

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ :
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

των

ΜΠΟΡΙΤΣΙ ΜΙΧΑΗΛ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟ ΓΚΟΥΤΖΟΥΠΑ

ΑΓΓΕΛΟ ΣΤΡΑΤΗ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Κα Νίκη Μπέσκου

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του κλάδου Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. 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 (Asphalt Institute), της Βρετανικής μεθόδου και της μεθόδου CBR. Αρχικά δίνεται μια περιγραφή για την ιστορική αναδρομή και τους τρόπους με τους οποίους οι πρόγονοι μας κατασκεύαζαν τα οδοστρώματα.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες που αφορούν τη δομή και τη λειτουργία ενός εύκαμπτου οδοστρώματος καθώς και τις κατηγορίες των οδοστρωμάτων.

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 περιγράφονται οι ιδιότητες της ασφάλτου και των παραγόμενων ασφαλτομιγμάτων που χρησιμοποιούνται σε εύκαμπτα οδοστρώματα.

Στη συνέχεια στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι παράμετροι που επηρεάζουν τη διαστασιολόγηση και η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται ανεξαρτήτως μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για να σχεδιαστεί το προτεινόμενο οδόστρωμα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων για την κάθε μέθοδο ξεχωριστά.

Στο έκτο κεφάλαιο για τα ίδια δεδομένα υπολογισμού πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση οδοστρωμάτων με τις διάφορες μεθόδους που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και 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.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μια οικονομική ανάλυση και σύγκριση 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 όγδοο 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.....	iii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	ix
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	ix
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	ix
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	x
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	2
1 ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ.....	4
1.1 Γενικά.....	4
1.2 Κατηγορίες οδοστρωμάτων.....	4
1.2.1 Εύκαμπτα οδοστρώματα.....	5
1.2.2 Δύσκαμπτα οδοστρώματα.....	6
1.3 Σύνθεση οδοστρώματος.....	7
1.3.1 Υπέδαφος.....	8
1.3.2 Εξυγιαντική στρώση.....	8
1.3.3 Υπόβαση.....	8

1.3.4 Βάση.....	9
1.3.5 Συνδετική στρώση.....	9
1.3.6 Επιφανειακή στρώση.....	9
1.3.7 Μορφές αστοχίας.....	9
	iv
2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	12
2.1 Κλιματολογικές συνθήκες.....	12
2.1.1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	12
2.1.2 Παγετός.....	13
2.1.3 Βροχόπτωση.....	13
2.2 Κυκλοφοριακός φόρτος.....	14
2.2.1 Γενικά.....	14
2.2.2 Η έννοια του ισοδύναμου τυπικού άξονα.....	16
2.3 Χαρακτηριστικά υπεδάφους.....	17
2.3.1 Γενικές ομάδες εδαφών.....	18
2.3.2 Φέρουσα ικανότητα υπεδάφους.....	18
2.3.3 Καλιφορνιακός δείκτης CBR.....	18
2.3.4 Δοκιμή PROCTOR.....	19
3 Η ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ.....	20
3.1 Γενικά.....	20
3.2 Ασφαλτικά γαλακτώματα.....	20
3.3 Εκτίμηση μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου.....	21
3.4 Ασφαλτομίγματα.....	21
3.4.1 Γενικά.....	21
3.4.2 Μελέτη σύνθεσης ασφαλτομίγματος.....	22
3.4.3 Ελαστικό μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος.....	23
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	24
4.1 Γενικά.....	24
4.2 Σχεδιαστικά κριτήρια.....	24

5	ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	28
5.1	Γενικά.....	28
5.2	Μέθοδος AASHTO.....	28
5.2.1	Σχεδιαστικές παράμετροι.....	29
		v
5.2.2	Κριτήριο απόδοσης οδοστρώματος (εξυπηρετικότητα ή λειτουργικότητα οδοστρώματος (ΔPSI).....	33
5.2.3	Ικανότητα αποστράγγισης οδοστρώματος.....	33
5.2.4	Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών.....	34
5.2.5	Μεθοδολογία υπολογισμού στρώσεων.....	36
5.3	Μέθοδος του Ινστιτούτου Ασφάλτου (Asphalt Institute).....	39
5.3.1	Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν τη διαστασιολόγηση.....	39
5.4	Μέθοδος CBR.....	45
5.4.1	Μέθοδος Wyoming.....	46
5.5	Βρετανική μέθοδος.....	51
5.5.1	Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση.....	52
5.6	Υπολογισμός πάχους στρώσεων (Υπόβαση-Εξυγιαντική στρώση).....	57
6	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	61
6.1	Γενικά.....	61
6.2	Δεδομένα υπολογισμού.....	61
6.2.1	Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του AASHTO.....	62
6.2.2	Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του Ινστιτούτο Ασφάλτου.....	64
6.2.3	Υπολογισμός οδοστρώματος με τη Βρετανική μέθοδο.....	65
6.3	Σύγκριση μεθόδων διαστασιολόγησης.....	67
6.3.1	Επεξηγήσεις αποτελεσμάτων-Σημειώσεις.....	71
6.4	Γραφική σύγκριση προτεινόμενων οδοστρωμάτων.....	72
7	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	76
7.1	Σύγκριση κόστους κατασκευής.....	77
7.2	Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα.....	81

8 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
8.1 Γενικά συμπεράσματα μελέτης.....	83
8.2 Συμπεράσματα σύγκρισης μεθόδων.....	84
8.3 Προοπτικές περαιτέρω έρευνας.....	84
	vi
9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κατασκευή οδοστρωμάτων στην Αρχαία Ρώμη.....	3
Εικόνα 2: Αποκόλληση αδρανών οδοστρώματος.....	10
Εικόνα 3: Κυματώσεις οδοστρώματος.....	10
Εικόνα 4: Ρωγμές τύπου αλιγάτορα.....	11
Εικόνα 5: Διαμήκεις και εγκάρσιες ρωγμές.....	11
Εικόνα 6: Μόνιμη παραμόρφωση επιφανειακής στρώσης.....	11

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Κατανομή φορτίων σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα.....	5
Σχήμα 2: Χαρακτηριστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος.....	6
Σχήμα 3: Χαρακτηριστική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος.....	7
Σχήμα 4: Σύνθεση οδοστρώματος.....	8
Σχήμα 5: Ίχνη τροχών τυπικού αμερικανικού οχήματος τριών αξόνων.....	16
Σχήμα 6: Βασικά κριτήρια σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....	25
Σχήμα 7: Γενικό λογικό διάγραμμα αναλυτικής μεθόδου ανάλυσης εύκαμπτου οδοστρώματος.....	27
Σχήμα 8: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 4% και κυκλοφοριακό φόρτο $2.5 \cdot 10^6$ ΙΤΑ.....	72
Σχήμα 9: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 4% και κυκλοφοριακό φόρτο $7.0 \cdot 10^6$ ΙΤΑ.....	73
Σχήμα 10: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 6% και κυκλοφοριακό φόρτο $5.0 \cdot 10^6$ ΙΤΑ.....	73

Σχήμα 11: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 6% και κυκλοφοριακό φόρτο $5.0 \cdot 10^7$ ΙΤΑ.....	74
Σχήμα 12: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 11% και κυκλοφοριακό φόρτο $2.5 \cdot 10^6$ ΙΤΑ.....	74
	vii
Σχήμα 13: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 11% και κυκλοφοριακό φόρτο $3.0 \cdot 10^7$ ΙΤΑ.....	75
Σχήμα 14: Σύγκριση υπολογιζόμενου πάχους και κόστους οδοστρωμάτων με CBR 4% και κυκλοφοριακό φόρτο $2.5 \cdot 10^6$	79
Σχήμα 15: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 6% και κυκλοφοριακό φόρτο $5.0 \cdot 10^6$ ΙΤΑ.....	80
Σχήμα 16: Πίνακας και κλίμακα υπολογισμού μέτρου επανάκτησης υπεδάφους (M_r).....	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία οχημάτων σε διάφορες χώρες.....	15
Πίνακας 2: Συντελεστές ισοδυναμίας για την μετατροπή αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ΙΤΑ).....	17
Πίνακας 3: Κριτήρια Marshall.....	22
Πίνακας 4: Κριτήριο Marshall για VMA.....	22
Πίνακας 5: Προτεινόμενες περίοδοι ανάλυσης.....	30
Πίνακας 6: Υπολογισμός συντελεστή D_L	31
Πίνακας 7: Επίπεδα αξιοπιστίας ανά κατηγορία δρόμου.....	31
Πίνακας 8: Ικανότητα-Συντελεστές αποστράγγισης οδοστρώματος.....	34
Πίνακας 9: Ελάχιστα πάχη στρώσεων.....	37
Πίνακας 10: Υπολογισμός δομικού αριθμού σε σύστημα πολλαπλών στρώσεων.....	38
Πίνακας 11: Ποσοστά οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα.....	40
Πίνακας 12: Καθορισμός τύπου ασφάλτου με βάση τη Μ.Ε.Θ.Α.....	41
Πίνακας 13: Ποσοστά για καθορισμό της σχεδιαστικής τιμής της M_r	42
Πίνακας 14: Παράδειγμα υπολογισμού του αθροιστικού επί της % M_r	42
Πίνακας 15: Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης από ασύνδετα αδρανή.....	43

Πίνακας 16: Ελάχιστο πάχος ασφαλτικών στρώσεων.....	44
Πίνακας 17: Ελάχιστα πάχη επιφανειακής στρώσης πάνω σε βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου II και III.....	45
Πίνακας 18: Συντελεστές για τον υπολογισμό του πάχους του οδοστρώματος.....	47
	viii
Πίνακας 19: Εύρος τιμών συντελεστών για την επιλογή της καμπύλης υπολογισμού.....	49
Πίνακας 20: Συντελεστές μετατροπής σε ισοδύναμα φορτία τροχού των 5.000 lb.....	50
Πίνακας 21: Κατηγορίες οχημάτων.....	55
Πίνακας 22: Συντελεστές καταπόνησης ανά τύπο οχήματος.....	56
Πίνακας 23: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 4%.....	68
Πίνακας 24: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 6%.....	69
Πίνακας 25: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 11%.....	70
Πίνακας 26: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο $2.5 \cdot 10^6$	78
Πίνακας 27: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο $5.0 \cdot 10^6$	78
Πίνακας 28: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο $7.0 \cdot 10^6$	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Σχέση πυκνότητας-Υγρασίας.....	19
Διάγραμμα 2: Προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τιμής της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης από τις επαναλήψεις φορτίσεων.....	26
Διάγραμμα 3: Πάχος οδοστρώματος για διάφορες τιμές του CBR.....	46
Διάγραμμα 4: Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος.....	48
Διάγραμμα 5: Υπολογισμός συντελεστή αύξησης κυκλοφορίας.....	54
Διάγραμμα 6: Ποσοστό κατανομής στη κυκλοφορία στη λωρίδα μελέτης.....	57
Διάγραμμα 7: Υπολογισμός πάχους υπόβασης.....	58
Διάγραμμα 8: Υπολογισμός πάχους εξυγιαντικής στρώσης.....	58
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα υπολογισμού πάχους ασφαλτικών στρώσεων.....	59
Διάγραμμα 10: Συντελεστής στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα.....	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Παράρτημα Α.....	86
Νομογράφημα 1.1: Νομογράφημα Van der Poel για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου.....	86
	ix
Νομογράφημα 1.2: Νομογράφημα εκτίμησης μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος.....	87
Παράρτημα Β.....	88
Νομογράφημα 2.1: Νομογράφημα εκτίμησης δομικού αριθμού στρώσης και οδοστρώματος.....	89
Νομογράφημα 2.2: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2).....	90
Νομογράφημα 2.3: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχνό σκυρόδεμα (a_2).....	91
Νομογράφημα 2.4: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχνό ασφαλτόμιγμα (a_2).....	92
Νομογράφημα 2.5: Συντελεστής στρώσεως υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (a_3).....	93
Παράρτημα Γ.....	94
Νομογράφημα 3.1: Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα, για πάχος βάσης 150 mm.....	94
Νομογράφημα 3.2: Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα για πάχος βάσης 300 mm.....	95
Νομογράφημα 3.3: Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με όλες τις στρώσεις από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου Ι.....	96
Νομογράφημα 3.4: Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος “ ολικού πάχους “ από ασφαλτικό σκυρόδεμα.....	97

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

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

ITΑ: Ισοδύναμοι Τυπικοί Άξονες

Μ.Ε.Θ.Α: Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρα

SN: Δομικός Αριθμός (Structure Number)

P_a : Μονάδα μέτρησης (Pascal Unit)

OGV: Άλλα καλά οχήματα (Other Good Vehicles)

PSV: Οχήματα Δημόσιας Υπηρεσίας (Public Service Vehicles)

DBM: Πυκνό ασφαλτικό Macadam (Dense Bitumen Macadam)

E.O: Εύκαμπτο οδόστρωμα

x

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

CBR: Καλιφορνιακός Δείκτης

M_r ή E: Μέτρο επανάκτησης ή ελαστικότητας εδάφους

VMA: Κενά στον σκελετό των αδρανών

W_{18} : Συνολικός αριθμός ΙΤΑ στη λωρίδα μελέτης

R: Αξιοπιστία

S_o : Τυπική απόκλιση

K: Μέτρο αντίστασης

DPSI: Απώλεια δείκτη εξυπηρετικότητας

Δοκιμή Marshall: Δοκιμή κατά την οποία ελέγχεται η συμπεριφορά ενός δοκιμίου ασφαλτικού σκυροδέματος (ευστάθεια) υπό θλίψη

HRA: θερμό κυλινδρωμένο ασφαλτόμιγμα

1 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.

Η εργασία αυτή αναφέρεται στο σχεδιασμό οδοστρωμάτων (εύκαμπτων-δύσκαμπτων) μέσα από διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα σε διάφορες χώρες. Σκοπός, είναι να γίνει σύγκριση γνωστών μεθόδων διαστασιολόγησης κάτω από τις ίδιες παραμέτρους και τιμές κόστους, ούτως ώστε να εντοπίσουμε την μέθοδο για την οποία συμφέρει να σχεδιαστεί ένα οδόστρωμα. Παλαιότερα, σχεδιασμός των οδοστρωμάτων δε γινόταν με βάση πρότυπα και κανονισμούς. Τα πάχη των οδοστρωμάτων αποφασίζονταν από τους ειδικούς με βάση τα υλικά που υπήρχαν στην περιοχή του δρόμου και τη δική τους εμπειρία και γνώση σε σχέση με αυτά. 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).

2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα υπάρχει η επιτακτική ανάγκη για την κατασκευή δρόμων, για την διευκόλυνση της ζωής μας, για την ασφάλεια, για οικονομικούς και στρατιωτικούς λόγους. Ο πρώτος λαός που πήρε την πρωτοβουλία για κατασκευή δρόμων ήταν η Ρωμαϊκή αυτοκρατορία. Για την δημιουργία τους χρησιμοποιούσαν τα υλικά της περιοχής για ευκολία σε μετακίνηση αλλά και οικονομία, έβρισκαν λύσεις για περιοχές με ασθενή εδάφη και κατασκεύαζαν αποχετεύσεις. Το οδόστρωμα χωριζόταν σε στρώσεις όπως και σήμερα. Η πρώτη στρώση, δηλαδή η υπόβαση τους, αποτελείται από μεγάλες πέτρες ή μπάζα. Κατόπιν ως δεύτερη στρώση, δηλαδή η βάση, πρόσθεταν χαλίκια τα οποία μπορούσαν να συγκρατηθούν με σκυροκονίαμα. Τέλος, ως επιφανειακή στρώση τοποθετούσαν συμπιεσμένα χαλίκια. Σε περιοχές όπου το υπέδαφος δεν ήταν σταθερό, όπως σε σημεία αργιλώδους εδάφους με υψηλό ποσοστό υγρασίας, το συνολικό πάχος του οδοστρώματος αυξανόταν αναλόγως. Τα υλικά που χρησιμοποιούσαν την τότε εποχή σε αστικές περιοχές, ήταν :

- ◆ Λίθινες πλάκες: είχαν διάφορα μεγέθη και δεν ήταν ομαλές για να αποφεύγεται το γλίστρημα των αλόγων. Οι πλάκες αυτές τοποθετούνταν σε σκυρωτό θεμέλιο όμως, λόγω διαφορετικής καθίζησης χρησιμοποιείται τσιμέντο ή ασβέστης, για σταθεροποίηση του θεμελίου αυτού.
- ◆ Κεραμικές πλάκες: μπορούσαν εύκολα να προδιαγραφούν. Χρησιμοποιούνταν σε χώρες που είχαν μεγάλες ποσότητες αργίλου, όπως σε περιοχές της Αμερικής.
- ◆ Τεμαχίων ξύλου: είχαν παρόμοια μεγέθη με τις λίθινες πλάκες. Χρειαζόταν αρκετή προεργασία ενώ φθείρονταν περισσότερο σε σχέση με τους λίθους. Όμως ήταν αρκετά οικονομικό.
- ◆ Ασφαλτος: πρωτοεμφανίστηκε το 1858 στο Παρίσι. Το ασφαλτόμιγμα που χρησιμοποιήθηκε τότε ήταν από θρυμματισμό φυσικού ασβεστόλιθου εμπλουτισμένο με άσφαλο. Η σκόνη που παραγόταν είχε περίπου 7% άσφαλο ενώ θερμαινόταν και συμπυκνωνόταν με παρόμοιους τρόπους όπως σήμερα.
- ◆ Σκυρόδεμα: Το 1965 άρχισε η χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος από την Σκωτία και στη συνέχεια στον Α' παγκόσμιο πόλεμο με πολύ καλά αποτελέσματα.



2

Εικόνα 1: Κατασκευή οδοστρωμάτων στην Αρχαία Ρώμη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

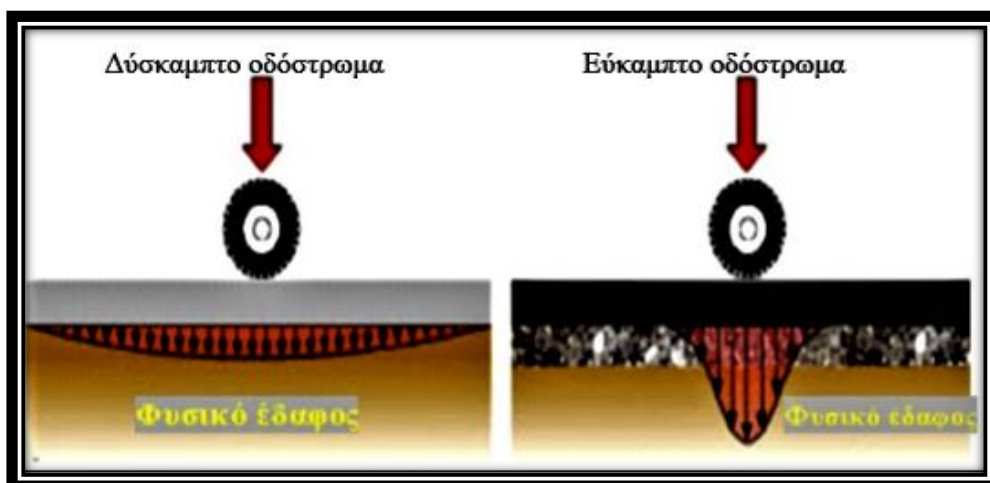
1.1 Γενικά

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. Επιπλέον δεν αντέχει στις κλιματολογικές διακυμάνσεις, την υγρασία, την βροχή κλπ όταν επάνω του κινούνται οχήματα (Κοφίτσας Ι., 1997). Για τους λόγους αυτούς κατασκευάζεται το οδόστρωμα. Σκοπός του οδοστρώματος είναι :

- Να μεταδώσει όλα τα φορτία της κυκλοφορίας στο έδαφος ώστε να αποτρέπονται μόνιμες παραμορφώσεις.
- Η δομική επάρκεια του ιδίου του οδοστρώματος στις επαναλαμβανόμενες επιπονήσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος, δηλαδή αποφυγή ρηγματώσεων, παραμορφώσεων και αποφλοιώσεων.
- Η δομή του οδοστρώματος να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από νερό και άλλες επιδράσεις του περιβάλλοντος για να επιτυγχάνεται αναγκαία φέρουσα ικανότητα.
- Η επιφάνεια του οδοστρώματος να έχει αντιολισθητικό ρόλο για ομαλή κυκλοφορία.

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, των οποίων η ανώτερη στρώση είναι από ασφαλτικό υλικό και δύσκαμπτα, των οποίων η ανώτερη στρώση είναι από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Η βασική διαφορά τους έγκειται στον τρόπο που μεταβιβάζουν και κατανέμουν τα φορτία στο υπέδαφος. Στο σχήμα 1 που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά ο τρόπος μεταβίβασης των φορτίων που παραλαμβάνονται στην επιφάνεια των δύο τύπων οδοστρωμάτων, στο υπέδαφος.



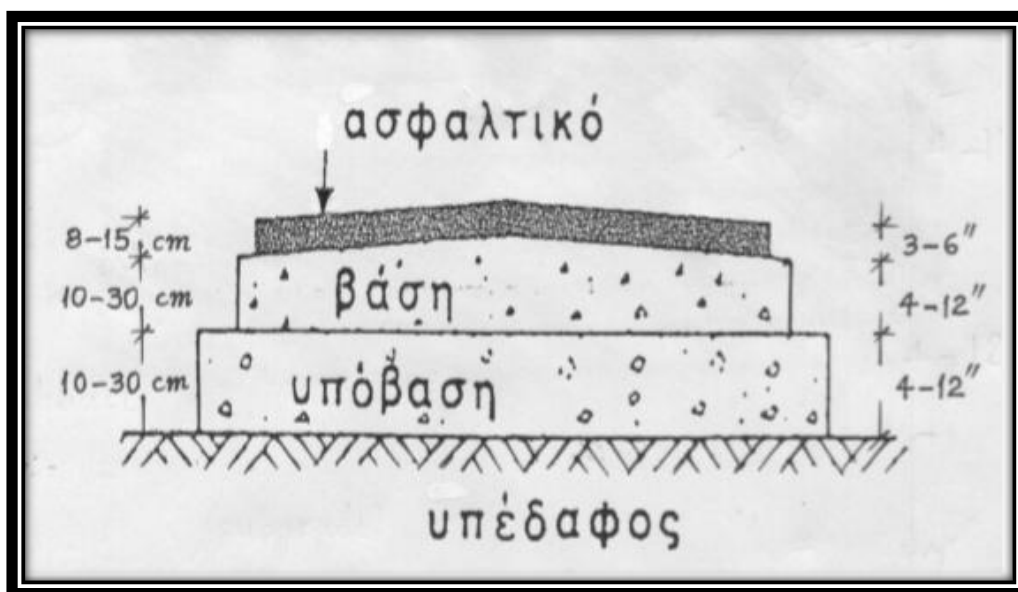
Σχήμα 1: Κατανομή φορτίων σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα.

1.2.1 Εύκαμπτα οδοστρώματα: Στο εύκαμπτο οδόστρωμα η μεταφορά των φορτίων στο έδαφος γίνεται δια μέσου των στρώσεών του. Το ολικό πάχος του εύκαμπτου οδοστρώματος πρέπει να είναι τόσο, ώστε οι δυνάμεις που μεταβιβάζονται σε μεγαλύτερη συνεχώς επιφάνεια να μειωθούν μέχρι να γίνονται ανεκτές από το έδαφος έδρασης του οδοστρώματος (Κοφίτσας, 1997).

Σαν εύκαμπτα οδοστρώματα θεωρούνται :

1. Τα ασφαλτικά
2. Τα κυκλοφοριόπηκτα
3. Τα σταθεροποιημένα
4. Τα σκυρωτά

Ένα τυπικό εύκαμπτο οδόστρωμα σε τομή φαίνεται στο σχήμα 2 και αποτελείται από πάνω προς τα κάτω από την ασφαλτική στρώση (asphalt concrete-AC ή hot mix asphalt-HMA), τη βάση (base), την υπόβαση (subbase) και το υπέδαφος (subgrade). Το ανωτέρω σχήμα δείχνει επίσης τυπικές διαστάσεις παχών των διαφόρων στρώσεων.



Σχήμα 2: Χαρακτηριστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος (Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Νίκη Μπέσκου).

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα οι στρώσεις υπόβασης-βάσης κατασκευάζονται διότι:

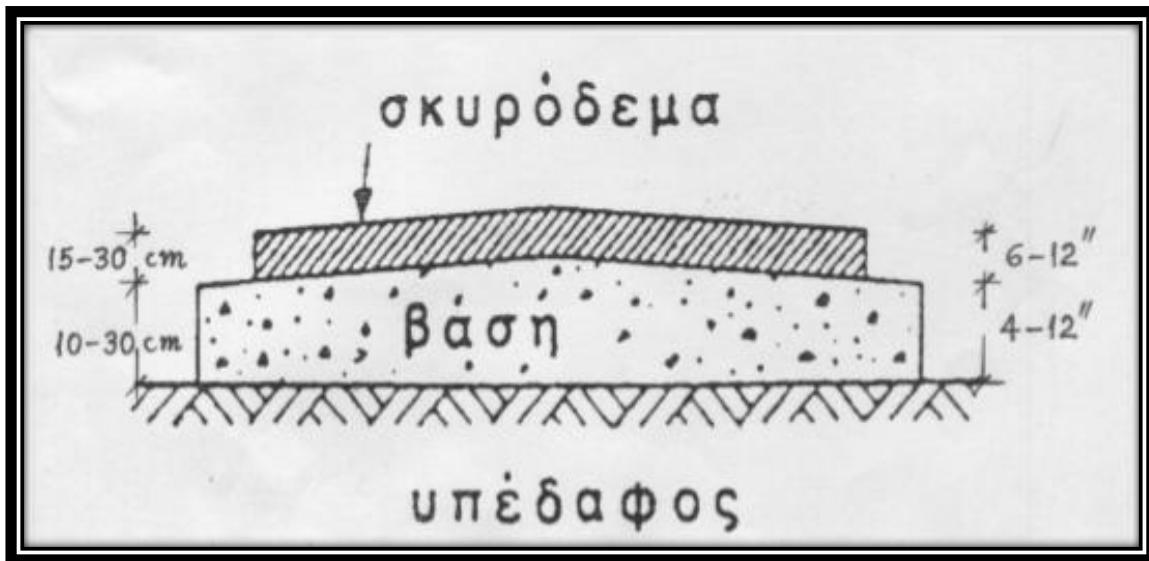
- Βοηθούν την κατανομή των φορτίων στο έδαφος δια μέσου των στρώσεων
- Αυξάνουν τη φέρουσα ικανότητα
- Συντελούν στην αποστράγγιση
- Παρέχουν προστασία από τον παγετό
- Αποτρέπουν την άνοδο του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

1.2.2 Δύσκαμπτα οδοστρώματα: Στο δύσκαμπτο οδοστρώμα, όπου το υλικό είναι μεγάλης αντοχής, το κύριο μέρος των τάσεων μεταβιβάζεται στο φορέα, ενώ το έδαφος θεμελίωσης απλώς αντιδρά στην παραμόρφωση του οδοστρώματος. Έτσι, το πρόβλημα του υπολογισμού των δύσκαμπτων οδοστρώματων είναι η στατική επίλυση πλάκας σκυροδέματος, που εδράζεται σε άπειρα ελαστικά σημεία (Κοφίτσας, 1997).

