

ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

« ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ »

7ο ΕΞ. ΠΟΛ-ΜΗΧ. ΕΜΠ - Ακαδ. Έτος 2006 - 07

ΔΙΑΛΕΞΗ 6

Καθιζήσεις Επιφανειακών Θεμελιώσεων :
Υπολογισμός καθιζήσεων σε αμμώδη εδάφη

20.12.2006

Υπολογισμός καθιζήσεων σε αμμώδη εδάφη

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

ρ_i = άμεση καθίζηση

ρ_c = καθίζηση εκ στερεοποίησης

ρ_s = ερπυστική (δευτερεύουσα) καθίζηση

Καθιζήσεις στερεοποίησης και ερπυστικές σε μή-συνεκτικά (αμμώδη) εδάφη :

Συνήθως αποτελούν αμελητέο ποσοστό της συνολικής καθίζησης, επειδή:

- (1) Η καθίζηση λόγω στερεοποίησης ενσωματώνεται στην άμεση καθίζηση, λόγω της πολύ ταχείας αποτόνωσης των υπερπιέσεων πόρων στα αμμώδη εδάφη (επειδή έχουν μεγάλη διαπερατότητα)
- (2) Οι ερπυστικού τύπου καθιζήσεις στα αμμώδη εδάφη συνήθως είναι αμελητέες

Στα επόμενα εξετάζονται μόνον οι άμεσες καθιζήσεις
μή-συνεκτικών (αμμωδών) εδαφών

Υπολογισμός μεγέθους καθιζήσεων επιφανειακών θεμελιώσεων

Καθιζήσεις (άμεσες) σε μή-συνεκτικά εδάφη :

- Οφείλονται στην αναδιάταξη των εδαφικών κόκκων λόγω της επιβολής του φορτίου, με μείωση του πορώδους
- Συνήθως έχουν μικρό μέγεθος (σε σύγκριση με την καθίζηση αντίστοιχων πεδίων σε αργιλικά εδάφη)
- Συνήθως είναι πρακτικώς ανελαστικές (δηλαδή με την αφαίρεση του φορτίου ανακτάται πολύ μικρό μέρος της καθίζησης)
- Επηρεάζονται από την έντονα μή-γραμμική συμπεριφορά των αμμωδών εδαφών, στα οποία η τιμή του μέτρου ελαστικότητας εξαρτάται έντονα από την επιβαλλόμενη φόρτιση (το E αυξάνει με την συμπίεση). Συνεπώς, δεν ισχύει η ελαστικότητα.

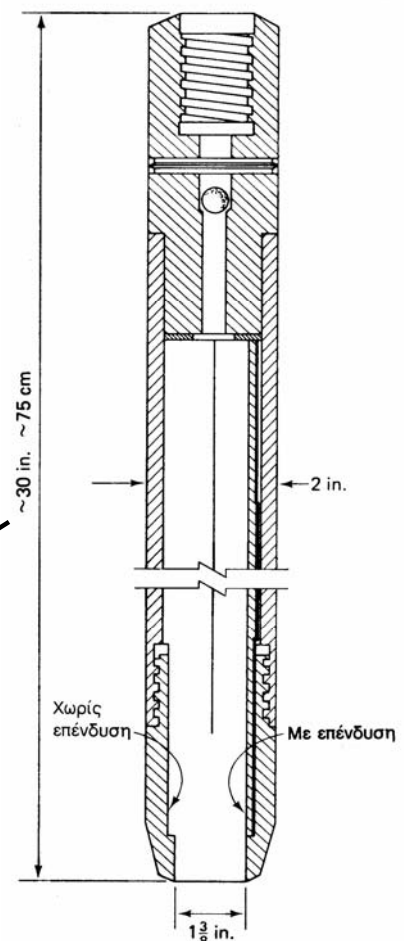
Για τους ανωτέρω λόγους, οι καθιζήσεις των μή-συνεκτικών εδαφών συνήθως υπολογίζονται με εμπειρικές μεθόδους που βασίζονται κυρίως σε επιτόπου δοκιμές (SPT, CPT, δοκιμή φόρτισης πλάκας, κλπ).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Όποτε εφαρμόζονται «ελαστικές» σχέσεις για την εκτίμηση των καθιζήσεων σε αμμώδη εδάφη, οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας (E) εκτιμώνται με εμπειρικές μεθόδους (ως προηγουμένως)

Καθιζήσεις σε μή-συνεκτικά εδάφη

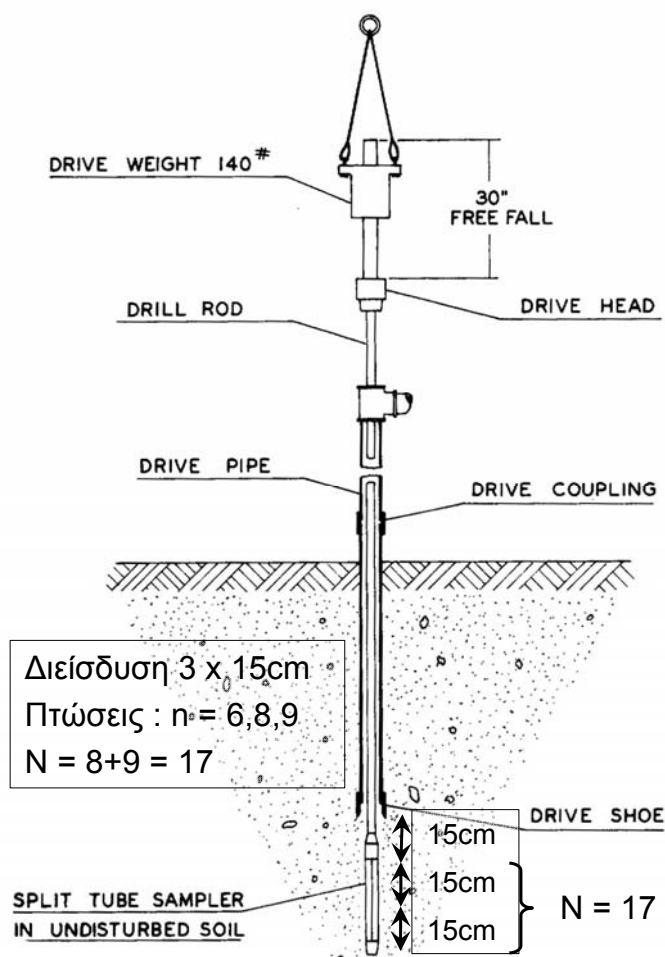


1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :

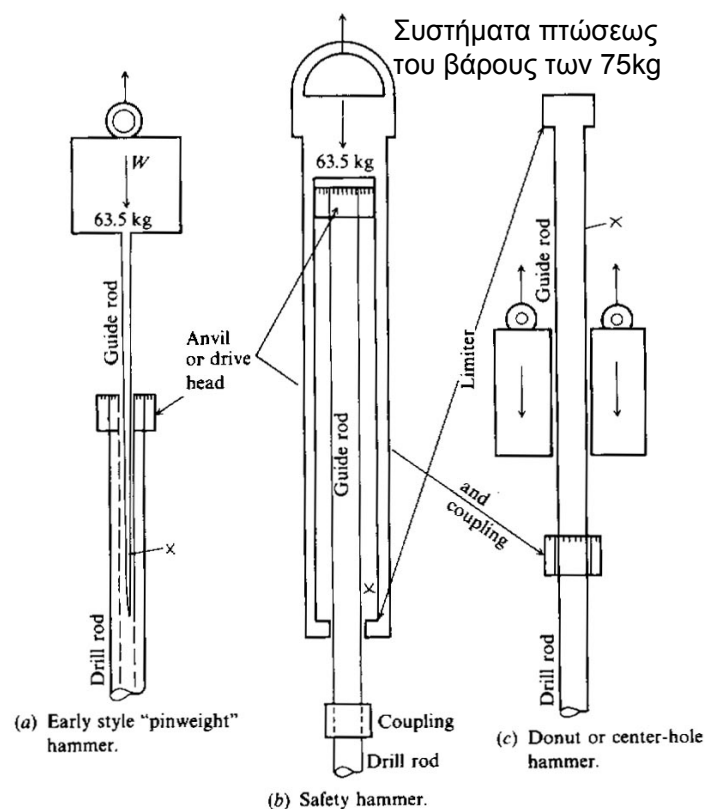


Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :

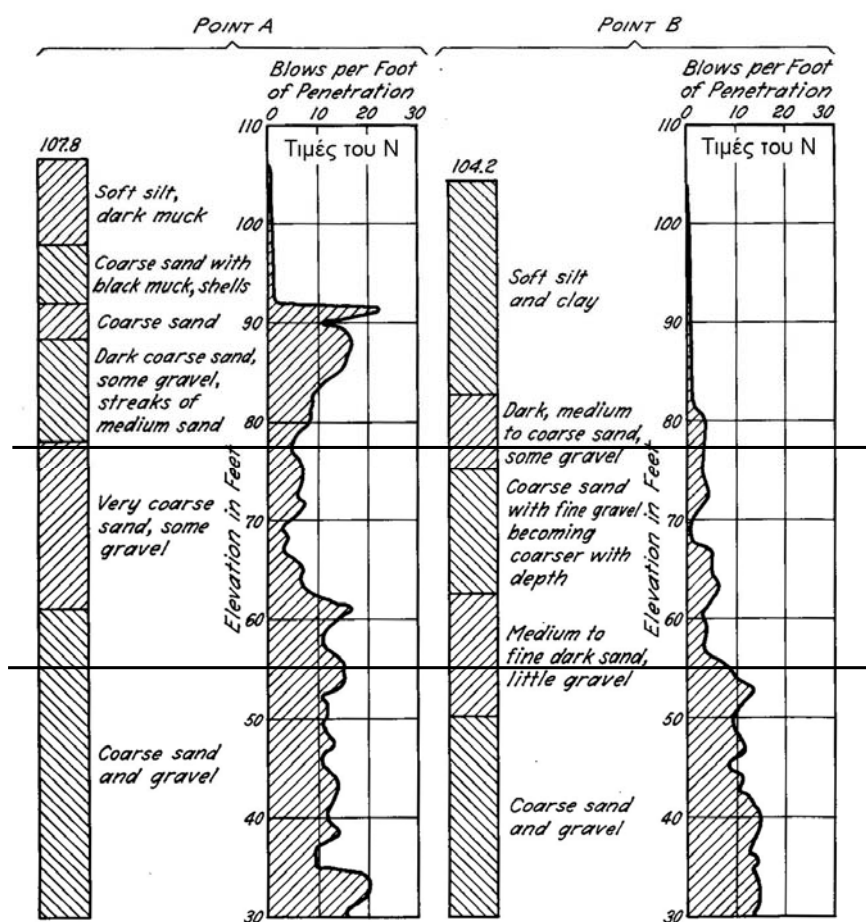


N = Αριθμός πτώσεων του βάρους για προχώρηση κατά 30 cm (μετά τα πρώτα 15cm)



Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :



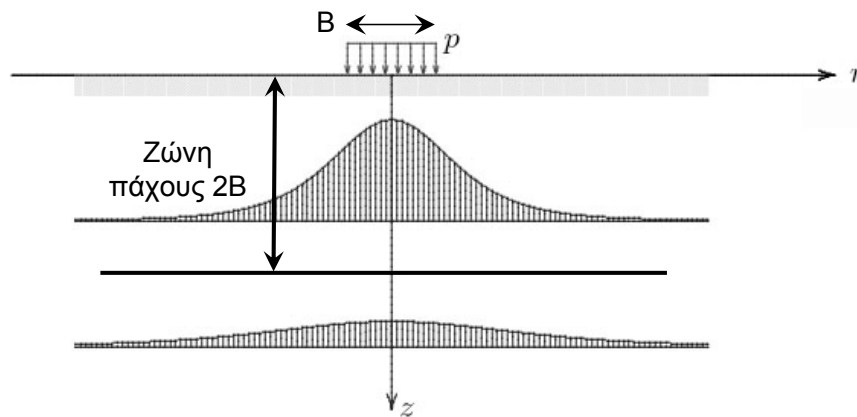
Τυπικά διαγράμματα του δείκτη N με το βάθος σε δύο γειτονικές γεωτρήσεις, σε πρόσφατο αλλουβιακό σχηματισμό.

Η διαφορά των τιμών σε αντίστοιχες στάθμες οφείλεται στην αλλαγή της κοίτης του ποταμού και την απόθεση διαφορετικού τύπου υλικών

Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :

Η καθίζηση πεδίων σε αμμώδη εδάφη υπολογίζεται με βάση τον μέσο δείκτη (N) της δοκιμής SPT σε μία ζώνη πάχους $2B$ κάτω από τη στάθμη έδρασης του πεδίου (B =πλάτος του πεδίου).



Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :

Συνήθως, η τιμή του δείκτη N που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς της καθίζησης προκύπτει από την μετρούμενη τιμή του δείκτη (N_m) μετά από διόρθωση λόγω :

1. Ποικίλης ενέργειας πτώσεως του βάρους της δοκιμής SPT : $N_{60} = C_{ER} N_m$
2. Παρουσίας υδροφόρου ορίζοντα στη θέση εκτέλεσης της δοκιμής : $N_w = C_w N_m$
3. Ποικίλου βάθους εκτέλεσης της δοκιμής (δηλαδή, ποικίλης κατακόρυφης ενεργού τάσης) : $N_n = C_n N_m$
ή, εναλλακτικά, με προσαρμογή σε συγκεκριμένη σχετική πυκνότητα (D_r)

Οπότε, ο διορθωμένος δείκτης (N) είναι :

$$N = C_{ER} C_w C_n N_m$$

1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :

Διορθώσεις του μετρούμενου δείκτη N_m της δοκιμής SPT :

1. Διόρθωση του N_m λόγω διαφορετικής ενέργειας πτώσεως σε διάφορες μεθόδους εκτέλεσης της δοκιμής (προσαρμογή στο 60% της θεωρητικής ενέργειας πτώσεως) :

$$N_{60} = C_{ER} N_m$$

Συνήθως, στην Ελλάδα, δεν απαιτείται τέτοια διόρθωση (δηλαδή $C_{ER} = 1 \Rightarrow N_{60} = N_m$) επειδή η συνήθης μέθοδος εκτέλεσης της δοκιμής δίνει ενέργεια πτώσεως περίπου ίση με το 60% της θεωρητικής ενέργειας πτώσεως.

2. Διόρθωση του N_m λόγω της παρουσίας υδροφόρου ορίζοντα :

Εάν η δοκιμή SPT εκτελεσθεί κάτω από τη στάθμη του υπογείου ορίζοντα σε λεπτόκοκκες άμμους με $N_m > 15$, η αναπτυσσόμενη αρνητική πίεση πόρων κατά τη διείσδυση του δειγματολήπτη αυξάνει πλασματικά την τιμή του N , και συνεπώς απαιτείται διόρθωση (μείωση του N_m) κατά Terzaghi :

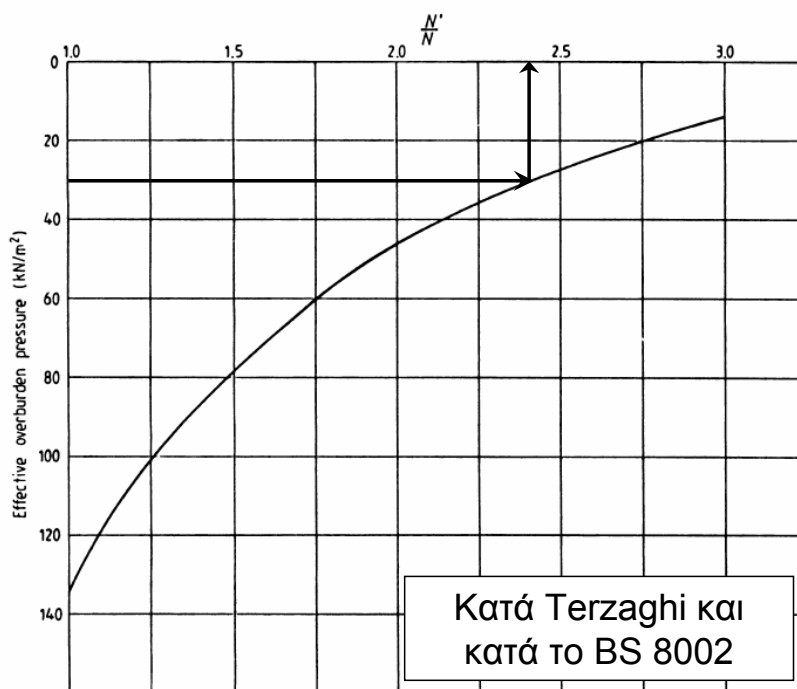
$$N = 15 + 0.5 (N_m - 15)$$

Δεν απαιτείται διόρθωση εάν $N_m < 15$ ή εάν η άμμος δεν είναι λεπτόκοκκη, επειδή στις περιπτώσεις αυτές δεν αναπτύσσονται αρνητικές πιέσεις πόρων.

3. Διόρθωση του N_m λόγω βάθους, κατά Terzaghi και κατά τον Βρετανικό Κανονισμό BS 8002 : Τιμές του συντελεστή $C_n = N_n$ (διορθωμένο) / N_m (μετρούμενο) = N' / N

Εάν η δοκιμή SPT εκτελεσθεί σε μικρό βάθος (όπου η ενεργός γεωστατική τάση είναι μικρή), η τιμή του N θα είναι μικρότερη από το N της δοκιμής στο ίδιο έδαφος αλλά σε μεγαλύτερο βάθος.

Αρα απαιτείται αναγωγή της δοκιμής σε ενιαία ενεργό γεωστατική πίεση. Κατά Terzaghi, η πίεση αναγωγής είναι : 135 kPa



Παράδειγμα : Εστω τετραγωνικό πέδιλο ($B=L=1.5m$) στο οποίο το βάθος επιρροής είναι $z=2B=3m$. Στο μέσο του βάθους επιρροής ($z=B=1.5m$), η κατακόρυφη ενεργός τάση είναι $1.5 \times 20 = 30$ kPa (υδροφόρος ορίζοντας σε μεγάλο βάθος). Η μέση τιμή του μετρημένου δείκτη N σε βάθος 0 έως $2B = 3m$ είναι $N_{60} = N_m = 10$.

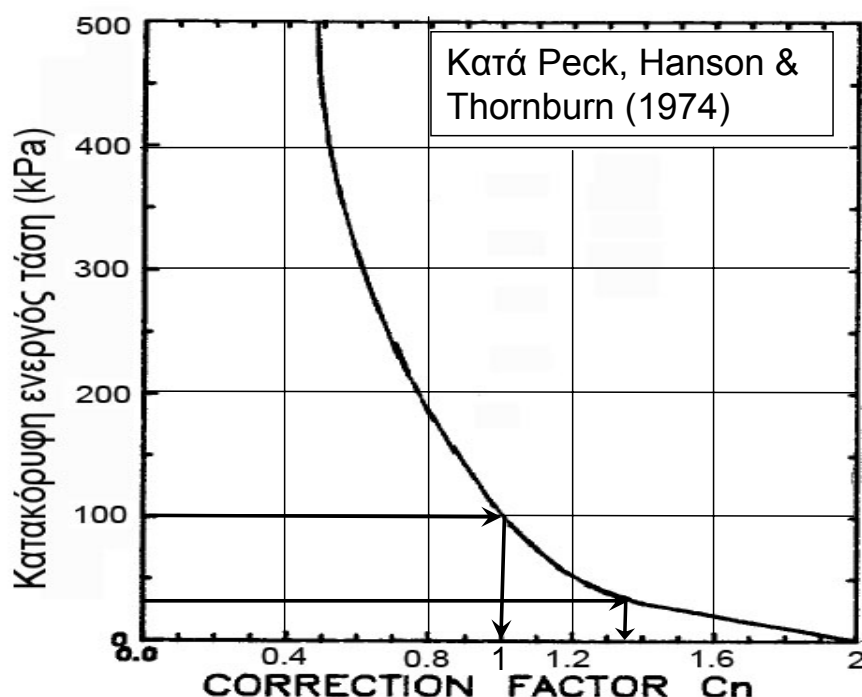
Από το διάγραμμα : $C_n = 2.40 \Rightarrow N_n = C_n N_m = 2.4 \times 10 = 24$ (διορθωμένος δείκτης)

3. Διόρθωση του N_m λόγω βάθους : Αναγωγή σε τάση υπερκειμένων $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$ μέσω του συντελεστή C_n (κατά Peck, Hanson & Thornburn, 1974) : $N_n = C_n N_m$

Εάν η δοκιμή SPT εκτελεσθεί σε μικρό βάθος (όπου η ενεργός γεωστατική τάση είναι μικρή), η τιμή του N θα είναι μικρότερη από το N της δοκιμής στο ίδιο έδαφος αλλά σε μεγαλύτερο βάθος.

