

Κατασκευή οδών

Διάλεξη 06 : Σχεδιασμός δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Κωνσταντίνα Μαρούση
Ζωή Χριστοφόρου

Προηγούμενο μάθημα : 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

Προηγούμενο μάθημα : αστοχία εύκαμπτων οδοστρωμάτων

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



Οριζόντια εφελκυστική παραμόρφωση στην κάτω επιφάνεια της ασφαλτικής στρώσης ϵ_t .

Προηγούμενο μάθημα : 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)

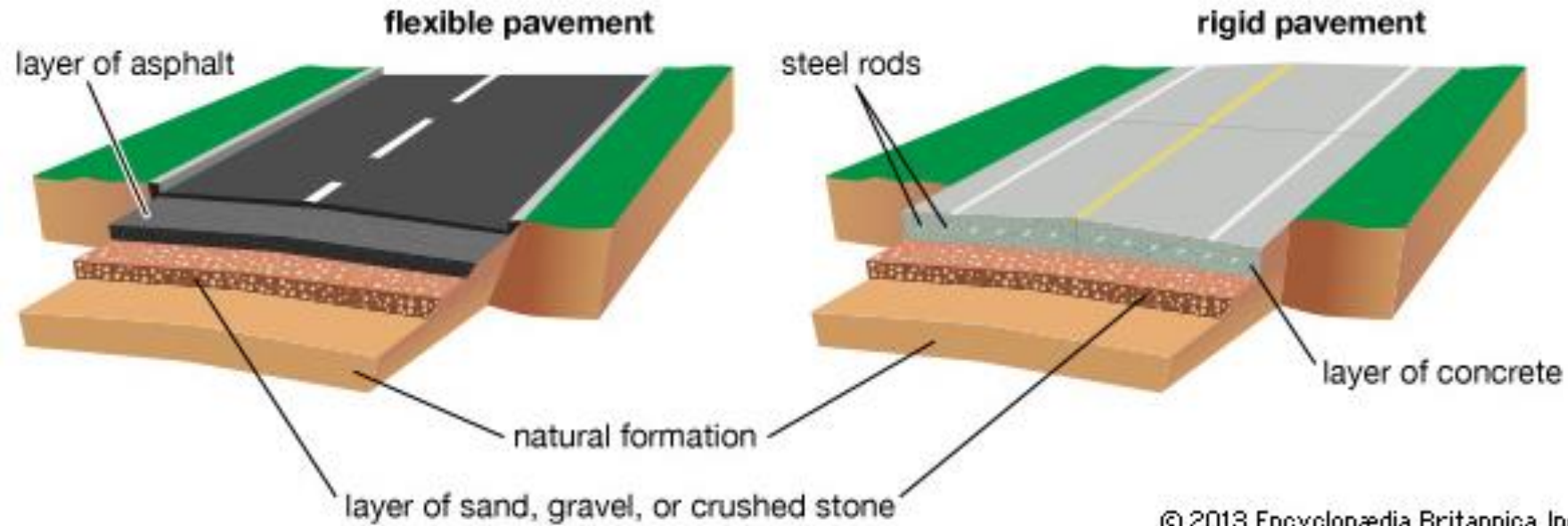
7. Σχεδιασμός δύσκαμπτων οδοστρωμάτων
8. Ασφαλτικά υλικά
9. Αδρανή υλικά
10. Σύνθεση ασφαλτικού σκυροδέματος
11. Κατασκευή στρώσεων
12. Φθορές οδοστρωμάτων

