

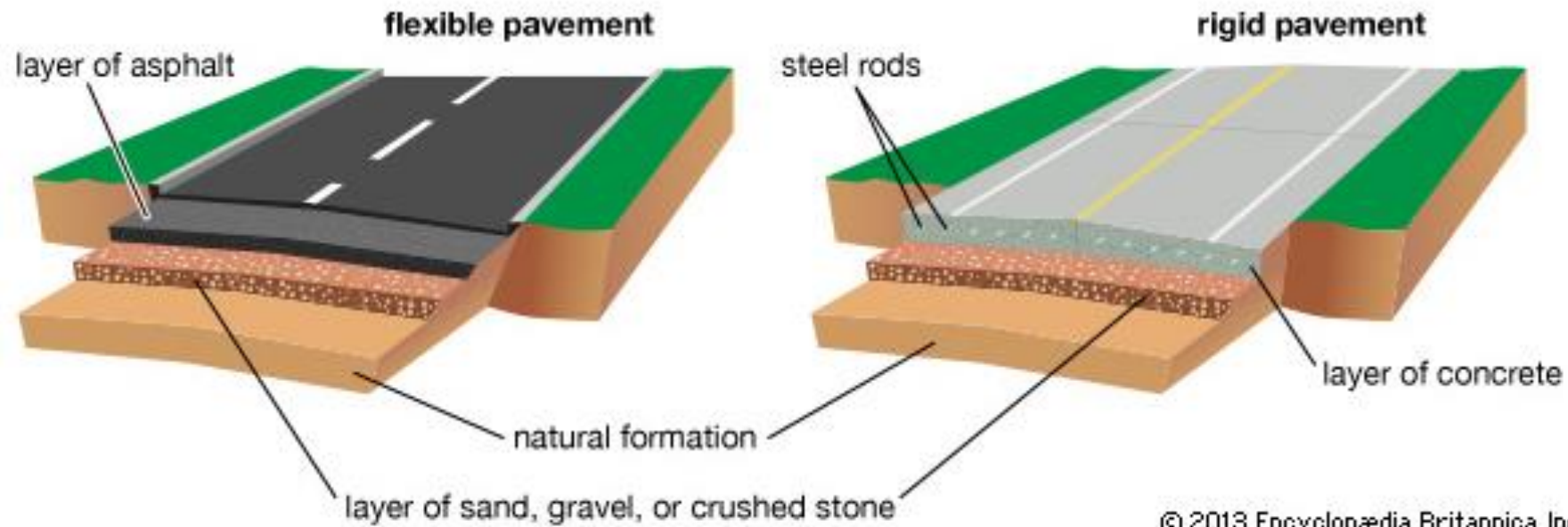
Κατασκευή οδών

Διάλεξη 07 : Σχεδιασμός δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Ζωή Χριστοφόρου

Υπενθύμιση

Types of road construction



© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Υπολογισμός δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

1. Μηχανικό προσομοίωμα οδοστρώματος
2. Καθορισμός είδους, έντασης, διάρκειας επιπονήσεων (κυκλοφορία και περιβαλλοντικοί παράγοντες)
3. Εκτίμηση πάχους και μηχανικών χαρακτηριστικών στρώσεων (E , ν)
4. Ανάλυση εντατικής κατάστασης (τάσεις, παραμορφώσεις)
5. Έλεγχος επάρκειας κατά τη διάρκεια ζωής
 - Αστοχία σκυροδέματος έναντι κόπωσης (επαναλαμβανόμενη φόρτιση)
 - Αστοχία υπόβασης λόγω διάβρωσης

Σχεδιασμός εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Δεδομένα: ESAL, R, S_o, M_r, ΔPSI

Ζητούμενα: D₁, SN₁, D₂, SN₂, D₃, SN₃

Βήματα

1. Νομογράφημα 5.4 → SN
2. Νομογραφήματα 5.1-5.3 → α₁, α₂, α₃
3. $D_i(\text{in}) \geq \frac{SN_i}{(a_i * m_i)}$, D* στρογγυλοποίηση
4. Έλεγχος για ελάχιστα πάχη

Αστοχία εύκαμπτων οδοστρωμάτων

1. Ρηγμάτωση λόγω κόπωσης (fatigue cracking) ασφαλτικής άνω στρώσης



Οριζόντια εφελκυστική παραμόρφωση στην κάτω επιφάνεια της ασφαλτικής στρώσης ϵ_t .

Αστοχία εύκαμπτων οδοστρωμάτων

2. Αυλάκωση επιφάνειας οδοστρώματος (rutting)



Κατακόρυφη θλιπτική παραμόρφωση της άνω επιφάνειας της στρώσης έδρασης ϵ_z .

Δομή μαθήματος

Θεωρία (1/2)

1. Εισαγωγή στα οδοστρώματα
2. Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους
3. Φορτία οχημάτων
4. Στατική ελαστική ανάλυση εύκαμπτων οδοστρωμάτων
5. Σχεδιασμός εύκαμπτων οδοστρωμάτων
6. Στατική ελαστική ανάλυση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Δομή μαθήματος

Θεωρία (2/2)

7. Σχεδιασμός δύσκαμπτων οδοστρωμάτων
8. Ασφαλτικά υλικά
9. Αδρανή υλικά
10. Σύνθεση ασφαλτικού σκυροδέματος
11. Κατασκευή στρώσεων
12. Φθορές οδοστρωμάτων

Δομή μαθήματος

1. Σχεδιασμός δύσκαπτων οδοστρωμάτων
2. Κριτήριο αστοχίας δύσκαπτων οδοστρωμάτων

Μέθοδος AASHTO (1993)

Εμπειρική, ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

- Αποτελέσματα δοκιμών σε πεδίο και εργαστήριο
- Παρατηρήσεις από κατασκευασθέντα οδοστρώματα
- Στοιχεία θεωρίας

