

Θεμελιώσεις

Καθιζήσεις Επιφανειακών Θεμελιώσεων I

Γενικά...

Τμήμα των διαφανειών έχει συνταχθεί σύμφωνα με τις σχετικές διαφάνειες του καθηγητή του Ε.Μ.Π. Μιχάλη Καββαδά.

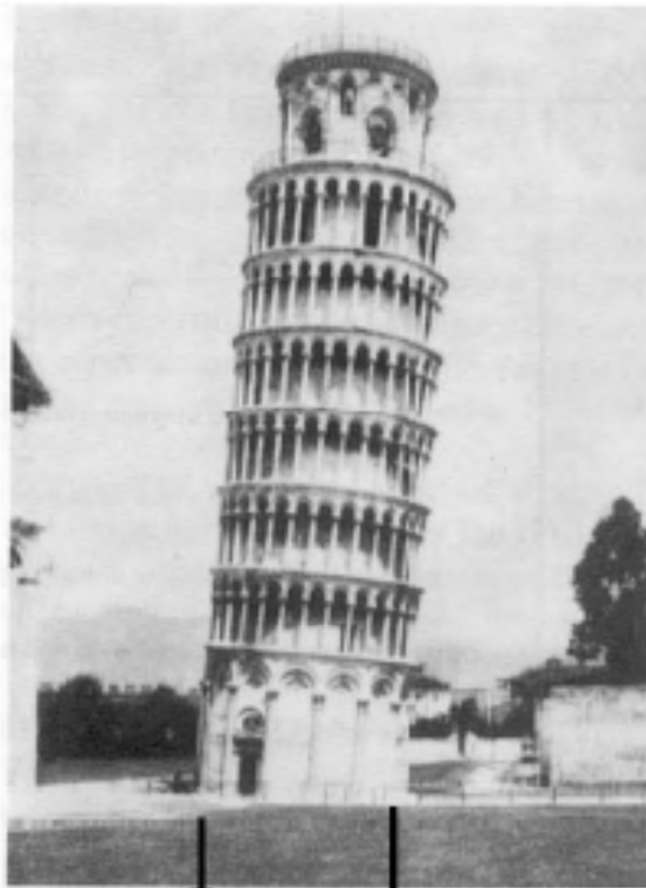


Θεμελιώσεις

Διάταξη μαθήματος

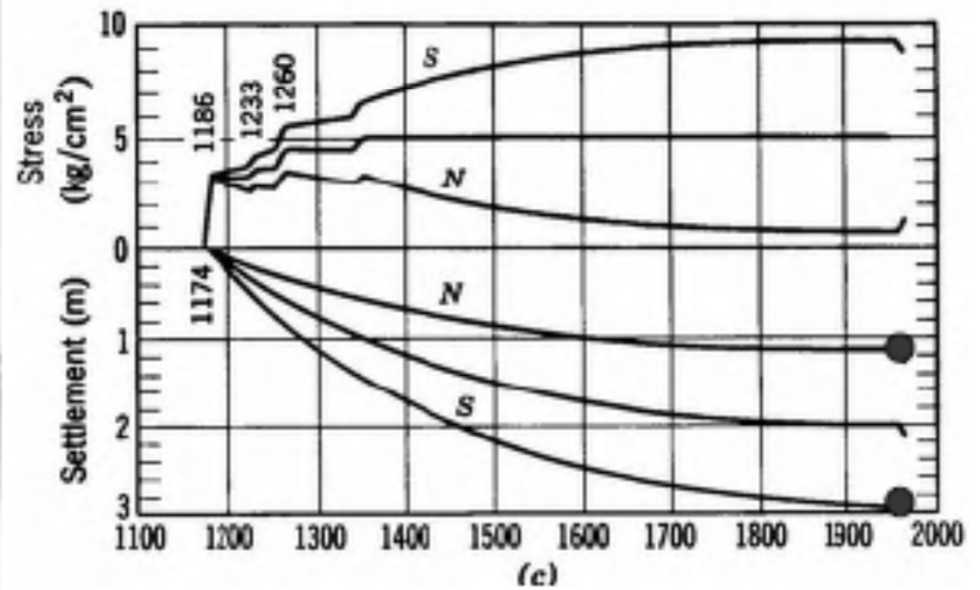
- Επιφανειακές θεμελιώσεις (Μεμονωμένα πέλδρα και πεδιλοδοκού, γενικές κοιτοστρώσεις)
 - Φέρουσα Ικανότητα
 - Καθιζήσεις (άμεσες)
 - Καθιζήσεις (μακροχρόνιες)
- Βαθιές θεμελιώσεις (πάσσαλοι)
 - Φέρουσα Ικανότητα
 - Καθιζήσεις
 - Ομάδα πασσάλων

Η αστοχία μπορεί να συμβεί!

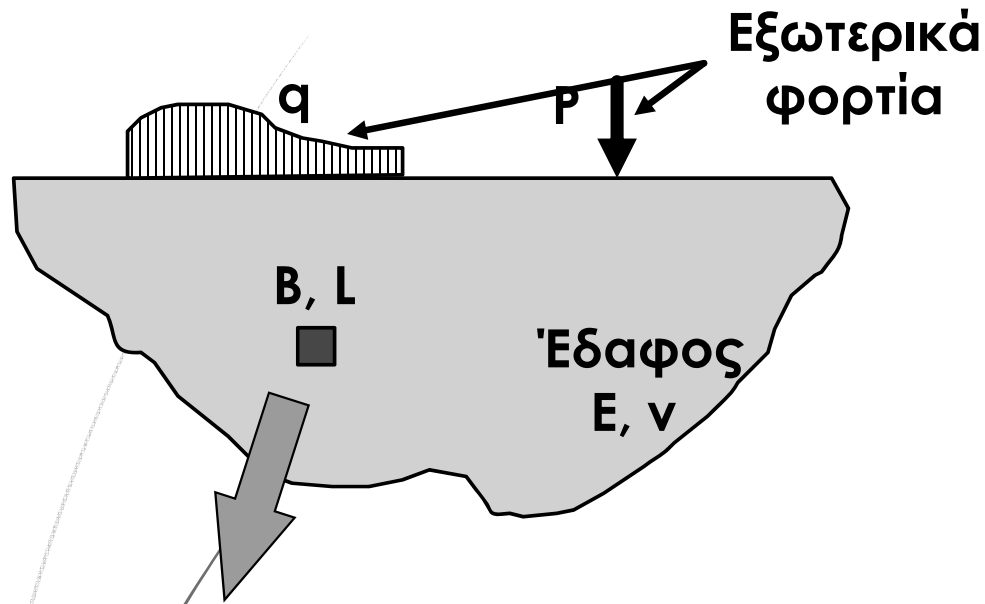


1.1m

3.2m

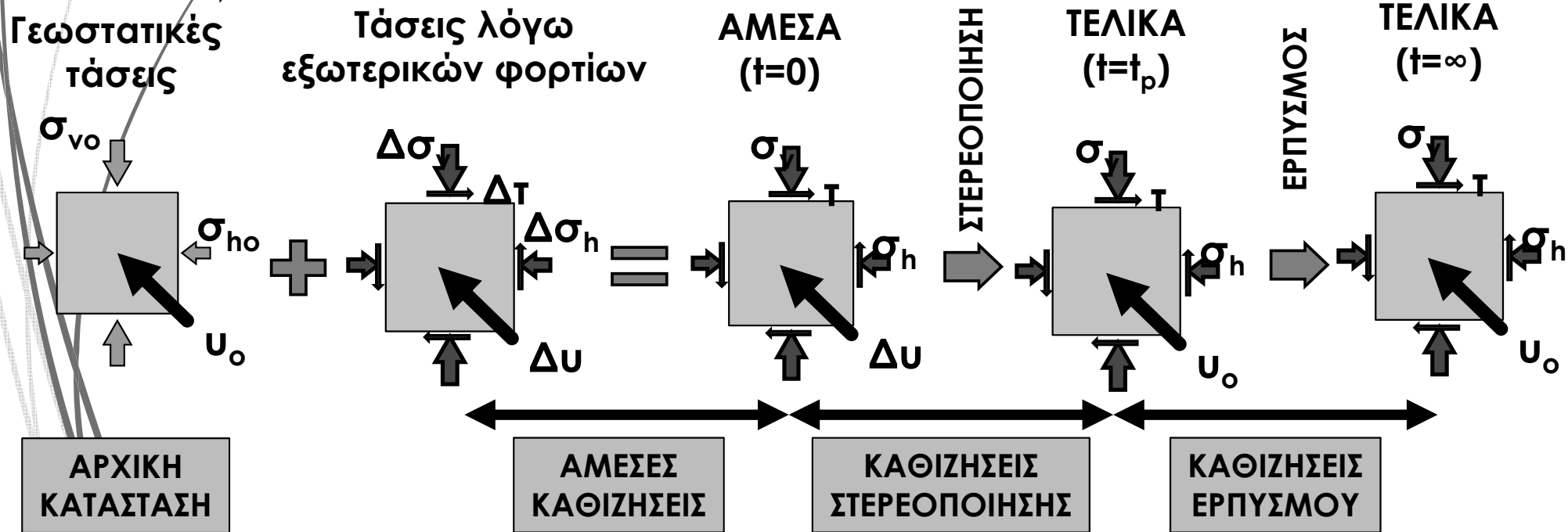


Καθιζήσεις Επιφ. Θεμελιώσεων



Οι καθιζήσεις οφείλονται στις πρόσθετες τάσεις $\Delta\sigma$ και υπερπιέσεις πόρων Δu που αναπτύσσονται στο έδαφος λόγω της φόρτισης από το πέδιλο.

Πέδιλο διαστάσεων: $B \times L$
Έδαφος με ελαστικές ιδιότητες: E, ν



Καθιζήσεις Επιφ. Θεμελιώσεων

Είδη καθιζήσεων...

$$\text{Συνολική καθίζηση: } \rho = \rho_i + \rho_c + \rho_s$$

ρ_i = άμεση καθίζηση

ρ_c = καθίζηση εκ στερεοποίησης

ρ_s = ερπυστική (δευτερεύουσα) καθίζηση

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Κατά περίπτωση ορισμένοι από τους όρους δύναται να είναι μηδενικοί. Για παράδειγμα σε άμμους και σε μερικώς κορεσμένες ή ξηρές άργιλοι: $\rho_c = \rho_s = 0$.
Αντίθετα, σε κορεσμένους αργίλους, με την επιβολή της φόρτισης προκαλείται (ταχέως) η άμεση καθίζηση του εδάφους (υπό σταθερό όγκο). Στη συνέχεια λόγω της βαθμιαίας αποτόνωσης των υπερπιέσεων πόρων εξελίσσονται οι καθιζήσεις εκ στερεοποίησης. Μετά την αποτόνωση των υπερπιέσεων πόρων αρχίζουν οι ερπυστικές καθιζήσεις.

Καθιζήσεις Επιφ. Θεμελιώσεων Μέχρι τι βάθος υπολογίζονται;

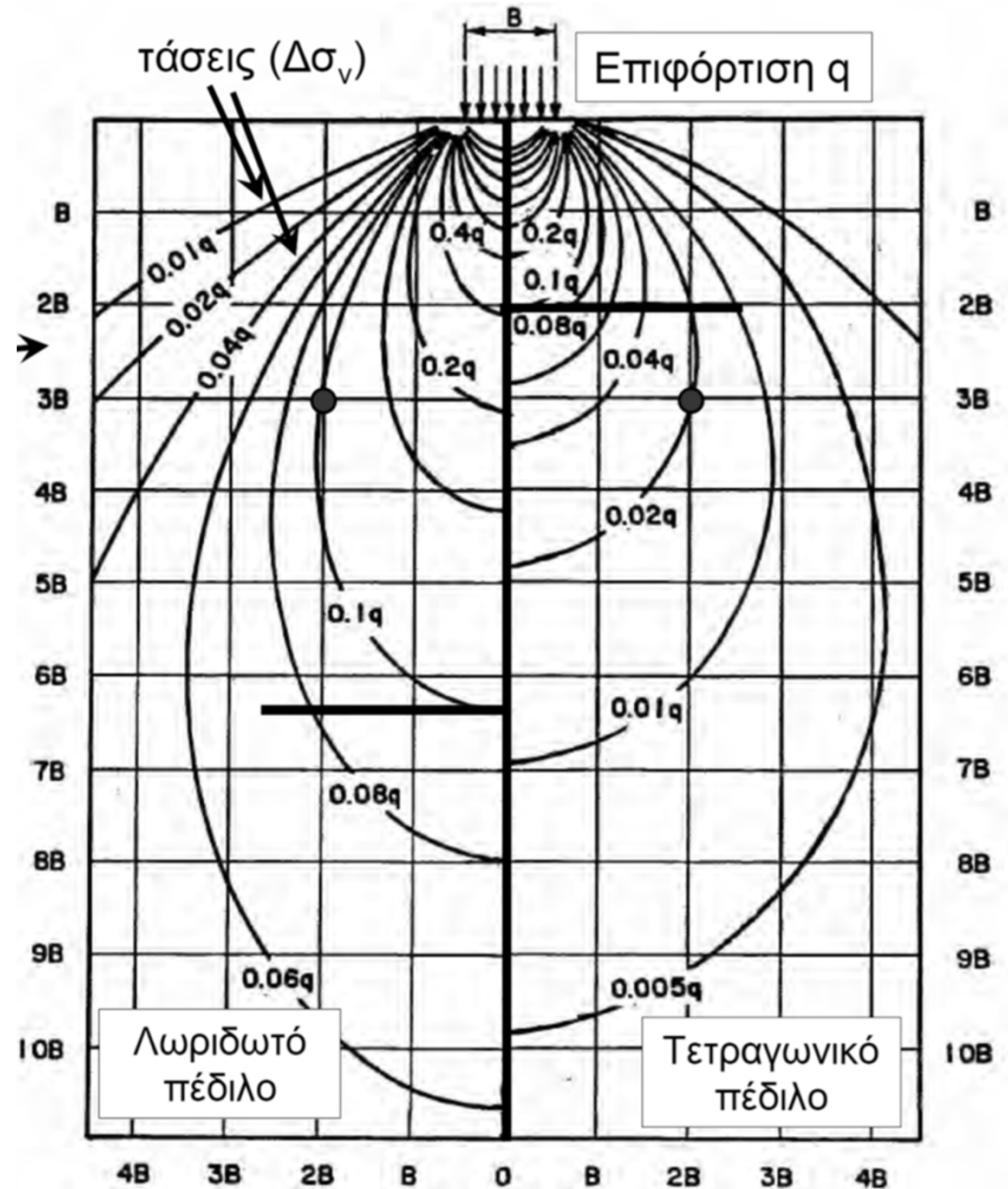
Βάθος επιρροής Φόρτισης

Λωρίδα:

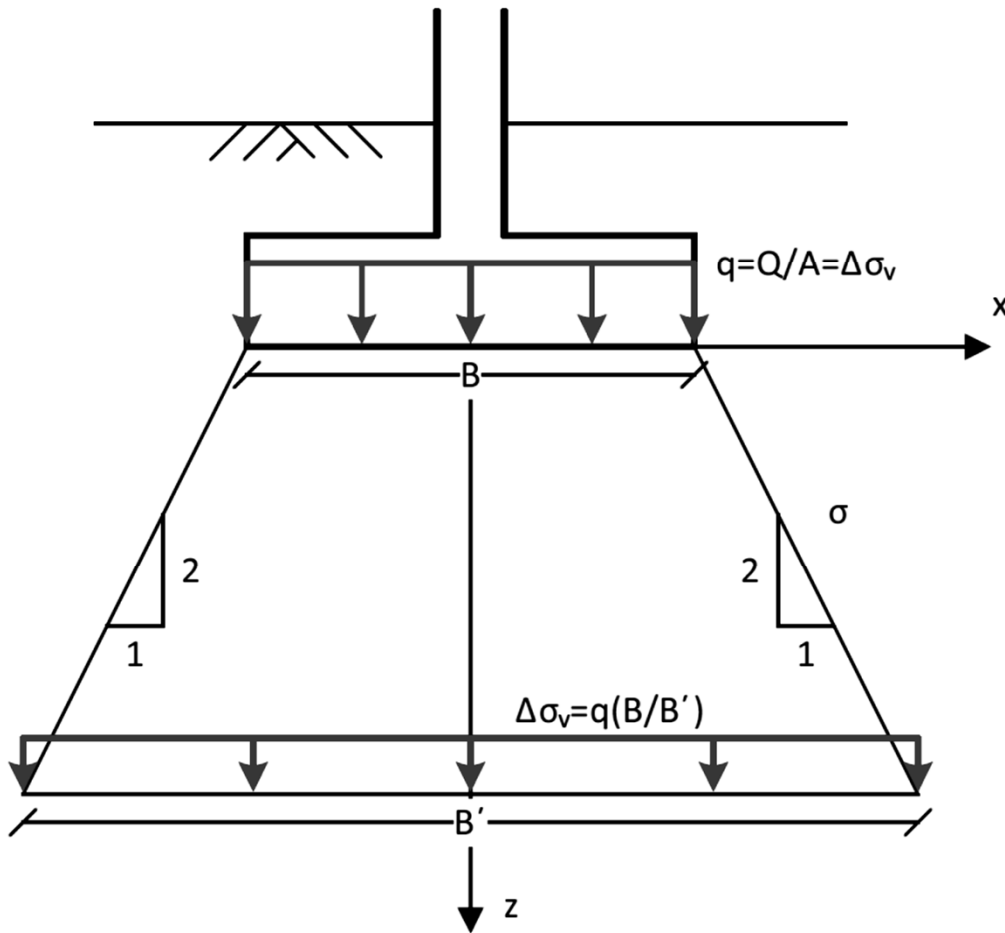
$$z_{\max} \approx 6B$$

Τετραγωνικό:

$$z_{\max} \approx 2B$$



Καθιζήσεις Επιφ. Θεμελιώσεων Απλοποιητική κατανομή τάσεων



Απειρομήκης λωρίδα

$$\Delta\sigma_z = q[B/(B + z)]^2$$

Τετραγωνικό θεμέλιο

$$\Delta\sigma_z = q[B/(B + z)]$$

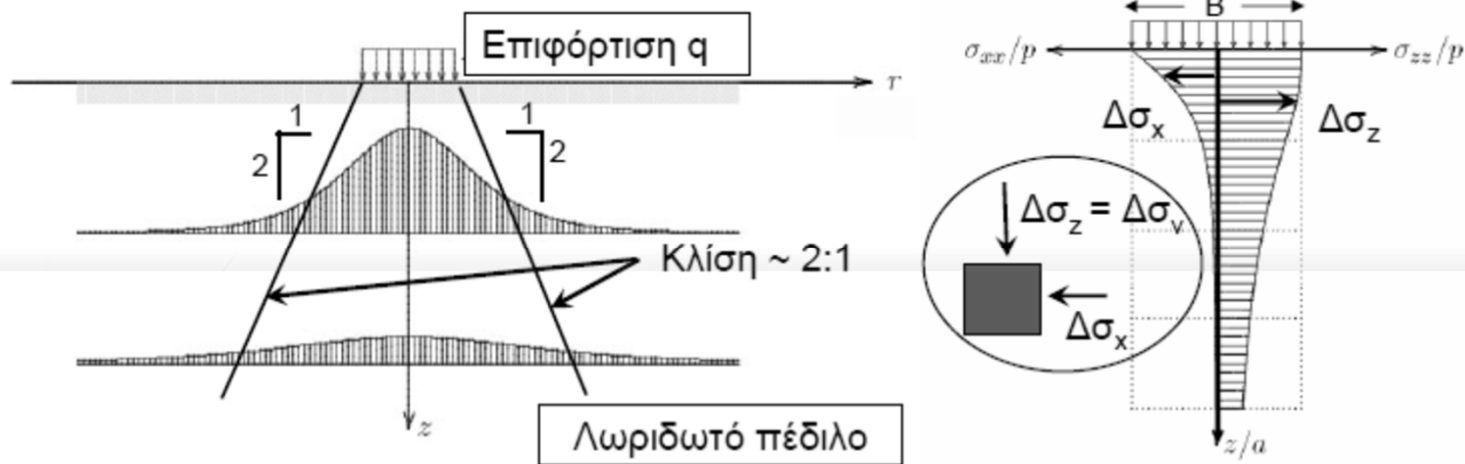
Ορθογωνικό θεμέλιο

$$\Delta\sigma_z = q \frac{BL}{(B+z)(L+z)} = \frac{q}{(1+z/B)(1+z/L)}$$

Καθιζήσεις Επιφ. Θεμελιώσεων Μέχρι τι βάθος υπολογίζονται;

Καθιζήσεις Επιφανειακών Θεμελιώσεων (πεδίων)

Οι καθιζήσεις (κατακόρυφες βυθίσεις) οφείλονται στις πρόσθετες τάσεις ($\Delta\sigma$) που αναπτύσσονται στο έδαφος λόγω της φόρτισής του από το πέδιλο



Πρόσθετες κατακόρυφες τάσεις ($\Delta\sigma_v = \Delta\sigma_z$) λόγω φόρτισης ελαστικού ημιχώρου (εδάφους) με πέδιλο πλάτους (B) που ασκεί πίεση (q)

Πρόσθετες κατακόρυφες ($\Delta\sigma_z$) και οριζόντιες ($\Delta\sigma_x$) τάσεις λόγω φόρτισης ελαστικού ημιχώρου (εδάφους) με λωριδωτό πέδιλο πλάτους (B) που ασκεί πίεση (p)

Η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας της ανώτερης στρώσης προκαλεί σημαντική μείωση των πιέσεων στην κατώτερη στρώση \Rightarrow μείωση των καθιζήσεων

Κατά το DIN 4019, οι καθιζήσεις επιφανειακών θεμελιώσεων υπολογίζονται για εδαφική ζώνη μέχρι βάθους (z) όπου η πρόσθετη τάση : $\Delta\sigma_v = 0.20 \sigma'_{vo}$.
 σ'_{vo} = αρχική (γεωστατική) ενεργός κατακόρυφη τάση στο βάθος (z)

Καθιζήσεις Επιφ. Θεμελιώσεων

Παράμετροι επιρροής καθιζήσεων

$$\rho = f(E, \nu, M, V, B, L, D)$$

- ▶ E: μέτρο ελαστικότητας εδάφους
- ▶ ν : λόγος Poisson
- ▶ M, V: φόρτιση θεμελίωσης
- ▶ B, L: διαστάσεις πεδίου ($B \leq L$)
- ▶ D: βάθος έδρασης πεδίου

Δηλαδή για τους υπολογισμούς πρέπει να είμαστε σε συνεχή επικοινωνία με τον στατικό...



Θεμελιώσεις

Καθιζήσεις επιφανειακών θεμελιώσεων II

Οι συνιστώσες της καθίζησης...

Καθιζήσεις Επιφ. Θεμελιώσεων Σχέσεις “Ελαστικής” μορφής...

$$\text{Συνολική καθίζηση: } \rho = \rho_i + \rho_c + \rho_s$$

ρ_i = άμεση καθίζηση

ρ_c = καθίζηση από
στερεοποίηση

ρ_s = ερπυστική καθίζηση

ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

- Συνολικές καθιζήσεις (ρ) από τις ελαστικές παραμέτρους $E=E'$ και $\nu=\nu'$ (στραγγισμένες τιμές)

ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

- Συνολικές καθιζήσεις (ρ) από τις ελαστικές παραμέτρους $E=E'$ και $\nu=\nu'$ (στραγγισμένες τιμές)
- Οι καθιζήσεις στερεοποίησης (ρ_c) και οι ερπυστικές (ρ_s) μπορούν να υπολογιστούν και με γραμμικές αλλά κυρίως με μη γραμμικές σχέσεις και άλλες μεθοδολογίες...