Αρα απαιτείται αναγωγή της δοκιμής σε ενιαία ενεργό γεωστατική πίεση. Κατά Peck, Hanson & Thornburn (1974), η πίεση αναγωγής είναι : 100 kPa

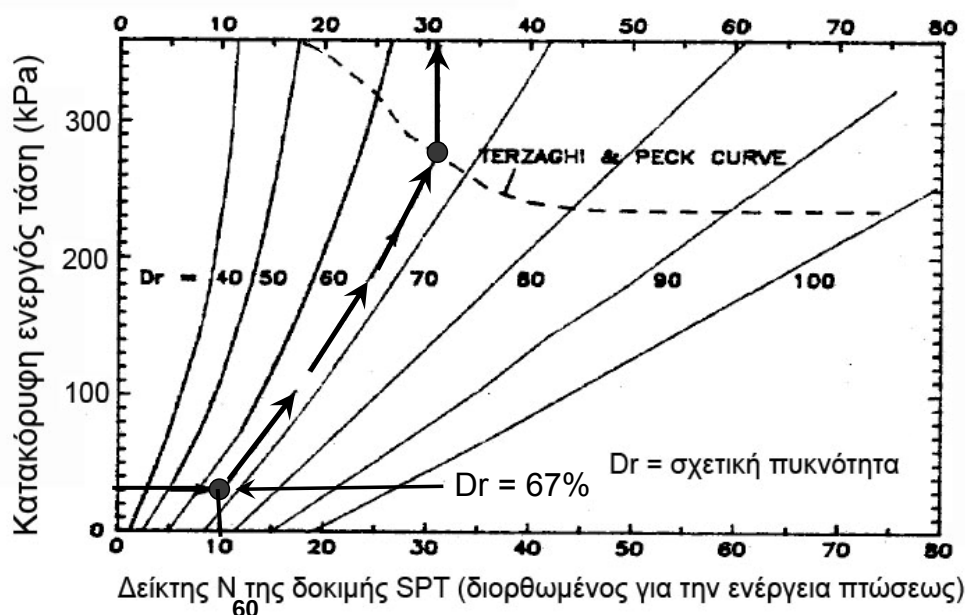
$$C_n = 0.77 \log \frac{2000}{\sigma'_{vo}}$$



Παράδειγμα : Εστω τετραγωνικό πέδιλο ($B=L=1.5\text{m}$) στο οποίο το βάθος επιρροής είναι $z=2B=3\text{m}$. Στο μέσο του βάθους επιρροής ($z=B=1.5\text{m}$), η κατακόρυφη ενεργός τάση είναι $1.5 \times 20 = 30 \text{ kPa}$ (υδροφόρος ορίζοντας σε μεγάλο βάθος). Η μέση τιμή του μετρημένου δείκτη N σε βάθος 0 έως $2B = 3\text{m}$ είναι $N_{60} = N_m = 10$.

Από το διάγραμμα : $C_n = 1.35 \Rightarrow N_n = C_n N_m = 1.35 \times 10 = 13.5$ (διορθωμένος δείκτης)

3. Αναγωγή του N_m σε σχετική πυκνότητα $D_r = 100 \%$ (κατά Terzaghi & Peck) :



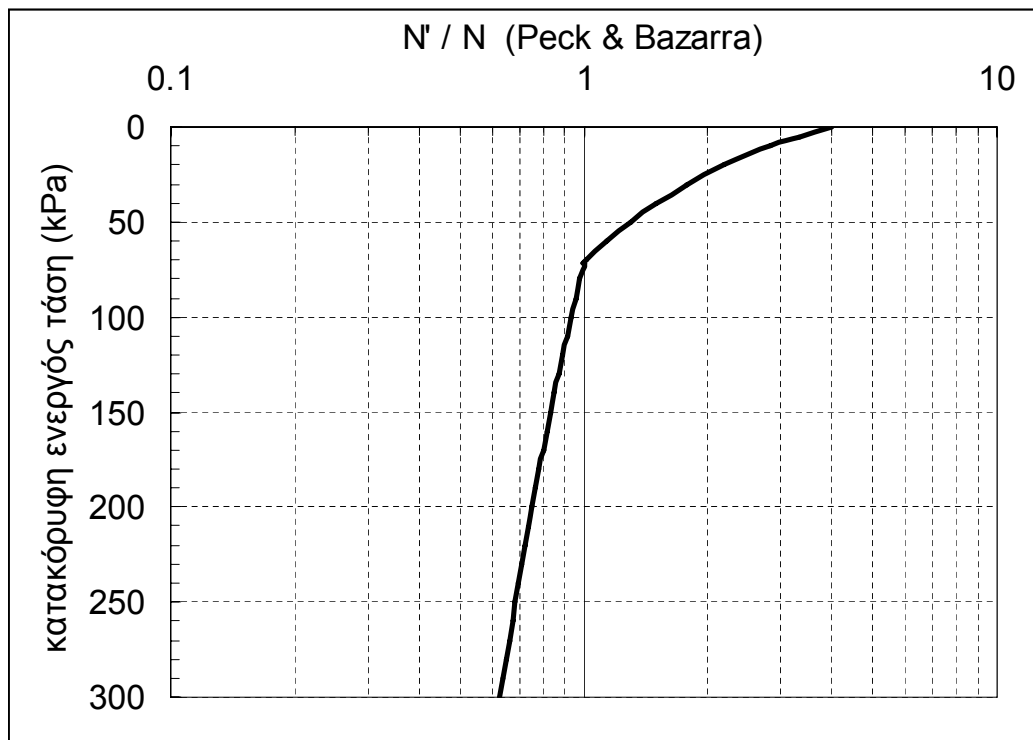
Παράδειγμα : Εστω τετραγωνικό πέδιλο ($B=L=1.5\text{m}$) στο οποίο το βάθος επιρροής είναι $z=2B=3\text{m}$. Στο μέσο του βάθους επιρροής ($z=B=1.5\text{m}$), η κατακόρυφη ενεργός τάση είναι $1.5 \times 20 = 30 \text{ kPa}$ (υδροφόρος ορίζοντας σε μεγάλο βάθος). Η μέση τιμή του μετρημένου δείκτη N σε βάθος 0 έως $2B = 3\text{m}$ είναι $N_{60} = N_m = 10$.

Η σχετική πυκνότητα της άμμου είναι $D_r = 67 \%$. Εάν η σχετική πυκνότητα της άμμου ήταν 100% , ο δείκτης N θα ήταν $N' = 31$ (ανηγμένος δείκτης).

4. Διόρθωση του μετρηθέντος $N=N_m$ λόγω βάθους (κατά Peck & Bazaraa, 1967) :

$$\text{Για κατακόρυφη ενεργό τάση } \sigma'_{vo} < 71.8 \text{ kPa : } N' = \frac{4N}{1 + 0.0418 \sigma'_{vo}}$$

$$\text{Για κατακόρυφη ενεργό τάση } \sigma'_{vo} > 71.8 \text{ kPa : } N' = \frac{4N}{3.25 + 0.0104 \sigma'_{vo}}$$



Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :

1.1. Εμπειρική μέθοδος Alpan για άκαμπτα πέδιλα :

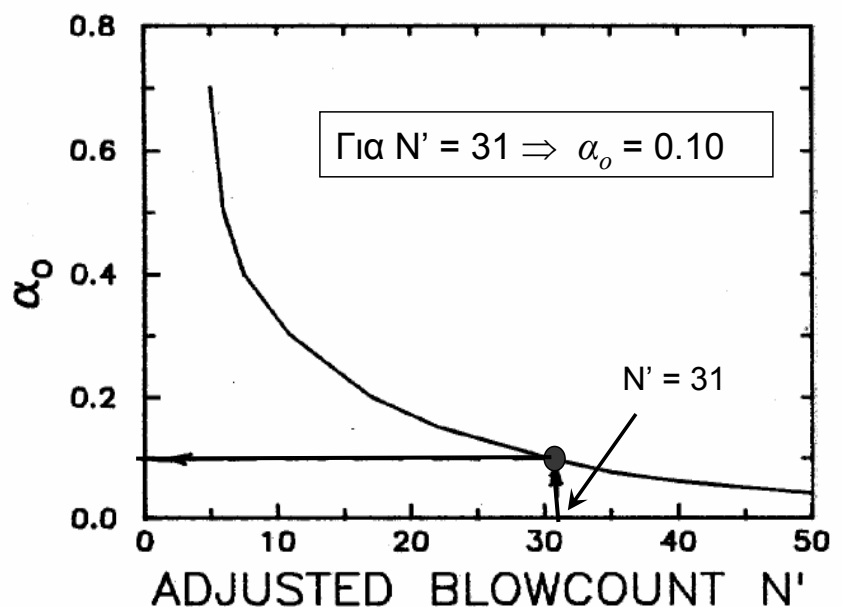
$$\rho_i = 0.0254 \alpha_o \left(\frac{L}{B} \right)^{0.39} \left(\frac{2B}{0.305 + B} \right)^2 q$$

ρ_i = άμεση καθίζηση του πεδίου (σε cm)