Ένα τυπικό δύσκαμπτο οδοστρώμα σε τομή φαίνεται στο σχήμα 3 και αποτελείται από πάνω προς τα κάτω από την πλάκα σκυροδέματος (concrete slab), τη βάση (base), η οποία μπορεί και να μην υπάρχει, και το υπέδαφος (subgrade). Το ανωτέρω σχήμα δείχνει επίσης τυπικές διαστάσεις παχών των διαφόρων στρώσεων. Από τις ανωτέρω δύο κατηγορίες οδοστρώματων, συντριπτικά μεγαλύτερη εφαρμογή στην πράξη (περίπου 94%) βρίσκουν τα

εύκαμπτα οδοστρώματα. Επομένως στην συνέχεια της εργασίας μας θα εστιάσουμε σε εύκαμπτα οδοστρώματα.

6

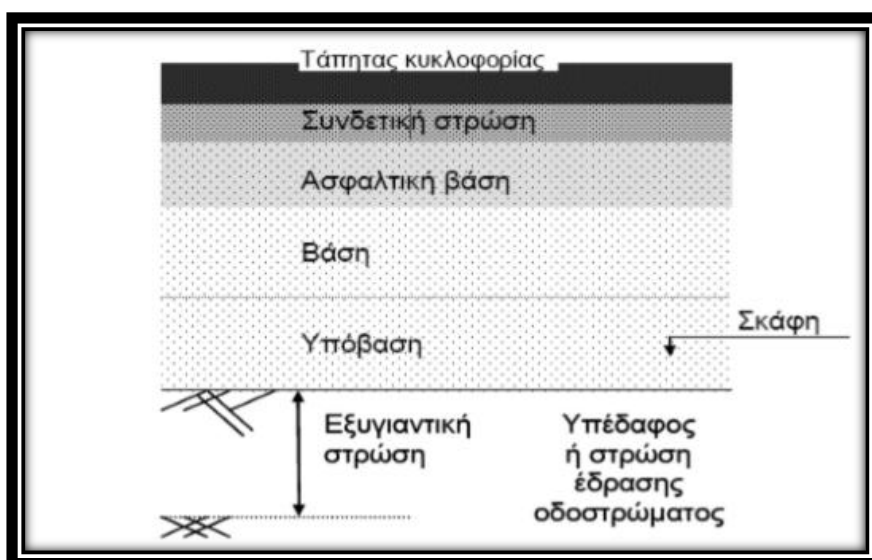


Σχήμα 3: Χαρακτηριστική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος (Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Νίκη Μπέσκου).

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα η στρώση της βάσης κατασκευάζεται διότι:

- Διευκολύνει την κατασκευή (εξομάλυνση του εδάφους)
- Αυξάνει την αντοχή του οδοστρώματος (δηλ. της πλάκας του σκυροδέματος)
- Αποτρέπει καθιζήσεις του εδάφους
- Παρέχει προστασία από τον παγετό
- Αποτρέπει την άνοδο του νερού λόγω τριχοειδών φαινομένων

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



Σχήμα 4: Σύνθεση οδοστρώματος.

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.

1.3.2 Εξυγιαντική στρώση: Είναι η στρώση που κατασκευάζεται μεταξύ υπεδάφους και υπόβασης, όταν το έδαφος είναι ασθενές και τοποθετείται για να αυξήσει τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μπορέσει να τοποθετηθεί το οδόστρωμα. Εξυγιαντική στρώση τοποθετείται όταν το δείκτης CBR είναι μικρότερος του 5%.

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

- Μεταβιβάζει τα φορτία στο υπέδαφος
- Εξασφαλίζει την άνετη κυκλοφορία των οχημάτων κατά την κατασκευή μιας οδού
- Είναι μια αντιπαγετική προστατευτική στρώση

- Λειτουργεί και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων (δεν αφήνει την υγρασία να μεταφερθεί από το υπέδαφος προς τα πάνω μέσω των τριχοειδών)

1.3.4 Βάση: Είναι η κυριότερη δομική στρώση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης και των επιφανειακών ασφαλικών 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 ασφαλτο (ασφαλτόμιγμα) ή τσιμέντο. Επιπλέον η βάση επιτελεί τις παρακάτω βασικές λειτουργίες :

- Παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία της κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις
- Μειώνει τις κάθετες θλιπτικές τάσεις ώστε να ικανοποιούν τη φέρουσα ικανότητα και να μην δημιουργούν μεγάλες παραμορφώσεις
- Παρέχει στο οδόστρωμα δυσκαμψία και αντοχή στην κόπωση
- Με την χρήση ασύνδετων ή σταθεροποιημένων αδρανών παρέχει μια αποτελεσματικότερη συμπύκνωση(συνεπώς και λιγότερες παραμορφώσεις) (Νικολαΐδης,1996)

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

1.3.6 Επιφανειακή στρώση: Η κατασκευή της επιφανειακής στρώσης στο οδόστρωμα χρησιμεύει στο να παρέχει μια λεία και ασφαλή επιφάνεια κυκλοφορίας, να είναι αντιολισθητική, 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)

1.3.7 Μορφές αστοχίας: 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 χάνει την αντιολισθηρότητά της ή παρουσιάσει σημάδια αποσύνθεσης (αποκόλληση αδρανών ή μικρές λακκούβες) ή πτυχώσεις (κυματώσεις) ή απώθηση 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.



Εικόνα 2: Αποκόλληση αδρανών οδοστρώματος



Εικόνα 3: Κυματώσεις οδοστρώματος

10

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 ή διαμήκη όπως φαίνεται παρακάτω, ή σε μορφή πλέγματος όπως είναι οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα.



Εικόνα 4: Ρωγμές τύπου αλιγάτορα.



Εικόνα 5: Διαμήκεις και εγκάρσιες ρωγμές.

(Β) Η παραμένουσα παραμόρφωση της επιφάνειας κύλισης, που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην υπερβολική παραμόρφωση της στρώσης έδρασης (υπέδαφος). 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 διάρκεια 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 6: Μόνιμη παραμόρφωση επιφανειακής στρώσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

2.1 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 μπορεί να επιφέρει αρνητικές συνέπειες και μόνιμες φθορές στο οδόστρωμα.

2.1.1 Θερμοκρασία περιβάλλοντος: 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. Συνεπώς 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 αύξησης 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. Επίσης 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.

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

- ◆ την πρόβλεψη ενός ικανοποιητικού πάχους οδοστρώματος για απομόνωση του εδάφους
- ◆ την μελέτη για υπολογισμό της δομής του οδοστρώματος, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αντοχή του υπεδάφους ελαττώνεται κατά τη διάρκεια της τήξεως των πάγων. (Κοφίτσας, 1997)

2.1.3 Βροχόπτωση: Στο σχεδιασμό των οδοστρωμάτων η βροχόπτωση είναι πολύ σημαντική κυρίως κατά την διάρκεια των χωματουργικών εργασιών, στα δοκιμαστικά για την αντοχή του εδάφους και στο σχεδιασμό για αποχετευτικά έργα. Στα χωματουργικά έργα είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την υγρασία του εδάφους για να υπολογίσουμε τη συμπύκνωση που πρέπει να γίνει. Εάν υπάρχει συνεχής βροχή αυτό θα είναι δύσκολο. Σε περιπτώσεις όπου τα εκχώματα θα χρησιμοποιηθούν σε επιχώματα, πρέπει να αποξηραθούν. Πρέπει να εκτιμάται η υγρασία του εδάφους για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του η οποία θα καθορίσει το σχεδιασμό. Με αυξομείωση της υγρασίας, τα εδάφη όπως αργιλικά και ιλλύτης επηρεάζονται και προκαλούν διόγκωση ή συρρίκνωση τους. Η βροχόπτωση πρέπει να εκτιμάται και για τον σχεδιασμό αποχετευτικών σχεδιασμών και έργων για να αποφευχθεί η πτώση του οδοστρώματος και συνεπώς ατυχήματα.

2.2 Κυκλοφοριακός φόρτος

2.2.1 Γενικά: Κατά την κατασκευή ενός οδοστρώματος, η αποτίμηση του κυκλοφοριακού φόρτου αποτελεί μία από τις βασικές παραμέτρους της κατασκευής αυτής, αφού για τον καθορισμό του πάχους του οδοστρώματος πρέπει κανείς να γνωρίζει τον αριθμό και το βάρος του κάθε οχήματος. Τα οχήματα που κυκλοφορούν σε μία οδό είναι μίγμα από επιβατικά, λεωφορεία, φορτηγά, νταλίκες κλπ. με διαφορετικό αριθμό αξόνων και διαφορετικό φορτίο το καθένα από αυτά. Ανάλογα με το φορτίο κάθε οχήματος και την κατανομή του σε άξονες, προκύπτει και η καταστροφική του ικανότητα έναντι του οδοστρώματος. Επειδή η καταστροφική ικανότητα των επιβατικών οχημάτων είναι αμελητέα σε σχέση με αυτή των εμπορικών, τα φορτία που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό οδοστρωμάτων συνήθως αναφέρονται σε εμπορικά οχήματα. Στα εμπορικά οχήματα οι άξονες μπορεί να είναι μονοί, δίδυμοι ή τρίδυμοι οι οποίοι φέρουν ένα

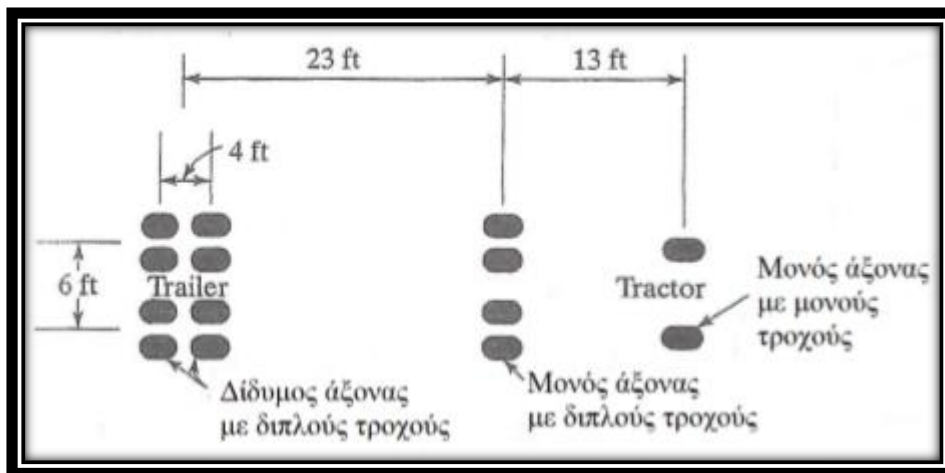
ή δύο ελαστικούς τροχούς ανά πλευρά όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Για τον υπολογισμό του φορτίου σε μια οδό χρησιμοποιείται το αξονικό φορτίο 18 kip (80 kN) μονού άξονα. Για την έκφραση του κυκλοφοριακού φόρτου χρησιμοποιείται διεθνώς ως μονάδα μέτρησης ο Ισοδύναμος Τυπικός Άξονας (ΙΤΑ). Τα μέγιστα επιτρεπτά αξονικά βάρη διάφορων τύπων οχημάτων, όπως αυτά έχουν θεσπιστεί σε διάφορες χώρες δίνονται στον πίνακα 1.

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Νίκη Μπέσκου)

Χώρα	Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία (τόννοι)			
	Μονός άξονας		Δίδυμος	Τρίδυμος
	Δίχως κίνηση	Με κίνηση		
Αγγλία	9 - 10 ^(α)		16 ή 20-26 ^(α)	Δεν καθορίζονται όρια
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	
Πορτογαλλία	-	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
^(β) Ενδεικτικά όρια, αλλάζει ελαφρώς από Πολιτεία σε Πολιτεία

Πίνακας 1: Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία οχημάτων σε διάφορες χώρες (από Νικολαΐ δη 1996).



Σχήμα 5: Ίχνη τροχών τυπικού Αμερικανικού φορτηγού οχήματος τριών αξόνων (από Huang, 2004).

2.2.2 Η έννοια του ισοδύναμου τυπικού άξονα: Με βάση το πείραμα του AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) που εκτελέστηκε στις ΗΠΑ μεταξύ 1957-1961 υπολογίστηκαν οι καταστρεπτικές επιδράσεις των εμπορικών οχημάτων σε σχέση με τα αξονικά τους φορτία. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά οχήματα με διάφορα αξονικά φορτία και διάφορα οδοστρώματα. Το φορτίο που επιλέχθηκε αυθαίρετα ως αντιπροσωπευτικό αξονικό φορτίο ήταν 18.000 lb (8,16 τόνων ή 80 KN) και ονομάστηκε τυπικός άξονας (R. R. Bartelsmeyer, Chairman et. al., 1962). Η καταστρεπτική επίδραση των αξονικών φορτίων με μικρότερο ή μεγαλύτερο φορτίο από αυτό των 80 KN εκφράστηκε με ισοδύναμους συντελεστές με μικρότερους ή μεγαλύτερους της μονάδας αντίστοιχα. Έτσι μπορούσε να εκφραστεί ο κυκλοφοριακός φόρτος με μια μεταβλητή αυτή του ισοδύναμου τυπικού άξονα. Για τον καθορισμό των Συντελεστών Ισοδυναμίας χρησιμοποιήθηκε η πιο κάτω σχέση:

$$N_i/N_j = (P_j/P_i)^{\gamma} = a, \text{ όπου,}$$

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

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

γ = 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). Στον πίνακα 2 φαίνεται ο τυπικός πίνακας με τους συντελεστές ισοδυναμίας κατά AASHTO.

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

Πίνακας 2: Συντελεστές ισοδυναμίας για τη μετατροπή αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ITA), (Pt=2.5, SN=5) (Νικολαΐ δης, 1996).

2.3 Χαρακτηριστικά υπεδάφους: Ως έδαφος ορίζεται ως όλα τα υλικά, ανόργανα και οργανικά που περιβάλλουν τον φλοιό της γης υπό μορφή χαλαρών ή μαλακών αποθέσεων. (Νικολαΐδης, 1996) Υπέδαφος στο σχεδιασμό οδοστρωμάτων ονομάζεται το συμπυκνωμένο και διαμορφωμένο έδαφος στο οποίο κατασκευάζεται το οδόστρωμα. Σε περιπτώσεις που δε είναι αναγκαία η διαμόρφωση του εδάφους, το υπέδαφος ταυτίζεται με την επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

2.3.1 Γενικές ομάδες εδαφών:

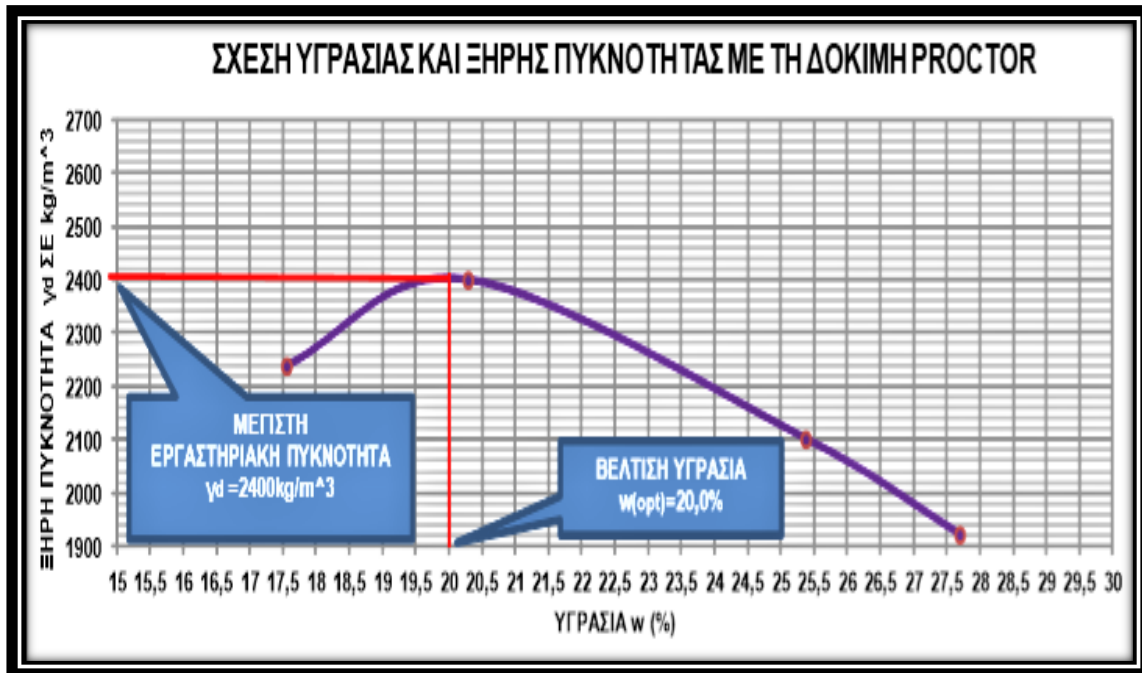
1. Κροκάλλες, χαλίκια, άμμος : κοκκώδη εδάφη όπου οι κόκκοι τους δεν έχουν συνοχή μεταξύ τους. Αυτό τα κάνει πιο ανθεκτικά σε αξονικές φορτίσεις έχοντας από μόνα τους μια σταθερότητα.
2. Ιλύς: είναι έδαφος με λεπτούς κόκκους οι οποίοι έχουν συνοχή μεταξύ τους. Κοσκινίζονται με τη χρήση κοσκίνου Νο 200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

2.3.2 Φέρουσα ικανότητα υπεδάφους: Η αντοχή του υπεδάφους καθορίζει και την διαστασιολόγηση του οδοστρώματος συνεπώς και τα πάχη των στρώσεων. Η φέρουσα ικανότητα του εδάφους απαρτίζεται από πολλούς παράγοντες όπως το μέγεθος των κόκκων και συνεκτικότητας, της υγρασίας, το εδαφικό υλικό και η συμπύκνωση. Η έκφραση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους γίνεται με βάση του Καλλιφορνιακού δείκτη (CBR), τη τιμή της αντίστασης R, τη τιμή του μέτρου αντίδρασης K και του μέτρου επανάκτησης Mr.

2.3.3 Καλλιφορνιακός δείκτης CBR: Είναι ο δείκτης ο οποίος καθορίζει τη κατάσταση του εδάφους σύμφωνα με τη φέρουσα ικανότητα του. Υπολογίζεται με τη δοκιμή CBR η οποία αποβλέπει το καθορισμό της φέρουσας ικανότητας, μετά τη συμπύκνωση στο εργαστήριο, όπου με τη δοκιμή PROCTOR καθορίζεται η βέλτιστη υγρασία ως πρότυπο σύγκρισης. Βασική αρχή της δοκιμής είναι να προσδιορίσει τη τιμή της αντίστασης του εδαφικού συμπυκνωμένου υλικού σε συγκεκριμένες συνθήκες.

Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε στην Καλιφόρνια στη δεκαετία του 1930 χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Ως CBR ορίζεται ο λόγος (σε %) της δύναμης η οποία απαιτείται για να διεισδύσει το έμβολο της συσκευής εντός του εδαφικού υλικού σε ένα βάθος, προς τη δύναμη που απαιτείται σε ένα πρότυπο υλικό (Νικολαΐδης, 1996). Πρακτικά όμως όταν ο δείκτης CBR είναι μικρότερος του 3 είναι αναγκαίο να γίνει η συμπύκνωση του εδαφικού υλικού. Είναι επιθυμητό να ελέγχονται οι τιμές του CBR επι τόπου με τις εργαστηριακές τιμές. Στα χονδρόκοκκα εδάφη συνήθως οι εργαστηριακές τιμές διαφέρουν με τα αποτελέσματα στο χώρο εργασίας. Στα αργιλώδη εδάφη όμως σχετίζονται οι δύο τιμές του CBR. Ο έλεγχος είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί όταν το οδόστρωμα τοποθετείται στο υπέδαφος και αυτό δεν συμπυκνώνεται κατά την κατασκευή.

2.3.4 Δοκιμή Proctor(τροποποιημένη): Η δοκιμή αυτή προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ της βέλτιστης υγρασίας του εδαφικού υλικού και της μέγιστης πυκνότητας. Μέσα από τη διαδικασία του πειράματος για διαφορετικές περιεκτικότητες υγρασίας, τα ζεύγη τιμών ποσοστού υγρασίας και ξηρή πυκνότητα τοποθετούνται σε γραμμικούς άξονες συντεταγμένων. Η περιεχόμενη υγρασία αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης και ονομάζεται «βέλτιστη υγρασία» για μέγιστη συμπίκνωση. (Κοφίτσα, 1997).



Διάγραμμα 1: Σχέση πυκνότητας-υγρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΤΗΣ

3.1 Γενικά

Ασφαλτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, είναι η καθαρή άσφαλτος, τα παράγωγα αυτής ασφαλτικά διαλύματα και ασφαλτικά γαλακτώματα καθώς και κάθε είδους ασφαλτικά υλικά. Η άσφαλτος γενικά προέρχεται από τη διύλιση του αργού πετρελαίου ή από κοιτάσματα φυσικής ασφάλτου. Ειδικά η χρησιμοποιούμενη στην οδοποιία άσφαλτος είναι το υπόλειμμα της διύλισης του αργού πετρελαίου. Με ρύθμιση της θερμοκρασίας κατά την απόσταξη παραμένουν στο υπόλειμμα λιγότερα ή περισσότερα ελαιώδη συστατικά και έτσι η παραγόμενη άσφαλτος είναι σκληρή ή μαλακή, αντίστοιχα. Στις περιοχές που έχουν ψυχρό κλίμα χρησιμοποιείται συνήθως μαλακή άσφαλτος, ενώ σε θερμότερα κλίματα χρησιμοποιείται σχετικά σκληρή άσφαλτος. Κάθε τύπος ασφάλτου χαρακτηρίζεται από το βάθος στο οποίο διεισδύει μέσα στη μάζα αυτής πρότυπη βελόνα υπό την πίεση βάρους 100 gr που ενεργεί κάθετα επί χρόνο 5sec και σε θερμοκρασία 25°C. Έτσι υπάρχουν τύποι ασφάλτου 40/50, 80/100, 180/200 κλπ. Ο τύπος, π.χ., 80/100 σημαίνει ότι η βελόνα διεισδύει μέσα στη μάζα της ασφάλτου του τύπου αυτού σε βάθος 8 έως 10 mm. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κατά κανόνα η άσφαλτος τύπου 80/100. Για τον έλεγχο της ασφάλτου οδοστρώσεως αποστέλλεται δείγμα στο εργαστήριο βάρους 1 έως 2 kg το οποίο υποβάλλεται σε δοκιμές.

3.2 Ασφαλτικά γαλακτώματα: Τα ασφαλτικά γαλακτώματα αποτελούνται από άσφαλτο και νερό. Για την παρασκευή τους θερμαίνεται το ασφαλτικό υλικό μέχρι να υγροποιηθεί (130 έως 140°C) και στη συνέχεια αναμιγνύεται με ζεστό νερό (60 έως 70°C) αναταράσσοντας δυνατά το μίγμα. Για να γίνει το γαλάκτωμα σταθερότερο χρησιμοποιείται κατάλληλη ουσία, που ονομάζεται παράγοντας γαλάκτωσης και συνήθως είναι καυστική σόδα, νιτρικό οξύ, υδροχλωρικό οξύ κλπ. Τα ασφαλτικά γαλακτώματα παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Δεν αναφλέγονται.
- Στη συνήθη θερμοκρασία είναι ρευστά και επομένως εύχρηστα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με υγρανθέντα αδρανή υλικά.

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα, ανάλογα με τον παράγοντα γαλάκτωσης, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες που είναι οι εξής:

- Τα αλκαλικά (ανιονικά). Σε αυτά η ηλεκτρική φόρτιση των σταγονιδίων είναι αρνητική.
- Τα όξινα (κατιονικά). Σε αυτά η ηλεκτρική φόρτιση των σταγονιδίων είναι θετική.

Η κυριότερη διαφορά μεταξύ αλκαλικών και όξινων γαλακτωμάτων είναι η διαφορετική πρόσφυση στα διάφορα αδρανή υλικά. Τα αλκαλικά επειδή έχουν αρνητική φόρτιση, παρουσιάζουν μεγάλη πρόσφυση με ασβεστολιθικά αδρανή, διότι αυτά τα αδρανή με τη παρουσία υγρασίας φορτίζονται θετικά. Αντίθετα, δεν παρουσιάζουν καλή πρόσφυση με τα πυριτικά ή χαλαζιακά πετρώματα, διότι αυτά με την παρουσία υγρασίας φορτίζονται αρνητικά. Για τον ίδιο λόγο τα όξινα γαλακτώματα, επειδή έχουν θετική φόρτιση, παρουσιάζουν καλύτερη πρόσφυση με τα πυριτικά ή χαλαζιακά αδρανή. Ο διαχωρισμός της ασφάλτου από το νερό σε ένα ασφαλτικό γαλάκτωμα ονομάζεται διάσπαση του γαλακτώματος. Η ταχύτητα διάσπασης στις ασφαλτικές κατασκευές εξαρτάται από την κοκκομετρική διαβάθμιση του αδρανούς υλικού, τη χημική φύση του αδρανούς υλικού, τη σκόνη, τη βροχή, το πάχος της στρώσης κλπ.

(Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία II, Νίκη Μπέσκου)

3.3 Εκτίμηση μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου: Ο Van der Poel απέδειξε ότι το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου μπορεί να εκτιμηθεί από το σημείο μάλθωσης, το δείκτης διεισδυτικότητας **PI** και το χρόνο φόρτισης, κάνοντας χρήση του νομογραφήματος που πρότεινε. (Παράρτημα Α νομογράφημα 1.1)

Ο δείκτης διεισδυτικότητας ορίζεται ως εξής:

$$PI = \frac{\dots}{\dots}$$

(Νικολαΐδης Α, 1996)

3.4 Ασφαλομίγματα

3.4.1 Γενικά: 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 την σωστή παραγωγή του ασφαλτομίγματος είναι απαραίτητο να υπάρχει το σωστό ποσοστό των αδρανών(με τη σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση). Τα ασφαλτομίγματα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους οι οποίοι διαχωρίζονται με βάση:

1. Την αντολισθηρότητα και το βάθος υφής
2. Την αντίσταση σε παραμένονσα παραμόρφωση
3. Το πορώδες
4. Την αναμενόμενη διάρκεια ζωής
5. Την ποσότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται
6. Τη συμμετοχή στην αντοχή οδοστρώματος

3.4.2 Μελέτη σύνθεσης ασφαλτομίγματος: Σκοπός της μελέτης σύνθεσης ασφαλτομίγματος είναι ο καθορισμός του οικονομικότερου μίγματος αδρανών και συνδετικού υλικού, το οποίο να εξασφαλίζει ένα οδόστρωμα με επαρκή ποσότητα ασφάλτου, επαρκή ευστάθεια στο μίγμα, επαρκή εργασιμότητα και ποσότητα κενών αέρος στο μίγμα. Για να καθορίσουμε τη ποσότητα της ασφάλτου και τα κριτήρια χρησιμοποιούμε τη μέθοδο Marshall κατά το Asphalt Institute όπως φαίνονται στους πίνακες 3 και 4 αντίστοιχα.

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

Πίνακας 3: Κριτήρια Marshall(Νικολαΐδης Α., 1996)

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

Πίνακας 4: Κριτήριο Marshall για VMA(Νικολαΐδης Α., 1996)

3.4.3 Ελαστικό μέτρο δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος: Για να υπολογίσουμε το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος θα πρέπει να γνωρίζουμε τα εξής:

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

Με βάση τα πιο πάνω δεδομένα και την χρήση του νομογραφήματος 1.2 που βρίσκεται στο παράρτημα Α, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέτρο δυσκαμψίας του ασφαλτομίγματος. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν το μέτρο δυσκαμψίας της ασφάλτου είναι μεγαλύτερο από 5×10^6 Pa που είναι οι συνθήκες υψηλής δυσκαμψίας κατάλληλες για κινούμενα φορτία (μικρός χρόνος φόρτισης).

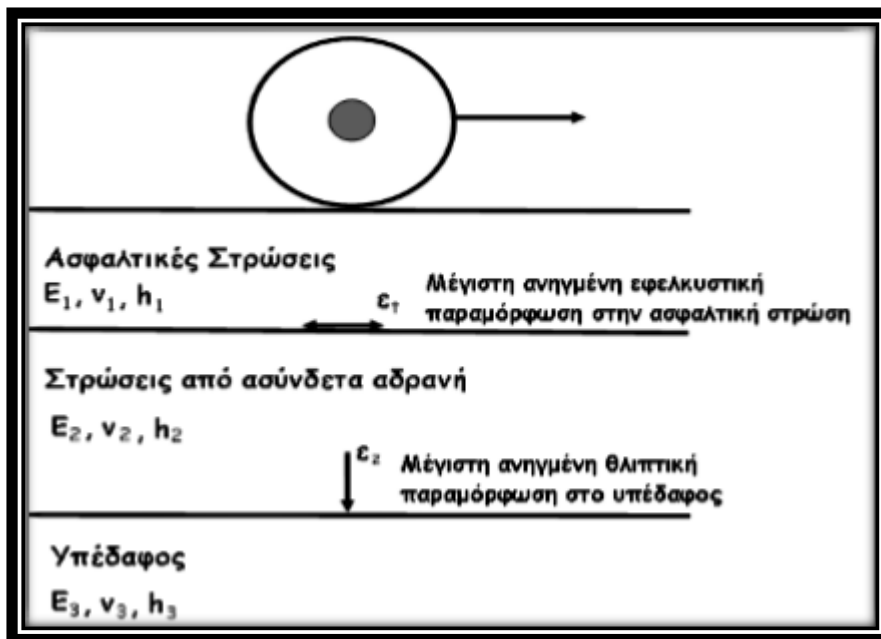
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

4.1 Γενικά

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

4.2 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:

- ✓ Οι ασφαλικές στρώσεις δεν θα πρέπει να ρηγματώνονται κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας. Αυτό το καθορίζει η μέγιστη ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση στην ασφαλική στρώση (Νικολαΐδης, 1996).
- ✓ 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).
- ✓ 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 ασφαλικών στρώσεων) να μην υπερφορτίζεται το υπέδαφος από τις διελεύσεις των οχημάτων που διακινούνται στο εργοτάξιο.



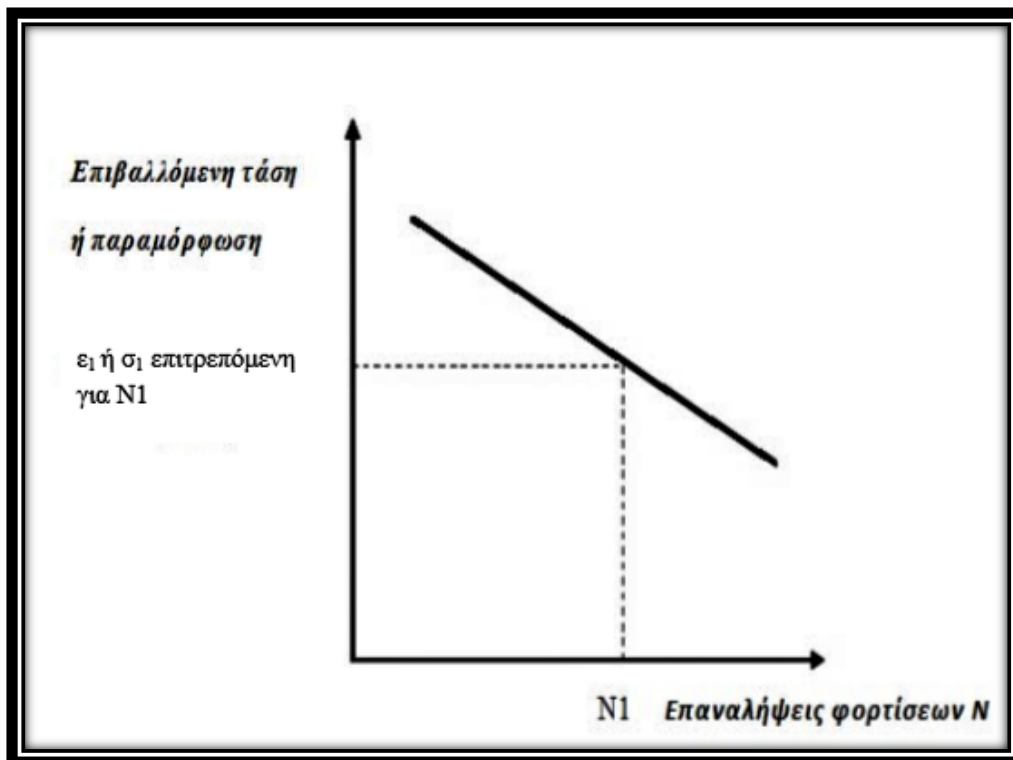
Σχήμα 6: Βασικά κριτήρια σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων

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

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

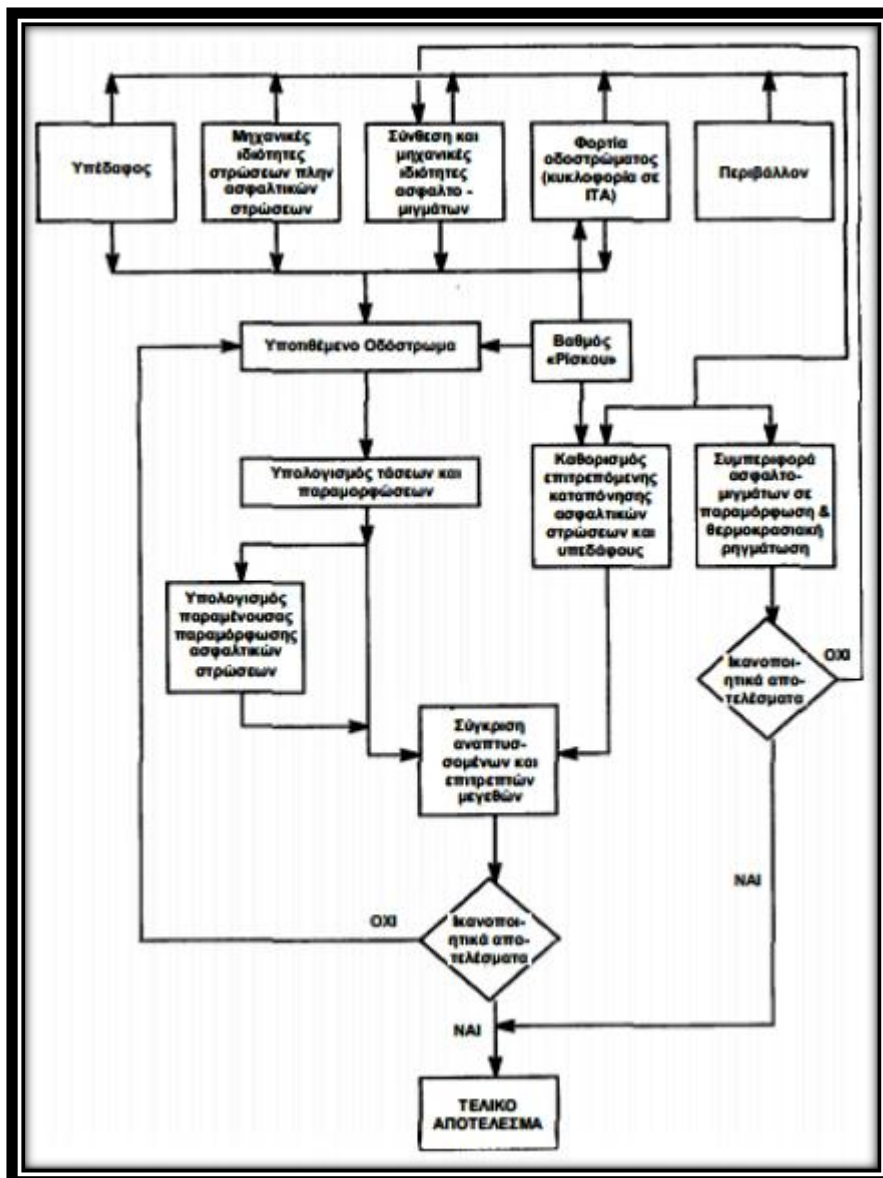
Οι ημι-αναλυτικές μεθοδολογίες υπολογίζουν τα πάχη των στρώσεων από νομογραφήματα και διαγράμματα μέσα από αναλυτικούς υπολογισμούς.

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



Διάγραμμα 2: Προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τιμής της επιβαλλόμενης τάσης ή παραμόρφωσης από τις επαναλήψεις φορτίσεων

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



Σχήμα 7: Γενικό λογικό διάγραμμα αναλυτικής μεθόδου ανάλυσης εύκαμπτου οδοστρώματος (Τσώχος Γ,1984)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

5.1 Γενικά

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 ανοιγμένη εφελκυστική παραμόρφωση με τον αριθμό των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων που επιφέρει κόπωση του οδοστρώματος από ρηγμάτωση.

5.2 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:

$$PSI=5.03 - 1.91\log(1 +SV) - 1.38RD2 - 0.01 (C+P)^{1/2} \text{ (Τσώχος Γ., 1984)}$$

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 επιφάνειας (σε ft/1000 ft²)

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

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

5.2.1 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 περίοδοι ανάλυσης της μεθόδου.

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

Πίνακας 5: Προτεινόμενες περίοδοι ανάλυσης (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:

$$\log_{10}(W_{10}) = Z_R S_a + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(t) - \log_{10}(t_0)}{10}$$

Για τον υπολογισμό των Ισοδύναμων Τυπικών Αξόνων (W_{18}) εφαρμόζεται ο τύπος:

$$W_{18} = D_D * D_L * w_{18}$$

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.

w_{18} : είναι ο αθροιστικός αριθμός των ισοδύναμων τυπικών αξόνων που υπολογίστηκε και για τις δύο κατευθύνσεις του δρόμου για όλη την διάρκεια της περιόδου ανάλυσης.

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

Πίνακας 6: Υπολογισμός συντελεστή D_L (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.

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%

Πίνακας 7: Επίπεδα αξιοπιστίας ανά κατηγορία δρόμου (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 (SO) 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 κλιματολογικών 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 περαιτέρω απώλεια στην εξυπηρευτικότητα της κατασκευής. Έτσι θα προκύψει ένας συνολικός δείκτης παρούσας εξυπηρέτησης ο οποίος 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 εξυπηρευτικότητας του οδοστρώματος υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$\Delta PSI_{sw} = 0.00335 * V_R * P_s(1 - e^{-\theta t}), \text{ όπου:}$$

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

5.2.2 Κριτήριο απόδοσης οδοστρώματος (Εξυπηρετικότητα ή λειτουργικότητα 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 το κατώτατο αποδεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης πριν από την αποκατάσταση του οδοστρώματος. Η τιμή αυτή εξαρτάται από το τι 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 εξυπηρετικότητα 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) και ορίζεται ως εξής:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

5.2.3 Ικανότητα αποστράγγισης οδοστρώματος: 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 8 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.

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

Πίνακας 8: Ικανότητα-συντελεστές αποστράγγισης οδοστρώματος (AASHTO, 1993)

Οι συντελεστές αποστράγγισης συμβολίζονται με m_2 , m_3 ..., 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.

5.2.4 Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών:

➤ Μέτρο επανάκτησης υπεδάφους

Το μέτρο επανάκτησης (M_r) του υπεδάφους ή αλλιώς μέτρο ελαστικότητας είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν το σχεδιασμό των οδοστρωμάτων. Με βάση τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους CBR και κάποιων εξισώσεων μπορεί να υπολογιστεί η σχεδιαστική τιμή του M_r .

Έτσι ο μηχανικός μπορεί να υπολογίσει και στη συνέχεια να διαστασιολογήσει με διάφορες μεθόδους τα εύκαμπτα οδοστρώματα. 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:

$$M_r = 1500 * C.B.R$$

Το μέτρο επανάκτησης (M_r) για το υπέδαφος στο οποίο πρόκειται να εδραστεί το οδόστρωμα υπολογίζεται με τη χρήση του πίνακα και της κλίμακας (έντυπο υπολογισμού M_r) που φαίνονται στο παράρτημα Β. 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 άσφαλτο

Οι δομικοί συντελεστές υπολογίζονται από τα νομογραφήματα 1-5 και από το διάγραμμα 10 στο παράρτημα Β και χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί ο δομικός αριθμός της κάθε στρώσης (SN_i) σύμφωνα με τη σχέση:

$$SN_i = \sum a_i * D_i, \text{ όπου:}$$

D_i = το πάχος της κάθε στρώσης.

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

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

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

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

Ο υπολογισμός του δομικού **αριθμού SN** γίνεται με τη χρήση του νομογραφήματος 2.1 που φαίνεται στο παράρτημα Β.

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

1. Με τον καθορισμό του δομικού αριθμού του οδοστρώματος:

i) Γίνεται συλλογή των απαραίτητων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς:

- ✓ Το μέτρο επανάκτησης του εδάφους **Mr**.
- ✓ Ο συνολικός αριθμός των ισοδύναμων τυπικών αξόνων στη λωρίδα μελέτης **W₁₈**.
- ✓ Η αξιοπιστία (**R**)
- ✓ Η τυπική απόκλιση (**S₀**)
- ✓ Η απώλεια του δείκτη εξυπηρετικότητας (**ΔPSI**)

ii) Υπολογίζεται ο δομικός αριθμός με τη χρήση του νομογραφήματος

iii) Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του δομικού αριθμού κάνοντας συνδυασμούς τιμών υπολογίζονται τα πάχη των στρώσεων

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 9.

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

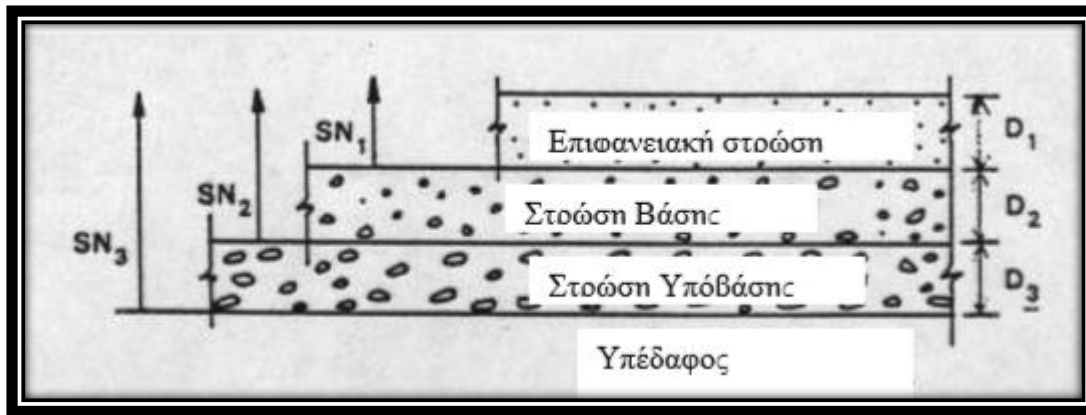
Πίνακας 9: Ελάχιστα πάχη στρώσεων (AASHTO, 1993)

2. Με τον υπολογισμό του δομικού αριθμού σε πολυστρωματικό επίπεδο:

i) Γίνεται συλλογή των απαραίτητων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς όπως και στον προηγούμενο τρόπο.

ii) 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.



Πίνακας 10: Υπολογισμός δομικού αριθμού σε σύστημα πολλαπλών στρώσεων

Το πάχος της πρώτης στρώσης υπολογίζεται από την εξίσωση: $D_1 \geq SN_1 / a_1$

Αν χρειάζεται στρογγύλευση του D_1 προς τα πάνω τότε προκύπτει νέα τιμή D_1' ,

και έτσι έχουμε το τελικό πάχος της επιφανειακής στρώσης (D_1').

Επαναπροσδιορίζεται ο δομικός αριθμός της στρώσης με το στρογγυλεμένο πάχος:

$$SN_1' = a_1 * D_1' > SN_1$$

Χρησιμοποιώντας το SN_2 υπολογίζεται το ελάχιστο πάχος της δεύτερης στρώσης από την εξίσωση: $D_2 = (SN_2 - SN_1') / a_2 * m_2$

Αν χρειάζεται στρογγύλευση του D_2 προς τα πάνω τότε προκύπτει νέα τιμή D_2' ,

και έτσι έχουμε το τελικό πάχος της δεύτερης στρώσης (D_2').

Επαναπροσδιορίζεται ο δομικός αριθμός της στρώσης με το στρογγυλεμένο πάχος:

$$SN_2' = a_2 * D_2', SN_1' + SN_2' > SN_2$$

Με την ίδια όπως ανωτέρω διαδικασία υπολογίζεται και το πάχος D_3 ως:

$$D_3 = [SN_3 - (SN_1' + SN_2')] / a_3 * m_3$$

5.3 Μέθοδος του Ινστιτούτου Ασφάλτου (Asphalt Institute): 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:

$$N=0.00796 * (\epsilon_t)^{-3.291} * (E1)^{-0.854} , \text{ όπου:}$$

N: Αριθμός επαναλήψεων

ϵ_t : Μέγιστη ανηγμένη εφελκυστική παραμόρφωση στην βάση της ασφαλτικής στρώσης

E1: Μέτρο ελαστικότητας της ασφαλτικής στρώσης

Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να διαστασιολογηθεί το πάχος εύκαμπτου οδοστρώματος που αποτελείται από βάση και υπόβαση με ασύνδετα αδρανή και ασφαλικές στρώσεις, όσο και το πάχος οδοστρώματος του οποίου όλο το πάχος είναι από ασφαλτόμιγμα. Επίσης, με τη μέθοδο αυτή μπορεί να υπολογισθεί το πάχος του οδοστρώματος του οποίου η δομή μπορεί να αποτελείται από ψυχρό ασφαλτόμιγμα και βάση από ασύνδετα αδρανή. Η διαδικασία σχεδιασμού με την μέθοδο αυτή έχει ως εξής:

5.3.1 Στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την διαστασιολόγηση:

- **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:
 1. 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.
 2. Το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα το οποίο εξαρτάται από το συνολικό αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας και από την κίνηση των οχημάτων σε κάθε κατεύθυνση. Αν δεν υπάρχουν αναλυτικά δεδομένα, το ποσοστό των οχημάτων στη σχεδιαστική λωρίδα καθορίζεται από τον πίνακα 11.

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

Πίνακας 11: Ποσοστά οχημάτων στην σχεδιαστική λωρίδα (Asphalt Institute 1991)

3. Το ποσοστό της ετήσιας αύξησης των οχημάτων. Το ποσοστό αυτό εκτιμάται 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. Συνεπώς προκύπτει ο συντελεστής επαύξησης λ , ο οποίος χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του τελικού- συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου. (Νικολαΐδης Α., 1996)

Το λ υπολογίζεται από την σχέση:

$$\lambda = [(1 + r)^n - 1] / r, \text{ όπου:}$$

$r =$ 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 της 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. Η θερμοκρασία αέρος επηρεάζει το μέτρο δυσκαμψίας των ασφαλτικών στρώσεων. Ο προσδιορισμός της **μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα (ΜΕΘΑ)** πραγματοποιείται βάσει στατιστικών στοιχείων από τον κοντινότερο στο έργο μετεωρολογικό σταθμό. Ο μελετητής, ανάλογα με τη θέση του έργου, θα πρέπει να εκτιμήσει την αντιπροσωπευτική ΜΕΘΑ της περιοχής του έργου. Έτσι ανάλογα με τη (ΜΕΘΑ), γίνεται και η επιλογή του τύπου της ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί, όπως φαίνεται στον πίνακα 12.

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

Πίνακας 12: Καθορισμός τύπου ασφάλτου με βάση τη ΜΕΘΑ (Νικολαΐδης Α., 1996)

- **Καθορισμός της σχεδιαστικής τιμής Mr**

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

Mr = 10.3 * CBR (MPa)

Για τη σχεδιαστική τιμή του Mr του εδάφους έδρασης δε λαμβάνεται ο μέσος όρος των τιμών, αλλά η $(M_r)_{60\%}$, $(M_r)_{75\%}$, $(M_r)_{87,5\%}$. Δηλαδή η τιμή εκείνη που είναι μικρότερη του 60%, ή του 75%, ή του 87,5% των τιμών που μετρήθηκαν. Οι διάφορες τιμές του Mr στα διάφορα σημεία κατατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά και ξεκινώντας από την ελάχιστη τιμή, καθορίζεται πόσες είναι οι τιμές που είναι μεγαλύτερες ή ίσες της τιμής αυτής. Με τα ποσοστά αυτά γίνεται μια γραφική παράσταση. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα (ποσοστό τιμής Mr% σε σχέση με κυκλοφοριακό φόρτο) και τη γραφική παράσταση υπολογίζεται η σχεδιαστική τιμή Mr.

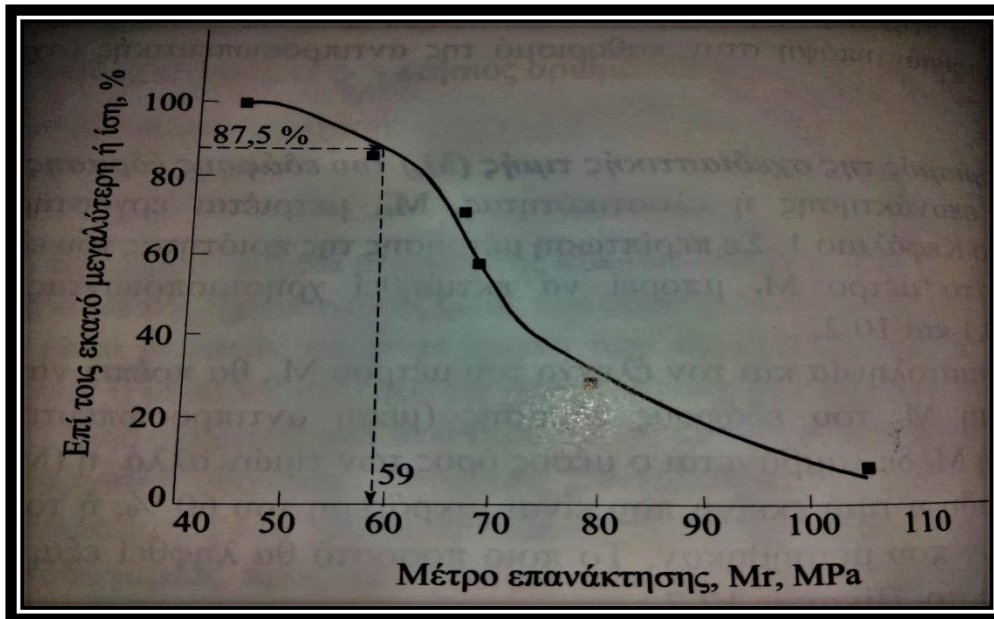
Κυκλοφοριακός φόρτος σε ΙΤΑ	Ποσοστό σχεδιαστικής τιμής Mr
<10 ⁴	60
10 ⁴ -10 ⁶	75
>10 ⁶	87.5

Πίνακας 13: Ποσοστά για καθορισμό της σχεδιαστικής τιμής Mr (Asphalt Institute 1991).