Παρατήρηση: Σε άμμους και ξηρές αργίλους οι συνολικές καθιζήσεις είναι πρακτικά ίσες με τις άμεσες, δηλαδή, κατά περίπτωση, κάποιες από αυτές τις συνιστώσες μπορεί να είναι μηδενικές.

Επανάληψη από Εδαφομηχανική Μέτρα ελαστικότητας, κτλ.

- ▶ Μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης E_s :

συνήθως από εργαστηριακές δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης ή εμπειρικές συσχετίσεις

- ▶ Στραγγισμένο μέτρο ελαστικότητας $E=E'$:

$$E = \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)} \cdot E_s$$

για $\nu=\nu'=0.30 \rightarrow E=0.74E_s$

- ▶ Αστράγγιστο μέτρο ελαστικότητας E_u ($\nu_u=0.50$):

$$E_u = \frac{3 \cdot (1-2\nu)}{2 \cdot (1-\nu)} \cdot E_s$$

για $\nu=\nu'=0.30 \rightarrow E_u=0.86E_s$

Καθιζήσεις... Ισχύουν οι απλές σχέσεις «ελαστικής μορφής»;

Προσοχή, η παραδοχή γραμμικώς ελαστικής συμπεριφοράς συνήθως δεν είναι ικανοποιητική:

- Σε αμμώδη εδάφη: Επειδή το E μεταβάλλεται (αυξάνει) με την αύξηση της συμπίεσης (π.χ. αύξηση γεωστατικών τάσεων με βάθος, συμπίεση λόγω της επιφόρτισης, κλπ)
- Σε αργιλικά εδάφη κοντά στην αστοχία (λόγω της πραγματικής μη-γραμμικής συμπεριφοράς)



Αναλυτικές μέθοδοι υπολογισμού καθιζήσεων

Καθιζήσεις...

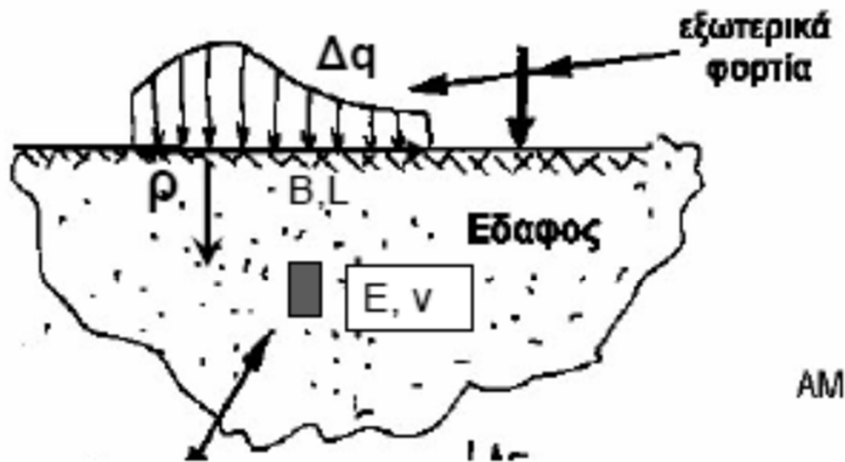
Ιδιαίτερες μορφές καθιζήσεων...

- ▶ Καθίζηση λόγω «συνίζησης», δηλαδή μείωση όγκου υπό πρακτικά σταθερές ορθές ενεργές τάσεις:
 - ▶ Χαλαρά μη-συνεκτικά εδάφη λόγω δυναμικής φόρτισης (δόνηση, σεισμός)
 - ▶ Υλικά επίχωσης λόγω πλημμελούς συμπύκνωσης
 - ▶ Λιθορριπές από ασθενείς βράχους λόγω θραύσης των σημείων επαφής των κόκκων
- ▶ Ανύψωση (αρνητική καθίζηση)
 - ▶ Σε διογκούμενα εδάφη λόγω αύξησης υγρασίας (άργιλοι υψηλής πλαστικότητας)
- ▶ Καθίζηση λόγω κατάρρευσης της δομής ευαίσθητων εδαφών (π.χ. λόγω κατάρρευσης συγκολλητικών δεσμών κατά την ύγρανση σε χαλαρές, ασθενώς συγκολλημένες άμμους)

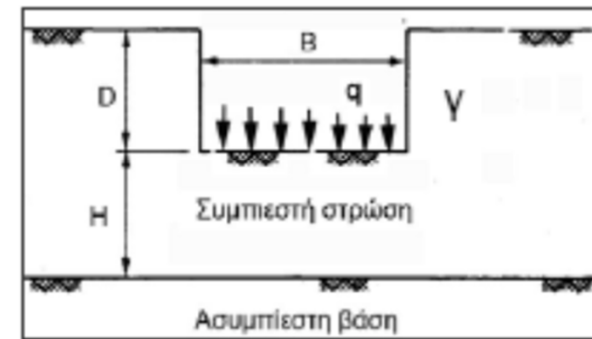
Καθιζήσεις...

Ανάλογες της επιφόρτισης Δq (όχι του συνολικού επιβαλλόμενου φορτίου)

Υπολογισμός καθιζήσεων πεδίων (ρ) με σχέσεις «ελαστικής μορφής»



$$\rho = f(E, \nu, \Delta q, B, L)$$



Η επιφόρτιση (Δq) που προκαλεί καθιζήσεις στα εδάφη είναι η πρόσθετη τιμή της φόρτισης, πέραν της αρχικώς επιβεβλημένης (q_0) στη στάθμη θεμελίωσης, δηλαδή :

$$\Delta q = q - q_0$$

αφού οι καθιζήσεις του εδάφους λόγω της (q_0) έχουν ήδη συντελεσθεί (πριν την επιβολή του Δq)

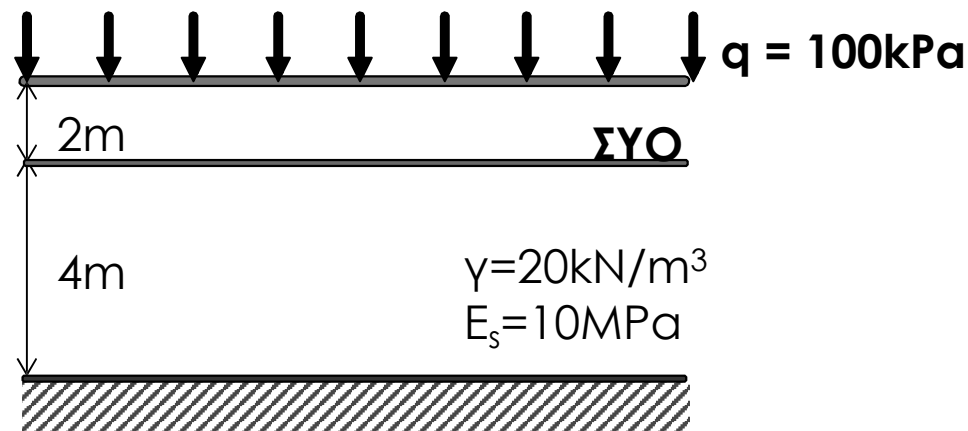
Παράδειγμα : Στην περίπτωση θεμελίωσης του πεδίου σε βάθος (D) από το φυσικό έδαφος, ή μετά από προφόρτιση ύψους (D) :

$$q_0 = \gamma D$$

Προσοχή : Εάν η θεμελίωση (που επιβάλλει πίεση q) γίνει στην επιφάνεια του εδάφους, και στη συνέχεια η περιοχή γύρω από το πέδιλο επιχωθεί σε ύψος (D), τότε $\Delta q = q$ και επιπλέον, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι καθιζήσεις λόγω της επίχωσης (πίεση γD).

Καθιζήσεις...

Θεώρηση 1-διάστατης παραμόρφωσης



**Ασυμπίεστο
βραχώδες υπόβαθρο**

$$\rho = \Delta \varepsilon_v \cdot H = \frac{\Delta \sigma'_v}{E_s} \cdot H = \frac{100 \text{ kPa}}{10000 \text{ kPa}} \cdot 600 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$$

Απλοποιητική παραδοχή που «ισχύει» για αμμώδεις (ή ξηρές αργιλικές) συμπιεστές στρώσεις μικρού πάχους και εκτεταμένη ομοιόμορφη επιφόρτιση, δηλαδή σε περιπτώσεις που «προσομοιάζουν» τις συνθήκες συμπίεσομέτρου...



Θεμελιώσεις

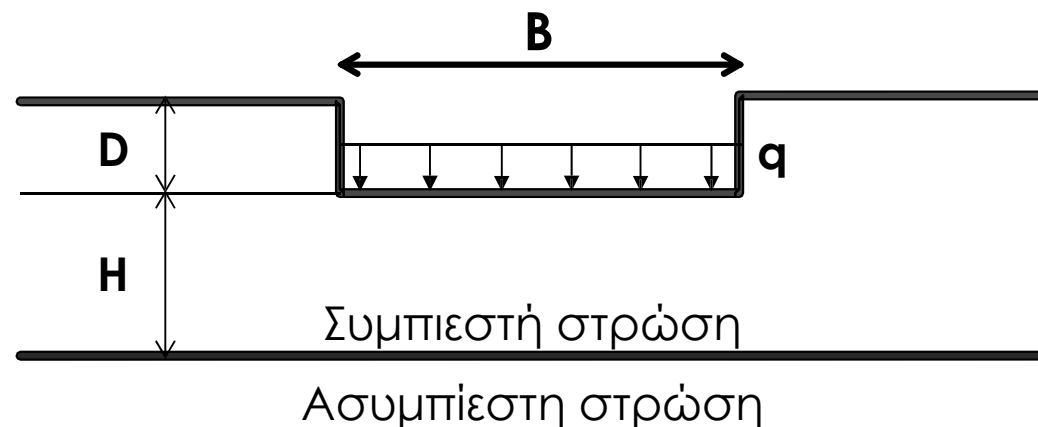
Καθιζήσεις επιφανειακών θεμελιώσεων III
Υπολογισμός μακροχρόνιων καθιζήσεων...

Καθιζήσεις στερεοποίησης με βάση τη θεωρία Terzaghi

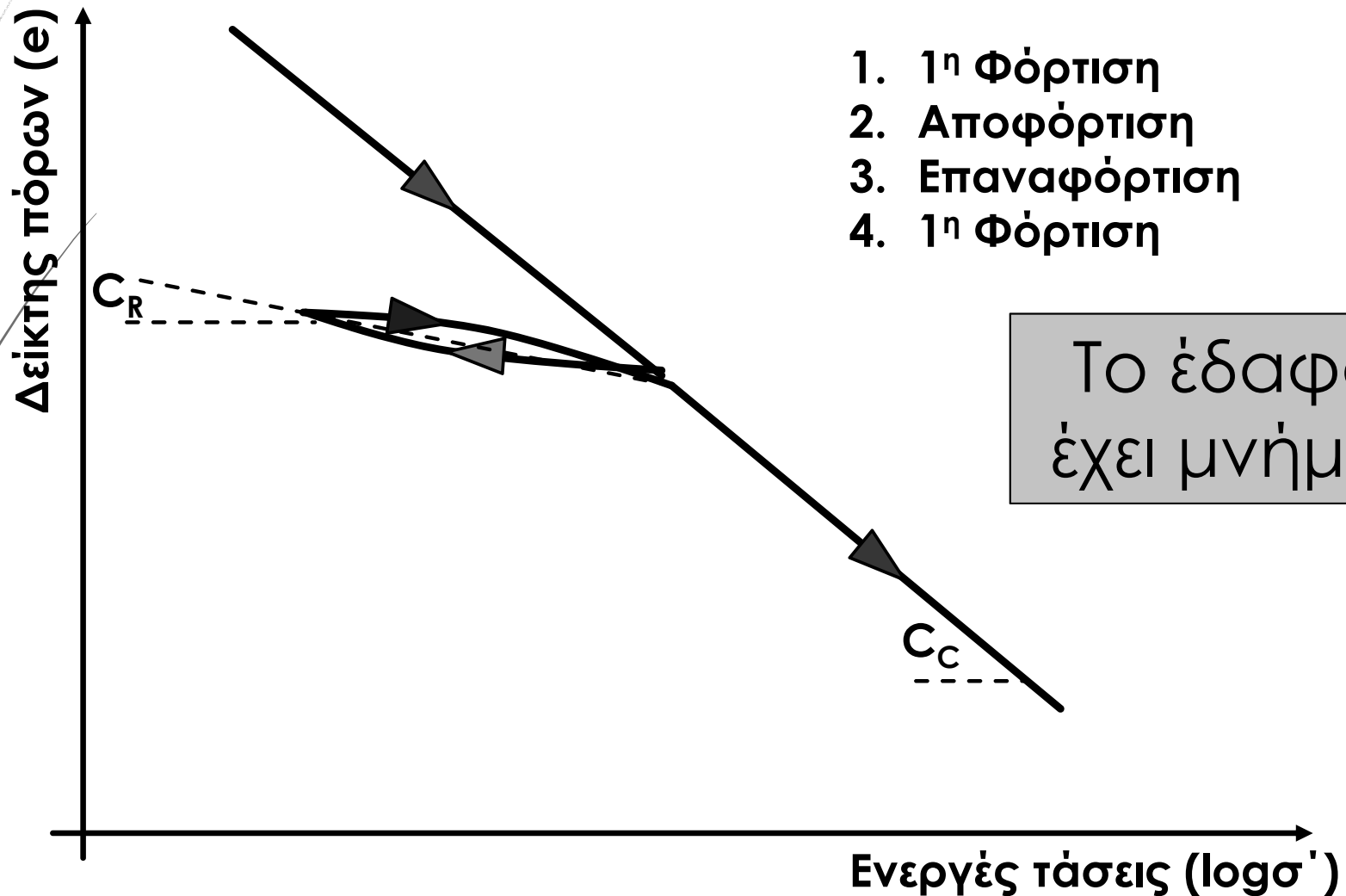
Ο υπολογισμός των καθιζήσεων στερεοποίησης (ρ_c) γίνεται για τις παρακάτω συνθήκες:

- ▶ Με χρήση σταθερού $\Delta\sigma_v = \Delta q$ για περιπτώσεις $B > (3\sim 4) \cdot H$ (δυσμενής παραδοχή)
- ▶ Με χρήση απομειωμένης τιμής του $\Delta\sigma_v$ με το βάθος και να ληφθούν υπόψη η πραγματική 3-Δ γεωμετρία ($\varepsilon_h \neq 0$) για περιπτώσεις $B < (3\sim 4) \cdot H$

Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται χρήση της καμπύλης τάσης-συμπίεσης του εδάφους (από δοκιμή συμπίεσομέτρου).



Παραμορφώσεις στο έδαφος Μονοδιάστατη συμπίεση...



Καθιζήσεις Στερεοποίησης Από δοκιμή συμπίεσομέτρου

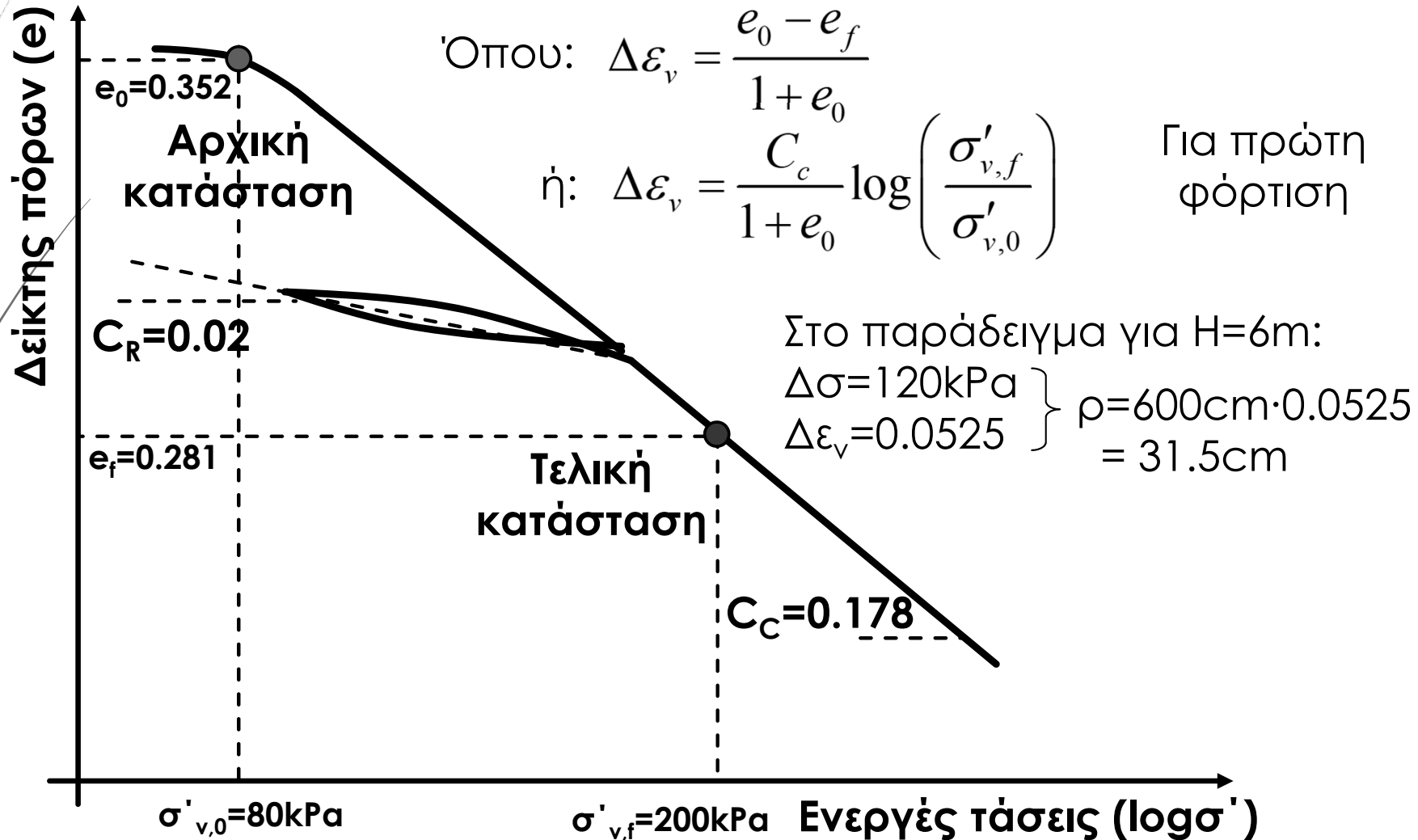
Για $B > (3\sim 4) \cdot H$

$$\rho_{c1} = H \cdot \Delta \varepsilon_v$$

Όπου: $\Delta \varepsilon_v = \frac{e_0 - e_f}{1 + e_0}$

ή: $\Delta \varepsilon_v = \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{v,f}}{\sigma'_{v,0}} \right)$

Για πρώτη φόρτιση



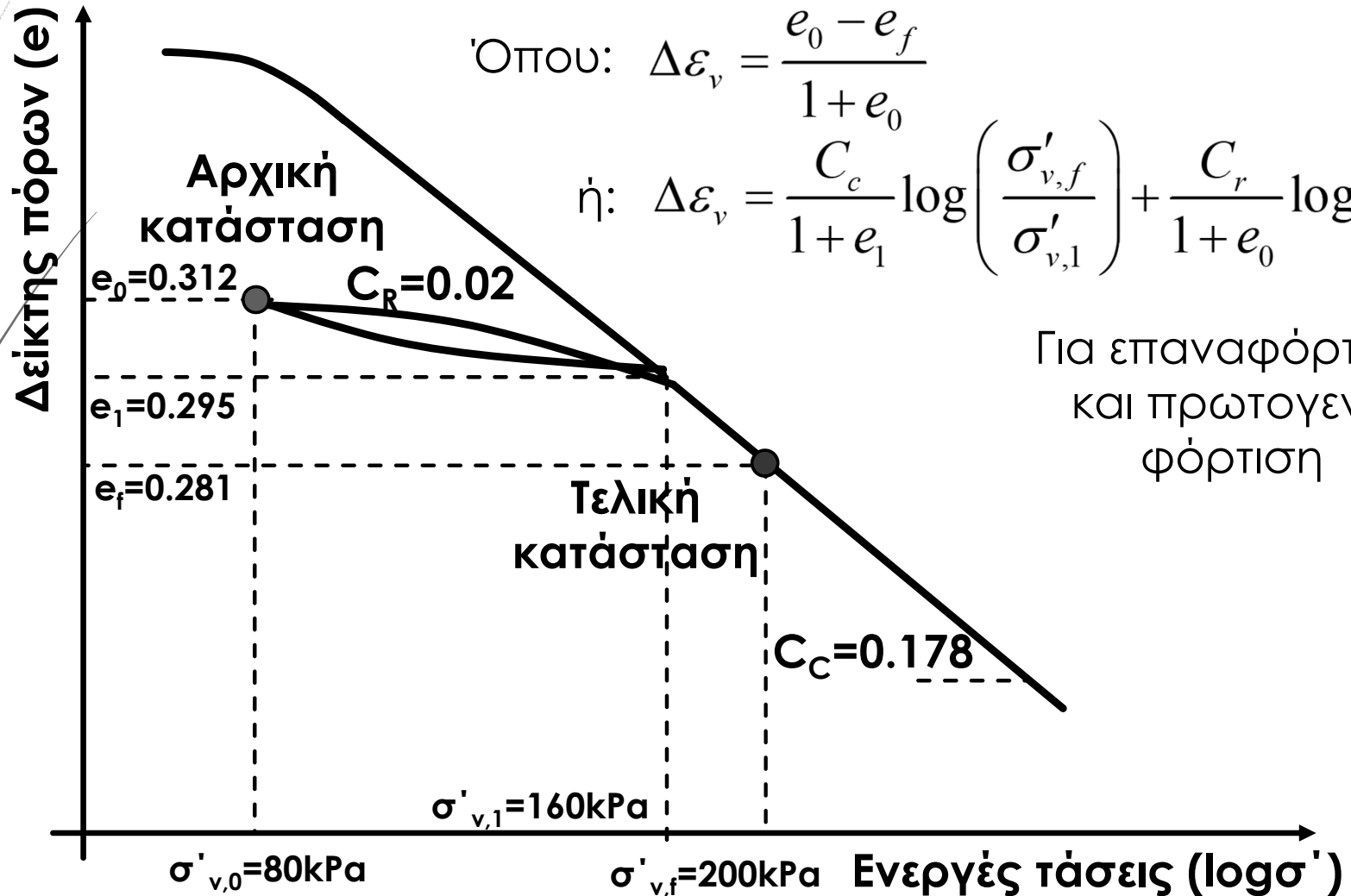
Καθιζήσεις Στερεοποίησης Από δοκιμή συμπίεσομέτρου

Για $B > (3\sim 4) \cdot H$

$$\rho_{c1} = H \cdot \Delta \varepsilon_v$$

Όπου: $\Delta \varepsilon_v = \frac{e_0 - e_f}{1 + e_0}$

ή: $\Delta \varepsilon_v = \frac{C_c}{1 + e_1} \log \left(\frac{\sigma'_{v,f}}{\sigma'_{v,1}} \right) + \frac{C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{v,1}}{\sigma'_{v,0}} \right)$



