

# Κατασκευή οδών

---

## 1. Εισαγωγή στα οδοστρώματα

Θεωρία

# Δομή μαθήματος

---

1. Παρουσίαση μαθήματος
2. Εισαγωγή στα οδοστρώματα
3. Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους (μέρος Α)

# Πρόγραμμα διαλέξεων

---

## 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

## Θεωρία (2/2)

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

# Προγραμματισμός ασκήσεων

---

## Τετάρτη 15<sup>Η</sup>00-18<sup>Η</sup>00

- 19/03
- 26/03
- 02/04
- 09/04
- 28/05

# Αξιολόγηση

---

## Γραπτή εξέταση

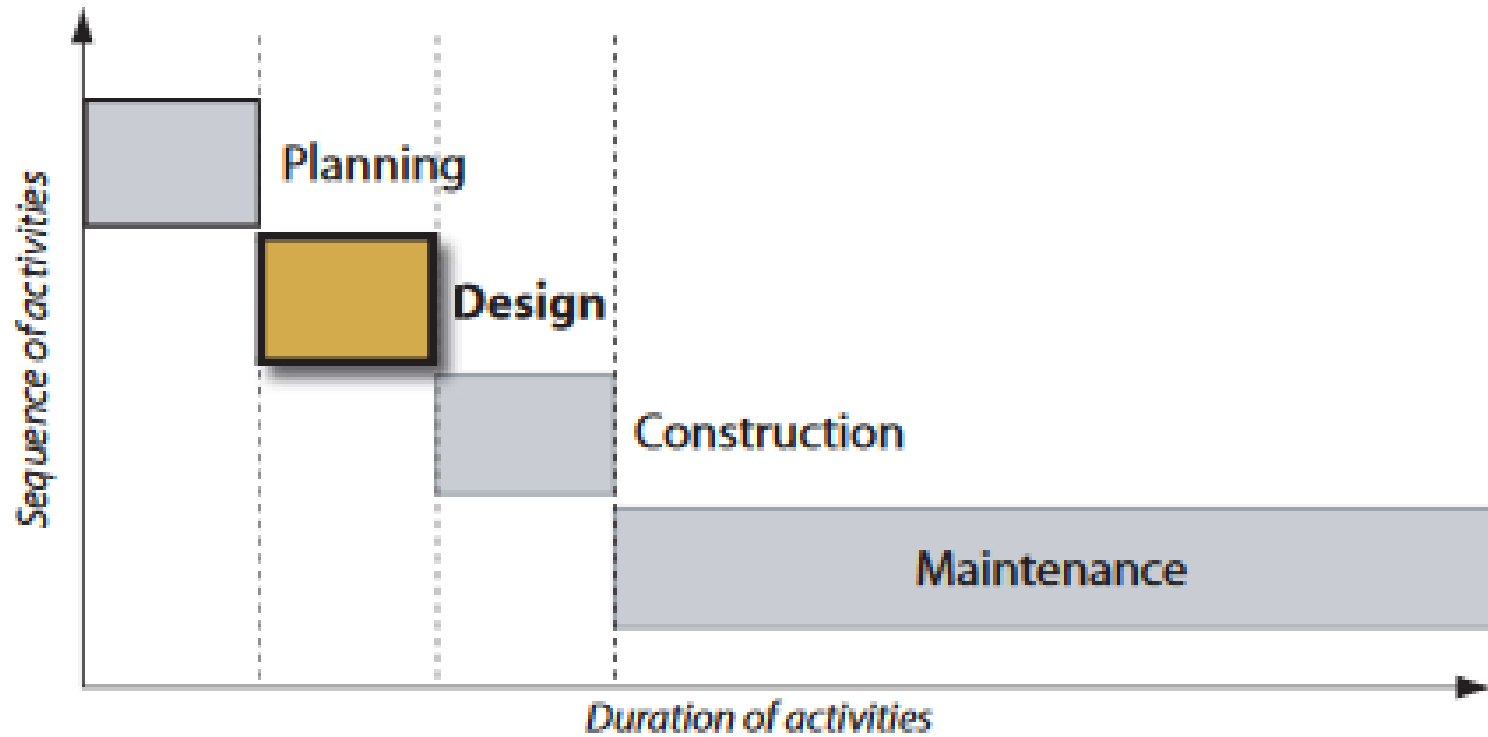
- Κλειστά βιβλία
- Τυπολόγιο 1 σελίδα

# 1. Εισαγωγή στα οδοστρώματα

---

# Σύνδεση με μάθημα χάραξης

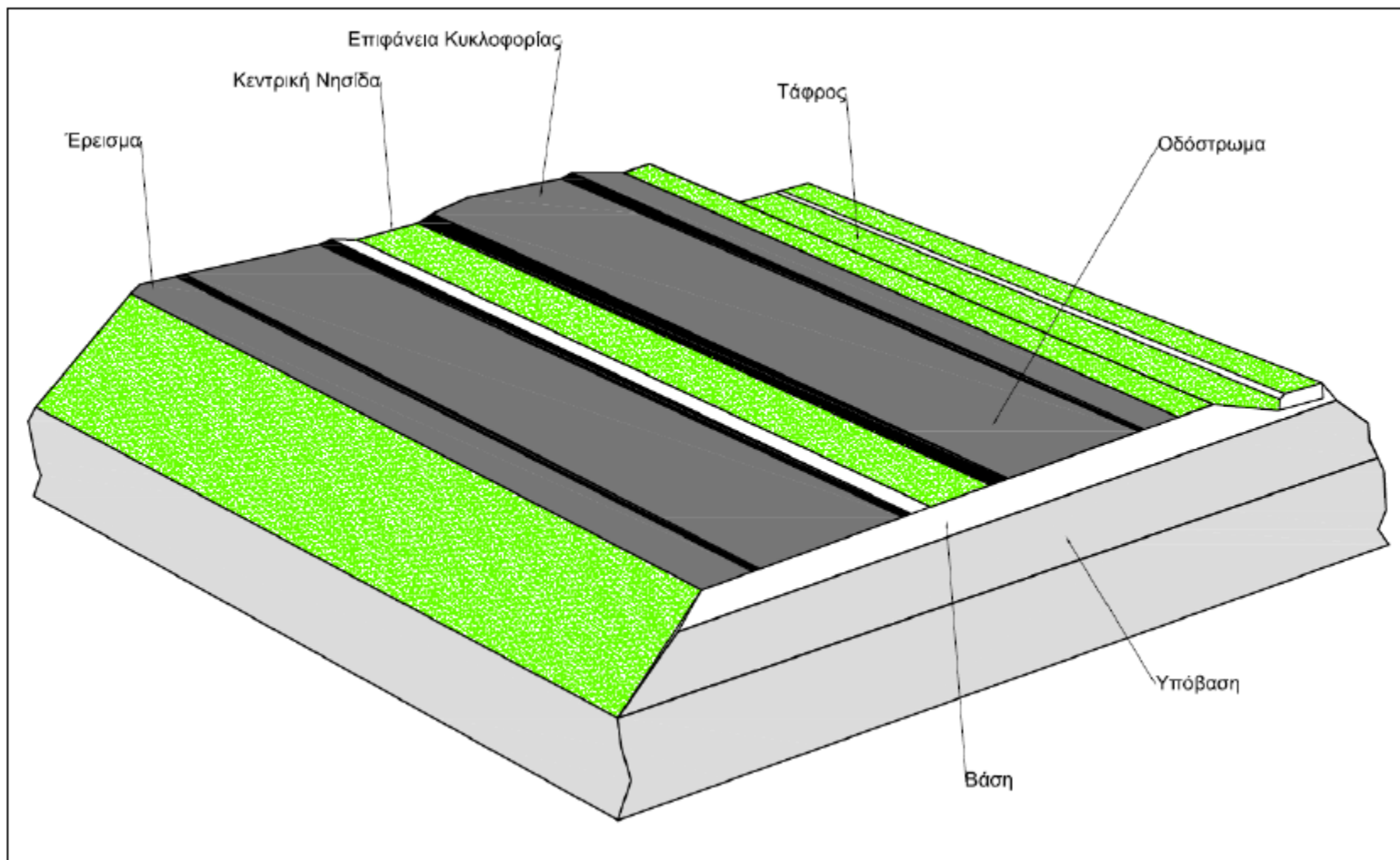
---



- Φορτία και αντοχή
- Κόπωση



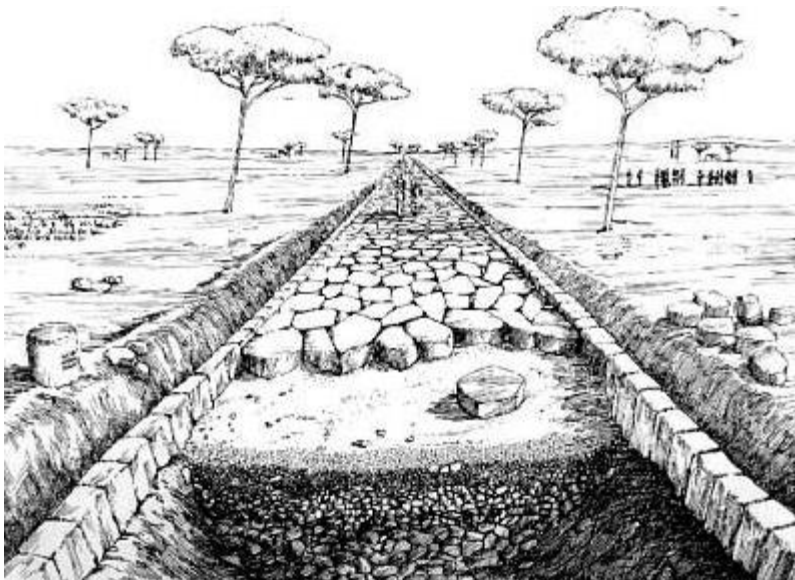
# Διατομή Οδού



# Οδόστρωμα

---

Το οδόστρωμα είναι ένα **σύνολο στρώσεων** επί του φυσικού εδάφους, που το ενισχύουν έτσι ώστε αυτό να φέρει με ασφάλεια τα επιβαλλόμενα φορτία οχημάτων και περιβάλλοντος