Τιμές Mr (MPa)	Μεγαλύτερη ή ίση	Επί τοις εκατό μεγαλύτερη ή ίση
(1)	(2)	(3)
106.9	1	(1/7)*100=14%
80.0	2	(2/7)*100=29%
68.3		
68.3	4	(4/7)*100=57%
67.6	5	(5/7)*100=71%
58.6	6	(6/7)*100=86%
44.8	7	(7/7)*100=100%

Πίνακας 14: Παράδειγμα υπολογισμού του αρθροιστικού επί τοις % Mr.

Ξεκινώντας από την ελάχιστη τιμή, καθορίζεται πόσες είναι οι τιμές που είναι μεγαλύτερες ή ίσες της τιμής αυτής, στήλη (2). Ο αριθμός αυτός εκφράζεται επί τοις εκατό, στήλη (3). Με τα ποσοστά αυτά και τις αντίστοιχες τιμές M_r σχεδιάζεται διάγραμμα παρόμοιο όπως φαίνεται παρακάτω. Η σχεδιαστική τιμή του μέτρου M_r καθορίζεται από το σχήμα που ακολουθεί, χρησιμοποιώντας τα ποσοστά του πίνακα 14 και 13. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, εάν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι $>10^6$ η σχεδιαστική τιμή του M_r είναι 59 MPa.



- **Βάση και υπόβαση με ασύνδετα αδρανή**

Για τα υλικά βάσης και υπόβασης είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του πίνακα 15 και οι προδιαγραφές των υλικών με βάση τις Αμερικανικές προδιαγραφές ASTM D 2940.

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

Πίνακας 15: Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (Asphalt Institute 1991)

Η διαστασιολόγηση με αυτόν τον τρόπο γίνεται με τη βοήθεια των νομογραφημάτων που φαίνονται στο παράρτημα Γ. Τα νομογραφήματα αφορούν ΜΕΘΑ 15.5 βαθμούς κελσίου, όμως υπάρχουν πολλά νομογραφήματα τα οποία διαφοροποιούνται με τιμές της θερμοκρασίας. Τα πάχη των νομογραφημάτων είναι για συνολικό πάχος βάσης και υπόβασης 150 mm ή 300 mm στρώση από ασύνδετα αδρανή. Το ελάχιστο πάχος για στρώση βάσης είναι 150 mm, ενώ τα ελάχιστα πάχη για ασφαλική στρώση φαίνονται στον πίνακα 16.

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

Πίνακας 16: Ελάχιστο πάχος ασφαλτικών στρώσεων (Νικολαΐδης Α., 1996).

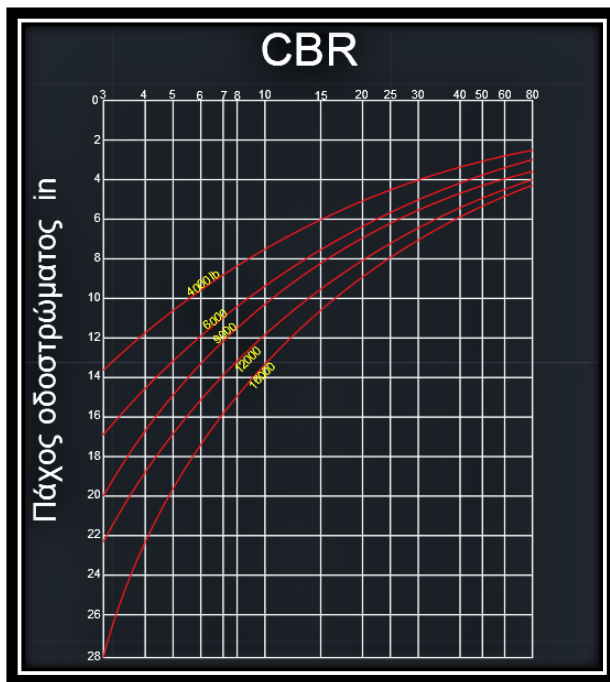
- **Ασφαλτική βάση και τάπητας κυκλοφορίας**

- 1)) **Θερμά ασφαλτομίγματα:** Τα θερμά ασφαλτομίγματα είναι το ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου και χρησιμοποιείται ως ασφαλτική βάση και ως τάπητας κυκλοφορίας. Η σύνθεση και ο έλεγχος κυκλοφορίας γίνεται με τη μέθοδο Marshall.
- 2) **Ψυχρά ασφαλτομίγματα:** Η ασφαλτική βάση μπορεί να είναι κατασκευασμένη από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου I (από θραυστά διαβαθμισμένα αδρανή κλειστού τύπου), II (από ημίθραυστα φυσικά αδρανή) ή III (θραυστή ή μίγμα θραυστής ή φυσικής άμμου). 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 17.

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

Πίνακας 17: Ελάχιστα πάχη επιφανειακής στρώσης πάνω σε βάση από ψυχρό ασφαλτόμιγμα Τύπου ΙΙ και ΙΙΙ.

5.4 Μέθοδος CBR: Με την μέθοδο αυτή λαμβάνεται υπόψη ο δείκτης της φέρουσας ικανότητας ενός υλικού με κατάλληλη υγρασία και πυκνότητα και το συγκεντρωμένο φορτίο (φορτίο τροχού), που ενεργεί στο υλικό. Στο διάγραμμα 3 βρίσκουμε για διάφορες τιμές του CBR και για διαφορετικά φορτία τροχού, το πάχος του οδοστρώματος, που πρέπει να υπάρχει πάνω από το στρώμα με τον δοθέντα δείκτη CBR.



Διάγραμμα 3: Πάχος οδοστρώματος για διάφορες τιμές του CBR.

Στις περιοχές όπου το ύψος της βροχόπτωσης είναι μικρότερο των 15 in (38 cm) και η φρεατική στάθμη βρίσκεται τουλάχιστον, 15 ft (4,5) κάτω από την επιφάνεια, το ολικό πάχος του οδοστρώματος μπορεί να ελαττωθεί κατά 20%. Η μείωση αυτή γίνεται στις στρώσεις των υλικών, που έχουν την μικρότερη τιμή CBR. Εκτός από τη χρησιμοποίηση του διαγράμματος 3, μπορούμε να βρούμε το πάχος του οδοστρώματος, με ικανοποιητική προσέγγιση, χρησιμοποιώντας την σχέση :

$H = \frac{P}{CBR}$, όπου :

H = το πάχος του οδοστρώματος (cm).

P = το μέγιστο φορτίο ανά τροχό (tn).

CBR = δείκτης φέρουσας ικανότητας (%).

5.4.1 Μέθοδος Wyoming: Οι μηχανικοί της Πολιτείας WYOMING των ΗΠΑ, υιοθέτησαν μία τροποποίηση της μεθόδου CBR. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τη μέση ετήσια βροχόπτωση, το βάθος του υπογείου υδάτινου οριζοντα, τη δράση του παγετού, τις υπάρχουσες συνθήκες στην περιοχή της οδού και την κυκλοφορία.

Στοιχεία	Όρια	Τιμή συντελεστή
Ετήσια Βροχόπτωση (in)	5-10	0
	10-15	1
	15-20	3
	20-25	6
	25-50	10
Υδάτινος ορίζοντας (ft)	10-6	1
	6-4	3
	4-2	5
Δράση παγετού	Ελαφρύ	1
	Μέση	3
	Βαριά	8
Υπάρχουσες Συνθήκες	Πολύ καλές	0
	Καλές	2
	Κακές	6
Επαναλήψεις ισοδύναμου φορτίο τροχού 5.000 lb σε μία κατεύθυνση (10 ⁶)	0,0-1,0	0
	1,0-2,0	2
	2,0-3,0	4
	3,0-5,0	6
	5,0-7,0	9
	7,0-9,0	12
	9,0-11,0	15
	11,0-13,0	18
	13,0-15,0	21
	>15,0	24

Πίνακας 18: Συντελεστές για τον υπολογισμό του πάχους του οδοστρώματος (Κοφίτσας, 2001).

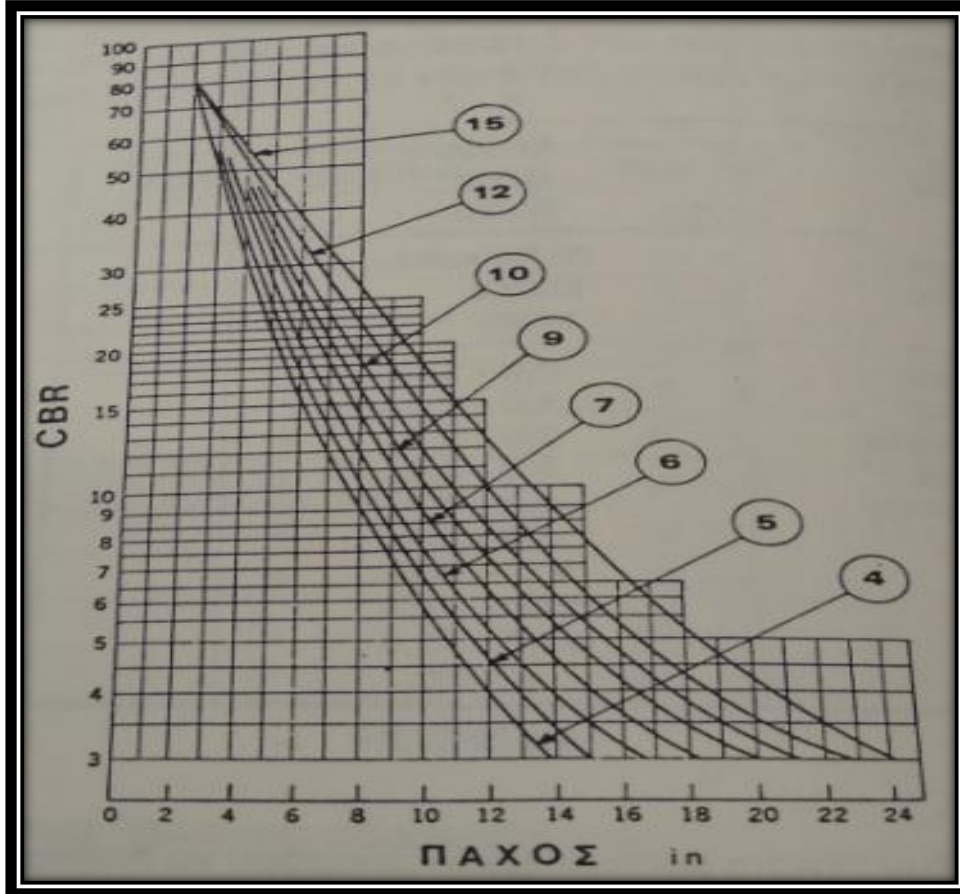
Κάθε συντελεστής είναι ταξινομημένος στον πίνακα 18. Τα στοιχεία για την ετήσια βροχόπτωση μπορούν να ληφθούν από μετεωρολογικούς σταθμούς.

Οι συντελεστές της δράσης του παγετού υπολογίζονται από τις ενδείξεις της γύρω περιοχής (μέχρι 2 in ανύψωση: ελαφρύ δράση, πάνω από 2 in ανύψωση: βαριά δράση).

Οι υπάρχουσες συνθήκες περιλαμβάνουν συντελεστές, όπως η αποχέτευση, η αποστράγγιση, οι περιπτώσεις χιονιού και άλλους πιθανούς παράγοντες, που πρόκειται να επιδράσουν στη μελέτη.

Η κυκλοφορία υπολογίζεται με την χρήση της τεχνικής του ισοδύναμου φορτίου τροχού (EWL). Στη μελέτη χρησιμοποιούνται φορτία τροχών 4500 lb και πάνω.

Ο υπολογισμός των στρώσεων του οδοστρώματος γίνεται όπως και στη μέθοδο CBR, χρησιμοποιώντας μία ορισμένη καμπύλη, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.



Διάγραμμα 4: Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος.

Η επιλογή της καμπύλης, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του πάχους του οδοστρώματος, γίνεται με βάση του αθροίσματος των απαιτούμενων συντελεστών, όπως φαίνεται στον πίνακα 19.

Καμπύλη Υπολογισμού	Άθροισμα συντελεστών
4	0-2
5	3-6
6	7-11
7	12-17
9	18-24
10	25-32
12	33-41
15	42-53

Πίνακας 19: Εύρος τιμών συντελεστών για την επιλογή της καμπύλης υπολογισμού (Κοφίτσας, 1997)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος όταν:

- Περίοδος μελέτης =20 έτη
- Ετήσια βροχόπτωση =30 in (Συντελεστής=10).
- Υδάτινος ορίζοντας =3 ft (Συντελεστής= 5).
- Δράση παγετού = Βαριά (Συντελεστής= 8).
- Υπάρχουσα συνθήκες = Κακές (Συντελεστής= 6).
- Έδαφος έδρασης με CBR=3.
- Υλικά υπόβασης με CBR=16.
- Υλικά βάσης με CBR=57.
- Μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων =215, με:
 - 13,17 % οχήματα με φορτίο τροχού = 5.000 lb.
 - 15,3 % οχήματα με φορτίο τροχού = 6.000 lb.
 - 11,76 % οχήματα με φορτίο τροχού = 7.000 lb.
 - 14,11 % οχήματα με φορτίο τροχού = 8.000 lb.
 - 6,21 % οχήματα με φορτίο τροχού = 9.000 lb.
 - 5,84 % οχήματα με φορτίο τροχού = 10.000 lb.

ΛΥΣΗ: Από τον πίνακα 20 έχουμε τους συντελεστές μετατροπής σε ισοδύναμα φορτία τροχού των 5.000 lb, των διαφόρων φορτιών, που παρουσιάζονται.

Φορτίο τροχού lb	Συντελεστής
5.000	1
6.000	2
7.000	4
8.000	8
9.000	16
10.000	32
11.000	64
12.000	128
13.000	256

Πίνακας 20: Συντελεστές μετατροπής σε ισοδύναμα φορτία τροχού των 5.000 lb.

Για περίοδο μελέτης 20 ετών, θα έχουμε τις παρακάτω επαναλήψεις των ισοδύναμων φορτιών τροχού(EWL= equivalent wheel load).

$$(13,17 \%) * (215) * (365) * (20) * (1) = 206.703.$$

$$(15,30 \%) * (215) * (365) * (20) * (2) = 480.267.$$

$$(11,76 \%) * (215) * (365) * (20) * (4) = 738.293.$$

$$(14,11 \%) * (215) * (365) * (20) * (8) = 1.771.652.$$

$$(6,21 \%) * (215) * (365) * (20) * (16) = 1.559.455.$$

$$(5,84 \%) * (215) * (365) * (20) * (32) = 2.993.082.$$

Σύνολο EWL = 7.689.452

Συνεπώς σε μία κατεύθυνση έχουμε: 3.844.726 EWL και από τον πίνακα 18 έχουμε συντελεστή = 6.

- Το άθροισμα των συντελεστών, είναι:

$$(10) + (5) + (8) + (6) + (6) = 35.$$

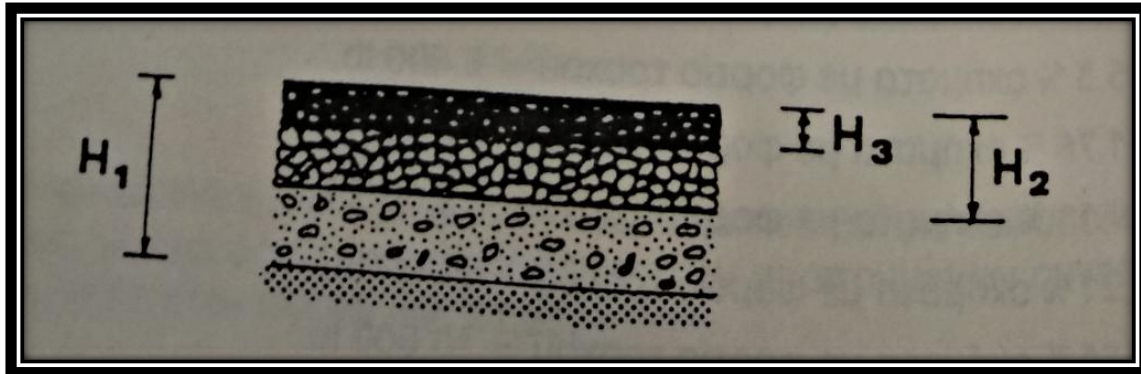
- Από τον πίνακα 19 έχουμε καμπύλη υπολογισμού με αριθμό 12.

Από το διάγραμμα 4, έχουμε:

Για CBR = 3 $\rightarrow H_1 = 22.5$ in.

Για CBR = 16 $\rightarrow H_2 = 9,5$ in.

Για CBR = 57 $\rightarrow H_3 = 3,5$ in.



Τελικά :

Πάχος υπόβασης = $H_1 - H_2 = 13,0$ in.

Πάχος βάσης = $H_2 - H_3 = 6,0$ in.

Πάχος επίστρωσης = $H_3 = 3,5$ in.

Ολικό πάχος οδοστρώματος = $22,5$ in.

5.5 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 επιφάνειάς 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.

5.5.1: 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:

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

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 20

G = συντελεστής αύξησης της κυκλοφορίας.

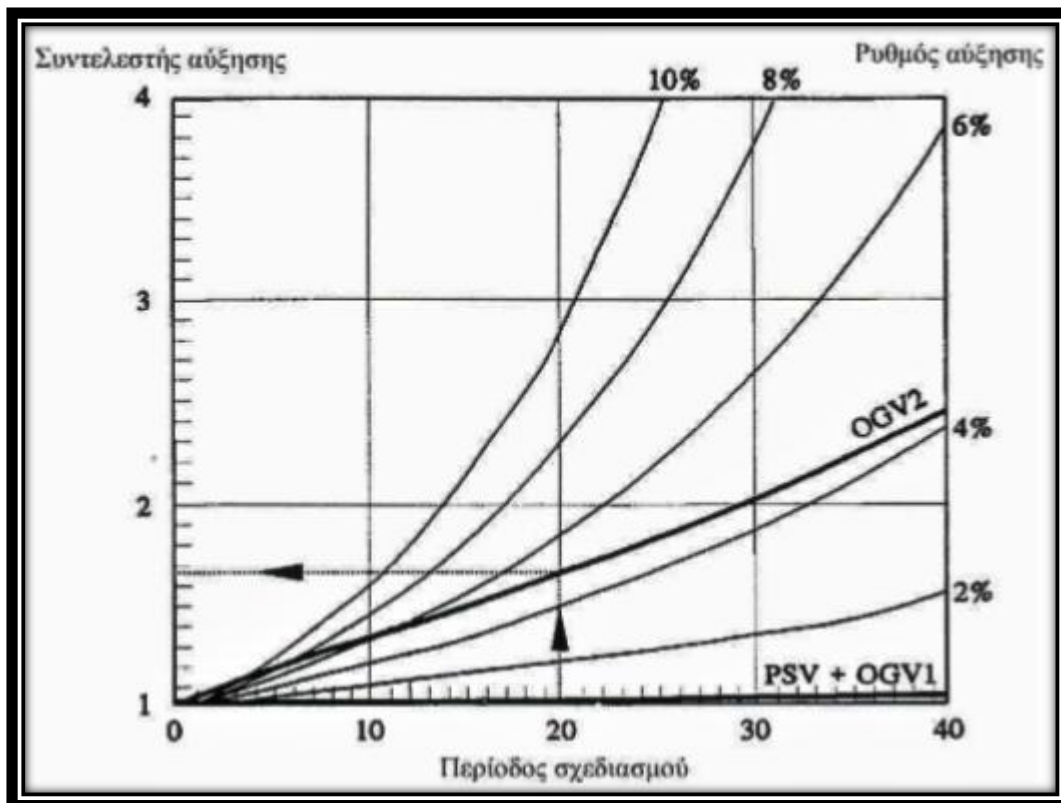
Ο συνολικός αριθμός των ΙΤΑ για όλη τη σχεδιαστική ζωή του οδοστρώματος είναι το αλγεβρικό άθροισμα όλων των ισοδύναμων αξόνων ανά κατηγορία εμπορικού οχήματος.

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. (Διάγραμμα 5)



Διάγραμμα 5: 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 διαγράμματος 6 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.

Εμπορικά οχήματα	Κατηγορία (ΕΟ)	Cv category
	Λεωφορεία	PSV
	2-αξονικά	OGV1
	3-αξονικά	
	3-αξονικά συρτάμενα	OGV2
	4-αξονικά	
	4-αξονικά συρτάμενα	
	5-αξονικά συρτάμενα	

Πίνακας 21: Κατηγορίες οχημάτων (Highways Agency, 2006)

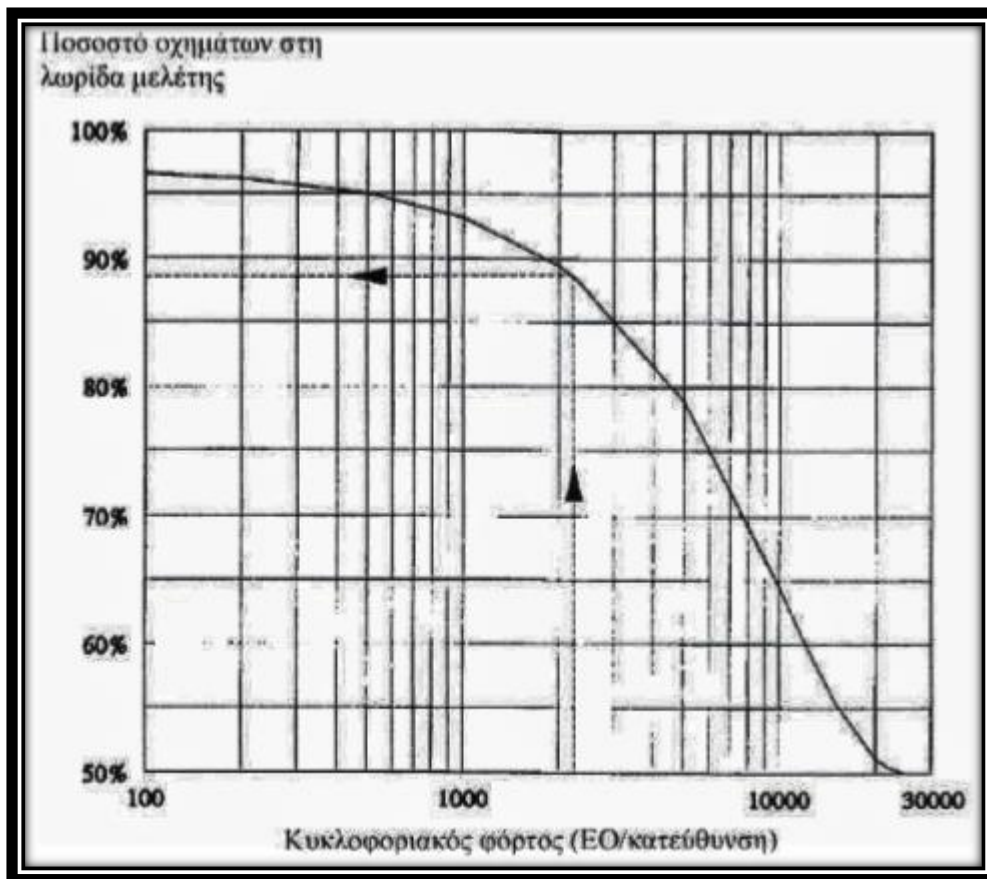
3) Συντελεστής καταπόνησης (φθοράς): Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη ότι η φθορά που επέρχεται σε ένα οδόστρωμα από τη διέλευση ενός εμπορικού οχήματος, αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του αξονικού φορτίου του. Παρόλο που υπάρχουν εναλλακτικές μέθοδοι υπολογισμού αυτής της φθοράς, εντούτοις για σχεδιαστικούς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

Ο συντελεστής καταπόνησης (**W**) είναι το άθροισμα των συντελεστών ισοδυναμίας (**a**) για κάθε άξονα του εμπορικού οχήματος. Οι συντελεστές ισοδυναμίας έχουν υπολογισθεί από τη θεμελιώδη εξίσωση ισοδυναμίου 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 (ITA). Συνεπώς 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 20 που ακολουθεί.

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

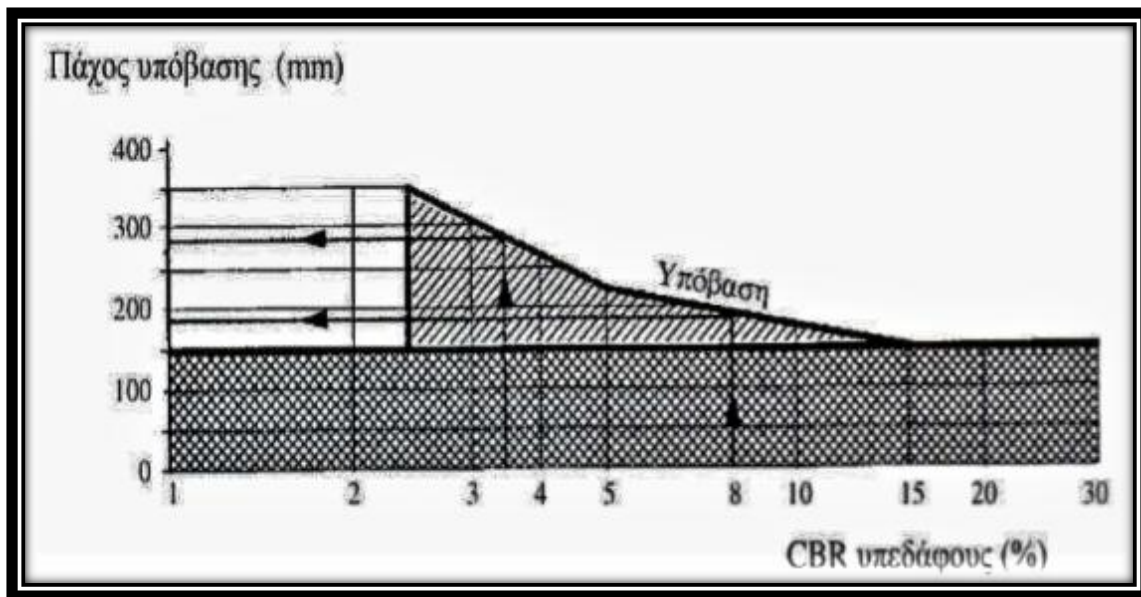
Πίνακας 22: Συντελεστές καταπόνησης ανά τύπο οχήματος (Highways Agency, 2006).