Καθιζήσεις Στερεοποίησης Από δοκιμή συμπίεσομέτρου

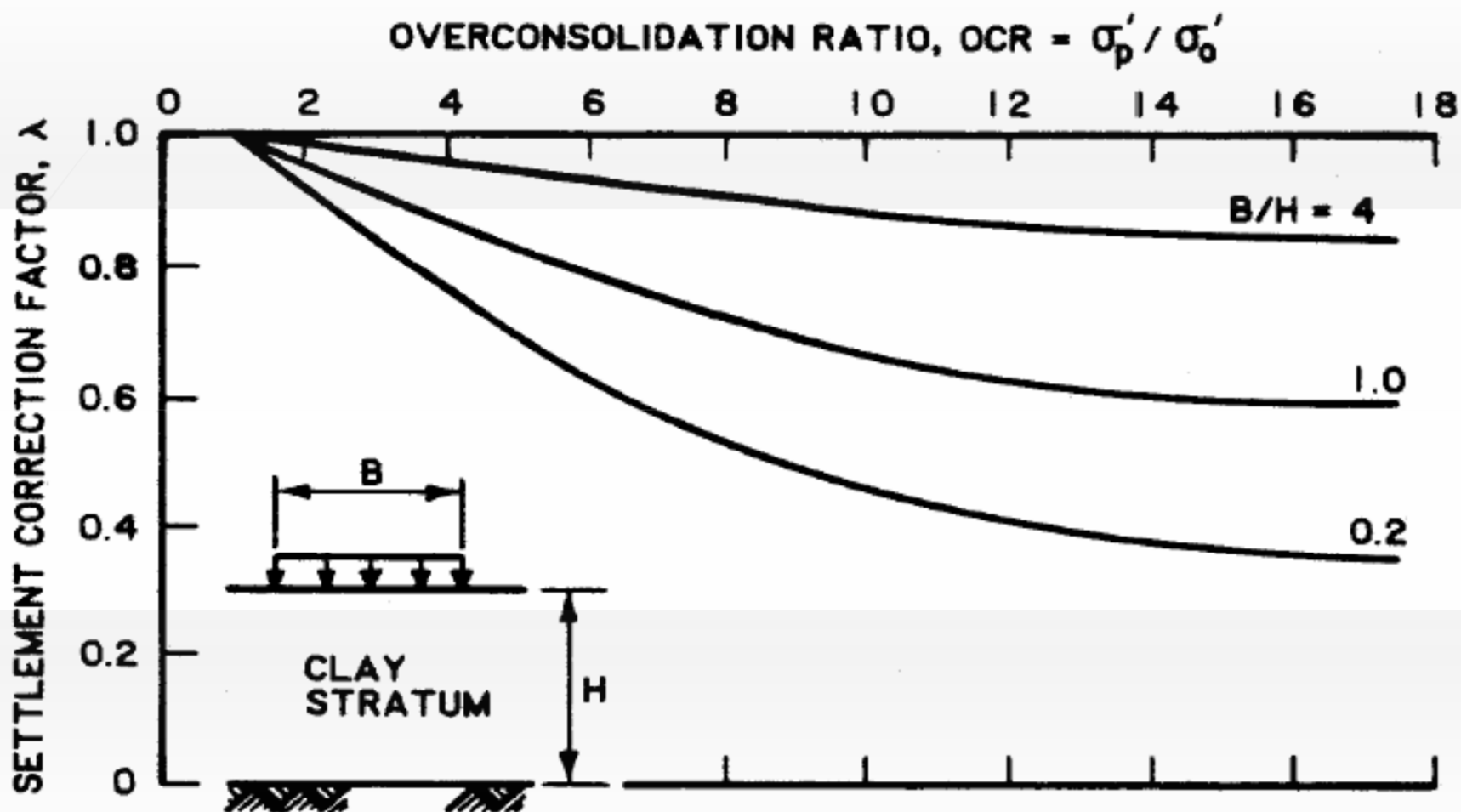
Για $B > (3\sim 4) \cdot H$

- ▶ Το έδαφος χωρίζεται σε στρώσεις και για κάθε ξεχωριστό βάθος υπολογίζεται η πρόσθετη τάση $\Delta\sigma_v$ που οφείλεται στα επιβαλλόμενα εξωτερικά φορτία.
- ▶ Με βάση την αντίστοιχη δοκιμή συμπίεσομέτρου εκτιμάται η ογκομετρική/κατακόρυφη παραμόρφωση ε_v για συνθήκες «συμπίεσομέτρου» και η αντίστοιχη καθίζηση για κάθε στρώση.
- ▶ Οι συνολικές καθιζήσεις ρ_{c1} για συνθήκες «συμπίεσομέτρου» υπολογίζονται ως το άθροισμα των καθιζήσεων της κάθε στρώσης.
- ▶ Λόγω των 3-Δ συνθηκών (ύπαρξη πλευρικής παραμόρφωσης $\varepsilon_h > 0$) η καθίζηση ρ_c είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίζεται για συνθήκες «συμπίεσομέτρου»: $\rho_c = \lambda \rho_{c1}$

Καθιζήσεις Στερεοποίησης Από δοκιμή συμπίεσομέτρου

Για $B > (3\sim 4) \cdot H$

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

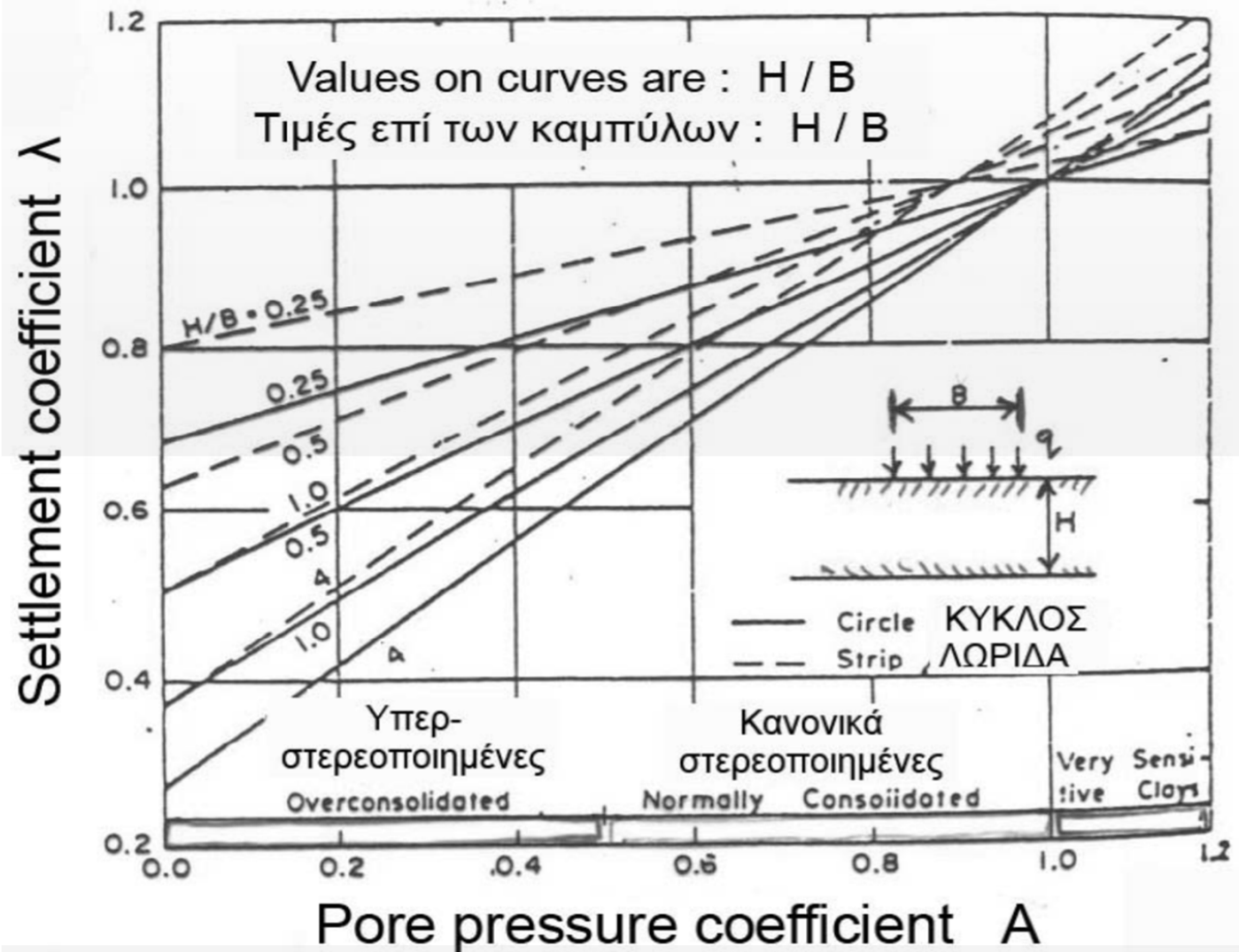


Καθιζήσεις Στερεοποίησης Από δοκιμή συμπίεσομέτρου

Για $B > (3\sim 4) \cdot H$

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

Εναλλακτικό
διάγραμμα αν
υπολογίσουμε
τον συντελεστή
υπερπίεσης
πόρων A που
αναπτύσσεται
λόγω του
φορτίου.



Καθιζήσεις Στερεοποίησης

Χρονική εξέλιξη...

Οι καθιζήσεις οποιαδήποτε στιγμή $\rho_c(t)$ είναι ένα ποσοστό των συνολικών καθιζήσεων στερεοποίησης $\rho_c(t=\infty)$. Το ποσοστό αυτό $U(t)$ λέγεται (μέσος) βαθμός στερεοποίησης. Δηλαδή ισχύει:

$$\rho_c(t) = U(t) \cdot \rho_c(t = \infty)$$

Ο (μέσος) βαθμός στερεοποίησης είναι συνάρτηση του χρονικού παράγοντα T_v .

Χρονικός παράγοντας:

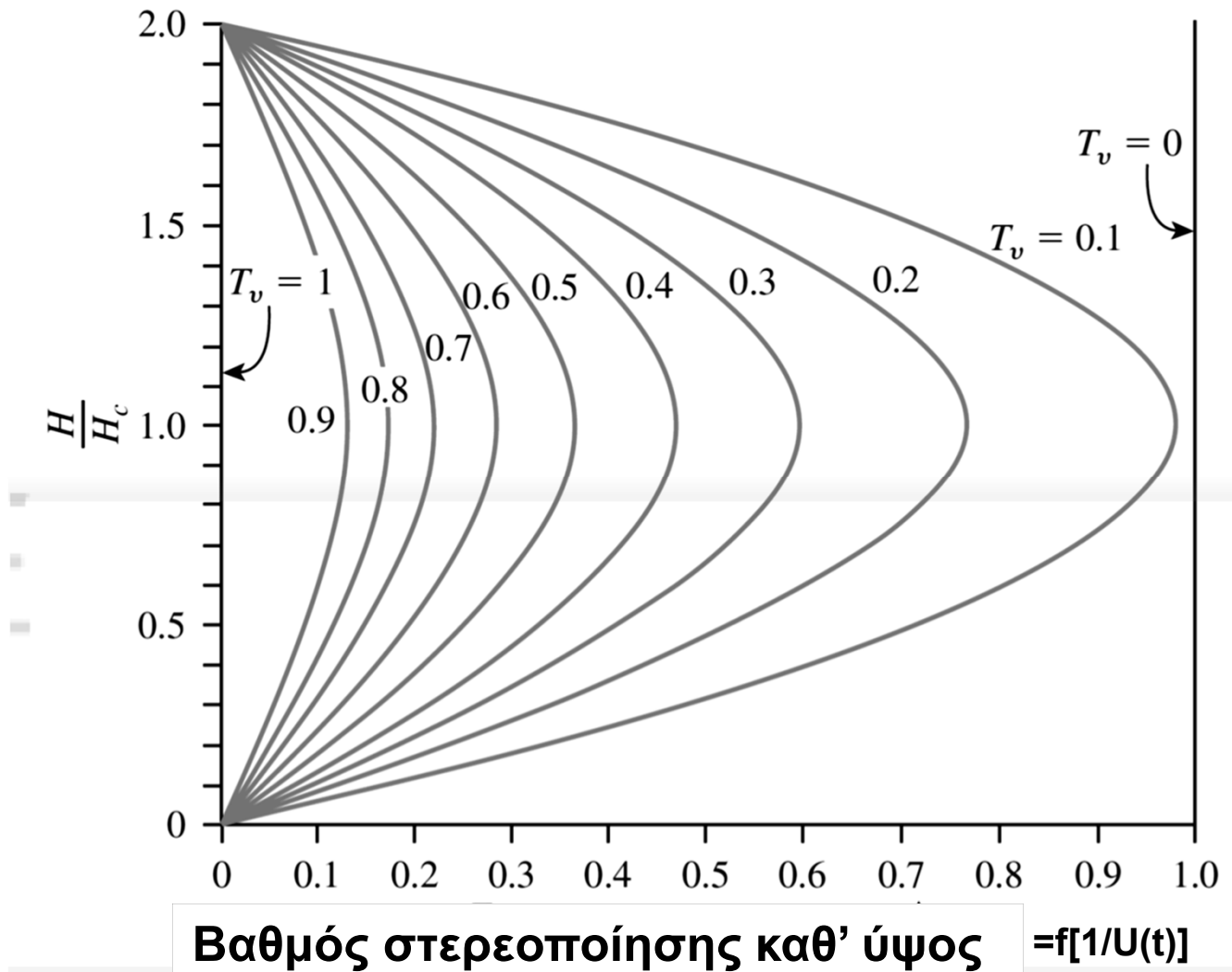
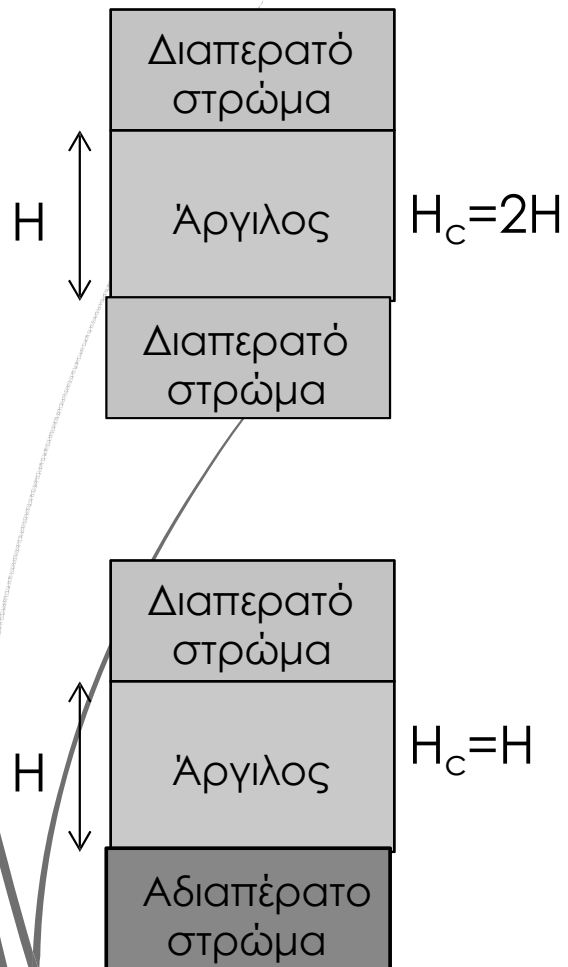
$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H_d^2}$$

όπου:

C_v συντελεστής στερεοποίησης

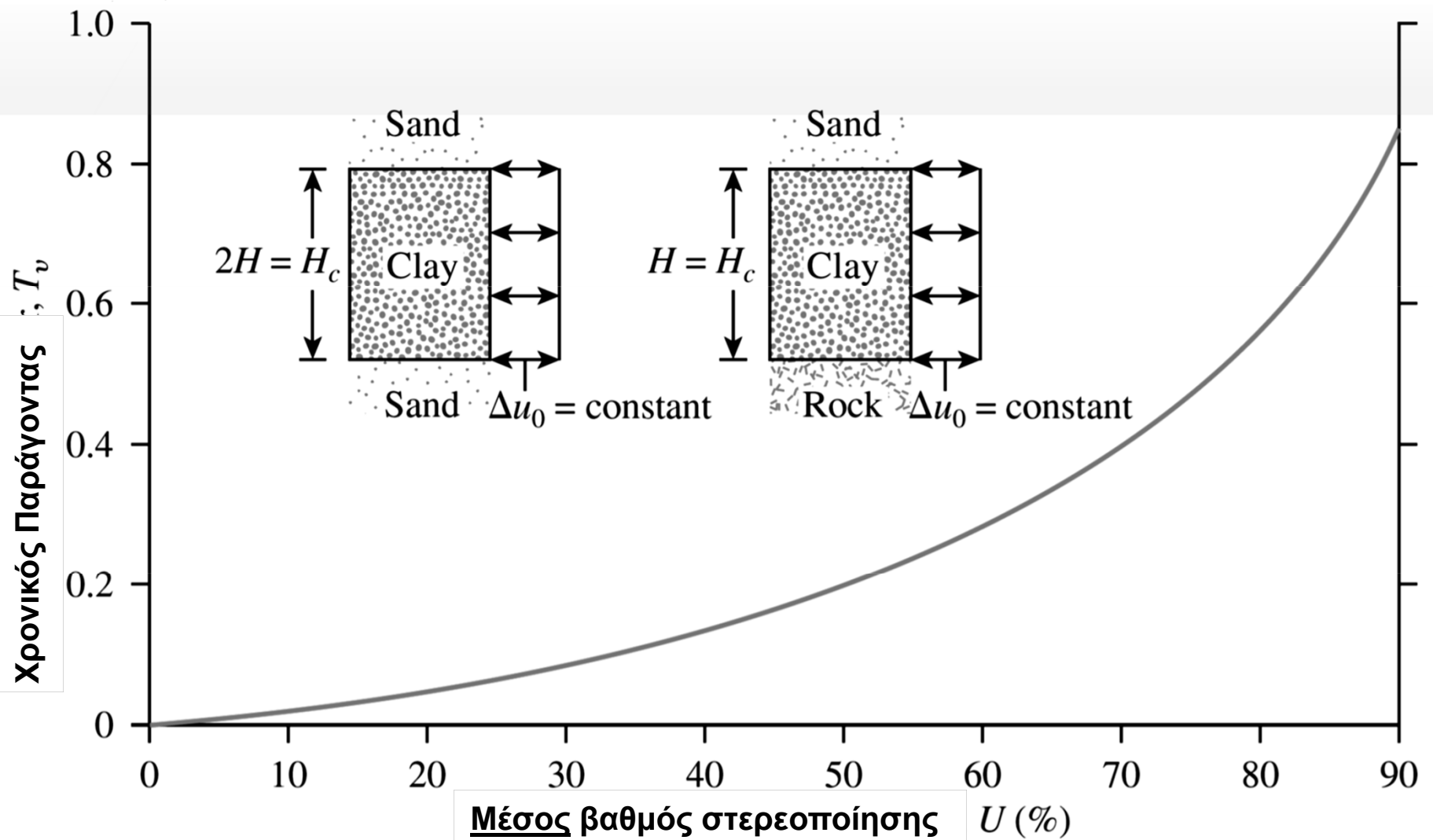
H_d μήκος στράγγισης (δηλαδή το μικρότερο μήκος μέχρι το σημείο στράγγισης, π.χ. διαπερατό στρώμα, στραγγιστήρια)

Χρονικός παράγοντας T_v Σχέση με υπερπίεση πόρων...



Καθιζήσεις Στερεοποίησης

Εύρεση του $U(t)$ συναρτήσει του T_v

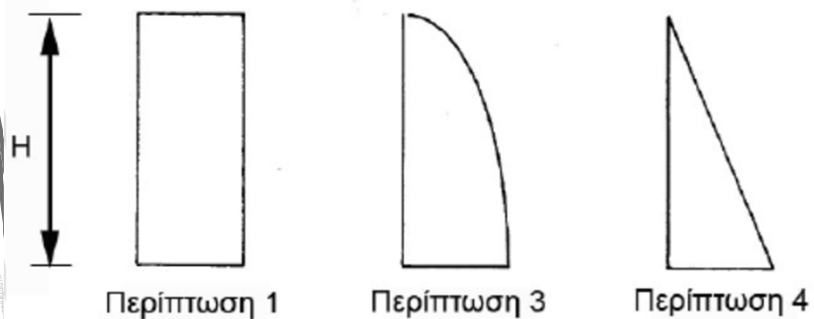


Καθιζήσεις Στερεοποίησης

Εύρεση του $U(t)$ συναρτήσει του T_V



ΔΙΠΛΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ (άνω και κάτω) : $H_d = H/2$



ΑΠΛΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ (προς τα άνω) : $H_d = H$

Συντελεστής στερεοποίησης (U) συναρτήσει του T_V

Χρονικός παράγων T_V	Τιμές του μέσου συντελεστή στερεοποίησης U (%)			
	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4
0.004	7.14	6.49	0.98	0.80
0.008	10.09	8.62	1.95	1.60
0.012	12.36	10.49	2.92	2.40
0.020	15.96	13.67	4.81	4.00
0.028	18.88	16.38	6.67	5.60
0.036	21.40	18.76	8.50	7.20
0.048	24.72	21.96	11.17	9.69
0.060	27.64	24.81	13.76	11.99
0.072	30.28	27.43	16.28	14.36
0.083	32.51	29.67	18.52	16.51
0.100	35.68	32.88	21.87	19.77
0.125	39.89	36.54	26.54	24.42
0.150	43.70	41.12	30.93	28.86
0.175	47.18	44.73	35.07	33.06
0.200	50.41	48.09	38.95	37.04
0.250	56.22	54.17	46.03	44.32
0.300	61.32	59.50	52.30	50.78
0.350	65.82	64.21	57.83	56.49
0.400	69.79	68.36	62.73	61.54
0.500	76.40	76.28	70.88	69.95
0.600	81.56	80.69	77.25	76.52
0.800	88.74	88.21	86.11	85.66
1.000	93.13	92.80	91.52	91.25
1.500	98.00	97.90	97.53	97.45
2.000	99.42	99.39	99.28	99.26

Καθιζήσεις Στερεοποίησης

Θεωρητικός υπολογισμός C_v

Γενικά για το συντελεστή στερεοποίησης:

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} = \frac{k}{\frac{\Delta e}{\Delta \sigma' (1 + e_{av})} \gamma_w}$$

όπου:

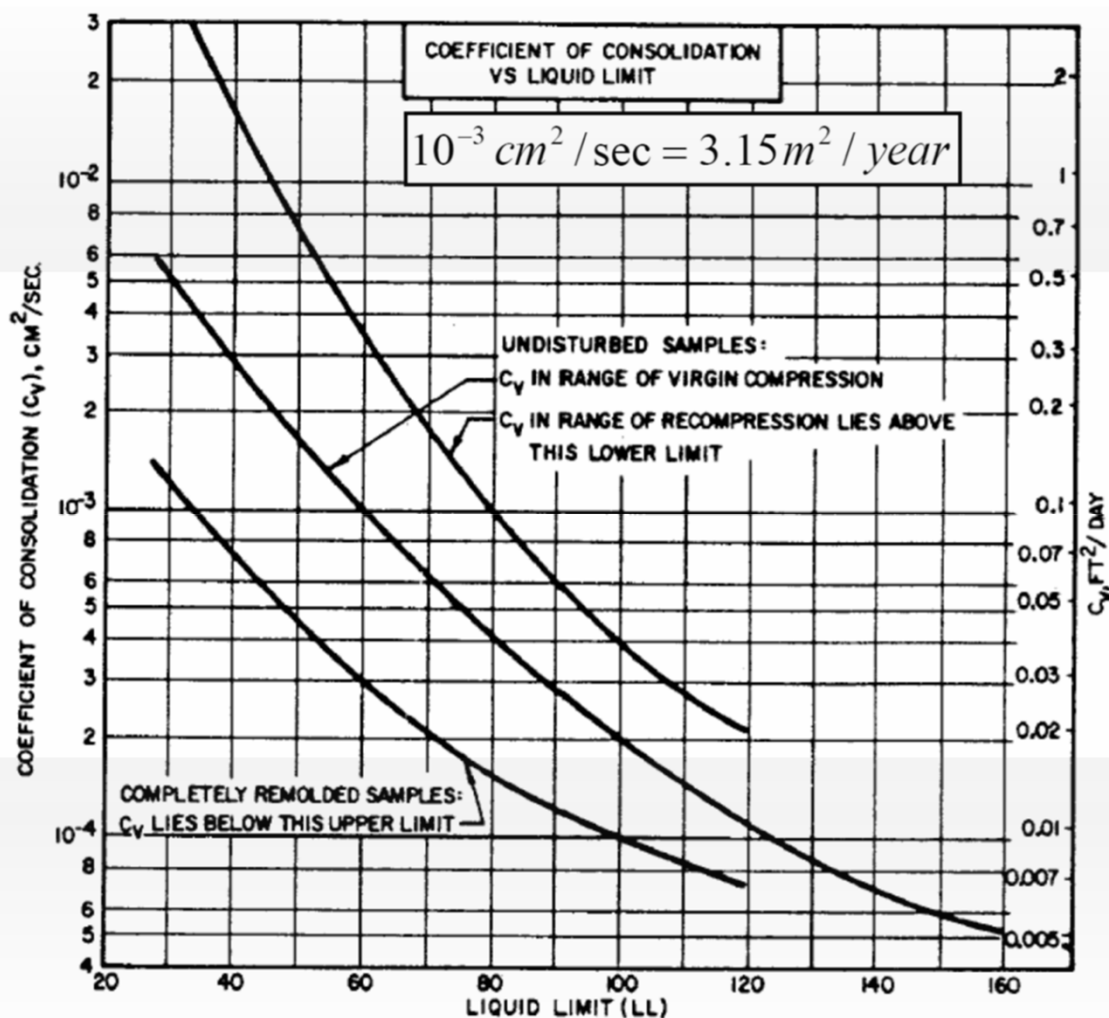
k συντ. διαπερατότητας

Δe αλλαγή δείκτη πόρων λόγω του $\Delta \sigma'$

e_{av} μέση τιμή δείκτη πόρων κατά τη στερεοποίηση

m_v ογκομετρικός δείκτης συμπίεσότητας ($=1/D$ όπου D το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης)

Εκτίμηση του συντελεστή στερεοποίησης (C_v) συναρτήσει του ορίου υδαρότητας (LL).