# Παράγοντες και κριτήρια επιλογής τύπου οδοστρώματος 1/2

---

1. Μέγεθος φορτίων (απλά οχήματα, φορτηγά, ειδικές διελεύσεις). Σύνθεση κυκλοφορίας
2. Επαναληψιμότητα φορτίων (αστικό, περιαστικό). Πυκνότητα κυκλοφορίας
3. Κλιματολογικές συνθήκες (βροχοπτώσεις, παγετός, παγετός-τήξη, υγρασία-ξηρασία, θερμοκρασιακές μεταβολές)
4. Ποιότητα και κόστος των υλικών (διαθεσιμότητα, μεταφορά)

# Παράγοντες και κριτήρια επιλογής τύπου οδοστρώματος 2/2

---

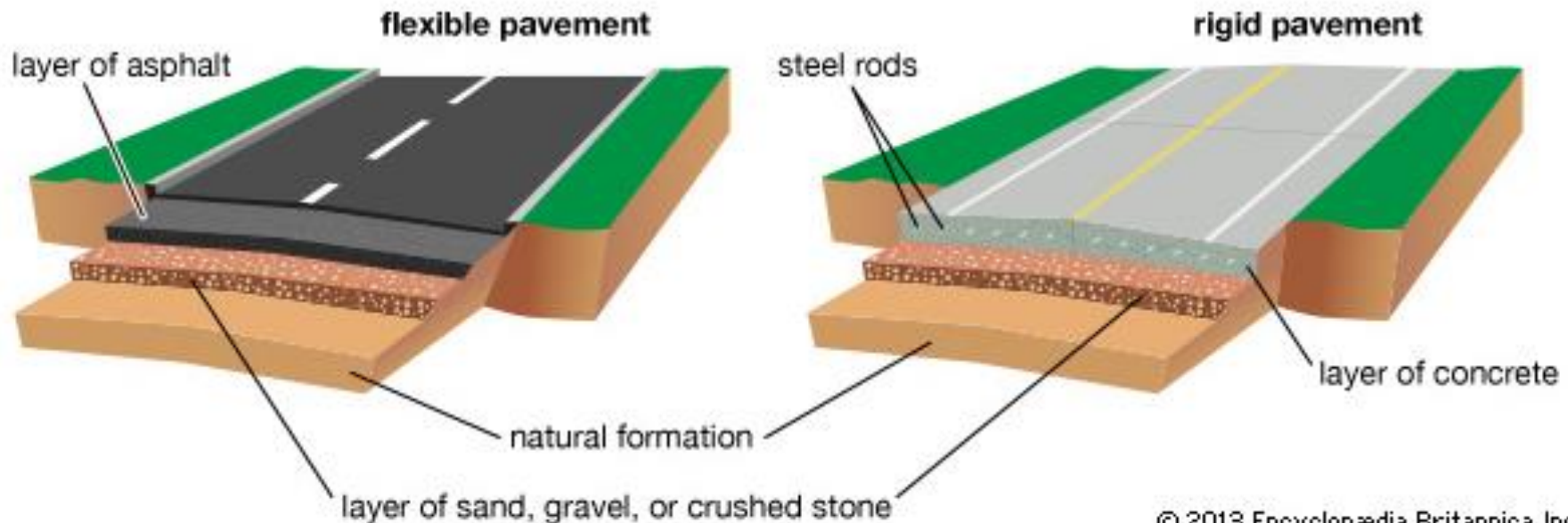
5. Χρόνος ζωής – ανθεκτικότητα
6. Λειτουργικότητα: θόρυβος, συνάφεια τροχού οδοστρώματος
7. Κόστος συντήρησης
8. Αισθητικά: Ένταξη στο δομημένο περιβάλλον, χρώμα και φωτεινότητα
9. Περιβαλλοντικά: Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υλικών

# Κατηγορίες οδοστρωμάτων

---

- Εύκαμπτα (ανώτερη στρώση από ασφαλτικό υλικό)
- Δύσκαμπτα (ανώτερη στρώση από άοπλο ή ωπλισμένο σκυρόδεμα)
- Ημιεύκαμπτα ή ημιδύσκαμπτα (ενισχυμένη βάση και υπόβαση)

**Types of road construction**





# Κατηγορίες οχημάτων



81

Impact des poids lourds sur les infrastructures	Chaussée	Ponts	
		Charges extrêmes	Fatigue
Type A 44 tonnes 48 tonnes	● ●	● ●	● ●
Type B 44 tonnes 48 tonnes	● ●	● ●	● ●
Type C 44 tonnes 48 tonnes	● ●	● ●	● ●
Type D 46 tonnes	●	●	●
Type E 50 tonnes 60 tonnes	● ●	● ●	● ●
Type F 50 tonnes 60 tonnes	● ●	● ●	● ●
Type G 50 tonnes 60 tonnes	● ●	● ●	● ●

● Sans effet    ● Effets modérés    ● Effets importants

# Κατανομή φορτίων σε οδοστρώματα

1. Καταφόρυφα φορτία
2. Οριζόντια φορτία (φρενάρισμα)

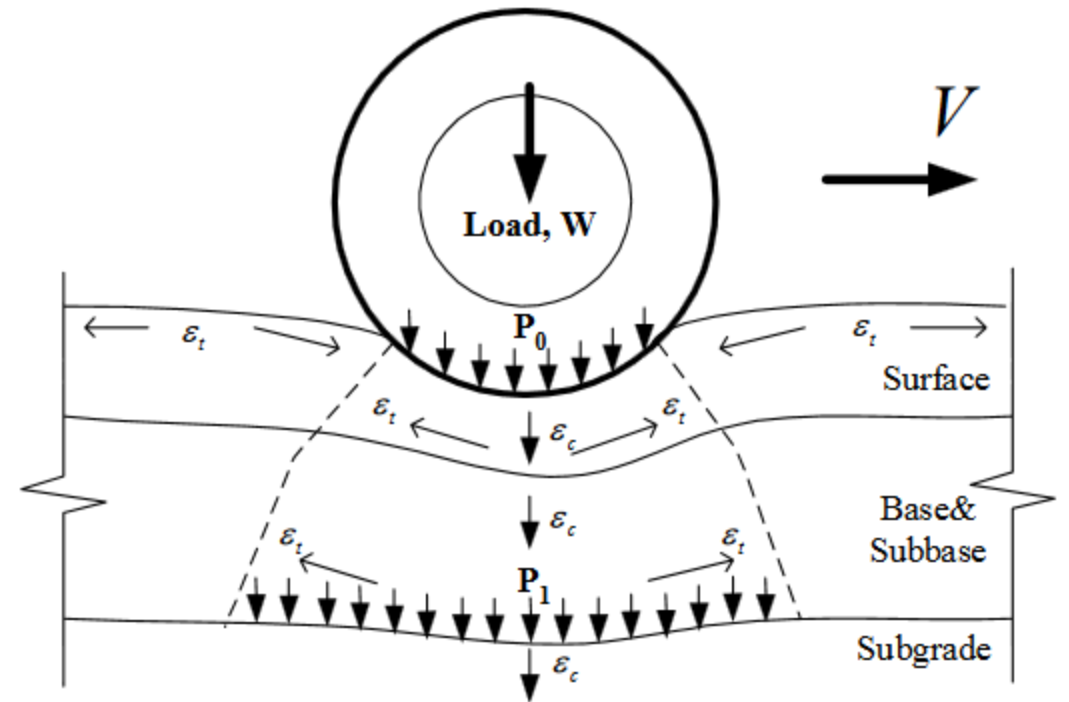
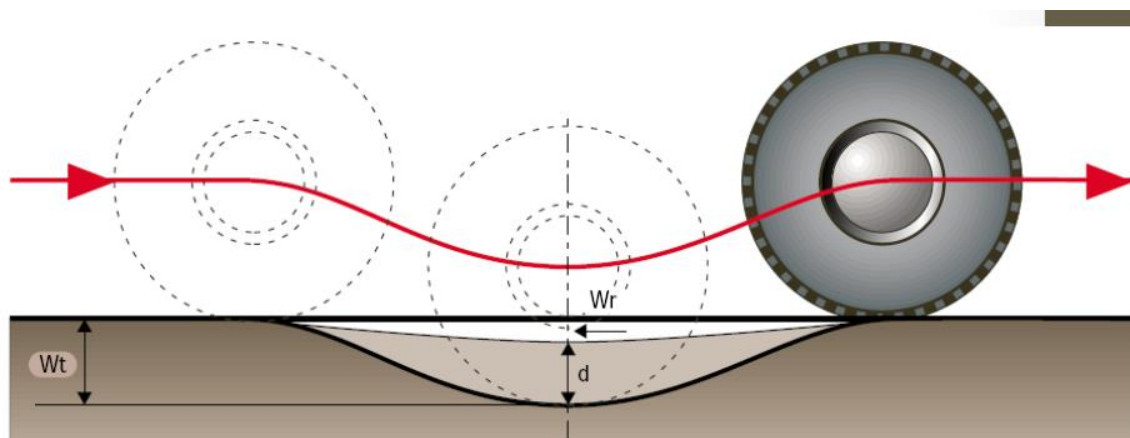