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 διαγράμματος 7. 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)



Διάγραμμα 6: Ποσοστό κατανομής στη κυκλοφορία στη λωρίδα μελέτης.

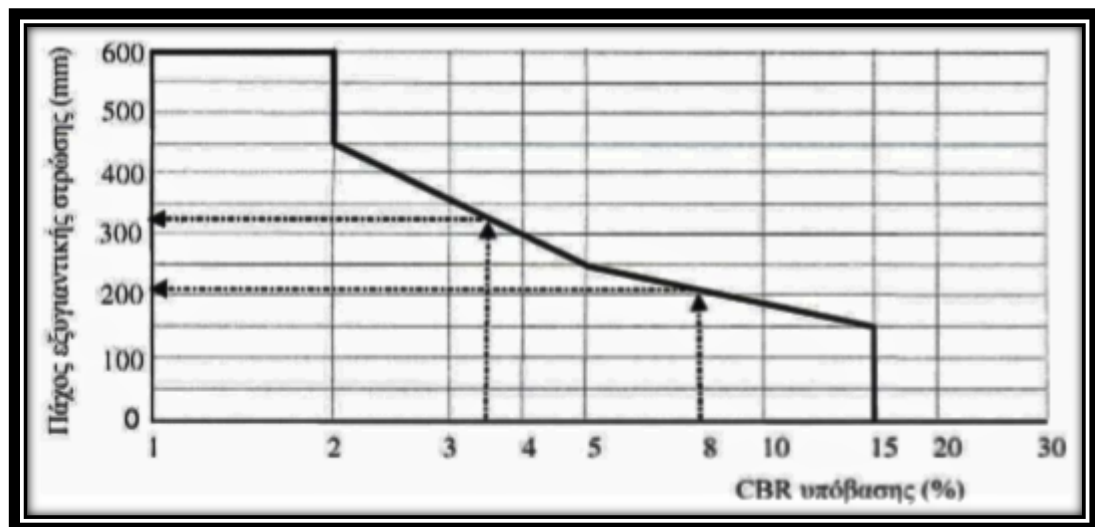
5.6 Υπολογισμός πάχους στρώσεων (Υπόβαση-Εξυγιαντική στρώση): Ο υπολογισμός του πάχους της υπόβασης, όπως ορίστηκε παραπάνω, γίνεται συναρτήσει του CBR του υπεδάφους. Όταν το υπεδάφος του οδοστρώματος είναι υγιές, βραχώδες έδαφος ή έχει εργαστηριακή τιμή CBR μεγαλύτερη από 30%, η υπόβαση μπορεί να παραληφθεί. Όταν το υπεδάφος έχει CBR μεγαλύτερο του 15% τότε το πάχος της υπόβασης είναι 150 mm. Όταν το υπεδάφος έχει CBR από 2.5% έως 15% τότε το πάχος της υπόβασης είναι μεταβλητό και καθορίζεται από το διάγραμμα 8.



Διάγραμμα 7: 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 διάγραμμα 9.



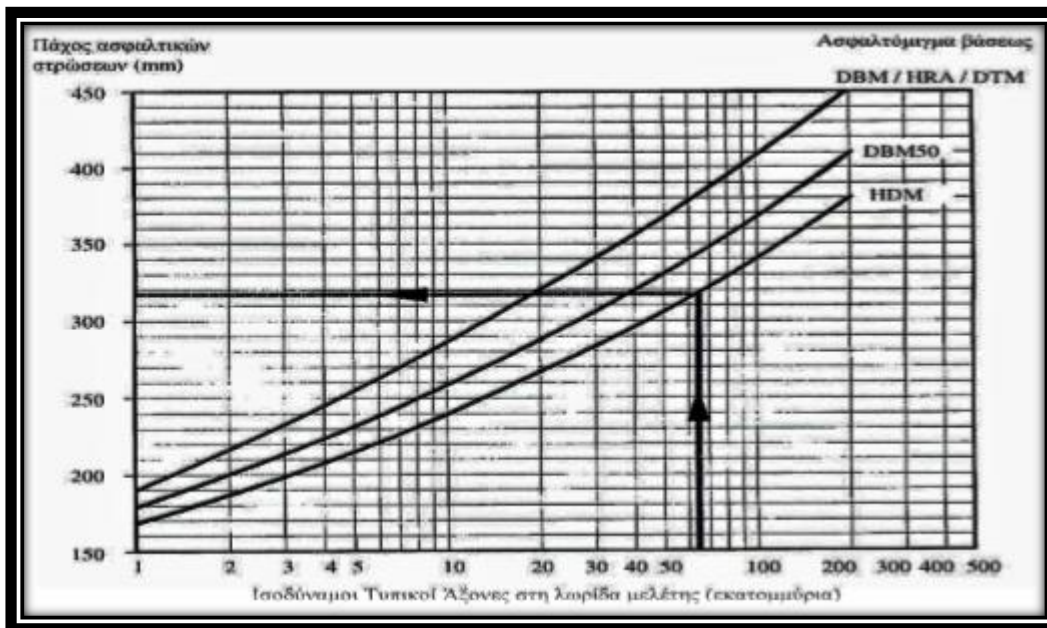
Διάγραμμα 8: Υπολογισμός πάχους εξυγιαντικής στρώσης.

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: 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).
- 4) Macadam υψηλής αντοχής (HDM- Heavy Duty Macadam).

Με τη χρήση του διαγράμματος 9, γνωρίζοντας τον κυκλοφοριακό φόρτο και χρησιμοποιώντας τη σχετική καμπύλη, υπολογίζεται το πάχος της στρώσης. Τα ασφαλτομίγματα (1) και (2) αντιπροσωπεύονται από την ίδια καμπύλη.



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα υπολογισμού πάχους ασφαλτικών στρώσεων.

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 (Θερμό 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 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.

6.2 Δεδομένα υπολογισμού: Τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του οδοστρώματος με βάση τις μετρήσεις και τους ελέγχους φαίνονται στη συνέχεια:

- Κυκλοφοριακός φόρτος:
 - Κυκλοφορία Βαρέων Οχημάτων/24ωρο (προς μια κατεύθυνση): $P_0=200$.
 - Ετήσια αύξηση: $r= 5.00\%$.
 - Χρόνια ζωής του οδοστρώματος: $n= 20$ έτη.
 - Μέσος συντελεστής φθοράς: $D= 1.5$.

Ο συνολικός αριθμός Ι.Τ.Α για όλη τη διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος είναι:

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

- **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 λαμβάνεται ίσο με 4%.
- Το οδόστρωμα που πρόκειται να κατασκευαστεί θα αποτελείται από υπόβαση και βάση από ασύνδετα αδρανή και από ασφαλτική επιφανειακή στρώση.

6.2.1 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του AASHTO

Κυκλοφοριακός φόρτος:

$$w_{18}=3.8*10^6$$

$$W_{18}=D_D * D_L * w_{18}=1*3.8*10^6=3.8*10^6$$

(Επειδή υπάρχει μόνο μια λωρίδα σε κάθε κατεύθυνση ο κυκλοφοριακός φόρτος δεν διαφοροποιείται για τη λωρίδα μελέτης, πίνακας 6).

Επίπεδο αξιοπιστίας: Από πίνακα 7, για υπεραστικούς δρόμους επιλέγουμε επίπεδο αξιοπιστίας **R= 85%**.

Τυπική απόκλιση: $S_o= 0.40$.

Συντελεστές αποστράγγισης: Το φυσικό έδαφος στην περιοχή του έργου, περιέχει πολύ άργιλο, συνεπώς 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 τα παραπάνω δεδομένα και από τον πίνακα 8, επιλέγουμε συντελεστές αποστράγγισης **$m_2=m_3=0.70$.**

Απώλεια δείκτη εξυπηρετικότητας:

$$P_o= 4.2$$

$$P_i= 2.5$$

$$\Delta PSI= P_o - P_i= 4.2-2.5= 1.7$$

Δομικοί συντελεστές:

- **Ασφαλτική στρώση:** Από το διάγραμμα 10 στο παράρτημα Β χρησιμοποιώντας ως μέτρο ελαστικότητας του ασφαλτικού σκυροδέματος **$E=400.000 \text{ psi}$** , τότε **$a_1= 0.42$**
- **Στρώση βάσης από ασύνδετα αδρανή:** Από το νομογράφημα 2.2 στο παράρτημα Β χρησιμοποιώντας **$CBR_{\text{βάσης}}=80\%$** και επίπεδο αξιοπιστίας **$R= 85\%$** , τότε **$a_2= 0.14$**
- **Στρώση υπόβασης από ασύνδετα αδρανή:** Από το νομογράφημα 2.5 στο παράρτημα Β χρησιμοποιώντας **$CBR_{\text{υπόβασης}}= 30\%$** και επίπεδο αξιοπιστίας **$R= 85\%$** , τότε **$a_3=0.09$**

Υπολογισμός του πάχους των στρώσεων:

- 1) Ασφαλτική στρώση:** Η ασφαλτική στρώση εδράζεται πάνω στη βάση από ασύνδετα αδρανή. Θέτοντας ως **CBR** της στρώσης βάσης **20%** ($M_r = 30.000 \text{ psi}$). Χρησιμοποιώντας το νομογράφημα 2.1 στο παράρτημα Β για $R=0.85$, $S_o=0.40$, $W_{18}=3.8 \cdot 10^6$, $M_r = 30.000 \text{ psi}$ και $\Delta PSI=1.7$ τότε ο δομικός αριθμός προκύπτει $SN_1=2.8$. Έτσι το απαιτούμενο πάχος της ασφαλτικής στρώσης που εδράζεται επί της βάσης με $M_r = 30000 \text{ psi}$ είναι: $D_1=SN_1/a_1=6.67 \text{ in}$ ή $D_1'=7 \text{ in}$. Συνεπώς $SN_1'=a_1 \cdot D_1'=2.94 > SN_1=2.8$, επομένως πληρείται το κριτήριο.
- 2) Βάση:** Η βάση εδράζεται πάνω στην υπόβαση από ασύνδετα αδρανή με **CBR= 8%** ($M_r=12.000 \text{ psi}$). Από το νομογράφημα 2.1 παράρτημα Β, ομοίως με τα ίδια δεδομένα πλην του ($M_r=12.000 \text{ psi}$) τότε ο δομικός αριθμός $SN_2=3.5$. Έτσι το απαιτούμενο πάχος της ασφαλτικής στρώσης που εδράζεται επί της βάσης με ($M_r=12.000 \text{ psi}$) είναι $D_2=(SN_2 - SN_1')/a_2 \cdot m_2=(3.5-2.94)/0.14 \cdot 0.70=5.71 \text{ in}$ ή $D_2'=6 \text{ in}$. Συνεπώς $SN_2'=D_2' \cdot a_2 \cdot m_2=0.588$.

Και $SN_1' + SN_2'=2.94+0.588=3.528 > SN_2=3.5$, επομένως πληρείται το κριτήριο.

- 3) Υπόβαση:** Η υπόβαση εδράζεται πάνω στο υπέδαφος με ισοδύναμο $M_r = 6000 \text{ psi}$ (**CBR 4%**) έτσι προκύπτει ο δομικός αριθμός $SN_3=4.5$. Έτσι το απαιτούμενο πάχος της υπόβασης είναι:

$$D_3=[SN_3 - (SN_1' + SN_2')]/a_3 \cdot m_3 = 15.42 \text{ in} \text{ ή } D_3'=16 \text{ in}.$$

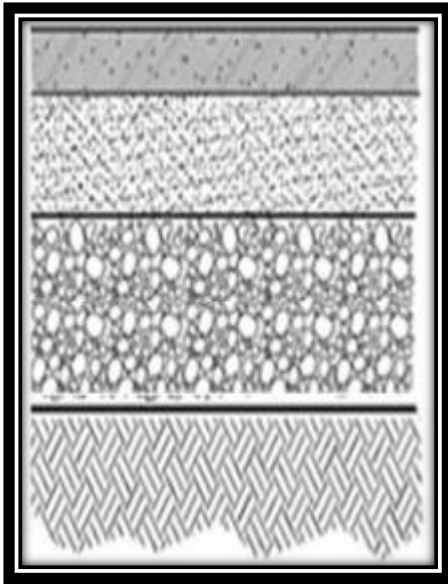
$$\text{Συνεπώς } SN_3'=D_3' \cdot a_3 \cdot m_3 = 1.008$$

Και $SN_1' + SN_2' + SN_3' = 2.94 + 0.588 + 1.008 = 4.536 > SN_3=4.5$, επομένως πληρείται το κριτήριο.

Τελικά τα πάχη των στρώσεων είναι:

- πάχος ασφαλτικής στρώσης $\rightarrow D_1'=7 \text{ in}$ ($177.8 \text{ mm} \rightarrow 180 \text{ mm}$)
- πάχος βάσης $\rightarrow D_2'=6 \text{ in}$ ($152.4 \text{ mm} \rightarrow 160 \text{ mm}$)
- πάχος υπόβασης $\rightarrow D_3'=16 \text{ in}$ ($406.4 \text{ mm} \rightarrow 410 \text{ mm}$)

Τελική δομή οδοστρώματος:



Επιφανειακή στρώση 180 mm

Βάση από ασύνδετα αδρανή 160 mm

Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή 410 mm

Υπέδαφος

Συνολικό πάχος = 750 mm

6.2.2 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη μέθοδο του Ινστιτούτου Ασφάλτου:

Κυκλοφοριακός φόρτος: Συνολικός αριθμός ΙΓΑ= $3.8 \cdot 10^6$

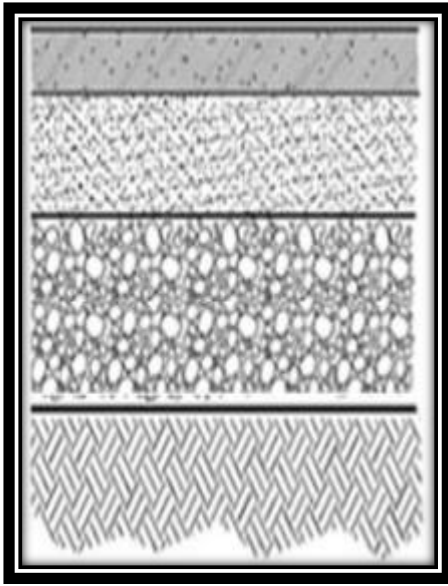
M_r υπεδάφους= Χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη τιμή **CBR= 4%**, τότε

$M_r = 10.3 \cdot \text{CBR} = 10.3 \cdot 4 = 41.20 \text{ MPa}$

Υπολογισμός πάχους στρώσεων: Χρησιμοποιώντας το νομογράφημα 3.1 στο παράρτημα Γ (για Μ.Ε.Θ.Α 15.5° C) τότε το προτεινόμενο οδόστρωμα αποτελείται από:

- ✓ 175 mm πάχος ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα
- ✓ 150 mm πάχος βάσης από ασύνδετα αδρανή
- ✓ 150 mm πάχος υπόβασης από ασύνδετα αδρανή

Τελική δομή οδοστρώματος:



Επιφανειακή στρώση 275 mm

Βάση από ασύνδετα αδρανή 150 mm

Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή 150 mm

Υπέδαφος

Συνολικό πάχος = 575 mm

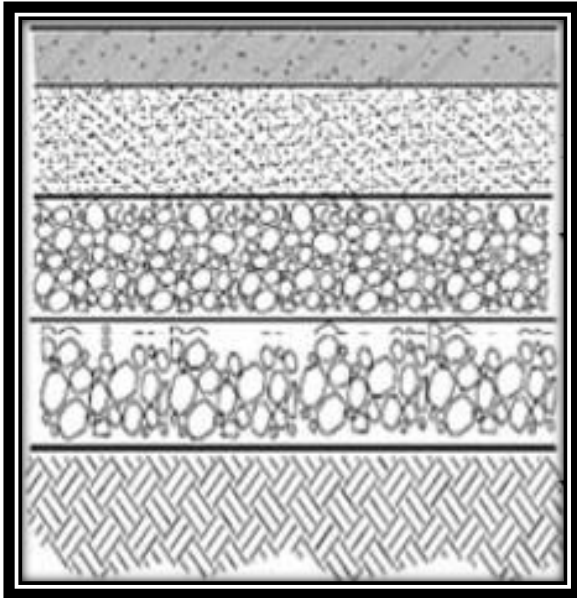
6.2.3 Υπολογισμός οδοστρώματος με τη βρετανική μέθοδο:

Κυκλοφοριακός φόρτος: Συνολικός αριθμός ΙΤΑ= $3.8 \cdot 10^6$

Υπολογισμός πάχους στρώσεων:

- **Υπόβαση – Εξυγιαντική στρώση:** Εφόσον η τιμή του **CBR** του φυσικού εδάφους είναι **4%**, χρειάζεται η κατασκευή υπόβασης μεταβλητού πάχους 255 mm σύμφωνα με το διάγραμμα 8 ή κατασκευή υπόβασης σταθερού πάχους 150 mm με ταυτόχρονη κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης μεταβλητού πάχους, την οποία και θα χρησιμοποιήσουμε. Συνεπώς από το διάγραμμα 9 βρίσκουμε εξυγιαντική στρώση πάχους 300 mm.
- **Ασφαλτική βάση και επιφανειακή στρώση:** Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα 10 για Macadam κλειστού τύπου με ασφαλτο 100 pen (DBM), προκύπτει ότι το πάχος της βάσης και της επιφανειακής στρώσης μαζί είναι 240 mm. Έτσι το πάχος της επιφανειακής στρώσης είναι 45 mm και τα υπόλοιπα 195 mm είναι το πάχος της στρώσης βάσης.

Τελική δομή οδοστρώματος:



Επιφανειακή στρώση 45 mm

Βάση από ασύνδετα αδρανή 195 mm

Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή πάχους 150 mm

Εξυγιαντική στρώση πάχους 300 mm

Υπέδαφος

Συνολικό πάχος = 690 mm

6.3 Σύγκριση μεθόδων διαστασιολόγησης:

Με την εφαρμογή των μεθόδων στα παραδείγματα που υπολογίστηκαν 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.

Κυκλοφοριακός Φόρτος (ΙΤΑ)	Στρώση	AASHTO (mm)	ASPHALT INSTITUTE (mm)	ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ (mm)
2.5*10 ⁶	Επιφανειακή	160	260	45
	Βάση	210	150	185
	Υπόβαση	410	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	300
	Συνολικό Πάχος	780	560	680
5.0*10 ⁶	Επιφανειακή	180	300	45
	Βάση	280	150	215
	Υπόβαση	340	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	300
	Συνολικό Πάχος	800	600	710
7.0*10 ⁶	Επιφανειακή	180	320	45
	Βάση	280	150	225
	Υπόβαση	360	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	300
	Συνολικό Πάχος	820	620	720
3.0*10 ⁷	Επιφανειακή	210	-	45
	Βάση	290	-	295
	Υπόβαση	490	-	150
	Εξυγιαντική	-	-	300
	Συνολικό Πάχος	990	440	790
5.10*10 ⁷	Επιφανειακή	260	-	45
	Βάση	380	-	325
	Υπόβαση	510	-	150
	Εξυγιαντική	-	-	300
	Συνολικό Πάχος	1150	480	820

Πίνακας 23: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 4%.

Κυκλοφοριακός Φόρτος (ITA)	Στρώση	AASHTO (mm)	ASPHALT INSTITUTE (mm)	ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ (mm)
2.5*10 ⁶	Επιφανειακή	160	225	45
	Βάση	210	150	185
	Υπόβαση	110	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	250
	Συνολικό Πάχος	480	525	630
5.0*10 ⁶	Επιφανειακή	180	275	45
	Βάση	280	150	215
	Υπόβαση	130	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	250
	Συνολικό Πάχος	590	575	660
7.0*10 ⁶	Επιφανειακή	180	290	45
	Βάση	300	150	225
	Υπόβαση	130	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	250
	Συνολικό Πάχος	610	590	670
3.0*10 ⁷	Επιφανειακή	210	-	45
	Βάση	390	-	295
	Υπόβαση	210	-	150
	Εξυγιαντική	-	-	250
	Συνολικό Πάχος	810	430	740
5.10*10 ⁷	Επιφανειακή	260	-	45
	Βάση	280	-	325
	Υπόβαση	310	-	150
	Εξυγιαντική	-	-	250
	Συνολικό Πάχος	850	460	770

Πίνακας 24: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 6%.

Κυκλοφοριακός Φόρτος (ITA)	Στρώση	AASHTO (mm)	ASPHALT INSTITUTE (mm)	ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ (mm)
2.5*10 ⁶	Επιφανειακή	160	180	45
	Βάση	210	150	185
	Υπόβαση	210	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	180
	Συνολικό Πάχος	580	480	560
5.0*10 ⁶	Επιφανειακή	180	230	45
	Βάση	280	150	215
	Υπόβαση	260	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	180
	Συνολικό Πάχος	720	530	590
7.0*10 ⁶	Επιφανειακή	180	250	45
	Βάση	280	150	225
	Υπόβαση	310	150	150
	Εξυγιαντική	-	-	180
	Συνολικό Πάχος	770	550	600
3.0*10 ⁷	Επιφανειακή	210	-	45
	Βάση	200	-	295
	Υπόβαση	390	-	150
	Εξυγιαντική	-	-	180
	Συνολικό Πάχος	800	390	670
5.10*10 ⁷	Επιφανειακή	260	-	45
	Βάση	150	-	325
	Υπόβαση	420	-	150
	Εξυγιαντική	-	-	180
	Συνολικό Πάχος	830	430	700

Πίνακας 25: Πάχη οδοστρώματος που εδράζεται σε υπέδαφος με CBR 11%.

6.3.1 Επεξηγήσεις αποτελεσμάτων-Σημειώσεις

Μέθοδος AASHTO:

1. Σε όλα τα υπολογισμένα πάχη το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή
 - Βάση από ασύνδετα αδρανή
 - Επιφανειακή στρώση από ασφατικό σκυρόδεμα
2. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση $Mr=1500 \cdot CBR$, για διάφορες τιμές του CBR και την χρήση του νομογραφήματος 2.1 στο παράρτημα Β, έγινε ο υπολογισμός του δομικού αριθμού (SN) για κάθε στρώση και κατόπιν με την χρήση των δομικών συντελεστών (a_1, a_2, a_3), υπολογίστηκαν τα πάχη των στρώσεων που θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν την εξίσωση $SN = \sum a_i \cdot D_i$
3. Η μέθοδος δεν υπολογίζει τοποθέτηση εξυγιαντικής στρώσης

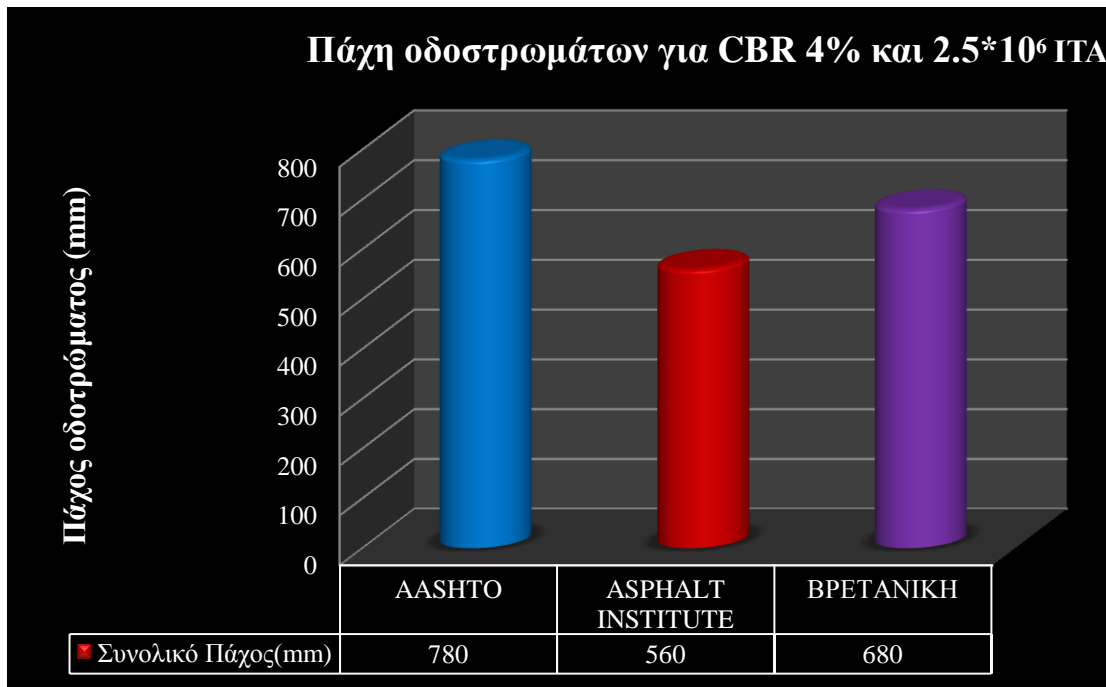
Μέθοδος ASPHALT INSTITUTE

1. Σε όλα τα υπολογισμένα πάχη το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή
 - Βάση από ασύνδετα αδρανή
 - Επιφανειακή στρώση από ασφατικό σκυρόδεμα
2. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος, (π.χ. $3 \cdot 10^7$ και $5 \cdot 10^7$) δεν ήταν εφικτό να διαστασιολογήσουμε τα πάχη, γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκε το νομογράφημα 3.3 στο παράρτημα Γ, στο οποίο υπολογίζεται το ολικό πάχος του οδοστρώματος για ψυχρό ασφατόμιγμα με επιφανειακή επίστρωση
3. Η μέθοδος δεν υπολογίζει τοποθέτηση εξυγιαντικής στρώσης

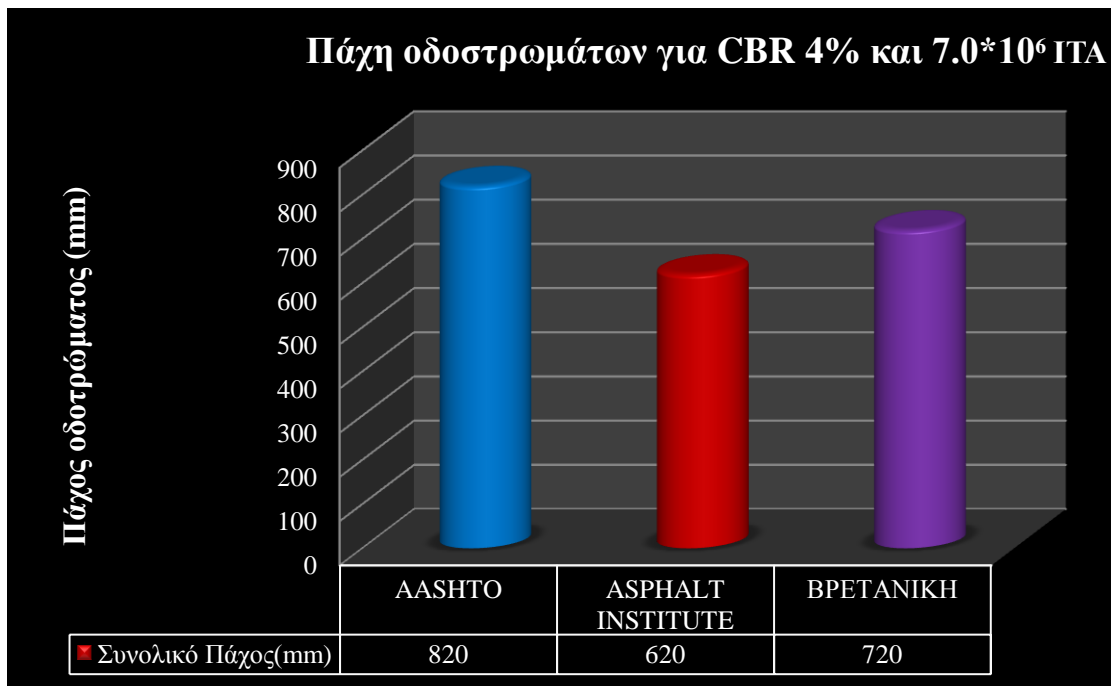
ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ μέθοδος

1. Σε όλα τα υπολογισμένα πάχη το οδόστρωμα αποτελείται από:
 - Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή
 - Βάση από ασύνδετα αδρανή
 - Επιφανειακή στρώση από ασφατικό σκυρόδεμα
2. Εφόσον τα CBR που εξετάζουμε είναι 4-6-11%, υπολογίζεται το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί θεωρώντας ότι το πάχος της υπόβασης είναι σταθερό 150mm.

