

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ:ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ:ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΑΜΠΕΛΙΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΖΝΤΡΑΒΑ ΡΟΜΕΛΝΤΑ

ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΑ ΒΕΡΟΝΙΚΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΝΙΚΗ ΜΠΕΣΚΟΥ

ΠΑΤΡΑ, 2022

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχοληθήκαμε με τον κλάδο του πολιτικού μηχανικού όσον αφορά τον τομέα της οδοποιίας. Πιο συγκεκριμένα με τον σχεδιασμό και την κατασκευή εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Όπως όλοι γνωρίζουμε στις μέρες μας τα οδικά δίκτυα είναι πρωταρχικός παράγοντας για την σωστή λειτουργία μιας κοινότητας παγκοσμίως. Αυτός ήταν και ο βασικός λόγος που επιλέξαμε το συγκεκριμένο θέμα , διότι βρίσκεται στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου και έχει ως σκοπό να διευκολύνει τις ανάγκες μας. Στο χρονικό διάστημα που κάναμε για να φέρουμε εις πέρας το θέμα είχαμε την καθοδήγηση της καθηγήτριας μας , κυρίας Νίκης Μπέσκου , η οποία συνέβαλε σημαντικά με τις παρατηρήσεις και συμβουλές της , ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να την ευχαριστήσουμε για την πολύτιμη βοήθεια που μας έδωσε και ελπίζουμε να ήμασταν αντάξιοι των προσδοκιών που απαιτούσε το θέμα.

Περίληψη

Τα οδοστρώματα κάθε είδους αποτελούν εδώ και δεκαετίες βασικό και απαραίτητο στοιχείο στην ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα καθώς μεγάλο, αν όχι το μεγαλύτερο, μέρος των συνολικών διεργασιών στον τομέα των μεταφορών λαμβάνει χώρα στην ξηρά. Μέσω αυτών στηρίζονται τόσο οικονομικές όσο και κοινωνικές δραστηριότητες παγκοσμίως. Κατά συνέπεια ο σωστός σχεδιασμός, κατασκευή, έλεγχος και διατήρηση τους αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο για την ανθρώπινη δραστηριότητα σε κάθε πεδίο. Η παρούσας πτυχιακή εργασία εξετάζει μέσω κατάλληλης βιβλιογραφικής ανασκόπησης το σχετικό θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά στα οδοστρώματα, με εστίαση στα εύκαμπτα, παρουσιάζοντας τις βασικές αρχές και θεωρίες σχεδιασμού που τα διέπουν. Επιπλέον, οι αρχές αυτές αξιοποιούνται στον πρωταρχικό σχεδιασμό τριών διαφορετικών εύκαμπτων οδοστρωμάτων όπου εξετάζεται το κατά πόσο η εφαρμογή της μεθόδου AASHTO μπορεί να επιτρέψει την με αρκετή ακρίβεια μελέτη κατασκευής οδοστρωμάτων ασφάλτου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	ii
Περίληψη	iii
Περιεχόμενα.....	iv
Κατάλογος Σχημάτων και Εικόνων	vi
Κατάλογος Πινάκων	viii
1. Εισαγωγή.....	1
2. Ο σχεδιασμός εύκαμπτών οδοστρωμάτων	5
2.1 Βασικά ζητήματα στον σχεδιασμό και την κατασκευή οδοστρωμάτων.....	5
2.2 Λειτουργικές απαιτήσεις.....	5
2.3 Διαφορετικοί τύποι ασφαλικών οδοστρωμάτων	7
2.4 Πρότυπα	9
2.5 Αρχές Ανάμιξης και Στατικής Μελέτης και Κατασκευής Ασφαλτοστρώματος.....	10
2.5.1 Κυκλοφορία και κατανομή φορτίου	10
2.5.2 Υλικά και στρώματα.....	13
2.5.2.1 Εδάφη	14
2.5.2.2 Αδρανή	15
2.5.2.3 Ασφαλτος.....	15
2.5.3 Περιβάλλον	16
2.5.4 Σχεδιασμός μίγματος	17
2.5.5 Δομικός σχεδιασμός.....	18
2.4.6 Η σχέση μεταξύ μίγματος και δομικού σχεδιασμού.....	23
3. Θεωρητικό υπόβαθρο στον δομικό σχεδιασμό.....	24
3.1 Θεωρία ελαστικότητας (Hooke).....	24
3.2 Μέθοδος Boussinesq	25
3.3 Εφαρμογή, επέκταση και βελτίωση της μεθόδου Boussinesq	28
3.4 Μέθοδος Burmister για συστήματα δύο επιπέδων.....	29
3.5 Μέθοδος ισοδύναμων στρωμάτων του Odemark.....	31
3.6 Οι λύσεις των Fox και Acum	32
3.7 Αρχές καλής κατασκευής.....	33
4. Δομικός Σχεδιασμός Ελαστικών Οδοστρωμάτων	35
4.1 Η μέθοδος σχεδιασμού AASHTO 1986/1993	35
4.2 Μέθοδος Σχεδίασης Ινστιτούτου Ασφάλτου	39

4.3	Μέθοδος Σχεδίασης NCHRP 1-37A.....	39
5.	Ζητήματα αστοχίας και απόδοσης.....	47
5.1	Ζητήματα αστοχίας	47
5.2	Εκτίμηση Απόδοσης.....	52
5.3	Ζημιές.....	54
6.	Κατασκευή εύκαμπτων οδοστρωμάτων	57
6.1	Παραγωγή.....	57
6.2	Μεταφορά και εναπόθεση	58
6.3	Εξοπλισμός.....	59
6.3.1	Φορτηγά	59
6.3.2	Επιστρωτήρες.....	60
6.3.3	Κυλινδροφόρα (Οδοστρωτήρες).....	61
6.4	Σημαντικοί παράγοντες κατά την κατασκευή	63
7.	Μελέτη περίπτωσης εργασίας: Σχεδιασμός ελαστικών οδοστρωμάτων.....	64
7.1	Μελέτη περίπτωσης 1	64
7.2	Μελέτη περίπτωσης 2	70
7.3	Μελέτη περίπτωσης 3	75
8.	Συμπεράσματα.....	80
	Βιβλιογραφία	81

Κατάλογος Σχημάτων και Εικόνων

Εικόνα 1 (α) Παράδειγμα ασφαλτοστρώματος. (β) Παράδειγμα οδοστρώματος από σκυρόδεμα.....	1
Εικόνα 2 Προβλέπονται παχύτερα οδοστρώματα για βαρύτερα φορτία. (α) Οδόστρωμα αεροδρομίου, (β) οδόστρωμα αυτοκινητόδρομου και (c) οδόστρωμα όγκου κυκλοφορίας.....	4
Εικόνα 3 Λειτουργία του οδοστρώματος στην μείωση των επιβαλλόμενων τάσεων από την επαφή των ελαστικών στο υπόστρωμα σε ένα ανεκτό επίπεδο: (α) εύκαμπτο οδόστρωμα, (b) άκαμπτο οδόστρωμα.....	6
Εικόνα 4 Διαφορετικά στρώματα σε ένα άκαμπτο οδόστρωμα	7
Εικόνα 5 Κύριες περιπτώσεις προβλημάτων σε μίγματα ελαστικών οδοστρωμάτων.....	19
Εικόνα 6 Βασικά βήματα στον δομικό σχεδιασμό	20
Εικόνα 7 Γενικευμένο μοντέλο Voight-Kelvin που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή δεδομένων κύριας καμπύλης ασφαλτικού σκυροδέματος	44
Εικόνα 8 Κοινά ζητήματα αστοχίας σε ασφαλτοστρώματα.	48
Εικόνα 9 Έννοια της τρέχουσας βαθμολογίας λειτουργικότητας.....	53
Εικόνα 10 Διάγραμμα του PSI έναντι του χρόνου.....	54
Εικόνα 11 Υπολογισμός του αποτελεσματικού συντελεστή εδάφους με βάση τη σχετική ζημιά. (Από την Αμερικανική Ένωση Κρατικών Υπαλλήλων Αυτοκινητοδρόμων και Μεταφορών (AASHTO),.....	56
Εικόνα 12(α) αριστερά: Σχηματική απεικόνιση μονάδας παρτίδας, (β) Δεξιά Σχηματική απεικόνιση μονάδας τυμπάνου.	58
Εικόνα 13 Επιστρωτήρας.....	61
Εικόνα 14 (α) Οδοστρωτήρας με χαλύβδινο τύμπανος και (β) Οδοστρωτήρας με ελαστικό κύλινδρο.....	62
Σχήμα 1 Διαμόρφωση τροχών αξόνων σε δύο τυπικά οχήματα βαρέως τύπου που χρησιμοποιούν οδοστρώματα	12
Σχήμα 2 Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής ανεστραμμένου V της τάσης σε ένα οδόστρωμα	13
Σχήμα 3 Τυπική διαδικασία στον σχεδιασμό του μίγματος σε ασφαλτικό οδόστρωμα.....	18
Σχήμα 4 Παράδειγμα εμπειρικής διαδικασίας σχεδιασμού οδοστρωμάτων αεροδρομίου για αεροσκάφος Boeing 747	22
Σχήμα 5 Επιδράσεις μείγματος και δομικού σχεδιασμού στην απόδοση του οδοστρώματος.....	23
Σχήμα 6 Σχήματα τάσεων και παραμορφώσεων.	24
Σχήμα 7 Σύστημα συντεταγμένων και τάσεις για τη μέθοδο του Boussinesq	25
Σχήμα 8 Τιμές αδιάστατου παράγοντα (F2) στη μέθοδο Burmister για σύστημα δύο στρώσεων.....	31
Σχήμα 9 Έννοια αξιοπιστίας σχεδίασης οδοστρώματος.....	37

