



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ)

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ακ. έτος 2023 – 2024

Μάθημα 8^{ου} εξαμήνου

Οδοστρώματα II

Μέρος Δ (διαλέξεις 9-12)

Κωνσταντίνος Γκυρτής

Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ

Ιούνιος 2024

Εισαγωγή στα οδοστρώματα αεροδρομίων

Εύκαμπτα

Ημιάκαμπτα

Δύσκαμπτα

Σύνθετα



Τύποι οδοστρωμάτων

Εύκαμπτο οδόστρωμα



Ασφαλτικές στρώσεις

Θραυστό αμμοχάλικο

Θραυστό ή Συλλεκτό αμμοχάλικο

Στρώση έδρασης



Ασφαλτικά οδοστρώματα

Ημι-άκαμπτο/ημι-εύκαμπτο οδόστρωμα



Ασφαλτικές στρώσεις

ΚΘΑ (κατεργασμένο θραυστό αμμοχάλικο)

ΚΘΑ ή ασύνδετο αμμοχάλικο

Στρώση έδρασης



Τύποι οδοστρωμάτων

Δύσκαμπτα οδοστρώματα



Πλάκα σκυροδέματος

Στρώση έδρασης

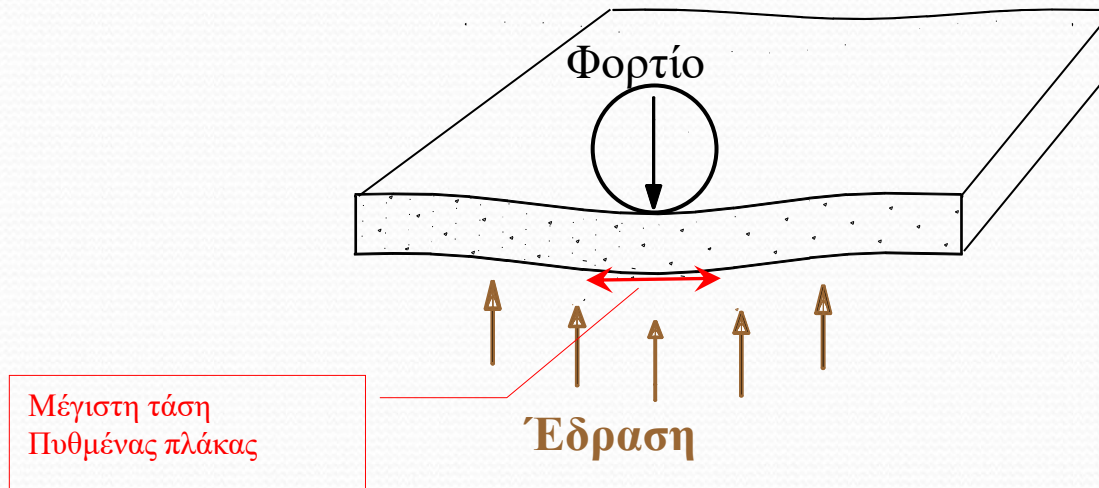


Είδη Καταστροφών - Περιοχές Εφαρμογής για δύσκαμπτα

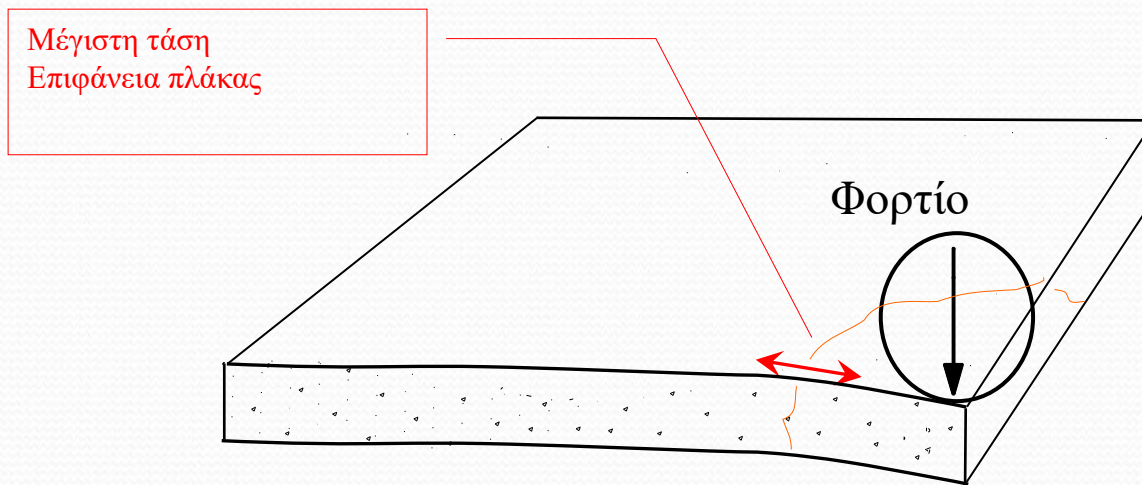
- Δάπεδα Αναμονής
- Δάπεδα Στάθμευσης
- Βοηθητικά δάπεδα
- Ειδικά δάπεδα



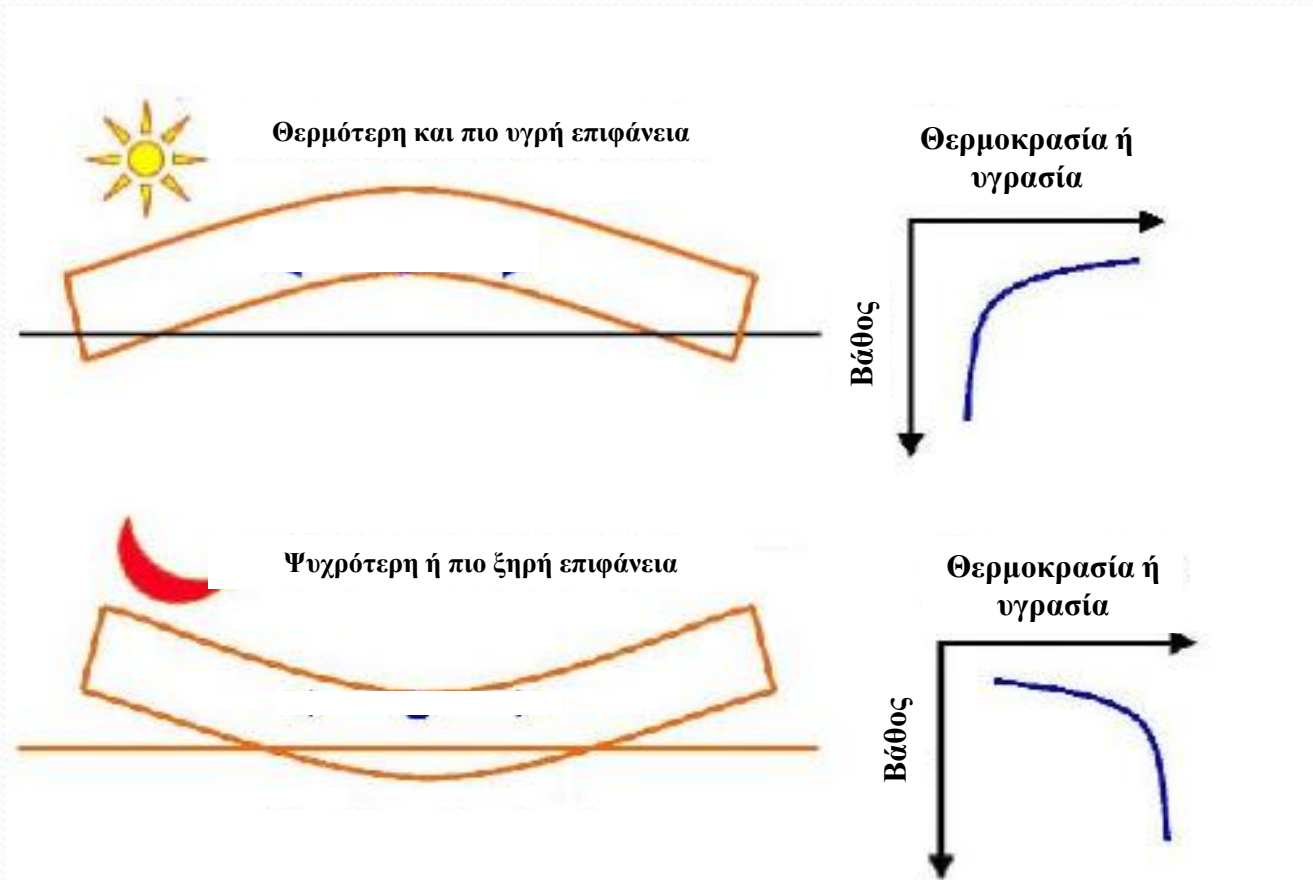
ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ



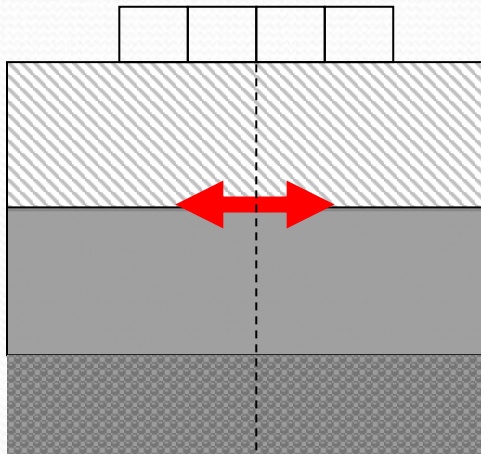
ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ & ΥΓΡΑΣΙΑΣ



Κρίσιμη θέση αστοχίας δύσκαμπτου οδοστρώματος




Πλάκα σκυροδέματος (αστοχία λόγω οριζόντιας εφελκυστικής παραμόρφωσης – πυθμένας πλάκας)

Αμμοχάλικο, ασύνδετο ή κατεργασμένο με υδραυλικές κονίες

Στρώση έδρασης

Κατασκευαστικά στοιχεία σε δύσκαμπτα οδοστρώματα



Αρμοί

Κατασκευάζονται ώστε η ρηγμάτωση να γίνει σε προκαθορισμένες θέσεις

Βλήτρα

Τοποθετούνται για την υποβοήθηση της μεταβίβασης φορτίου από τη μία πλάκα στην άλλη

ΑΡΜΟΙ

Κατά μήκος αρμός



Longitudinal Joint

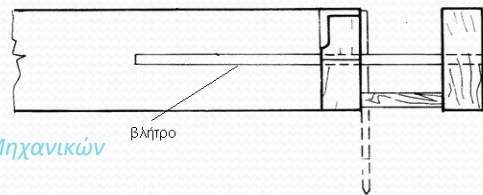
Εγκάρσιος αρμός



Transverse joint

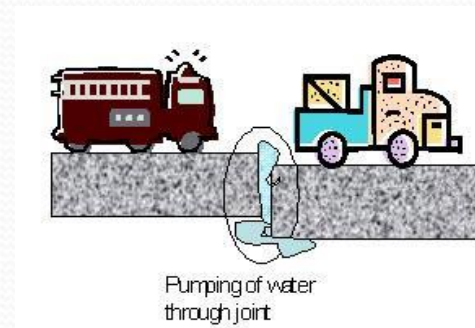
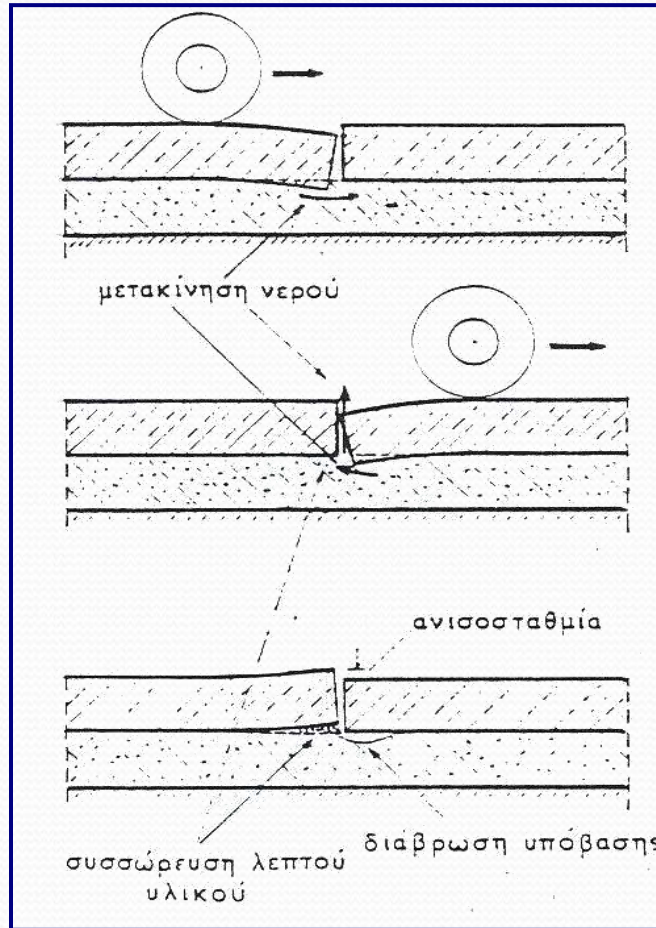
ΑΡΜΟΙ

Αρμός διακοπής εργασίας



(Διάστρωση λωρίδας σε διαφορετικό χρόνο)

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

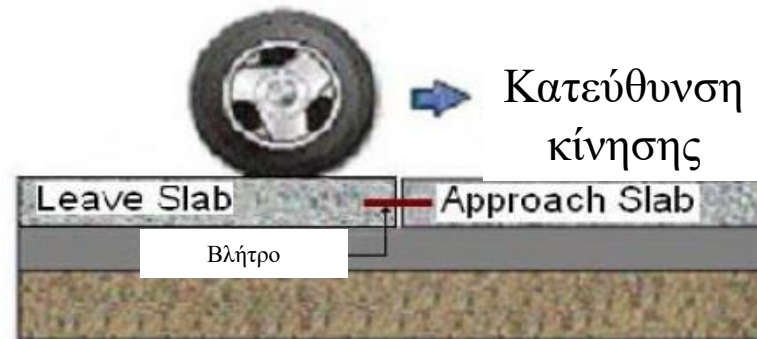


Επίδραση των βλήτρων στις υποχωρήσεις των άκρων των πλακών

Πλάκα
σκυροδέματος
χωρίς βλήτρα



Πλάκα
σκυροδέματος με
βλήτρα



ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

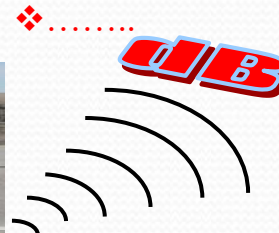
(+)

- ❖ Μεγάλη διάρκεια ζωής
- ❖ Μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας σε ευπαθή εδάφη
- ❖ Μειωμένες απαιτήσεις στρώσεων βάσης/υπόβασης
- ❖ Ανθεκτικά σε χημική διάβρωση
- ❖ Τροχοαλάκωση
- ❖ Στατικά φορτία
- ❖



(-)

- ❖ Υψηλό αρχικό κόστος κατασκευής
- ❖ Διάθεση στην κυκλοφορία / ωρίμανση υλικού
- ❖ Ποιότητα κύλισης / θόρυβος
- ❖ Συντήρηση
- ❖ Υψηλό κόστος αποκατάστασης



Αεροδρόμια vs οδοί

Ομοιότητες και διαφορές.....

Αεροδρόμια vs οδοί

Ομοιότητες

❖ Υλικά



❖ Έλεγχος μιγμάτων στο εργαστήριο



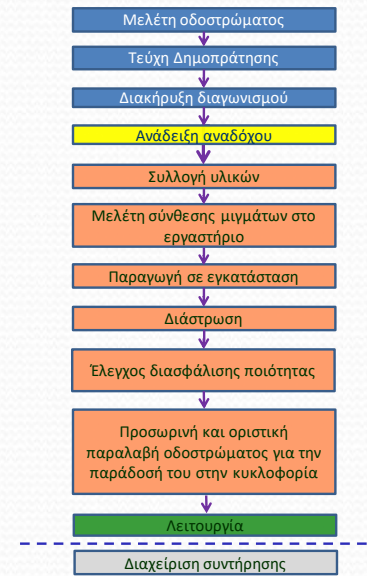
❖ Παραγωγή μιγμάτων



❖ Κατασκευή / διάστρωση



❖ Στάδια έργου



Αεροδρόμια vs οδοί

Διαφορές

- ❖ Μέγεθος φορτίων
- ❖ Πλήθος φορτίων
- ❖ Ο ρόλος της ταχύτητας
- ❖ Διάταξη τροχών για μεταβίβαση φορτίου
- ❖ Τρόπος φόρτισης

Μέγεθος φορτίων



Πλήθος φορτίων



Ταχύτητες α/φ

(στάθμευση, αναμονή, τροχοδρόμηση, προσαπογείωση)

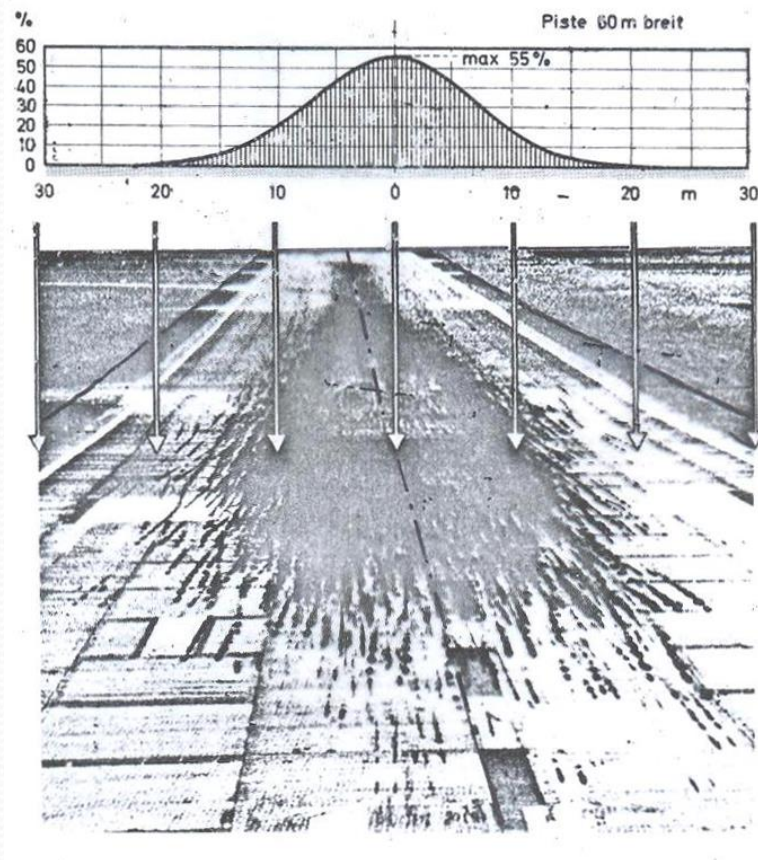




Τρόπος φόρτισης



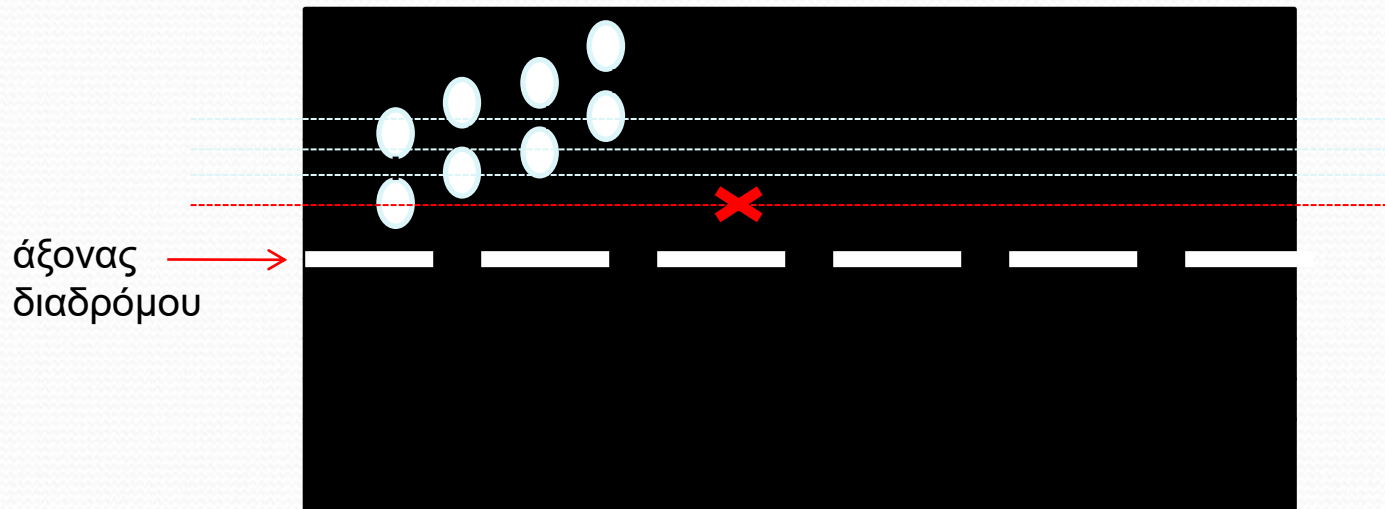
Συγκέντρωση κινήσεων α/φ εκατέρωθεν του άξονα του διαδρόμου



Καλύψεις-Διελεύσεις C (Coverages)

Μία κάλυψη-διέλευση C προκύπτει από έναν ορισμένο αριθμό διελεύσεων φορέων αεροσκαφών (passes) και αντιστοιχεί σε μία μέγιστη φόρτιση του οδοστρώματος

«διελεύσεις μέγιστης επιπόνησης»



Pass-to-coverage ratio: P/C



Διελεύσεις / Καλύψεις-Διελεύσεις: α

4 διελεύσεις



1 Κάλυψη-Διέλευση (Coverage)

P/C ratio

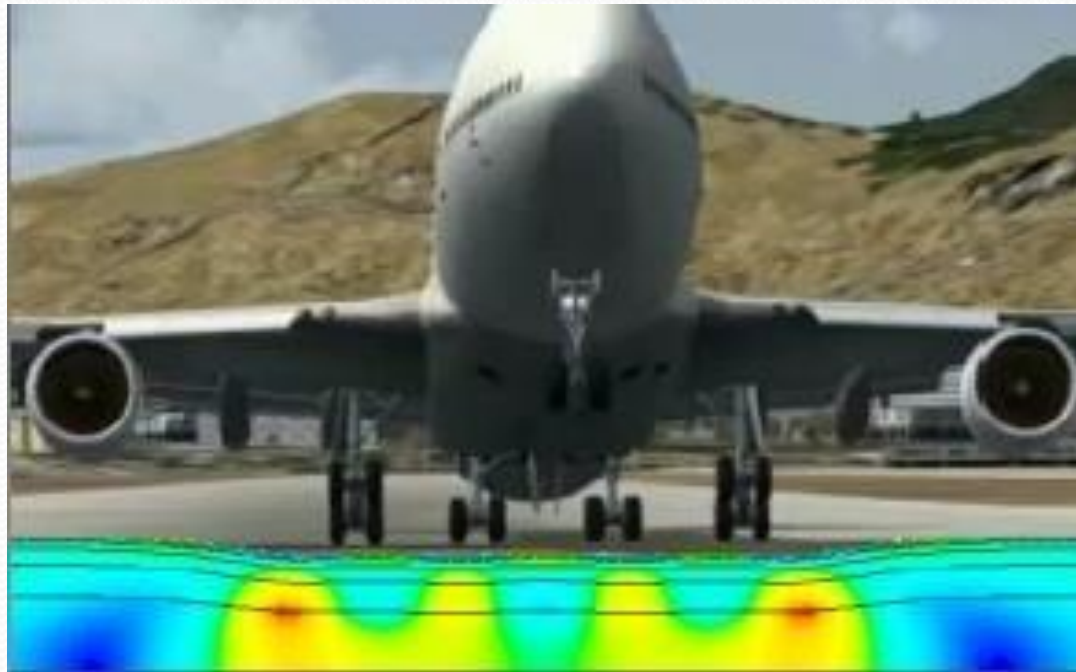
Διάγραμμα σχεδιασμού	Λόγος διελεύσεων προς καλύψεις-διελεύσεις C (pass-to-coverage ratio)	
	Εύκαμπτα οδοστρώματα	Δύσκαμπτα οδοστρώματα
Μονού τροχού	5.18	5.18
Διπλού τροχού	3.48	3.48
Διπλ τροχ. -διπλ. άξονα	1.84	3.68
A-300 model B2	1.76	3.50
A-300 model B4	1.73	3.45
B-747	1.85	3.70
B-757	1.94	3.88
B-767	1.95	3.90
C-130	2.07	4.15
DC10-10	1.82	3.64
DC10-30	1.69	3.38
L-1011	1.81	3.62

Παράδειγμα

$$P/C = 1.85 \text{ \& } 3.7$$

Παράδειγμα: Λόγος διελεύσεων προς καλύψεις-διελεύσεις P/C για το α/φ B747

Για 10 καλύψεις-διελεύσεις ενός B747 απαιτούνται κινήσεις (διελεύσεις) σε
εύκαμπτο οδόστρωμα και κινήσεις (διελεύσεις) σε δύσκαμπτο οδόστρωμα.



Διαστασιολόγηση οδοστρώματος

Μεγαλύτερα πάχη στρώσεων!!!