Στόχος: υπολογισμός πάχους πλάκας σκυροδέματος

Παράμετροι σχεδιασμού

1. Κυκλοφοριακός φόρτος (ESAL)

$$ESAL = \sum_{i=1}^m EALF_i * n_i$$

$i=1,2,\dots,m$ οι διαφορετικές κατηγορίες αξονικών φορτίων

n_i : ο αριθμός των διελεύσεων της κατηγορίας i

$$n_i = (n_0)_i * (365) * (D) * (L) * (G) * (Y)$$

$$EALF = \frac{n_{t18}}{n_{tx}}$$

$(n_0)_i$ = αρχικός αριθμός επαναλήψεων ανά ημέρα για την ομάδα φορτίων i

D : 0.5 αν δεν έχουμε άλλα στοιχεία/ενδείξεις

L : 1 εάν 1 λωρ/κατ, 0.66-0.94 εάν 2 λωρ/κατ, 0.49-0.82 για άνω των 3 λωρ/κατ (λωρίδα σχεδιασμού η εξωτερική)

$G*Y$: $\frac{(1+r)^Y - 1}{r}$, r : ετήσιος αριθμός αύξησης και Y : αριθμός ετών περιόδου σχεδιασμού

Παράμετροι σχεδιασμού

2. Διάρκεια σχεδιασμού: 20 έως 50 έτη

Περίοδος συμπεριφοράς: μόνο συντήρηση και όχι αποκατάσταση (10 χρόνια)

3. Αξιοπιστία R και τυπική απόκλιση S_o

R : πιθανότητα ικανοποιητικής συμπεριφοράς του οδοστρώματος καθόλη τη διάρκεια σχεδιασμού (συνήθως $R=75-99\%$)

Τυπική απόκλιση S_o (συνήθως $=0.40-0.50$).

Παράμετροι σχεδιασμού

4. Παρών δείκτης λειτουργικότητας **ΔPSI**

Μείωση λειτουργικότητας οδοστρώματος.

Λαμβάνει υπόψη την επίδραση περιβάλλοντος: διόγκωση υπεδάφους αργιλικής φύσης, ανύψωση λόγω παγετού.

5. Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος **$E_c = 57000(fc')^{0.5}$** , σε psi, όπου **fc'** είναι η θλιπτική αντοχή του σε psi.

Παράμετροι σχεδιασμού

6. Μέτρο καμπτικής αντοχής σκυροδέματος (modulus of rupture) S_c σε psi.
7. Εποχιακό μέτρο επανάκτησης MR του υπεδάφους (συνήθως ανά μήνα).
8. Εποχιακό μέτρο ελαστικότητας E_{SB} υπόβασης (συνήθως ανά μήνα).
9. Συντελεστής μεταφοράς J.

Εκφράζει την δυνατότητα της πλάκας σκυροδέματος να μεταφέρει φορτίο μέσω αρμών και ρωγμών με τη βοήθεια των ράβδων ενίσχυσης και σύνδεσης. Χαρακτηριστική τιμή $J=3.0$.

Παράμετροι σχεδιασμού

10. Συντελεστής αποστράγγισης C_d

Κυμαίνεται μεταξύ 0.70 και 1.25 με την τιμή 1.0 να αποτελεί μία καλή ενδιάμεση τιμή.

11. Μέτρο αντίδρασης k ($\rho_{ci}=\text{lb}/\text{in}^3$) του υπεδάφους.

Χαρακτηριστικό της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.

Ορίζεται από τον λόγο της πίεσης που ασκείται στην επιφάνεια του εδάφους από άκαμπτη κυκλική πλάκα με διάμετρο 30 in (76.2 cm) που προκαλεί υποχώρηση 0.05 in (0.127 cm) προς αυτή την υποχώρηση, δηλαδή $k = \rho / 0.05$

Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης k (AASHTO)