Figure 1 Responses at critical locations in a pavement

Chen et al (2010 ) Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8, 2010

# Εύκαμπτα οδοστρώματα

---

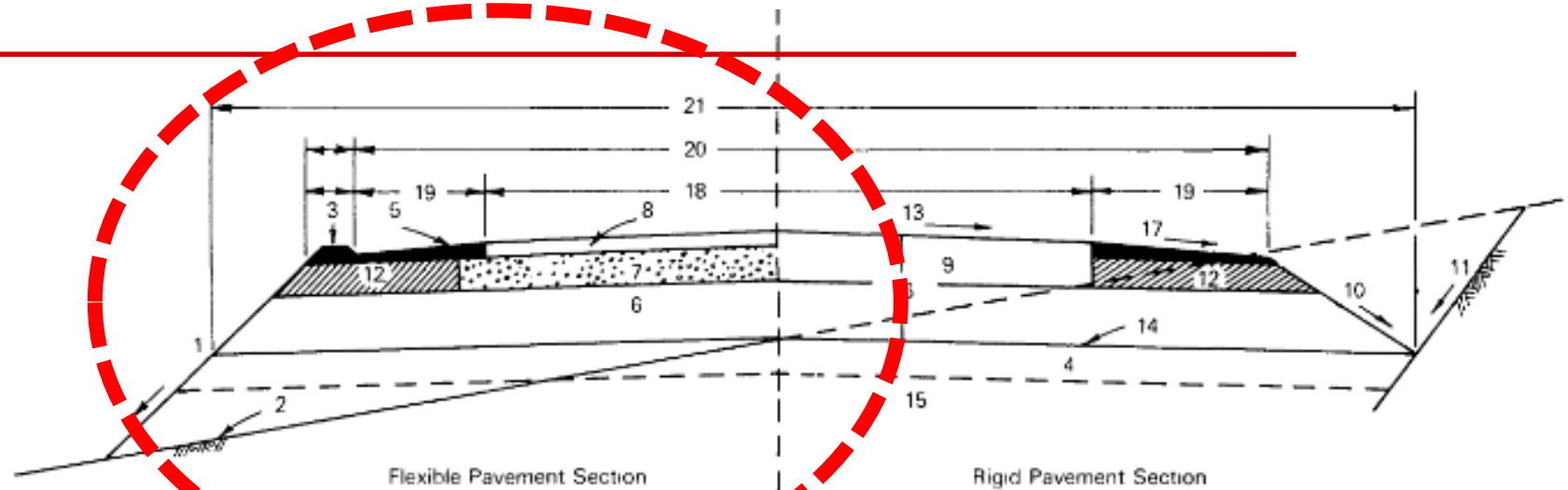
1. Ασφαλτική στρώση (AC, asphalt concrete – HMA, hot-mix asphalt)
2. Βάση (base)
3. Υπόβαση (subbase)
4. Υπέδαφος (subgrade)

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα (flexible pavements) αποτελούνται από επάλληλες στρώσεις φυσικών εδαφικών και θραυστών αδρανών υλικών που συνήθως καλύπτονται επιφανειακά από ασφαλτοτάπητες.

Αποτελούν περίπου το 94 % των οδοστρωμάτων.



# Εύκαμπτα οδοστρώματα



- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 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**

# Δύσκαμπτα οδοστρώματα

---

1. Πλάκα σκυροδέματος
2. Βάση (base – όχι απαραίτητη)
3. Υπέδαφος (subgrade)

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα (rigid pavements) φέρουν πλάκα σκυροδέματος. Η πλάκα αυτή μπορεί ανάλογα με το σχεδιασμό να λειτουργεί ως βάση και ως επιφάνειας κυκλοφορίας. Η έδραση της πλάκας γίνεται πάνω σε υπόβαση από φυσικό ή θραυστό υλικό.

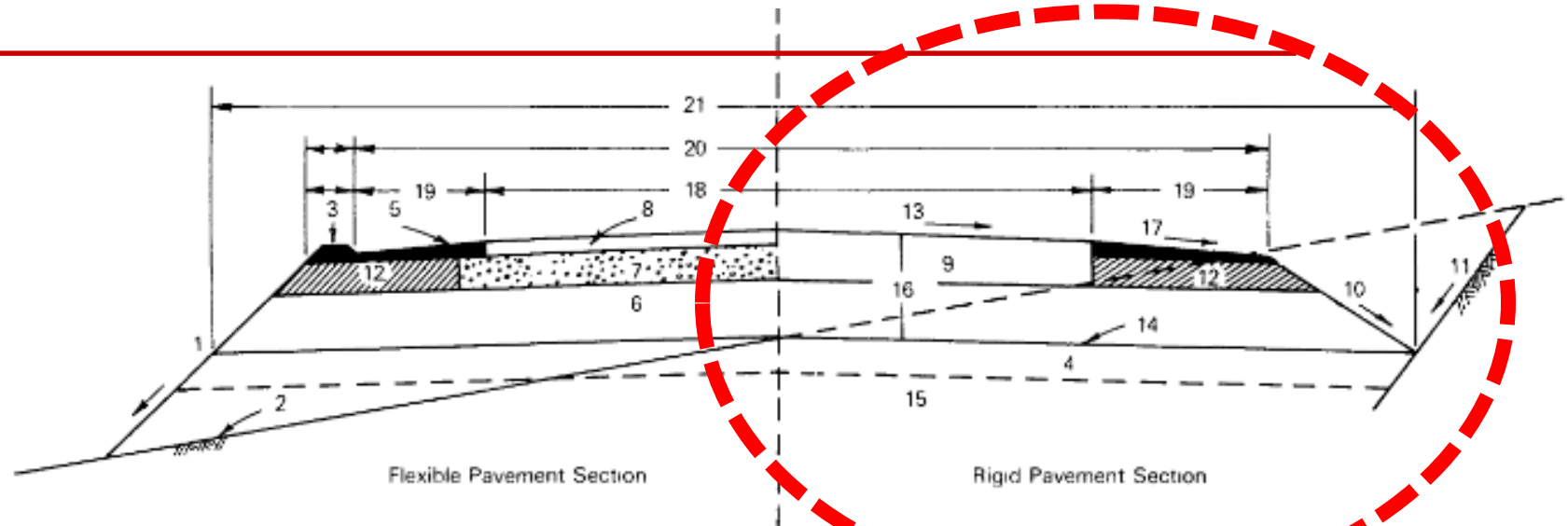
# Δύσκαμπα οδοστρώματα

---

1. Πλάκα σκυροδέματος
2. Βάση (base – όχι απαραίτητη)
3. Υπέδαφος (subgrade)



# Δύσκαμπα οδοστρώματα



- 1 - FILL SLOPE
- 2 - ORIGINAL GROUND
- 3 - DIKE
- 4 - SELECTED MATERIAL OR PREPARED ROADBED
- 5 - SHOULDER SURFACING
- 6 - SUBBASE
- 7 - BASE COURSE
- 8 - SURFACE COURSE
- 9 - PAVEMENT SLAB
- 10 - DITCH SLOPE
- 11 - CUT SLOPE

- 12 - SHOULDER SLOPE
- 13 - CROWN SLOPE
- 14 - SUBGRADE
- 15 - ROADBED SOIL
- 16 - PAVEMENT STRUCTURE
- 17 - SHOULDER SLOPE
- 18 - TRAVEL LANES
- 19 - SHOULDER
- 20 - ROADWAY
- 21 - ROADBED

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**

# Εφαρμογές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (1/5)

## 1. Αγροτικοί και δασικοί δρόμοι

Πίνακας 4-9 Απολογισμός δραστηριοτήτων Δασικών Υπηρεσιών 2003-2011: Δασική Οδοποιία (σε km)

Έτος	Διάνοιξη δρόμων	Διάνοιξη τρακτερόδρομων	Βελτίωση δρόμων	οδοστρωσία (χαλικόστρωση)	ασφαλτόστρωση	τσιμεντόστρωση	Συντήρηση	Προϋπολογισμός
2003	127,00	12,00	2.143,00	62,00	48,00		17.235,00	δεν αναφέρεται
2004	110,79	28,00	1.264,63	64,11	25,70		17.477,00	δεν αναφέρεται
2005	29,25	4,00	1.301,00	80,00	8,00		14.407,00	6.547.678,00 €
2006	148,84	29,27	518,92	37,01	7,70		13.695,66	6.200.131,00 €
2007	848,67	0,00	743,46	154,23	10,40		34.060,00	10.647.388,00 €
2008	196,39	9,00	976,47	126,08	23,30		27.547,12	17.139.385,64 €
2009	26,00	41,00	1.399,00	180,00	240,00		13.848,00	6.824.558,00 €
2010	0,95	0,00	697,00	11,54	0,00		6.354,00	3.585.756,00 €
2011	1,15	0,00	117,89	68,41	0,00		3.967,00	1.275.175,50 €

Πίνακας 2-2 Οδοστρώματα δασικών δρόμων σε όλη την Ελλάδα

Έτος	Ασφαλτοστρωμένοι	Σκυροστρωμένοι (χαλικοστρωμένοι)	Απλής διάνοιξης (χωρίς οδόστρωμα)	Σύνολο
2011	1896,97 km	3558,88 km	55.428,34 km	60.884,19 km
	3,12%	5,85%	91,04%	100,00%

Γ.Κ.Αναστασίου (2016) – «Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα σε δασικές & ορεινές περιοχές»



# Εφαρμογές δύσκαπτων οδοστρωμάτων (2/5)

---

## 2. Αυτοκινητόδρομοι (σταθμοί διοδίων, κόμβοι)



# Εφαρμογές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (3/5)

---

## 3. Σταθμοί επιβίβασης και στάθμευσης λεωφορείων





# Εφαρμογές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (4/5)

---

## 4. Λιμάνια (επιβατικά και εμπορικά)



Λιμάνι Χάβρης



Λιμάνι Πειραιά



# Εφαρμογές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (5/5)

---

## 5. Αεροδρόμια



# Ημιεύκαμπτα/ημιάκαμπτα οδοστρώματα

---

1. Ασφαλτική στρώση (AC, asphalt concrete – HMA, hot-mix asphalt)
2. Βελτιωμένη βάση (base)
3. Βέλτιωμένη υπόβαση (subbase)
4. Υπέδαφος (subgrade)

Ως ημιεύκαμπτα οδοστρώματα (semi-rigid) ορίζονται τα ασφαλτικά οδοστρώματα τα οποία έχουν σταθεροποιημένη βάση που αποτελείται από αδρανή (θραυστό αμμοχάλικο) και τσιμέντο.