Σχήμα 10 Διάγραμμα για την εκτίμηση της δυνητικής κατακόρυφης ανόδου του υποβάθρου λόγω διόγκωσης, V_R	38
Σχήμα 11 Αρχικά στοιχεία οδοστρώματος μελέτης περίπτωσης 1.....	64
Σχήμα 12 Νομογράφημα προσδιορισμού δομικού αριθμού (SN) στρώσης και εύκαμπτου οδοστρώματος.....	66
Σχήμα 13 Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα α_1	67
Σχήμα 14 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών βάσης από ασύνδετα αδρανή (α_2).....	68
Σχήμα 15 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (α_3).....	69
Σχήμα 16 Αρχικά στοιχεία οδοστρώματος μελέτης περίπτωσης 2.....	70
Σχήμα 17 Νομογράφημα προσδιορισμού δομικού αριθμού (SN) στρώσης και εύκαμπτου οδοστρώματος.....	72
Σχήμα 18 Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα α_1	73
Σχήμα 19 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών βάσης από ασύνδετα αδρανή (α_2).....	73
Σχήμα 20 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (α_3).....	74
Σχήμα 21 Αρχικά στοιχεία οδοστρώματος μελέτης περίπτωσης 3.....	75
Σχήμα 22 Νομογράφημα προσδιορισμού δομικού αριθμού (SN) στρώσης και εύκαμπτου οδοστρώματος.....	77
Σχήμα 23 Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα α_1	78
Σχήμα 24 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών βάσης από ασύνδετα αδρανή (α_2).....	78
Σχήμα 25 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (α_3).....	79

Κατάλογος Πινάκων

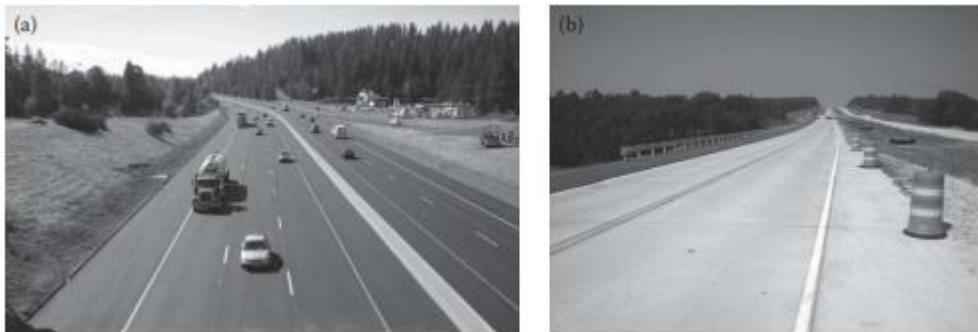
Πίνακας 1 Παραδείγματα τιμών συντελεστών εξισώσεων.....	29
Πίνακας 2 Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας ανάλογα με τον τύπο της οδού	65
Πίνακας 3 Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης με ασύνδετα αδρανή	65
Πίνακας 4 Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας ανάλογα με τον τύπο της οδού	70
Πίνακας 5 Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης με ασύνδετα αδρανή	71
Πίνακας 6 Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας ανάλογα με τον τύπο της οδού	75
Πίνακας 7 Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης με ασύνδετα αδρανή	76

1. Εισαγωγή

Τα οδοστρώματα είναι απαραίτητο μέρος της ζωής μας. Τα χρησιμοποιούμε ως δρόμους, διαδρόμους προσγείωσης, χώρους στάθμευσης και εισόδους/εξόδους σε οικίες. Τα οδοστρώματα είναι κατασκευές μηχανικού και είναι σημαντικά για την καθημερινή μας ζωή, το εμπόριο της μεταφορές/μετακινήσεις, την εκτέλεση άλλων έργων και την άμυνα. Οι επιφανειακές μεταφορές είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος τρόπος μεταφοράς στον κόσμο και η ανάπτυξη μιας χώρας συχνά μετριέται ως προς τη συνολική απόσταση που μπορεί να καλυφθεί σε ασφαλτοστρωμένο δρόμο¹. Η κατασκευή δρόμων είναι και θα συνεχίσει να είναι ένας σημαντικός κλάδος στις αναπτυσσόμενες χώρες και καθώς ωριμάζουν οι υποδομές, παραμένει εξίσου σημαντικός κλάδος και στις ανεπτυγμένες χώρες.

Όπως κάθε άλλη κατασκευή μηχανικού, τα οδοστρώματα αναμένεται να είναι επαρκώς ισχυρά και ανθεκτικά για την θεωρούμενη διάρκεια ζωής τους. Αναμένεται να λειτουργούν σωστά παρέχοντας μια ομαλή επιφάνεια κίνησης για την κυκλοφορία υπό διάφορες συνθήκες του περιβάλλοντος. Για να διασφαλιστεί αυτό, τα οδοστρώματα πρέπει να σχεδιάζονται, να κατασκευάζονται, να συντηρούνται και να διαχειρίζονται σωστά.

Τα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε ασφαλτοστρωμένα (ή εύκαμπτα) και τσιμεντένια (ή άκαμπτα) οδοστρώματα (Εικόνα 1). Τα οδοστρώματα αποτελούνται από διαφορετικά στρώματα, περισσότερο στην περίπτωση ασφαλτικών οδοστρωμάτων παρά στα άκαμπτα. Από κάτω προς τα πάνω, αυτά τα στρώματα είναι γνωστά ως υπόβαθρο, υπόβαση, βάση και συνδετικό υλικό και/ή επιφάνεια. Υπάρχουν ορισμένα οδοστρώματα με ασφαλτικά επιφανειακά στρώματα πάνω από στρώσεις σκυροδέματος.



Εικόνα 1 (α) Παράδειγμα ασφαλτοστρώματος. (β) Παράδειγμα οδοστρώματος από σκυρόδεμα

Η πιο σημαντική λειτουργία του οδοστρώματος είναι να αντέχει το φορτίο που εφαρμόζεται από ένα όχημα όπως ένα φορτηγό ή ένα αεροσκάφος, χωρίς να παραμορφώνεται υπερβολικά. Η πολυεπίπεδη δομή του οδοστρώματος προορίζεται για τη διασφάλιση ότι το φορτίο απλώνεται κάτω από το ελαστικό, έτσι ώστε η προκύπτουσα τάση στο κάτω στρώμα του οδοστρώματος, το υπόστρωμα, να είναι αρκετά χαμηλή ώστε να μην προκαλεί ζημιά. Το πιο σημαντικό φορτίο που

¹ paved road mileage

εφαρμόζεται σε μια επιφάνεια οδοστρώματος προέρχεται από ένα φορτηγό ή ένα ελαστικό αεροσκάφους. Η προσέγγιση σε ένα εύκαμπτο οδόστρωμα είναι η κατανομή του φορτίου με τέτοιο τρόπο ώστε η τάση στο επίπεδο του εδάφους του υποβάθρου να είναι αρκετά μικρή ώστε να μπορεί να διατηρήσει την τάση χωρίς καμία σημαντική παραμόρφωση. Όταν το υπάρχον έδαφος δεν είναι αρκετά άκαμπτο για να υποστηρίξει τη σχετικά μικρή τάση, τότε υπάρχει ανάγκη βελτίωσης του εδάφους. Υπάρχει επίσης ανάγκη βελτίωσης του εδάφους εάν είναι ευαίσθητο στην υγρασία. Ένα τέτοιο πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την επεξεργασία του εδάφους με ένα πρόσθετο, όπως ο ασβέστης και το τσιμέντο Portland.

Δεδομένου ότι τα οδοστρώματα είναι εκτεθειμένα στο περιβάλλον, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό των οδοστρωμάτων είναι η συνεκτίμηση του νερού, το οποίο θα μπορούσε να προέρχεται από βροχή/χιόνι (επιφανειακά νερά) ή/και από το έδαφος (υπόγεια/υπόγεια νερά). Δεδομένου ότι το νερό μπορεί να είναι επιζήμιο για ένα οδόστρωμα, μια βασική ανάγκη για το σχεδιασμό ενός κατάλληλου οδοστρώματος είναι να παρέχεται επαρκής αποστράγγιση τόσο για τα επιφανειακά όσο και για τα υπόγεια νερά. Το στάσιμο νερό σε ένα οδόστρωμα μπορεί να προκαλέσει υδρολίσηση, ολίσθηση και ατυχήματα.

Πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το νερό από την κατακρήμνιση αποστραγγίζεται γρήγορα και αποτελεσματικά και ότι δεν υπάρχει κοιλότητα στους δρόμους για τη συλλογή νερού. Το νερό που υπάρχει σε εδάφη που είναι ευαίσθητα στον παγετό στο υπόβαθρο μπορεί να παγώσει, προκαλώντας ανύψωση και αστοχία του οδοστρώματος. Επομένως, πρέπει να αποφεύγονται υλικά που είναι ευαίσθητα στον παγετό. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, τότε η δομή του οδοστρώματος πάνω από το υπόστρωμα θα πρέπει να είναι αρκετά παχιά ώστε να αποτρέπει το μέτωπο του παγετού να φτάσει στο ευαίσθητο στον παγετό έδαφος.

