

# Κατασκευή οδών

---

Διάλεξη 05 : Σχεδιασμός εύκαμπτων οδοστρωμάτων

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

# Δομή μαθήματος

---

1. Μέθοδος σχεδιασμού AASHTO
2. Κριτήρια αστοχίας εύκαμπτων οδοστρωμάτων

# Μέθοδος σχεδιασμού AASHTO

---

- American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993
- Εμπειρική μέθοδος, πειραματικά αποτελέσματα πεδίου
- Στόχος είναι ο υπολογισμός:
  - Ελάχιστου πάχους στρώσης **D**
  - Δομικού αριθμού **SN** ανά στρώση

## Παράμετροι

1. Σχεδιαστικές μεταβλητές
2. Στάθμες λειτουργικότητας
3. Ιδιότητες υλικών
4. Αποστραγγιστική ικανότητα οδοστρώματος

# 1. Σχεδιαστικές μεταβλητές

---

- Κυκλοφοριακός φόρτος (ESAL)
- Διάρκεια σχεδιασμού (20-50 έτη) και περίοδος συμπεριφοράς (10 έτη)
- Αξιοπιστία ( $R, S_0$ )
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες ( $\Delta PSI$ )

## Υπενθύμιση

$$ESAL = \sum_{i=1}^m EALF_i * n_i \qquad EALF = \frac{n_{t18}}{n_{tx}}$$

## 2. Στάθμες λειτουργικότητας

---

**Λειτουργικότητα:** ικανότητα οδοστρώματος να εξυπηρετεί την κυκλοφορία με άνεση, ασφάλεια, οικονομία.

**Συμπεριφορά:** μεταβολή λειτουργικότητας με το χρόνο και τη διέλευση φορτίων.

Δείκτης λειτουργικότητας  $p$ : μήκος ρωγμών, πάχος αυλακώσεων, διακύμανση κατά μήκος κλίσης, ...

- Αρχικός  $p_0$  (=5)
- Παρών  $p$
- Τελικός  $p_t$  (2,0-2,5)
- Απώλεια λειτουργικότητας  $\Delta PSI = p_0 - p_t$

### 3. Ιδιότητες υλικών

---

**Μηχανικές ιδιότητες:** για βάση μέτρο ελαστικότητας  $E$ , για υπέδαφος μέτρο ανάκτησης  $M_r$  (εποχικά μεταβαλλόμενο)

**Μηχανική αντοχή:**

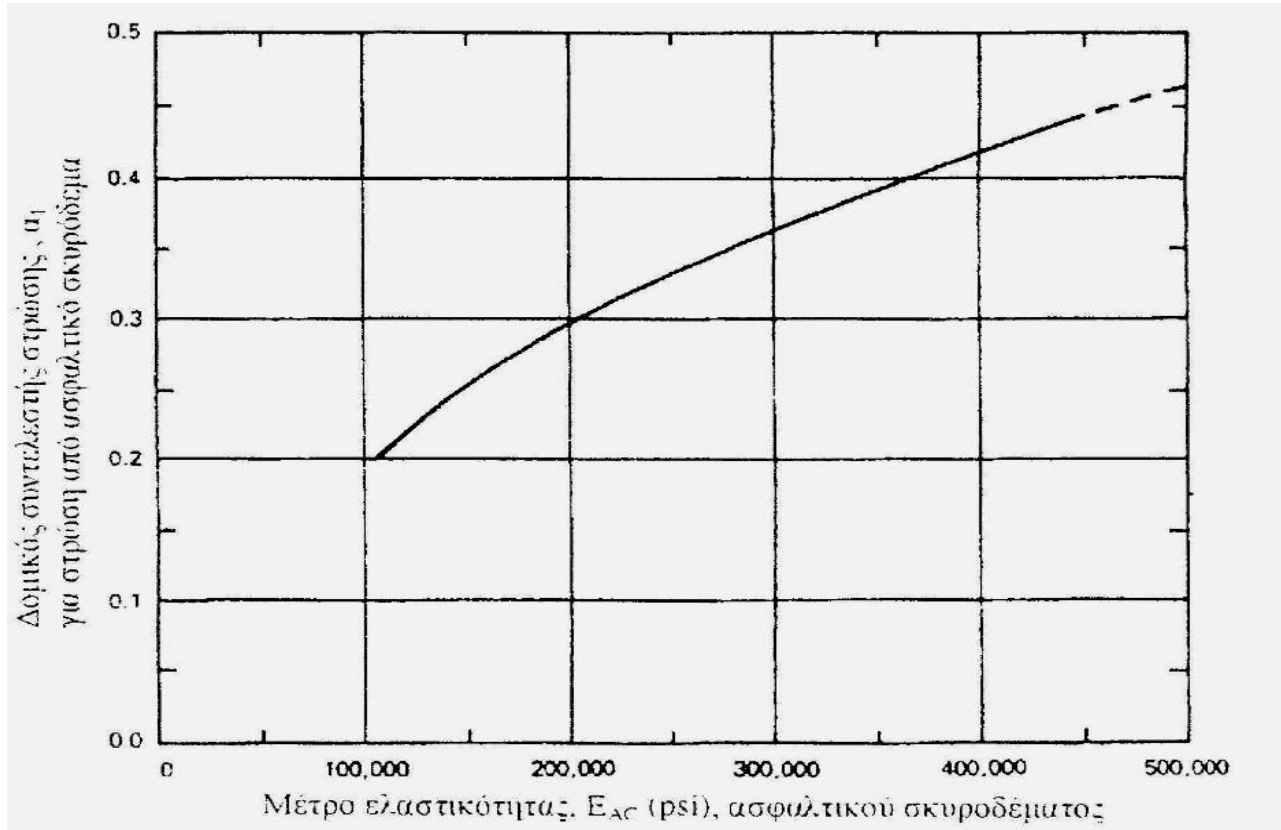
- Δομικοί συντελεστές στρώσεων  $a_i$  πάχους  $D_i$
- Δομικοί αριθμοί στρώσεων  $SN_i$