Δομή μαθήματος

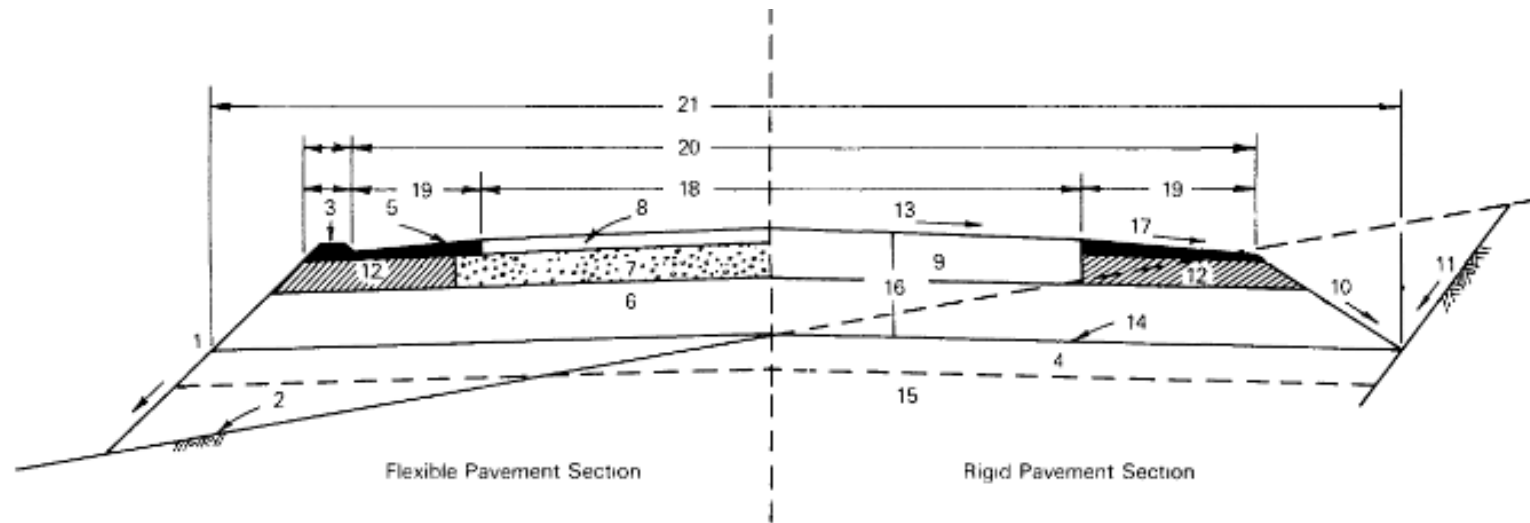
1. Εισαγωγή στα δύσκαμπτα οδοστρώματα
2. Κριτήρια αστοχίας εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Υπενθύμιση

Types of road construction



Υπενθύμιση



Απουσία βάσης

- | | |
|---|-------------------------|
| 1 - FILL SLOPE | 12 - SHOULDER BASE |
| 2 - ORIGINAL GROUND | 13 - CROWN SLOPE |
| 3 - DIKE | 14 - SUBGRADE |
| 4 - SELECTED MATERIAL OR PREPARED ROADBED | 15 - ROADBED SOIL |
| 5 - SHOULDER SURFACING | 16 - PAVEMENT STRUCTURE |
| 6 - SUBBASE | 17 - SHOULDER SLOPE |
| 7 - BASE COURSE | 18 - TRAVEL LANES |
| 8 - SURFACE COURSE | 19 - SHOULDER |
| 9 - PAVEMENT SLAB | 20 - ROADWAY |
| 10 - DITCH SLOPE | 21 - ROADBED |
| 11 - CUT SLOPE | |

Note: See Figure 1.3 for examples of section with provision for subsurface drainage.