Σύνοψη υπολογισμού καθιζήσεων

- Μέθοδοι Steinbrenner (ορθογωνικό) και Milonic (κυκλικό):

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

Υπολογισμοί:

- Σε τυχόν σημείο εύκαμπτου & διορθωτικοί συντελεστές για άκαμπτο.
- Άμεσης καθίζησης (ρ_i) σε κορεσμένες αργίλους με $E=E_u$, $\nu=0.50$
- Συνολικής καθίζησης (ρ) σε άμμους και αργίλους με $E=E'$, $\nu=\nu'$.

- Μέθοδοι Kany (ορθογωνικό) και Leonhardt (κυκλικό):

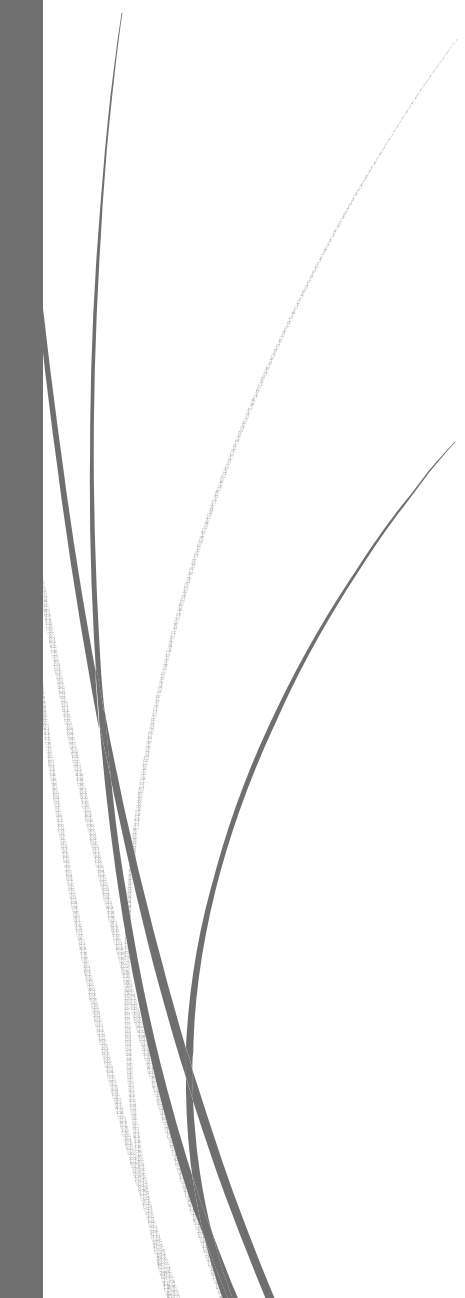
$$\rho = f \frac{\Delta q \cdot B}{E_s} \quad \text{και} \quad \rho = f \frac{\Delta q \cdot R}{E_s}$$

Υπολογισμοί:

- Υπό συνθήκες $\nu=0$, δηλαδή συνθήκες συμπίεσομέτρου.

- Πιο σύνθετες μέθοδοι για αργιλικές φορτίσεις: $\rho = \rho_i + \rho_c$

- Υπολογισμός άμεσων καθιζήσεων ρ_i (από αστράγγιστο μέτρο ελαστικότητας)
- Υπολογισμός μεγέθους και χρονικής εξέλιξης καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης ρ_c





Θεμελιώσεις

Καθιζήσεις επιφανειακών θεμελιώσεων IV
Μεθοδολογίες υπολογισμού...

Καθιζήσεις...

Μέθοδος Steinbrenner

ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ;

- Ορθογωνικά εύκαμπτα θεμέλια (και άκαμπτα μετά από μετατροπή)
- Εκτίμηση συνολικών καθιζήσεων με βάση το $E=E'$ και $\nu=\nu'$
- Εκτίμηση άμεσων καθιζήσεων με βάση το $E=E_u$ και $\nu=0.5$
- Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία η άμεση καθίζηση (ρ_i) ισούται με το 50-75% της συνολικής (ρ). Εύλογο συμπέρασμα για φορτίσεις αρκετά μακριά από την αστοχία (αλλιώς $\rho \gg \rho_i$)

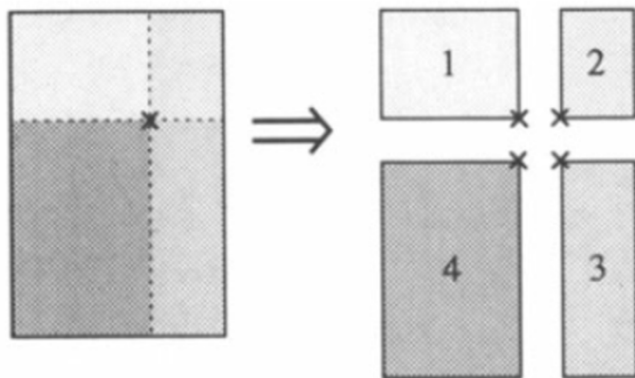
ΒΗΜΑΤΑ:

- Εκτίμηση καθιζήσεων για τη γωνία εύκαμπτης θεμελίωσης
- Μέσω επαλληλίας εκτίμηση των μέγιστων καθιζήσεων για το κέντρο της θεμελίωσης
- Εκτίμηση καθιζήσεων άκαμπτου ως μέρους των μέγιστων καθιζήσεων που αναμένονται στο κέντρο της εύκαμπτης θεμελίωσης

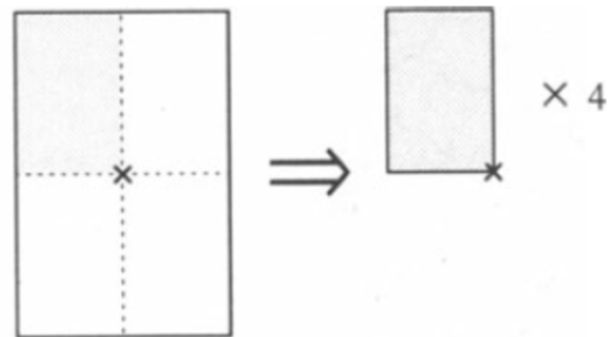
Άμμοι (υπό προϋποθέσεις)
Άργιλοι (σε φορτίσεις μακριά από αστοχία)

Καθιζήσεις...

Αρχή της Επαλληλίας



Η καθίζηση στο Χ είναι το άθροισμα των καθιζήσεων που δημιουργούν οι εύκαμπτες θεμελιώσεις 1, 2, 3 και 4 στη γωνία τους



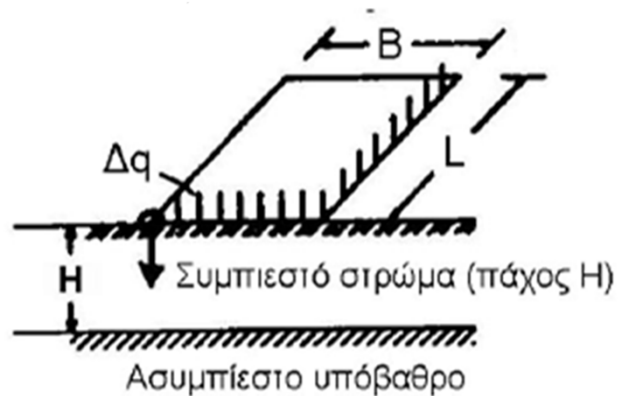
Η μέγιστη καθίζηση βρίσκεται στο κέντρο της εύκαμπτης θεμελίωσης και ισούται με τέσσερις φορές την τάση στη γωνία του ενός τετάρτου της θεμελίωσης

Για τον υπολογισμό της καθίζησης μίας αντίστοιχης άκαμπτης θεμελίωσης μπορούμε να πάρουμε:

$$\rho_{(ΑΚΑΜΠΤΟΥ)} = \left(\frac{2}{3} \div \frac{3}{4} \right) \cdot \rho_{ΚΕΝΤΡΟ(ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ)}$$

Καθιζήσεις... Μέθοδος Steinbrenner

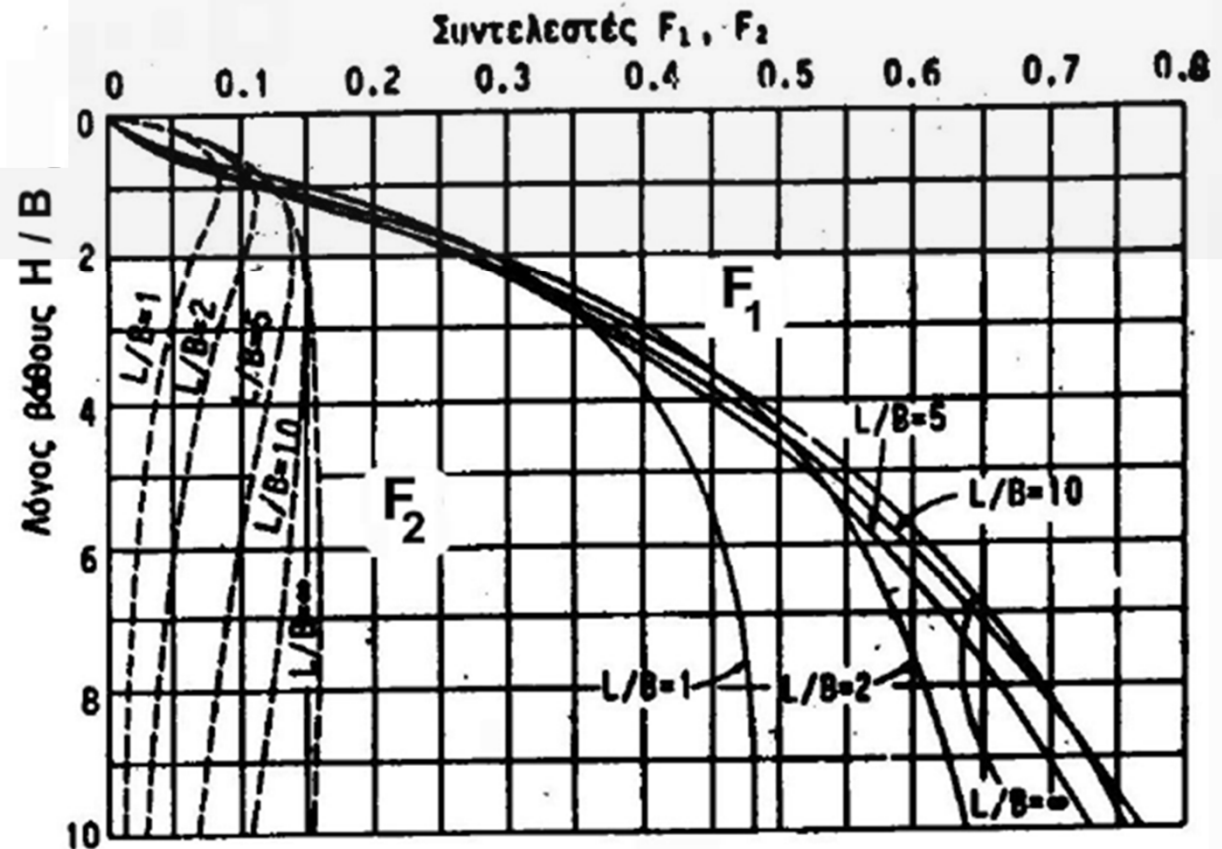
Για τυχαίο ν



ρ = καθίζηση της
γωνίας του πεδίου

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

Πινακοποιημένες τιμές των συντελεστών F_1 και F_2



Καθιζήσεις...

Μέθοδος Steinbrenner

Για τυχαίο ν

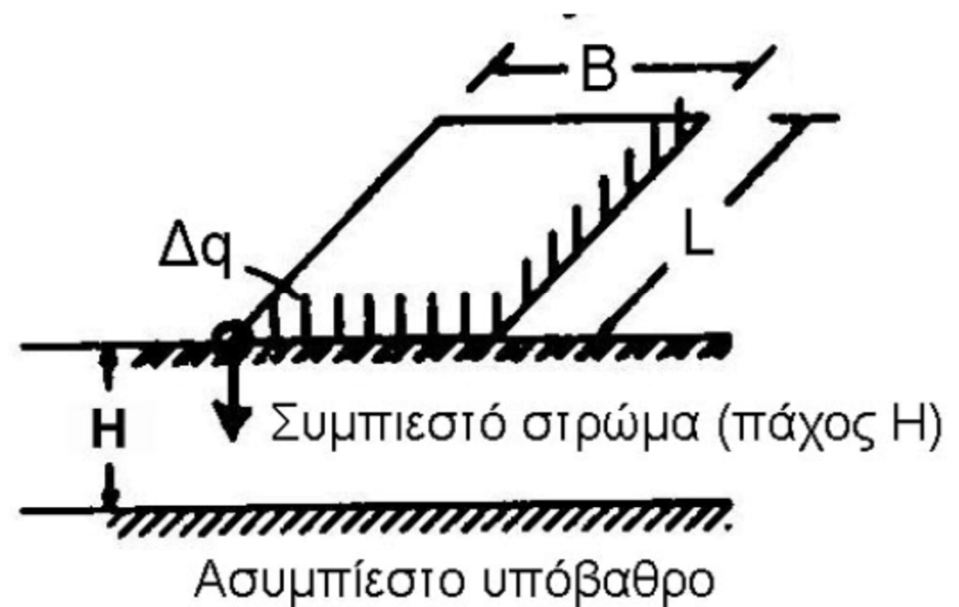
Οι συντελεστές επιρροής F_1 και F_2 υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[M \ln \left(\frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{M^2 + N^2}}{M (1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} \right) + \ln \left(\frac{(M + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right) \right]$$

$$F_2 = \frac{N}{2\pi} \arctan \left(\frac{M}{N \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right)$$

όπου :

$$M = \frac{L}{B} \quad N = \frac{H}{B}$$



Καθιζήσεις... Μέθοδος Steinbrenner

Για $\nu=0.30$

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

$$\Delta q = q - q_0$$

ρ = καθίζηση της
γωνίας του πεδίου

όπου :

$$f = 0.91 F_1 + 0.52 F_2$$

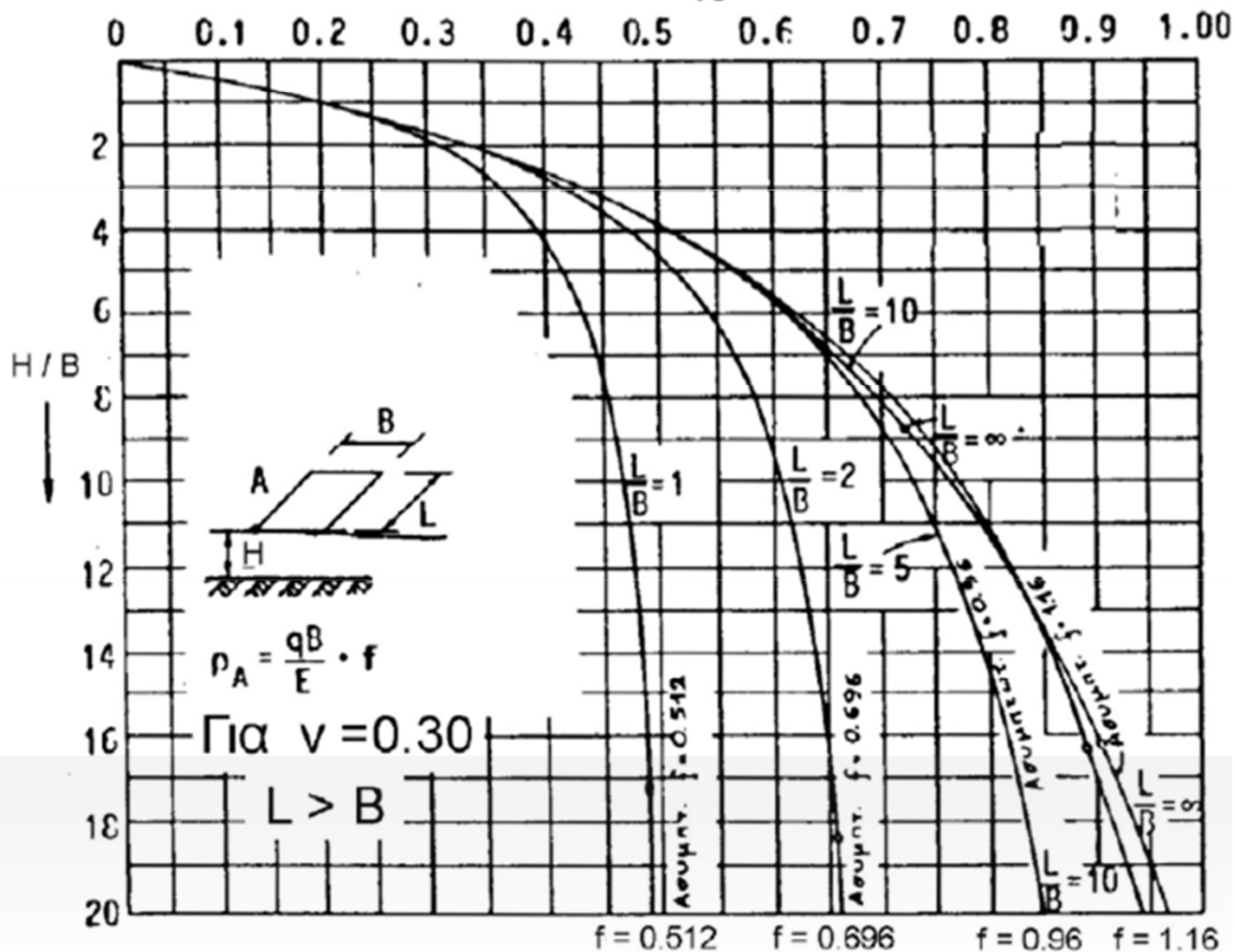
Εφαρμογή της μεθόδου
Steinbrenner υπό

στραγγισμένες συνθήκες, για:

$$E = E' \text{ και } \nu = \nu' = 0.30$$

Πινακοποιημένες τιμές του συντελεστή "f"

Συντελεστής f.



Καθιζήσεις... Μέθοδος Steinbrenner

Υπολογισμός καθιζήσεων με σχέσεις «ελαστικής μορφής» :

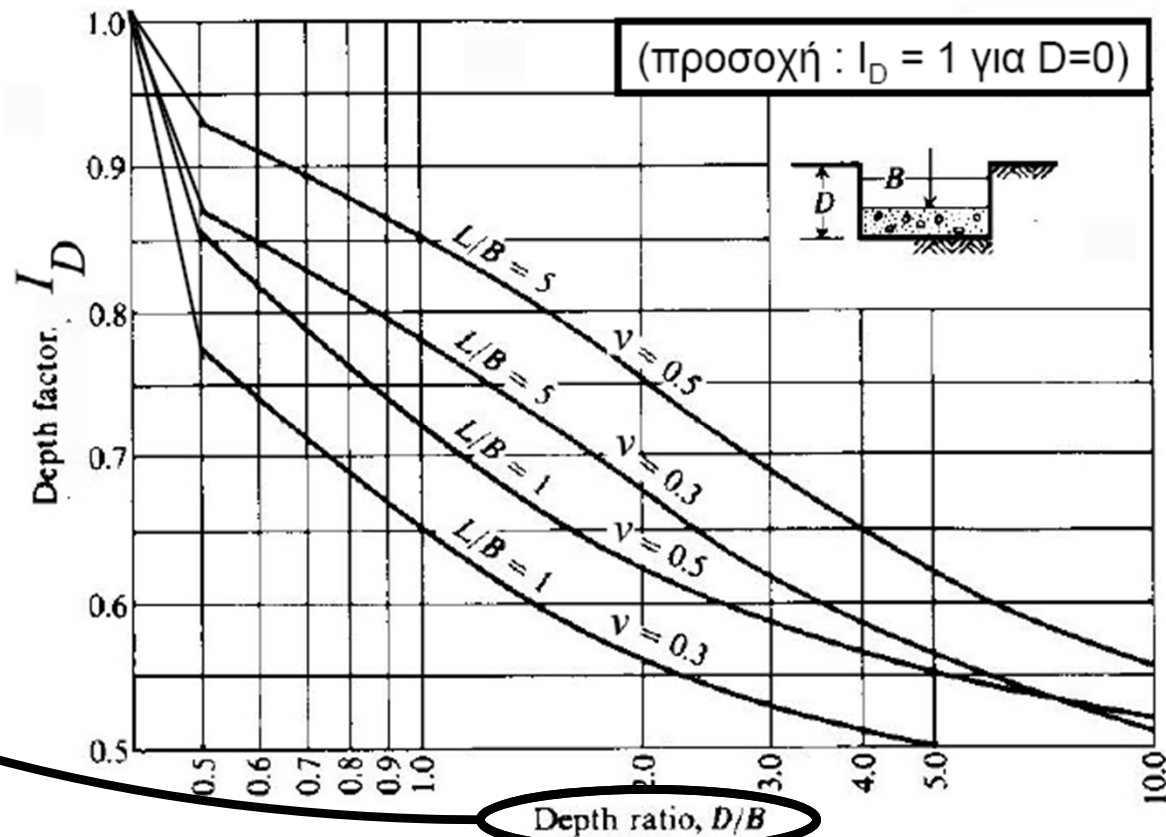
1α. Μέθοδος Steinbrenner :

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

Συντελεστής βάθους θεμελίωσης I_D :

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

ΠΡΟΣΟΧΗ!
Ο όρος D/B
αναφέρεται
στο συνολικό
 B



Καθιζήσεις...

