

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ:

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΚΥΡΙΑΚΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ

ΛΕΜΕΣΟΣ 2011

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ:
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Κυριακή Παναγιώτου

Επιβλέπων καθηγητής
Κος Ιωάννης Οικονομίδης

Λεμεσός 2011

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Κυριακή Παναγιώτου, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου κύριο Ιωάννη Οικονομίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκειά της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του κλάδου Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Στόχος είναι η μελέτη των παραμέτρων εκείνων που επηρεάζουν τη διαδικασία υπολογισμού του πάχους ενός εύκαμπτου οδοστρώματος καθώς επίσης και κάποιων μεθοδολογιών που ακολουθούνται για αυτό το σκοπό. Συγκεκριμένα στην μελέτη αυτή γίνεται περιγραφή των μεθόδων: AASHTO, του Ινστιτούτου Ασφάλτου, της Βρετανικής μεθόδου και της μεθόδου του Τμήματος Δημοσίων Έργων.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες που αφορούν τη δομή και τη λειτουργία ενός εύκαμπτου οδοστρώματος .

Στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία διαστασιολόγησης του οδοστρώματος και αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό του.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σχεδιαστικά κριτήρια πάνω στα οποία στηρίζεται η κάθε μεθοδολογία για υπολογισμό της δομής του οδοστρώματος. Ταυτόχρονα περιγράφεται η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται ανεξαρτήτως μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για να σχεδιαστεί το προτεινόμενο οδόστρωμα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των τεσσάρων μεθόδων που αναφέρθηκαν πιο πριν με παράθεση των βημάτων που απαιτείται να ακολουθηθούν για τον τελικό σχεδιασμό της διατομής του οδοστρώματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια πρακτική εφαρμογή των μεθόδων που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας στοιχεία από το Τ.Δ.Ε, για έργο που βρίσκεται στο στάδιο της μελέτης. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται μια συγκριτική κατάσταση των υπολογισμών στην οποία φαίνονται τα υπολογιζόμενα πάχη των στρώσεων που προκύπτουν με αυξομείωση των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν το σχεδιασμό των στρώσεων. Παράλληλα γίνεται και μια σύγκριση των εναλλακτικών δομών οδοστρώματος που προκύπτουν από κάθε μέθοδο, χρησιμοποιώντας το κόστος κατασκευής τους ανά τετραγωνικό μέτρο. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη παράθεση των παρατηρήσεων και συμπερασμάτων που προέκυψαν από τη σύγκριση των μεθόδων.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την παρούσα μελέτη και γίνονται κάποιες εισηγήσεις για θέματα τα οποία αξίζει να διερευνηθούν στο μέλλον.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	IV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	V
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	VIII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	X
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	XI
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ	XII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	XIII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2 Κατηγορίες Οδοστρωμάτων	1
1.3 ΔΟΜΗ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	3
1.3.1 Υπέδαφος:	4
1.3.2 Υπόβαση.....	7
1.3.3 Βάση.....	9
1.3.4 Επιφανειακή στρώση ή στρώση κυκλοφορίας	9
1.4 ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ	
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	13
2.1 Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΈΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	13
2.1.1 Σταθεροποίηση του εδάφους	17
2.2 ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	18
2.2.1 Θερμοκρασία.....	18
2.2.2 Υγρασία.....	19
2.2.3 Παγετός.....	20
2.3 ΤΑ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ.....	21
2.3.1 Αδρανή υλικά:	21
2.3.2 Ασφαλτικά υλικά- Ασφαλτος.....	25
2.3.3 Ο κυκλοφοριακός φόρτος.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	34
3.1 ΓΕΝΙΚΑ:.....	34
3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ:	34
3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ- ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ:.....	36
3.3.1 Πολυστρωματικό μοντέλο υπολογισμού	38
3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	46
4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΑΣΗΤΟ:	46
4.1.1 Σχεδιαστικές Παράμετροι.....	47
4.1.2 Κριτήριο απόδοσης οδοστρώματος	51
4.1.3 Χαρακτηριστικά κατασκευής οδοστρώματος	52
4.1.4 Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών	53
4.1.4 Μεθοδολογία υπολογισμού στρώσεων.....	54
4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΑΣΦΑΛΤΟΥ	58
4.2.1 Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση.....	58
4.2.3 Μεθοδολογία διαστασιολόγησης	63
4.3 ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	64
4.3.1 Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση.....	65
4.3.1 Υπολογισμός πάχους στρώσεων	70
4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΈΡΓΩΝ	74
4.4.1 Ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις του οδοστρώματος.....	75
4.4.2 Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση.....	76
4.4.3 Μεθοδολογία υπολογισμού.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	80
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	80
5.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ - ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ	80
5.2.1 Δεδομένα υπολογισμού.....	81
5.2.2 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του ΑΑΣΗΤΟ	81
5.2.3 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του Ινστιτούτου Ασφάλτου	84
5.2.4 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη βρετανική μέθοδο.....	85
5.2.5 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του Τμήματος Δημοσίων Έργων.....	86
5.3 ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	87
5.3.1 Σημειώσεις – Επεξηγήσεις αποτελεσμάτων.....	91
5.3.2 Γραφική σύγκριση προτεινόμενων οδοστρωμάτων:	93
5.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ	96
5.4.1 Σύγκριση κόστους κατασκευής.	98
5.5 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105
6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ	105
6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ	106
6.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΕΡΕΤΑΪΡΩ ΈΡΕΥΝΑΣ.....	107
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Κεφάλαιο 1

Πίνακας 1. 1: Κατάταξη εδαφών σε υποομάδες κατά AASHTO.....	7
---	---

Κεφάλαιο 2

Πίνακας 2. 1: Μέγιστα αξονικά φορτία σε διάφορες χώρες.....	30
Πίνακας 2. 2: Συντελεστές ισοδυναμίας για τη μετατροπή αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (Pt=2.5, SN=5)	32

Κεφάλαιο 4

Πίνακας 4. 1: Προτεινόμενες περιόδοι ανάλυσης.....	48
Πίνακας 4. 2: Υπολογισμός συντελεστή D_L	49
Πίνακας 4. 3: Επίπεδα αξιοπιστίας ανά κατηγορία δρόμου.....	50
Πίνακας 4. 4: Ικανότητα –συντελεστές αποστράγγισης οδοστρώματος.....	52
Πίνακας 4. 5: Ελάχιστα πάχη στρώσεων.....	55

Κεφάλαιο 5

Πίνακας 5. 1: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 4%.....	88
Πίνακας 5. 2: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 6%.....	89
Πίνακας 5. 3: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 11%.....	90
Πίνακας 5. 4: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο 1 msa.....	99
Πίνακας 5. 5: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο 20 msa.....	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Κεφάλαιο 1

Σχήμα 1. 1: Τυπική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος	3
Σχήμα 1. 2: Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών- (πηγή: Καββαδάς- Φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών).....	6

Κεφάλαιο 3

Σχήμα 3. 1:Κρίσιμες θέσεις διατομής εύκαμπτου οδοστρώματος	35
Σχήμα 3. 2: Προσδιορισμό της επιτρεπόμενης τιμής της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης από τις προβλεπόμενες επαναλήψεις φορτίσεων.	36
Σχήμα 3. 4: Πολυστρωματικό μοντέλο υπολογισμού οδοστρώματος.....	39
Σχήμα 3. 5: Γενική αρχή αναλυτικού υπολογισμού οδοστρώματων.....	45

Κεφάλαιο 4

Σχήμα 4. 1: Υπολογισμός δομικού αριθμού σε σύστημα πολλαπλών στρώσεων.....	56
--	----

Κεφάλαιο 5

Σχήμα 5. 1:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 4% και κυκλοφοριακό φόρτο 0,5 msa.....	93
Σχήμα 5. 2:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 4% και κυκλοφοριακό φόρτο 20 msa.....	94
Σχήμα 5. 3:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 6% και κυκλοφοριακό φόρτο 1 msa.....	94
Σχήμα 5. 4:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 6% και κυκλοφοριακό φόρτο 5 msa.....	95
Σχήμα 5. 5:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 11% και κυκλοφοριακό φόρτο 1msa.....	95
Σχήμα 5. 6:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 11% και κυκλοφοριακό φόρτο 50msa.....	96

Σχήμα 5. 7: Σύγκριση υπολογιζόμενου πάχους και κόστους οδοστρωμάτων με CBR 4% και φόρτο 20 msa.....	100
Σχήμα 5. 8: Σύγκριση υπολογιζόμενου πάχους και κόστους οδοστρωμάτων με CBR 11% και φόρτο 1 msa.....	100
Σχήμα 5. 9: Συγκριτικό διάγραμμα κόστους προτεινόμενων οδοστρωμάτων για 1msa	101
Σχήμα 5. 10: Συγκριτικό διάγραμμα κόστους προτεινόμενων οδοστρωμάτων για 20 msa. .	101

Παράρτημα Α

Σχήμα Α. 1: Νομογράφημα υπολογισμού δομικού αριθμού στρώσης και οδοστρώματος... 111	111
Σχήμα Α. 2: Διάγραμμα υπολογισμού M_r	112
Σχήμα Α. 3: Συντελεστής στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα (a_1).....	113
Σχήμα Α. 4: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2).....	114
Σχήμα Α. 5: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχνό σκυρόδεμα (a_2)	115
Σχήμα Α. 6: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχνό ασφαλτόμιγμα (a_2).....	116
Σχήμα Α. 7. Συντελεστής στρώσεως υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (a_3).....	117

Παράρτημα Β

Σχήμα Β. 1: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα, για πάχος 150 mm.....	119
Σχήμα Β. 2: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα για πάχος βάσης 150 mm.....	120

Παράρτημα Γ

Σχήμα Γ. 1 : Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP1 με C.B.R εδάφους 2%.	122
Σχήμα Γ. 2: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP1 με C.B.R εδάφους 3-5%.....	123
Σχήμα Γ. 3: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP1 με C.B.R εδάφους 11%.	124
Σχήμα Γ. 4: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP2 με C.B.R εδάφους 2%.	125
Σχήμα Γ. 5: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP2 με C.B.R εδάφους 3-5%.....	126

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Κεφάλαιο 1

Εικόνα 1. 1: Κατανομή φορτίων σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα	2
Εικόνα 1. 2: Ρωγμές τύπου αλιγάτορα	11
Εικόνα 1. 3 : Παραμόρφωση επιφάνειας κύλισης οδοστρώματος	12

Κεφάλαιο 2

Εικόνα 2. 1: Συσκευή διεξαγωγής εργαστηριακού ελέγχου CBR.....	16
Εικόνα 2. 2: Δημιουργία ρωγμής στο οδόστρωμα από δημιουργία παγετού στο υπέδαφος...	20
Εικόνα 2. 3: Δοκίμια ασφαλτικού σκυροδέματος.	28

Κεφάλαιο 4

Εικόνα 4. 1: Λογισμικό φύλλο υπολογισμού της μεθόδου AASHTO	57
---	----

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ITA	Ισοδύναμοι Τυπικοί Άξονες
ΜΕΘΑ	Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρα
C.B.R	California Bearing Ratio
OGV	Other Good Vehicles
PSV	Public Service Vehicles
TRL	Transport Research Laboratory
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
msa	Million Standard Axes
DBM	Dense Bitumen Macadam- Πυκνό Ασφαλτικό Macadam

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

ASTM D – 2487	Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών
R	Τιμή αντίστασης ή ευστάθειας
K	Μέτρο αντίδρασης
E ή Mr	Μέτρο ελαστικότητας ή επανάκτησης
Poisson's ratio	Ο λόγος της πλευρικής (εγκάρσιας) προς την αξονική παραμόρφωση
Δοκιμή Marshall	Δοκιμή κατά την οποία ελέγχεται η συμπεριφορά ενός δοκιμίου ασφαλτικού σκυροδέματος (ευστάθεια) υπό θλίψη
BISAR, DAMA	Ειδικά λογισμικά προγράμματα για υπολογισμό των τάσεων και παραμορφώσεων στο οδόστρωμα
HRA	Θερμό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οδόστρωμα ονομάζεται το σύνολο των επαλλήλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος ή κάποιο επίχωμα για τη δημιουργία της οδού. Είναι μια σύνθετη κατασκευή που επιτελεί διάφορες λειτουργίες ανόμοιες μεταξύ τους, έχει δε να διανέμει τις πιέσεις από τα φορτία της κυκλοφορίας έτσι ώστε η καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης να μην υπερβαίνει τα όρια (Νικολαΐδης Α., 1996). Οι στρώσεις από τις οποίες αποτελείται το οδόστρωμα είναι κατάλληλης συνθέσεως ανάλογα με τη θέση και τη λειτουργία τους.

Μολονότι ο σχεδιασμός οδοστρωμάτων εξελίχθηκε σταδιακά από τέχνη σε επιστήμη, ο εμπειρισμός εξακολουθεί να παίζει σημαντικό ρόλο ακόμα και σήμερα. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1920, το πάχος του οδοστρώματος υπολογιζόταν με βάση καθαρά την εμπειρία. Το ίδιο πάχος οδοστρώματος μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά οδικά τμήματα, παρόλο που το υφιστάμενο έδαφος μπορούσε να παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά του. Με την πάροδο των χρόνων και την αποκτούμενη εμπειρία, αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι από διάφορους οργανισμούς παγκόσμια, με στόχο τον προσδιορισμό του απαιτούμενου πάχους του οδοστρώματος. (Yang H. Huang, 2004)

Ο Μηχανικός που σχεδιάζει ένα οδόστρωμα έχει να κάνει ένα δύσκολο έργο καθώς στόχος του πρέπει να είναι όχι μόνο η σωστή διαστασιολόγηση των στρώσεων, αλλά ταυτόχρονα και η επιλογή του συνδυασμού εκείνου που θα προσδίδει την απαιτούμενη αντοχή και λειτουργικότητα στην κατασκευή του, μέσα στα πλαίσια ενός οικονομικού έργου, έτσι ώστε το συνολικό κόστος για όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του, θα είναι μέσα στα λογικά και αναμενόμενα όρια για το είδος του οδοστρώματος που σκοπεύει να κατασκευάσει. (π.χ υπεραστικός, αστικός δρόμος κλπ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

1.1 Γενικά

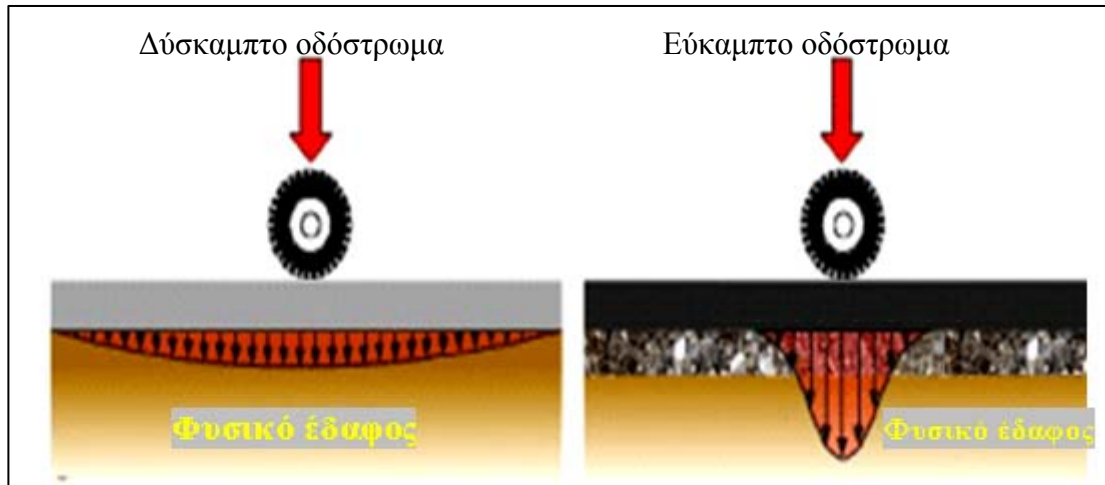
Το φυσικό έδαφος στη μορφή που βρίσκεται δεν είναι ικανό να φέρει τις προερχόμενες από την κυκλοφορία καταπονήσεις και δεν έχει την απαιτούμενη λεία επιφάνεια για την ομαλή κίνηση των οχημάτων. Επί πλέον δεν αντέχει στις κλιματολογικές διακυμάνσεις, την υγρασία, την βροχή κλπ όταν επάνω του κινούνται οχήματα (Κόφιτσας Ι., 1997). Για τους λόγους αυτούς κατασκευάζεται το οδόστρωμα.

Γενικά σκοπός της κατασκευής του οδοστρώματος είναι να εξασφαλίζεται:

- (1) Η μετάδοση στο έδαφος των φορτίων των κυκλοφορούντων οχημάτων ελαττωμένων σε τέτοιο βαθμό, που να αποτρέπονται ανεπίτρεπτες σε μέγεθος μόνιμες παραμορφώσεις.
- (2) Η δομική επάρκεια του ιδίου του οδοστρώματος στις επαναλαμβανόμενες επιπονήσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος, δηλαδή αποφυγή ρηγματώσεων, παραμορφώσεων και αποφλοιώσεων.
- (3) Η προστασία του εδάφους θεμελίωσης του οδοστρώματος από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος (παγετός, νερό) οι οποίες θα προκαλέσουν απώλεια φέρουσας ικανότητας και μόνιμες παραμορφώσεις.
- (4) Η διατήρηση ενός ελάχιστου επιτρεπόμενου επιπέδου αντιολισθητικότητας της στρώσης κύλισης.

1.2 Κατηγορίες Οδοστρωμάτων

Τα οδοστρώματα ανάλογα με το βαθμό ελαστικότητας τους (ευκαμψίας), σε σχέση με την επίδραση της κυκλοφορίας των οχημάτων, διακρίνονται σε Εύκαμπτα και Δύσκαμπτα. Η βασική διαφορά τους έγκειται στον τρόπο που μεταβιβάζουν και κατανέμουν τα φορτία στο υπέδαφος. Στο σχήμα 1.1 που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά ο τρόπος μεταβίβασης των φορτίων που παραλαμβάνονται στην επιφάνεια των δύο τύπων οδοστρωμάτων, στο υπέδαφος.



Εικόνα 1. 1: Κατανομή φορτίων σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα (UStudy Initiative)

Εύκαμπτα Οδοστρώματα: Συγκροτούνται από στρώσεις αδρανών υλικών και από επιφανειακές στρώσεις μικρού σχετικά πάχους που κατασκευάζονται με βασικό υλικό την άσφαλτο. Η μεταφορά των φορτίων στο έδαφος γίνεται διαμέσου των στρώσεών τους. Ως εύκαμπτα θεωρούνται :

- Τα ασφαλτικά οδοστρώματα
- Τα κυκλοφοριόπηκτα οδοστρώματα
- Τα οδοστρώματα δια σταθεροποιήσεως
- Τα σκυρωτά οδοστρώματα.

Όταν τα ασφαλτικά οδοστρώματα κατασκευάζονται με σταθεροποιημένα υλικά στρώσεων ή με στρώσεις ασφαλτικού σκυροδέματος μεγάλου πάχους, τότε μπορεί να παρουσιάζουν ακαμψία όπως αυτή των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.

Δύσκαμπτα οδοστρώματα: Συγκροτούνται από πλάκες σκυροδέματος. Η μεταφορά των φορτίων γίνεται απευθείας στο υπέδαφος σε αρκετά μεγάλη επιφάνεια. Ως δύσκαμπτα θεωρούνται :

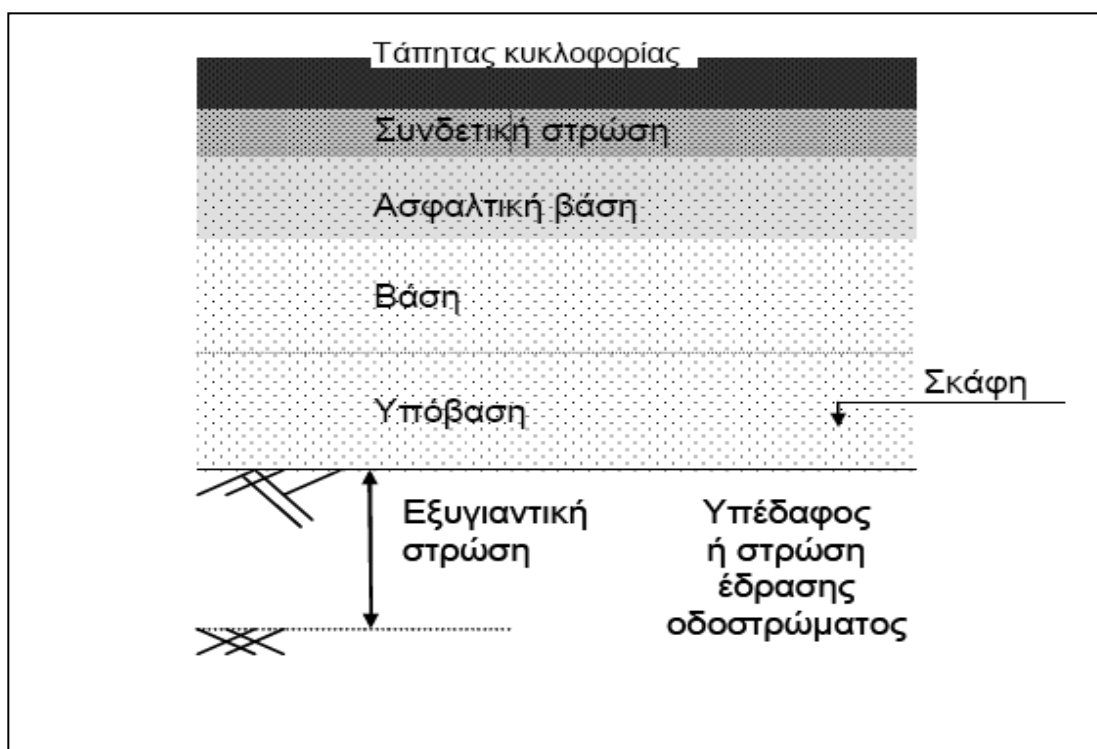
- τα οδοστρώματα που είναι κατασκευασμένα από σκυρόδεμα και
- τα λιθόστρωτα οδοστρώματα.

1.3 Δομή εύκαμπτου οδοστρώματος

Η δομή του εύκαμπτου οδοστρώματος όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω αποτελείται από δύο χαρακτηριστικές ομάδες στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά. Την ομάδα των στρώσεων από ασύνδετα ή και σταθεροποιημένα αδρανή υλικά, που εδράζεται πάνω στο υπέδαφος, και την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτομίγματα, που εδράζεται πάνω στην προηγούμενη ομάδα.

Γενικά η δομή του εύκαμπτου οδοστρώματος αποτελείται από τρεις κατηγορίες στρώσεων που εδράζονται πάνω στο φυσικό έδαφος:

- Την Υπόβαση
- Τη Βάση
- Την Επιφανειακή Στρώση ή Στρώση Κυκλοφορίας



Σχήμα 1. 1: Τυπική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος (Εγνατία Οδός)

Για να ικανοποιείται ο σκοπός κατασκευής του οδοστρώματος, οι στρώσεις πρέπει να έχουν κάποιες ιδιότητες και ταυτόχρονα να τοποθετούνται με τρόπο που τα υλικά τους να είναι καλύτερα και μεγαλύτερης αντοχής εκεί όπου τα φορτία είναι

μεγαλύτερα. Με άλλα λόγια η αντοχή των στρώσεων του οδοστρώματος πρέπει να αυξάνεται από κάτω προς τα πάνω.

1.3.1 Υπέδαφος:

Σαν υπέδαφος χαρακτηρίζεται το υπάρχον φυσικό έδαφος, το οποίο στο επίχωμα εντοπίζεται αμέσως μετά την απομάκρυνση των φυτικών γαιών (φυτόχωμα), ενώ στο όρυγμα όταν επιτευχθεί το απαιτούμενο βάθος εκσκαφής. Τα εδάφη ανάλογα με τον τρόπο που δημιουργήθηκαν μπορούν να καταταχθούν σε διάφορες κατηγορίες:

Υπολειμματικά εδάφη είναι τα εδάφη που δημιουργήθηκαν από πετρώματα που βρίσκονται ακριβώς κάτω από αυτά. Οι κλιματολογικές συνθήκες (θερμοκρασία και βροχόπτωση) ήταν οι κύριες αιτίες που προκάλεσαν την αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων. Τα εδάφη αυτά αποτελούνται από ανόργανα κοκκώδη υλικά, λεπτόκοκκα στις ανώτατες στρώσεις και περισσότερο χονδρόκοκκα στις κατώτατες στρώσεις. Τα εδάφη αυτά, εάν, δεν έχει επέλθει δραστική χημική αποσάθρωση (τροπικές κλιματολογικές συνθήκες), είναι κατάλληλα για τη θεμελίωση των οδοστρωμάτων.

Αυτόχθονα και ιζηματογενή. Τα αυτόχθονα εδάφη προέρχονται από την επιτόπου απόθεση των προϊόντων αποσάθρωσης, χωρίς να μεσολαβήσει μεταφορά τους μακριά από την περιοχή της αποσάθρωσης. Αντίθετα, τα ιζηματογενή εδάφη είναι αυτά που δημιουργήθηκαν μετά από μεταφορά των στερεών σωματιδίων (κόκκων), που υπήρχαν σε αιώρηση σε υδάτινο περιβάλλον όπως ποταμούς μακριά από την αρχική τους θέση και την επακόλουθη απόθεσή τους στην περιοχή των εκβολών. Η μεταφορά και απόθεση των ιζηματογενών εδαφικών σχηματισμών με το νερό οδηγεί στο διαχωρισμό τους κατά μέγεθος κόκκων. Έτσι, χονδρόκοκκα ιζήματα (χάλικες και άμμοι) αποτίθενται συνήθως στις κοίτες των ποταμών και σε περιοχές κοντά στις εκβολές τους. Αντίθετα, τα λεπτόκοκκα ιζήματα (ιλείς και άργιλοι) μεταφέρονται αιωρούμενα σε μεγάλες αποστάσεις και αποτίθενται με αργό ρυθμό στον πυθμένα των θαλασσών και λιμνών μακριά από τις εκβολές των ποταμών. Από τα ιζηματογενή εδάφη τα προσχωματικά, αυτά που έχουν εναποτεθεί από ποταμούς, εξαιρουμένων των αποθέσεων των δέλτα ποταμών, είναι κατά κανόνα κατάλληλα για την κατασκευή οδοστρωμάτων πάνω τους καθώς επίσης και σαν πηγή παροχής υλικών οδοστρωσίας.

Αιολικά εδάφη είναι αυτά που δημιουργήθηκαν από μεταφορά και εναπόθεση λεπτόκοκκων υλικών με τη βοήθεια ανέμου. Τα εδάφη αυτά εμφανίζονται ως αμμόλοφοι ή ως ασβεστική ιλύς. Η κατασκευή οδοστρωμάτων σε τέτοια εδάφη παρουσιάζει πρόβλημα πλήρους κάλυψης των με άλλη άμμο με αποτέλεσμα πολλές φορές να είναι αδύνατη η διέλευση οχημάτων.

Παγετώδη εδάφη είναι αυτά που δημιουργήθηκαν την εποχή των παγετώνων. Τα εδάφη αυτά, εκτείνονται σε βάθος πολλών χιλιομέτρων, αποτελούνται από ογκόλιθους, κροκάλες, χαλίκια, άμμο, ιλύ και άργιλο και συναντώνται ευρέως στο βόρειο ημισφαίριο. (Καβαδάς Μ, 2005)

Ταυτόχρονα τα εδάφη ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε οργανικά υλικά μπορούν να καταταχθούν σε **ανόργανα εδάφη** στα οποία τα ανόργανα συστατικά των ορυκτών υλικών υπερισχύουν των οργανικών ουσιών και στην αντίθετη περίπτωση σε **οργανικά εδάφη** τα οποία χαρακτηρίζονται από το σκούρο καφέ χρώμα τους και τη χαρακτηριστική οσμή.

Ανεξάρτητα του πώς δημιουργήθηκαν, τα εδάφη χαρακτηρίζονται από έλλειψη ομοιογένειας. Εμφανίζονται σαν χαλαρά μέχρι συμπυκνωμένα, με ή χωρίς συνεκτικότητα με κοκκομετρική διαβάθμιση συνεχή ή μη. Η παραπάνω ανομοιογένεια εμφανίζεται τόσο στο οριζόντιο επίπεδο όσο και στο κάθετο επίπεδο (βάθος).

Δεδομένου ότι ο μηχανικός οδοποιίας σχεδόν πάντοτε οφείλει να χρησιμοποιήσει το υπάρχον έδαφος ως έχει, δίχως καμία τροποποίηση, η εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων και της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους καθίσταται πιο επίπονη και δύσκολη.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των εδαφικών σχηματισμών προέρχεται από ιζηματογενή εδάφη. Αυτά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, διακρίνονται σε **χονδρόκοκκα** και **λεπτόκοκκα**.

Η κατηγοριοποίηση των βασικών ομάδων των εδαφών συναρτήσεται του μεγέθους των κόκκων, κατά φθίνουσα σειρά ακολουθεί τη διάταξη: λίθοι, κροκάλες, χαλίκια, άμμος, ιλύς και άργιλος. Στο πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα μεγέθη των κόκκων που εμπίπτουν σε κάθε κατηγορία.

Άργιλοι	Ιλιές			Άμμοι			Χάλικες			Κροκάλιες	
	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές		
0.001	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200
		0.01			0.1		1		10		100

Διαστάσεις κόκκων (mm)

Σχήμα 1. 2: Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών (Καβαδάς Μ, 2005)

Το φυσικό έδαφος, για να αντέξει το φορτίο που μεταβιβάζεται από το οδόστρωμα, πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες (ικανή αντοχή, ικανότητα αποστράγγισης, ικανοποιητικό βαθμό συμπύκνωσης κλπ.). Πριν να κριθεί ένα έδαφος ικανό για έδραση του οδοστρώματος πρέπει να γίνει εδαφοτεχνική μελέτη που θα δώσει τις ιδιότητες του, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στην περαιτέρω διαδικασία υπολογισμού του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος. Στην Κύπρο τέτοιου είδους μελέτες γίνονται από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, το οποίο είναι το αρμόδιο τμήμα για τη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και την ετοιμασία των γεωλογικών μελετών που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια στο σχεδιασμό των οδοστρωμάτων.

Για διάκριση των εδαφών μεταξύ τους λόγω της μεγάλης ποικιλίας που παρουσιάζουν στις τιμές των ιδιοτήτων τους και στα χαρακτηριστικά της μηχανικής συμπεριφοράς τους, δημιουργήθηκαν από διάφορους ερευνητές τα συστήματα κατάταξης. Στόχος ήταν η δημιουργία ενός συστήματος με ένα περιορισμένο αριθμό κατηγοριών των εδαφών, όπου η περιγραφή να είναι απλή και εύκολα κατανοητή. Ταυτόχρονα με τα συστήματα αυτά έγινε προσπάθεια όπως κάθε κατηγορία διακρίνεται από κοινά χαρακτηριστικά στα τρία κύρια στοιχεία της μηχανικής της συμπεριφοράς, δηλαδή τη διατμητική αντοχή, τη συμπιεστότητα και τη διαπερατότητα.

Μεταξύ των πολλών συστημάτων που έχουν κατά καιρούς προταθεί, το ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών του ASTM D – 2487 (1986), έχει επικρατήσει παγκοσμίως.

Το AASHTO (1982) προτείνει ένα διαφορετικό σύστημα κατάταξης των εδαφών το οποίο βασίζεται στο χαρακτηρισμό της καταλληλότητας των εδαφών ως υλικών κατασκευής σε αυτοκινητόδρομους. Πιο κάτω φαίνεται ο πίνακας κατάταξης εδαφών

κατά AASHTO ο οποίος αναφέρει κατά πόσο ένα εδαφικό υλικό μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο ή όχι για χρήση ως στρώση έδρασης του οδοστρώματος.

Πίνακας 1. 1: Κατάταξη εδαφών σε υποομάδες κατά AASHTO.

Κοκκομετρία	Χονδρόκοκκα εδάφη διερχόμενο - ποσοστό από το Νο200 μικρότερο από 35%							Λεπτόκοκκα εδάφη διερχόμενο ποσοστό από το Νο200 μεγαλύτερο από 35%					
	A-1 A-1-α	A-1-B	A-3	A-2-4	A-2(*) A-2-5		A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6	
διερχόμενο ποσοστό Νο10 (2 mm)	50 max												
Νο40(0,42 mm)	30 max	50 max	51min										
Νο200(0,074 mm)	15 max	30 max	10 max	35max	35max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min		36 min	36 min
Όρια Atterberg:												IP<WL-30	IP>WL-30
Όριο υδαρότητας	6 max		NP	40max	41max	40 max	41 min	40max	41min	40max		41 min	41 min
Δείκτης πλαστικότητας				10max	10max	11 min	11 min	10max	10max	11 min		11min	11 min
Δείκτης ομάδας	0		0	0	0	4 max	4 max	8 max	12max	16 max		20 max	20 max
Χαρακτηριστικά συστατικά	Χαλίκια, άμμος		Λεπτή άμμος	Χαλίκια, ιλυώδης άμμος, αργιλώδης άμμος				Ιλυώδη εδάφη		Αργιλικά εδάφη			
Εκτίμηση ως έδαφος έδρασης	Εξαιρετικό έως καλό							Μέτριο έως ακατάλληλο					
Μέθοδος κατάταξης: Γνωρίζοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών ακολουθούμε τον πίνακα από αριστερά προς τα δεξιά. Η ζητούμενη ομάδα ή υποομάδα είναι η πρώτη που θα συναντήσουμε, και στην οποία ανταποκρίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών. Η ένδειξη του δείκτη ομάδας μπορεί να τοποθετηθεί σε παρένθεση μετά το σύμβολο της ομάδας, π.χ. A-2-6 (3), A-4 (5), A-6(12)													
(*) : Η κατάταξη σε υποομάδες των υλικών της ομάδας A-2 γίνεται με κριτήριο του δείκτη πλαστικότητας. Τα εδάφη των υποομάδων A-2-4 και A-2-5 θεωρούνται ως μη συνεκτικά, ενώ εκείνα των A-2-6 και A-2-7 ως συνεκτικά.													

(Νικολαΐδης Α., 1996)

1.3.2 Υπόβαση:

Υπόβαση ορίζεται η στρώση ενίσχυσης του οδοστρώματος που τοποθετείται μεταξύ του υπεδάφους και της στρώσης βάσης με σκοπό τη μείωση των εισαγομένων προς το υπεδάφος τάσεων, συμβάλλοντας έτσι στη δομική ενίσχυση του οδοστρώματος. Συνήθως η στρώση αυτή αποτελείται από ασύνδετα αδρανή. Σε ορισμένες περιπτώσεις (ύπαρξη μέτριας ή χαμηλής κυκλοφορίας, μεγάλη φέρουσα

ικανότητα της στρώσης έδρασης) η υπόβαση μπορεί να παραληφθεί. Σε τέτοιες περιπτώσεις η στρώση βάσης κατασκευάζεται σε μεγάλο πάχος (πχ 30 ή 35 cm).

Πέραν από τη λειτουργία της μεταφοράς των φορτίων στο υπέδαφος, η υπόβαση έχει να επιτελέσει και άλλες λειτουργίες:

- Κατά το στάδιο κατασκευής του οδοστρώματος βοηθάει στην άνετη κυκλοφορία των μηχανημάτων στο οδόστρωμα.
- Χρησιμεύει ως αντιπαγετική προστατευτική στρώση σε περίπτωση που το έδαφος της περιοχής είναι παγοπληκτικό.
- Προστατεύει τα υλικά της βάσης από «μόλυνσή» τους από το εδαφικό υλικό (άργιλος, ιλύς, οργανικά υλικά κλπ.)
- Λειτουργεί ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις προστατεύοντας το υπέδαφος από διάβρωση .(Νικολαΐδης Α., 1996)

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της υπόβασης πρέπει να είναι κατάλληλα, ανάλογα με την κάθε περιοχή από οικονομικής και ανθεκτικής πλευράς. Συνήθως επιλέγονται κοκκώδη υλικά (αμμοχάλικα) προερχόμενα από φυσικές πηγές ή από λατομεία της εκάστοτε περιοχής κατασκευής της οδού, τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές για την κατασκευή του οδοστρώματος.

Σε περίπτωση που η ποιότητα του εδάφους έδρασης του οδοστρώματος δεν είναι επαρκής πιθανόν να τοποθετηθεί ακόμη μια πρόσθετη στρώση με αδρανή υλικά η οποία ονομάζεται **εξυγιαντική στρώση ή στρώση στέψης**. Σκοπός της κατασκευής της στρώσης αυτής είναι η βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του ασθενούς υπεδάφους και η προστασία του από καταστροφή κατά τη διάρκεια της κατασκευής αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Κατασκευάζεται από σχετικά φθηνά κατάλληλα αδρανή υλικά ή από σταθεροποιημένα επί του έργου κοκκώδη ή λεπτόκοκκα συνεκτικά εδαφικά υλικά (εξυγίανση εδάφους). Εξυγιαντική στρώση συνήθως χρησιμοποιείται όταν ο καλιφορνιακός δείκτης CBR του υπεδάφους (ίδη κεφάλαιο 2.1), είναι μικρότερος του 5%, ενώ όταν είναι μικρότερο του 2,5%, τότε είναι απολύτως απαραίτητη η κατασκευή της.

1.3.3 Βάση

Είναι η κυριότερη δομική στρώση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης και των επιφανειακών ασφαλτικών στρώσεων. Αποτελείται από μια ή περισσότερες στρώσεις των οποίων τα υλικά μπορεί να είναι από αδρανή δίχως συνδετικό υλικό (ασύνδετα αδρανή) ή αδρανή με συνδετικό υλικό την άσφαλτο (ασφαλτόμιγμα) ή με συνδετικό υλικό το τσιμέντο. Η βάση επιτελεί τις παρακάτω βασικές λειτουργίες:

- Παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία κυκλοφορίας ώστε να μπορούν να παραλειφθούν από το υπέδαφος και να μην προκαλούν μεγάλες παραμορφώσεις.
- Παρέχει μια καλή επιφάνεια έτοιμη να δεχθεί τις επιφανειακές ασφαλτικές στρώσεις.
- Παρέχει στο οδόστρωμα δυσκαμψία και αντοχή στην κόπωση.
- Οι στρώσεις της βάσης από ασύνδετα αδρανή ή σταθεροποιημένα αδρανή συμβάλουν στην αποτελεσματικότερη συμύκνωση των υπερκείμενων ασφαλτικών στρώσεων.

1.3.4 Επιφανειακή στρώση ή στρώση κυκλοφορίας

Η κατασκευή της επιφανειακής στρώσης στο οδόστρωμα χρησιμεύει στο να παρέχει μια λεία και ασφαλή επιφάνεια κυκλοφορίας, να είναι αντλιοσθητική, να παρουσιάζει αντοχή σε ρηγματώσεις λόγω των φορτίων που κυκλοφορούν, να αντιστέκεται στις μόνιμες παραμορφώσεις, να συνεισφέρει στην αντοχή του οδοστρώματος και τέλος να είναι όσο το δυνατόν μη διαπερατή από το νερό έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η διείσδυσή του στις υποκείμενες στρώσεις. (Νικολαΐδης Α., 1996)

Με πάχος που κυμαίνεται - ανάλογα με την κυκλοφορία - οι ασφαλτικές στρώσεις αποτελούνται από:

1. Τη στρώση κύλισης, η οποία πρέπει να εξασφαλίζει τα απαιτούμενα αντλιοσθητικά χαρακτηριστικά και την απαιτούμενη ομαλότητα. Ανάλογα με το ασφαλτόμιγμα που χρησιμοποιείται, καθώς επίσης και τη μέθοδο υπολογισμού που χρησιμοποιείται, προσδιορίζεται το απαραίτητο πάχος της στρώσης.

2. Τη συνδετική στρώση, η οποία αποτελεί μαζί με την υποκείμενη βάση (ιδιαίτερα σε περίπτωση που αυτή είναι από ασφαλτικό σκυρόδεμα) τις κυρίως φέρουσες στρώσεις.

Η **ασφαλτική στρώση**, η οποία έρχεται σε άμεση επαφή με το χρήστη της οδού πρέπει να ικανοποιεί τις πιο κάτω προϋποθέσεις:

- I. Να είναι ανθεκτική στην καταστροφική δράση της κυκλοφορίας των οχημάτων και των καιρικών συνθηκών.
- II. Να μην παραμορφώνεται από τα φορτία της κυκλοφορίας.
- III. Να μην ρηγματώνεται ή να παραμορφώνεται εξαιτίας των θερμοκρασιακών συστολοδιαστολών και των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών τάσεων.
- IV. Να παρέχει καλή αντιολισθηρή επιφάνεια κύλισης είτε από μόνη της είτε με την προσθήκη προεπαλειμμένων αδρανών ή αντιολισθηρού τάπητα τύπου slurry seal ή ασφαλτικών επαλείψεων ή άλλης επιφανειακής επεξεργασίας.
- V. Να παρέχει καλή επιφάνεια κυκλοφορίας για οδήγηση υψηλής ποιότητας και ασφάλειας.
- VI. Να παρέχει επιφάνεια κύλισης με χαμηλό επίπεδο θορύβου.
- VII. Να συνεισφέρει στην αντοχή του οδοστρώματος.
- VIII. Να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από το νερό, για να εμποδίζεται η διείσδυση νερού στις υποκείμενες στρώσεις. Εξαιρέση αποτελεί η χρήση πορώδους τάπητα)

1.4 Μορφές Αστοχίας Εύκαμπτου Οδοστρώματος

Τα οδοστρώματα υπό την επίδραση του κυκλοφοριακού φόρτου, φθείρονται σταδιακά. Ο άξονας κάθε τροχού προκαλεί μια ορισμένη στιγμιαία φθορά η οποία συσσωρεύεται και φαίνεται στο τέλος της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος σαν βύθιση ή/και ρηγμάτωση. Γενικότερα η αστοχία ενός εύκαμπτου οδοστρώματος μπορεί να αφορά την λειτουργική ή την δομική του κατάσταση.