B, L = πλάτος και μήκος του πεδίου σε μέτρα ($B \leq L$)

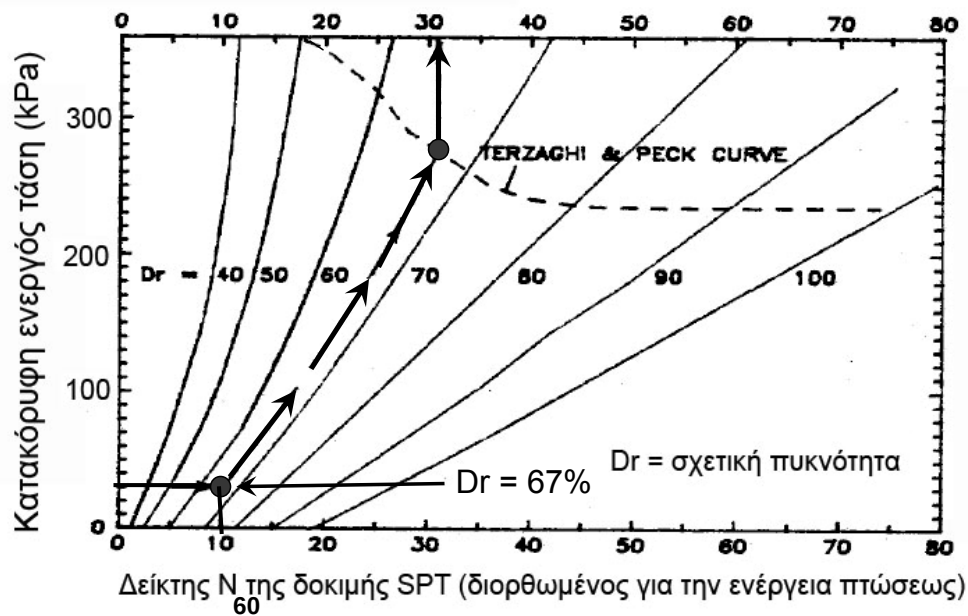
q = μέση πρόσθετη πίεση του πεδίου στο έδαφος (σε kPa)

α_o = εμπειρικός συντελεστής που εξαρτάται από τον ανηγμένο δείκτη N' της δοκιμής SPT, κατά την μέθοδο Terzaghi & Peck (αναγωγή σε $D_r=100\%$)



Αναγωγή του N_m για την εφαρμογή της μεθόδου Alpan :

Προσαρμογή σε σχετική πυκνότητα $D_r = 100 \%$ (κατά Terzaghi & Peck) :



Παράδειγμα : Εστω τετραγωνικό πέδιλο ($B=L=1.5\text{m}$) στο οποίο το βάθος επιρροής είναι $z=2B=3\text{m}$. Στο μέσο του βάθους επιρροής ($z=B=1.5\text{m}$), η κατακόρυφη ενεργός τάση είναι $1.5 \times 20 = 30 \text{ kPa}$ (υδροφόρος ορίζοντας σε μεγάλο βάθος). Η μέση τιμή του μετρημένου δείκτη N σε βάθος 0 έως $2B = 3\text{m}$ είναι $N_{60} = N_m = 10$.

Η σχετική πυκνότητα της άμμου είναι $D_r = 67 \%$. Εάν η σχετική πυκνότητα της άμμου ήταν 100% , ο δείκτης N θα ήταν $N' = 31$ (ανηγμένος δείκτης).

Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1.1. Εμπειρική μέθοδος Alpan για άκαμπτα πέδιλα :

Εφαρμογή της μεθόδου Alpan :

Ορθογωνικό πέδιλο ($L=3\text{m}$, $B=2\text{m}$) εδραζόμενο σε βάθος $D=1\text{m}$.

Επιφόρτιση $q=300 \text{ kPa}$. Το έδαφος είναι ξηρή άμμος με ειδικό βάρος $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ και $\text{SPT } N_{60} = 10$.

Υπολογισμός άμεσης καθίζησης κατά Alpan :

Βάθος επιρροής : $z = 2B = 4\text{m}$ από τη στάθμη έδρασης του πεδίου

Κατακόρυφη ενεργός τάση στο μέσο του βάθους επιρροής : $\sigma'_v = (2+1) \times 20 = 60 \text{ kPa}$

Για $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$ και $N_{60} = 10 \Rightarrow D_r = 60 \%$. Εάν η σχετική πυκνότητα της άμμου ήταν 100% , ο δείκτης N θα ήταν $N' = 25$ (ανηγμένος δείκτης).

Για $N' = 25 \Rightarrow \alpha_o = 0.13$

$$\rho_i = 0.0254 \alpha_o \left(\frac{L}{B} \right)^{0.39} \left(\frac{2B}{0.305 + B} \right)^2 q = 0.0254 \times 0.13 \times \left(\frac{3}{2} \right)^{0.39} \left(\frac{2 \times 2}{0.305 + 2} \right)^2 \times 300 =$$

$$\rho_i = 0.94 \text{ cm} = 9.4 \text{ mm}$$

Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT) :

1.2. Εμπειρική μέθοδος Schultze & Sherif για άκαμπτα πέδιλα :

$$\rho_i = f \frac{0.5521 \sqrt{B}}{(N)^{0.87} \left(1 + 0.4 \frac{D}{B} \right)} q$$

ρ_i = άμεση καθίζηση του πεδίου (σε cm)

B, L = πλάτος και μήκος του πεδίου σε μέτρα ($B \leq L$)

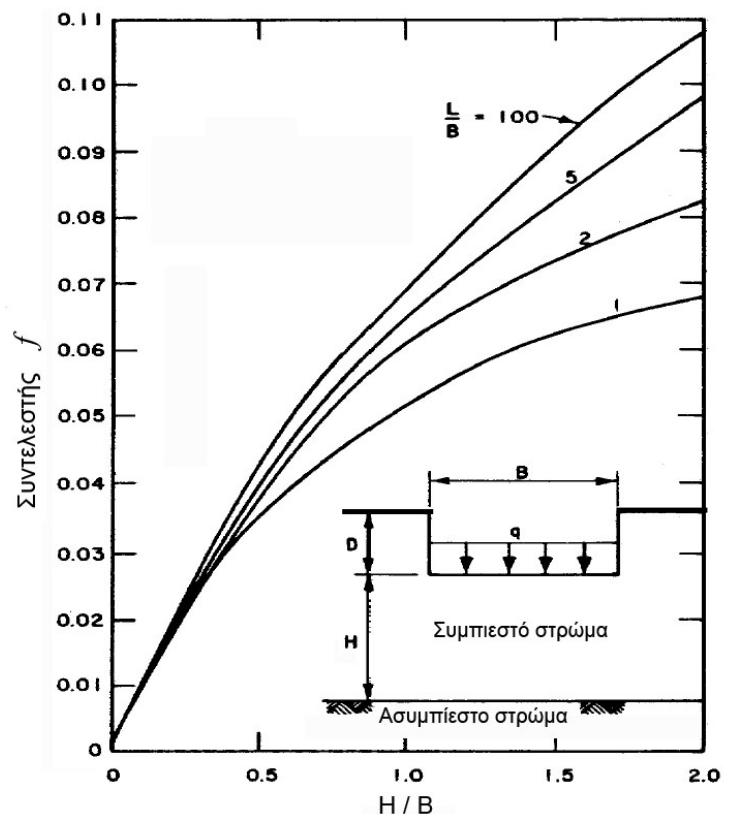
D = βάθος του πεδίου από την επιφάνεια του εδάφους (σε μέτρα)

H = min (πάχος συμπιεστή στρώσης, $2B$)

q = μέση πρόσθετη πίεση του πεδίου στο έδαφος (σε kPa)

N = Δείκτης SPT, διορθωμένος κατά Terzaghi & Peck (αναγωγή σε $D_r=100\%$)

f = εμπειρικός συντελεστής



Εφαρμογή της μεθόδου Schultze & Sherif :

Ορθογωνικό πέδιλο ($L=3\text{m}$, $B=2\text{m}$) εδραζόμενο σε βάθος $D=1\text{m}$.

Επιφόρτιση $q=300\text{ kPa}$. Το έδαφος είναι ξηρή άμμος με ειδικό βάρος $\gamma=20\text{ kN/m}^3$ και $SPT\ N_{60} = 10$.

Υπολογισμός άμεσης καθίζησης κατά Schultze & Sherif :

$H = 2B = 4\text{m} \Rightarrow H/B = 2$. Για $H/B=2$ και $L/B=1.5 \Rightarrow f = 0.074$

Διόρθωση του N κατά Terzaghi & Peck (αναγωγή σε $D_r=100\%$) :

Βάθος επιρροής : $z = 2B = 4\text{m}$ από τη στάθμη έδρασης του πεδίου.

Κατακόρυφη ενεργός τάση στο μέσο του βάθους επιρροής : $\sigma'_v = (2+1) \times 20 = 60\text{ kPa}$

Για $\sigma'_v = 60\text{ kPa}$ και $N_{60} = 10 \Rightarrow D_r = 58\%$. Εάν η σχετική πυκνότητα της άμμου ήταν 100% , ο δείκτης N θα ήταν $N' = 25$ (ανηγμένος δείκτης).