$$SN = \sum_{i=1}^n SN_i = \sum_{i=1}^n (a_i * D_i)$$



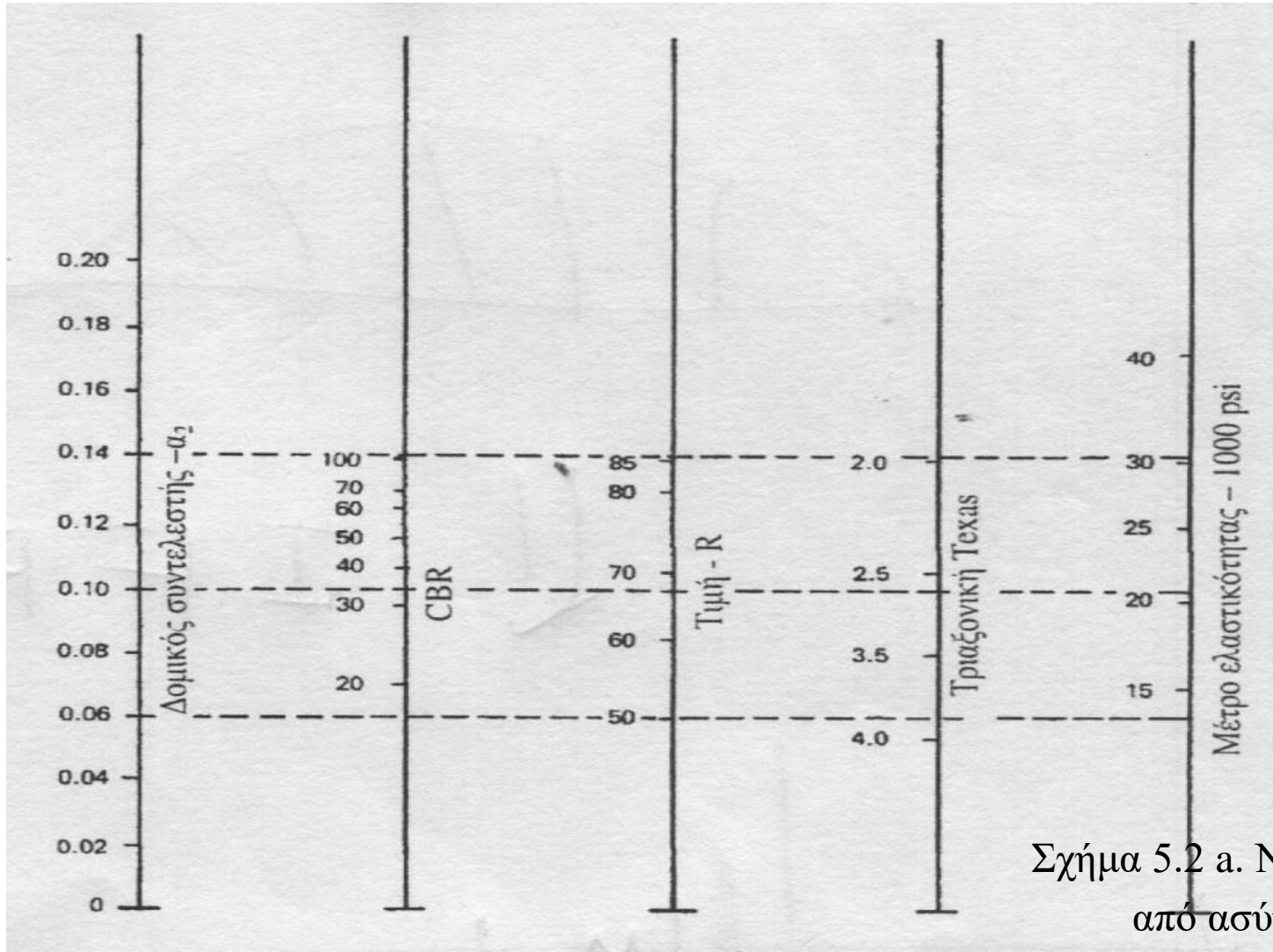
### 3. Ιδιότητες υλικών

---