Η **λειτουργική αστοχία** έχει σχέση με την ποιότητα στην οδήγηση και την αισθητική εικόνα του ίδιου του οδοστρώματος. Τέτοιες μορφές αστοχίας εμφανίζονται όταν η επιφάνεια του οδοστρώματος χάσει την αντιολισθηρότητά της ή παρουσιάσει σημάδια αποσύνθεσης (αποκόλληση αδρανών ή μικρές λακκούβες) ή πτυχώσεις

(κυματώσεις) και απόθεση ασφαλτικού υλικού. Η απώλεια της αντίστασης σε ολίσθηση έχει σχέση με το είδος των αδρανών και τον κυκλοφοριακό φόρτο και αρχίζει από την πρώτη μέρα λειτουργίας του οδοστρώματος. Τα άλλα είδη αστοχίας έχουν σχέση με το ασφαλτόμιγμα που χρησιμοποιείται και, αν πρόκειται να εμφανιστούν, εμφανίζονται σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα μετά την κατασκευή. (Εγνατία Οδός Ε.Α)

Δομική αστοχία κάποιας στρώσης και κατά προέκταση του οδοστρώματος θεωρείται:

(α) Η ρηγμάτωση της ασφαλτικής στρώσης, η οποία προκαλείται από υπέρβαση της αντοχής του ασφαλτομίγματος σε κόπωση από κάμψη. Ρωγμές στην επιφάνεια του οδοστρώματος μπορεί να εμφανιστούν εγκάρσια, διαμήκη ή σε μορφή πλέγματος όπως είναι οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα που φαίνονται στην εικόνα 1.2



Εικόνα 1. 2: Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (ΟΕΜΚ)

(β) Η παραμένουσα παραμόρφωση της επιφάνειας κύλισης, που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην υπερβολική παραμόρφωση της στρώσης έδρασης (υπέδαφος). (Εγνατία Οδός Ε.Α)

Κατά τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος στόχος είναι να υπολογιστούν τα πάχη των στρώσεων με τέτοιο τρόπο ώστε να παραληφθούν τα φορτία της κυκλοφορίας που αναμένονται καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού του έργου. Η δομική αστοχία με το σωστό σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνει χώρα στο τέλος της διάρκειας σχεδιασμού. Αυτό βέβαια πρέπει να συνδυάζεται με τη σωστή επιλογή των υλικών και μιγμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στο στάδιο της κατασκευής, καθώς επίσης και με της χρήση του κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού.



Εικόνα 1. 3 : Παραμόρφωση επιφάνειας κύλισης οδοστρώματος(ΟΕΜΚ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Παράγοντες που επηρεάζουν τη Διαστασιολόγηση του οδοστρώματος

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό του πάχους του εύκαμπτου οδοστρώματος είναι:

- Η φύση του εδάφους έδρασης του οδοστρώματος.
- Οι κλιματολογικές συνθήκες.
- Τα επιτόπου διαθέσιμα υλικά.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος.

Οι παράγοντες αυτοί λαμβάνονται υπόψη σε όλες τις μεθόδους Διαστασιολόγησης και τροποποιούνται ανάλογα με την μέθοδο για να υπολογίσουν την τελική δομή του σχεδιαζόμενου οδοστρώματος. Για τον σχεδιασμό ενός αποδοτικού, άνετου και οικονομικού έργου οδοποιίας, οι παράγοντες αυτοί πρέπει να μελετούνται όχι μόνο για το στάδιο κατασκευής του έργου αλλά για όλη τη διάρκεια της ζωής του.

2.1 Η φύση του εδάφους έδρασης του οδοστρώματος.

Η καταλληλότητα των εδαφικών υλικών είναι ένα ουσιώδες χαρακτηριστικό στην κατασκευή εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Χαρακτηρίζει την απουσία ανεπιθύμητων στοιχείων τα οποία μπορεί να παρουσιάζουν νοσηρότητα λόγω της λεπτότητας τους, της φυσικοχημικής τους δραστηριότητας, ή λόγω της επίδρασης τους στα συνδετικά υλικά. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι διαλυτά άλατα, υδροξείδια του σιδήρου, οργανικές ύλες και άργιλοι. Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που το εδαφικό υλικό περιέχει μέσα ποσοστό αργίλου το οποίο προσδίδει δυναμικό διόγκωσης στο έδαφος, η κατασκευή οδοστρώματος πάνω σε αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών φθορών.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν η εκτέλεση εδαφοτεχνικής μελέτης στο υπέδαφος στο οποίο θα γίνει η έδραση του οδοστρώματος είναι πολύ σημαντική στο στάδιο της μελέτης για τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων του . Η απόδοση του εδάφους εξαρτάται από τρία βασικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι αλληλένδετα μεταξύ τους:

- 1. Η φέρουσα ικανότητα.** Τα έδαφος πρέπει να είναι σε θέση να παραλαμβάνει, χωρίς ανεπίτρεπτες παραμορφώσεις, τα φορτία που μεταφέρονται μέσω των στρώσεων από το οδόστρωμα. Αυτό συνήθως εξαρτάται από το βαθμό συμύκνωσης των κόκκων του εδαφικού υλικού, την περιεκτικότητα σε υγρασία και τον τύπο του εδαφικού υλικού. Η έκφραση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους έδρασης γίνεται συναρτήσεως μιας εκ των παραμέτρων: Καλιφορνιακός δείκτης (CBR), μέτρο αντίδρασης (K), τιμή αντίστασης ή ευστάθειας (R), και μέτρο ελαστικότητας ή επανάκτησης (E ή Mr). Το μέτρο ελαστικότητας του υπεδάφους το οποίο χρησιμοποιείται στις περισσότερες μεθόδους διαστασιολόγησης, σύμφωνα με τη σχέση που αναπτύχθηκε από το TRL Αγγλίας υπολογίζεται ως:

$$E_{\text{υπεδάφους}} = 17.6 \times \text{CBR}^{0.64}$$

- 2. Περιεκτικότητα σε υγρασία.** Η υγρασία επηρεάζει κάποιες από τις ιδιότητες του εδαφικού υλικού, συμπεριλαμβανομένης όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω της φέρουσας ικανότητας του. Ταυτόχρονα επηρεάζεται ο βαθμός συρρίκνωσης και διόγκωσης του. Το ποσοστό υγρασίας του εδαφικού υλικού μπορεί να επηρεαστεί από το ρυθμό αποστράγγισης του εδάφους, την στάθμη των υπογείων υδάτων, την διείσδυση νερού μέσω των υπερκείμενων στρώσεων του οδοστρώματος (μπορεί να εμφανίζεται εξαιτίας της ύπαρξης ρωγμών ή πορώδους οδοστρώματος). Γενικά η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού υγρασίας στο έδαφος θα έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του κατά την παραλαβή των φορτίων.
- 3. Συρρίκνωση ή/και Διόγκωση:** Ορισμένα εδάφη ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε υγρασία μπορεί να συρρικνώνονται ή/και να διογκώνονται. Επιπλέον εδάφη με μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών μπορεί υπό την επίδραση του παγετού να εμφανίσουν κρυστάλλους πάγου οι οποίοι προκαλούν διόγκωση τους ιδιαίτερα σε βόρεια κλίματα. Τα φαινόμενα αυτά θα έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών στη δομή του οδοστρώματος που εδράζεται στο παραμορφωμένο έδαφος. (WSDOT)

Κατά τη διαδικασία υπολογισμού του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο υπολογισμός της αντιπροσωπευτικής τιμής της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, που είναι απαραίτητη παράμετρος σχεδόν σε όλες τις μεθοδολογίες διαστασιολόγησης. Ταυτόχρονα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η τιμή

αυτή είναι αντιπροσωπευτική όχι μόνο στο στάδιο κατασκευής του οδοστρώματος αλλά και σε όλη τη διάρκεια ζωής του, το οποίο διασφαλίζεται μέσω των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται από τις διάφορες μεθοδολογίες (Νικολαΐδης Α., 1996).

Ο καθορισμός της τιμής της φέρουσας ικανότητας του εδάφους δίνει μια πρώτη εικόνα για τη μορφή των στρώσεων που θα υπολογιστούν. Ασθενές υπέδαφος απαιτεί μεγαλύτερο πάχος υπερκείμενων στρώσεων, σε σύγκριση με υψηλής αντοχής υπέδαφος, για να παραλάβει τα αναπτυσσόμενα από την κυκλοφορία φορτία. Ταυτόχρονα όπως έχει προαναφερθεί, η χρήση υπόβασης μπορεί να παραβλεφθεί εφόσον το υπέδαφος έχει μεγάλη φέρουσα ικανότητα και μπορεί να παραλάβει με επιτυχία τα μεταφερόμενα φορτία.

Η πλέον γνωστή παράμετρος που χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις εμπειρικές ή ημιεμπειρικές μεθόδους διαστασιολόγησης είναι ο καλιφορνιακός δείκτης (CBR). Επίσης, μια άλλη συνήθης παράμετρος είναι το μέτρο ελαστικότητας ή επανάκτησης (E ή Mr). Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών αυτών γίνεται με τη διεξαγωγή εργαστηριακών ελέγχων που μπορεί να γίνουν είτε στο εργαστήριο είτε στο εργοτάξιο.

Ο Καλιφορνιακός δείκτης CBR χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις εμπειρικές ή ημιεμπειρικές μεθοδολογίες διαστασιολόγησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων. είναι μια παράμετρος με την οποία εκφράζεται η αντοχή (φέρουσα ικανότητα) εδαφικών υλικών ή αδρανών οδοστρωσίας ως ποσοστό της αντοχής ενός τυποποιημένου "πρότυπου" υλικού που λαμβάνεται σαν μέτρο σύγκρισης. Η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του C.B.R. προτάθηκε από την Διεύθυνση οδών της πολιτείας της Καλιφόρνιας πριν από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο (1938) και με διάφορες μικροπαραλλαγές, έγινε ευρύτατα αποδεκτή. Ο έλεγχος προσδιορισμού του C.B.R. διεξάγεται συνήθως στο εργαστήριο, σε διαταραγμένα (αναζυμωθέντα) δοκίμια, που έχουν συμπυκνωθεί έτσι ώστε να έχουν τις συνθήκες υγρασίας και το ξερό ειδικό βάρος (βαθμό συμπύκνωσης %) που εκτιμάται ότι θα έχει το εξεταζόμενο υλικό στο έργο.

Μερικές φορές είναι επιθυμητό να ελεγχθούν οι εργαστηριακές τιμές C.B.R. με αυτές που προσδιορίζονται επί τόπου, κατά την κατασκευή. Τότε διεξάγεται εργοταξιακός έλεγχος με ειδικό εξοπλισμό, κατά την εκτέλεση του οποίου πιέζεται το τυποποιημένο έμβολο πάνω στην επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού. Ο έλεγχος

πάντοτε συνοδεύεται από τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας και του ξερού ειδικού βάρους του υλικού.

Τα αποτελέσματα των εργοταξιακών δοκιμών δεν συσχετίζονται πάντοτε ικανοποιητικά με τα αντίστοιχα εργαστηριακά. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στα χονδρόκοκκα υλικά, των οποίων η τοποθέτηση και συμπύκνωση μέσα στις εργαστηριακές μήτρες επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα. Αντίθετα στα αργιλώδη εδάφη παρουσιάζονται συνήθως μικρές αποκλίσεις μεταξύ εργαστηριακών και εργοταξιακών τιμών C.B.R. Η διεξαγωγή εργοταξιακού ελέγχου συνιστάται όταν η εξεταζόμενη στρώση δεν αναμοχλεύεται ή συμπυκνώνεται κατά την κατασκευή (το οδόστρωμα κατασκευάζεται σε υπεδάφος εκσκαφής), οπότε συμφέρει η γνώση της τιμής C.B.R. του αδιατάρακτου υλικού.



Εικόνα 2. 1: Συσκευή διεξαγωγής εργαστηριακού ελέγχου CBR.

Στις περιπτώσεις εκείνες που η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους όπως προκύπτει από την δοκιμή C.B.R δεν είναι επαρκής, μπορεί ο Μηχανικός να προβεί σε βελτίωση

της φέρουσας ικανότητας της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος με «σταθεροποίηση του εδάφους».

2.1.1 Σταθεροποίηση του εδάφους

Με τον όρο σταθεροποίηση εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία γίνεται επεξεργασία του εδαφικού υλικού με άλλα ειδικά εδαφικά υλικά, ή ειδικά πρόσθετα υλικά που ονομάζονται «σταθεροποιητές», ώστε η στρώση που προκύπτει από την σταθεροποίηση, να έχει αυξημένη ευστάθεια δηλαδή να μην παραμορφώνεται σημαντικά από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας και από τις καιρικές συνθήκες. (Κόφιτσας Ι., 1997)

Μία από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους σταθεροποίησης του εδαφικού υλικού, είναι η ανάμιξη του με υδράσβεστο σε καθορισμένες αναλογίες. Η ενέργεια αυτή σε ορισμένους τύπους εδαφών (ιδιαίτερα σε αργιλικά εδάφη), εξαιτίας των φυσικοχημικών και χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν κατά την ανάμιξη της υδράσβεστου με το εδαφικό υλικό και το νερό, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ευστάθειας της στρώσης έδρασης καθώς και την αύξηση της φέρουσας ικανότητας της.

Ανάλογη διαδικασία για αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους μπορεί να γίνει με ανάμιξη του εδαφικού υλικού με τσιμέντο. Η μέθοδος αυτή επιδιώκει την κονιορτοποίηση των μη συνεκτικών κυρίως εδαφών με την προσθήκη τσιμέντου. Η εδαφική στρώση που δημιουργείται με την ανάμιξη θρυμματισμένου εδαφικού υλικού και καθορισμένων ποσοτήτων τσιμέντου και ύδατος είναι ομοιογενής, σκληρή και ανθεκτική σε βάθος χρόνου και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες .

Άλλες μέθοδοι για σταθεροποίηση του εδάφους εφαρμόζονται με τη χρήση:

- Ασφαλικού υλικού (άσφαλτος, γαλακτώματα). Η μέθοδος αυτή δίνει πολύ καλά αποτελέσματα για χονδρόκοκκα ή κοκκώδη εδάφη. Στα πλαστικά εδάφη όμως είναι περιορισμένη λόγω δυσκολιών ανάμειξης και κατασκευής. Ένας από τους κύριους λόγους χρησιμοποίησης της ασφάλτου στο έδαφος είναι για να ελαττωθεί ο ρυθμός απορρόφησης του νερού.
- Με χημικά μέσα τα οποία περιλαμβάνουν ενώσεις οι οποίες μετατρέπουν το έδαφος σε υδρόφοβο με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούν το ρυθμό

απορρόφησης του νερού, όμως, λόγω του κόστους τους περιορίζεται η χρήση τους σημαντικά όπου κρίνεται αναγκαία.

- Με διάφορα παραπροϊόντα. Τα εναλλακτικά υλικά (παραπροϊόντα) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις στην οδοποιία, είναι τα υποπροϊόντα ορυχείων, τα αστικά απορρίμματα και τα βιομηχανικά και οικοδομικά παραπροϊόντα.

Γενικά όποια μέθοδος και αν αποφασιστεί να χρησιμοποιηθεί για τη σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού, πρέπει να γίνει ειδική μελέτη για το βάθος της ανάμιξης των υλικών, την ποσότητα του «σταθεροποιητή» που θα μπει, καθώς επίσης και τις μεθόδους ανάμιξης και συμπύκνωσης που θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

2.2 Οι κλιματολογικές συνθήκες.

Οι κλιματολογικές συνθήκες πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη στη διαδικασία υπολογισμού του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος ιδιαίτερα σε περιοχές με ιδιαίτερες καιρικές συνθήκες. Ο συνδυασμός των κλιματολογικών συνθηκών με την φύση του εδάφους όπως αναφέρθηκε και πριν μπορεί να επιφέρει αρνητικές συνέπειες και μόνιμες φθορές στο οδόστρωμα. Παρακάτω θα αναλύσουμε την επίδραση που μπορεί να έχουν τα διάφορα κλιματολογικά φαινόμενα στη λειτουργικότητα και την αντοχή του οδοστρώματος. Η επίδραση αυτή οφείλεται συνήθως στην αλληλεπίδραση διάφορων κλιματολογικών παραγόντων παρά σε ένα μεμονωμένο κλιματικό χαρακτηριστικό και γι αυτό και η αντιμετώπιση της χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη.

2.2.1 Θερμοκρασία

Η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το οδόστρωμα. Σε περιοχές που η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε ψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, υπάρχει ο κίνδυνος να εμφανιστεί ρευστοποίηση της ασφάλτου που σε συνδυασμό με την κυκλοφορία των οχημάτων μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση της επιφανειακής στρώσης και καταστροφή της επιφάνειας κύλισης. Ταυτόχρονα μπορεί να προκληθεί ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος και να δημιουργηθεί έτσι ολισθηρή επιφάνεια κύλισης. Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται στη μείωση του μέτρου δυσκαμψίας (E) του

ασφαλτομίγματος που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Γι αυτό το λόγο κατά το σχεδιασμό του ασφαλτομίγματος, πρέπει να επιλέγεται η σωστή κατηγορία και ποσοστό ασφάλτου για αποφυγή αυτών των αρνητικών καταστάσεων.

Ανάλογη σημασία πρέπει να δίνεται και σε περιοχές όπου η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του Χειμώνα. Η χαμηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει συρρίκνωση του εδάφους με αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών. Ρωγμές μπορεί επίσης να εμφανιστούν και στον ασφαλτοτάπητα σε περίπτωση που ο τύπος ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί είναι σκληρός. Ταυτόχρονα σε περίπτωση που γίνει εισχώρηση νερού στο εδαφικό υλικό, η πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει κρυστάλλους πάγου που θα έχουν σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος, όπως έχει προαναφερθεί..

2.2.2 Υγρασία

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος εμφάνισης φθοράς στο οδόστρωμα από τις κλιματολογικές συνθήκες είναι η υγρασία που πιθανόν να παραμένει στο οδόστρωμα λόγω κακής αποστράγγισης του. Η υγρασία αυτή πιθανόν να οφείλεται σε μια από τις τρεις κατηγορίες που αναφέρονται πιο κάτω:

1. Εδαφική υγρασία που προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση κλπ)
2. Εδαφική υγρασία από το νερό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (σε περίπτωση που αυτός βρίσκεται κοντά στο επίπεδο έδρασης του οδοστρώματος).
3. Εδαφική υγρασία από το υγροσκοπικό νερό. (Πρόκειται για το νερό που προσροφάται από τα λεπτόκοκκα σωματίδια του εδάφους, και εξαρτάται από την θερμοκρασία και υγρασία του περιβάλλοντος.)

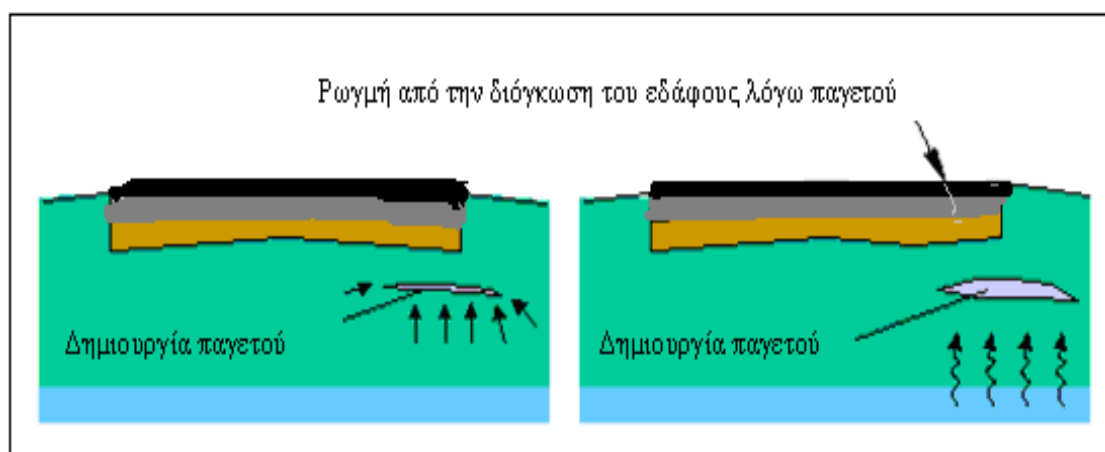
Νοούμενου ότι η αντοχή του εδάφους εξαρτάται άμεσα από την περιεχόμενη υγρασία, η ύπαρξη της πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο κατά τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του εδάφους στο εργαστήριο όσο και στον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος.

2.2.3 Παγετός

Οι κυριότερες από τις καταστρεπτικές επιδράσεις του παγετού στα οδοστρώματα όπως αναφέρθηκε και πιο πριν είναι:

1. Η διόγκωση των υλικών από τον παγετό
2. Η μείωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους κατά τη διάρκεια της τήξεως των πάγων. (Κόφιτσας Ι., 1997)

Όταν πέσει η θερμοκρασία μέσα στην μάζα της υποδομής, τότε το νερό που υπάρχει εκεί παγώνει. Παρατηρείται τότε αύξηση του όγκου του περίπου κατά 9% η οποία αναπτύσσει εσωτερική ανομοιόμορφη πίεση, που εφαρμόζεται στις υπερκείμενες στρώσεις, ανυψώνοντας τις με ανομοιόμορφο τρόπο. Αυτό έχει ως τελική συνέπεια την εμφάνιση ρωγμών στο οδόστρωμα.



Εικόνα 2. 2: Δημιουργία ρωγμής στο οδόστρωμα από δημιουργία παγετού στο υπέδαφος

Όταν μετά ανέβει η θερμοκρασία της υποδομής και αρχίσει να λιώνει ο πάγος από πάνω προς τα κάτω, τότε έχουμε εκεί περίσσειμα νερού, που δεν μπορεί να φύγει. Το νερό αυτό, το οποίο εμποδίζεται να στραγγίσει από τα κατώτερα στρώματα που τα στεγανοποιεί ο πάγος, προξενεί χαλάρωση και μαλάκωμα του εδάφους, δηλαδή σημαντική μείωση της αντοχής της υποδομής (μείωση φέρουσας ικανότητας).

Η εμφάνιση τέτοιων φαινομένων εμποδίζει την σωστή κατανομή των φορτίων διαμέσου των στρώσεων του οδοστρώματος στο υπέδαφος και έχει ως επακόλουθα την εμφάνιση παραμορφώσεων και ρηγματώσεων. Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων στις περιπτώσεις που ένα οδόστρωμα πρόκειται να κατασκευαστεί σε

ευαίσθητο σε παγετό έδαφος γίνεται κατά το στάδιο της διαστασιολόγησης έχοντας ως στόχο:

α) την πρόβλεψη ενός ικανοποιητικού πάχους οδοστρώματος για απομόνωση του εδάφους, όχι τελείως βέβαια, αλλά ουσιαστικά,

β) την μελέτη για υπολογισμό της δομής του οδοστρώματος, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αντοχή του υπεδάφους ελαττώνεται κατά τη διάρκεια της τήξεως των πάγων. (Κόφιτσας Ι., 1997)

2.3 Τα επιτόπου διαθέσιμα υλικά.

Μεγάλη σημασία για την κατασκευή του εύκαμπτου οδοστρώματος πρέπει να δίνεται στα υλικά που θα χρησιμοποιήσει ο μελετητής. Τα υλικά θα πρέπει να πληρούν δύο προϋποθέσεις:

α) να είναι ανθεκτικά στη χρήση και σε βάθος χρόνου και

β) να είναι οικονομικά τόσο στην αγορά τους όσο και κατά το κόστος μεταφοράς τους.

Για το λόγο αυτό ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται τόσο στην επιλογή όσο και στον σχεδιασμό των υλικών που θα επιλεγούν για την κατασκευή του οδοστρώματος.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως στη κατασκευή ενός εύκαμπτου οδοστρώματος εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες:

1. Αδρανή υλικά -για την κατασκευή της υπόβασης ή/και της βάσης.
2. Ασφαλτικά υλικά -για τη παραγωγή ασφαλτομιγμάτων σε ανάμιξη με τα αδρανή υλικά.

2.3.1 Αδρανή υλικά:

Είναι τα διαβαθμισμένα, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης υλικά, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε με κάποιο συγκολλητικό μέσο (για την παραγωγή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων κλπ), είτε αυτούσια στην κατασκευή οδοστρωμάτων. Τα αδρανή υλικά χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το χαρακτηριστικό που εξετάζεται κάθε φορά:

i. Με βάση την προέλευσή τους

- Φυσικής προέλευσης: Είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής. Τα υλικά φυσικών αποθέσεων είναι χαλαρά γι' αυτό εξορύσσονται με τη βοήθεια εκσκαφέα ή ισχυρού φορτωτή. Τα αδρανή υλικά φυσικών αποθέσεων είναι μίγμα διάφορων πετρωμάτων κυρίως ασβεστολιθικών, ψαμμιτικών και γρανιτικών. Λόγω αυτής ακριβώς της σύνθεσής τους τα θραυστά χαλίκια έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από αυτές των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και θα πρέπει να προτιμούνται από τα ασβεστολιθικά για τάπητες κυκλοφορίας όταν βέβαια υπάρχει έλλειψη από άλλα σκληρότερα πετρώματα.
- Τεχνητά ή βιομηχανικά: Είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (π.χ. τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, αργιλικόι σχιστόλιθοι, κλπ.).
- Ανακυκλωμένα: Είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδάφισης σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλικών έργων κλπ.).

ii. Με βάση την πηγή απόληψης

- Φυσικά αδρανή : Υλικά που προέρχονται από αποθέματα σε κοίτες ποταμού, πετρώδη θραύσματα και γεώδη υλικά , προϊόντα της μηχανικής αποσάθρωσης απότομων πρανών
- Αδρανή λατομείων: Υλικά που προέρχονται από απόσπαση και επεξεργασία πετρώματος

iii. Με βάση το ειδικό τους βάρος

- Κανονικού ειδικού βάρους
- Ελαφροβαρή
- Βαρέα

iv. Με βάση το μέγεθος των κόκκων

- Χονδρόκοκκα: Χονδρόκοκκο αδρανές ορίζεται αυτό του οποίου οι κόκκοι συγκαταούνται στο κόσκινο των 4.75 mm (κόσκινο Νο 4) κατά τις Αμερικανικές προδιαγραφές AASHTO ή ASTM ή στο κόσκινο των 5.0 mm κατά τις Βρετανικές και Γερμανικές προδιαγραφές.
- Λεπτόκοκκα: Λεπτόκοκκο αδρανές ορίζεται αυτό του οποίου οι κόκκοι διέρχονται από το κόσκινο των 4.75 ή 5.0 mm, (ανάλογα με τις προδιαγραφές), και συγκαταούνται στο κόσκινο των 75 μm (κόσκινο Νο 200). Το λεπτόκοκκο αδρανές έχει κοινώς διαστάσεις άμμου.
- Παιπάλη: Παιπάλη ή φίλλερ ορίζεται το αδρανές υλικό που διέρχεται από το κόσκινο των 75 μm (κόσκινο Νο 200), έχει δηλαδή μορφή σκόνης.

v. Με βάση τη χρήση τους

• Αδρανή βάσης και υπόβασης

• Αδρανή ασφαλτομιγμάτων

Τα αδρανή υλικά, λόγω των πολλών πηγών προέλευσής τους, πρέπει να ελέγχονται σε ότι αφορά τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες. Έτσι γίνεται διερεύνηση της καταλληλότητας και ιεράρχηση των υλικών για την επιλογή του καλύτερου. Οι έλεγχοι των αδρανών μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες με βάση το σκοπό για τον οποίο διενεργούνται. Έτσι έχουμε:

- Ελέγχους για τον προσδιορισμό των γενικών ιδιοτήτων τους
- Ελέγχους για προσδιορισμό των γεωμετρικών τους ιδιοτήτων.
- Ελέγχους για προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους.
- Ελέγχους για προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους σε θερμοκρασιακές και καιρικές μεταβολές.
- Ελέγχους για προσδιορισμό των χημικών τους ιδιοτήτων.

Πάντοτε με βάση τις προδιαγραφές για την κατασκευή της κάθε στρώσης, τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν ελέγχονται με τη διεξαγωγή εργαστηριακών ελέγχων για να εξασφαλιστεί η καταλληλότητα τους. Κάποιες από τις ιδιότητες που πρέπει να

ικανοποιούν τα αδρανή πάντα μεβάση τις προδιαγραφές των προτύπων που εφαρμόζονται, είναι:

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

Το μείγμα των αδρανών που θα ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των προδιαγραφών σε ότι αφορά τις πιο πάνω ιδιότητες θεωρείται ως κατάλληλο ή αν δεν ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτές, ως ακατάλληλο για τον σκοπό για τον οποίο προορίζεται.

Στις περιπτώσεις που αυτό προορίζεται για χρήση σε στρώση βάσης θα πρέπει να εξασφαλίζεται μέσω των διενεργούμενων εργαστηριακών ελέγχων ότι θα είναι ανθεκτικό στις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις λόγω της κυκλοφορίας στο οδόστρωμα, θα διαθέτει δυνατότητες αποστράγγισης ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να μην υπόκειται σε μόνιμες παραμορφώσεις.

Στην περίπτωση που το μείγμα προορίζεται για χρήση στην υπόβαση του οδοστρώματος, λόγω του ότι οι καταπονήσεις σε αυτή την στρώση είναι μικρότερες μπορεί να είναι χαμηλότερης ποιότητας. Ωστόσο τα αδρανή υλικά θα πρέπει να εξασφαλίζουν πάντα στις στρώσεις τη δυνατότητα αποστράγγισης, την ανθεκτικότητα στον παγετό και την προστασία των στρώσεων από την είσοδο εδαφικού υλικού (άργιλος, ιλύς, οργανικά υλικά).

Στην Κύπρο τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται στα έργα οδοποιίας για την κατασκευή των στρώσεων βάσης και υπόβασης, σύμφωνα με τις τεχνικές Προδιαγραφές του Τμήματος Δημοσίων Έργων πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Προτύπου EN13242. Επιπλέον στις τεχνικές προδιαγραφές καθορίζονται οι απαιτήσεις σε κάθε ιδιότητα-έλεγχο και τα όρια των τιμών που πρέπει να ικανοποιεί το υλικό για να θεωρείται κατάλληλο.

Ταυτόχρονα τα αδρανή που χρησιμοποιεί το Τμήμα Δημοσίων Έργων για την παραγωγή ασφαλτικού σκυροδέματος είναι σύμφωνα με το πρότυπο EN13043. Ανάλογα προκαθορίζονται και οι απαιτήσεις καθώς και τα όρια των τιμών που αναμένονται από τους διάφορους εργαστηριακούς ελέγχους , για να θεωρηθεί ένα υλικό κατάλληλο για χρήση.

2.3.2 Ασφαλτικά υλικά-Άσφαλτος

Το βασικότερο ασφαλτικό υλικό που χρησιμοποιείται σήμερα στην κατασκευή οδοστρωμάτων είναι η φυσική άσφαλτος. Το υλικό αυτό έχει ισχυρές συγκολλητικές ιδιότητες, μεγάλη ευστάθεια, δηλαδή αντοχή στο χρόνο και δεν επηρεάζεται από τις καιρικές μεταβολές.

Η άσφαλτος είναι γνωστή και χρησιμοποιείται από αρχαιοτάτων χρόνων. Είναι ίσως ένα από τα πλέον παλαιά και διαδεδομένα δομικά υλικά. Χρησιμοποιείται εδώ και 6.000 χρόνια ως άριστης ποιότητας μονωτικό και συνδετικό υλικό. (Νικολαΐδης Α., 1996). Λαμβάνεται είτε από προϊόντα του αργού πετρελαίου , είτε προέρχεται από ασφαλτικά προϊόντα τα οποία βρίσκονται σε επιφανειακά κοιτάσματα. Στην οδοποιία η άσφαλτος που χρησιμοποιείται είναι υπόλειμμα της απόσταξης αργού πετρελαίου. Είναι ένα πολύπλοκο χημικό μίγμα οργανικών ενώσεων που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες με ένα μικρό ποσοστό ετεροκυκλικών ενώσεων που περιέχουν στα ενεργά τους κέντρα θείο, άζωτο και οξυγόνο.

Οι άσφαλτοι που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό διεισδυτικότητας (penetration grade). Ως μονάδα μέτρησης του βαθμού διεισδυτικότητας ορίστηκε το “pen” το οποίο αντιστοιχεί σε εισχώρηση της βελόνας της συσκευής διείσδυσης κατά 0,1mm.

Το ποιας κατηγορίας άσφαλτος θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον τύπο του ασφαλτομίγματος που θα παραχθεί και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε περιοχές με ψυχρό κλίμα χρησιμοποιείται συνήθως μαλακή άσφαλτος ενώ στις περιοχές με θερμό κλίμα χρησιμοποιείται σχετικά σκληρή άσφαλτος.

Πέραν της διεισδυτικότητας, η άσφαλτος που θα χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή κάποιου ασφαλτομίγματος, πρέπει να ικανοποιεί και κάποιες άλλες προϋποθέσεις. Πρόκειται για περιορισμούς που αφορούν τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της ασφάλτου όπως είναι το σημείο μάλθωσης, η ολκιμότητα, το σημείο ανάφλεξης, κλπ.

Εάν οι ιδιότητες της ασφάλτου αλλάζουν, εξυπακούεται ότι αλλάζουν και οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος με αρνητικά ή θετικά συνεπακόλουθα. Η μεταβλητότητα των ιδιοτήτων της ασφάλτου προέρχεται αποκλειστικά και μόνο από την αλλαγή της πηγής προέλευσης του αργού πετρελαίου και/ή από την μη σταθερότητα της διαδικασίας παραγωγής της ασφάλτου. (Highway Agency, 2006)

Οι πιο πάνω ιδιότητες της ασφάλτου μπορούν να επιβεβαιωθούν με τη διεξαγωγή εργαστηριακών ελέγχων.

2.3.2.1 Ασφαλτομίγματα:

Το προϊόν ανάμιξης μίγματος αδρανών, με άσφαλο ονομάζεται ασφαλτόμιγμα. Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής ενός ασφαλτομίγματος, διακρίνονται σε ψυχρά και θερμά ασφαλτομίγματα. Από όλους τους τύπους των ασφαλτομιγμάτων που υπάρχουν κάθε χώρα χρησιμοποιεί αυτούς που νομίζει ότι εξυπηρετούν καλύτερα τις ανάγκες της σε συνδυασμό με τις κλιματολογικές συνθήκες. (Νικολαΐδης Α., 1996)

Για το σωστό σχεδιασμό και παραγωγή ενός ασφαλτομίγματος απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχει το σωστό ποσοστό (κλάσμα) των τριών διαβαθμίσεων των αδρανών (χονδρόκοκκα, λεπτόκοκκα, παιπάλη) στο σχεδιαζόμενο μίγμα. Οι τεχνικές προδιαγραφές του Τμήματος Δημοσίων Έργων καθορίζουν τις βασικές παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα μίγματα των αδρανών υλικών, χρησιμοποιώντας ως βάση το εγχειρίδιο του «Asphalt Institute Manual» M.S.-2, με τίτλο «Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot mix Types». Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε ότι αφορά το κλάσμα της παιπάλης που εμπεριέχεται στο μίγμα των αδρανών, όπου κρίνεται απαραίτητο να γίνει έλεγχος για

ποιοτική αξιολόγηση με τον προσδιορισμό της τιμής του δείκτη “ μπλε του μεθυλενίου” (MBF). Κατά κανόνα η επιτρεπτή τιμή MBF για τα ασφαλτομίγματα όλων των στρώσεων είναι $\leq 10\text{g/kg}$.

Γενικά ο σωστός σχεδιασμός και η παραγωγή ενός ασφαλτομίγματος προϋποθέτει:

- Σαφείς και άρτιες προδιαγραφές .
- Αδρανή υλικά κατάλληλης ποιότητας και κατάλληλη άσφαλτο.
- Κατάλληλα μηχανήματα και εξοπλισμό.
- Άτομα που θα διαθέτουν την κατάλληλη γνώση και εκπαίδευση για να σχεδιάσουν, να παράξουν, να τοποθετήσουν, να επιβλέψουν και να συντηρήσουν όλα τα είδη ασφαλτομιγμάτων.

Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται καθώς και τη σύνθεση τους, τα ασφαλτομίγματα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους όπως:

- Ασφαλτικό σκυρόδεμα
- Πυκνό ασφαλτικό Macadam
- Ανοικτό ασφαλτικό Macadam
- Θερμό κυλινδρούμενο ασφαλτόμιγμα
- Ασφαλτόμιγμα Gussasphalt

Ταυτόχρονα οι κατηγορίες αυτές διαχωρίζονται μεταξύ του με βάση:

- i. την αντολισθηρότητα και το βάθος υφής,
- ii. την αντίσταση σε παραμένονσα παραμόρφωση,
- iii. το πορώδες,
- iv. την αναμενόμενη διάρκεια ζωής,
- v. την ποσότητα των χρησιμοποιούμενων σκληρών αδρανών και
- vi. τη συμμετοχή στην αντοχή του οδοστρώματος.

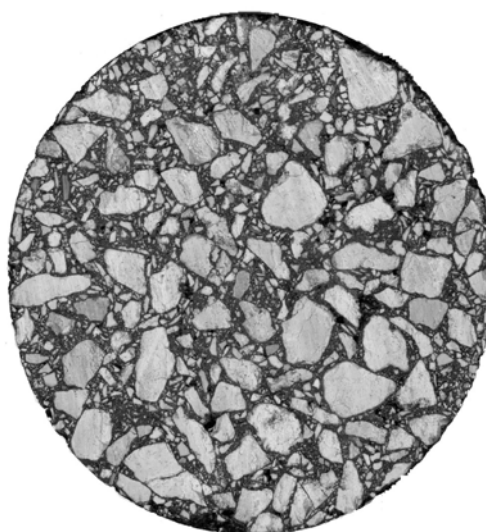
Η πιο κοινή μορφή ασφαλτομίγματος στην οδοποιία είναι το **ασφαλτικό σκυρόδεμα**. Πρόκειται για μίγμα ασφάλτου και αδρανών συνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης. Τα αδρανή σχηματίζουν μία αλληλοσυνδεδεμένη δομή, η οποία έχει τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην αντοχή του μίγματος σε ευστάθεια κατά τη φόρτιση.

2.3.2.2 Μελέτη σύνθεσης ασφαλτομίγματος:

Η μελέτη σύνθεσης του ασφαλτομίγματος, ο υπολογισμός δηλαδή των αναλογιών των αδρανών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν (χονδρόκοκκα, λεπτόκοκκα, παιπάλη) και της περιεκτικότητας σε άσφαλτο, για την παραγωγή του είναι μια δύσκολη διαδικασία. Ο μελετητής πρέπει να έχει ως στόχο το σχεδιασμό ενός οικονομικού μίγματος αδρανών και συνδετικού υλικού το οποίο να ικανοποιεί τις πιο κάτω προϋποθέσεις.

- Επαρκή ποσότητα ασφάλτου για να εξασφαλιστεί ένα ανθεκτικό στο χρόνο οδόστρωμα.
- Επαρκή ευστάθεια μίγματος για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου χωρίς παραμορφώσεις.
- Επαρκή ποσότητα κενών αέρος στο συμπυκνωμένο μίγμα για να επιτρέψει περεταίρω συμπίκνωση από τον κυκλοφοριακό φόρτο, χωρίς επαναρροή του ασφαλτικού υλικού στην επιφάνεια του οδοστρώματος την απώλεια της ευστάθειας του μείγματος
- Επαρκή εργασιμότητα για να επιτρέψει την ανάμιξη, τοποθέτηση και συμπίκνωση του ασφαλτομίγματος.

Από τις πιο πάνω προϋποθέσεις δύο θεωρούνται οι πιο κρίσιμες στο σχεδιασμό ενός σωστού ασφαλτομίγματος. Πρόκειται για την **περιεκτικότητα σε συνδετική άσφαλτο** και στα **κενά στα ορυκτά αδρανή υλικά**



Εικόνα 2. 3: Δοκίμια ασφαλτικού σκυροδέματος.

