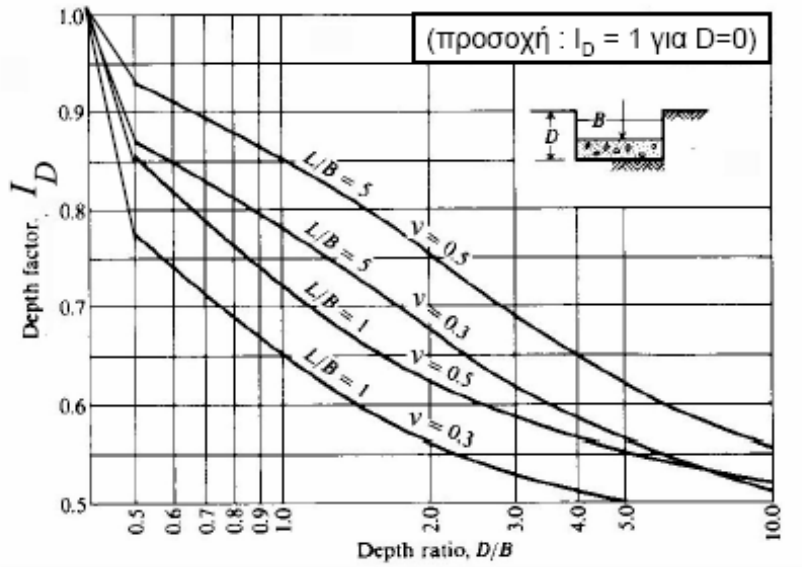
Καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

Steinbrenner, για γωνία εύκαμπτου πέδιλου

$$\rho = \Delta q\, B \frac{1-\nu^2}{E}\left(F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} F_2\right) I_D$$

Συντελεστής βάθους θεμελίωσης I_D :

$$\rho = \frac{\Delta q\, B}{E} f\, I_D$$

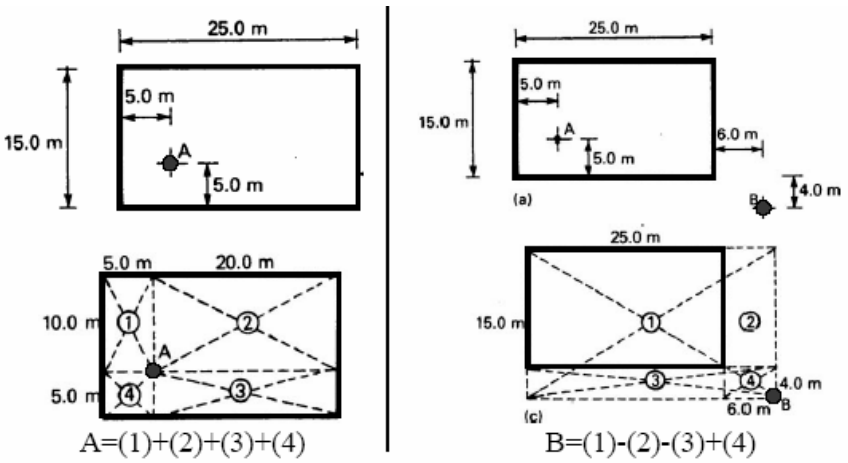


ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

Steinbrenner

1. Εύρεση καθίζησης σε οποιοδήποτε σημείο του εύκαμπτου πέδιλου ή έξω από αυτό (επαλληλία)



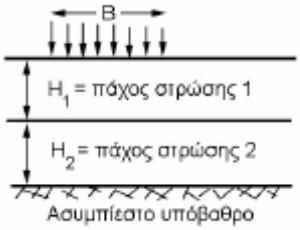
2. $\rho_{\text{ακαμπτο}} = (0.67 - 0.75)\, \rho_{\text{ευκαμπτο,(κέντρο βάρους)}}$

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

Επίδραση της ανομοιομορφίας του εδάφους

Στρώση 1 : πάχος H_1, ιδιότητες E_1, ν_1
Στρώση 2 : πάχος H_2, ιδιότητες E_2, ν_2
....
Στρώση n : πάχος H_n, ιδιότητες E_n, ν_n