Στρώση έδρασης

Στρώση έδρασης

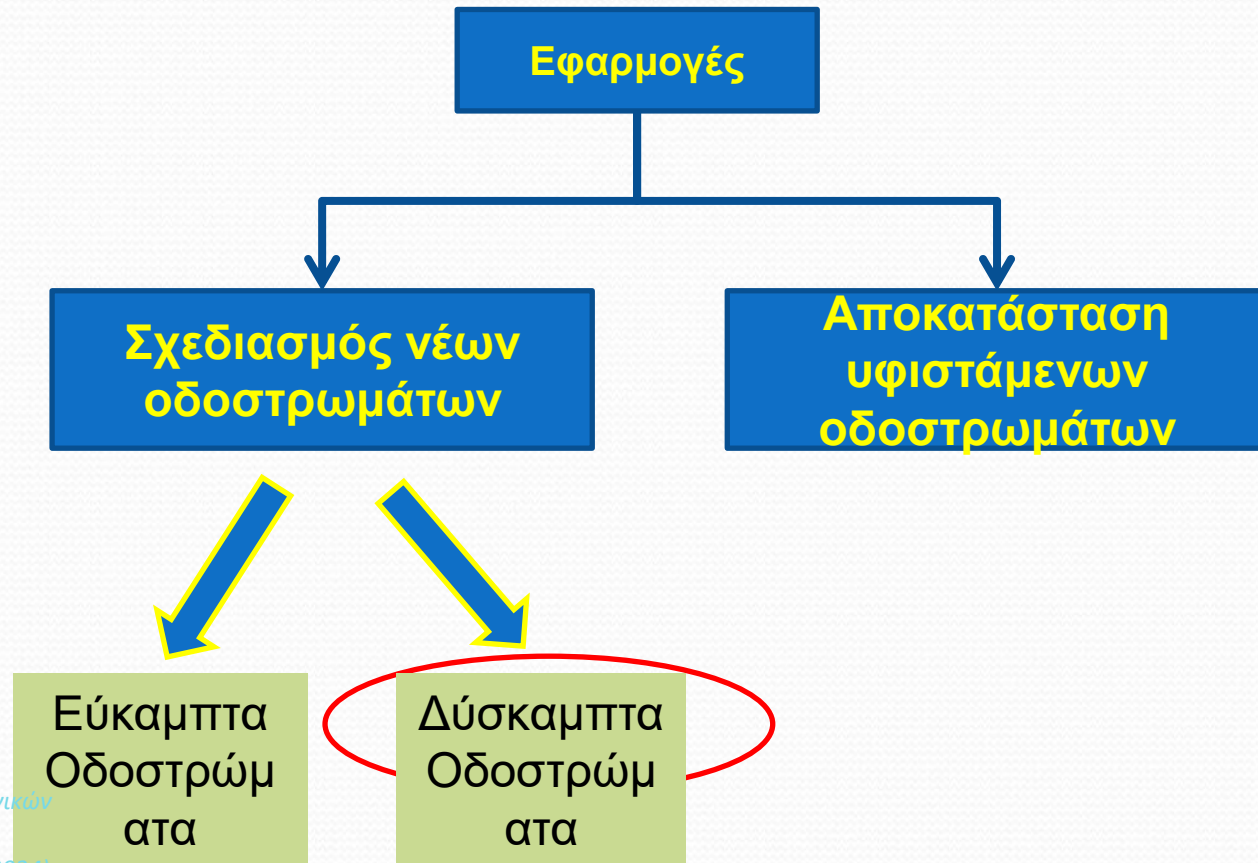
Συντήρηση οδοστρώματος και κόστος



Σχεδιασμός δύσκαμπτου οδοστρώματος **οδού** (εμπειρική μέθοδος AASHTO)

Όχι για αεροδρόμιο

Μέθοδος AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)



ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

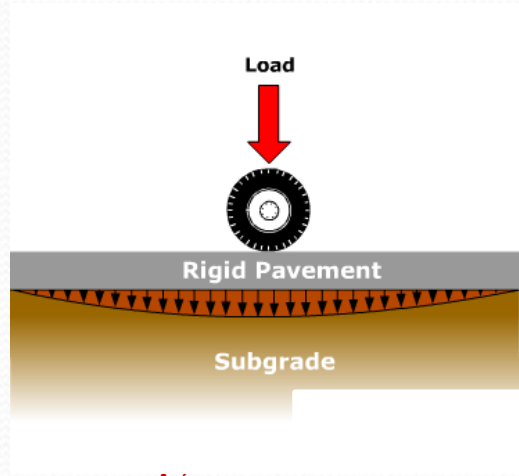
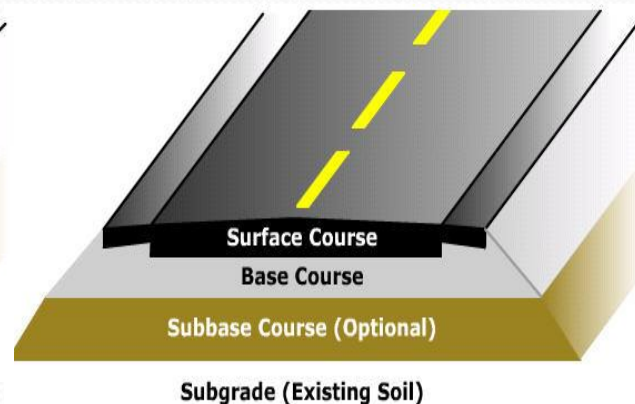
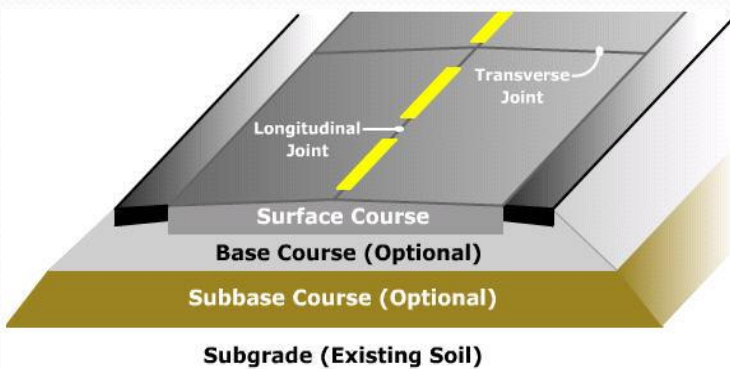
Αυτοκινητόδρομος



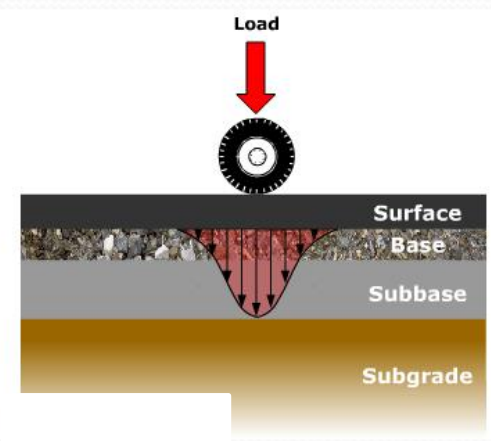
Δάπεδο διοδίων



ΕΥΚΑΜΠΤΑ vs ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ



Δύσκαμπτο

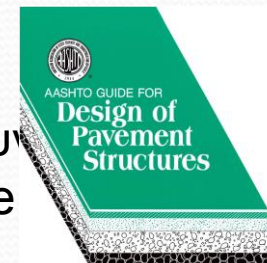


Εύκαμπτο

ΜΕΘΟΔΟΣ AASHTO

Η μέθοδος περιλαμβάνει διαδικασίες διαστασιολόγησης διαφόρων τύπων δύσκαμπτων οδοστρωμάτων:

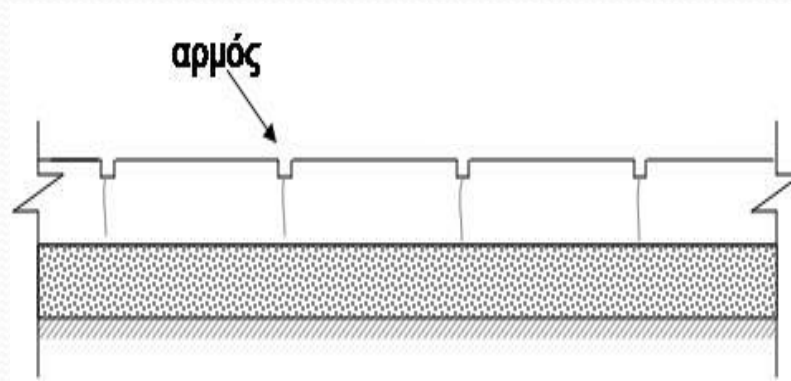
- Οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς (JPCP: Jointed plain concrete pavement).
- Οδοστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα με αρμούς (JRCP: Jointed Reinforced Concrete Pavement).
- Οδοστρώματα από σκυρόδεμα με συνεχή οπλισμό (CRCP: Continuously Reinforced Concrete Pavement).



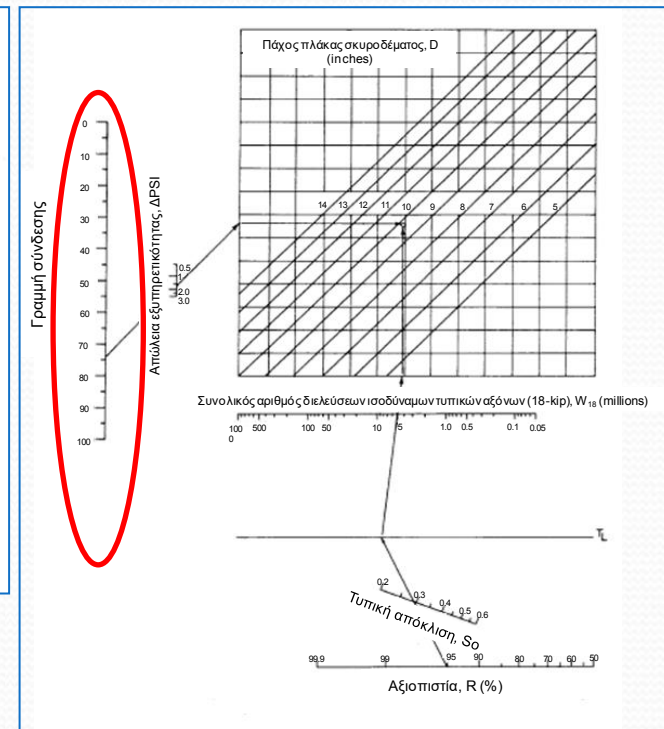
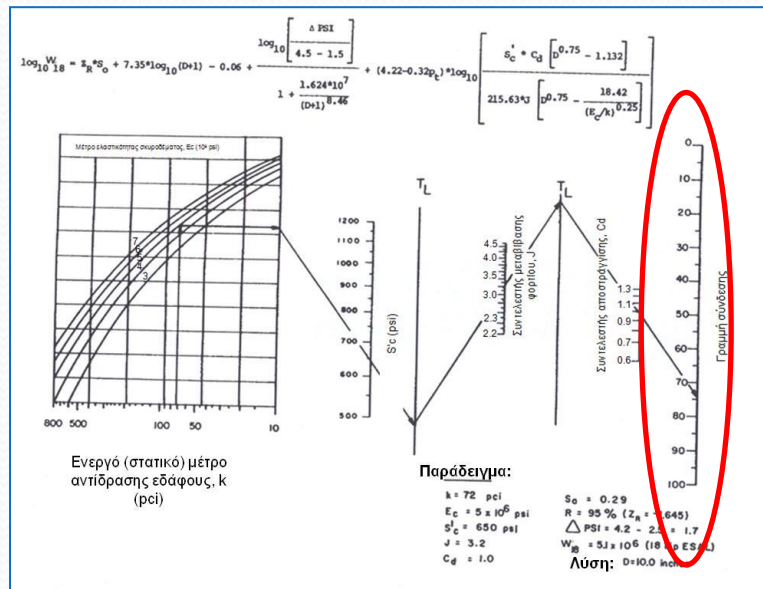
μό

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΑΣΗΤΟ

- Οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς (JPCP: Jointed plain concrete pavement).

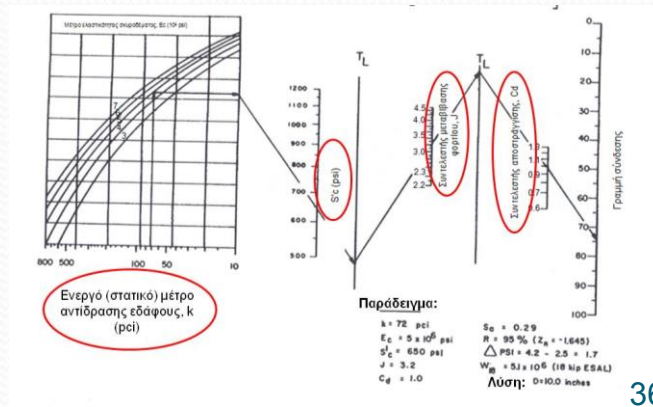


Απαιτούμενο πάχος πλάκας σκυροδέματος (D)



Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό D (1)

- Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k κάτω από την υφιστάμενη πλάκα σκυροδέματος (Effective static k-value beneath existing PCC slab)
- Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος E_c
- Μέτρο διάρρηξης (Modulus of Rupture S_c')
- Συντελεστής μεταφοράς φορτίου J (load transfer factor)
- Συντελεστής αποστράγγισης C_d



**Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k κάτω από την υφιστάμενη πλάκα
σκυροδέματος (Effective static k -value beneath existing PCC slab)**

- Μέσω δομικών φορτιζόμενης πλάκας (plate load testing)



Δοκιμή φορτιζόμενης πλάκας
(Plate load test)



Δείκτης
αντίδρασης
εδάφους

k

(MN/m³)

Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k κάτω από την υφιστάμενη πλάκα σκυροδέματος (Effective static k-value beneath existing PCC slab)

- Μέσω εμπειρικών σχέσεων

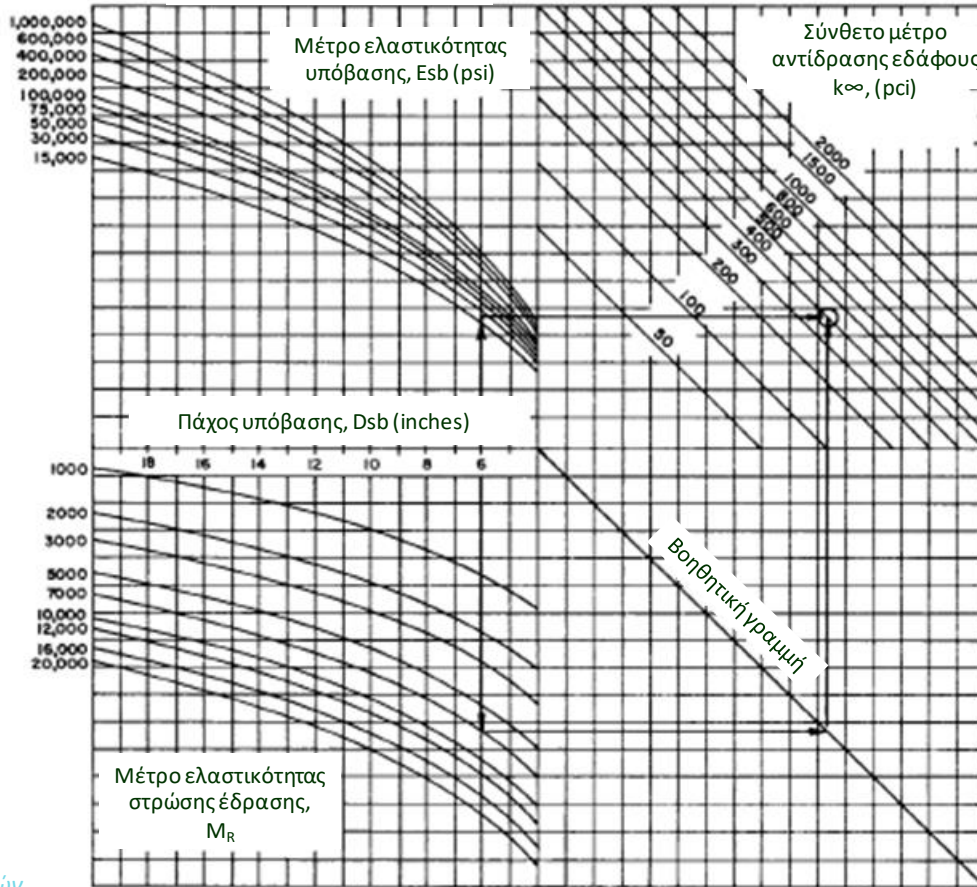
$$k = M_R / 19.4$$

όπου:

k: Ενεργό μέτρο αντίδρασης
εδάφους (pci)

M_R : Μέτρο ελαστικότητας
στρώσης έδρασης (psi)

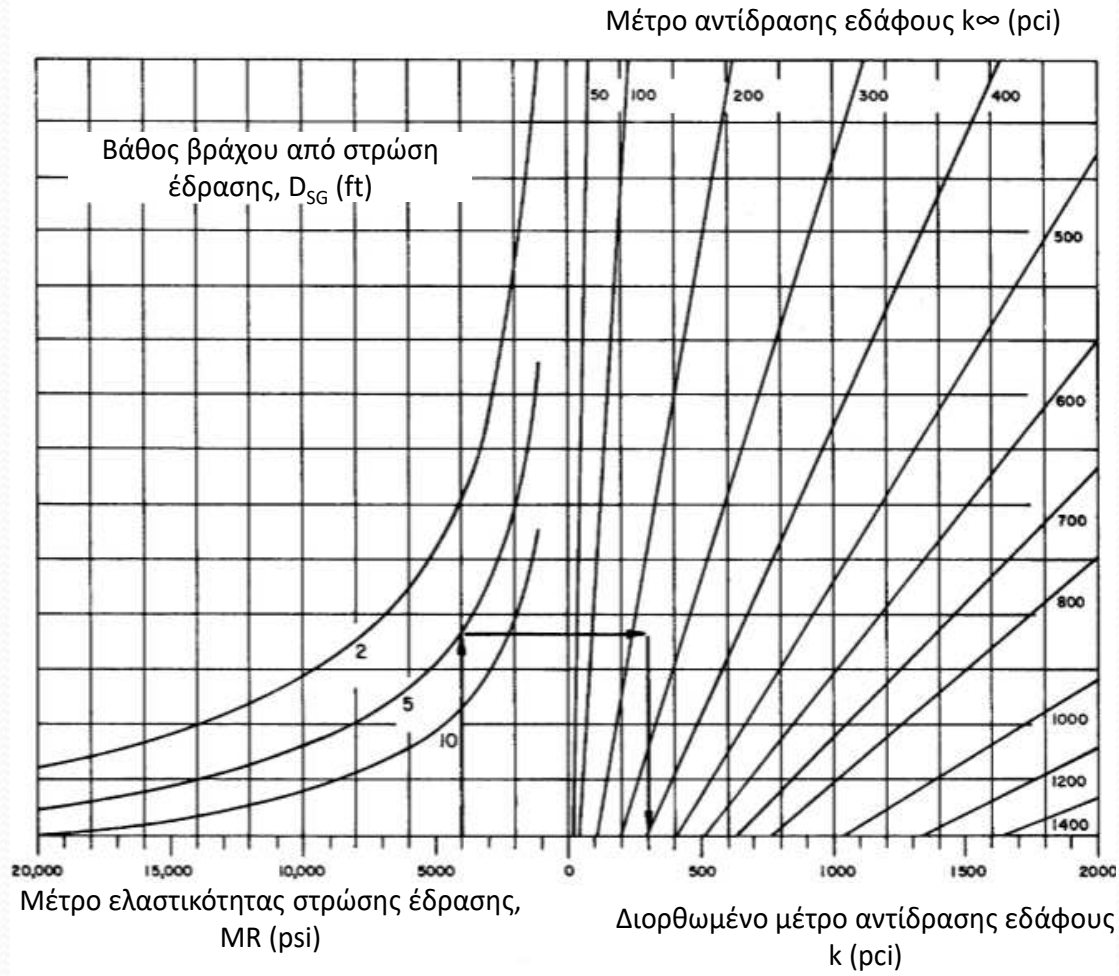
Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k σε περίπτωση που υφίσταται υπόβαση



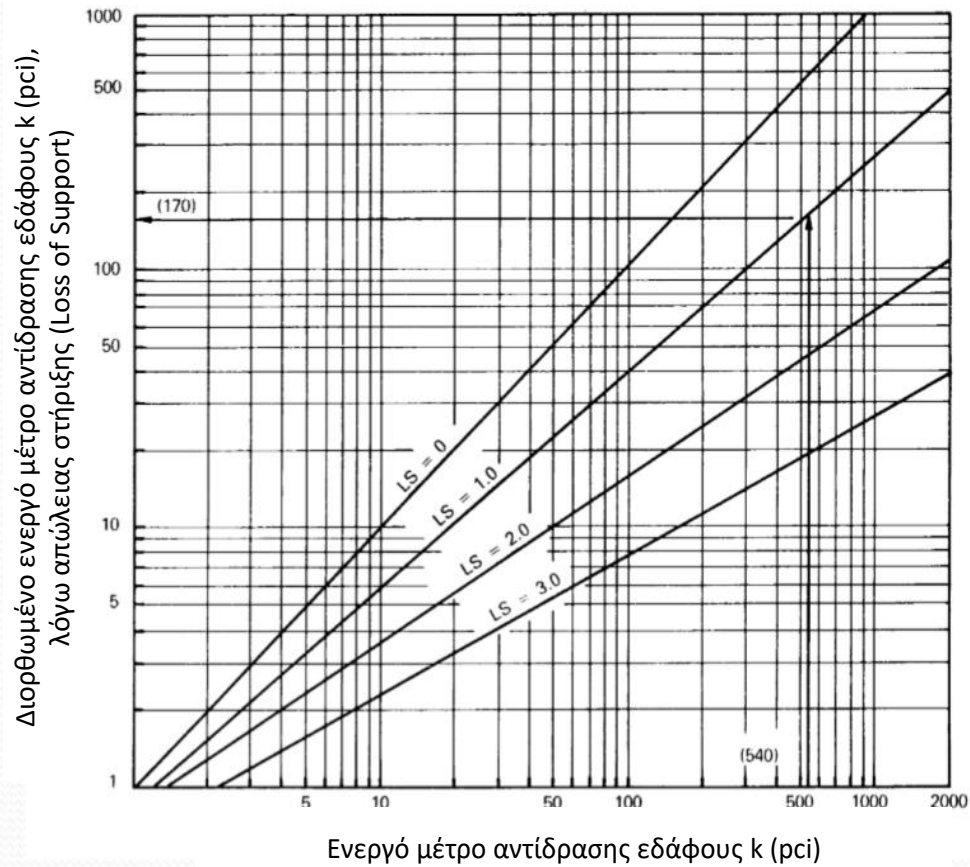
Παράδειγμα:
 $D_{sb}=6$ inches
 $E_{sb}=20,000$ psi
 $M_R=7,000$ psi

Λύση: $k=400$ pci

Διόρθωση μέτρου αντίδρασης εδάφους k , λόγω ύπαρξης βράχου σε βάθος $< 10ft$



Διόρθωση μέτρου αντίδρασης εδάφους k , λόγω απώλειας στήριξης (LS: Loss of support)



Τυπικές τιμές δείκτη LS (Loss of support) για διάφορους τύπους υλικών

Τύπος Υλικού μεταξύ έδρασης και πλάκας	Απώλεια Στήριξης LS
Στρώση από σταθεροποιημένο με τσιμέντο αμμοχάλικο (E=1.000.000 έως 2.000.000psi) 6895-13790 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση από ισχνό σκυρόδεμα (E=500.000 έως 1.000.000psi) 3448-6895 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση σταθεροποιημένη με άσφαλτο (E=350.000 έως 1.000.000psi) 2413-6895 MPa	0.0 έως 1.0
Εδαφικό υλικό σταθεροποιημένο με άσφαλτο (E=40.000 έως 300.000psi) 276-2070 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση σταθεροποιημένη με άσβεστο (E=20.000 έως 70.000psi) 138-483 MPa	1.0 έως 3.0
Στρώση από ασύνδετα αμμοχάλικα (E=15.000 έως 45.000psi) 103-310 MPa	1.0 έως 3.0
Φυσικό υπέδαφος (E=3.000 έως 40.000psi) 21-276 MPa	2.0 έως 3.0

Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος E_c

- Μέσω εργαστηριακών δοκιμών
- Μέσω εμπειρικών σχέσεων με βάση τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

$$E_c = 57.000 (f'c)^{0.5}$$

Όπου

E_c : Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (psi)

$f'c$: Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (psi)

Μέτρο διάρρηξης (Modulus of Rupture Sc')

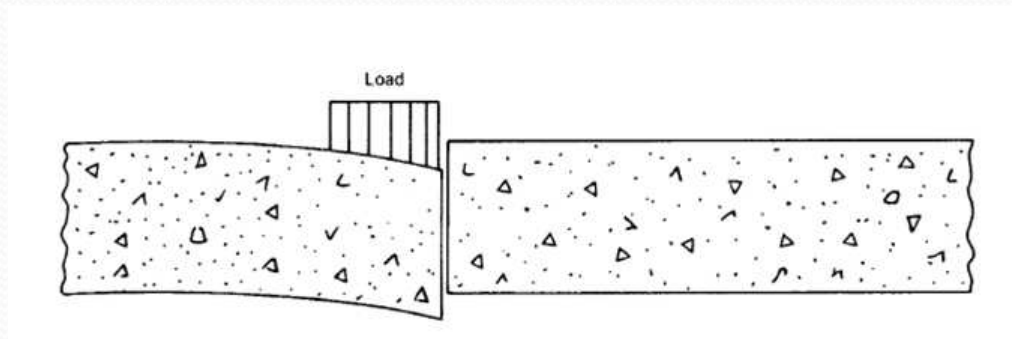
Ένδειξη εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος

43

- Μέσω εργαστηριακών δοκιμών (psi)

Συντελεστής μεταφοράς φορτίου J (load transfer factor)

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ικανότητα ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος να διανείμει/μεταφέρει τα φορτία κατά μήκος ασυνεχειών όπως είναι οι αρμοί ή οι ρωγμές.

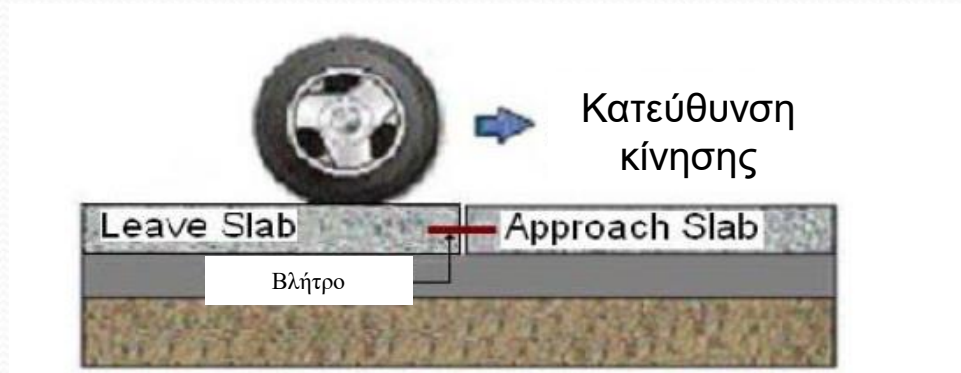


Για την περίπτωση των οδοστρωμάτων με αρμούς χωρίς οπλισμό ο υπόψη συντελεστής συνήθως παίρνει τις τιμές από 3.8 έως 4.4.

Συντελεστής μεταφοράς φορτίου J (load transfer factor)

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ικανότητα ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος να διανείμει/μεταφέρει τα φορτία κατά μήκος ασυνεχειών όπως είναι οι αρμοί ή οι ρωγμές.

Πλάκα
σκυροδέματος με
βλήτρα



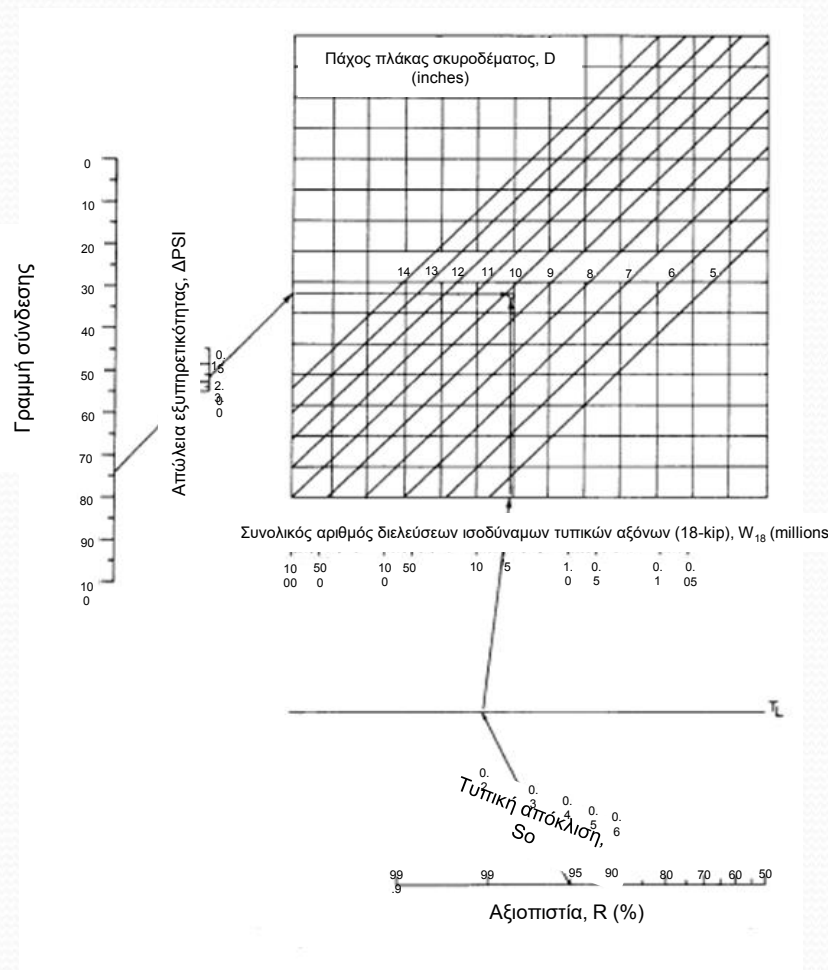
- Στην περίπτωση που υφίστανται μηχανισμός μεταβίβασης φορτίου, όπως για παράδειγμα μέσω της τοποθέτησης βλήτρων, ο αντίστοιχος συντελεστής μπορεί να θεωρηθεί ίσος με 3.2.