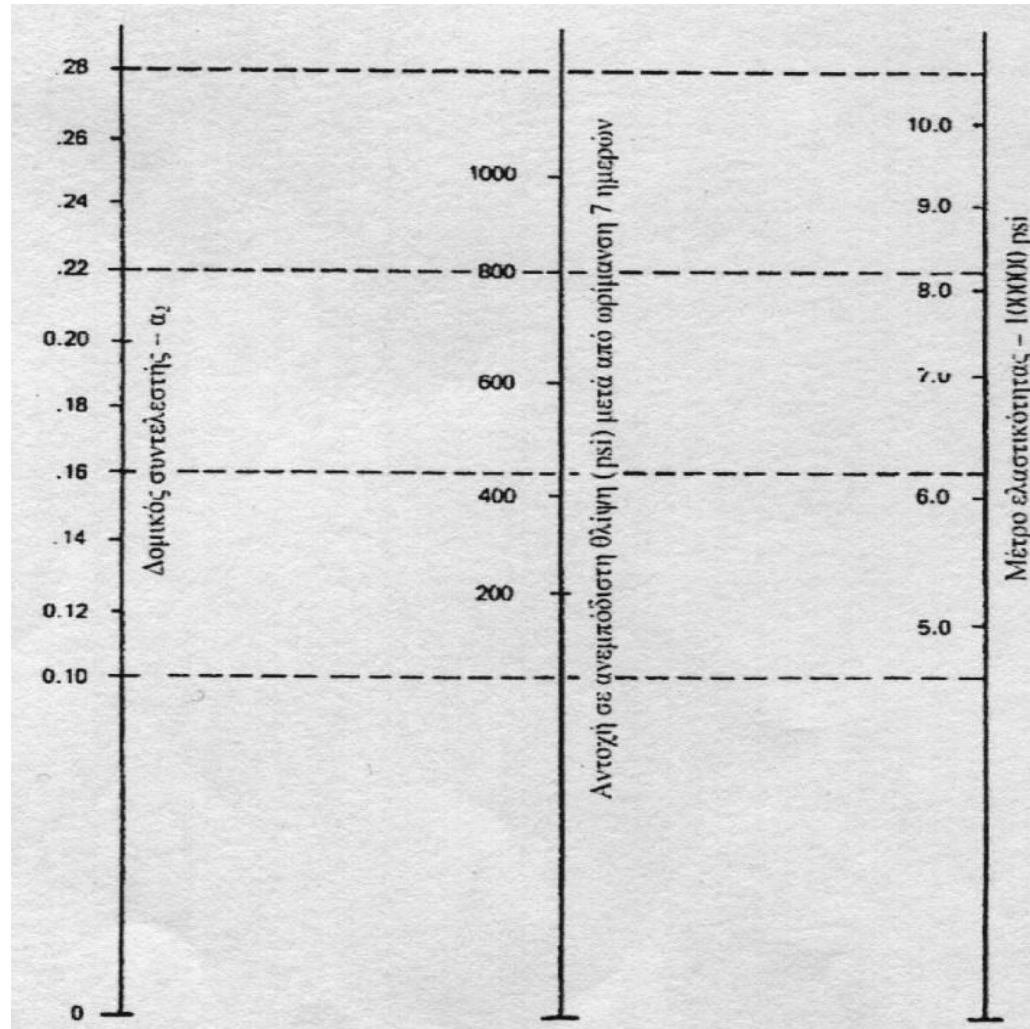
Σχήμα 5.1. Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα  $\alpha_1$  (από Νικολαΐδη, 2002).

