

## ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

### ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ, ΑΣΑΦΕΙΕΣ ΚΑΙ ΛΑΘΗ

Ο δείκτης εδάφους  $k$  προσομοιώνει την ενδοσιμότητα του εδάφους κάτω από το θεμέλιο και χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό του φορέα της ανωδομής και των θεμελίων (οπλισμός, διαστάσεις). Με τον δείκτη  $k$  ορίζεται η πίεση που απαιτείται για να υποχωρήσει το θεμέλιο κατά μία μονάδα μήκους και έχει διαστάσεις δύναμης ανά μονάδα όγκου ( $\text{kN/m}^3$ ):

$$k = q^*/s \quad (\text{kN/m}^3)$$

$q^*$  = αύξηση της τάσης στη βάση του θεμελίου: ( $q^* = q - \gamma' \times D_f$ )

$q$  = ολική τάση που μεταφέρεται στη βάση του θεμελίου

$s$  = καθίζηση

$D_f$  = βάθος θεμελίωσης

$\gamma$  = ενεργό φαινόμενο βάρος του εδάφους

Η τιμή του δείκτη εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους, από τις διαστάσεις του θεμελίου, το σχήμα και το βάθος θεμελίωσής του καθώς και από την ακαμψία του και από το μέγεθος των φορτίων που εφαρμόζονται πάνω του.

Στην περίπτωση αρκετά συμπίεστου εδάφους στην παραπάνω σχέση εισάγεται η ολική τάση  $q$  αντί της αύξησης της τάσης  $q^*$  (DIN4017).

### Διαθέσιμοι τρόποι προσδιορισμού του δείκτη εδάφους

Ο προσδιορισμός του δείκτη εδάφους είναι καθοριστικός, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις υπολογισμού της δυναμικής απόκρισης του φορέα (σημαντική επιρροή στο μέγεθος των ιδιοπεριόδων ταλάντωσης).

Ο προσδιορισμός του δείκτη εδάφους γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

α) Από τον υπολογισμό της καθίζησης  $s$  για τάση ίση με την επιτρεπόμενη τάση  $q_{επ}^*$ :

$$k = q_{επ}^*/s$$

$s$  = υπολογιστική τελική καθίζηση

$q_{επ}^*$  = επιτρεπόμενη αύξηση της τάσης

β) Από δοκιμαστικές φορτίσεις πλάκας συγκεκριμένων διαστάσεων (συνήθως πλάκα: τετραγωνική, πλευράς 0,305m). Με τις δοκιμές αυτές προσδιορίζεται ο **δείκτης εδαφικής αντίδρασης  $k_s$** . Για τον προσδιορισμό του  $k$  (από τον  $k_s$ ) απαιτείται μία σειρά **διορθωτικών συντελεστών** ώστε να μπορεί να ληφθούν υπόψη οι επιρροές του πλάτους, του σχήματος και του βάθους του πραγματικού θεμελίου.

Οι διορθωτικοί συντελεστές υπολογίζονται από τις σχέσεις:

**Συντελεστής διαστάσεων θεμελίου,  $\eta_\delta$ :**

$$\eta_\delta = \left( \frac{B + B_p}{2 \times B} \right)^2 : \text{ για αμμώδη εδάφη, } \eta_\delta = \frac{B_p}{B} : \text{ για αργιλικά εδάφη}$$

$B$  = πλάτος θεμελίου

$B_p$  = διάσταση της δοκιμαστικής πλάκας, ίση συνήθως με 0,305 m

**Συντελεστής σχήματος θεμελίου,  $\eta_{σχ}$  :**

$$\eta_{σχ} = \frac{1}{3} \left( 2 + \frac{B}{L} \right) : \text{για όλα τα εδάφη}$$

**Συντελεστής βάθους θεμελίου,  $\eta_{β}$  :**

$$\eta_{β} = 1 + 2 \frac{D_f}{B} : \text{για αμμώδη εδάφη, } \eta_{β} = 1,0 \text{ για αργιλικά εδάφη}$$

Η τιμή του δείκτη εδάφους  $k$  προκύπτει από τη σχέση:

$$k = \eta_{δ} \times \eta_{σχ} \times \eta_{β} \times k_s$$

γ) Από εμπειρικούς Πίνακες οι οποίοι συσχετίζουν το δείκτη εδαφικής αντίδρασης  $k_s$  με το είδος του εδάφους (άμμος, άργιλος) και τον αριθμό  $N$  της δοκιμής SPT ή την αστράγγιστη συνοχή  $c_u$  δοκιμών απλής θλίψης.

