



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Πτυχιακή εργασία**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**

**Ουρανία Ιωάννου**

**Λεμεσός, Μάιος 2018**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ [ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ]  
ΤΜΗΜΑ [ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ]

Πτυχιακή εργασία

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

της

Ουρανίας Ιωάννου

Επιβλέπων Καθηγητής  
Κος Ιωάννης Οικονομίδης

Λεμεσός, Μάιος 2018

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Ουρανία Ιωάννου, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου κύριο Ιωάννη Οικονομίδη για την άψογη συνεργασία μας και την αφοσίωση που έχει δείξει για την εργασία αυτή. Τον εκτιμώ ιδιαίτερα για την προσπάθεια που έχει καταβάλει για τη τελειοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή μελέτη εκπονείται κατά τη διάρκεια του τελευταίου έτους σπουδών σαν απαιτούμενη εργασία για απόκτηση πτυχίου Πολιτικής Μηχανικής από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου. Περιλαμβάνει τον σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων και γίνεται επεξήγηση για τις διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων, όπως και σύγκριση των τριών μεθοδολογιών που έχουν επιλεγεί.

Η πρώτη ενότητα περιγράφει την ιστορική αναδρομή και τους τρόπους με τους οποίους οι πρόγονοι μας κατασκεύαζαν τα οδοστρώματα.

Στη δεύτερη ενότητα δίδονται γενικές πληροφορίες για τα εύκαμπτα οδοστρώματα και περιγράφονται οι πιθανές στρώσεις που τα αποτελούν.

Η τρίτη ενότητα περιλαμβάνει τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαστασιολόγηση των εύκαμπτων οδοστρωμάτων και πως ο κάθε ένας επηρεάζει τη διαστασιολόγηση.

Η τέταρτη ενότητα περιγράφει τις ιδιότητες τις ασφάλτου και των παραγόμενων ασφαλτομιγμάτων που χρησιμοποιούνται σε εύκαμπτα οδοστρώματα.

Στην πέμπτη ενότητα περιγράφονται οι παράμετροι που επηρεάζουν τη διαστασιολόγηση.

Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των μεθόδων διαστασιολόγησης του οργανισμού AASHTO, του οργανισμού Asphalt Institute και του Τμήματος Δημοσίων Έργων Κύπρου.

Στο τέλος, γίνεται η σύγκριση των τριών μεθόδων σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων και δίνονται πίνακες και γραφικές παραστάσεις όπου γίνεται μια τεχνοοικονομική ανάλυση για τη κάθε μια.

**Λέξεις κλειδιά:** μέθοδοι διαστασιολόγησης, εύκαμπτο οδόστρωμα, παράγοντες εύκαμπτων οδοστρωμάτων

## **ABSTRACT**

This thesis is submitted in partial fulfillment of requirements for an undergraduate degree in Civil Engineering at the Cyprus University of Technology. It studies the subject of flexible pavement design and the parameters, which affect the thicknesses of the pavement layers. A comparison of various pavement design methodologies is then made.

In the first section a historical survey of how pavement design and construction has evolved since Roman times.

The second section provides a general information on flexible pavements construction and describes the possible pavement layers.

In the third section the factors and the parameters that influence the design of flexible pavements are discussed.

The fourth section describes the properties of asphalt cement and bituminous mixtures used in flexible pavements.

The fifth section describes the parameters that affect the design and consequently the thicknesses of the various layers of the pavement..

The following three methodologies are then used to design a stretch of road under the same variables and conditions. These are the AASHTO guide for design of pavement structures, the Asphalt Institute thickness design procedure, and the method used by the Department of Public Works of the Republic of Cyprus.

At the end, the three methods of designing flexible pavements are compared and tables and graphs are given, in which a techno-economic analysis and a comparison is carried out.

**Keywords:** pavement design methods, flexible pavements, factors and parameters in flexible pavement design

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΤΗΜΑΤΩΝ .....	xiv
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	xiv
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.....	xvi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	xviii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	xix
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	2
3 ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ.....	4
3.1 Γενικά/Ορισμός.....	4
3.2 Εύκαμπτα Οδοστρώματα .....	5
3.2.1 Εξυγιαντική στρώση .....	6
3.2.2 Υπόβαση .....	7
3.2.3 Βάση .....	7
3.2.4 Συνδετική στρώση .....	8
3.2.5 Επιφανειακή στρώση .....	8
3.2.6 Μορφές αστοχίας.....	9
3.3 <i>Αναγκαίες πληροφορίες για σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....</i>	10
4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ .....	11



4.1	Κλιματολογικές συνθήκες.....	11
4.1.1	Θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	11
4.1.2	Παγετός.....	11
4.1.3	Βροχόπτωση .....	11
4.2	Κυκλοφοριακός φόρτος .....	12
4.2.1	Γενικά .....	12
4.2.2	Η έννοια του ισοδύναμου τυπικού άξονα.....	14
4.3	Χαρακτηριστικά υπεδάφους .....	17
4.3.1	Γενικές ομάδες εδαφών .....	17
4.3.2	Φέρουσα ικανότητα υπεδάφους.....	17
4.3.3	Καλλιφορνιακός Δείκτης CBR.....	18
4.3.4	Δοκιμή Proctor (τροποποιημένη).....	18
4.3.5	Γεωυφάσματα .....	19
4.4	Επί τόπου διαθέσιμα υλικά .....	20
5	Η ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ.....	22
5.1	Γενικά.....	22
5.2	Ασφαλτικά γαλακτώματα .....	22
5.3	Εκτίμηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου .....	23
5.4	Ασφαλτομίγματα.....	24
5.4.1	Γενικά .....	24
5.4.2	Μελέτη σύνθεσης ασφαλτομίγατος.....	24
5.4.3	Ελαστικό μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγατος.....	26
6	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	27
6.1	Γενικά.....	27
7	ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	31
7.1	Μέθοδος Asphalt Institute.....	31

7.1.1	Υπολογισμός κυκλοφοριακού φόρτου.....	31
7.1.2	Υπέδαφος.....	33
7.1.3	Επιλογή υλικών στρώσεων.....	34
7.2	Μέθοδος AASHTO.....	36
7.2.1	Δείκτης εξυπηρετικότητας πελατών ή δείκτης παρούσας λειτουργικότητας 36	
7.2.2	Χρονικός ορίζοντας σχεδιασμού.....	37
7.2.3	Κυκλοφοριακός φόρτος.....	37
7.2.4	Αξιοπιστία.....	38
7.2.5	Ιδιότητες υλικών.....	39
7.2.5.1	Μέτρο επανάκτησης εδάφους.....	39
7.2.5.2	Συντελεστές στρώσεων.....	39
7.2.5.3	Χαρακτηριστικά κατασκευής οδοστρώματος.....	40
7.2.5.4	Υπολογισμός πάχους εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....	41
7.2.5.5	Φέρουσα ικανότητα εδάφους.....	45
7.2.5.6	Κυκλοφοριακός φόρτος.....	46
7.2.5.7	Νομογραφήματα.....	47
8	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	48
8.1	Γενικά.....	48
8.2	Δεδομένα σχεδιασμού.....	48
9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	50
9.1	Σύντομη περιγραφή μεθόδων διαστασιολόγησης για το συγκεκριμένο οδόστρωμα.....	50
9.2	Τυπικές τιμές κόστους εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....	52
9.3	Γραφικά αποτελέσματα.....	52
9.4	Αποτελέσματα σε πίνακα.....	60

10	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	61
11	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	63

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέγιστα αξονικά φορτία σε διάφορες χώρες .....	14
Πίνακας 2: Συντελεστές ισοδυναμίας .....	16
Πίνακας 3: Κριτήρια Marshall .....	25
Πίνακας 4: Κριτήρια Marshall για VMA .....	25
Πίνακας 5: Καθορισμός τύπου ασφάλτου με βάση την ΜΕΘΑ .....	32
Πίνακας 6: Ποσοστά οχημάτων στην σχεδιαστική λωρίδα .....	32
Πίνακας 7: Ποσοστά για καθορισμό της σχεδιαστικής τιμής $M_r$ .....	33
Πίνακας 8: Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης από ασύνδετα αδρανή .....	34
Πίνακας 9: Ελάχιστο πάχος ασφαλτικών στρώσεων .....	34
Πίνακας 10: Προτεινόμενες περιόδους ανάλυσης .....	37
Πίνακας 11: Κατανομή αξόνων στη λωρίδα μελέτης .....	38
Πίνακας 12: Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας .....	39
Πίνακας 13: Συντελεστές αποστράγγισης στρώσεων $m_2$ , $m_3$ .....	41
Πίνακας 14: Ελάχιστα πάχη στρώσεων .....	42
Πίνακας 15: Σχεδιαστική τιμή CBR.....	45
Πίνακας 16: Τελικές τιμές οδοστρωμάτων για τις τρεις μεθοδολογίες .....	59

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Κατασκευή οδοστρωμάτων στην αρχαία Ρώμη .....	3
Διάγραμμα 2: Τυπική τομή για τις τάσεις που ασκούνται σε εύκαμπτο οδόστρωμα.....	4
Διάγραμμα 3: Τυπική διατομή οδοστρώματος.....	6
Διάγραμμα 4: Ταξινόμηση διαμήκη ρωγμών ανάλογα με την σοβαρότητα τους.....	9
Διάγραμμα 5: Μόνιμη παραμόρφωση επιφανειακής στρώσης.....	9
Διάγραμμα 6: Παραμορφώσεις στο έδαφος λόγω επίδρασης του ΙΤΑ στο εύκαμπτο οδόστρωμα.....	13
Διάγραμμα 7: Σχέση πυκνότητας-υγρασίας.....	19
Διάγραμμα 8: Βασικά κριτήρια σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....	27
Διάγραμμα 9: Προσδιορισμός επιτρεπόμενης τιμής της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης από τις επαναλήψεις φορτίσεων.....	28
Διάγραμμα 10: Γενικό λογικό διάγραμμα αναλυτικής μεθόδου ανάλυσης εύκαμπτου οδοστρώματος.....	29
Διάγραμμα 11: Υπολογισμός SN σε σύστημα πολλαπλών στρώσεων.....	43
Διάγραμμα 12: Πάχη οδοστρώματος για CBR 12 % .....	53
Διάγραμμα 13: Πάχη οδοστρώματος για CBR 8% .....	53
Διάγραμμα 14: Πάχη οδοστρώματος για CBR 4% .....	54
Διάγραμμα 15: Πάχη οδοστρώματος για CBR 2% .....	54
Διάγραμμα 16: Κόστος οδοστρώματος σε €/m <sup>2</sup> για CBR 12% .....	55
Διάγραμμα 17: Κόστος οδοστρώματος σε €/m <sup>2</sup> για CBR 8% .....	55
Διάγραμμα 18: Κόστος οδοστρώματος σε €/m <sup>2</sup> για CBR 4% .....	56
Διάγραμμα 19: Κόστος οδοστρώματος σε €/m <sup>2</sup> για CBR 2% .....	56
Διάγραμμα 20: Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 6,3 km και πλάτος 18,40 m για CBR 12% .....	57

Διάγραμμα 21: Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 0,4 km και πλάτος 18,40 m για CBR 8% .....	57
Διάγραμμα 22: Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 0,6 km και πλάτος 18,40 m για CBR 4% .....	58
Διάγραμμα 23: Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 0,5 km και πλάτος 18,40 m για CBR 2% .....	58

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΤΗΜΑΤΩΝ**

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**

Νομογράφημα 1.1:

Van der Poel για υπολογισμό του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου.....64

Νομογράφημα 1.2:

Εκτίμηση μέτρου δυσκαμψίας σφαλτομίγματος.....65

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

Νομογράφημα 2.1 :

Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης με σκυρωτή βάση 150 mm.....66

Νομογράφημα 2.2 :

Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης με σκυρωτή βάση 300 mm.....66

Νομογράφημα 2.3:

Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου Ι.....67

Νομογράφημα 2.4:

Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου ΙΙ.....67

Νομογράφημα 2.5:

Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου ΙΙΙ....68

Νομογράφημα 2.6:

Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος ‘ολικού’ πάχους από ασφαλτικό σκυρόδεμα.....68

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ**

Νομογράφημα 3.1:

Συντελεστής στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα  $a_1$ .....69

Νομογράφημα 3.2:

Συντελεστής στρώσης βάσης από ασύνδετα αδρανή  $a_2$ .....70

Νομογράφημα 3.3:

Συντελεστής στρώσης υπόβασης από ασύνδετα αδρανή  $a_3$ .....70

Νομογράφημα 3.4:

Συντελεστής στρώσης βάσης από ισχνό σκυρόδεμα  $a_2$ .....71

Νομογράφημα 3.5:

Συντελεστής στρώσης βάσης από ισχνό ασφαλτόμιγμα  $a_2$ .....71

Νομογράφημα 3.6:

Νομογράφημα υπολογισμού SN για κάθε στρώση.....72



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Νομογράφημα 4.1:

Οδόστρωμα τύπου NP1.....73

Νομογράφημα 4.2:

Οδόστρωμα τύπου NP2.....74

Νομογράφημα 4.3:

Οδόστρωμα τύπου NP3.....75

Νομογράφημα 4.4:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης για οδοστρώματα τύπου NP1 και CBR υπεδάφους 2% .....76

Νομογράφημα 4.5:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης για οδοστρώματα τύπου NP1 και CBR υπεδάφους 3-5% .....77

Νομογράφημα 4.6:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης για οδοστρώματα τύπου NP1 και CBR υπεδάφους 6-10%. .....78

Νομογράφημα 4.7:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης για οδοστρώματα τύπου NP1 και CBR υπεδάφους >11% .....79

Νομογράφημα 4.8:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους 2% .....80

Νομογράφημα 4.9:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους 3-5% .....81

Νομογράφημα 4.10:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους 6-10%.....82

Νομογράφημα 4.11:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους >11%.....83

Νομογράφημα 4.12:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους 2%.....84

Νομογράφημα 4.13:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους 3-5%.....85

Νομογράφημα 4.14:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους 6-10%.....86

Νομογράφημα 4.15:

Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με βάση για οδοστρώματα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους >11%.....87

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι σημαντικές συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο κείμενο της πτυχιακής και χρειάζονται επεξήγηση.

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΙΤΑ:	Ισοδύναμοι Τυπικοί Άξονες
ΕΟ:	Εύκαμπτο οδόστρωμα
ΟΕΜΚ:	Οδηγός Επίβλεψης Μελετών Κατασκευών
SN:	Structure Number(δομικός αριθμός)
Pa:	Pascal unit (Μονάδα μέτρησης)

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

CBR:	Καλλιφορνιακός Δείκτης
Mr:	Μέτρο επανάκτησης εδάφους
VMA:	Κενά στο σκελετό των αδρανών
VFA:	Κενά που γέμισαν με άσφαλτο
VIM:	Κενά αέρος
W <sub>18</sub> :	Συνολικός αριθμός ΙΤΑ στη λωρίδα μελέτης
R:	Αξιοπιστία
S <sub>o</sub> :	Τυπική απόκλιση
ΔPSI:	Απώλεια δείκτη εξυπηρετικότητας

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή αναφέρεται στο σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων μέσα από διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα σε διάφορες χώρες. Σκοπός, είναι να γίνει σύγκριση γνωστών μεθόδων διαστασιολόγησης κάτω από τις ίδιες παραμέτρους και τιμές κόστους, ούτως ώστε να εντοπίσουμε την μέθοδο για την οποία συμφέρει να σχεδιαστεί ένα οδόστρωμα.

Παλαιότερα, σχεδιασμός των οδοστρωμάτων δε γινόταν με βάση πρότυπα και κανονισμούς. Τα πάχη των οδοστρωμάτων αποφασίζονταν από τους ειδικούς με βάση τα υλικά που υπήρχαν στην περιοχή του δρόμου και τη δική τους εμπειρία και γνώση σε σχέση με αυτά. Μέσα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία αντλήθηκαν πολλές πληροφορίες για την αρχαιότητα αλλά κυρίως για τις μεθόδους διαστασιολόγησης του σήμερα. Η έρευνα αυτή, βασίζεται σε γνωστές μεθοδολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Κύπρο. Ο λόγος που έγινε η επιλογή των αμερικάνικων μεθοδολογιών είναι διότι αυτοί ήταν οι πρωτεργάτες του πειράματος του AASHTO. Μέσα από το πείραμα AASHTO, το οποίο ήταν καθαρά εμπειρική μέθοδος διαστασιολόγησης εκπονήθηκαν διάφορα συμπεράσματα ενώ από τότε, έχει γίνει τρομερή πρόοδος στις μεθοδολογίες λόγω της χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Οι μηχανικοί του σήμερα είναι βέβαιο πως θα κατασκευάσουν οδοστρώματα ανθεκτικά στον κυκλοφοριακό φόρτο και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Όμως, είναι υπεύθυνοι στο να επιλέξουν ένα οδόστρωμα με το ελάχιστο οικονομικό κόστος.

## 2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα υπάρχει η ανάγκη για κατασκευή δρόμων κυρίως για οικονομικούς και στρατιωτικούς λόγους. Ο πρώτος λαός που πήρε την πρωτοβουλία για κατασκευή δρόμων ήταν η Ρωμαϊκή αυτοκρατορία εδώ και περίπου δύο χιλιετίες. Από τότε, για την κατασκευή αυτή λάμβαναν υπόψη τις ανάγκες τους. Ωστόσο, στη δημιουργία τους χρησιμοποιούσαν τα υλικά της περιοχής για ευκολία σε μετακίνηση αλλά και οικονομία, έβρισκαν λύσεις για περιοχές με ασθενή εδάφη και κατασκεύαζαν αποχετεύσεις. Ο τρόπος με τον οποίο κατασκεύαζαν ένα δρόμο ήταν ο εξής. Αρχικά, καθοριζόταν η πορεία του δρόμου και οι τότε τοπογράφοι της εποχής έκαναν χαράξεις ενώ ταυτόχρονα οι εργάτες έκαναν τις κοπιαστικές εργασίες. Το πλάτος ενός δρόμου κυμαινόταν από 2,5 έως 4 μέτρα ενώ, σε στροφές έφτανε μέχρι τα 10 μέτρα. Το οδόστρωμα χωριζόταν σε στρώσεις όπως και σήμερα. Η πρώτη στρώση δηλαδή η υπόβαση τους, αποτελείτο από μεγάλες πέτρες ή μπάζα. Κατόπιν ως δεύτερη στρώση δηλαδή βάση πρόσθεταν χαλίκια τα οποία μπορούσαν να συγκρατηθούν με σκυροκονίαμα. Τέλος, ως επιφανειακή στρώση τοποθετούσαν συμπιεσμένα χαλίκια. Σε περιοχές όπου το υπέδαφος δεν ήταν σταθερό, όπως σε σημεία αργιλώδους εδάφους με υψηλό ποσοστό υγρασίας, το συνολικό πάχος του οδοστρώματος αυξανόταν αναλόγως.

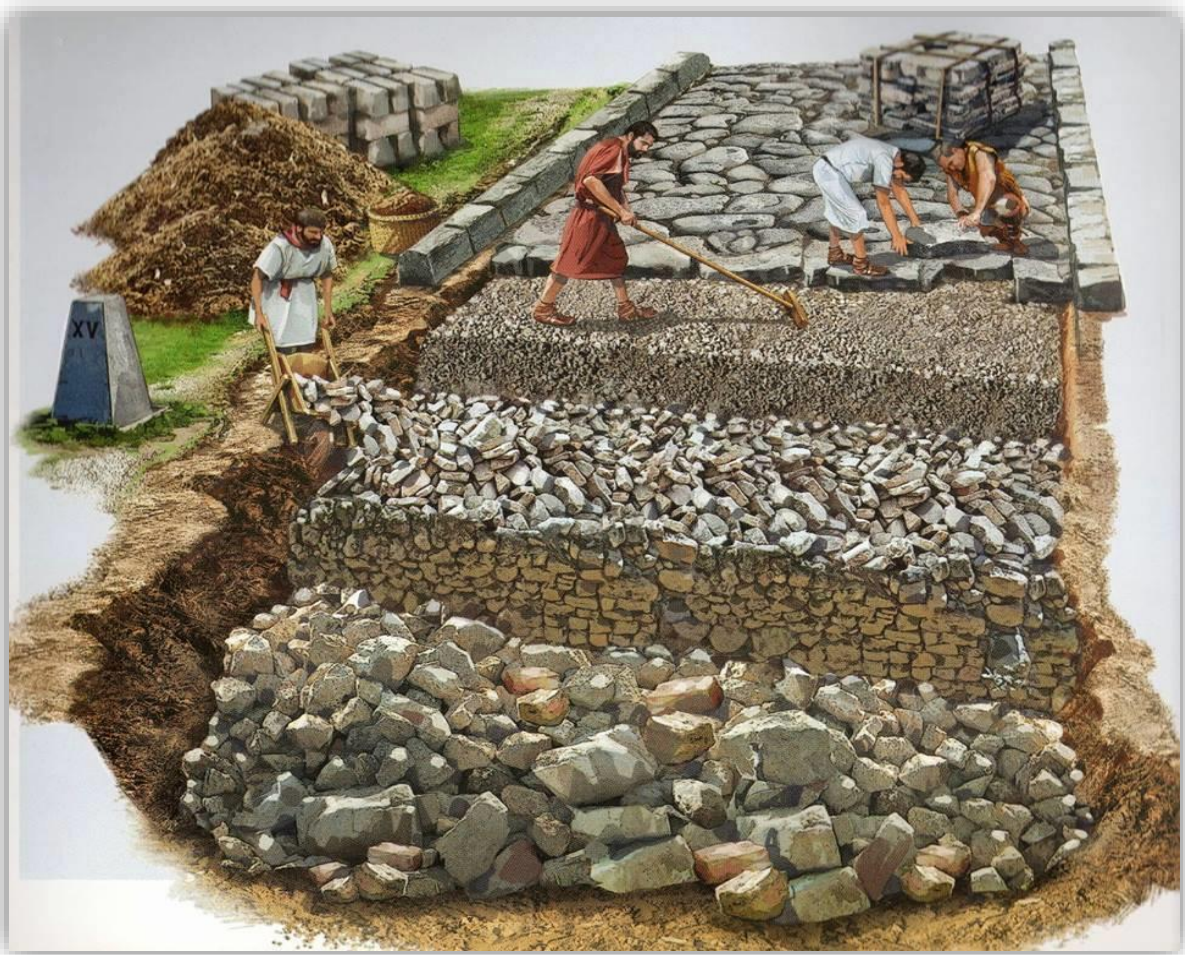
Τα υλικά που χρησιμοποιούσαν την τότε εποχή σε αστικές περιοχές, ήταν

- Λίθινες πλάκες: είχαν διάφορα μεγέθη και δεν ήταν ομαλές για να αποφεύγεται το γλίστρημα των αλόγων. Οι πλάκες αυτές τοποθετούνταν σε σκυρωτό θεμέλιο όμως, λόγω διαφορετικής καθίζησης χρησιμοποιείτο τσιμέντο ή ασβέστης για σταθεροποίηση του θεμελίου αυτού.
- Κεραμικές πλάκες: μπορούσαν εύκολα να προδιαγραφούν. Χρησιμοποιούνταν σε χώρες που είχαν μεγάλες ποσότητες αργίλου, όπως σε περιοχές της Αμερικής.
- Τεμαχίων ξύλου: είχαν παρόμοια μεγέθη με τις λίθινες πλάκες. Χρειαζόταν αρκετή προεργασία ενώ φθείρονταν περισσότερο σε σχέση με τους λίθους. Όμως ήταν αρκετά οικονομικό.
- Ασφαλτος: πρωτοεμφανίστηκε το 1858 στο Παρίσι. Το ασφαλτόμιγμα που χρησιμοποιήθηκε τότε ήταν από θρυμματισμό φυσικού ασβεστόλιθου

εμπλουτισμένο με άσφαλτο. Η σκόνη που παραγόταν είχε περίπου 7% άσφαλτο ενώ θερμαινόταν και συμπυκνωνόταν με παρόμοιους τρόπους όπως σήμερα.

- Σκυρόδεμα: Το 1965 άρχισε η χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος από την Σκωτία και στη συνέχεια στον Α' παγκόσμιο πόλεμο με πολύ καλά αποτελέσματα.

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Ιωάννης Οικονομίδης)

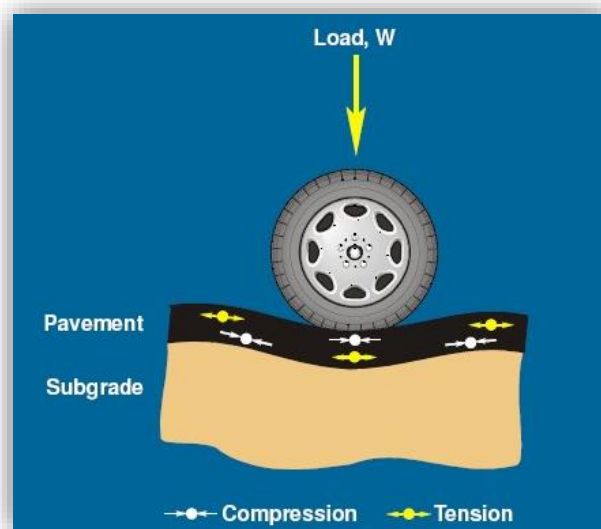


**Διάγραμμα 1:** Κατασκευή οδοστρώματος στην Αρχαία Ρώμη

### 3 ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

#### 3.1 Γενικά/Ορισμός

Το φυσικό έδαφος στην κανονική του μορφή, δεν είναι ικανό να παραλάβει τις καταπονήσεις λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων και, χωρίς λεία επιφάνεια τα οχήματα δεν θα έχουν ομαλή κίνηση. Επίσης λόγω των κλιματικών συνθηκών η αντοχή του εδάφους είναι μειωμένη. Ωστόσο, για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα ως λύση είναι το οδόστρωμα ( Κοφίτσας, 2006).



**Διάγραμμα 2 :** Τυπική τομή για τις τάσεις που ασκούνται σε εύκαμπτο οδόστρωμα

Οδόστρωμα ονομάζεται ένα σύνολο αποτελούμενο από επάλληλες στρώσεις από διάφορα επεξεργασμένα υλικά πάνω από το φυσικό έδαφος για την ομαλή λειτουργία της οδού. Σκοπός του οδοστρώματος:

- 1) Να μεταδώσει όλα τα φορτία της κυκλοφορίας στο έδαφος ώστε να αποτρέπονται μόνιμες παραμορφώσεις.
- 2) Το ίδιο το οδόστρωμα να μπορεί να παραλαμβάνει τις καταπονήσεις λόγω κυκλοφορίας ώστε να αποφεύγονται ρηγματώσεις.
- 3) Η δομή του οδοστρώματος να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από νερό και άλλες επιδράσεις του περιβάλλοντος για να επιτυγχάνεται αναγκαία φέρουσα ικανότητα.



- 4) Η επιφάνεια του οδοστρώματος να έχει αντιολισθητικό ρόλο για ομαλή κυκλοφορία.

Τα οδοστρώματα ανάλογα με την ελαστικότητα τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- 1) Εύκαμπτα οδοστρώματα
- 2) Δύσκαμπτα οδοστρώματα

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Ιωάννης Οικονομίδης)

### 3.2 Εύκαμπτα Οδοστρώματα

Θεωρούνται :

- 1) Τα ασφαλτικά
- 2) Τα κυκλοφοριόπηκτα
- 3) Τα σταθεροποιημένα
- 4) Τα σκυρωτά

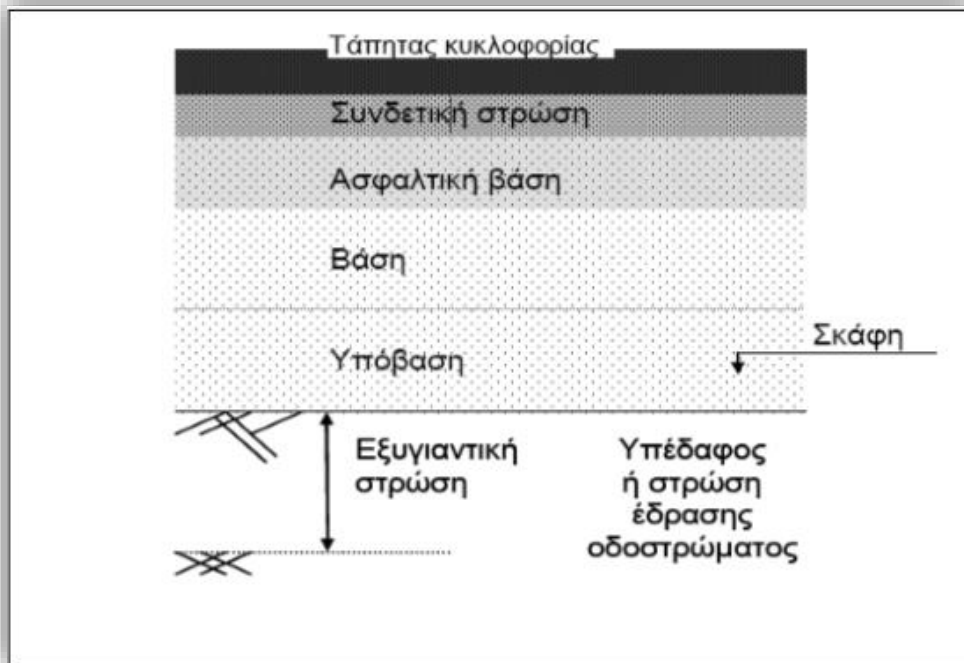
Κατασκευαστικά το εύκαμπτο οδόστρωμα χωρίζεται:

- 1) Επιφανειακή στρώση
- 2) Βάση
- 3) Υπόβαση

Σε περιπτώσεις με πολύ ασθενές υπέδαφος, μεταξύ υπόβασης και υπεδάφους κατασκευάζεται και η εξυγιαντική στρώση.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα η μεταφορά των φορτίων γίνεται δια μέσου των στρώσεων του, ενώ το πάχος του οδοστρώματος καθορίζεται ώστε οι τάσεις που μεταφέρονται να είναι μικρότερες από την φέρουσα ικανότητα.

(Κοφίτσας, 2006)



**Διάγραμμα 3:** Τυπική διατομή οδοστρώματος

Για την σύνθεση του οδοστρώματος είναι σημαντικό, οι στρώσεις που το αποτελούν να έχουν διαφορετική φέρουσα ικανότητα κατά αύξουσα σειρά από το έδαφος προς τα πάνω ώστε να επιτυγχάνεται η αναγκαία αντοχή του, με την οικονομικότερη λύση. Αυτό πρέπει να συμβαίνει διότι στην πάνω στρώση λόγω της άμεσης επαφής των τροχών οι τάσεις είναι πολύ μεγάλες άρα και η αντοχή του υλικού πρέπει να είναι μεγαλύτερη. Ωστόσο, δεν μπορεί ο μηχανικός να χρησιμοποιήσει ένα φθινό υλικό με μικρότερη αντοχή στην επάνω στρώση.

### 3.2.1 Εξυγιαντική στρώση

Είναι η στρώση που κατασκευάζεται μεταξύ υπεδάφους και υπόβασης, όταν το έδαφος είναι ασθενές και τοποθετείται για να αυξήσει τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μπορέσει να τοποθετηθεί το οδόστρωμα. Εξυγιαντική στρώση τοποθετείται όταν το δείκτης CBR είναι μικρότερος του 5%. Κυρίως αποτελείται από κοκκώδης εδαφικά υλικά, είτε με σταθεροποίηση του υπεδάφους με ασβέστη ή τσιμέντο. Το πάχος της στρώσης αυτής κυμαίνεται από 400-600 χιλιοστά. Η εξυγιαντική στρώση είναι εκτός οδοστρώματος.

### 3.2.2 Υπόβαση

Είναι η πρώτη στρώση που τοποθετείται στο υπέδαφος ή την εξυγιαντική στρώση εάν και εφόσον χρειάζεται. Η υπόβαση:

- A) μεταβιβάζει τα φορτία στο υπέδαφος
- B) εξασφαλίζει την άνετη κυκλοφορία των οχημάτων κατά την κατασκευή μιας οδού
- Γ) προστατεύει τα υλικά της βάσης από μολύνσεις
- Δ) είναι μια αντιπαγετική προστατευτική στρώση
- E) λειτουργεί και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων (δεν αφήνει την υγρασία να μεταφερθεί από το υπέδαφος προς τα πάνω μέσω των τριχοειδών)

Το πάχος της καθορίζεται με τις μεθόδους διαστασιολόγησης ενώ, αποφεύγεται η χρήση της όταν το υπέδαφος έχει  $CBR > 7\%$ .