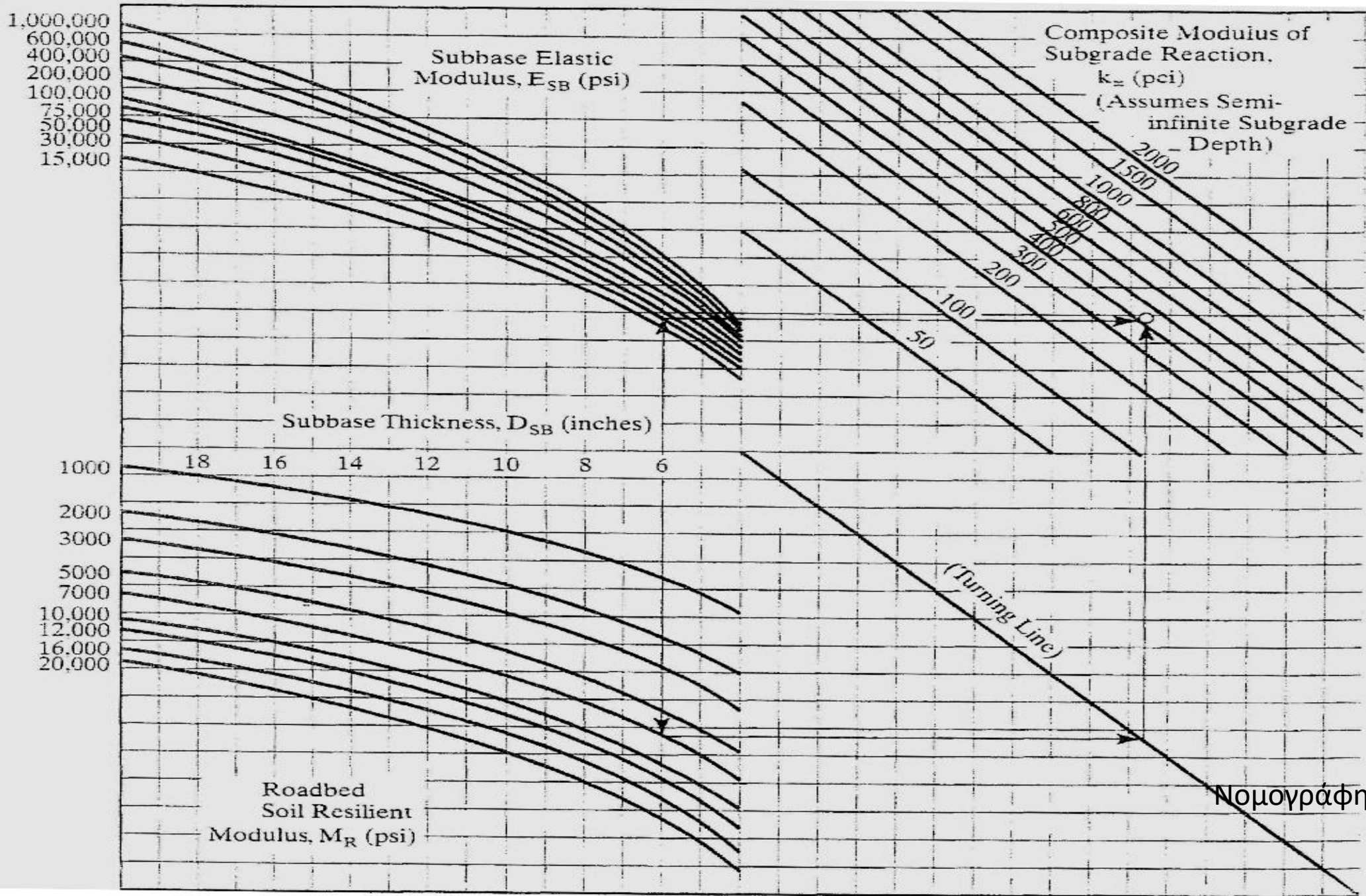
A. Υπολογισμός μηνιαίου k

- Απουσία υπόβασης: $k=MR/19.4$
- Παρουσία υπόβασης: **σύνθετο k_{∞}**

Αναφέρεται σε **υπόβαση και υπέδαφος** (ελαστικός ημίχωρος).

Δεδομένα : M_R , E_{SB} και πάχος υπόβασης D_{SB}

Νομογράφημα βιβλίου 7.1



Νομογράφημα βιβλίου 7.1

Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης k (AASHTO)

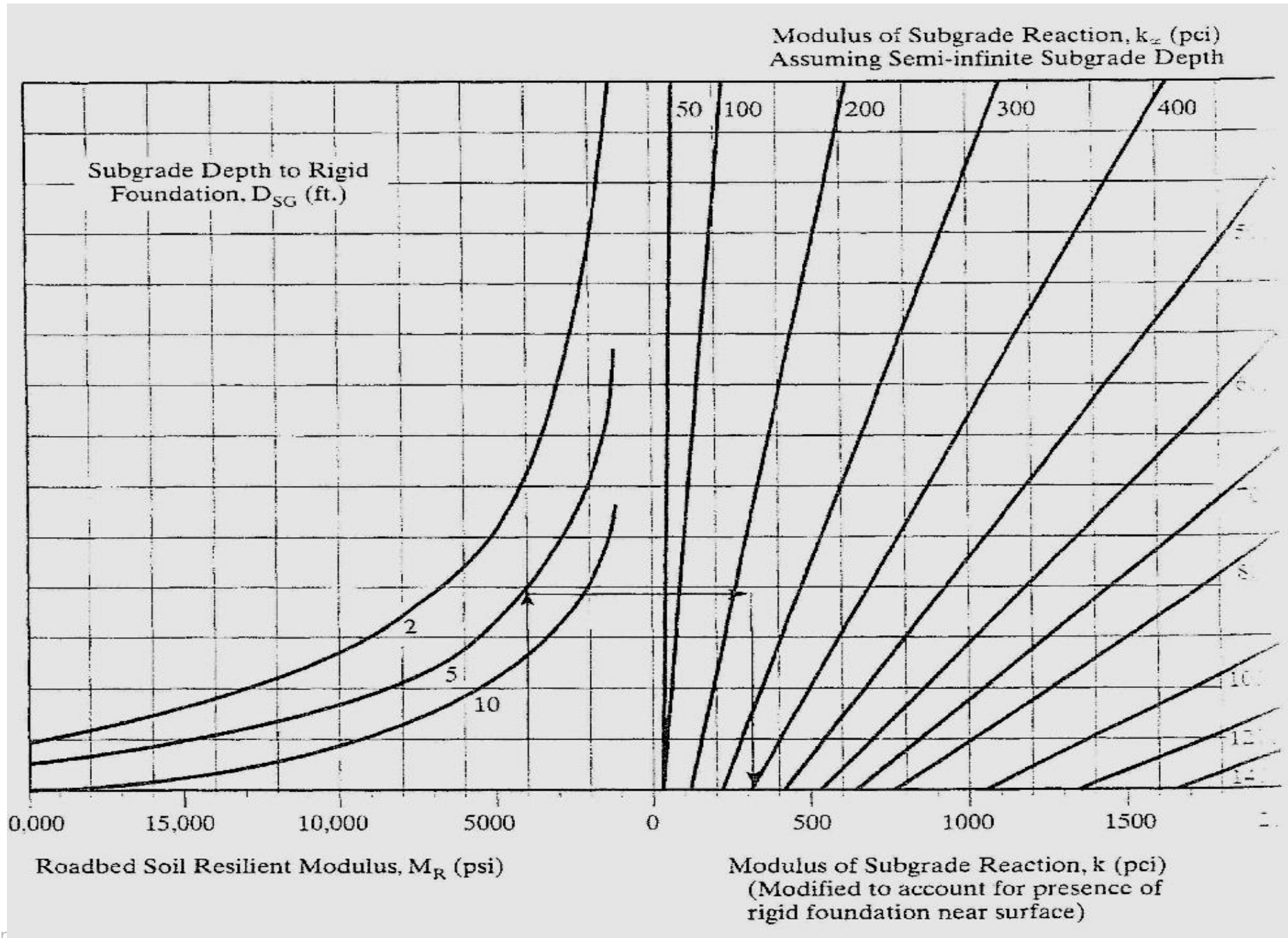
B. Υπολογισμός διορθωμένου μηνιαίου k

Για την ύπαρξη βραχώδους υποστρώματος κοντά στην επιφάνεια υπεδάφους

Μέγιστη απόσταση 10 ft

Δεδομένα : M_R , E_{SB} , πάχος υπεδάφους D_{SG} και μηνιαίο **k υπεδάφους**

Νομογράφημα βιβλίου 7.2



Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης k (AASHTO)