Συντελεστές αποστράγγισης Cd

Ποιότητα αποστράγγισης	Ποσοστό χρόνου που το οδόστρωμα εκτίθεται σε ποσοστά υγρασία που προσεγγίζουν την κατάσταση κορεσμού			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Άριστη	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Καλή	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Μέτρια	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Κακή	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Πολύ κακή	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Ποιότητα αποστράγγισης	Χρόνος απομάκρυνσης νερού
Άριστη	2 ώρες
Καλή	1 μέρα
Μέτρια	1 εβδομάδα
Κακή	1 μήνα
Πολύ κακή	Μη αποστράγγιση νερού

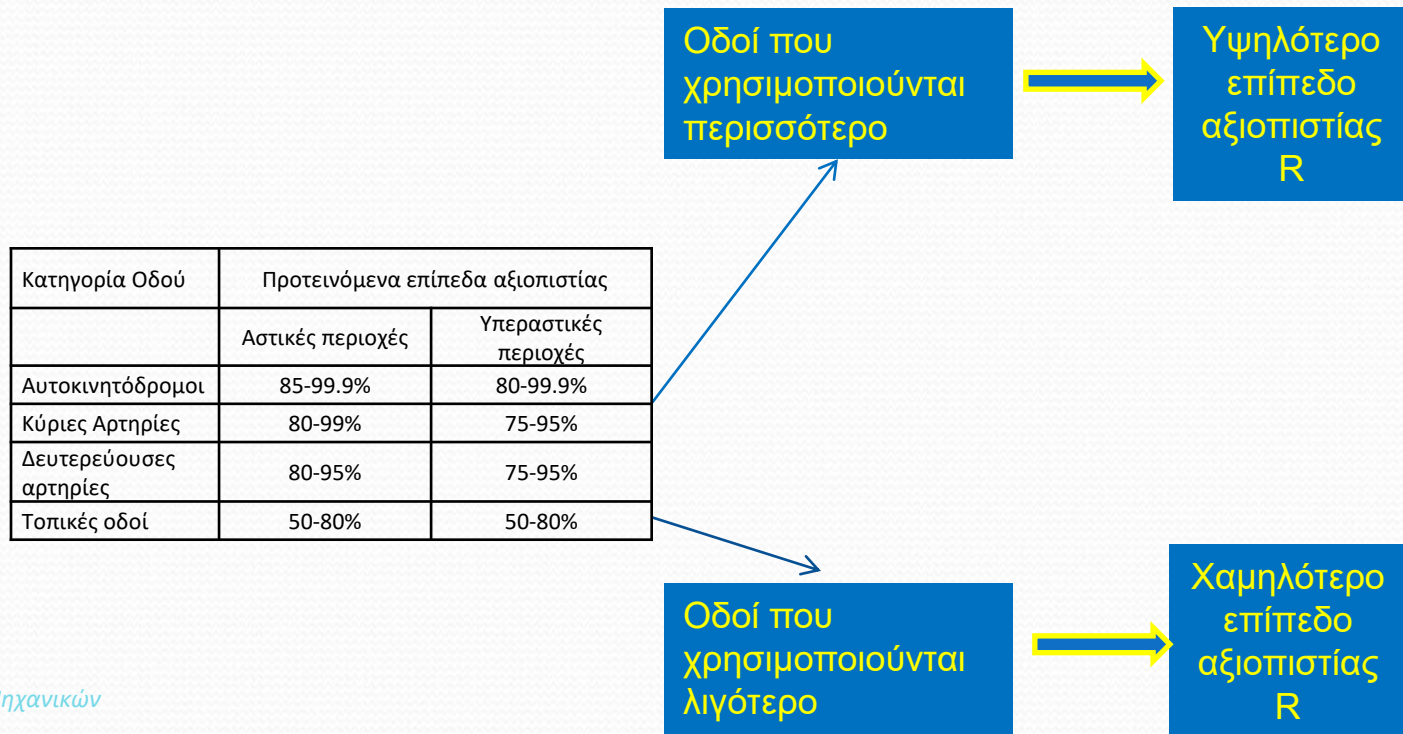
Απαιτούμενο πάχος πλάκας σκυροδέματος (D)



Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό D (2)

- Αξιοπιστία (Reliability, $R(\%)$)
- Τυπική απόκλιση (Overall standard deviation, S_o)
- Ισοδύναμοι τυπικοί άξονες (Estimated total 18-kip equivalent Single Axle Load Applications, W_{18})
- Απώλεια εξυπηρευτικότητας οδοστρώματος (ΔPSI : Serviceability loss)

- **Αξιοπιστία (Reliability, R(%)):** Η πιθανότητα το οδόστρωμα που σχεδιάζεται να συμπεριφερθεί ικανοποιητικά κάτω από τις κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες για την περίοδο σχεδιασμού.

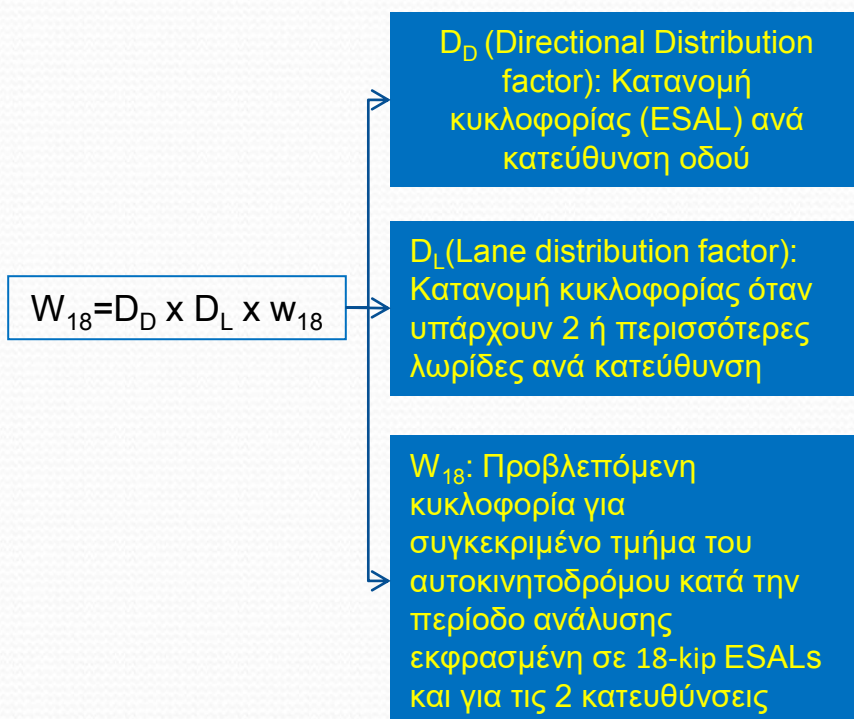


- **Τυπική απόκλιση (Overall standard deviation, S_o):**
Λαμβάνονται υπόψη ενδεχόμενα σφάλματα (ή μεταβλητότητα) που σχετίζονται με σχεδιαστικά και κατασκευαστικά δεδομένα υπολογισμών (πχ εκτίμηση κυκλοφορίας, χαρακτηριστικά υλικών, κλπ).

Συνήθεις τιμές: $S_o = 0.30-0.40$

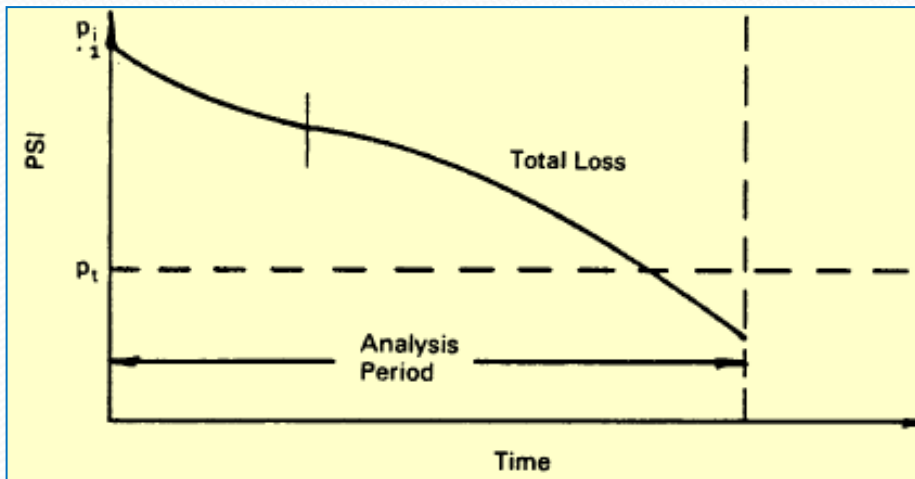
- **Ισοδύναμοι τυπικοί άξονες (Estimated total 18-kip Equivalent Single Axle Load Applications, W_{18}):**

Προβλεπόμενη κυκλοφορία σε ESALs.



Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση	Ποσοστό % ΙΤΑ στη λωρίδα μελέτης
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

- Απώλεια εξυπηρευτικότητας οδοστρώματος (Serviceability Loss, ΔPSI)



$$\Delta PSI = p_i - p_t$$

p_i : Αρχικός δείκτης εξυπηρευτικότητας

p_t : Τελικός δείκτης εξυπηρευτικότητας

Τελικό επίπεδο εξυπηρευτικότητας	Ποσοστό % χρηστών που δηλώνουν μη αποδοχή
3.0	12
2.5	55
2.0	85

Προτεινόμενη τιμή από μέθοδο

$p_i = 4.5$ και $p_t = 2.5$ για δύσκαμπτα οδοστρώματα

Εφαρμογές σχεδιασμού σε δύσκαμπτα οδοστρώματα οδών

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΑΣΗΤΟ – ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Η μέθοδος περιλαμβάνει διαδικασίες διαστασιολόγησης διαφόρων τύπων δύσκαμπτων οδοστρωμάτων:

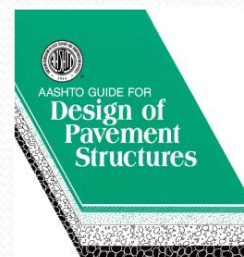
- Οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς (JPCP: Jointed plain concrete pavement)
- Οδοστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα με αρμούς (JRCP: Jointed Reinforced Concrete Pavement).
- Οδοστρώματα από σκυρόδεμα με συνεχή οπλισμό (CRCP: Continuously Reinforced Concrete Pavement).

$$1 \text{ inch} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ m} = 3.28 \text{ ft}$$

$$1 \text{ psi} = 0.0069 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ pci} = 0.272 \text{ MN/m}^3$$



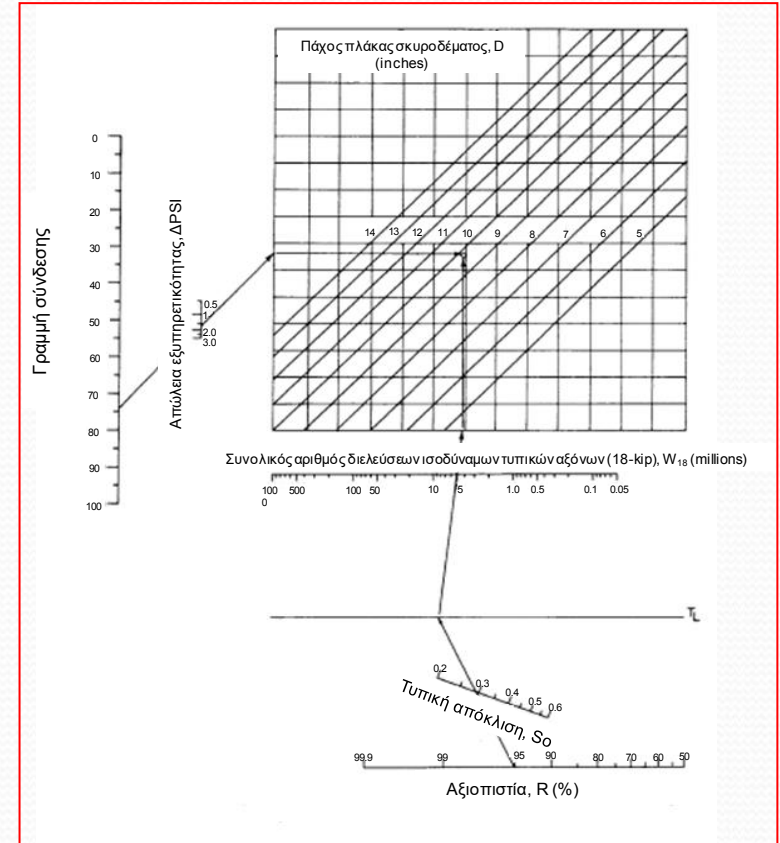
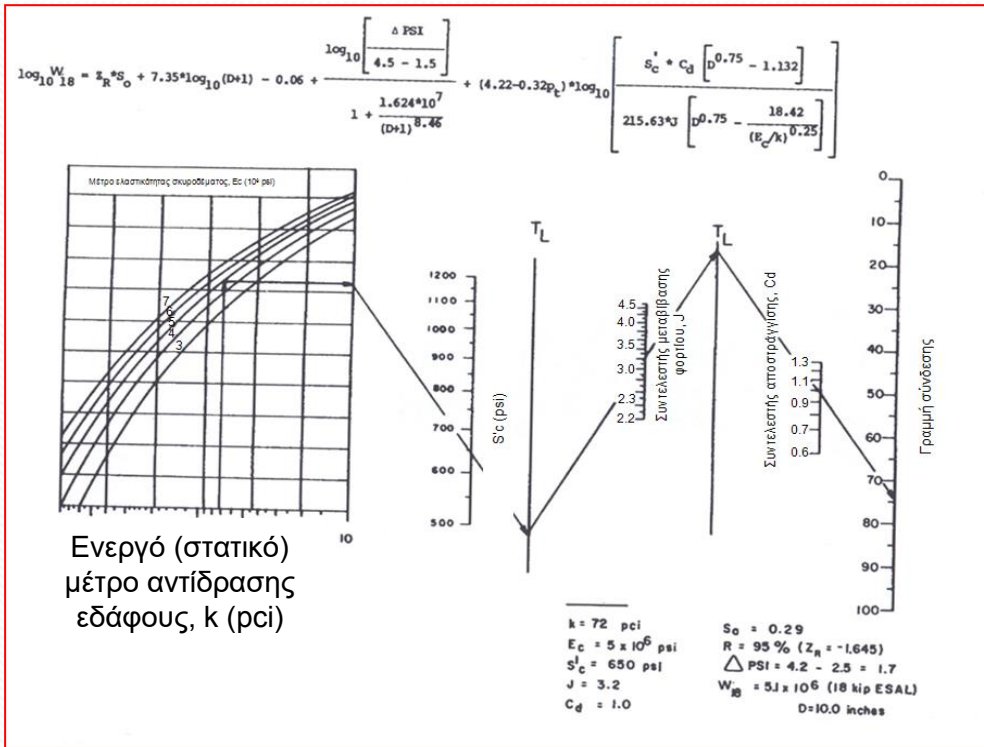
Εφαρμογή 30

Να γίνει η μελέτη δύσκαμπτου οδοστρώματος για σταθμό διοδίων αυτοκινητοδρόμου.

Δεδομένα:

- Το δάπεδο του σταθμού διοδίων περιλαμβάνει πλάκες σκυροδέματος με αρμούς, που δεν διαθέτουν οπλισμό για τη μεταβίβαση των φορτίων κατά μήκος των ασυνεχειών.
- Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος να θεωρηθεί ίσο με $E_c = 30000 \text{ MPa}$ και το μέτρο διάρρηξης ίσο με $S_c = 3,9 \text{ MPa}$.
- Η πλάκα σκυροδέματος εδράζεται σε υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο με $E = 207 \text{ MPa}$ και πάχος $h = 30 \text{ cm}$.
- Το μέτρο αντίδρασης εδάφους της στρώσης έδρασης έχει εκτιμηθεί ίσο με $k = 42 \text{ MN/m}^3$.
- Ο συντελεστής αποστράγγισης έχει εκτιμηθεί ίσος με $C_d = 1$.
- Κυκλοφορία σχεδιασμού: $5 \cdot 10^6 \text{ ITA}$.

Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)



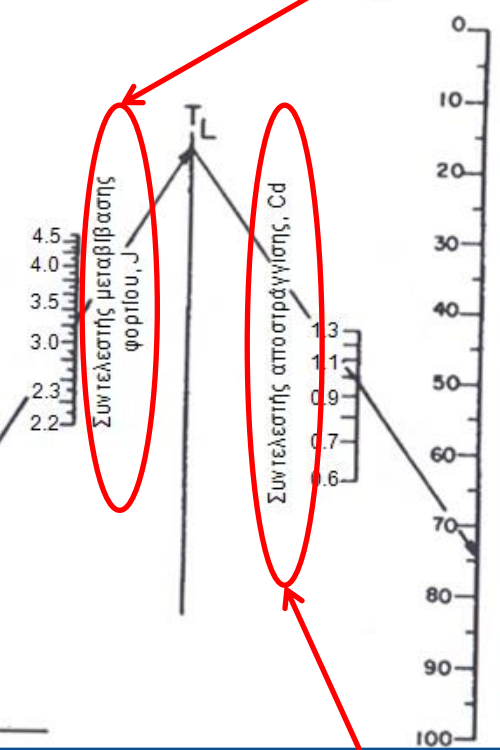
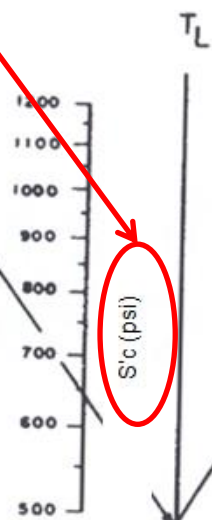
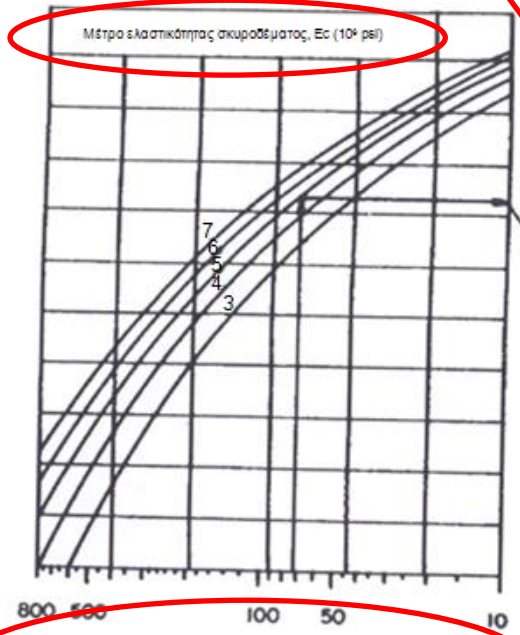
Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k κάτω από την υφιστάμενη πλάκα σκυροδέματος ($k \rightarrow \text{psi, MN/m}^3$)
2. Μηχανικά χαρακτηριστικά σκυροδέματος: Μέτρο ελαστικότητας ($E_c \rightarrow \text{psi, MPa}$) και Μέτρο διάρρηξης ($S_c \rightarrow \text{psi, MPa}$)
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου J κατά μήκος των ασυνεχειών
4. Συντελεστής αποστράγγισης C_d

Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)

2. Μέτρο ελαστικότητας ($E_c \rightarrow \text{psi, MPa}$)
και Μέτρο διάρρηξης ($S_c \rightarrow \text{psi, MPa}$)

3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου J



Ενεργό (στατικό) μέτρο αντίδρασης εδάφους, k (psi)

1. Χαρακτηριστικά εδάφους

4. Συντελεστής αποστράγγισης Cd

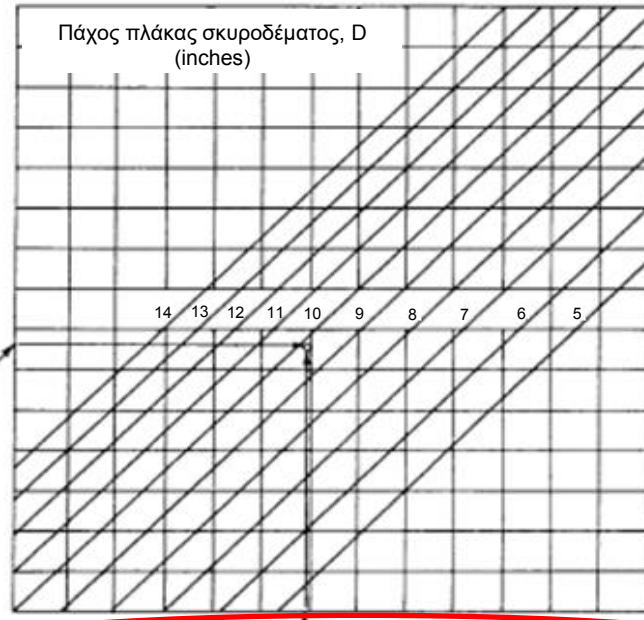
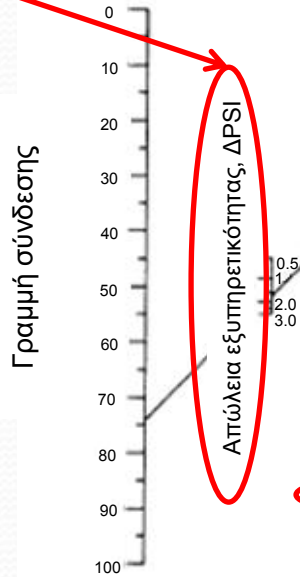
Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k κάτω από την υφιστάμενη πλάκα σκυροδέματος ($k \rightarrow \text{pci, MN/m}^3$)
2. Μηχανικά χαρακτηριστικά σκυροδέματος: Μέτρο ελαστικότητας ($E_c \rightarrow \text{psi, MPa}$) και Μέτρο διάρρηξης ($S_c \rightarrow \text{psi, MPa}$)
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου J κατά μήκος των ασυνεχειών
4. Συντελεστής αποστράγγισης C_d

5. **Απώλεια εξυπηρετικότητας οδοστρώματος (ΔPSI)**
6. **Αξιοπιστία - Reliability, $R(\%)$**
7. **Τυπική απόκλιση (Overall standard deviation, S_o)**
8. **Αναμενόμενη κυκλοφορία - Ισοδύναμοι τυπικοί άξονες (W_{18})**

Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)

5. Απώλεια εξυπηρετικότητας



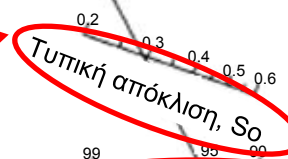
Προσδιορισμός πάχους D



Συνολικός αριθμός διελεύσεων ισοδύναμων τυπικών αξόνων (18-kip), W_{18} (millions)

8. Ισοδύναμοι τυπικοί άξονες

7. Τυπική απόκλιση



6. Αξιοπιστία

Αξιοπιστία, R (%)

Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό του πάχους D

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k' κάτω από την υφιστάμενη πλάκα σκυροδέματος ($k' \rightarrow \rho_{ci}$)

$MN/m^3 \rightarrow \rho_{ci}$	δια 0.272
$\rho_{ci} \rightarrow MN/m^3$	επί 0.272

1α. Εάν η πλάκα σκυροδέματος δεν εδράζεται απευθείας στο υπέδαφος (δηλαδή υπάρχει υπόβαση) \rightarrow χρειάζεται διόρθωση του μέτρου αντίδρασης του εδάφους.

1β. Εάν υπάρχει βραχώδες υπόστρωμα σε χαμηλό σχετικά βάθος (έως περίπου 3 m – 10 ft κάτω από τη στρώση έδρασης) \rightarrow χρειάζεται διόρθωση του μέτρου αντίδρασης του εδάφους.

1γ. Διόρθωση του μέτρου αντίδρασης του εδάφους λόγω πιθανής απώλειας στήριξης της πλάκας λόγω διάβρωσης της υποκείμενης στρώσης.

Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό του πάχους D

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k κάτω από την υφιστάμενη πλάκα σκυροδέματος ($k \rightarrow \text{pci}$)

$\text{MN/m}^3 \rightarrow \text{pci}$ δια 0.272
 $\text{pci} \rightarrow \text{MN/m}^3$ επί 0.272

Η πλάκα σκυροδέματος δεν εδράζεται απευθείας στο έδαφος, συνεπώς χρειάζεται προσαύξηση του k λόγω ύπαρξης της υπόβασης

- Μέτρο ελαστικότητας στρώσης έδρασης (psi)
- Πάχος υπόβασης (inch)
- Μέτρο ελαστικότητας της υπόβασης (psi)



Σύνθετο μέτρο αντίδρασης εδάφους k_∞ (pci)

Στρώση έδρασης

$$k = 42 \text{ MN/m}^3$$

$$k = M_R / 19.4 \rightarrow M_R = 19.4 * k$$

$$M_R = 2995.4 \text{ psi} \approx 3000 \text{ psi}$$

Υπόβαση

$$E = 207 \text{ MPa}$$

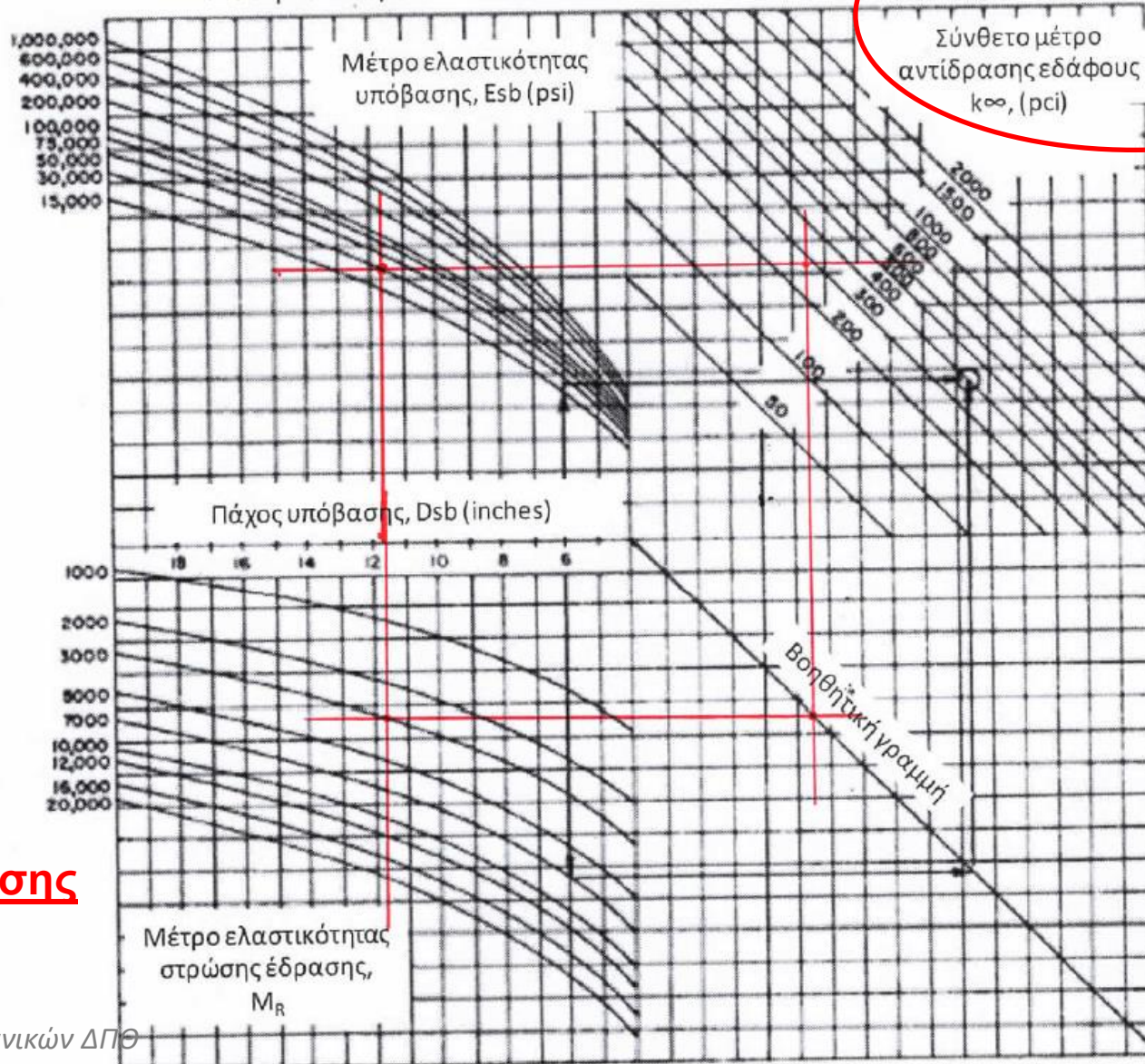
$$h = 30 \text{ cm}$$

Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k σε περίπτωση που υφίσταται υπόβαση

Υπόβαση

30000 psi, 11.8 inch

$k_{\infty} \approx 280 \text{ pci}$



Στρώση έδρασης

$M_R = 3000 \text{ psi}$

Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό του πάχους D

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k κάτω από την υφιστάμενη πλάκα σκυροδέματος ($k \rightarrow \rho_{ci}$)

$MN/m^3 \rightarrow \rho_{ci}$	δια 0.272
$\rho_{ci} \rightarrow MN/m^3$	επί 0.272



Έστω ότι υπάρχει βράχος σε αρκετά μεγαλύτερο βάθος \rightarrow άρα δεν χρειάζεται διόρθωση ($k = k_{\infty}$)

Εξαρτάται από το υλικό της υποκείμενης στρώσης

ια. Εάν η πλάκα σκυροδέματος δεν εδράζεται απευθείας στο υπέδαφος (δηλαδή υπάρχει υπόβαση) \rightarrow χρειάζεται διόρθωση του μέτρου αντίδρασης του εδάφους.