Καθίζηση (ρ) κάτω από τη γωνία του πεδίλου :

$$\rho = \left[\rho_{n,n} - \rho_{(n-1),n}\right] + \left[\rho_{(n-1),(n-1)} - \rho_{(n-2),(n-1)}\right] + \ldots + \left[\rho_{2,2} - \rho_{1,2}\right] + \rho_{1,1}$$

όπου :

$\rho_{i,j}$ = καθίζηση της γωνίας πεδίλου επί εδαφικού στρώματος πάχους :
$z_i = (H_1 + H_2 + .. H_i)$ με ιδιότητες E_j , ν_j

Παράδειγμα δίστρωτου σχηματισμού : $\rho = \left[\rho_{2,2} - \rho_{1,2}\right] + \rho_{1,1}$

όπου :

$\rho_{2,2}$ = καθίζηση επί εδαφικού στρώματος πάχους $(H_1 + H_2)$ με ιδιότητες E_2, ν_2
$\rho_{1,2}$ = καθίζηση επί εδαφικού στρώματος πάχους (H_1) με ιδιότητες E_2, ν_2
$\rho_{1,1}$ = καθίζηση επί εδαφικού στρώματος πάχους (H_1) με ιδιότητες E_1, ν_1

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις αβαθών θεμελίων

Συνολική καθίζηση: $\rho = \rho_i + \rho_c + \rho_s$

ρ_i άμεση καθίζηση (υπό αστράγγιστες συνθήκες)
ρ_c καθίζηση στερεοποίησης
ρ_s ερπυστική (δευτερεύουσα) καθίζηση

Καθίζηση ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ, ρ_c (αργιλικά εδάφη)

Θεωρία 1-Δ στερεοποίησης

$\Delta\sigma_v = q$ (όπου q το φορτίο στην επιφάνεια)

$u = \Delta\sigma_v$: *Terzaghi (1943)*

Αλλαγές για 3-Δ συνθήκες φόρτισης

$\Delta\sigma_v < q$ (όπου q το φορτίο στην επιφάνεια)

$u < \Delta\sigma_v$: *Skempton & Bjerrum (1957)*

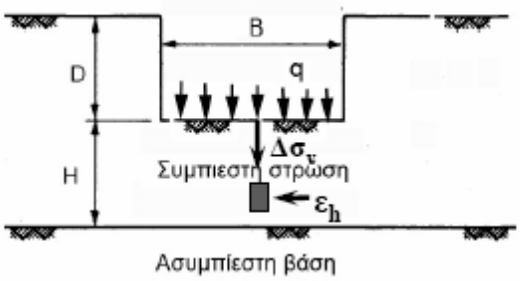
ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ εδαφών

Υπολογισμός καθιζήσεων στερεοποιήσεως (ρ_c) σε συνεκτικά εδάφη

B = εύρος της επιφάνειας φόρτισης

H = πάχος συμπιεστής στρώσης



B > (3-4)H

Μπορεί να θεωρηθεί ότι :

- Οι συνθήκες φόρτισης αντιστοιχούν στη μονοδιάστατη συμπίεση (δηλαδή $\varepsilon_h = 0$)
- Η πρόσθετη κατακόρυφη ενεργός τάση ($\Delta\sigma_v$) είναι σταθερή με το βάθος, δηλαδή $\Delta\sigma_v = q$

Αρα : Η καθίζηση (ρ_c) υπολογίζεται θεωρώντας συνθήκες συμπιεσομέτρου (1-D)

$$\rho_c = \rho_{c1}$$

B < (3-4)H

Πρέπει :

- Να γίνει απομείωση του $\Delta\sigma_v$ με το βάθος ($\Delta\sigma_v < q$)
- Να ληφθεί υπόψη ότι η φόρτιση κάτω από το πέδιλο δεν αντιστοιχεί στην μονοδιάσταση συμπίεση (τριδιάστατες συνθήκες : $\varepsilon_h \neq 0$)

Αρα : Η καθίζηση είναι μικρότερη από την αντιστοιχούσα σε συνθήκες συμπιεσομέτρου