- **Περιεκτικότητα σε συνδετική ασφάλτο:**

Η περιεκτικότητα συνδετικής ασφάλτου είναι κρίσιμη στη διάρκεια και τη σταθερότητα του ασφαλτομίγματος. Εάν η περιεκτικότητα είναι χαμηλή, το πάχος στρώσεων ασφάλτου που περιβάλλει τα αδρανή υλικά θα είναι ανεπαρκές, με συνέπεια την αποσάθρωση. Αντίθετα, εάν η περιεκτικότητα σε ασφάλτο είναι υψηλή μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα σταθερότητας όπως αυλάκωση και ολίσθηση. Επίσης, η παρουσία υπερβολικού ποσοστού συνδετικού υλικού (ασφάλτου) μπορεί να προκαλέσει ξεχείλισμα του, μέχρι την επιφάνεια προκαλώντας προβλήματα στην ασφάλεια του οδοστρώματος, μειώνοντας τη αντίσταση σε ολίσθηση.

- **Κενά στα αδρανή υλικά:**

Τα διαστήματα των κόκκων που υπάρχουν μεταξύ των αδρανών υλικών σε συμπιεσμένο ασφαλτόμιγμα, που καταλαμβάνονται είτε από την συνδετική ασφάλτο είτε από τον αέρα, αναφέρονται ως κενά στα αδρανή υλικά. Ένα ασφαλτόμιγμα απαιτεί ένα ικανοποιητικό ποσό κενών ώστε με την ανάμιξη του με το ιδανικό ποσοστό ασφαλικού συνδέσμου να παραμένει ένα ικανοποιητικό ποσοστό κενών. Τα κενά αυτά είναι απαραίτητα ώστε να επιτρέπουν τη θέση σταθεροποίησης της κατασκευής που εμφανίζεται ως αποτέλεσμα των επαναλαμβανόμενων φορτίων που ταλαιπωρούν το οδόστρωμα.

Η πιο γνωστή μελέτη σύνθεσης ασφαλικού σκυροδέματος βασίζεται στη δοκιμή Marshall. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για καθορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας ασφάλτου ασφαλτομιγμάτων πυκνής διαβάθμισης, με μέγιστη ονομαστική διάσταση αδρανών 25,4mm. Ταυτόχρονα με τη δοκιμή αυτή γίνεται έλεγχος και κάποιων άλλων εμπειρικών ιδιοτήτων, οι οποίες βοηθούν στο καθορισμό ενός ασφαλτομίγματος ως κατάλληλο ή όχι.

2.3.3. Ο κυκλοφοριακός φόρτος.

Τα φορτία, που καταπονούν το οδόστρωμα, είναι επαναληπτικά και δυναμικά με διαφορετικό μέγεθος και φύση, που μεταβάλλονται συνέχεια, τόσο ημερησίως, όσο και κατά την διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος. Η επιτάχυνση και η πίεση που ασκούν τα φορτία κυκλοφορίας, επιδρούν περισσότερο στη φθορά του οδοστρώματος και δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του πάχους.

Πίνακας 2. 1: Μέγιστα αξονικά φορτία σε διάφορες χώρες.

Χώρα	Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία (τόνοι)			Δεν καθορίζονται όρια
	Μονός άξονας		Δίδυμος	
	Δίχως κίνηση	Με κίνηση		
Αγγλία	9 - 10 ^(α)		16 ή 20 - 26 ^(α)	
Αυστραλία	4.6 - 9 ^(α)		9 - 16.5 ^(α)	
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 ^(α)		18	
ΗΠΑ ^(β)	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 ^(α)		16 - 20 ^(α)	
Λουξεμβούργο	10	13	20	
Νορβηγία	10	10	16	
Ολλανδία	10	10	18	
Πορτογαλία	-	10	16	
Σουηδία	10	10	16	
Τουρκία	13	13	19	
Φινλανδία	10	10	16	
Ευρωπαϊκή Ένωση	10	11.5	18	

^(α) Εξαρτάται από τον άξονα

(Νικολαΐδης Α., 1996)

Το φορτίο το οποίο μεταφέρεται στο οδόστρωμα μέσω των ελαστικών των οχημάτων, διαφέρει από όχημα σε όχημα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του (είδος χρήσης οχήματος-εμπορική ή επιβατική, αριθμός αξόνων και ελαστικών, κλπ). Τόσο το φορτίο του οχήματος όσο και η κατανομή τού μέσω των αξόνων και ελαστικών είναι άμεσα συνυφασμένο με την καταστροφική ικανότητα του κάθε οχήματος. Για το λόγο αυτό κάθε χώρα έχει θεσπίσει μέγιστα επιτρεπτά όρια στα μικτά βάρη κάθε εμπορικού οχήματος που διακινείται στο οδικό της δίκτυο. Ενδεικτικές τιμές αυτών των ορίων για διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, φαίνονται στον πίνακα 2.1.

Τα οχήματα που κυκλοφορούν σε ένα οδόστρωμα είναι ένα μίγμα από επιβατικά οχήματα, λεωφορεία, φορτηγά, ρυμουλκά, νταλίκες (συρμοί) κλπ. Η φθορά του οδοστρώματος προκαλείται συνήθως από τα εμπορικά οχήματα αφού η καταστρεπτική ικανότητα των επιβατικών οχημάτων που το βάρος τους δεν ξεπερνά τους 1.5 τόνους, θεωρείται αμελητέα. Λόγω όμως της ποικιλίας που παρουσιάζουν τα

εμπορικά οχήματα μεταξύ τους στον αριθμό των αξόνων και στα ελαστικά τους ο κυκλοφορικός φόρτος δεν μπορεί εύκολα να υπολογισθεί.

Μεταξύ των ετών 1957 και 1961 στις ΗΠΑ η αμερικανική ένωση κρατικών εθνικών οδών AASHO (American Association of State Highway Officials), προέβηκε στη διεξαγωγή ενός σημαντικού οδικού πειράματος. Ένας από τους κύριους σκοπούς του πειράματος του AASHO, ήταν η διερεύνηση, κάτω από συμβατικές πρακτικές κατασκευής οδοστρωμάτων, της καταστρεπτικής επίδρασης των εμπορικών οχημάτων σε σχέση με τα αξονικά τους φορτία. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά εμπορικά οχήματα με διαφορετικά αξονικά φορτία και πειραματικά αντιπροσωπευτικά οδοστρώματα. (Νικολαΐδης Α., 1996)

Αποτέλεσμα του πειράματος αυτού ήταν να καθορισθεί ένας άξονας με δίδυμους τροχούς και συνολικό φορτίο 8.16 τόνων ή 80KN, ως ο αντιπροσωπευτικός άξονας των εμπορικών οχημάτων. Ο άξονας αυτός ονομάζεται τυπικός άξονας και με κάθε διέλευση του, θεωρείτε ότι επέρχεται φθορά στο οδόστρωμα ίση με μια μονάδα. Με βάση την επίδραση του τυπικού άξονα γίνεται και η αναγωγή των αξόνων (φορτίων) οποιουδήποτε εμπορικού οχήματος με χρήση των συντελεστών ισοδυναμίας σε μια και μοναδική μεταβλητή, αυτή του Ισοδύναμου Τυπικού Άξονα (ΙΤΑ).

Η αναγωγή γίνεται με τη χρήση της θεμελιώδους εξίσωσης ισοδυνάμου καταστροφής μεταξύ φορτίων:

$$N_t/N_j = a = (P_j/P_t)^\gamma \quad \text{ή} \quad N_t = a \cdot N_j$$

όπου:

N_j = είναι ο αριθμός διελεύσεων αξόνων με φορτίο P_j για να προκαλέσει καταστροφή του οδοστρώματος

N_i = είναι ο αριθμός διελεύσεων τυπικού άξονα με φορτίο P_i (= 8.16 τόνους ή 80KN) για να επιφέρει ισοδύναμη καταστροφή του οδοστρώματος.

γ = είναι αριθμητική μεταβλητή που σύμφωνα με το πείραμα AASHO παίρνει τιμές από 3.6 μέχρι 4.6, αλλά καθιερώθηκε να χρησιμοποιείται ως ίση με 4.

a = είναι συντελεστής ισοδυναμίας.

Ο υπολογισμός των συντελεστών ισοδυναμίας μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση της εξίσωσης ή να ληφθεί από τον πίνακα με τους υπολογισμένους συντελεστές ισοδυναμίας που προέκυψαν από το πείραμα του AASHO για τη μετατροπή μονών, δίδυμων και τρίδυμων αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ITA). Ακολούθως φαίνεται ο τυπικός πίνακας με τους συντελεστές ισοδυναμίας κατά AASHTO. Για τον υπολογισμό του κυκλοφοριακού φόρτου λαμβάνεται ως κρίσιμη λωρίδα κυκλοφορίας η εξωτερική λωρίδα αφού από αυτή θεωρείται ότι διέρχεται κατά μέσω όρο το 80% των εμπορικών οχημάτων.

Πίνακας 2. 2: Συντελεστές ισοδυναμίας για τη μετατροπή αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ITA), (Pt=2.5, SN=5)

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

(Νικολαΐδης Α., 1996)

Για τον καλύτερο υπολογισμό της κυκλοφορίας που αναμένουμε να χρησιμοποιήσει την οδό κατά την περίοδο σχεδιασμού της, βασιζόμαστε σε μετρήσεις της υπάρχουσας κυκλοφορίας οι οποίες αναλύονται σε αριθμό διέλευσης ανά αξονικό φορτίο και παράλληλα γίνεται εκτίμηση του ρυθμού της ετήσιας αύξησης της κυκλοφορίας. Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις μεθόδους διαστασιολόγησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μεθοδολογία Διαστασιολόγησης

3.1 Γενικά:

Ένα τυπικό εύκαμπτο οδόστρωμα αποτελείται από επάλληλες στρώσεις πεπερασμένου πάχους και άπειρων διαστάσεων κατά την οριζόντια έννοια, που εδράζεται πάνω σε μια στρώση με απεριόριστες οριζόντιες διαστάσεις και απεριόριστο πάχος. (Κόλιας Λ, 1992)

Στόχος της διαστασιολόγησης του οδοστρώματος είναι ο προσδιορισμός του πάχους των διαφόρων στρώσεων και του είδους των υλικών που θα τις αποτελούν, έτσι ώστε η κατασκευή να είναι ικανή να εξυπηρετήσει την κυκλοφορία για το προβλεπόμενο χρονικό διάστημα ζωής του έργου, με τις προβλεπόμενες κυκλοφοριακές και κλιματολογικές συνθήκες. Το προτεινόμενο πάχος οδοστρώματος πρέπει να είναι τόσο ώστε τα κυκλοφοριακά φορτία να κατανέμονται με τέτοιο τρόπο που οι τάσεις που μεταβιβάζονται στο έδαφος να μπορούν να παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους. (Νικολαΐδης Α., 1996)

3.2 Σχεδιαστικά κριτήρια:

Τα βασικά σχεδιαστικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται ώστε να διασφαλίζεται η ικανοποιητική λειτουργία του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια κατασκευής αλλά και σε όλη τη διάρκεια ζωής του είναι:

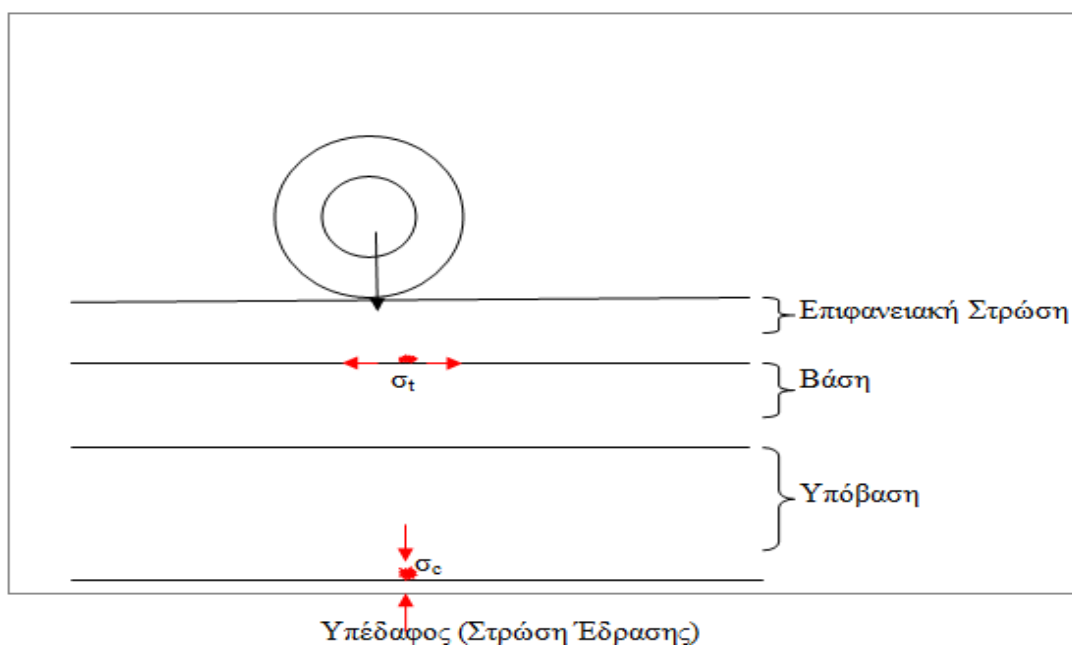
α) Οι ασφαλικές στρώσεις δεν θα πρέπει να ρηγματώνονται κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας. Αυτό ελέγχεται από την αναπτυσσόμενη εφελκυστική τάση ή εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση στην κατώτατη επιφάνεια της ασφαλικής βάσης.

β) Το υπέδαφος θα πρέπει να μπορεί να παραλάβει τα επαναλαμβανόμενα φορτία της κυκλοφορίας δίχως να παρουσιάζεται υπερβολική παραμόρφωση στην επιφάνεια του. Αυτό ελέγχεται από την αναπτυσσόμενη θλιπτική τάση ή θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση στην ανώτατη επιφάνεια της στρώσης έδρασης (ανώτατη επιφάνεια υπεδάφους ή εξυγιαντικής στρώσης).

γ) Το πάχος της βάσης/υπόβασης από ασύνδετα αδρανή και της εξυγιαντικής στρώσης (όταν κατασκευάζεται) πρέπει να είναι επαρκές έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της κατασκευής (πριν τη διάστρωση των ασφαλτικών στρώσεων) να μην υπερφορτίζεται το υπέδαφος από τις διελεύσεις των οχημάτων που διακινούνται στο εργοτάξιο.

Σε γενικές γραμμές η δομική επάρκεια του οδοστρώματος εξαρτάται από την σχέση τάσης - παραμόρφωσης που αναπτύσσεται σε κάποιες κρίσιμες θέσεις του οδοστρώματος. Ως κρίσιμες θέσεις θεωρούνται:

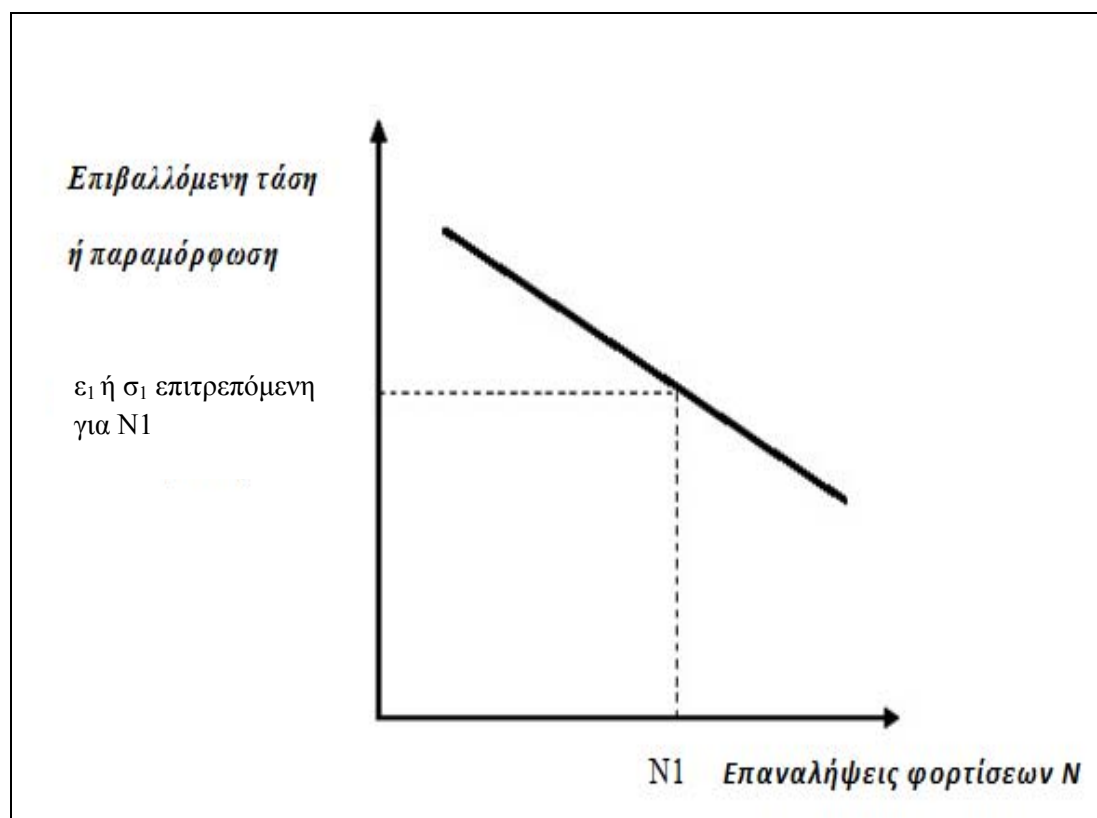
1. Ο πυθμένας της ασφαλτικής στρώσης, όπου αναπτύσσεται η οριζόντια εφελκυστική τάση (σ_t),
2. Η επιφάνεια της στρώσης έδρασης όπου αναπτύσσεται η κατακόρυφη θλιπτική τάση (σ_c).



Σχήμα 3. 1:Κρίσιμες θέσεις διατομής εύκαμπτου οδοστρώματος

Τα πιο πάνω κριτήρια χρησιμοποιούνται από όλες τις μεθόδους διαστασιολόγησης. 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.

Αναλυτικότερα, ο καθορισμός της επιτρεπόμενης τιμής της αντοχής ή της παραμόρφωσης γίνεται με βάση τον εργαστηριακά προσδιορισμένο νόμο κόπωσης του υλικού, ο οποίος παρέχει την σχέση μεταξύ της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης και του αριθμού των επαναλήψεων των φορτίσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν πριν το υλικό να αστοχήσει.



Σχήμα 3. 2: Προσδιορισμό της επιτρεπόμενης τιμής της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης από τις προβλεπόμενες επαναλήψεις φορτίσεων.

3.3 Υπολογισμός Τάσεων- Παραμορφώσεων Οδοστρώματος:

Για τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος ο υπολογισμός των τάσεων και των παραμορφώσεων που αναπτύσσονται (ιδιαίτερα στις κρίσιμες θέσεις που έχουν καθοριστεί) είναι βασικότατη προϋπόθεση και γι αυτό το λόγο εδώ και πολλά χρόνια διάφοροι ερευνητές προσπάθησαν να τις υπολογίσουν χρησιμοποιώντας διάφορες θεωρίες και μεθόδους.

Έτσι κατά καιρούς αναπτύχθηκαν θεωρίες όπως:

1. **Θεωρία μονοστρωματικών συστημάτων:** αναφέρεται στην ιδανική περίπτωση ύπαρξης μιας μόνο στρώσης, αυτής του εδάφους και γι αυτό δεν

εφαρμόζεται σήμερα. Αναπτύχθηκε στο τέλος του 19^{ου} αιώνα από τον Boussinesq.

2. **Συστήματα δύο στρώσεων:** η θεωρία αυτή αρχικά δεν κάλυπτε τα εύκαμπτα οδοστρώματα γιατί αφορούσε περιπτώσεις που η μια στρώση αποτελείτο από σκυρόδεμα. Στη συνέχεια όμως με βάση αυτή τη θεωρία αναπτύχθηκαν θεωρίες που αφορούσαν τα εύκαμπτα οδοστρώματα δύο στρώσεων.
3. **Συστήματα τριών ή περισσότερων στρώσεων:** αφορά τις περιπτώσεις όπου στο οδόστρωμα υπάρχουν περισσότερες από δύο στρώσεις. Λόγω της αύξησης του αριθμού των στρώσεων η δυσκολία υπολογισμού των τάσεων παραμορφώσεων πολλαπλασιάζεται με αποτέλεσμα να είναι σχεδόν αδύνατη η ύπαρξη πινάκων ή νομογραφημάτων που να καλύπτουν όλους τους πιθανούς συνδυασμούς μεταβολής των χαρακτηριστικών των στρώσεων. Με την ανάπτυξη όμως των λογισμικών προγραμμάτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η διαδικασία αυτή γίνεται εύκολα. Τέτοια προγράμματα είναι τα BISAR, DAMA, κλπ.

Για να είναι εφικτή η χρήση οποιασδήποτε από τις πιο πάνω θεωρίες για τον υπολογισμό ενός στατικού προτύπου εύκαμπτου οδοστρώματος, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εφαρμογή διάφορων παραδοχών για διευκόλυνση των υπολογισμών. Οι παραδοχές αυτές δεν ισχύουν πάντοτε, με αποτέλεσμα καμιά φορά να οδηγούμαστε σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Τέτοιες παραδοχές είναι :

- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ομογενή και ισότροπα. Στην πραγματικότητα έχει αποδειχθεί πειραματικά πως κατά την καταπόνηση από τα κυκλοφοριακά φορτία, τα υλικά συμπεριφέρονται σαν ελαστικά στρώματα.
- Η επιφάνεια επαφής ελαστικού οχήματος και οδοστρώματος είναι κύκλος ομοιόμορφα φορτισμένος. Στην πραγματικότητα το ελαστικό φορτίζει το οδόστρωμα ανομοιόμορφα κατά ακανόνιστη ελλειψοειδή επιφάνεια, που εξαρτάται από το είδος των φορτίων και των ελαστικών.
- Το σύστημα έδαφος - οδόστρωμα παραμένει κατά την ζωή του αναλλοίωτο. Στην πραγματικότητα το σύστημα επηρεάζεται από τις μεταβολές των καιρικών συνθηκών.
- Κάθε στρώση έχει περιορισμένο πάχος εκτός από τη στρώση του υπεδάφους η οποία έχει άπειρο πάχος.

- Στην οριζόντια διεύθυνση όλες οι στρώσεις έχουν άπειρο μήκος.
- Στην επιφάνεια του οδοστρώματος δεν εμφανίζονται διατμητικές τάσεις.
- Κάθε στρώση χαρακτηρίζεται από δύο ιδιότητες- το λόγο του Poisson και το μέτρο Ελαστικότητας E .

3.3.1 Πολυστρωματικό μοντέλο υπολογισμού

Στα υπολογιστικά πολυστρωματικά μοντέλα υπολογισμού των εντατικών καταστάσεων που αναπτύσσονται στις στρώσεις του οδοστρώματος, μπορεί να υπολογιστεί η τάση και η παραμόρφωση σε οποιοδήποτε σημείο στη δομή του οδοστρώματος, ως συνέπεια της εφαρμογής επιφανειακού φορτίου. Επειδή η κατασκευή θεωρείται ομοιογενής ισότροπη και γραμμικά ελαστική, αυτή η υπολογισμένη τιμή θεωρείται η ίδια παντού. Ταυτόχρονα γίνεται η παραδοχή ότι το σημείο αυτό θα ανακτήσει την αρχική του κατάσταση/μορφή μετά την αφαίρεση του φορτίου. Η προέλευση της ελαστικής θεωρίας χρεώνεται στον V.J. Boussinesq του οποίου το έργο δημοσιεύτηκε το 1885. Μέχρι σήμερα η επιρροή των γραφημάτων της θεωρίας του Boussinesq, καθώς και οι πίνακες με τις υπολογισμένες τιμές παραμέτρων που αφορούσαν τις διάφορες θέσεις στη δομή του οδοστρώματος και αναπτύχθηκαν αργότερα από άλλους ερευνητές, είναι ευρέως διαδεδομένα ιδιαίτερα σε σχεδιασμό θεμελιώσεων και θέματα εδαφομηχανικής.

Η κλασική περίπτωση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος που αποτελείται από βάση από ασύνδετα αδρανή και ασφατικές στρώσεις, με τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες, θεωρείται ως ένα σύστημα τριών στρώσεων (μία του υπεδάφους, μία της στρώσης από ασύνδετα αδρανή και μία των ασφατικών στρώσεων). Γενικότερα, η κατασκευή κάθε ενιαίας στρώσης με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες από τις άλλες στρώσεις, θεωρείται ως μια διακεκριμένη στρώση. (Νικολαΐδης Α., 1996)

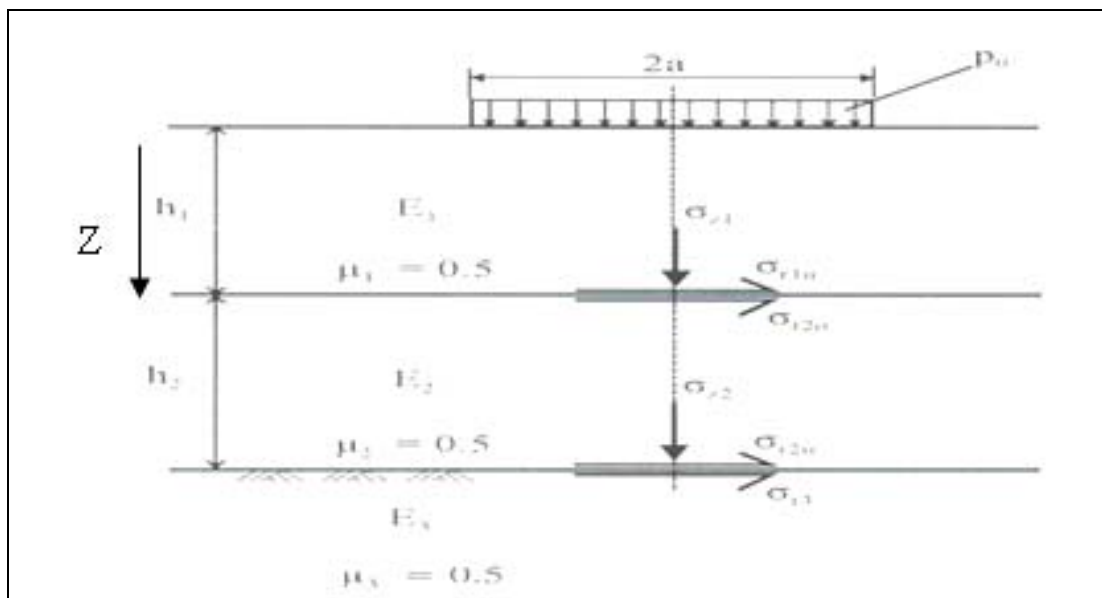
Για τον υπολογισμό της απόκρισης της δομής του οδοστρώματος στη φόρτιση της κυκλοφορίας, χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν κάποια δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζουν επαρκώς τη δομή του οδοστρώματος. Αυτά τα δεδομένα είναι:

1. Χαρακτηριστικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις:
 - Το μέτρο ελαστικότητας της κάθε στρώσης και ο λόγος του Poisson
 - Το πάχος της κάθε στρώσης του οδοστρώματος,

2. Συνθήκες φόρτισης:

- Μέγεθος φόρτισης: Το συνολικό φορτίο (P), το οποίο επιβάλλεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Γεωμετρία της φόρτισης: Συνήθως ορίζεται ως ένας κύκλος με δεδομένη ακτίνα (r ή a), ή μια ακτίνα που υπολογίζεται με δεδομένα την πίεση επαφής (p) του φορτίου και το μέγεθος του φορτίου (P). Παρόλο που στην πραγματικότητα περισσότερα φορτία αντιπροσωπεύονται με ελλειψοειδής επιφάνεια επαφής, οι διαφορές που προκύπτουν στους υπολογισμούς, θεωρούνται αμελητέες σε πολύ μικρό βάθος του οδοστρώματος.
- Οι επαναλήψεις: Πολλαπλές φορτίσεις στην επιφάνεια της στρώσης κύλισης μπορούν να εκφραστούν ως άθροισμα των επιπτώσεων των επιμέρους μεμονωμένων φορτίσεων. Αυτό γίνεται με την παραδοχή ότι τα υλικά δεν έχουν φορτιστεί πέραν της ελαστικής τους περιοχής. (Mathew Tom V., 2006)

Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει πως συνδέονται τα πιο πάνω χαρακτηριστικά με το πολυστρωματικό ελαστικό μοντέλο υπολογισμού των τάσεων και παραμορφώσεων στα κρίσιμα σημεία του οδοστρώματος.



Σχήμα 3. 3: Πολυστρωματικό μοντέλο υπολογισμού οδοστρώματος.

Με τη χρήση των παραμέτρων που αναφέρθηκαν πιο πάνω υπολογίζονται:

Η τάση: η ένταση των κατανεμημένων εσωτερικών δυνάμεων που αναπτύσσονται σε διάφορα σημεία εντός της δομής του οδοστρώματος. Η τάση μετριέται σε μονάδες δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας (N/m^2 , Pa ή psi).

Καταπόνηση: Εκφράζεται ως ο λόγος της αλλαγής μιας διάστασης του υλικού σε σχέση με την αρχική διάσταση (mm/mm ή in/in). Οι καταπονήσεις στο οδόστρωμα γενικά είναι πολύ μικρές (10^{-6}).

Παραμόρφωση: Η γραμμική αλλαγή σε μια διάσταση (mm ή μm).

Οι υπολογιζόμενες αυτές τιμές μπορούν να προκύψουν και με τη χρήση μαθηματικών εξισώσεων, θέτοντας ως βασική προϋπόθεση στην περίπτωση αυτή, να μετατραπεί το σύστημα σε σύστημα μιας ενιαίας στρώσης, με μέτρο ελαστικότητας E_3 , χρησιμοποιώντας τη θεωρία ισοδυναμίας που αναπτύχθηκε από τον Odemark.

Η **θεωρία ισοδυναμίας του Odemark** συνίσταται στη μετατροπή δύο ελαστικών στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες (E και μ) σε μια ισοδύναμη ελαστική στρώση με μηχανικά χαρακτηριστικά αυτά της υποκείμενης στρώσης. Έτσι δημιουργείται μια ελαστική, ισότροπη και ομογενής στρώση. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση περισσότερων των δύο στρώσεων. Δηλαδή, στην περίπτωση τριών στρώσεων, γίνεται μετατροπή της πρώτης στρώσης σε ισοδύναμη στρώση με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τρίτης στρώσης (υπέδαφος) και στη συνέχεια μετατροπή της δεύτερης στρώσης σε ισοδύναμη στρώση με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τρίτης στρώσης. Έτσι και πάλι δημιουργείται μια ελαστική, ισότροπη και ομογενής στρώση της οποίας το ισοδύναμο πάχος είναι το άθροισμα των δύο επιμέρους ισοδυνάμων παχών που προέκυψαν από τις μετατροπές. Βασική προϋπόθεση είναι η μετατροπή να γίνεται πάντοτε συναντήσει της τελευταίας στρώσης (του υπεδάφους).

Αφού εφαρμοστούν τα πιο πάνω, ο υπολογισμός των διαφόρων παραμέτρων γίνεται με τη χρήση των εξισώσεων που ακολουθούν:

$$\sigma_z = \frac{P}{2\pi} \frac{3z^3}{(r^2+z^2)^{5/2}}$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi} \left[\frac{3r^2z}{(r^2+z^2)^{5/2}} - \frac{1-2\mu}{r^2+z^2+z\sqrt{r^2+z^2}} \right]$$

$$\sigma_t = -\frac{P}{2\pi}(1-2\mu) \left[\frac{z}{(r^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{r^2+z^2+z\sqrt{r^2+z^2}} \right]$$

$$\tau_{rz} = \frac{P}{2\pi} \frac{3rz^2}{(r^2+z^2)^{5/2}}$$

Όπου :

σ_z = κατακόρυφη θλιπτική τάση,

σ_r, σ_t = οριζόντιες εφελκυστικές τάσεις (ακτινική και εφαπτομενική) και

τ_{rz} = διατμητική τάση.

Με τη χρήση ενός υπολογιστικού προγράμματος για πολυστρωματικό υπολογιστικό μοντέλο, η τάση, ή ένταση και η παραμόρφωση μπορεί να υπολογιστεί σε οποιοδήποτε σημείο των στρώσεων του οδοστρώματος. Εντούτοις σημαντικός είναι ο υπολογισμός αυτών των μεγεθών στα κρίσιμα σημεία που έχουν προαναφερθεί.

Αφού υπολογιστούν όλα τα μεγέθη των πιο πάνω εντατικών καταστάσεων, αποφασίζεται πιο είναι το κριτήριο αστοχίας. Αυτό είναι η τιμή της τάσης ή της καταπόνησης που θα οδηγήσει σε αστοχία το οδόστρωμα.

3.4 Διαδικασία σχεδιασμού

Κατά το στάδιο μελέτης ενός έργου οδοστρωσίας, αφού αποφασιστεί η γεωμετρία του δρόμου που πρόκειται να κατασκευαστεί (πλάτη λωρίδων, πεζοδρόμια, νησίδες, κλπ), ο Μηχανικός πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία υπολογισμού που θα έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του πιο οικονομικού συνδυασμού των στρώσεων, σε

σχέση με το πάχος και το είδος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε στρώση. Αξίζει να σημειωθεί ότι πέραν των παραγόντων που αναφέρθηκαν προηγουμένως ότι επηρεάζουν το πάχος των στρώσεων, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι χρειάζεται να ληφθούν υπόψη από τον Μηχανικό κατά το στάδιο μελέτης της δομής του οδοστρώματος. Τέτοια δεδομένα είναι:

Περίοδος σχεδιασμού: Η περίοδος σχεδιασμού εξαρτάται από τον τύπο του δρόμου (αυτοκινητόδρομος, αστικός, αγροτικός κλπ), την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται, και τον σκοπό τον οποίο προορίζεται να εξυπηρετεί. Σε αυτό το σημείο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι ένας δρόμος με μεγάλη κυκλοφορία δεν μπορεί εύκολα να συντηρηθεί ή να επιδιορθωθεί, άρα χρειάζεται σε αυτή την περίπτωση να αυξάνεται η περίοδος σχεδιασμού του.

Αποστράγγιση του υπεδάφους: οι συνθήκες αποστράγγισης του οδοστρώματος και του υπεδάφους ασκούν μεγάλη επιρροή στην απόδοση της κατασκευής. Στο σχεδιασμό του οδοστρώματος είναι σημαντικό να εντοπίζονται οι τρόποι με τους οποίους η υγρασία μπορεί να εισέλθει στο οδόστρωμα ή στο υπέδαφος και να καθορίζονται τα απαραίτητα μέτρα που πρέπει να εφαρμόζονται για να ελέγχεται το ποσοστό της υγρασία στη δομή του οδοστρώματος. Οι μεταβολές της περιεκτικότητας του οδοστρώματος σε υγρασία συνήθως προέρχονται από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Εισροή από εφαπτόμενο πρανές το οποίο έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, όταν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται πιο ψηλά από το επίπεδο του οδοστρώματος
2. Διακυμάνσεις του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή,
3. Διείσδυση μέσα από την επιφάνεια της οδού, μέσω των πεζοδρομίων ή των ερεισμάτων και
4. Διείσδυση μέσω του φαινομένου των τριχοειδών

Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να αποφασιστεί κατά πόσον είναι απαραίτητη η χρήση αποστραγγιστικής στρώσης ως ένα από τα αποστραγγιστικά μέτρα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν.

Η Μέση Ετήσια Θερμοκρασία του Αέρα (ΜΕΘΑ): Η θερμοκρασία αέρος επηρεάζει το μέτρο δυσκαμψίας των ασφαλικών στρώσεων. Σε κάποιες μεθόδους

διαστασιολόγησης η ΜΕΘΑ είναι απαραίτητο στοιχείο. Ο προσδιορισμός της ΜΕΘΑ πραγματοποιείται βάσει στατιστικών στοιχείων από τον κοντινότερο στο έργο μετεωρολογικό σταθμό. Δεδομένου ότι η πυκνότητα των μετεωρολογικών σταθμών δεν είναι μεγάλη, ο μελετητής, ανάλογα με τη θέση του έργου, θα πρέπει να εκτιμήσει την αντιπροσωπευτική ΜΕΘΑ της περιοχής του έργου.

Κατανομή οχημάτων: Μια ρεαλιστική αξιολόγηση της κατανομής των εμπορικών οχημάτων ανά κατεύθυνση και λωρίδα είναι αναγκαία, αφού επηρεάζει άμεσα τον συνολικό αριθμό των ισοδύναμων τυπικών αξόνων που χρησιμοποιούνται στη σχεδίαση του οδοστρώματος. Εφόσον αξιόπιστα δεδομένα δεν μπορεί να είναι διαθέσιμα ακολουθείται η πιο κάτω κατανομή:

Δρόμοι ενιαίας λωρίδας: Ο σχεδιασμός του οδοστρώματος πρέπει να βασίζεται στο συνολικό αριθμό των εμπορικών οχημάτων που χρησιμοποιούν το δρόμο.

Δρόμοι δύο λωρίδων: Ο σχεδιασμός πρέπει να βασίζεται στο 75% των εμπορικών οχημάτων προς τις δύο κατευθύνσεις.

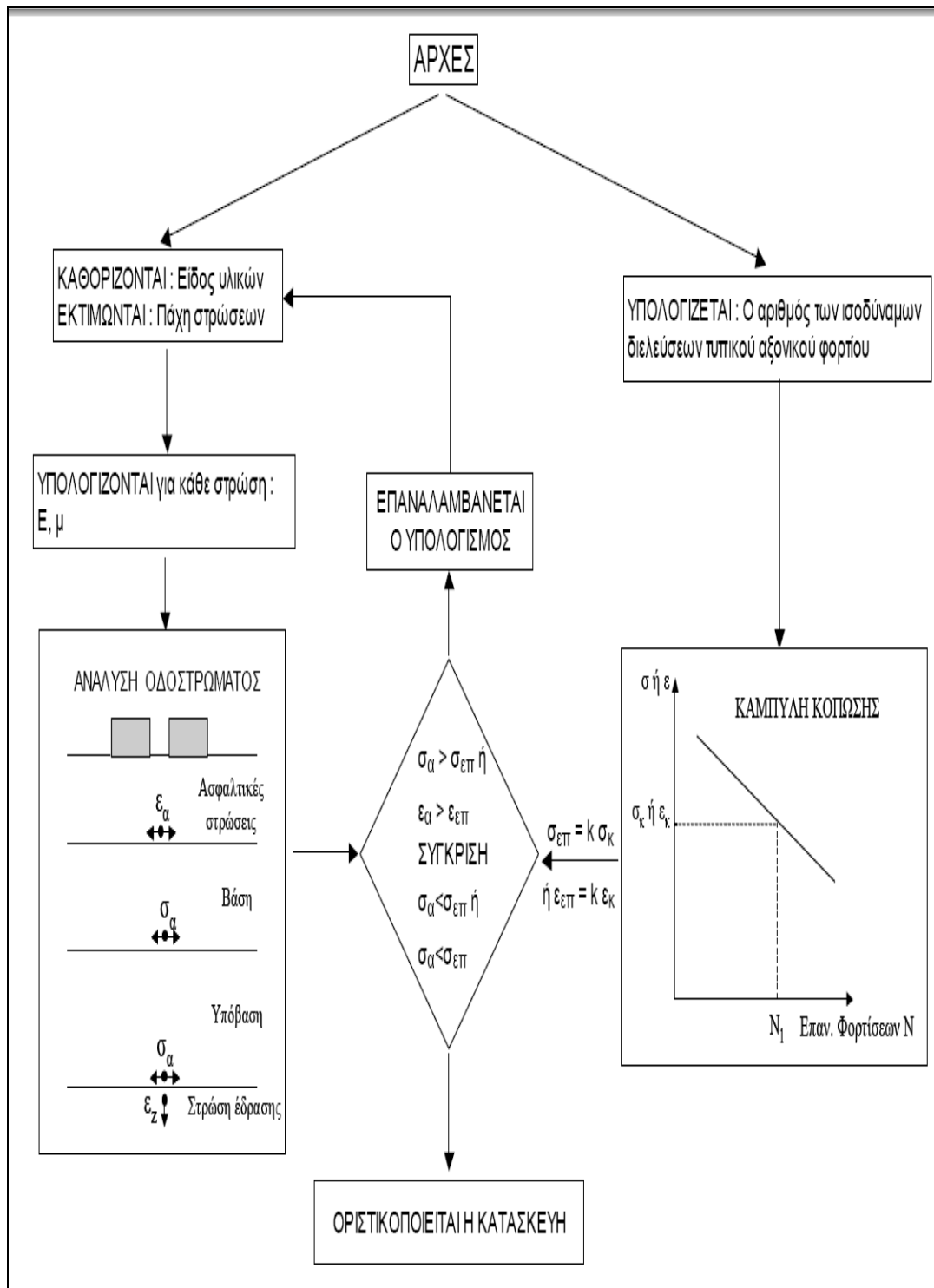
Δρόμοι τεσσάρων λωρίδων: Ο σχεδιασμός πρέπει να βασίζεται στο 40% των εμπορικών οχημάτων προς τις δύο κατευθύνσεις. (Tom V. Mathew, 2006)

Σε γενικές γραμμές ο αναλυτικός υπολογισμός ενός εύκαμπτου οδοστρώματος (αλλά και όλων γενικά των τύπων οδοστρώματων), συνίσταται στην ακόλουθη διαδικασία:

- I. Καθορισμός του μηχανικού προσομοιώματος που παριστά το οδόστρωμα.
- II. Καθορισμός του είδους, της έντασης και της διάρκειας των επιπονήσεων που προβλέπεται να υποστεί το οδόστρωμα. Η διαδικασία αυτή αφορά κυρίως τον καθορισμό της φόρτισης από τα φορτία της κυκλοφορίας και στην εκτίμηση των επιπονήσεων που προκαλούνται από τις περιβαλλοντικές επιδράσεις. (πχ θερμοκρασιακές τάσεις, επιρροή της μεταβολής της φέρουσας ικανότητας της στρώσεως εδράσεως από τις κλιματολογικές και υδρολογικές μεταβολές κλπ.).
- III. Εκτίμηση του πάχους των διαφόρων στρώσεων του οδοστρώματος και εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των στρώσεων που είναι απαραίτητα για την ανάλυση του προσομοιώματος (συνήθως του μέτρου ελαστικότητας και του λόγου του Poisson των υλικών των στρώσεων).