### 3. Ιδιότητες υλικών



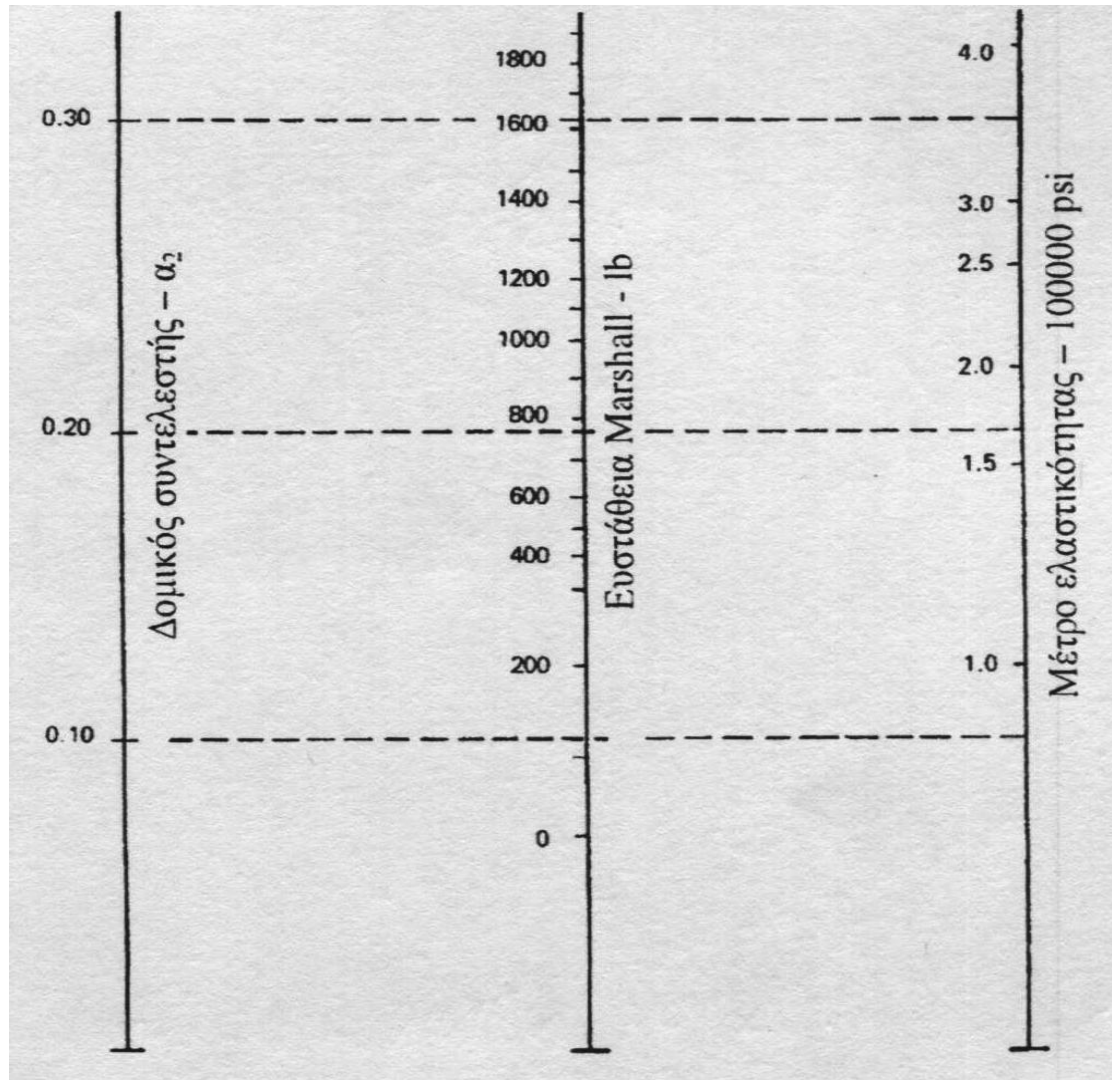
Σχήμα 5.2 α. Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών **βάσης** από ασύνδετα αδρανή ( $a_2$ ) (από Νικολαΐδη, 2002).