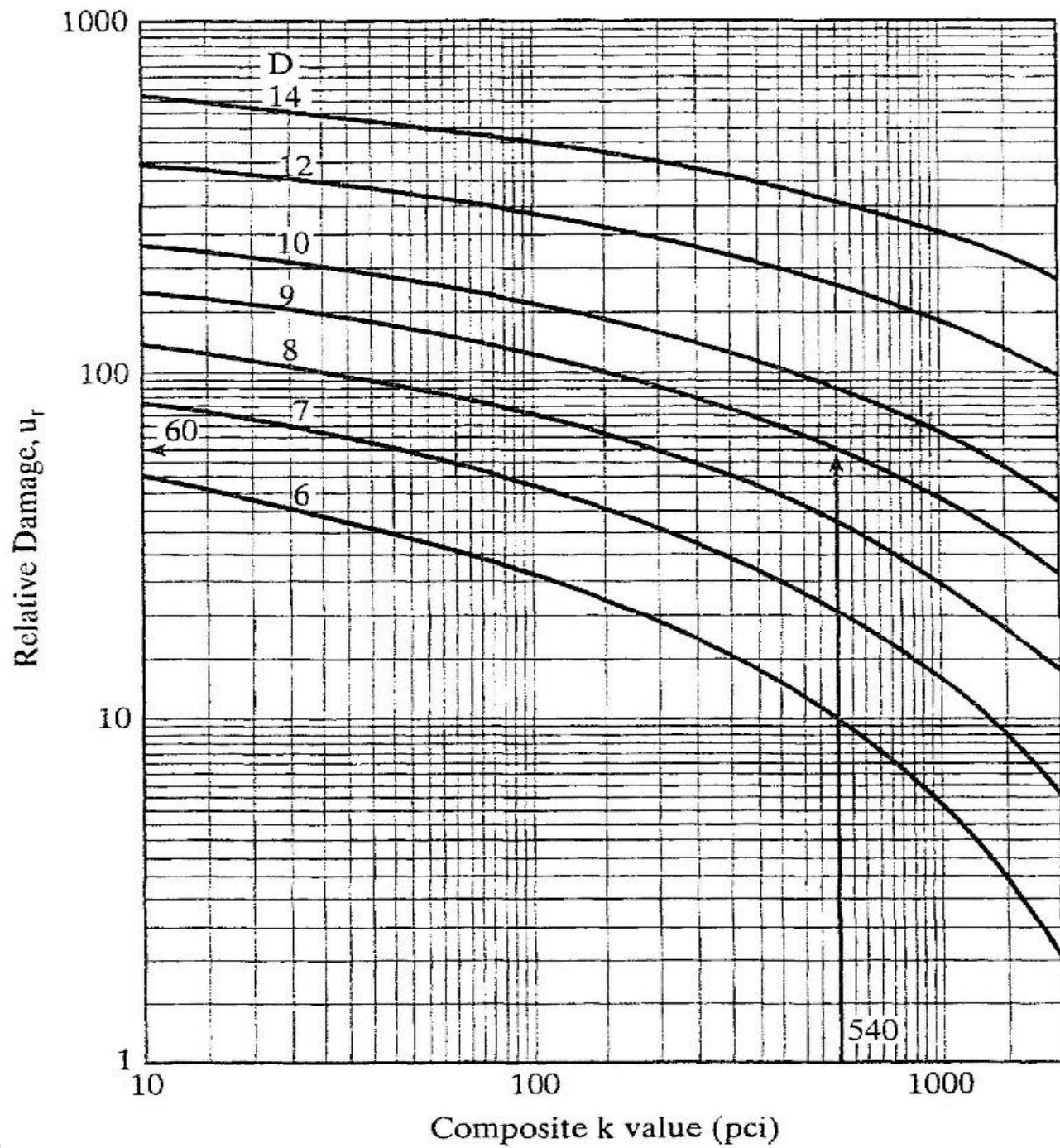
Γ. Υπολογισμός μέσης μηνιαίας σχετικής βλάβης \bar{u}_r για διάρκεια 12 μηνών

Σχετική βλάβη πλάκας ανά μήνα για ένα έτος u_r

Δεδομένα : σύνθετο k , υπόθεση προσεγγιστικού πάχους D της πλάκας

Νομογράφημα βιβλίου 7.3

Υπολογισμός μέσης μηνιαίας τιμής ανά έτος.



Νομογράφημα βιβλίου 7.3

Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης k (AASHTO)

Δ. Ενεργός τιμή μέτρου αντίδρασης k .

Δεδομένα : \bar{u}_r

Νομογράφημα βιβλίου 7.3

Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης k (AASHTO)