*Τιμές του δείκτη εδαφικής αντίδρασης,  $k_s$  ( $MN/m^3$ ) σε αμμώδη εδάφη ( $B_p = 0,305$  m). Terzaghi*

Τύπος αμμώδους εδάφους	Όρια $k_s$	Μέση τιμή $k_s$
Χαλαρή άμμος ( $N_{SPT} < 10$ )	6,4-19,2	12,9
Μέση άμμος ( $10 < N_{SPT} < 30$ )	19,2-96,2	41,7
Πυκνή άμμος ( $30 < N_{SPT}$ )	96,2-321,0	161,0

*Τιμές του δείκτη εδαφικής αντίδρασης,  $k_s$  ( $MN/m^3$ ) σε αργιλικά εδάφη ( $B_p = 0,305$  m). Terzaghi*

Τύπος αργιλικού εδάφους	Όρια $k_s$	Μέση τιμή $k_s$
Στιφρή άργιλος ( $100 \text{ kPa} < c_u < 200 \text{ kPa}$ )	16,2-32,1	24,1
Πολύ Στιφρή ( $200 \text{ kPa} < c_u < 400 \text{ kPa}$ )	32,1-64,2	48,2
Σκληρή άργιλος ( $400 \text{ kPa} < c_u$ )	>96,0	96,4

$$10 \text{ MN/m}^3 = 1 \text{ kp/cm}^3$$

δ) Από την πρόταση του *Vesic*:

$$k = \frac{0,90}{B} \times \frac{E}{(1 - \nu^2)} = \frac{E}{B}$$

$E$  = Μέτρο ελαστικότητας (μέτρο *Young*).  $\nu$  = λόγος του *Poisson* του εδάφους (μέση τιμή  $\nu=0,33$ )

ε) Πρόταση *Bowles* για συνήθεις πεδילוδοκούς σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα:

*Τιμές του δείκτη εδαφικής αντίδρασης,  $k_s$  ( $MN/m^3$ ) σε σχέση με το είδος του εδάφους για τετράγωνη πλάκα,  $B_p = 0,305$  m*

Είδος εδάφους	$k_s$
<b>Άμμοι:</b>	
Χαλαρές ( $D_r < 50\%$ )	4,8 – 16
Μέσης πυκνότητας ( $D_r = 50 - 70\%$ )	9,6 – 80
Πυκνές ( $D_r > 75\%$ )	64 - 128
Αργιλώδεις άμμοι μέσης πυκνότητας	32 – 80
Πλωδείς άμμοι μέσης πυκνότητας	24 – 48
<b>Άργιλοι:</b>	
Μαλακές ( $q_u = 25 - 50 \text{ kPa}$ )	5 – 12
Συνεκτικές ( $q_u = 50 - 100 \text{ kPa}$ )	12 – 18
Στιφρές ( $q_u = 100 - 200 \text{ kPa}$ )	18 – 24
Πολύ στιφρές ( $q_u = 200 - 400 \text{ kPa}$ )	24 – 48
Πολύ σκληρές ( $q_u = > 800 \text{ kPa}$ )	> 48

στ) Πρόταση *Retit*:

Τιμές του δείκτη εδαφικής αντίδρασης,  $k_s$  ( $MN/m^3$ ) σε σχέση με το είδος του εδάφους για τετράγωνη πλάκα,  $B_p = 0,305m$ . *Retit*

Είδος εδάφους	$k_s$
Τύρφη – οργανικά	6 – 18
Φρέσκο επίχωμα ή φυτική γη	10 – 15
Αργίλος υγρή μαλακή	20 – 35
λίγο υγρή	30 – 60
ξηρή	50 – 90
ξηρή και σκληρή	100 – 120
ξηρή με λίγη άμμο	80 – 100
Άμμος χαλαρή	20 – 40
μέση	80 – 100
πυκνή	120 – 150
πολύ πυκνή (ιλύς)	15 – 30
Χαλίκια λεπτά με άμμο	100 – 120
μεσαία με άμμο	120 – 150
χοντρά με άμμο	180 – 240