### 3. Ιδιότητες υλικών



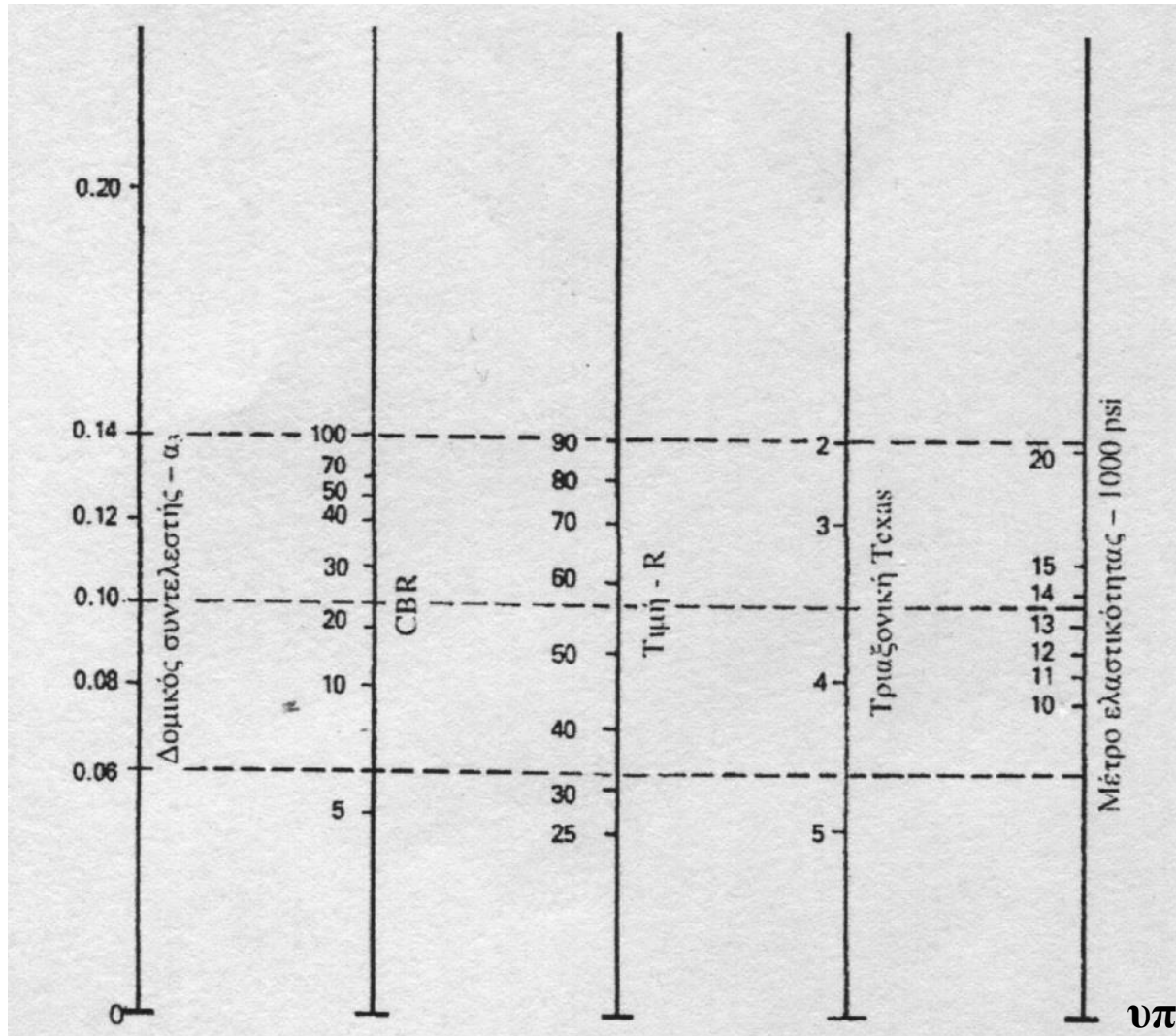
Σχήμα 5.2 b. Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών **βάσης** από ισχνό σκυρόδεμα (α<sub>1</sub>) (από Νικολαΐδη, 2002).