ιβ. Εάν υπάρχει βραχώδες υπόστρωμα σε χαμηλό σχετικά βάθος (έως περίπου 3 m – 10 ft κάτω από τη στρώση έδρασης) \rightarrow χρειάζεται διόρθωση του μέτρου αντίδρασης του εδάφους.

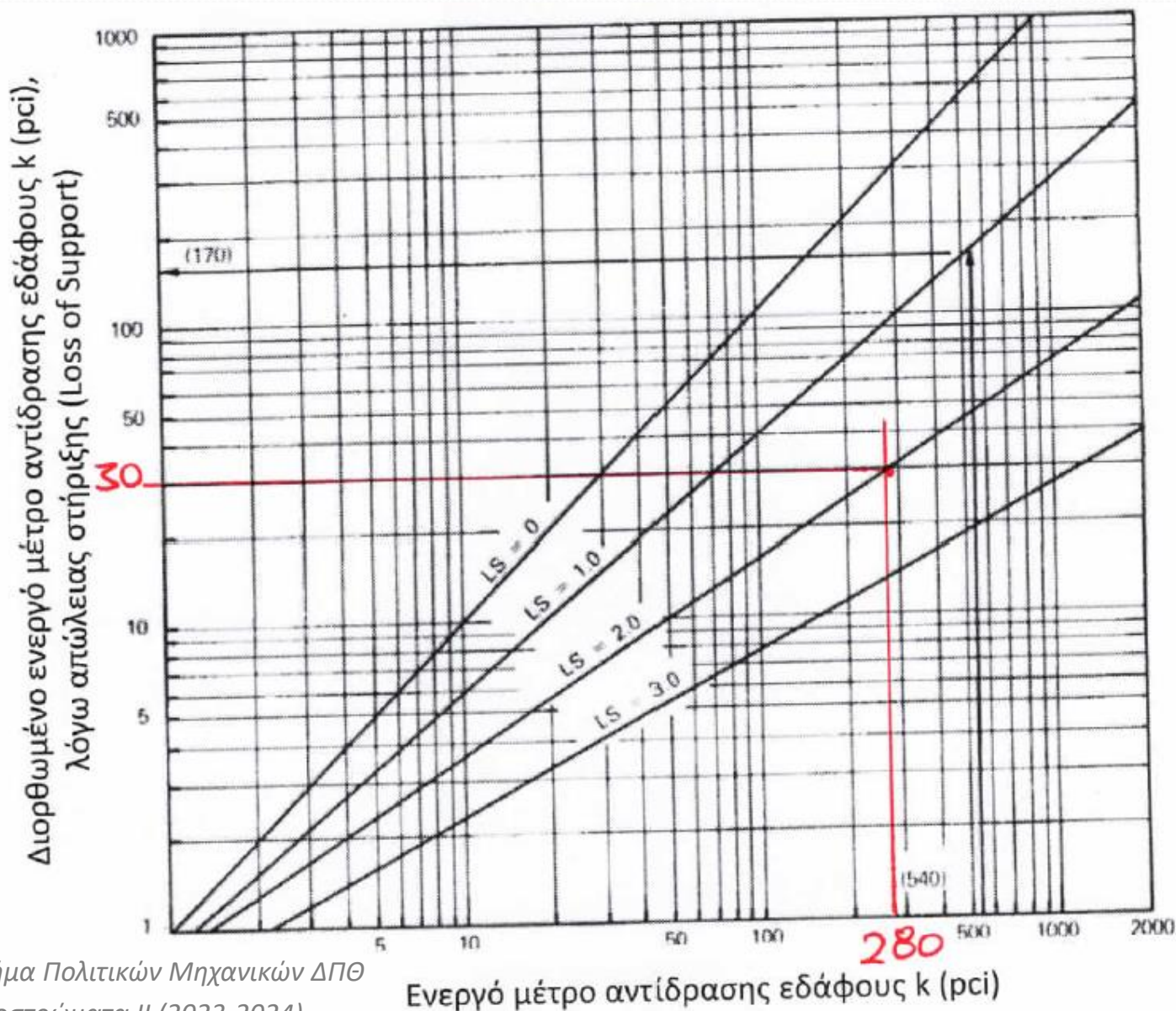
ιγ. Διόρθωση του μέτρου αντίδρασης του εδάφους λόγω πιθανής απώλειας στήριξης της πλάκας λόγω διάβρωσης της υποκείμενης στρώσης.

Τυπικές τιμές του συντελεστή απώλειας στήριξης

Τύπος Υλικού	Απώλεια Στήριξης LS
Στρώση από σταθεροποιημένο με τσιμέντο αμμοχάλικο (E=1.000.000 έως 2.000.000psi) 6895-13790 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση από ισχνό σκυρόδεμα (E=500.000 έως 1.000.000psi) 3448-6895 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση σταθεροποιημένη με άσφαλτο (E=350.000 έως 1.000.000psi) 2413-6895 MPa	0.0 έως 1.0
Εδαφικό υλικό σταθεροποιημένο με άσφαλτο (E=40.000 έως 300.000psi) 276-2070 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση σταθεροποιημένη με άσβεστο (E=20.000 έως 70.000psi) 138-483 MPa	1.0 έως 3.0
Στρώση από ασύνδετα αμμοχάλικα (E=15.000 έως 45.000psi) 103-310 MPa	1.0 έως 3.0
Φυσικό υπέδαφος (E=3.000 έως 40.000psi) 21-276 MPa	2.0 έως 3.0

LS = 2

Διόρθωση μέτρου αντίδρασης εδάφους k , λόγω απώλειας στήριξης (LS: Loss of Support)



$k = 280 \text{ pci}$

LS = 2

$k' = 30 \text{ pci}$

Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό του πάχους D

2. Μηχανικά χαρακτηριστικά σκυροδέματος: Μέτρο ελαστικότητας ($E_c \rightarrow \text{psi, MPa}$) και Μέτρο διάρρηξης ($Sc \rightarrow \text{psi, MPa}$)

- $E_c = 30000 \text{ MPa}$
- $Sc = 3,9 \text{ MPa}$

3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου J κατά μήκος των ασυνεχειών

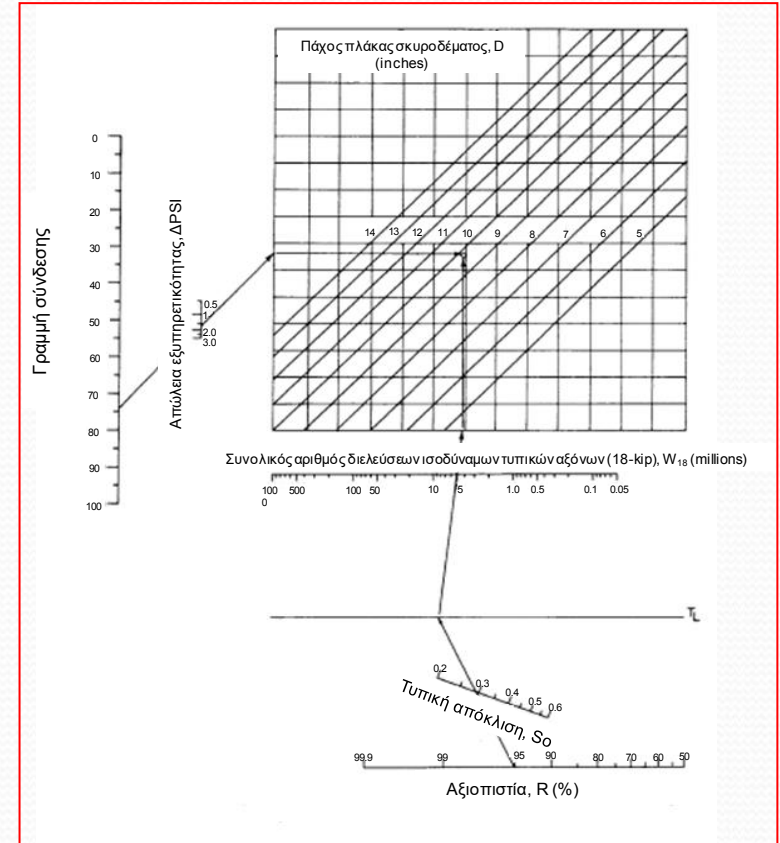
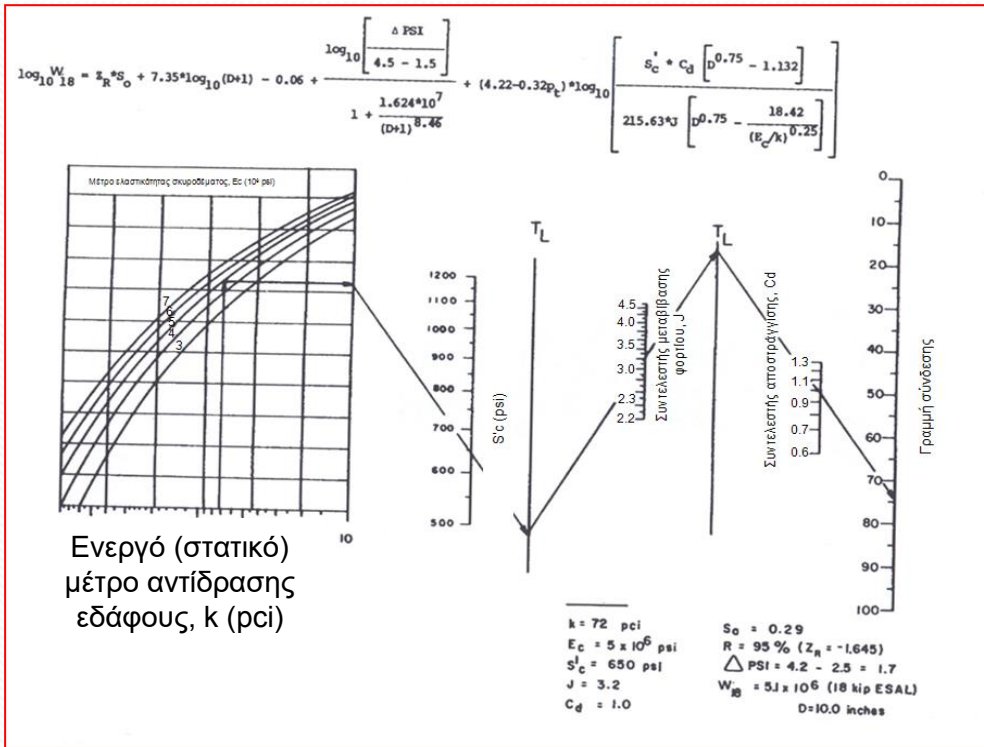
- Για την περίπτωση των οδοστρωμάτων με αρμούς χωρίς οπλισμό ο υπόψη συντελεστής συνήθως παίρνει τις τιμές από 3,8 έως 4,4.
- Εάν υπάρχουν βλήτρα, ο συντελεστής λαμβάνει την τιμή 3,2.

$$J = 4,1$$

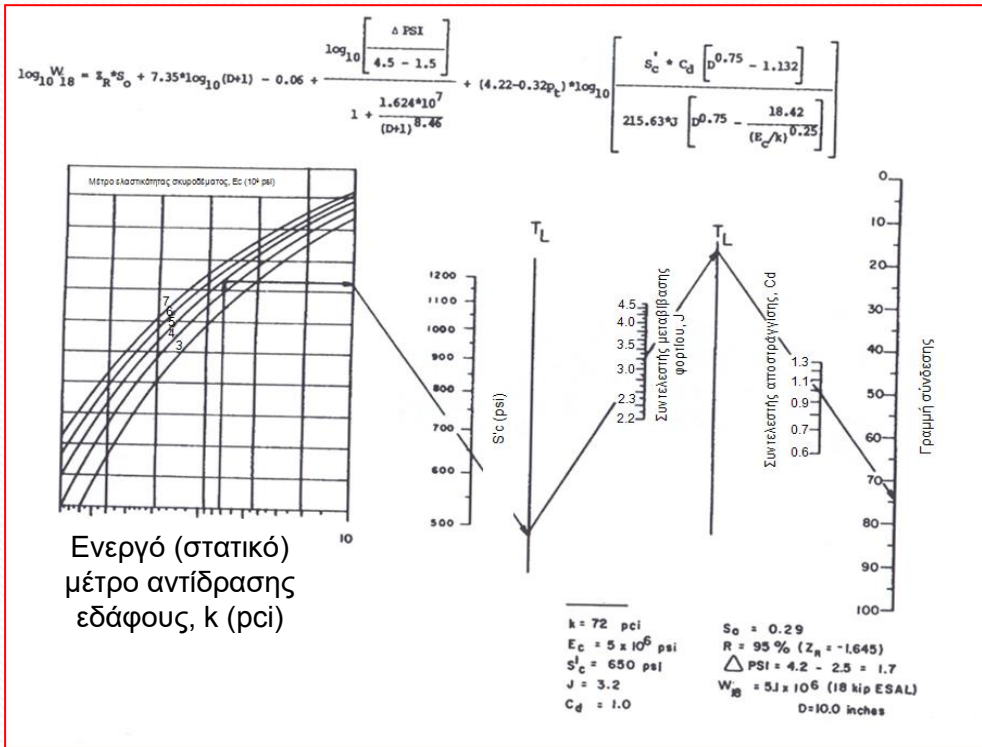
4. Συντελεστής αποστράγγισης Cd

- Με βάση τις συνθήκες του οδικού πειράματος AASHTO $\rightarrow Cd = 1$
- Διαφορετικά ? (\rightarrow εκτίμηση Cd από στοιχεία αποστραγγιστικής

Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)

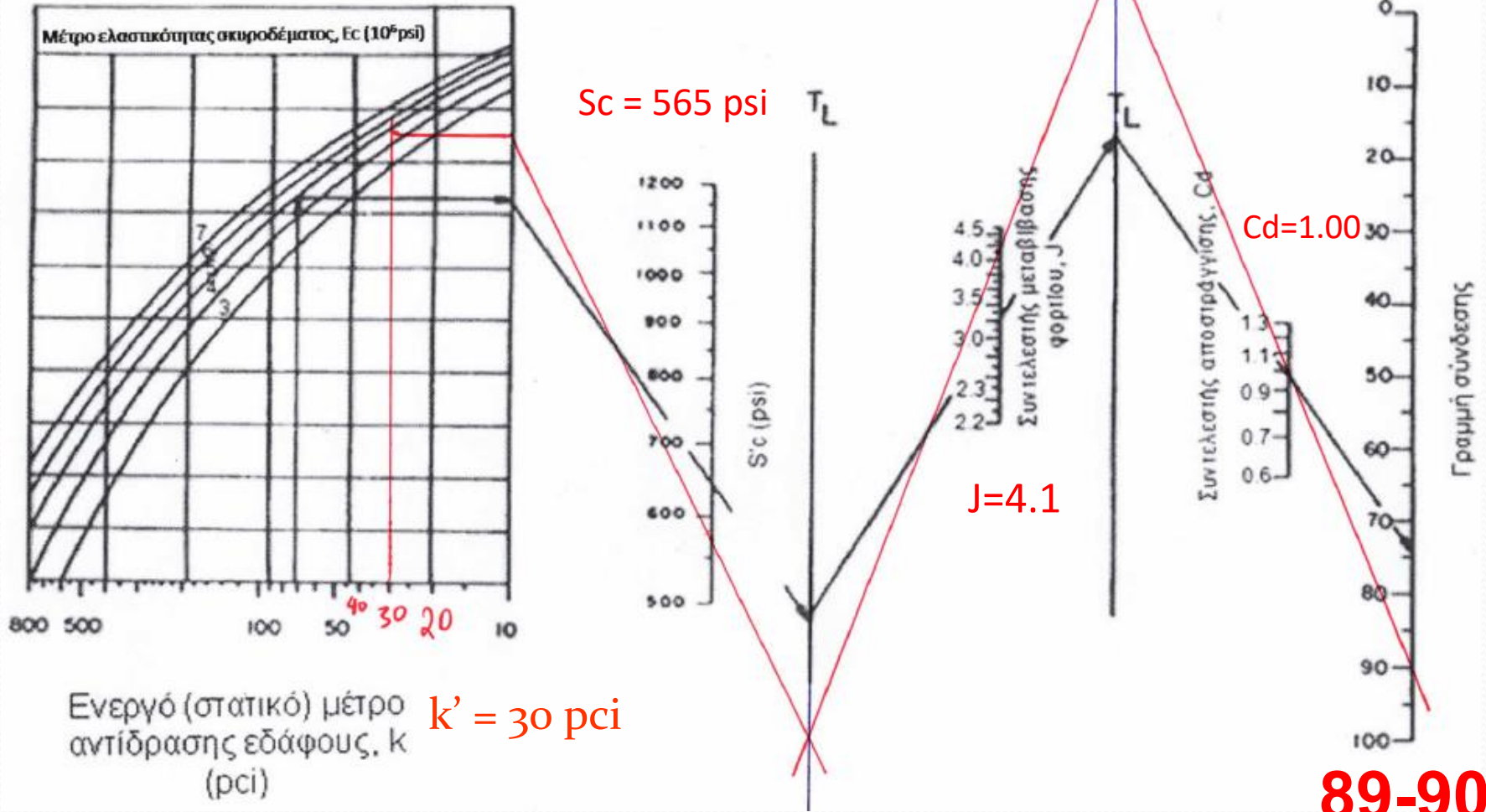


Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)



Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)

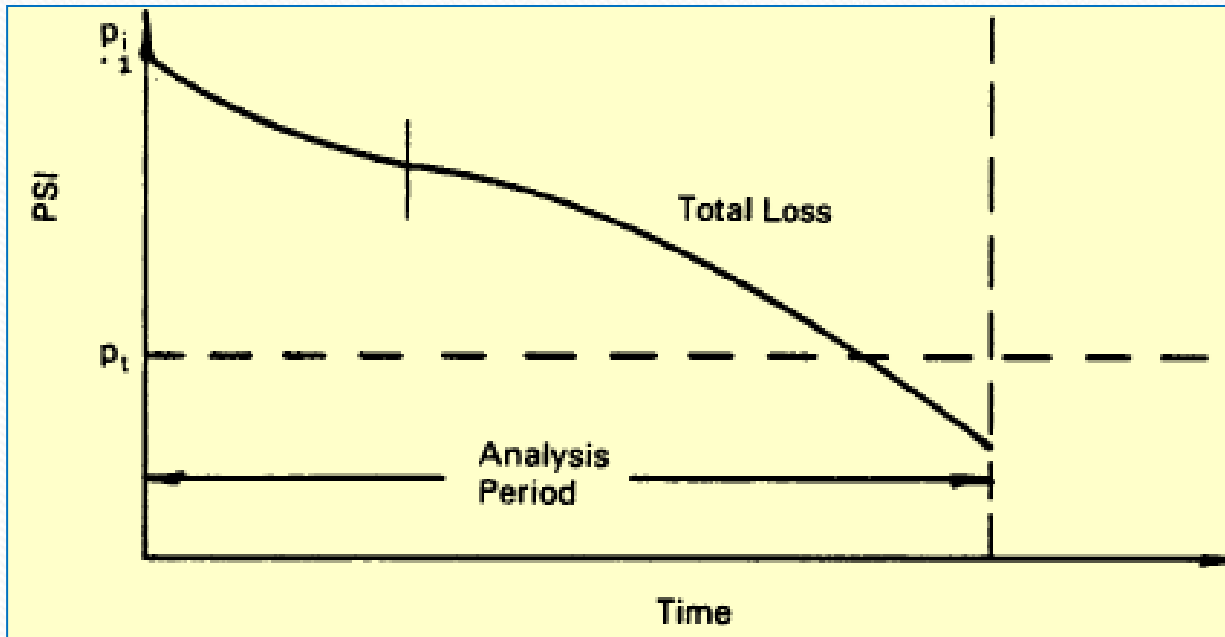
$E_c = 4.3 (10^6 \text{ psi})$



89-90

Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό του πάχους D

5. Απώλεια εξυπηρετικότητας οδοστρώματος (ΔPSI)



$$\Delta PSI = p_i - p_t$$

p_i : Αρχικός δείκτης εξυπηρετικότητας

p_t : Τελικός δείκτης εξυπηρετικότητας



Τελικό επίπεδο εξυπηρετικότητας	Ποσοστό % χρηστών που δηλώνουν μη αποδοχή
3.0	12
2.5	55
2.0	85

Προτεινόμενη τιμή από μέθοδο

$p_i = 4.5$ και $p_t = 2.5$ για δύσκαμπτα οδοστρώματα $\rightarrow \Delta PSI = 2.0$

Απαιτούμενα στοιχεία για υπολογισμό του πάχους D

6. Αξιοπιστία - Reliability, R(%)

- Η πιθανότητα το οδόστρωμα που σχεδιάζεται να συμπεριφερθεί ικανοποιητικά κάτω από τις κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες για την περίοδο σχεδιασμού.

Κατηγορία Οδού	Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας	
	Αστικές περιοχές	Υπεραστικές περιοχές
Αυτοκινητόδρομοι	85-99.9%	80-99.9%

R=95%

7. Τυπική απόκλιση (Overall standard deviation, So)

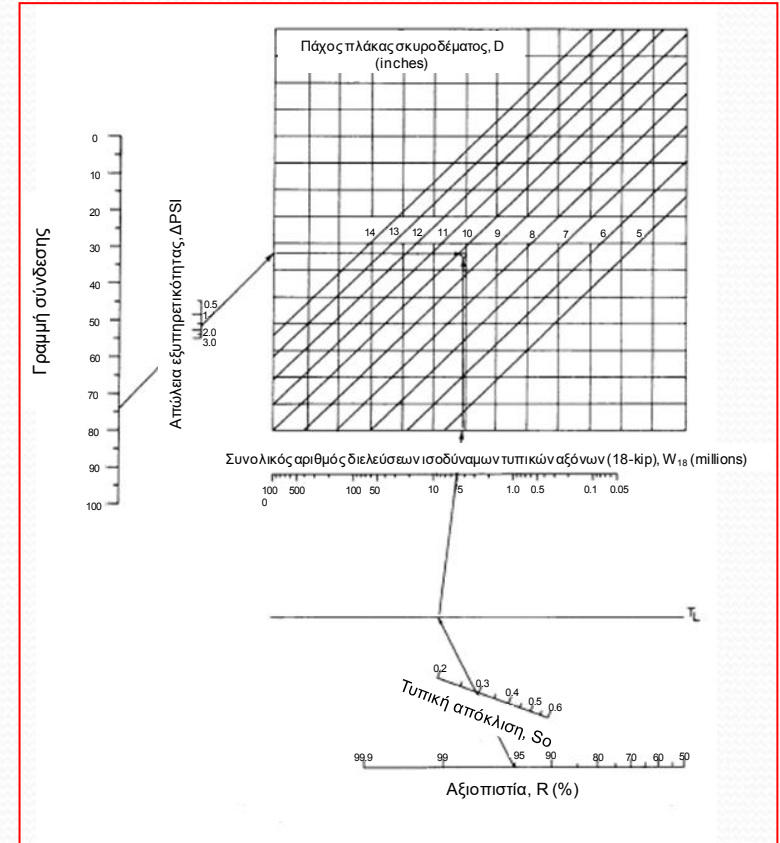
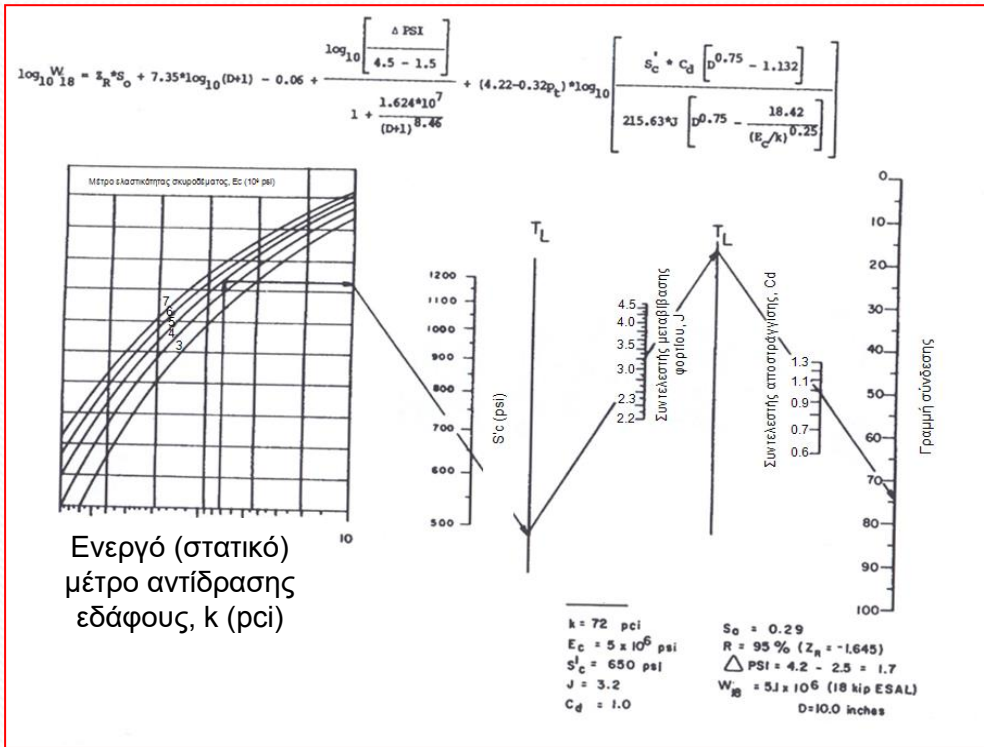
Λαμβάνονται υπόψη ενδεχόμενα σφάλματα που σχετίζονται με σχεδιαστικά και κατασκευαστικά δεδομένα υπολογισμών (πχ εκτίμηση κυκλοφορίας, χαρακτηριστικά υλικών, κλπ). → Για δύσκαμπτα οδοστρώματα: $S_o = 0.30-0.40$