# Πλέονεκτήματα Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων

---

## Οι πολλαπλές στρώσεις βάσης – υπόβασης:

- Βοηθούν στη κατανομή των φορτίων στο έδαφος
- Αυξάνουν τη φέρουσα ικανότητα
- Συμβάλλουν στην αποστράγγιση
- Παρέχουν προστασία από τον παγετό
- Αποτροπή ανόδου του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

## Σύγκριση με δύσκαμπτα

- Μεγάλη παραμορφωσιμότητα
- Μικρός χρόνος επισκευής
- Μικρότερος θόρυβος
- Μικρότερο κόστος κατασκευής

# Πλέονεκτήματα Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων

---

## Η στρώση της βάσης:

- Διευκολύνει την κατασκευή (εξομάλυνση εδάφους)
- Αυξάνει την αντοχή της πλάκας του σκυροδέματος
- Αποτρέπει τις καθαυζήσεις
- Παρέχουν προστασία από τον παγετό
- Αποτροπή ανόδου του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

## Σύγκριση με εύκαμπτα

- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
- Επιφάνεια ομαλή, κανονική μη ολισθηρή, καλή συνάφεια
- Καλύτερη ορατότητα τη νύκτα

# Μέθοδοι σχεδιασμού

---

## 1. Εμπειρικές μέθοδοι

Πειραματικά αποτελέσματα + Παρατηρήσεις σε ήδη κατασκευασμένα οδοστρώματα

AASHTO 1993 (American Association of Highway and Transportation Officials)

## 2. Μηχανιστικές - εμπειρικές μέθοδοι

Μηχανική – υπολογισμός απόκρισης οδοστρωμάτων + εμπειρικά κριτήρια αντοχής

# Εξέλιξη τεχνολογίας κατασκευής οδοστρωμάτων

Laying machinery and work practices have constantly evolved since the beginning of the 20th century as illustrated in this pictorial representation.



Manual spreading at the beginning of 20th century

Introduction of machine spreading



1985 paving

2009 paving



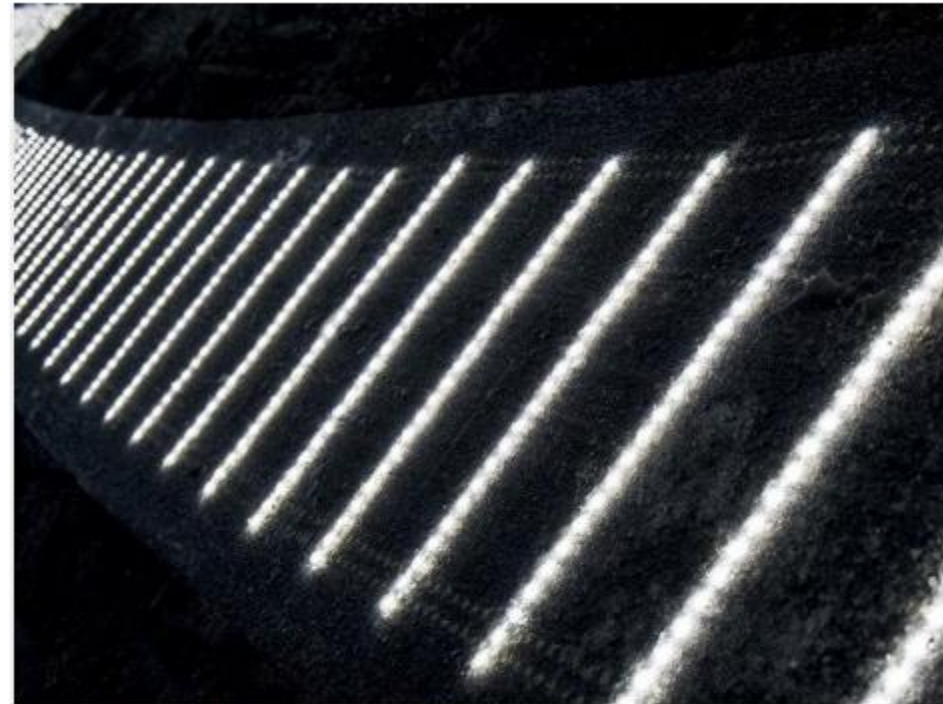
*The Asphalt Paving Industry A Global Perspective, Second Edition, EAPA-European Asphalt Pavement Association (2011)*



# Καινοτομίες στην κατασκευή οδοστρωμάτων (1/2)

---

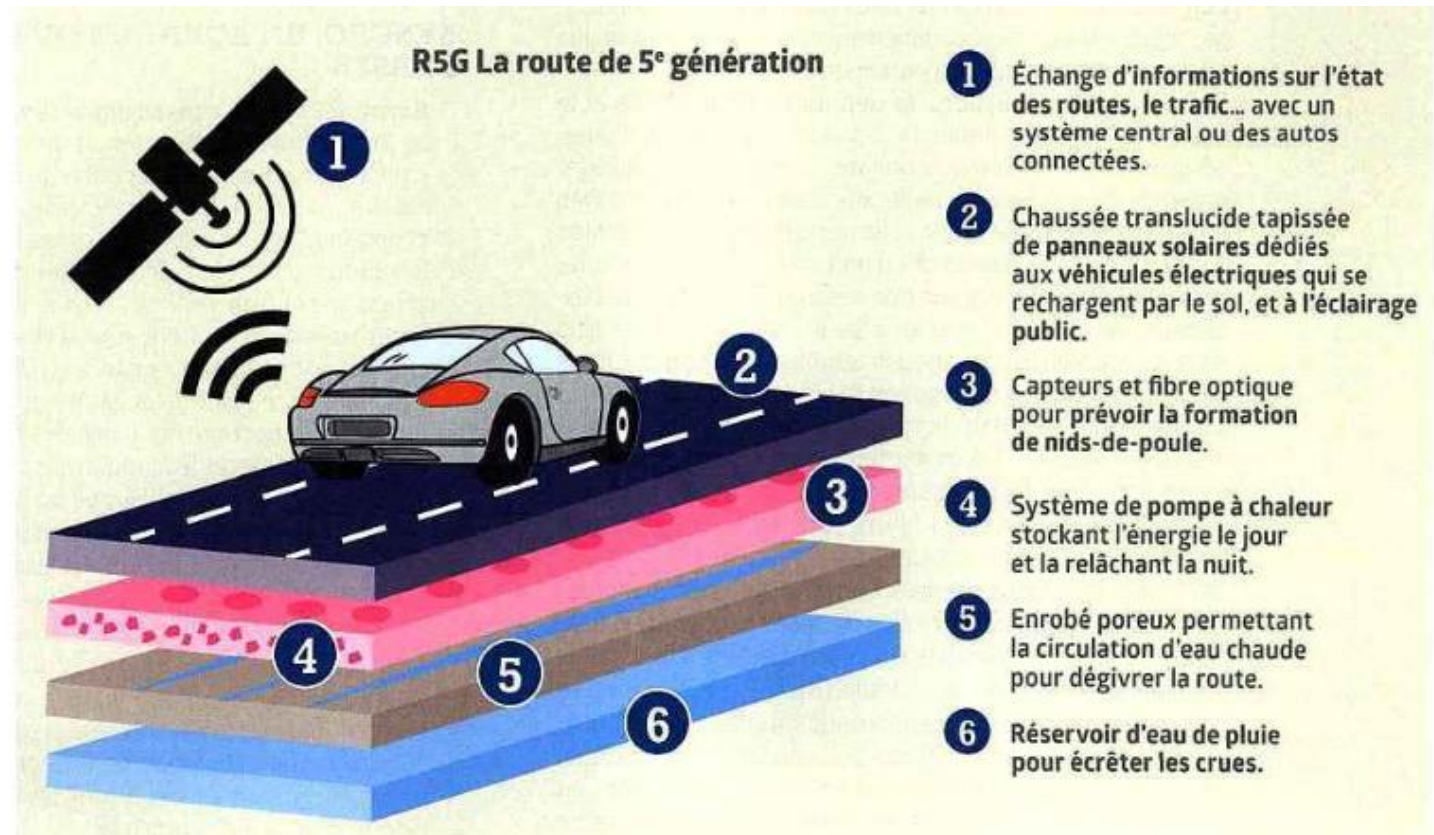
- Ανακύκλωση παλαιού οδοστρώματος (50-70% έως 100% από 20% σήμερα)
- Φωτεινά οδοστρώματα - κατάργηση νυχτερινού φωτισμού



Flowell © Colas

# Καινοτομίες στην κατασκευή οδοστρωμάτων (2/2)

- «Ενεργειακά» οδοστρώματα
- «Έξυπνα» οδοστρώματα



<https://www.youtube.com/watch?v=HNPj2IZX070>



# Άσκηση

---

Σχεδιάστε ένα λογικό  
διάγραμμα για τη βέλτιστη  
επιλογή/σχεδιασμό ενός  
οδοστρώματος.

# Άσκηση

Σχεδιάστε ένα λογικό  
διάγραμμα για τη βέλτιστη  
επιλογή/σχεδιασμό ενός  
οδοστρώματος.

Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide

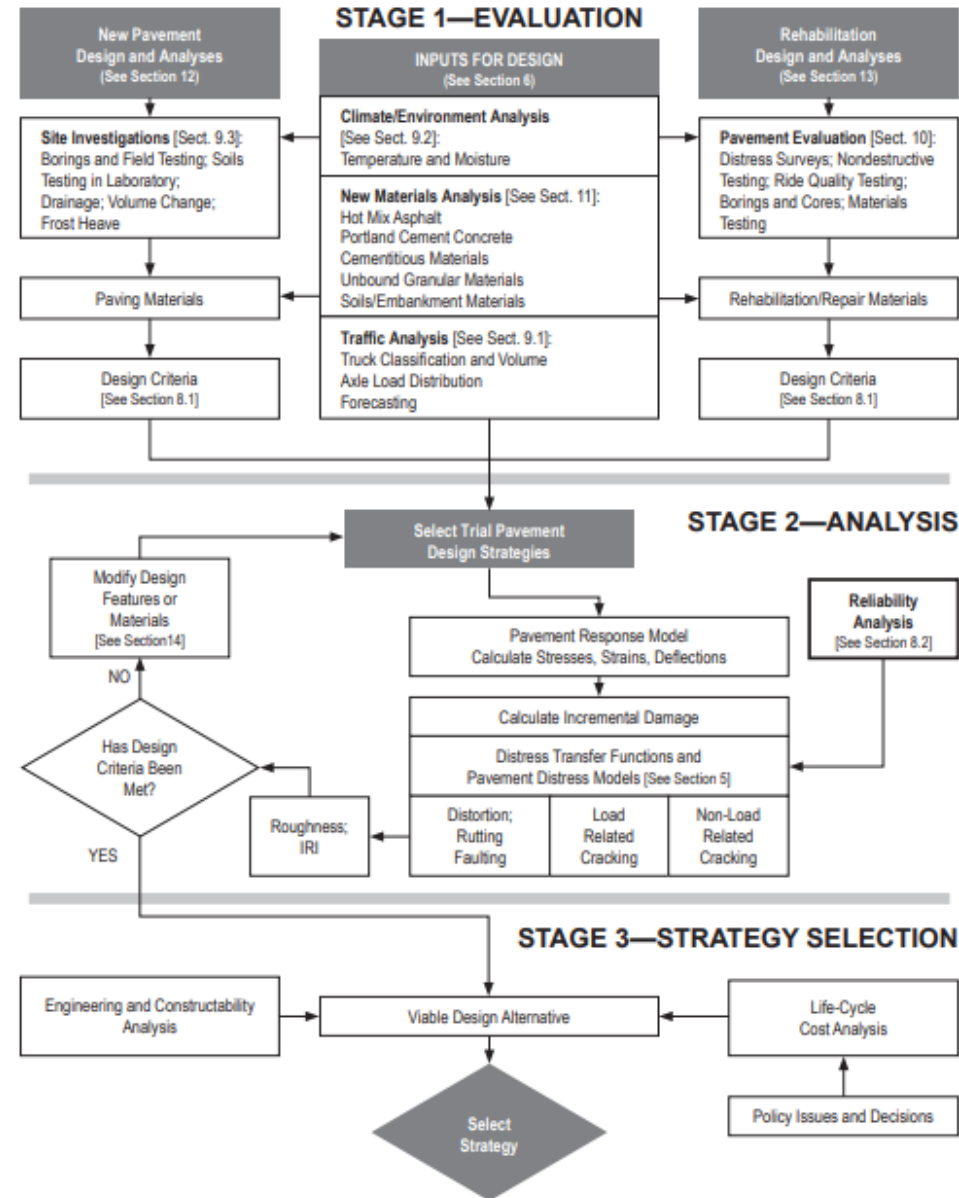


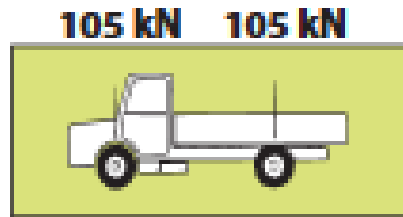
Figure 1-1. Conceptual Flow Chart of the Three-Stage Design/Analysis Process for the MEPDG

## 2. Φέρουσα ικανότητα εδάφους

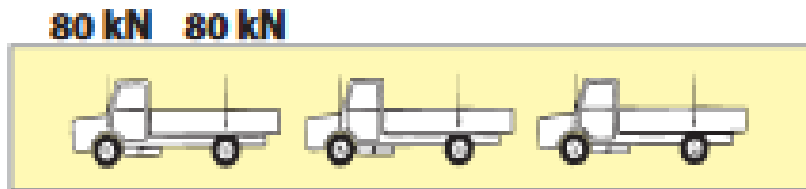
---

# Κατηγορίες –φορτία οχημάτων

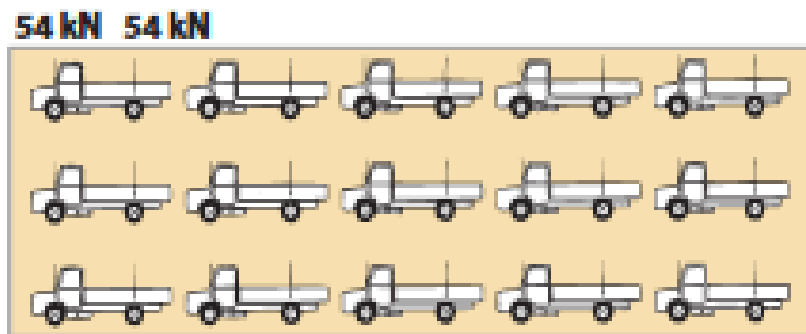
---



=



=



*Three groups of heavy vehicles with equal damaging effect.*

# Κατανομή φορτίων σε οδοστρώματα

## Παραμορφώσεις του οδοστρώματος

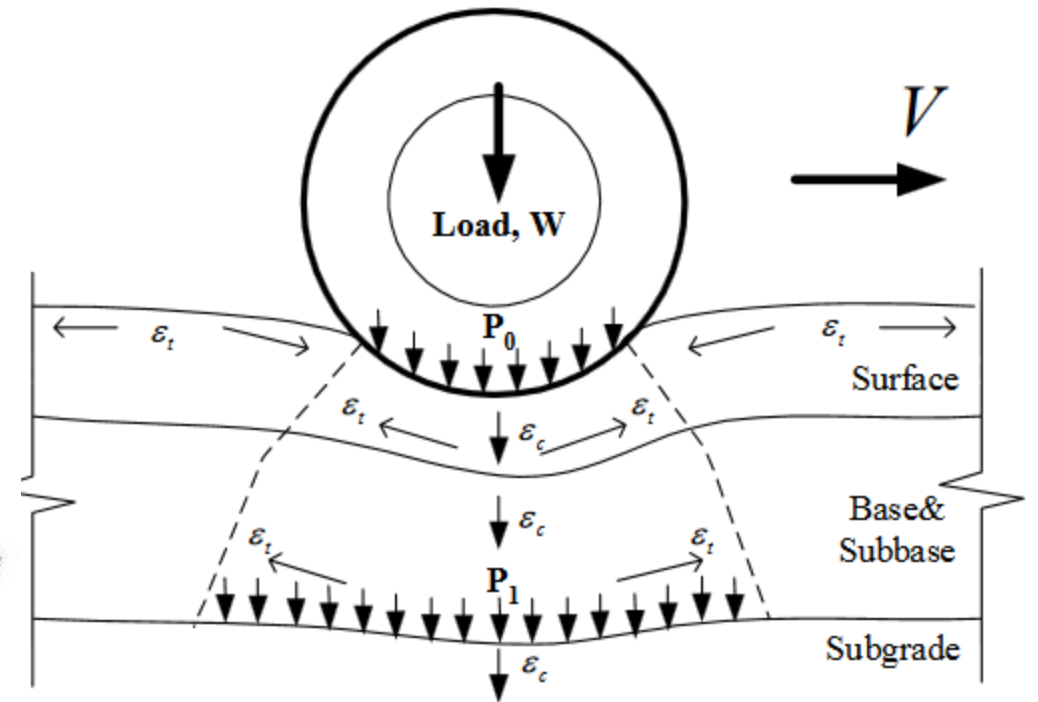
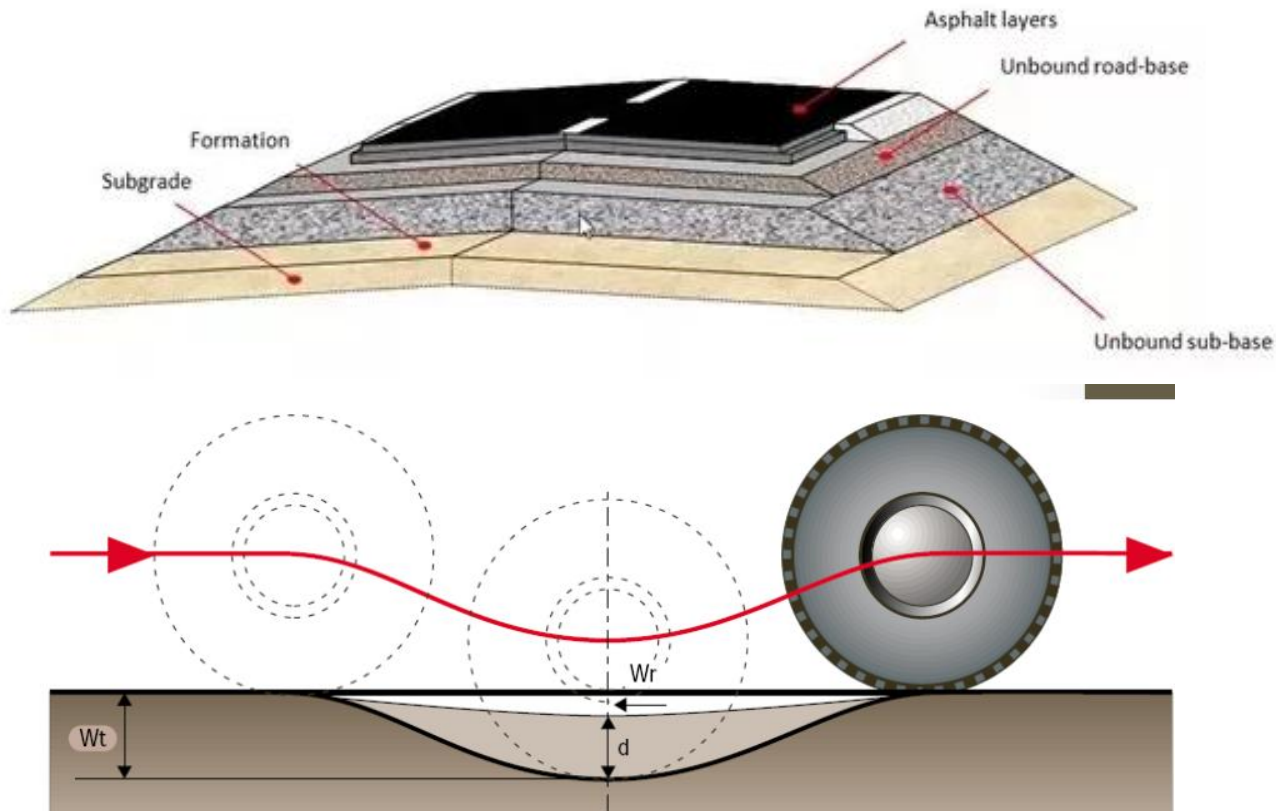