Μέθοδος Milonic (1970)

ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ;

- Κυκλικά εύκαμπτα θεμέλια (και άκαμπτα μετά από μετατροπή)
- Εκτίμηση συνολικών καθιζήσεων με βάση το $E=E'$ και $\nu=\nu'$
- Εκτίμηση άμεσων καθιζήσεων με βάση το $E=E_u$ και $\nu=0.5$
- Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία η άμεση καθίζηση (ρ_i) ισούται με το 50-75% της συνολικής (ρ). Εύλογο συμπέρασμα για φορτίσεις αρκετά μακριά από την αστοχία (αλλιώς $\rho \gg \rho_i$)

ΒΗΜΑΤΑ:

- Εκτίμηση καθιζήσεων για το κέντρο της εύκαμπτης θεμελίωσης
- Εκτίμηση καθιζήσεων άκαμπτου ως μέρους των μέγιστων καθιζήσεων που αναμένονται στο κέντρο της εύκαμπτης θεμελίωσης

Άμμοι (υπό προυποθέσεις)
Άργιλοι (σε φορτίσεις μακριά από αστοχία)

Καθιζήσεις...

Μέθοδος Milonic (1970)

Οι καθιζήσεις για το κέντρο της εύκαμπτης θεμελίωσης δίνονται από τον τύπο:

$$\rho = \Delta q \frac{2}{E} R I_{\rho}$$

και για άκαμπτα θεμέλια:

$$\rho_{(AK)} = \left(\frac{2}{3} \div \frac{3}{4} \right) \cdot \rho_{(EYK)}$$

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ I_{ρ}
ΓΙΑ ΕΥΚΑΜΠΤΟ ΚΥΚΛΙΚΟ ΘΕΜΕΛΙΟ ΑΚΤΙΝΑΣ R

ν	H / R	r / R					
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.15	1	0.464	0.458	0.441	0.408	0.348	0.208
	2	0.684	0.674	0.645	0.593	0.509	0.348
	4	0.811	0.800	0.768	0.710	0.619	0.463
	6	0.839	0.827	0.794	0.736	0.646	0.501
0.30	1	0.397	0.392	0.379	0.351	0.301	0.173
	2	0.613	0.604	0.578	0.531	0.456	0.305
	4	0.740	0.732	0.703	0.651	0.568	0.420
	6	0.770	0.762	0.733	0.681	0.597	0.458
0.45	1	0.278	0.276	0.267	0.250	0.213	0.109
	2	0.489	0.482	0.461	0.422	0.361	0.229
	4	0.612	0.608	0.585	0.541	0.472	0.340
	6	0.637	0.635	0.612	0.568	0.499	0.374

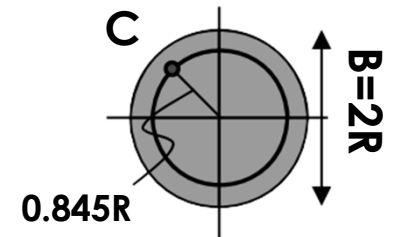
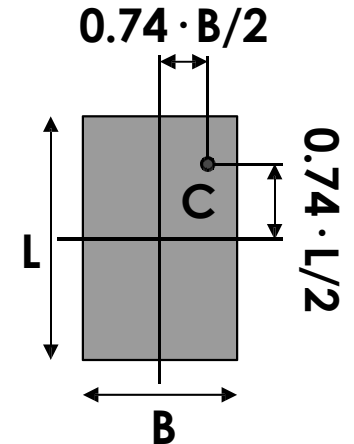
Καθιζήσεις... Kany (DIN 4019) & Leonhardt (DIN 4019)

ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ;

- Ορθογωνικά (Kany) και κυκλικά (Leonhardt) άκαμπτα θεμέλια σε συμπιεστό στρώμα πεπερασμένου βάθους H κάτω από το θεμέλιο
- Εκτίμηση καθιζήσεων τύπου «συμπιεσομέτρου» δηλαδή για $\nu=0$ (ευμενής παραδοχή για τις καθιζήσεις...)

ΒΗΜΑΤΑ:

- Απευθείας εφαρμογή των τύπων
- Η καθίζηση του άκαμπτου ορθογωνικού πεδίου $B \times L$ και του άκαμπτου κυκλικού πεδίου διαμέτρου $B = 2R$, θεωρούνται ίσες με την καθίζηση του χαρακτηριστικού σημείου «C» ενός ισοδύναμου «εύκαμπτου» πεδίου.



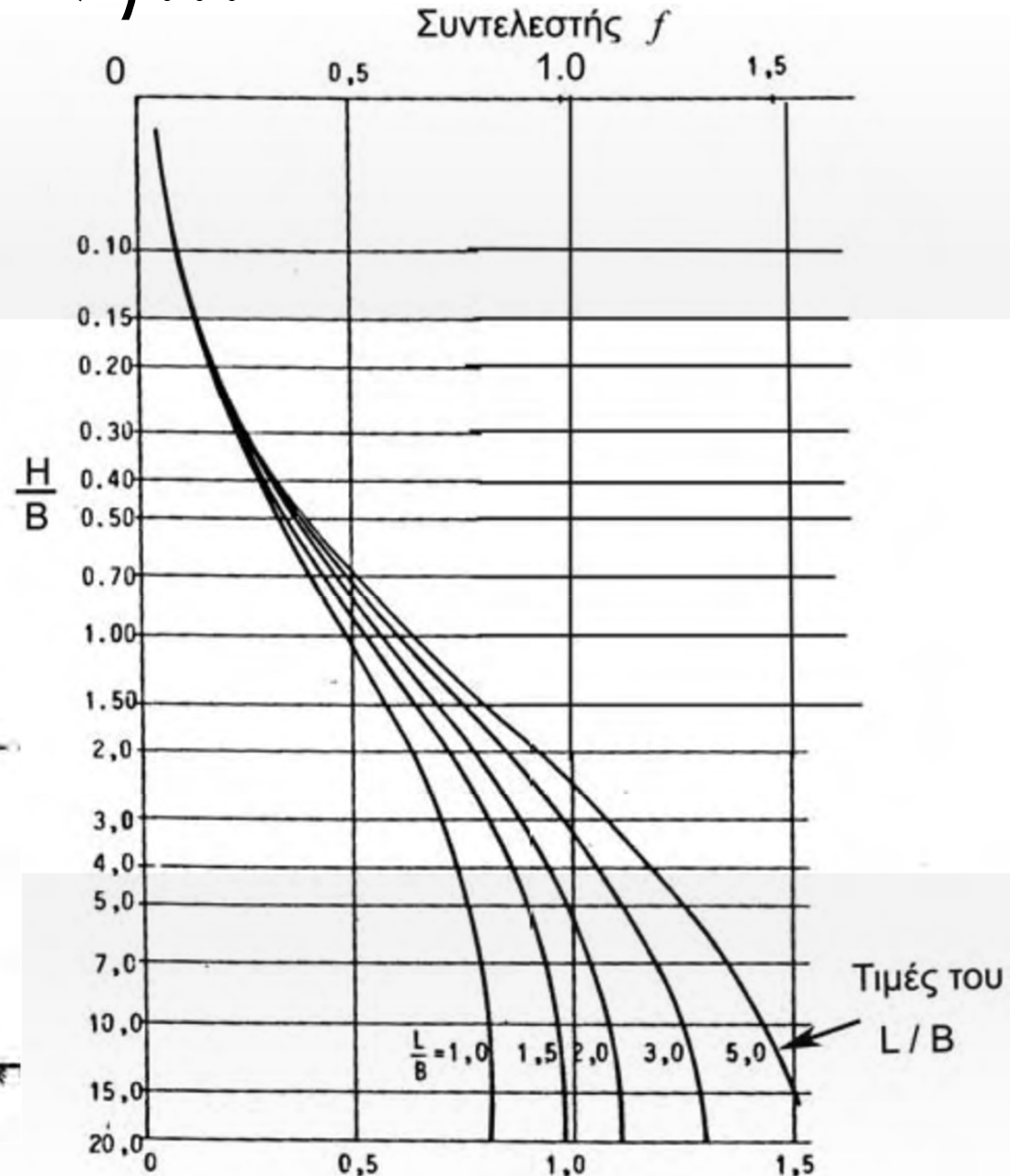
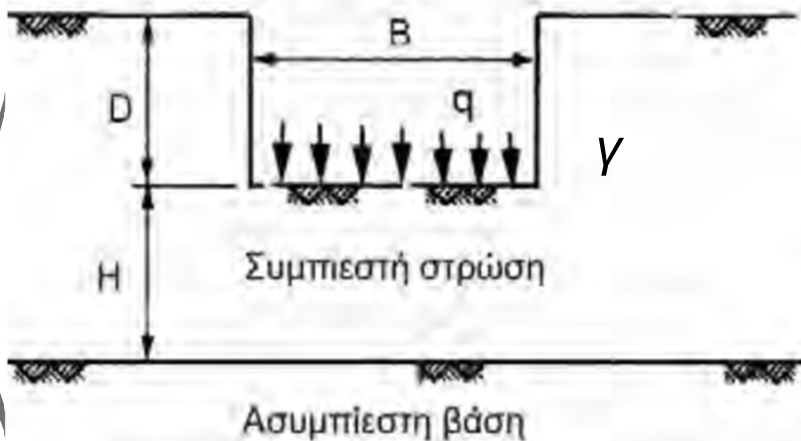
“Οιονεί” συνθήκες συμπιεσομέτρου

Καθιζήσεις Kany (DIN 4019)...

Οι καθιζήσεις για την άκαμπτη ορθογωνική θεμελίωση δίνονται από τον τύπο:

$$\rho = f \frac{\Delta q \cdot B}{E_s}$$

$$\Delta q = q - q_0 = q - \gamma D$$

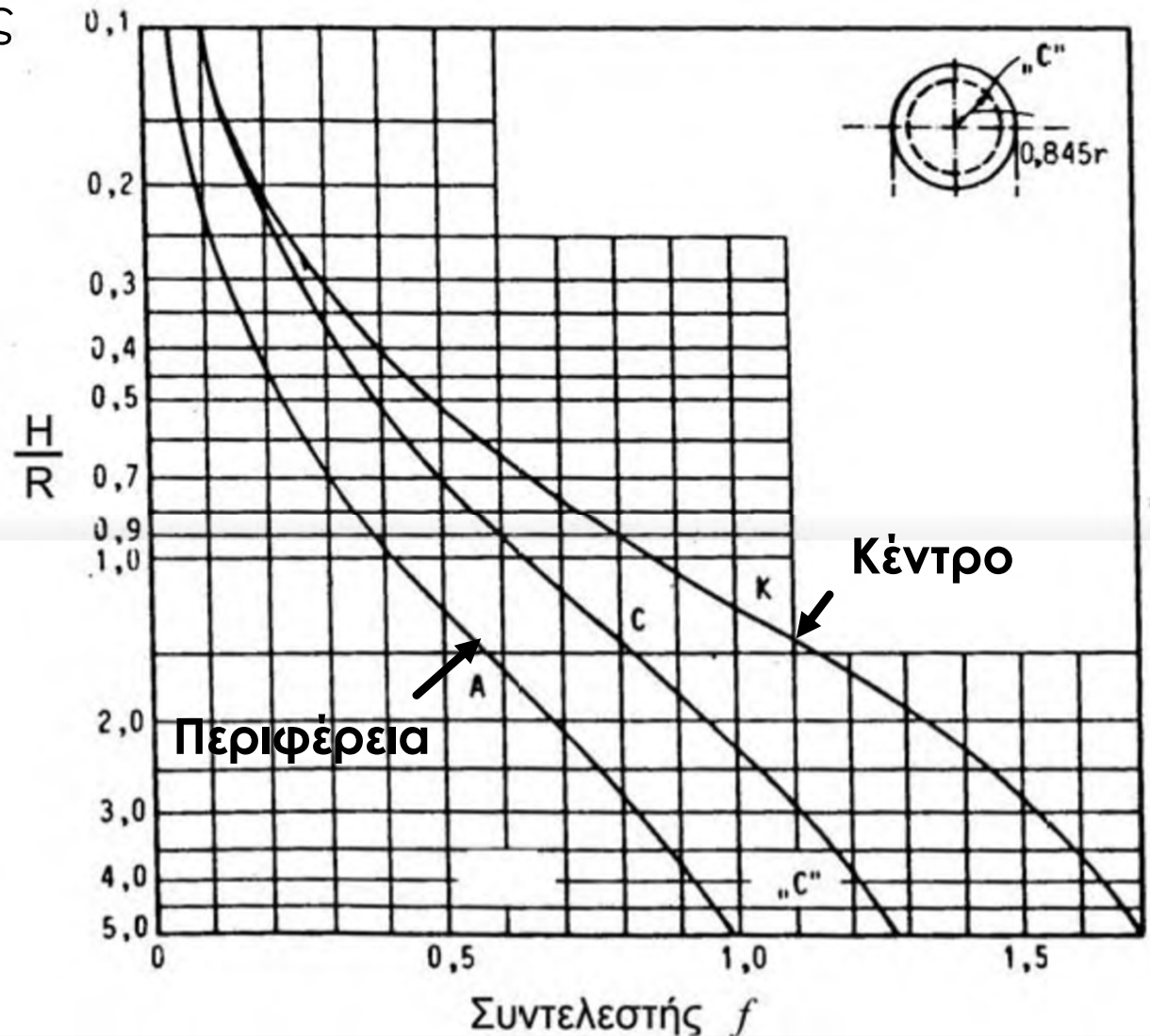
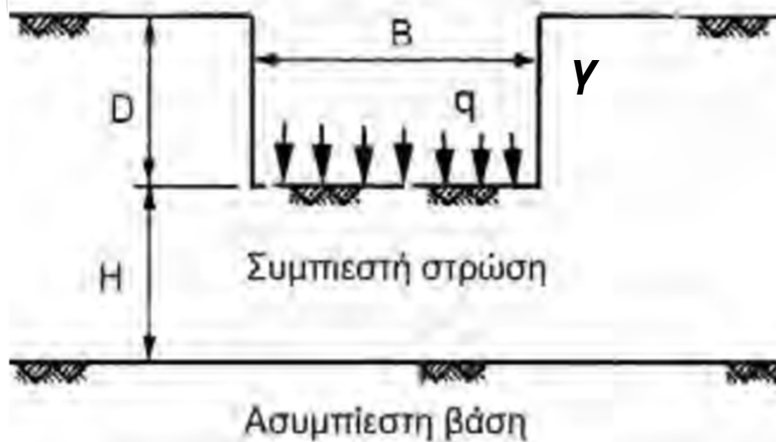


Καθιζήσεις Leonhardt (DIN 4019)...

Οι καθιζήσεις για τα διάφορα σημεία της εύκαμπτης κυκλικής θεμελίωσης διαμέτρου $B=2R$ δίνονται από τον τύπο:

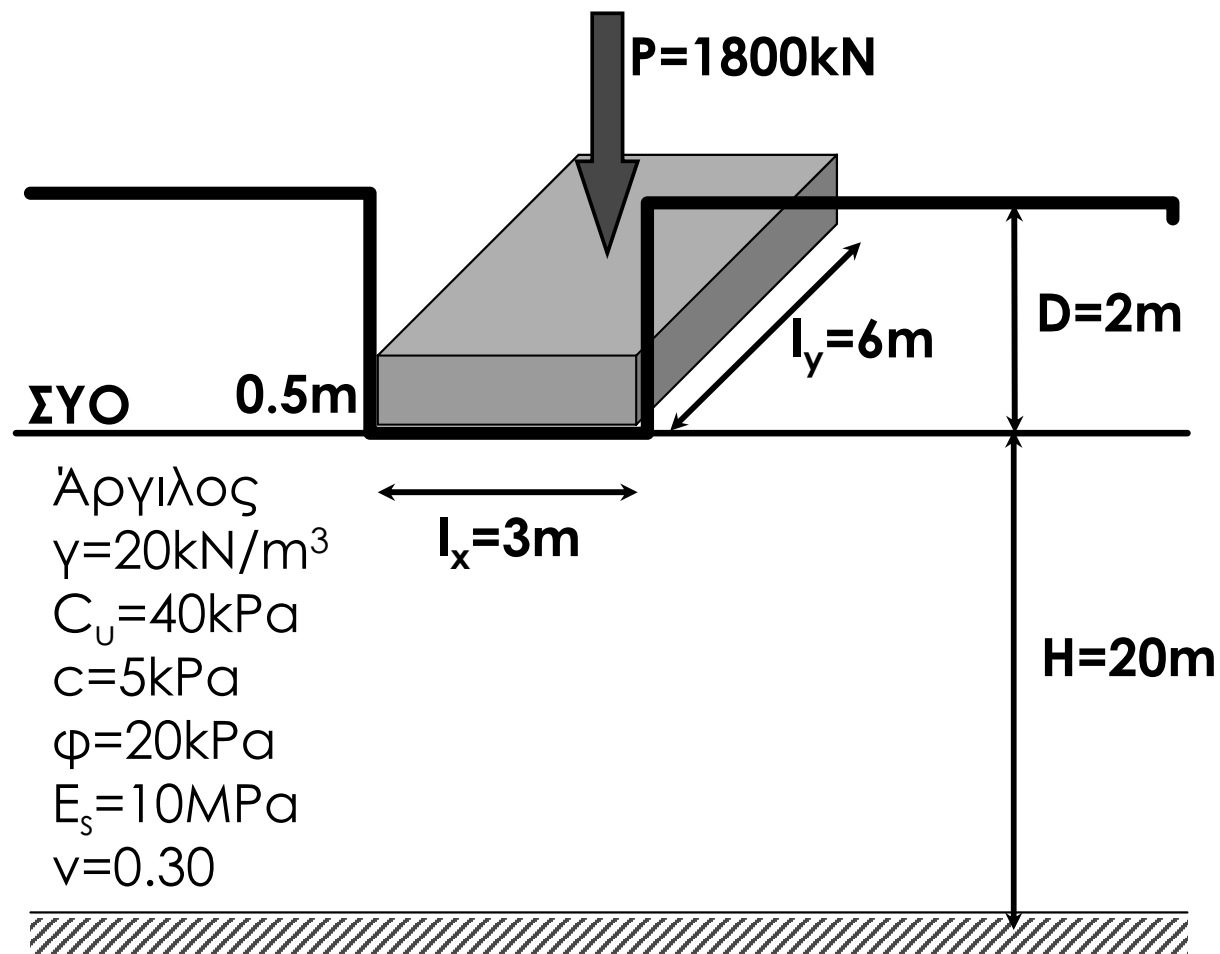
$$\rho = f \frac{\Delta q \cdot R}{E_s}$$

Η καθίζηση της άκαμπτης είναι ίση με αυτή του σημείου C
 $\Delta q = q - q_0 = q - \gamma D$



Άσκηση...

Να υπολογιστούν οι συνολικές καθιζήσεις στο ορθογωνικό πέδιλο του σχήματος, με βάση τη θεωρία του Steinbrenner και τη θεωρία του Kany.





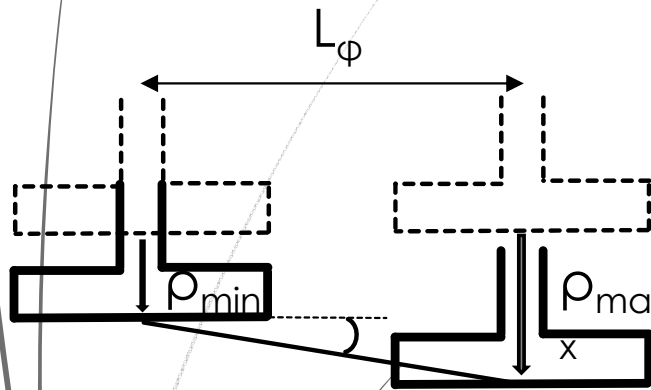
Θεμελιώσεις

Όρια καθιζήσεων

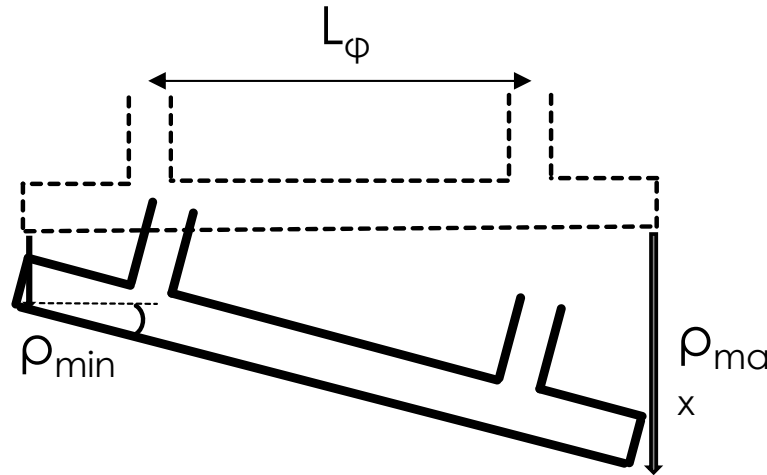
Διστρωματικός σχηματισμός

Όρια καθιζήσεων-στροφών κατά EC-7

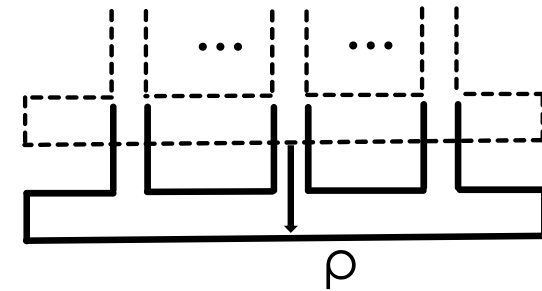
ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΑ ΠΕΔΙΛΑ



ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΙ



ΓΕΝΙΚΗ ΚΟΙΤΟΣΤΡΩΣΗ



ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΟΡΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ θ

ΟΡΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ρ

Οριακή
Κατάσταση
Λειτουργικότητας
(Ο.Κ.Λ.)

1/500

$\rho_{\max} \leq 50\text{mm}$

Οριακή
Κατάσταση
Αστοχίας
(Ο.Κ.Α.)