- IV. Ανάλυση της εντατικής καταστάσεως (τάσεις, παραμορφώσεις, υποχωρήσεις) που αναπτύσσεται στο οδόστρωμα υπό την επενέργεια των επιπονήσεων που καθορίστηκαν στο βήμα II.
- V. Έλεγχος της επάρκειας του οδοστρώματος (που συναρτάται με τα εκλεγέντα πάχη, το είδος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά στρώσεων του οδοστρώματος) έτσι ώστε να μην παρουσιαστεί αστοχία κατά τη διάρκεια την προβλεπόμενης χρήσεως σε καμία στρώση του οδοστρώματος και στη στρώση έδρασης. Για τον καθορισμό αυτό, είναι απαραίτητο να είναι γνωστοί οι νόμοι που προσδιορίζουν την αστοχία των υλικών υπό την προβλεπόμενη επιπόνηση. Το κυριότερο χαρακτηριστικό της φόρτισης των οδοστρωμάτων είναι η επαναλαμβανόμενη μορφή επιπόνησης που επιβάλλουν τα φορτία της κυκλοφορίας και γι αυτό οι νόμοι κόπωσης των υλικών είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τον υπολογισμό των οδοστρωμάτων. Άλλοι απαραίτητοι νόμοι είναι ι) ο νόμος αστοχίας της στρώσης έδρασης που εξασφαλίζει το οδόστρωμα από απώλεια στηρίξεως και από υπερβολική παραμόρφωση, ιι) ο νόμος αστοχίας των υλικών της υπόβασης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων τα οποία υφίστανται διάβρωση από ταχύτατη κίνηση του νερού στην επιφάνειά τους και ιιι) ο νόμος που καθορίζει την μόνιμη παραμόρφωση των ασφαλτομιγμάτων και των ασύνδετων υλικών βάσεως και υποβάσεως. Εφόσον στον έλεγχο αυτό αποδειχθεί, ότι σε κάποιο κρίσιμο σημείο προβλέπεται αστοχία, τότε αναπροσαρμόζονται κατάλληλα τα πάχη ή τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών των στρώσεων του οδοστρώματος (με αναβάθμιση της ποιότητάς τους) έτσι ώστε στον επανέλεγχο που θα ακολουθήσει να μην παρουσιάζεται αστοχία..(Ε.ΒΙ.ΠΑΡ)

Με άλλα λόγια η μεθοδολογία διαστασιολόγησης ακολουθεί μια διαδικασία υπολογισμών και συγκρίσεων των αποτελεσμάτων, η οποία φαίνεται σχηματικά στο διάγραμμα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα..



Σχήμα 3. 4: Γενική αρχή αναλυτικού υπολογισμού οδοστρωμάτων (Ε.ΒΙ.ΠΑΡ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Μέθοδοι Διαστασιολόγησης

Οι σημερινές μέθοδοι υπολογισμού του πάχους οδοστρώματος όπως έχουν διαμορφωθεί από το πέρασμα του χρόνου και μετά από μελέτες και αναθεωρήσεις των διάφορων οργανισμών που ασχολούνται με το θέμα αυτό, διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) **Θεωρητικές μέθοδοι:** ο υπολογισμός στηρίζεται σε καθαρά θεωρητική διεργασία, όπως ή σχέση τάσεων - παραμορφώσεων. Ο μελετητής υπολογίζει τις αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις σε διάφορα κρίσιμα σημεία της δομής του οδοστρώματος και κατόπιν τις συγκρίνει με τα αντίστοιχα μεγέθη που καθορίζονται από τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών που θα ενσωματωθούν στο οδόστρωμα. (Νικολαΐδης Α., 1996)
- 2) **Ημιεμπειρικές (ημιαναλυτικές) μέθοδοι:** στηρίζονται τόσο στην θεωρία, όσο και στην εμπειρία. Τα πάχη των στρώσεων καθορίζονται εύκολα από διαγράμματα ή νομογραφήματα.
- 3) **Καθαρά εμπειρικές μέθοδοι:** στηρίζονται σε στατιστικά δεδομένα με βάση τα φυσικά και μόνο χαρακτηριστικά του εδάφους.

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.

4.1 Μέθοδος AASHTO:

Η μέθοδος AASHTO αποτελεί μία ημιαναλυτική μέθοδο διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων, σύμφωνα με την οποία η αστοχία του οδοστρώματος συσχετίζεται με τη λειτουργικότητα και ειδικότερα με το επίπεδο εξυπηρέτησης που παρέχει το οδόστρωμα στο χρήστη σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Πρόκειται για μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους σχεδιασμού οδοστρωμάτων στο κόσμο. Η αρχική μεθοδολογία ήταν απόρροια του μεγάλου πειράματος του AASHTO (Highway Research Board, 1962) το οποίο ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και διεξήχθη στην Ottawa του Illinois των ΗΠΑ. Η πρώτη έκδοση του οδηγού

διαστασιολόγησης της μεθόδου έγινε το 1961. Ακολούθησαν αναθεωρήσεις το 1972, 1986 και 1993.

Αντίθετα με όλες τις άλλες νεότερες μεθοδολογίες εύκαμπτων οδοστρωμάτων, η μέθοδος AASHTO δε χρησιμοποιεί την παραμόρφωση και την κόπωση (ρηγμάτωση) ως σχεδιαστικά κριτήρια για αστοχία του οδοστρώματος. Η αστοχία συνδυάζεται με τη λειτουργικότητα του οδοστρώματος και ειδικότερα με το επίπεδο εξυπηρέτησης που παρέχει το οδόστρωμα στο χρήστη τη συγκεκριμένη στιγμή και εκφράζεται με το δείκτη Παρούσας Εξυπηρετικότητας (PSI). Με άλλα λόγια ως κριτήριο αστοχίας θεωρείται η ικανότητα του οδοστρώματος να εξυπηρετήσει τον κυκλοφοριακό φόρτο για τον οποίο σχεδιάστηκε.

Ο δείκτης εξυπηρετικότητας προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38RD^2 - 0.01(C + P)^{1/2} \quad (\text{Τσώχος Γ., 1984})$$

Όπου:

SV: η διακύμανση της κλίσης (μέτρο της τραχύτητας του οδοστρώματος)

RD: ο βαθμός αυλακώσεων εγκάρσια στον άξονα (σε ίντσες) ανάμεσα στις τροχιές των δύο τροχών ενός οχήματος.

C: το μήκος των σημαντικών ρηγμάτων ανά μονάδα επιφανείας (σε ft/1000 ft²)

P: η επιφάνεια ρηγματωμένου ασφαλτικού (κατά μήκος και εγκάρσια ρήγματα) ανά μονάδα επιφανείας (σε ft²/1000 ft²).

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο προσδιορισμός των παραγόντων εκείνων που αποτελούν τις παραμέτρους σχεδιασμού της μεθόδου. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

4.1.1 Σχεδιαστικές Παράμετροι

- *Χρονικός ορίζοντας σχεδιασμού:*

Καθοριστικό στοιχείο της μεθόδου είναι ο υπολογισμός της περιόδου ανάλυσης και της περιόδου συμπεριφοράς. Σαν **περίοδο ανάλυσης** ή σχεδιασμένη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος ορίζεται η ολική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, κατά την οποία γίνεται η προγραμματισμένη συντήρηση και μία ή περισσότερες

αποκαταστάσεις του οδοστρώματος. Ως **περίοδος συμπεριφοράς** θεωρείται η χρονική περίοδος κατά την οποία το οδόστρωμα δεν χρειάζεται αποκατάσταση, αρκεί μόνο η συντήρηση. Σαν **ελάχιστη περίοδο συμπεριφοράς** λαμβάνεται η χρονική περίοδος στη διάρκεια της οποίας θεωρείται βέβαιη η παροχή ικανοποιητικού βαθμού εξυπηρέτησης.

Έτσι ανάλογα με την κατηγορία του δρόμου που μελετάται καθορίζεται και η περίοδος ανάλυσης. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι προτεινόμενες περιόδους ανάλυσης της μεθόδου.

Πίνακας 4. 1: Προτεινόμενες περιόδους ανάλυσης.

Κατηγορία δρόμου	Περίοδος Ανάλυσης
Αστικοί δρόμοι με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο	30-50 έτη
Υπεραστικοί δρόμοι με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο	20-50 έτη
Ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι με μικρό κυκλοφοριακό φόρτο	15-25 έτη
Μη ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι με μικρό κυκλοφοριακό φόρτο	10-20 έτη

(AASHTO, 1993)

- **Κυκλοφοριακός φόρτος:**

Η κυκλοφορία στη μέθοδο AASHTO υπολογίζεται σαν συνολικός αριθμός ισοδύναμων αξόνων 18.000lbs (80KN), για τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (περίπου 20 χρόνια). Για διαφορετική χρονικά διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (t) μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό διελεύσεων ισοδύναμων αξόνων με την ακόλουθη σχέση:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}[(4.2 - P_f)/(4.2 - 1.5)]}{0.40 + [1094 / (SN + 1)^{5.19}]}$$

όπου:

W₁₈: είναι ο αριθμός εφαρμογών απλού φορτίου 18 kips (80KN) μέχρι χρόνου t

P_t: είναι το τελικό PSI

SN: ο αρχικός δομικός αριθμός (από πίνακες)

Για τον υπολογισμό των Ισοδύναμων Τυπικών Αξόνων (**W₁₈**) εφαρμόζεται ο τύπος:

$$W_{18} = D_D \cdot D_L \cdot \hat{W}_{18}$$

όπου :

D_D: είναι το ποσοστό κατανομής των Ι.Τ.Α. στις δύο κατευθύνσεις και συνήθως λαμβάνεται ως 0.5.

D_L: συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τις λωρίδες κυκλοφορίας

W₁₈[^]: είναι ο αθροιστικός αριθμός των ισοδύναμων τυπικών αξόνων που υπολογίστηκε και για τις δύο κατευθύνσεις του δρόμου για όλη την διάρκεια της περιόδου ανάλυσης.

Πίνακας 4. 2: Υπολογισμός συντελεστή D_L

Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση	D _L
1	100%
2	80% - 100%
3	60% - 80%
4	50% - 75%

(AASHTO ,1993

- **Αξιοπιστία:**

Αξιοπιστία θεωρείται η πιθανότητα να είναι η απόδοση του οδοστρώματος ικανοποιητική καθόλη τη σχεδιασμένη διάρκεια ζωής, ανεξάρτητα από τυχόν απρόβλεπτες μεταβολές του κυκλοφοριακού φόρτου και των κλιματολογικών συνθηκών. Ο βαθμός αξιοπιστίας είναι ανάλογος της σπουδαιότητας του έργου και δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4. 3: Επίπεδα αξιοπιστίας ανά κατηγορία δρόμου.

Κατηγορία οδού	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%

(AASHTO, 1993)

Καθοριστικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας αποτελεί η έννοια της σταθερής απόκλισης (Standard Deviation SO). Η σταθερά απόκλιση καθορίζεται με βάση τον προβλεπόμενο φόρτο (I.T.A.) και την εκτιμώμενη συμπεριφορά του οδοστρώματος. Σύμφωνα με τη μέθοδο AASHTO η σταθερή απόκλιση (S_o) για τα εύκαμπτα οδοστρώματα κυμαίνεται από 0,40 έως 0,50.

- **Περιβαλλοντικοί παράγοντες:**

Το περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του οδοστρώματος με διάφορους τρόπους όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως. Κατά το στάδιο σχεδιασμού του οδοστρώματος, ο Μηχανικός που έχει να ασχοληθεί με την διαστασιολόγηση του οδοστρώματος πρέπει να γνωρίζει την επίδραση του περιβάλλοντος στην κατασκευή του δρόμου για όλη τη διάρκεια σχεδιασμού.

Σε περίπτωση που εξαιτίας των κλιματολογικές συνθηκών π.χ. λόγω αυξημένης υγρασίας και παγετού επηρεάζεται η συμπεριφορά του οδοστρώματος τότε χρειάζεται να συνυπολογιστεί στον τελικό δείκτη εξυπηρέτησης αυτός ο επηρεασμός που θα επιφέρει περεταίρω απώλεια στην εξυπηρετικότητα της κατασκευής. Έτσι θα προκύψει ένας συνολικός Δείκτης Παρούσας Εξυπηρέτησης ο οποίο θα έχει ψηλότερη τιμή από αυτόν που θα αναμενόταν χωρίς τον επηρεασμό από τις κλιματολογικές συνθήκες.

Αν υπάρξει διόγκωση του υπεδάφους εξαιτίας υλικών που έχουν αυτή την ιδιότητα υπό την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών τότε η απώλεια εξυπηρετικότητας του οδοστρώματος υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$\Delta PSI_{sw} = 0.00335 \times V_R \times P_s \times (1 \times e^{\theta t})$$

όπου:

V_R : Το δυναμικό κάθετης ανύψωσης (ίντσες) που υπολογίζεται από το σχετικό νομογράφημα του εγχειριδίου της μεθόδου.

P_s : Η πιθανότητα διόγκωσης που αντιπροσωπεύει την αναλογία (%) του μήκους του έργου που υπόκειται σε διόγκωση.

θ : Η σταθερά διόγκωσης η οποία εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο η διόγκωση λαμβάνει χώρα. Παίρνει τιμές από 0.04-0.20. Η τιμή αυξάνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό υγρασίας στο έδαφος και η ικανότητα αποστράγγισης είναι ελλιπής.

t : χρόνια

Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και για τον υπολογισμό της απώλειας της εξυπηρετικότητας όταν παρουσιάζεται ανύψωση του υπεδάφους λόγω παγετού.

4.1.2 Κριτήριο απόδοσης οδοστρώματος

Εξυπηρετικότητα Οδοστρώματος (ΔPSI):

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή βασικό κριτήριο συμπεριφοράς (απόδοσης) ενός οδοστρώματος θεωρείται ο βαθμός (επίπεδο) εξυπηρέτησης, ο οποίος εκφράζεται με το δείκτη Παρούσας εξυπηρέτησης (PSI). Οι τιμές που παίρνει ο δείκτης είναι 5 για άριστο επίπεδο εξυπηρέτησης και 0 για κάκιστο επίπεδο εξυπηρέτησης. Αρχικά κατά το στάδιο της κατασκευής του έργου δίνεται στο οδόστρωμα ένας δείκτης εξυπηρέτησης (p_0) που για τα εύκαμπτα οδοστρώματα ισούται με 4.2. Ο λόγος που η αρχική τιμή του δεν λαμβάνεται ίση με 5 είναι επειδή είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρξει τέλεια κατασκευή. Τελικός δείκτης εξυπηρέτησης (p_t) θεωρείται ο δείκτης που εκφράζει τα κατώτατο αποδεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης πριν από την αποκατάσταση του οδοστρώματος. Η τιμή αυτή εξαρτάται από το τί ορίζεται σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά σαν αποδεκτό επίπεδο τελικής εξυπηρέτησης. Η μέθοδος AASHTO προτείνει τιμές 2,5 για κύριες αρτηρίες ή αυτοκινητοδρόμους και 2 για τις

υπόλοιπες περιπτώσεις. Η διαφορά στο δείκτη εξυπηρετικότητας που δίνεται στο οδόστρωμα στο στάδιο της κατασκευής του, μείον την τιμή που θα έχει ο δείκτης στο τέλος της σχεδιαστικής ζωής του είναι ο δείκτης παρούσας εξυπηρέτησης (ΔPSI).

$$\Delta PSI = p_0 - p_t$$

4.1.3 Χαρακτηριστικά κατασκευής οδοστρώματος

Ικανότητα αποστράγγισης:

Η ικανότητα αποστράγγισης του οδοστρώματος θεωρείται σημαντικό χαρακτηριστικό για τη μέθοδο του AASHTO, επειδή επηρεάζει την συμπεριφορά όλων των στρώσεων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο πίνακας 4.4 που φαίνεται πιο κάτω, ο οποίος καθορίζει τον συντελεστή αποστράγγισης που θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων, ανάλογα με την ταχύτητα αποστράγγισης του οδοστρώματος και το χρόνο για τον οποίο βρίσκεται εκτεθειμένο το οδόστρωμα σε υγρασία που πλησιάζει το σημείο κορεσμού.

Πίνακας 4. 4: Ικανότητα –συντελεστές αποστράγγισης οδοστρώματος.

Ικανότητα αποστράγγισης	Χρόνος σε ποσοστά που το οδόστρωμα εκτίθεται σε υγρασία που πλησιάζει το σημείο κορεσμού			
	<1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
Άριστη (Αποστράγγιση σε δύο ώρες)	1,40 - 1,35	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Καλή (Αποστράγγιση σε μία ημέρα)	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Μέτρια (Αποστράγγιση σε μία εβδομάδα)	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Κακή (Αποστράγγιση σε ένα μήνα)	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Πολύ κακή (Το νερό δεν αποστραγγίζεται)	1,00 – 0,9	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

(AASHTO, 1993)

Οι συντελεστές αποστράγγισης συμβολίζονται με $m_2, m_3 \dots$, ανάλογα με τον αριθμό των στρώσεων και χρησιμοποιούνται στην εξίσωση υπολογισμού του δομικού αριθμού SN. Για τον καθορισμό της ικανότητας αποστράγγισης του εδάφους χρειάζεται η εξακρίβωση της μορφής (κατηγορίας) του εδαφικού υλικού καθώς και των συνθηκών που μπορεί να επηρεάσουν το ποσοστό υγρασίας του (περίοδος βροχοπτώσεων, υδροφόρος ορίζοντας περιοχής). Με αυτά τα δεδομένα καθορίζεται σε ποσοστά ο χρόνος για τον οποίο το υπό μελέτη οδόστρωμα θα εκτίθεται σε υγρασία που θα πλησιάζει το σημείο κορεσμού. Στη συνέχεια επιλέγεται η τιμή των συντελεστών m , που είναι ίδια για όλες τις υποκείμενες της επιφανειακής στρώσης, στρώσεις.

4.1.4 Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών

- **Μέτρο Επανάκτησης Υπεδάφους**

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου AASHTO οι μηχανικές ιδιότητες τόσο του εδάφους όσο και των υλικών από τα οποία αποτελούνται οι στρώσεις του οδοστρώματος εκφράζονται με το μέτρο επανάκτησης M_r . Το μέτρο επανάκτησης μετριέται σε psi. Σε περίπτωση που τα διαθέσιμα στοιχεία για τα χαρακτηριστικά του υλικού του εδάφους ή των στρώσεων εκφράζονται μέσω του δείκτη C.B.R, τότε χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$M_r = 1500 \times C.B.R$$

Το μέτρο επανάκτησης (M_r) για το υπέδαφος στο οποίο πρόκειται να εδραστεί το οδόστρωμα υπολογίζεται με τη χρήση του πίνακα και της κλίμακας (Εντυπο υπολογισμού M_r) που φαίνονται στο Παράρτημα Α. Για τον υπολογισμό της τελικής τιμής του μέτρου επανάκτησης είναι απαραίτητο να έχουν υπολογιστεί οι τιμές του M_r ανά μήνα ή δεκαπενθήμερο. Στη συνέχεια υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή για τη σχετική φθορά u_f , με τη χρήση της κατακόρυφης κλίμακας που δίνεται ή της σχετικής εξίσωσης υπολογισμού. Ακολούθως υπολογίζεται η μέση τιμή της u_f και τέλος με τη χρήση της βαθμονομημένης κλίμακας ή της εξίσωσης, υπολογίζεται η τελική τιμή του M_r .

- **Συντελεστές στρώσεων**

Οι τιμές των δομικών συντελεστών των στρώσεων (a_i) είναι ανάλογοι των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κάθε στρώση και τα οποία χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες:

- I. Ασφαλτομίγματα
- II. Ασύνδετα υλικά βάσης
- III. Ασύνδετα υλικά υπόβασης
- IV. Ισχνά μίγματα με τσιμέντο
- V. Ισχνά μίγματα με ασφαλτο.

Οι δομικοί συντελεστές υπολογίζονται από τα νομογραφήματα αρ. 1 έως αρ.5 του παραρτήματος Α και χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί ο δομικός αριθμός της κάθε στρώσης (SN_i) σύμφωνα με τη σχέση :

$$SN_i = \sum a_i \times D_i$$

όπου :

D_i : το πάχος της κάθε στρώσης.

4.1.4 Μεθοδολογία υπολογισμού στρώσεων

Η διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων, σύμφωνα με τη μέθοδο AASHTO γίνεται με χρήση του δομικού αριθμού SN και της θεμελιώδους εξίσωσης :

$$SN = a_1 \times D_1 + \sum a_i \times D_i \times m_i$$

Πιο συγκεκριμένα επιλέγονται τα πάχη των στρώσεων έτσι ώστε να ικανοποιούν την παρακάτω εξίσωση:

$$SN = a_1 \times D_1 + (a_2 \times D_2 \times m_2) + (a_3 \times D_3 \times m_3) + \dots$$

Ο υπολογισμός του δομικού αριθμού SN γίνεται με τη χρήση του νομογραφήματος αρ. 2 που φαίνεται στο παράρτημα Α.

Ο υπολογισμός του πάχους των στρώσεων μπορεί να προκύψει με δύο τρόπους:

I. Με τον καθορισμό του δομικού αριθμού του οδοστρώματος:

1. Γίνεται συλλογή των απαραίτητων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς:
 - Το μέτρο επανάκτησης του εδάφους M_r .
 - Ο συνολικός αριθμός των ισοδύναμων τυπικών αξόνων στη λωρίδα μελέτης W_{18} .
 - Η αξιοπιστία (R).
 - Η τυπική απόκλιση (S_0)
 - Η απώλεια του δείκτη εξυπηρετικότητας (ΔPSI)
2. Υπολογίζεται ο δομικός αριθμός με τη χρήση του νομογραφήματος 1
3. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του δομικού αριθμού κάνοντας συνδυασμούς τιμών υπολογίζονται τα πάχη των στρώσεων.

Πίνακας 4. 5: Ελάχιστα πάχη στρώσεων.

Κυκλοφοριακός Φόρτος	Ελάχιστα Πάχη στρώσεων	
	Στρώσεις από ασφαλτικό 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

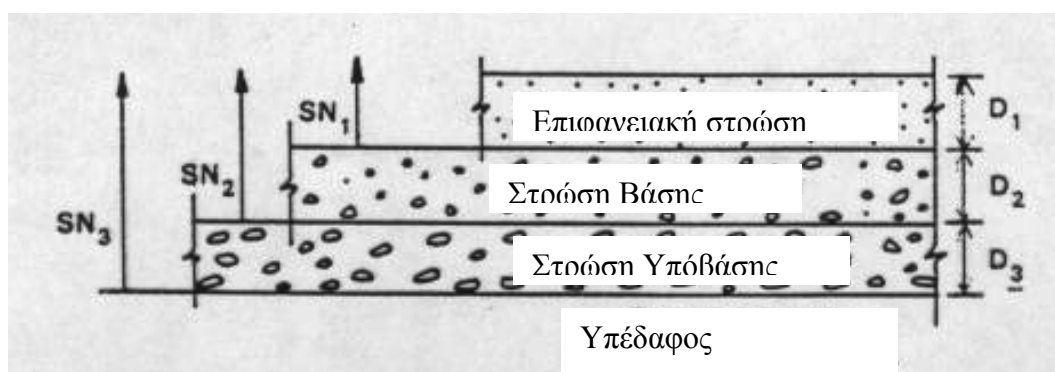
(AASHTO , 1993)

Με τη χρήση του τρόπου αυτού υπάρχουν άπειροι συνδυασμοί που μπορεί να ικανοποιούν τη ζητούμενη σχέση. Στόχος του μελετητή είναι να υπολογισθεί ο

οικονομικότερος συνδυασμός ο οποίος όμως θα ικανοποιεί τα ελάχιστα πάχη των στρώσεων που προτείνει η μέθοδος και τα οποία φαίνονται στον πίνακα 4.5.

II. Με τον υπολογισμό του δομικού αριθμού σε πολυστρωματικό επίπεδο.

1. Γίνεται συλλογή των απαραίτητων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς όπως και στον προηγούμενο τρόπο.
2. Υπολογίζεται ο δομικός αριθμός πάνω σε κάθε στρώση. Στην περίπτωση του τύπου οδοστρώματος που αποτελείται από τρεις στρώσεις υπολογίζεται ο δομικός αριθμός :
 - πάνω στη βάση, SN_1^* , χρησιμοποιώντας το M_r της βάσης,
 - πάνω στην υπόβαση, SN_2^* , χρησιμοποιώντας το M_r της υπόβασης και
 - πάνω στο υπέδαφος, SN_3^* , χρησιμοποιώντας το M_r του υπεδάφους.



Σχήμα 4. 1: Υπολογισμός δομικού αριθμού σε σύστημα πολλαπλών στρώσεων.

Το πάχος της πρώτης στρώσης (τάπητας κυκλοφορίας) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D_1^* \geq SN_1^* / a_1$$

Το πάχος που υπολογίστηκε στρογγυλεύεται προς τα πάνω και έτσι έχουμε το τελικό πάχος της επιφανειακής στρώσης (D_1).

Επαναπροσδιορίζεται ο δομικός αριθμός της στρώσης με το στρογγυλεμένο πάχος:

$$SN_1 = D_1 \times a_1$$

Χρησιμοποιώντας το SN_2^* υπολογίζεται το ελάχιστο πάχος της υπόβασης από την εξίσωση:

$$D_2^* \geq (SN_2^* - SN_1) / a_2 \times m_2$$

Το υπολογισμένο πάχος της βάσης στρογγυλεύεται προς τα πάνω (D_2).

Υπολογίζεται ο νέος δομικός αριθμός της στρώσης με το στρογγυλεμένο πάχος:

$$SN_2 = D_2 \times a_2 \times m_2$$

Τέλος υπολογίζεται το πάχος της υπόβασης με τη χρήση της εξίσωσης :

$$D_3^* \geq (SN_3 - (SN_1^* + SN_2)) / a_3 \times m_3.$$

Σε περίπτωση που υπάρχουν πέραν των τριών στρώσεων ακολουθείται η ίδια διαδικασία υπολογισμού και για τις υπόλοιπες στρώσεις.

Τα τελευταία χρόνια ο υπολογισμός του πάχους των στρώσεων με τη μέθοδο AASHTO απλοποιήθηκε με τη χρήση λογισμικού προγράμματος το οποίο επιλύει αυτόματα την θεμελιώδη εμπειρική εξίσωση της μεθόδου αφού εισαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα. Στην εικόνα 4.1 φαίνονται οι παράμετροι που ζητούνται να εισαχθούν καθώς και οι παράμετροι που λαμβάνονται με τους υπολογισμούς ενός τέτοιου προγράμματος.

1993 AASHTO Flexible Pavement Empirical Equation Utility - Microsoft Internet ...

1993 AASHTO Empirical Equation for Flexible Pavements

Equation Solver Variable Descriptions and Typical Values Precautions

Type in data in the grey boxes and click the calculate button to see the output. To make additional calculations, change the desired input data and click the calculate button again. Click on the text descriptions of the input or output variables for more information.

INPUT

1. Loading
Total Design ESALs (W_{18}):

2. Reliability
Reliability Level in percent (R): 50
Combined Standard Error (S_v): 0.5

3. Servicability
Initial Servicability Index (p_i): 4.5
Terminal Servicability Index (p_t): 3

4. Layer Parameters
Number of Base Layers: 0

	a	m	M_s	Min. Depth
Surface	0.44	1.0	N/A	0
Subgrade	N/A	N/A	10000	N/A

OUTPUT

1. Calculation Parameters
Standard Normal Deviate (z_a): 0
 ΔPSI :
Design Structural Number (SN):

2. Layer Depths (to the nearest 1/2 inch)
Surface:
Total SN based on layer depths:

Comments

Calculate

Close this window

Εικόνα 4. 1: Λογισμικό φύλλο υπολογισμού της μεθόδου AASHTO (WSDOT)

4.2 Μέθοδος του Ινστιτούτου Ασφάλτου

Η μέθοδος αρχικά προτάθηκε το 1981 σε αντικατάσταση της παλιάς μεθόδου του ίδιου Ινστιτούτου, συμπληρώθηκε το 1984 και έλαβε τη σημερινή της μορφή το 1991. Η μέθοδος χρησιμοποιεί την ελαστική θεωρία σε πολυστρωματικό σύστημα και ως κριτήρια σχεδιασμού θεωρεί τη ρηγμάτωση και την παραμένουσα παραμόρφωση του οδοστρώματος (Νικολαΐδης Α., 1996)

Η σχέση της ρηγμάτωσης λόγω κόπωσης με το αριθμό των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων για τη μέθοδο αυτή εκφράζεται μέσω της εξίσωσης

$$N = 0.00796 \times (\epsilon_t)^{-3.291} \times (E_1)^{-0.854}$$

όπου:

N: Αριθμός επαναλήψεων

ϵ_t : Μέγιστη ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση στην βάση της ασφαλτικής στρώσης

E_1 : Μέτρο ελαστικότητας της ασφαλτικής στρώσης.

Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να διαστασιοποιηθεί το πάχος εύκαμπτου οδοστρώματος που αποτελείται από βάση (και υπόβαση) με ασύνδετα αδρανή και ασφαλτικές στρώσεις (συνήθης μορφή δομής οδοστρώματος), όσο και το πάχος οδοστρώματος του οποίου όλο το πάχος είναι από ασφαλτόμιγμα, το οποίο ονομάζεται οδόστρωμα ολικού πάχους. Επίσης, με τη μέθοδο αυτή μπορεί να υπολογισθεί το πάχος του οδοστρώματος του οποίου η δομή μπορεί να αποτελείται από ψυχρό ασφαλτόμιγμα στην επιφανειακή στρώση και στρώση βάσης από ασύνδετα αδρανή.

4.2.1 Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση

1. Συνθήκες:

- Κυκλοφοριακός φόρτος για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου (μετατροπή του σε Ισοδύναμους τυπικού άξονες)

Ο κυκλοφοριακός φόρτος που αφορά το οδόστρωμα που πρόκειται να σχεδιαστεί υπολογίζεται και εκφράζεται σε Ισοδύναμους Τυπικούς Άξονες (ITA ή ESAL). Πρόκειται για το συνολικό κυκλοφοριακό φόρτο που θα εφαρμοστεί στο οδόστρωμα σε όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του. Ο καθορισμός του συνολικού αριθμού

Ισοδυνάμων Τυπικών Αξόνων για όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος επιτυγχάνεται αφού καθορισθεί:

- i. *Η σύνθεση της κυκλοφορίας (αριθμός και βάρος αξόνων ανά όχημα) κατά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του οδοστρώματος. Σε περίπτωση που πρόκειται για νέα όδευση, ο αριθμός αυτός πρέπει να εκτιμηθεί.*
- ii. *Το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα (λωρίδα μελέτης). Το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα εξαρτάται από το συνολικό αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας καθώς και από την αναλογία κίνησης των οχημάτων ανά κατεύθυνση. Αν δεν υπάρχουν αναλυτικά δεδομένα, το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα καθορίζεται από τον σχετικό πίνακα της μεθόδου που φαίνεται παρακάτω. (Πίνακας 4.6)*

Πίνακας 4.6: Ποσοστά οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα

Συνολικός αριθμός λωρίδων (και στις δύο κατευθύνσεις)	Ποσοστό Οχημάτων στη λωρίδα μελέτης
2	50%
4	45% (35%-48%)*
6 ή περισσότερες	40% (25%-48%)*

* Πιθανό εύρος τιμών

(Νικολαΐδης Α., 1996)

- iii. *Το ποσοστό της ετήσιας αύξησης των οχημάτων. Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται με εκτίμηση και πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό για όλη τη διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος. Συνήθως η εκτίμηση του βασίζεται σε παλιές κυκλοφοριακές μελέτες στην ευρύτερη περιοχή που πρόκειται να κατασκευασθεί το υπό μελέτη έργο σε συνδυασμό με τη γενικότερη ετήσια αύξηση των οχημάτων σε εθνικό επίπεδο σε αστικές και υπεραστικές περιοχές. Μέσα από αυτή την εκτίμηση προκύπτει ο συντελεστής αύξησης (λ), ο οποίος*

χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του τελικού- συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου.

Το λ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\lambda = [(1 + r)^n - 1] / r$$

όπου :

r = η επί τοις εκατό ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας

n = η διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής του οδοστρώματος, σε έτη

- **Περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία)**

Για την επιλογή του τύπου του ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή του θερμού ασφαλτομίγματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση ή ως τάπητας κυκλοφορίας γίνεται με γνώμονα τις καιρικές συνθήκες της περιοχής. Έτσι ανάλογα με τη μέση ετήσια θερμοκρασία (ΜΕΘΑ), γίνεται και η επιλογή του τύπου του ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί.

Πίνακας 4.7 Τύπος 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

(Νικολαΐδης Α., 1996)

2. Ιδιότητες των υλικών:

- **Φέρουσα ικανότητα υπεδάφους (C.B.R):** Η δειγματοληψία και ο έλεγχος των υλικών του εδάφους γίνεται σύμφωνα με τις καθιερωμένες διαδικασίες. Με τον υπολογισμό της τιμής C.B.R, γίνεται και ο υπολογισμός του μέτρου επανάκτησης εδάφους M_r (Psi).

$$M_r = 10.3 \times C.B.R$$

Μετά τη δειγματοληψία και τον υπολογισμό του μέτρου M_r , θα πρέπει να καθορισθεί η σχεδιαστική τιμή M_r του εδάφους έδρασης (μέση αντιπροσωπευτική τιμή). Η σχεδιαστική τιμή M_r , δε λαμβάνεται ο μέσος όρος των τιμών αλλά ακολουθείται μια τυπική διαδικασία υπολογισμού η οποία περιλαμβάνει:

- i. Κατάταξη των τιμών που λήφθηκαν από τους ελέγχους κατά φθίνουσα σειρά.
- ii. Για κάθε τιμή αρχίζοντας από τη μικρότερη, υπολογίζονται πόσες τιμές (συμπεριλαμβανομένης και του εαυτού της) είναι μεγαλύτερες ή ίσες με την υπό εξέταση τιμή και εκφράζεται ο αριθμός αυτός με ποσοστό επί της εκατό.
- iii. Με τα υπολογισμένα ποσοστά και τις τιμές του M_r , σχεδιάζεται το σχετικό διάγραμμα.
- iv. Με τη χρήση των ποσοστών που αντιστοιχούν στον προβλεπόμενο κυκλοφοριακό φόρτο που φαίνονται στον πίνακα 4.8, καθορίζεται η σχεδιαστική τιμή του M_r .

Πίνακας 4.8: Οριακά ποσοστά για τον καθορισμό του σχεδιαστικού μέτρου M_r .

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

- **Βάση και Υπόβαση με Ασύνδετα Αδρανή**

Τα αδρανή υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της βάσης ή της υπόβασης προδιαγράφονται στις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM D 2940, παράλληλα όμως θα πρέπει να ικανοποιούν και τις ιδιότητες του Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9 Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης με ασύνδετα αδρανή

Έλεγχος	Απαιτήσεις	
	Υπόβαση	Βάση
CBR, ελάχιστο*	20	80
Αντίσταση-R, ελάχιστο*	55	78
Όριο Υδαρότητας, μέγιστο	25	25
Δείκτης Πλαστικότητας, μέγιστο	6	NP
Ισοδύναμο Άμμου, ελάχιστο	25	35
Ποσοστό Φίλλερ, μέγιστο	12	7

- **Ασφαλτική Βάση και Τάπητας Κυκλοφορίας**

- **Θερμά ασφαλτομίγματα**

- Ο τύπος θερμού ασφαλτομίγματος που χρησιμοποιείται ως ασφαλτική βάση και ως τάπητας κυκλοφορίας είναι το ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου.

- **Ψυχρά ασφαλτομίγματα**

- Η ασφαλτική βάση μπορεί να είναι κατασκευασμένη από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου I, II ή III.

- Η επιφανειακή στρώση μπορεί να κατασκευασθεί από: Ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου I με επιφανειακή επίστρωση, ή ένα τάπητα από ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου.

- Σε κάθε περίπτωση όμως πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το πάχος της στρώσης δεν είναι μικρότερο από τα ελάχιστα πάχη τα οποία καθορίζει η μέθοδος και τα οποία φαίνονται στον πίνακα 4.10.

Πίνακας 4. 10: Ελάχιστα πάχη επιφανειακής στρώσης πάνω σε βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα Τύπου II και III

Κυκλοφοριακός Φόρτος (ΙΤΑ)	Ασφαλτικό Σκυρόδεμα ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου I με επιφανειακή επίστρωση
10^4	50
10^5	50
10^6	75
10^7	100
$>10^7$	130

4.2.3 Μεθοδολογία διαστασιολόγησης

Η διαδικασία υπολογισμού για τα πάχη των στρώσεων γίνεται με τη χρήση νομογραφημάτων. Τα νομογραφήματα αυτά καθορίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος DAMA και σε συνδυασμό με την πολυετή εμπειρία που συλλέχθηκε από εργαστηριακές έρευνες και την εμπειρία που αποκτήθηκε από την πράξη. Σε γενικές γραμμές η διαδικασία που ακολουθείται περιγράφεται πιο κάτω:

1. Καθορισμός κυκλοφοριακού φόρτου

Ο συνολικός αριθμός των ΙΤΑ για όλη τη διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής του οδοστρώματος υπολογίζεται από το γινόμενο του ετήσιου αριθμού των ΙΤΑ με τον αθροιστικό συντελεστή αύξησης λ .

$$\text{Συνολικός αριθμός ΙΤΑ} = \text{ετήσιος αριθμός ΙΤΑ} \times \lambda$$

2. Υπολογισμός M_r εδάφους

Μέσω εργοταξιακών δοκιμών και μετρήσεων καθορίζεται η αντιπροσωπευτική τιμή του μέτρου επανάκτησης, M_r , του εδάφους έδρασης.

3. Καθορισμός υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στις διάφορες στρώσεις του οδοστρώματος.

Στο στάδιο αυτό αποφασίζεται το είδος των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της βάσης, της υπόβασης σε περίπτωση που υπάρχει και των ασφαλτικών στρώσεων.

4. Υπολογισμός πάχους στρώσεων

Ο υπολογισμός του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος γίνεται με τη χρήση νομογραφημάτων ανάλογα με τα υλικά που θα τοποθετηθούν σε κάθε στρώση. Τα νομογραφήματα προέκυψαν με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος DAMA και διακρίνονται μεταξύ τους σε σχέση με τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στη στρώση της βάσης. Τα νομογραφήματα αυτά χαρακτηρίζονται επίσης από τη ΜΕΘΑ και γι αυτό διακρίνονται επίσης σε νομογραφήματα των 7, 15.5 και 24°C. Ενδεικτικά νομογραφήματα με ΜΕΘΑ 15.5 °C, φαίνονται στο Παράρτημα Β.

Υπάρχουν διάφορα πιθανά σενάρια για το πάχος και το είδος του υλικού από το οποίο θα αποτελείται κάθε στρώση. Είναι στην κρίση του Μηχανικού να αποφασίσει πιο από αυτά είναι το ιδανικό για την περίπτωση που μελετάται και να το εφαρμόσει.