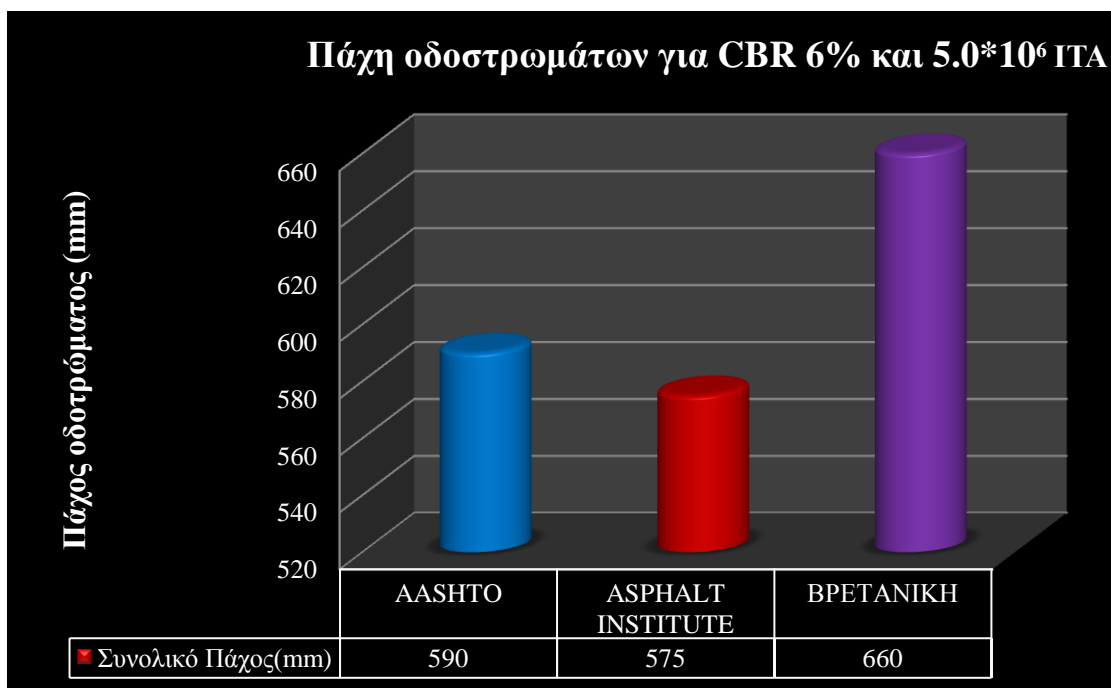
8.4 Γραφική σύγκριση προτεινόμενων οδοστρωμάτων: Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τους πίνακες 23-24-25 στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται μια συγκριτική γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για το συνολικό πάχος των προτεινόμενων οδοστρωμάτων



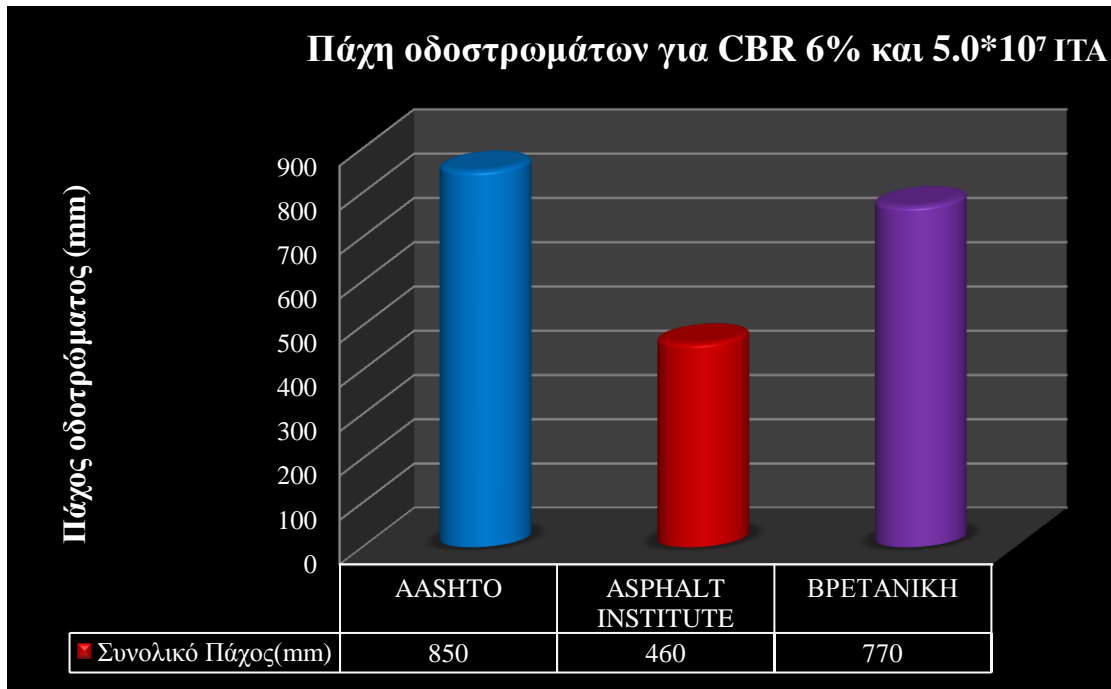
Σχήμα 8: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 4% και κυκλοφοριακό φόρτο $2.5 \cdot 10^6$ ΙΤΑ.



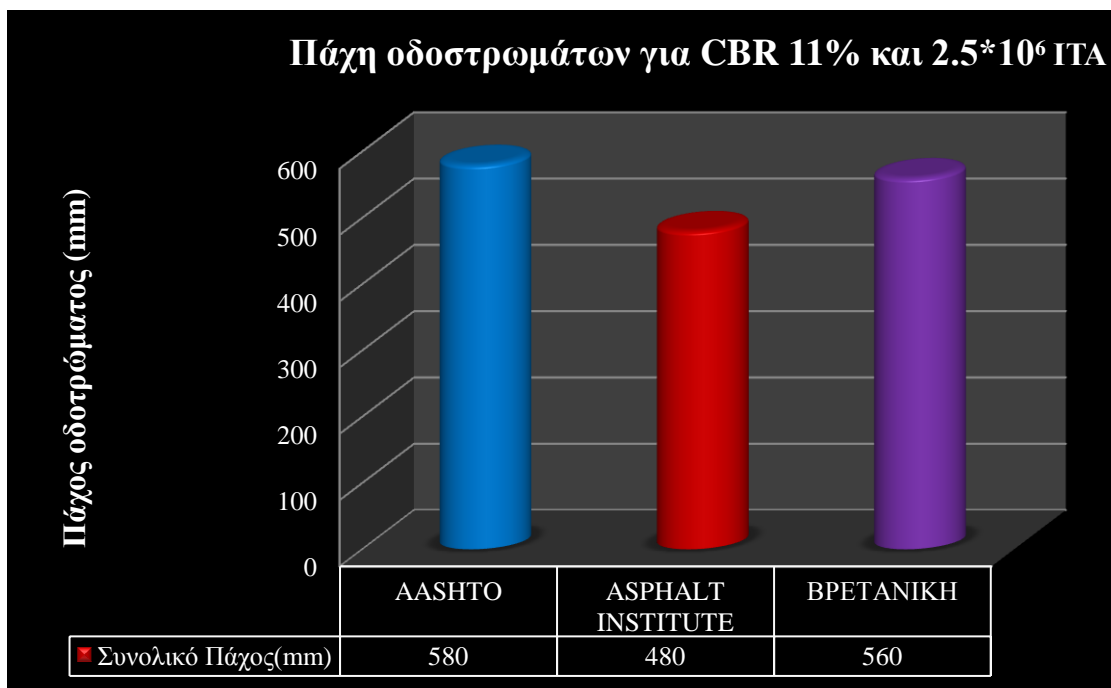
Σχήμα 9: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 4% και κυκλοφοριακό φόρτο $7 \cdot 10^6$ ITA.



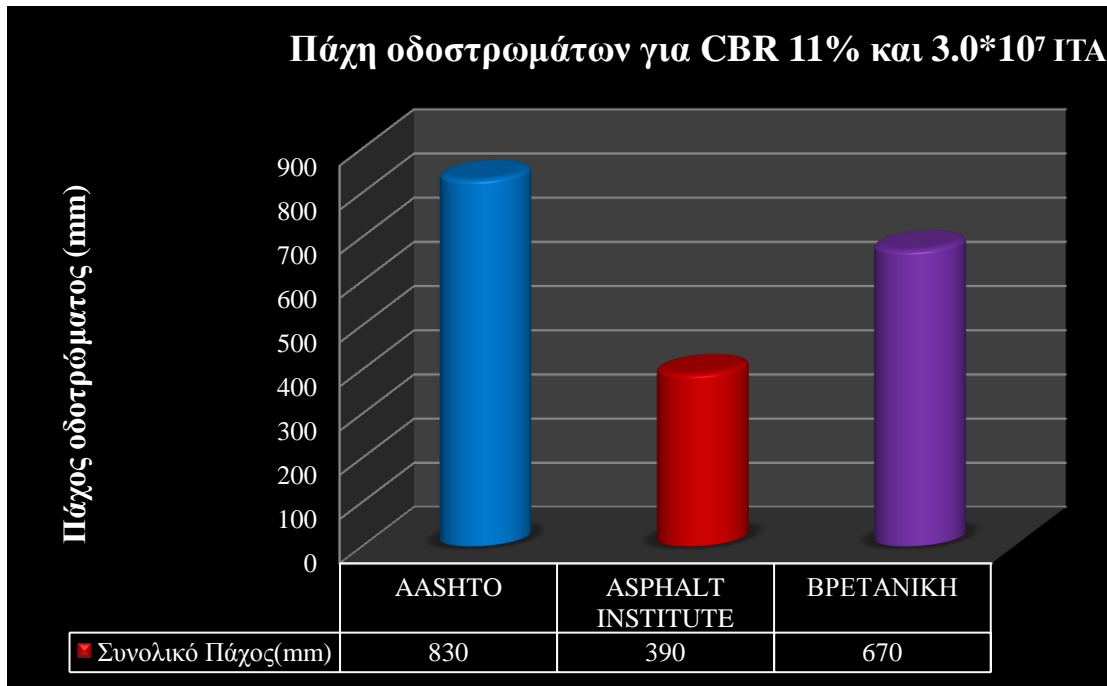
Σχήμα 10: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 6% και κυκλοφοριακό φόρτο $5 \cdot 10^6$ ITA.



Σχήμα 11: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 6% και κυκλοφοριακό φόρτο $5 \cdot 10^7$ ITA.



Σχήμα 12: Γραφική απεικόνιση οδοστρωμάτων για CBR 11% και κυκλοφοριακό φόρτο $2.5 \cdot 10^6$ ITA.



Σχήμα 13: Γραφική απεικόνιση οδοστρώματων για CBR 11% και κυκλοφοριακό φόρτο $3 \cdot 10^7$ ITA.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ταυτόχρονα με τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων, εξίσου 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. Για την οικονομική ανάλυση θα πρέπει να εκτιμηθούν με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια:

- ✓ Το αρχικό κόστος κατασκευής
- ✓ Το κόστος μελλοντικής συντήρησης
- ✓ Ο χρόνος κάθε μελλοντικής επέμβασης για μικρής ή μεγάλης έκτασης συντήρηση
- ✓ Το επιτόκιο
- ✓ Το κόστος του χρήστη(κόστος χρόνου διαδρομής, κόστος λειτουργίας του οχήματος, ατυχήματα και έλλειψη άνεσης)
- ✓ Υπολειμματική αξία του οδοστρώματος

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.

7.1 Σύγκριση κόστους κατασκευής: Χρησιμοποιώντας τιμές μονάδος της γενικής διεύθυνσης αναπτυξιακού προγραμματισμού περιβάλλοντος και υποδομών, 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): 14.30€/m³**
- **Βάση (ασύνδετα αδρανή): 19.30€/m³**
- **Βάση (ασφαλτική): 80.10€/m³**
- **Επιφανειακή στρώση (B.C και W.C): 184.57€/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 $2.5 \cdot 10^6$ και CBR εδάφους 4%, το συνολικό κόστος κατασκευής του οδοστρώματος που υπολογίζεται είναι:

- ❖ **Υπόβαση: $0.410\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 1\text{m} = 0.410 \text{ m}^3 \cdot 14.30\text{€/m}^3 = 5.86 \text{ €}$**
- ❖ **Βάση: $0.210 \cdot 1\text{m} \cdot 1\text{m} = 0.210 \text{ m}^3 \cdot 19.30\text{€/m}^3 = 4.05 \text{ €}$**
- ❖ **Επιφανειακή στρώση: $0.160 \text{ m}^3 \cdot 184.57\text{€/m}^3 = 29.53 \text{ €}$**

$$\text{ΣΥΝΟΛΟ} = 39.44 \text{ € / m}^2$$

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 $[(2.5-5-7) \cdot 10^6]$ για τις διάφορες τιμές CBR (4-6-11%).

Μέθοδος CBR Εδάφους	AASHTO	ASPHALT INSTITUTE	ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ
4%	39.44€	53.02€	16.86€
6%	35.15€	46.56€	16.38€
11%	34.05€	38.26€	15.72€

Πίνακας 26: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο $2.5 \cdot 10^6$

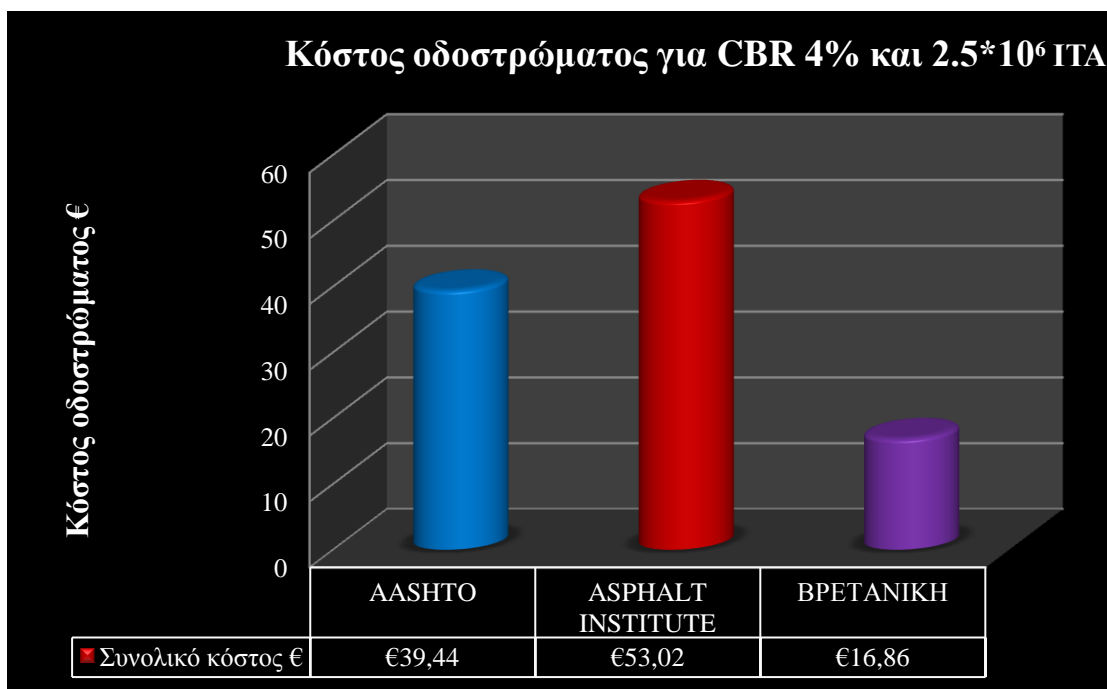
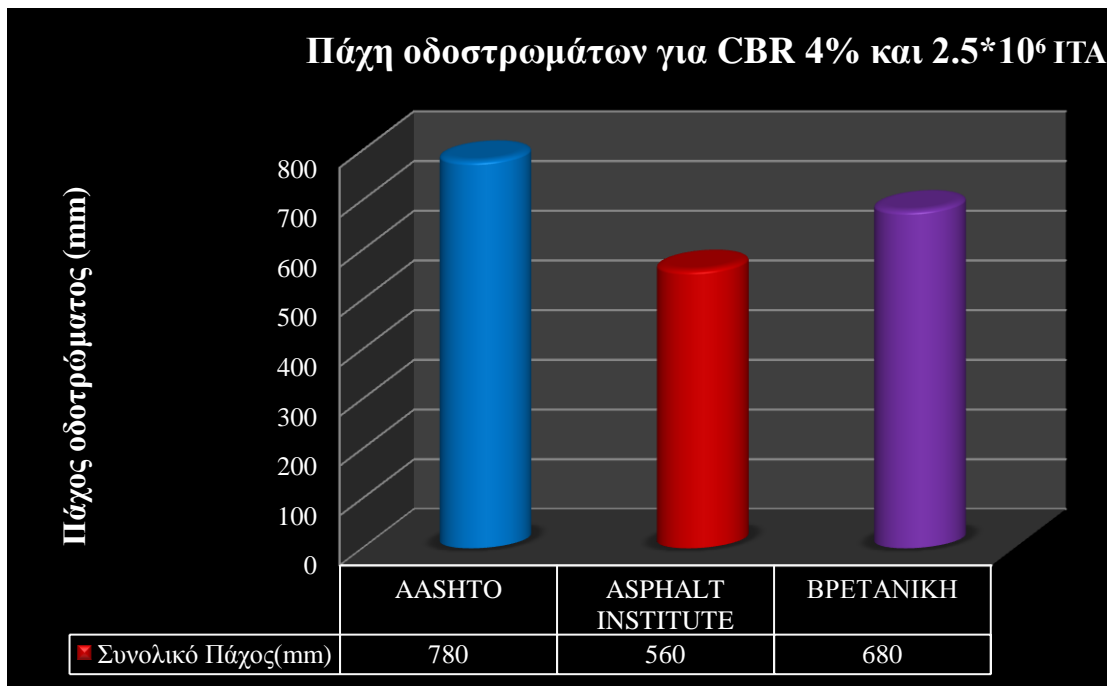
Μέθοδος CBR Εδάφους	AASHTO	ASPHALT INSTITUTE	ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ
4%	43.48€	60.40€	17.44€
6%	40.48€	55.78€	16.96€
11%	39.15€	47.48€	16.30€

Πίνακας 27: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο $5 \cdot 10^6$

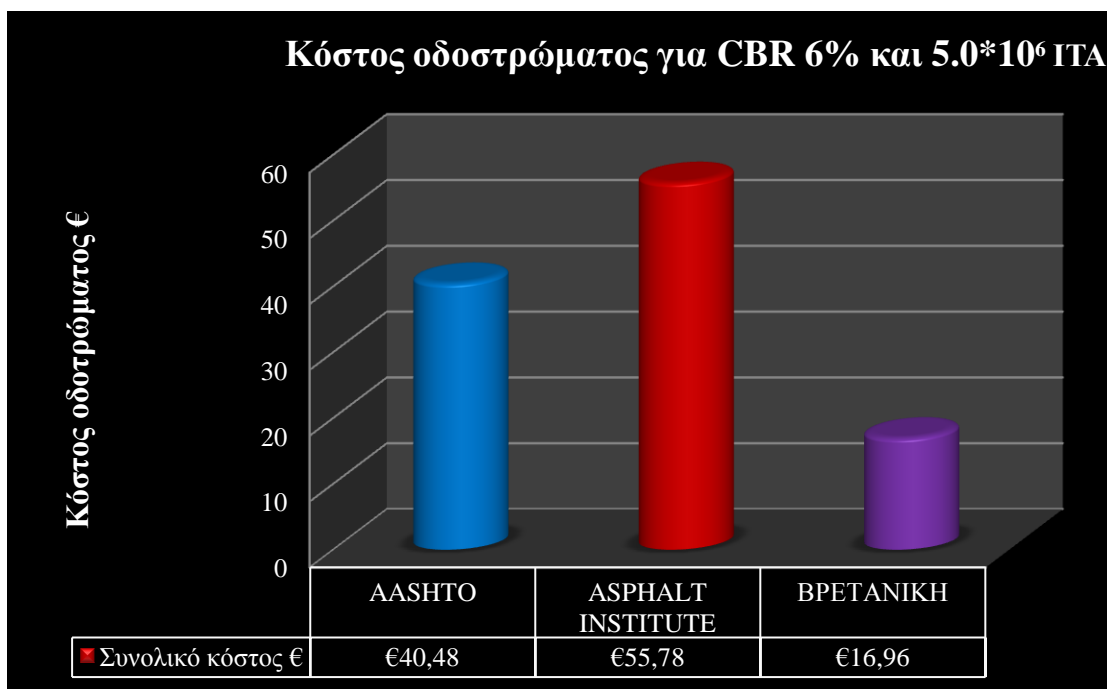
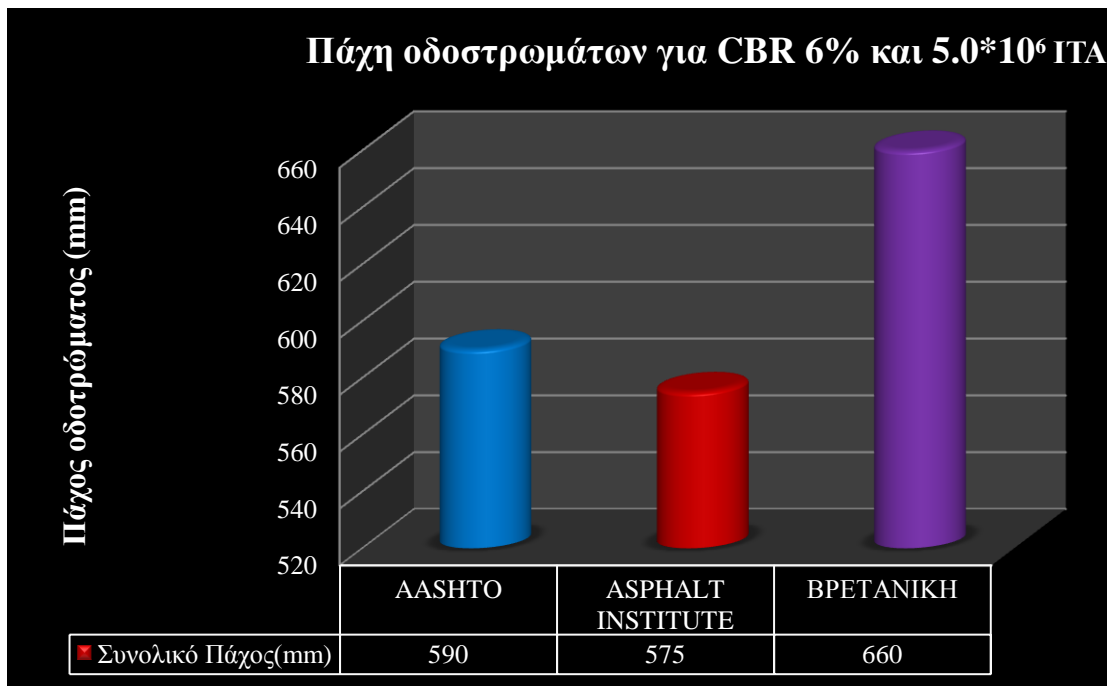
Μέθοδος CBR Εδάφους	AASHTO	ASPHALT INSTITUTE	ΒΡΕΤΑΝΙΚΗ
4%	43.77€	64.10€	17.63€
6%	40.87€	58.55€	17.25€
11%	40.34€	51.18€	16.49€

Πίνακας 28: Κόστος κατασκευής οδοστρώματος για κυκλοφοριακό φόρτο $7 \cdot 10^6$

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 σχήματα που ακολουθούν (14,15) δίνεται μια εικόνα αυτής της σύγκρισης.