Ομοίως, καθώς περιμένει κανείς να περάσει λίγο νερό μέσα από τυχαίες ρωγμές και αρμούς, πρέπει να παρέχεται κατάλληλη υποεπιφανειακή αποστράγγιση και το υλικό εντός της δομής του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι ανθεκτικό στις δράσεις του νερού - διαφορετικά τα αδρανή, για παράδειγμα, θα ξεπλένονταν λόγω επαναλαμβανόμενων πιέσεων που προκαλούνται από την κυκλοφορία ή πιέσεων παγώματος-απόψυξης

Γενικά οι στρώσεις σε ένα οδόστρωμα βελτιώνονται σε ποιότητα καθώς ανεβαίνει κανείς από το κάτω μέρος στο επιφανειακό στρώμα. Το επιφανειακό στρώμα, το οποίο μπορεί να είναι από άσφαλτο ή σκυρόδεμα, είναι το πιο ακριβό και άκαμπτο/ανθεκτικό στρώμα σε ολόκληρη τη δομή του οδοστρώματος. Τα συστατικά αυτού του στρώματος είναι ως επί το πλείστον φυσικά υλικά, για παράδειγμα, το συνδετικό υλικό ασφάλτου είναι υποπροϊόν της διαδικασίας απόσταξης πετρελαίου και τα αδρανή προέρχονται από λατομεία πετρωμάτων ή κοίτες ποταμών. Αυτά τα υλικά συνδυάζονται και χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές αναλογίες για την παραγωγή του τελικού υλικού που χρησιμοποιείται στο οδόστρωμα. Για παράδειγμα, το συνδετικό υλικό ασφάλτου αναμιγνύεται με αδρανή για την παραγωγή ασφάλτου θερμού μίγματος (HMA) για ασφαλτοστρώματα, ενώ το τσιμέντο Portland αναμιγνύεται με αδρανή σε οδοστρώματα από τσιμεντοκονία Πόρτλαντ (PCC). Και στις δύο περιπτώσεις, η ανάμειξη πρέπει να διεξάγεται στις σωστές αναλογίες για να διασφαλιστεί η επαρκής ποιότητα του μείγματος. Είναι σημαντικό να εξακριβωθεί εάν το μείγμα που προκύπτει έχει την επαρκή αντοχή και ακαμψία μέσω δοκιμών. Τέτοιες δοκιμές διεξάγονται γενικά στο εργαστήριο κατά τη διαδικασία σχεδιασμού του μείγματος. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η φόρτιση και η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών μπορούν να προσομοιωθούν στο εργαστήριο. Εάν οι απαντήσεις σε αυτήν τη δοκιμή δεν ανταποκρίνονται στις προσδοκίες μας, τότε το μείγμα πρέπει να

επανασχεδιαστεί ή/και τα υλικά να επιλεγούν ξανά. Αυτές οι «προσδοκίες» αποτελούν προδιαγραφές που έχουν αναπτυχθεί με βάση την εμπειρία και την έρευνα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μηχανικοί οδοστρώματων περιορίζονται στη χρήση τοπικά διαθέσιμων υλικών, με ή χωρίς ορισμένες τροποποιήσεις, για οικονομικούς και πρακτικούς λόγους. Με αυτά τα διαθέσιμα υλικά είναι σημαντικό να καθοριστεί το πάχος κάθε στρώσης, και επομένως ολόκληρου του οδοστρώματος, που απαιτείται για τη μεταφορά των φορτίων υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες χωρίς κανένα πρόβλημα. Αυτό το βήμα, γνωστό ως δομικός σχεδιασμός, διασφαλίζει ότι η κατασκευή του οδοστρώματος στο σύνολό της μπορεί να αντέξει την κυκλοφορία για όλη τη διάρκεια ζωής της, ακόμη κι αν η κίνηση μπορεί να αυξηθεί και οι ιδιότητες του στρώματος ενδέχεται να αλλάξουν κυκλικά ή/και προοδευτικά κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής του.

Γενικά υπάρχουν πολλά στρώματα σε ένα ασφαλτικό οδόστρωμα. Από κάτω προς τα πάνω, τα στρώματα είναι γνωστά ως υποβάθρο, υποβάση, βάση και συνδετικό υλικό και/ή επιφάνεια. Γενικά, το κατώτατο στρώμα είναι το έδαφος. Τα στρώματα υποβάσεως και/ή βάσης μπορεί να είναι κοκκώδες χώμα, ή αδρανή υλικά ή μείγματα ασφάλτου-αδρανών (μείγματα) και το συνδετικό και η επιφάνεια είναι ασφαλτομίγματα. Κατά τη σχεδίαση, εκχωρείται επαρκές πάχος σε κάθε στρώμα, ώστε να αποκτηθούν οι επιθυμητές ιδιότητες με τον πιο οικονομικό τρόπο.

Αφού σχεδιαστούν τα υλικά/μείγμα οδοστρώματος και η κατασκευή, πρέπει να κατασκευαστεί σωστά. Για να διασφαλιστεί αυτό, το υλικό πρέπει να απλωθεί και να σκληρυνθεί (εάν χρειάζεται) και να συμπιεστεί με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες, όπως πυκνότητα και/ή ακαμψία. Κατά την επιλογή των υλικών και το σχεδιασμό του μείγματος και της δομής, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η εργασιμότητα, καθώς το καλύτερο σχεδιασμένο μείγμα θα ήταν άχρηστο εάν δεν μπορεί να κατασκευαστεί σωστά. Επιπλέον, ο ποιοτικός έλεγχος πρέπει να διενεργείται κατά τη διάρκεια της κατασκευής για να διασφαλιστεί η αυστηρή τήρηση των προδιαγραφών και ως εκ τούτου ομοιόμορφα καλή ποιότητα σε όλη τη διάρκεια του έργου.

Σύμφωνα με τον ευρύ ορισμό, υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι οδοστρώματων με συγκεκριμένες λειτουργίες.

Οι πιο σημαντικοί σε σχέση με την χρήση τύποι είναι οι ακόλουθοι:

Οδικά οδοστρώματα: Υπάρχουν διάφοροι τύποι δρόμων που κυμαίνονται από διακρατικούς αυτοκινητόδρομους μεγάλου όγκου κυκλοφορίας έως τοπικούς δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας. Αυτοί οι δρόμοι έχουν διαφορετικούς τύπους και όγκους κυκλοφορίας. Κατά συνέπεια, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με διαφορετικούς τρόπους. Τα παχύτερα οδοστρώματα κατασκευάζονται τόσο για βαρύτερη όσο και για μεγάλο όγκου κυκλοφορία, εκ των οποίων τα φορτηγά είναι οι κύριοι φορείς εφαρμογής φορτίου. Τα λεπτότερα οδοστρώματα προορίζονται για δρόμους χαμηλού όγκου, αν και σε πολλές περιπτώσεις δρόμοι μικρού όγκου μπορεί να μεταφέρουν βαρέα φορτηγά.

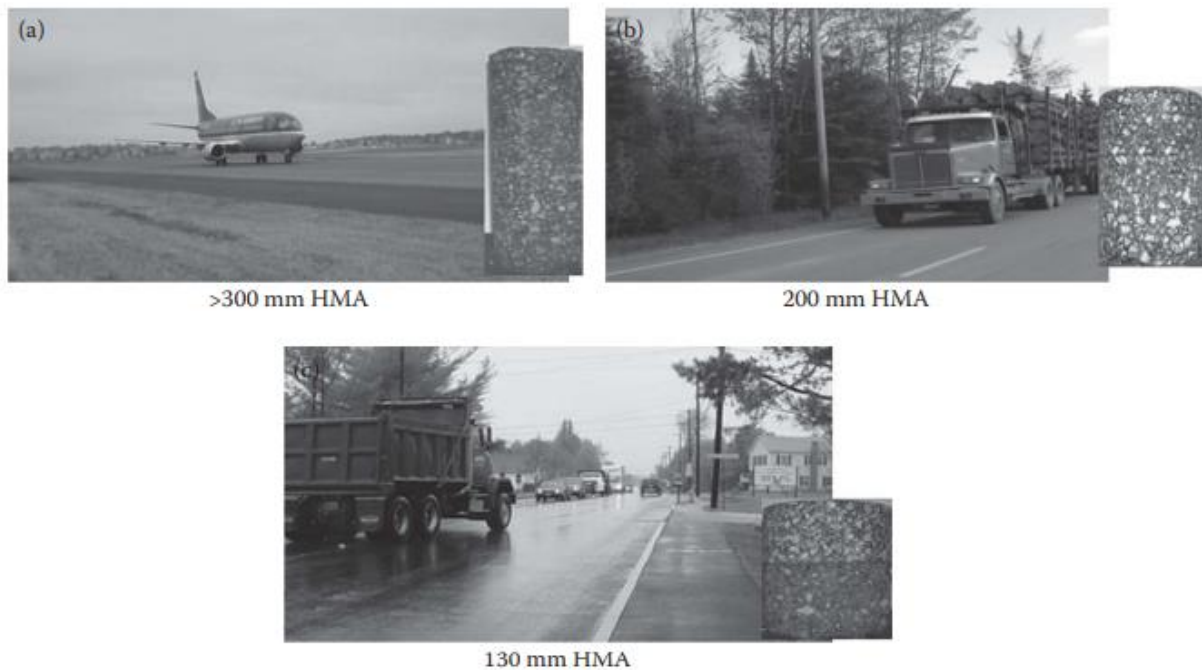
Οδοστρώματα αεροδρομίων: Απαιτούνται οδοστρώματα σε αεροδρόμια σε χώρους αποθήκευσης/τερματικό σταθμό αεροσκαφών, τροχοδρόμους και διαδρόμους προσγείωσης. Ακριβώς όπως τα οδοστρώματα υπόκεινται σε ένα ευρύ φάσμα οχημάτων, τα οδοστρώματα των αεροδρομίων υπόκεινται σε ένα ευρύ φάσμα αεροσκαφών. Ένας μικρός, αερολιμένας γενικής αεροπορίας μπορεί να έχει χρήση μόνο από ελαφρά αεροσκάφη (π.χ. <30.000 lb), ενώ ένας

μεγάλος κόμβος/μεγάλο αεροδρόμιο θα έχει χρήση από μεγάλα αεροσκάφη. Οι διάφορες περιοχές του οδοστρώματος είναι διάδρομοι προσγείωσης, τροχόδρομοι και ποδιές. Σε πολλές περιπτώσεις απαιτούνται ειδικές εκτιμήσεις, όπως η προστασία από τα καύσιμα.