Figure 1 Responses at critical locations in a pavement

Chen et al (2010) Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8, 2010

# Θεωρία ελαστικότητας και οδοστρώματα

Παραμορφώσεις του οδοστρώματος

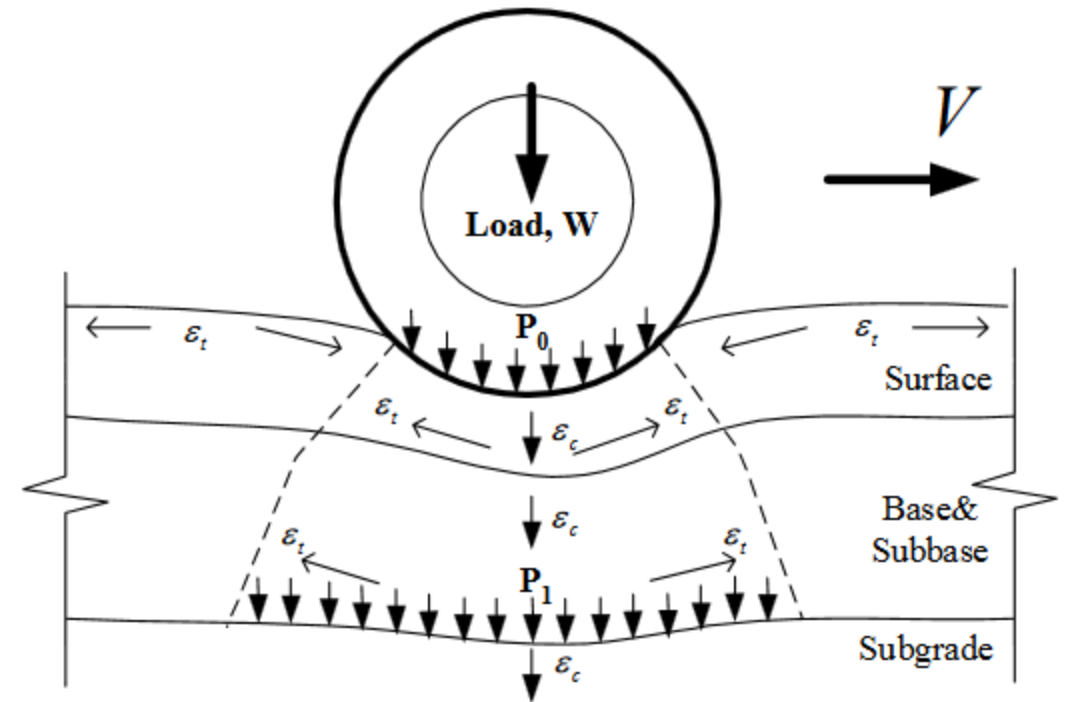
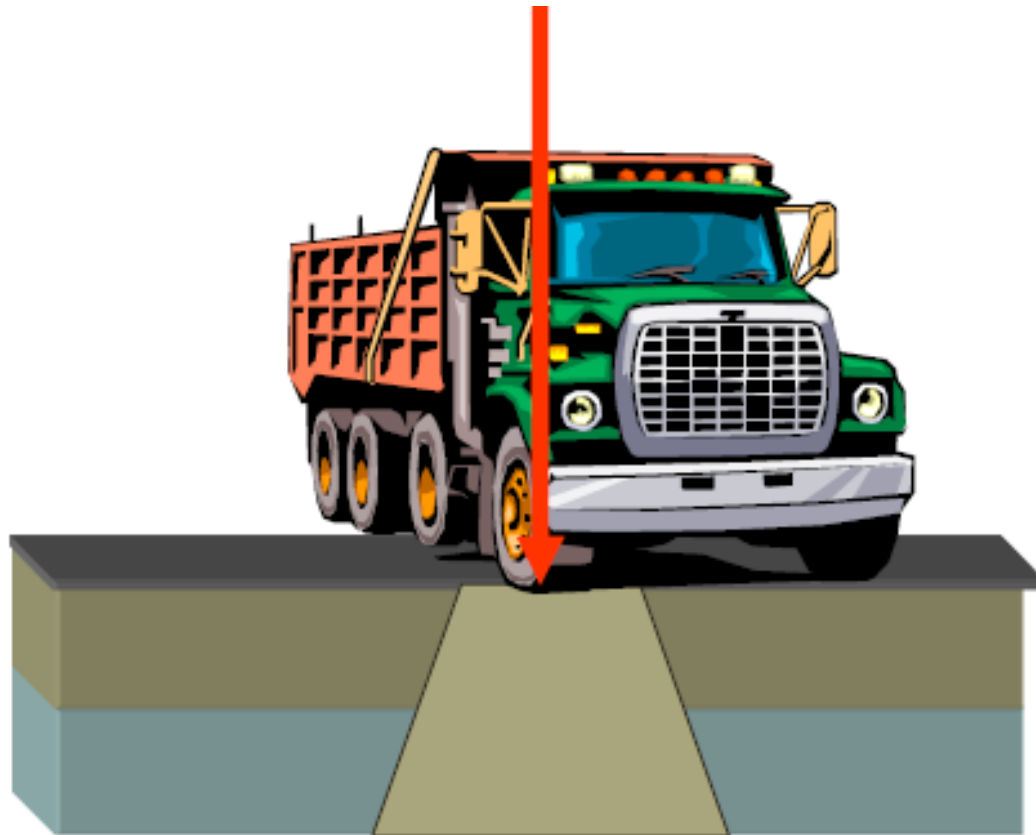


Figure 1 Responses at critical locations in a pavement

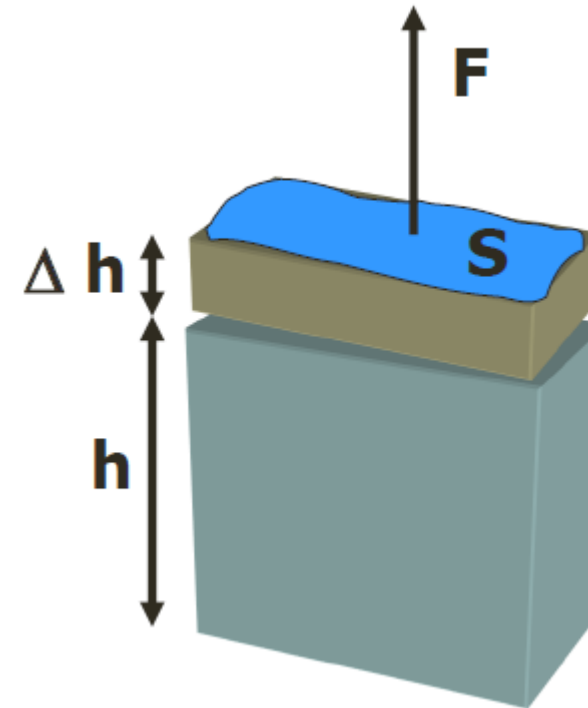
*Chen et al (2010 ) Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8, 2010*

# Τάσεις - Παραμορφώσεις - Θεωρία

---

Παραμορφώσεις του οδοστρώματος (απλοποιητικό μοντέλο)

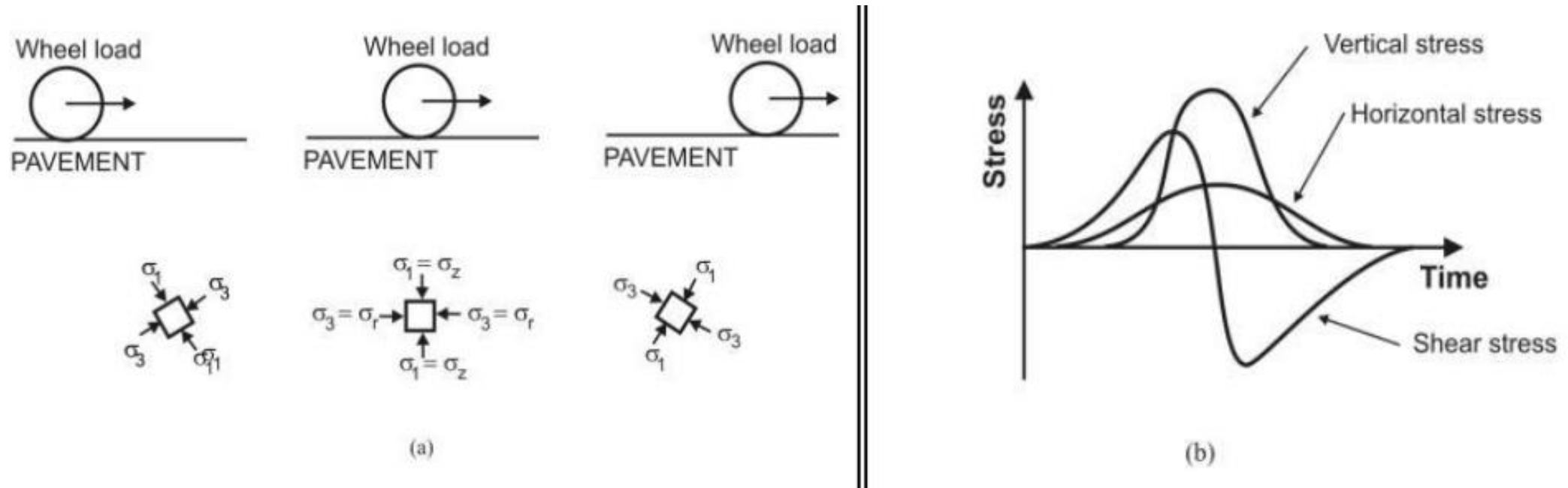
- $\Delta h$ : πάχος παραμόρφωσης
- $h$ : πάχος εδάφους (αρχικό)
- Ανηγμένη Παραμόρφωση:  $\epsilon = \Delta h/h$
- $F$  : Δύναμη (Φορτίο)
- $S$  : Επιφάνεια
- Τάση  $\sigma = F/S$



Μέτρο ελαστικότητας :  $E = (F/S) / (\Delta h/h)$  (Τάση / :παραμόρφωση)

# Τάσεις - Παραμορφώσεις - Θεωρία

Τάσεις επί του οδοστρώματος ανάλογα με τη θέση του τροχού





# Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους

---

Στόχος: Χαρακτηρισμός των μη συνεκτικών υλικών (έδαφος, βάση, υπόβαση) κυρίως με εμπειρικές δοκιμές

1. Εργαστηριακός έλεγχος – Δοκιμή C.B.R. (California Bearing Ratio)
2. Μέτρο αντίδρασης του εδάφους

# Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους - Δοκιμή C.B.R.