Παραδοχή
 $S_o = 0.35$

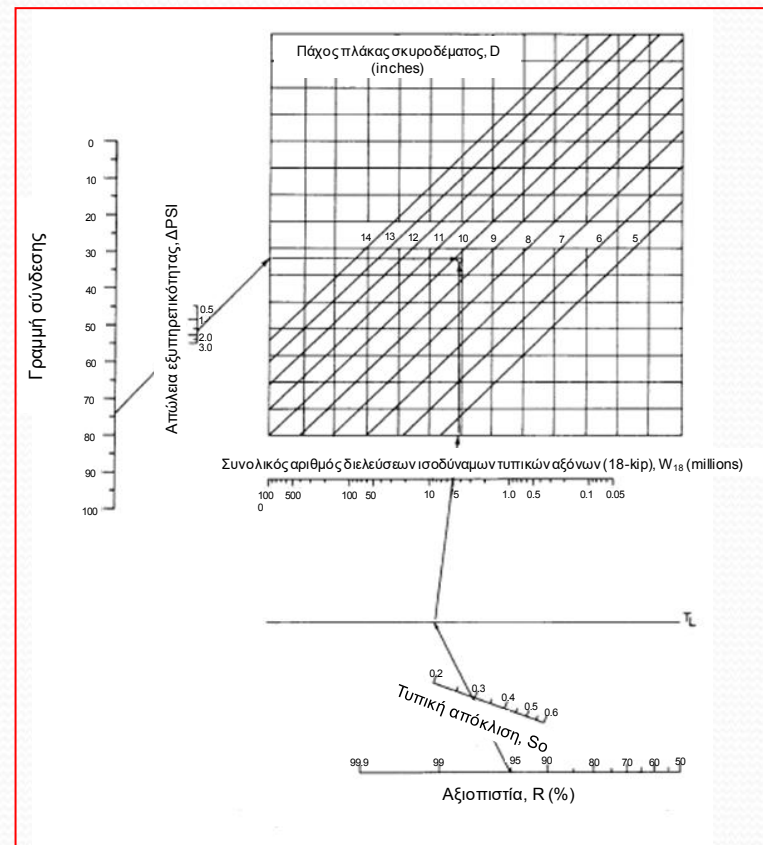
8. Αναμενόμενη κυκλοφορία - Ισοδύναμοι τυπικοί άξονες (W_{18})

$$W_{18} = 5 \cdot 10^6$$

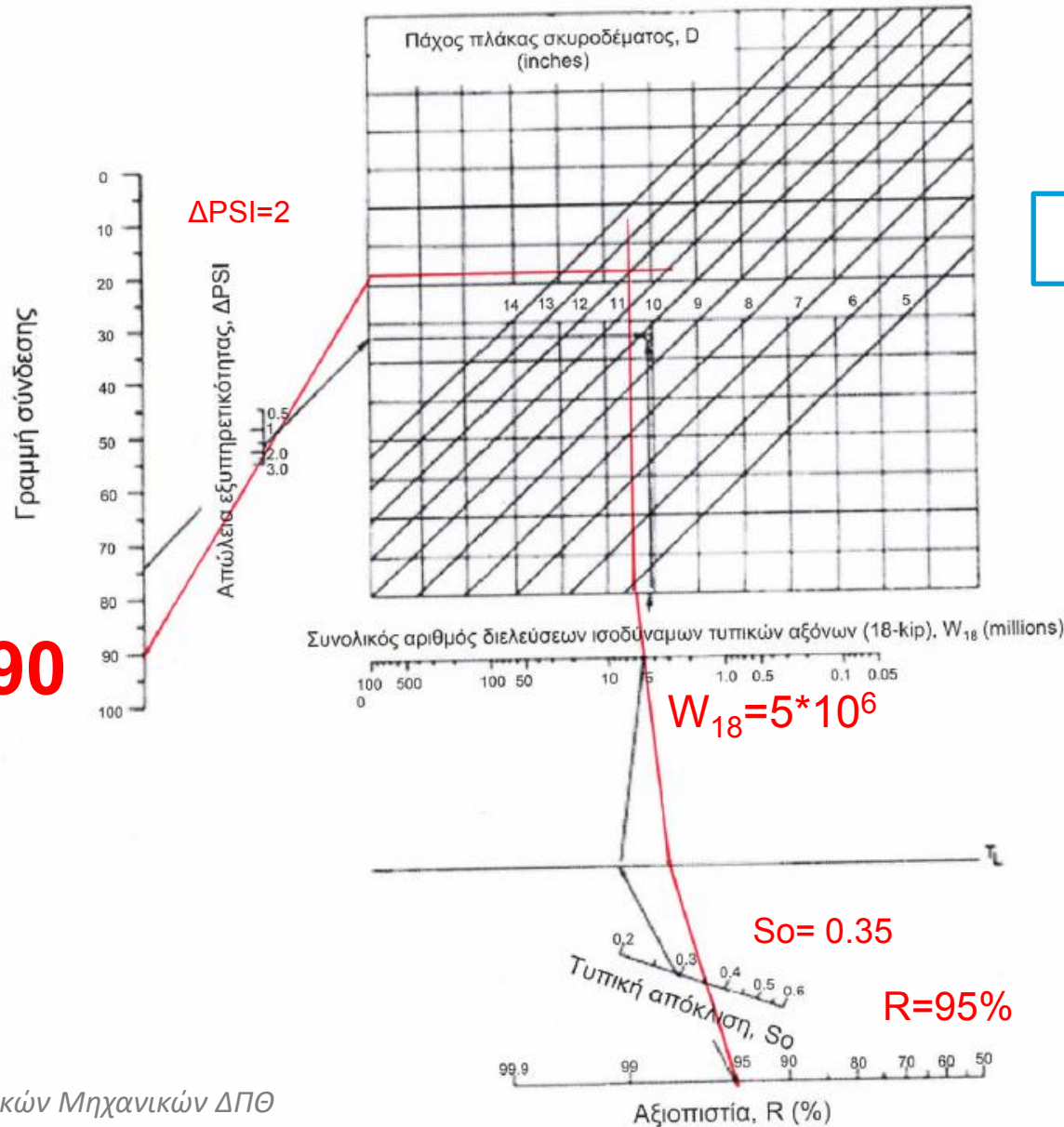
Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)



Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)



Υπολογισμός απαιτούμενου πάχους πλάκας σκυροδέματος (D)

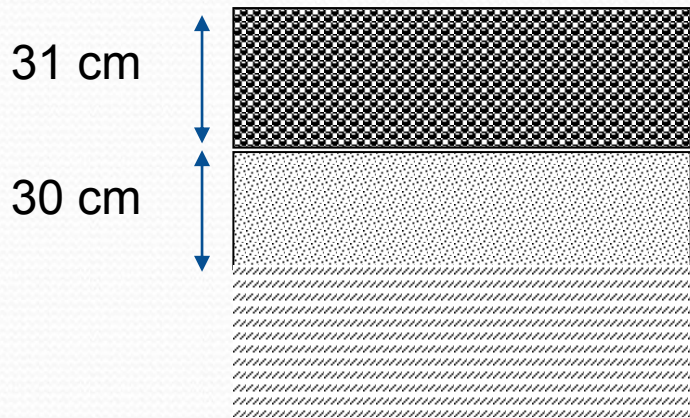


D ≈ 12-12,1 inches

30,48 ~ 30,73 cm

89-90

Σκαρίφημα



Πλάκα Σκυροδέματος

Υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο

Στρώση έδρασης

Εφαρμογή 31

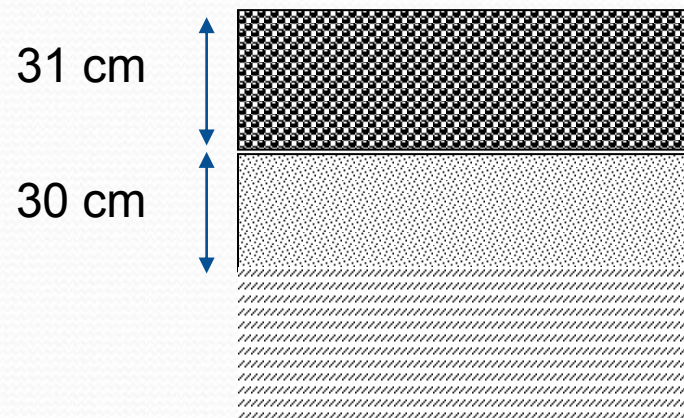
Με αναφορά στην προηγούμενη εφαρμογή, να σχολιαστεί η μεταβολή στο πάχος της πλάκας σκυροδέματος για τις εξής περιπτώσεις:

- i. Τοποθέτηση βλήτρων στους αρμούς για τη μεταβίβαση των φορτίων.
- ii. Υλικό υπόβασης σταθεροποιημένο με άσφαλτο (να θεωρηθεί μέτρο ελαστικότητας 2070 MPa).
- iii. Χρήση διαφορετικού σκυροδέματος με $E_c = 31760 \text{ MPa}$, και $S_c = 4,2 \text{ Mpa}$.

Από εφαρμογή 31:


απουσία βλήτρων, υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους ($k' = 30 \text{ psi}$)
2. $E_c = 4.3 \cdot 10^6 \text{ psi}$, $S_c = 565 \text{ psi}$
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου $J = 4.1$
4. $C_d = 1$
5. $\Delta PSI = 2.0$
6. $R = 95 \%$
7. $S_o = 0.35$
8. $W_{18} = 5 \cdot 10^6 \text{ ITA}$



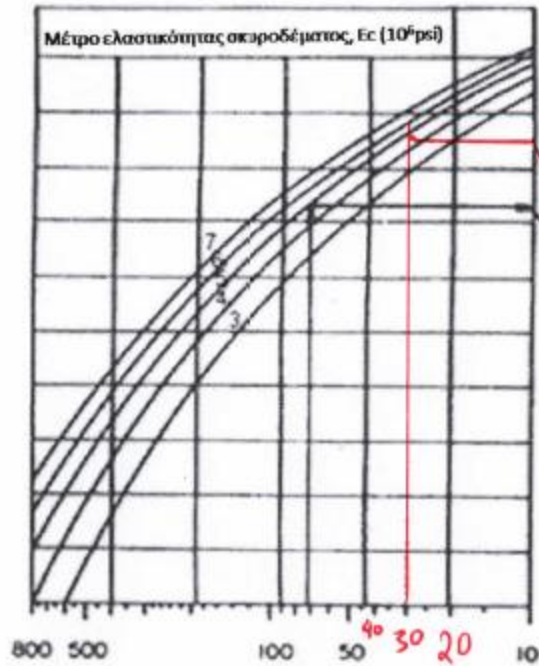
Περίπτωση i:

Τοποθέτηση βλήτρων

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους ($k' = 30 \text{ pci}$)
2. $E_c = 4.3 \cdot 10^6 \text{ psi}$, $S_c = 565 \text{ psi}$
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου $J = 4.1$ 
4. $C_d = 1$
5. $\Delta PSI = 2.0$
6. $R = 95 \%$
7. $S_o = 0.35$
8. $W_{18} = 5 \cdot 10^6 \text{ ITA}$

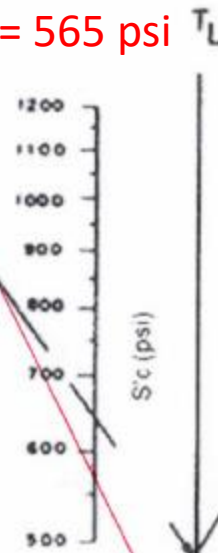
Περίπτωση i: Τοποθέτηση βλήτρων

$E_c = 4.3 (10^6 \text{ psi})$



Ενεργό (στατικό) μέτρο αντίδρασης εδάφους, k (pci) $k = 30 \text{ pci}$

$S_c = 565 \text{ psi}$

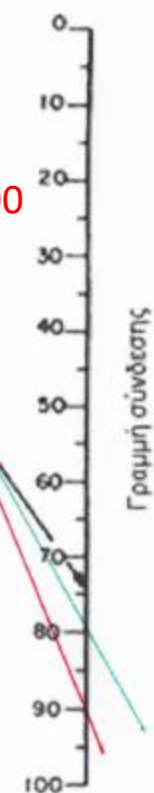


$J = 3.2$

Συντελεστής μεταβίβασης φορτίου, J

Συντελεστής αποσπάργισης, C_d

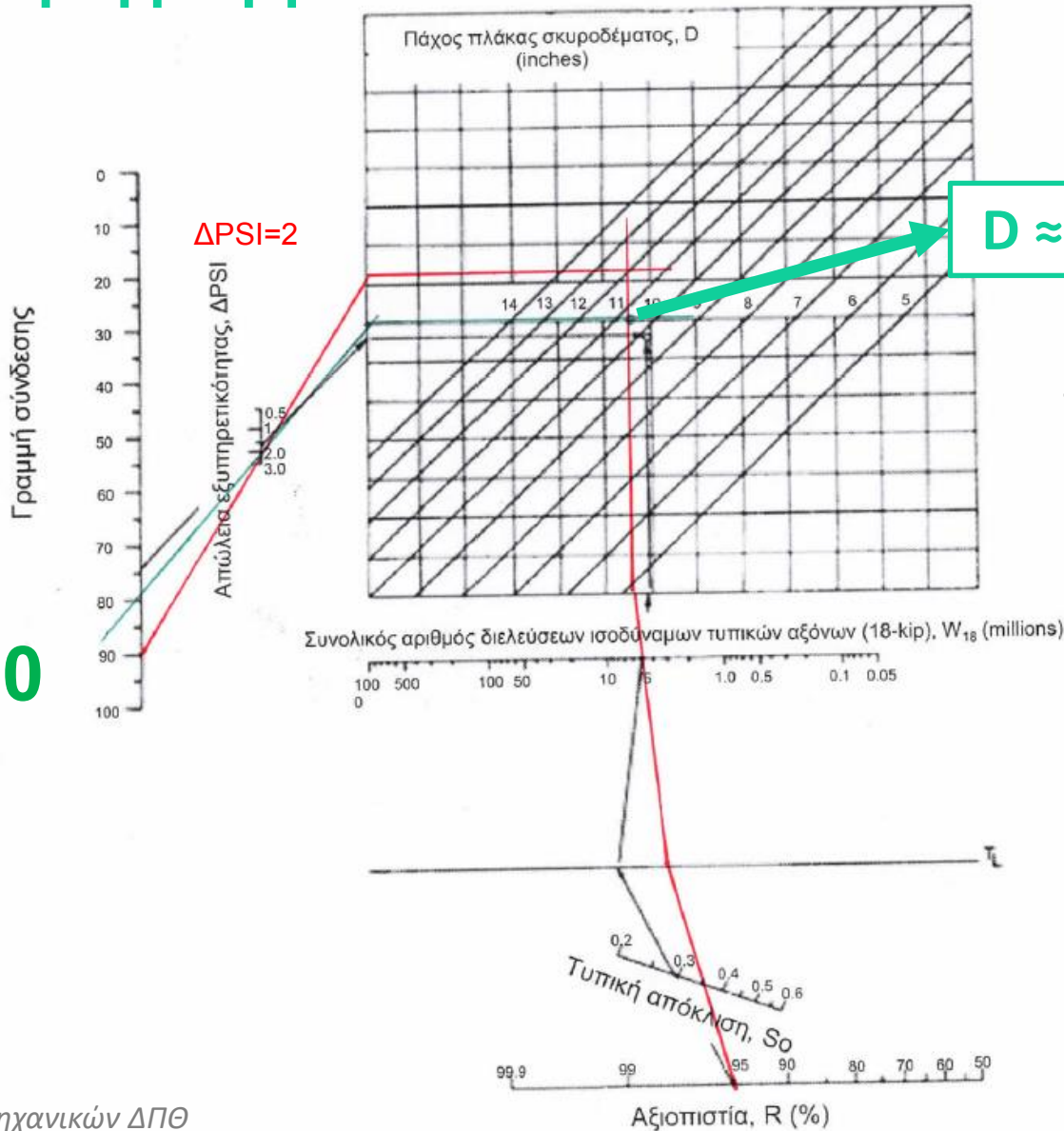
$C_d = 1.00$



79-80

Περίπτωση i: Τοποθέτηση βλήτρων

79-80



$D \approx 10,7-10,8$ inches

27,2 – 27,4 cm

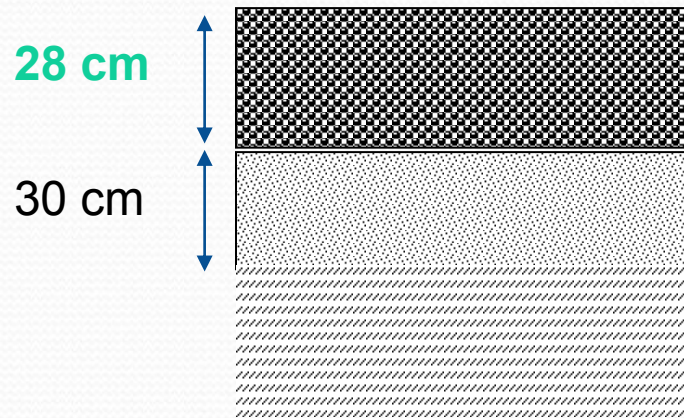
$W_{18}=5 \cdot 10^6$

$S_o= 0.35$

$R=95\%$

Περίπτωση i: Τοποθέτηση βλήτρων

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους ($k' = 30 \text{ pci}$)
2. $E_c = 4.3 \cdot 10^6 \text{ psi}$, $S_c = 565 \text{ psi}$
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου ~~$J = 4.1$~~ $\rightarrow J' = 3.2$ (λόγω βλήτρων)
4. $C_d = 1$
5. $\Delta PSI = 2.0$
6. $R = 95 \%$
7. $S_o = 0.35$
8. $W_{18} = 5 \cdot 10^6 \text{ ITA}$



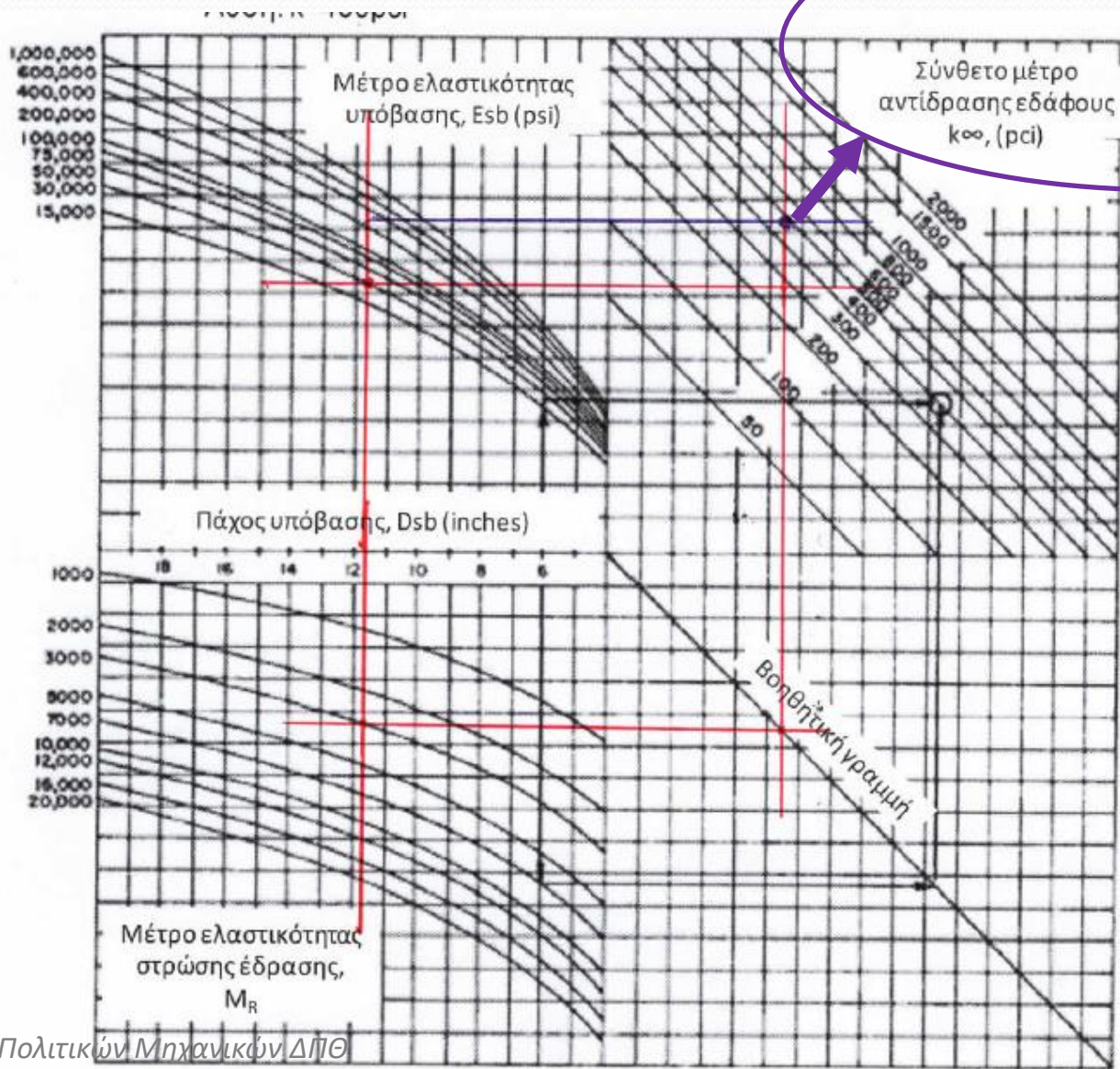
Περίπτωση ii: Υπόβαση διαφορετικού υλικού

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους (~~$k = 20 \text{ pci}$~~)
2. $E_c = 4.3 \cdot 10^6 \text{ psi}$, $S_c = 565 \text{ psi}$
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου $J = 4.1$
4. $C_d = 1$
5. $\Delta PSI = 2.0$
6. $R = 95 \%$
7. $S_o = 0.35$
8. $W_{18} = 5 \cdot 10^6 \text{ ITA}$

Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους k σε περίπτωση που υφίσταται υπόβαση

Υπόβαση

2070 MPa = 300000 psi, 11.8 inch



$k_{\infty} \approx 480$ pci

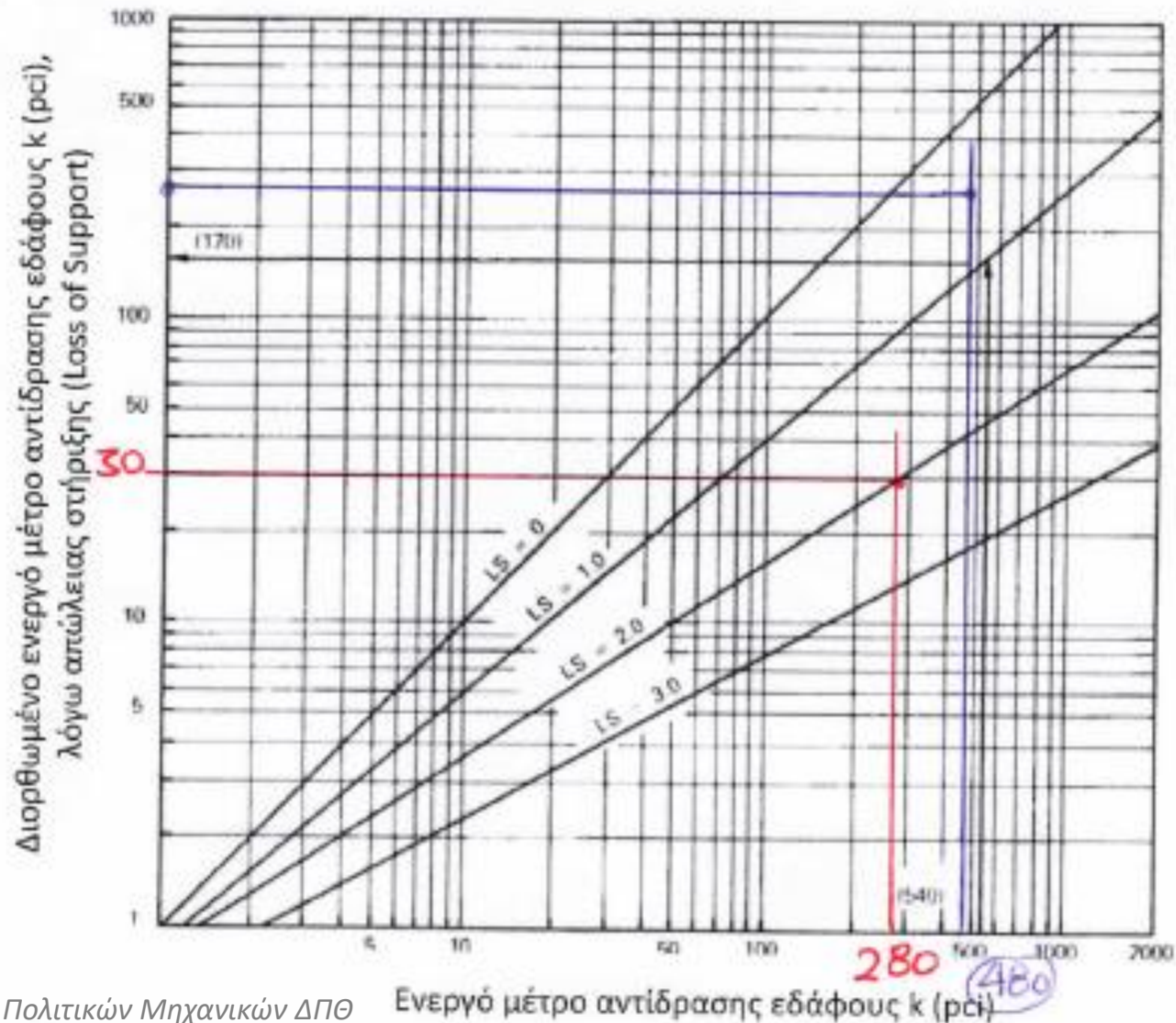
Στρώση έδρασης
 $M_R = 3000$ psi

Τυπικές τιμές του συντελεστή απώλειας στήριξης

Τύπος Υλικού	Απώλεια Στήριξης LS
Στρώση από σταθεροποιημένο με τσιμέντο αμμοχάλικο (E=1.000.000 έως 2.000.000psi) 6895-13790 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση από ισχνό σκυρόδεμα (E=500.000 έως 1.000.000psi) 3448-6895 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση σταθεροποιημένη με άσφαλτο (E=350.000 έως 1.000.000psi) 2413-6895 MPa	0.0 έως 1.0
Εδαφικό υλικό σταθεροποιημένο με άσφαλτο (E=40.000 έως 300.000psi) 276-2070 MPa	0.0 έως 1.0
Στρώση σταθεροποιημένη με άσβεστο (E=20.000 έως 70.000psi) 138-483 MPa	1.0 έως 3.0
Στρώση από ασύνδετα αμμοχάλικα (E=15.000 έως 45.000psi) 103-310 MPa	1.0 έως 3.0
Φυσικό υπέδαφος (E=3.000 έως 40.000psi) 21-276 MPa	2.0 έως 3.0