ζ) Πρόταση *De Beer*:

$$k = \frac{1,33}{B} \times \frac{E}{\sqrt[3]{(L/B)}}$$

η) *Dimitrov*:

$$k = \rho \times \frac{1}{B} \times \frac{E}{1 - \nu^2}$$

$E$ =Μέτρο ελαστικότητας του εδάφους,  $\nu=0,33$  για στατική φόρτιση (μέση τιμή)

Τιμές του  $\rho$  σε συνάρτηση του λόγου  $L/B$

L/B	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10,0	20,0	30,0	50,0
$\rho$	1,05	0,87	0,78	0,66	0,54	0,45	0,39	0,33	0,30

θ) Πρόταση *Schleicher*:

$$k = 1,12 \times \frac{1}{\sqrt{BL}} \times \frac{E}{1 - \nu^2} \quad E=\text{Μέτρο ελαστικότητας του εδάφους}$$

$\nu=0,33$  για στατική φόρτιση (μέση τιμή)

Η σχέση προτείνεται για άκαμπτα θεμέλια κυκλικού ή ελαφρά ορθογωνικού σχήματος.

## Δυσκολίες, ασάφειες και λάθη στους τρόπους προσδιορισμού του δείκτη εδάφους

### α) Προσδιορισμός του δείκτη εδάφους από υπολογισμό της καθίζησης

$$k = q_{\varepsilon\pi}^* / s$$

Υπάρχει αβεβαιότητα όσον αφορά στην ακρίβεια με την οποία προσεγγίζεται η τιμή της τελικής καθίζησης. Οφείλεται κυρίως σε δυσκολίες στην εκτίμηση της φορτικής ιστορίας του εδάφους (καθεστώδες επαναφόρτισης ή πρωτοφόρτισης), στο βαθμό διακύμανσης των παραμέτρων παραμόρφωσης στην ίδια εδαφική ενότητα, αλλά και στο βαθμό εμπιστοσύνης που υπάρχει στο τεχνικό προσωπικό που εκτελεί τις ερευνητικές εργασίες και στην εμπειρία και κρίση του γεωτεχνικού μηχανικού.

Μεγαλύτερο είναι το πρόβλημα στα αμμώδη εδάφη όπου η εφαρμογή διάφορων εμπειρικών μεθόδων (*Terzaghi, Meyerhof, D'Appolonia*, κ.λπ.) οδηγούν σε πολύ μεγάλες διαφορές στο **υπολογιστικό** αποτέλεσμα της καθίζησης (Χρ. Μαραγκός 2020, «Επιτόπου Δοκιμές στη Γεωτεχνική Μηχανική. Εφαρμογές στο Σχεδιασμό Θεμελιώσεων»).

Συνιστάται όπως οι μέθοδοι εκτίμησης του δείκτη εδάφους από υπολογισμούς καθιζήσεων εφαρμόζονται σε συνδυασμό και με άλλους τρόπους.

### β) Προσδιορισμός του δείκτη εδάφους από Πίνακες

Στους Πίνακες που ακολουθούν γίνεται σύγκριση των προτεινόμενων εμπειρικών προτάσεων και δείχνονται οι διαφορές τους.

*Άμμος. Σύγκριση των τιμών του δείκτη εδαφικής αντίδρασης,  $k_s$ , ( $MN/m^3$ ) στις συσχετίσεις των Terzaghi, Bowles, Retit*

Πυκνότητα άμμου	<i>Terzaghi</i>	<i>Bowles</i>	<i>Retit</i>
χαλαρή άμμος	6,4-19,2	4,8-16	20-40
μέσης πυκνότητας	19,2-96,2	9,6-80	80-100
πυκνή άμμος	96,2-321,0	64,0-128	120-150