Τα υλικά της υπόβασης είναι επιλεγμένα κοκκώδη εδαφικά υλικά. Για σταθεροποίηση τους κάποιες φορές τοποθετείται τσιμέντο ή ασβέστη.

### 3.2.3 Βάση

Είναι η βασικότερη στρώση σε ένα εύκαμπτο οδόστρωμα και κατασκευάζεται μεταξύ υπόβασης και επιφανειακών ασφαλικών στρώσεων ενώ, έχει επιτελεί τις πιο κάτω λειτουργίες:

- A) Παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία της κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις
- B) Μειώνει τις κάθετες θλιπτικές τάσεις ώστε να ικανοποιούν τη φέρουσα ικανότητα και να μην δημιουργούν μεγάλες παραμορφώσεις
- Γ) Παρέχει τη δυσκαμψία στο οδόστρωμα
- Δ) Με την επιφάνεια που δημιουργεί μπορεί να δεχθεί την επιφανειακή στρώση
- E) Με την χρήση ασύνδετων ή σταθεροποιημένων αδρανών παρέχει μια αποτελεσματικότερη συμπύκνωση (συνεπώς και λιγότερες παραμορφώσεις) (Νικολαΐδης, 2002)

Τα υλικά για την κατασκευή της βάσης μπορεί να είναι από αδρανή χωρίς συνδετικό υλικό, ή από αδρανή με συνδετικό υλικό την ασφαλτο ή τσιμέντο.

Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα οι στρώσεις μπορούν να τοποθετηθούν με από κάτω στρώση με ασύνδετα υλικά και από πάνω ασφαλτόμιγμα. Τα μικτά εύκαμπτα οδοστρώματα είναι αυτά που μέρος της βάσης τοποθετείται σκυρόδεμα και μετά ασφαλτόμιγμα. Επίσης μια βάση μπορεί να κατασκευαστεί εξ ολοκλήρου από ασφαλτόμιγμα.

#### *3.2.4 Συνδετική στρώση*

Είναι η στρώση μεταξύ τάπητα κυκλοφορίας και βάσης. Κυρίως κατασκευάζεται για να κάνει την επιφάνεια επίπεδη ή με τις αναγκαίες κλίσεις. Πρέπει να είναι αδιαπέρατη από το νερό και να μη ρηγματώνεται εύκολα. Η συνδετική στρώση συνήθως παραλείπεται, ενώ είναι αναγκαία να κατασκευαστεί όταν ο τάπητας κυκλοφορίας είναι πορώδης.

#### *3.2.5 Επιφανειακή στρώση*

Είναι ο τάπητας κυκλοφορίας, όπου είναι η τελευταία στρώση και τα οχήματα έρχονται σε επαφή με αυτή. Η επιφανειακή στρώση πρέπει να ικανοποιεί κάποιες απαιτήσεις:

- 1) Να είναι ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες
- 2) Να μην έχει μεγάλες παραμορφώσεις λόγω κυκλοφορίας
- 3) Να αντιστέκεται στις ρηγματώσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών
- 4) Να παρέχει μια αντιολισθηρή επιφάνεια
- 5) Να έχει επιφάνεια υψηλής ασφαλείας για οδήγηση
- 6) Να συνεισφέρει στην αντοχή του οδοστρώματος
- 7) Να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από νερό εκτός και αν χρησιμοποιηθεί πορώδης τάπητας

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Ιωάννης Οικονομίδης)

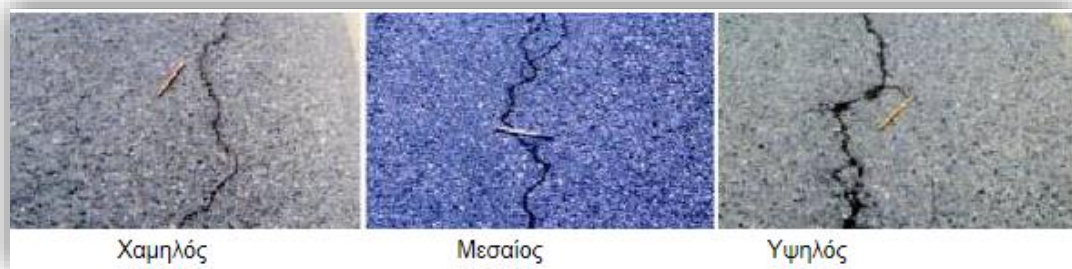
### 3.2.6 Μορφές αστοχίας

Ένα εύκαμπτο οδόστρωμα λόγω της επίδρασης του κυκλοφοριακού φόρτου παρουσιάζει κάποιες φθορές. Οι φθορές αυτές μπορεί να αφορούν τις δύο οριακές καταστάσεις, τη λειτουργικότητα και την αστοχία.

Η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας αφορά τη κατάσταση του οδοστρώματος αισθητικά και την επαφή που θα έχουν τα οχήματα που κυκλοφορούν. Με τις διάφορες δράσεις, η επιφάνεια του οδοστρώματος χάνει την αντισθητικότητα της ή δημιουργούνται καθιζήσεις σε διάφορα σημεία. Έτσι χάνεται η ομαλή κυκλοφορία των οχημάτων και υποβαθμίζεται η ποιότητα του οδοστρώματος.

Η οριακή κατάσταση αστοχίας αφορά τη δομική ακεραιότητα του οδοστρώματος και χωρίζεται σε δύο μορφές αστοχίας:

(α) Η ρηγμάτωση τη επιφανειακής ή ασφαλτικής στρώσης λόγω κόπωσης. Οι ρωγμές μπορεί να παρουσιαστούν στις διάφορες κατευθύνεις του οδοστρώματος όπως βλέπουμε και στην εικόνα.



**Διάγραμμα 4:** Ταξινόμηση διαμήκη ρωγμών ανάλογα με την σοβαρότητα τους (OEMK,2002)

(β) Η μόνιμη παραμόρφωση της επιφανειακής στρώσης λόγω μεγάλης παραμόρφωσης του υπεδάφους.



**Διάγραμμα 5:** Μόνιμη παραμόρφωση επιφανειακής στρώσης(OEMK,2002)

### 3.3 Αναγκαίες πληροφορίες για σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Για τον σχεδιασμό του εύκαμπτου οδοστρώματος ο μηχανικός πρέπει να γνωρίζει :

- 1) Τις κλιματολογικές συνθήκες
- 2) Τον κυκλοφοριακό φόρτο
- 3) Το έδαφος στο οποίο θα κατασκευαστεί το οδόστρωμα
- 4) Τα επί τόπου διαθέσιμα υλικά

## **4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**

### 4.1 Κλιματολογικές συνθήκες

#### *4.1.1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος*

Για τον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων η θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Η θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει μεταφορές στα συστατικά του ασφαλτομίγματος λόγω του μέτρου δυσκαμψίας του υλικού. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυτό μειώνεται και έτσι το οδόστρωμα παίρνει μεγαλύτερες παραμορφώσεις ή εφίδρωση του οδοστρώματος και συνεπώς την απώλεια αντιολισθηρότητας, γι' αυτό σε υψηλές θερμοκρασίες τοποθετούμε σκληρή άσφαλτο. Σε χαμηλές θερμοκρασίες προσπαθούμε να αποφύγουμε τη ρηγμάτωση γι' αυτό χρησιμοποιούμε μαλακή άσφαλτο.

#### *4.1.2 Παγετός*

Η δράση του παγετού μπορεί να προκαλέσει ανύψωση σε σημεία του οδοστρώματος λόγω των κρυστάλλων που γίνονται πάγος μέσα στο υπέδαφος. Για να μπορέσει να δημιουργηθεί ο παγετός πρέπει το έδαφος να είναι ευαίσθητο δηλαδή τα εδάφη με κόκκους μικρότερους του 0,02 χιλιοστά, να υπάρχει νερό και η θερμοκρασία να πέφτει με αργό ρυθμό ούτως ώστε να προλάβουν τα μόρια του νερού να γίνουν πάγος.

Για να προστατέψουμε το οδόστρωμα από τον παγετό πρέπει να αυξήσουμε το πάχος της βάσης ή της υπόβασης.

#### *4.1.3 Βροχόπτωση*

Στο σχεδιασμό των οδοστρωμάτων η βροχόπτωση είναι πολύ σημαντική κυρίως κατά την διάρκεια των χωματουργικών εργασιών, στα δοκιμαστικά για την αντοχή του εδάφους και στο σχεδιασμό για αποχετευτικά έργα.

Στα χωματουργικά έργα είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την υγρασία του εδάφους για να υπολογίσουμε τη συμπίκνωση που πρέπει να γίνει. Εάν υπάρχει συνεχής βροχή αυτό θα είναι δύσκολο. Σε περιπτώσεις όπου τα εκχώματα θα χρησιμοποιηθούν σε επιχώματα, πρέπει να αποξηρανθούν.

Πρέπει να εκτιμάται η υγρασία του εδάφους για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του η οποία θα καθορίσει το σχεδιασμό. Με αυξομείωση της υγρασίας, τα εδάφη όπως αργιλικά και ιλύτης επηρεάζονται και προκαλούν διόγκωση ή συρρίκνωση τους.

Η βροχόπτωση πρέπει να εκτιμάται και για τον σχεδιασμό αποχετευτικών σχεδιασμών και έργων για να αποφευχθεί η πτώση του οδοστρώματος και συνεπώς ατυχήματα.

## 4.2 Κυκλοφοριακός φόρτος

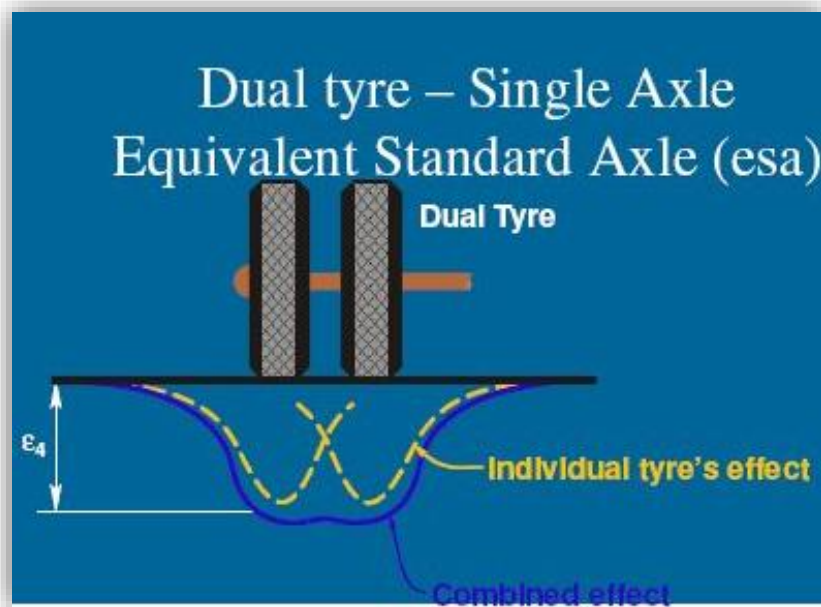
### 4.2.1 Γενικά

Η κυκλοφορία στις μέρες μας ποικίλει γι ' αυτό και είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τους φόρτους που επιφέρουν τα διάφορα είδη οχημάτων. Τα επιβατικά οχήματα είναι αυτά που είναι πιο πολυσύχναστα στους δρόμους αλλά ο φόρτος που επιφέρουν στην οδό είναι συγκριτικά πολύ μικρότερος σε σχέση με τα φορτηγά. Συνεπώς τα εμπορικά οχήματα είναι πιο κρίσιμα για τον υπολογισμό του κυκλοφοριακού φόρτου.

Για την έκφραση του κυκλοφοριακού φόρτου χρησιμοποιείται διεθνώς ως μονάδα μέτρησης ο Ισοδύναμος Τυπικός Άξονας(ΙΤΑ).

Τα φορτία των οχημάτων που κατανέμονται μέσω αξόνων σχετίζονται με την καταστροφική ικανότητα κάθε οχήματος. Η καταστροφική ικανότητα των επιβατικών οχημάτων είναι πολύ μικρότερη από των εμπορικών γι ' αυτό και ο σχεδιασμός οδοστρωμάτων γίνεται με βάση τα εμπορικά οχήματα. Στα εμπορικά οχήματα οι άξονες μπορεί να είναι μονοί, δίδυμοι ή τρίδυμοι οι οποίοι φέρουν ένα ή δύο ελαστικούς τροχούς ανά πλευρά. Για τον υπολογισμό του φορτίου σε μια οδό χρησιμοποιείται το αξονικό φορτίο.





**Διάγραμμα 6** : Παραμορφώσεις στο έδαφος λόγω επίδρασης του ΙΤΑ στο εύκαμπτο οδόστρωμα

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται τα μέγιστα επιτρεπτά όρια για τα αξονικά φορτία σε διάφορες χώρες :

**Πίνακας 1:** Μέγιστα αξονικά φορτία σε διάφορες χώρες

Χώρα	Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία (τόννοι)			
	Μονός άξονας		Δίδυμος	Τρίδυμος
	Δίχως κίνηση	Με κίνηση		
Αγγλία	9 - 10 <sup>(α)</sup>		16 ή 20-26 <sup>(α)</sup>	Δεν καθορίζονται όρια
Αυστραλία	4.6 - 9 <sup>(α)</sup>		9 - 16.5 <sup>(α)</sup>	
Αυστρία	10	10	16	
Βέλγιο	10	13	20	
Γαλλία	13	13	21	
Γερμανία	10	10	16	
Γιουγκοσλαβία	10	10	16	
Δανία	10	10	16	
Ελλάδα	10	13	20	
Ελβετία	10 - 12 <sup>(α)</sup>		18	
ΗΠΑ <sup>(β)</sup>	9	9	15.6	
Ιαπωνία	-	10	20	
Ιρλανδία	10	10.5	11 - 20	
Ισπανία	13	13	21	
Ιταλία	12	12	19	
Καναδάς	4.5 - 10 <sup>(α)</sup>		16 - 20 <sup>(α)</sup>	
Λουξεμβούργο	10	13	20	
Νορβηγία	10	10	16	
Ολλανδία	10	10	18	
Πορτογαλλία	-	10	16	
Σουηδία	10	10	16	
Τουρκία	13	13	19	
Φινλανδία	10	10	16	
Ευρωπαϊκή Ένωση	10	11.5	18	

<sup>(α)</sup> Εξαιρείται από τον άξονα

<sup>(β)</sup> Ενδεικτικά όρια, αλλάζει ελαφρώς από Πολιτεία σε Πολιτεία

Πηγή: Νικολαΐδης, 2002

#### 4.2.2 Η έννοια του ισοδύναμου τυπικού άξονα

Με βάση το πείραμα του AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) που εκτελέστηκε στις ΗΠΑ μεταξύ 1957-1961 υπολογίστηκαν οι καταστρεπτικές επιδράσεις των εμπορικών οχημάτων σε σχέση με τα αξονικά τους φορτία. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά οχήματα με διάφορα αξονικά φορτία και διάφορα οδοστρώματα. Το φορτίο που επιλέχθηκε αυθαίρετα ως

αντιπροσωπευτικό αξονικό φορτίο ήταν 18.000 lb (8,16 τόνων ή 80 KN) και ονομάστηκε τυπικός άξονας (R. R. Bartelsmeyer, Chairman et. al.,1962).

Η καταστρεπτική επίδραση των αξονικών φορτίων με μικρότερο ή μεγαλύτερο φορτίο από αυτό των 80 KN εκφράστηκε με ισοδύναμους συντελεστές με μικρότερους ή μεγαλύτερους της μονάδας αντίστοιχα. Έτσι μπορούσε να εκφραστεί ο κυκλοφοριακός φόρτος με μια μεταβλητή αυτή του Ισοδύναμου Τυπικού Άξονα.

Για τον καθορισμό των Συντελεστών Ισοδυναμίας χρησιμοποιήθηκε η πιο κάτω σχέση:

$$N_t/N_j = (P_j/P_t)^\gamma = a$$

Όπου,

$N_j$ = ο αριθμός διελεύσεων αξόνων με φορτίο  $P_j$  για να προσκαλέσει συγκεκριμένη φθορά του οδοστρώματος

$N_t$ = ο αριθμός διελεύσεων τυπικού άξονα με φορτίο  $P_t=80\text{KN}$  για να επιφέρει ισοδύναμη φθορά του ίδιου οδοστρώματος

$\gamma$ = αριθμητική μεταβλητή

Από το πείραμα εξήχθησαν συντελεστές ισοδυναμίας για εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα αρχικά για μονούς και δίδυμους άξονες ενώ στη συνέχεια και για τρίδυμους. Για την αριθμητική μεταβλητή ορίστηκαν οι τιμές από 3,6- 4,6 αναλόγως με τις διατάξεις των ελαστικών, διαφορετικά αξονικά φορτία και διαφορετικές αναρτήσεις τροχών. Από πολλές χώρες χρησιμοποιείται η τιμή 4 για την αριθμητική μεταβλητή. Έτσι σήμερα, παγκοσμίως επικρατούν δύο πρακτικές μετατροπής κυκλοφοριακού φόρτου σε ΙΤΑ, των ΗΠΑ με συντελεστή ισοδυναμίας όπως τον πιο κάτω πίνακα και τον συντελεστή ισοδυναμίας όπως ορίζεται από τη σχέση:

$$\Sigma I = a = (P_j/P_t)^4$$

Ο υπολογισμός του συνολικού αριθμού ΙΤΑ ανά ημέρα ή έτος, είναι το αλγεβρικό άθροισμα που προκύπτει από την μετατροπή του κάθε άξονα σε τυπικό άξονα.

Πιο κάτω φαίνεται ο συντελεστής ισοδυναμίας για διάφορα φορτία αλλά μονούς, δίδυμους ή τρίδυμους άξονες με τον συντελεστή  $\gamma$  να παίρνει τιμές μεταξύ 3,6 και 4,6.

(Νικολαΐδης, 2006)

**Πίνακας 2:** Συντελεστές Ισοδυναμίας

Βάρος άξονα		Συντελεστές ισοδυναμίας ανά τύπο άξονα		
kN	kips	Μονός	Δίδυμος	Τρίδυμος
4.45	1	0.00002	0.0000	0.0000
8.9	2	0.00018	0.0000	0.0000
17.8	4	0.00209	0.0003	0.0000
26.7	6	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8	0.0343	0.003	0.001
44.5	10	0.0877	0.007	0.002
53.4	12	0.189	0.014	0.003
62.3	14	0.360	0.027	0.006
71.2	16	0.623	0.047	0.011
80.0	18	1.000	0.077	0.017
89.0	20	1.510	0.121	0.027
97.8	22	2.180	0.180	0.040
106.8	24	3.030	0.260	0.057
115.6	26	4.090	0.364	0.080
124.5	28	5.390	0.495	0.109
133.5	30	7.000	0.658	0.145
142.3	32	8.880	0.857	0.191
151.2	34	11.18	1.095	0.246
160.0	36	13.93	1.380	0.313
169.0	38	17.20	1.700	0.393
178.0	40	21.08	2.080	0.487
187.0	42	25.64	2.510	0.597
195.7	44	31.00	3.000	0.723
204.5	46	37.24	3.550	0.868
213.5	48	44.50	4.170	1.033
222.4	50	52.88	4.860	1.220
231.3	52		5.630	1.430
240.2	54		6.470	1.660
249.0	56		7.410	1.910
258.0	58		8.450	2.200
267.0	60		9.659	2.510
275.8	62		10.84	2.850
284.5	64		12.22	3.220
293.5	66		13.73	3.620
302.5	68		15.38	4.050
311.5	70		17.19	4.520
320.0	72		19.16	5.030
329.0	74		21.32	5.570
338.0	76		23.66	6.150
347.0	78		26.22	6.780
356.0	80		29.00	7.450
364.7	82		32.00	8.200
373.6	84		35.30	8.900
382.5	86		38.80	9.800
391.4	88		42.60	10.60
400.3	90		46.80	11.60

Πηγή: Νικολαΐδης, 2002

### 4.3 Χαρακτηριστικά υπεδάφους

Ως έδαφος ορίζεται ως όλα τα υλικά, ανόργανα και οργανικά που περιβάλλουν τον φλοιό της γης υπό μορφή χαλαρών ή μαλακών αποθέσεων. (Νικολαΐδης, 2002) Υπέδαφος στο σχεδιασμό οδοστρωμάτων ονομάζεται το συμπυκνωμένο και διαμορφωμένο έδαφος στο οποίο κατασκευάζεται το οδόστρωμα. Σε περιπτώσεις που δε είναι αναγκαία η διαμόρφωση του εδάφους, το υπέδαφος ταυτίζεται με την επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

#### 4.3.1 Γενικές ομάδες εδαφών

- Κροκάλλες, χαλίκια, άμμος : κοκκώδη εδάφη όπου οι κόκκοι τους δεν έχουν συνοχή μεταξύ τους. Αυτό τα κάνει πιο ανθεκτικά σε αξονικές φορτίσεις έχοντας από μόνα τους μια σταθερότητα.
- Ιλύς: είναι έδαφος με λεπτούς κόκκους οι οποίοι έχουν συνοχή μεταξύ τους. Κοσκινίζονται με τη χρήση κοσκίνου Νο 200 (0,075 mm). Έχουν από χαμηλή σε μέτρια πλαστιμότητα και επηρεάζονται με αλλαγές της υγρασίας. Για να υπάρχει σταθερότητα στην ιλύ πρέπει να τοποθετηθούν οργανικές ουσίες όπως μαρμαρυγία.
- Άργιλος: λεπτόκοκκο έδαφος κολλοειδούς μορφής. Έχει την μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια από άλλες εδαφικές μάζες. Με την προσθήκη ασβεστίου ή νατρίου μπορεί να σταθεροποιηθεί. Έχουν από μέτρια ως μεγάλη πλαστικότητα και επηρεάζονται δραστικά με την αυξομείωση της υγρασίας (Τριανταφύλλου Α, 2013)

#### 4.3.2 Φέρουσα ικανότητα υπεδάφους

Η αντοχή του υπεδάφους καθορίζει και την διαστασιολόγηση του οδοστρώματος συνεπώς και τα πάχη των στρώσεων. Η φέρουσα ικανότητα του εδάφους απαρτίζεται από πολλούς παράγοντες όπως το μέγεθος των κόκκων και συνεκτικότητας, της υγρασίας, το εδαφικό υλικό και η συμπύκνωση. Η έκφραση της φέρουσας ικανότητας

του υπεδάφους γίνεται με βάση του Καλλιφορνιακού δείκτη ( CBR), τη τιμή της αντίστασης R, τη τιμή του μέτρου αντίδρασης K και του μέτρου επανάκτησης Mr.

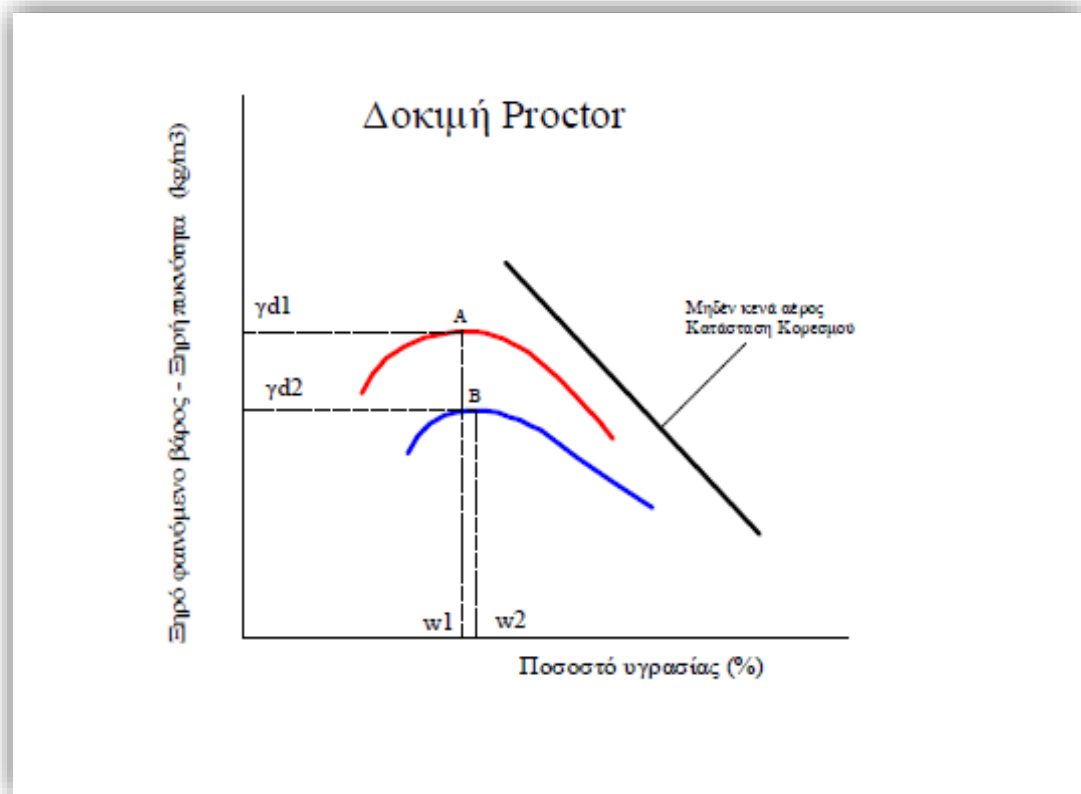
#### 4.3.3 Καλλιφορνιακός Δείκτης CBR

Είναι ο δείκτης ο οποίος καθορίζει τη κατάσταση του εδάφους σύμφωνα με τη φέρουσα ικανότητα του. Υπολογίζεται με τη δοκιμή CBR η οποία αποβλέπει το καθορισμό της φέρουσας ικανότητας, μετά τη συμπύκνωση στο εργαστήριο, όπου με τη δοκιμή PROCTOR καθορίζεται η βέλτιστη υγρασία ως πρότυπο σύγκρισης. Βασική αρχή της δοκιμής είναι να προσδιορίσει τη τιμή της αντίστασης του εδαφικού συμπτυκνωμένου υλικού σε συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε στην Καλιφόρνια στη δεκαετία του 1930 χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Ως CBR ορίζεται ο λόγος (σε %) της δύναμης η οποία απαιτείται για να διεισδύσει το έμβολο της συσκευής εντός του εδαφικού υλικού σε ένα βάθος, προς τη δύναμη που απαιτείται σε ένα πρότυπο υλικό (Νικολαΐδης, 2002).

Πρακτικά όμως όταν ο δείκτης CBR είναι μικρότερες του 3 είναι αναγκαίο να γίνει η συμπύκνωση του εδαφικού υλικού. Είναι επιθυμητό να ελέγχονται οι τιμές του CBR επιτόπου με τις εργαστηριακές τιμές. Στα χονδρόκοκκα εδάφη συνήθως οι εργαστηριακές τιμές διαφέρουν με τα αποτελέσματα στο χώρο εργασίας. Στα αργιλώδη εδάφη όμως σχετίζονται οι δύο τιμές του CBR. Ο έλεγχος είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί όταν το οδόστρωμα τοποθετείται στο υπέδαφος και αυτό δεν συμπτυκνώνεται κατά την κατασκευή.

#### 4.3.4 Δοκιμή Proctor (τροποποιημένη)

Η δοκιμή αυτή προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ της βέλτιστης υγρασίας του εδαφικού υλικού και της μέγιστης πυκνότητας. Μέσα από τη διαδικασία του πειράματος για διαφορετικές περιεκτικότητες υγρασίας, τα ζεύγη τιμών ποσοστού υγρασίας και ξηρή πυκνότητα τοποθετούνται σε γραμμικούς άξονες συντεταγμένων. Η περιεχόμενη υγρασία αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης και ονομάζεται «βέλτιστη υγρασία» για μέγιστη συμπύκνωση. (Κοφίτσας, 2006)



**Διάγραμμα 7:** Σχέση πυκνότητας-υγρασίας

#### 4.3.5 Γεωφάσματα

Στην οδοποιία το γεωφάσμα τοποθετείται στη διαχωριστική επιφάνεια σκάφης-υπόβασης ή κάτω από τα επιχώματα για να δώσουν μια σταθερότητα στο έδαφος. Επιπλέον χρησιμοποιούνται για οπλισμό ή ενίσχυση των επιχωμάτων ή σαν φίλτρα διαχωρισμού εδαφικών στρώσεων.

( Macproof - Γεωφάσματα)

#### 4.4 Επί τόπου διαθέσιμα υλικά

Ο μηχανικός είναι υπεύθυνος στο να κατασκευάσει εκτός από ένα ασφαλές οδόστρωμα, ένα οικονομικό. Έτσι θα πρέπει τα υλικά που θα επιλέξει να είναι ανθεκτικά στο χρόνο ζωής τους και να έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και μεταφοράς τους.

#### 3.5 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων προέρχονται κυρίως από τη θραύση κατάλληλων πετρωμάτων ή αποθέσεις ποταμών ή ορυχείων με ή χωρίς θραύση (Νικολαΐδης, 2002).

Για την κατασκευή υπόβασης και βάσης χρησιμοποιούνται τα αδρανή υλικά φυσικών αποθέσεων όπως είναι τα χαλίκια, αμμοχάλικα που έχουν ελαφρός σταθεροποιημένη μορφή.

##### 3.5.1 Θραυστά αδρανή πετρωμάτων

Είναι τα αδρανή που παράγονται στα λατομεία με συγκεκριμένες μηχανικές και χημικές ιδιότητες. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Πυριγενή πετρώματα

Είναι τα πετρώματα που σχηματίστηκαν από ψύξη υλικών και ανάλογα με την ταχύτητα ψύξης τους χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκης ή λεπτόκοκκης υφής. Με βάση το οξείδιο του ασβεστίου που έχουν κατατάσσονται σε όξινα ( $> 66\% \text{SiO}_2$ ) ενδιάμεσα ( $55 - 66\% \text{SiO}_2$ ) και βασικά πετρώματα ( $< 55\% \text{SiO}_2$ ). Τα βασικά πετρώματα είναι αυτά που θεωρούνται κατάλληλα για το σχεδιασμό οδοστρωμάτων.

- Ιζηματογενή πετρώματα

Σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση των ιζημάτων που απέμειναν από χρόνια στις θάλασσες. Τέτοια πετρώματα είναι ο ασβεστόλιθος, ο γύψος, ο αργιλικός σχιστόλιθος. Είναι ακατάλληλα για σκοπούς οδοποιίας και συνεπώς δε χρησιμοποιούνται.

- Μεταμορφωσιγενή πετρώματα



Είναι αποτέλεσμα των υψηλών θερμοκρασιών που μεταμορφώθηκαν σε νέα πετρώματα, λόγω της ανακρυστάλλωσης των ορυκτών. Τα πετρώματα αυτά είναι γενικά χονδρόκοκκα και έχουν μια φυλλώδη διάταξη ή σχιστότητα όπως ο σχιστόλιθος. Τέτοια πετρώματα δεν είναι επιθυμητά στην οδοποιία γιατί θα συνθλιβονται κάτω από τους οδοστρωτήρες.

Για την επιλογή της κατασκευής της κάθε στρώσης, τα αδρανή πρέπει να ελέγχονται με δοκιμές στο εργαστήριο ούτως ώστε να εξασφαλίζεται αν είναι κατάλληλα ή όχι να χρησιμοποιηθούν. Για να προσδιοριστούν οι ιδιότητες των αδρανών πρέπει να γίνουν κάποιοι έλεγχοι που αφορούν:

- Τις γενικές ιδιότητες τους
- Τις γεωμετρικές ιδιότητες τους
- Τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τους
- Τις ιδιότητες τους στις μεταβολές θερμοκρασίας
- Τις χημικές ιδιότητες τους

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται ελέγχονται για να ικανοποιήσουν κάποιες προδιαγραφές:

- Κοκκομετρική σύνθεση
- Μορφή κόκκων
- Απορρόφηση νερού
- Αντίσταση σε τριβή και κρούση
- Αντίσταση σε στίλβωση
- Αντίσταση σε απότριψη
- Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση
- Καθαρότητα

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Ιωάννης Οικονομίδης)

Για το σχεδιασμό των οδοστρωμάτων είναι αναγκαίο τα αδρανή να μπορούν να ικανοποιήσουν τις ιδιότητες αυτές. Μέσω των ελέγχων θα μπορούν τα αδρανή να αντέξουν το φόρτο και τις κλιματολογικές αλλαγές χωρίς να υπόκειται σε μόνιμες παραμορφώσεις.

## 5 Η ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ

### 5.1 Γενικά

Η πετρελαϊκή ασφαλτος είναι αυτή που κυρίως χρησιμοποιείται για την κατασκευή οδοστρωμάτων. Χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό ενώ στην κατασκευή κτιρίων χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό. Η πετρελαϊκή ασφαλτος είναι ένας σύνθετος υδρογονάνθρακας, ο οποίος παρασκευάζεται από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου.