Οδοστρώματα για χώρους στάθμευσης: Οι χώροι στάθμευσης είναι βασικά χαρακτηριστικά σε πόλεις και κωμοπόλεις και βρίσκονται συνήθως δίπλα σε κτίρια επιχειρήσεων/γραφείων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων κοντά σε νοσοκομεία, σχολεία και αεροδρόμια.

Χώροι φόρτωσης και εκφόρτωσης σε λιμάνια και άλλες περιοχές: Κατασκευάζονται οδοστρώματα βαρέως τύπου για την υποστήριξη εξοπλισμού και υλικών που εκφορτώνονται από πλοία, σιδηροδρομικές γραμμές και φορτηγά. Αυτές οι περιοχές μπορεί επίσης να απαιτούν ειδικές προστασίες, όπως αυτές από περιπτώματα/διαρροές καυσίμων.

Η εικόνα 4 δείχνει μια σύγκριση πάχους διαφορετικών τύπων οδοστρωμάτων. Σημειώνεται ότι εκτός από τα παχύτερα στρώματα, τα οδοστρώματα με μεγαλύτερη και μεγαλύτερη κίνηση αποτελούνται επίσης από καλύτερα υλικά. Για παράδειγμα, ένα ασφαλτικό οδόστρωμα πλήρους βάθους πάχους > 300 mm βρίσκεται σε ένα αεροδρόμιο, ενώ ένα στρώμα ασφάλτου θερμού μίγματος 63 mm πάνω από μια βασική διαδρομή αδρανών 75 mm είναι αρκετή για έναν τοπικό δρόμο χαμηλής κυκλοφορίας.



Εικόνα 2 Προβλέπονται παχύτερα οδοστρώματα για βαρύτερα φορτία. (α) Οδόστρωμα αεροδρομίου, (β) οδόστρωμα αυτοκινητόδρομου και (γ) οδόστρωμα όγκου κυκλοφορίας.

Δεδομένης της σημασίας των οδοστρωμάτων και του εύρους των τομέων ανθρώπινης δραστηριότητας που επηρεάζουν άμεσα ή/και έμμεσα, είναι σαφής η σημασία που πρέπει να δίδεται στον σχεδιασμό και την κατασκευή τους. Η παρούσα εργασία εξετάζει σχεδιαστικά τον σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων υπό διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος και θέσης έργου.

2.Ο σχεδιασμός εύκαμπτών οδοστρωμάτων

2.1 Βασικά ζητήματα στον σχεδιασμό και την κατασκευή οδοστρωμάτων

Η κίνηση οχημάτων παγκοσμίως συνεχίζει να αυξάνεται, και το κόστος των υλικών και των μεθόδων συνεχίζει να αυξάνεται, ενώ αντίστοιχα οι διαθέσιμοι προϋπολογισμοί μειώνονται παντού. Ταυτόχρονα, συνειδητοποιούμε ολοένα και περισσότερο τις επιζήμιες επιπτώσεις πολλών από τους αναπόφευκτους παράγοντες που εμπλέκονται στις διαδικασίες κατασκευής δρόμων (όπως οι εκπομπές ρύπων). Ο μόνος τρόπος για να συνεχίσουν να υφίστανται ποιοτικοί δρόμοι για την ασφαλή και απρόσκοπτη κίνηση οχημάτων είναι μέσω της εκμάθησης και της εφαρμογής ορθών αρχών σχεδιασμού και κατασκευής, της εφαρμογής αποδεδειγμένων νέων εννοιών και τεχνολογιών που θα έκαναν τους δρόμους πιο ανθεκτικούς και βιώσιμους και συνεχίζοντας την έρευνα για καλύτερα υλικά και μεθόδους.

Επομένως, τα σημαντικά ζητήματα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

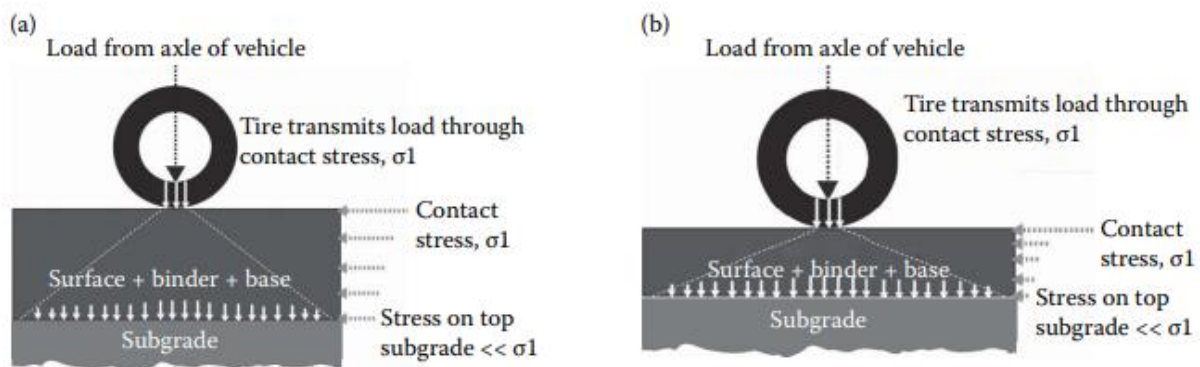
- Απαιτείται αποστράγγιση για την γρήγορη και αποτελεσματική αποστράγγιση του νερού μακριά από το οδόστρωμα.
- Τα υλικά πρέπει να αξιολογηθούν και να επιλεγούν κατάλληλα ώστε να αντέχουν τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος.
- Το μείγμα πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένο έτσι ώστε να αντέχει την κυκλοφορία και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.
- Η κατασκευή θα πρέπει να σχεδιάζεται κατάλληλα έτσι ώστε να έχει επαρκές πάχος για να αντέχει σε υπερβολική παραμόρφωση υπό κίνηση και υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Το οδόστρωμα πρέπει να είναι σωστά κατασκευασμένο έτσι ώστε να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες.
- Το οδόστρωμα πρέπει να συντηρείται/διαχειρίζεται σωστά μέσω περιοδικών εργασιών, τακτικών δοκιμών και έγκαιρης αποκατάστασης.
- Οι βιώσιμες τεχνολογίες πρέπει να ενσωματώνονται συνεχώς στη διαδικασία οδοποιίας.
- Η παραγωγή γνώσης μέσω της έρευνας είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση καλών οδοστρωμάτων στο μέλλον.

2.2 Λειτουργικές απαιτήσεις

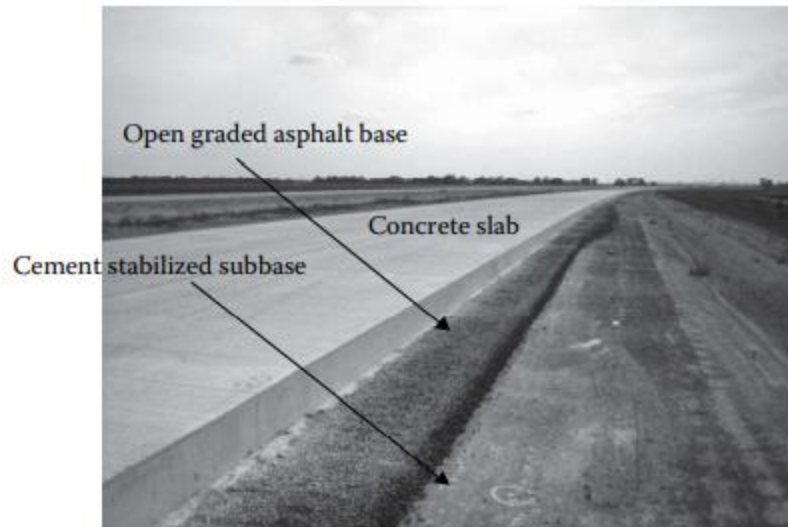
Ο πρωταρχικός σκοπός ενός οδοστρώματος είναι να παρέχει μια λειτουργική επιφάνεια για μια συγκεκριμένη ανάγκη μεταφοράς. Η βασική λειτουργία είναι να αντέχει το φορτίο, κάτω από διαφορετικές εποχικές περιβαλλοντικές συνθήκες, χωρίς παραμόρφωση ή ρωγμές, καθώς οποιαδήποτε από αυτές τις συνθήκες κινδύνου θα μείωνε τη λειτουργικότητα του οδοστρώματος. Η λειτουργία των διαφορετικών στρωμάτων στο οδόστρωμα είναι να απλώνουν το φορτίο στην επιφάνεια και να μειώνουν την έντασή του με βάθος, έτσι ώστε η πίεση στο υπόβαθρο να είναι πολύ μικρότερη από την πίεση στην επιφάνεια και να μπορεί να είναι ανεκτή από το υπόβαθρο χωρίς να υποστεί υπερβολική παραμόρφωση.