*Αργίλος. Σύγκριση των τιμών του δείκτη εδαφικής αντίδρασης,  $k_s$ , ( $MN/m^3$ ) στις συσχετίσεις των Terzaghi, Bowles, Retit*

Είδος αργίλου	<i>Terzaghi</i>	<i>Bowles</i>	<i>Retit</i>
στιφρή: $100 < c_u < 200$ kPa	16,2-32,1	24-48	-
πολύ στιφρή: $200 < c_u < 400$ kPa	32,1-64,2	-	-
σκληρή: $400 < c_u$ kPa	>96	>48	100-120

Οι διάφορες προτάσεις (*Terzaghi, Bowles, Retit*) διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους, ο βαθμός διακύμανσης των τιμών, ακόμη και στην ίδια πρόταση, είναι μεγάλος: Σε βαθμό που να δυσκολεύεται ο μηχανικός να αποφασίσει τελικά ποιά από τις προτάσεις θα επιλέξει.

Συνιστάται να γίνεται διόρθωση του  $N$  λόγω ενεργειακού λόγου (διαφορετική αποδοτικότητα της μεταφερόμενης ενέργειας στο δειγματολήπτη στα σύγχρονα συστήματα δοκιμών SPT), όμως ο αριθμός  $N$  στον Πίνακα του *Terzaghi* να μη διορθώνεται λόγω βάθους στη θέση που εκτελείται η δοκιμή SPT.

Στους Πίνακες δεν γίνεται αναφορά μέχρι ποιο βάθος κάτω από τη βάση του θεμελίου πρέπει να προσμετρώνται τα πειραματικά αποτελέσματα.

Η συσχέτιση, στα συνεκτικά εδάφη, μιας παραμέτρου παραμόρφωσης (δείκτης  $k_s$ ) με μία παράμετρο αντοχής ( $c_u$ ) προβληματίζει κατά πόσο μπορεί να είναι «καλή».

Γενικά πάντως οι εμπειρικοί Πίνακες παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον και έχουν την αξία τους. Θα πρέπει όμως και αυτοί να εφαρμόζονται σε συνδυασμό και με άλλους τρόπους.

### γ) Προσδιορισμός του δείκτη εδάφους από το μέτρο $E$

Στην τρέχουσα Βιβλιογραφία υπάρχει σχετική ασάφεια, ενίοτε και λάθη ως προς το ποιο από τα μέτρα ελαστικότητας θα χρησιμοποιήσουμε στις σχέσεις στις οποίες εμφανίζεται το  $E$ : Εάν δηλαδή θα χρησιμοποιήσουμε το οιδημετρικό  $E_s$  ή το μέτρο απλής θλίψης  $E$  (μέτρο *Young*). Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις επισημαίνεται (με έμφαση πολλές φορές) ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται το οιδημετρικό μέτρο  $E_s$ . Δεν δίνονται επίσης πληροφορίες, μέχρι ποιο βάθος κάτω από το θεμέλιο θα πρέπει να προσμετρώνται τα μέτρα ή εάν στην περίπτωση ανομοιογενούς εδάφους θα πρέπει να λαμβάνονται μέσες τιμές των μέτρων  $E$  ή ισοδύναμα μέτρα (εξειδίκευση των μέτρων με βάση την κατανομή με το βάθος των εισαγόμενων τάσεων, π. χ. με τη λύση *Boussinesq*, βλ. επόμενο Σχήμα).

**Μέτρο απλής θλίψης ή οιδημετρικό μέτρο στις προτεινόμενες σχέσεις;** Θα δείξουμε στη συνέχεια ότι το μέτρο που πρέπει να εισάγουμε στις σχέσεις των *Vesic, De Beer, Dimitrov* και *Schleicher* είναι το μέτρο που παίρνουμε από δοκιμές απλής θλίψης,  $E$ .