Για το χαρακτηρισμό της ασφάλτου οι κυριότερες τεχνολογικές ιδιότητες είναι η διεισδυτικότητα, η μάλθωση, η ολκιμότητα, το σημείο ανάφλεξης, η διαλυτότητα σε συγκεκριμένο διαλύτη, η απώλεια βάρους μετά από θέρμανση και το σημείο θραύσης. Για την κατασκευή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων είναι απαραίτητο να προσδιορίζεται ο δείκτης διεισδυτικότητας που αφορά το βαθμό διεισδυτικότητας (penetration grade) και το σημείο μάλθωσης. Ο βαθμός διεισδυτικότητας αντιστοιχεί σε βύθιση της βελόνας της συσκευής διείσδυσης σε 0,1 mm. Το σημείο μάλθωσης είναι η θερμοκρασία στην οποία η ασφαλτος μετατρέπεται από στερεή σε ρευστή κατάσταση. Αυτά καθορίζουν το τύπο της ασφάλτου. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθορίζει το είδος της ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί. Σε περιοχές με θερμό κλίμα χρησιμοποιείται σκληρή ασφαλτος ενώ, σε περιοχές με ψυχρό κλίμα μαλακή ασφαλτος.

Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασιακής ευαισθησίας των ασφάλτων προτάθηκε ο δείκτης διεισδυτικότητας ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$PI = \frac{1952 - 500 \log Pen_{25} - 20 \Sigma M}{50 \log Pen_{25} - \Sigma M - 120}$$

### 5.2 Ασφαλτικά γαλακτώματα

Η γαλακτωματοποίηση της ασφάλτου είναι ένας τρόπος διάλυσης της ασφάλτου σε νερό. Με την χρήση των γαλακτωμάτων δεν είναι αναγκαίο να θερμανθεί σε κανένα στάδιο εφαρμογής. Επιπλέον, οι γαλακτωματοποιητές έχουν από τη φύση τους συγκολλητικές ιδιότητες, οι οποίες προστιθέμενες σε αυτήν της ασφάλτου αυξάνουν περαιτέρω την συγκολλητική της ικανότητα.

Τα γαλακτώματα πρέπει να πληρούν ιδιότητες, όπως ιξώδες και καθίζηση ώστε να μπορούν να καλύψουν κατάλληλα τα αδρανή, να αποθηκεύονται χωρίς να διασπώνται και να έχουν την κατάλληλη ποιότητα και περιεκτικότητα σε άσφαλτο.

Ο ρυθμός διάσπασης του γαλακτώματος είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την καλή συμπεριφορά της ασφάλτου. Η διάσπαση του ασφαλτικού γαλακτώματος φαίνεται από την αλλαγή του χρώματός του, από καφέ σε μαύρο, και εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- (i) Τη σύνθεση του γαλακτώματος
- (ii) Την ταχύτητα εξάτμισης του νερού
- (iii) Την απορροφητικότητα των αδρανών
- (iv) Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αδρανών
- (v) Η μηχανική παρενόχληση του ασφαλτομίγματος κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και διάστρωσης του.

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Ιωάννης Οικονομίδης)

Για τα ασφαλτικά γαλακτώματα πρέπει να γίνονται κάποιοι έλεγχοι, όπως αυτοί του ιξώδες, καθίζησης, σταθερότητας, τσιμέντου και αντίστασης σε νερό.

### 5.3 Εκτίμηση του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου

Ο Van der Poel απέδειξε ότι το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου μπορεί να εκτιμηθεί από το σημείο μάλθωσης, το PI και το χρόνο φόρτισης, κάνοντας χρήση του νομογραφήματος που πρότεινε. (Νομογράφημα 1.1 παράρτημα I)

(Νικολαΐδης, 2002)

## 5.4 Ασφαλτομίγματα

### 5.4.1 Γενικά

Είναι ένα μείγμα αδρανών με άσφαλτο με σκοπό τη μέγιστη αντοχή. Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής ενός ασφαλτομίγματος χωρίζονται σε θερμά και ψυχρά ασφαλτομίγματα. Για την σωστή παραγωγή του ασφαλτομίγματος είναι απαραίτητο να υπάρχει το σωστό ποσοστό των αδρανών(με τη σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση). Τα ασφαλτομίγματα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους οι οποίοι διαχωρίζονται με βάση:

- Την αντιστοιχιστικότητα και το βάθος υφής
- Την αντίσταση σε παραμένουσα παραμόρφωση
- Το πορώδες
- Την αναμενόμενη διάρκεια ζωής
- Την ποσότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται
- Τη συμμετοχή στην αντοχή οδοστρώματος

### 5.4.2 Μελέτη σύνθεσης ασφαλτομίγματος

Σκοπός της μελέτης σύνθεσης ασφαλτομίγματος είναι ο καθορισμός του οικονομικότερου μίγματος αδρανών και συνδετικού υλικού, το οποίο να εξασφαλίζει ένα οδόστρωμα με επαρκή ποσότητα ασφάλτου, επαρκή ευστάθεια στο μίγμα, επαρκή εργασιμότητα και ποσότητα κενών αέρος στο μίγμα. Για να καθορίσουμε τη ποσότητα της ασφάλτου χρησιμοποιούμε τη μέθοδο Marshall κατά το Asphalt Institute και τα κριτήρια στους πιο κάτω πίνακες:

**Πίνακας 3:** Κριτήρια Marshall

Κριτήρια Marshall	Μικρός κυκλοφορ. φόρτος	Μεσαίος κυκλοφορ. φόρτος	Μεγάλος κυκλοφορ. φόρτος
Συμπύκνωση, κτύπος	2X35	2X50	2X75
Ελάχιστη ευστάθεια, KN	3.34	5.34	8.0
Παραμόρφωση, mm	2.0-4.5	2.0-4.0	2.0-3.5
Κενά αέρος % VIM	3-5	3-5	3-5
Κενά που γέμισαν με άσφαλτο, VFA	70-80	65-78	65-75

*Πηγή: Νικολαΐδης, 2002*

**Πίνακας 4:** Κριτήριο Marshall για VMA

Ονομαστικό μέγεθος αδρανών (MM)	Ελάχιστο VMA(%) για κενά αέρος		
	3%	4%	5%
25.0	11	12	13
19.0	12	13	14
12.5	13	14	15
9.5	14	15	16

*Πηγή: Νικολαΐδης, 2002*

#### 5.4.3 Ελαστικό μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος

Για να γίνει δυνατή η χρήση του νομογραφήματος 1.2 που βρίσκεται στο παράρτημα Ι, και να υπολογιστεί το μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος χρειάζονται:

- Το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου, σε Pa
- Ο όγκος της ασφάλτου στο μίγμα, σε ποσοστό
- Ο όγκος των αδρανών στο μίγμα, σε ποσοστό

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου είναι μεγαλύτερο από  $5 \times 10^6$  Pa που είναι οι συνθήκες υψηλής δυσκαμψίας κατάλληλες για κινούμενα φορτία (μικρός χρόνος φόρτισης).

## 6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

### 6.1 Γενικά

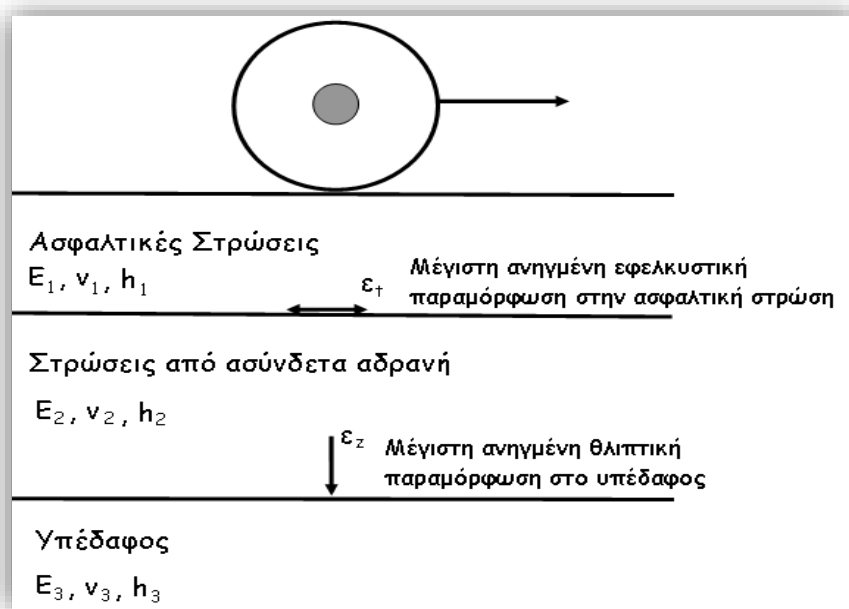
Η διαστασιολόγηση του εύκαμπτου οδοστρώματος αφορά το προσδιορισμό του πάχους των διαφόρων στρώσεων που αποτελούν το οδόστρωμα και το είδος των υλικών που θα εξυπηρετεί τον κυκλοφοριακό φόρτο και τις κλιματολογικές συνθήκες. Το πάχος του οδοστρώματος πρέπει να κατανέμει τα φορτία με τέτοιο τρόπο που οι τάσεις που μεταφέρονται στο έδαφος να μην ξεπερνούν τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους. Επιπλέον οι τάσεις που αναπτύσσονται σε κάθε στρώση να μην υπερβαίνουν τις τάσεις που μπορούν να παραλάβουν τα υλικά της κάθε στρώσης.

Τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού ενός εύκαμπτου οδοστρώματος φαίνονται πιο κάτω:

(α) Το πάχος της βάσης και υπόβασης από ασύνδετα αδρανή και της εξυγιαντικής στρώσης πρέπει να είναι τόσο ώστε είναι ικανό να αντέξει τις διελεύσεις των μηχανικών οχημάτων στο εργοτάξιο.

(β) Το υπέδαφος θα πρέπει να μπορεί να παραλάβει τα επαναλαμβανόμενα φορτία της κυκλοφορίας χωρίς να παρουσιάζεται μεγάλη παραμόρφωση στην επιφάνεια του. Αυτό το καθορίζει η μέγιστη ανηγμένη θλιπτική παραμόρφωση (τροπή) στο έδαφος.

(γ) Οι ασφαλικές στρώσεις δεν πρέπει να ρηγματώνονται κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας. Αυτό το καθορίζει η μέγιστη ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση στην ασφαλική στρώση ( Νικολαΐδης, 2002).

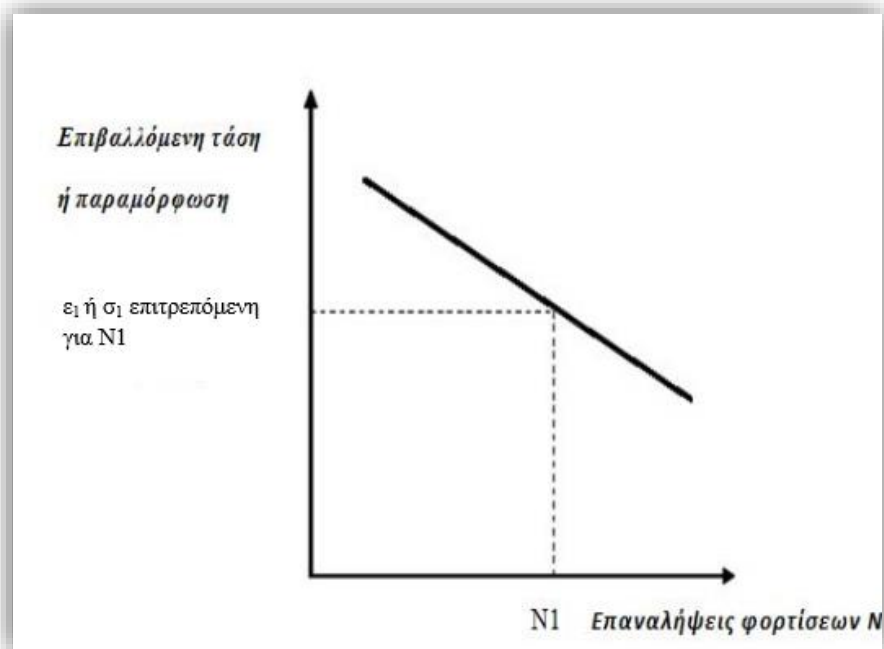


Αυτά τα κριτήρια χρησιμοποιούνται για όλες τις μεθοδολογίες διαστασιολόγησης. Βασίζονται στη θεωρία της ελαστικότητας όπου το οδόστρωμα και τα υλικά που το αποτελούν χαρακτηρίζονται από το μέτρο ελαστικότητας ή επανάκτησης και το λόγο του Poisson. Τα υλικά θεωρούνται ότι δεν αλλάζουν τις ιδιότητες τους για όλες τις κατευθύνσεις και έχουν απεριόριστες διαστάσεις στην οριζόντια διεύθυνση. Για τον υπολογισμό των οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται οι αναλυτικές και οι ημι-αναλυτικές μεθοδολογίες.

Οι αναλυτικές μεθοδολογίες οι οποίες υπολογίζονται οι τάσεις και οι παραμορφώσεις στα κρίσιμα σημεία του οδοστρώματος οι οποίες σχετίζονται και συγκρίνονται με τα μέγιστα επιτρεπτά για τα προτεινόμενα πάχη των στρώσεων.

Οι ημι-αναλυτικές μεθοδολογίες υπολογίζουν τα πάχη των στρώσεων από νομογραφήματα και διαγράμματα μέσα από αναλυτικούς υπολογισμούς.

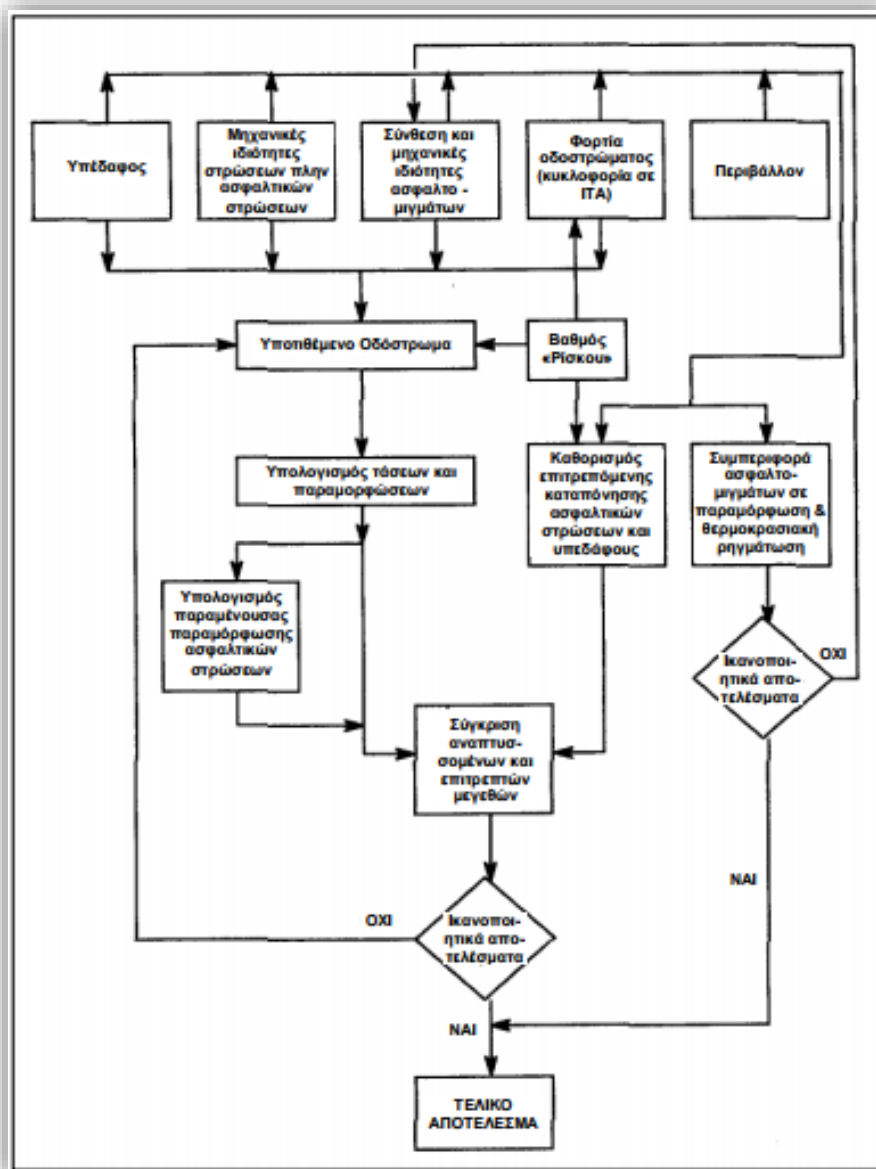
Η κύρια διαφορά μεταξύ των διαφόρων μεθοδολογιών είναι η σχέση η οποία συσχετίζει την ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση με τον αριθμό των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων που επιφέρει κόπωση του οδοστρώματος από ρηγμάτωση.



**Διάγραμμα 9 :** Προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τιμής της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης από τις επαναλήψεις φορτίσεων



Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν συστήματα τριών ή και περισσοτέρων στρώσεων τα οποία προσομοιάζουν ακριβώς την πραγματική κατάσταση των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Με την αύξηση του αριθμού των στρώσεων γίνεται πιο δύσκολος ο υπολογισμός των τάσεων και των παραμορφώσεων με αποτέλεσμα να είναι σχεδόν αδύνατη η χρήση νομογραφημάτων που να καλύπτουν όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μεταβολής των χαρακτηριστικών των στρώσεων. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν ειδικά προγράμματα σε Η/Υ.



**Διάγραμμα 10 :** Γενικό λογικό διάγραμμα αναλυτικής μεθόδου ανάλυσης εύκαμπτου οδοστρώματος (Τσώχος Γ, 1984)

### *Μέτρο επανάκτησης εδάφους*

Το μέτρο επανάκτησης (ΜΓ) του εδάφους ή αλλιώς μέτρο ελαστικότητας είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν το σχεδιασμό των οδοστρωμάτων. Με βάση τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους CBR και κάποιων εξισώσεων μπορεί να υπολογιστεί η σχεδιαστική τιμή του ΜΓ. Έτσι ο μηχανικός μπορεί να υπολογίσει και στη συνέχεια να διαστασιολογήσει με διάφορες μεθόδους τα εύκαμπτα οδοστρώματα.

### *Καθορισμός Μέσης Ετήσιας Θερμοκρασίας Ασφάλτου (ΜΕΘΑ)*

Στο σχεδιασμό των οδοστρωμάτων σημαντικός παράγοντας είναι και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Ανάλογα με τη μέση ετήσια θερμοκρασία μπορεί να καθοριστεί ο τύπος της ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί στη βάση ή στην επιφανειακή στρώση (βλ. πίνακα 5).

## 7 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

### 7.1 Μέθοδος Asphalt Institute

Η μέθοδος αυτή συμπληρώθηκε το 1991 και χρησιμοποιεί την ελαστική θεωρία σε πολυστρωματικό σύστημα. Υπολογίζει τα πάχη των στρώσεων με τα πιο πάνω κριτήρια σχεδιασμού θεωρώντας ότι η «βάση» είναι το σύνολο της βάσης που γνωρίζουμε και της υπόβασης με ασύνδετα αδρανή και ασφαλτικές στρώσεις. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ψυχρό ασφαλτόμιγμα και βάση από ασύνδετα αδρανή. Για τα πάχη της κάθε στρώσης χρησιμοποιούμε νομογραφήματα . Η διαδικασία σχεδιασμού με αυτή τη μέθοδο έχει ως εξής:

#### *7.1.1 Υπολογισμός κυκλοφοριακού φόρτου*

Ο καθορισμός του συνολικού αριθμού Ισοδυνάμων Τυπικών Αξόνων για όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος επιτυγχάνεται αφού καθορισθεί:

- i. Η σύνθεση της κυκλοφορίας δηλαδή ο αριθμός και το βάρος αξόνων ανά όχημα κατά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του οδοστρώματος.
- ii. Το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα το οποίο εξαρτάται από το συνολικό αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας και από την κίνηση των οχημάτων σε κάθε κατεύθυνση. Για νέους δρόμους, το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα καθορίζεται από τον πιο κάτω πίνακα.
- iii. Το ποσοστό της ετήσιας αύξησης των οχημάτων. Το ποσοστό αυτό εκτιμάται για όλη τη διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος. Για την εκτίμηση χρειάζεται να βασιστούμε σε παλιές μελέτες δρόμων της περιοχής και με ετήσια αύξηση βάση στατιστικών. Συνεπώς προκύπτει ο συντελεστή επαύξησης λ.

(Νικολαΐδης Α., 2002)

**Πίνακας 5:** Καθορισμός τύπου ασφάλτου με βάση τη ΜΕΘΑ

Καιρικές συνθήκες	Τύπος Ασφάλτου ( Pen )
Κρύος καιρός ΜΕΘΑ < 7°C	85/100 – 120/150
Θερμός καιρός ΜΕΘΑ 7°C - 24°C	60/70- 85/100
Ζεστός καιρός ΜΕΘΑ ≥ 24 °C	40/50 – 60/70

Πηγή: Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II-Ιωάννης Οικονομίδης

**Πίνακας 6:** Ποσοστά οχημάτων στην σχεδιαστική λωρίδα

Συνολικός αριθμός λωρίδων και κατευθύνσεις	αριθμός στις 2	Ποσοστό οχημάτων στη λωρίδα μελέτης (πιθανό εύρος τιμών)	Ποσοστό οχημάτων στη λωρίδα μελέτης (τιμές σχεδιασμού)
2		50%	50%
4		35-48%	45%
6 ή περισσότερες		25-48%	40 %

Πηγή: Asphalt Institute 1991

Υπολογίζεται ο κυκλοφοριακός φόρτος εκφραζόμενος σε ΙΤΑ για όλη τη σχεδιαστική διάρκεια του οδοστρώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σύνθεση κυκλοφορίας κατά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας, το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα και το ποσοστό της ετήσιας αύξησης οχημάτων.

Συνολικός αριθμός ΙΤΑ= ετήσιος αριθμός ΙΤΑ x λ

Όπου,  $\lambda = [(1+r)^n] / r$

r= επί τοις εκατό ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας

n= η διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής του οδοστρώματος σε έτη

### 7.1.2 Υπέδαφος

#### Εργαστηριακοί έλεγχοι υλικών υπεδάφους

Για τον σχεδιασμό οδοστρωμάτων είναι απαραίτητο να καθοριστεί το μέτρο επανάκτησης  $M_r$ . Το υπέδαφος αλλάζει σε διάφορα σημεία γι' αυτό πρέπει να συλλέγονται δείγματα από διάφορα σημεία του από διάφορα εδάφη. Εάν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στα δείγματα είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί διαφορετική διαστασιολόγηση στις διάφορες περιοχές. Σε περιπτώσεις που το  $M_r$  και το CBR του υπεδάφους έχουν πολύ χαμηλές τιμές τότε θα πρέπει να αντικατασταθεί με ένα υλικό καλύτερης ποιότητας ή το πάχος του οδοστρώματος στις περιοχές αυτές να μεγαλώσει.

#### Καθορισμός της σχεδιαστικής τιμής $M_r$

Σε περιπτώσεις που εκτιμάται εργαστηριακά το CBR, το μέτρο επανάκτησης μπορεί να υπολογιστεί από την πιο κάτω σχέση:

$$M_r = 10.3 \times \text{CBR} \quad (\text{MPa})$$

Για τη σχεδιαστική τιμή του  $M_r$  του εδάφους έδρασης λαμβάνεται υπόψη ο κυκλοφοριακός φόρτος. Οι διάφορες τιμές του  $M_r$  στα διάφορα σημεία κατατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά και ξεκινώντας από την ελάχιστη τιμή, καθορίζεται πόσες είναι οι τιμές που είναι μεγαλύτερες ή ίσες της τιμής αυτής. Με τα ποσοστά αυτά γίνεται μια γραφική παράσταση. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα(ποσοστό τιμής  $M_r$  σε σχέση με κυκλοφοριακό φόρτο) και τη γραφική παράσταση υπολογίζεται η σχεδιαστική τιμή  $M_r$ .

**Πίνακας 7:** Ποσοστά για καθορισμό της σχεδιαστικής τιμής  $M_r$

Κυκλοφοριακός φόρτος σε ΙΤΑ	Ποσοστό σχεδιαστικής τιμής $M_r$
$<10^4$	60
$10^4$ - $10^6$	75
$>10^6$	87.5

Πηγή: Asphalt Institute 1991

### Συμπύκνωση εδάφους έδρασης

Στις περιπτώσεις που θα χρησιμοποιηθεί εξυγιαντική στρώση ή σε διαταράξεις του εδάφους είναι αναγκαίο να ελέγχεται η συμπύκνωση των στρώσεων.

### 7.1.3 Επιλογή υλικών στρώσεων

#### Βάση και υπόβαση με ασύνδετα αδρανή

Για τα υλικά βάσης και υπόβασης είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του πιο κάτω πίνακα και οι προδιαγραφές των υλικών με βάση τις Αμερικανικές προδιαγραφές ASTM D 2940.

**Πίνακας 8:** Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης από ασύνδετα αδρανή

Έλεγχος	Απαιτήσεις	
	Υπόβαση	Βάση
CBR, min	20	80
Τιμή – R, min	55	78
Όριο Υδαρότητας, max	25	25
Δείκτης Πλαστικότητας, max	6	N.P
Ισοδύναμο Άμμου, min	25	35
Φίλλερ, max	12	7

Πηγή: Asphalt Institute 1991

Η διαστασιολόγηση με αυτόν τον τρόπο γίνεται με τη βοήθεια των νομογραφημάτων που φαίνονται στο παράρτημα II. Τα νομογραφήματα αφορούν ΜΕΘΑ 15.5 βαθμούς κελσίου, η οποία αντιπροσωπεύει τη Κύπρο μας. Όμως, υπάρχουν πολλά νομογραφήματα τα οποία διαφοροποιούνται με τιμές της θερμοκρασίας. Τα πάχη των

νομογραφημάτων για συνολικό πάχος βάσης και υπόβασης 150 mm ή 300 mm στρώση από ασύνδετα αδρανή. Το ελάχιστο πάχος για στρώση βάσης είναι 150 mm, ενώ τα ελάχιστα πάχη για ασφαλτική στρώση φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

**Πίνακας 9:** Ελάχιστο πάχος ασφαλτικών στρώσεων

Κυκλοφοριακός φόρτος σε ΙΤΑ	Ελάχιστο πάχος ασφαλτικών στρώσεων
<10 <sup>4</sup>	75
10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	100
>10 <sup>6</sup>	>125

*Πηγή: Νικολαΐδης, 2002*

Για το συγκεκριμένο μας πρόβλημα σχεδιασμού ΕΟ, με CBR= 12% και κυκλοφοριακό φόρτο 25 εκατομμύρια ΙΤΑ, φαίνεται σχεδιασμένο στο παράρτημα 2, νομογράφημα 2.2.

#### *Ασφαλτική βάση και τάπητας κυκλοφορίας*

##### I) Θερμά ασφαλτομίγματα

Τα θερμά ασφαλτομίγματα είναι το ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου και χρησιμοποιείται ως ασφαλτική βάση και ως τάπητας κυκλοφορίας. Η σύνθεση και ο έλεγχος κυκλοφορίας γίνεται με τη μέθοδο Marshall.

##### II) Ψυχρά ασφαλτομίγματα

Διακρίνονται σε τύπους:

Τύπος I: από θραυστά διαβαθμισμένα αδρανή κλειστού τύπου

Τύπος II: από ημίθραυστα φυσικά αδρανή

Τύπου III: Θραυστή ή μίγμα θραυστής ή φυσικής άμμου

Για τη διαστασιολόγηση τους χρησιμοποιούνται νομογραφήματα από το Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου, των τριών αυτών τύπων δίνοντας το συνολικό πάχος των στρώσεων. Το ψυχρό τύπου I χρησιμοποιείται σε όλο το πάχος με τη χρήση επιφανειακής στρώσης. Το πάχος μπορεί επίσης να αποτελείται από τον τάπητα

κυκλοφορίας με θερμό ασφαλτόμιγμα κλειστού τύπου και το υπόλοιπο με ψυχρό τύπου II ή III.

## 7.2 Μέθοδος AASHTO

Η μέθοδος αυτή βασίστηκε στο πείραμα του AASHO και την αρχική μεθοδολογία του οργανισμού, η οποία τελειοποιήθηκε το 1986 και ισχύει μέχρι σήμερα. Η μεθοδολογία διαστασιολόγησης των εύκαμπτων οδοστρωμάτων σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο δεν συμπεριλαμβάνει κριτήρια για την αστοχία όπως η παραμόρφωση ή η κόπωση αλλά συνδυάζει την αξιοπιστία (R) της μελέτης και το δείκτη εξυπηρέτησης του πελάτη (PSI). Ο δείκτης εξυπηρέτησης του πελάτη είναι υποκειμενικός και έχει μέγιστη τιμή το 5. Για τον σχεδιασμό είναι αδύνατον όμως όλοι οι πελάτες να είναι πλήρως ευχαριστημένοι γι' αυτό και παίρνει τιμές μέχρι 4.2 με βάση τις έρευνες. Τα στοιχεία που καθορίζουν τις σχεδιαστικές παραμέτρους για τη διαστασιολόγηση είναι:

### 7.2.1 Δείκτης εξυπηρετικότητας πελατών ή δείκτης παρούσας λειτουργικότητας

Ο δείκτης εξυπηρετικότητας συνδέει τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος και την ποιότητα οδήγησης. Ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 0 (απαράδεκτη ποιότητα οδήγησης) έως 5 (άριστη ποιότητα οδήγησης). Στις ΗΠΑ, η τιμή του PSI για νέα οδοστρώματα πρέπει να έχει τιμή μεταξύ 4,2 έως 4,7, ανάλογα με την ποιότητα κατασκευής. Η τιμή του δείκτη μειώνεται σταδιακά με το χρόνο. Η τιμή 2,5 συνήθως θεωρείται ως επίπεδο προειδοποίησης για αποκατάσταση του οδοστρώματος. Όταν ο δείκτης έχει τιμή μικρότερη του 2,0, το οδόστρωμα θεωρείται ότι βρίσκεται σε κακή κατάσταση και απαιτείται άμεση αποκατάστασή του. Για νέους αυτοκινητόδρομους ο δείκτης είναι 2.5.

*Εξυπηρετικότητα οδοστρώματος:*

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$



### 7.2.2 Χρονικός ορίζοντας σχεδιασμού

Για τον καλύτερο σχεδιασμό του οδοστρώματος είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του, η οποία χαρακτηρίζεται από τους όρους «περίοδος ανάλυσης» και «περίοδος συμπεριφοράς».

Η περίοδος ανάλυσης ζωής του οδοστρώματος είναι η συνολική ζωή του οδοστρώματος κατά την οποία συμπεριλαμβάνεται η συντήρηση και η αποκατάσταση του. Οι προτεινόμενες τιμές διάρκειας σχεδιασμού φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Η περίοδος συμπεριφοράς ορίζεται ως η χρονική περίοδος που ακόμα το οδόστρωμα είναι ικανό να εξυπηρετεί με ικανοποίηση τους πελάτες δηλαδή πριν ακόμα χρειαστεί αποκατάσταση. Η ελάχιστη περίοδος συμπεριφοράς είναι 10 χρόνια ενώ η μέγιστη 20 χρόνια.

**Πίνακας 10:** Προτεινόμενες περίοδοι ανάλυσης

Κατηγορία Δρόμου	Περίοδος Ανάλυσης
Αστικοί δρόμοι με υψηλό κυκλοφορ. φόρτο	30-50 έτη
Υπεραστικοί δρόμοι με υψηλό κυκλοφορ. φόρτο	20-50 έτη
Ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι μικρού κυκλοφορ. φόρτου	15-25 έτη
Μη Ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι μικρού κυκλοφορ. φόρτου	10-20 έτη

Πηγή: AASHTO 1993

### 7.2.3 Κυκλοφοριακός φόρτος

Ο κυκλοφοριακός φόρτος εκφράζεται και σε αυτή τη μέθοδο με ΙΤΑ. Η μετατροπή του σε ΙΤΑ γίνεται με τη βοήθεια των συντελεστών ισοδυναμίας που είναι συνάρτηση του αξονικού φορτίου και της τελικής τιμής (Pt) ,του δείκτη εξυπηρετικότητας του χρήστη και του δομικού αριθμού (SN) του οδοστρώματος. Για νέα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται συντελεστές  $Pt= 2,5$  και  $SN=5$ .