Ένα οδόστρωμα που αποτελείται μόνο από ασφαλτικά μείγματα (και στρώματα αδρανών και εδάφους) αναφέρεται ως εύκαμπτο οδόστρωμα, καθώς τα στρώματα του οδοστρώματος εκτρέπονται υπό ένα κυκλοφοριακό φόρτο. Η τυπική εφαρμοζόμενη έννοια ενός εύκαμπτου (ή ασφάλτου) οδοστρώματος είναι ότι μια πολυεπίπεδη κατασκευή (Εικόνα 2) με καλύτερα υλικά κοντά στην κορυφή θα καταναίμει το φορτίο με τέτοιο τρόπο ώστε η προκύπτουσα τάση στο κατώτατο στρώμα να είναι αρκετά μικρή ώστε να δεν προκαλούν σημαντική παραμόρφωση του στρώματος. Το πιο κάτω στρώμα είναι το υπάρχον στρώμα εδάφους ή το υπάρχον στρώμα εδάφους τροποποιημένο με ορισμένα υλικά. Τα υλικά και το πάχος των διαφορετικών στρωμάτων θα είναι τέτοια ώστε να μπορούν να αντέχουν τις διαφορετικές επιπτώσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας λόγω των αλλαγών της εποχής σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Η υποβάση, εκτός από την παροχή δομικής στήριξης, μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως πλατφόρμα για την κατασκευή της βάσης και να αποτρέψει τα λεπτά υλικά από το υπόστρωμα από το να μολύνουν το στρώμα βάσης. Εάν το υπόστρωμα είναι από υλικό ευαίσθητο στον παγετό, τότε η υποβάση θα μπορούσε να αποτελείται από υλικά που δεν είναι ευαίσθητα στον παγετό για την αποφυγή ζημιών που σχετίζονται με τον παγετό.

Τα άκαμπτα (ή τσιμεντένια) οδοστρώματα, τα οποία εκτρέπονται πολύ λίγο υπό φορτία κυκλοφορίας, συμπεριφέρονται διαφορετικά από τα εύκαμπτα οδοστρώματα υπό φορτία. Το στρώμα φθοράς, το οποίο έρχεται σε επαφή με την κυκλοφορία, είναι μια πλάκα από σκυρόδεμα από τσιμέντο Πόρτλαντ που γενικά κυμαίνεται σε πάχος μεταξύ 5 και 12 in. ανάλογα με το φορτίο κυκλοφορίας. Τα παχύτερα οδοστρώματα είναι τυπικά για βαρύτερα και πιο επαναλαμβανόμενα φορτία. Η πλάκα, λόγω της υψηλότερης ακαμψίας της, όπως χαρακτηρίζεται από το μέτρο ελαστικότητας, συνήθως κατανέμει τη φόρτιση σε μια μεγάλη επιφάνεια οδοστρώματος. Αυτό με τη σειρά του μειώνει τις τάσεις που αντιμετωπίζουν τα υποκείμενα στρώματα βάσης και υποβάθρου. Τα άκαμπτα οδοστρώματα μπορεί να έχουν ή να μην έχουν βάση ή στρώμα υποβάσεως και θα μπορούσαν να τοποθετηθούν απευθείας πάνω από το υπόβαθρο (Εικόνα 3). Ωστόσο, σε οδοστρώματα υψηλής απόδοσης, συνήθως περιλαμβάνεται βάση ή υποβάση. Εκτός από την παροχή μιας διαδρομής φθοράς και μιας επιφάνειας επαφής με την κυκλοφορία, η πλάκα παρέχει τριβή, αποστράγγιση, ομαλότητα, έλεγχο του θορύβου και αδιαβροχοποίηση για τα υποκείμενα στρώματα.



Εικόνα 3 Λειτουργία του οδοστρώματος στην μείωση των επιβαλλόμενων τάσεων από την επαφή των ελαστικών στο υπόστρωμα σε ένα ανεκτό επίπεδο: (a) εύκαμπτο οδόστρωμα, (b) άκαμπτο οδόστρωμα



Εικόνα 4 Διαφορετικά στρώματα σε ένα άκαμπτο οδόστρωμα

2.3 Διαφορετικοί τύποι ασφαλτικών οδοστρωμάτων

Το κάτω στρώμα πάνω στο οποίο είναι χτισμένο το οδόστρωμα ονομάζεται υπόβαθρο. Τα άλλα στρώματα, με τη σειρά προς τα πάνω, είναι τα στρώματα υποβάσεως, βάσης, συνδετικού και επιφανειακά. Σε πολλές περιπτώσεις, το οδόστρωμα μπορεί να είναι ένα ασφαλτικό οδόστρωμα πλήρους βάθους, οπότε όλα τα στρώματα πάνω από το υπόβαθρο αποτελούνται από ΗΜΑ κατασκευασμένο σε πολλά στρώματα (ή επίπεδα). Σε άλλες περιπτώσεις, η υποβάση και η βάση μπορούν να συνδυαστούν για να σχηματιστούν ένα μόνο στρώμα, όσον αφορά στα υλικά, αλλά κατασκευάζονται σε πολλαπλές στρώσεις. Και τέλος, πάνω από το επιφανειακό στρώμα του ΗΜΑ, μπορεί να υπάρχει μια πολύ λεπτή στρώση φθοράς ειδικού υλικού, όπως το OGFC², για να παρέχει καλύτερη τριβή και ταχύτερη αποστράγγιση του νερού.

Γενικά, τα υλικά γίνονται καλύτερα και πιο δαπανηρά καθώς μετακινείται κανείς από το στρώμα υποβάθρου στο επιφανειακό στρώμα. Με βάση το κόστος ανά μονάδα βάρους, το επιφανειακό στρώμα είναι ίσως το πιο ακριβό στρώμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, καθώς τα στρώματα στην επιφάνεια και κοντά σε αυτήν υπόκεινται σε άμεση εφαρμογή κυκλοφοριακών φορτίων καθώς και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, πρέπει να «οχυρωθούν» για να αντιστέκονται στις κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτές οι «οχυρώσεις» έρχονται κυρίως με τη μορφή υψηλότερης περιεκτικότητας σε συνδετικό υλικό ασφάλτου, που είναι το πιο δαπανηρό συστατικό. Επιπλέον, οι αυστηρότερες προδιαγραφές για το μέγεθος, το σχήμα και την ποιότητα των αδρανών είναι επίσης υπεύθυνες για τις υψηλότερες τιμές των επιφανειακών και εγγύς επιφανειακών στρωμάτων.

Παρέχεται ένα συνδετικό στρώμα επειδή θα ήταν δύσκολο να συμπίεστούν η επιφάνεια και τα συνδετικά στρώματα σε ένα βήμα, και επίσης το τμήμα του συνδετικού στρώματος μπορεί να

² open graded friction course

αποτελείται από μεγαλύτερα αδρανή και με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άσφαλτο, οπότε κοστίζει λιγότερο.

Το βασικό στρώμα θα μπορούσε να σχεδιαστεί ως ένα διαπερατό στρώμα βάσης για να αφήνει οποιοδήποτε νερό μέσα στο οδόστρωμα να ρέει προς τα πλάγια για αποστράγγιση. Αυτό το νερό μπορεί να προέρχεται από την κορυφή - βροχή και χιόνι μέσα από ανοιχτά κενά ή ρωγμές στην επιφάνεια - ή από υπόγεια ύδατα. Το επιφανειακό στρώμα θα πρέπει να συμπιέζεται σε υψηλή πυκνότητα και οι ρωγμές πρέπει να γεμίζονται το συντομότερο δυνατό για να αποτραπεί η ροή του νερού της βροχής και του χιονιού στο εσωτερικό. Από την άλλη πλευρά, η στάθμη των υπόγειων υδάτων θα πρέπει να μειωθεί πριν από την κατασκευή των οδοστρωμάτων με την παροχή αποχετεύσεων αναχαίτισης. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχει ακόμα λίγο νερό που έρχεται μέσα στο οδόστρωμα το οποίο πρέπει να αποστραγγιστεί.

Τα στρώματα στο οδόστρωμα; παρέχουν διαφορετικές λειτουργίες. Ενώ το στρώμα φθοράς σε ένα OGFC μπορεί να παρέχει τριβή και κανάλια για γρήγορη αποστράγγιση του νερού, το συνδετικό και τα στρώματα από κάτω παρέχουν την ακαμψία για να αποτρέψουν την υπερβολική παραμόρφωση και ως εκ τούτου το ράγισμα και τη δομική αυλάκωση. Τα επιφανειακά και συνδετικά στρώματα καλής απόδοσης θα πρέπει να έχουν επαρκή ακαμψία για να αποτρέπεται η αυλάκωση που σχετίζεται με φτωχά υλικά. Επιπλέον, το στρώμα (επιφάνεια ή φθορά) που εκτίθεται στο περιβάλλον δεν πρέπει να είναι πολύ άκαμπτο σε χαμηλές θερμοκρασίες (τους χειμερινούς μήνες), για να αποφευχθεί η ρωγμή που προκαλείται από πτώση της θερμοκρασίας.