Σχήμα 14: Σύγκριση υπολογιζόμενου πάχους και κόστους οδοστρώματων με CBR 4% και φόρτο $2.5 \cdot 10^6$.



Σχήμα 15: Σύγκριση υπολογιζόμενου πάχους και κόστους οδοστρώματων με CBR 6% και φόρτο $5.0 \cdot 10^6$.

7.2 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 επισημανθεί 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. 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.

4. Με τη διεξαγωγή της σύγκρισης κόστους κατασκευής των οδοστρωμάτων διαπιστώθηκε, 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 αν το συνολικό πάχος είναι μεγαλύτερο, αλλά το ποιες στρώσεις είναι αυτές που έχουν μεγαλύτερο πάχος.
5. 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.
6. Τέλος όπως παρατηρείται από όλες τις μεθόδους το κόστος μειώνεται με την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους (CBR).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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.

8.1 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.

8.2 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.
- 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.

8.3 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:

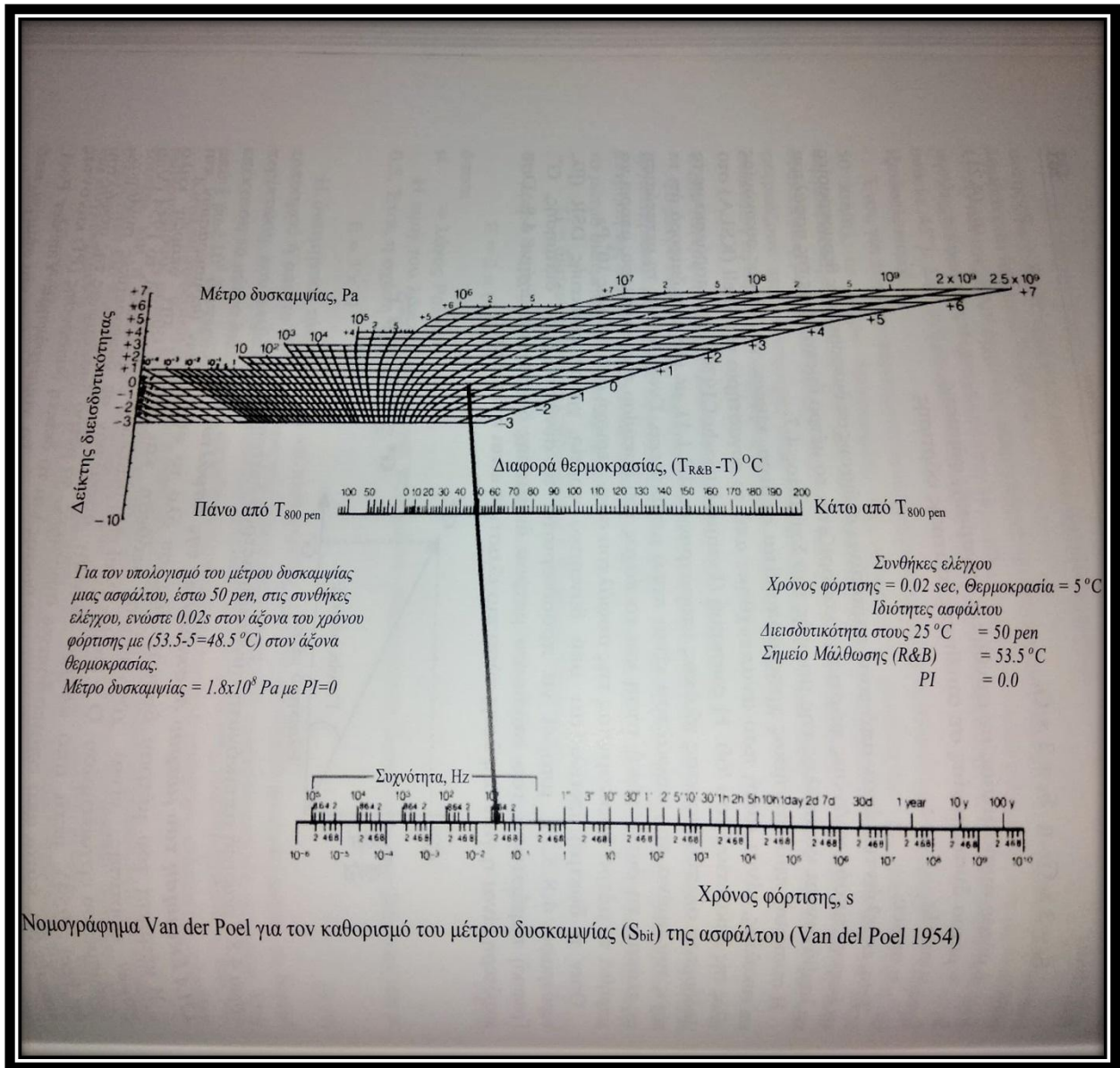
- Αλλαγές στη κατασκευή και στα υλικά που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του οδοστρώματος όπως είναι για παράδειγμα η γήρανση της ασφάλτου
- Πιο λεπτομερή δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη διαφορετικούς άξονες, φορτία κλπ.
- Αλλοιώσεις στη δομή του οδοστρώματος 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.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

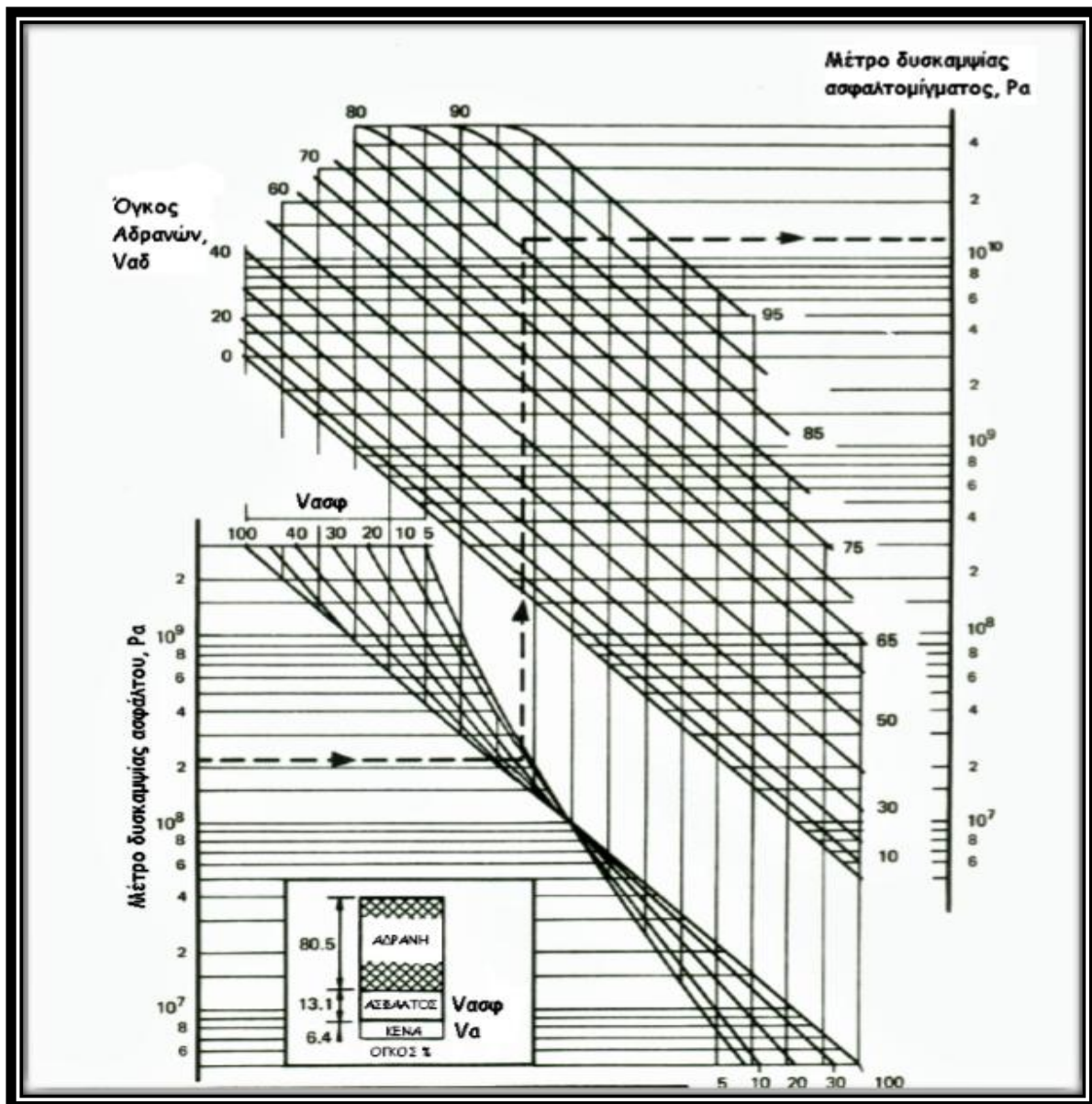
1. Αθ. Φ. Νικολαΐδης, 1996. Οδοποιία οδοστρώματα –υλικά , έλεγχος Ποιότητας.
2. Yang H. Huang, 2004. Pavement analysis and design, second edition.
3. Ιωάννης Δ. Κοφίτσας, 1997 Στοιχεία οδοστρωμάτων.
4. Κόλιας, Α. Λοίζος, 1992. «Σημειώσεις Οδοστρωμάτων»
5. Highways Agency, 2006. Design manual for roads and bridges pavement design and maintenance, November 2006.
6. Τσόχος Γ. , 1984. Οδοποιία, Τόμος Γ΄, Τεύχος 1, Η μελέτη των οδοστρωμάτων.
7. AASHTO 1993, “AASHTO guide for design of pavement structures”, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C
8. Asphalt-Institute. (1991). Thickness design - Asphalt pavements for highways and streets. Manual series No.1 (MS-1), Asphalt Institute, Lexington, KY.
9. “Μελέτη οδοστρωμάτων/ Pavement design.” <<http://www.paver.gr/texnikaarthra/113-pavement-design>> (Apr. 16, 2018).
10. Οδοστρώματα οδών και αεροδρομίων. Πανεπιστήμιο Πάτρας, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (Οκτ. 10,2017).
11. Σημειώσεις μαθήματος οδοποιία II, Νίκη Μπέσκου (2020).

10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:

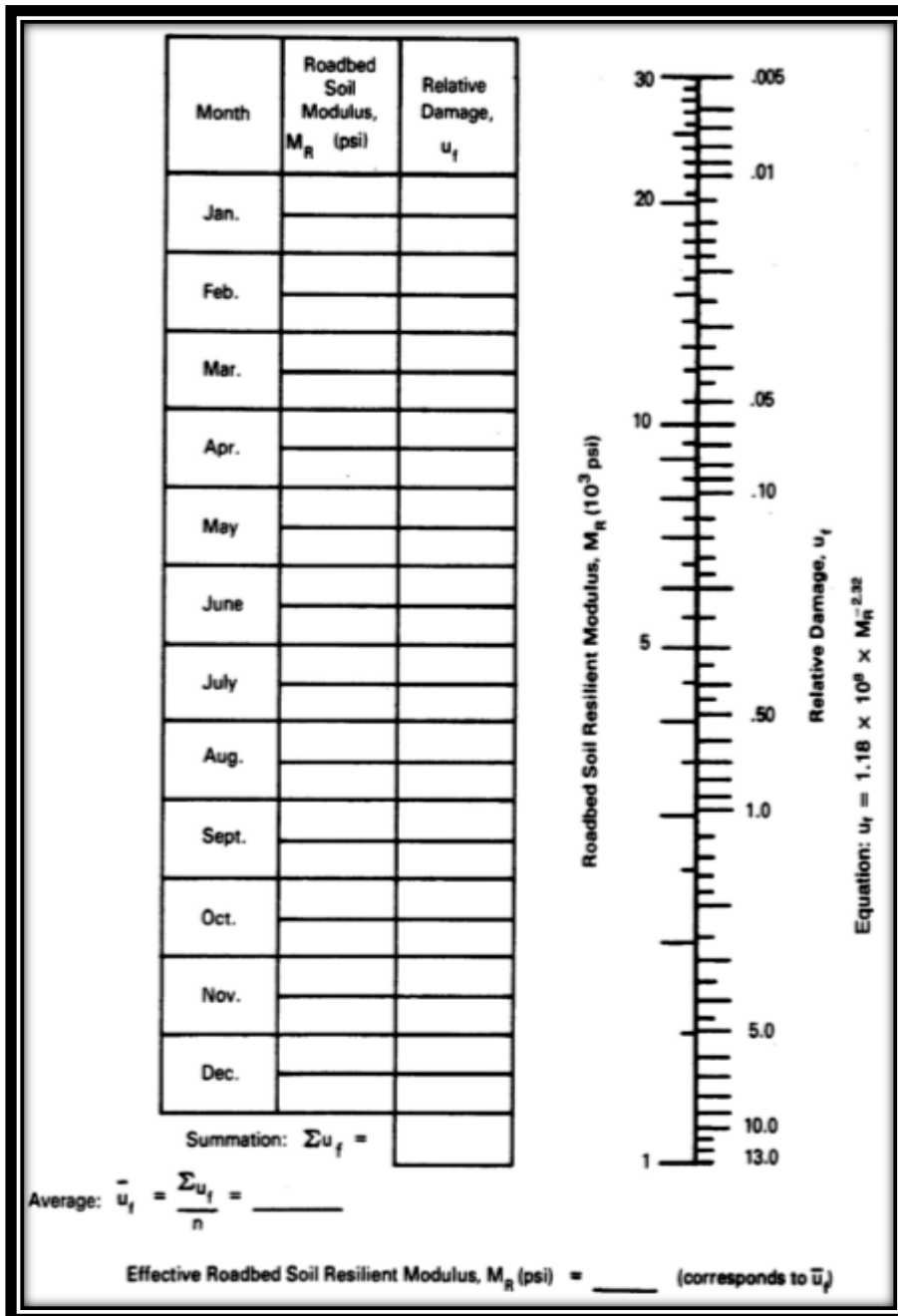


Νομογράφημα 1.1: Νομογράφημα Van der Poel για τον καθορισμό του μέτρου δυσκαμψίας της ασφάλτου (Van der Poel 1954).

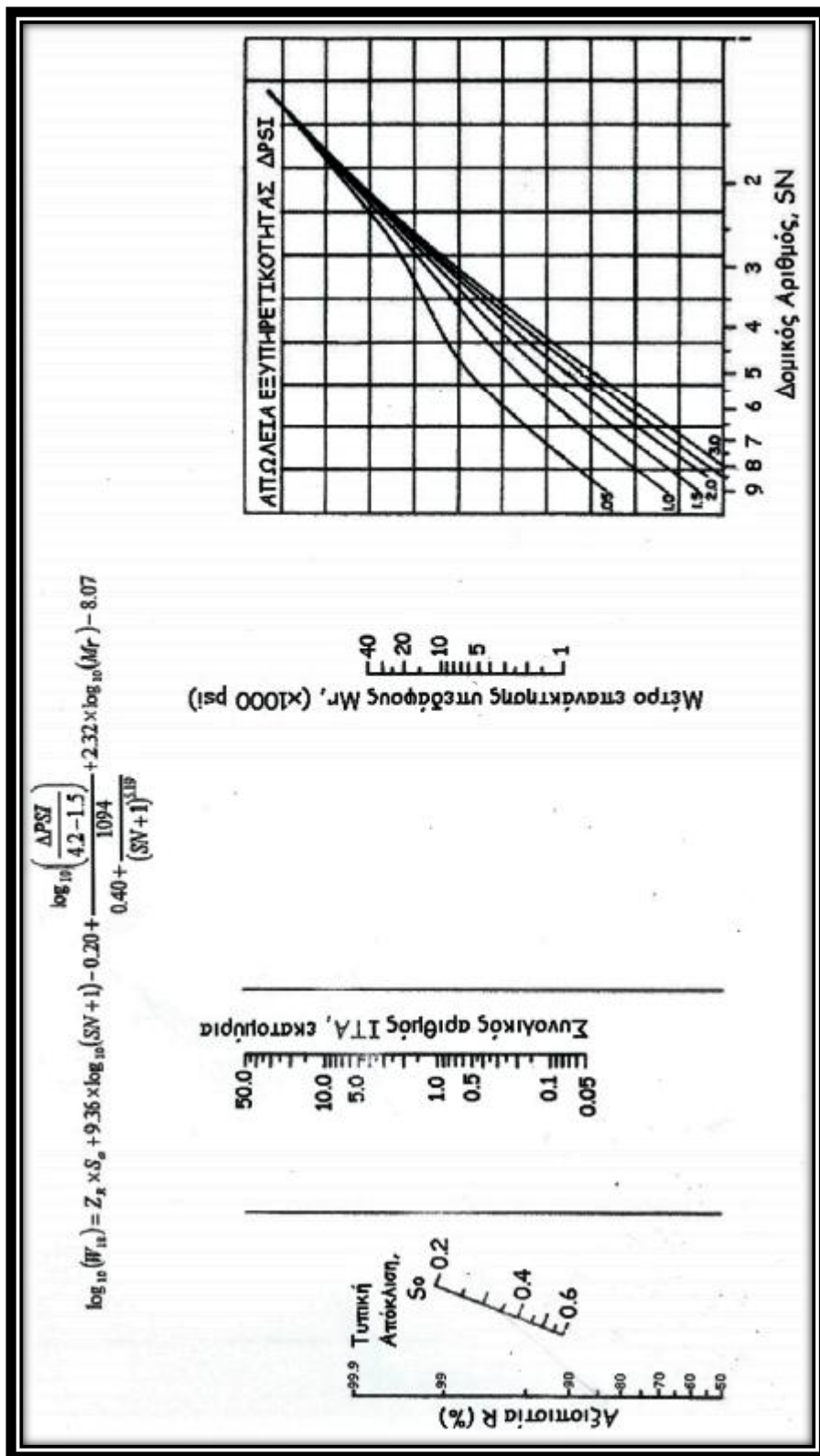


Νομογράφημα 1.2: Νομογράφημα εκτίμησης μέτρου δυσκαμψίας ασφαλτομίγματος.

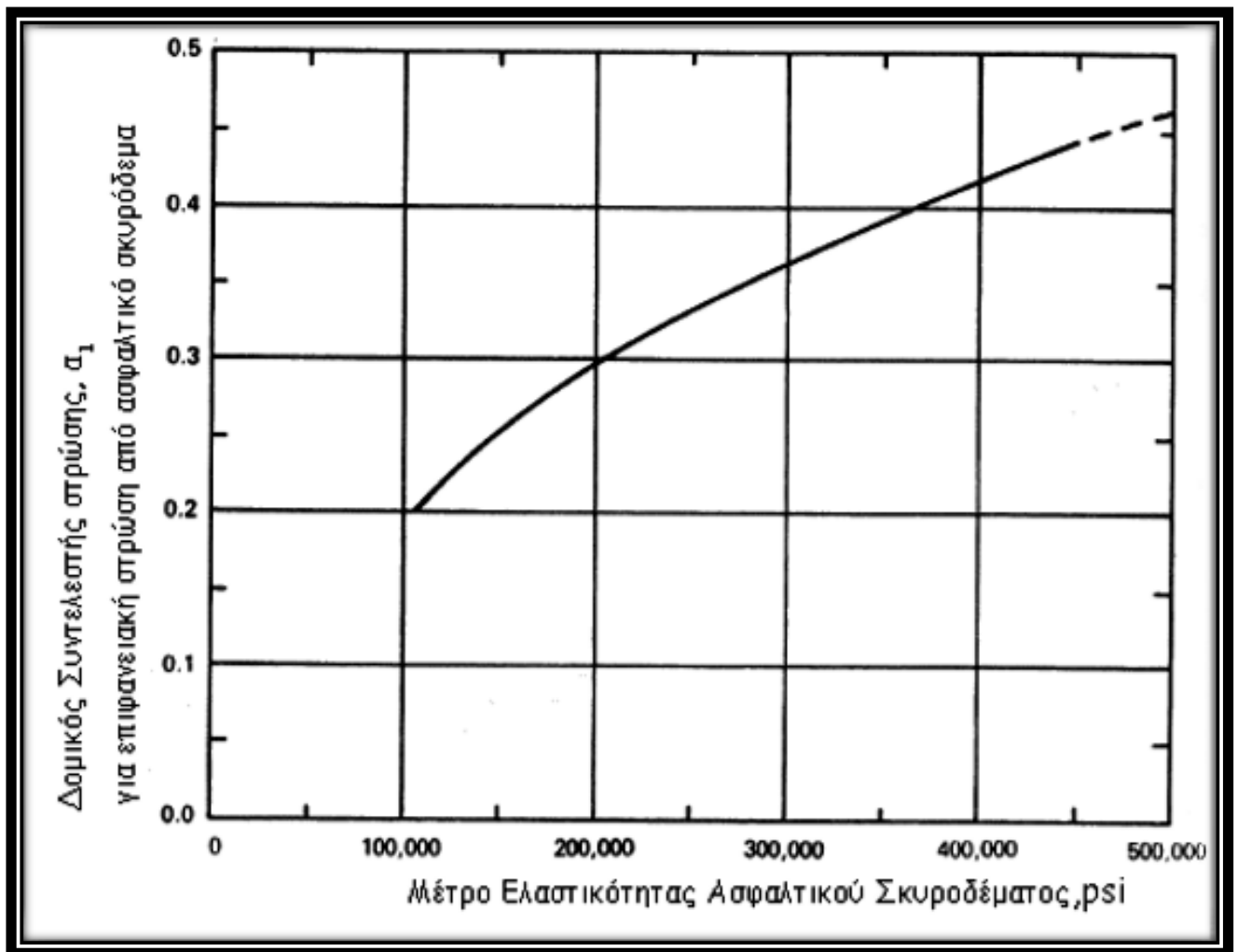
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:



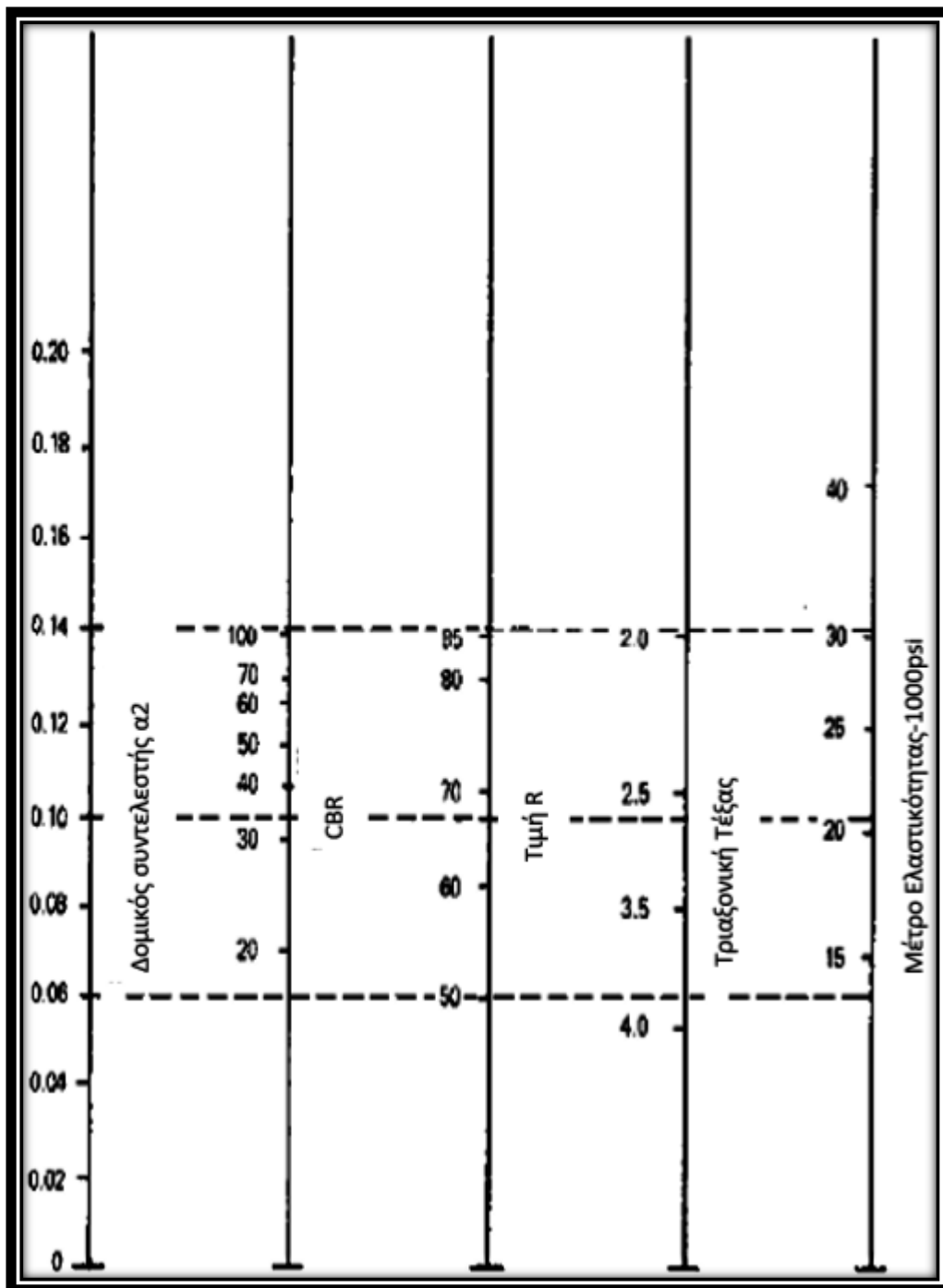
Σχήμα 7: Πίνακας και κλίμακα υπολογισμού μέτρου επανάκτησης υπεδάφους (M_R).