4.3 Βρετανική μέθοδος

Η Βρετανική μέθοδος διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων, HD 24/94, είναι μια ημιαναλυτική μέθοδος που έχει ως βάση της τη μεθοδολογία που προτάθηκε το 1970 (Road Note 29). Η μέθοδος έλαβε τη σημερινή της μορφή μετά από μια ριζική αναθεώρηση το 1987 που βασιζόταν στην εικοσαετή ερευνητική εργασία του TRRL. (Νικολαΐδης Α., 1996)

Το εύκαμπτο οδόστρωμα σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή σχεδιάζεται για 20 χρόνια στο τέλος των οποίων αναμένεται να παρουσιάζει, σε ποσοστό 15% της επιφανείας του, επιφανειακή βύθιση 20 mm στην τροχιά των τροχών ή διαμήκειες ρωγμές στην τροχιά των τροχών. Η επιφανειακή βύθιση οφείλεται στις βυθίσεις που προκαλούνται σε όλες τις στρώσεις με την πάροδο του χρόνου και όχι μόνο στην παραμόρφωση της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης. Με την εμφάνιση αυτών των φθορών (κρίσιμη στιγμή/στάδιο), δηλαδή στο τέλος των 20 χρόνων, , θα πρέπει να αποκατασταθεί και/ή να ενισχυθεί, έτσι ώστε να επιζήσει για άλλα 20 χρόνια παρέχοντας

ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης. Μετά τη διέλευση των επιπλέον 20 ετών το οδόστρωμα αναμένεται να φτάσει στην κατάσταση πλήρους καταστροφής, οπότε τελειώνει και η συνολική διάρκεια ζωής του. Το στάδιο αυτό επέρχεται όταν στο οδόστρωμα εμφανισθούν πολλαπλές διακλαδιζόμενες ρηγματώσεις και επιφανειακές βυθίσεις μεγαλύτερες των 20mm. Στο σημείο αυτό απαιτείται πλήρης ανακατασκευή του οδοστρώματος.

Το εύκαμπτο οδόστρωμα, αποτελείται από τρεις στρώσεις: την επιφανειακή ή φθειρόμενη στρώση που είναι κατασκευασμένη από ασφαλτόμιγμα, τη στρώση της βάσης του οδοστρώματος, επίσης από ασφαλτόμιγμα και την υπόβαση που είναι κατασκευασμένη από ασύνδετα ή σταθεροποιημένα με τσιμέντο αδρανή.

4.3.1 Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση

1. Καθορισμός κυκλοφοριακού φόρτου

Ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος που θα εξυπηρετηθεί από το οδόστρωμα κατά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος εκφράζεται, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους που έχουν αναφερθεί πιο πριν, συναρτήσει του συνολικού αριθμού των ισοδυνάμων τυπικών αξόνων (ΙΤΑ). Ο καθορισμός του συνολικού αριθμού των ΙΤΑ μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους:

- βάση του μέσου ημερήσιου αριθμού κυκλοφορίας των εμπορικών οχημάτων. Όπου εμπορικό όχημα θεωρείται κάθε όχημα του οποίου το βάρος (χωρίς φορτίο) είναι μεγαλύτερο των 15KN.
- Με διαδικασία αναλυτικού υπολογισμού του αριθμού των ΙΤΑ, στην οποία χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$ΙΤΑ = 365 \times F \times Y \times W \times G \times 10^{-6}, \quad (\text{σε εκατομμύρια ΙΤΑ}) \quad (\text{Νικολαΐδης Α., 1996})$$

όπου :

F = μέση ημερήσια κυκλοφορία εμπορικού οχήματος κατά το πρώτο έτος λειτουργίας του οδοστρώματος

Y = διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος, σε έτη

W = συντελεστής καταπόνησης του οδοστρώματος, από Πίνακα 4.12

G = συντελεστής αύξησης της κυκλοφορίας,

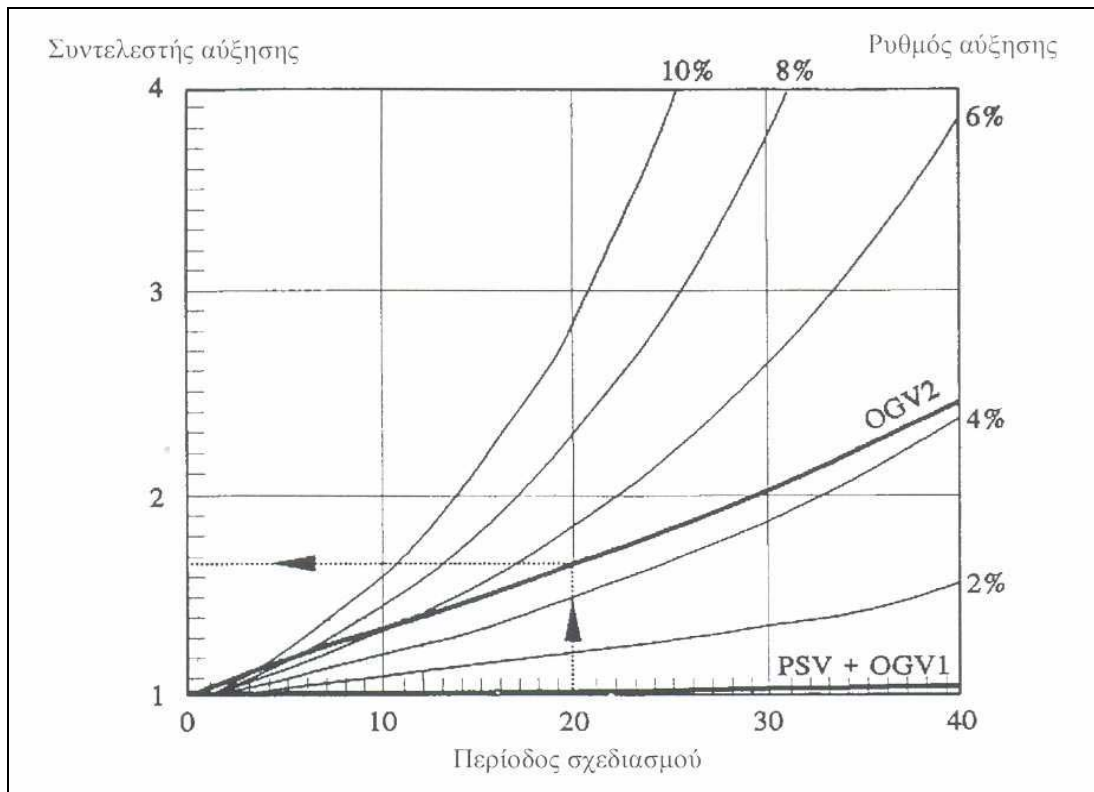
Ο συνολικός αριθμός των ΙΤΑ για όλη τη σχεδιαστική ζωή του οδοστρώματος είναι το αλγεβρικό άθροισμα όλων των ισοδύναμων αξόνων ανά κατηγορία εμπορικού οχήματος.

Από τις δύο αυτές μεθόδους που προτείνονται για τον υπολογισμό του συνολικού αριθμού των ΙΤΑ, η πρώτη, ονομαζόμενη ως τυπική μέθοδος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για συνθήκες κυκλοφορίας της Αγγλίας. Και αυτό διότι στα διαγράμματα που δίνονται έχουν ενσωματωθεί, μετά από πολυετείς και αναλυτικές μετρήσεις, η μέση ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας που παρατηρείται στην Αγγλία, όπως και ένας αντιπροσωπευτικός συντελεστής καταπόνησης του οδοστρώματος που εκφράζει την τυπική σύνθεση της κυκλοφορίας των οχημάτων στους Αγγλικούς δρόμους. (Νικολαΐδης Α., 1996)

Η δεύτερη μέθοδος είναι μια αναλυτική μέθοδος υπολογισμού του συνολικού αριθμού των ΙΤΑ και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση.

2. Συντελεστής αύξησης της κυκλοφορίας (G)

Κάθε περίπου οκτώ χρόνια, στο Ηνωμένο Βασίλειο εκδίδονται εθνικά δημοσιεύματα τα οποία προβλέπουν την τάση ανάπτυξης της μελλοντικής κυκλοφορίας στους δρόμους της Αγγλίας. Με βάση τα στοιχεία από αυτά τα δημοσιεύματα, ο ρυθμός αύξησης εκφράζεται μέσω διαγράμματος ανάλογα με την περίοδο σχεδιασμού του οδοστρώματος, δίνοντας έτσι τον συντελεστή αύξησης της κυκλοφορίας. (Σχήμα 4.2)



Σχήμα 4. 2 Υπολογισμός Συντελεστή Αύξησης Κυκλοφορίας

Όπου,









PSV: Public Service Vehicles

OGV: Other Good Vehicles

Για τον υπολογισμό του συνολικού αριθμού των ΙΤΑ, ο συντελεστής αύξησης μπορεί να είναι ξεχωριστός συντελεστής για κάθε κατηγορία οχήματος ή ένας, ενιαίος, συντελεστής για όλα τα εμπορικά οχήματα.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι καμπύλες του σχήματος 4.2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στην περίπτωση καθορισμού των ΙΤΑ για διαστασιολόγηση οδοστρώματος που θα κατασκευασθεί στην Αγγλία και αυτό όταν δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για το ρυθμό αύξησης της κυκλοφορίας στην περιοχή της κατασκευής του νέου οδοστρώματος.

Πίνακας 4.11: Κατηγορίες οχημάτων

Εμπορικά οχήματα (ΕΟ)	Κατηγορία(ΕΟ)	cv category
	Λεωφορεία	PSV
	2-αξονικά	OGV1
	3-αξονικά	
	3-αξονικά συρτάμενα	OGV2
	4-αξονικά	
	4-αξονικά συρτάμενα	
	5-αξονικά συρτάμενα	
	6-αξονικά(και άνω) συρτάμενα	

(Highways Agency, 2006)

3. Συντελεστής καταπόνησης (φθοράς):

Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη ότι η φθορά που επέρχεται σε ένα οδόστρωμα από τη διέλευση ενός εμπορικού οχήματος, αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του αξονικού φορτίου του. Παρόλο που υπάρχουν εναλλακτικές μέθοδοι υπολογισμού αυτής της φθοράς, εντούτοις για σχεδιαστικούς σκοπούς στο Ηνωμένο Βασίλειο λαμβάνεται ως ίση με L^4 (L: αξονικό φορτίο).

Ο συντελεστής καταπόνησης (W) είναι το άθροισμα των συντελεστών ισοδυναμίας (α) για κάθε άξονα του εμπορικού οχήματος. Οι συντελεστές ισοδυναμίας έχουν

υπολογισθεί από τη θεμελιώδη εξίσωση ισοδύναμου καταπόνησης οδοστρωμάτων από αξονικά φορτία, για $\gamma=4$. Έτσι, ουσιαστικά πρόκειται περί ενός συντελεστού ισοδυναμίας, ανάλογου του συντελεστού οχήματος της μεθοδολογίας του Asphalt Institute, για τη μετατροπή του εμπορικού οχήματος σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ΙΤΑ). Έτσι με τη χρήση δεδομένων που λήφθηκαν από όλο το οδικό δίκτυο της Αγγλίας προέκυψαν κάποιες τυπικές τιμές του συντελεστή καταπόνησης οι οποίες φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4. 12 Συντελεστές Καταπόνησης ανά τύπο οχήματος

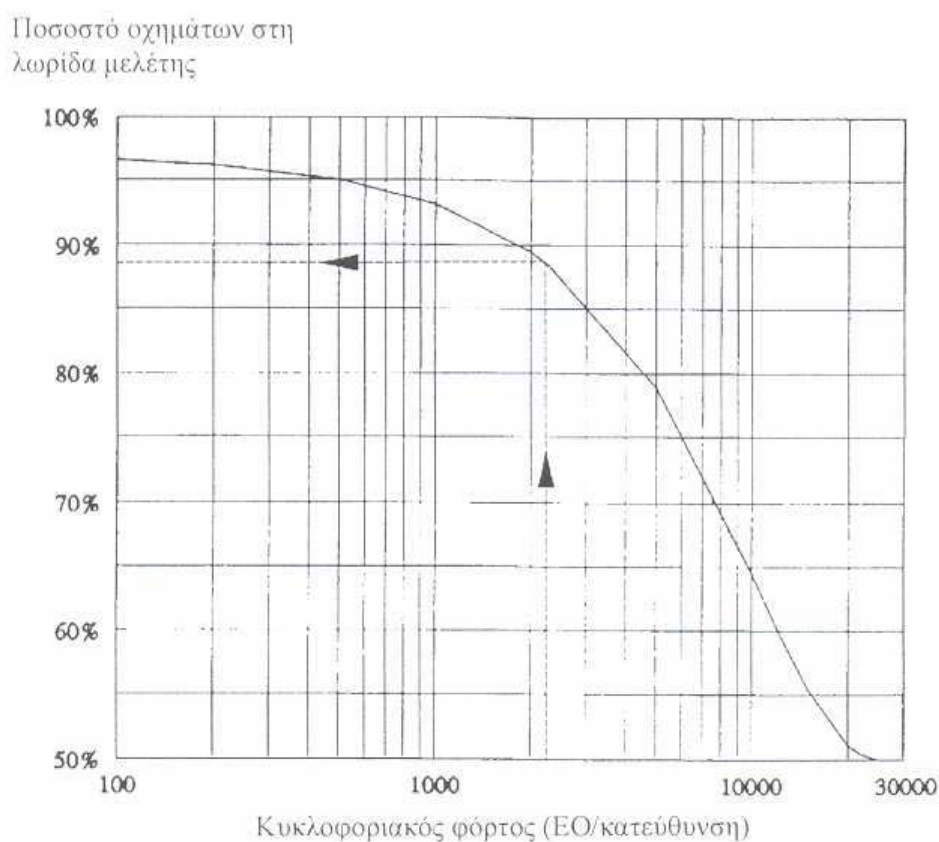
Συντελεστές Καταπόνησης (W)	Συντελεστής Συντήρησης Wm (Συντήρηση)	Wn (Νέο Οδόστρωμα)
Λεωφορεία & Φορτηγά	2.6	3.9
2- αξονικά	0.4	0.6
3- αξονικά	2.3	3.4
4 - αξονικά	3.0	4.6
3 & 4 - αξονικά	1.7	2.5
5 – αξονικά συρόμενα	2.9	4.4
6 – αξονικά συρόμενα	3.7	5.6
OGV1 + PSV	0.6	1.0
OGV2	3.0	4.4

(Highways Agency , 2006)

4. Κατανομή Κυκλοφοριακού Φόρτου στην Λωρίδα Μελέτης.

Όταν το υπό μελέτη οδόστρωμα έχει μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι ίσος με αυτόν που μετράται ή εκτιμάται. Στην περίπτωση ύπαρξης δύο ή περισσότερων λωρίδων ανά κατεύθυνση ο κυκλοφοριακός φόρτος στη λωρίδα μελέτης είναι κάποιο ποσοστό του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου, που εξαρτάται από τον όγκο του κυκλοφοριακού φόρτου. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από την καμπύλη του Σχήματος 4.3. Εάν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι

μεγαλύτερος των 30.000 Ε.Ο/ανά κατεύθυνση τότε λαμβάνεται πάντα το 50% αυτού για τη λωρίδα μελέτης. (Νικολαΐδης Α., 1996)



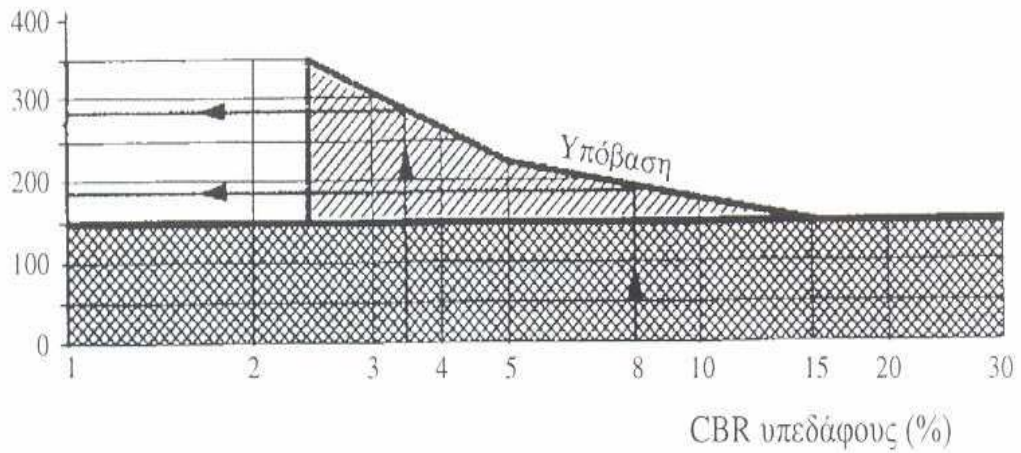
Σχήμα 4. 3 Ποσοστό κατανομής στη κυκλοφορία στη λωρίδα μελέτης

4.3.1 Υπολογισμός πάχους στρώσεων

Υπόβαση - Εξυγιαντική Στρώση

Ο υπολογισμός του πάχους της υπόβασης, όπως ορίστηκε παραπάνω, γίνεται συναρτήσει του CBR του υπεδάφους. Όταν το υπέδαφος του οδοστρώματος είναι υγιές, βραχώδες έδαφος ή έχει εργαστηριακή τιμή CBR μεγαλύτερη από 30%, η υπόβαση μπορεί να παραληφθεί. Όταν το υπέδαφος έχει CBR μεγαλύτερο του 15% τότε το πάχος της υπόβασης είναι 150 mm. Όταν το υπέδαφος έχει CBR από 2.5% έως 15% τότε το πάχος της υπόβασης είναι μεταβλητό και καθορίζεται από το Σχήμα 4.4.

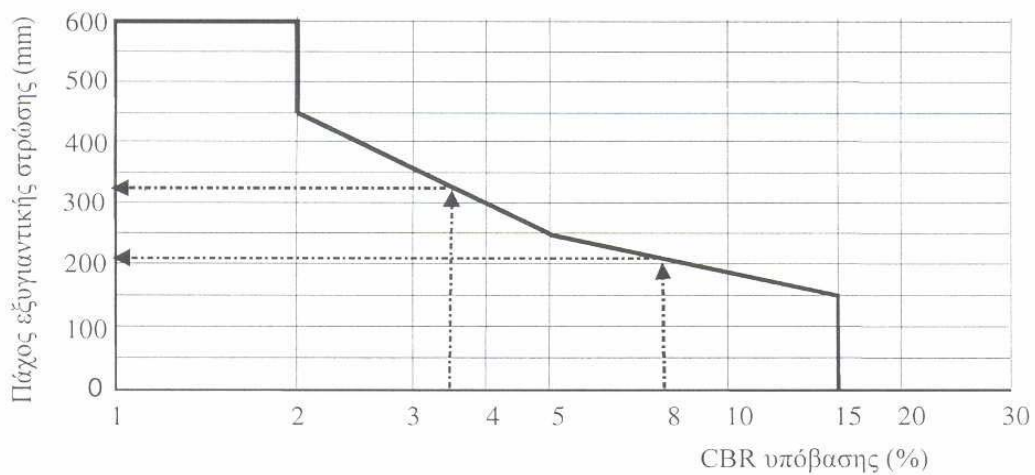
Πάχος υπόβασης (mm)



Σχήμα 4.4 Υπολογισμός πάχους υπόβασης

Στην περίπτωση αυτή η μεθοδολογία παρέχει δύο εναλλακτικές λύσεις:

- να κατασκευασθεί μόνο υπόβαση μεταβλητού πάχους ή
- να κατασκευασθεί υπόβαση σταθερού πάχους 150 mm με ταυτόχρονη κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης μεταβλητού πάχους της οποίας το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης υπολογίζεται από το Σχήμα 4.5



Σχήμα 4.5 Υπολογισμός πάχους εξυγιαντικής στρώσης

Στις περιπτώσεις που το υπεδάφος έχει CBR μικρότερο του 2.5% η μέθοδος συνιστά απαραίτητως την κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης με παράλληλη κατασκευή υπόβασης πάχους 150 mm. Η υπόβαση και η εξυγιαντική στρώση (εάν χρησιμοποιηθεί) θα πρέπει να είναι ομοιόμορφου πάχους καθ' όλο το πλάτος του οδοστρώματος. Το αποτέλεσμα που λαμβάνεται στρογγυλοποιείται στα 10 mm.

Σε περίπτωση που το CBR του υπεδάφους είναι πέραν του 30% τότε σύμφωνα με τη μέθοδο η υπόβαση μπορεί να παραληφθεί.

Ασφαλτική βάση και επιφανειακή στρώση

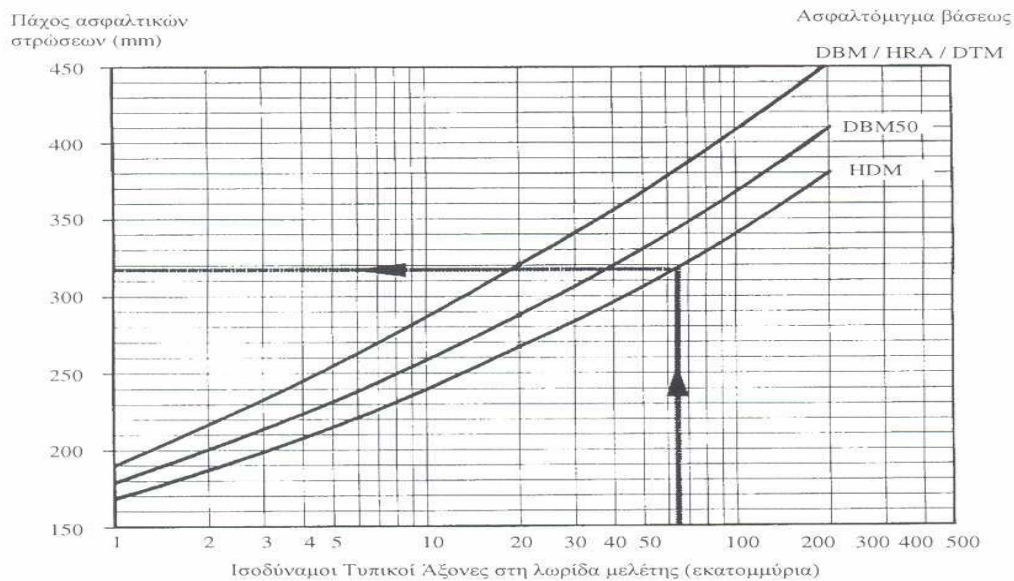
α) Εύκαμπτα, οδοστρώματα.

Ο υπολογισμός όλων των ασφαλτικών στρώσεων, γίνεται συναρτήσει του συνολικού αριθμού των ΙΤΑ στην περίοδο μελέτης.

Το υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της βάσης μπορεί να είναι:

- 1) ασφαλτικό σκυρόδεμα τύπου Macadam κλειστού τύπου με άσφαλτο 100 pen (DBM- Dense Bitumen Macadam), ή ανθρακόπισσα (DTM),
- 2) Θερμό κυλινδρούμενο ασφαλτόμιγμα (HRA- Hot Rolled Asphalt),
- 3) Macadam κλειστού τύπου με άσφαλτο 50pen (DBM50) και
- 4) Macadam υψηλής αντοχής (HDM- Heavy Duty Macadam).

Με τη χρήση του νομογραφήματος στο σχήμα 4.6, γνωρίζοντας τον κυκλοφοριακό φόρτο και χρησιμοποιώντας τη σχετική καμπύλη, υπολογίζεται το πάχος της στρώσης. Τα ασφαλτομίγματα (1) και (2) αντιπροσωπεύονται από την ίδια καμπύλη.



Σχήμα 4. 6 Διάγραμμα Υπολογισμού Πάχους Ασφαλτικών Στρώσεων σε Εύκαμπτο Οδόστρωμα

Το πάχος των επιμέρους στρώσεων δηλαδή της επιφανειακής στρώσης και της βάσης, καθορίζεται από το γεγονός ότι η μεθοδολογία προτείνει συγκεκριμένα πάχη για την επιφανειακή στρώση. Από τους δύο τύπους ασφαλτομιγμάτων που συνιστώνται να χρησιμοποιούνται ως επιφανειακές στρώσεις (Θερό Κυλινδρούμενο Ασφαλτόμιγμα (HRA) και ασφαλτόμιγμα για πορώδεις τάπητες), τα συνιστώμενα πάχη είναι: 45mm ή 50mm όταν χρησιμοποιείται ασφαλτόμιγμα HRA και 50mm όταν χρησιμοποιούνται πορώδεις τάπητες.

Έτσι το τελικό πάχος της ασφαλτικής βάσης είναι η διαφορά που προκύπτει από το αποτέλεσμα που υπολογίζεται από την καμπύλη του νομογραφήματος και του πάχους των 45 ή 50mm. Στην περίπτωση που κατασκευάζεται πορώδης τάπητας, το πάχος που αφαιρείται δεν είναι αυτό των 50 mm αλλά ένα ισοδύναμο πάχος, αυτό

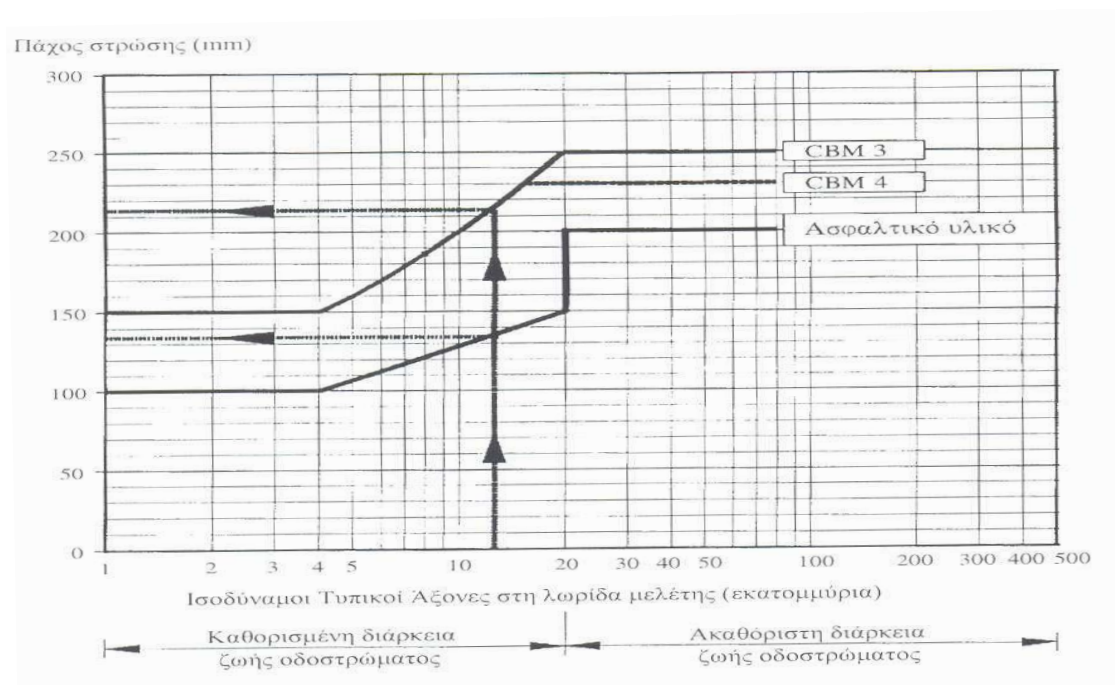
των 20 mm λόγω μειωμένης μηχανικής αντοχής του συγκεκριμένου ασφαλτομίγματος. Έτσι τελικά το συνολικό κατασκευαστικό πάχος των ασφαλτικών στρώσεων αυξάνει κατά 30 mm.

β) Μικτά εύκαμπτα οδοστρώματα

Η διαστασιολόγηση των μικτών εύκαμπτων οδοστρωμάτων ακολουθεί ανάλογη με την πιο πάνω διαδικασία αλλά χρησιμοποιώντας το Σχήμα 4.7. Από το σχήμα αυτό καθορίζεται το πάχος της βάσης από ισχνό σκυρόδεμα (συνήθως χρησιμοποιείται

μόνο ο τύπος CBM3) και το πάχος των υπερκείμενων ασφαλτικών στρώσεων. Η επιφανειακή στρώση συνιστάται όπως είναι πάχους 45mm ή 50mm και μόνο από ασφαλτόμιγμα HRA. Το υπόλοιπο ασφαλτικό μίγμα μπορεί να είναι ένα από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, στην περίπτωση ευκάμπτου οδοστρώματος.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι τα μικτά εύκαμπτα οδοστρώματα δεν θα πρέπει να προτιμούνται στις περιπτώσεις που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι πολύ μεγάλος, επειδή όταν διέλθουν από αυτά 20 εκατομμύρια ΙΤΑ, θα παρουσιάσουν έντονες ρηγματώσεις και θα χρειαστούν πιθανότατα πλήρη ανακατασκευή με αντικατάσταση της βάσης. Για αυτό το λόγο το νομογράφημα δίνει μεγαλύτερα πάχη για μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων του ισοδύναμου τυπικού άξονα.



Σχήμα 4.7 Νομογράφημα υπολογισμού πάχους βάσεως και ασφαλτικών στρώσεων σε μικτό εύκαμπτο οδόστρωμα (1)

4.4 Μέθοδος Τμήματος Δημοσίων Έργων

Το εγχειρίδιο διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων που χρησιμοποιείται σήμερα από το Τμήμα Δημοσίων Έργων εκδόθηκε και τέθηκε σε εφαρμογή το 1989. Η ετοιμασία του εγχειριδίου ανατέθηκε στην εταιρεία John Burrow and Partners.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στο εγχειρίδιο βασίζεται όπως και οι άλλες μέθοδοι που έχουν προαναφερθεί στην πολυστρωματική θεωρία και στα κριτήρια

παραμόρφωσης του οδοστρώματος στα κρίσιμα σημεία που εξαρτώνται από τον αριθμό των επαναλήψεων N . Χρησιμοποιώντας τον αυτοκινητόδρομο Λευκωσίας-Λεμεσού ως σημείο αναφοράς και εφαρμογής των ελέγχων για ικανοποίηση των κριτηρίων κόπωσης και παραμόρφωσης του οδοστρώματος, και έχοντας ως βάση τις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται από άλλες μεθόδους σχεδιασμού όπως του Ινστιτούτου Ασφάλτου και του TRRL (βρετανική μέθοδος) προέκυψαν οι σχέσεις υπολογισμού της αστοχίας ενός εύκαμπτου οδοστρώματος (κόπωση οδοστρώματος και παραμόρφωση στη βάση της επιφανειακής στρώσης). Στη συνέχεια με ανάλυση των κατάλληλων μοντέλων οδοστρωμάτων και χρησιμοποιώντας το λογισμικό πρόγραμμα PAN δημιουργήθηκαν τα νομογραφήματα με τα προτεινόμενα πάχη ανάλογα με τον τύπο του οδοστρώματος που προβλέπεται να κατασκευαστεί.

Με τη χρήση του εγχειριδίου μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των στρώσεων τριών τύπων οδοστρώματος:

1. Οδόστρωμα τύπου NP1: Αποτελείται από ασφαλική επιφανειακή στρώση με βάση και υπόβαση από ασύνδετα αδρανή υλικά. Ονομάζεται και ελαφρύ οδόστρωμα και χρησιμοποιείται κυρίως όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος δεν ξεπερνά τα 5 εκατομμύρια ΙΤΑ.
2. Οδόστρωμα τύπου NP2: Αποτελείται από Επιφανειακή στρώση και Βάση κατασκευασμένες με ασφατικά υλικά τοποθετημένες σε υπόβαση από ασύνδετα αδρανή. Ονομάζεται και βαρετού τύπου οδόστρωμα και χρησιμοποιείται όταν ο προβλεπόμενος κυκλοφοριακός φόρτος στον υπό μελέτη δρόμο ξεπερνά τα 5 εκατομμύρια ΙΤΑ.
3. Οδόστρωμα τύπου NP3: Αποτελείται από οδόστρωμα κατασκευασμένο από ασύνδετα αδρανή, πάνω στα οποία κατασκευάζεται μια ασφαλική επάλειψη η οποία δεν παρέχει καμία δομική αντοχή στο οδόστρωμα.

4.4.1 Ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις του οδοστρώματος

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη κατασκευή των στρώσεων του οδοστρώματος, χαρακτηρίζονται με βάση το μέτρο επανάκτησης τους (M_r). Έτσι έχουμε ως χαρακτηριστικές τιμές του M_r :

- Έδαφος: $M_r = 17.6 \times (\text{CBR})^{0.64}$

- Εξυγιαντική στρώση (Στρώση Στέψης): $M_r = 2 \times M_r$ (εδάφους) , με μέγιστη τιμή 125 MN/m^2 .
- Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή: $M_r = 2 \times M_r$ (εξυγιαντικής στρώσης), με μέγιστη τιμή 250 MN/m^2 . Ίδια τιμή λαμβάνεται και στην περίπτωση που η στρώση αποτελείται από αδρανή που συνδέονται με ισχνό σκυρόδεμα.
- Βάση από ασύνδετα αδρανή : $M_r = 2 \times M_r$ (υπόβασης από ασύνδετα αδρανή), με μέγιστη τιμή 500 MN/m^2 . Ίδια τιμή λαμβάνεται και στην περίπτωση που η στρώση αποτελείται από αδρανή που συνδέονται με ισχνό σκυρόδεμα.
- Στρώσεις από ασφαλτικό σκυρόδεμα: $M_r = 2500 \text{ MN/m}^2$ για βάση και $M_r = 5000 \text{ MN/m}^2$ για επιφανειακή στρώση.

Για όλες τις στρώσεις ο δείκτη Poisson λαμβάνεται ίσος με 0.35.

4.4.2 Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση

Ο υπολογισμός του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος που πρόκειται να σχεδιαστεί, γίνεται με τη χρήση νομογραφημάτων τα οποία χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του οδοστρώματος (NP1, NP2, NP3). Για να μπορέσει να υπολογιστεί το πάχος των στρώσεων από τα νομογραφήματα υπάρχουν δύο παράμετροι οι οποίες πρέπει να έχουν υπολογιστεί από πριν:

i. Κυκλοφοριακός Φόρτος:

Ο κυκλοφοριακός φόρτος που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του πάχους του οδοστρώματος βασίζεται στη κυκλοφορία των εμπορικών οχημάτων προς μία κατεύθυνση για όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Σε αυτοκινητόδρομους με περισσότερες λωρίδες ανά κατεύθυνση ο υπολογισμός αφορά την εξωτερική λωρίδα (λωρίδα σχεδιασμού).

Ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος προκύπτει με την χρήση των ακόλουθων εξισώσεων:

$$T_n = \{365 \times F_o \times [(1 + r)^n - 1] / r\} \times P$$

όπου:

T_n : συνολικός αριθμός εμπορικών οχημάτων για ένα χρόνο

F_o : αρχική ημερήσια κυκλοφορία στη μια διεύθυνση

P: ποσοστό της κυκλοφορίας που χρησιμοποιεί τη λωρίδα σχεδιασμού (συνήθως λαμβάνεται ως το 50%)

r: συντελεστής αύξησης κυκλοφορίας

n: διάρκεια ζωής οδοστρώματος (σε χρόνια)

$$\text{Συνολικός Αριθμός Τυπικών Αξόνων} = D \times T_n$$

όπου:

D: ο μέσος συντελεστής φθοράς του οχήματος που ισούται με τον αριθμό των ΙΤΑ ανά εμπορικό όχημα.

ii. Φέρουσα ικανότητα εδάφους:

Με τη διεξαγωγή των απαραίτητων ελέγχων πριν τη μελέτη αλλά και κατά τη διάρκεια της κατασκευής του οδοστρώματος μετριέται ο καλιφορνιακός δείκτης CBR της στρώσης έδρασης ο οποίος πρέπει να έχει την χαμηλότερη τιμή που μπορεί να προκύψει σε όλη τη σχεδιαστική ζωή του οδοστρώματος. Οι έλεγχοι για τον υπολογισμό της τιμής του CBR μπορεί να γίνονται είτε στο εργοτάξιο είτε στο εργαστήριο. Σε περίπτωση που η τιμή της φέρουσας ικανότητας του εδάφους δεν μπορεί εύκολα να υπολογιστεί με τους προαναφερόμενους τρόπους, το εγχειρίδιο παραθέτει πίνακες οι οποίοι προσδιορίζουν την ζητούμενη τιμή με βάση την κατηγορία του εδάφους.

4.4.3 Μεθοδολογία υπολογισμού

Σε γενικές γραμμές η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του πάχους του οδοστρώματος ακολουθεί τα πιο κάτω βήματα:

1. Υπολογισμός συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου σε Τυπικούς άξονες.
2. Υπολογισμός του CBR (%) του εδάφους έδρασης του οδοστρώματος και ανάλογα ο καθορισμός της σχεδιαστικής τιμής του, με τη χρήση του πίνακα 4.13 που φαίνεται στη συνέχεια.

Πίνακας 4. 13 Προσδιορισμός CBR Σχεδιασμού

Σχεδιαστική τιμή CBR (%)	2	3	6	11
Υπολογισμένη τιμή CBR (%)	2	3-5	6-10	>11

(Fourth Highway Project)

3. Αποφασίζεται ο τύπος του οδοστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί, με βάση τα υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στις δομικές στρώσεις.
4. Επιλέγεται το νομογράφημα που εκφράζει τον τύπο οδοστρώματος που επιλέγηκε και ταυτόχρονα τη σχεδιαστική τιμή του CBR.

Τα νομογραφήματα του εγχειριδίου του τμήματος κατατάσσονται με βάση τη σχεδιαστική τιμή του CBR ως ακολούθως:

NP1: NP1/2B για έδαφος με CBR 2%
 NP1/3/B για έδαφος με CBR 3%
 NP1/6/B για έδαφος με CBR 6%
 NP1/11/B για έδαφος με CBR 11%

NP2: NP2/2B για έδαφος με CBR 2%
 NP2/3/B για έδαφος με CBR 3%
 NP2/6/B για έδαφος με CBR 6%
 NP2/11/B για έδαφος με CBR 11%

NP3: NP3/2B για έδαφος με CBR 2%
 NP3/3/B για έδαφος με CBR 3%
 NP3/6/B για έδαφος με CBR 6%
 NP3/11/B για έδαφος με CBR 11%

Ενδεικτικά νομογραφήματα του εγχειριδίου φαίνονται στο παράρτημα Β.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι για λόγους ομοιομορφίας της κατασκευής των στρώσεων, το Τμήμα Δημοσίων Έργων χρησιμοποιεί τα νομογραφήματα που αφορούν σχεδιαστική τιμή CBR 11% και ανάλογα αν αυτό είναι μικρότερο από 5% αποφασίζεται το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης που πρέπει να τοποθετηθεί πρόσθετα.

Έτσι όταν:

$CBR < 2$: τοποθετείται εξυγιαντική στρώση πάχους 600mm.

$3 \leq CBR \leq 5$: τοποθετείται εξυγιαντική στρώση πάχους 350mm.

$6 \leq CBR \leq 10$: τοποθετείται εξυγιαντική στρώση πάχους 225mm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Σύγκριση των Μεθόδων Διαστασιολόγησης

5.1 Γενικά

Όπως έχει αναφερθεί, για τον υπολογισμό του πάχους ενός εύκαμπτου οδοστρώματος υπάρχουν πάρα πολλές μέθοδοι, κάποιες από τις οποίες έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Παρόλο που σε γενικές γραμμές τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε κάθε μέθοδο είναι κοινά (κυκλοφοριακός φόρτος, φέρουσα ικανότητα εδάφους έδρασης του οδοστρώματος, ιδιότητες των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, κλιματικοί παράγοντες), δεν σημαίνει ότι τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τη χρήση των μεθόδων αυτών θα είναι τα ίδια για ένα συγκεκριμένο οδόστρωμα.

Τα νομογραφήματα και οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί κάθε μέθοδος αναπτύχθηκαν είτε μέσω εμπειρικών διαδικασιών είτε μέσω αναλυτικών υπολογισμών για τα δεδομένα και τις συνθήκες μιας συγκεκριμένης χώρας-περιοχής. Αυτό δε σημαίνει ότι η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάπου αλλού, αλλά ότι πιθανόν να χρειάζεται κάποια τροποποίηση της για προσαρμογή με τα τοπικά δεδομένα.

5.2 Διαστασιολόγηση οδοστρώματος - πρακτική εφαρμογή μεθόδων

Ως προς τη προσπάθεια σύγκρισης των μεθόδων που αναφέρθηκαν, αξίζει να μελετηθεί η περίπτωση ενός οδοστρώματος με πραγματικά δεδομένα για να διαπιστωθεί τι αποτελέσματα θα λαμβάνονταν με τη χρήση της κάθε μεθοδολογίας. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να φανεί που και πως διαφοροποιείται το πάχος της κάθε στρώσης και κατά πόσο αυτό οδηγεί σε μια ακριβότερη κατασκευή ή σε ένα οδόστρωμα στο οποίο πιθανόν να επέλθει αστοχία πριν την ολοκλήρωση της σχεδιαστικής διάρκειας ζωής.

Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η περίπτωση του έργου «Δρόμος προσπέλασης προς Μένικο από τον παλιό δρόμο Λευκωσίας - Ακακίου». Πρόκειται για ένα δρόμο που βρίσκεται τώρα στο στάδιο μελέτης και σχεδιασμού, από τον κλάδο μελετών του Τμήματος Δημοσίων Έργων και αναμένεται να κατασκευαστεί το 2012. Πρόκειται για ένα υπεραστικό δρόμο ο οποίος αποτελείται από δύο λωρίδες (μια λωρίδα σε κάθε κατεύθυνση). Ο κυκλοφοριακός φόρτος στην περιοχή του έργου είναι μέτριος, ενώ η

ποιότητα του φυσικού εδάφους ποικίλει ανάλογα με τη χιλιομετρική θέση του δρόμου.