Θα μπορούσε να υπάρχει ένα σχέδιο στο οποίο το επιφανειακό στρώμα είναι άκαμπτο, ακολουθούμενο από λιγότερο άκαμπτα στρώματα συνδετικού, βάσης και υποβάσεως. Θα μπορούσε επίσης να υπάρχει ένα σχέδιο στο οποίο τα κάτω μέρη είναι λιγότερο άκαμπτα αλλά κατασκευασμένα με υψηλή περιεκτικότητα σε άσφαλτο για την αποφυγή ρωγμών, ενώ τα επάνω μέρη είναι πιο άκαμπτα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άσφαλτο για να αποφευχθεί η αυλάκωση και η επιφάνεια σφραγίζεται με ένα λεπτό στρώμα μείγματος με υψηλή περιεκτικότητα σε άσφαλτο για την παροχή λείας και πυκνής στρώσης. Το θέμα είναι ότι τα υλικά και η δομή μπορούν να κατασκευαστούν για να παρέχουν ένα οδόστρωμα με επιθυμητές ιδιότητες.

Η πυκνότητα των διαφορετικών στρωμάτων είναι καθοριστική για την καλή λειτουργία ενός ασφαλτοστρώματος. Τα στρώματα εδάφους/αδρανών συμπιέζονται μέχρι τη μέγιστη πυκνότητα χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη περιεκτικότητα σε πρόσθετα. Στην περίπτωση των στρωμάτων HMA, συμπιέζονται σε μια συγκεκριμένη πυκνότητα (ή κενά) που έχει βρεθεί ότι είναι βέλτιστη για αυτό το συγκεκριμένο μείγμα (π.χ. 6%–8% κενά αέρα για πυκνά διαβαθμισμένα μείγματα), χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο περιεχόμενο ασφάλτου στο σχεδιασμό. Υπάρχει μια λεπτή διαφορά μεταξύ των δύο προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για την επιλογή της βέλτιστης περιεκτικότητας σε πρόσθετα για τα στρώματα εκτός του HMA και εκείνης που χρησιμοποιείται για την επιλογή του περιεχομένου ασφάλτου σχεδιασμού για το HMA. Για στρώματα χωρίς HMA, η βέλτιστη περιεκτικότητα σε πρόσθετο είναι αυτή που παράγει τη μέγιστη πυκνότητα, ενώ για τα στρώματα HMA, η περιεκτικότητα σε άσφαλτο σχεδιασμού είναι εκείνη που παράγει 4% κενά σε συμπίεσμένα μείγματα στο εργαστήριο.

Το βασικό στρώμα και το στρώμα υποβάσεως αποτελούνται μερικές φορές από διαφορετικά υλικά, καθώς η υποβάση μπορεί να αποτελείται από λιγότερο δαπανηρό υλικό. Εάν η βάση είναι ανοιχτή, τότε η υποβάση μπορεί να χρησιμεύσει ως φίλτρο με λεπτόκοκκο υλικό μεταξύ της βάσης και του υποστρώματος. Ακόμα κι αν δεν προστεθεί εξωτερικό υλικό πριν από την έναρξη της

κατασκευής του οδοστρώματος, τα πάνω 6 ίντσες του υπάρχοντος υποστρώματος συνήθως συμπιέζονται σε υψηλή πυκνότητα χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη περιεκτικότητα σε υγρασία.

Μια σημαντική απαίτηση ενός ασφαλτικού οδοστρώματος είναι ότι πρέπει να υπάρχει επαρκής σύνδεση μεταξύ των διαφορετικών στρωμάτων έτσι ώστε να αποτρέπεται οποιαδήποτε ολίσθηση στη διεπιφάνεια μεταξύ των στρωμάτων. Για να επιτευχθεί αυτό, εφαρμόζονται κολλητικές επικαλύψεις ασφαλτικών γαλακτωμάτων, για παράδειγμα, μεταξύ δύο στρώσεων HMA. Χρησιμοποιείται μια επίστρωση πρόσφυσης μεταξύ δύο στρώσεων ασφάλτου ή μεταξύ μιας παλιάς στρώσης PCC και μιας νέας στρώσης ασφάλτου για να σχηματιστεί μια καλή σύνδεση. Ο ψεκασμός πρέπει να είναι ομοιόμορφος και της σωστής ποσότητας ανά μονάδα επιφάνειας και εάν χρησιμοποιείται γαλάκτωμα πρέπει να φτάσει στην επιθυμητή κατάσταση πριν την εφαρμογή της ανώτερης στρώσης. Χρησιμοποιείται μια πρώτη επίστρωση μεταξύ ενός στρώματος κοκκώδους υλικού και ενός στρώματος ασφάλτου. Η απαίτηση είναι ότι το αρχικό υλικό επίστρωσης πρέπει να διεισδύει στα κενά και να τα σφραγίζει στο κοκκώδες υλικό.

Σε ασφαλτικό οδόστρωμα πλήρους βάθους, όλες οι στρώσεις που ξεκινούν από τις βασικές στρώσεις και πάνω είναι κατασκευασμένες από ασφαλτικό μίγμα. Αυτός ο τύπος οδοστρώματος έχει υψηλότερο αρχικό κόστος, αλλά εάν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σωστά, παρέχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με πολυεπίπεδες κατασκευές με διαφορετικά υλικά, όπως ελάχιστη ή καθόλου είσοδο υγρασίας και μείωση του χρόνου κατασκευής. Τέτοια οδοστρώματα μπορεί να φθαρούν μόνο στην επιφάνεια με την πάροδο του χρόνου, και ως εκ τούτου οι εργασίες αποκατάστασης θα είναι πολύ λιγότερες από αυτές σε οδοστρώματα με διαφορετικά υλικά.

2.4 Πρότυπα

Τα πρότυπα είναι έγγραφα που παρέχονται από ειδικούς και αναγνωρισμένους οργανισμούς, τα οποία παρέχουν κατευθυντήριες γραμμές ή χαρακτηριστικά κοινών δραστηριοτήτων για τη διασφάλιση της συνέπειας, της ποιότητας και της ασφάλειας. Τα πρότυπα αναπτύσσονται με βάση την έρευνα και την εμπειρία (και στη συνέχεια αναθεωρούνται, ανάλογα με τις ανάγκες) μέσω συναίνεσης ομάδων εμπειρογνομόνων. Γενικά, τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στη μηχανική οδοστρωμάτων είναι εκείνα που αναπτύσσονται από παραδοσιακούς επίσημους οργανισμούς όπως η Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (ASTM International; www.astm.org), η Αμερικανική Ένωση Υπαλλήλων Μεταφορών Πολιτειών και Αυτοκινητοδρόμων (AASHTO; www.transportation.org), το Asphalt Institute (www.asphaltinstitute.org), το Αμερικανικό Ινστιτούτο Σκυροδέματος (ACT, <http://www.aci-int.org>) και το Βρετανικό Ινστιτούτο Προτύπων (BSI, www.bsi-global.com). Αναπτύσσονται μέσα από μια πολύ ανοιχτή και διαφανή διαδικασία, διασφαλίζοντας την εκπροσώπηση όλων των ενδιαφερομένων.

Κάθε πρότυπο είναι μια συσσώρευση ετών εμπειρίας σε αυτό το συγκεκριμένο θέμα. Η χρήση κατάλληλων προτύπων μπορεί να βοηθήσει στη σωστή χρήση αυτής της συνδυασμένης εμπειρίας. Καθιστούν τη διαδικασία (που χρησιμοποιείται) ορθολογική, πρακτική και ενημερωμένη και, όπως απαιτείται, διασφαλίζουν, στο μέγιστο βαθμό σε αυτό το χρονικό σημείο, την ασφάλεια. Ως εκ τούτου, τα πρότυπα διασφαλίζουν ομοιομορφία και συνέπεια, αξιοπιστία και ασφάλεια σε προϊόντα και διαδικασίες. Η χρήση προτύπων διασφαλίζει επίσης τη συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών προϊόντων και την καλύτερη χρήση των χρημάτων. Αυτό είναι σημαντικό δεδομένου ότι σημαίνει, για τη μηχανική οδοστρωμάτων, την καλύτερη χρήση των δολαρίων των φορολογουμένων για την κατασκευή δρόμων.

Για τη μηχανική οδοστρωμάτων, υπάρχουν διάφοροι τύποι προτύπων—όπως αυτά για τη διεξαγωγή δοκιμών, για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, καθώς και για τη σύνταξη προδιαγραφών. Κάθε διαδικασία δοκιμής περιγράφεται λεπτομερώς, με αναφορές σχετικών άλλων προτύπων, βήματα στο συμπέρασμα και μεθόδους αναφοράς των αποτελεσμάτων. Εάν αναπτυχθεί μια νέα δοκιμή, τα πρότυπα παρέχουν καθοδήγηση για τη διεξαγωγή μιας κυκλικής μελέτης για τον προσδιορισμό της μεταβλητότητας των αποτελεσμάτων από τη συγκεκριμένη δοκιμή. Μόλις διεξαχθούν, τα αποτελέσματα εξετάζονται και μεταφέρονται σε τιμές ανοχής μεταξύ και εντός εργαστηρίου. Αυτό διασφαλίζει ότι στο μέλλον, εάν πραγματοποιηθούν οι δοκιμές, η μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων θα υποδείξει ασυνέπειες ή μεγαλύτερα από τα αναμενόμενα σφάλματα, εάν υπάρχουν.