Structural Design Terms

Figure 1.1. Typical Section for Rigid or Flexible Pavement Structure

Υπενθύμιση – εφαρμογές

- Αγροτικοί και δασικοί δρόμοι
- Αυτοκινητόδρομοι (σταθμοί διοδίων, σταθμοί ζύγισης)
- Σταθμοί λεωφορείων
- Λιμένες
- **Αεροδρόμια**

Διαφορές στην επιπόνηση σε νεαρή ηλικία

1. Εξάτμιση νερού επιφάνειας

- Αιτία: υψηλές θερμοκρασίες και άνεμοι
- Αποτέλεσμα: συστολή → ανάπτυξη τάσεων εφελκυσμού → ρηγματώση
- Λύση: κάλυψη με αδιάβροχα πλαστικά φύλλα ή ειδικά χημικά υγρά

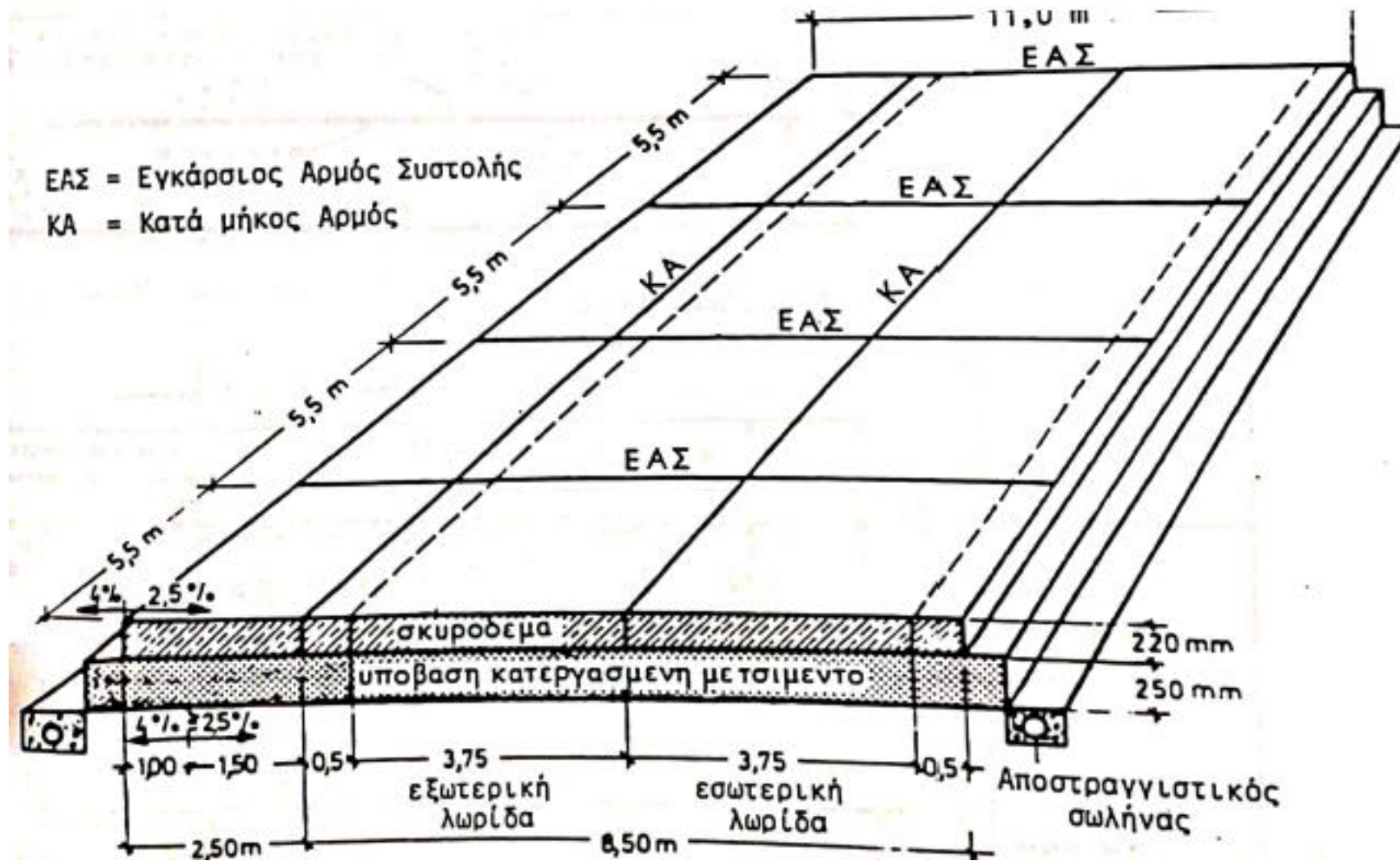
2. Συστολή

- Αιτία: θερμοκρασιακές μεταβολές και χημική συστολή κατά την πήξη
- Αποτέλεσμα: ακανόνιστες ρωγμές
- Λύση: τοποθέτηση **αρμών**

Αρμοί

- Τοποθέτηση 8-24 ώρες μετά τη σκυροδέτηση
 - Προκαθορισμένες θέσεις ώστε η ρηγμάτωση να είναι ευθύγραμμη και ομοιόμορφου εύρους
 - Στεγανοποίηση (σφράγιση) ρωγμών
- 1. Εγκάρσιοι** για πλάτος οδού <4-6m
 - 2. Κατά μήκος** για μεγαλύτερα πλάτη
 - 3. Διακοπής εργασίας** για διάστρωση λωρίδων σε διαφορετικό χρόνο

Αρμοί



Τύποι δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

- Άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς **συνηθέστερο**
- Οπλισμένο σκυρόδεμα με αρμούς
- Συνεχής οπλισμός χωρίς αρμούς
- Προεντεταμένο σκυρόδεμα
- Κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (η συμπύκνωση γίνεται με οδοστρωτήρες αντί με δονητές μάζας)

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

Μηχανικό προσομοίωμα

Λεπτή οριζόντια καμπτική πλάκα (**σκυρόδεμα**)

- που εδράζεται πάνω στον ελαστικό ημίχωρο ή σε μία σειρά άπειρων ελατηρίων Winkler (**έδαφος**)

- και καταπονείται από κατακόρυφα διανεμημένα επί κυκλικών πεπερασμένων επιφανειών φορτία (**τροχοί οχήματος**).

Διακριτή ανάλυση για:

- Μέσον πλάκας (i - interior)
- Ακμή πλάκας (e – edge)
- Γωνία πλάκας (c – corner)

Μηχανικό προσομοίωμα

1919 Golberg

- Υπολογισμός τάσεων στη γωνία
- Παραδοχή: η πλάκα δεν βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος

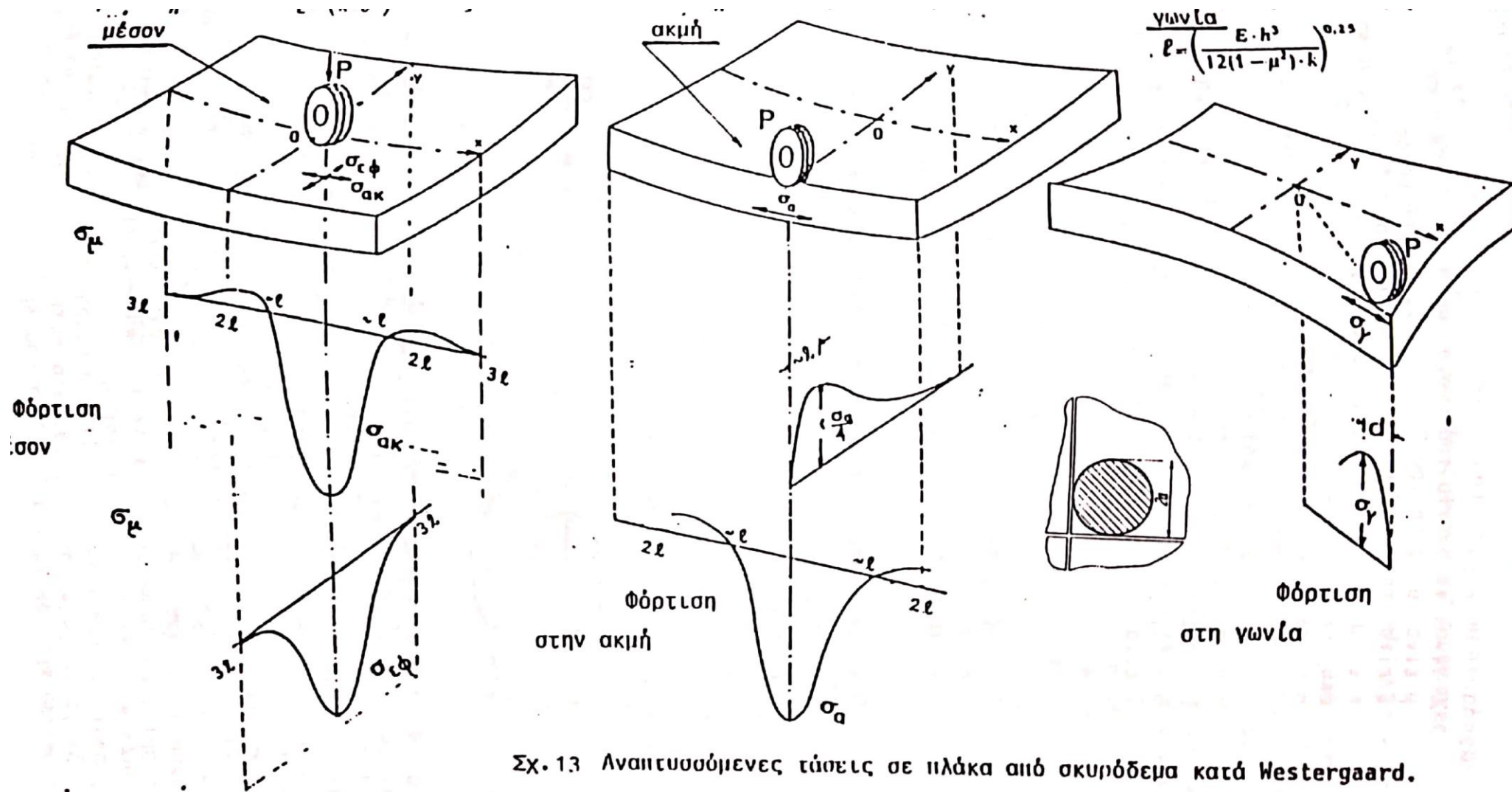
1926 Westergraad

- Υπολογισμός τάσεων σε γωνία, μέσον και ακμή
- Συνεχής επαφή πλάκας - εδάφους

1936-1943 Teller-Sutherland

- Βελτίωση Westergraad μερική επαφή με το έδαφος

Προσομοίωμα Westergaard



ΣΧ. 13 Αναπτυσσόμενες τάσεις σε πλάκα από σκυρόδεμα κατά Westergaard.

Προσομοίωμα Westergraad

Παραδοχές

- Η πλάκα είναι ελαστική ομογενής και ισότροπη.
- Οι αντιδράσεις είναι μόνο κατακόρυφες (δεν αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις)
- Οι αντιδράσεις είναι ανάλογες των υποχωρήσεων
- Συνεχής επαφή πλάκας – εδάφους → υποχωρήσεις πλάκας και εδάφους συμβιβαστές → **σημαντικό σφάλμα**

Εντατική κατάσταση (γενική περίπτωση)

Τάσεις

- Μέσον

$$\sigma_i \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = \left(0.275 * P * \frac{1 + \nu}{h^2} \right) * \left(\log \left(\frac{E * h^3}{K * b^4} \right) - 0.436 \right)$$

P : συγκεντρωμένο φορτίο του τροχού (N) που δρα επί κυκλικής επιφάνειας ακτίνας α

ν : λόγος Poisson σκυροδέματος

E : μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (Μρα ή N/mm²)