### 3. Ιδιότητες υλικών



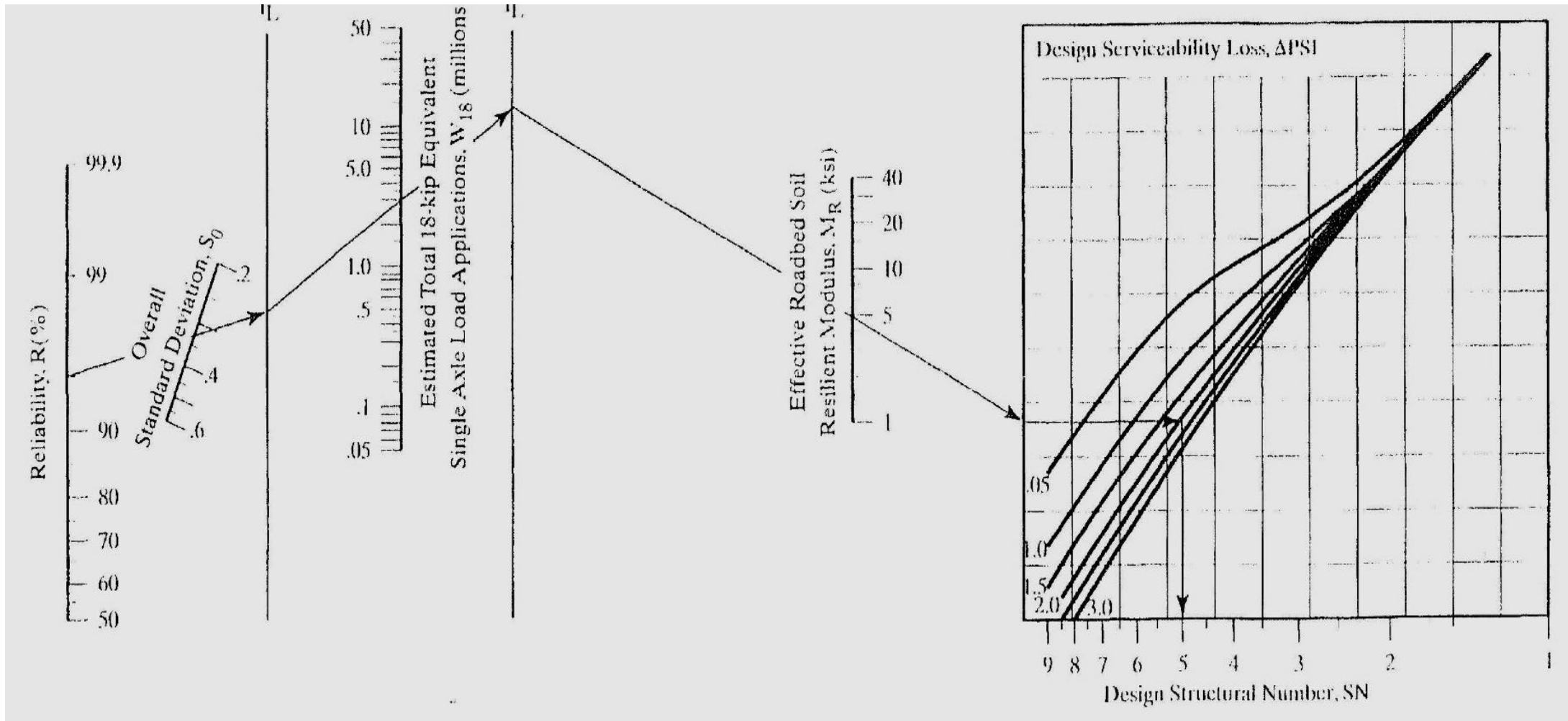
Σχήμα 5.2 c. Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών **βάσης** από ισχνό ασφαλτόμιγμα ( $\alpha_2$ ) (από Νικολαΐδη, 2002).