Για $N' = 25$:

$$\rho_i = f \frac{0.5521 \sqrt{B}}{(N_{60})^{0.87} \left(1 + 0.4 \frac{D}{B} \right)} q = 0.074 \frac{0.5521 \sqrt{2}}{(25)^{0.87} \left(1 + 0.4 \times \frac{1}{2} \right)} 300$$

$$\rho_i = 0.88\text{ cm} = 8.8\text{ mm}$$

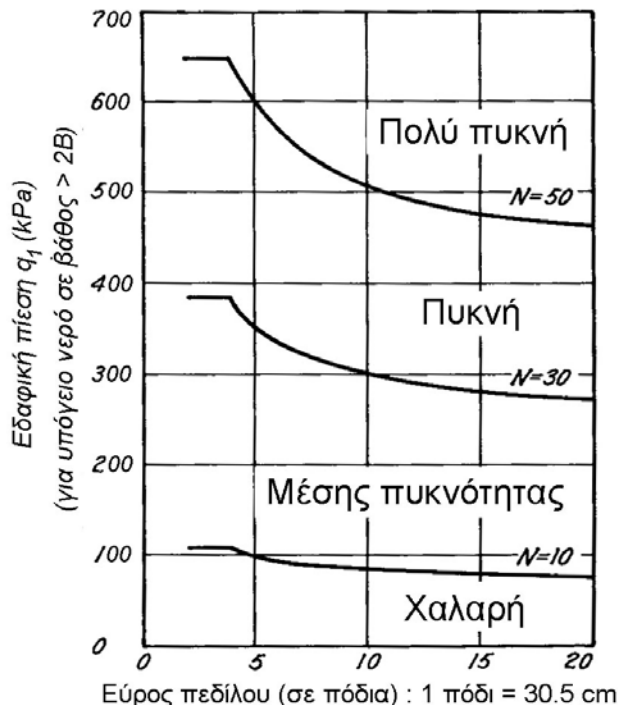
Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1.3. Εμπειρική μέθοδος Terzaghi & Peck (1967) για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα πλάτους (B) στην επιφάνεια του εδάφους (D=0) :

q = μέση πρόσθετη πίεση του πεδίου στο έδαφος (σε kPa)

N = Διορθωμένος δείκτης SPT κατά Terzaghi και BS 8002

ρ_i = άμεση καθίζηση του πεδίου (σε cm)



1. Υπολογισμός του q_1 (σε kPa), από το σχήμα ή την προσεγγιστική σχέση :

$$q_1 = 33 N \left(\frac{B + 0.305}{2B} \right)^2$$

B = εύρος πεδίου (σε μέτρα)

2. Καθίζηση πεδίου (σε cm) : $\rho_i = 2.5 \frac{q}{q_1}$

$$\text{Οπότε : } \rho_i = 0.3 \frac{q}{N} \left(\frac{B}{B + 0.305} \right)^2$$

Παράδειγμα :

$B = 2.5\text{m} = 8.2$ πόδια, $q = 300$ kPa, N (διορ) = 24

Από το σχήμα ή τη σχέση : $q_1 = 250$ kPa

Αρα : $\rho_i = 2.5 \times (300 / 250) = 3$ cm

1.3. Εμπειρική μέθοδος Terzaghi & Peck (1967) για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα πλάτους (B) στην επιφάνεια του εδάφους (D=0) :

Παρατήρηση : Κατά την μέθοδο Terzaghi & Peck για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα σε άμμους, η άμεση καθίζηση (ρ_B) πεδίου πλάτους B , σχετίζεται με την καθίζηση (ρ_b) πεδίου πλάτους b , στο οποίο επιβάλλεται η ίδια πίεση (q) με τη σχέση :

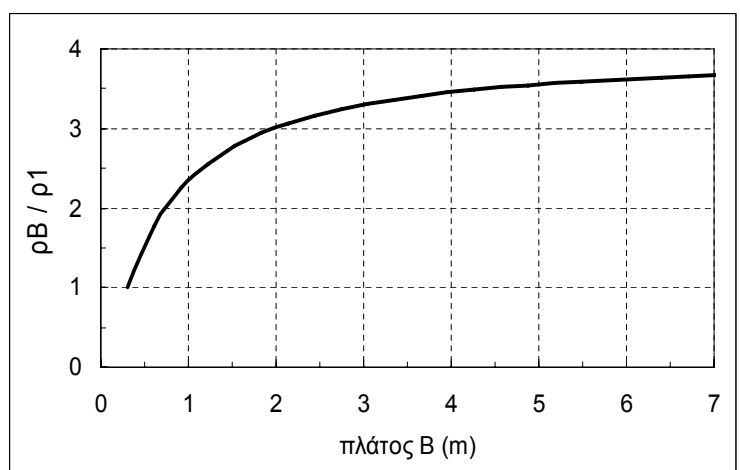
$$\rho_B = \rho_b \left(\frac{B}{b} \right)^2 \left(\frac{b + 0.305\text{m}}{B + 0.305\text{m}} \right)^2 \quad \text{όπου : } B, b \text{ σε μέτρα}$$

Συνεπώς, εάν εκτελεσθεί δοκιμή φόρτισης πλάκας με πλάκα πλάτους $b = 0.305\text{m}$ και μετρηθεί άμεση καθίζηση (ρ_1), τότε η άμεση καθίζηση τετραγωνικού πεδίου εύρους B (για την ίδια επιβαλλόμενη πίεση) θα είναι :

$$\rho_B = \rho_1 \left(\frac{B}{0.305\text{m}} \right)^2 \left(\frac{0.305\text{m} + 0.305\text{m}}{B + 0.305\text{m}} \right)^2$$

$$\Rightarrow \rho_B = \rho_1 \left(\frac{2B}{B + 0.305\text{m}} \right)^2$$

Σημείωση : Μέγιστη τιμή $\rho_B / \rho_1 = 4$



Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1.4. Εμπειρική μέθοδος Peck, Hanson & Thornburn (1974) για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα :

B = πλάτος του πεδίου ($B = L$)

D = βάθος του πεδίου από την επιφάνεια του εδάφους

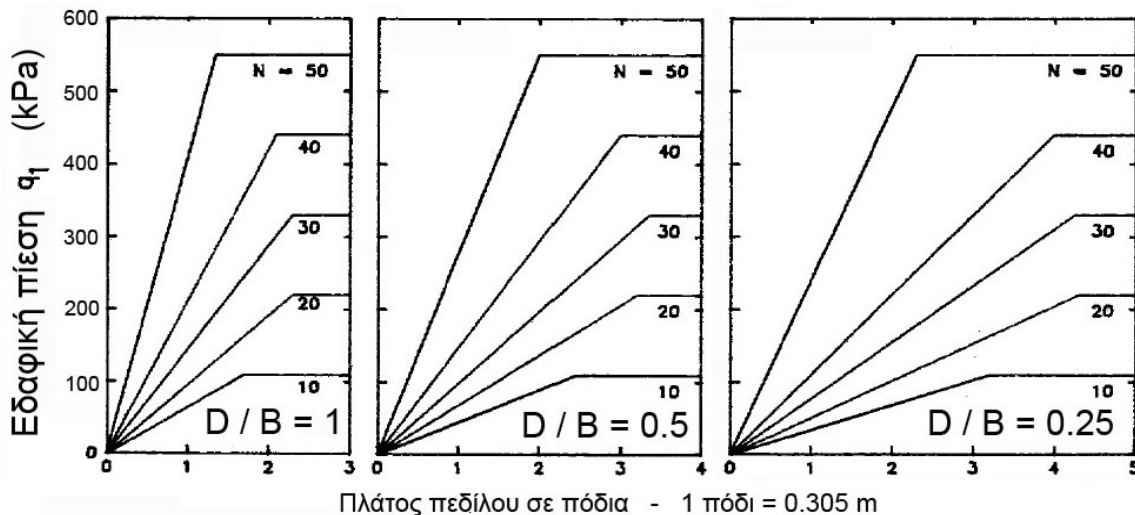
D_w = βάθος του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους

q = μέση πρόσθετη πίεση του πεδίου στο έδαφος (σε kPa)

N = Διορθωμένος δείκτης SPT κατά Peck, Hanson & Thornburn (1974)

ρ_i = άμεση καθίζηση του πεδίου (σε cm)

$$\rho_i = 2.5 \frac{q}{q_1 C_w}$$



Υπολογισμός της εδαφικής πίεσης q_1 συναρτήσει του πλάτους (B), του βάθους (D) και του διορθωμένου δείκτη N της δοκιμής SPT

Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1.4. Εμπειρική μέθοδος Peck, Hanson & Thornburn (1974) για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα :

B = πλάτος του πεδίου ($B = L$)

D = βάθος του πεδίου από την επιφάνεια του εδάφους

D_w = βάθος του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους

q = μέση πρόσθετη πίεση του πεδίου στο έδαφος (σε kPa)

N = Διορθωμένος δείκτης SPT κατά Peck, Hanson & Thornburn (1974).

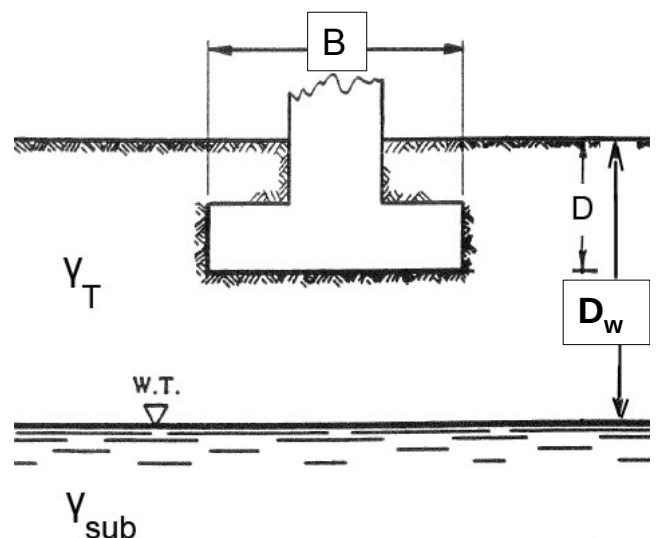
Μέση τιμή του N σε μια ζώνη πάχους $2B$ κάτω από το πέδιλο

ρ_i = άμεση καθίζηση του πεδίου (σε cm)

$$\rho_i = 2.5 \frac{q}{q_1 C_w}$$

C_w = συντελεστής επιρροής στάθμης υπογείου ορίζοντα :

$$C_w = 0.5 + 0.5 \frac{D_w}{D + B} \leq 1$$



1.4. Εμπειρική μέθοδος Peck, Hanson & Thornburn (1974) για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα :

Εφαρμογή της μεθόδου Peck, Hanson & Thornburn (1974) :

Τετραγωνικό πέδιλο ($B=L=2\text{m}$) εδραζόμενο σε βάθος $D=1\text{m}$.