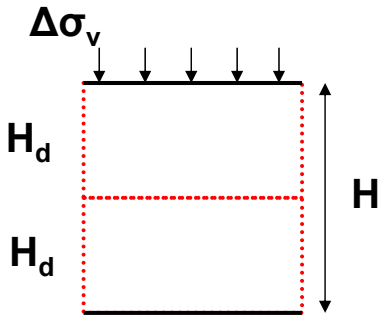
$$\rho_c = \lambda\, \rho_{c1} \qquad (\lambda < 1)$$

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ εδαφών

Μονοδιάστατη Στερεοποίηση

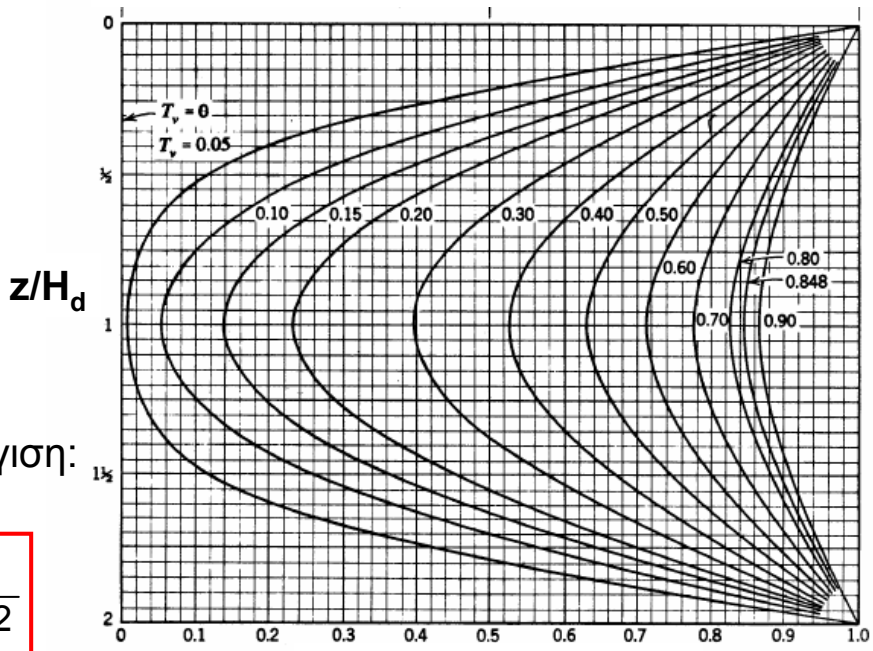
Υπερπιέσεις πόρων με το βάθος



διπλή στράγγιση:
H_d = H/2

αλλιώς,
για **μονή** (απλή) στράγγιση:
H_d = H

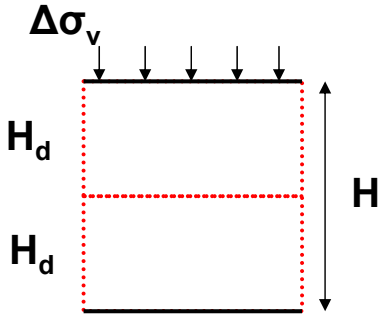
$$T_v = c_v \frac{t}{H_d^2}$$



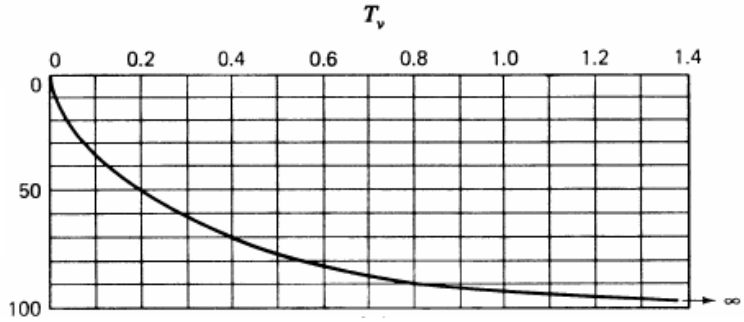
$\Delta\sigma_v'/\Delta\sigma_v = 1 - u/\Delta\sigma_v$