5.2.1 Δεδομένα υπολογισμού

Τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του οδοστρώματος με βάση τις μετρήσεις και τους ελέγχους που διεξήχθησαν από το Τμήμα Δημοσίων Έργων φαίνονται στη συνέχεια:

- Κυκλοφοριακός Φόρτος:

Κυκλοφορία Βαρέων Οχημάτων/24ωρο (προς μια κατεύθυνση): $P_0 = 200$

Ετήσια αύξηση: $r = 5.00\%$

Χρόνια ζωής του δρόμου: $n = 20$

Μέσος συντελεστής φθοράς $D = 1.5$

Συνολικός αριθμός Τ.Α για όλη τη διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος:

$$P_n = 200 \times 365 \times \left\{ \frac{(1 + 0.05)^{20} - 1}{0.05} \right\} \times (1 + 0.05) \times 1.5 = 3801758 = 3.8 \times 10^6$$

- CBR φυσικού εδάφους: ποικίλει ανάλογα με τη θέση του δρόμου και λαμβάνει διάφορες τιμές. Στο τμήμα του δρόμου το οποίο επιλέχθηκε για να γίνει υπολογισμός του πάχους της δομής του οδοστρώματος, (X.Θ 2+600 – X.Θ 2+730) λαμβάνεται ίσο με 4%.
- Το οδόστρωμα που πρόκειται να κατασκευαστεί θα αποτελείται από υπόβαση και βάση από ασύνδετα αδρανή και από ασφαλτική επιφανειακή στρώση.

5.2.2 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του AASHTO

Κυκλοφοριακός φόρτος:

$$w_{18} = 3.8 \times 10^6$$

$$W_{18} = 1 \times 3.8 \times 10^6 = 3.8 \times 10^6$$

Επειδή υπάρχει μόνο μια λωρίδα σε κάθε κατεύθυνση ο κυκλοφοριακός φόρτος δεν διαφοροποιείται για τη λωρίδα μελέτης.

Δομικοί αριθμοί:

Ασφαλτική στρώση:

Από το νομογράφημα του σχήματος 3, στο Παράρτημα Α, χρησιμοποιώντας ως μέτρο ελαστικότητας του ασφαλτικού σκυροδέματος $E = 400000 \text{ KN/m}^2$:
 $a_1 = 0,42$

Στρώση βάσης από ασύνδετα αδρανή:

Από το νομογράφημα του σχήματος 4, του Παραρτήματος Α, χρησιμοποιώντας CBR βάσης = 80%: $a_2 = 0,13$

Στρώση υπόβασης από ασύνδετα αδρανή:

Στις προδιαγραφές του Τμήματος Δημοσίων Έργων απαιτείται όπως το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της υπόβασης έχει CBR μεγαλύτερο από 30%.

Από το νομογράφημα του σχήματος 5 του Παραρτήματος Α, χρησιμοποιώντας CBR υπόβασης = 30% : $a_3 = 0,11$

CBR Υπεδάφους:

Θεωρώντας ότι το CBR του υπεδάφους για το υπό μελέτη τμήμα του δρόμου είναι 4% (6000 psi).

Επίπεδο αξιοπιστίας:

Από τον πίνακα 4.3, για υπεραστικούς δρόμους επιλέγουμε επίπεδο αξιοπιστίας 85%

Τυπική Απόκλιση:

Η τυπική απόκλιση $S_o = 0.35$.

Συντελεστές αποστράγγισης:

Το φυσικό έδαφος στην περιοχή του έργου σύμφωνα με τα στοιχεία του Τ.Δ.Ε, περιέχει πολύ άργιλο, από αυτό προκύπτει ότι έχει πολύ κακή αποστράγγιση με ποσοστό του χρόνου που το οδόστρωμα εκτίθεται σε υγρασία που πλησιάζει την

κατάσταση κορεσμού να κυμαίνεται μεταξύ 5 – 25%. Με αυτά τα δεδομένα από τον πίνακα 4.4 επιλέγουμε τους συντελεστές αποστράγγισης $m_1=m_2=0.60$.

Απώλεια δείκτη εξυπηρευτικότητας:

$$P_o = 4.2$$

$$P_t = 2.5$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.2 - 2.0 = 1.7$$

Υπολογισμός του πάχους των στρώσεων:

1. Ασφαλτική Στρώση:

Η ασφαλτική στρώση εδράζεται πάνω στη βάση από ασύνδετα αδρανή. Θέτοντας ως CBR της στρώσης βάσης 50% ($M_r = 90000$ psi). Χρησιμοποιώντας το νομογράφημα του σχήματος 1, του Παραρτήματος Α από το οποίο υπολογίζεται ο δομικός αριθμός για την ασφαλτική στρώση, SN_1 , διαπιστώνουμε ότι η τιμή του M_r ξεφεύγει από τα πλαίσια του νομογραφήματος. Για το λόγο αυτό υποθέτουμε ένα πάχος για την επιφανειακή στρώση με βάση το οποίο θα προκύψουν τα πάχη των άλλων στρώσεων. Έστω ότι **$D_1 = 5$ in (127mm)**.

$$SN_1 = D_1 \times a_1 = 5 \times 0.42 = 2.10$$

2. Βάση:

Η βάση εδράζεται πάνω στην υπόβαση από ασύνδετα αδρανή η οποία έχει ελάχιστο CBR =30% ($M_r = 45000$ psi). Από το νομογράφημα του σχήματος 1 είναι και πάλι αδύνατο να προκύψει ο δομικός αριθμός της στρώσης και γι αυτό πρέπει να γίνει και πάλι μια λογική υπόθεση του. Θέτοντας ως πάχος της στρώσης **$D_2 = 8$ in (203.2mm)**

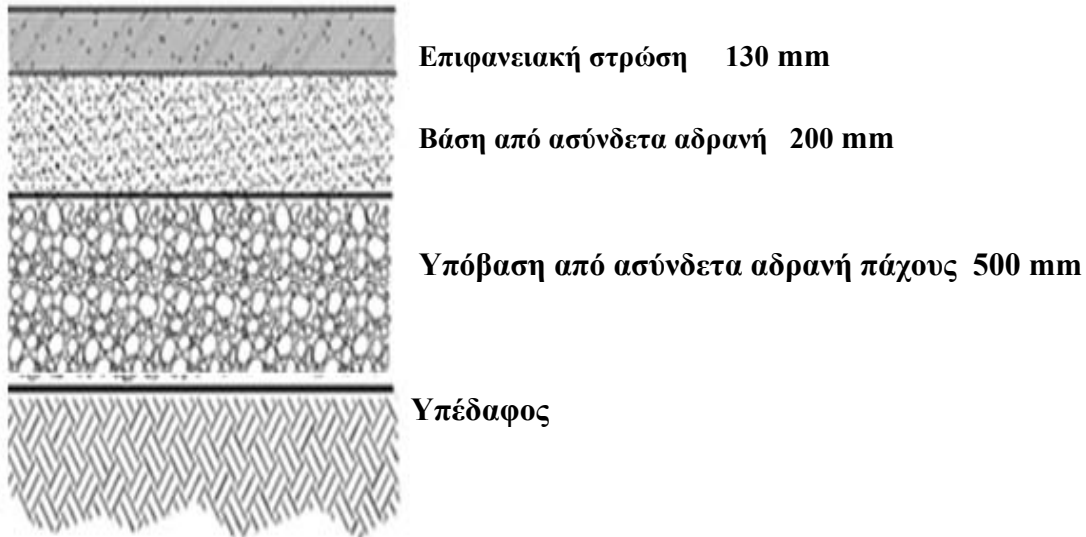
$$SN_2 = D_2 \times a_2 \times m_2 = 8 \times 0.13 \times 0.60 = 0.624$$

2. Υπόβαση:

Η υπόβαση εδράζεται πάνω στο υπέδαφος με ισοδύναμο $M_r = 6000$ psi έτσι προκύπτει ο δομικός αριθμός **$SN_3 = 4$** .

$$D_3^* \geq (SN_3^* - (SN_1 + SN_2)) / a_3 \times m_3 = \{ 4 - (2.10 + 0.624) \} / (0.11 \times 0.60) = 19 \text{ in} \\ (482.6 \text{ mm})$$

Τελική δομή οδοστρώματος:



Συνολικό πάχος: 830 mm

5.2.3 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του Ινστιτούτου Ασφάλτου Κυκλοφοριακός φόρτος:

Συνολικός αριθμός ΙΤΑ = 3.8×10^6

Mr υπεδάφους:

Χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη τιμή CBR = 4%

$$M_r = 10.3 \times 4 = 41.2 \text{ MPa}$$

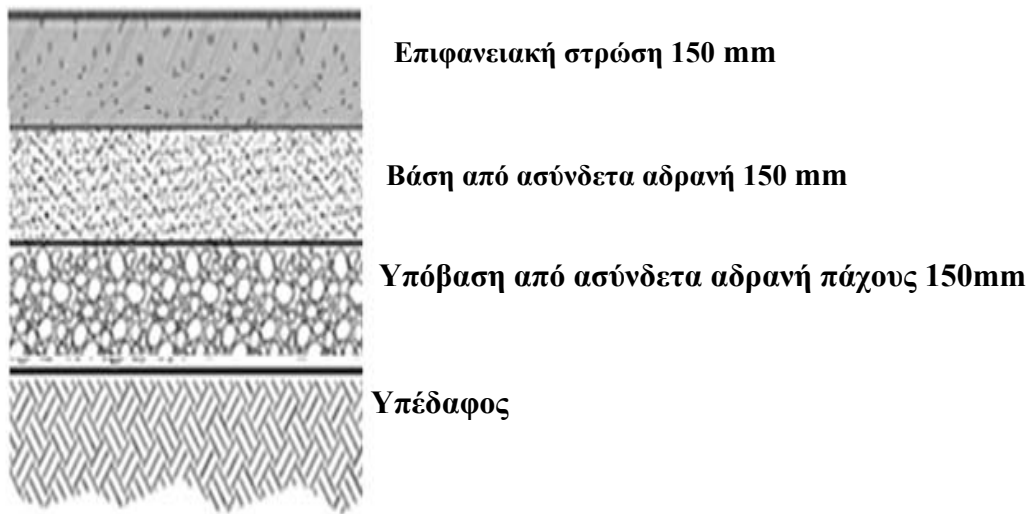
Υπολογισμός πάχους στρώσεων:

Χρησιμοποιώντας το νομογράφημα Β.1 (για Μ.Ε.Θ.Α 15.5°C), προκύπτει ότι το προτεινόμενο οδόστρωμα αποτελείται από: 150 mm ασφαλτικό σκυρόδεμα

150 mm βάση από ασύνδετα αδρανή

150 mm υπόβαση από ασύνδετα αδρανή.

Τελική δομή οδοστρώματος:



Συνολικό πάχος:450 mm

5.2.4 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη βρετανική μέθοδο

Κυκλοφοριακός φόρτος:

Συνολικός αριθμός ΙΤΑ = 3.8×10^6

Υπολογισμός πάχους στρώσεων

Υπόβαση - Εξυγιαντική Στρώση

Εφόσον η τιμή του CBR του φυσικού εδάφους είναι 4%, χρειάζεται η κατασκευή υπόβασης πάχους 255 mm σύμφωνα με το σχήμα 4.4 όπου υπολογίζεται το πάχος της υπόβασης ή με βάση το σχήμα 4.5 η κατασκευή υπόβασης πάχους 150 mm με ταυτόχρονη κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης πάχους 300 mm.

Βάση επιφανειακή στρώση:

Χρησιμοποιώντας το σχήμα 4.6 για Macadam κλειστού τύπου με άσφαλτο 100 pen (DBM), προκύπτει ότι το πάχος της βάσης και της επιφανειακής στρώσης μαζί είναι 205 mm. Έτσι το πάχος της επιφανειακής στρώσης είναι 50 mm και τα υπόλοιπα 155mm είναι το πάχος της στρώσης βάσης.

Τελική δομή οδοστρώματος:



Συνολικό πάχος:700mm

5.2.5 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του Τμήματος Δημοσίων Έργων

Κυκλοφοριακός φόρτος:

Συνολικός αριθμός ΙΤΑ = 3.8×10^6

Φέρουσα ικανότητα εδάφους:

CBR = 4%,

Υπολογισμός πάχους στρώσεων

Από το νομογράφημα που αφορά οδόστρωμα τύπου NP1 και φέρουσα ικανότητα εδάφους $3 \leq \text{CBR} \leq 5\%$, προκύπτει ότι το οδόστρωμα θα έχει :

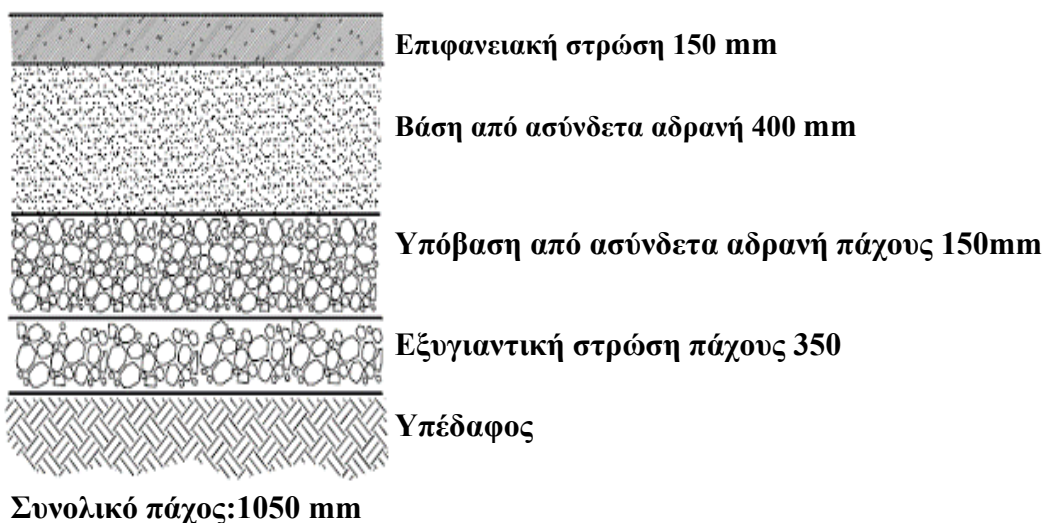
Πάχος εξυγιαντικής στρώσης : 350 mm

Πάχος στρώσης Υπόβασης: 150 mm

Πάχος Βάσης από ασύνδετα αδρανή: 400 mm

Πάχος Επιφανειακής Ασφαλτικής στρώσης: 150 mm

Τελική δομή οδοστρώματος:



5.3 Γενική σύγκριση μεθόδων διαστασιολόγησης

Με την εφαρμογή των μεθόδων στο παράδειγμα που υπολογίστηκε πιο πάνω φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού του πάχους κάθε στρώσης χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα σχεδιασμού. Όπως φαίνεται και από τα υπολογισμένα πάχη των στρώσεων τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι τα ίδια. Κάποιες μέθοδοι δίνουν μεγαλύτερο πάχος οδοστρώματος και κάποιες μικρότερο. Για να δοθεί μια πιο γενική εικόνα σύγκρισης των μεθόδων στη συνέχεια φαίνονται τα προτεινόμενα πάχη που υπολογίζονται με κάθε μια από τις μεθόδους που αναλύθηκαν πιο πάνω ξεχωριστά, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές για τον κυκλοφοριακό φόρτο και τον δείκτη CBR των διαφόρων στρώσεων.

Στόχος της σύγκρισης αυτής ήταν να χρησιμοποιηθεί η ίδια σύνθεση υλικών στις στρώσεις του σχεδιαζόμενου οδοστρώματος σε όλες τις μεθόδους. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως αυτό δεν ήταν εφικτό επειδή η μέθοδος όριζε διαφορετική σύνθεση είτε λόγω μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου είτε λόγω CBR.

Πίνακας 5. 1: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 4%

Κυκλοφοριακός φόρτος (msa)	Στρώση	AASHTO (mm)	ASPHALT INSTITUTE (mm)	Βρετανική (mm)	Μέθοδος ΤΔΕ (mm)
0.5	Επιφανειακή	130	160	50	80
	Βάση	160	150	140	200
	Υπόβαση	200	150	150	150
	Εξυγιαντική	–	–	300	350
	Συνολικό Πάχος	500(SN=3.1)	460	640	780
1	Επιφανειακή	130	190	50	120
	Βάση	200	150	140	200
	Υπόβαση	250	150	150	150
	Εξυγιαντική	–	–	300	350
	Συνολικό Πάχος	580(SN=3.4)	490	640	820
5	Επιφανειακή	130	275	50	370
	Βάση	260	150	210	
	Υπόβαση	300	150	150	150
	Εξυγιαντική	–	–	300	350
	Συνολικό Πάχος	690(SN=3.7)	575	710	870
20	Επιφανειακή	140	330	50	300
	Βάση	300	150	290	
	Υπόβαση	410	150	150	275
	Εξυγιαντική	–	–	300	350
	Συνολικό Πάχος	850(SN=4.3)	630	790	875
50	Επιφανειακή	140		50	430
	Βάση	330		320	
	Υπόβαση	430	–	150	275
	Εξυγιαντική	–	–	300	350
	Συνολικό Πάχος	900(SN=4.5)	460	830	1055

Πίνακας 5. 2: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 6%

Κυκλοφοριακός φόρτος (msa)	Στρώση	AASHTO	ASPHALT INSTITUTE	Βρετανική TRRL	Μέθοδος ΤΔΕ
0.5	Επιφανειακή	100	125	50	80
	Βάση	140	150	140	100
	Υπόβαση	210	150	210	300
	Συνολικό Πάχος	450(SN=2.8)	425	400	480
1	Επιφανειακή	100	160	50	80
	Βάση	180	150	140	200
	Υπόβαση	230	150	210	300
	Συνολικό Πάχος	510(SN=3.0)	460	400	580
5	Επιφανειακή	100	250	50	280
	Βάση	230	150	210	
	Υπόβαση	330	150	210	300
	Συνολικό Πάχος	660(SN=3.5)	550	470	580
20	Επιφανειακή	100	320	50	300
	Βάση	240	150	290	
	Υπόβαση	330	150	210	275
	Εξυγιαντική	–	–	–	225
	Συνολικό Πάχος	670(SN=3.6)	640	550	740
50	Επιφανειακή	120		50	280
	Βάση	250		320	
	Υπόβαση	360	–	210	400
	Εξυγιαντική	–	–	–	225
	Συνολικό Πάχος	730(SN=3.9)	460	580	905

Πίνακας 5. 3: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 11%

Κυκλοφοριακός φόρτος (msa)	Στρώση	AASHTO	ASPHALT INSTITUTE	Βρετανική TRRL	Μέθοδος ΤΔΕ
0.5	Επιφανειακή	50	100	50	40
	Βάση	110	150	140	100
	Υπόβαση	180	150	170	275
	Συνολικό Πάχος	340(SN=2.3)	400	360	415
1	Επιφανειακή	50	120	50	60
	Βάση	110	150	140	100
	Υπόβαση	220	150	170	275
	Συνολικό Πάχος	380(SN=2.5)	420	360	435
5	Επιφανειακή	50	220	50	170
	Βάση	150	150	210	
	Υπόβαση	230	150	170	275
	Συνολικό Πάχος	430(SN=2.8)	520	430	445
20	Επιφανειακή	65	310	50	300
	Βάση	165	150	290	
	Υπόβαση	240	150	170	275
	Συνολικό Πάχος	470(SN=3.1)	610	510	575
50	Επιφανειακή	65		50	430
	Βάση	190		320	
	Υπόβαση	255		170	275
	Συνολικό Πάχος	510(SN=3.3)	430	540	705

5.3.1 Σημειώσεις – Επεξηγήσεις αποτελεσμάτων

Μέθοδος AASHTO:

1. Σε όλα τα υπολογισμένα πάχη το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση: Ασύνδετα αδρανή
 - Βάση: Ασύνδετα αδρανή
 - Επιφανειακή στρώση: Ασφαλικό σκυρόδεμα
2. Επειδή τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην Κύπρο για την κατασκευή της υπόβασης και της βάσης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Τμήματος Δημοσίων Έργων, έχουν μεγάλο δείκτη CBR (για στρώση υπόβασης απαιτείται ελάχιστο CBR 30%), δεν ήταν δυνατό να γίνει χρήση του νομογραφήματος της μεθόδου για υπολογισμό του δομικού αριθμού (SN) της κάθε στρώσης. (Το νομογράφημα δίνει τιμές Mg μέχρι 40000). Γι αυτό το λόγο έγινε υπολογισμός του δομικού αριθμού ολόκληρου του οδοστρώματος και κατόπιν με τη χρήση των δομικών συντελεστών (a_1 , a_2 , a_3), υπολογίστηκαν τα πάχη των στρώσεων, χρησιμοποιώντας τις τιμές που θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν την εξίσωση: $SN = a_1 \times D_1 + (a_2 \times D_2 \times m_2) + (a_3 \times D_3 \times m_3)$
3. Η μέθοδος δεν υπολογίζει τοποθέτηση εξυγιαντικής στρώσης.

Μέθοδος ASPHALT INSTITUTE:

1. Σε όλα τα υπολογισμένα πάχη το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση: Ασύνδετα αδρανή
 - Βάση: Ασύνδετα αδρανή
 - Επιφανειακή στρώση: Ασφαλικό σκυρόδεμα,

εκτός από τις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος (50 msa), στις οποίες το ολικό πάχος του οδοστρώματος υπολογίζεται για ψυχρό ασφαλτόμιγμα με επιφανειακή επίστρωση.

2. Η μέθοδος δεν υπολογίζει τοποθέτηση εξυγιαντικής στρώσης.

Βρετανική μέθοδος:

1. Σε όλα τα υπολογισμένα πάχη το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση: Ασύνδετα αδρανή
 - Βάση: Ασύνδετα αδρανή
 - Επιφανειακή στρώση: Ασφαλτικό σκυρόδεμα,
2. Στον πίνακα 5.1 όπου το CBR εδάφους είναι 4% υπολογίζεται το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί θεωρώντας ότι το πάχος της υπόβασης είναι 150 mm . Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτό λαμβάνεται ίσο με 300mm .

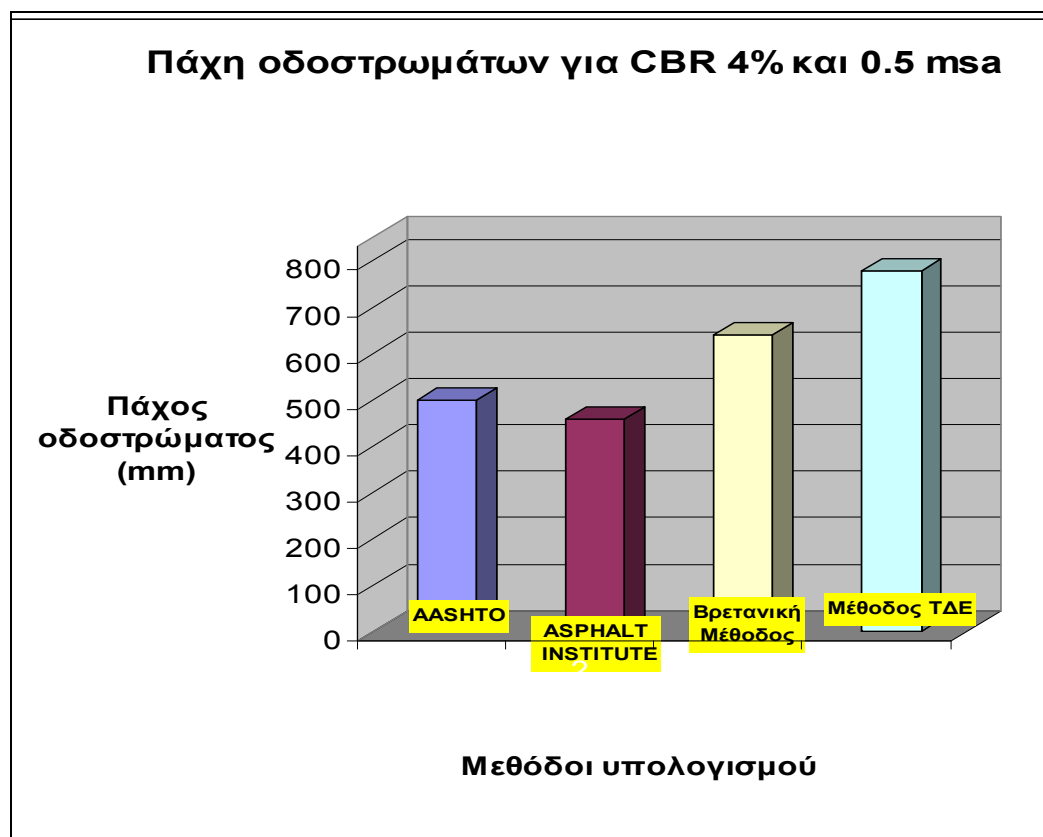
Μέθοδος ΤΔΕ:

1. Στις περιπτώσεις που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μικρότερος από 5 msa, το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση: Ασύνδετα αδρανή
 - Βάση: Ασύνδετα αδρανή
 - Επιφανειακή στρώση: Ασφαλτικό σκυρόδεμα,
 - Εξυγιαντική στρώση όπου απαιτείται λόγω CBR.
2. Στις περιπτώσεις που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μεγαλύτερος από 5 msa, το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση: Ασύνδετα αδρανή
 - Βάση: Ασφαλτική (Dense Bitumen Macadam)
 - Επιφανειακή στρώση: Ασφαλτικό σκυρόδεμα,
 - Εξυγιαντική στρώση όπου απαιτείται λόγω CBR.
3. Στις περιπτώσεις που ο κυκλοφοριακός φόρτος ήταν μεγαλύτερος από αυτόν που αναφέρεται στο αντίστοιχο νομογράφημα της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκε το νομογράφημα NP2/11/B για τον υπολογισμό των στρώσεων και ανάλογα

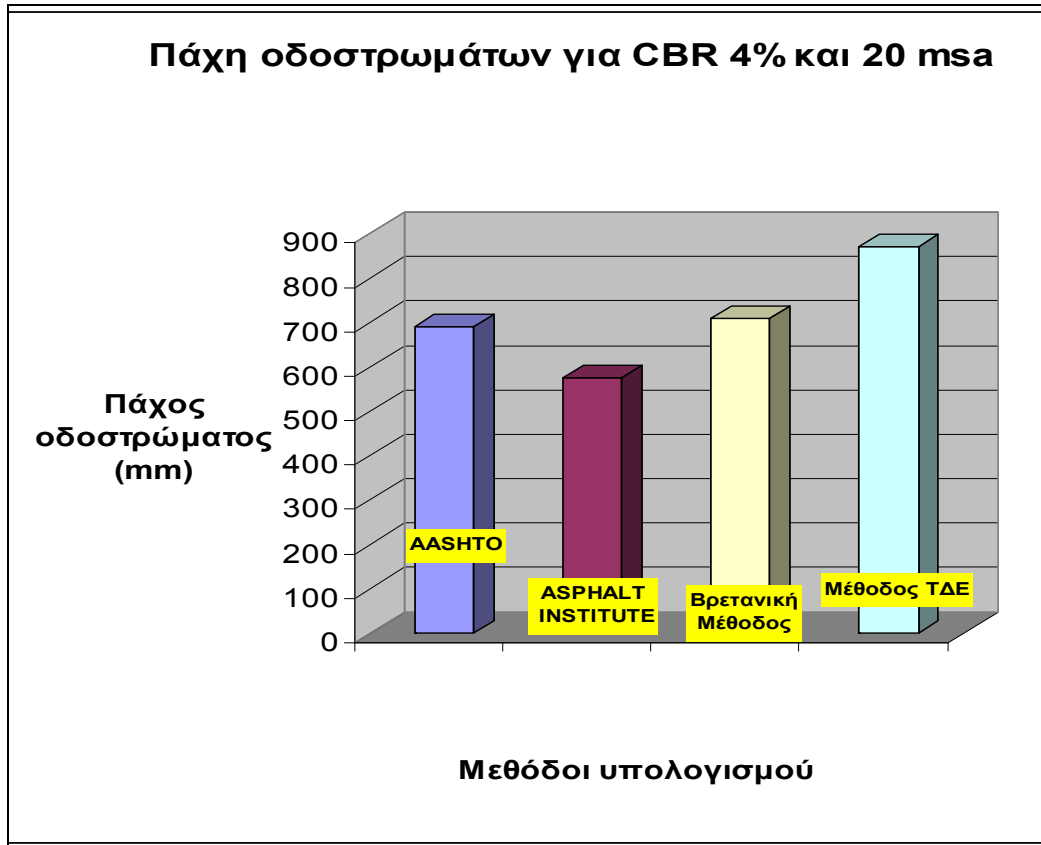
με την τιμή του CBR, υπολογίστηκε επιπλέον το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης που απαιτείται για να είναι ικανοποιητικό το πάχος του προτεινόμενου οδοστρώματος. Δηλαδή στην περίπτωση που το CBR = 4% τοποθετήθηκε εξυγιαντική στρώση πάχους 350mm και στις περιπτώσεις που το CBR = 6% τοποθετήθηκε εξυγιαντική στρώση πάχους 225mm.

5.3.2 Γραφική σύγκριση προτεινόμενων οδοστρωμάτων:

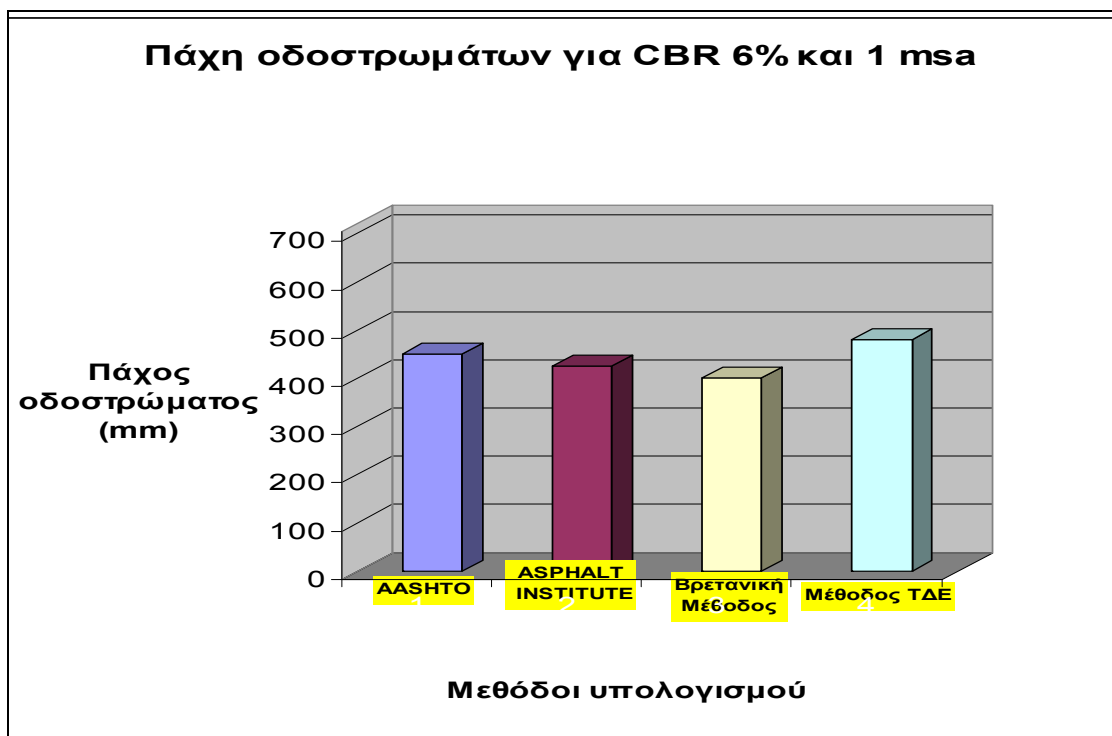
Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τους πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3, στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται μια συγκριτική γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το συνολικό πάχος των προτεινόμενων οδοστρωμάτων.



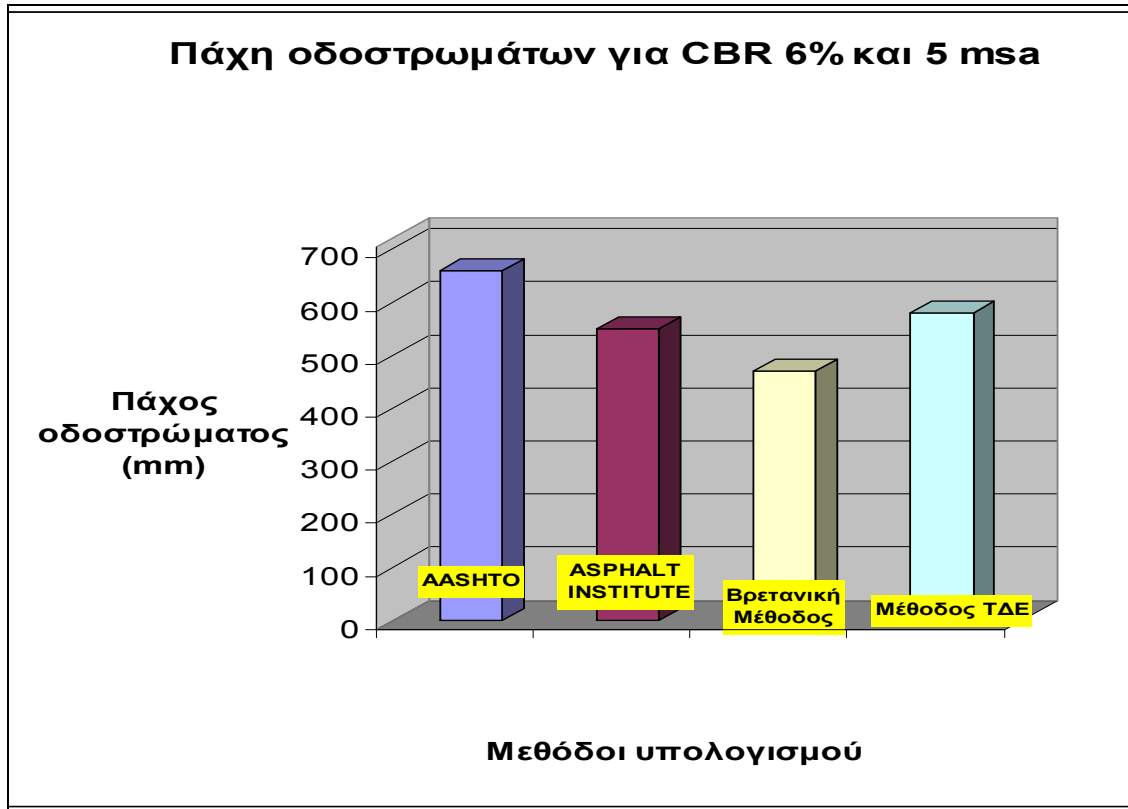
Σχήμα 5. 1:Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR = 4% και κυκλοφοριακό φόρτο 0,5 msa.



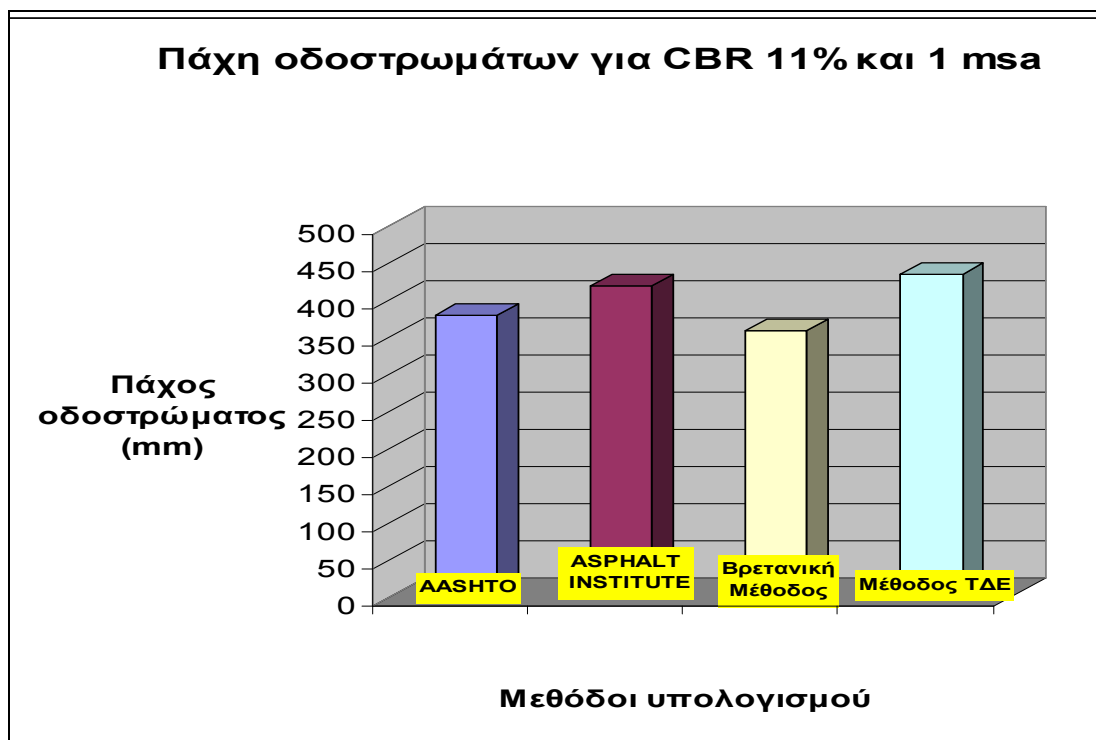
Σχήμα 5. 2:Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR = 4% και κυκλοφοριακό φόρτο 20 msa.



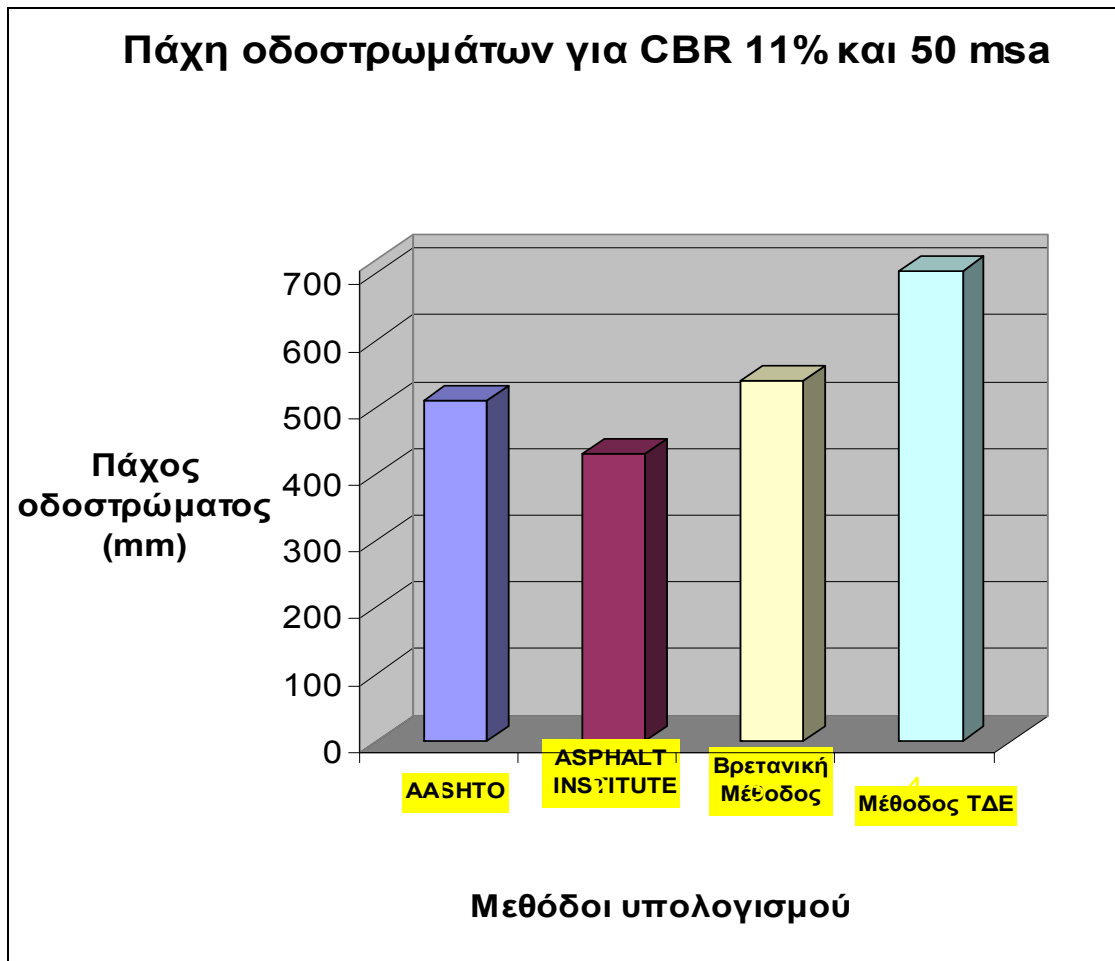
Σχήμα 5. 3:Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR = 6% και κυκλοφοριακό φόρτο 1 msa.



Σχήμα 5. 4:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 6% και κυκλοφοριακό φόρτο 5 msa.



Σχήμα 5. 5:Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR = 11% και κυκλοφοριακό φόρτο 1msa.



Σχήμα 5. 6: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR = 11% και κυκλοφοριακό φόρτο 50msa.