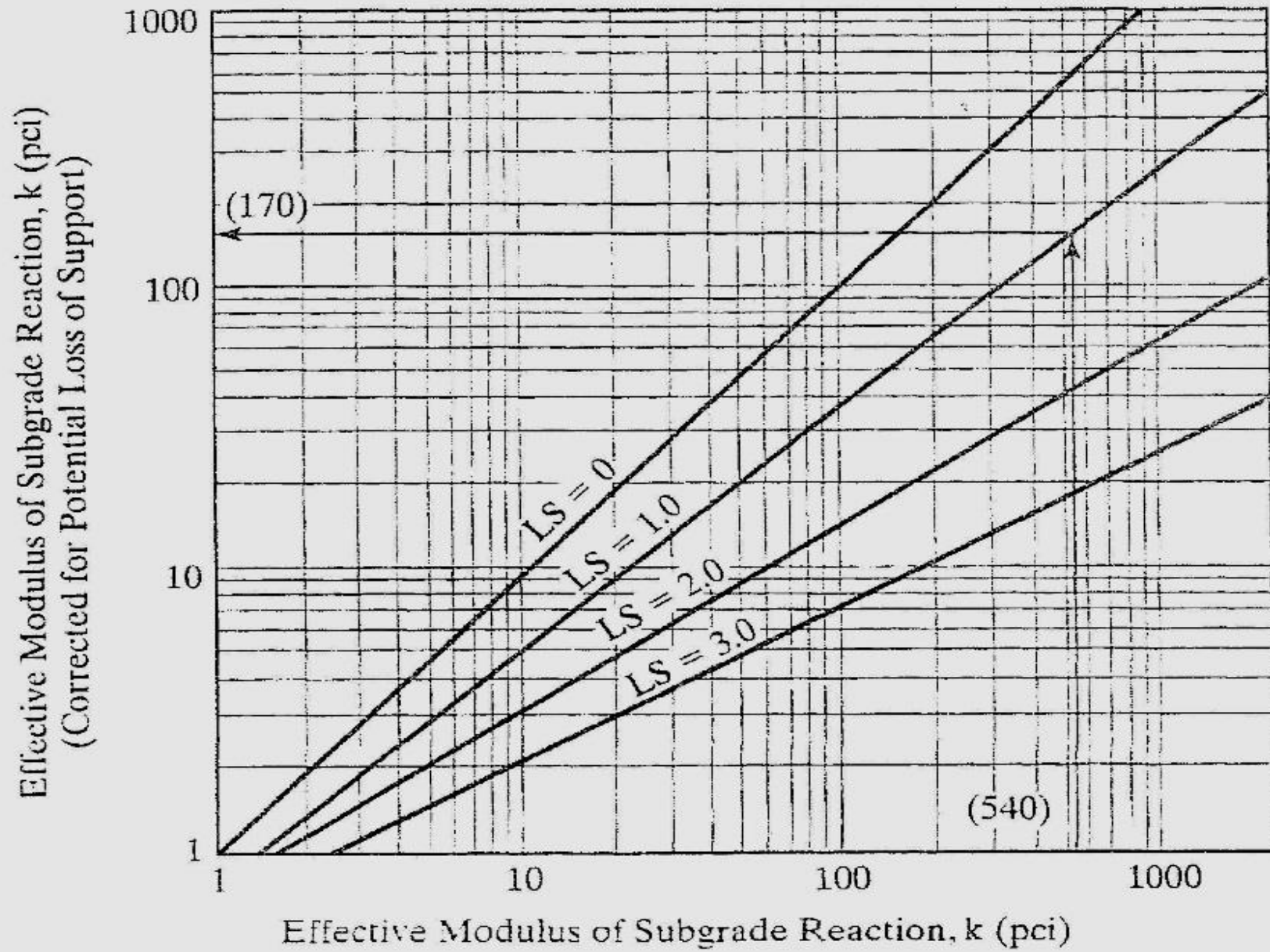
Ε. Διορθωμένο ενεργό μέτρο αντίδρασης k

Δεδομένα : ενεργό μέτρο αντίδρασης k , συντελεστής απώλειας φέρουσας ικανότητας πλάκας LS .

$LS=0, 1, 2, 3$

Εάν δεν γνωρίζουμε λαμβάνουμε $LS = 1,5$

Νομογράφημα βιβλίου 7.4



Νομογράφημα βιβλίου 7.4

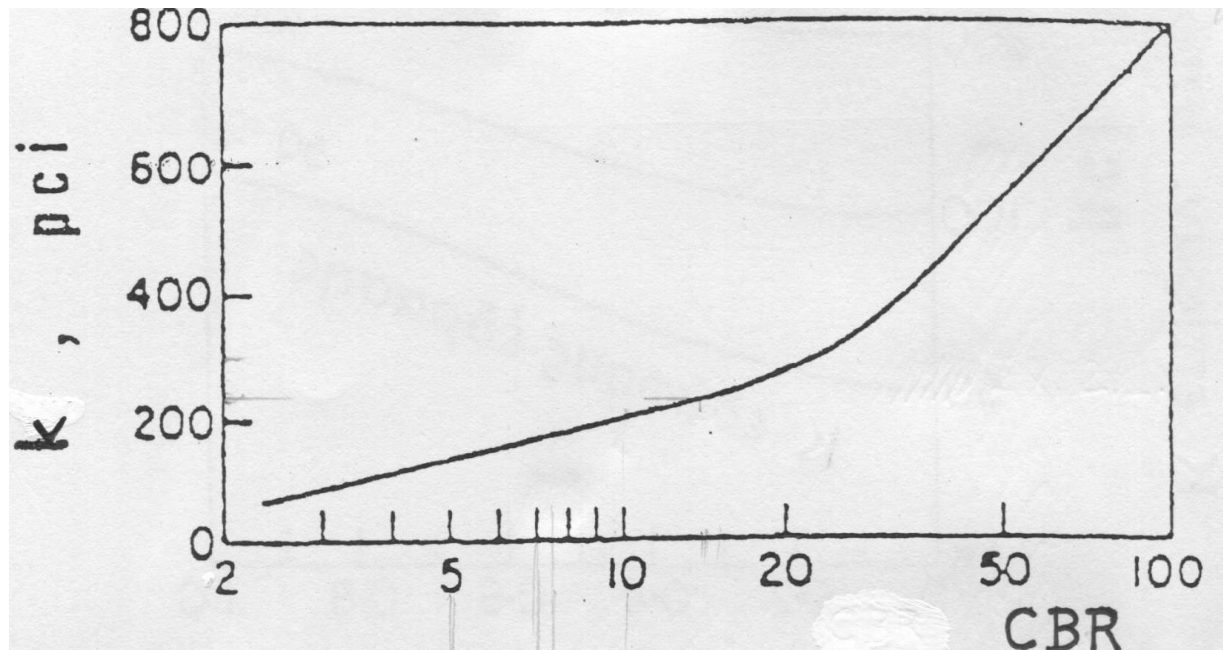
Άσκηση 1^α (AASHTO)

Για δύσκαμπτο οδόστρωμα με πάχος υπόβασης $D_{SB}=7$ in, μέτρο ελαστικότητας υπόβασης $E_{SB}=30000$ psi, μέτρο επανάκτησης υπεδάφους $M_R=10000$ psi, πάχος υπεδάφους εδραζόμενου σε βράχο $D_{SG}=8$ ft, πάχος πλάκας $D=8$ in, συντελεστή σχετικής βλάβης πλάκας $\bar{u}_r=60$ και συντελεστή απώλειας φέρουσας ικανότητας υπεδάφους $LS=1.0$, να προσδιοριστεί το διορθωμένο ενεργό μέτρο αντίστασης υπεδάφους.

Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης υπεδάφους k (PCA)

Portland Cement Association (1984)

Αντί για μηνιαίο υπολογισμό δείκτη υπεδάφους : $k = f(\text{CBR})$



Σχήμα βιβλίου 2.3

Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης υπεδάφους k (PCA)

Subgrade <i>k</i> value (pci)	Subbase <i>k</i> values (pci)			
	4 in.	6 in.	9 in.	12 in.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Note. 1 in. = 25.4 mm, 1 pci = 271.3 kN/m³.