Επιφόρτιση $q=300\text{ kPa}$. Το έδαφος είναι άμμος με ειδικό βάρος $\gamma=20\text{ kN/m}^3$ και SPT $N_{60} = 10$. Η στάθμη του υπογείου ορίζοντα βρίσκεται σε βάθος 1m κάτω από το πέδιλο (άρα : $D_w = 2\text{m}$)

Υπολογισμός της άμεσης καθίζησης :

Διόρθωση του δείκτη N :

Βάθος επιρροής : $z = 2B = 4\text{m}$ από τη στάθμη έδρασης του πεδίου

Κατακόρυφη ενεργός τάση στο μέσο του βάθους επιρροής (2m κάτω από το πέδιλο) :

$\sigma'_v = 2 \times 20 + 1 \times 10 = 50\text{ kPa}$. Διόρθωση κατά Peck, Hanson & Thornburn :

Για $\sigma'_v = 50\text{ kPa} \Rightarrow C_n = 1.15 \Rightarrow N_n = C_n N_{60} = 1.234 \times 10 = 12.3$

$D/B = 1/2 = 0.5$, $B = 2 / 0.305 = 6.55\text{ πόδια}$, $N = 12.3 \Rightarrow$ (από το σχήμα) $q_1 = 130\text{ kPa}$

$C_w = 0.5 + 0.5 \times 2 / (1 + 2) = 0.83$

Αρα :

$$\rho_i = 2.5 \frac{q}{q_1 C_w} = 2.5 \times \frac{300}{130 \times 0.83} = 7\text{ cm}$$

Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1.5. Εμπειρική μέθοδος Meyerhof για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα :

q_a = Μέση πίεση (kPa) άκαμπτου τετραγωνικού πεδίου εύρους B (σε m), που προκαλεί καθίζηση 25mm . Το πέδιλο εδράζεται στην επιφάνεια αμμώδους σχηματισμού μεγάλου πάχους με διάφορες τιμές του δείκτη $N=N_{60}$ της δοκιμής SPT.

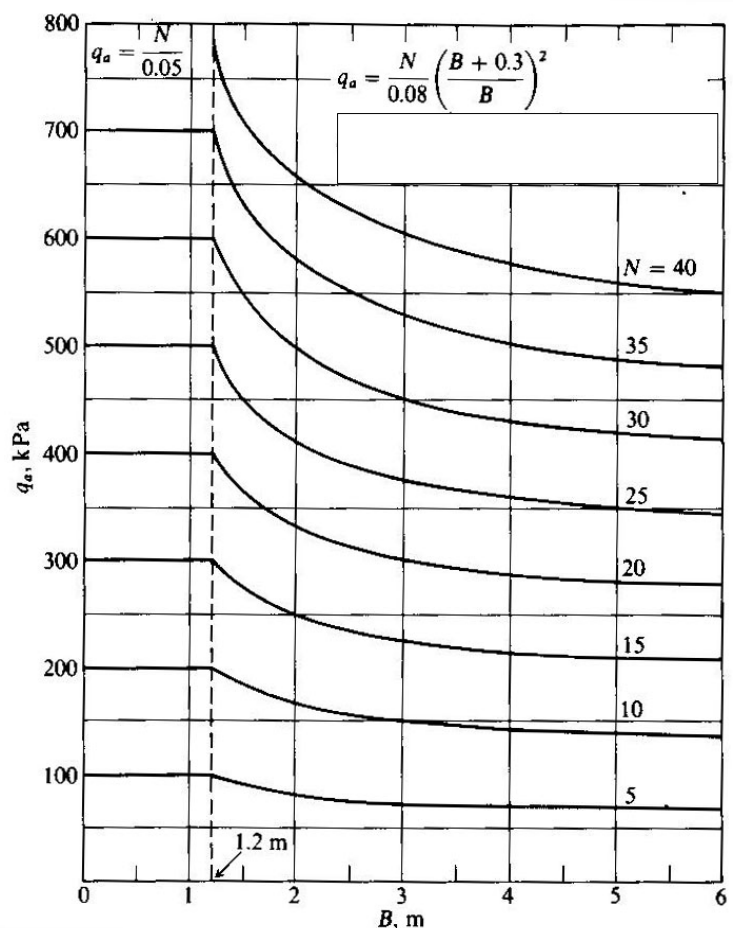
Για $B > 1.2\text{m}$:

$$q_a = \frac{N}{0.08} \left(\frac{B + 0.305}{B} \right)^2$$

Για $B < 1.2\text{m}$: $q_a = 20 N$

Για πέδιλο που εδράζεται σε βάθος D από την επιφάνεια, η καθίζηση (ρ_i σε cm) είναι :

$$\rho_i = 2.5 \frac{q}{q_a \left(1 + \frac{D}{3B} \right)}$$



Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

1.5. Εμπειρική μέθοδος Meyerhof για άκαμπτα τετραγωνικά πέδιλα :

Οι προηγούμενες προσεγγιστικές σχέσεις για την άμεση καθίζηση (ρ_i σε cm) άκαμπτων τετραγωνικών πεδίων στην επιφάνεια του εδάφους ($D=0$), σε άμους συνοψίζονται κατωτέρω :

$$\rho_i = 0.125 \frac{q}{N}$$

για πέδιλα εύρους $B < 1.2 \text{ m}$

$$\rho_i = 0.2 \frac{q}{N} \left(\frac{B}{B + 0.305} \right)^2$$

για πέδιλα εύρους $B > 1.2 \text{ m}$

$$\rho_i = 0.2 \frac{q}{N}$$

για πολύ μεγάλα πέδιλα (κοιτοστρώσεις)

q = μέση επιφόρτιση σε kPa

B = πλάτος πεδίου σε μέτρα

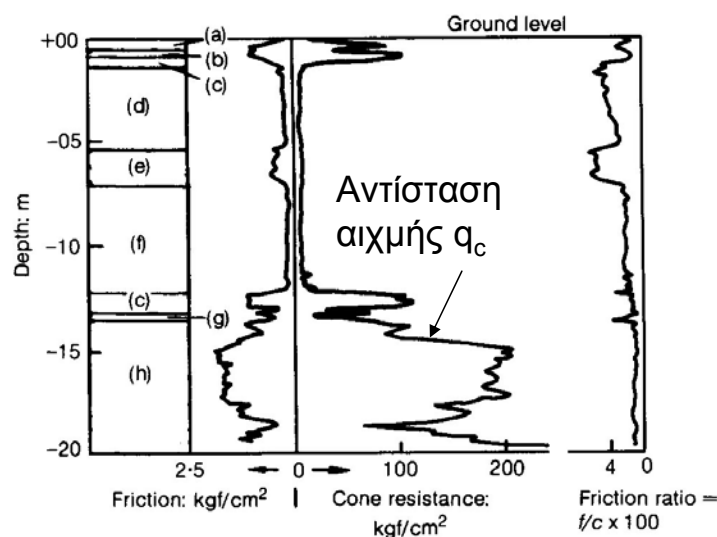
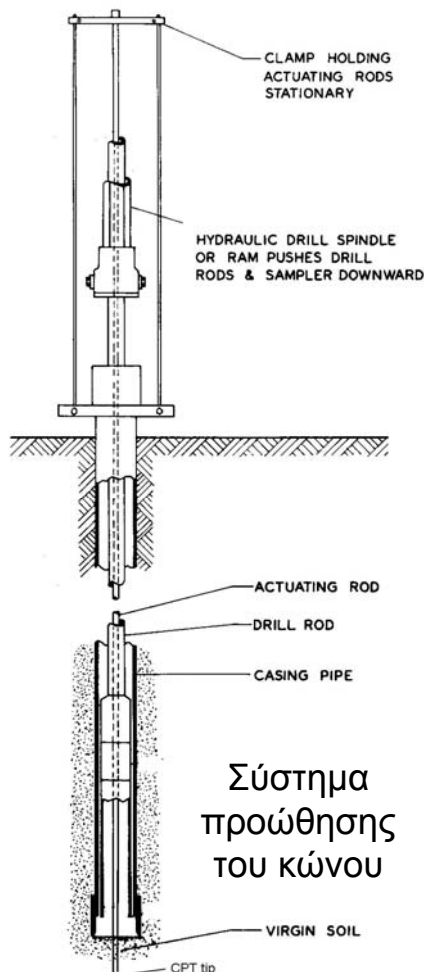
N = μέση τιμή του δείκτη της δοκιμής SPT σε βάθος « B » κάτω από το πέδιλο

ρ_i = άμεση καθίζηση σε cm

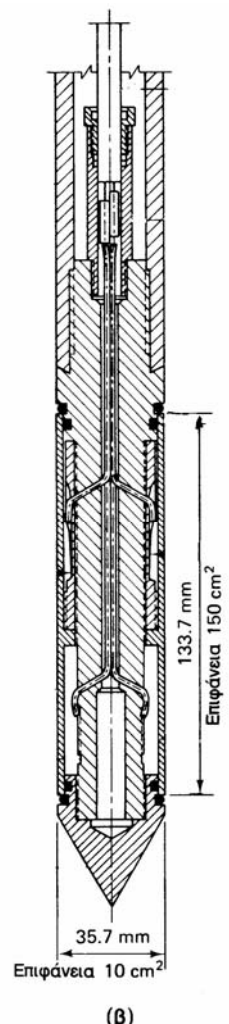
Σημείωση : Για πέδιλα που εδράζονται σε βάθος (D), οι καθιζήσεις διαιρούνται με τον συντελεστή : $[1+D/(3B)]$

Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

2. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Διείσδυσης Κώνου (CPT) :



Αιχμή του διατρητικού στελέχους (κώνος)



Υπολογισμός καθιζήσεων σε μή-συνεκτικά εδάφη

2. Μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή Διείσδυσης Κώνου (CPT) :

Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα σε άμμους :

Αθροίζονται οι επιρροές (j) ζωνών, πάχους εκάστης Δz_j :

$$\rho_i = C_1 C_t (q - \sigma'_{vD}) \sum_j I_{zj} \frac{\Delta z_j}{E_j}$$

ρ_i = άμεση καθίζηση του πεδύλου (σε μονάδες συμβατές με το πάχος Δz_j)