### 3. Ιδιότητες υλικών



Σχήμα 5.3. Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή ( $\alpha_3$ ) (από Νικολαΐδη, 2002).

### 3. Ιδιότητες υλικών



Σχήμα 5.4. Νομογράφημα προσδιορισμού **δομικού αριθμού (SN) στρώσης** και εύκαμπτου οδοστρώματος (από AASHTO, 1993).

## 4. Αποστραγγιστική ικανότητα

- Όλες οι στρώσεις ΕΚΤΟΣ ασφαλικής
- Χρήση συντελεστών αποστράγγισης  $m_2, \dots, m_n$  για προσαρμογή των  $\alpha_i$

Αποστραγγιστική Ικανότητα	Ποσοστό χρόνου που το οδόστρωμα εκτίθεται σε υγρασία που πλησιάζει την κατάσταση κορεσμού			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
Άριστη (Α.Υ. <sup>(1)</sup> σε 2 ώρες)	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Καλή (Α.Υ. σε 1 μέρα)	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Αρκετά καλή (Α.Υ. σε 1 εβδ.)	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Κακή (Α.Υ. σε 1 μήνα)	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Πολύ κακή (το νερό δεν αποστραγγίζεται)	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

<sup>(1)</sup> Α.Υ. = Απομάκρυνση ύδατος

# Μεθοδολογία

---

**Δεδομένα:** ESAL, R, So, Mr, ΔPSI

**Ζητούμενα:**  $D_1, SN_1, D_2, SN_2, D_3, SN_3$

## Βήματα

1. Νομογράφημα 5.4  $\rightarrow$  SN
2. Νομογραφήματα 5.1-5.3  $\rightarrow \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$
3.  $D_i(\text{in}) \geq \frac{SN_i}{(a_i * m_i)}$ ,  $D^*$  στρογγυλοποίηση
4. Έλεγχος για ελάχιστα πάχη

Traffic (ESAL)	Asphalt concrete	Aggregate base
Less than 50,000	1.0	4
50,001-150,000	2.0	4
150,001-500,000	2.5	4
500,001-2,000,000	3.0	6
2,000,001-7,000,000	3.5	6
Greater than 7,000,000	4.0	6

*Note.* Minimum thickness is in in.: 1 in. = 25.4 mm.



# Άσκηση 1

---

Να υπολογιστεί το απαιτούμενο πάχος κατά στρώσεις εύκαμπτου οδοστρώματος για το οποίο δίδονται:

- Κυκλοφοριακός φόρτος  $10 \cdot 10^6$  ESAL
- $\Delta PSI = p_t - p_0 = 4.5 - 2.5 = 2.0$
- $a_1 = 0.40$ ;  $a_2 = 0.14$ ;  $a_3 = 0.11$  και  $m_2 = m_3 = 1.2$
- Μέτρο βάσης  $M_r = 30000$  psi
- Μέτρο υπόβασης  $M_r = 12000$  psi
- Μέτρο υπεδάφους  $M_r = 6000$  psi
- Αξιοπιστία  $R = 95\%$  Τυπική απόκλιση  $S_0 = 0.45$

## Άσκηση 2

---

Ένα οδόστρωμα αποτελείται από ασφαλτική στρώση 4 in, βάση 6 in και υπόβαση 12 in. Το μέτρο ανάκτησης του εδάφους  $M_r$  είναι 5 ksi και η αξιοπιστία σχεδιασμού ίση με 95% με τυπική απόκλιση 0,30. Η ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας είναι  $r=4\%$ .

Ζητείται ο αρχικός αριθμός ισοδύναμου φορτίου  $(W_{18})_0$  ο οποίος επιτρέπει στο οδόστρωμα  $\Delta PSI=2$  μετά από 25 χρόνια λειτουργίας. Δίδονται  $\alpha_1=0,4$ ;  $\alpha_2=0,14$ ;  $\alpha_3=0,11$ .

# Αστοχία εύκαμπτων οδοστρωμάτων

---

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



Οριζόντια εφελκυστική παραμόρφωση στην κάτω επιφάνεια της ασφαλτικής στρώσης  $\epsilon_t$ .