Μονοδιάστατη Στερεοποίηση

(Μέσος) Βαθμός Στερεοποίησης



$$\bar{U} = \frac{\rho(t)}{\rho(\infty)}$$



$\bar{U}$	T_v
0	0
0.1	0.01
0.2	0.031
0.3	0.071
0.4	0.126
0.5	0.197
0.6	0.287
0.7	0.403
0.8	0.567
0.9	0.848
1	∞

διπλή στράγγιση:
H_d = H/2

αλλιώς,
για **μονή** (απλή) στράγγιση:
H_d = H

$$T_v = c_v \frac{t}{H_d^2}$$

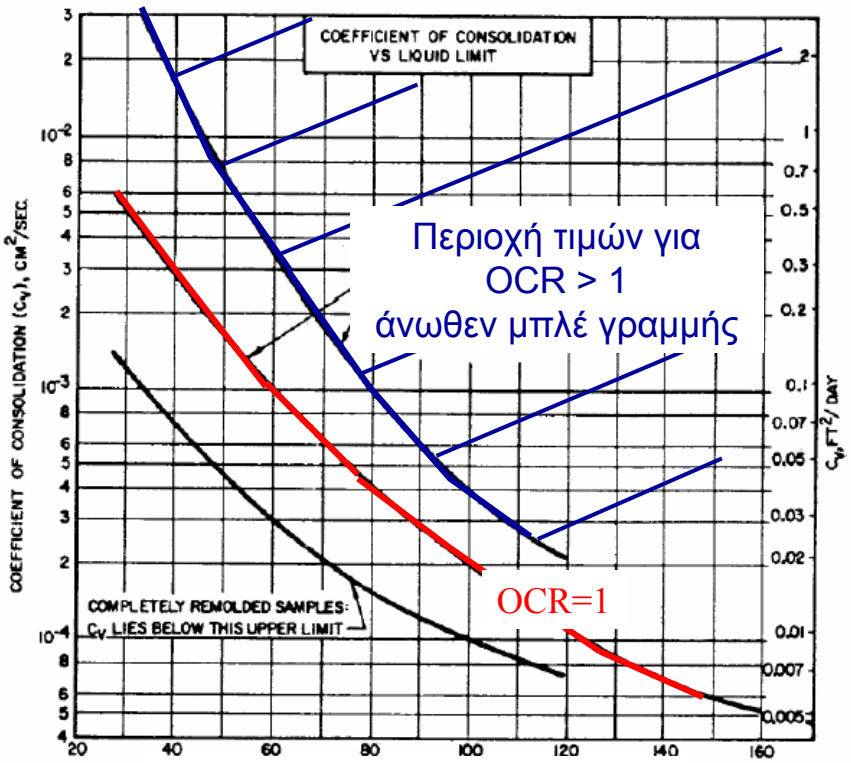
απλουστευτικά
για $T_v < 0.5$

$$\bar{U} = 2\sqrt{\frac{T_v}{\pi}}$$

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Καθιζήσεις ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ εδαφών

Εκτίμηση του συντελεστή στερεοποίησης c_v



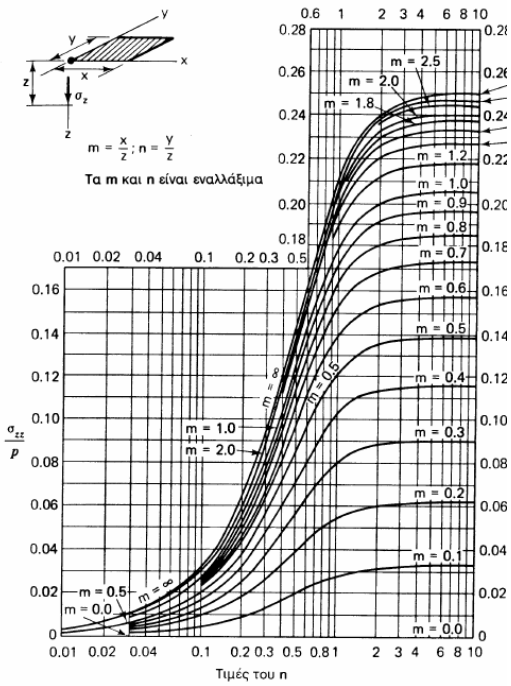
όριο υδαρότητας LL(%) ή w_L(%)