Ο αριθμός των ισοδύναμων αξόνων στην λωρίδα μελέτης ( $W_{18}$ ) υπολογίζεται από την σχέση

$$W_{18} = D_D \times D_L \times w_{18}$$

Όπου,

$D_D$  = ποσοστό κατανομής αξόνων ανά κατεύθυνση

$D_L$  = ποσοστό χρήσης λωρίδας

$w_{18}$  = συνολικός αριθμός ΙΤΑ για όλη την χρονική διάρκεια της ανάλυσης και στις δύο κατευθύνσεις

**Πίνακας 11:** Κατανομή αξόνων στη λωρίδα μελέτης

Αριθμός λωρίδων σε κάθε κατεύθυνση	% ΙΤΑ στην λωρίδα μελέτης - $D_L$
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Πηγή: AASHTO 1993

#### 7.2.4 Αξιοπιστία

Ορίζεται η πιθανότητα για την οποία η διαστασιολόγηση του οδοστρώματος φέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα για όλο το κύκλο ζωής του, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις διάφορες μεταβολές που μπορεί να προκύψουν. Τα προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας υπολογίζονται αναλόγως με την κατηγορία της οδού και την περιοχή την οποία μελετά ο μηχανικός. Ο υπολογισμός της φαίνεται από τον πιο κάτω πίνακα:

**Πίνακας 12:** Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας

Κατηγορία δρόμου	Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας, R	
	Αστικές περιοχές	Υπεραστικές περιοχές
Αυτοκινητόδρομοι	85-99%	80-99.9%
Κύριες αρτηρίες	80-99%	75-95%
Δευτερεύουσες αρτηρίες	80-95%	75-95%
Δρόμοι τοπικής σημασίας	50-80%	50-80%

Πηγή: AASHTO 1993

### 7.2.5 Ιδιότητες υλικών

#### 7.2.5.1 Μέτρο επανάκτησης εδάφους

Για τον υπολογισμό της σχεδιαστικής τιμής του  $M_r$ , καθορίζεται μια ισοδύναμη τιμή της με τη βοήθεια των συντελεστών σχετικής καταστροφής  $u_f$ . Οι συντελεστές αυτοί σχετίζονται με τη καταστροφή που θα υποστεί το έδαφος σε διάφορες εποχές και καιρικές συνθήκες. Με τον υπολογισμό του μέσου όρου του συντελεστή υπολογίζεται η σχεδιαστική τιμή  $M_r$  του υπεδάφους.

$$u_f = 1.18 \times 10^8 \times M_r^{-2.32}$$

#### 7.2.5.2 Συντελεστές στρώσεων

Με τη μέθοδο AASHTO το πάχος της κάθε στρώσης υπολογίζεται σύμφωνα με το δομικό αριθμό SN. Για τον υπολογισμό του αριθμού αυτού χρειάζεται να γνωρίζουμε το μέτρο επανάκτησης, τον κυκλοφοριακό φόρτο, την εξυπηρετικότητα πελατών και την αξιοπιστία. Ωστόσο, οι δομικοί συντελεστές εξαρτώνται από το υλικό της κάθε

στρώσης δηλαδή ασύνδετα αδρανή ή ασφαλτομίγματα. Ο δομικός αριθμός για κάθε στρώση υπολογίζεται ως εξής:

$$SN_i = a_i \times D_i$$

$D_i$  : πάχος κάθε στρώσης  $i$

Για το συνολικό πάχος χρησιμοποιούμε την πιο κάτω σχέση αναλόγως με τις στρώσεις που έχουμε.

$$SN = \sum a_i \times D_i = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \dots \dots \dots$$

Οι συντελεστές της κάθε στρώσης  $a_i$  σχετίζονται με τα υλικά κατασκευής τους και χωρίζονται στις πιο κάτω κατηγορίες

- (i) Ασφαλτομίγματα
- (ii) Ασύνδετα υλικά βάσης
- (iii) Ασύνδετα υλικά υπόβασης
- (iv) Ισχνά μίγματα με τσιμέντο
- (v) Ισχνά μίγματα με άσφαλο

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II-Ιωάννης Οικονομίδης)

Τα νομογραφήματα για τον υπολογισμό τους φαίνονται στο παράρτημα 3.

### 7.2.5.3 Χαρακτηριστικά κατασκευής οδοστρώματος

Κύριο χαρακτηριστικό για τη διαστασιολόγηση των εύκαμπτων οδοστρωμάτων είναι η ικανότητα της κατασκευής να αποστραγγίζεται από τα νερά της βροχής. Στον πιο κάτω πίνακα προτείνονται οι συντελεστές αποστράγγισης οι οποίοι επηρεάζουν τον υπολογισμό του δομικού αριθμού.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 + \dots a_n \times D_n \times m_n$$

**Πίνακας 13:** Συντελεστές αποστράγγισης στρώσεων  $m_2, m_3$

Ικανότητα Αποστράγγισης	Ποσοστό χρόνου που το οδόστρωμα εκτίθεται σε υγρασία που πλησιάζει την κατάσταση κορεσμού			
	< 1%	1 – 5%	5 – 25%	> 25%
Άριστη (Αποστράγγιση σε δύο ώρες)	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Καλή (Αποστράγγιση σε μια μέρα)	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Μέτρια (Αποστράγγιση σε μια βδομάδα)	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Κακή (Αποστράγγιση σε ένα 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

Πηγή: AASHTO 1993

Στις περιπτώσεις με σκυροδέματα ασφάλτου ή ισχνά σκυροδέματα οι συντελεστές θεωρούνται ως μονάδα.

#### 7.2.5.4 Υπολογισμός πάχους εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Ο Υπολογισμός του πάχους σε αυτή τη μέθοδο μπορεί να αναπτυχθεί με δυο τρόπους. Ταυτόχρονα όμως και οι δυο τρόποι χρησιμοποιούν το νομογράφημα του παραρτήματος 3, το οποίο επιλύει την εξίσωση του πειράματος AASHTO.

(1) με τον καθορισμό του δομικού αριθμού του οδοστρώματος

Για τον υπολογισμό του δομικού αριθμού SN χρειάζεται να γνωρίζουμε

- (i) Το ισοδύναμο μέτρο επανάκτησης του υπεδάφους
- (ii) Ο συνολικός αριθμός των ΙΤΑ στην λωρίδα μελέτης (  $W_{18}$  )
- (iii) Η αξιοπιστία (R)
- (iv) Η τυπική απόκλιση (  $S_o$  )
- (v) Η απώλεια του δείκτη εξυπηρετικότητας ( $\Delta PSI$ )

Ο τελικός συνδυασμός που επιλέγεται και ικανοποιεί τα πάχη των στρώσεων γίνεται με βάση το οικονομικό συμφέρον του πελάτη.

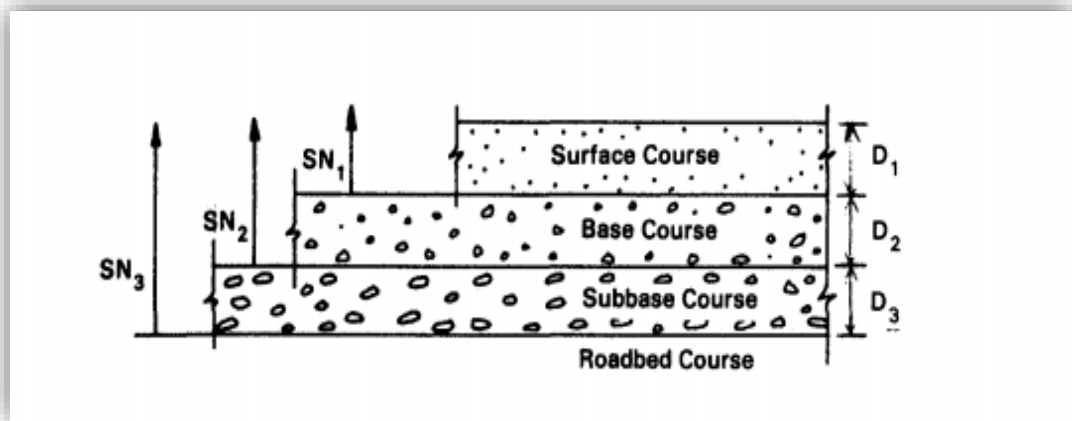
**Πίνακας 14** : ελάχιστα πάχη στρώσεων

Κυκλοφοριακός Φόρτος	Ελάχιστα Πάχη Στρώσεων (mm)	
	Στρώσεις από Ασφαλικό Σκυρόδεμα	Στρώσεις από Ασύνδετα Αδρανή
< 50000	25	100
50001 - 150000	50	100
150001 - 500000	62.5	100
500001 -2000000	75	150
2000001 -7000000	87.5	150
> 7000000	100	150

Πηγή: AASHTO 1993

(2) με βάση του δομικού αριθμού σε πολυστρωματικό επίπεδο

Σκοπός της μεθόδου να προστατέψει κάθε στρώση. Έτσι ξεκινά από την επιφανειακή στρώση, ακολουθεί η βάση και η υπόβαση χρησιμοποιώντας το μέτρο επανάκτησης της κάτω στρώσης. Για τη διαστασιολόγηση ακολουθείται η πιο κάτω διαδικασία



**Διάγραμμα 11** :Υπολογισμός SN σε σύστημα πολλαπλών στρώσεων (AASHTO, 1993)

Αφού υπολογισθεί το  $SN_1$  χρησιμοποιώντας το  $Mr$  της βάσης, βρίσκουμε το πάχος της επιφανειακής στρώσης. Στη συνέχεια προσδιορίζουμε ξανά το δομικό αριθμό της πρώτης στρώσης με το τελικό πάχος στρώσης. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τα πάχη των άλλων στρώσεων με  $Mr$  υπόβασης και υπεδάφους αντίστοιχα.

$$D^*_1 \geq SN_1 / a_1$$

$$SN^*_1 = D^*_1 \cdot a_1$$

$$D^*_2 \geq (SN_2 - SN^*_1) / a_2 \cdot m_2$$

$$SN^*_2 = D^*_1 \cdot a_1 + D^*_2 \cdot a_2 \cdot m_2$$

$$D^*_3 \geq (SN_3 - SN^*_2) / a_3 \cdot m_3$$

Όπου,

$a_1, a_2, a_3$  : οι συντελεστές στρώσεων με βάση το υλικό κατασκευής τους και το  $Mr$

$D_1, D_2, D_3$  : τα πάχη των τριών στρώσεων

$m_2, m_3$  : οι συντελεστές αποστράγγισης

- Για το παράδειγμα του ΕΟ που έχω και φαίνεται στο παράρτημα 3, νομογράφημα 3.6 με κυκλοφοριακό φόρτο 22.5 εκατομμύρια ΙΤΑ και  $M_r=30\ 000$  psi.

### 6.1 Μέθοδος Τμήματος Δημοσίων Έργων Κύπρου

Το Τμήμα Δημοσίων Έργων της Κύπρου έβαλε σε εφαρμογή τη μέθοδο διαστασιολόγησης το 1989. Για να μπορεί να γίνει η διαστασιολόγηση και ο υπολογισμός του πάχους κάθε στρώσης, η μέθοδος αυτή διαχωρίζει τα οδοστρώματα σε τρεις τύπους.

1. *Οδόστρωμα τύπου NP1 ή ελαφρύ οδόστρωμα:* Βάση και υπόβαση από ασύνδετα αδρανή και ασφαλτική επιφανειακή στρώση. Χρησιμοποιείται για απλούς δρόμους και όχι για πολύ μεγάλους φόρτους.
2. *Οδόστρωμα τύπου NP2 ή οδόστρωμα βαρέως τύπου:* Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή και βάση και επιφανειακή στρώση από ασφαλτικά υλικά. Χρησιμοποιείται συνήθως σε αυτοκινητόδρομους ή δρόμους με πολύ μεγάλους φόρτους.
3. *Οδόστρωμα τύπου NP3:* Οδόστρωμα από ασύνδετα αδρανή με ασφαλτική επάλειψη χωρίς δομική αντοχή. Χρησιμοποιείται σε «χωμάτινους» δρόμους ή σε περιπτώσεις όπου ο φόρτος είναι πολύ μικρός.

Με την διεξαγωγή των απαραίτητων ελέγχων πριν τη μελέτη αλλά και κατά τη διάρκεια της κατασκευής του οδοστρώματος μετριέται ο καλλιφορνιακός δείκτης CBR της στρώσης έδρασης. Οι έλεγχοι για τον υπολογισμό της τιμής του CBR μπορεί να γίνονται είτε στο εργοτάξιο είτε στο εργαστήριο. Όταν είναι αδύνατη η μέτρηση της τιμής του CBR πριν την ανάλυση, το εγχειρίδιο παραθέτει πίνακα για την εκτίμησή της



με βάση την κατηγορία του εδάφους (που έχει προκύψει από την ταξινόμηση των εδαφικών υλικών).

#### 7.2.5.5 Φέρουσα ικανότητα εδάφους

Αυτή η μέθοδος χαρακτηρίζει τα υλικά πάλι με το μέτρο επανάκτησης, το οποίο εξαρτάται από τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους που μετρείται σε CBR για τη στρώση έδρασης. Σε περιπτώσεις όπου είναι αδύνατη η μέτρηση της τιμής CBR, υπάρχει πίνακας αναλόγως της ταξινόμησης των εδαφικών υλικών.

Η σχεδιαστική τιμή του CBR υπολογίζεται από τον πιο κάτω πίνακα:

**Πίνακας 15:** Σχεδιαστική τιμή CBR

Σχεδιαστική Τιμή CBR (%)	2	3	6	11
Υπολογισθείσα Τιμή CBR (%)	2	3-5	6-10	>10

*Πηγή: Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου*

Το  $M_r$  για κάθε στρώση υπολογίζεται ως εξής:

- Έδαφος:  $M_r = 17.6 \times (CBR)^{0.64}$
- Εξυγιαντική Στρώση (Στρώση Στέψης):  $M_r = 2 \times M_{r\text{εδαφους}}$  , με μέγιστη τιμή  $125 \text{ MN/m}^2$
- Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή:  $M_r = 2 \times M_{r\text{εξυγιαντικής στρώσης}}$  , με μέγιστη τιμή  $250 \text{ MN/m}^2$  (ισχύει και σε ισχνό σκυρόδεμα).

- Βάση από ασύνδετα αδρανή:  $M_r = 2 \times M_{r\text{υπόβασης από ασύνδετα αδρανή}}$  , με μέγιστη τιμή  $500 \text{ MN/m}^2$  (ισχύει και σε ισχνό σκυρόδεμα).
- Στρώσεις από ασφαλτικό σκυρόδεμα:  $M_r = 2500 \text{ MN/m}^2$  για βάση και  $M_r = 5000 \text{ MN/m}^2$  (ισχύει και σε ισχνό σκυρόδεμα).

#### 7.2.5.6 Κυκλοφοριακός φόρτος

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο κυκλοφοριακός φόρτος βάσει της κυκλοφορίας των εμπορικών οχημάτων στη μια κατεύθυνση για όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Για αυτοκινητόδρομους με περισσότερες της μιας λωρίδας στην κάθε κατεύθυνση η λωρίδα σχεδιασμού είναι η εξωτερική λωρίδα.

Ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος προκύπτει από τη σχέση:

$$T_n = 365 \times F_o \times \left\{ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right\} \times P$$

Όπου:

$T_n$  = Συνολικός αριθμός εμπορικών οχημάτων σε  $n$  έτη

$F_o$  = αρχική ημερήσια κυκλοφορία εμπορικών οχημάτων στη μια κατεύθυνση

$P$  = ποσοστό του αριθμού των εμπορικών οχημάτων που χρησιμοποιεί τη λωρίδα σχεδιασμού

$r$  = ετήσιος συντελεστής αύξησης κυκλοφορίας

$n$  = διάρκεια ζωής οδοστρώματος σε έτη

Ο Συνολικός αριθμός Ισοδύναμων Τυπικών Αξόνων (ITA) υπολογίζεται από τη σχέση:

**Συνολικός αριθμός ΙΤΑ =  $D \times T_n$**

Όπου:

$D$  = ο μέσος συντελεστής φθοράς (σε ΙΤΑ) των εμπορικών οχημάτων.

#### *7.2.5.7 Νομογραφήματα*

Σύμφωνα με τα νομογραφήματα που ακολουθούν στο παράρτημα 4 υπολογίζονται τα πάχη των στρώσεων.

Τα νομογραφήματα διαχωρίζονται με βάση τον τύπο του οδοστρώματος (NP1, NP2, NP3) και τον αριθμό CBR του υπεδάφους με τη σχεδιαστική του τιμή από τον πίνακα 5.3.1 πιο πάνω.

Για οδοστρώματα και των τριών τύπων NP1, NP2, NP3 με CBR 2% χρησιμοποιείται εξυγιαντική στρώση 600 mm ενώ για CBR 3% , 350 mm.

## 8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

### 8.1 Γενικά

Μέσα στην μελέτη, εκπονήθηκαν τρεις μεθόδους με τις οποίες μπορεί να γίνει η διαστασιολόγηση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος. Είναι σημαντικό να επιλεγθεί το οικονομικότερο οδόστρωμα με βάση τιμές μονάδος που πάρθηκαν από τη βιομηχανία.

Για να γίνει η σύγκριση θα πρέπει τα δεδομένα κατασκευής του οδοστρώματος να παραμείνουν τα ίδια για όλες τις μεθοδολογίες. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές της φέρουσας ικανότητας του εδάφους και του κυκλοφοριακού φόρτου, θα μπορεί να βρεθεί το πως επηρεάζουν αυτές οι παράμετροι τη διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων.

### 8.2 Δεδομένα σχεδιασμού

Τα δεδομένα για το σχεδιασμό είναι τα εξής:

Δρόμος σε κύρια αρτηρία υπεραστικής περιοχής πρόκειται να κατασκευαστεί με 4 λωρίδες κυκλοφορίας (2 ανά κατεύθυνση με διαχωριστική λωρίδα στη μέση). Η αποστράγγιση θα είναι σε μια βδομάδα και το ποσοστό χρόνου που το οδόστρωμα εκτίθεται σε υγρασία είναι 20%.

Υποθέσεις: βάση και υπόβαση από ασύνδετα αδρανή

Μγ υπόβασης= $15 \times 10^3$  psi

Μγ βάσης= $30 \times 10^3$  psi

Πλάτος οδοστρώματος για δύο λωρίδες κυκλοφορίας συμπεριλαμβανόμενα τα ερείσματα του οδοστρώματος είναι 18.40 μέτρα (3,75 μέτρα κάθε λωρίδα και 2,20 μέτρα κάθε έρεισμα).

Ο κυκλοφοριακός φόρτος ανά περίοδο ανάλυσης είναι

(α) 10 χρόνια με 25 εκατομμύρια ΙΤΑ

(β) 15 χρόνια με 50 εκατομμύρια ΙΤΑ

(γ) 20 χρόνια με 75 εκατομμύρια ΙΤΑ

Το CBR για διάφορα μέρη του δρόμου θα είναι

0-2 km με επίχωμα 12% CBR

2-2.5 km με έκχωμα 2% CBR

2-5,4 km με επίχωμα 12% CBR

4-4,6 km με έκχωμα 4% CBR

4,6-5,5 km με επίχωμα 12% CBR

5,5-6 km με έκχωμα 8%

## 9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

9.1 Σύντομη περιγραφή μεθόδων διαστασιολόγησης για το συγκεκριμένο οδόστρωμα

Κυκλοφοριακός φόρτος στην σχεδιαστική λωρίδα και για τις τρεις μεθόδους:

(α) 25 εκατομμύρια ΙΤΑ \* 0.5 = 12.5 εκατομμύρια ΙΤΑ

(β) 50 εκατομμύρια ΙΤΑ \* 0.5 = 25 εκατομμύρια ΙΤΑ

(γ) 75 εκατομμύρια ΙΤΑ \* 0.5 = 37.5 εκατομμύρια ΙΤΑ

### *Μέθοδος ASPHALT INSTITUTE*

Για τη μέθοδο αυτή έγινε η υπόθεση ότι όλες οι στρώσεις των βάσεων και των υποβάσεων θα έχουν πάχος 150 mm ενώ, οι ασφαλτικές στρώσεις για κάθε κυκλοφοριακό φόρτο και καλιφορνιακό δείκτη θα υπολογίζεται από τα νομογραφήματα παραρτήματος II.

### *Μέθοδος AASHTO*

Η αμερικάνικη μέθοδος είναι μια διαδικασία διαστασιολόγησης για την οποία παρακάτω, δίδεται ένα παράδειγμα για ένα συγκεκριμένο κυκλοφοριακό φόρτο και CBR. Σε κάποιες περιπτώσεις χρειάστηκε να τοποθετηθεί το ελάχιστο πάχος στρώσης. Για τα υπόλοιπα δεδομένα δεν φαίνονται οι υπολογισμοί. Σε τελικό στάδιο, στο παράρτημα 3, φαίνεται το νομογράφημα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για των υπολογισμό των στρώσεων.

Με CBR=12% και κυκλοφοριακό φόρτο 37.5 εκατομμύρια ΙΤΑ, Mr βάσης=30x10<sup>3</sup> psi η πρώτη στρώση υπολογίζεται ως εξής:

Από το νομογράφημα 3.6 του παραρτήματος III, υπολογίζεται ο δομικός αριθμός και στη συνέχεια το τελικό πάχος της πρώτης στρώσης. Στη συνέχεια υπολογίζεται το πάχος της δεύτερης στρώσης με βάση το Mr υπόβασης και τέλος η τρίτη στρώση με βάση το Mr του υπεδάφους. Στην περίπτωση που τα υπολογισθέντα πάχη δεν ξεπερνούν τις ελάχιστες τιμές των προδιαγραφών τότε, χρησιμοποιούνται τα ελάχιστα.

Με βάση τα δεδομένα  $a_1 = 0,44$  και  $a_2 = 0,14$  και το  $a_3$  υπολογίζεται κάθε φορά αναλόγως με το μέτρο επανάκτησης υπεδάφους ( $a_3 = 0,13$ ).

$$SN1=3,7 \Rightarrow D1 = SN1/a_1 \Rightarrow D1^* = 9 \text{ inch (SN1}^* = 3.96)$$

Με  $M_r$  υπόβασης  $= 15 \times 10^3$  psi η δεύτερη στρώση είναι

$$SN2=4,4 \Rightarrow D2 = (SN2 - SN1^*)/a_2 * m_2 \Rightarrow D2^* = 4 \text{ inch (SN2}^* = 0.504)$$

Με  $M_r$  υπεδάφους  $= 18 \times 10^3$  psi η τρίτη στρώση είναι

$$SN3=4.5 \Rightarrow D2 = (SN3 - SN1^* - SN2^*)/a_3 * m_3 \Rightarrow D3^* = 1 \text{ inch (ελάχιστο 6 inch)}$$

$$\underline{D_1 = 225 \text{ mm}}$$

$$\underline{D_2 = 150 \text{ mm}}$$

$$\underline{D_3 = 150 \text{ mm}}$$

#### *Μέθοδος Τμήματος Δημοσίων Έργων Κύπρου*

Η μέθοδος που χρησιμοποιεί το τμήμα δημοσίων έργων στην χώρα μας βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στα νομογραφήματα του παραρτήματος IV.

Αρχικά, για το δρόμο που θα κατασκευαστεί, εφόσον είναι συγκεκριμένης κατηγορίας σε κύρια αρτηρία υπεραστικής περιοχής συνεπώς χρησιμοποιήθηκε ο τύπος οδοστρώματος NP1. Άρα χρησιμοποιήθηκαν τα νομογραφήματα που αναφέρονται σε αυτό τον τύπο οδοστρώματος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως, λόγω των μεγάλων φόρτων δεν γινόταν να γίνει ο σχεδιασμός για όλες τις περιπτώσεις, για κανένα από τους τύπους οδοστρώματος. Έτσι, σε αυτές τις περιπτώσεις, δεν έγινε σύγκριση για τον σχεδιασμό. Υπήρχαν περιπτώσεις (για CBR 6%) όπου χρησιμοποιήθηκε ο τύπος NP2.

## 9.2 Τυπικές τιμές κόστους εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Οι τιμές κόστους (ευρώ/m<sup>3</sup>) για τυπικές διατομές εύκαμπτων οδοστρωμάτων δίδονται πιο κάτω:

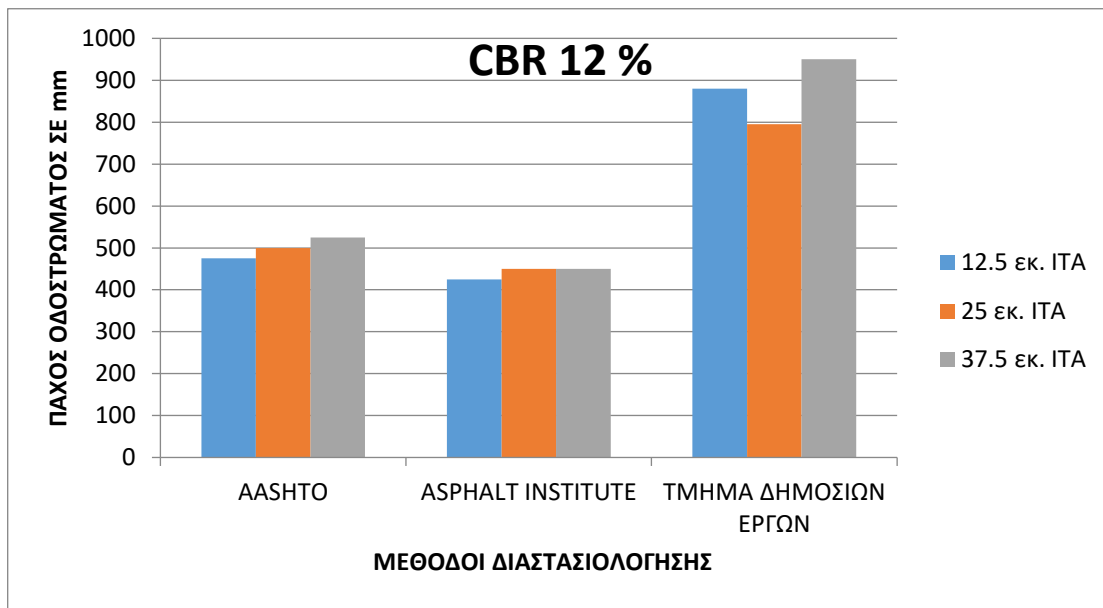
- Σκυρωτή βάση τύπου I : €33/m<sup>3</sup>
- Σκυρωτή υπόβαση τύπου II : €26/m<sup>3</sup>
- Πρώτη στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος (Wearingcourse) €140/m<sup>3</sup>
- Δεύτερη στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος (Basecourse) €135/m<sup>3</sup>
- Ασφαλτική βάση (DBM) €130/m<sup>3</sup>
- Εξυγιαντική στρώση :€20/m<sup>3</sup>

(Γιάννης Περικλέους-Πολιτικός Μηχανικός)

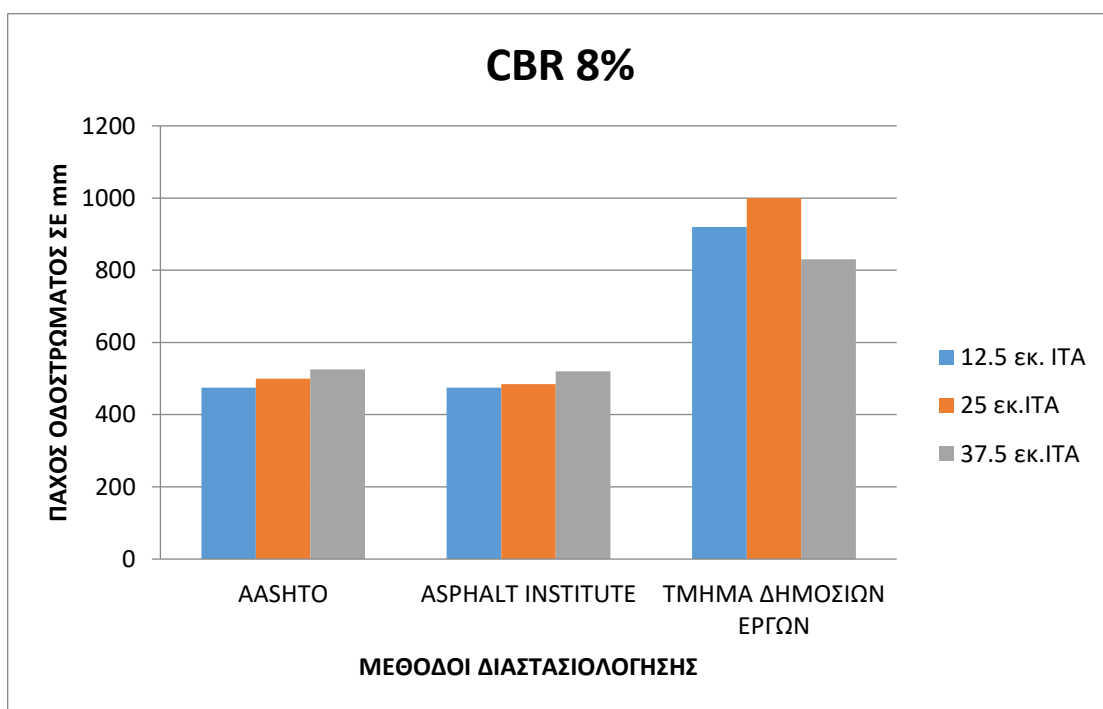
## 9.3 Γραφικά αποτελέσματα

Οι πρώτες διασδιάστατες γραφικές παραστάσεις δείχνουν τα συνολικά πάχη οδοστρωμάτων που αντιστοιχούν στις τρεις μεθόδους διαστασιολόγησης για τους ανάλογους κυκλοφοριακούς φόρτους και τα διάφορα CBR. Πιο κάτω στις επόμενες τρισδιάστατες παραστάσεις, φαίνονται τα κόστη ανά μέτρο μήκους και πλάτους που σχετίζονται με τα συνολικά πάχη των οδοστρωμάτων που αναπτύχθηκαν πιο πάνω, για τα υπάρχοντα δεδομένα.