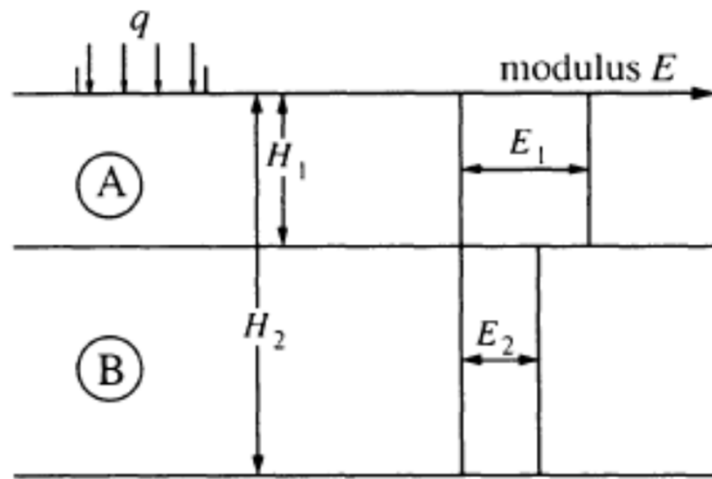
1/150

$\Delta\rho_{\max} \leq 20\text{mm}$

$$\Delta\rho = \rho_{\max} - \rho_{\min}$$

$$\theta = \Delta\rho / L_{\phi}$$

Αρχή της διαστρωμάτωσης

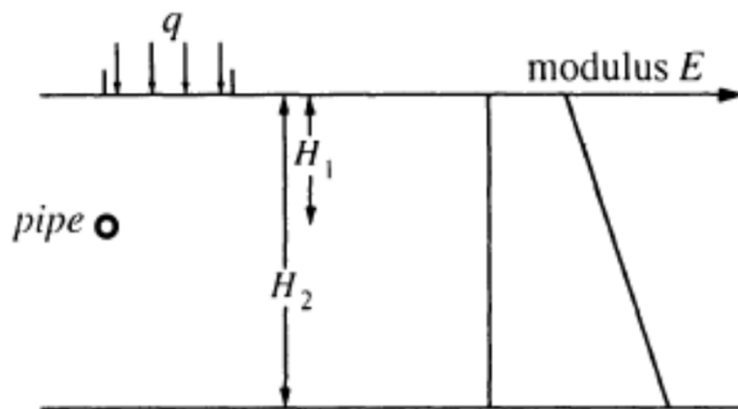


Settlement of foundation = ρ for layer A + ρ for layer B

ρ for layer A = settlement with thickness H_1 and modulus E_1

ρ for layer B = settlement with thickness H_2 and modulus E_2

– ρ for thickness H_1 and modulus E_2

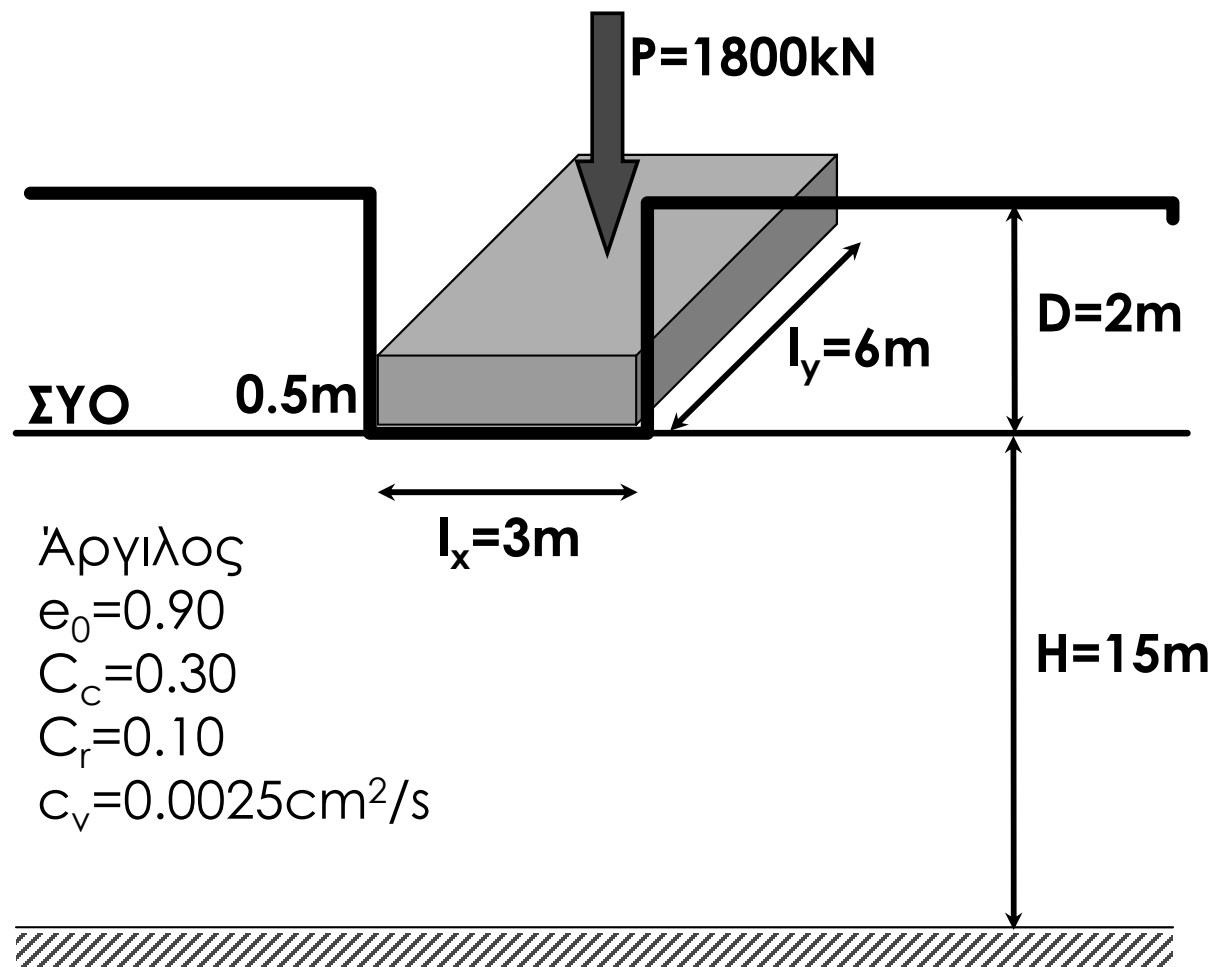


Settlement of pipe = ρ for thickness H_2 with l from H_2/B

– ρ for thickness H_1 with l from H_1/B

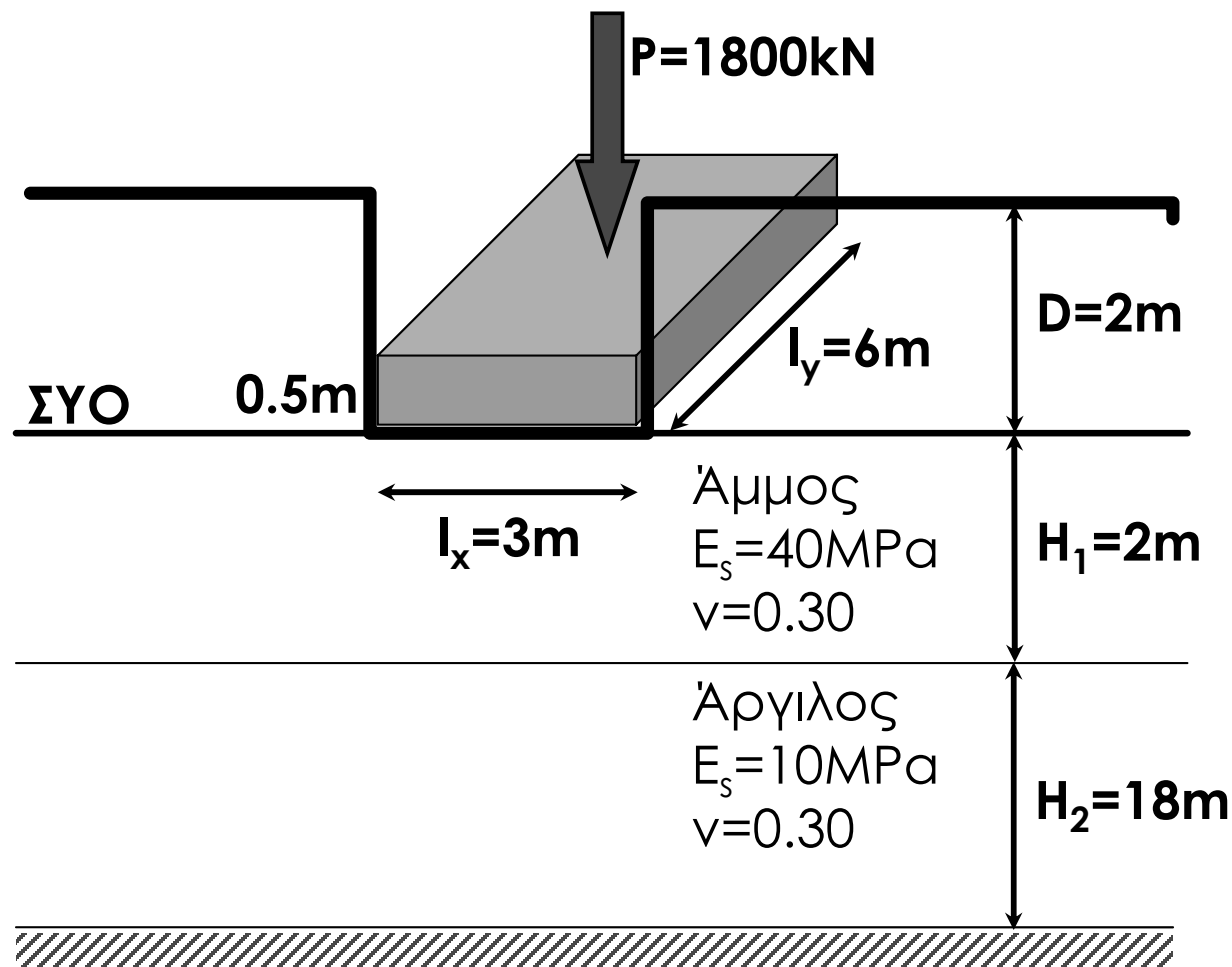
Άσκηση 1...

Να υπολογιστούν οι μακροχρόνιες καθιζήσεις στο ορθογωνικό πέλδιλο του σχήματος, με βάση τη θεωρία του Terzaghi (Στρώσεις 3.0μ). Πόσο χρόνο θέλει για να ολοκληρωθούν;



Άσκηση 2...

Να υπολογιστούν οι συνολικές καθιζήσεις στο ορθογωνικό πέδιλο του σχήματος, με βάση τη θεωρία του Καρυ.





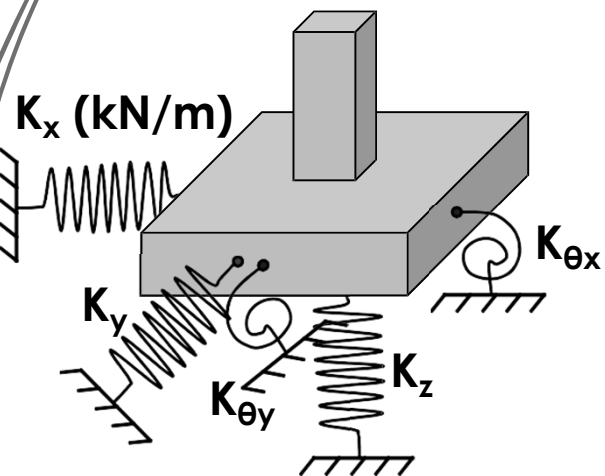
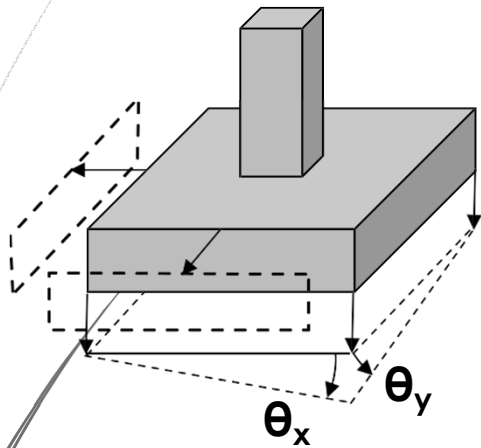
Θεμελιώσεις

Καθιζήσεις επιφανειακών θεμελιώσεων IV

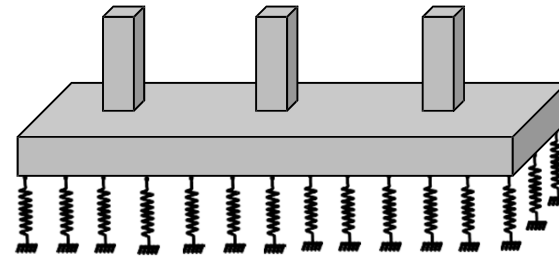
Δείκτης εδάφους k

Προσομοίωμα “Winkler”

Μεμονωμένα πέλδρα

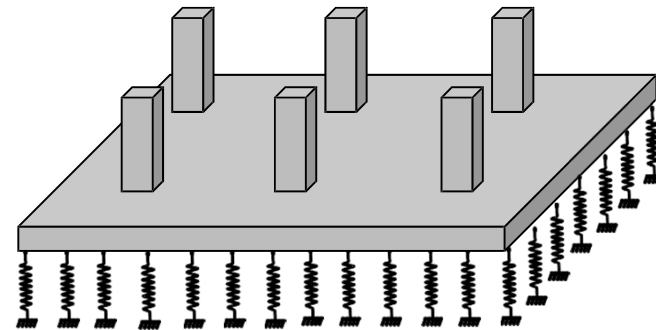


Πεδιλοδοκοί



k (kN/m²)

Γενικές κοιτοστρώσεις



k_v (kN/m²)

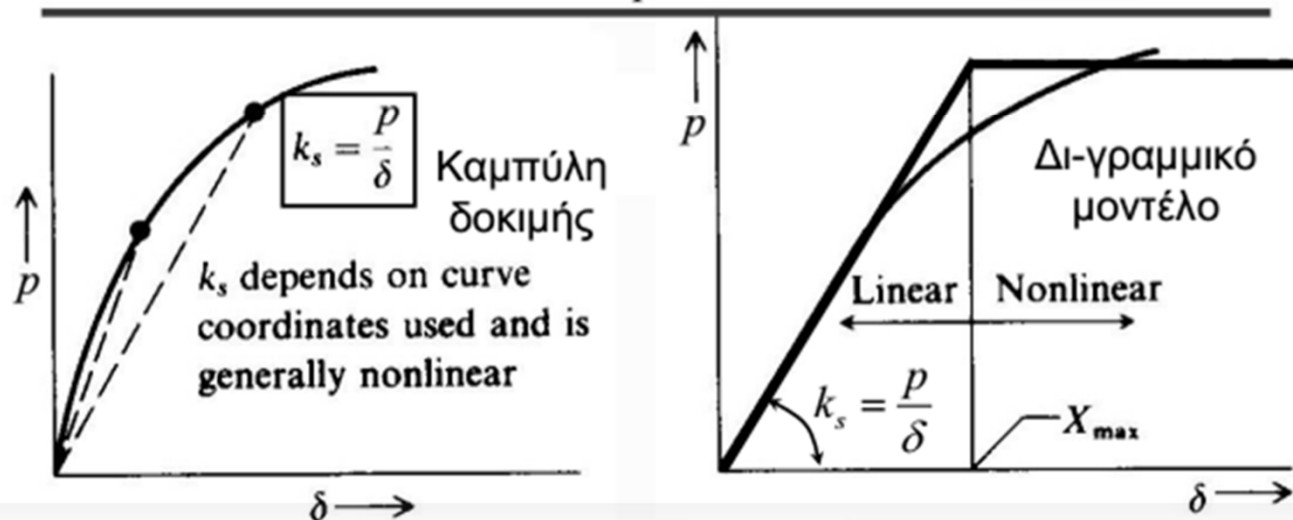
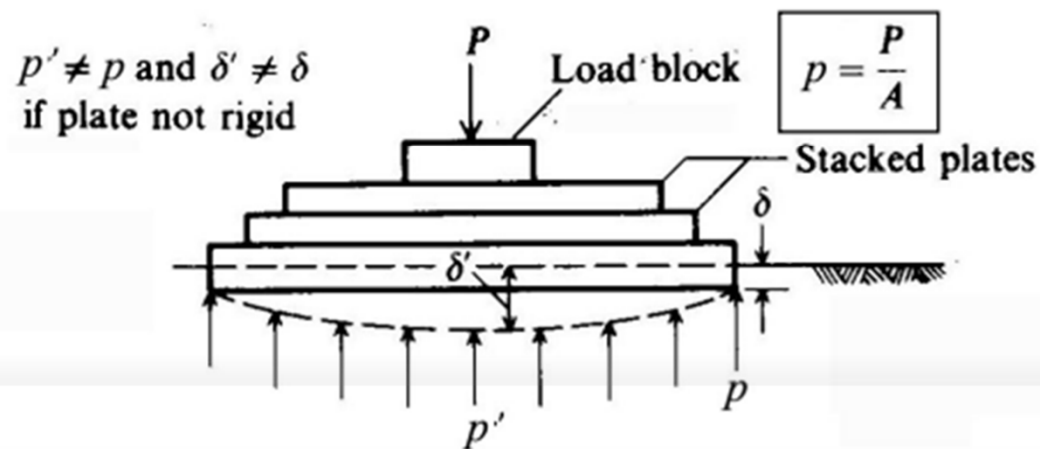
Δείκτης εδάφους (Winkler) Γενικά...

Εκτίμηση του δείκτη εδάφους k ή k_s (δείκτης Winkler)

1. Μέτρηση του (k_s) από δοκιμή φόρτισης πλάκας :

$$k_s = \frac{P}{\delta} = \frac{P}{A\delta}$$

k_s = δείκτης εδάφους για τη συγκεκριμένη πλάκα της δοκιμής



Δείκτης εδάφους (Winkler)

Φόρτιση πλάκας - Συνεκτικά εδάφη

Εκτίμηση του δείκτη εδάφους k ή k_s (δείκτης Winkler)

3. Εκτίμηση του "κ" για πέδιλα διαφόρων διαστάσεων, με βάση τη μετρηθείσα τιμή k_o :

3.1 Συνεκτικά (αργιλικά) εδάφη :

Από τις σχέσεις «ελαστικής μορφής» προκύπτει ότι εάν στη δοκιμή φόρτισης πλάκας (με πλάκα διαστάσεως B_o) μετρηθεί δείκτης εδάφους $k_s = k_o = q_o / \rho_o$ (όπου q_o = πίεση πλάκας, ρ_o = καθίζηση πλάκας) τότε, ο δείκτης εδάφους για τετραγωνικό πέδιλο εύρους «B» είναι :

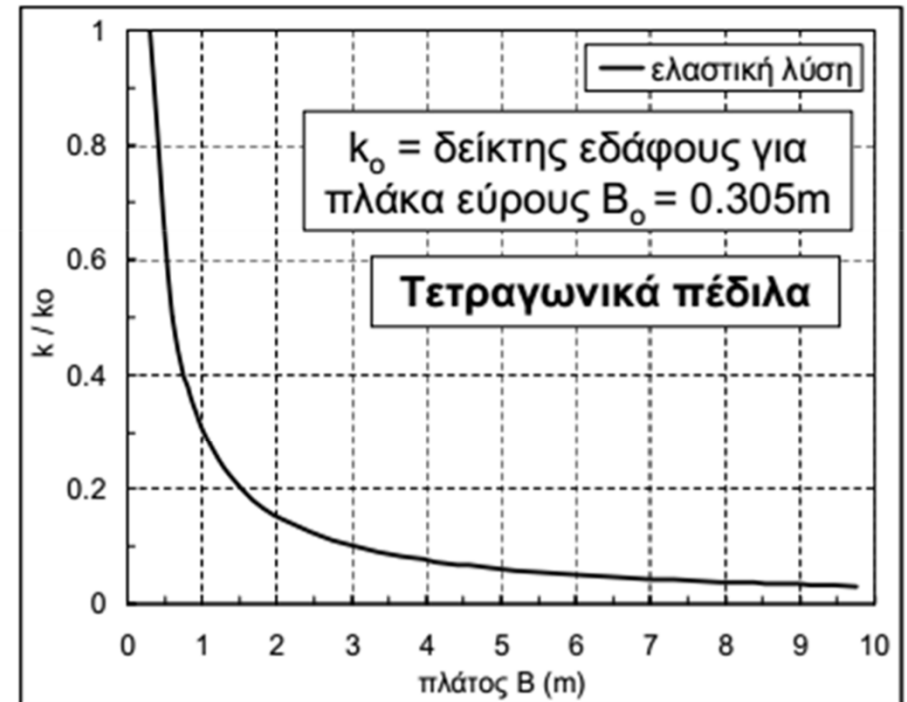
$$k = k_o \frac{B_o}{B}$$

Παρατήρηση : Ο δείκτης εδάφους δεν είναι σταθερή παράμετρος του εδάφους αλλά εξαρτάται από τις διαστάσεις του πεδίου (με την παραδοχή γραμμικής ελαστικότητας). Συγκεκριμένα, ο δείκτης k μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του B .

Για ορθογωνικά πέδιλα ($L = \text{μήκος} > B$):

$$k = k_o \frac{B_o}{B} \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{B}{L} \right)$$

Για λωρίδα ($L = \infty$): $k = \frac{2}{3} k_o \frac{B_o}{B}$



Δείκτης εδάφους (Winkler)

Φόρτιση πλάκας - Συνεκτικά εδάφη

Εκτίμηση του δείκτη εδάφους k (δείκτης Winkler)

3.2 Μη-συνεκτικά (αμμώδη) εδάφη (συνέχεια) :

Αναγωγή σε πέδιλα διαφόρων διαστάσεων :

Εκτίμηση του k για τετραγωνικά πέδιλα εύρους B (κατά Terzaghi & Peck) :

Εάν κατά την δοκιμή φόρτισης πλάκας (διαστάσεως $B_o = 0.305m$) μετρηθεί δείκτης εδάφους $k_o = q_o / \rho_o$ (q_o = πίεση πλάκας, ρ_o = καθίζηση πλάκας) τότε, ο δείκτης εδάφους για τετραγωνικό πέδιλο εύρους $B > B_o$ είναι :

$$k = k_o \left(\frac{B_o}{B} \right)^2 \left(\frac{B + 0.305m}{B_o + 0.305m} \right)^2 = \frac{k_o}{4} \left(1 + \frac{0.305m}{B} \right)^2 \quad \text{όπου : } B, B_o \text{ σε μέτρα}$$

Εκτίμηση του k για ορθογωνικά πέδιλα εύρους B και μήκους $L > B$:

$$k = k_o \left(\frac{B_o}{B} \right)^2 \left(\frac{B + 0.305m}{B_o + 0.305m} \right)^2 \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{B}{L} \right) = \frac{k_o}{4} \left(1 + \frac{0.305m}{B} \right)^2 \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{B}{L} \right)$$

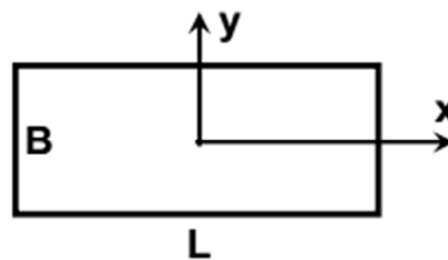
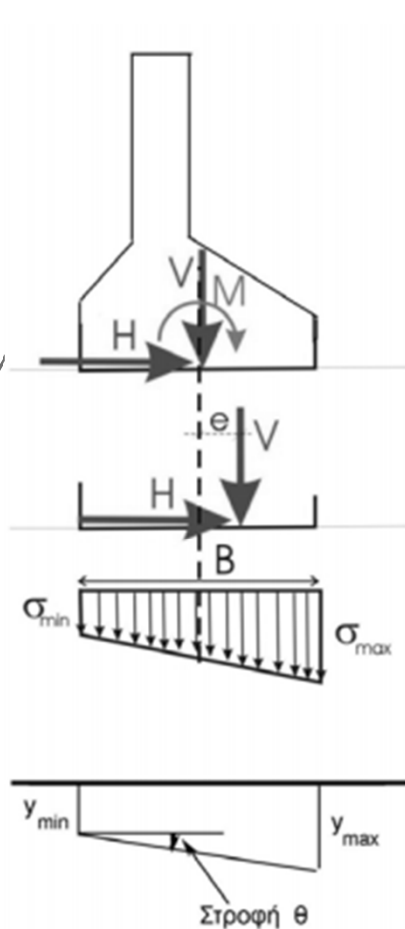
Εκτίμηση του k για πεδιλοδοκούς εύρους B ($L = \infty$):

$$k = \frac{2}{3} k_o \left(\frac{B_o}{B} \right)^2 \left(\frac{B + 0.305m}{B_o + 0.305m} \right)^2 = \frac{k_o}{6} \left(1 + \frac{0.305m}{B} \right)^2$$

Δείκτης εδάφους (Winkler) API... (κυρίως μεμονωμένα)

Παραμορφωσιμότητα άκαμπτων πεδίων σε ελαστικό έδαφος

Εάν ένα άκαμπτο ορθογωνικό πέδιλο διαστάσεων κατόψεως ($B, L > B$) φορτισθεί με εντατικά μεγέθη : V, H_x, H_y, M_x, M_y το κέντρο του θα μετακινηθεί κατά u_x, u_y και u_z και το πέδιλο θα στραφεί κατά θ_x, θ_y .