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

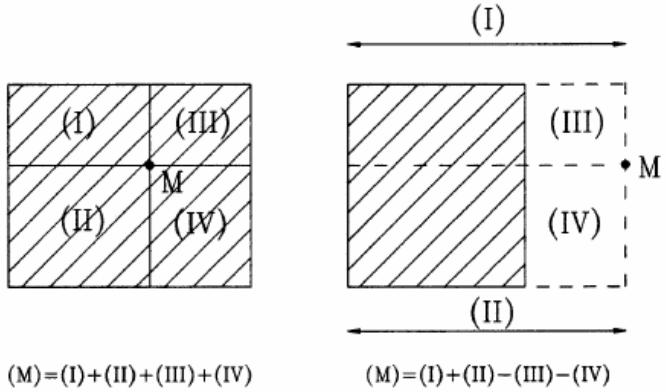
Καθιζήσεις ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ εδαφών

$\Delta\sigma_v < q$ με διαγράμματα επιφορτικών τάσεων

γωνία ορθογωνικού πεδίλου



Αρχή της επαλληλίας



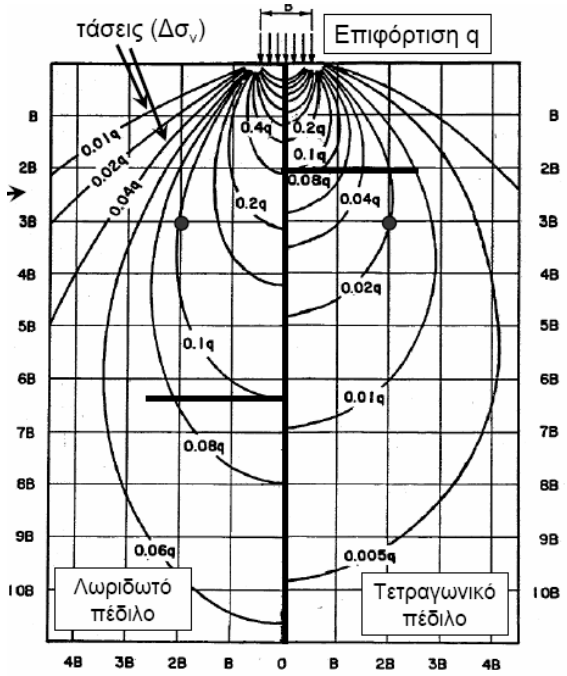
Προϋπόθεση:
Ελαστικό έδαφος!

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

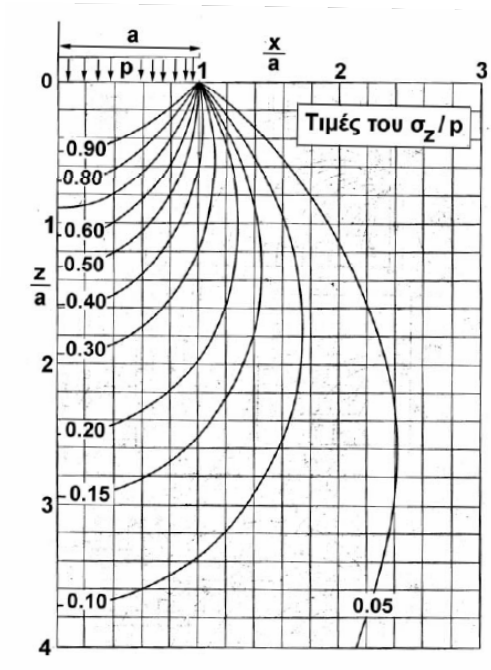
Καθιζήσεις ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ εδαφών