C_1 = διόρθωση λόγω αποφόρτισης στο βάθος D (= βάθος έδρασης του πεδύλου)

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

σ'_{vD} = κατακόρυφη ενεργός τάση στο βάθος έδρασης του πεδύλου (D) : $\sigma'_{vD} = \gamma D$

q = μέση πίεση του πεδύλου στο έδαφος

Δz_j = πάχος στρώσης (j). Συνήθως : $\Delta z_j = 0.1 \div 0.2 B$

E_j = μέτρο ελαστικότητας της στρώσης (j)

C_t = διόρθωση λόγω αύξησης της καθίζησης με την πάροδο του χρόνου (t – σε έτη)

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

I_{zj} = συντελεστής επιρροής της στρώσης (j) – από το επόμενο νομογράφημα

Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα σε άμμους :

Μέγιστη τιμή (I_{zp}) του δείκτη I_z :

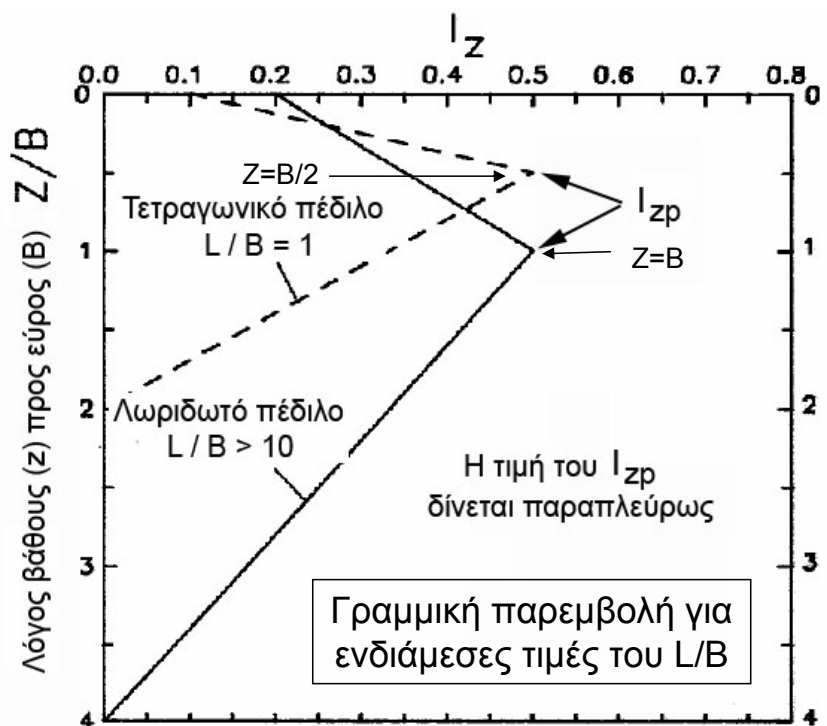
$$I_{zp} = 0.5 + 0.1 \sqrt{\frac{|q - \sigma'_{vD}|}{\sigma'_{vI}}}$$

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

όπου:

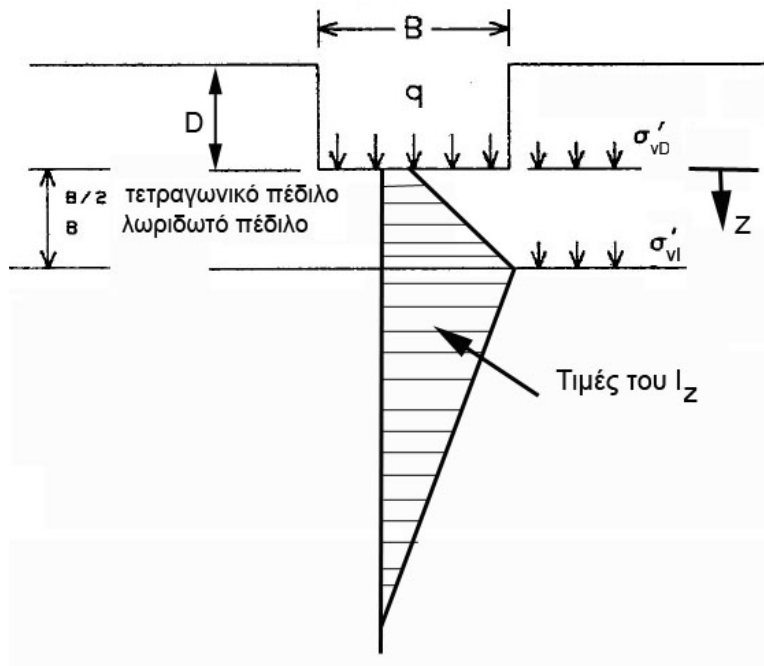
$z = B$, για λωριδωτό πέδιλο

$z = B/2$, για τετραγωνικό πέδιλο



Προσοχή : το ανωτέρω σχήμα δίνει τη μορφή του συντελεστή I_z . Οι ακριβείς τιμές του I_z εξαρτώνται από την τιμή του I_{zp}

Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα σε άμμους :



Σχηματική κατανομή του συντελεστή I_z με το βάθος

Εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας E :

q_c = αντοχή διείσδυσης της αιχμής του κώνου

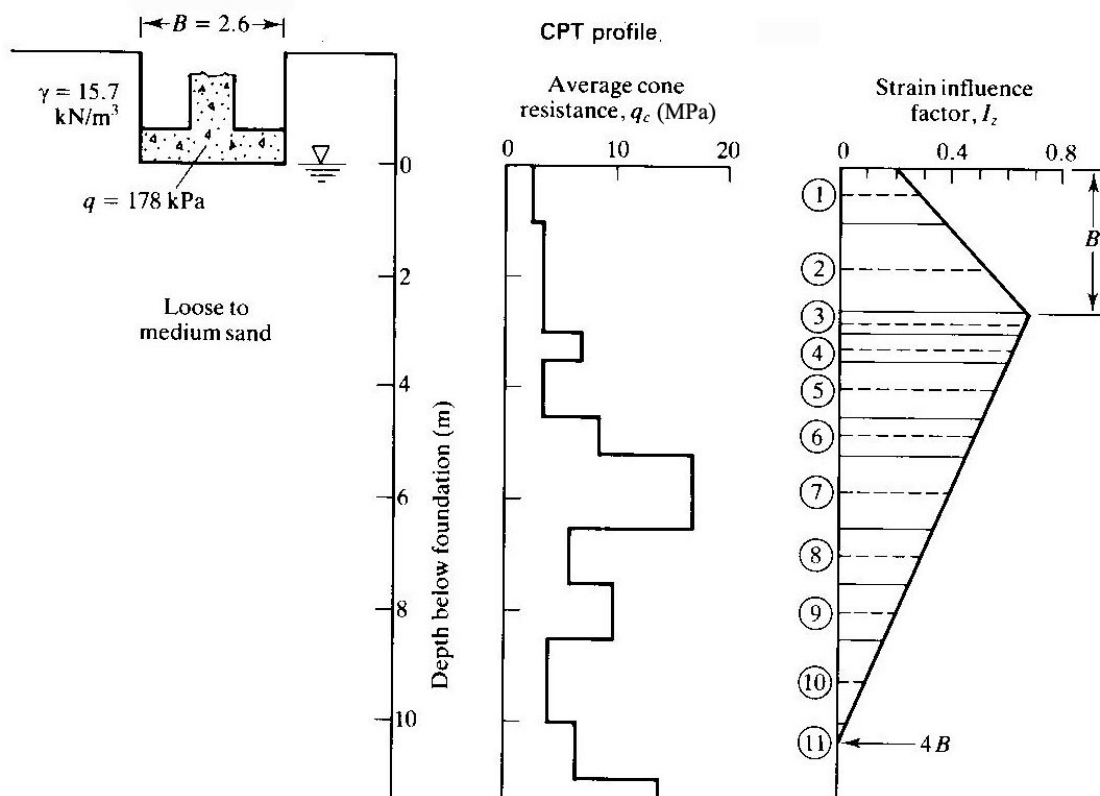
L / B	E / q_c
1	2.5
≥ 10	3.5

Γραμμική παρεμβολή για ενδιάμεσες τιμές του L/B

Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα σε άμμους :

Παράδειγμα : Υπολογισμός άμεσης καθίζησης του άκαμπτου θεμελίου γέφυρας με διαστάσεις $B=2.6\text{m}$, $L=23\text{m}$ σε βάθος $D=2\text{m}$ από την επιφάνεια (όπου βρίσκεται και ο υδροφόρος ορίζοντας). Η εφαρμοζόμενη πίεση στο πέδιλο είναι $q=178\text{ kPa}$.

Το έδαφος θεμελίωσης είναι αμμώδες. Στο σχήμα φαίνεται η κατανομή της αντοχής κώνου (q_c) της δοκιμής CPT με το βάθος.



Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα σε άμμους :

1. $L / B = 23 / 2.6 = 8.85$. Άρα κατανομή του συντελεστή επιρροής (I_z) για λωριδωτό πέδιλο.
2. Μέγιστη τιμή του δείκτη I_z : $I_{zp} = 0.5 + 0.1 \sqrt{\frac{|q - \sigma'_{vD}|}{\sigma'_{vI}}}$
 $q - \sigma'_{vD} = 178 - 15.7 \times 2 = 147 \text{ kPa}$
 $\sigma'_{vI} = 15.7 \times 2 + (15.7 - 10) \times 2.6 = 47.6 \text{ kPa}$ Άρα : $I_{zp} = 0.68$
3. Η κατανομή του I_z με το βάθος φαίνεται στο σχήμα της προηγούμενης σελίδας (μέχρι βάθους $4B = 4 \times 2.6 = 10.4\text{m}$). Το διάγραμμα χωρίζεται σε 11 ζώνες. Το πάχος (Δz) κάθε ζώνης φαίνεται στη στήλη 2 του πίνακα της επόμενης σελίδας.
4. Προσδιορισμός της τιμής του I_z στο μέσον κάθε ζώνης (από το τριγωνικό διάγραμμα) – στήλη 4
5. Προσδιορισμός του q_c σε κάθε ζώνη (στήλη 5)
6. Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας E από τη σχέση $E = 3.5 q_c$
7. Προσδιορισμός του συντελεστή C_1 από τη σχέση :
 $C_1 = 1 - 0.5 \frac{\sigma'_{vD}}{|q - \sigma'_{vD}|} \geq 0.5$
 $C_1 = 1 - 0.5 \times (15.7 \times 2) / 147 = 0.89$
8. Αμεση καθίζηση : $C_t = 1$.
9. Υπολογισμός της καθίζησης από τη σχέση :

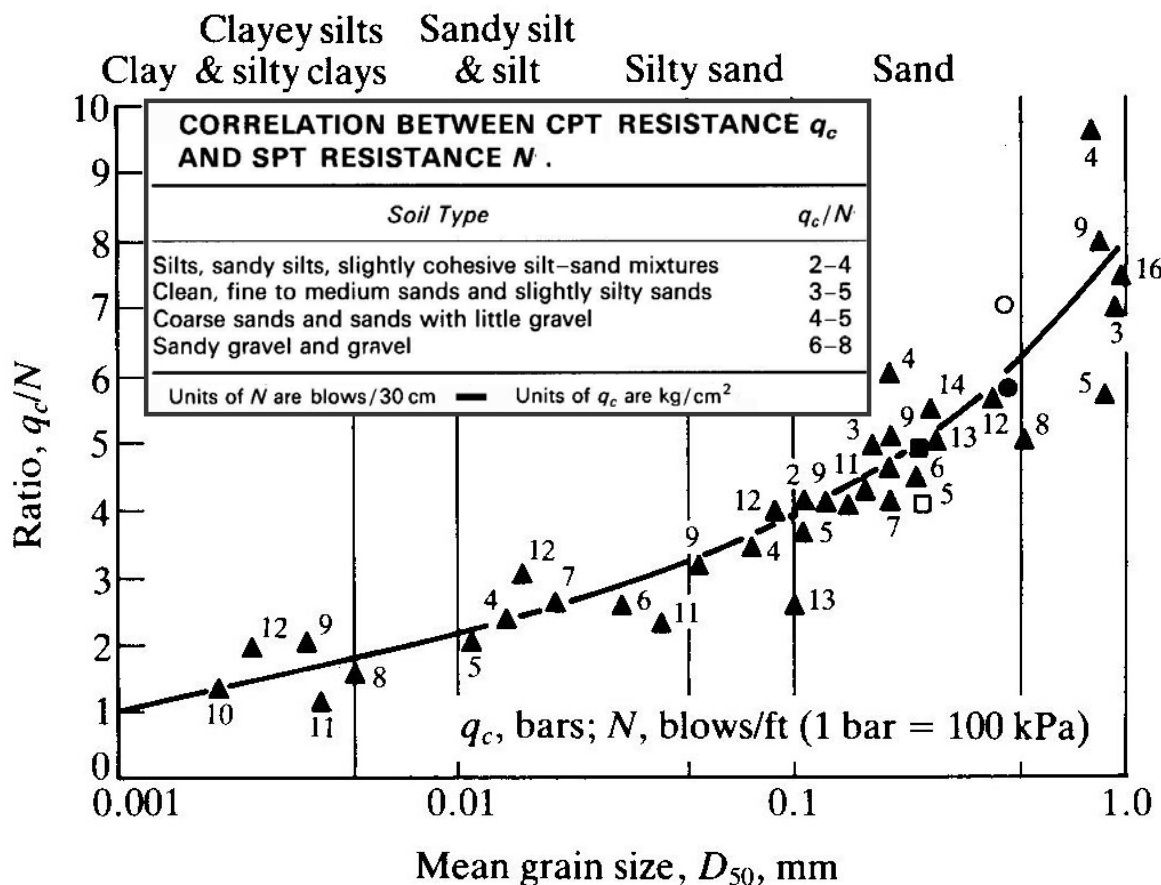
$$\rho_i = C_1 C_t (q - \sigma'_{vD}) \sum_j I_{zj} \frac{\Delta z_j}{E_j} = 0.89 \times 1 \times 0.147 \times 0.237 = 0.031\text{m} = 31\text{mm}$$

Εμπειρική μέθοδος Schmertmann για άκαμπτα πέδιλα σε άμμους :

Παράδειγμα εφαρμογής (συνέχεια) :

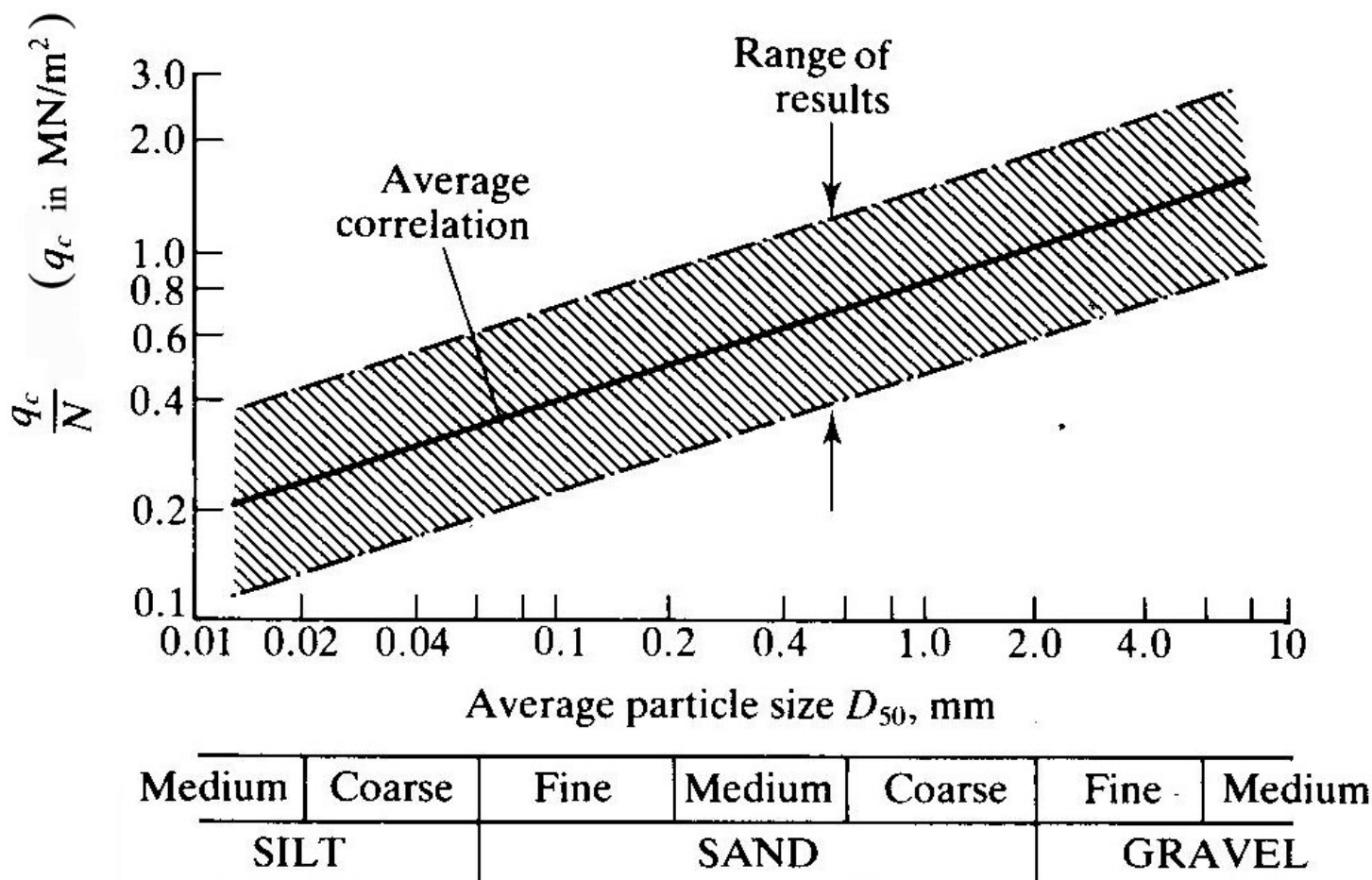
<i>Layer, i</i> (1)	Δz (m) (2)	<i>Distance z_i to center of Δz_i</i> (m) (3)	I_z (4)	<i>Average</i> q_c (MPa) (5)	<i>Average</i> E_s (MPa) (6)	$I_z \Delta z / E_s$ (m / MPa) (7)
1	1.0	0.5	0.28	2.5	8.75	0.032
2	1.6	1.8	0.52	3.5	12.25	0.068
3	0.4	2.8	0.66	3.5	12.25	0.022
4	0.5	3.25	0.62	7.0	24.5	0.013
5	1.0	4.0	0.55	3.0	10.5	0.052
6	0.7	4.85	0.48	8.5	29.75	0.011
7	1.3	5.85	0.39	17.0	59.5	0.009
8	1.0	7.0	0.29	6.0	21.0	0.014
9	1.0	8.0	0.20	10.0	35.0	0.006
10	1.5	9.25	0.09	4.0	14.0	0.010
11	0.4	10.2	0.02	6.5	22.75	0.0003
$\Sigma = 10.4 = 4B$						$\Sigma = 0.237$

Εκτιμήσεις της αντοχής διείσδυσης κώνου (q_c) με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμής SPT (δείκτης N) Τιμές του λόγου q_c / N κατά Robertson :



Variation of q_c/N ratio with mean grain size. *Robertson et al., 1983.*

Τιμές του λόγου q_c / N (q_c σε MPa) κατά Burland and Burbridge



Σύνοψη μετρήσεων άμεσων καθιζήσεων πεδίων και γενικών κοιτοστρώσεων σε αμμώδεις σχηματισμούς σε διάφορες τιμές της σχετικής πυκνότητας (D_r)