Με παραδοχή έδρασης του πεδίου επί ελαστικού εδάφους, οι αντίστοιχες δυσκαμψίες (δηλαδή οι σταθερές των ισοδύναμων ελατηρίων είναι :

Κατακόρυφο ελατήριο :

$$K_V = \frac{V}{u_z} = \frac{EL}{2(1-\nu^2)} \left[0.73 + 1.54 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.75} \right]$$

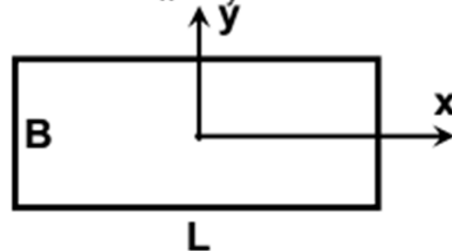
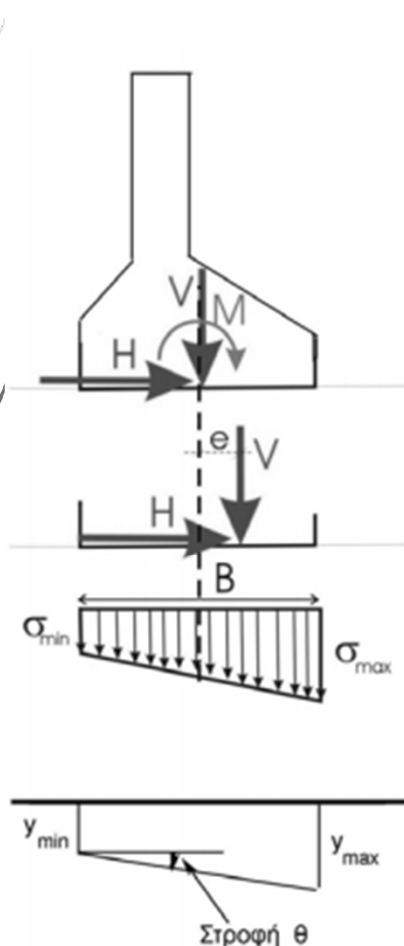
Οριζόντιο ελατήριο (κατά x και κατά y) :

$$K_{H,y} = \frac{H_y}{u_y} = \frac{EL}{(1+\nu)(2-\nu)} \left[1 + 1.25 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.85} \right]$$

$$K_{H,x} = \frac{H_x}{u_x} = K_{H,y} - \frac{EL}{5(1+\nu)(3-4\nu)} \left[1 - \left(\frac{B}{L} \right) \right]$$

Δείκτης εδάφους (Winkler) API... (κυρίως μεμονωμένα)

Παραμορφωσιμότητα άκαμπτων πεδίων σε ελαστικό έδαφος (κατά API)
Εάν ένα άκαμπτο ορθογωνικό πέδιλο διαστάσεων κατόψεως (B, L>B) φορτισθεί με εντατικά μεγέθη : V, H_x, H_y, M_x, M_y το κέντρο του θα μετακινηθεί κατά u_x, u_y και u_z και το πέδιλο θα στραφεί κατά θ_x, θ_y.



Με παραδοχή έδρασης του πεδίου επί ελαστικού εδάφους, οι αντίστοιχες δυσκαμψίες (δηλαδή οι σταθερές των ισοδύναμων ελατηρίων είναι :

Στροφικό ελατήριο (στροφή περί τον άξονα x) :

$$K_{M_x} = \frac{M_x}{\theta_x} = \frac{E L B^2}{8(1-\nu^2)} \left(1.49 + 0.31 \frac{B}{L} \right)$$

Στροφικό ελατήριο (στροφή περί τον άξονα y) :

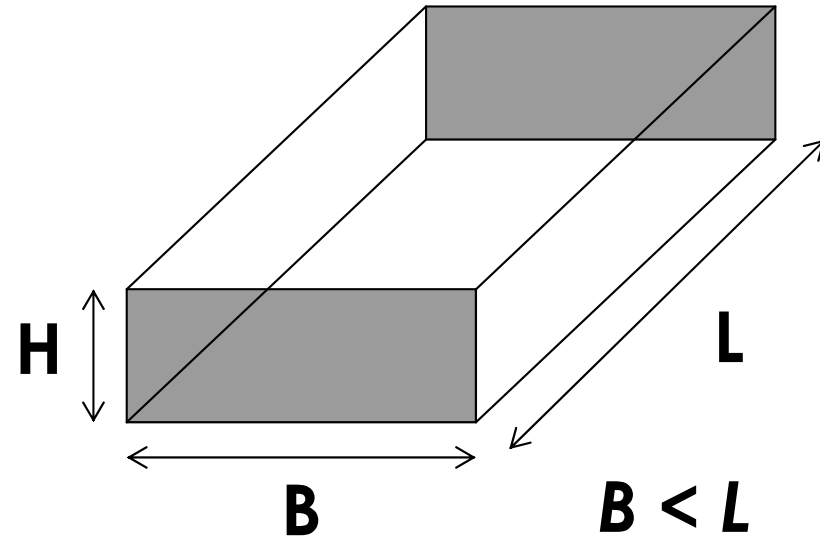
$$K_{M_y} = \frac{M_y}{\theta_y} = \frac{0.225 E}{(1-\nu^2)} L^{2.10} B^{0.90}$$

Στροφικό ελατήριο (στροφή περί κατακόρυφο άξονα) :

$$K_{M_z} = \frac{M_z}{\theta_z} = \frac{E}{2(1+\nu)} J^{0.75} \left[4 + 11 \left(1 - \frac{B}{L} \right)^{10} \right] \quad J = \frac{B L}{12} (B^2 + L^2)$$

Δείκτης εδάφους (Winkler) Μέθοδος Vesic (1961) για πεδιλοδοκούς

$$k = \frac{0.65}{1 - \nu^2} \left(\frac{E \cdot B^4}{E_b \cdot I} \right)^{1/12} \frac{E}{B}$$



E, ν : μέτρο ελαστικότητας και λόγος Poisson του εδάφους

E_b, B, I : μέτρο ελαστικότητας, πλάτος και ροπή αδράνειας της πεδιλοδοκού

Υπενθύμιση από
Μηχανική:

$$I = \frac{B \cdot H^3}{12}$$

όπου H : ύψος πεδιλοδοκού

Δείκτης εδάφους (Winkler) Σύμφωνα με BETON KALENDER (1984)

$$k_s = k_{s1} \cdot \left(\frac{B + 0.3}{2B} \right)^2$$

για άμμους

$$k_s = k_{s1} \cdot \frac{L/B + 0.5}{1.5 L/B} \cdot \frac{0.3}{B}$$

για προφορτισμένες αργίλους

Όπου το k_{s1} αφορά τετραγωνική πλάκα 30cm και μπορεί να ληφθεί σε MN/m³ ως:

Άμμος	Χαλαρή	Πυκνή	Πολύ πυκνή
Ξηρή ή υγρή	10	40	160
Υπό το νερό	10	30	100

Άργιλος	Ημί-στερεή	Σκληρή	Πολύ σκληρή
Αντοχή δοκιμής συμπίεσομέτρου	0.1-0.2	0.2-0.4	0.4
το k_{s1} είναι	20	50	100

$$k_s = \frac{E_s}{f \cdot \sqrt{L \cdot B}}$$

Απλοποιητικός τύπος για πρακτικές εφαρμογές. Ο συντελεστής f εξαρτάται από τη μορφή του θεμελίου και για συνήθεις συνθήκες μπορεί να ληφθεί ίσος με 0.4.

Δείκτης εδάφους (Winkler)

Διεθνή βιβλιογραφία για πεδιλοδοκούς

Εκτίμηση του δείκτη εδάφους k (δείκτης Winkler)

Προτεινόμενες τιμές του δείκτη εδάφους (k) για «συνήθεις» πεδιλοδοκούς σε διάφορους τύπους εδαφών (κατά Bowles) :

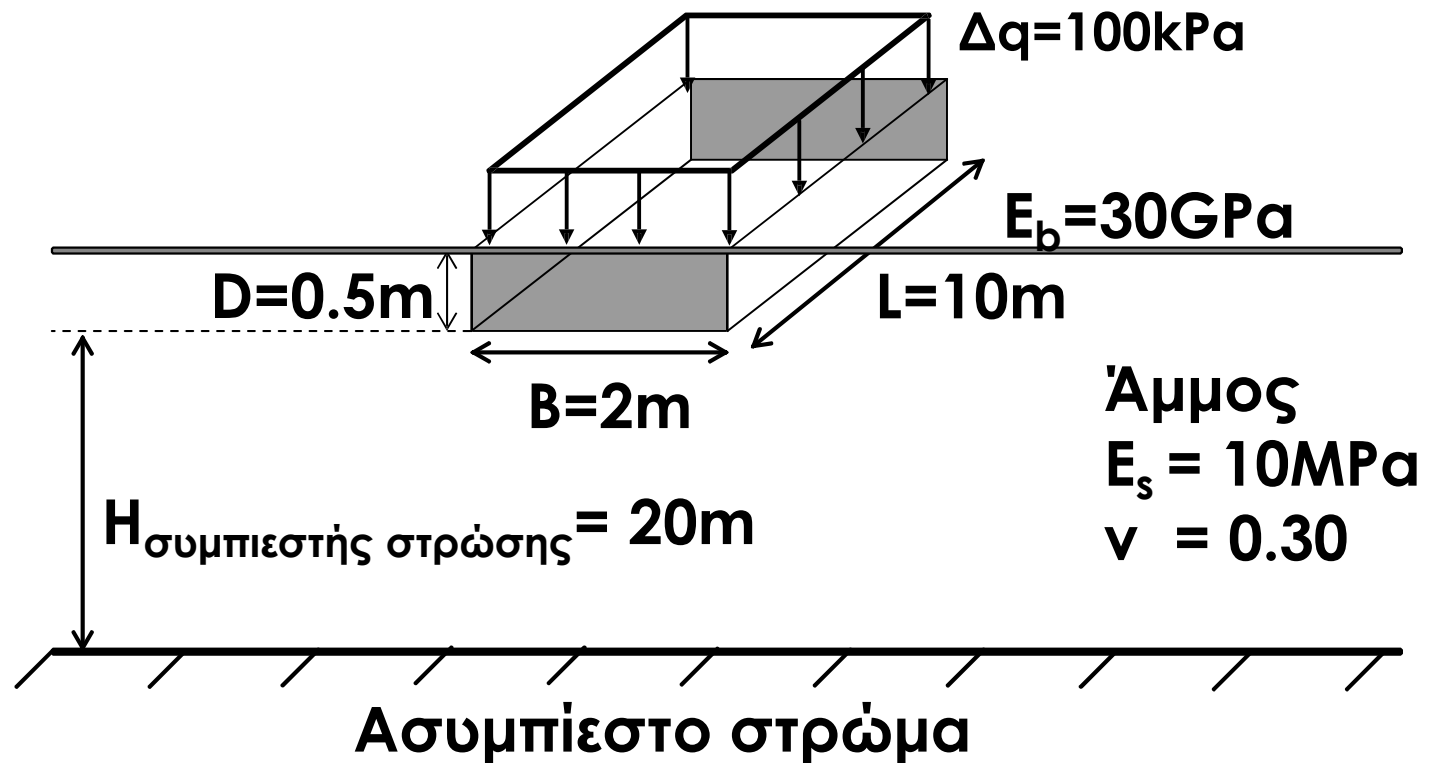
Είδος εδάφους	k (MN/m ³)
Άμμοι :	
Χαλαρές ($D_r < 50\%$)	4.8 – 16
Μέσης πυκνότητας ($D_r = 50-75\%$)	9.6 – 80
Πυκνές ($D_r > 75\%$)	64 – 128
Αργιλώδεις άμμοι μέσης πυκνότητας	32 – 80
Ιλυώδεις άμμοι μέσης πυκνότητας	24 – 48
Αργίλοι :	
Μαλακές ($q_u = 25-50$ kPa)	5 – 12
Συνεκτικές ($q_u = 50-100$ kPa)	12 – 18
Στιφρές ($q_u = 100-200$ kPa)	18 – 24
Πολύ στιφρές ($q_u = 200-400$ kPa)	24 – 48
Πολύ σκληρές ($q_u > 800$ kPa)	> 48

ΠΡΟΣΟΧΗ : Ο δείκτης εδάφους (k) εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά της πεδιλοδοκού (L , B , I , E_b). Συνεπώς, οι ανωτέρω τιμές είναι ενδεικτικές.

Σημείωση : $10 \text{ MN/m}^3 = 1 \text{ kg/cm}^3$

Μια τυπική άσκηση...

Για την πεδילוδοκό του σχήματος να υπολογιστεί η καθίζηση και ο δείκτης εδάφους. Ο υπολογισμός να γίνει με δύο τρόπους: (α) εκτίμηση του δείκτη εδάφους με τη θεωρία του Vesic και υπολογισμός καθιζήσεων μέσω αυτού και (β) εκτίμηση των καθιζήσεων με τη μέθοδο Steinbrenner και στη συνέχεια εκτίμηση του δείκτη εδάφους μέσω του λόγου p/δ .

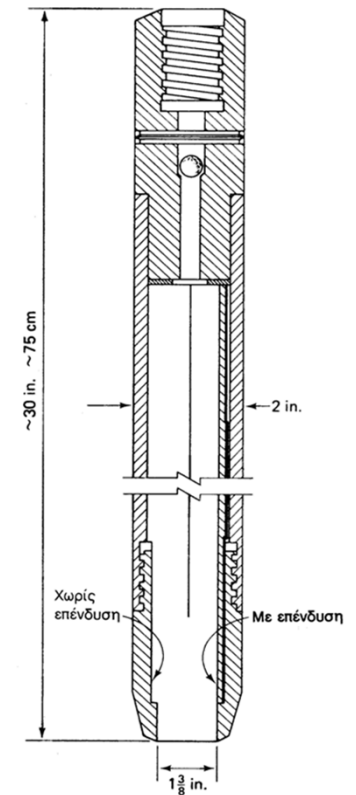
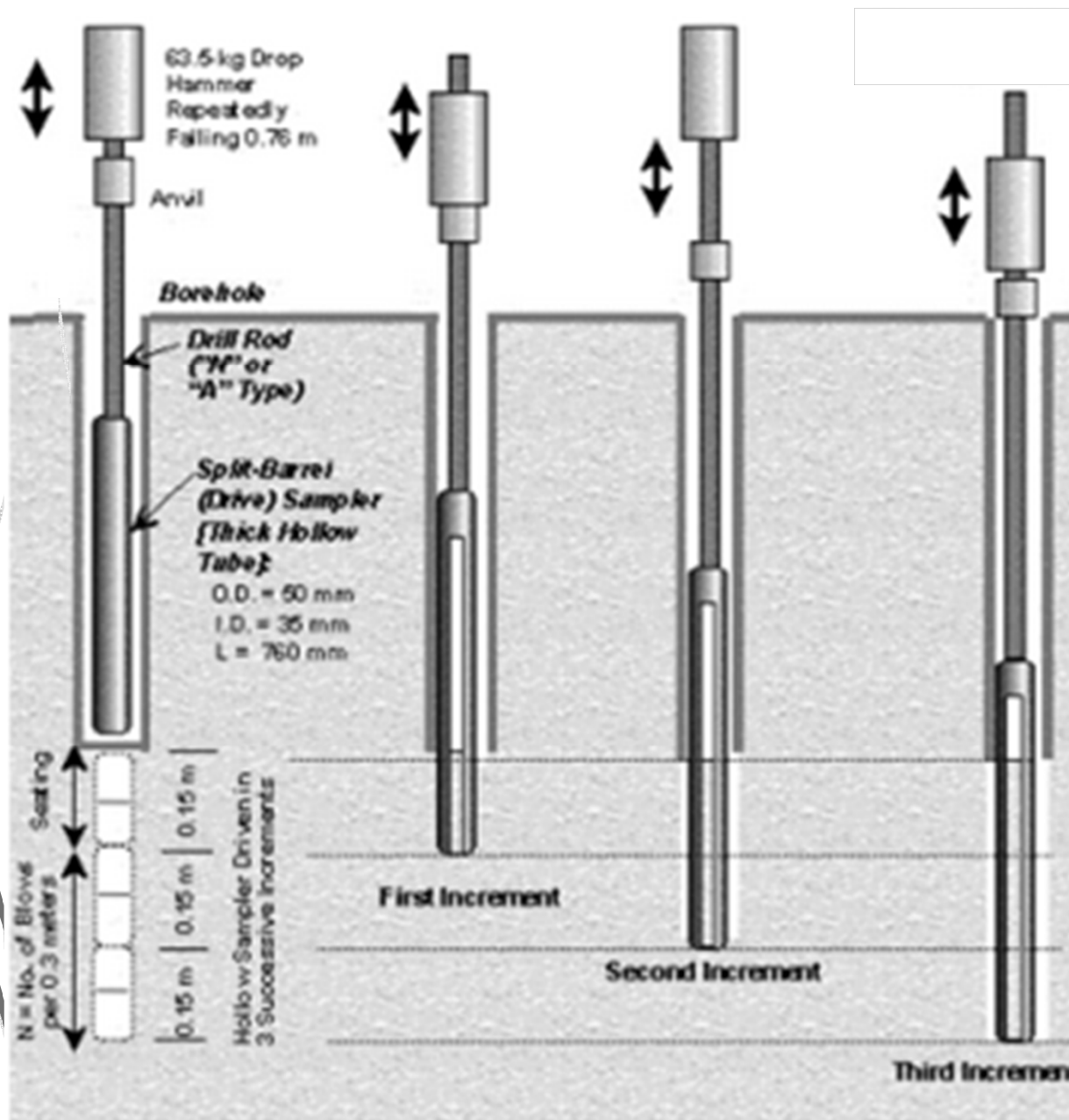




Θεμελιώσεις

Καθιζήσεις επιφανειακών θεμελιώσεων V
Εκτίμηση καθιζήσεων από δοκιμές SPT, CPT
Άλλες διορθώσεις

Πρότυπη Δοκιμή διείσδυσης SPT (Standard Penetration Test)



Η αντοχή SPT, δηλαδή ο αριθμός κρούσεων N_{SPT} , είναι το άθροισμα των κτύπων που απαιτούνται για να μπει η συσκευή εντός των τελευταίων 30cm της δοκιμής (αφαιρούμε τα πρώτα 15cm)

Δοκιμή SPT

Διορθώσεις του αριθμού N_{SPT}

Προκειμένου να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα της δοκιμής SPT ανεξαρτήτως πως ακριβώς έχει πραγματοποιηθεί και σε ποιο βάθος αναφερόμαστε, γίνονται οι ακόλουθες διορθώσεις:

- Σε λεπτόκοκκες άμμους (ή αμμώδεις ιλύες) με $N_{SPT} > 15$, κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, απαιτείται διόρθωση:

$$N'_{SPT} = 15 + 0.5(N_{SPT} - 15)$$

- $N_{60} = N'_{SPT} C_E C_B C_R C_S$

- C_E διόρθωση **ενέργειας** πτώοντος βάρους
- C_B διόρθωση λόγω της **διαμέτρου** της γεώτρησης
- C_R διόρθωση λόγω του ελεύθερου **μήκους** του στελέχους
- C_S διόρθωση λόγω **τύπου δειγματολήπτη**

- $N_{1,60} = N'_{SPT} C_E C_B C_R C_S C_N$

- C_N αναγωγή σε **κατακόρυφη ενεργό τάση ίση με 100kPa**.

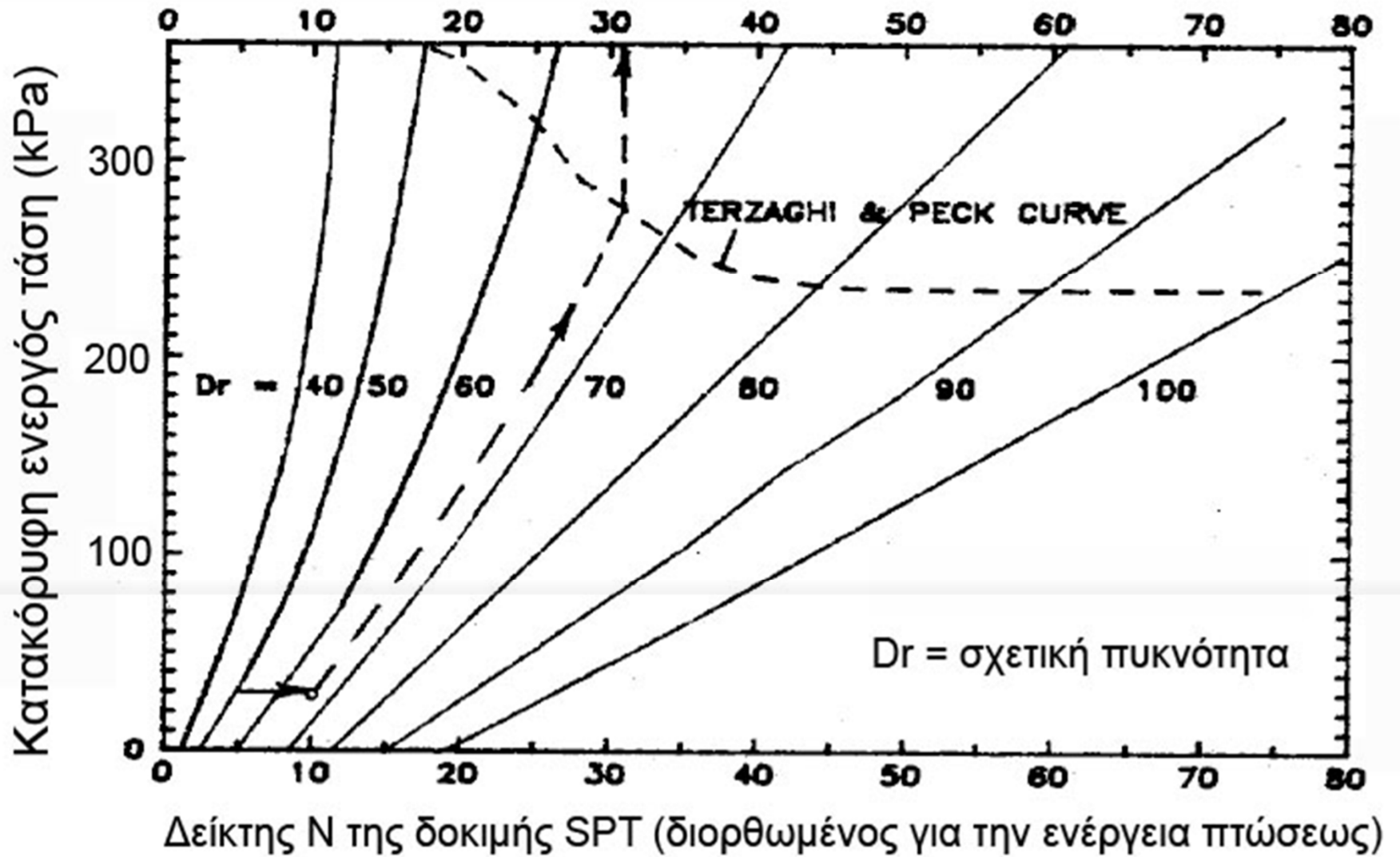
- N' αναγωγή κατά Terzaghi & Peck **σε σχετική πυκνότητα 100%**.