**Απόδειξη:** Μπορούμε να βρούμε τη σχέση η οποία, για το γραμμικό ελαστικό έδαφος, συνδέει το οιδημετρικό μέτρο με το μέτρο του *Young* εάν εκφράσουμε τη συνθήκη της **απόλυτα πλευρικής παρεμπόδισης** των παραμορφώσεων με τις θεμελιώδεις σχέσεις της θεωρίας Ελαστικότητας. Εάν δηλαδή θέσουμε:  $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$ :

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu (\sigma'_x + \sigma'_y)] \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma'_y - \nu (\sigma_z + \sigma'_x)] = 0 \quad \varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma'_x - \nu (\sigma_z + \sigma'_y)] = 0$$

$\sigma_z, \sigma'_x, \sigma'_y$  = πρόσθετες ενεργές κύριες τάσεις λόγω των φορτίων της κατασκευής

$E$  = μέτρο του *Young*

Λύνοντας το σύστημα των τριών αυτών εξισώσεων προκύπτουν οι τιμές των οριζόντιων τάσεων,  $\sigma'_x, \sigma'_y$  οι οποίες δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση πλευρικών παραμορφώσεων και η τιμή της  $\varepsilon_z$ :

$$\sigma'_x = \sigma'_y = \frac{\nu \sigma_z}{1 - \nu} \quad \varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Το οιδημετρικό μέτρο  $E_s$  είναι εξ ορισμού ίσο με:  $E_s = \frac{\sigma'_z}{\varepsilon_z}$

Θα έχουμε συνεπώς:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma'_z}{E} \times \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} = \frac{\sigma'_z}{E_s}$$

από όπου προκύπτει:

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

Με παρόμοιο τρόπο προσδιορίζεται και η θεωρητική σχέση που συνδέει το  $E_s$  με το μέτρο  $E_v$  το οποίο προσδιορίζεται υπό συνθήκες **μερικής παρεμπόδισης** των πλευρικών παραμορφώσεων (δοκιμή φόρτισης πλάκας, δοκιμαστικές φορτίσεις μεγάλης κλίμακας στο πεδίο). Δείχνεται ότι:

$$E_s = E_v \frac{(1 - \nu)(1 - \nu^2)}{1 - \nu - 2\nu^2} \quad E_v = E \frac{1}{1 - \nu^2}, \quad E < E_v < E_s$$

$E_v$  = Μέτρο ελαστικότητας για συνθήκες μερικής πλευρικής παρεμπόδισης

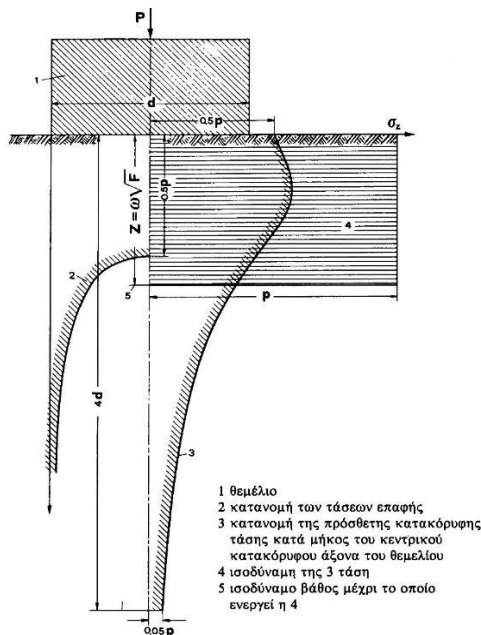
$E_s$  = οιδημετρικό μέτρο,  $E$  = Μέτρο ελαστικότητας (δοκιμές απλής θλίψης)

Στην Εδαφομηχανική ως μέτρο παραμόρφωσης ορίζουμε πάντοτε (ανεξάρτητα εάν πρόκειται για το οιδημετρικό μέτρο ή για το μέτρο παραμόρφωσης της τριαξονικής δοκιμής ή το μέτρο της απλής θλίψης, κ.λπ.) το λόγο της κατακόρυφης τάσης που ασκούμε σε ένα δοκίμιο καθορισμένου ύψους προς την ανηγμένη παραμόρφωση. Για να είμαστε σε θέση λοιπόν να προσδιορίσουμε για ένα ενιαίο έδαφος το μέτρο παραμόρφωσης από δοκιμές φόρτισης που εκτελούνται στην επιφάνεια του εδάφους, θα πρέπει να γνωρίζουμε το πάχος  $Z$  (= ύψος του δοκιμίου) της εδαφικής στρώσης που θα υποστεί την καθίζηση. Το μέτρο παραμόρφωσης -για τις συνθήκες κάτω από τις οποίες εκτελείται η δοκιμή- θα είναι τότε ίσο με:

$$E_v = \frac{p}{s/Z}$$

Ο *Schleicher (1926)* βασιζόμενος στην ελαστική λύση του *Boussinesq* για την κατανομή των τάσεων κάτω από μία θεμελίωση (επόμενο Σχήμα) ορίζει το πάχος αυτό με την εξίσωση:

$$Z = \omega \sqrt{F}$$



Τάσεις κάτω από άκαμπτο κυκλικό θεμέλιο  
κατά Boussinesq

$\omega$  = συντελεστής του *Schleicher* εξαρτώμενος από το σχήμα του θεμελίου και -σε μικρότερο βαθμό- από το βαθμό ακαμψιάς του. Για **άκαμπτα θεμέλια από μπετόν** κυκλικού ή ελαφρά ορθογωνικού σχήματος, η τιμή του συντελεστή αυτού είναι ίση με,  $\omega = \sqrt{\pi/2} = 0,89$ .

$F = B \times L =$  εμβαδόν της επιφάνειας φόρτισης

Θέτουμε στη σχέση που ορίζει το  $E_v$  την εξίσωση του *Schleicher*:

$$E_v = \omega \sqrt{F} \frac{p}{s}$$

Προκύπτει:

$$k_s = \frac{p}{s} = \frac{E_v}{\omega \sqrt{F}} = \frac{E}{(1 - \nu^2) \omega \sqrt{F}} = \frac{E}{(1 - \nu^2) 0,89 \sqrt{F}} = 1,12 \frac{E}{(1 - \nu^2) \sqrt{F}}$$

Από την παραπάνω ανάλυση αποδεικνύεται / προκύπτει:

Στις σχέσεις στις οποίες εμφανίζεται το μέτρο ελαστικότητας  $E$  (ή εσφαλμένα το  $E_s$  σε κάποιες αναφορές) θα εισάγεται το μέτρο του *Young*,  $E$  το οποίο θα λαμβάνεται από δοκιμές απλής θλίψης. Στην σχέση του *Schleicher* η τιμή του  $E$  θα προκύπτει ως η μέση τιμή των μέτρων απλής θλίψης που μετριοούνται από τη βάση του θεμελίου μέχρι βάθος ίσο με  $Z = 0,89 \sqrt{F}$ . Για μεγαλύτερες αποκλίσεις στο σχήμα του θεμελίου συνιστάται η εφαρμογή της σχέσης του *Dimitrov*.

Στις σχέσεις των *Dimitrov*, *Vesic* και *De Beer* προτείνεται όπως λαμβάνονται υπόψη μόνο τα μέτρα που μετριοούνται μέχρι βάθος  $1 \times B$ .

**Σημείωση:** Σημειώνεται ότι η εργαστηριακή τιμή του  $E$  θα προσδιορίζεται από τη χορδή που συνδέει το σημείο  $p=0$  με το σημείο,  $p=p/2$  όπου  $p$  το φορτίο στο οποίο το δοκίμιο αστοχεί κατά τη δοκιμή.

### Δυναμικός δείκτης εδαφικής αντίδρασης, $k_s^{\text{dyn}}$

Όταν η κατασκευή υπόκειται σε περιοδικές δυναμικές φορτίσεις εφαρμόζεται ο δυναμικός δείκτης εδάφους,  $k_s^{\text{dyn}}$ .

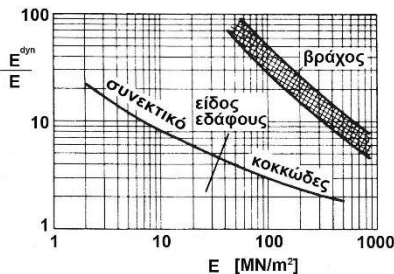
Ο δυναμικός δείκτης εδάφους μπορεί να προσδιοριστεί:

α) Από τον υπολογισμό της ελαστικής καθίζησης,  $s_e$  για τάση ίση με την επιτρεπόμενη τάση  $q_{\text{επ}}^*$ :

$$k_s^{\text{dyn}} = q_{\text{επ}}^* / s_e$$

Η ελαστική καθίζηση  $s_e$  προσδιορίζεται από τον κλάδο αποφόρτισης της οιδημετρικής καμπύλης ως ποσοστό της ολικής καθίζησης (ο προσδιορισμός γίνεται για τάση ίση με την επιτρεπόμενη  $q_{επ}^*$ ).