LS = 0.5

Διόρθωση μέτρου αντίδρασης εδάφους k , λόγω απώλειας στήριξης (LS: Loss of Support)



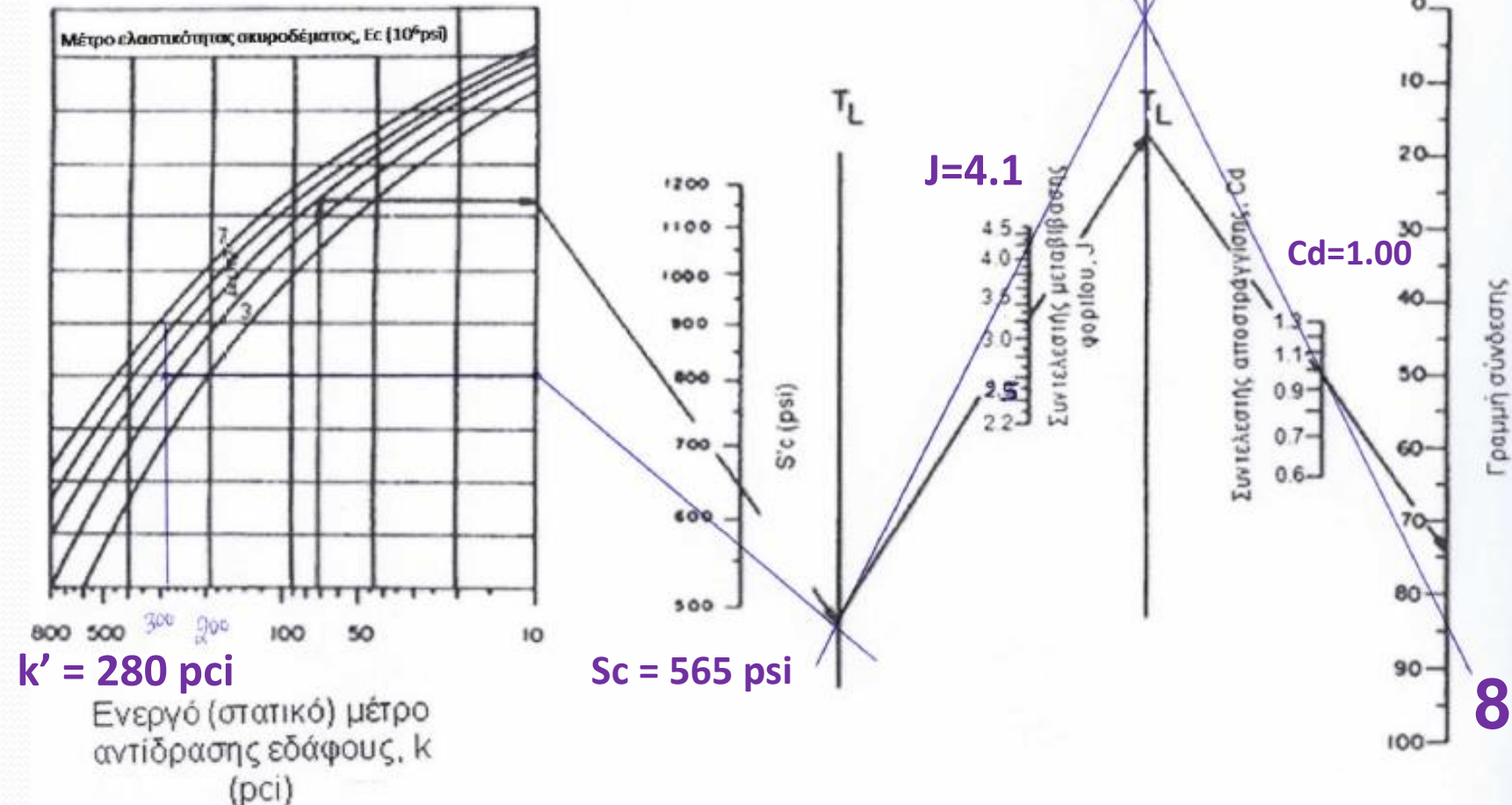
$$k = 480 \text{ pci}$$

$$LS = 0,5$$

$$k' = 280 \text{ pci}$$

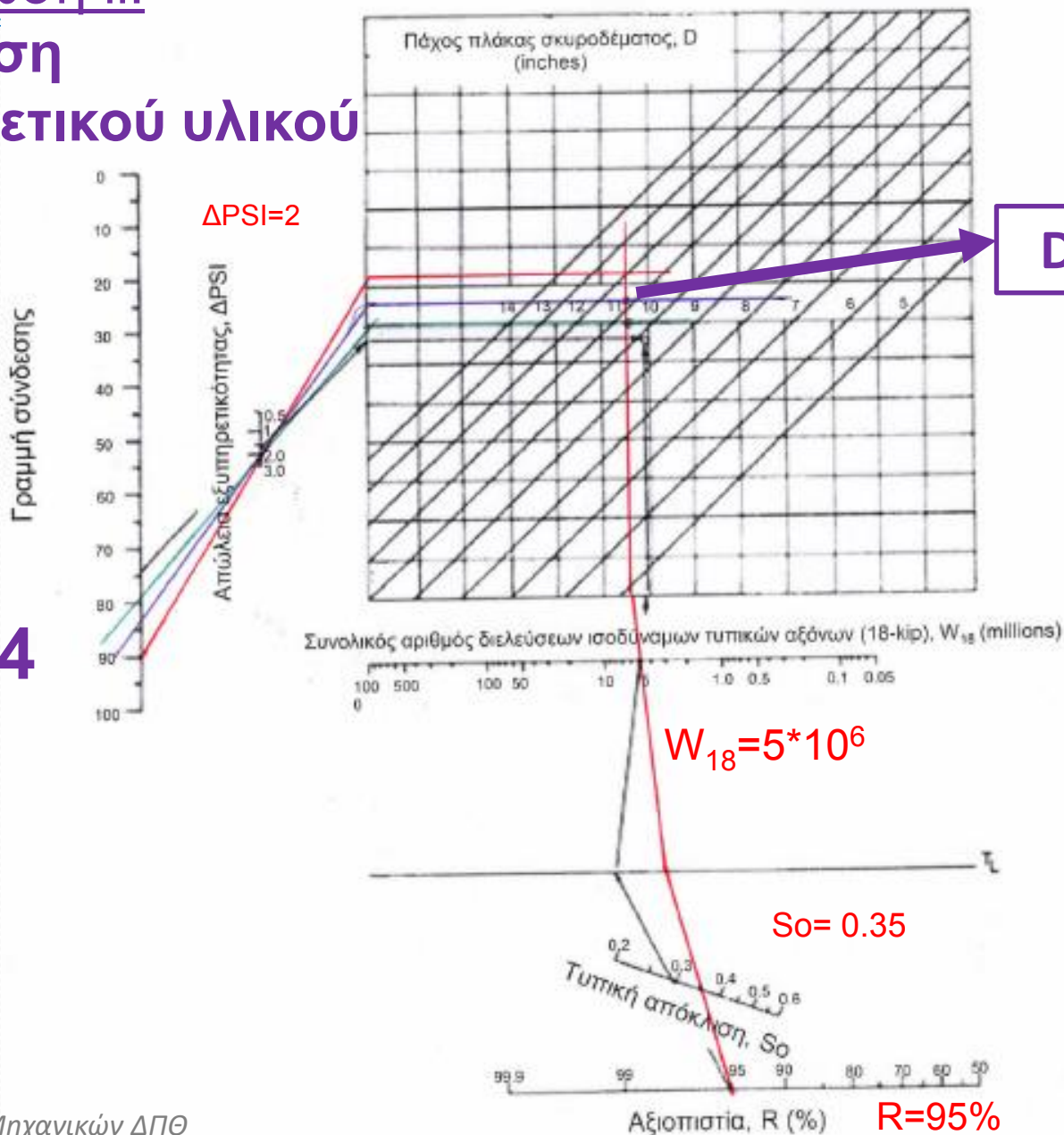
Περίπτωση ii: Υπόβαση διαφορετικού υλικού

$E_c = 4.3 (10^6 \text{ psi})$



Περίπτωση ii: Υπόβαση διαφορετικού υλικού

84

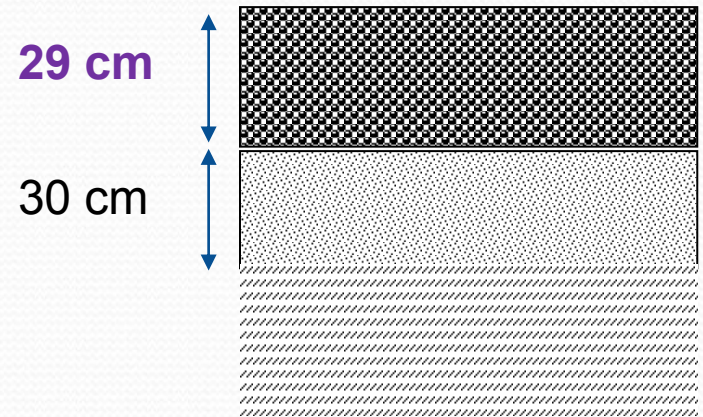


$D \approx 11,3$ inches

28,7 cm

Περίπτωση ii: Υπόβαση διαφορετικού υλικού

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους (~~$k' = 280$ pci~~) $\rightarrow k' = 280$ pci
2. $E_c = 4.3 \cdot 10^6$ psi, $S_c = 565$ psi
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου $J = 4.1$
4. $C_d = 1$
5. $\Delta PSI = 2.0$
6. $R = 95\%$
7. $S_o = 0.35$
8. $W_{18} = 5 \cdot 10^6$ ITA

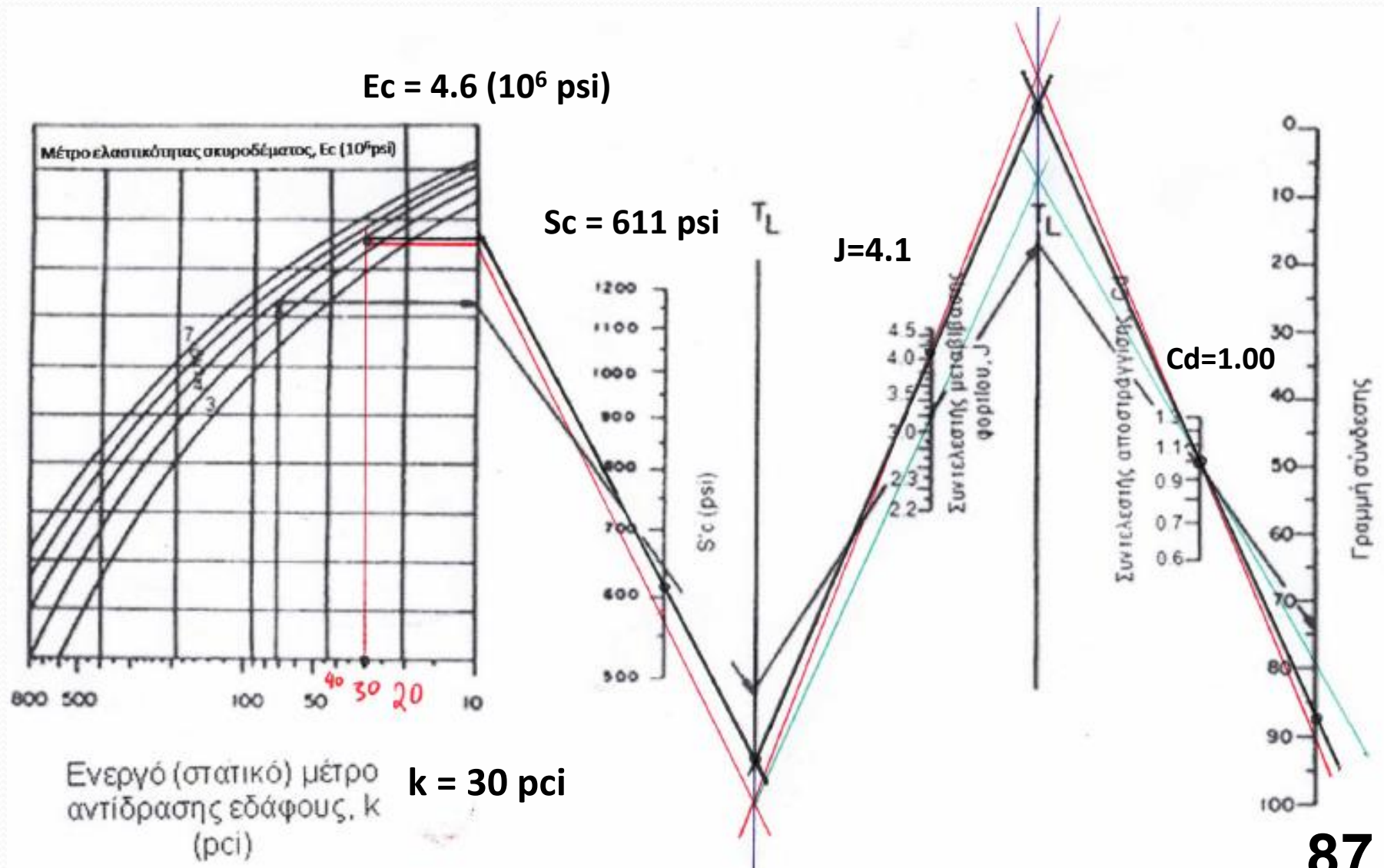


Περίπτωση iii:

Διαφορετικό σκυρόδεμα

1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους ($k' = 30 \text{ pci}$)
2. **$E_c = 31760 \text{ MPa}$, $S_c = 4,2 \text{ MPa} \rightarrow E_c = 4.6 \cdot 10^6 \text{ psi}$, $S_c = 611 \text{ psi}$**
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου $J = 4.1$
4. $C_d = 1$
5. $\Delta PSI = 2.0$
6. $R = 95 \%$
7. $S_o = 0.35$
8. $W_{18} = 5 \cdot 10^6 \text{ ITA}$

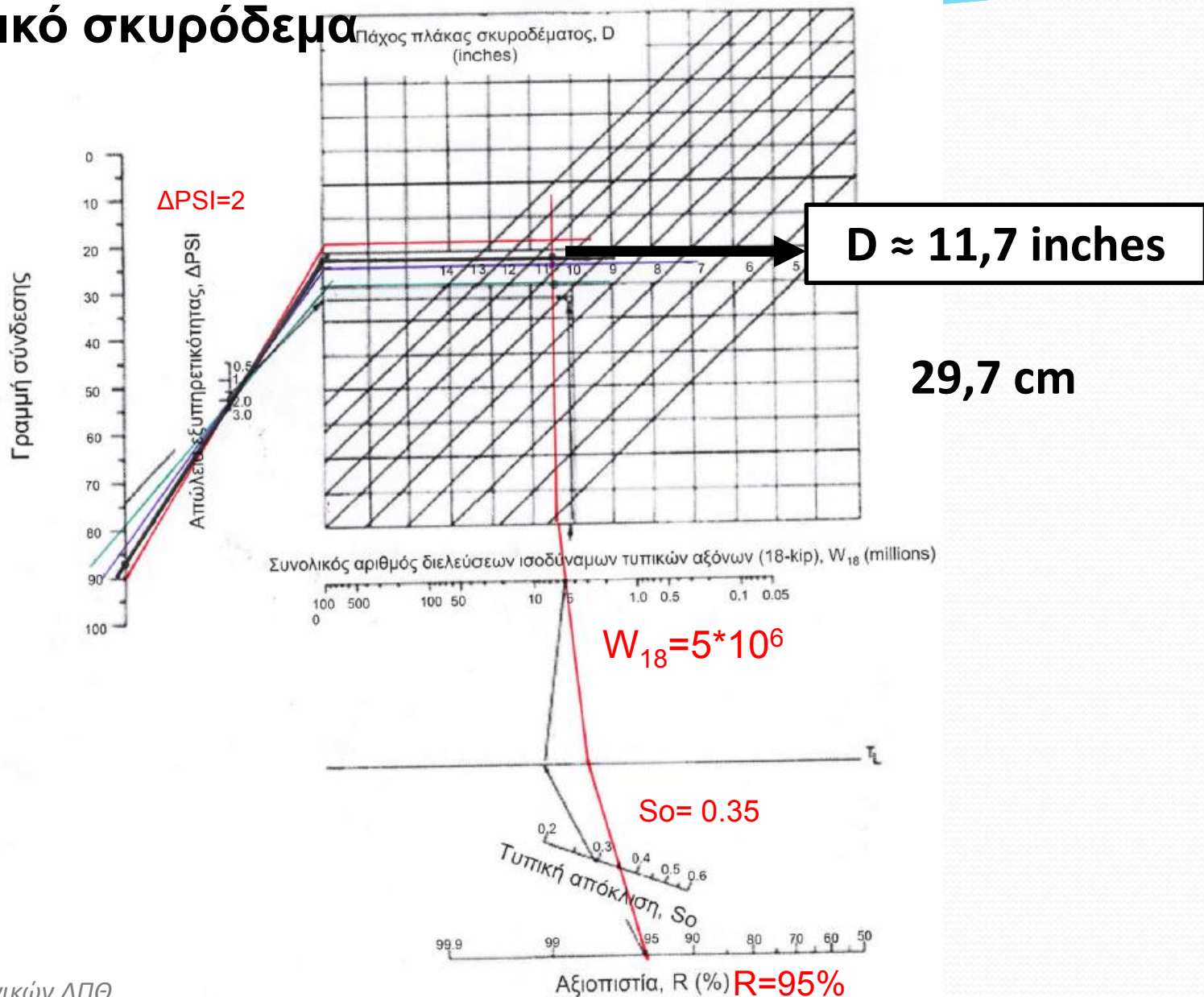
Περίπτωση iii: Διαφορετικό σκυρόδεμα



Περίπτωση iii:

Διαφορετικό σκυρόδεμα

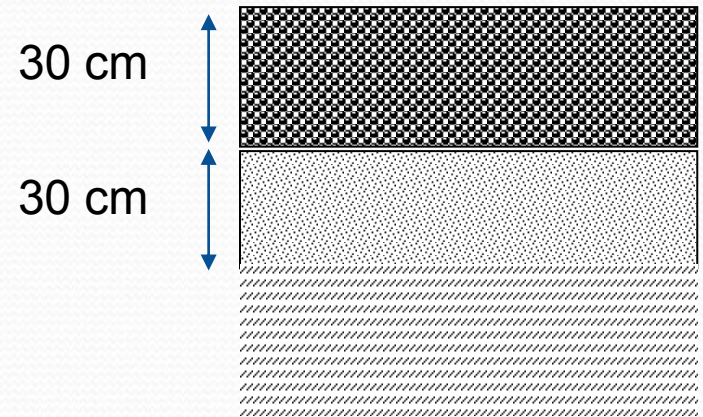
87



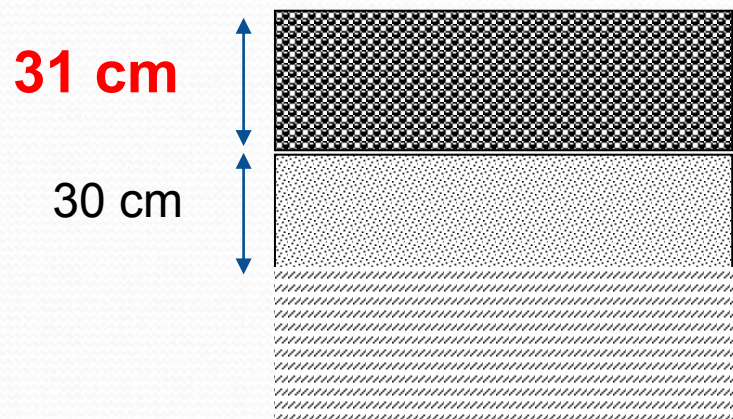
Περίπτωση iii:

Διαφορετικό σκυρόδεμα

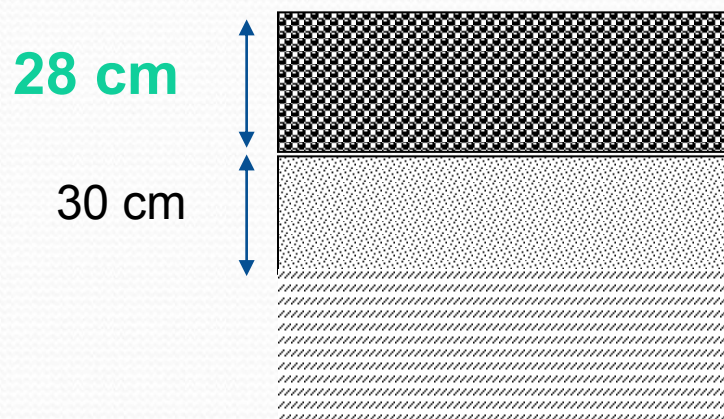
1. Ενεργό μέτρο αντίδρασης εδάφους ($k' = 30 \text{ pci}$)
2. $E_c = 31760 \text{ MPa}$, $S_c = 4,2 \text{ MPa} \rightarrow E_c = 4.6 \cdot 10^6 \text{ psi}$, $S_c = 611 \text{ psi}$
3. Συντελεστής μεταφοράς φορτίου $J = 4.1$
4. $C_d = 1$
5. $\Delta PSI = 2.0$
6. $R = 95 \%$
7. $S_o = 0.35$
8. $W_{18} = 5 \cdot 10^6 \text{ ITA}$



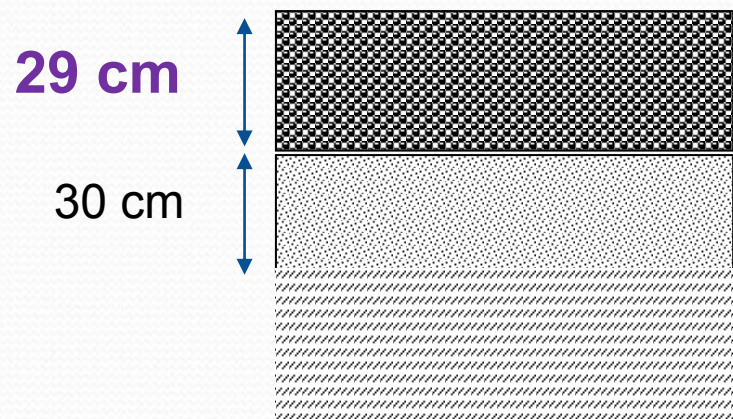
Σύνοψη διατομών σχεδιασμού



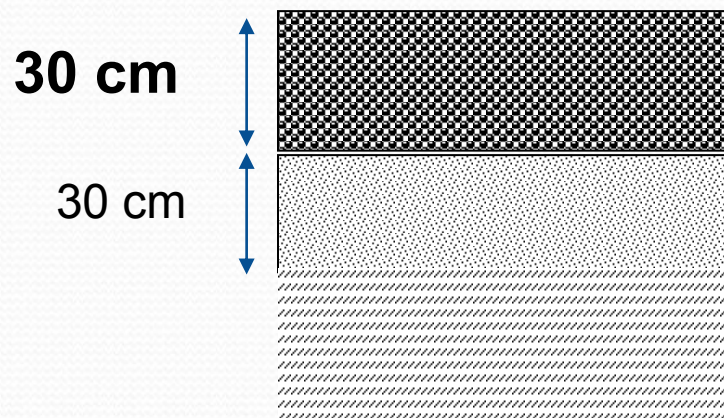
Χωρίς βλήτρα, υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο



Με βλήτρα, υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο



Χωρίς βλήτρα, υπόβαση σταθεροποιημένη με άσφαλτο



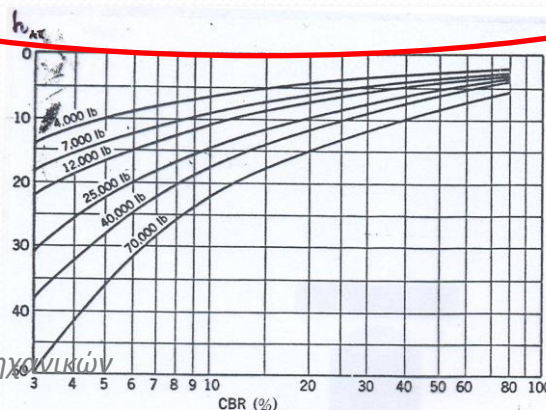
Χωρίς βλήτρα, υπόβαση από ασύνδετο αμμοχάλικο, χρήση «καλύτερου» σκυροδέματος

Σχεδιασμός οδοστρωμάτων αεροδρομίων

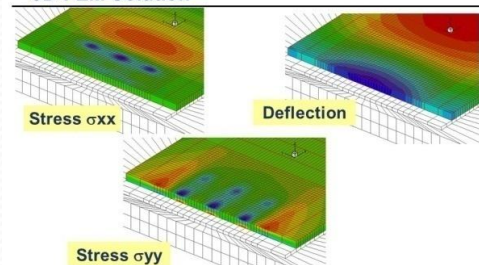
Υπολογισμός οδοστρωμάτων αεροδρομίων



- Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού / Αναλυτικές μέθοδοι υπολογισμού



Chapter 3 Section 3 – Rigid Pavement Design 3D-FEM Solution



AC 150/5320-6E and FAARFIELD
March 2008



81 81

Υπολογιστικά Προσομοιώματα

Ασφαλτικές στρώσεις

Βάση από Ασύνδετο Υλικό

Υπόβαση από Ασύνδετο Υλικό

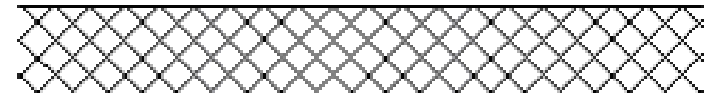
Στρώση Έδρασης

**Εύκαμπτο
οδόστρωμα**

ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΥΠΟΒΑΣΗ

(αμμοχάλικο ή σταθεροποιημένο υλικό)



ΣΤΡΩΣΗ ΕΔΡΑΣΗΣ

**Δύσκαμπτο
οδόστρωμα**

Εμπειρική Μέθοδος FAA

FAA: Federal Aviation Administration

(Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας)

Εμπειρική Μέθοδος FAA

Εμπειρική μέθοδος FAA

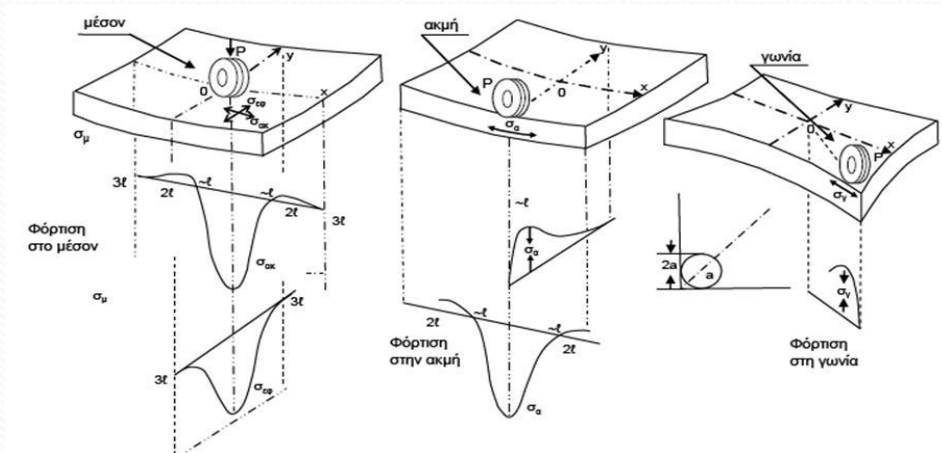
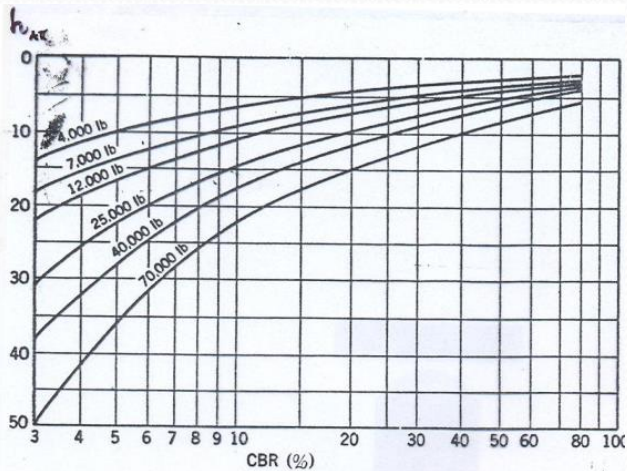
Εύκαμπτα οδοστρώματα