2.5 Αρχές Ανάμιξης και Στατικής Μελέτης και Κατασκευής Ασφαλτοστρώματος

Τα εύκαμπτα/ασφαλτοστρώματα αποτελούνται γενικά από στρώματα. Κάθε στρώμα αποτελείται από έναν συνδυασμό υλικών - γενικά αδρανή, συνδετικό και οποιοδήποτε άλλο πρόσθετο. Η διαδικασία σχεδιασμού του βέλτιστου συνδυασμού υλικών ονομάζεται σχεδιασμός μίξης. Μόλις γίνουν γνωστές οι δομικές ιδιότητες κάθε στρώσης (ή εκτιμηθούν με ακρίβεια), προσδιορίζεται η βέλτιστη δομή του οδοστρώματος. καθορίζεται δηλαδή το πάχος κάθε στρώσης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται δομικός σχεδιασμός, ο οποίος περιλαμβάνει επίσης δομική ανάλυση — προσδιορισμό τάσεων, παραμορφώσεων και παραμορφώσεων σε διαφορετικά στρώματα.

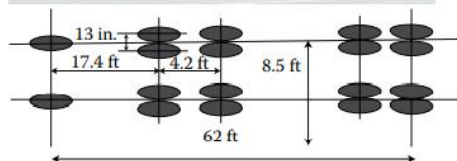
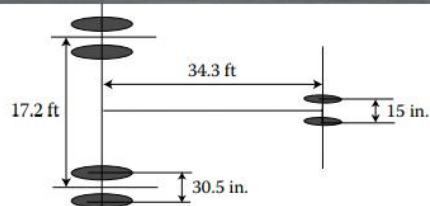
Σημειώνεται ότι ο σχεδιασμός του μείγματος και ο δομικός σχεδιασμός εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Για παράδειγμα, ένα δομικό σύμμαχο καλύτερο μείγμα μπορεί να απαιτεί μόνο ένα λεπτό στρώμα υλικού για να αντέξει ένα δεδομένο φορτίο. Ωστόσο, ο σχεδιασμός του μείγματος διεξάγεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα τοπικά διαθέσιμα (και επομένως σχετικά χαμηλού κόστους) υλικά να χρησιμοποιούνται για οικονομικούς λόγους. Ως εκ τούτου, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένας από τους πιο σημαντικούς «περιορισμούς» στη συνολική σχεδίαση ενός ασφαλτοστρώματος. Η επόμενη λογική σκέψη είναι αυτή των τοπικών διαθέσιμων υλικών. Κάποιος θα χρησιμοποιούσε τα σχετικά λιγότερο δαπανηρά υλικά περισσότερο (δηλαδή σε παχύτερες στρώσεις) από τα πιο δαπανηρά εξαρτήματα. Ως εκ τούτου, για μια δεδομένη κατάσταση κυκλοφορίας και περιβάλλοντος, και για μια δεδομένη χρονική περίοδο για την οποία το οδόστρωμα αναμένεται να χρησιμοποιηθεί (περίοδος σχεδιασμού), είναι ο πιο συνετός συνδυασμός υλικών και πάχους που έχει ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη σχεδίαση μιας κατασκευής οδοστρώματος. Σε αυτή τη διαδικασία, οι δύο παράγοντες, η ποιότητα του υλικού και το κόστος υλικών (καθώς και κατασκευής) εξισορροπούνται. Σημειώστε ότι ένα οδόστρωμα με πολύ φθηνά υλικά θα μπορούσε πιθανώς να αντέξει βραχυπρόθεσμα τα φορτία κυκλοφορίας, αλλά θα απαιτούσε συχνή συντήρηση, η οποία θα μπορούσε να είναι δαπανηρή τόσο από άποψη χρημάτων όσο και από πλευράς καθυστέρησης χρήστη.

2.5.1 Κυκλοφορία και κατανομή φορτίου

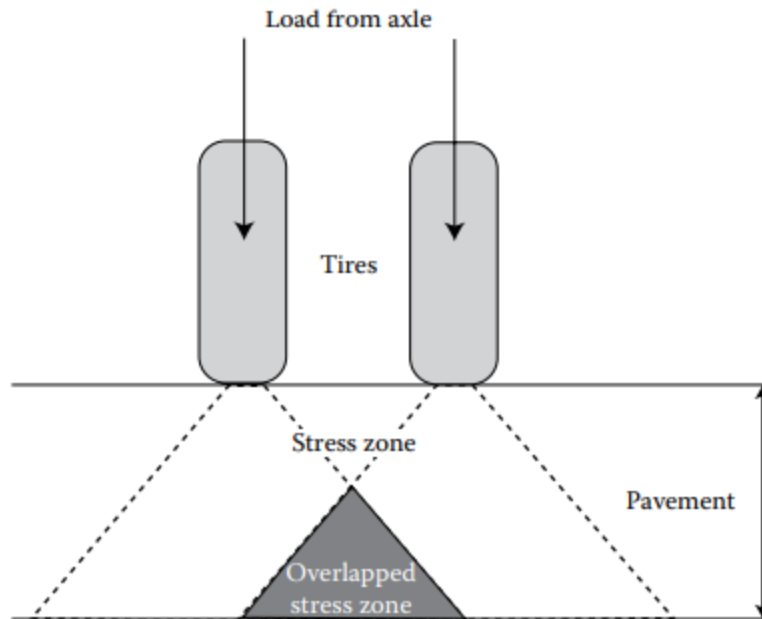
Ένας από τους βασικούς σκοπούς της παροχής ενός καλού μείγματος και δομικού σχεδιασμού είναι ότι το οδόστρωμα μπορεί να αντέξει κυκλοφοριακά φορτία χωρίς να παραμορφώνεται ή να αλλοιώνεται σε βαθμό που να καταστεί άχρηστο κατά την περίοδο σχεδιασμού. Η κίνηση των βαρέων τύπου φορτηγών είναι ο κύριος παράγοντας φόρτωσης στους αυτοκινητόδρομους, καθώς

το βάρος τους είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό των αυτοκινήτων, των μικρών φορτηγών ή άλλων επιβατικών οχημάτων. Ομοίως, το φορτίο από μεγάλα πολυκινητήρια αεροσκάφη είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό που προέρχεται από μικρά μεμονωμένα αεροσκάφη στα οδοστρώματα των αεροδρομίων.

Το φορτίο (από όχημα/αεροσκάφος) μεταφέρεται στο οδόστρωμα μέσω φέροντων αξόνων και ελαστικών υπό πίεση. Η προκύπτουσα πίεση ή καταπόνηση στο οδόστρωμα, σε οποιοδήποτε βάθος, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το συνολικό φορτίο, τον αριθμό των αξόνων και των ελαστικών και την κατάσταση των ελαστικών. Η πίεση στην επιφάνεια του οδοστρώματος ακριβώς κάτω από οποιοδήποτε ελαστικό συγκεντρώνεται στην περιοχή επαφής του ελαστικού, που συχνά θεωρείται ως σημείο για δομική ανάλυση. Θεωρητικές έννοιες και επικυρώσεις έχουν δείξει ότι αυτή η τάση κατανέμεται σε μια ανεστραμμένη μορφή V από την επιφάνεια προς τα κάτω. Με άλλα λόγια, η ένταση της τάσης μειώνεται κατά μήκος του βάθους του οδοστρώματος. Ωστόσο, σημειώστε ότι εάν η πίεση στην επιφάνεια προέρχεται από δύο ελαστικά τοποθετημένα, ας πούμε σε απόσταση 13 ιντσών (ή ακόμα και άξονες τοποθετημένοι κοντά ο ένας στον άλλο), οι τάσεις από τα δύο ελαστικά ενδέχεται να επικαλύπτονται σε κάποιο σημείο κάτω από την επιφάνεια. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συνδυασμένη καταπόνηση που είναι μεγαλύτερη από την καταπόνηση που προκύπτει από καθένα από τα δύο ελαστικά. Προφανώς, εάν ή πού (στο οδόστρωμα) θα συμβεί αυτό εξαρτάται από τη διαμόρφωση του ελαστικού/άξονα και το πάχος του οδοστρώματος. Δεδομένου ότι το οδόστρωμα πρέπει να διατηρήσει τις τάσεις, πρέπει να ληφθεί υπόψη όχι μόνο το μεικτό φορτίο αλλά και οι σχετικές θέσεις των αξόνων και των γραναζιών κατά το μέρος της δομικής ανάλυσης. Το Σχήμα 1 δείχνει τη διάταξη τροχών/άξονα ενός αεροσκάφους Boeing 737 και ενός ρυμουλκούμενου ημι-ελκυστήρα και το Σχήμα 2 απεικονίζει την έννοια της κατανομής της τάσης στην ανεστραμμένη μορφή V.



Σχήμα 1 Διαμόρφωση τροχών αξόνων σε δύο τυπικά οχήματα βαρέως τύπου που χρησιμοποιούν οδοστρώματα



Σχήμα 2 Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής ανεστραμμένου V της τάσης σε ένα οδόστρωμα

2.5.2 Υλικά και στρώματα

Η στρώση στην επιφάνεια του οδοστρώματος πρέπει να αντέχει τη μέγιστη καταπόνηση και να αντέχει παράλληλα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος. Επομένως, αυτό το επιφανειακό στρώμα αποτελείται συνήθως από τα «καλύτερα» και πιο δαπανηρά υλικά. Επίσης, αυτό το στρώμα είναι πάντα «δεσμευμένο» - δηλαδή αναμιγνύεται με ένα «συνδετικό», στην προκειμένη περίπτωση ένα συνδετικό ασφάλτου- για να αποφευχθεί η καταστροφή υλικών υπό κυκλοφορία, καθώς και για να παρέχει μια πυκνή επιφάνεια για την αποφυγή εισόδου νερού, εκτός εάν είναι ένα μάθημα τριβής ανοιχτού βαθμού. Ως εκ τούτου, η επιφανειακή στρώση έχει δύο κύρια συστατικά - συνδετικό ασφάλτου και αδρανή, με σχετικά μικρές ποσότητες πρόσθετου, εάν υπάρχουν. Το μείγμα αυτού του στρώματος πρέπει να σχεδιαστεί σωστά για να του δώσει επαρκή ακαμψία, αντοχή και ανθεκτικότητα. Αυτό το μείγμα συνήθως παρασκευάζεται με συνδυασμό θερμών αδρανών και συνδετικού ασφάλτου (hot mix asphalt ή HMA).