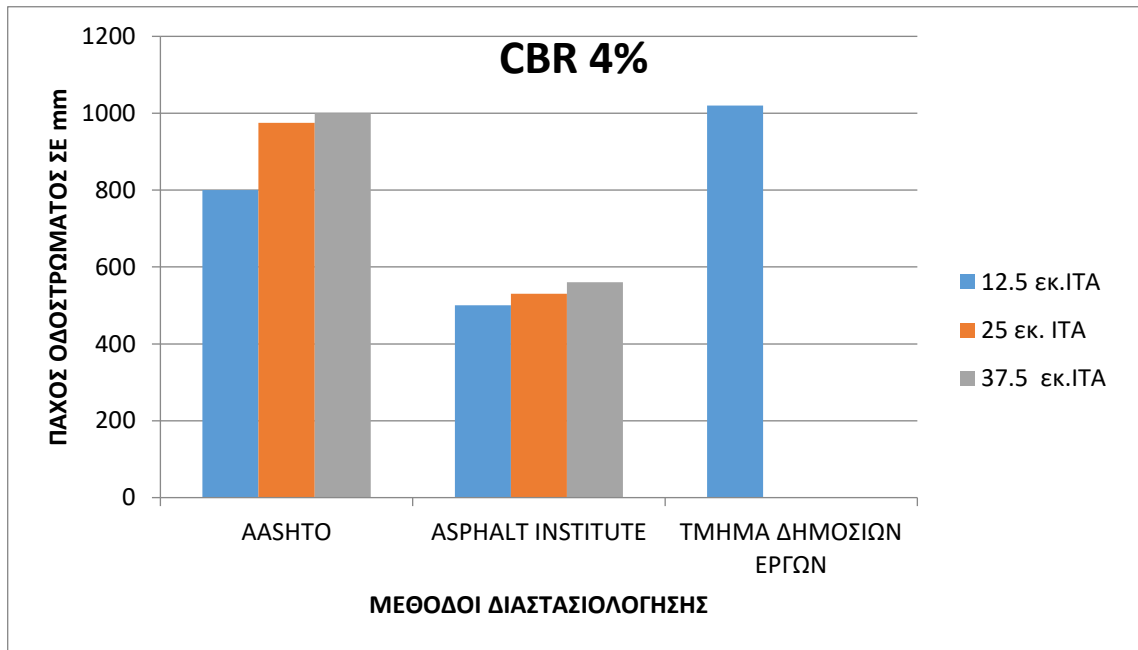




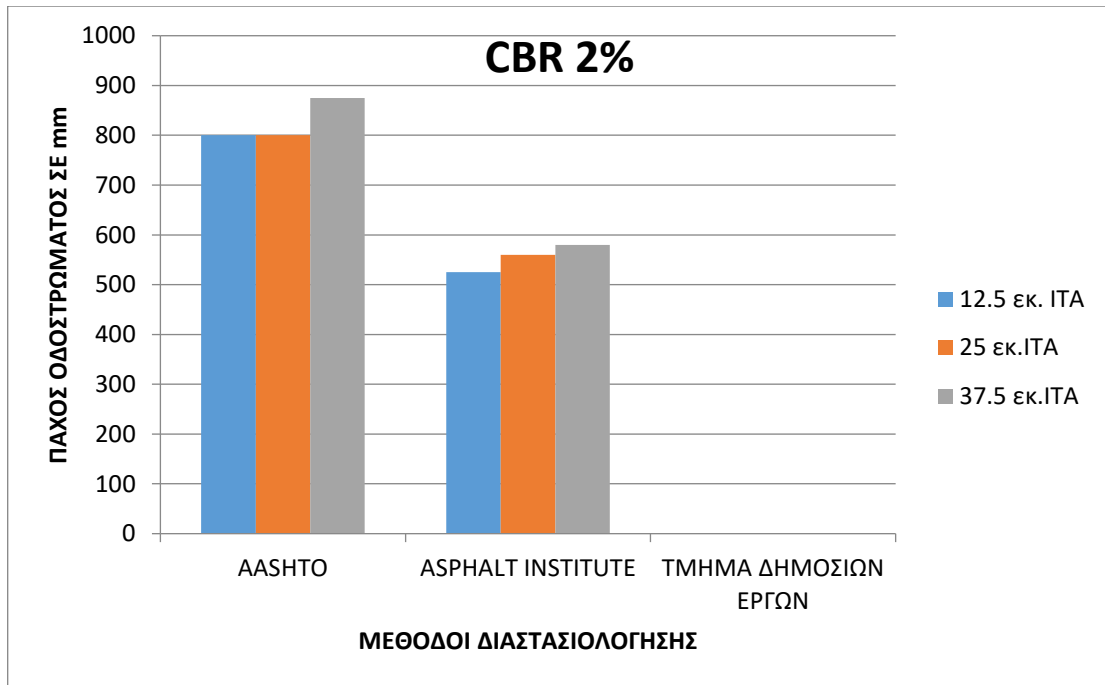
**Διάγραμμα 12:** Πάχη οδοστρώματος για CBR 12%



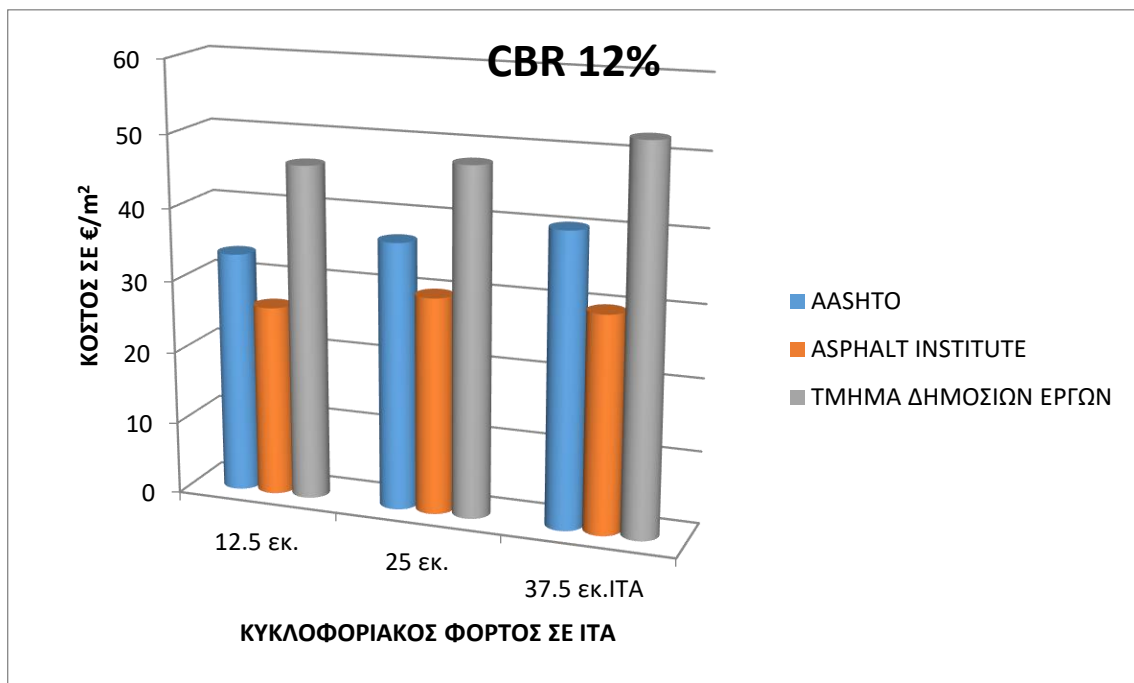
**Διάγραμμα 13:** Πάχη οδοστρώματος για CBR 8%



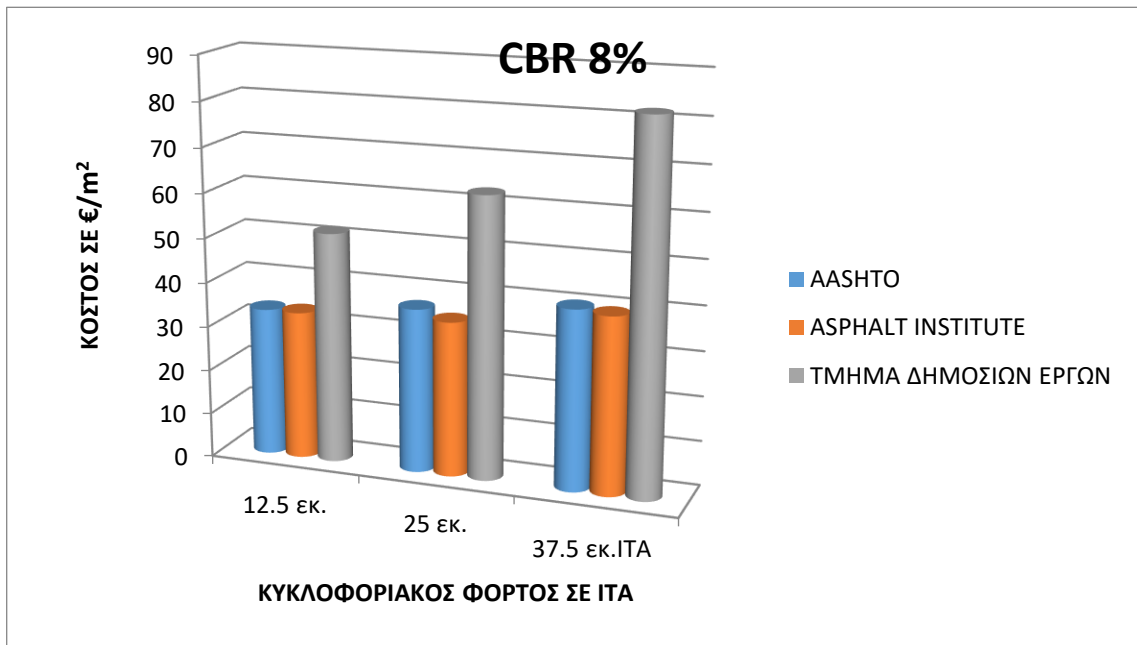
**Διάγραμμα 14:** Πάχη οδοστρώματος για CBR 4%



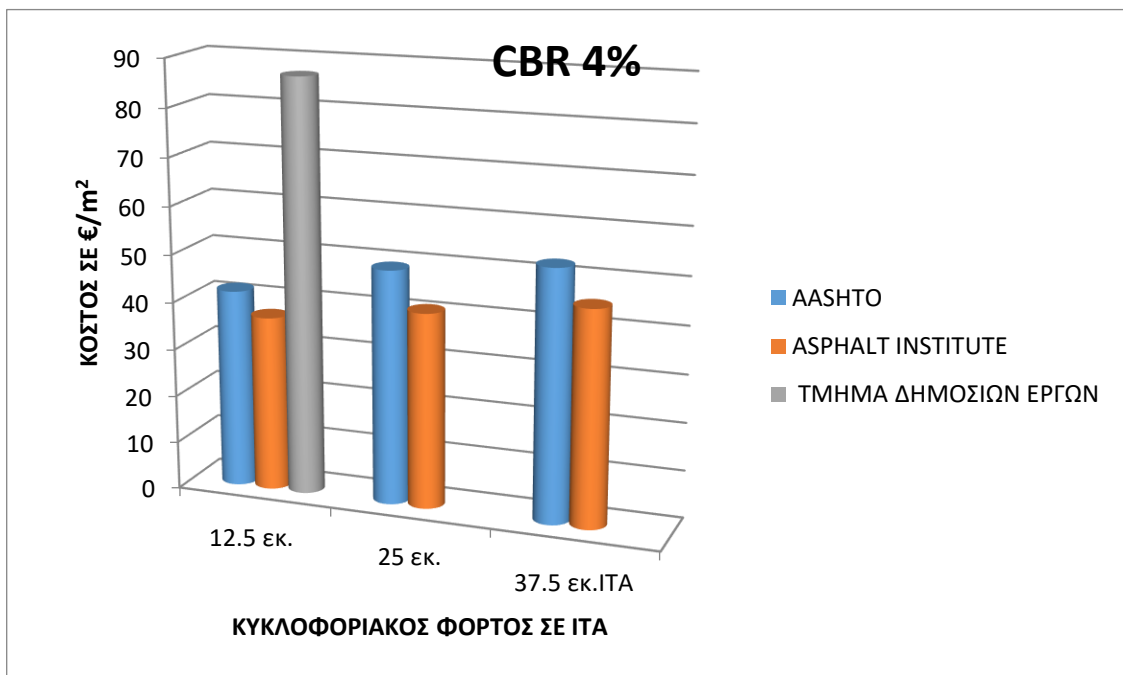
Διάγραμμα 15: Πάχη οδοστρώματος για CBR 2%



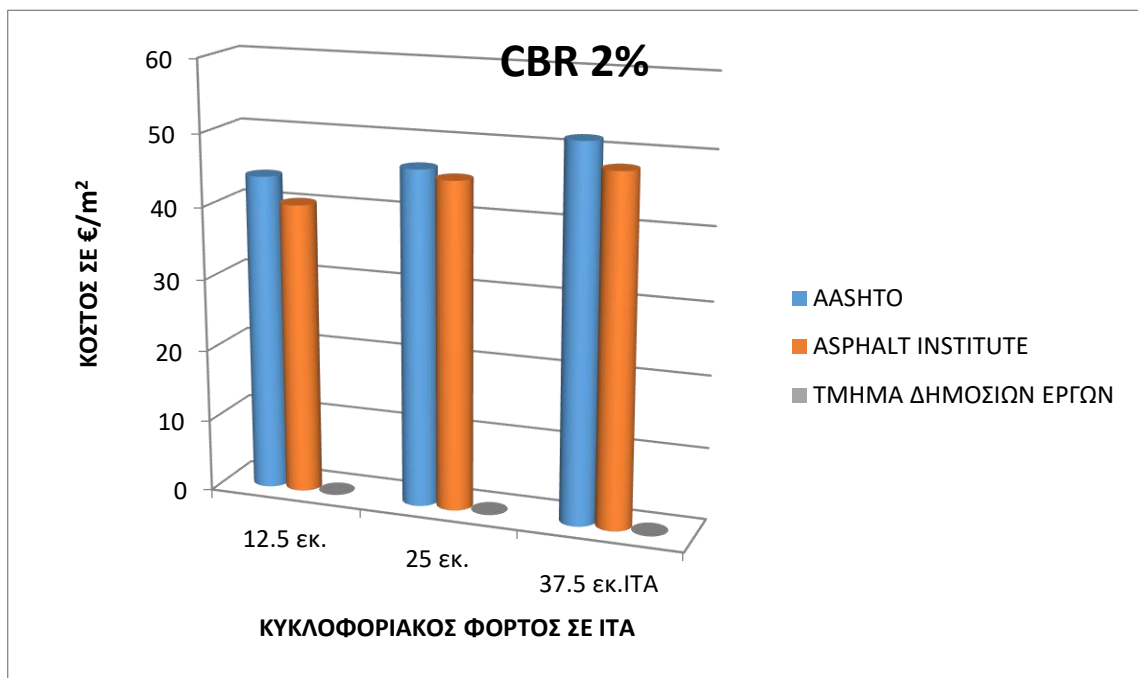
Διάγραμμα 16 : Κόστος οδοστρώματος σε €/m<sup>2</sup> για CBR 12%



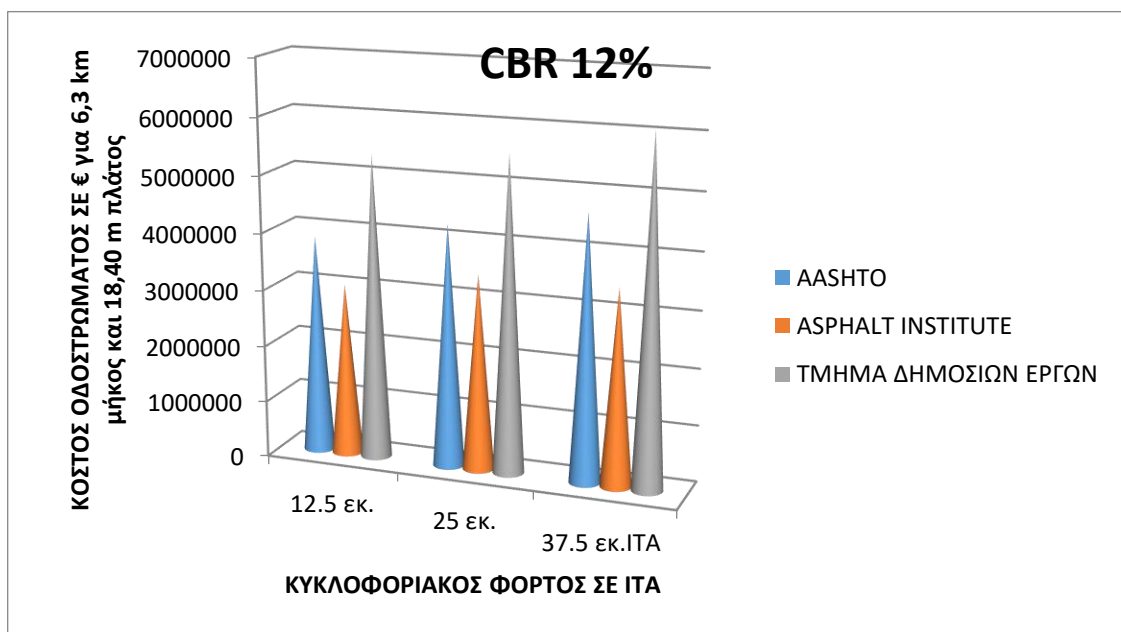
**Διάγραμμα 17:** Κόστος οδοστρώματος σε €/m<sup>2</sup> για CBR 8%



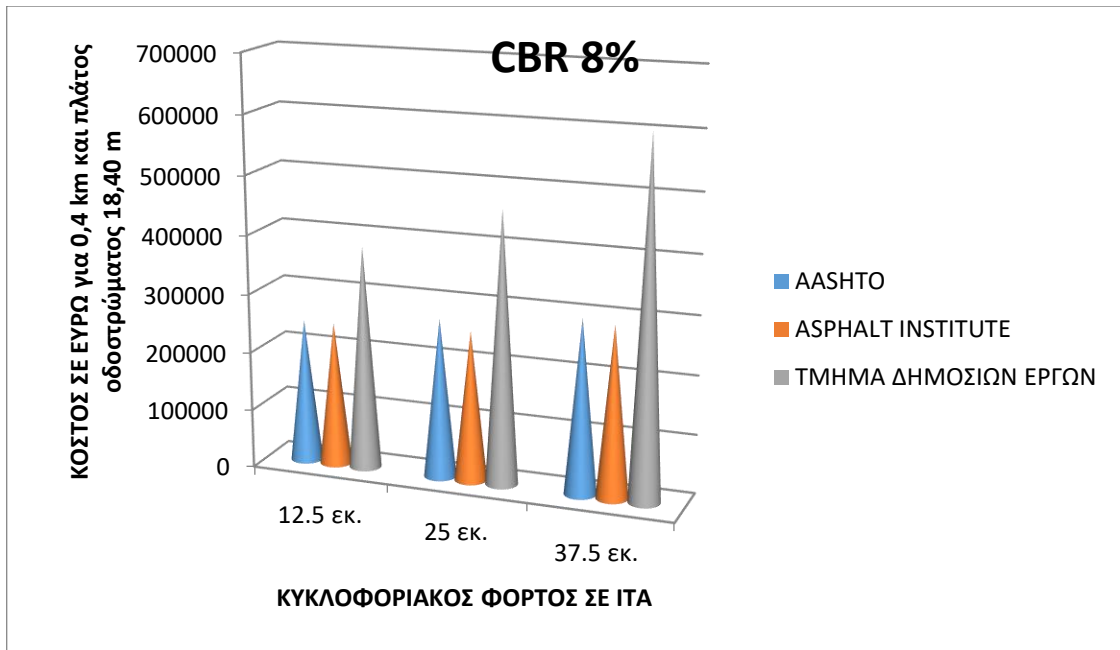
**Διάγραμμα 18:** Κόστος οδοστρώματος σε €/m<sup>2</sup> για CBR 4%



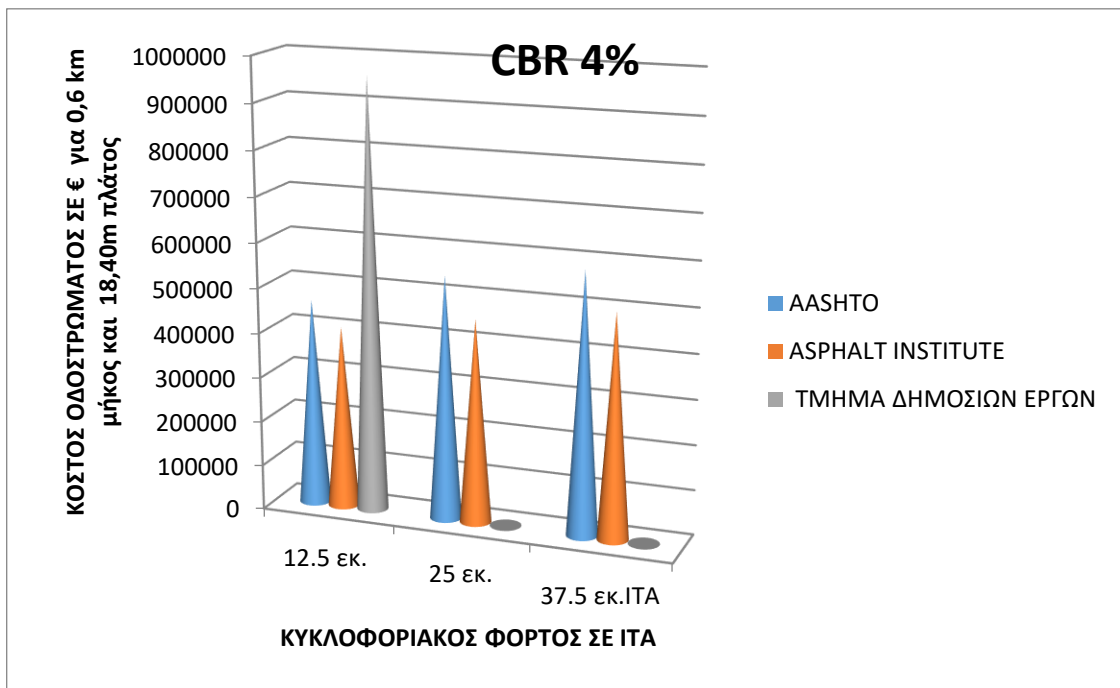
Διάγραμμα 19: Κόστος οδοστρώματος σε €/m<sup>2</sup> για CBR 2%



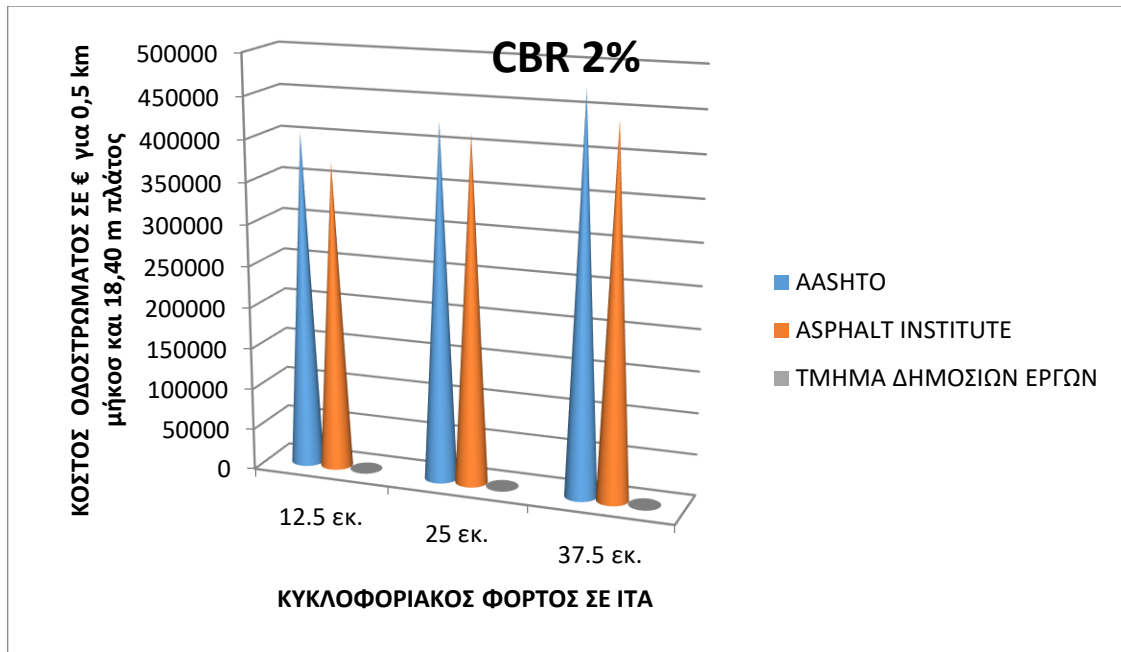
Διάγραμμα 20: Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 6,3 km και πλάτος 18,40 m για CBR 12%



**Διάγραμμα 21:** Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 0,4 km και πλάτος 18,40 m για CBR 8%





**Διάγραμμα 22:** Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 0,6 km και πλάτος 18,40 m για CBR 4%



**Διάγραμμα 23:** Κόστος οδοστρώματος σε € για μήκος 0,5 km και πλάτος 18,40 m για CBR 2%

9.4 Αποτελέσματα σε πίνακα

**Πίνακας 16:** Τελικές τιμές οδοστρωμάτων για τις τρεις μεθοδολογίες

	Κυκλ. φόρτος 	12.5 εκ ΙΤΑ	25 εκ. ΙΤΑ	37.5 εκ. ΙΤΑ
<b>CBR</b> 	<b>Μέθοδος διαστασιολόγησης</b>	<b>Κόστος σε €</b>		
<b>12%</b>	AASHTO	3 865 932	4 271 652	4 677 372
	ASPHALT INSTITUTE	3 054 492	3 460 212	3 460 212
	Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου	5 355 504	5 546 772	6 091 596
<b>8%</b>	AASHTO	245 456	271 216	296 824
	ASPHALT INSTITUTE	245 456	255 760	291 824
	Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου	381 248	463 680	603 520
<b>4%</b>	AASHTO	461 472	543 168	581 808
	ASPHALT INSTITUTE	406 824	453 192	499 560
	Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου	958 824	0	0
<b>2%</b>	AASHTO	403 880	426 880	474 260
	ASPHALT INSTITUTE	371 220	416 300	442 060
	Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου	0	0	0



## 10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από τις γραφικές παραστάσεις φαίνονται καταγεγραμμένα τα συνολικά πάχη των οδοστρωμάτων για τα οποία έγινε η διαστασιολόγηση τους με τις τρεις μεθόδους, AASHTO, ASPHALT INSTITUTE και Τμήματος Δημοσίων Έργων της Κυπριακής Δημοκρατίας. Ο σχεδιασμός έγινε για τέσσερις τιμές CBR (12,8,4,2 %) και για τρεις διαφορετικούς κυκλοφοριακούς φόρτους (12.5,25,37.5 εκ. ΙΤΑ). Οι υπόλοιπες παράμετροι σχεδιασμού παρέμειναν σταθερές για όλες τις μεθοδολογίες (εκτός από το CBR και τον κυκλοφοριακό φόρτο) έτσι ώστε να μπορεί να γίνει μια σύγκριση για την οικονομικότερη επιλογή. Είναι παραδεκτό πως για όλες τις μεθοδολογίες τα οδοστρώματα είναι το ίδιο ανθεκτικά κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Η επιλογή της μεθοδολογίας για διαστασιολόγηση θα γίνει με βάση ποια δίνει την οικονομικότερη λύση. Συνεπώς, αφού οι τιμές μονάδος των υλικών των στρώσεων θα είναι οι ίδιες για όλες τις μεθόδους διαστασιολόγησης, σημαντικό ρόλο παίζει το πάχος της κάθε στρώσης αλλά η τελική επιλογή θα γίνει με βάση το τελικό κόστος.

Από τα τελικά αποτελέσματα για τα πάχη των οδοστρωμάτων συμπεραίνονται πως, για όλες τις τιμές CBR, η μέθοδος του Τμήματος Δημοσίων Έργων της Κύπρου είναι αυτή που τελικά έχει το μεγαλύτερο συνολικό πάχος, αλλά και το μεγαλύτερο με διαφορά από τις άλλες μεθόδους κόστος. Πέρα από τον κυκλοφοριακό φόρτο που διαφέρει και μεγαλώνει σε κάθε περίπτωση, βλέπουμε πως η διαστασιολόγηση με την μέθοδο αυτή δεν συμφέρει. Ταυτόχρονα, για ασθενή εδάφη με πολύ χαμηλά CBR και μεγαλύτερους κυκλοφοριακούς φόρτους του Τμήματος Δημοσίων Έργων, δεν μπορεί να υποστηρίξει τον σχεδιασμό για κανένα τύπο οδοστρώματος που προσφέρει.

Παράλληλα, η μέθοδος AASHTO για τους ίδιους κυκλοφοριακούς φόρτους και φέρουσα ικανότητα του εδάφους, δίνει πιο οικονομικά αποτελέσματα σε σύγκριση με αυτήν του Τμήματος Δημοσίων Έργων. Αυτό συμβαίνει σχεδόν για όλα τα CBR και τους κυκλοφοριακούς φόρτους. Η αμερικάνικη μέθοδος είναι μια πιο αναλυτική μέθοδος σε σχέση με αυτή της Κύπρου η οποία προσφέρει συγκεκριμένα πάχη για κάποιες στρώσεις χωρίς να μπορούν απαραίτητα να διαφοροποιηθούν αφού πρέπει να τηρούν τους κανονισμούς.

Παρόλα αυτά, το πάχος των οδοστρωμάτων είναι μικρότερο στην μέθοδο Asphalt Institute όπως στο συνολικό κόστος. Σε αυτή την μέθοδο, επιλέχθηκαν συγκεκριμένα πάχη για τη βάση και την υπόβαση (150 mm) και με βάση τις αλλαγές που αφορούν τον κυκλοφοριακό φόρτο και τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους, διαφοροποιείται μόνο η ασφαλτική επιφανειακή στρώση. Ο λόγος που υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ του πάχους των στρώσεων που προκύπτουν για τη μεθοδολογία αυτή σε σχέση με το Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου, είναι διότι υπάρχουν πολλές και διαφορετικές επιλογές που δίνονται από τα διάφορα διαγράμματα στη μέθοδο αυτή.

Το κόστος του κάθε οδοστρώματος, επηρεάζεται από το πάχος της κάθε στρώσης και της τιμής μονάδας (€/m<sup>3</sup>) η οποία καθορίζει τελικά το συνολικό κόστος των διάφορων οδοστρωμάτων για όλους τους κυκλοφοριακούς φόρτους και CBR εδάφους. Σύμφωνα με τις τιμές κόστους η ακριβότερη μέθοδος διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων είναι αυτή του Τμήματος Δημοσίων Έργων Κύπρου όπως προαναφέρθηκε πιο πάνω με βάση το συνολικό πάχος των οδοστρωμάτων. Η φθηνότερη όπως φάνηκε είναι αυτή του Ινστιτούτου Ασφάλτου.

Για τη χώρα μας λοιπόν, θα ήταν επιθυμητό να γινόταν έλεγχος της μεθοδολογίας διαστασιολόγησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων που ακολουθείται. Ίσως ο λόγος που υπάρχουν οι αστοχίες των οδοστρωμάτων, έστω και με αυτά τα αυξημένα πάχη, να σχετίζεται με την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται αλλά και με την ποιότητα εκτέλεσης των εργασιών που απαιτούνται για την κατασκευή των οδοστρωμάτων, ή ακόμη και της επίβλεψης των εργασιών αυτών.

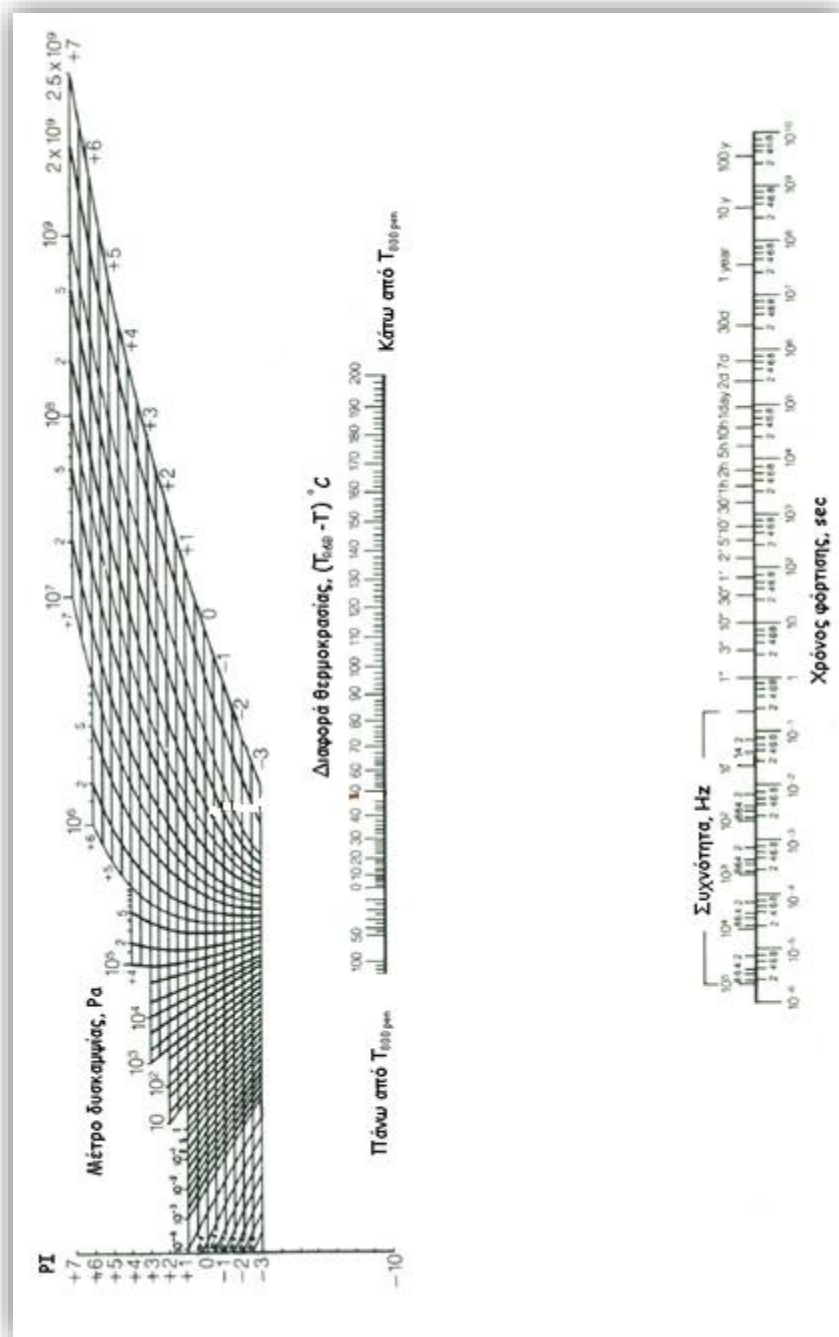
## 11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AASHTO, 1993. Guide for design of pavement structures. American Ass of state Highway and Transportation Officials, Washington D.C
- Asphalt Institute. (1991). Thickness Design - Asphalt Pavements for Highways and Streets.
- Asphalt Institute, Asphalt overlays for highway and street rehabilitation, Manual Series No. 17 (MS-17), 1983
- Bester, J. J., Kruger, D., and Hinks, A. (2004). “Construction and Demolition Waste in South Africa.” *Sustainable Waste Management and Recycling: Construction Demolition Waste: Proceedings of the international conference organised by the concrete and masonry research group.*
- Design, P. (2013). “Volume Ii : Rigid Pavements Pavement Design Manual Pavement Design Manual.” II.
- Manual Series No.1 (MS-1), Asphalt Institute, Lexington, KY.
- Pavement Design Manual 1997. Alberta Transportation and Utilities, Edition 1.
- R. R. Bartelsmeyer, Chairman et. al.(1962). *The AASHO road test: Report 6, Pavement research*, Special Report No 61E. Highway Research Board, Washington, D.C.
- VonQuintus, H. L., and Moulthrop, J. (2007). “Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Flexible Pavement Performance Prediction Models for Montana: Volume II Reference Manual.” II(August).
- “Γενικά στοιχεία για οδοστρώματα με στρώσεις από κατεργασμένα.” (2009).
- “Γεωυφάσματα - Macproof.gr” . <<http://www.macproof.gr/ilika/geoyfasmata-1>> (Mar. 24, 2018).
- Περικλέους Γ., Πολιτικός Μηχανικός,(Ιαν.20, 2018).
- Κοφίτσας, Ι. (2006). Στοιχεία οδοποιίας, 2<sup>nd</sup> Ed. ,Αθήνα, Ελλάδα.
- “Μελέτη οδοστρωμάτων/ Pavement design.” <<http://www.paver.gr/technika-arthra/113-pavement-design>> (Apr. 16, 2018).
- Νικολαΐδης Φ., (2002). Οδοποιία οδοστρώματα-υλικά έλεγχος ποιότητας. 2<sup>nd</sup> Ed. Θεσσαλονίκη.