5.4 Οικονομική σύγκριση

Ταυτόχρονα με τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων, σημαντικό βήμα στην λήψη της απόφασης για το ποια είναι η ιδανική διατομή του προτεινόμενου οδοστρώματος, είναι και η ανάλυση του κόστους που θα προκύψει από την κατασκευή αυτής της διατομής. Η κατασκευή ενός δρόμου θεωρείται ως μια επένδυση κεφαλαίου, επομένως η οικονομική σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού θεωρείται απαραίτητη.

Η σωστή μέθοδος σύγκρισης των εναλλακτικών λύσεων βασίζεται στην διεξαγωγή μιας οικονομικής ανάλυσης για όλο τον κύκλο ζωής του σχεδιαζόμενου οδοστρώματος. Ως κύκλος ζωής λαμβάνεται η χρονική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος η οποία μπορεί να είναι από 20 μέχρι 50 χρόνια ανάλογα με την κατηγορία του προτεινόμενου δρόμου.

Μια τέτοια ανάλυση περιλαμβάνει τις ακόλουθες κύριες παραμέτρους υπολογισμού κόστους:

1. Εκτίμηση του κόστους κατασκευής ανά μονάδα μέτρησης (π.χ ανά m ή ανά km), για κάθε εναλλακτική λύση.
2. Εκτίμηση των ποσών που πιθανόν να δαπανηθούν για σκοπούς ετήσιας συντήρησης, σε περίπτωση που αυτά διαφοροποιούνται σημαντικά για κάθε εναλλακτική λύση.
3. Σε περίπτωση που η διάρκεια ζωής οδοστρώματος λόγω των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν διαφέρει, αυτή πρέπει να εκτιμηθεί και να αποφασισθεί μια κοινή βάση (π.χ. στα 30 χρόνια) στην οποία θα αναχθούν όλα τα έξοδα για να γίνει η σύγκριση.
4. Εκτίμηση του κόστους που θα απαιτηθεί για την τελική αποκατάσταση του οδοστρώματος.
5. Υπολογίζεται η παρούσα αξία, του συνολικού ποσού που προκύπτει από τα έξοδα που αναφέρθηκαν πιο πάνω, στο τέλος της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος, είτε ως συνολικό ποσό είτε ως κόστος ανά μονάδα μέτρησης. Αυτό γίνεται για κάθε εναλλακτική λύση. Ο υπολογισμός της παρούσας αξίας γίνεται με την εξίσωση:

$$P.A. = \frac{E}{(1+i)^t}$$

όπου:

E: συνολικό κόστος στο τέλος της σχεδιαστικής διάρκειας ζωής του οδοστρώματος

i: επιτόκιο (το ποσοστό της απόδοσης που θα μπορούσε να κερδίσει μια επένδυση στις χρηματοπιστωτικές αγορές με παρόμοιο κίνδυνο)

t: η διάρκεια ζωής σε χρόνια. (Pavement Design Manual. 1997)

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους αυτές, φαίνεται ότι στην περίπτωση της σύγκρισης που επιχειρήθηκε πιο πριν, όπου οι εναλλακτικές λύσεις χρησιμοποιούν τα ίδια υλικά στις στρώσεις του οδοστρώματος, αυτό που θα διαφοροποιήσει το κόστος που πρέπει να υπολογιστεί, είναι το κόστος κατασκευής του οδοστρώματος. Αυτό προκύπτει θεωρώντας ότι τα έξοδα συντήρησης και αποκατάστασης των οδοστρωμάτων που έχουμε να συγκρίνουμε δεν θα διαφοροποιούνται ιδιαίτερα, λόγω ομοιότητας της σύστασης των εναλλακτικών οδοστρωμάτων που συγκρίνονται.

5.4.1 Σύγκριση κόστους κατασκευής.

Χρησιμοποιώντας τιμές μονάδος του 2009, για παρόμοιας φύσεως κατασκευή δρόμου στη Λεμεσό, θα επιχειρηθεί μια συγκριτική εκτίμηση του κόστους κατασκευής κάποιων εναλλακτικών λύσεων που έχουν υπολογισθεί.

Ως τιμές μονάδος για την προμήθεια και τοποθέτηση των προτεινόμενων υλικών, που θα χρησιμοποιηθούν στις διάφορες στρώσεις του οδοστρώματος θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες τιμές:

- Εξυγιαντική στρώση (ασύνδετα αδρανή) : €9.50/m³
- Υπόβαση (ασύνδετα αδρανή) : €14.68/m³
- Βάση (ασύνδετα αδρανή) : €19.64/m³
- Βάση (ασφαλτική) : €79.08/m³
- Επιφανειακή στρώση (B.C και W.C) : €184.94/m³

Με χρήση των πιο πάνω τιμών και αναγωγή τους σε τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο υπολογίζεται το κόστος κάθε εναλλακτικής λύσης ανά τετραγωνικό μέτρο.

Για παράδειγμα στην περίπτωση του προτεινόμενου οδοστρώματος που υπολογίστηκε με τη μέθοδο AASHTO για κυκλοφοριακό φόρτο 1 msa και CBR εδάφους 4%, το συνολικό κόστος κατασκευής του οδοστρώματος που υπολογίζεται είναι:

- Υπόβαση: $0.250\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} = 0.25 \text{ m}^3 \times €14,68/\text{m}^3 = €3.67$
- Βάση : $0.200\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m} = 0.20 \text{ m}^3 \times €19,64/\text{m}^3 = €3.93$
- Επιφανειακή στρώση: $0.130 \times 1\text{m} \times 1\text{m} = 0.13 \text{ m}^3 \times €184.94/\text{m}^3 = € 24.04$

ΣΥΝΟΛΟ: €31.64/m²

Με ανάλογο τρόπο γίνεται ο υπολογισμός για τις υπόλοιπες μεθόδους. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα υπολογισμένα κόστη για τις διαφορές μεθόδους, για τις περιπτώσεις του κυκλοφοριακού φόρτου 1 msa και 5 msa για τις διάφορες τιμές CBR.

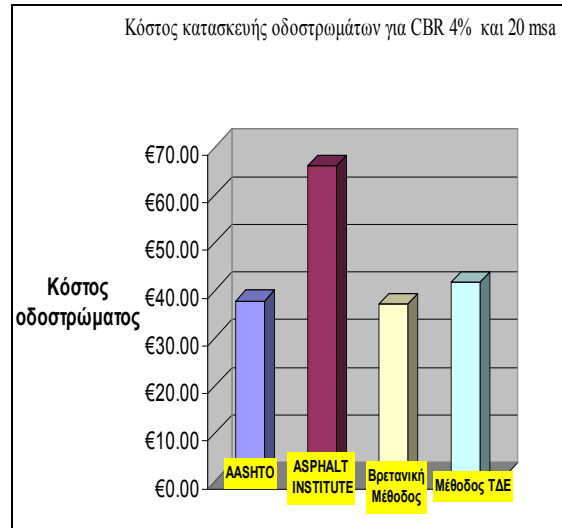
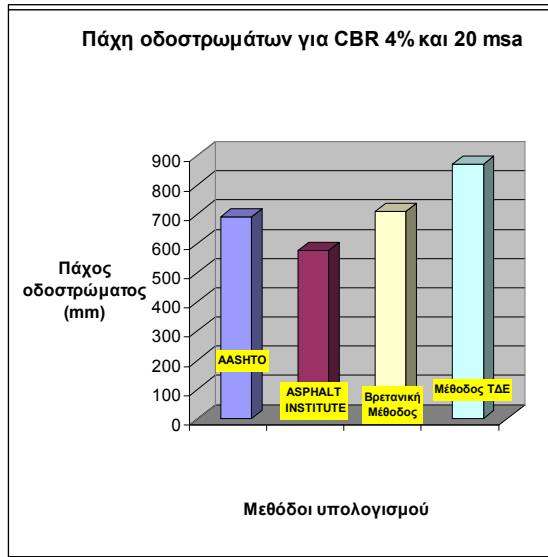
Πίνακας 5. 4: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο 1 msa

Μέθοδος CB R Εδάφους	AASHTO	ASPHALT INSTITUTE	Βρετανική Μέθοδος	Μέθοδος ΤΔΕ
4%	€31.64	€40.29	€25.37	€31.65
6%	€25.41	€34.74	€23.40	€23.12
11%	€14.63	€27.34	€22,81	€17.10

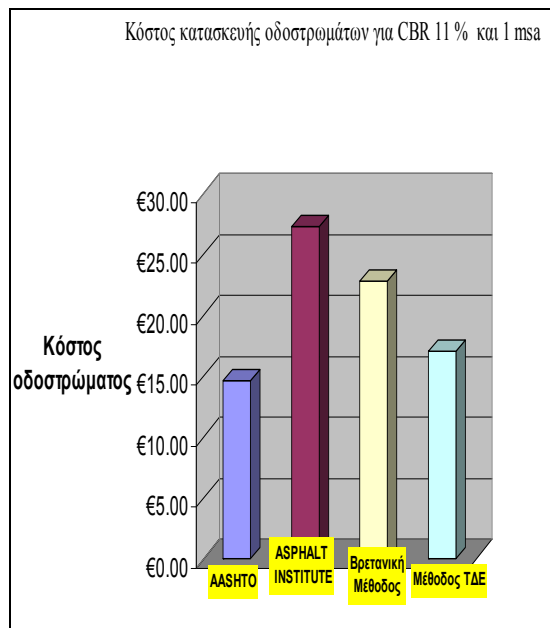
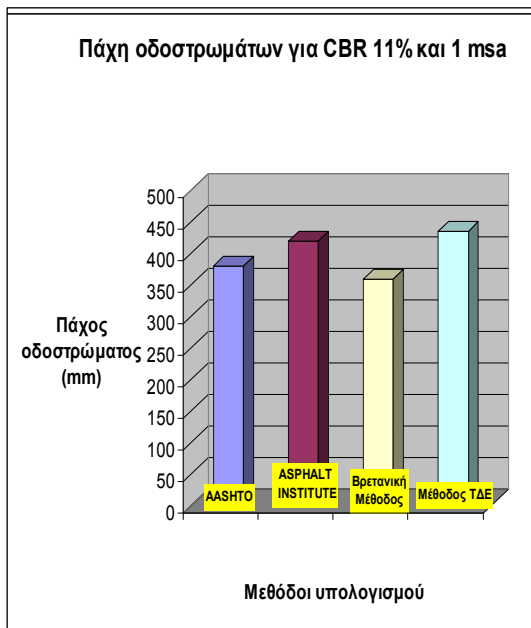
Πίνακας 5. 5: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο 20 msa

Μέθοδος CB R Εδάφους	AASHTO	ASPHALT INSTITUTE	Βρετανική Μέθοδος	Μέθοδος ΤΔΕ
4%	€37,80	€66.18	€37.23	€41.67
6%	€28,05	€64.33	€35.26	€40,48
11%	€18,78	€62,47	€34.68	€38.35

Συγκρίνοντας γραφικά τα πιο πάνω αποτελέσματα φαίνεται που και πως διαφοροποιούνται τα υπολογισμένα οδοστρώματα με βάση το κόστος κατασκευής τους. Με άλλα λόγια συγκρίνοντας τα συνολικά πάχη που προέκυψαν από κάθε μέθοδο ξεχωριστά, με το συνολικό κόστος κατασκευής τους, φαίνεται ότι τα οδοστρώματα με το μεγαλύτερο πάχος, δεν είναι απαραίτητα και τα πιο ακριβά. Αυτό εξαρτάται από το πάχος της κάθε στρώσης, ιδιαίτερα το πάχος των στρώσεων που πρόκειται να κατασκευαστούν με συγκριτικά ακριβότερα υλικά. Στα συγκριτικά διαγράμματα που ακολουθούν, (σχήμα 5.7 και 5.8), δίνεται μια εικόνα αυτής της σύγκρισης.

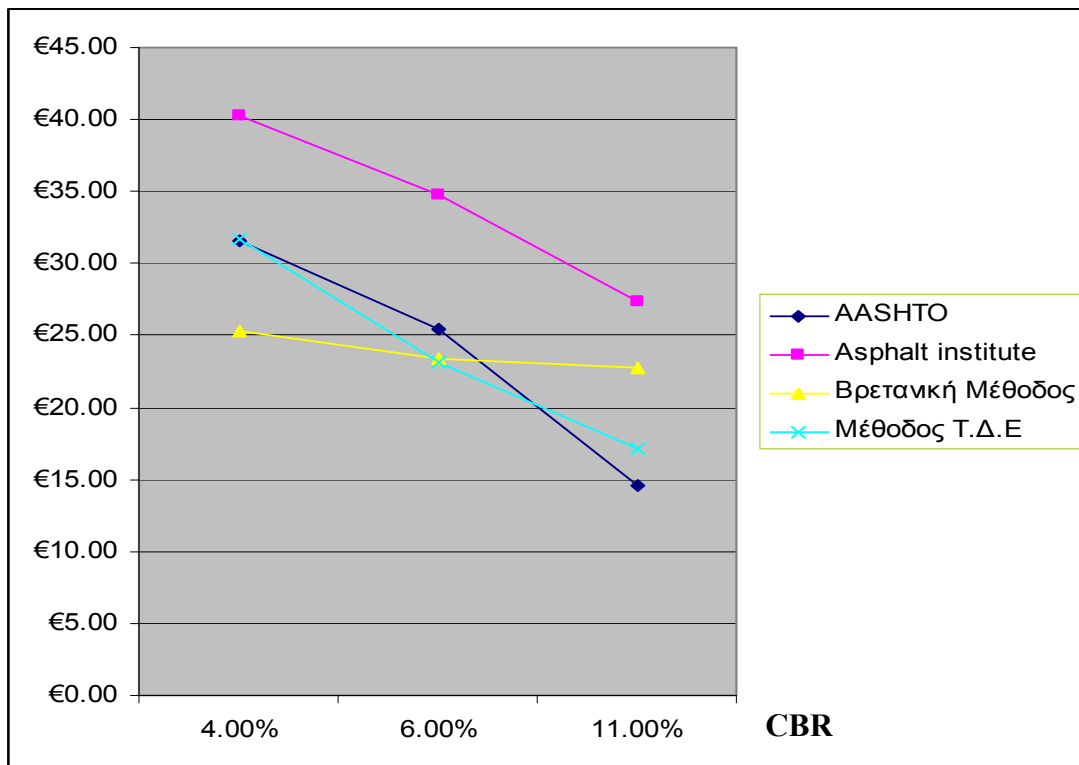


Σχήμα 5. 7: Σύγκριση υπολογιζόμενου πάχους και κόστους οδοστρωμάτων με CBR 4% και φόρτο 20 msa.

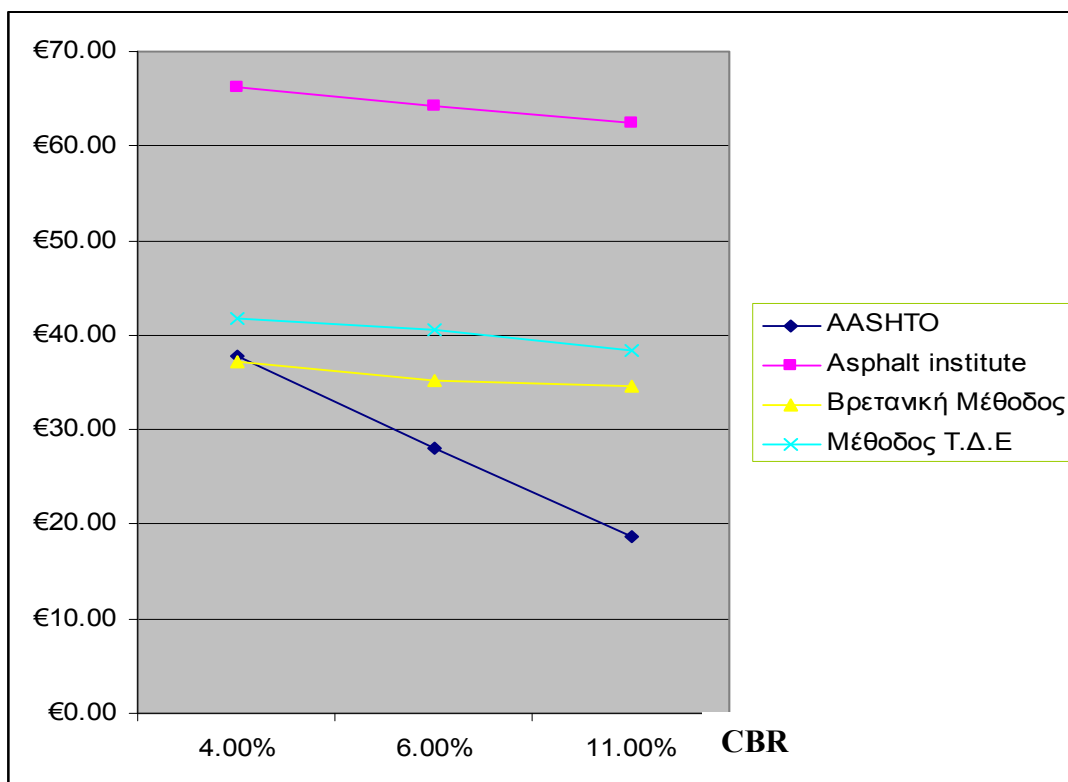


Σχήμα 5. 8: Σύγκριση υπολογιζόμενου πάχους και κόστους οδοστρωμάτων με CBR 11% και φόρτο 1 msa.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η σύγκριση των μεθόδων μεταξύ τους για να διαπιστωθεί ποιες μέθοδοι δίνουν ακριβότερα οδοστρώματα και ποιες φθηνότερα. Στα διαγράμματα 5.9 και 5.10, φαίνεται πως διαφοροποιούνται οι μέθοδοι μεταξύ τους σε σχέση με το κόστος του οδοστρώματος.



Σχήμα 5. 9: Συγκριτικό διάγραμμα κόστους προτεινόμενων οδοστρωμάτων για 1msa



Σχήμα 5. 10: Συγκριτικό διάγραμμα κόστους προτεινόμενων οδοστρωμάτων για 20msa.

5.5 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Σκοπός της διαστασιολόγησης είναι ο υπολογισμός του πάχους που πρέπει να έχει η κάθε στρώση και κατά συνέπεια το συνολικό πάχος που πρέπει να έχει το οδόστρωμα, ούτως ώστε τα προβλεπόμενα φορτία από την κυκλοφορία των οχημάτων στην επιφάνεια του δρόμου να παραληφθούν και να μεταφερθούν στο υπέδαφος, χωρίς ανεπιθύμητες συνέπειες στη δομή και στην λειτουργία του οδοστρώματος. Ο Μηχανικός που σχεδιάζει το οδόστρωμα έχει ως στόχο να βρει το συνδυασμό εκείνο, που θα επιτελεί αυτό το σκοπό με επιτυχία, αλλά ταυτόχρονα δεν θα ξεφεύγει από τα λογικά για το είδος της κατασκευής κόστος. Αυτό σημαίνει ότι προσπάθεια του είναι να υπολογίσει τα πάχη εκείνα που θα είναι μικρότερα συγκριτικά για τις στρώσεις που αποτελούνται από τα ακριβά υλικά (επιφανειακή στρώση και βάση) και μεγαλύτερα για εκείνες που θα αποτελούνται από φθηνότερα σχετικά υλικά. Ταυτόχρονα, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιεί θα πρέπει να γνωρίζει τα ελάχιστα πάχη τα οποία πρέπει να ικανοποιούν οι στρώσεις του και να τα εφαρμόζει. Τέλος πρέπει να έχει στο μυαλό του ότι ο τελικός σχεδιασμός που θα κάνει δεν πρέπει να δημιουργεί δυσκολίες στο στάδιο της κατασκευής. Τα προτεινόμενα πάχη πρέπει να είναι λογικά και να μπορούν να κατασκευαστούν και να συμπιεστούν με ευκολία για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τα οδοστρώματα που προέκυψαν με τη χρήση των τεσσάρων μεθόδων, υπολογίστηκαν με βάση τους πιο πάνω περιορισμούς και στόχους. Όπως εύκολα φαίνεται όμως, τα προτεινόμενα πάχη διαφέρουν μεταξύ τους. Παρόλο που τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε όλες τα ίδια, εντούτοις τα προτεινόμενα οδοστρώματα διαφοροποιούνται από μέθοδο σε μέθοδο, ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο και τη φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος. Συγκεκριμένα μπορεί να λεχθεί ότι:

- 1) Όπως αναμενόταν όλες οι μέθοδοι δίνουν μεγαλύτερα πάχη στρώσεων με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου.
- 2) Για τον ίδιο κυκλοφοριακό φόρτο τα πάχη των στρώσεων μειώνονται με την αύξηση του CBR.
- 3) Στις περιπτώσεις που το CBR εδάφους είναι μικρό, (4%) οι μέθοδοι που δεν χρησιμοποιούν εξυγιαντική στρώση (AASHTO και ASPHALT INSTITUTE),

υπολογίζουν μεγαλύτερα πάχη για τις στρώσεις που έχουν μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα-αντοχή (επιφανειακή στρώση, βάση) από αυτές που χρησιμοποιούν εξυγιαντική στρώση. Αυτό σημαίνει ότι παρόλο που το συνολικό πάχος είναι μικρότερο από αυτό που προκύπτει στις δύο άλλες μεθόδους, (Βρετανική μέθοδο και τη μέθοδο του ΤΔΕ), το κόστος του τελικού οδοστρώματος πιθανόν να είναι μεγαλύτερο.

- 4) Όπως φαίνεται και από τα γραφική σύγκριση των μεθόδων, η μέθοδος του Τμήματος Δημοσίων Έργων τείνει να δίνει μεγαλύτερα πάχη από τις υπόλοιπες μεθόδους ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που υπάρχει χαμηλό CBR εδάφους, ή μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι οι κλιματολογικές συνθήκες της Κύπρου είναι διαφορετικές από αυτές των άλλων χωρών. Όπως έχει ήδη λεχθεί οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το οδόστρωμα και αυτό λαμβάνεται υπόψη στη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται από την κάθε μέθοδο. Στην Κύπρο, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στη συμπεριφορά υφιστάμενων οδοστρωμάτων και σίγουρα ο παράγοντας αυτός λήφθηκε υπόψη.
- 5) Παρόλο που στους υπολογισμούς έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν τα ίδια υλικά στη δομή των στρώσεων, πιθανόν κάποιοι άλλοι συνδυασμοί υλικών να έδιναν για κάποιες μεθόδους μικρότερα πάχη οδοστρώματος. Αυτό φαίνεται στην περίπτωση της μεθόδου του Asphalt Institute, όπου για τις περιπτώσεις που ο κυκλοφοριακός φόρτος ήταν μεγάλος, έγινε ο υπολογισμός του οδοστρώματος από ψυχρό ασφαλτόμιγμα με επιφανειακή επίστρωση δίνοντας μικρότερο πάχος από αυτό που θα αναμενόταν. Στη διαδικασία σχεδιασμού αυτό χρειάζεται να εξεταστεί σε σχέση με το κόστος που θα έχει μια τέτοια κατασκευή οδοστρώματος, καθώς επίσης και από τα διαθέσιμα υλικά που μπορεί να χρησιμοποιηθούν.
- 6) Με τη διεξαγωγή της σύγκρισης κόστους κατασκευής των οδοστρωμάτων διαπιστώθηκε, όπως άλλωστε αναμενόταν, ότι τα μεγαλύτερα σε πάχος οδοστρώματα, δεν είναι απαραίτητα και τα πιο ακριβά. Αυτό που καθορίζει το πόσο ακριβό θα είναι ένα οδόστρωμα, είναι όχι απλά το αν είναι μεγαλύτερες σε πάχος οι στρώσεις του, αλλά το ποιες στρώσεις είναι αυτές που έχουν μεγαλύτερο πάχος.

- 7) Με βάση τη γενική σύγκριση κόστους των εναλλακτικών λύσεων που προτείνονται για το υπό μελέτη οδόστρωμα, διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος του Asphalt Institute, για στρώσεις με τη συγκεκριμένη σύσταση (υπόβαση και βάση από ασύνδετα αδρανή και ασφαλική επιφανειακή στρώση), τείνει να δίνει ακριβότερα οδοστρώματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος καθορίζει ότι οι στρώσεις από αδρανή θα έχουν πάχος 300mm και ανάλογα μεταβάλλεται το πάχος της επιφανειακής στρώσης, η οποία σε περίπτωση που έχει μεγάλο πάχος αυξάνει το κόστος του προτεινόμενου οδοστρώματος.
- 8) Ταυτόχρονα όπως παρατηρείται από όλες τις μεθόδους το κόστος μειώνεται με την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους (CBR).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Τελικά συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης και την ανάλυση της διαδικασίας και των διαφόρων μεθοδολογιών που ακολουθούνται με σκοπό τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος, μπορούν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα. Με τις γνώσεις που αποκτήθηκαν σε ότι αφορά τις παραμέτρους που πρέπει να είναι γνωστές ή να μελετώνται πριν την τελική διαστασιολόγηση του οδοστρώματος μπορούμε να αντιληφθούμε ότι παρόλο που η βασική γεωμετρία του οδοστρώματος είναι απλή όλα τα άλλα δεν είναι.

6.1 Γενικά συμπεράσματα μελέτης

- Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό του οδοστρώματος (φέρουσα ικανότητα εδάφους, κυκλοφοριακός φόρτος, κλιματολογικές συνθήκες και διαθέσιμα υλικά), εφαρμόζονται σε όλες τις μεθοδολογίες σχεδιασμού, με τις ανάλογες τροποποιήσεις είτε άμεσα λόγω των παραμέτρων που απαιτούνται να χρησιμοποιηθούν είτε έμμεσα μέσω των νομογραφημάτων που εφαρμόζονται.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει εξαιτίας της ποικιλίας των οχημάτων, των φορτίων, του χρόνου εφαρμογής (διαφορετικός από μέρα σε μέρα, από εποχή σε εποχή και στη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος) και της διάρκειας εφαρμογής στο οδόστρωμα, απλοποιείται με τη μετατροπή του σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σχεδόν από όλες τις μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν μέχρι σήμερα.
- Η ανταπόκριση των υλικών που χρησιμοποιούνται στη δομή του οδοστρώματος, απέναντι στα φορτία από την κυκλοφορία των οχημάτων, γίνεται με πολύπλοκους τρόπους και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος της τάσης που αναπτύσσεται στο υλικό, από τη θερμοκρασία, από την υγρασία, από το χρόνο κλπ. Αυτό κάνει ιδιαίτερα δύσκολη την απόφαση για το είδος των υλικών ή των μιγμάτων υλικών που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε στρώση.

- Η φέρουσα ικανότητα του εδάφους στο οποίο πρόκειται να εδραστεί το οδόστρωμα είναι επίσης μια πολύ σημαντική παράμετρος η οποία χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Πρέπει να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα ούτως ώστε να μη υπάρχει μεταβολή της κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής του οδοστρώματος.
- Νοούμενου ότι ο υπολογισμός του πάχους του οδοστρώματος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας πάρα πολλούς συνδυασμούς υλικών σε κάθε στρώση , ο τελικός σχεδιασμός πρέπει να γίνεται με γνώμονα την επιλογή μιας οικονομικής και ταυτόχρονα αποδοτικής λύσης για το σκοπό για τον οποίο προορίζεται.

6.2 Συμπεράσματα σύγκρισης μεθόδων

- Τα αποτελέσματα των υπολογισμών από μέθοδο σε μέθοδο διαφοροποιούνται ανάλογα με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται.
- Η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρου έχει ως συνέπεια την αύξηση του πάχους του οδοστρώματος.
- Αύξηση του CBR εδάφους, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους του οδοστρώματος για τον ίδιο κυκλοφοριακό φόρτο.
- Η μέθοδος του Τμήματος Δημοσίων Έργων τείνει να δίνει τα μεγαλύτερα συνολικά πάχη. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πιο συντηρητική από τις τέσσερις που εξετάστηκαν. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη διαφοροποίηση των κλιματολογικών συνθηκών.
- Οι συνδυασμοί των υλικών και των στρώσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι πολλοί και μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τα διαθέσιμα υλικά.
- Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του οδοστρώματος, χρειάζεται να γίνει μια ανάλυση κόστους των πιθανών σεναρίων για τη τελική δομή του οδοστρώματος με στόχο την επιλογή της ιδανικής λύσης σχεδιασμού.

- Με την ανάλυση κόστους και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μπορεί να αποφασισθεί ποια προτεινόμενη λύση οδοστρώματος είναι η ιδανική για την περίπτωση που μελετάται.
- Με την αύξηση του CBR εδάφους, το κόστος κατασκευής του οδοστρώματος ανεξαρτήτως μεθόδου μειώνεται.
- Οι μέθοδοι που δεν υπολογίζουν εξυγιαντική στρώση τείνουν να δίνουν οδοστρώματα που σε κόστος είναι μεγαλύτερα από αυτά που έχουν εξυγιαντική στρώση.
- Η μέθοδος του Ινστιτούτου Ασφάλτου τείνει να υπολογίζει οδοστρώματα με ψηλότερο κόστος κατασκευής από τις υπόλοιπες μεθόδους.

6.3 Προοπτικές περαιτέρω έρευνας

Για την επίτευξη της ακριβέστερης ανάλυσης των μηχανισμών που επηρεάζουν το σχεδιασμό του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής του, και την δημιουργία μιας θεμελιώδους μεθοδολογίας σχεδιασμού, χρειάζεται να γίνουν περισσότερες προσπάθειες μελέτης και έρευνας πάνω στο θέμα αυτό. Τέτοια θέματα που πιθανόν να χρειάζεται μελλοντικά να ενσωματωθούν στις μεθοδολογίες σχεδιασμού είναι:

- Αλλαγές στη κατασκευή και στα υλικά που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του οδοστρώματος όπως είναι για παράδειγμα η γήρανση της ασφάλτου.
- Πιο λεπτομερή δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη διαφορετικούς άξονες, φορτία κλπ.
- Αλλοιώσεις στη δομή του οδοστρώματος πέραν των γνωστών φθορών που λαμβάνονται υπόψη στο παρόν στάδιο. Τέτοιες καταστάσεις θα μπορούσε να είναι:
 - i. Ρωγμές που ξεκινούν από την επιφάνεια του οδοστρώματος
 - ii. Φθορές λόγω ελαστικών.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Αθ. Φ. Νικολαΐδης, 1996. Οδοποιία οδοστρώματα –υλικά , έλεγχος Ποιότητας
2. Yang H. Huang, 2004. Pavement analysis and design, second edition
3. Ιωάννης Δ. Κόφιτσας, 1997 Στοιχεία οδοστρωμάτων
4. Ιδιότητες Ασφάλτου 50/70 και Τροποποιημένης Ασφάλτου με SBS-2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005
5. Highways Agency et al. Design Manual for Roads and Bridges. Pavement design and maintenance, November 2006
6. Κόλιας, Α. Λοΐζος, 1992. «Σημειώσεις Οδοστρωμάτων»
7. Tom V. Mathew and K. V. Krishna Rao, 2006. Introduction to Transportation Engineering.
8. Α Σ. Κόλιας - Μ. Κατσάκου, 2006. Οδοστρώματα με στρώσεις από κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες αδρανή ή εδαφικά υλικά..
9. Τσώχος Γ. , 1984. Οδοποιία, Τόμος Γ΄, Τεύχος 1, Η μελέτη των οδοστρωμάτων
10. AASHTO 1993, “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C
11. Asphalt-Institute. (1991). *Thickness Design - Asphalt Pavements for Highways and Streets. Manual Series No.1 (MS-1)*, Asphalt Institute, Lexington, KY.
12. Highways Agency, 2006. Design Manual For Roads and Bridges
13. Fourth Highway Project Pavement & Bridge Design Study, 1989. Pavement Design Manual
14. Τεχνικές Προδιαγραφές Τμήματος Δημοσίων Έργων ,Τόμος Γ. 2005.
15. Μ. Καββαδάς 2005. Στοιχεία Εδαφομηχανικής, (Φυσικά Χαρακτηριστικά των Εδαφών) Έκδοση Ε.Μ.Πολυτεχνίου

16. Martin Rogers 2003, Highway Engineering
17. OEMK Εγχειρίδιο ελέγχων οδοστρωμάτων
http://www.hellaskps.gr/min_requirements/docs/PE5/BKataskeves/OEMK-B-9.0.htm
18. Ε.ΒΙ.ΠΑΡ: Εταιρεία Έρευνας και Ανάπτυξης Εφαρμογών Βιομηχανικών Παραπροϊόντων <http://www.evipar.org/files/OdoYpologismos.pdf>
19. WSDOT. Pavement Guide <http://guides.ce.washington.edu/uw/wsdot>
20. Pavement Design Manual 1997. Alberta Transportation and Utilities, Edition1.
21. Ustudy. Educational Portal for Polytechnic Students.
<http://www.ustudy.in/node/8223>
22. Flexible pavement distresses -<http://training.ce.washington.edu/wsdot/>
23. Ε.Α Εγνατία Οδός. Οδηγός δαστασιολόγησης οδοστρώματος.
www.odo-lexis.gr/text1.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

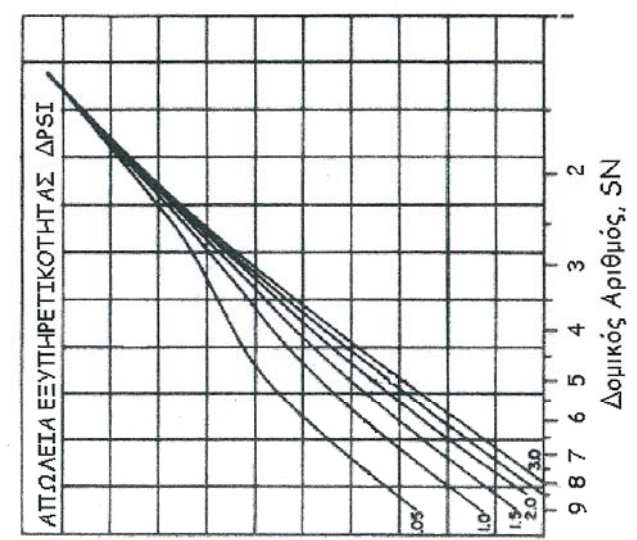
$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{1.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(Mr) - 8.07$$

Μέτρο επανάκτησης υπερέφους Mr, (x1000 psi)

Συνολικός αριθμός ITA, εκατομμύρια

Αξιοπιστία R (%)

Τυπική Απόκλιση, So



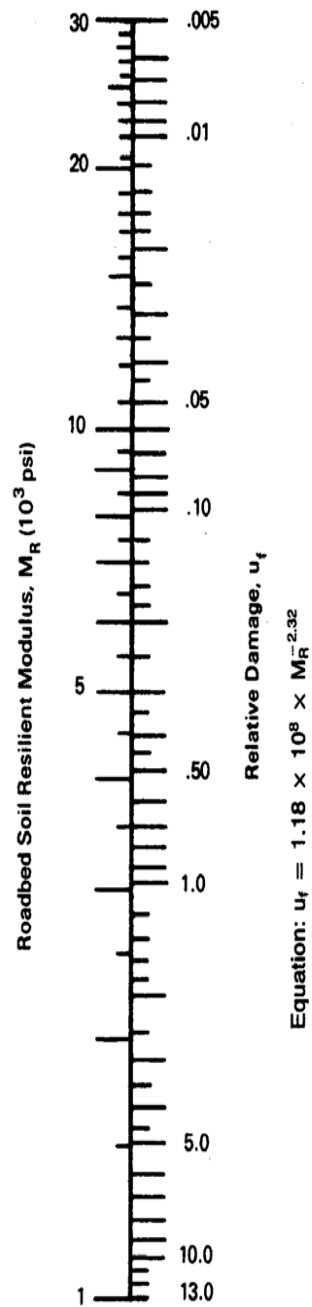
ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Σχήμα Α. 1: Νομογράφημα υπολογισμού δομικού αριθμού στρώσης και οδοστρώματος.