β) Από το διάγραμμα του *Alpan*, με  $v^{dyn}=0,5$  και εφαρμογή των σχέσεων των *Vesic*, *De Beer*, *Schleicher* και *Dimitrov*.



γ) Από δοκιμαστικές φορτίσεις πλάκας χρησιμοποιώντας την ελαστική καθίζηση,  $s_e$ .

$$k_s^{dyn} = p/s_e$$

$$k_s^{dyn} = k_s^{dyn} \times B_p/B \quad \text{συνεκτικό έδαφος}$$

$$k_s^{dyn} = k_s^{dyn} \times (B+B_p/2B_p)^2 \quad \text{κοκκώδες έδαφος}$$

δ) Από τον αριθμό  $N_1$  της πρότυπης δοκιμής διείδυσης, SPT (πρόταση *Scott*):

$$k_s^{dyn} (0,305)(MN/m^3) = 1,8 \times N_1$$

$$N_1 = \text{διορθωμένος αριθμός } N: N_1 = C_N \times N$$

$$C_N = \text{διορθωτικός συντελεστής λόγω βάθους}$$

#### Σημείωση:

α) Η δοκιμή πλάκας είναι πρακτικά μία βραχυχρόνια δοκιμή.

β) Ο δείκτης εδαφικής αντίδρασης,  $k_s$  και το μέτρο  $E_v$  εξαρτώνται από το μέγεθος του φορτίου που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του. Για να ληφθεί υπόψη η μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους, η τιμή του  $k_s$  προσδιορίζεται για φορτία έξω από τη γραμμική περιοχή. Η τιμή του προσδιορίζεται από τη χορδή που συνδέει το σημείο  $p=0$  και  $p=p_i/2$  όπου  $p_i$  το φορτίο στο οποίο το έδαφος αστοχεί κατά τη δοκιμή πλάκας. Γίνεται συνεπώς δεκτό:

$$k_s = \frac{E}{\omega(1-v^2)\sqrt{F}} \quad \text{για } p > \text{όριο Ελαστικότητας.}$$

Από την παραπάνω παρατήρηση γίνονται φανερές και οι σχετικές δυσκολίες που υπάρχουν στην πιστότητα των θεωρητικών ελαστικών σχέσεων που εφαρμόζονται για την εκτίμηση του  $k_s$  από το  $E$  μέσω της σχέσης που συνδέει τα μέτρα  $E$  και  $E_v$ .

#### δ) Προσδιορισμός του δείκτη εδάφους από το οιδημετρικό μέτρο $E_s$

Όταν διαθέτουμε μόνο αποτελέσματα οιδημετρικών δοκιμών, προτείνουμε όπως προσδιορίζουμε το δείκτη εδάφους από τις σχέσεις των *Vesic*, *De Beer*, *Dimitrov* και *Schleicher* αντικαθιστώντας το  $E$  με το  $E_s$  (με βάση τη θεωρητική σχέση που συνδέει τα δύο μέτρα) και την παραδοχή για όλα τα εδάφη μιας μέσης τιμής για το λόγο του *Poisson*,  $v=0,33$ :

$$E_s = E \frac{(1-v)}{(1+v)(1-2v)} = E \frac{1-v}{1-v-2v^2} \quad E = \frac{0,76 \times E_s}{1,12} = 0,67 \times E_s$$

α) *Vesic*:

$$k = \frac{0,90}{B} \times \frac{E}{(1-v^2)} = \frac{E}{B} = \frac{0,67 \times E_s}{B}$$

β) *De Beer*

$$k = \frac{1,33}{B} \times \frac{0,67 \times E_s}{\sqrt[3]{(L/B)}}$$

γ) *Dimitrov*:

$$k = \rho \times \frac{1}{B} \times 0,75 \times E_s$$

δ) *Schleicher*:

$$k = 1,12 \times \frac{1}{\sqrt{BL}} \times 0,75 \times E_s$$

Στις παραπάνω σχέσεις τα οιδημετρικά μέτρα θα υπολογίζονται για τάση ίση με το άθροισμα της ενεργού γεωστατικής τάσης στο βάθος της δοκιμής και του μισού της αύξησης της εισαγόμενης τάσης.