Δύσκαμπτα οδοστρώματα

Μέθοδος CBR

Westergaard

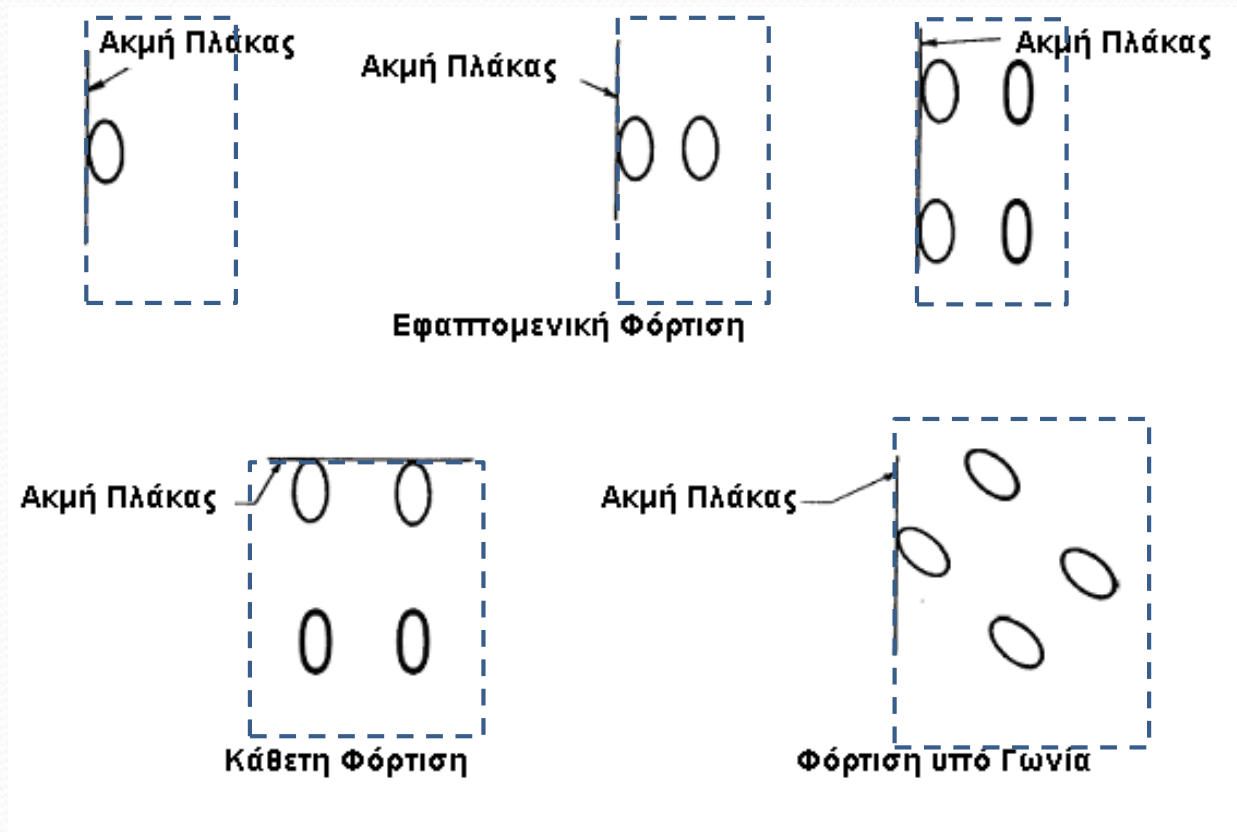
Γενικό Νομογράφημα Μεθόδου CBR:
Υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος του οδοστρώματος με βάση τη φέρουσα ικανότητα του υλικού της υποκείμενης στρώσης και το μέγεθος της φόρτισης του οδοστρώματος.



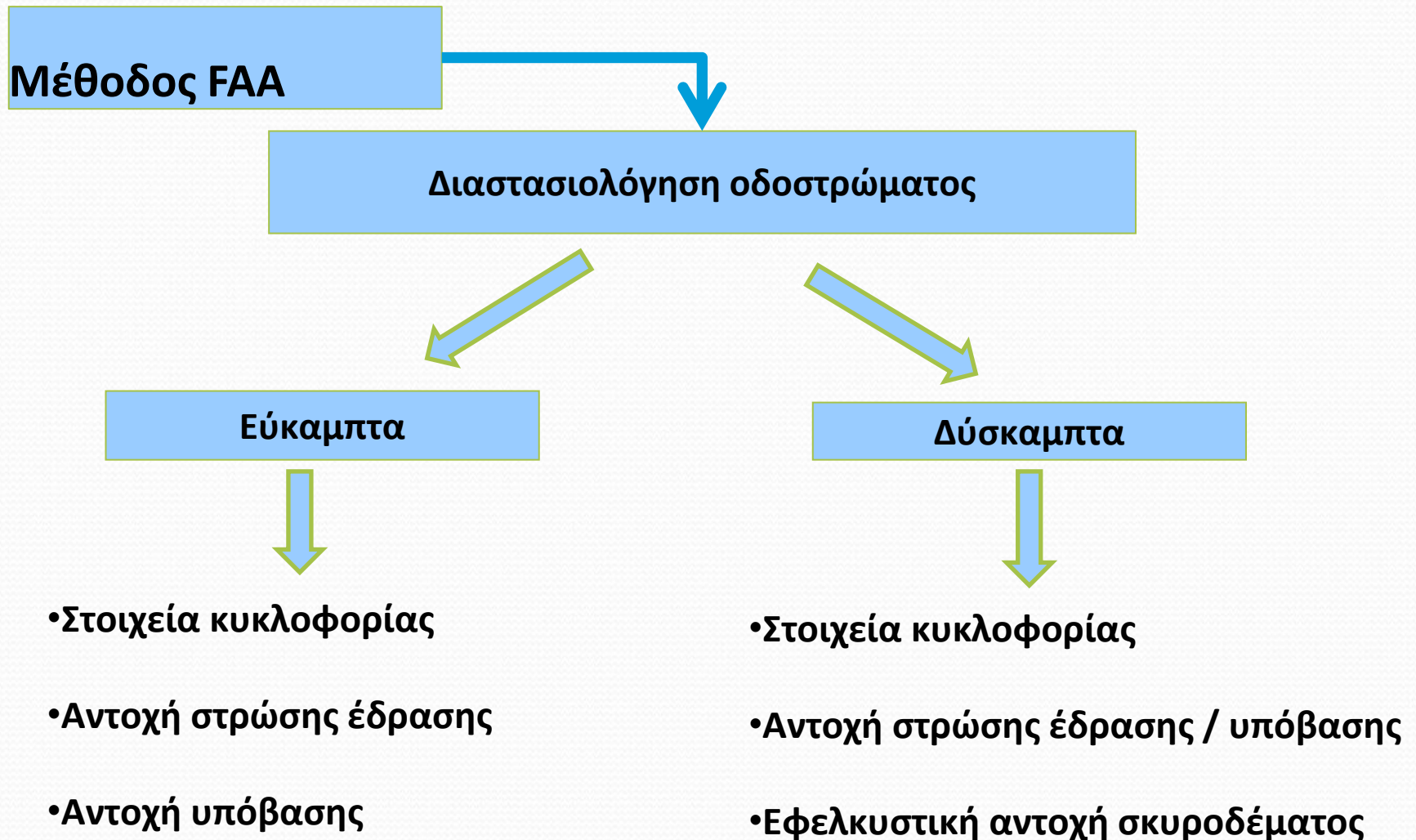
ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΠΛΑΚΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΤΑ Westergaard

Βασικές Παραδοχές σε δύσκαμπτο οδόστρωμα

Χρησιμοποιούνται διαγράμματα βασισμένα στις εξισώσεις του Westergaard για φόρτιση στην ακμή της πλάκας σκυροδέματος.



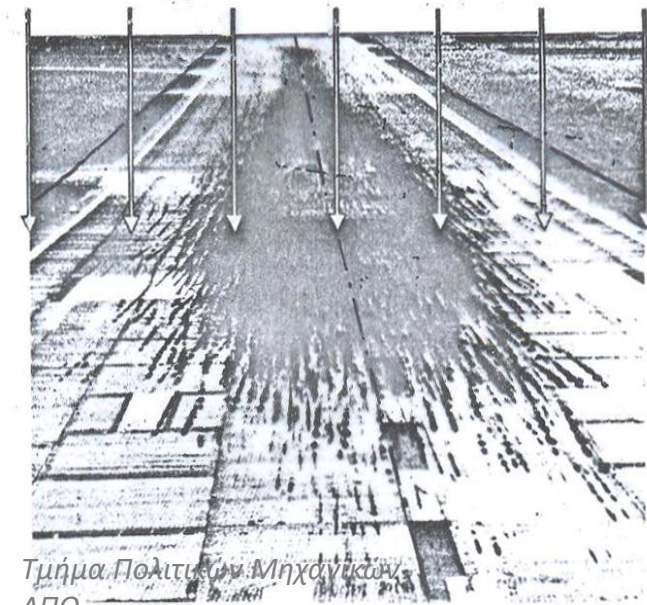
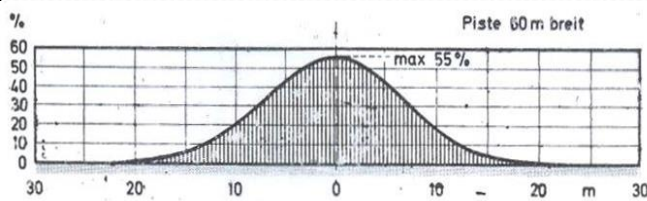
Γενικά στοιχεία εμπειρικής μεθόδου FAA



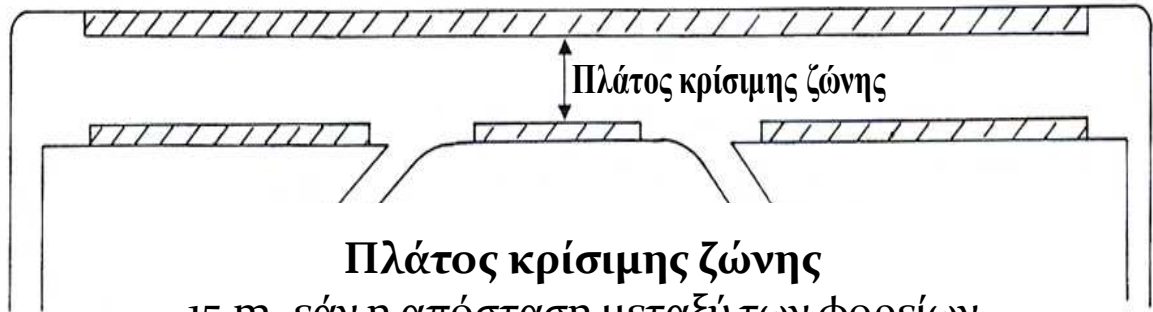
Εμπειρική Μέθοδος FAA

Θεώρηση κυκλοφορίας

Συγκέντρωση κινήσεων α/φ
εκατέρωθεν του άξονα του
διαδρόμου



«Κρίσιμες» περιοχές



Πλάτος κρίσιμης ζώνης

15 m, εάν η απόσταση μεταξύ των φορείων
είναι < 8 m

20 m, εάν η απόσταση μεταξύ των φορείων
είναι 8-12 m



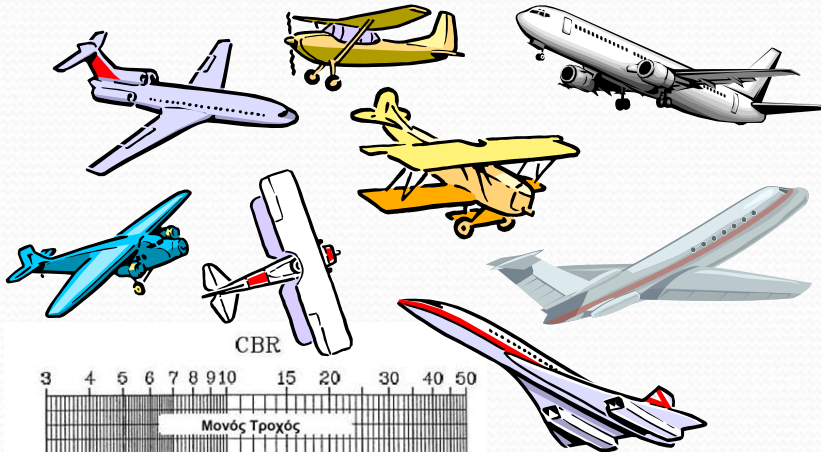
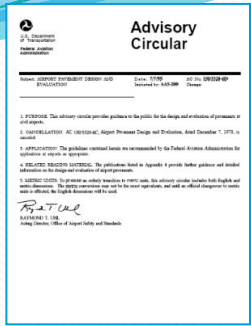
Διαστασιολόγηση με πλήρες φορτίο σχεδιασμού



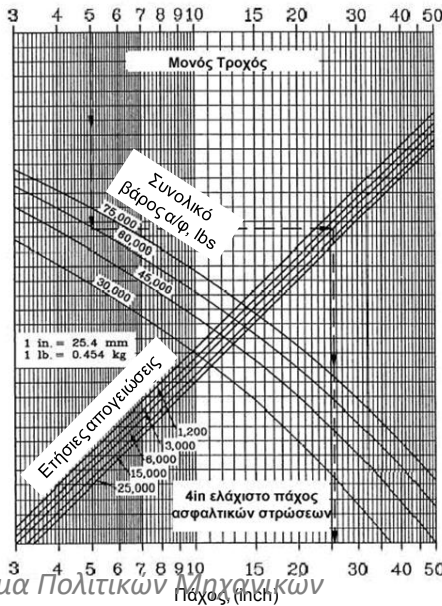
Διαστασιολόγηση με τα 2/3 του φορτίου σχεδιασμού

Εμπειρική Μέθοδος FAA

Θεώρηση κυκλοφορίας



α/φ που απαιτεί το μεγαλύτερο πάχος οδοστρώματος



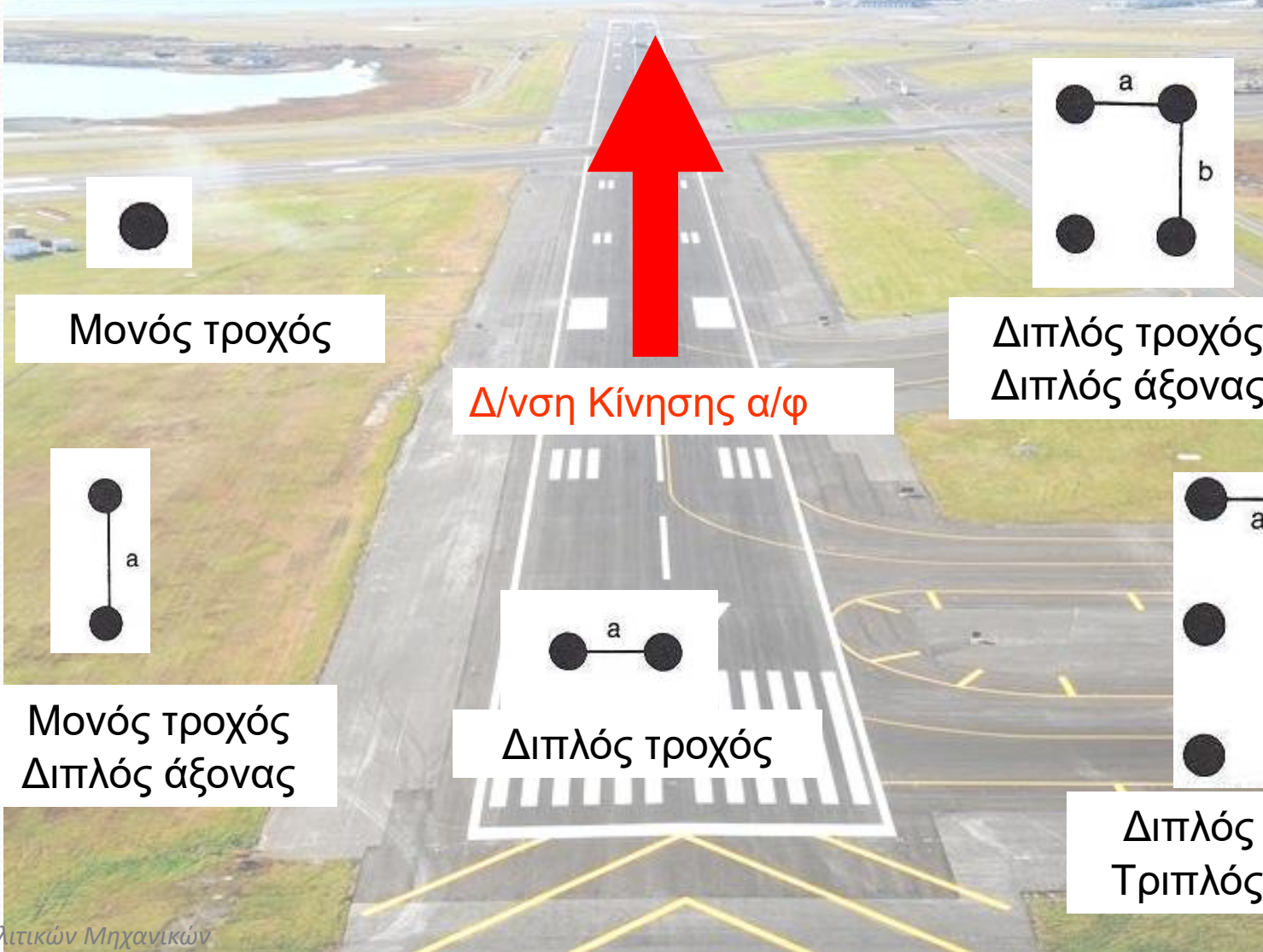
Κυκλοφορία- Ανάλυση Στοιχείων

- Ισχύουν οι βασικές αρχές ανάλυσης οδοστρωμάτων
- Τα πολύ μικρά, ελαφρά α/φ μπορούν να αγνοηθούν
- Υπολογισμοί ισοδύναμων διελεύσεων:
 - Μετατροπή διελεύσεων ενός α/φ σε ισοδύναμες διελεύσεις ενός άλλου α/φ αναφοράς

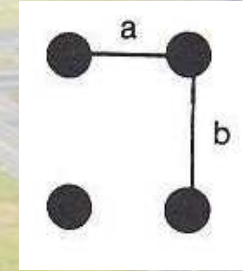


1. Ως προς το σύστημα τροχών του α/φ αναφοράς
2. Ως προς το φορτίο τροχού του α/φ αναφοράς

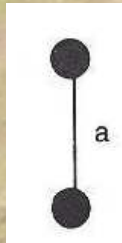
Φορτία – Διατάξεις τροχών α/φ



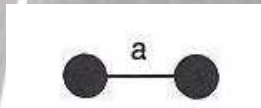
Μονός τροχός



Διπλός τροχός
Διπλός άξονας



Μονός τροχός
Διπλός άξονας

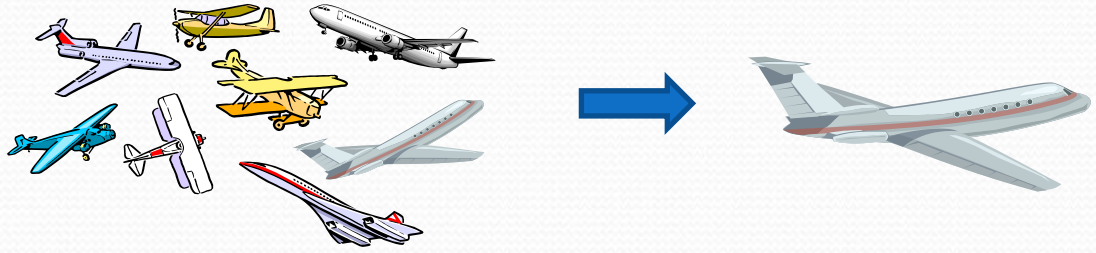


Διπλός τροχός



Διπλός τροχός
Τριπλός άξονας

1. Μετατροπή διελεύσεων ως προς σύστημα τροχών



Για μετατροπή από	Σε	Πολ/ζουμε με
μονού τροχού	διπλού τροχού	0.8
μονού τροχού	διπλού δίδυμου τροχού	0.5
διπλού τροχού	διπλού δίδυμου τροχού	0.6
τετραπλού δίδυμου τροχού	διπλού δίδυμου τροχού	1.0
διπλού δίδυμου τροχού	Μονού τροχού	2.0
διπλού δίδυμου τροχού	διπλού τροχού	1.7
διπλού τροχού	Μονού τροχού	1.3
τετραπλού δίδυμου τροχού	διπλού τροχού	1.7

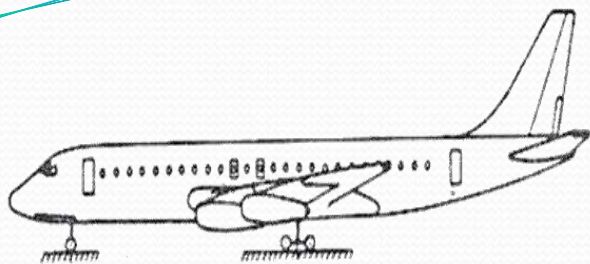
Οι συντελεστές εξαρτώνται από:

- Τη διάταξη τροχών του φορείου
- Τις διαστάσεις του α/φ και την απόσταση μεταξύ των φορείων

- 10 διελεύσεις μονού τροχού ισοδυναμούν με 8 ισοδύναμες διελεύσεις διπλού τροχού

$$10 \times \bullet = 8 \times \bullet \text{---} \overset{a}{\bullet}$$

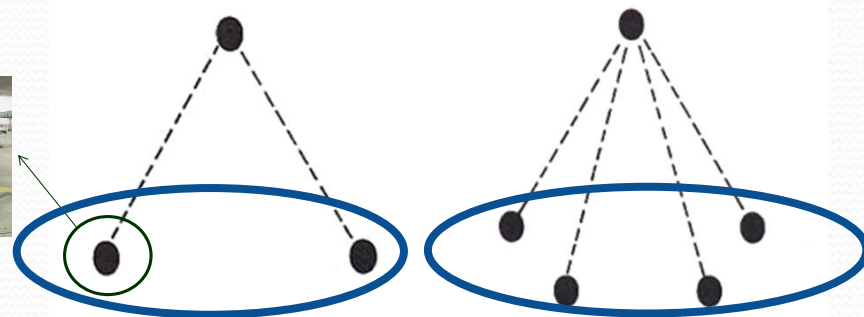
Τυπική κατανομή φορτίου αεροσκάφους



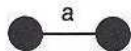
5%
Ρινιαίο φορείο

95%
Κύριο φορείο

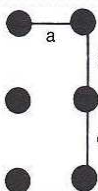
- 3 ή 5 φορεία σε διάταξη ισοσκελών τριγώνων:
Το ρινιαίο φορείο + 2 ή 4 κύρια φορεία (πίσω)



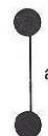
Μονός τροχός



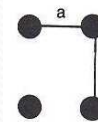
Διπλός Τροχός



Διπλός τροχός
Τριπλός άξονας

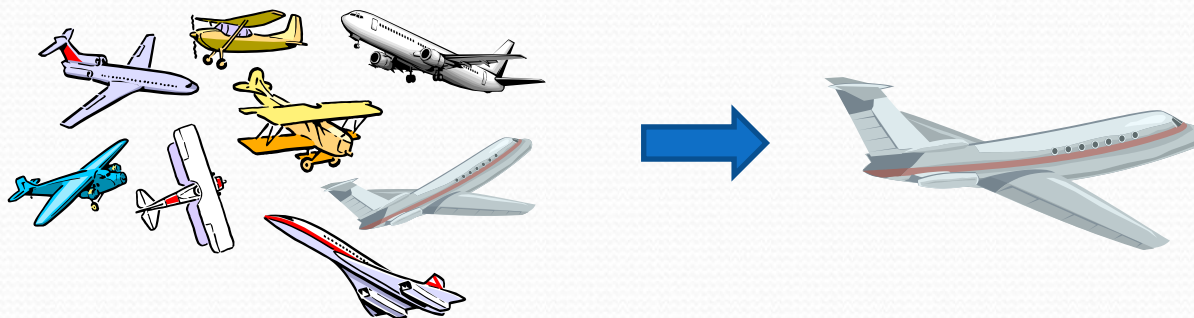


Μονός τροχός
Διπλός άξονας



Διπλός τροχός
Διπλός άξονας

2. Μετατροπή ως προς φορτίο τροχού του α/φ



$$\log R_{2 \rightarrow 1} = \log R_2 \cdot \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{0,5}$$

Έστω

α/φ 1 = α/φ σχεδιασμού

α/φ 2 = ένα άλλο α/φ του οποίου

αναζητούμε τις ισοδύναμες διελεύσεις

όπου,

$R_{2 \rightarrow 1}$: Ισοδύναμες διελεύσεις α/φ σχεδιασμού (με βάση το βάρος του τροχού του α/φ σχεδιασμού)

R_2 : Διελεύσεις ενός α/φ μετά τη μετατροπή τους σε ισοδύναμες με βάση τη διάταξη τροχών του α/φ σχεδιασμού

W_1 : Φορτίο του ενός τροχού του α/φ σχεδιασμού

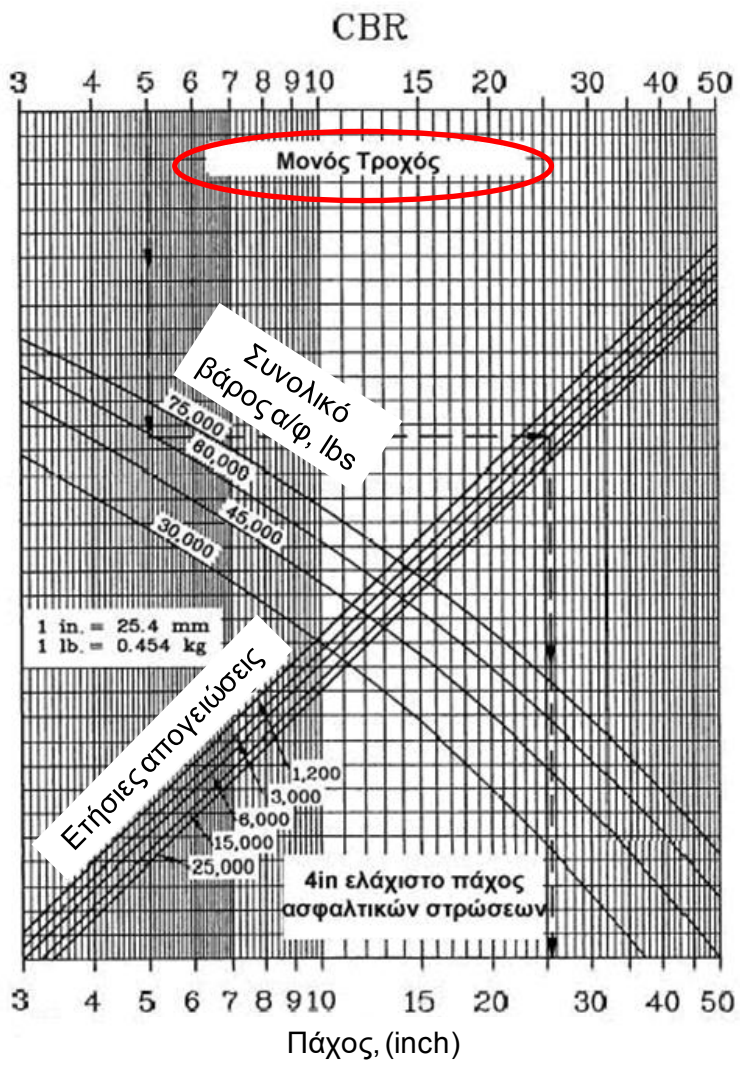
W_2 : Φορτίο του ενός τροχού του α/φ του οποίου μετατρέπουμε τις