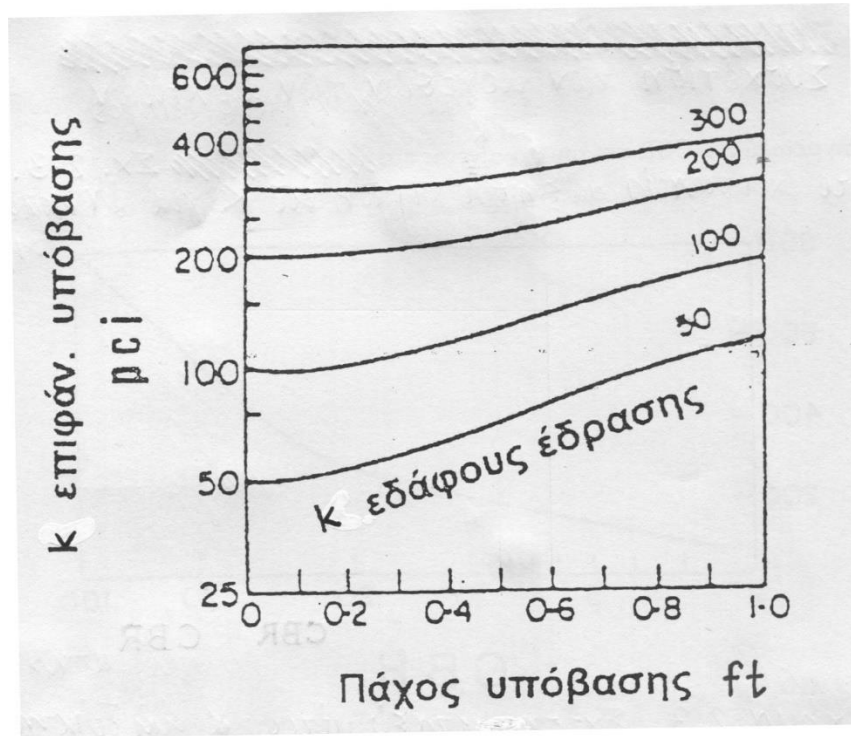
Πίνακας 7.1 Σύνθετο μέτρο αντίδρασης **χωρίς** τσιμέντο

Subgrade <i>k</i> value (pci)	Subbase <i>k</i> values (pci)			
	4 in.	6 in.	8 in.	10 in.
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	—

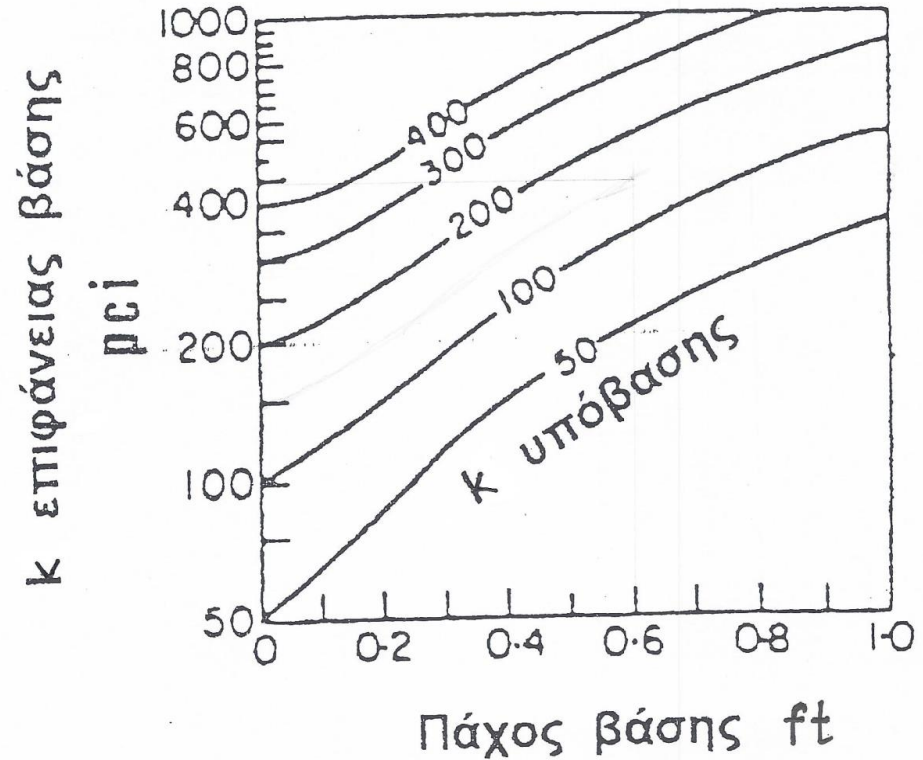
Note. 1 in. = 25.4 mm, 1 pci = 271.3 kN/m³.

Πίνακας 7.2 Σύνθετο μέτρο αντίδρασης **με** τσιμέντο

Υπολογισμός μέτρου αντίδρασης υπεδάφους k (PCA)



Σχήμα 2.4 Σύνθετο μέτρο αντίδρασης **χωρίς** τσιμέντο



Σχήμα 2.5 Σύνθετο μέτρο αντίδρασης **με** τσιμέντο

Άσκηση 1^β (PCA)

Για δύσκαμπτο οδόστρωμα με πάχος υπόβασης $D_{SB}=7$ in, μέτρο ελαστικότητας υπόβασης $E_{SB}=30000$ psi, μέτρο επανάκτησης υπεδάφους $M_R=10000$ psi, πάχος υπεδάφους εδραζόμενου σε βράχο $D_{SG}=8$ ft, πάχος πλάκας $D=8$ in, συντελεστή σχετικής βλάβης πλάκας $\bar{u}_r=60$ και συντελεστή απώλειας φέρουσας ικανότητας υπεδάφους $LS=1.0$, να προσδιοριστεί το διορθωμένο ενεργό μέτρο αντίστασης υπεδάφους.