K : μέτρο αντίστασης στρώσης έδρασης πλάκας (Μρα ή N/mm³)

h : πάχος πλάκας (mm)

b : διορθωμένη ακτίνα επαφής φορτίου

b=α όταν α>1,724*h (mm)

b=(1,6α²+h²)^{0.5} -0,675h όταν α<1,724*h (mm)

Εντατική κατάσταση (γενική περίπτωση)

Τάσεις

- Γωνία

$$\sigma_c \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{3 * P}{h^2} * \left(1 - \frac{12 * (1 - \nu^2) * K}{E * h^3} \right)^{0.3} * (a\sqrt{2})^{1.2}$$

P : συγκεντρωμένο φορτίο του τροχού (N) που δρα επί κυκλικής επιφάνειας ακτίνας α

ν : λόγος Poisson σκυροδέματος

E : μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (Μρα ή N/mm²)

K : μέτρο αντίστασης στρώσης έδρασης πλάκας (Μρα ή N/mm³)

h : πάχος πλάκας (mm)

Εντατική κατάσταση (γενική περίπτωση)

Τάσεις

- Ακμή

$$\sigma_e \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{0.529 * P}{h^2} * (1 + 0.54\nu) * \left(\log \frac{E * h^3}{k * b^4} + \log \frac{b}{1 - \nu^2} - 2.484 \right)$$

P : συγκεντρωμένο φορτίο του τροχού (N) που δρα επί κυκλικής επιφάνειας ακτίνας α

ν : λόγος Poisson σκυροδέματος

E : μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (Μρα ή N/mm²)

K : μέτρο αντίστασης στρώσης έδρασης πλάκας (Μρα ή N/mm³)

h : πάχος πλάκας (mm)

b : διορθωμένη ακτίνα επαφής φορτίου

b=α όταν α>1,724*h (mm)

b=(1,6α²+h²)^{0.5}-0,675h όταν α<1,724*h (mm)

Εντατική κατάσταση

Υποχωρήσεις

- Φόρτιση στο μέσον με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
- Υποχώρηση κάτω από το κέντρο του φορτίου

$$\Delta_i(\text{mm}) = \frac{P}{8 * k * l^2} \left(1 + (0.3665 * \log \frac{a}{l} - 0.2174) * \left(\frac{a}{l}\right)^2 \right)$$

P : συγκεντρωμένο φορτίο του τροχού (N) που δρα επί κυκλικής επιφάνειας ακτίνας a (mm)

K : μέτρο αντίστασης στρώσης έδρασης πλάκας (Mpa ή N/mm³)

l : ακτίνα σχετικής ακαμψίας (ελαστικό μήκος) = $[E * h^3 / (12 * k * (1 - \nu^2))]^{0.25}$

Σχέσεις βιβλίου ($\nu=0,15$)

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{\alpha\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right] \quad (6.4)$$

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2} \left[1.1 - 0.88 \left(\frac{\alpha\sqrt{2}}{l} \right) \right] \quad (6.5)$$

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{l}{b} \right) + 1.069 \right] \quad (6.6)$$

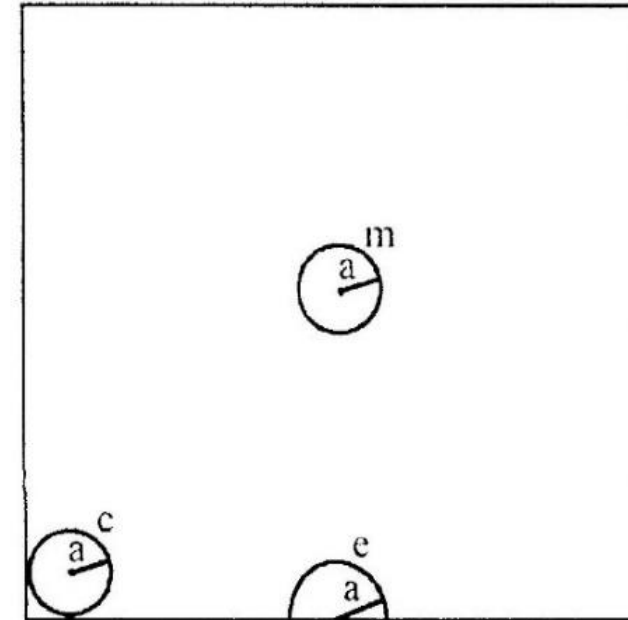
$$\Delta_i = \frac{P}{8kl^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{\alpha}{2l} \right) - 0.673 \right] \left(\frac{\alpha}{l} \right)^2 \right\} \quad (6.7)$$