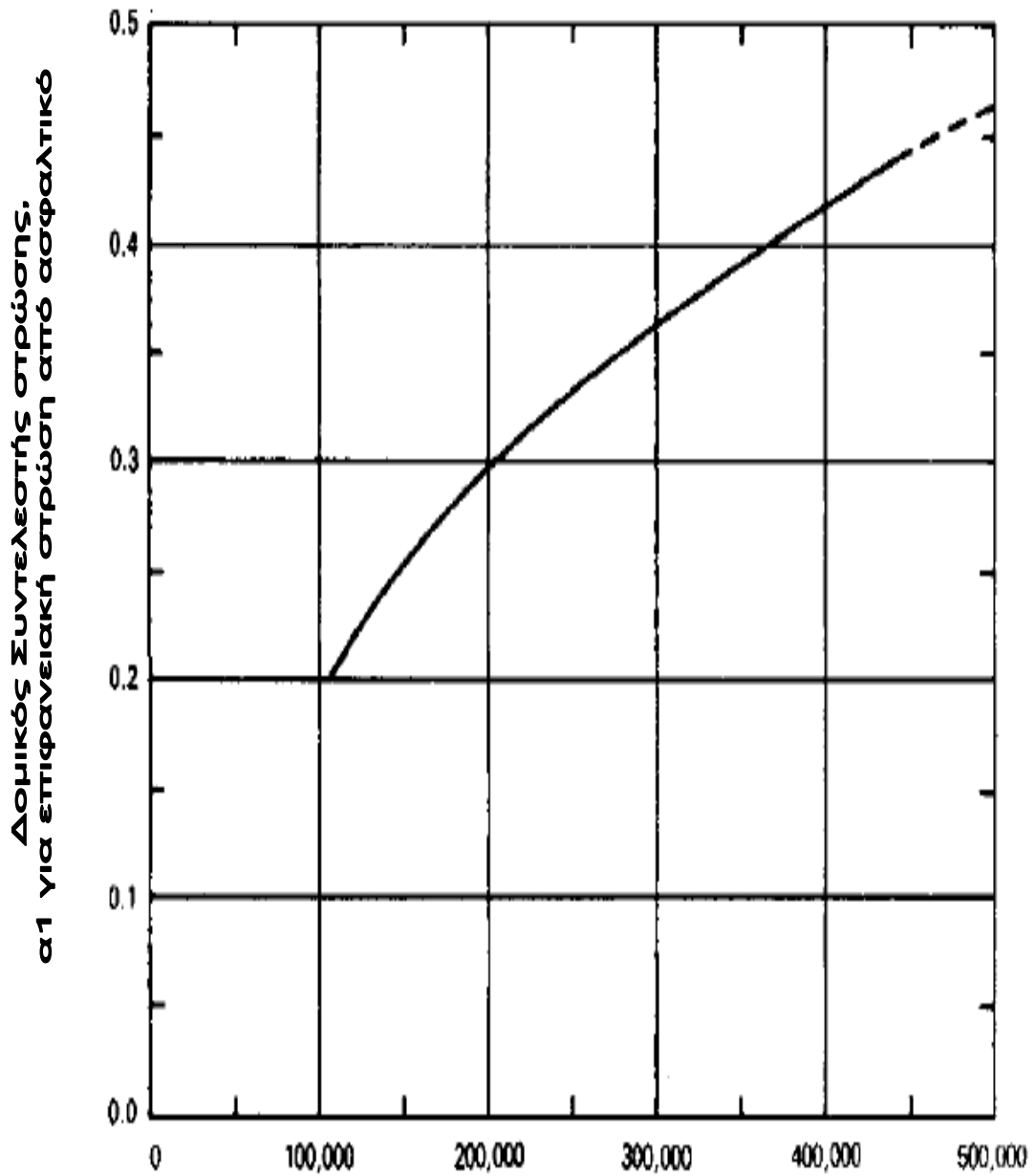
Month	Roadbed Soil Modulus, M_R (psi)	Relative Damage, u_f
Jan.		
Feb.		
Mar.		
Apr.		
May		
June		
July		
Aug.		
Sept.		
Oct.		
Nov.		
Dec.		
Summation: $\Sigma u_f =$		

Average: $\bar{u}_f = \frac{\Sigma u_f}{n} = \underline{\hspace{2cm}}$

Effective Roadbed Soil Resilient Modulus, M_R (psi) = $\underline{\hspace{2cm}}$ (corresponds to \bar{u}_f)

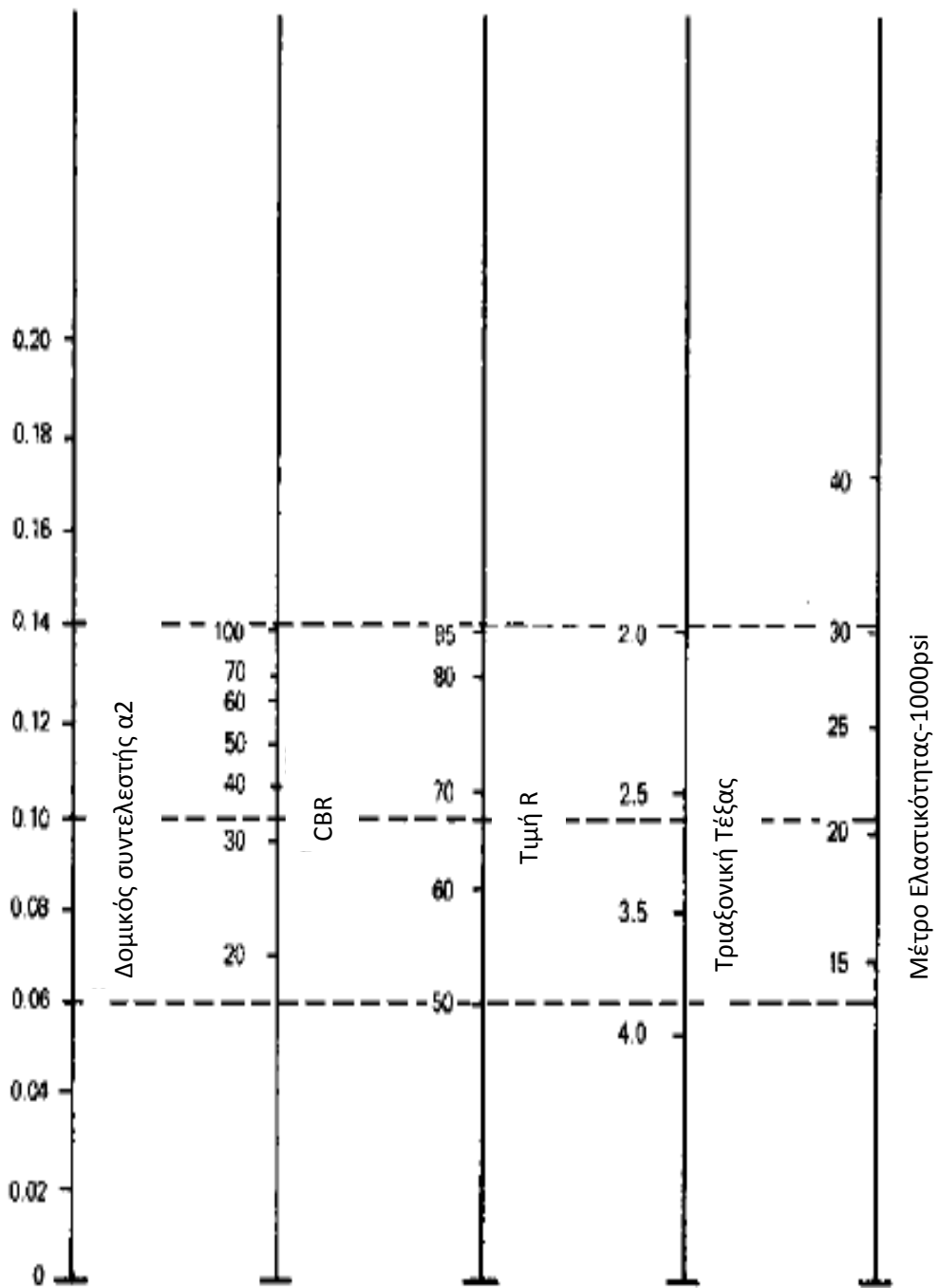


Σχήμα Α. 2: Διάγραμμα υπολογισμού M_R

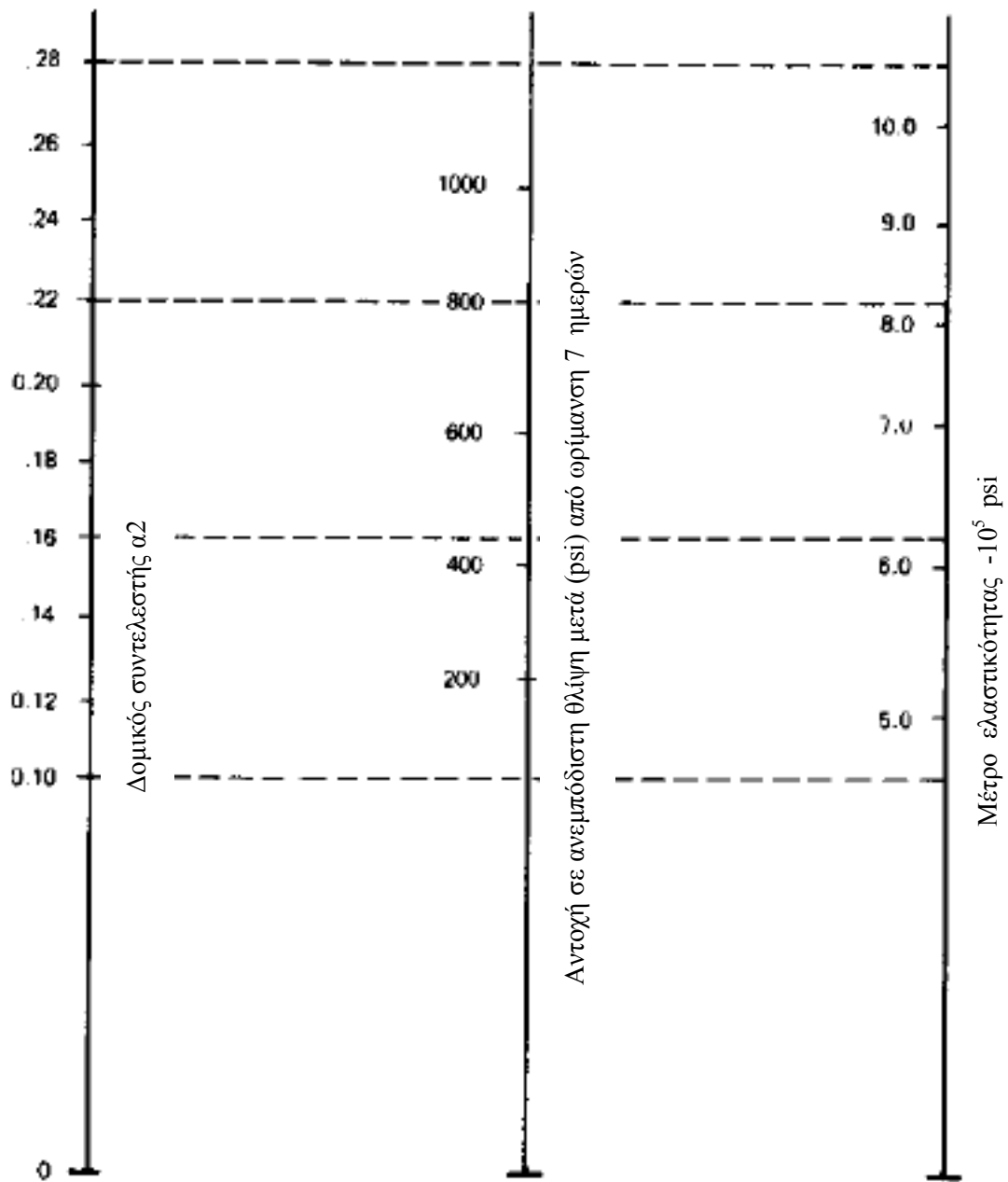


Μέτρο Ελαστικότητας Ασφατικού σκυροδέματος

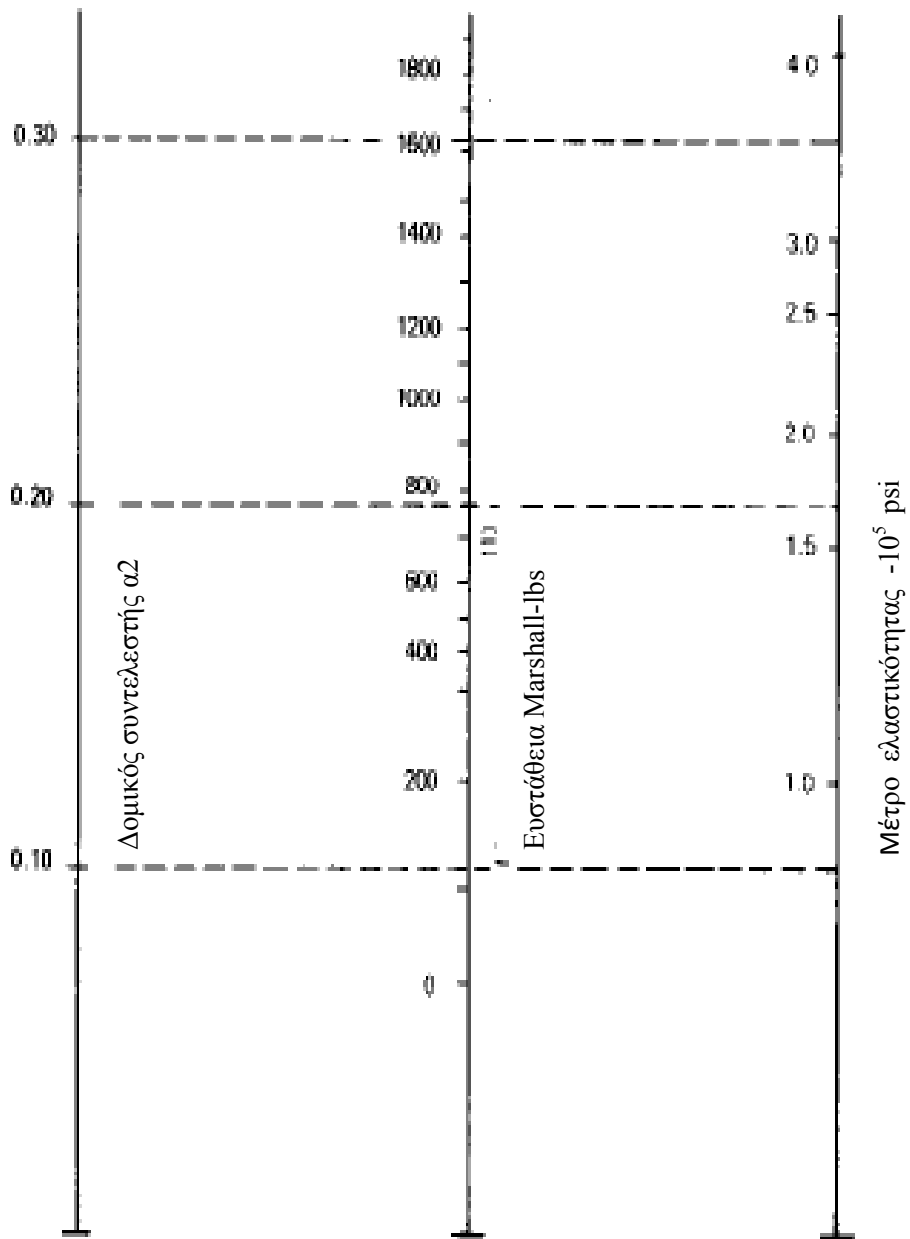
Σχήμα Α. 3: Συντελεστής στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα (α_1)



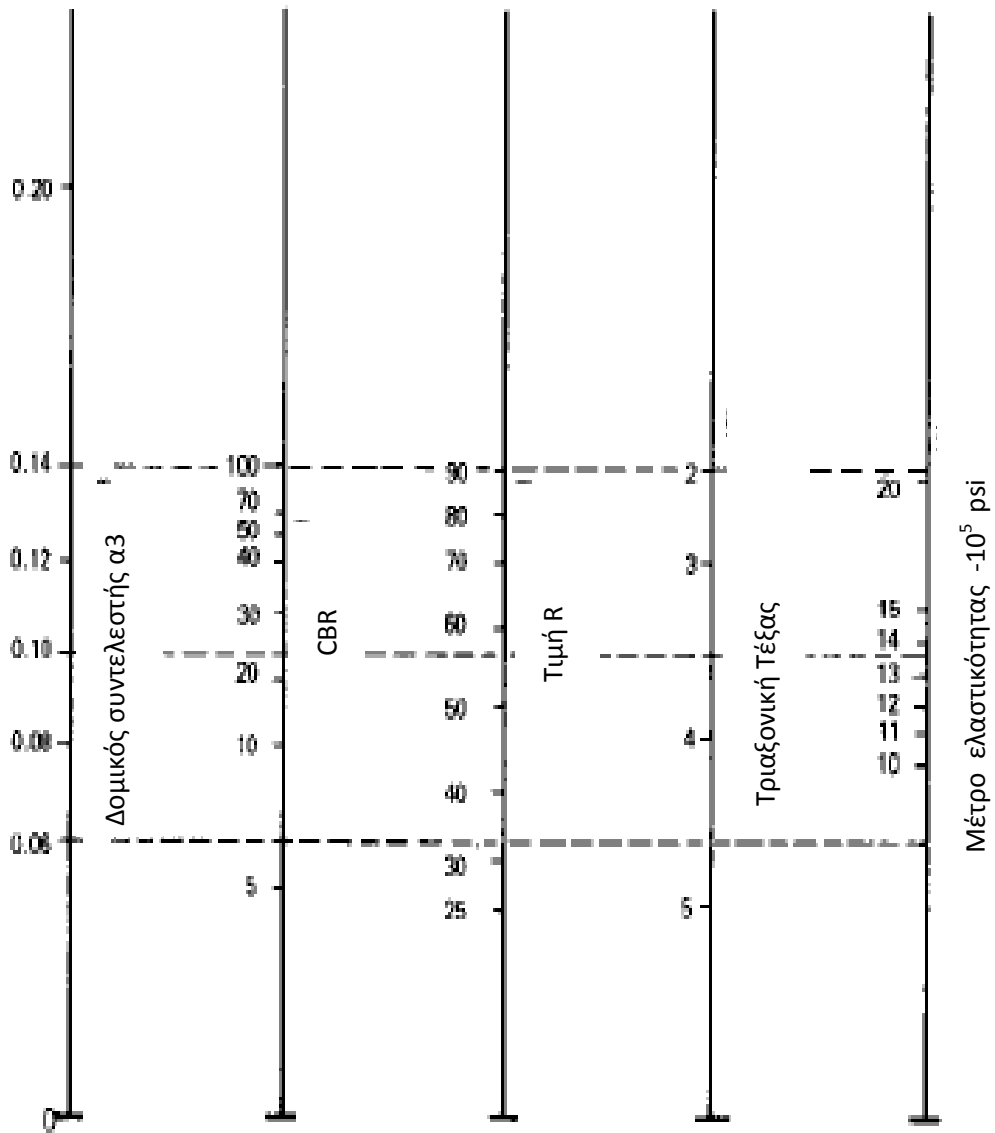
Σχήμα Α. 4: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2)



Σχήμα Α. 5: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχύο σκυρόδεμα (α_2)



Σχήμα Α. 6: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχύο ασφαλτόμιγμα (a_2)

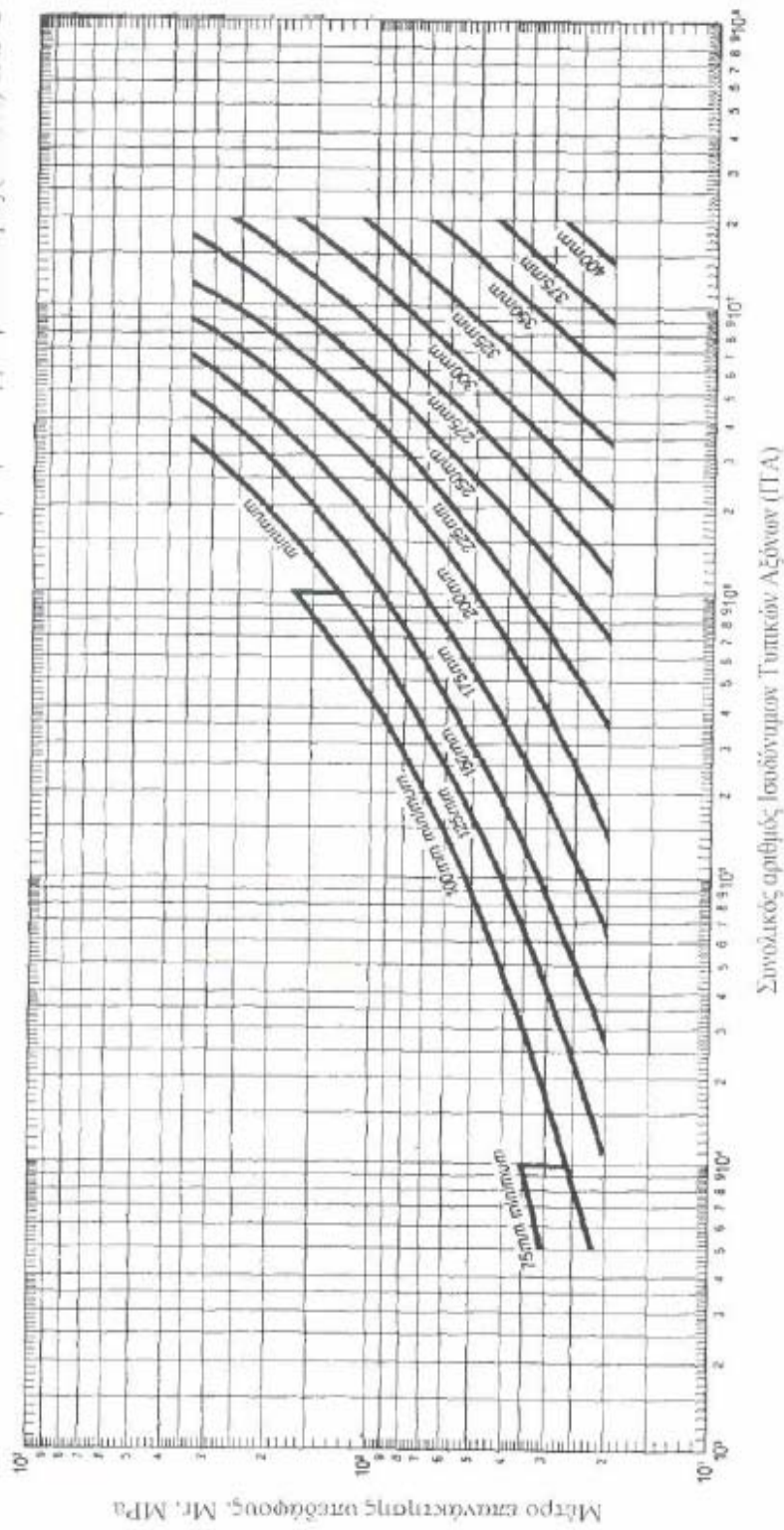


Σχήμα Α. 7. Συντελεστής στρώσεως υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (α₃)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Βάση από ασυνδέτα αδρανή πάχους 150mm

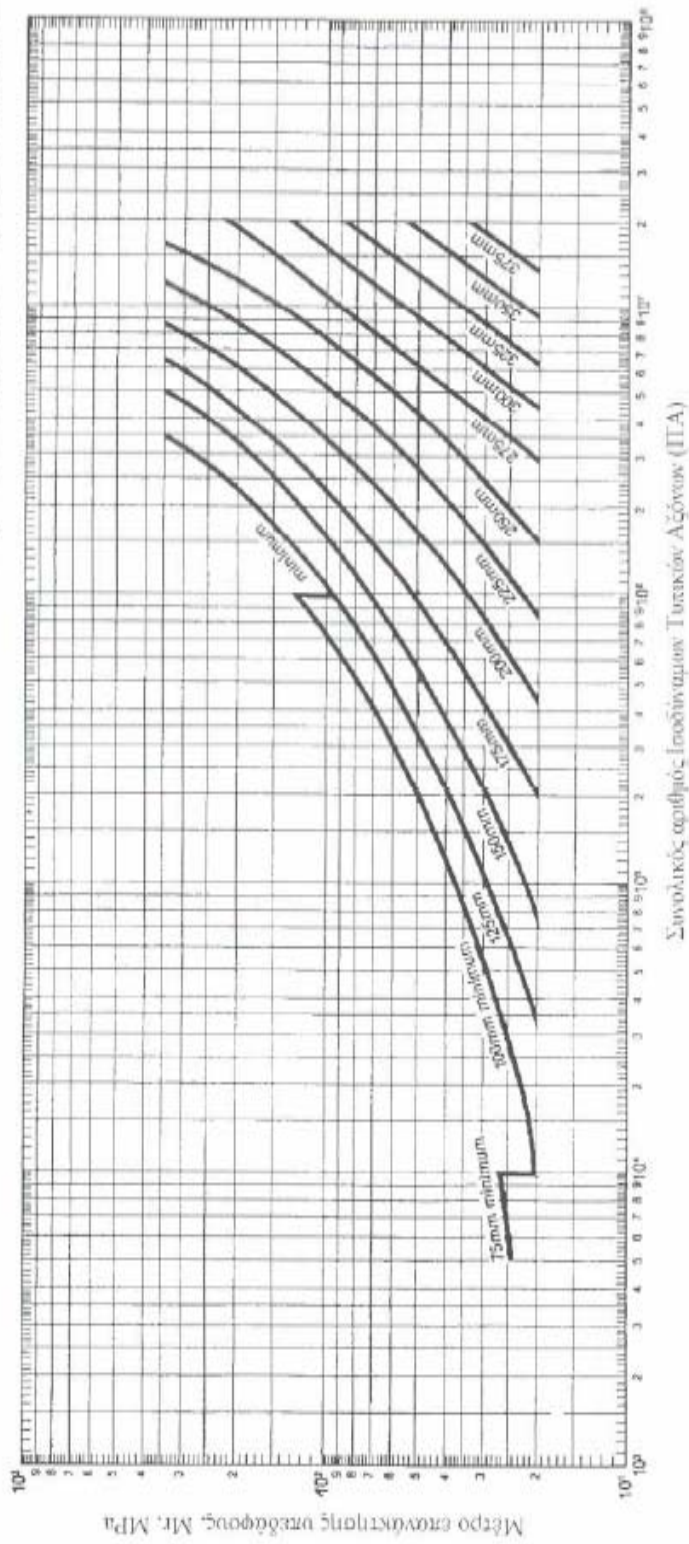
Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρος (ΜΕΘΑ) 15.5°C



Σχήμα Β. 1: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα, για πάχος βάσης 150 mm.

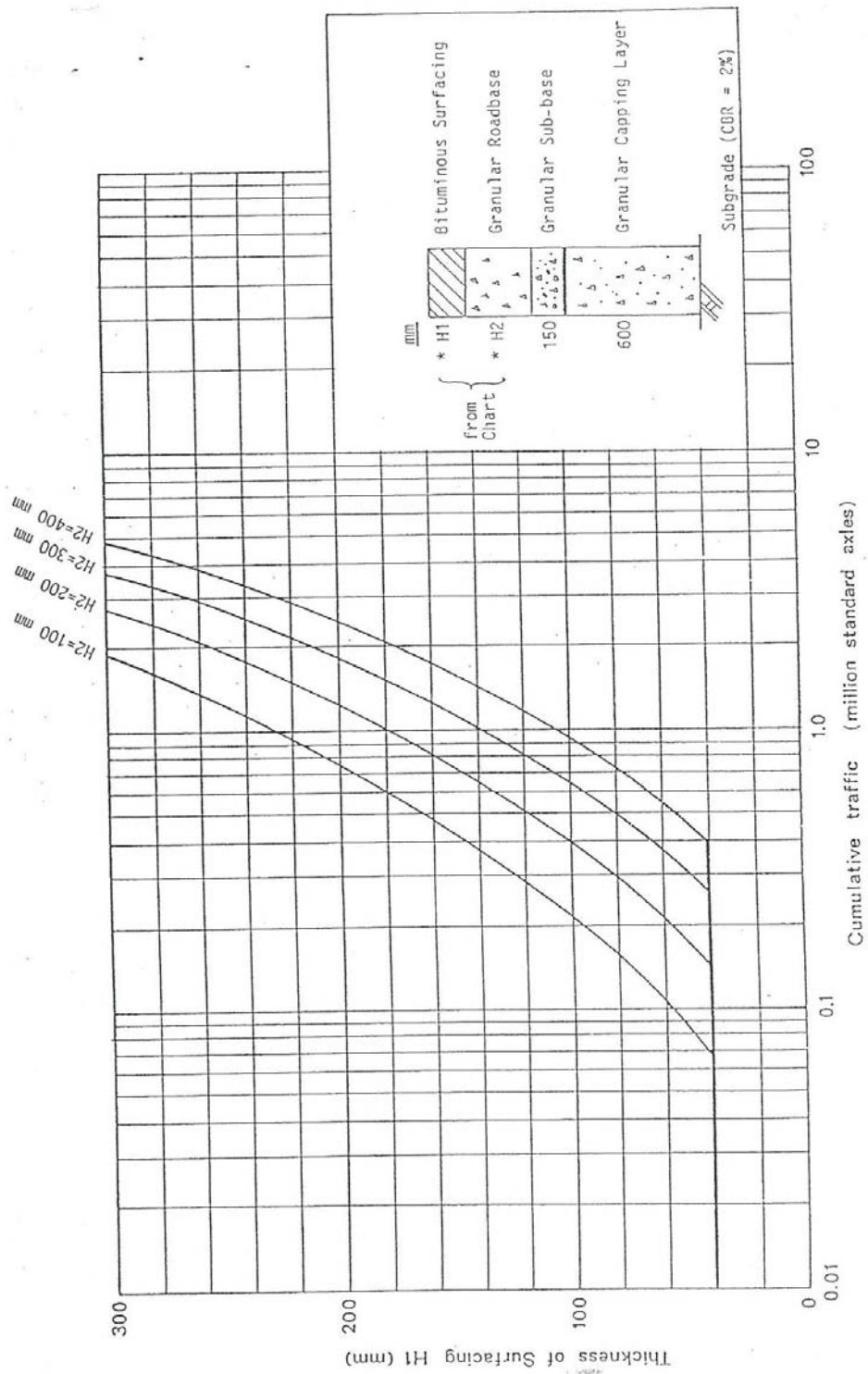
Βάση από ασυνόδετα αδρανή πάχους 300mm

Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρος (ΜΕΘΑ) 15.5°C



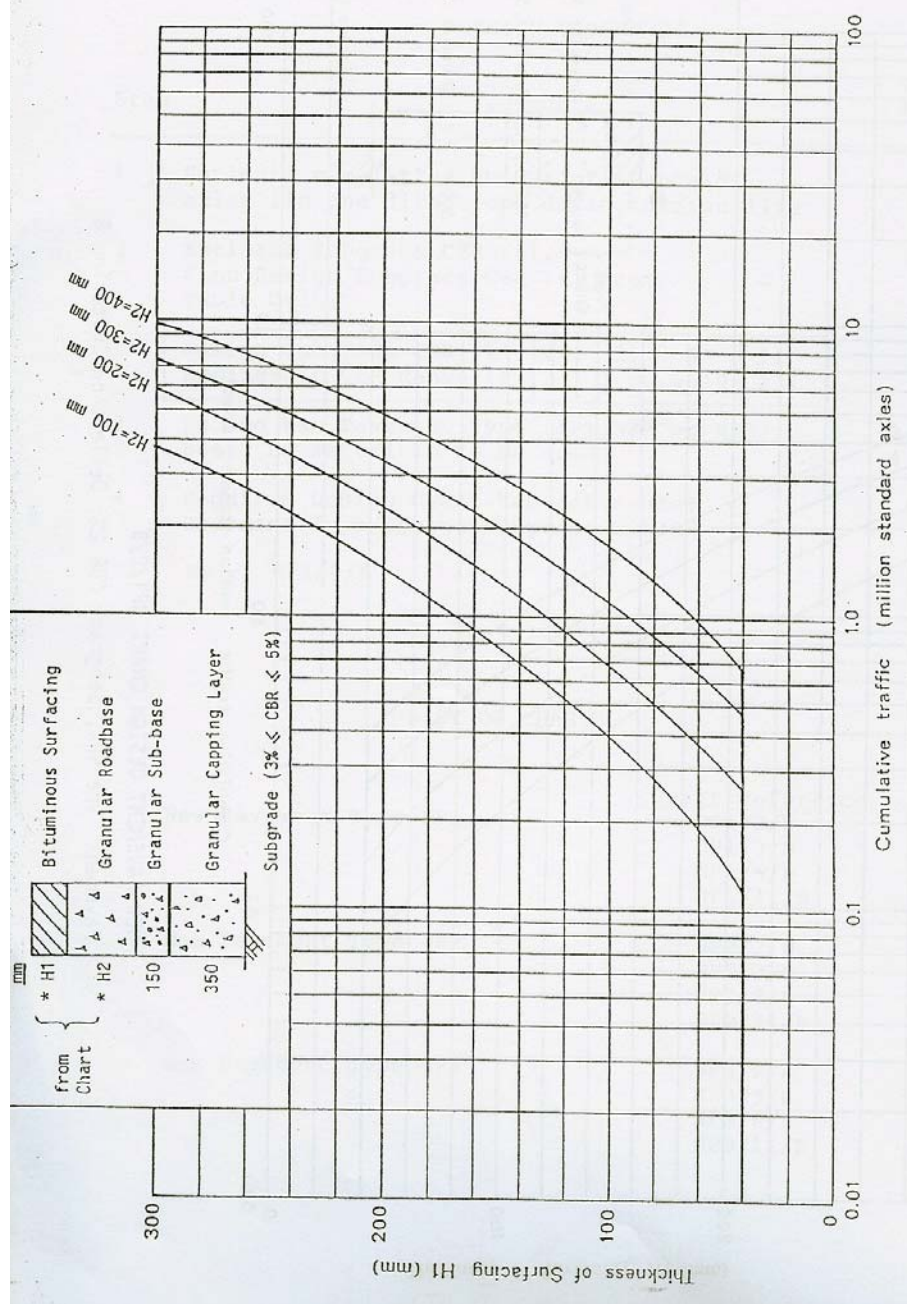
Σχήμα Β. 2: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα για πάχος βάσης 150 mm.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ



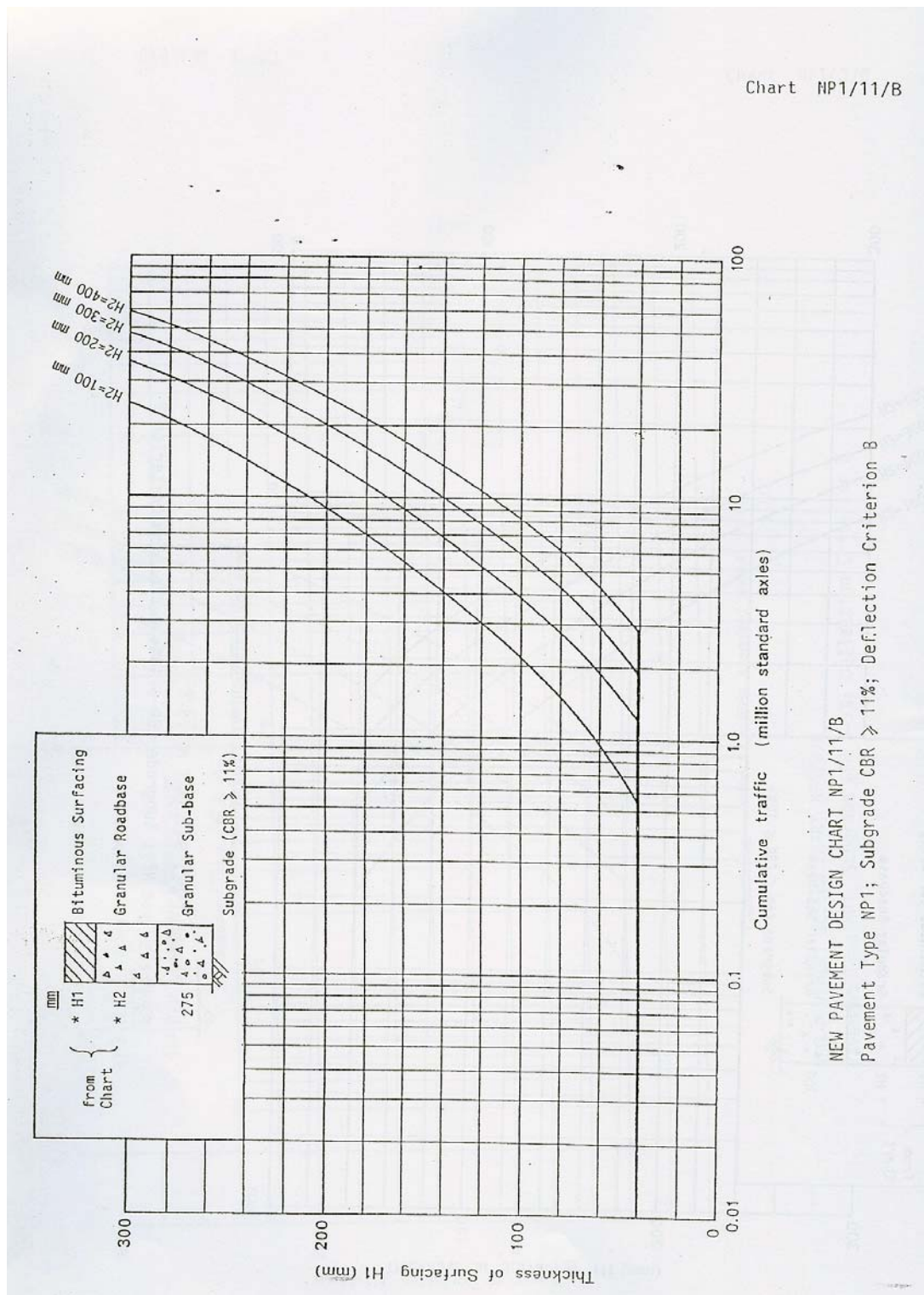
NEW PAVEMENT DESIGN CHART NP1/2/B
 Pavement Type NP1; Subgrade CBR 2%; Deflection Criterion B

Σχήμα Γ. 1 : Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP1 με C.B.R εδάφους 2%.



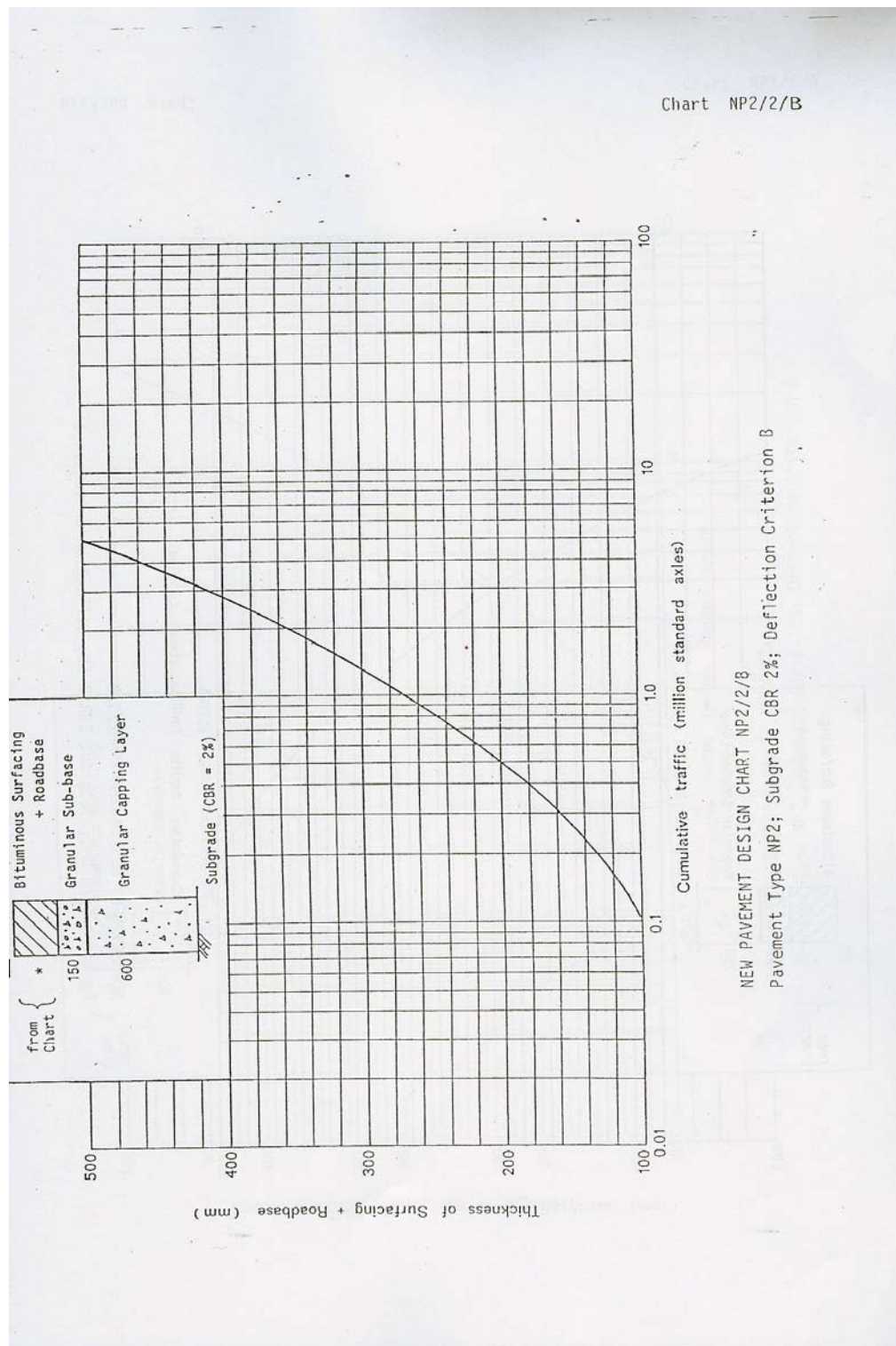
NEW PAVEMENT DESIGN CHART NP1/3/B
 Pavement Type NP1; Subgrade CBR 3-5%; Deflection Criterion B

Σχήμα Γ. 2: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP1 με C.B.R εδάφους 3-5%.

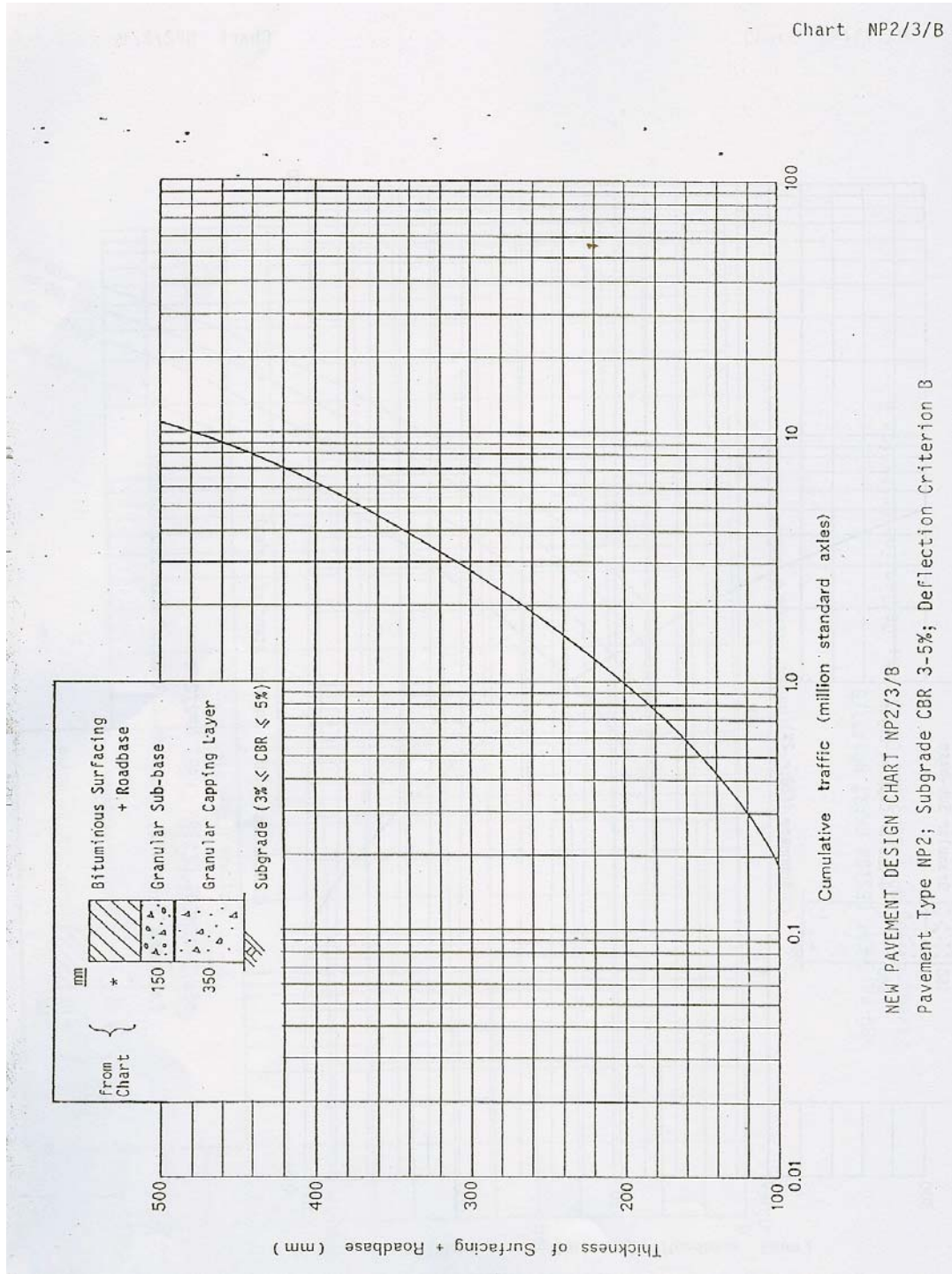


NEW PAVEMENT DESIGN CHART NP1/11/B
 Pavement Type NP1; Subgrade CBR \geq 11%; Deflection Criterion B

Σχήμα Γ. 3: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP1 με C.B.R εδάφους 11%.



Σχήμα Γ. 4: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP2 με C.B.R εδάφους 2%.



NEW PAVEMENT DESIGN CHART NP2/3/B
 Pavement Type NP2; Subgrade CBR 3-5%; Deflection Criterion B

Σχήμα Γ. 5: Νομογράφημα υπολογισμού πάχους οδοστρώματος τύπου NP2 με C.B.R εδάφους 3-5%.