Η χρησιμοποίηση του  $E_s$  στις παραπάνω σχέσεις ενδείκνυται περισσότερο σε αμμώδη εδάφη, σε μερικώς κορεσμένες αργίλους και σε μίγματα αργίλου-άμμου (διαπερατά εδάφη:  $v < 0,5$ ).

### Γενικές παρατηρήσεις

α) Η σωστή εκτίμηση του δείκτη εδάφους δεν είναι κάτι εύκολο. Οι τιμές του δείκτη που θα προκύπτουν από την εφαρμογή των σχετικών προτάσεων θα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και είναι απαραίτητο ο γεωτεχνικός μελετητής να διαθέτει καλές γεωτεχνικές γνώσεις και ικανή εμπειρία.

β) Όταν διατίθενται γεωτεχνικά στοιχεία σε βαθμό που να μπορούν να εφαρμοστούν περισσότεροι τρόποι προσδιορισμού του δείκτη, συνιστάται να εφαρμόζονται όλες οι διαθέσιμες προτάσεις και να εξετάζονται οι ακραίες τιμές των αποτελεσμάτων.

γ) Προτείνουμε, ως πιο τεκμηριωμένες λύσεις, την εφαρμογή των σχέσεων του *Schleicher* και του *Dimitrov*. Τα μέτρα παραμόρφωσης θα συνεκτιμώνται στο τμήμα που περιλαμβάνεται κάτω από τη βάση του θεμελίου και μέχρι απόσταση από αυτή ίση περίπου με το πλάτος του θεμελίου. Για ορθογωνικά θεμέλια να προτιμάται η σχέση *Dimitrov*.

δ) Στα συνεκτικά εδάφη να προγραμματίζονται λήψεις αδιατάρακτων δειγμάτων κυρίως κάτω από τη βάση του θεμελίου και μέχρι βάθος ίσο περίπου με το πλάτος του. Στο τμήμα αυτό πρέπει να γίνονται κυρίως δοκιμές απλής θλίψης. Οιδημετρικές δοκιμές πρέπει να γίνονται σε όλο το πάχος των συμπιεστών στρώσεων. Στα αμμώδη εδάφη να γίνονται παντού δοκιμές SPT.

ε) Σε περιπτώσεις σημαντικών έργων (θεμελιώσεις βάρων γεφυρών, κατασκευές υδροηλεκτρικών έργων) συνιστάται η εφαρμογή, στον πυθμένα της εκσκαφής, δοκιμαστικών φορτίσεων θεμελίων από μετόν ικανών διαστάσεων («θεμέλιο μοντέλο») και η αναγωγή των αποτελεσμάτων στις διαστάσεις του «πραγματικού θεμελίου» με βάση τους νόμους ομοιότητας (Χρ. Μαραγκός, 2020).

$k_s$  = Δείκτης εδαφικής αντίδρασης (Δοκιμές φόρτισης πλάκας)

$k$  = Δείκτης εδάφους πραγματικού θεμελίου

$E$  = Μέτρο Ελαστικότητας (*Young*): Μέτρο απλής θλίψης (στατικό μέτρο)

$E_s$  = Οιδημετρικό Μέτρο = Μέτρο για συνθήκες απόλυτα παρεμποδιζόμενων πλευρικών μετατοπίσεων

$E_v$  = Μέτρο Ελαστικότητας για συνθήκες μερικής παρεμπόδισης πλευρικών μετατοπίσεων (πλάκα)

$E^{dyn}$  = Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας,  $k^{dyn}$  = Δυναμικός δείκτης εδάφους,  $v^{dyn} = 0,5$

καθ. Χρήστος Μαραγκός