---

Ο λόγος CBR είναι ένα μέγεθος που περιγράφει την αντοχή εδαφών.

Η δοκιμή CBR, εκτιμά την διατμητική αντοχή ενός εδάφους υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας - πυκνότητας.

Από την εκτέλεση της δοκιμής προκύπτει ο λόγος φέρουσας ικανότητας.

$$\text{CBR} = (\text{πίεση δοκιμής}) / (\text{πίεση αναφοράς}) * 100 (\%)$$

# Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους - Δοκιμή C.B.R.

---

## ΕΔΑΦΟΣ

**Συνηθισμένες τιμές CBR: 3 – 10**

Πολύ καλό έδαφος CBR > 10

Καλό έδαφος CBR = 6-10

Πτωχό έδαφος CBR = 3-6

Πολύ πτωχό έδαφος CBR < 3

## ΥΠΟΒΑΣΗ

Συνηθισμένες τιμές CBR: 8 – 50

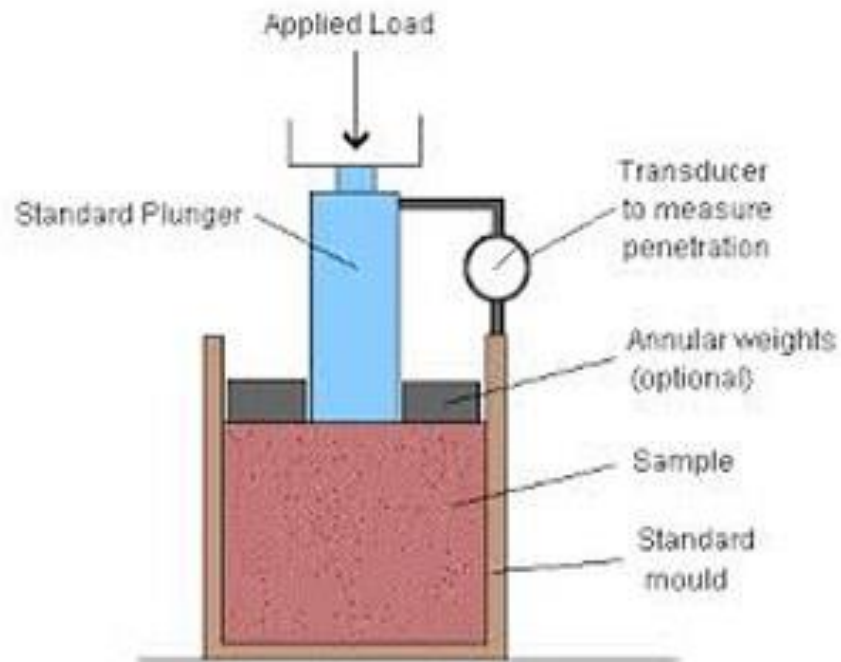
## ΒΑΣΗ

Συνηθισμένες τιμές CBR: 8 – 80

# Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους - Δοκιμή C.B.R.

---

Πειραματική διάταξη για τη δοκιμή CBR



# Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους - Δοκιμή C.B.R.

---

Βίντεο - Δοκιμή CBR

# Μέτρο «ελαστικότητας» εδάφους

---

Το έδαφος είναι ένα μη συνεκτικό και μη ισότροπο υλικό.

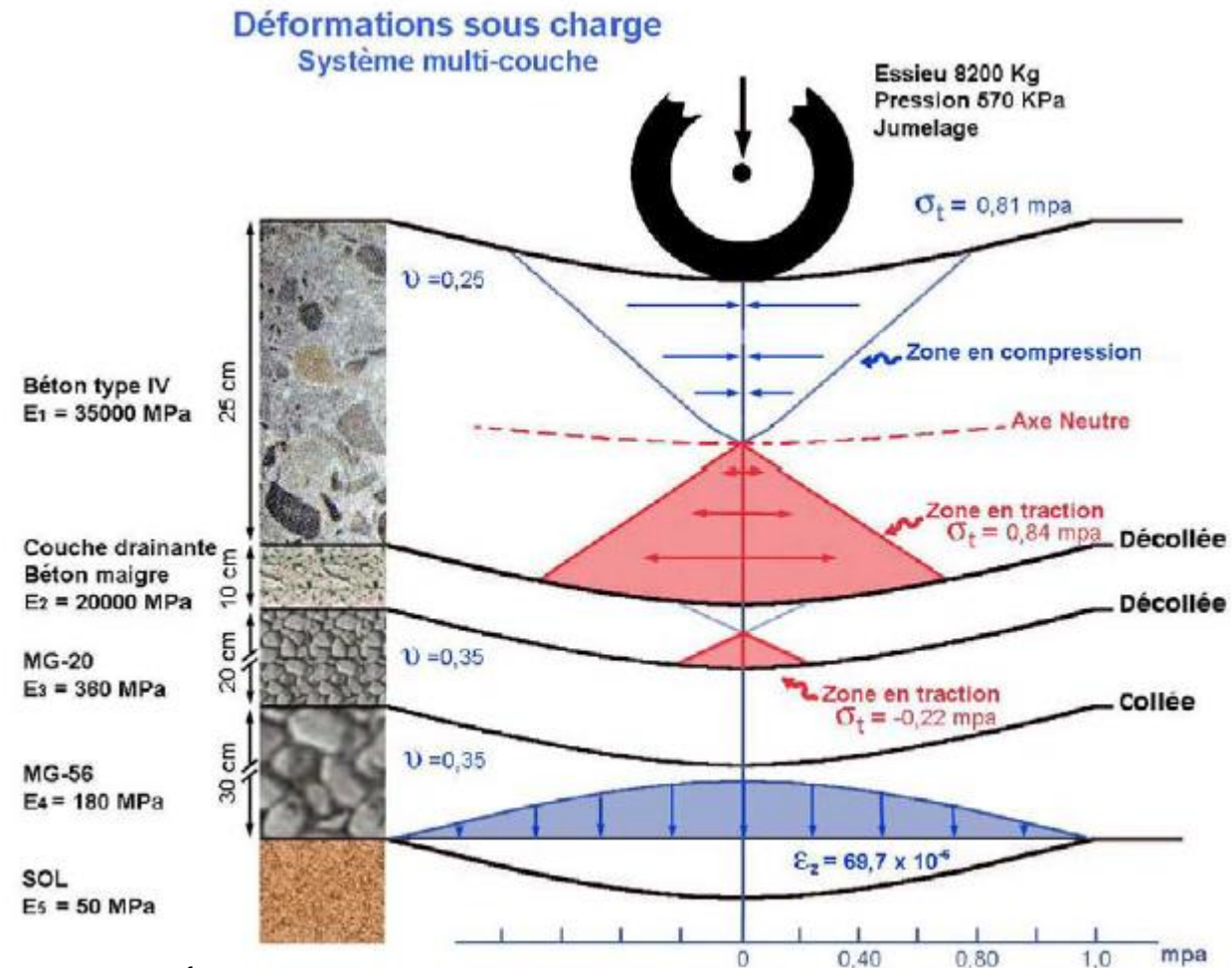
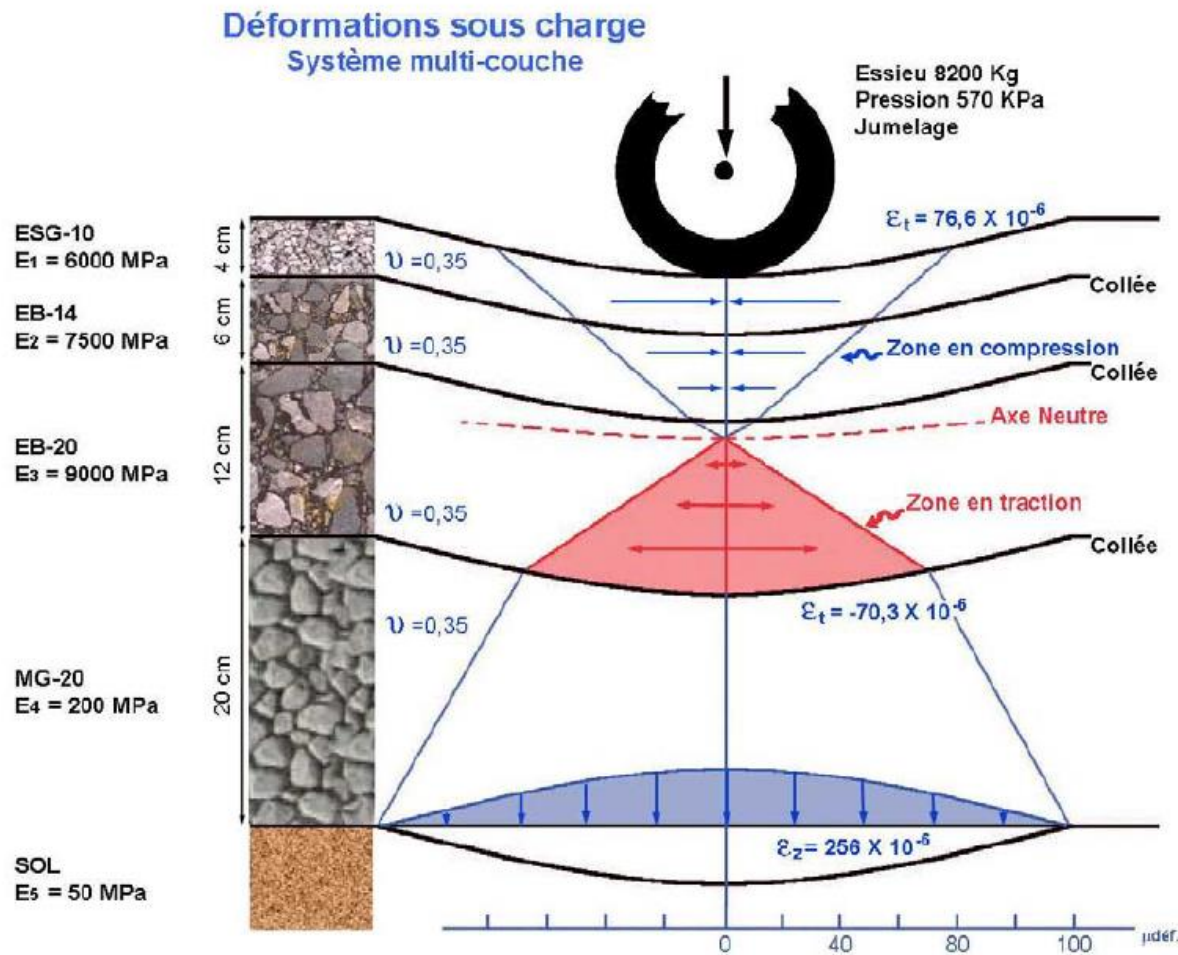
Για απλουστευτικούς λόγους θεωρούμε ότι είναι ισότροπο.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)
Χάλυβας	210 000
Σκυρόδεμα	25 000
Άσφαλτος	9 000
Έδαφος	0 έως 200
Επίχωμα	> 30
Καουτσούκ	10

# Παραμορφώσεις – Φορτία - Μέτρο ελαστικότητας στρώσεων

## Εύκαμπτο Οδόστρωμα

## Δύσκαμπτο οδόστρωμα



Marc Proteau, CONGRÈS BITUME QUÉBEC, (2005)

# Μέτρο αντίδρασης Εδάφους

Δοκιμή στο εργοτάξιο ή στο

οδόστρωμα.