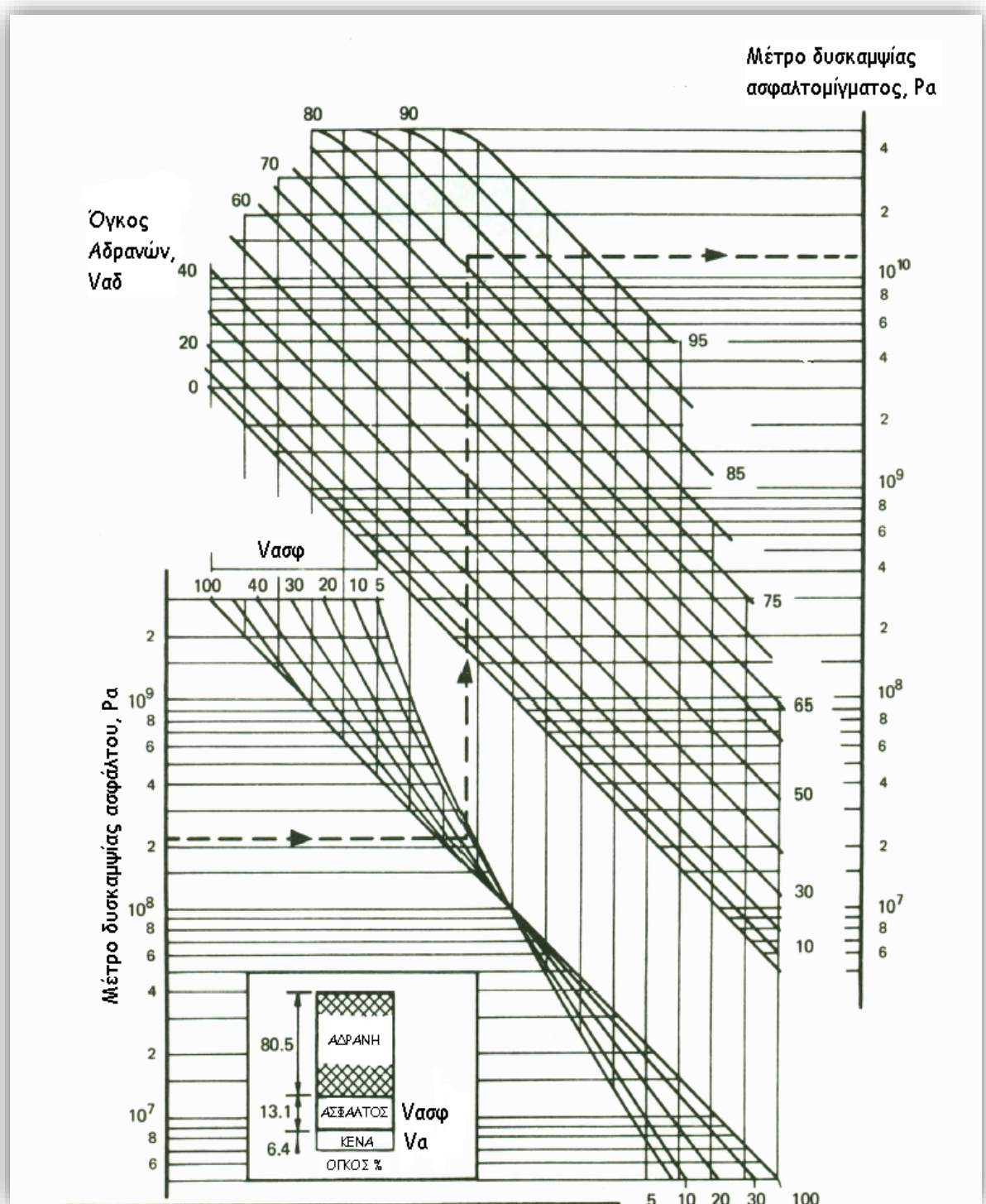
- *Οδοστρώματα Οδών και Αεροδρομίων*. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (Οκτ. 10, 2017)
- *Πρότυπα Τεύχη Ελαχίστων Απαιτήσεων για Περιφερειακά Έργα*. (ΟΕΚΜ Β-9), (Νοεμ. 20, 2017)
- *Ρωμαϊκοί Δρόμοι—Μνημεία της Αρχαίας Μηχανικής — διαδικτυακή βιβλιοθήκη της Σκοπιάς*. (Οκτ. 6, 2017)
- Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Ιωάννης Οικονομίδης Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, (2017).
- Τεχνικές Προδιαγραφές Τμήματος Δημοσίων Έργων, Τόμος Γ. 2005.
- Τριανταφύλλου, Α. (2013). *Δομικά υλικά*. 10<sup>th</sup> Ed. , Πάτρα, Ελλάδα.
- Τσώχος Γ. , (1984). *Οδοποιία*, Τόμος Γ', Τεύχος 1, Η μελέτη των οδοστρωμάτων.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι:

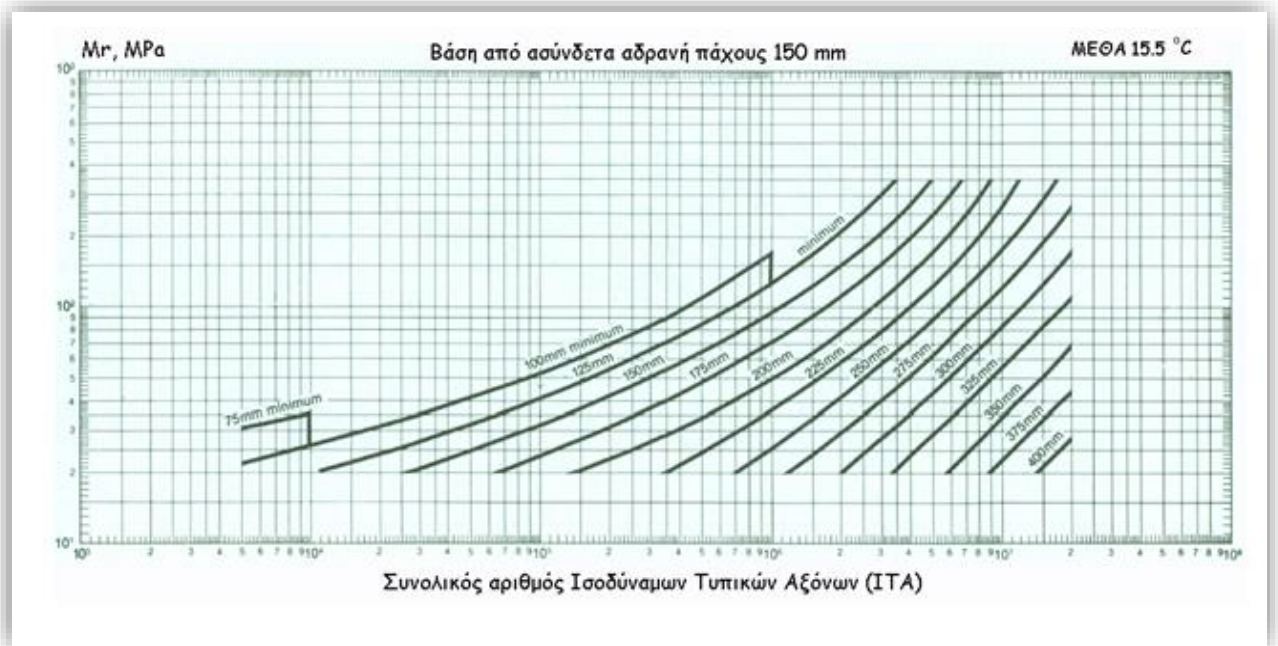


**Νομογράφημα 1.1:** Van der Poel για υπολογισμό του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου (Σημειώσεις Οδοποιία Π-Ιωάννης Οικονομίδης)



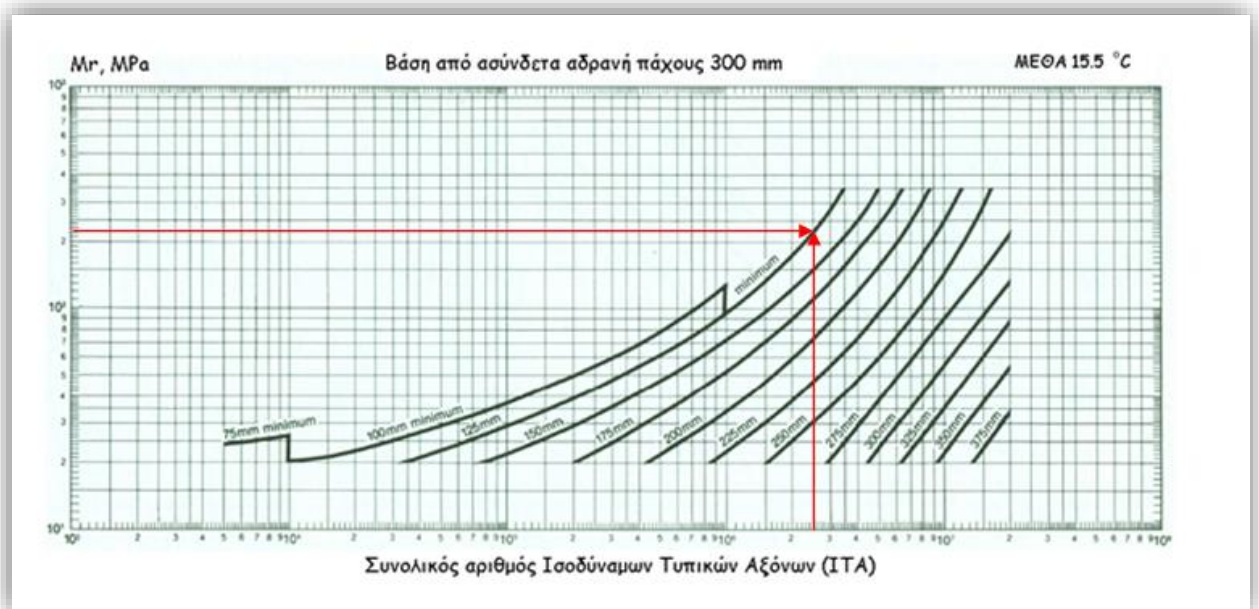
**Νομογράφημα 1.2:** Νομογράφημα εκτίμησης μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος (σημειώσεις Οδοποιία Π-Ιωάννης Οικονομίδης)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2



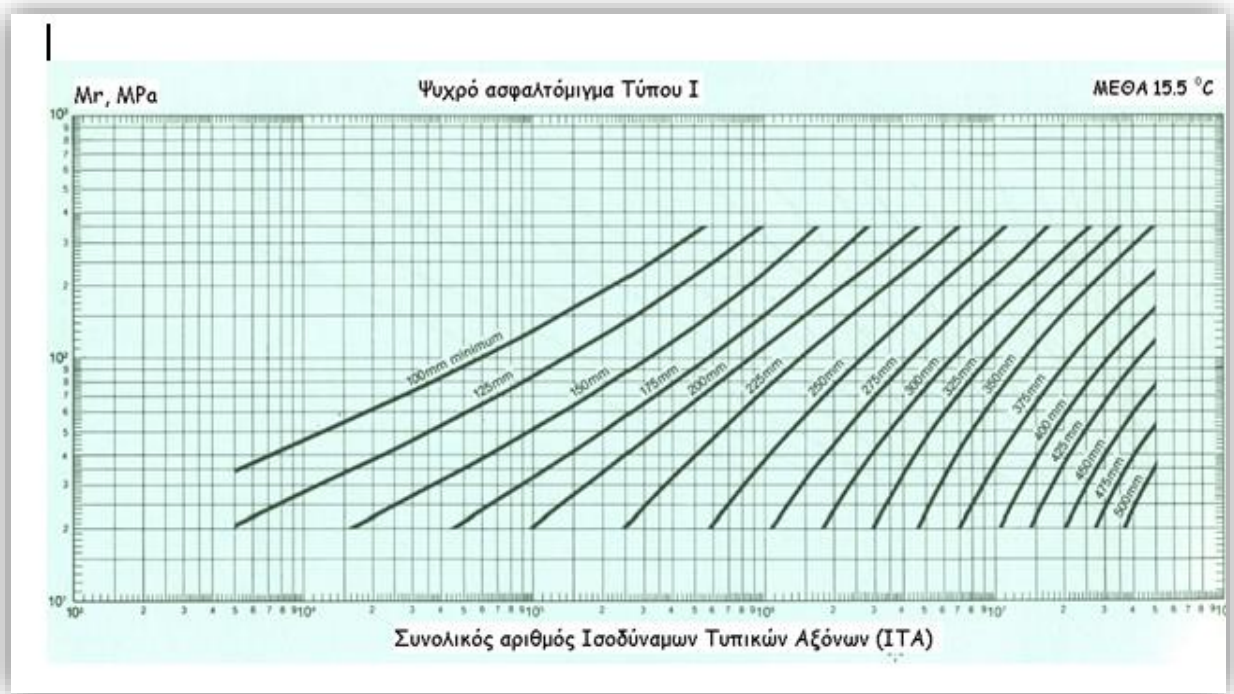
Νομογράφημα 2.1: Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης με σκυρωτή βάση 150 mm

(ASPHALT INSTITUTE)

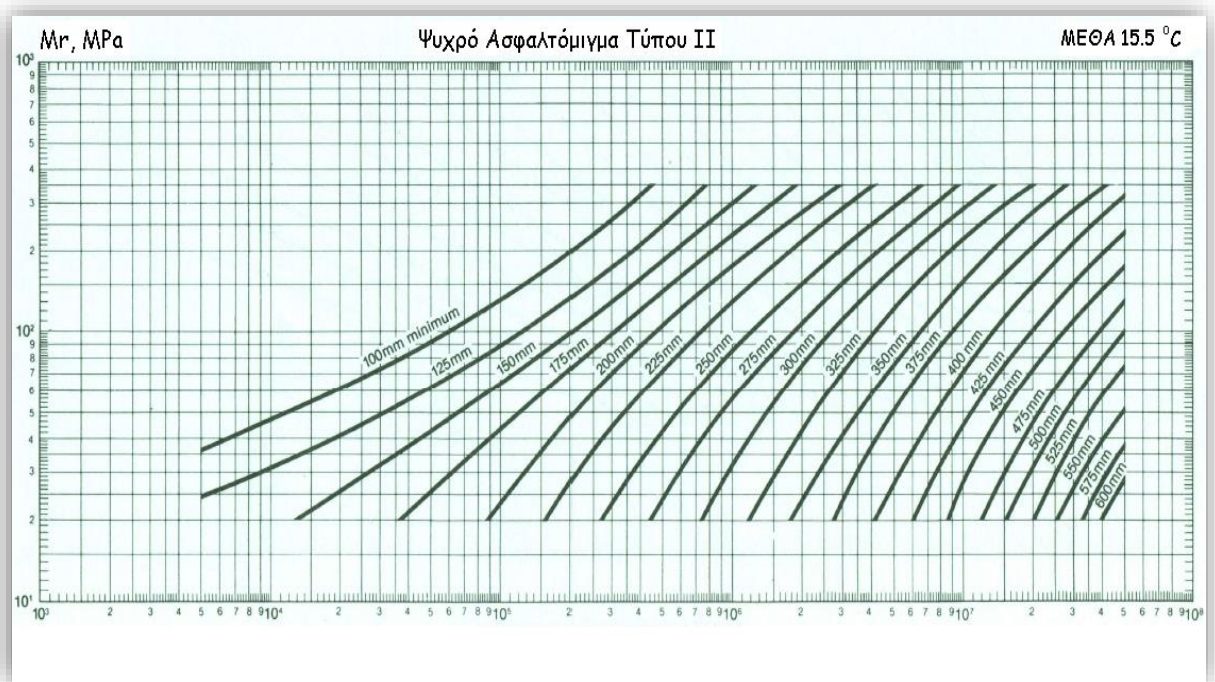


Νομογράφημα 2.2: Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης με σκυρωτή βάση 300 mm

(ASPHALT INSTITUTE) (Παράδειγμα επίλυσης με κόκκινη γραμμή)

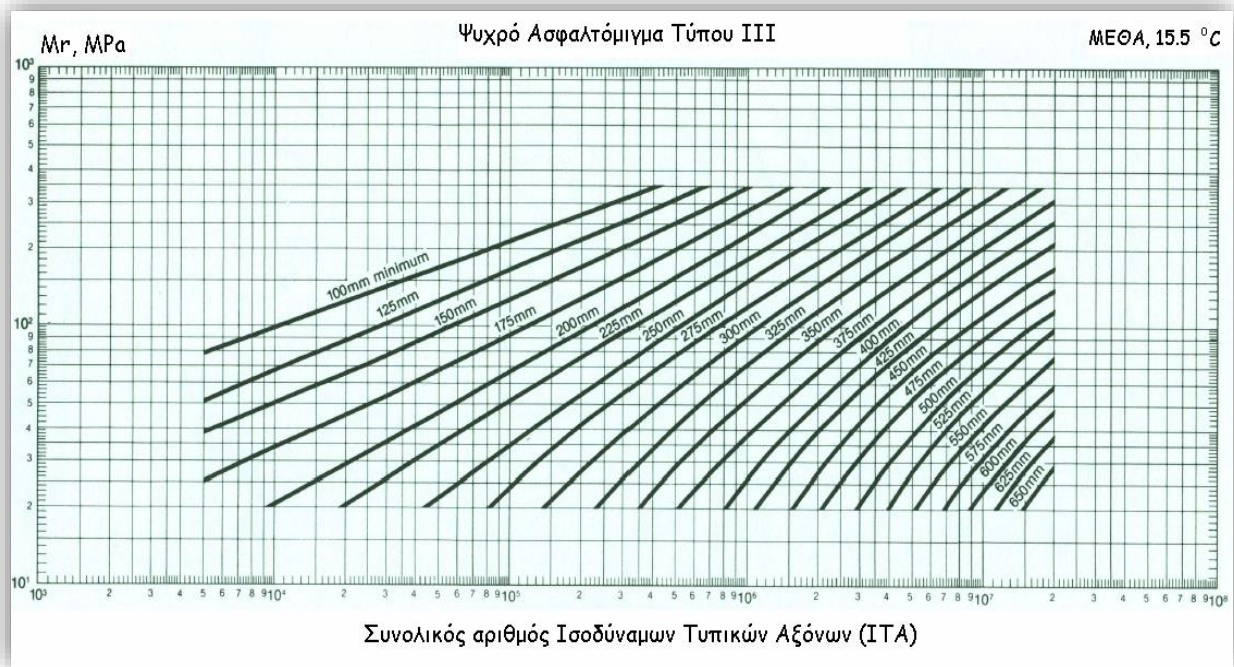


**Νομογράφημα 2.3:** Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου I (ASPHALT INSTITUTE)

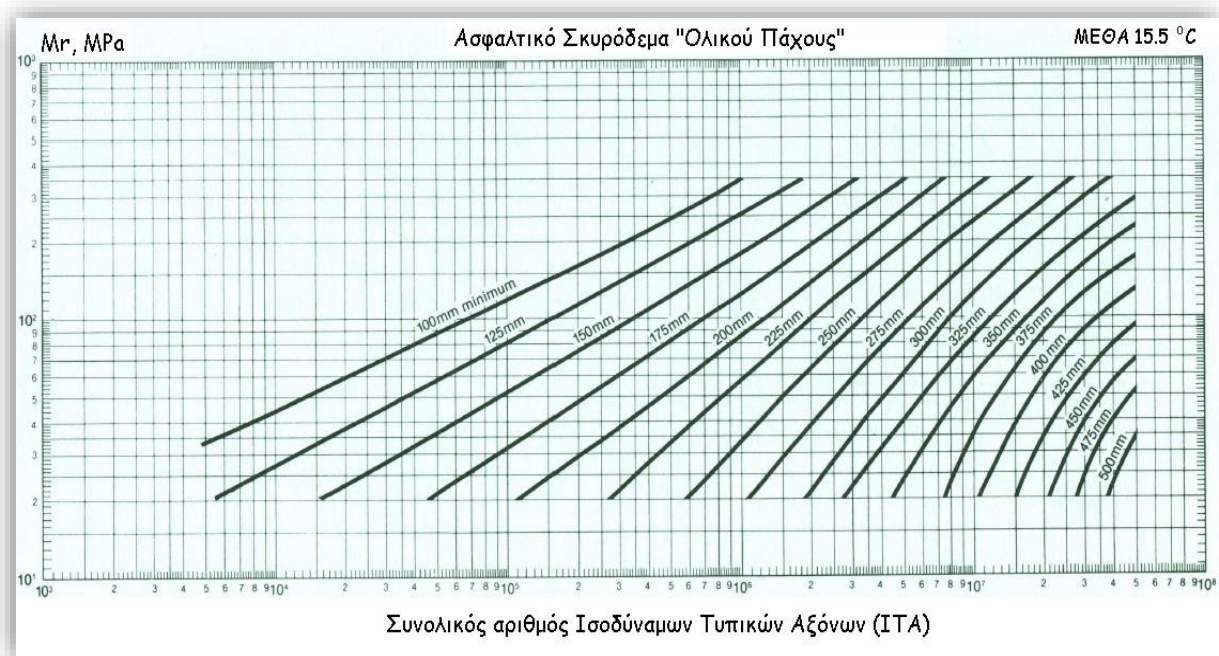


**Νομογράφημα 2.4:** Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου II (ASPHALT INSTITUTE)



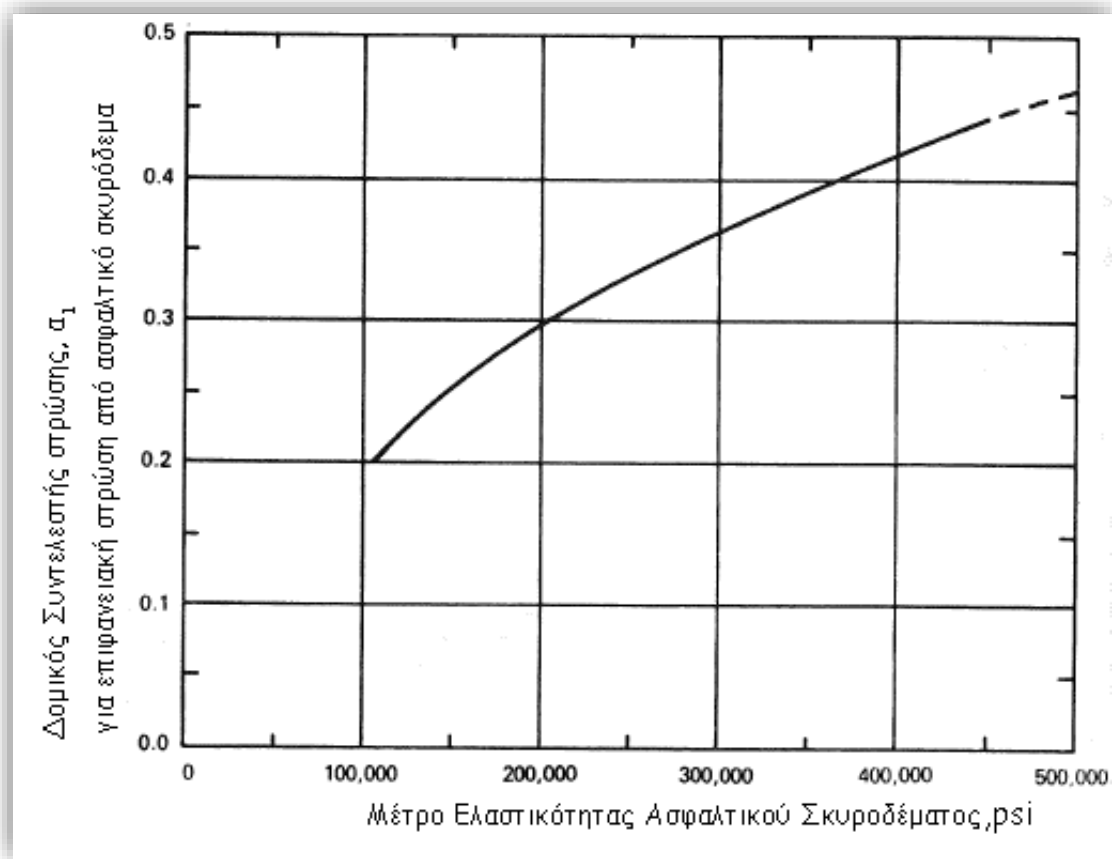


**Νομογράφημα 2.5:** Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου ΙΙΙ (ASPHALT INSTITUTE)



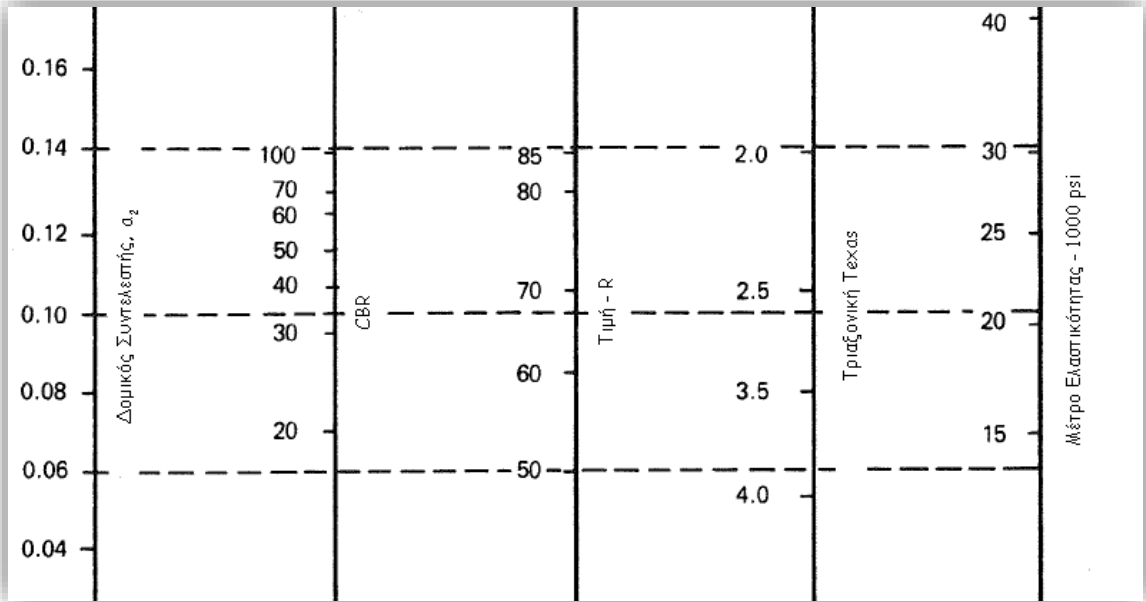
**Νομογράφημα 2.6:** Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος 'ολικού' πάχους από ασφαλτικό Σκυρόδεμα (ASPHALT INSTITUTE)

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3



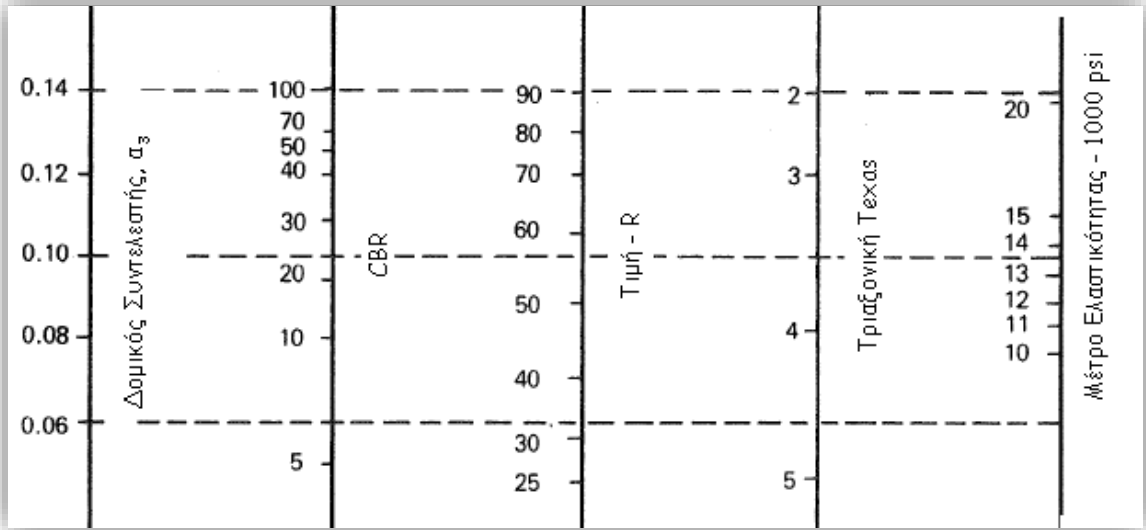
**Νομογράφημα 3.1:** Συντελεστής στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα a1

(AASHTO 2002)



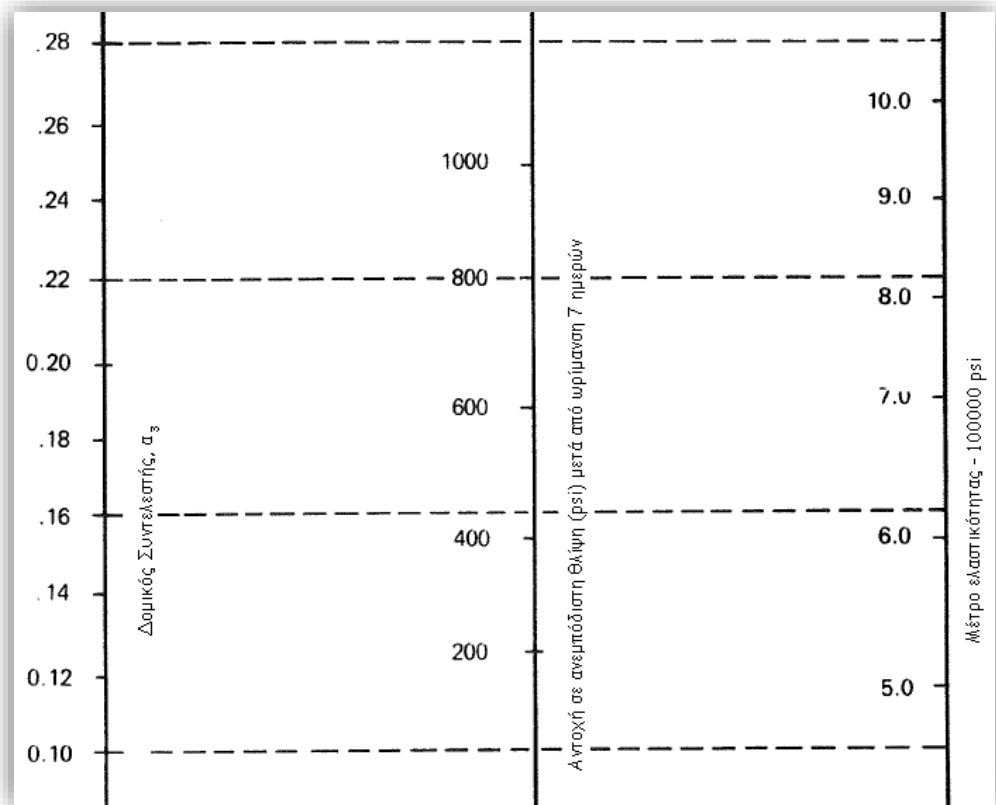
**Νομογράφημα 3.2:** Συντελεστής στρώσης βάσης από ασύνδετα αδρανή α2