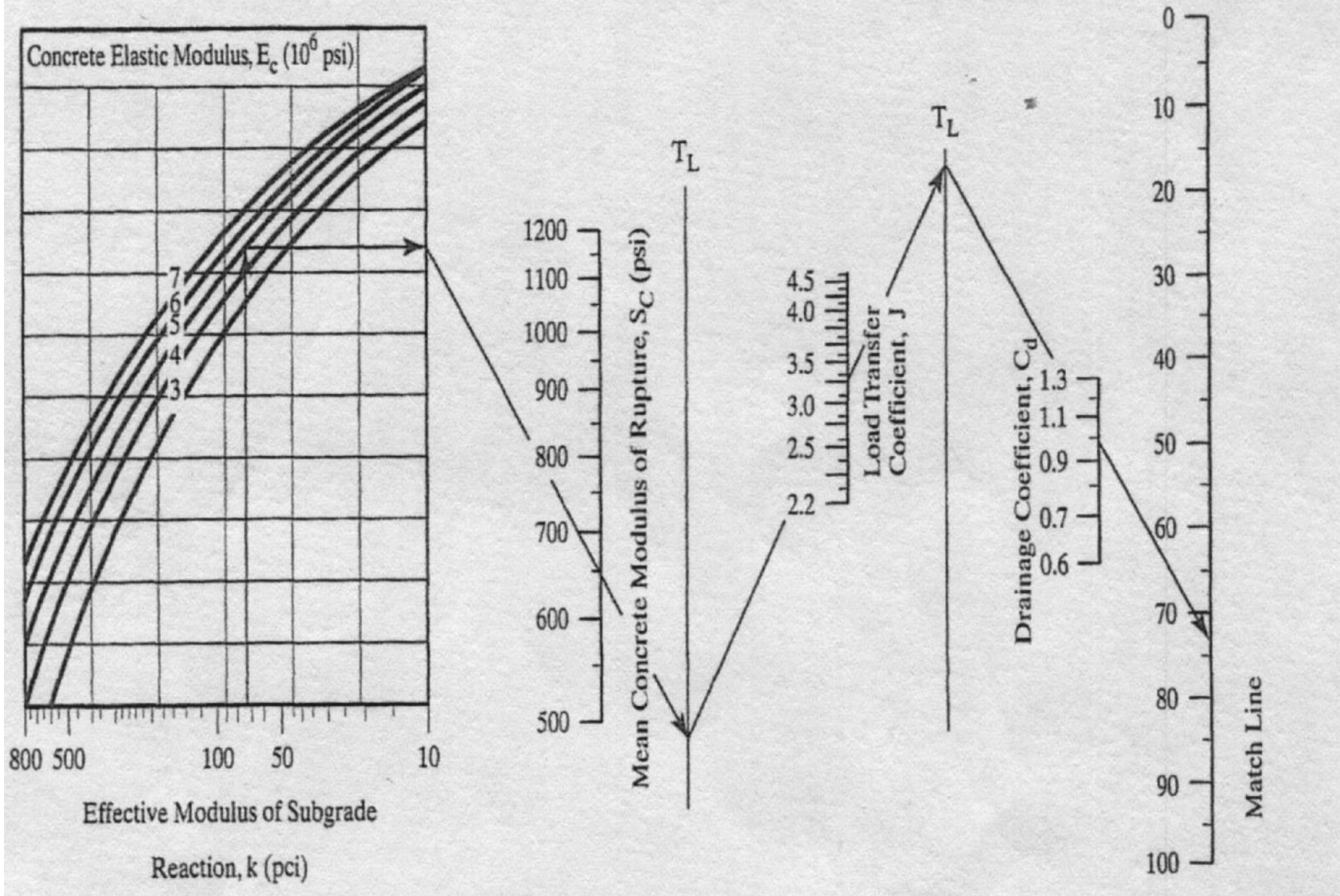
Υπολογισμός πάχους πλάκας σκυροδέματος D

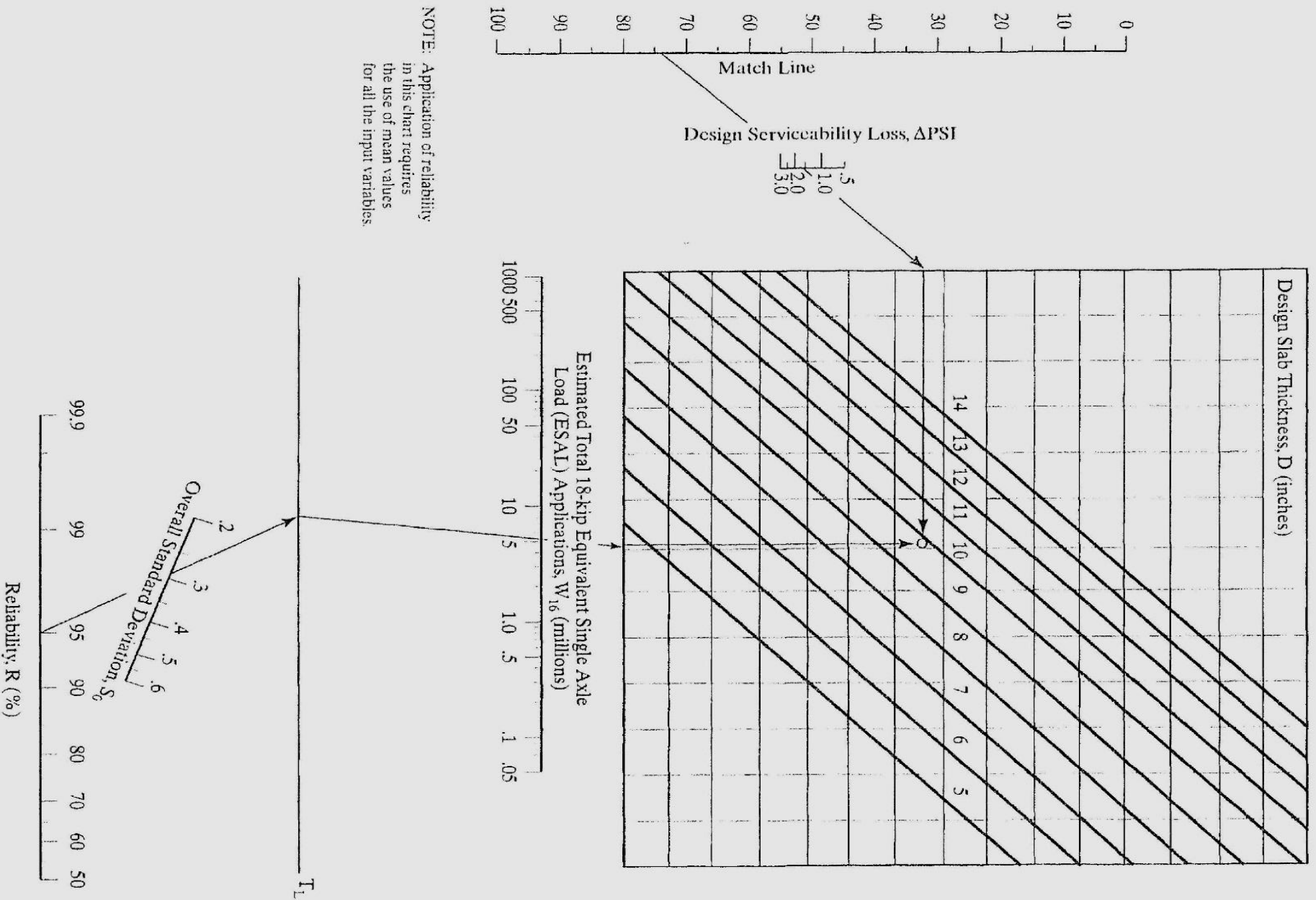
Δεδομένα : οι 11 σχεδιαστικές παράμετροι

Χρήση νομογραφήματος βιβλίου 7.5

Προσοχή :

Αν η διαφορά από το υποθετικό πάχος του βήματος Γ είναι σημαντική, απαιτείται επανυπολογισμός!