Υπολογίζεται η ελαστική και η μόνιμη

παραμόρφωση.

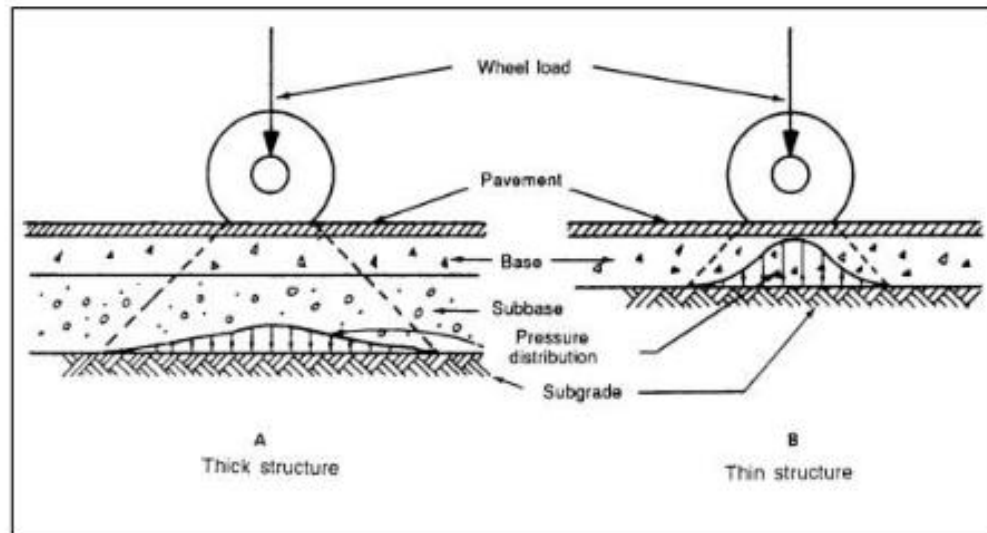
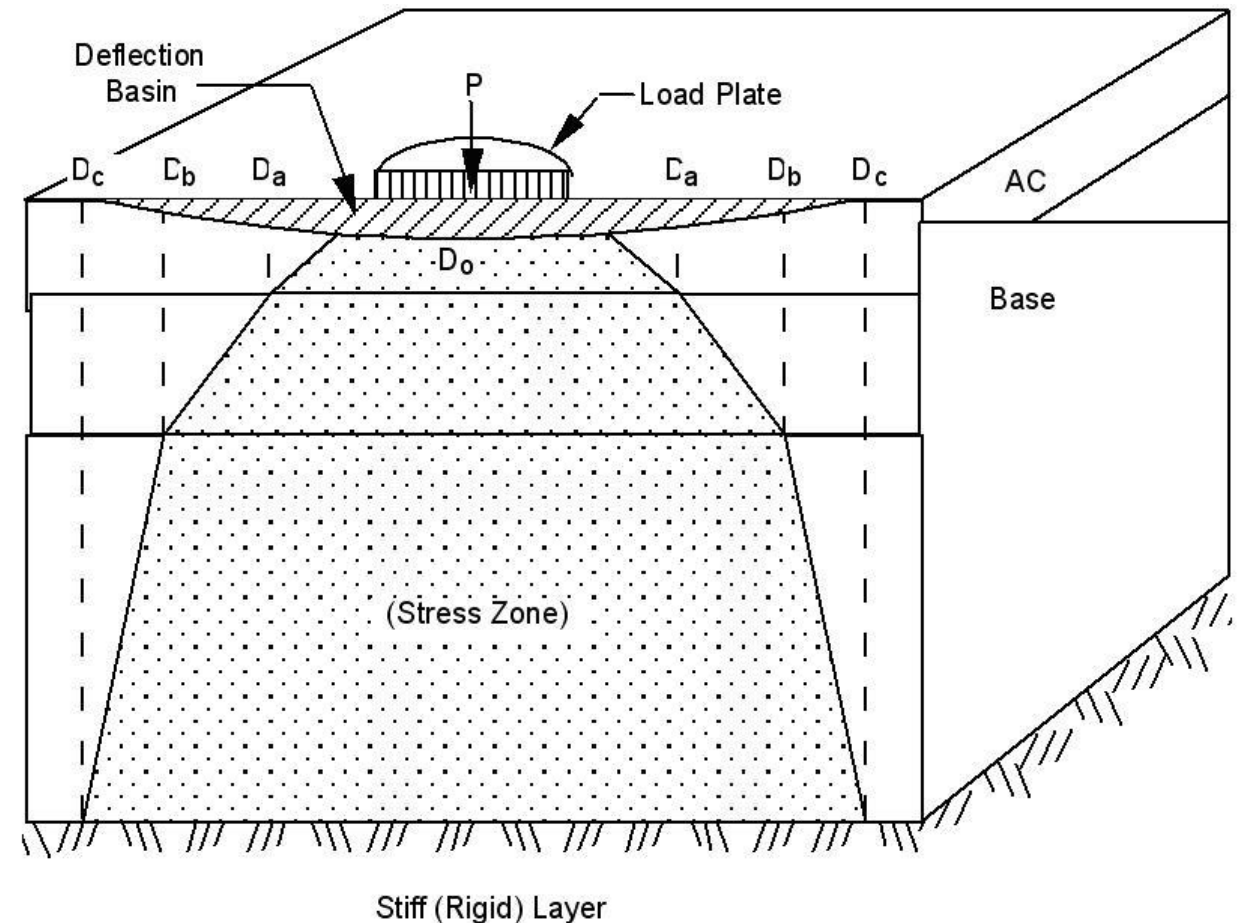


Figure 2.3: Stress distribution in pavement structure (NCHPR, 2004).





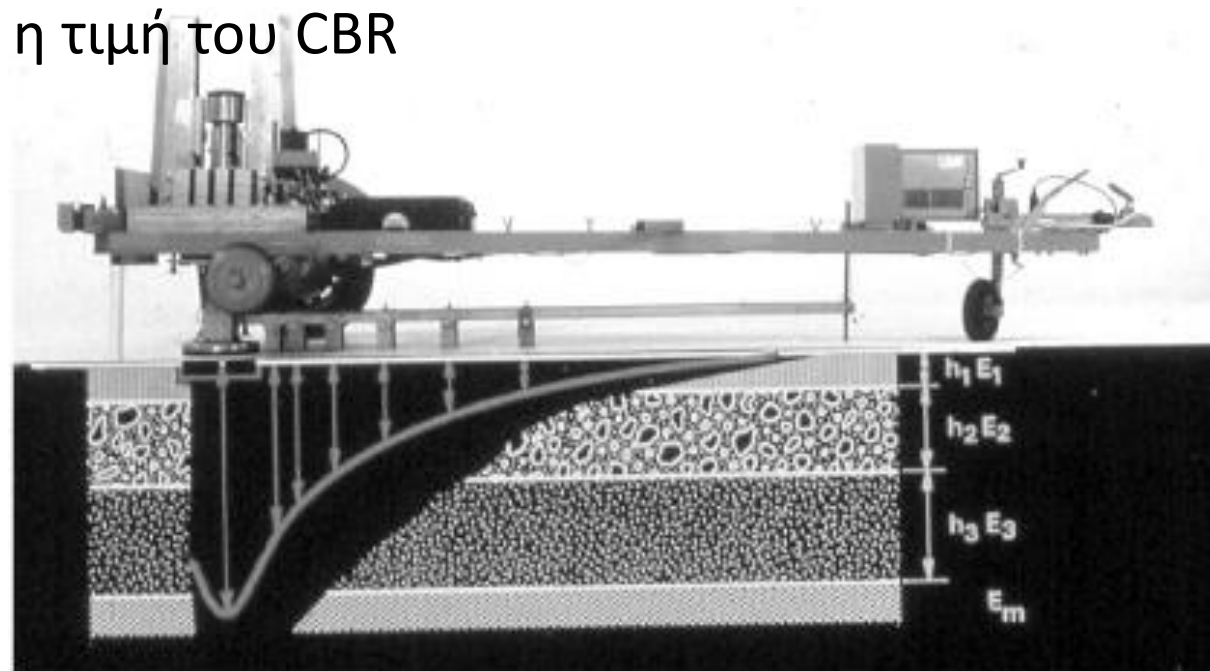
# Μέτρο αντίδρασης εδάφους

---

Από την υποχώρηση της πλάκας υπό συγκεκριμένο φορτίο υπολογίζεται ο δείκτης αντίδρασης του εδάφους.

Το μέτρο αντίδρασης  $k$  του εδάφους εκφράζεται σε  $\text{pci}=\text{lb}/\text{in}^3$

Όταν αυξάνεται το  $k$  αυξάνεται και η τιμή του CBR



Ευχαριστώ

---