(AASHTO 2002)



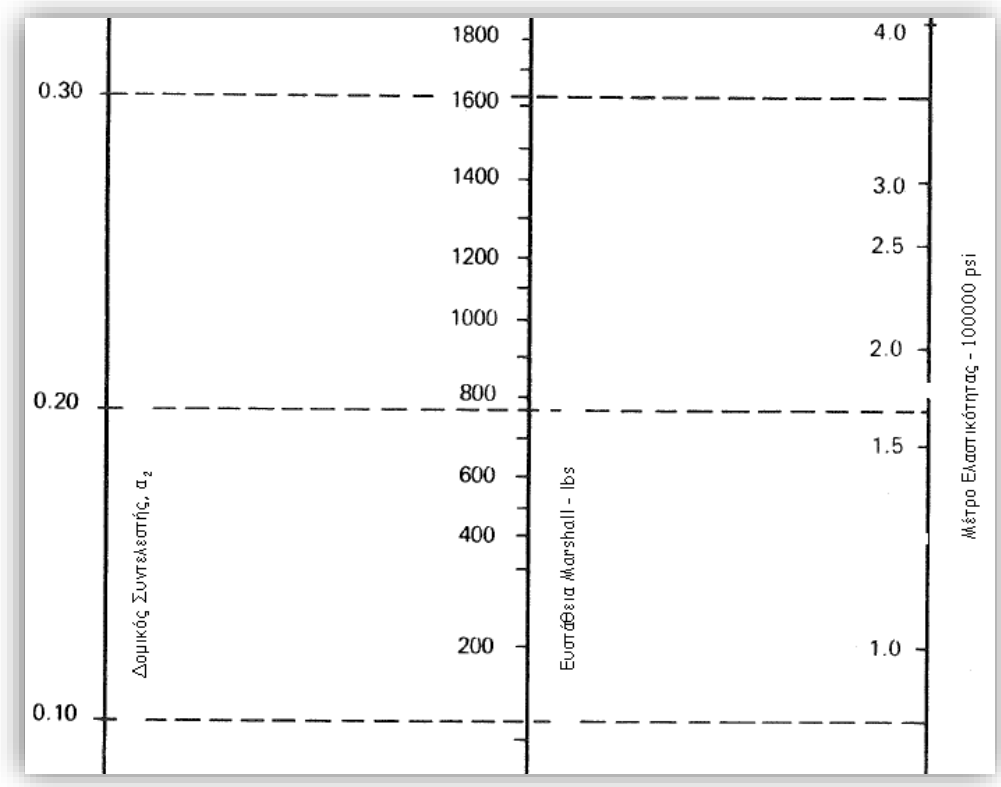
**Νομογράφημα 3.3:** Συντελεστής στρώσης υπόβασης από ασύνδετα αδρανή  $a_3$

(AASHTO 2002)



**Νομογράφημα 3.4:** Συντελεστής στρώσης βάσης από ισχύο σκυρόδεμα  $a_2$

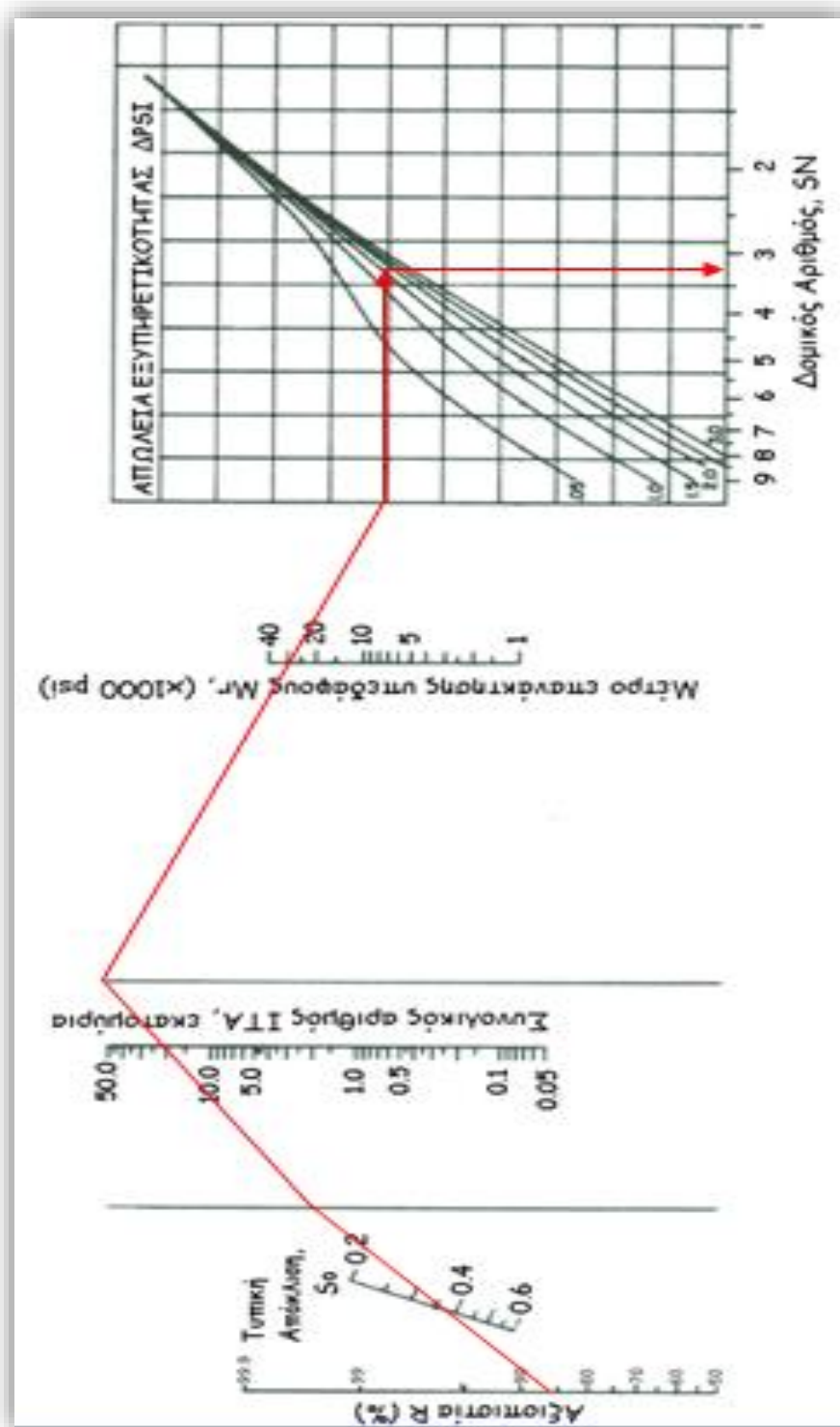
(AASHTO 2002)



**Νομογράφημα 3.5:** Συντελεστής στρώσης βάσης από ισχνό ασφαλτόμιγμα a<sub>2</sub>

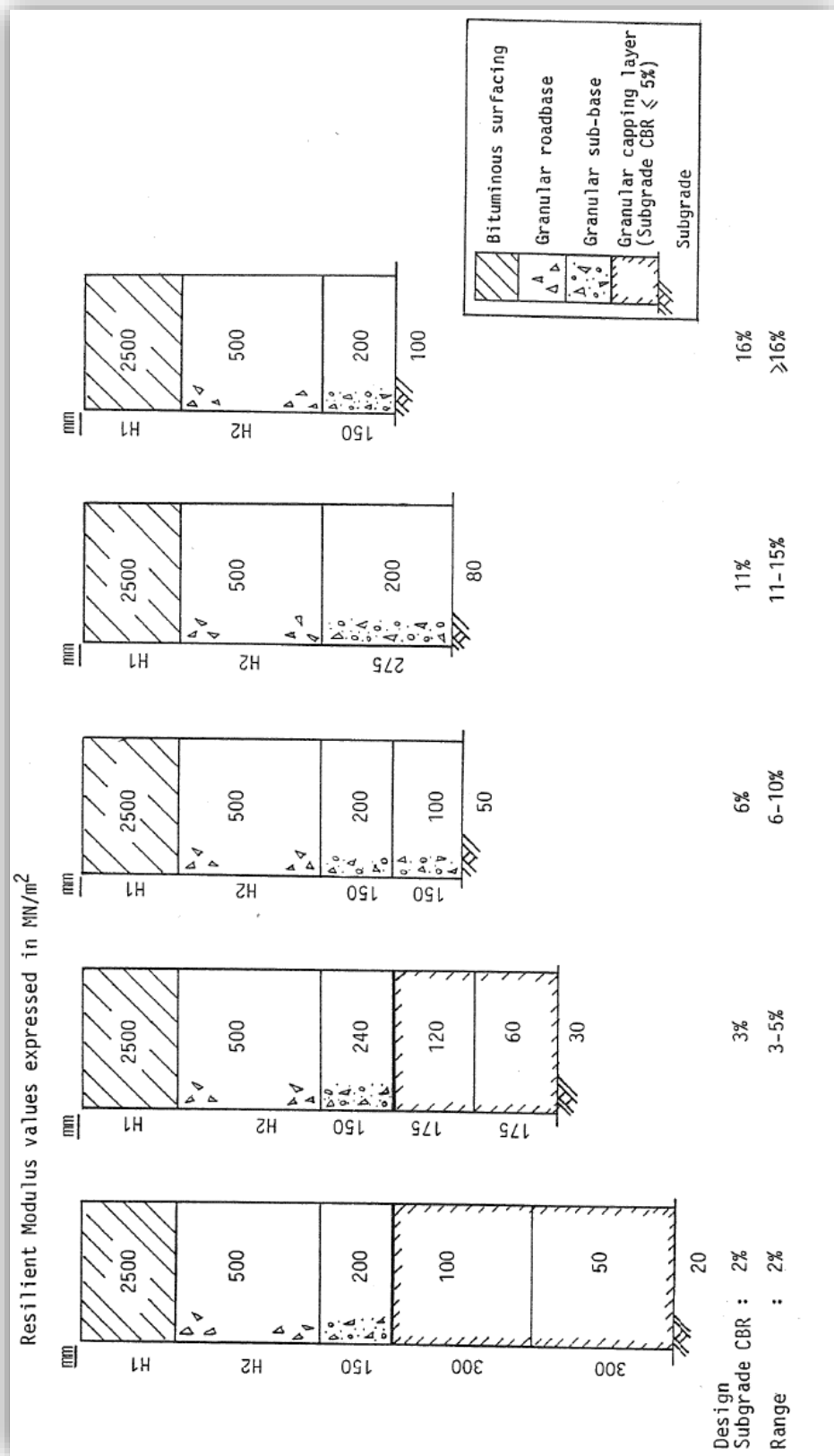
(AASHTO 2002)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

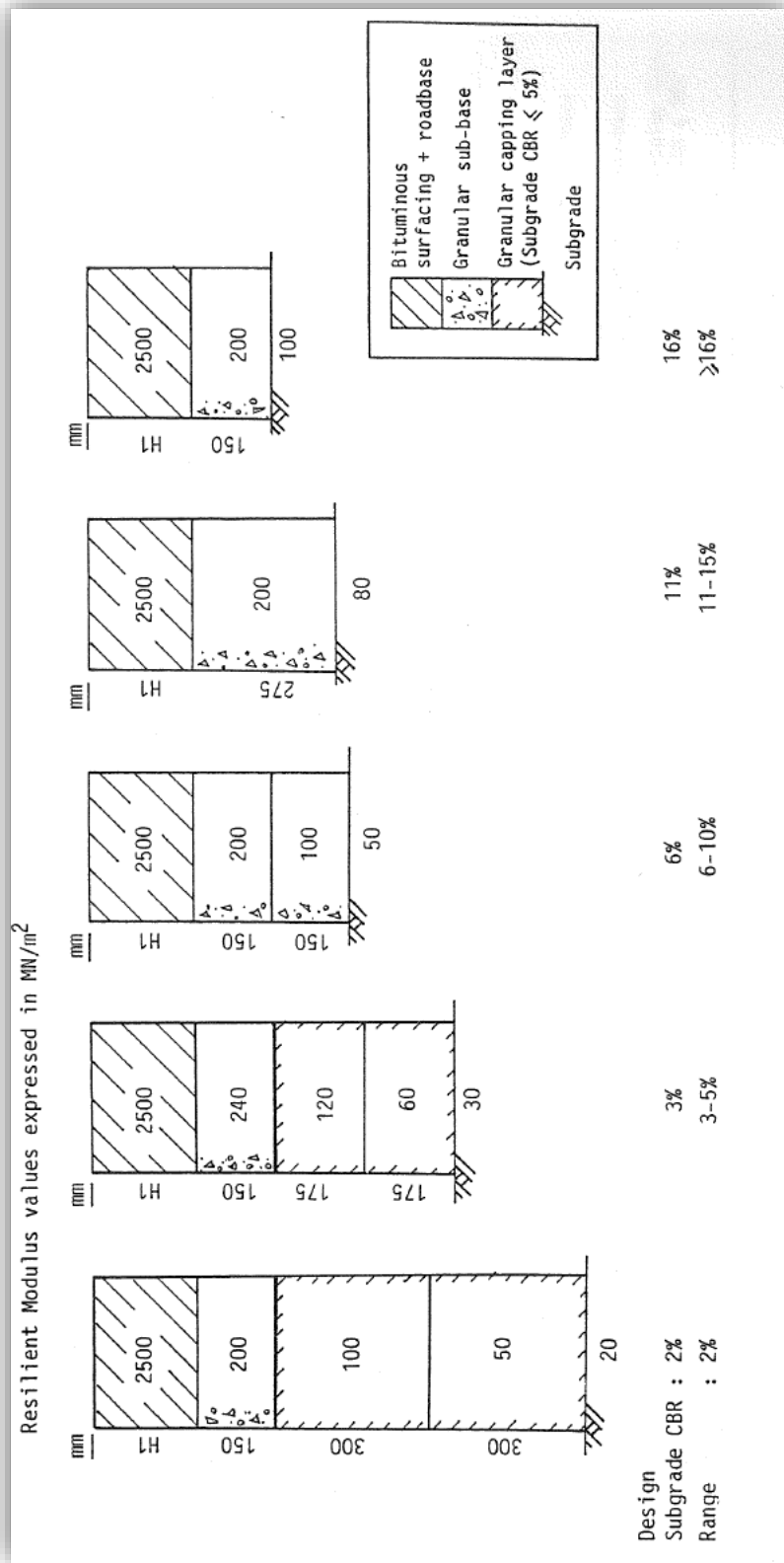


Νομογράφημα 3.6: Νομογράφημα υπολογισμού SN για κάθε στρώση (AASHTO 2002)

(Παράδειγμα επίλυσης με κόκκινες γραμμές)



**Νομογράφημα 4.1:** Οδόστρωμα τύπου NP1 (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



Νομογράφημα 4.2: Οδοστρώμα τύπου NP2 (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



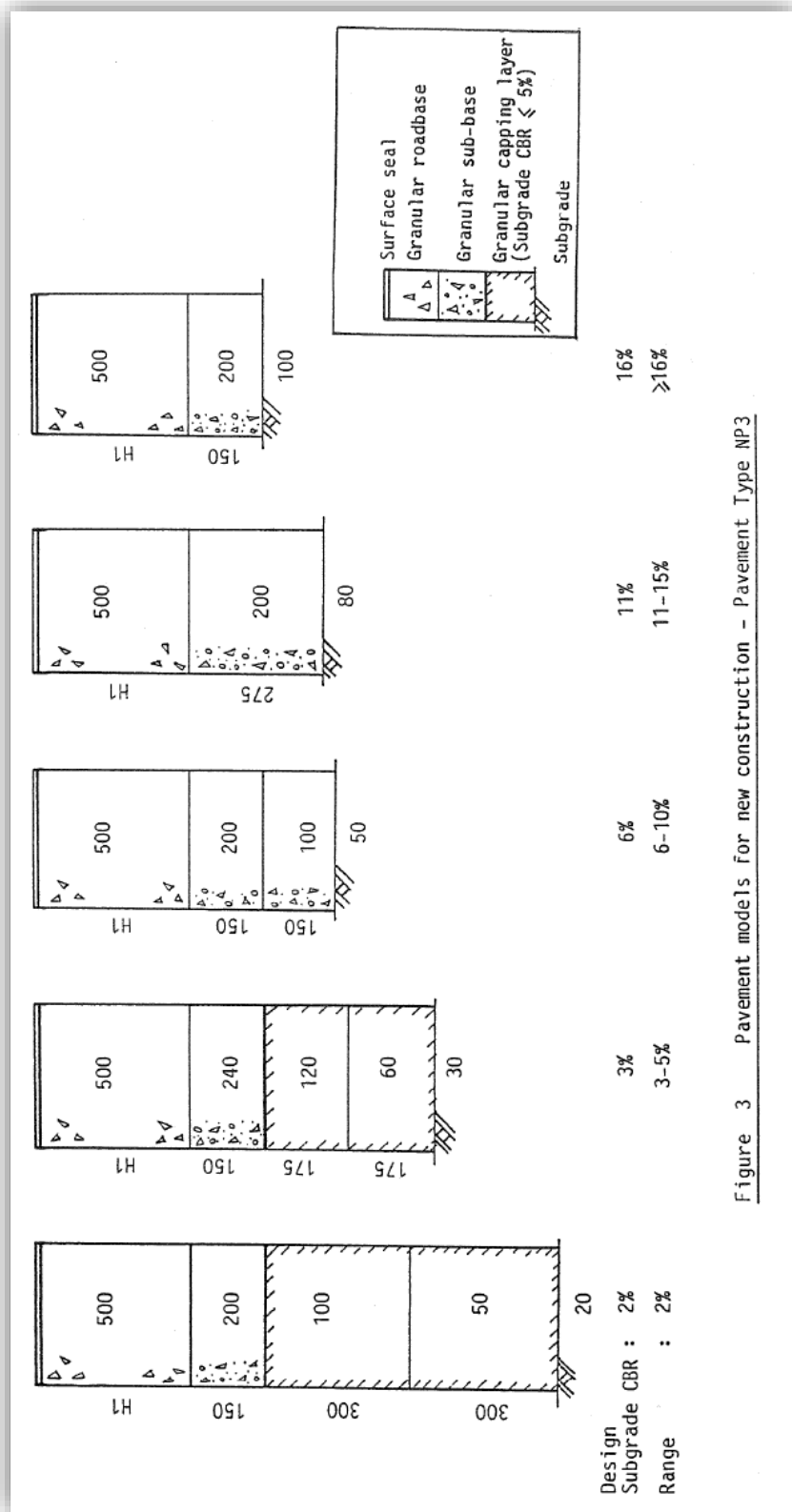
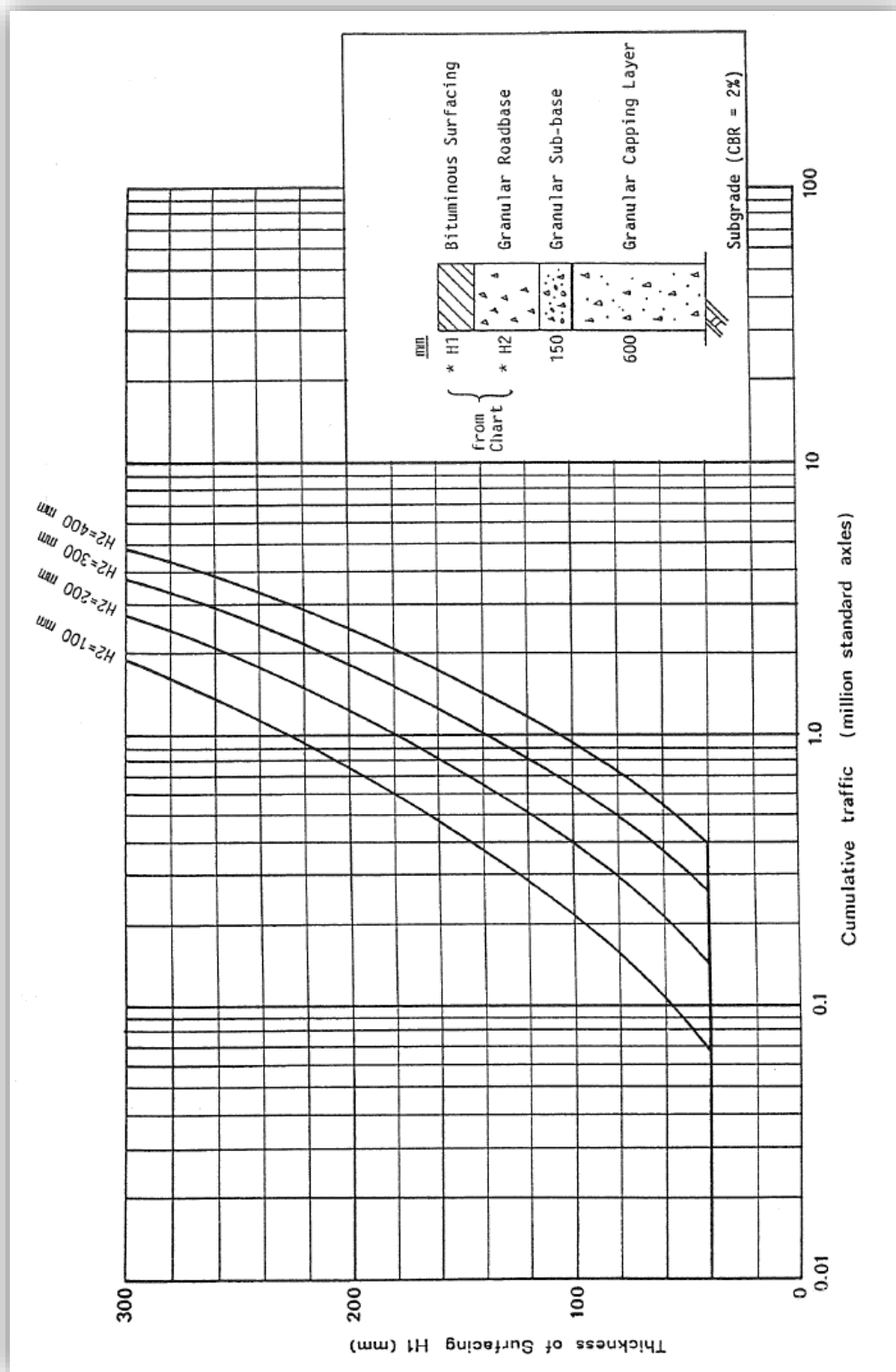
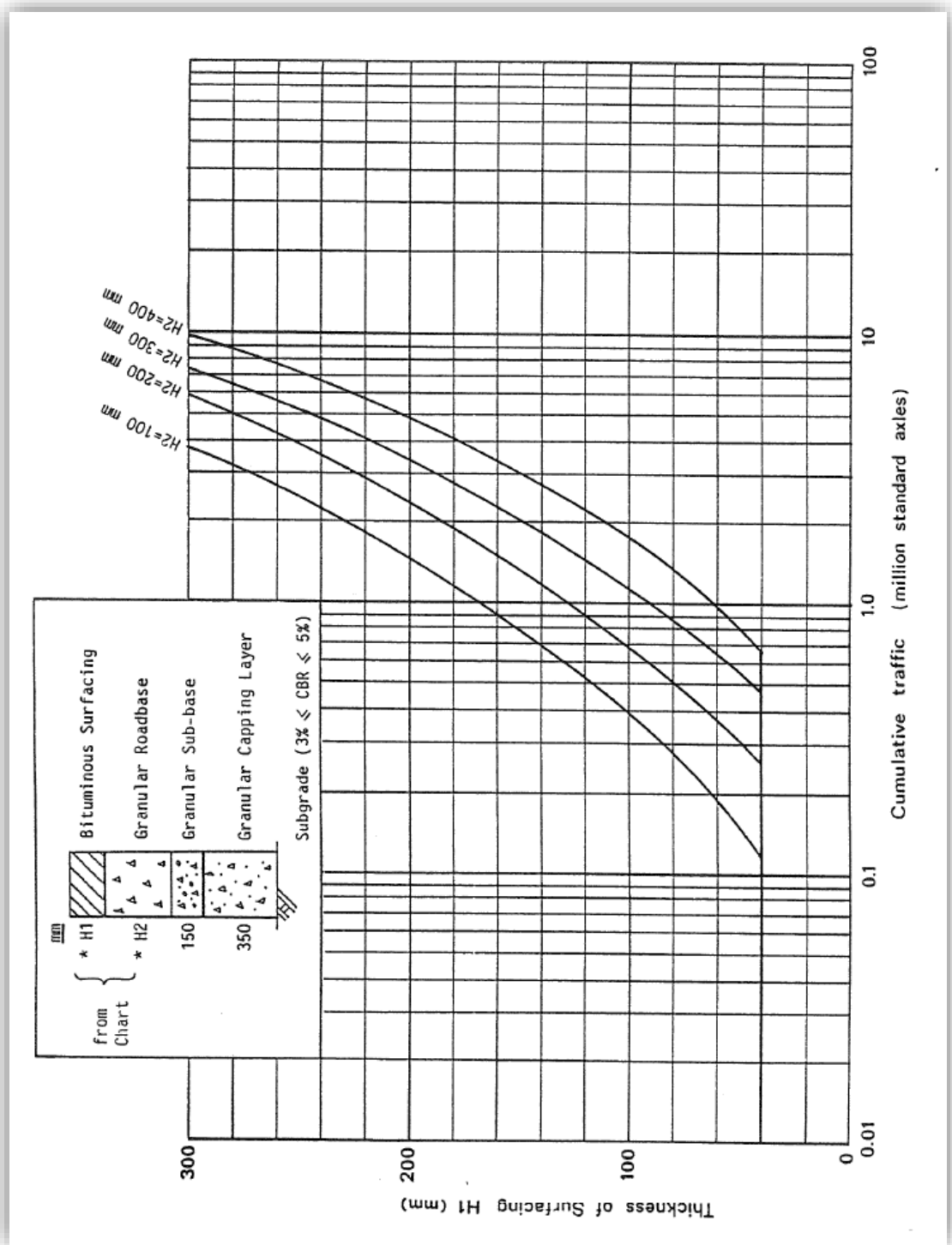


Figure 3 Pavement models for new construction - Pavement Type NP3

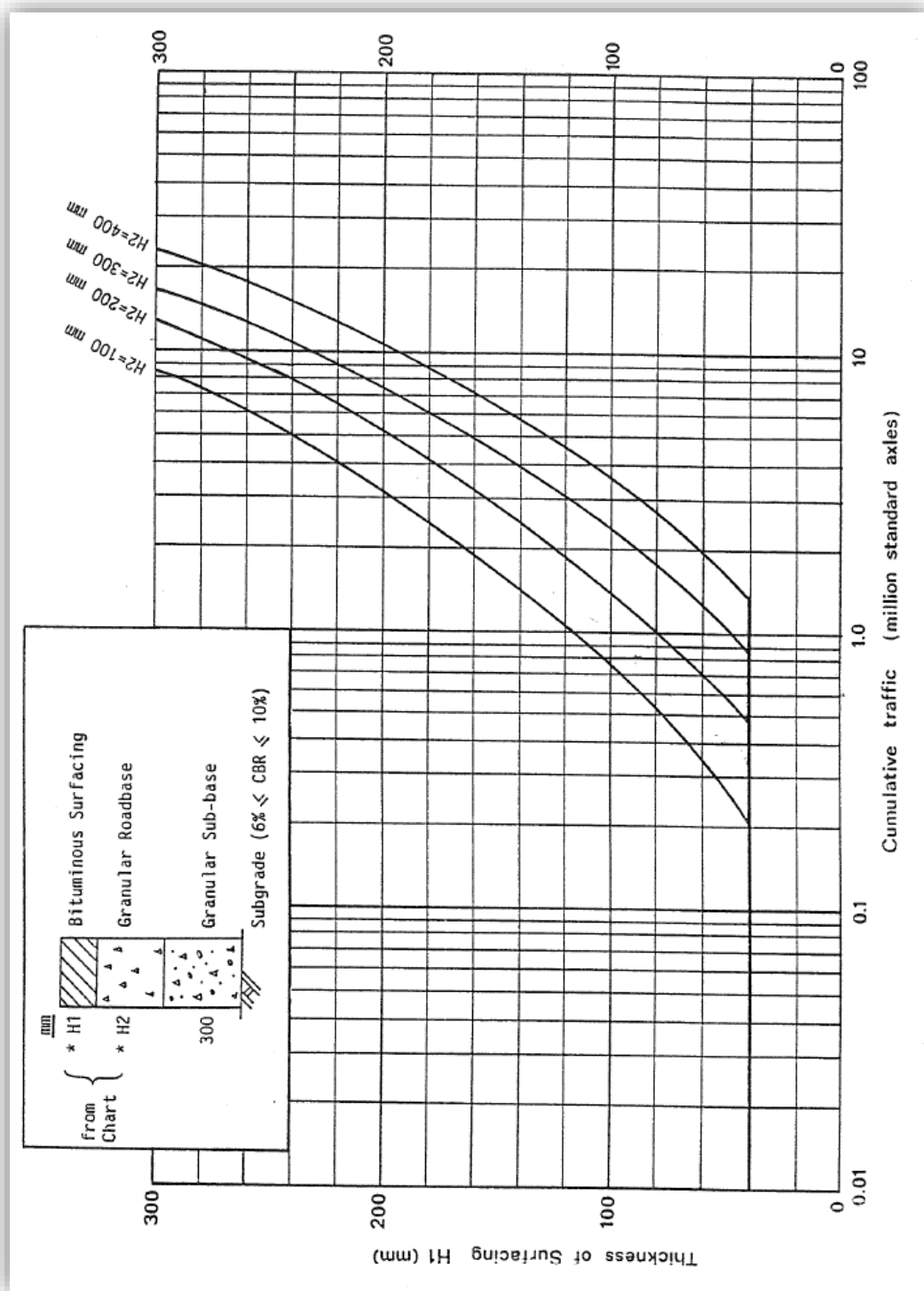
Νομογράφημα 4.3: Οδόστρωμα τύπου NP3 (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



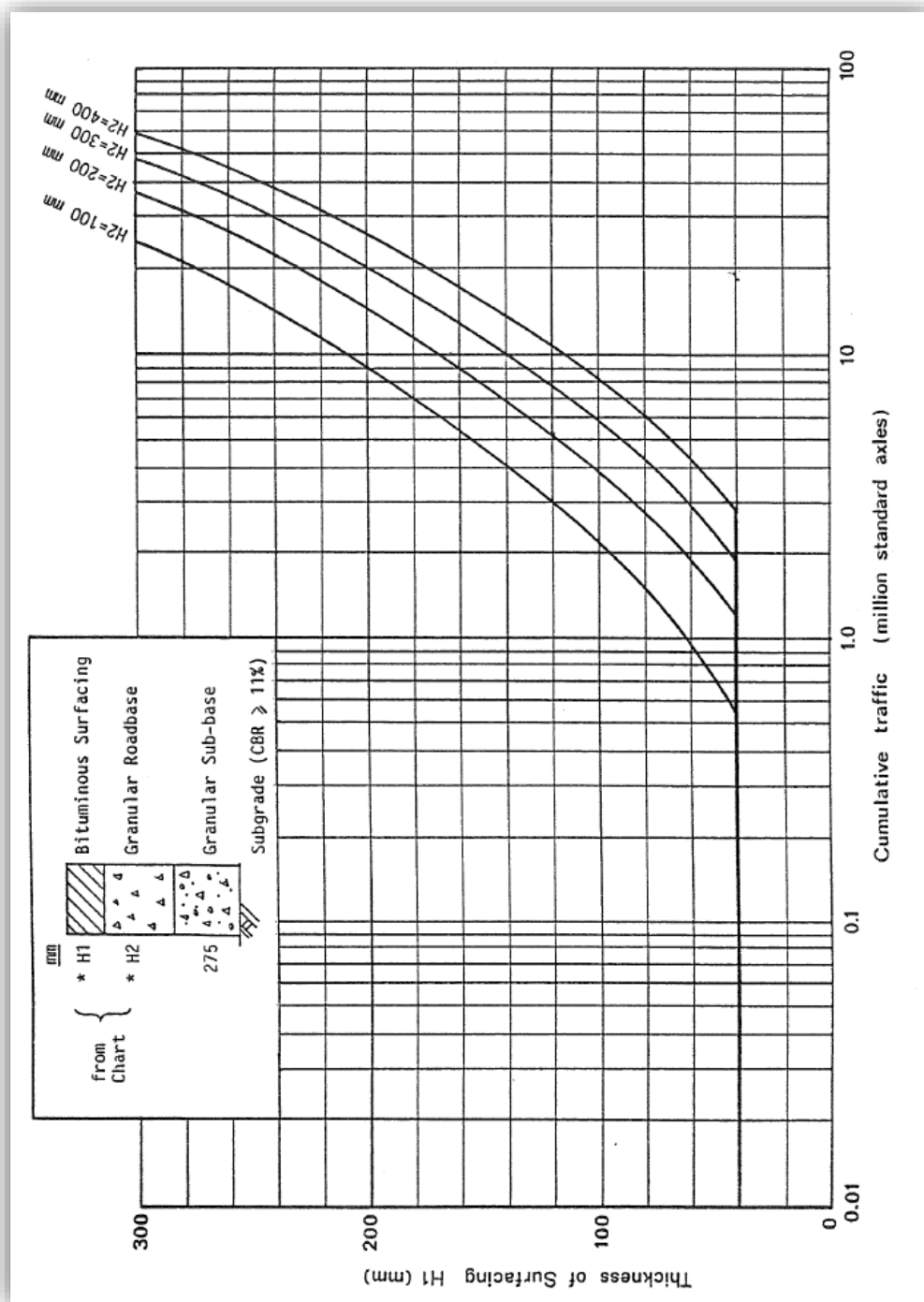
**Νομογράφημα 4.4:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης για οδοστρώματα τύπου NP1 και CBR υπεδάφους 2% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