$$\sigma_{ec} = \frac{0.803P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{l}{\alpha} \right) + 0.666 \left(\frac{\alpha}{l} \right) - 0.034 \right] \quad (6.8)$$

$$\Delta_{ec} = \frac{0.431P}{kl^2} \left[1 - 0.82 \left(\frac{\alpha}{l} \right) \right] \quad (6.9)$$

$$\sigma_{esc} = \frac{0.803P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{l}{\alpha} \right) + 0.282 \left(\frac{\alpha}{l} \right) + 0.650 \right] \quad (6.10)$$

$$\Delta_{esc} = \frac{0.431P}{kl^2} \left[1 - 0.349 \left(\frac{\alpha}{l} \right) \right] \quad (6.11)$$



m = Μέσο πλάκας
e = Ακμή πλάκας
c = Γωνία πλάκας
 $\mu = 0.15$

c: corner

i: interior

ec: edge circle

esc: edge semi-circle

$D = Eh^3/12(1-\nu^2)$ καμπτική δυσκαμψία πλάκας

$l = (D/k)^{0.25}$ ακτίνα σχετικής δυσκαμψίας

Άσκηση 1

Να υπολογιστούν οι τάσεις στο εσωτερικό πλάκας οδοστρώματος όταν:

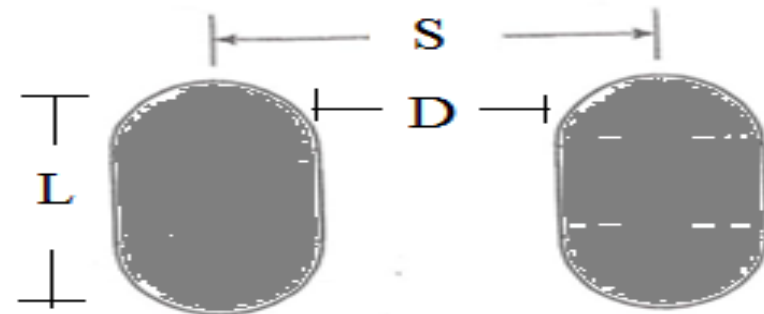
Πάχος πλάκας $h=10$ in

Δείκτης σχετικής δυσκαμψίας $I=42.97$ in και λόγος Poisson $\nu=0.15$

Σύστημα τροχών: διπλοί με $S=13.5$ in

Φορτίο $P= 9000$ lbs

Πίεση ελαστικού $p=75$ psi



Άσκηση 2

Ένα δύσκαμπτο οδόστρωμα πάχους $h=8$ in με $E=5 \cdot 10^6$ psi και $\nu=0.15$, εδράζεται σε έδαφος με μέτρο αντίδρασης $k=50$ pci. Το μέγιστο φορτίο τροχού είναι $P=8000$ lbs και δρα σε κυκλική επιφάνεια ακτίνας $a=15$ in ενώ η εφελκυστική τάση σκυροδέματος είναι ίση προς 350 psi. Να ελεγχθεί η επάρκεια αντοχής της ανωτέρω πλάκας για φόρτιση στο μέσον της.

Ευχαριστώ