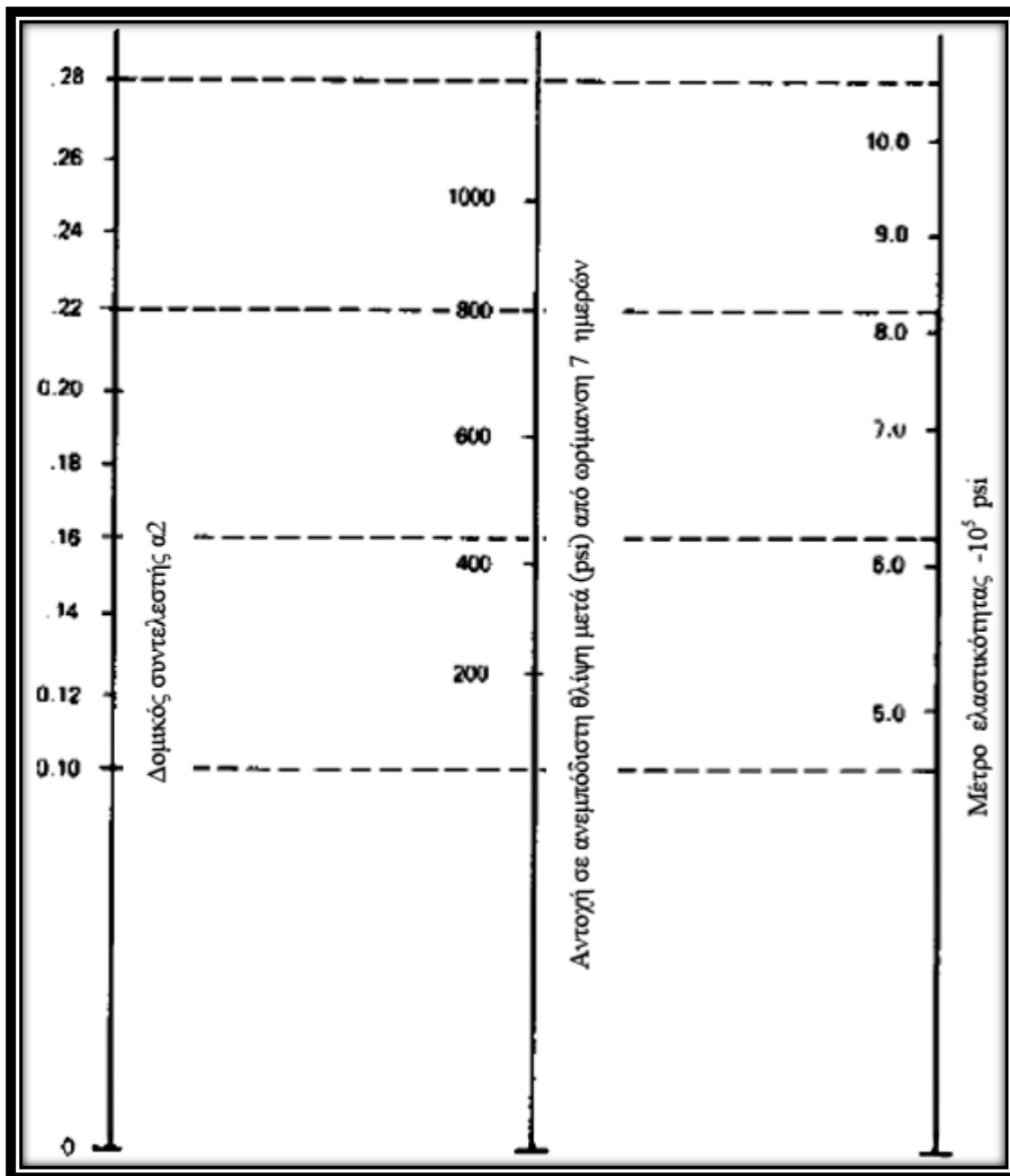
Νομογράφημα 2.1: Νομογράφημα εκτίμησης δομικού αριθμού στρώσης και οδοστρώματος.



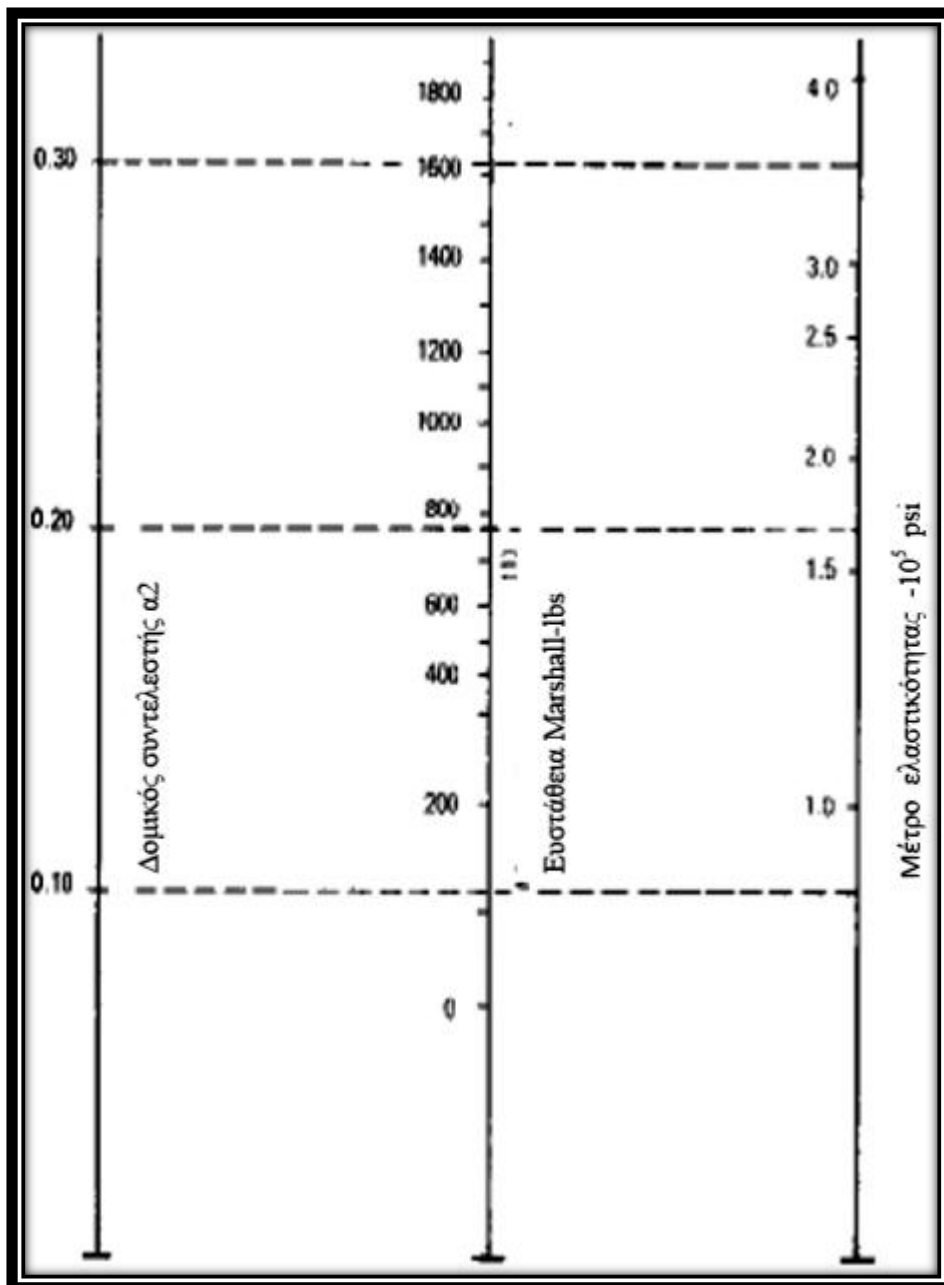
Διάγραμμα 10: Συντελεστής στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα (a_1).



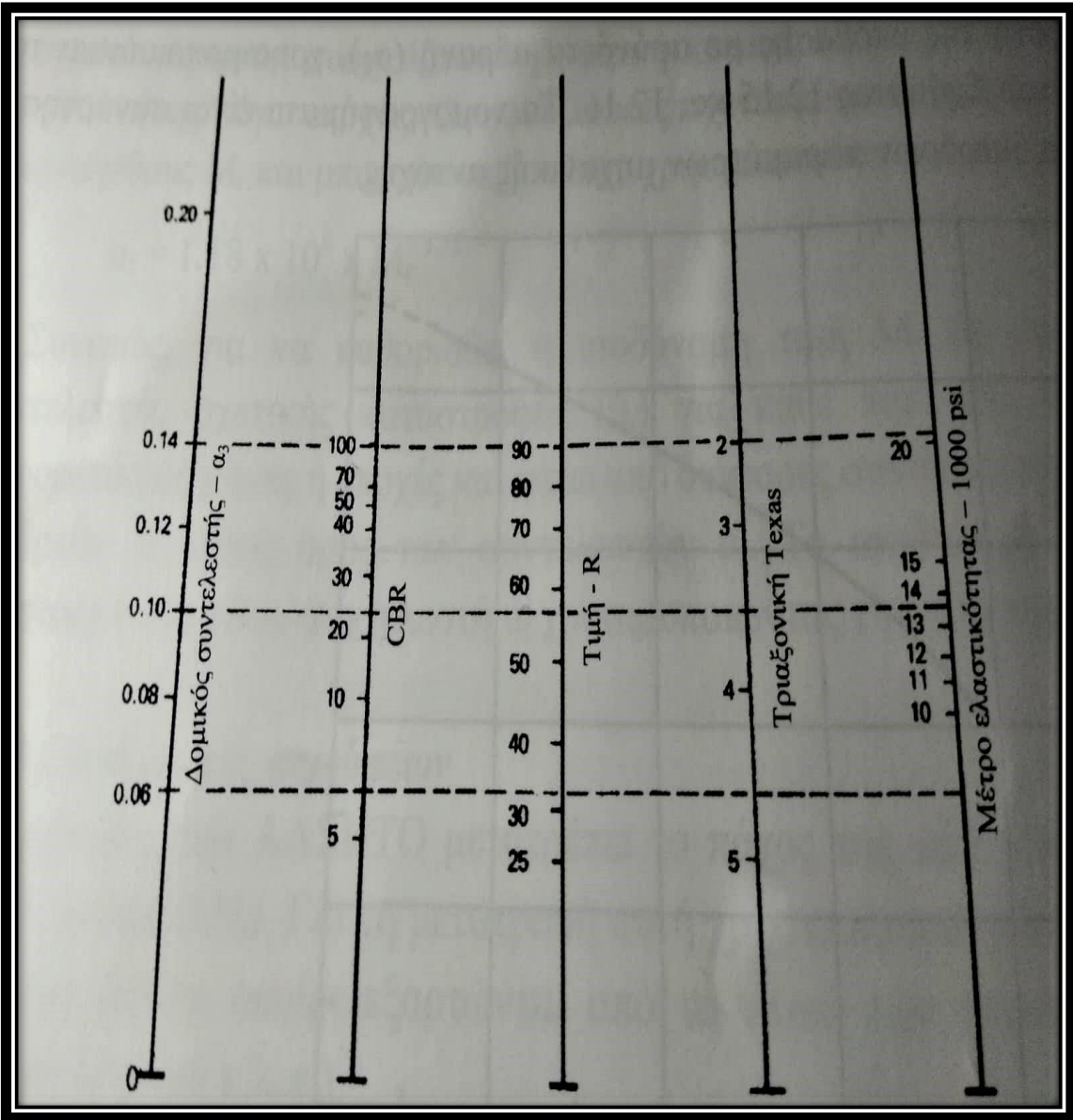
Νομογράφημα 2.2: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2).



Νομογράφημα 2.3: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχύ σκυρόδεμα (α_2).

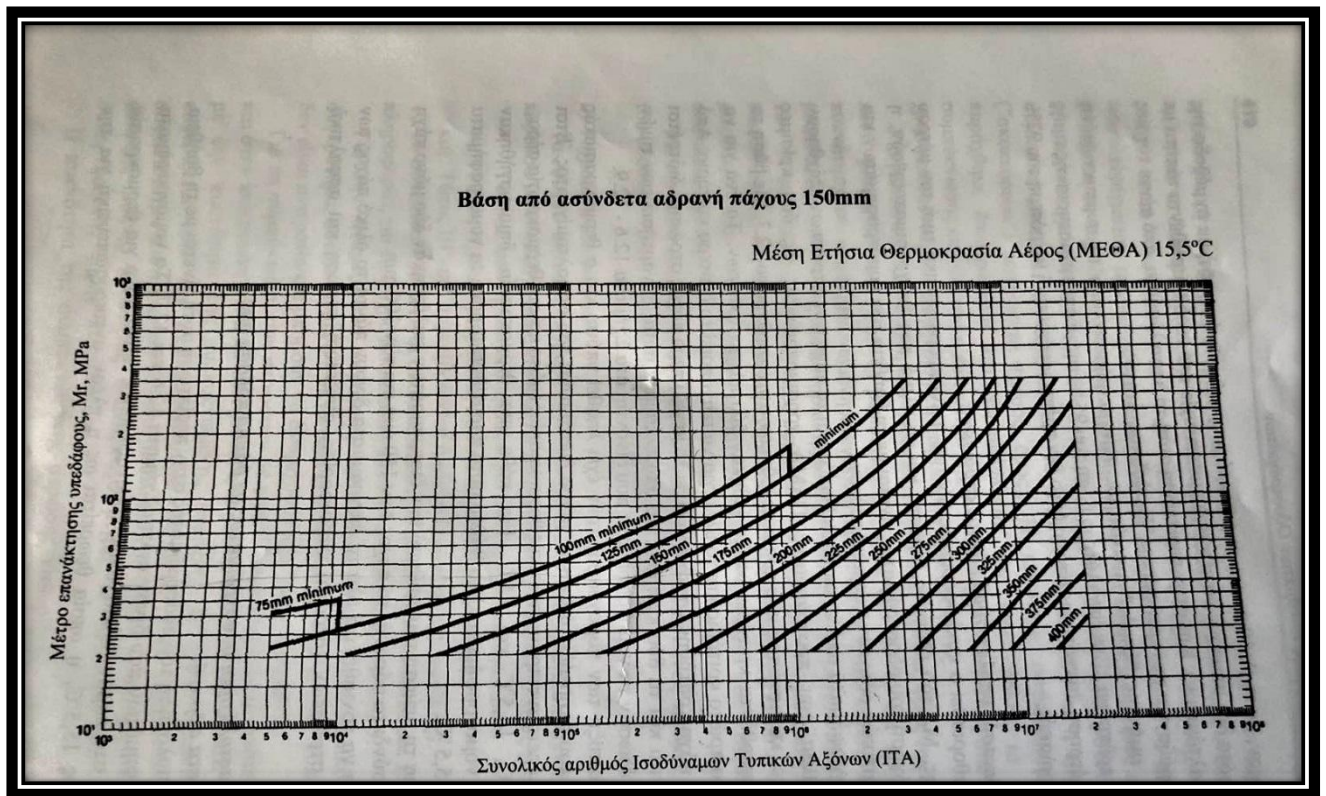


Νομογράφημα 2.4: Συντελεστής στρώσεως βάσης από ισχύο ασφαλτόμγμα (a₂).

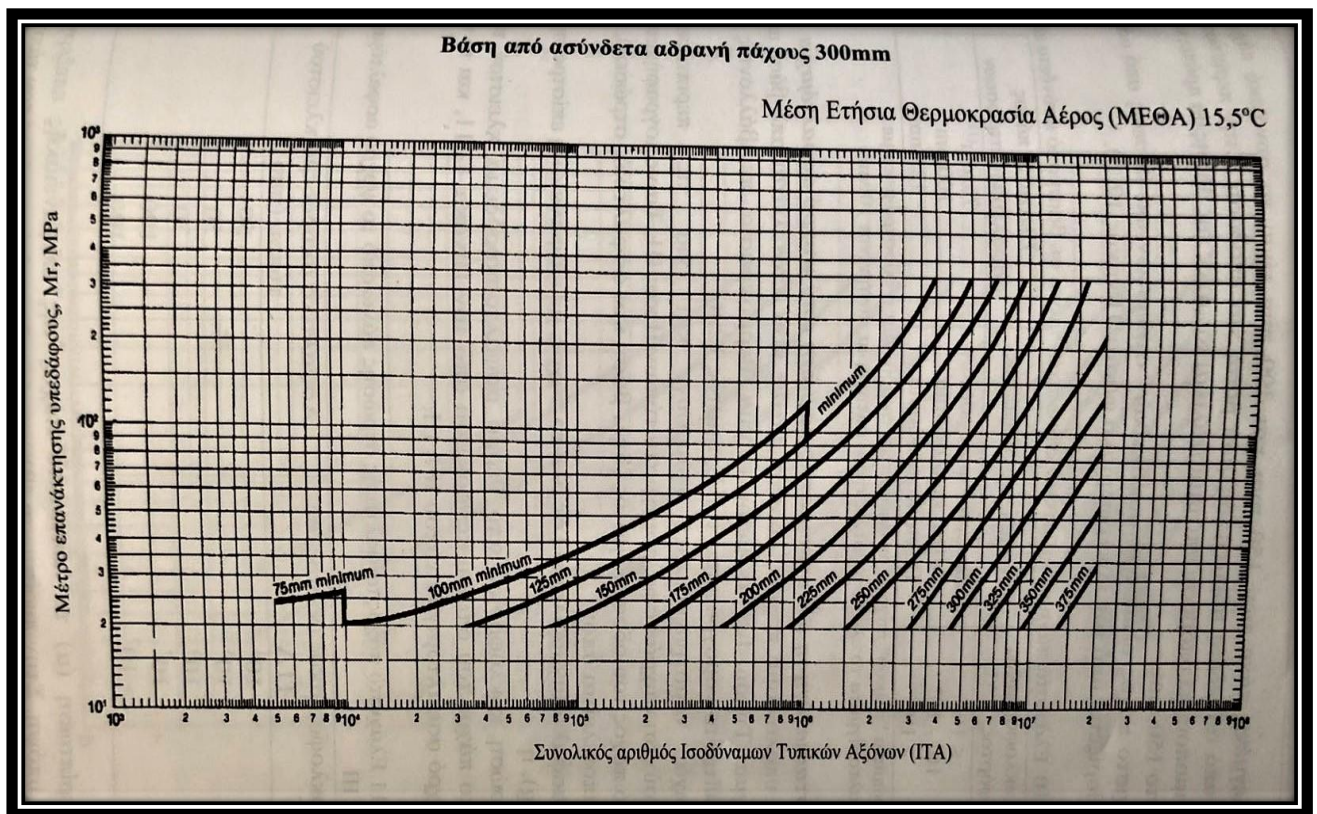


Νομογράφημα 2.5: Συντελεστής στρώσεως υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (a_3).

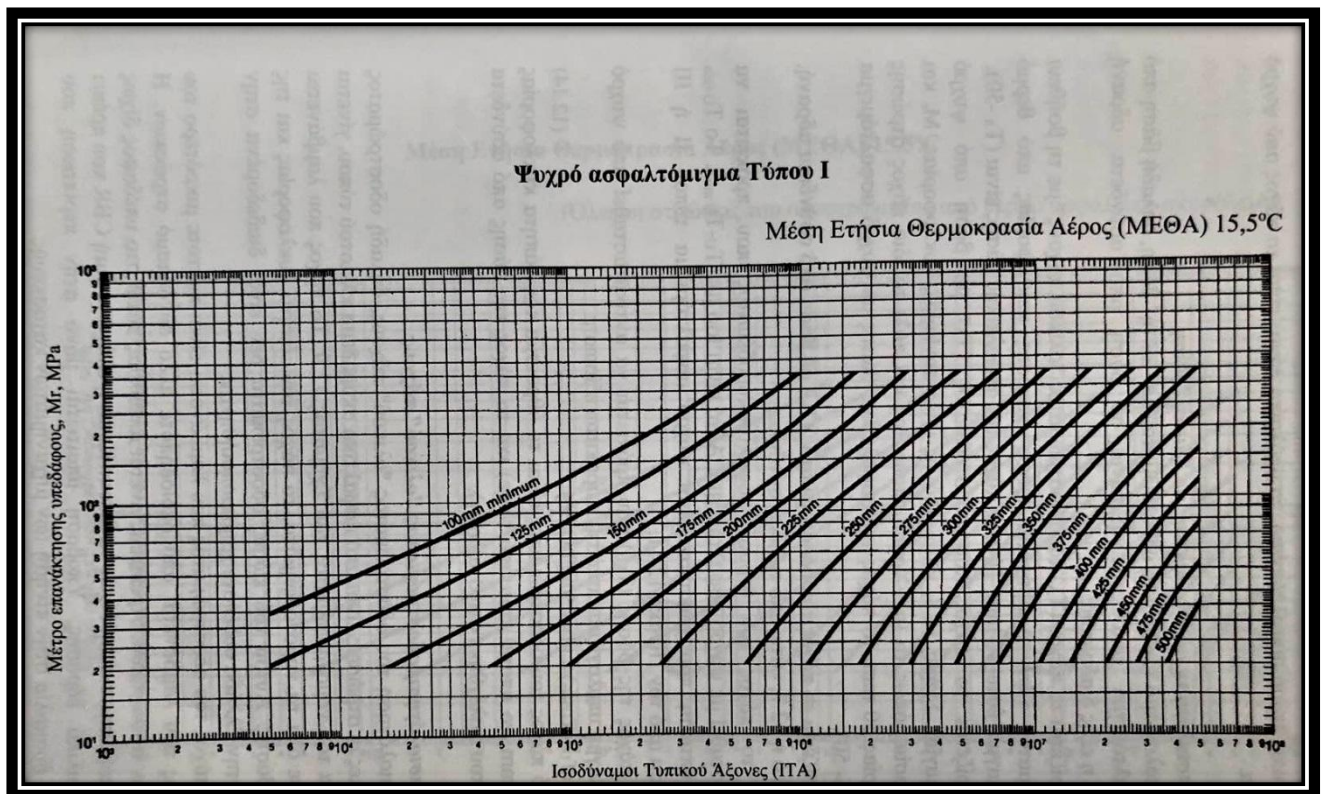
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:



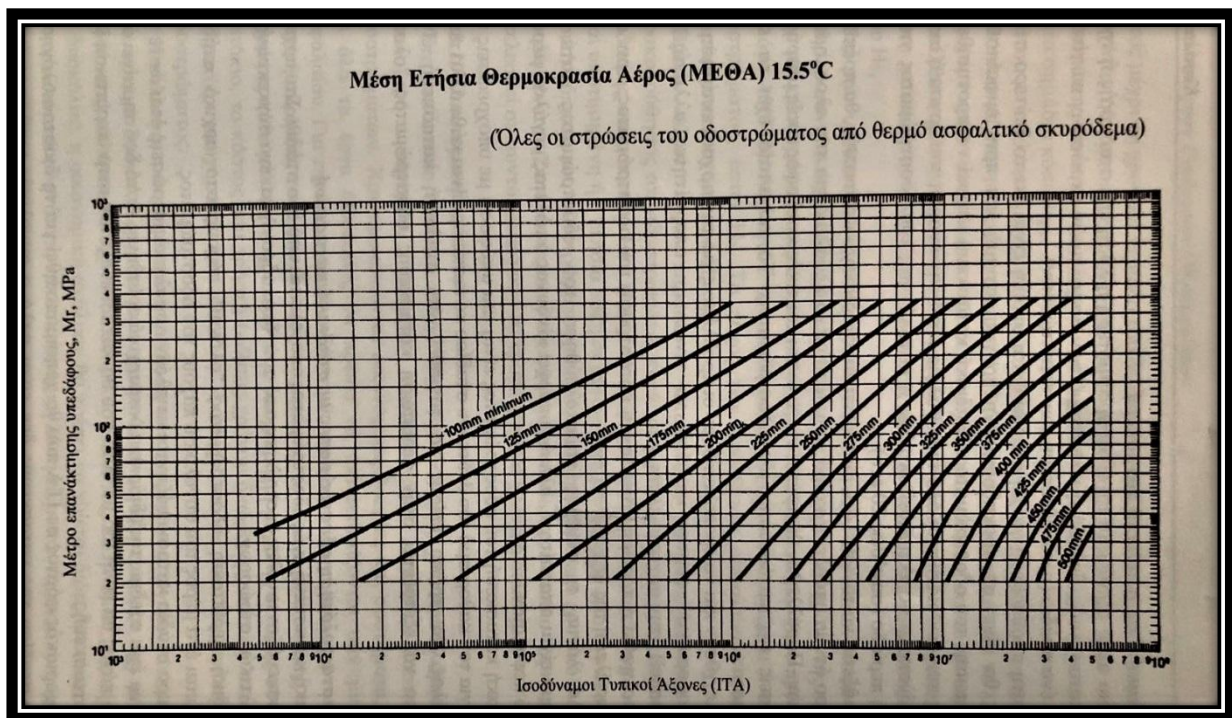
Νομογράφημα 3.1: Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα, για πάχος βάσης 150 mm.



Νομογράφημα 3.2: Υπολογισμός πάχους ασφαλτικής στρώσης από ασφαλτικό σκυρόδεμα για πάχος βάσης 300 mm.



Νομογράφημα 3.3: Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος με όλες τις στρώσεις από ψυχρό ασφαλτόμιγμα τύπου Ι.



Νομογράφημα 3.4: Υπολογισμός πάχους οδοστρώματος “ ολικού πάχους “ από ασφαλτικό σκυρόδεμα.