Άσκηση 2

Για δύσκαμπτο οδόστρωμα με ενεργό διορθωμένο $k=80$ pci, $E_c=4*10^6$ psi, $S_c=700$ psi, $J=3.2$, $C_d=1.1$, $\Delta PSI=1.5$, $R=95\%$, $S_o=0.30$ και $W18=5*10^6$, να υπολογιστεί το πάχος της πλάκας σκυροδέματος σύμφωνα με τις διατάξεις AASHTO (1993).

Άσκηση 3

Να υπολογιστεί κατά AASHTO το πάχος της πλάκας σκυροδέματος ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος με τα ακόλουθα δεδομένα:

1. Μέτρο αντίδρασης εδάφους $k=100$ pci
2. Μέτρο ελαστικότητας και θλιπτική αντοχή σκυροδέματος: $E_c=5*10^6$ psi και $S_c=650$ psi
3. $p_t=2.5$, $R=95\%$, $S_o=0.30$, $C_d=1$, $J=3.25$
4. Μέση ημερήσια κυκλοφορία=1000, ποσοστό φορτηγών=30%
5. Κατανομή αξονικών φορτίων όπως στον παρακάτω πίνακα

Άσκηση 3

Αξονικό Φορτίο kips	Αριθ.Αξόνων/1000 φορτηγά	Αξονικό Φορτίο kips	Αριθ.Αξόνων/1000 φορτηγά
15-17	120.9	29-31	70.3
17-19 (απλοί)	110.8	31-33 (δίδυμοι)	34.4
19-21 (απλοί)	60.3	33-35 (δίδυμοι)	24
21-23 (απλοί)	15.6	35-37 (δίδυμοι)	17.2
23-25	1.3	37-39	16.8
25-27	0.9	39-41	10.5
		41-43	9.6

Φορτίο άξονα (kips)	Απλοί άξονες, $P_t = 2,5$					
	Πάχος πλάκας (in)					
	6	7	8	9	10	11
2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
12	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17
14	0,38	0,36	0,35	0,34	0,34	0,34
16	0,63	0,62	0,61	0,60	0,60	0,60
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,51	1,52	1,55	1,57	1,58	1,58
22	2,21	2,20	2,28	2,34	2,38	2,40
24	3,16	3,10	3,23	3,36	3,45	3,50
26	4,41	4,26	4,42	4,67	4,85	4,95
28	6,05	5,76	5,92	6,29	6,61	6,81
30	8,16	7,67	7,79	8,28	8,79	9,14
32	10,81	10,06	10,10	10,70	11,43	11,99
34	14,12	13,04	12,94	13,62	14,59	15,43
36	18,20	16,69	16,41	17,12	18,33	19,52
38	23,15	21,14	20,61	21,31	22,74	24,31
40	29,11	26,49	25,65	26,29	27,91	29,90

Φορτίο άξονα (kips)	Δίδυμοι άξονες, $P_t = 2,5$					
	Πάχος πλάκας (in)					
	6	7	8	9	10	11
10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
14	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
16	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
18	0,16	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13
20	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20
22	0,34	0,32	0,31	0,31	0,30	0,30
24	0,48	0,46	0,45	0,44	0,44	0,44
26	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,62
28	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
30	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14
32	1,43	1,44	1,47	1,49	1,50	1,51
34	1,82	1,82	1,87	1,92	1,95	1,96
36	2,29	2,27	2,35	2,43	2,48	2,51
38	2,85	2,80	2,941	3,04	3,12	3,16
40	3,52	3,42	3,55	3,74	3,87	3,94
42	4,32	4,16	4,30	4,55	4,74	4,86
44	5,26	5,01	5,16	5,48	5,75	5,92
46	6,36	6,01	6,14	6,53	6,90	7,14
48	7,64	7,16	7,27	7,73	8,21	8,55

Πίνακας 3.6 b. Τιμές EALF για δύσκαμπτα οδοστρώματα με $D=6-11$ in και $p_t=2.5$ κατά AASHTO (1993)

Αστοχία δύσκαμπτου οδοστρώματος

Κυριότερο κριτήριο αστοχίας : **ρηγμάτωση λόγω κόπωσης**

Αιτία: τάσεις στο μέσο των ακραίων πλευρών της πλάκας σκυροδέματος.

Μορφή: εγκάρσιες και διαμήκεις ρωγμές στα άκρα.

Ο επιτρεπόμενος αριθμός διελεύσεων φορτίου για πρόκληση ρηγμάτωσης κόπωσης εξαρτάται από τον λόγο της εφελκυστικής καμπτικής τάσης και του μέτρου ρηγμάτωσης του σκυροδέματος.

Αστοχία δύσκαμπτου οδοστρώματος

Κυριότερο κριτήριο αστοχίας : **ρηγμάτωση λόγω κόπωσης**

Μέθοδος: υπολογισμός ισοδύναμου αριθμού διελεύσεων ακραίων φορτίων

Κριτήριο Darter and Barenberg (1977)

$$\log N_f = 16.61 - 17.61 (\sigma/S_c)$$

N_f : επιτρεπόμενος αριθμός διελεύσεων

σ : καμπτική εφελκυστική τάση πλάκας

S_c : μέτρο ρηγμάτωσης σκυροδέματος

50% πιθανότητα αστοχίας

Διάρκεια ζωής

Cracking Index

$$CI = \frac{n_i}{N_f}$$

Ευχαριστώ