# Αστοχία εύκαμπτων οδοστρωμάτων

---

## 2. Αυλάκωση επιφάνειας οδοστρώματος (rutting)



Κατακόρυφη θλιπτική παραμόρφωση της άνω επιφάνειας της στρώσης έδρασης  $\epsilon_z$ .

# Κριτήρια αστοχίας εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Ορίζουμε τον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό διελεύσεων  $N$  σε συνάρτηση

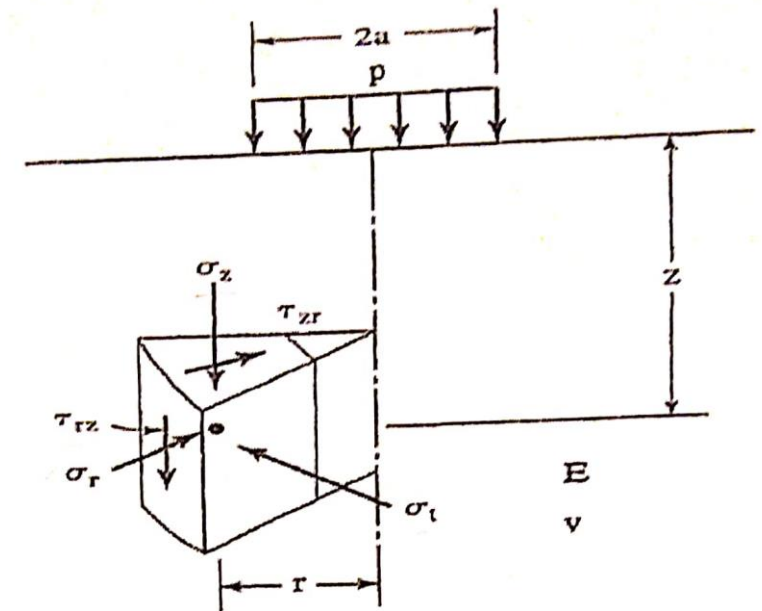
των  $\epsilon_t$  και  $\epsilon_z$ .

$$N_f = f_1 * \epsilon_t^{-f_2} \quad \text{ρηγμάτωση}$$

$$N_r = f_3 * \epsilon_z^{-f_4} \quad \text{αυλάκωση}$$

$f_1, f_2, f_3, f_4$ : εμπειρικοί συντελεστές

$$N = \min\{N_f, N_r\}$$



## Παραδείγματα

- Illinois department of transportation (1987):  $N_f = 5 * 10^{-6} * \epsilon_t^{-3}$
- Shell (1985):  $N_r = 1.05 * 10^{-7} * \epsilon_z^{-4}$

## Άσκηση 3

---

Θεωρείται σύστημα τριών στρώσεων. Η ανάλυση κατά Odemark έδωσε τις παρακάτω τιμές παραμορφώσεων:

- $\varepsilon_t = \varepsilon_r = 195 \cdot 10^{-6}$

- $\varepsilon_z = 419 \cdot 10^{-6}$

Τα κριτήρια αστοχίας σε ρηγμάτωση και αυλάκωση είναι:

- $N_f = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (\varepsilon_t)^{-3}$

- $N_r = 1.05 \cdot 10^{-7} \cdot (\varepsilon_z)^{-4}$

Ζητείται ο υπολογισμός του μέγιστου αριθμού διελεύσεων απλού τροχού  $P=45\text{kN}$  ώστε να μην αστοχήσει το οδόστρωμα.

## Άσκηση 4

---

Θεωρείται σύστημα τριών στρώσεων. Η ανάλυση κατά Odemark έδωσε τις παρακάτω τιμές παραμορφώσεων:

- $\varepsilon_t = \varepsilon_r = 263 \cdot 10^{-6}$

- $\varepsilon_z = 937 \cdot 10^{-6}$

Τα κριτήρια αστοχίας σε ρηγμάτωση και αυλάκωση είναι:

- $N_f = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (\varepsilon_t)^{-3}$

- $N_r = 1.05 \cdot 10^{-7} \cdot (\varepsilon_z)^{-4}$

Ζητείται ο υπολογισμός του μέγιστου αριθμού διελεύσεων απλού τροχού  $P=80\text{kN}$  ώστε να μην αστοχήσει το οδόστρωμα.

Ευχαριστώ

---