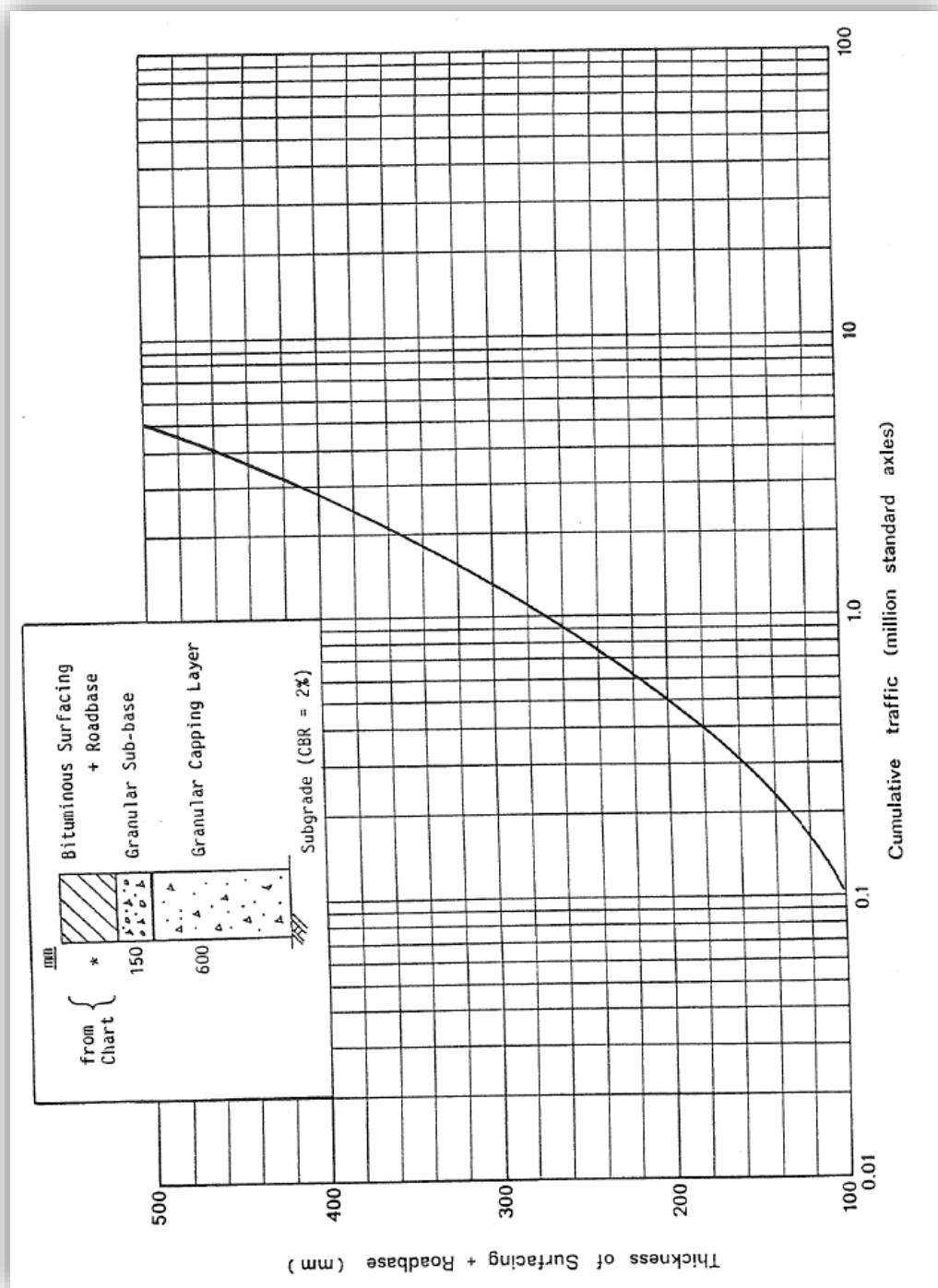
**Νομογράφημα 4.5:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης οδοστρώματος τύπου NP1 και CBR υπεδάφους 3-5% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



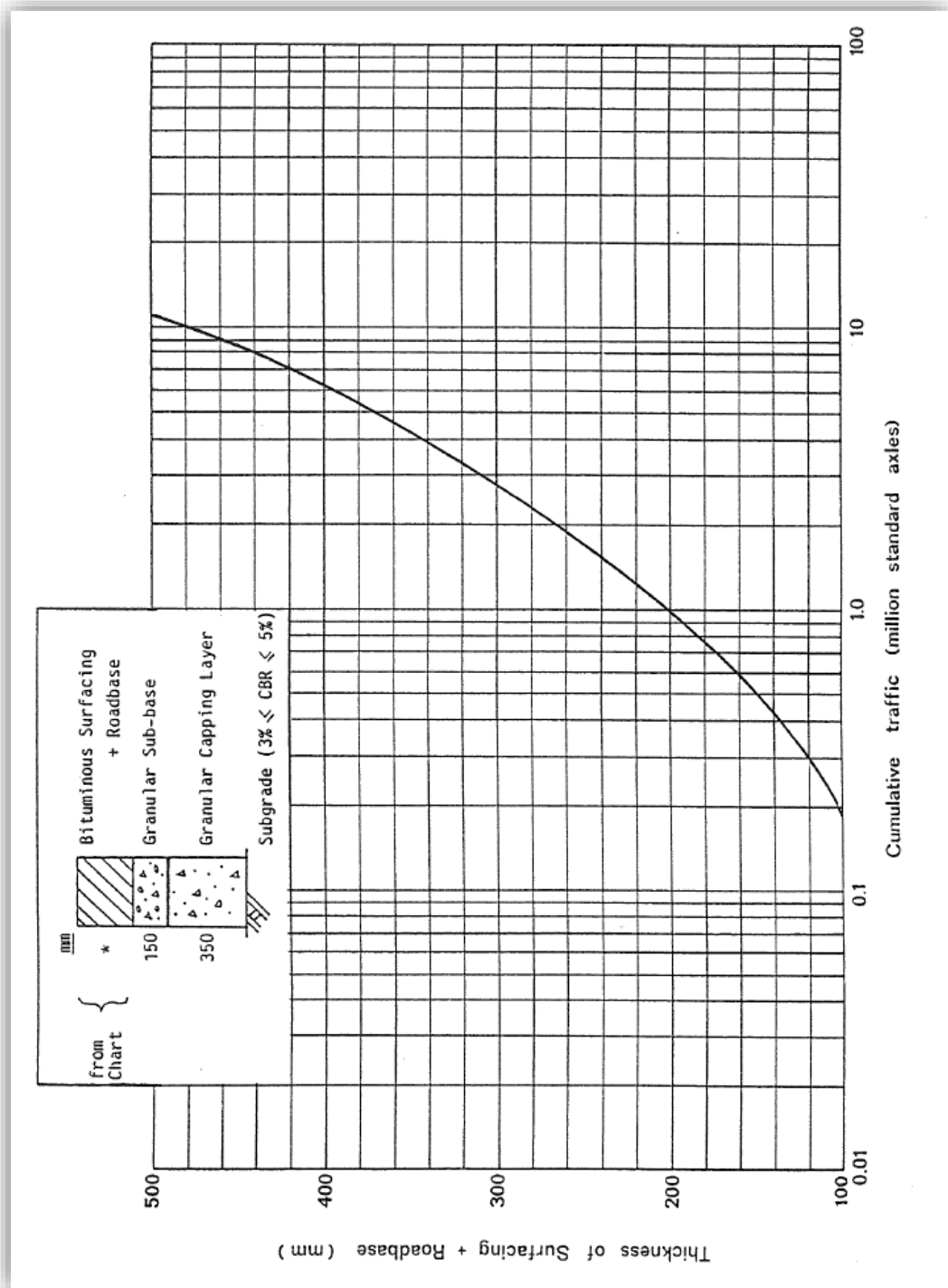
**Νομογράφημα 4.6:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης οδοστρώματος τύπου NP1 και CBR υπεδάφους 6-10% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



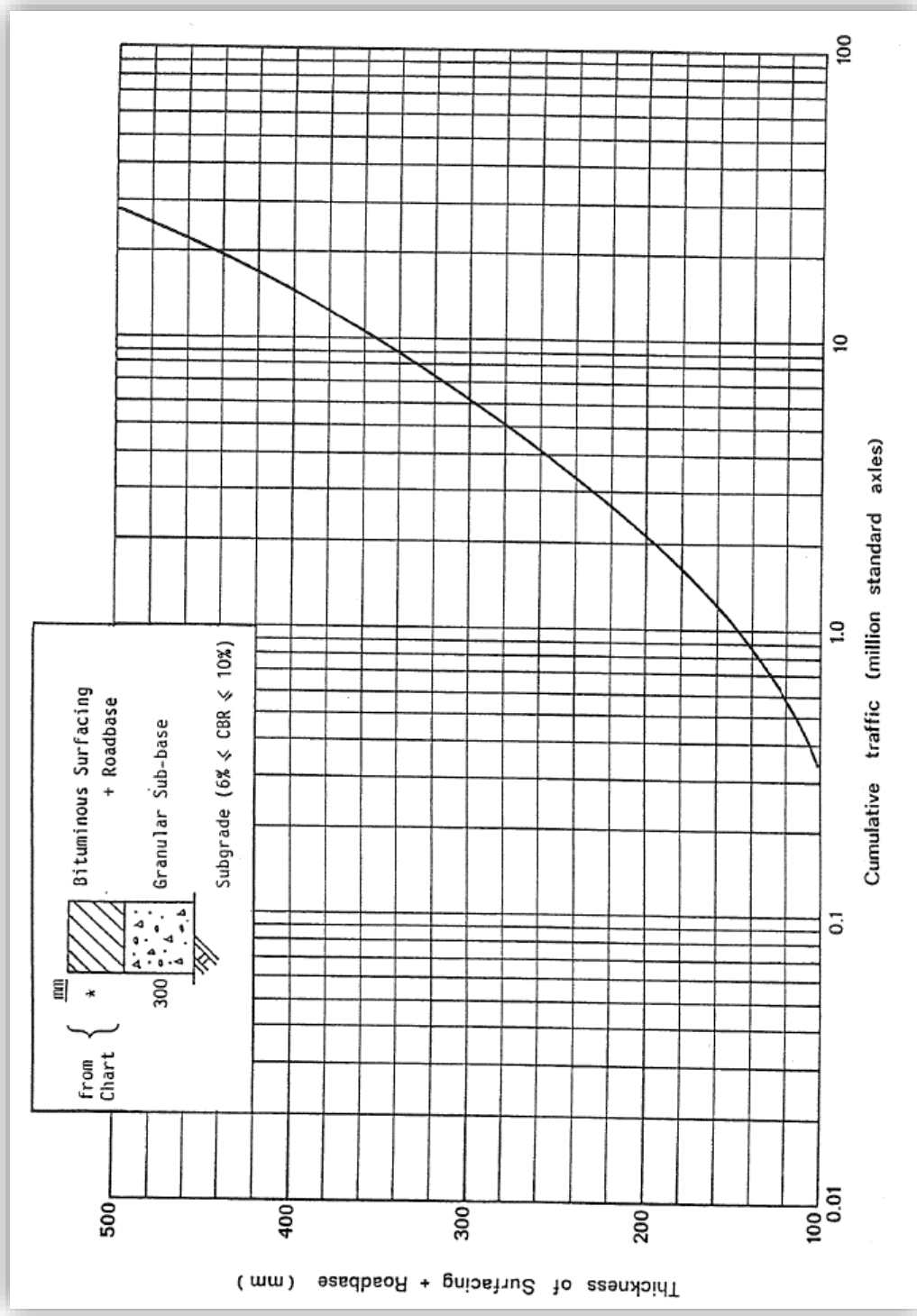
**Νομογράφημα 4.7:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης και βάσης οδοστρώματος τύπου NP1 και CBR υπεδάφους >11% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



**Νομογράφημα 4.8:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους 2% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)

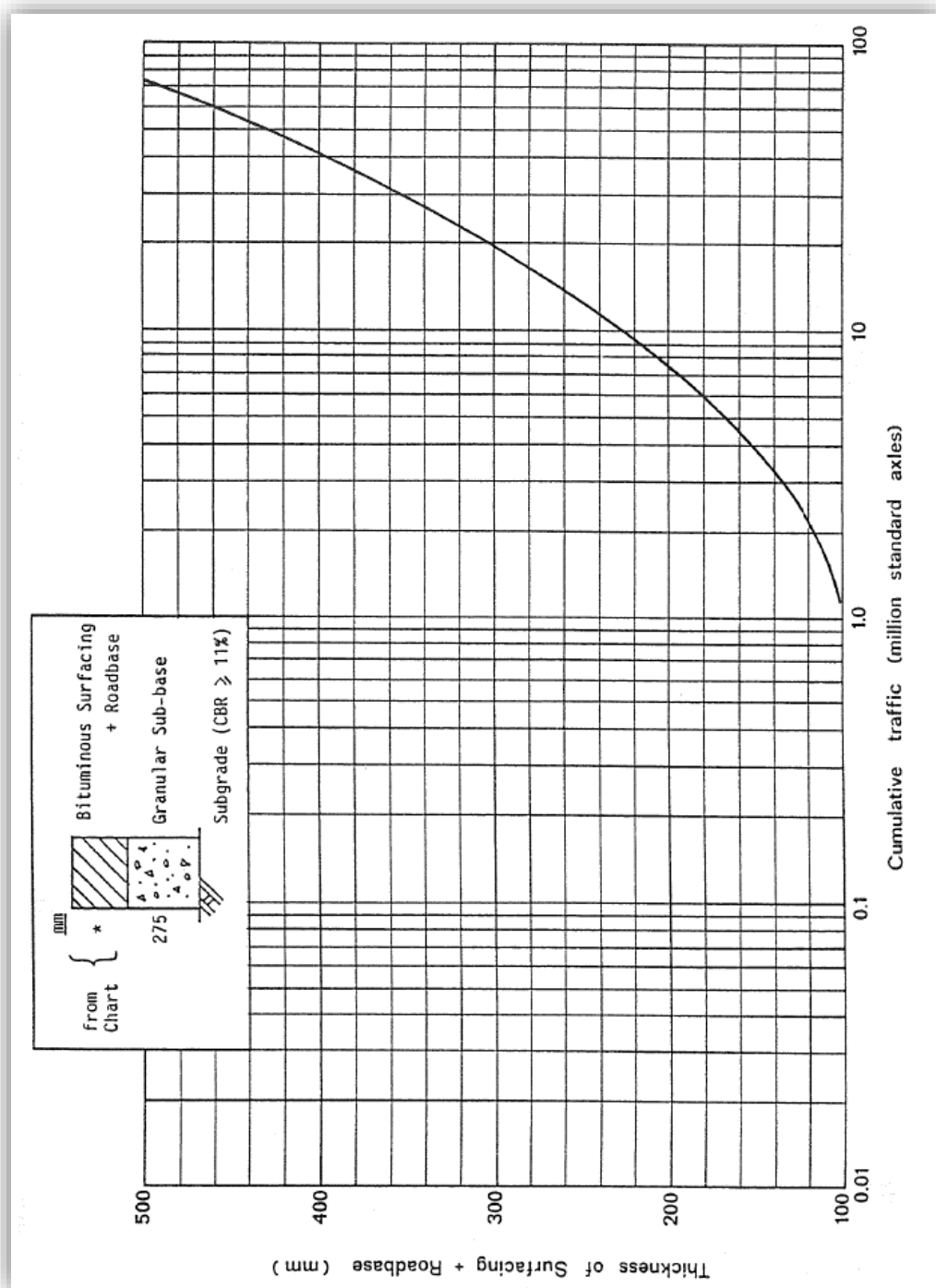


**Νομογράφημα 4.9:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους 3-5% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)

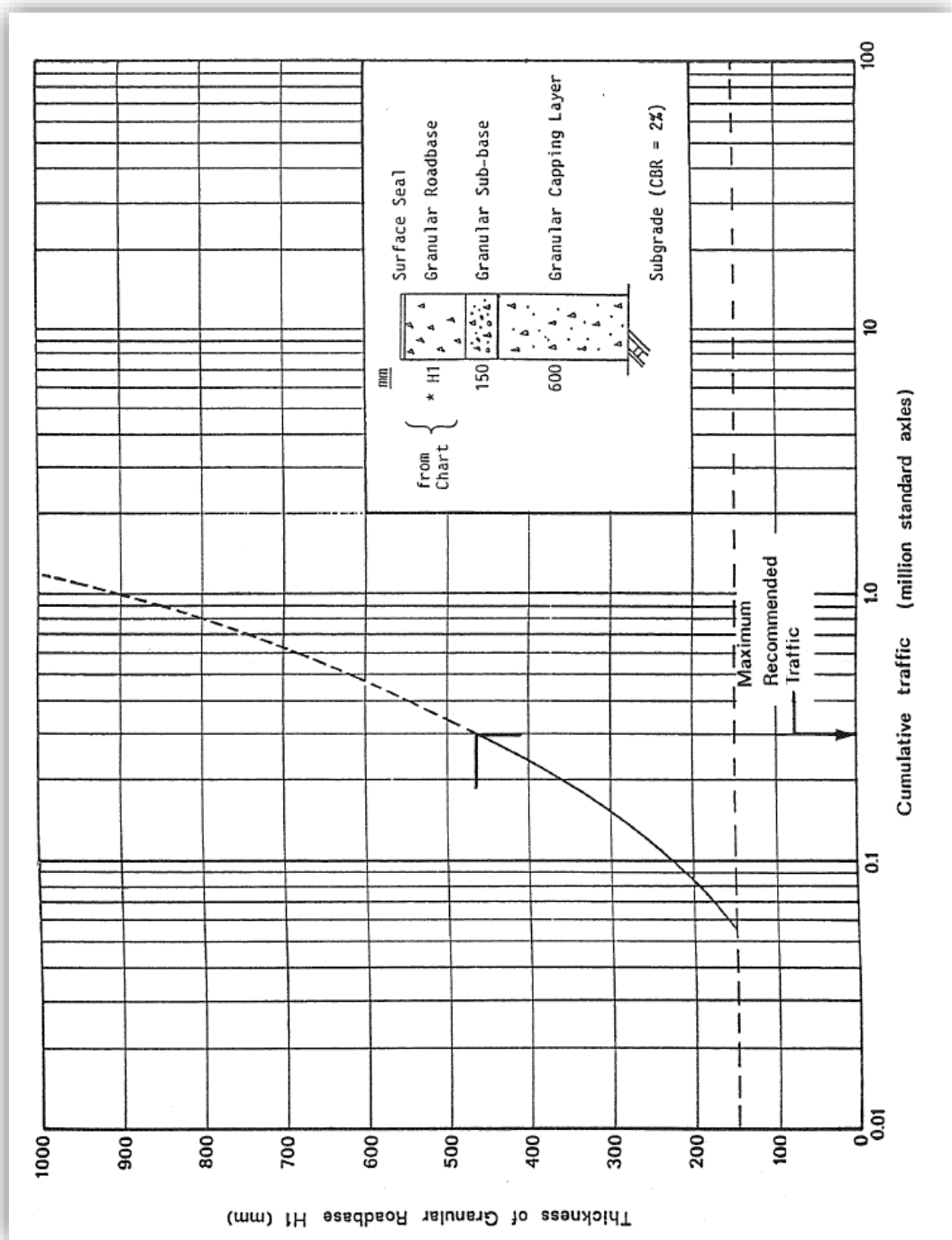


**Νομογράφημα 4.10:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους 6-10% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)

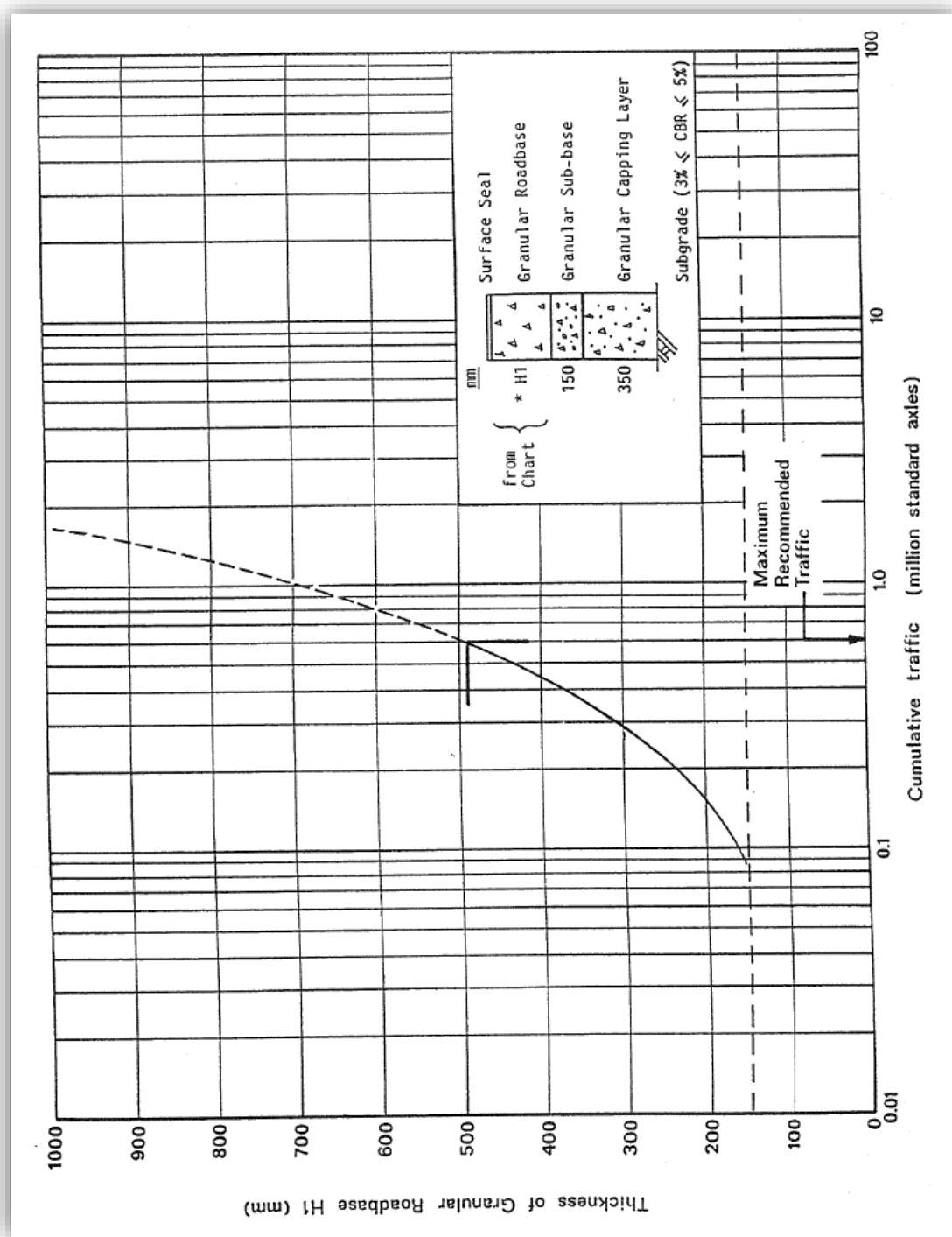




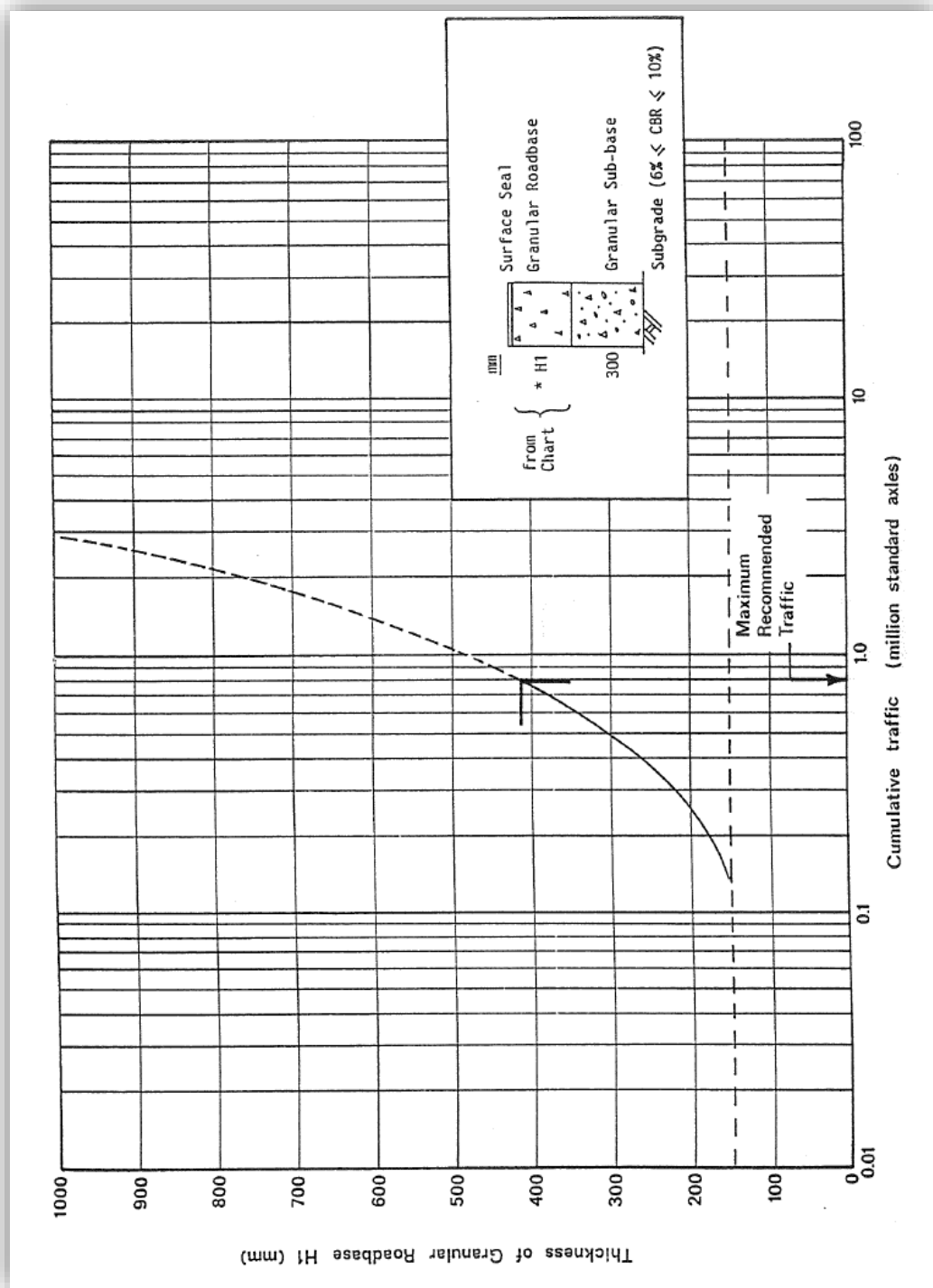
**Νομογράφημα 4.11:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP2 και CBR υπεδάφους >11% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



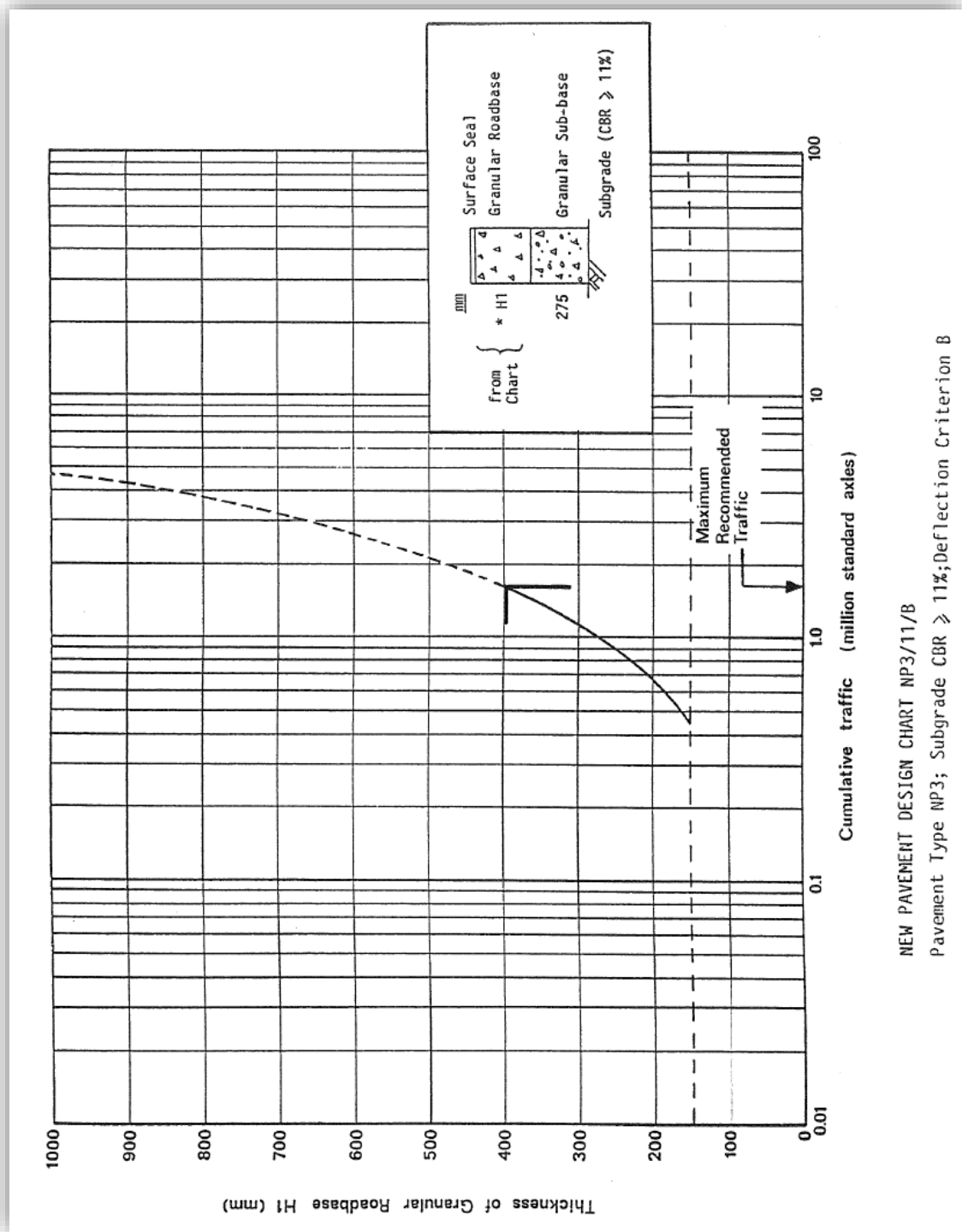
**Νομογράφημα 4.12:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους 2% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



**Νομογράφημα 4.13:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους 3-5% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



**Νομογράφημα 4.14:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους 6-10% (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)



**Νομογράφημα 4.15:** Υπολογισμός επιφανειακής στρώσης μαζί με τη βάση για οδόστρωμα τύπου NP3 και CBR υπεδάφους  $>11\%$  (Τμήμα Δημοσίων Έργων Κύπρου)