$\Delta\sigma_v < q$ με κατανομές επιφορτικών τάσεων

κατανομές για τετραγωνικό πέδιλο B (=L) & λωριδωτό πέδιλο πλάτους B



κατανομές για κυκλικό πέδιλο ακτίνας a



ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

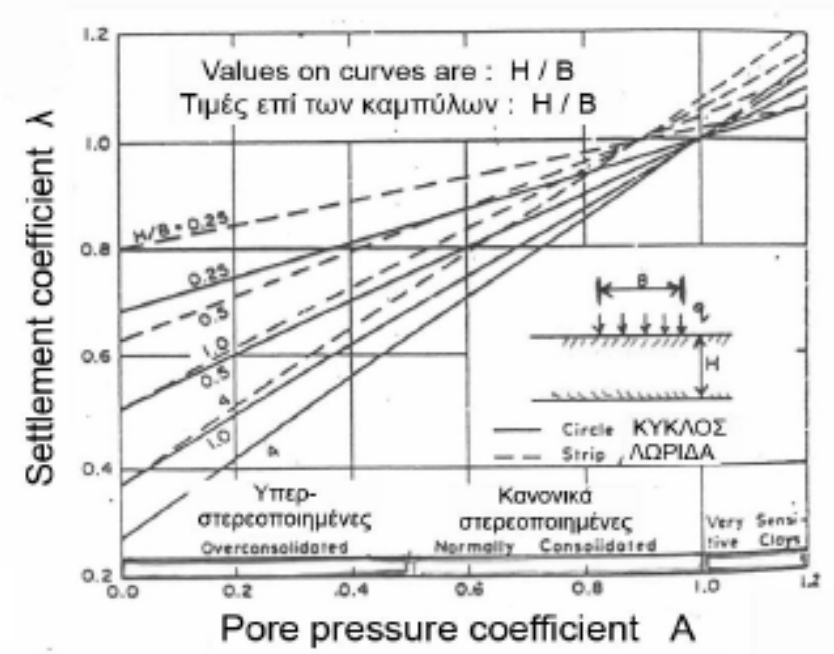
Καθιζήσεις ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ εδαφών

Απομείωση **λ** λόγω $\varepsilon_h < 0$

Συνθήκες «τριδιάστατης» φόρτισης κάτω από το πέδιλο

Τιμές του συντελεστή διορθώσεως (λ) για διάφορες τιμές του συντελεστή υπερ-στερεοποιήσεως (OCR) της αργίλου

$\rho_c = \lambda\, \rho_{c1}$



Skempton & Bjerrum

ΑΒΑΘΕΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

ΕΡΠΥΣΤΙΚΕΣ Καθιζήσεις ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ εδαφών

Ερπυστικές καθιζήσεις σε συνεκτικά (αργιλικά) εδάφη :

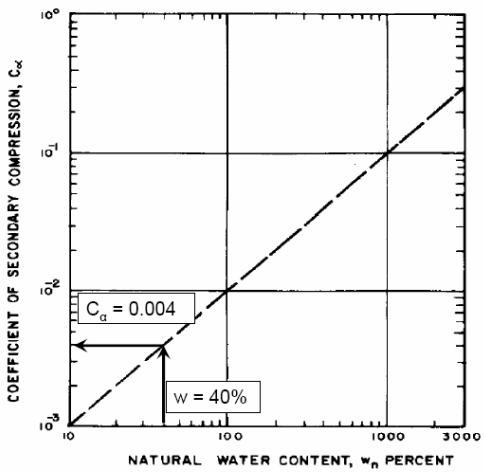
- Αποτελούν αξιόλογο ποσοστό της συνολικής καθίζησης σε οργανικά εδάφη και μαλακές αργίλους υψηλής πλαστικότητας
- Συνήθως οι καθιζήσεις υπολογίζονται με χρήση της θεωρίας δευτερευουσών καθιζήσεων

$$e_t = e_p - C_a \log\frac{t}{t_p} \quad \Rightarrow \quad \Delta\varepsilon_t = \frac{C_a}{1+e_p}\log\frac{t}{t_p}$$

$$\rho_s(t) = H\,\Delta\varepsilon_t = H\frac{C_a}{1+e_p}\log\frac{t}{t_p}$$

H = πάχος συμπιεστής στρώσης
C_a = συντελεστής δευτερεύουσας στερεοποίησης
t_p = χρόνος πρωτεύουσας στερεοποίησης (π.χ. για U=90%)
e_p = δείκτης πόρων στο τέλος της πρεωτεύουσας στερεοποίησης

συσχέτιση C_a με συντελεστή C_c

C_a/C_c = 0.01 - 0.07

συσχέτιση C_a με ποσοστό υγρασίας w(%)