δieleύσεις

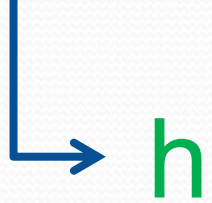
Πρέπει να έχουν ήδη υπολογιστεί οι ισοδύναμες διελεύσεις του α/φ 2 ως προς το α/φ 1 με βάση τη διάταξη τροχών του α/φ 1

Διαγράμματα Υπολογισμού

1. CBR %
2. Βάρος α/φ
3. ετήσιες απογειώσεις

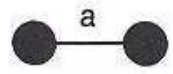
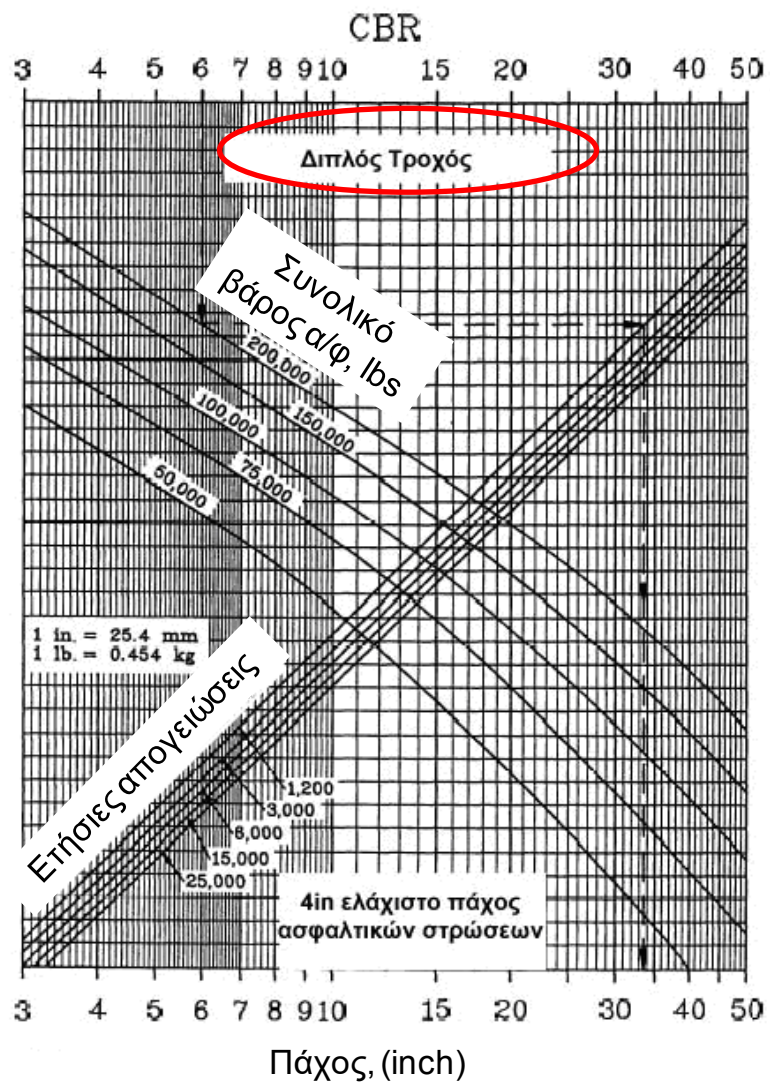


●
Μονός τροχός

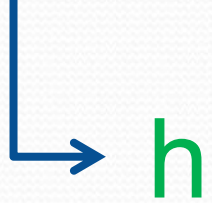


Διαγράμματα Υπολογισμού

1. CBR %
2. Βάρος α/φ
3. ετήσιες απογειώσεις

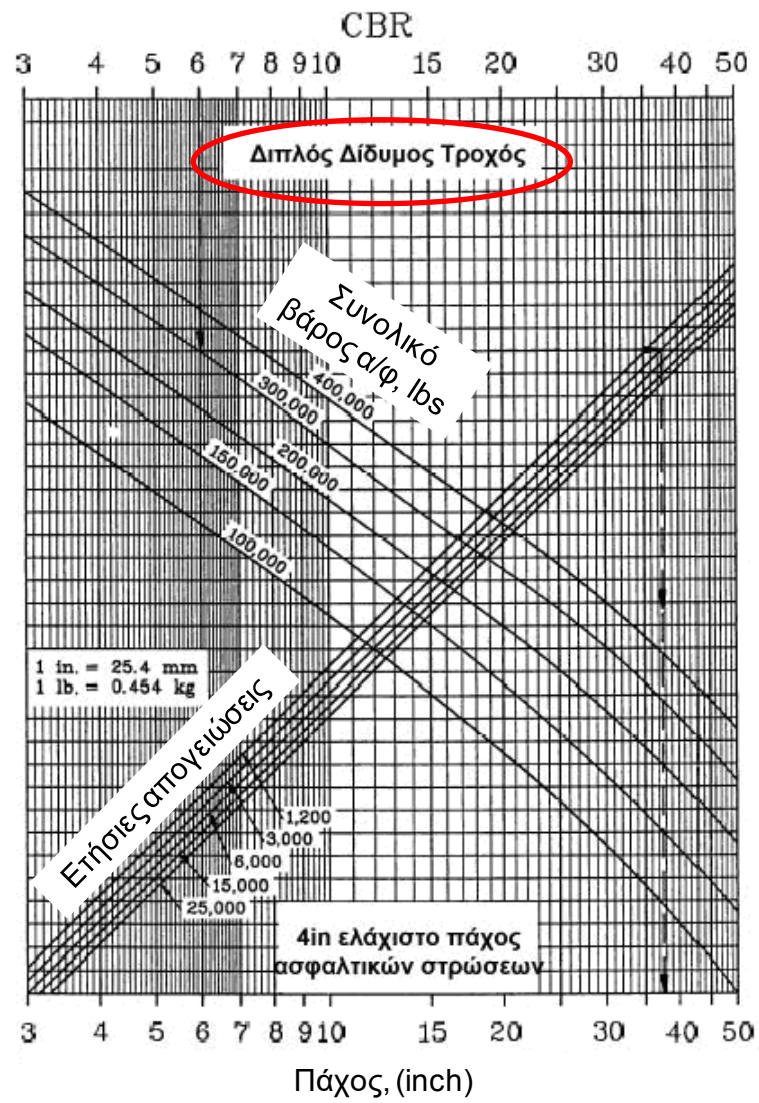


Διπλός τροχός

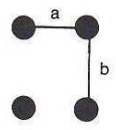


Διαγράμματα Υπολογισμού

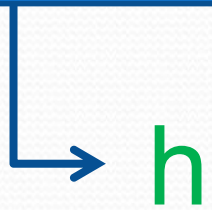
1. CBR %
2. Βάρος α/φ
3. ετήσιες απογειώσεις



Διπλός Δίδυμος Τροχός



Διπλός τροχός
Διπλός



Προσδιορισμός απαιτούμενων παχών

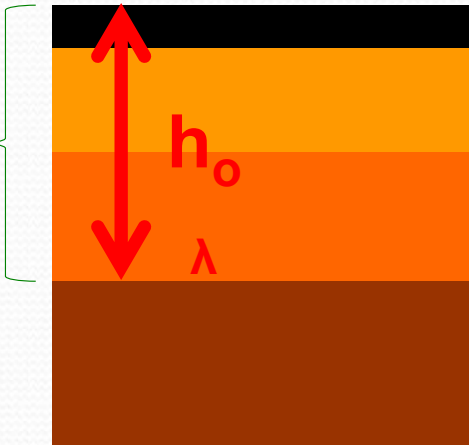
Για το α/φ σχεδιασμού...

1

Συνολικό πάχος οδοστρώματος



CBR
έδρασης



Συνολικό πάχος βάσης
και ασφαλτικών
στρώσεων

CBR

υπόβασης

2



Ασφαλτικές στρώσεις

Βάση από αμμοχάλικο

Υπόβαση

Στρώση έδρασης

3

$$h_{υπόβασης} = h_{ολ} - h_{ασφ+βάσης}$$

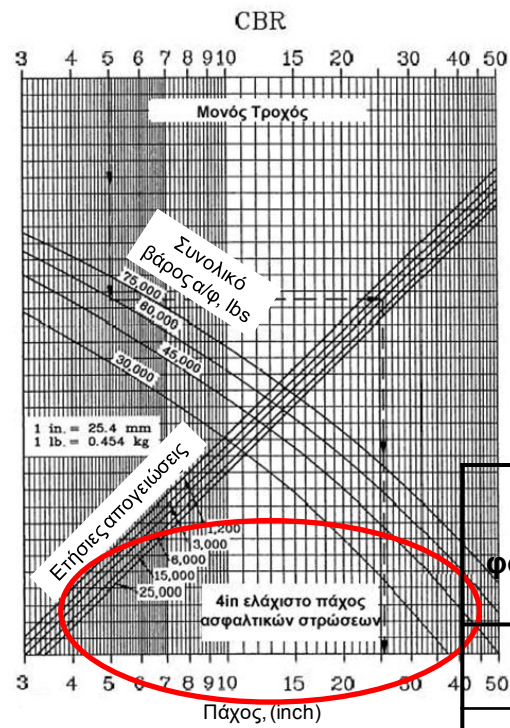


Επιμερισμός πάχους

Συνολικό πάχος βάσης και ασφαλτικών στρώσεων



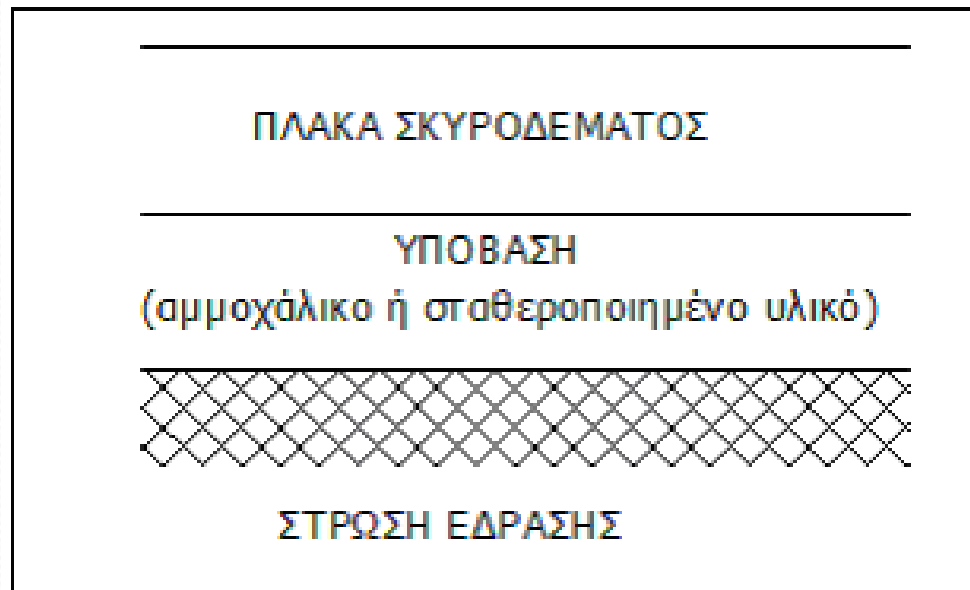
5



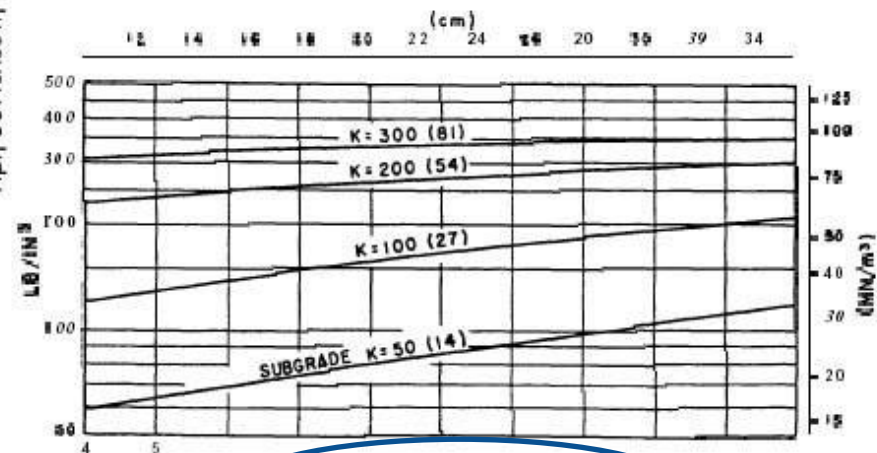
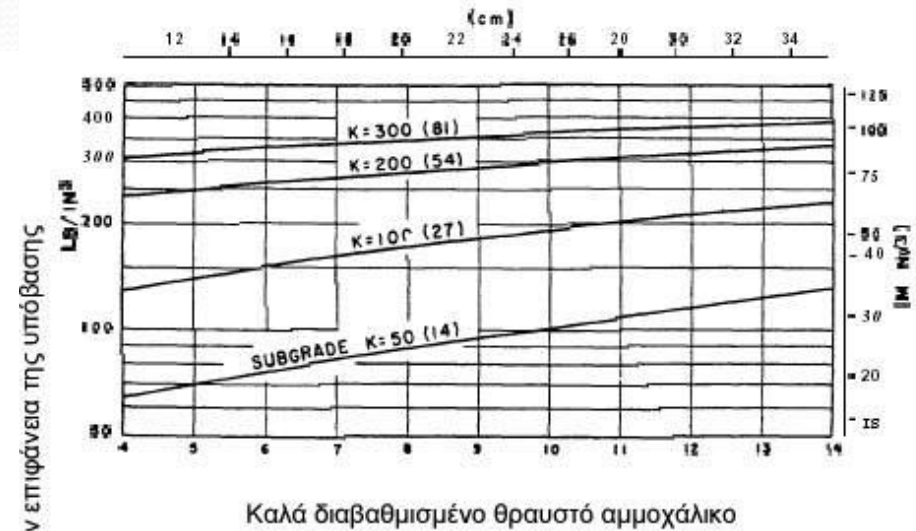
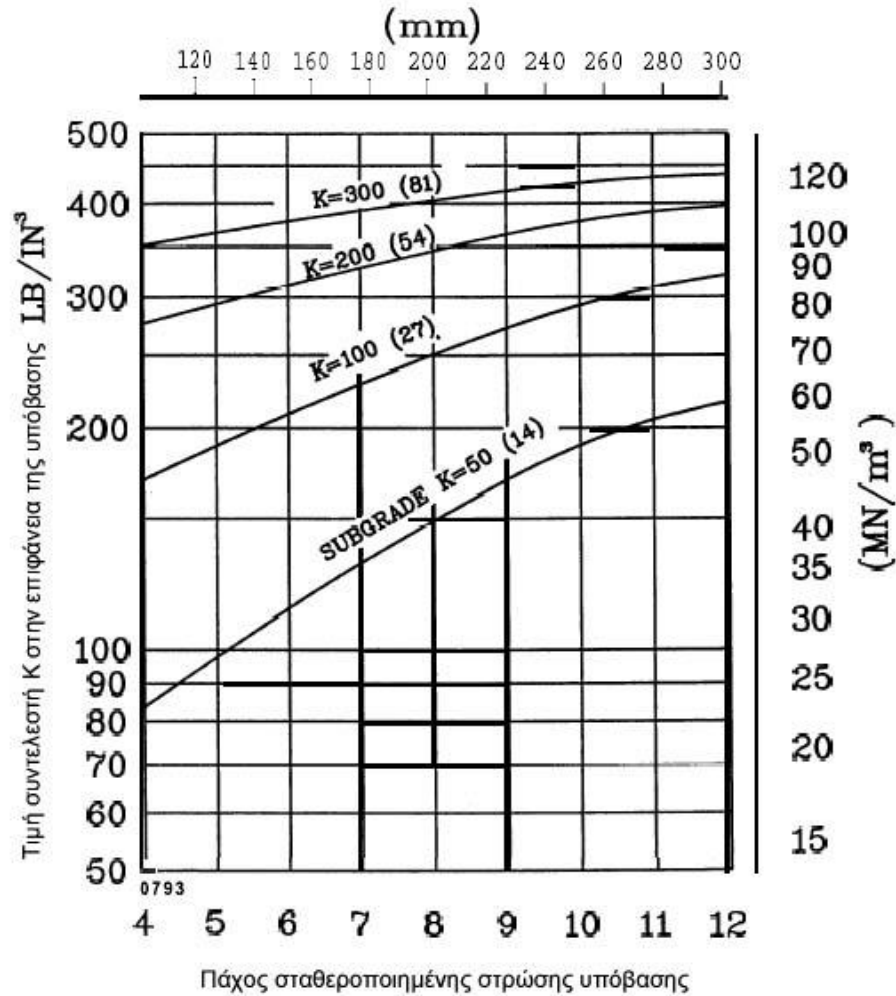
4

α/φ ή τυπικό φορείο σχεδιασμού	Φορτίο α/φ σχεδιασμού		Ελάχιστο πάχος βάσης	
	Lbs	Kgr	inch	mm
Μονός τροχός	30.000 – 50.000	13.600 – 22.700	4	100
	50.000 – 75.000	22.700 – 34.000	6	150
Διπλός τροχός	50.000 – 100.000	22.700 – 45.000	6	150
	100.000 – 200.000	45.000 – 90.700	8	200
Διπλός δίδυμος	100.000 – 250.000	45.000 – 113.400	6	150
	250.000 – 400.000	113.400 – 181.000	8	200
757 767	200.000 – 400.000	90.700 – 181.000	6	150
DC-10 L1011	400.000 – 600.000	181.000 – 272.000	8	200
B-747	400.000 – 600.000	181.000 – 272.000	6	150
	600.000 – 850.000	272.000 – 385.700	8	200
C130	75.000 – 125.000	34.000 – 56.700	4	100
	125.000 – 175.000	56.700 – 79.400	6	150





Σχεδιασμός Δύσκαμπτου Οδοστρώματος



Προσδιορισμός k στην Επιφάνεια της Υπόβασης

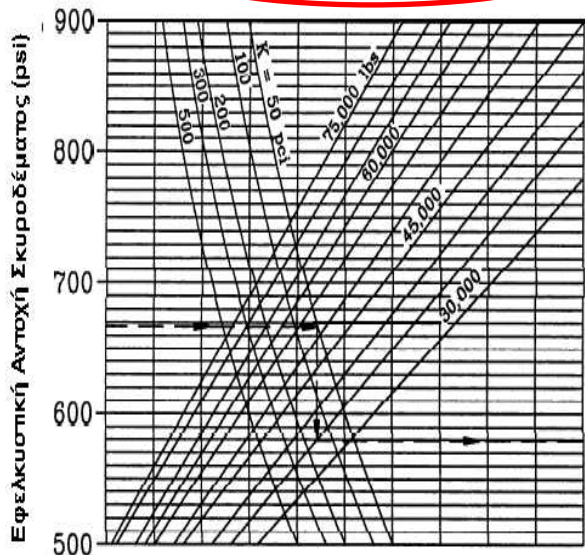


Προσδιορισμός είδους και πάχους υπόβασης

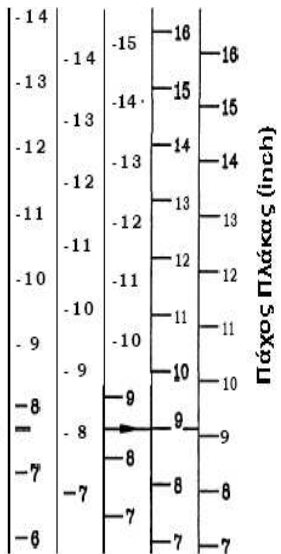
1. Επαρκής αντοχή στρώσης έδρασης (τουλάχιστον 80MN/m^3)  Πλάκα σκυροδέματος μπορεί να εδράζεται απευθείας σε έδαφος
2. Ελάχιστη τιμή υπόβασης  4 ίντσες (100mm)
3. Για μείωση πάχους πλάκας σκυροδέματος  Αύξηση πάχους υπόβασης ή υλικά υψηλότερης φέρουσας ικανότητας
4. Για α/φ βάρους $\geq 100000\text{ lbs}$  Σταθεροποιημένο υλικό υπόβασης

Διαγράμματα Υπολογισμού

ΜΟΝΟΣ ΤΡΟΧΟΣ

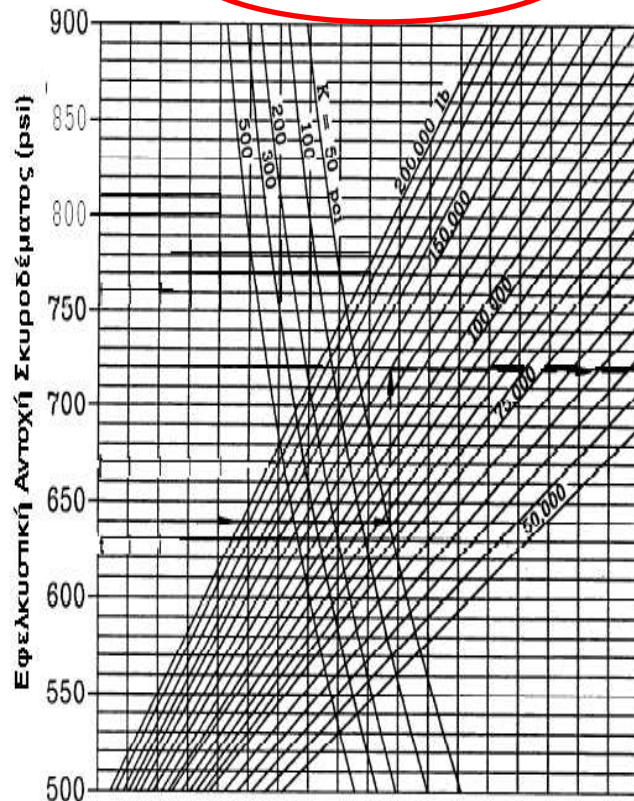


Ετήσιες απογειώσεις

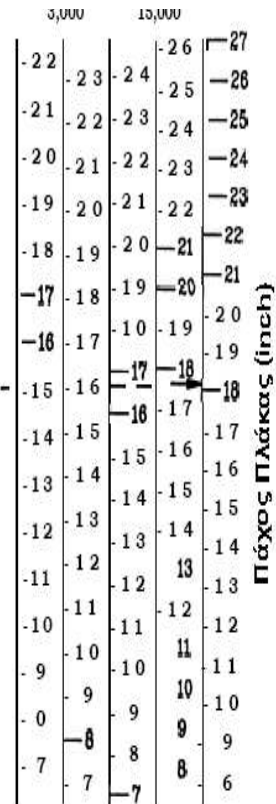


1 inch = 25.4 mm 1 psi = 0.0069 MN/m²
 1 lb = 0.454 kg 1 pci = 0.272 MN/m²

ΔΙΠΛΟΣ ΤΡΟΧΟΣ



Ετήσιες απογειώσεις



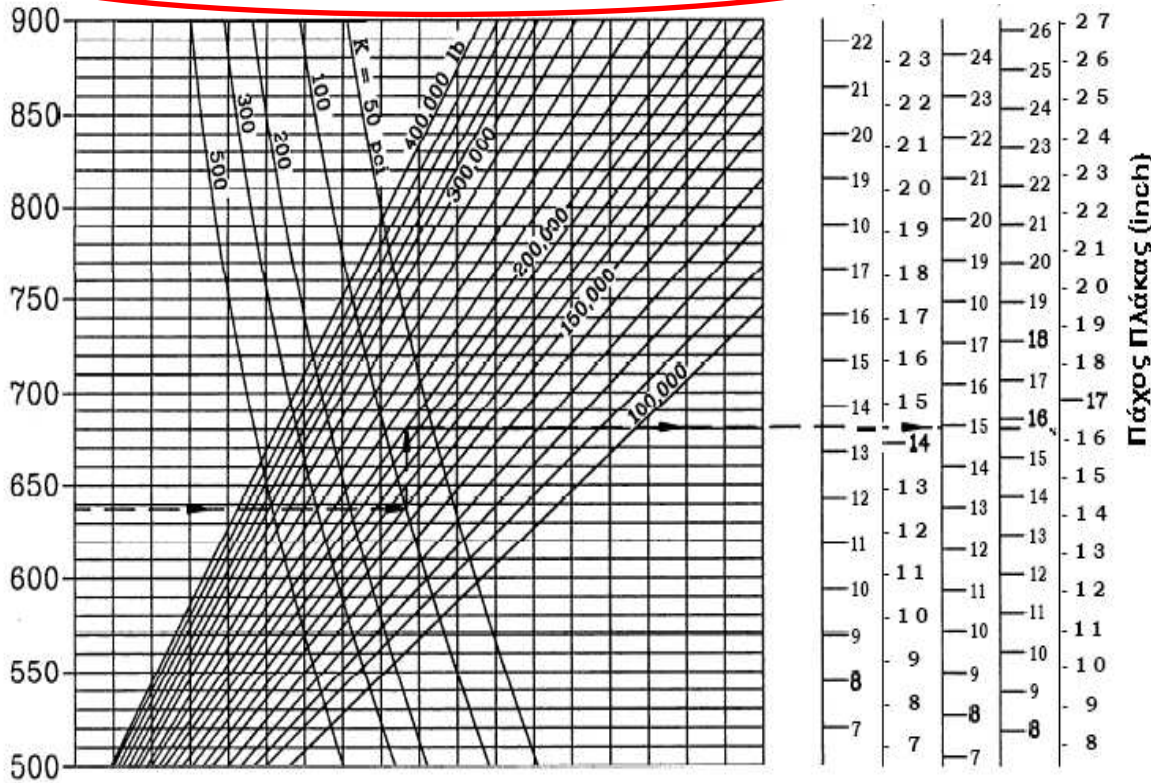
1. Εφελκ. αντοχή σκυρ/τος
2. k στην επιφάνεια υπόβασης
3. Βάρος α/φ
4. ετήσιες απογειώσεις



Διάγραμμα Υπολογισμού

ΔΙΠΛΟΣ ΤΡΟΧΟΣ - ΔΙΠΛΟΣ ΑΞΟΝΑΣ

Ετήσιες απογειώσεις



1. Εφελκ. αντοχή σκυρ/τος
2. k στην επιφάνεια υπόβασης
3. Βάρος α/φ
4. ετήσιες απογειώσεις

1 inch = 25.4 mm 1 psi = 0.0069 MN/m²
 1 lb = 0.454 kg 1 pci = 0.272 MN/m³

Διάδρομοι – τροχόδρομοι \neq Δάπεδα στάθμευσης - αναμονής

h