Διορθώσεις του αριθμού N_{SPT}

1996 NCEER-1998 NCEER/NSF WORKSHOPS

Συντελεστής Διόρθωσης	Σύμβολο	Τύπος	Τιμές
Ενέργεια πύπτοντος βάρους	C_E	"Donut hammer"	0.50-1.00
		"Safety hammer"	0.70-1.20
		"Automatic-trip Donut type Hammer"	0.80-1.30
Διάμετρος της γεώτρησης	C_B	65-115mm	1.00
		150mm	1.05
		200mm	1.15
Ελεύθερο μήκος του στελέχους	C_R	<3m	0.75
		3-4m	0.80
		4-6m	0.85
		6-10m	0.95
		10-30m	1.00
Τύπος δειγματολήπτη	C_S	Standard sampler	1.00
		"Sampler without liners"	1.10-1.30
Αναγωγή σε τάση 100kPa	C_N	minimum of $(100/\sigma'_{vo})^{0.50}$ and 1.70	

Διορθώσεις του αριθμού N_{SPT} Αναγωγή κατά Terzaghi & Peck σε σχετική πυκνότητα 100%.



Εκτίμηση καθιζήσεων...

Απευθείας από τη δοκιμή SPT

Εμπειρική μέθοδος Alpan (1964) για άκαμπτα πέδιλα:

$$\rho_i = 0.0254 a_o \left(\frac{L}{B} \right)^{0.39} \left(\frac{2B}{0.305 + B} \right)^2 \Delta q$$

Άμεσες καθιζήσεις
Μη συνεκτικά εδάφη

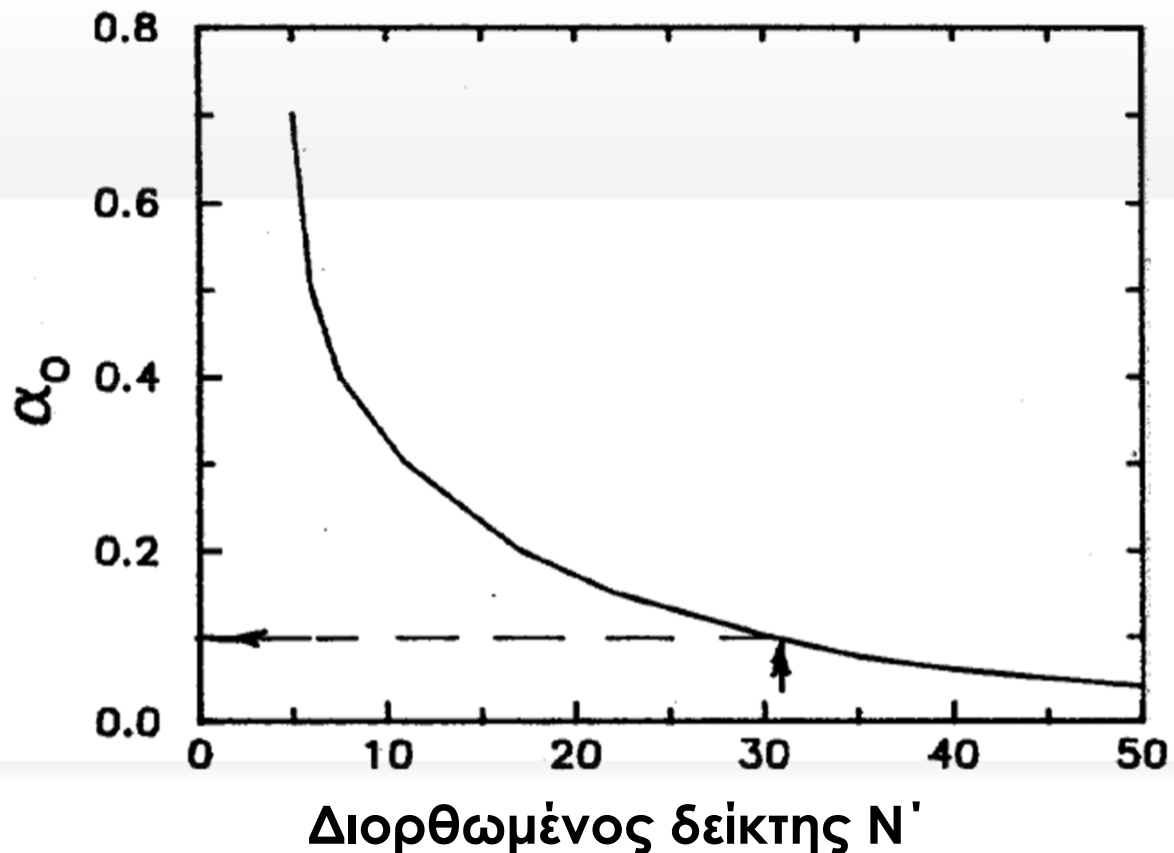
Όπου:

ρ_i η άμεση καθίζηση του πεδύλου (σε cm)

B, L οι διαστάσεις του πεδύλου με $B < L$ (σε m)

Δq η μέση πρόσθετη τάση του πεδύλου στο έδαφος (σε kPa)

a_o εμπειρικός συντελεστής που εξαρτάται από το N' μετά από αναγωγή σε $D_r = 100\%$



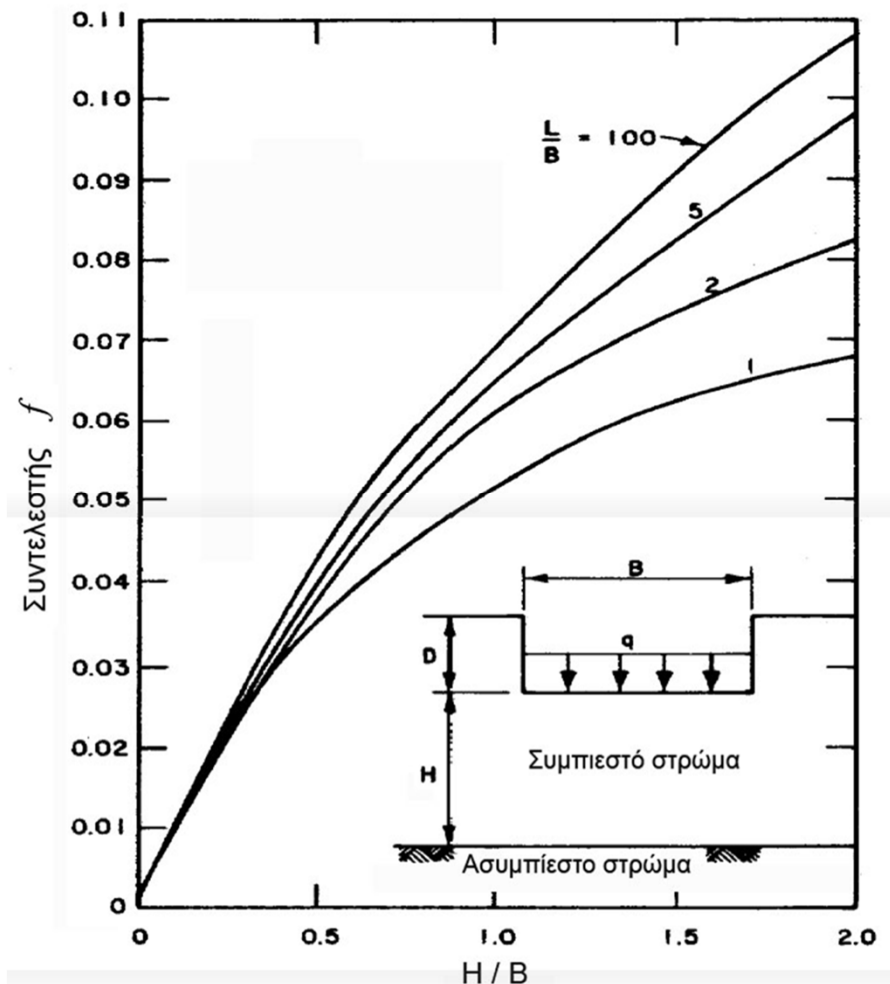
Εκτίμηση καθιζήσεων...

Απευθείας από τη δοκιμή SPT

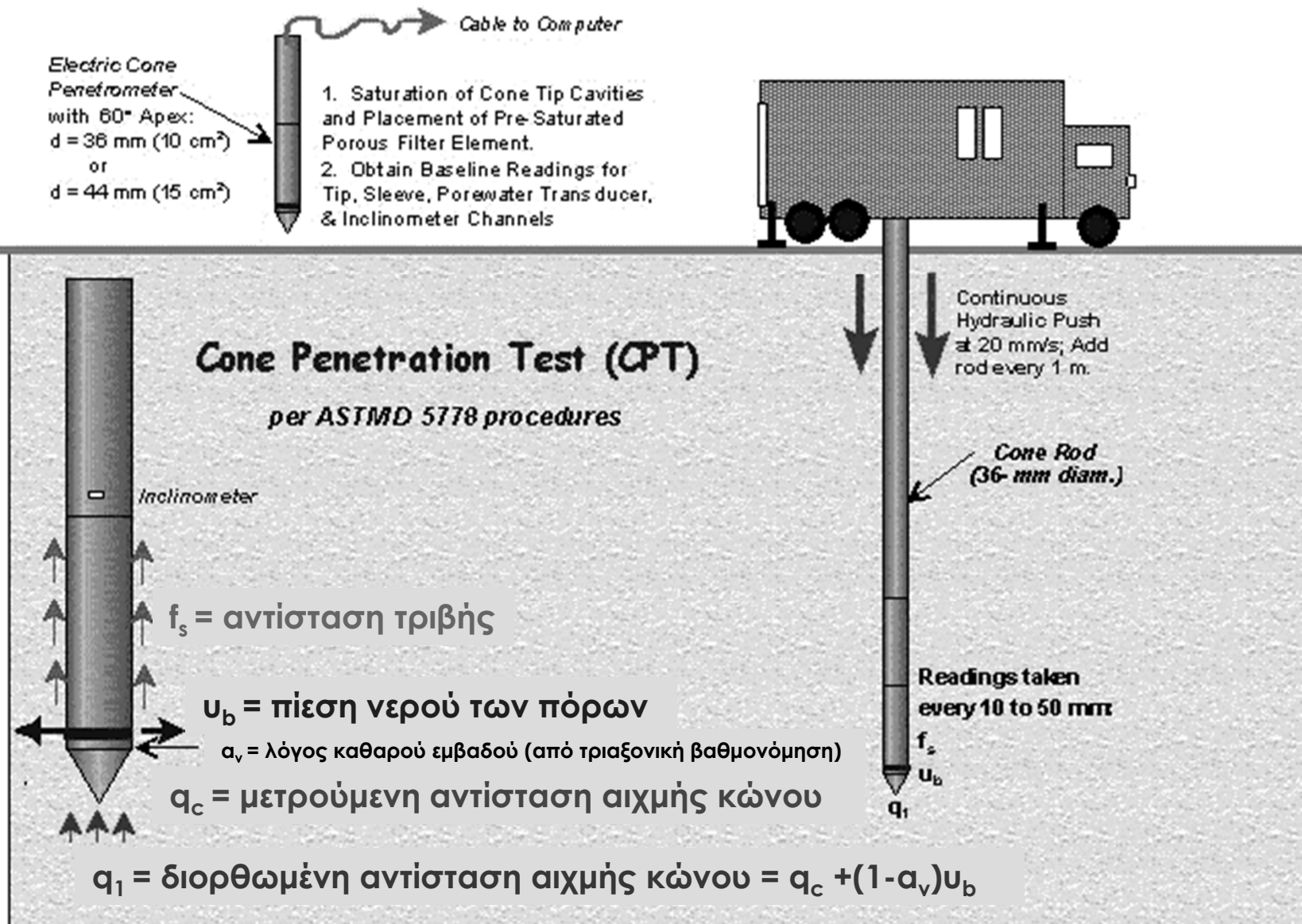
Εμπειρική μέθοδος Schultze & Sherif (1973) για άκαμπτα πέδιλα:

Άμεσες καθιζήσεις
Μη συνεκτικά εδάφη

- ρ_i άμεση καθίζηση του πεδίου (σε cm)
- B, L οι διαστάσεις του πεδίου με $B < L$ (σε m)
- D βάθος του πεδίου από την επιφάνεια του εδάφους (σε m)
- H $\min\{\text{πάχος συμπίεστης στρώσης, } 2B\}$ (σε m)
- Δq μέση πρόσθετη πίεση του πεδίου στο έδαφος (σε kPa)
- N' Δείκτης SPT, διορθωμένος κατά Terzaghi & Peck (αναγωγή σε $D_r=100\%$)
- f εμπειρικός συντελεστής



Δοκιμή Στατικής Πενετρομέτρησης CPT (Cone Penetration Test)



Διορθώσεις CPT και εκτίμηση για το είδος εδάφους...

Προκειμένου να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα της δοκιμής CPT ανεξαρτήτως σε ποιο βάθος αναφερόμαστε, γίνονται οι ακόλουθες διορθώσεις:

$$q_{c1N} = C_Q(q_c/P_d)$$

C_Q αναγωγή σε **κατακόρυφη ενεργό τάση ίση με 100kPa**, σύμφωνα με την εξίσωση:

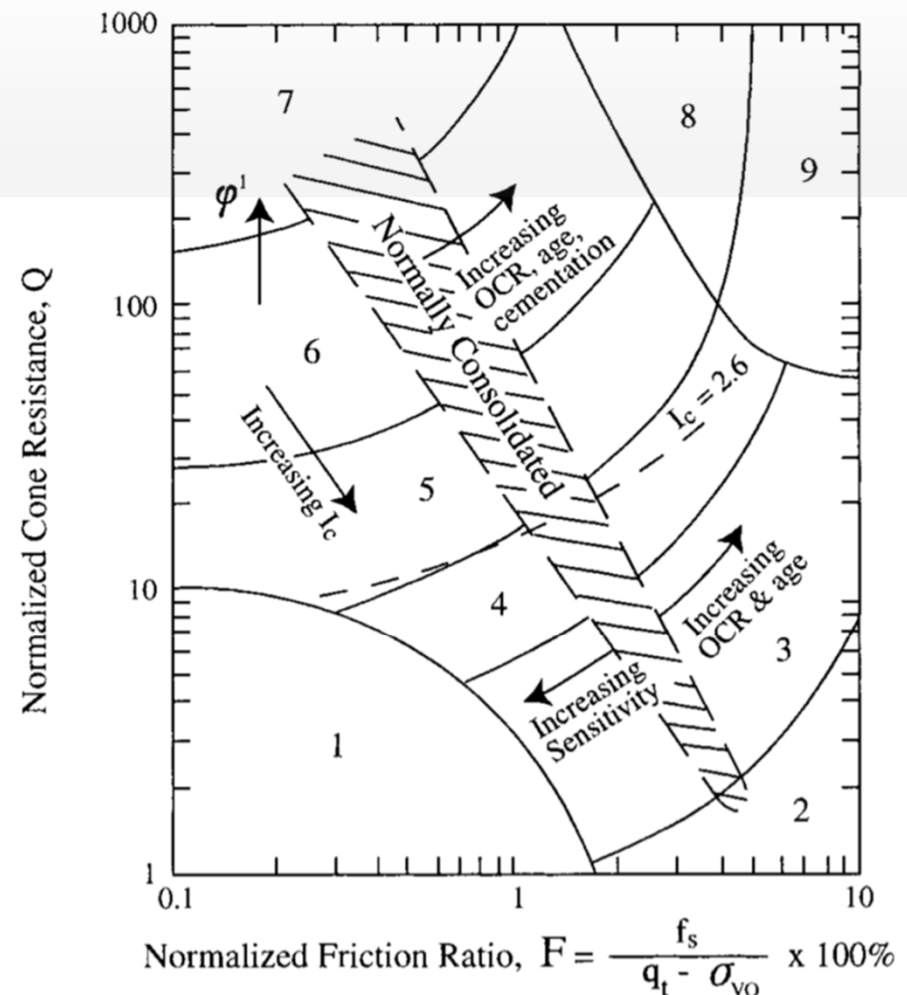
$$C_Q = \min\{(P_d/\sigma'_{vo})^n, 1.7\}$$

όπου $n=1$ (άργιλοι) έως 0.5 (άμμοι)

Το **είδος του εδάφους** δίνεται με επαναληπτική διαδικασία από το διάγραμμα για

$$Q = [(q_c - \sigma_{vo})/P_d] [(P_d/\sigma'_{vo})^n]$$

$$F = [f_s / (q_c - \sigma_{vo})] \times 100\%$$



- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Sensitive, fine grained | 6. Sands - clean sand to silty sand |
| 2. Organic soils - peats | 7. Gravelly sand to dense sand |
| 3. Clays - silty clay to clay | 8. Very stiff sand to clayey sand* |
| 4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay | 9. Very stiff, fine grained* |
| 5. Sand mixtures - silty sand to sandy silt | |

*Heavily overconsolidated or cemented

Εκτίμηση καθιζήσεων από τη δοκιμή CPT...

Άμεσες καθιζήσεις
Μη συνεκτικά εδάφη

Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα:

$$\rho_i = C_1 C_t (q - \sigma'_{vD}) \sum_{j=1}^n I_{zj} \frac{\Delta z_j}{E_j}$$

- ρ_i άμεση καθίζηση του πεδίου (σε μονάδες συμβατές με το πάχος Δz_j)
 C_1 διόρθωση λόγω αποφόρτισης στο βάθος D (= βάθος έδρασης του πεδίου)

$$C_1 = 1 - 0.5 \frac{\sigma'_{vD}}{|q - \sigma'_{vD}|} \geq 0.5$$

- σ'_{vD} κατακόρυφη ενεργός τάση στο βάθος έδρασης του πεδίου D
 q μέση πίεση του πεδίου στο έδαφος
 Δz_j πάχος στρώσης j. Συνήθως χωρίζεται σε ζώνες: $\Delta z_j = (0.1 \sim 0.2) B$
 E_j μέτρο ελαστικότητας της στρώσης j
 C_t διόρθωση λόγω αύξησης της καθίζησης με την πάροδο του χρόνου (t σε έτη)

$$C_t = 1 + 0.2 \log(10t) \quad \text{για άμεση καθίζηση } t=0.1 \text{ έτη: } C_t=1.0$$

- I_{zj} συντελεστής επιρροής της στρώσης j (από διάγραμμα).

Εκτίμηση καθιζήσεων από τη δοκιμή CPT...

Άμεσες καθιζήσεις
Μη συνεκτικά εδάφη

Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα:

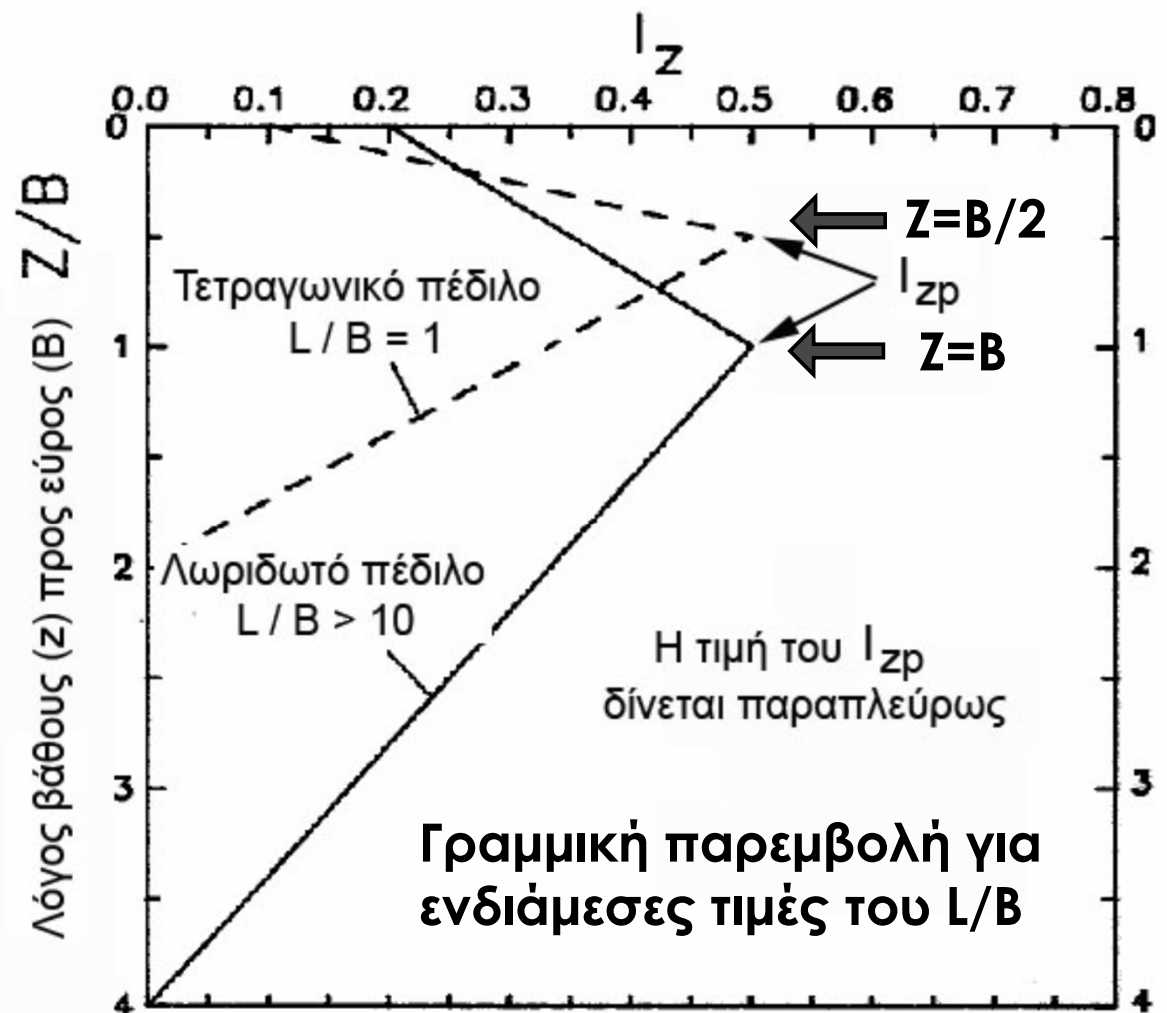
$$I_{zp} = 0.5 + 0.1 \sqrt{\frac{|q - \sigma'_{vD}|}{\sigma'_{vI}}}$$

σ'_{vI} κατακόρυφη ενεργός τάση σε βάθος (z) κάτω από τη στάθμη έδρασης του πεδίλου

όπου:

$z = B$, για λωριδωτό πέδιλο

$z = B/2$, για τετραγωνικό πέδιλο





... καλό μεσημέρι!