Το επόμενο στρώμα μπορεί να είναι είτε συνδετικό είτε βάση. Γενικά, το συνδετικό στρώμα είναι σχεδόν παρόμοιο με το επιφανειακό στρώμα, εκτός από το ότι μπορεί να αποτελείται από αδρανή μεγαλύτερου μεγέθους. Η βάση μπορεί να αποτελείται από ένα δεσμευμένο στρώμα ή ένα μη δεσμευμένο στρώμα συσσωματώματος. Το βασικό στρώμα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρό σε διάτμηση καθώς και σε φέρουσα ικανότητα, αλλά δεν χρειάζεται να είναι τόσο καλό όσο το συνδετικό και η επιφανειακή πορεία, καθώς οι τάσεις σε αυτό το επίπεδο είναι πολύ χαμηλότερες. Ωστόσο, η βάση πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτη για να παρέχει μια συνολική ακαμψία στη δομή του οδοστρώματος έτσι ώστε να μην εκτρέπεται υπερβολικά υπό φορτίο. Πόσο είναι πάρα πολύ;

Αυτό εξαρτάται από τον συγκεκριμένο τρόπο αστοχίας που μας απασχολεί, αλλά αρκεί να πούμε εδώ ότι εάν το οδόστρωμα μπορεί να διατηρήσει επαναλαμβανόμενες ανακτήσιμες παραμορφώσεις χωρίς ρωγμές ή μόνιμη παραμόρφωση εντός της περιόδου σχεδιασμού, τότε η παραμόρφωση είναι αποδεκτή. Ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια για το σχεδιασμό της βάσης είναι να παρέχεται επαρκής πυκνότητα. Εάν πρόκειται για δεσμευμένη στρώση, μπορεί να είναι με αδρανή και συνδετικό ασφάλτου ή τσιμέντο Portland, και εάν είναι αδέσμευτη στρώση, είναι πιθανότατα μόνο με αδρανή, με νερό που χρησιμοποιείται ως πρόσθετο για την υποβοήθηση της συμπίκνωσης κατά την κατασκευή. Η λειτουργία της υποβάσης είναι σχεδόν παρόμοια με αυτή της βάσης, με τη διαφορά ότι θα μπορούσε να είναι από υλικά χαμηλότερης ποιότητας, αφού η πίεση είναι ακόμη μικρότερη σε αυτό το επίπεδο. Γενικά, αποτελείται μόνο από αδρανή.

Το υπόβαθρο αποτελείται από το υπάρχον χώμα ή το έδαφος αναμειγμένο με κάποια πρόσθετα για την ενίσχυση των ιδιοτήτων του. Χρησιμοποιείται ως θεμέλιο του οδοστρώματος και πρέπει να είναι τέτοιας ποιότητας ώστε να αντέχει σε υπερβολική παραμόρφωση υπό φορτίο. Μια σημαντική απαίτηση είναι να βεβαιωθείτε ότι το υπόστρωμα είναι ικανό να αντιστέκεται στις βλαβερές συνέπειες του νερού. Γενικά, η παρουσία υπερβολικών ποσοτήτων λεπτών υλικών όπως πηλός και ιλύς δεν είναι επιθυμητή.

2.5.2.1 Εδάφη

Τα εδάφη ή τα αδρανή, τα οποία μπορούν να οριστούν ως επεξεργασμένα εδάφη, υπάρχουν σε κάθε στρώμα, είτε κυρίως από μόνα τους, όπως σε μη δεσμευμένα στρώματα, είτε ως κύριο συστατικό, όπως σε ένα δεσμευμένο στρώμα. Στο υπόβαθρο, το έδαφος γενικά αποτελείται από μη επεξεργασμένο φυσικό έδαφος, συμπιεσμένο σε μέγιστη δυνατή πυκνότητα, χρησιμοποιώντας βέλτιστη περιεκτικότητα σε υγρασία και συμπίεση μέσω κυλίνδρων.

Εάν το έδαφος είναι ανίκανο να αντισταθεί στις επιβλαβείς επιπτώσεις του περιβάλλοντος ή είναι πολύ αδύναμο σε διατμητική αντοχή και ακαμψία, γενικά «σταθεροποιείται» με πρόσθετα ή/και επαρκή συμπίεση. Η σταθεροποίηση είναι η διαδικασία βελτίωσης της ποιότητας του εδάφους (στις περισσότερες περιπτώσεις, μείωση της ευαισθησίας του στην επίδραση της υγρασίας) με την προσθήκη κάποιων άλλων υλικών (γνωστά ως πρόσθετα).

Τα εδάφη μπορεί να ποικίλλουν ευρέως σε μια περιοχή. Για να προσδιοριστεί εάν το φυσικό έδαφος είναι επαρκές για το προτεινόμενο οδόστρωμα (και εάν όχι, τι είδους διαδικασία σταθεροποίησης χρειάζεται), χρειάζεται να δοκιμαστεί και να χαρακτηριστεί. Αυτές οι δοκιμές διεξάγονται κυρίως για την αξιολόγηση των φυσικών ιδιοτήτων του και της επίδρασης της υγρασίας σε ορισμένες από αυτές τις ιδιότητες. Προσδιορίζεται επίσης η αντοχή/ακαμψία κάτω από διαφορετικά επίπεδα τάσης. Με βάση τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών, αποφασίζει κανείς εάν το έδαφος μπορεί να συμπιεστεί και να χρησιμοποιηθεί ως έχει ή πρέπει να αναμιχθεί με ένα πρόσθετο και στη συνέχεια να συμπιεστεί. Σημειώνεται ότι κάποια συμπίεση είναι σχεδόν πάντα απαραίτητη για τη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας για τη διατήρηση της καταπόνησης από το βάρος του εξοπλισμού κατασκευής και των στρωμάτων των οδοστρωμάτων.

Γενικά, δεδομένου ότι το υπόβαθρο είναι το χαμηλότερο στρώμα, οι τάσεις από αυτές τις δύο πηγές είναι πολύ μεγαλύτερες από τις τάσεις από ένα όχημα. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η εξέταση του πάχους του στρώματος υποβάθρου. Δηλαδή, για να είναι επαρκές, το υπόβαθρο πρέπει να έχει επιθυμητές ιδιότητες σε ένα συγκεκριμένο βάθος.

2.5.2.2 Αδρανή

Στα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται κυρίως φυσικά αδρανή. Τα αδρανή είναι χόμα/πέτρα που υποβάλλονται σε επεξεργασία για την παραγωγή υλικών ορισμένου φάσματος μεγεθών (και άλλων ιδιοτήτων). Τα αδρανή γενικά αναφέρονται σε σωματίδια εδάφους των οποίων το κύριο τμήμα έχει μέγεθος μεγαλύτερο από 0,075 mm. Αυτά τα σωματίδια ελέγχονται για τις φυσικές τους ιδιότητες και χαρακτηρίζονται για να προσδιοριστεί η καταλληλότητά τους. Σε αντίθεση με το υπάρχον έδαφος στο υπόστρωμα, τα αδρανή που χρησιμοποιούνται σε δεσμευμένες στρώσεις είναι στην πραγματικότητα το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού διαφορετικών αναλογιών σωματιδίων διαφορετικού μεγέθους - ο συνδυασμός γίνεται ως μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού του μίγματος.

Επομένως, όχι μόνο κάθε σωματίδιο συσσωματώματος αλλά και το μείγμα των διαφορετικών μεγεθών σωματιδίων θα πρέπει να είναι επιθυμητής ποιότητας. Επιπλέον, τέτοια αδρανή, όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άσφαλτο, πρέπει επίσης να είναι τέτοιας (φυσικής και χημικής) ποιότητας ώστε να αντέχουν στη ρωγή και να διατηρούν την επίστρωση του συνδετικού ασφάλτου υπό την επίδραση της κυκλοφορίας και των σκληρών περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως επαναλαμβανόμενοι πόροι πίεση λόγω της παρουσίας υγρασίας. Έτσι, ο χαρακτηρισμός των αδρανών περιλαμβάνει μια σειρά από στάδια δοκιμής και αξιολόγησης που κυμαίνονται από αυτά που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του μεγέθους και του σχήματος έως τη δράση της υγρασίας υπό διαφορετικές συνθήκες.

2.5.2.3 Άσφαλτος

Η άσφαλτος επίστρωσης, γνωστή και ως άσφαλτος, είναι ένα προϊόν που λαμβάνεται κυρίως από αργό πετρέλαιο μέσω μιας σειράς σταδίων διύλισης. Η άσφαλτος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες μορφές, όπως σε γαλακτωματοποιημένη μορφή σε ασφαλτικά γαλακτώματα. Αναφορικά με τα μείγματα επίστρωσης, η άσφαλτος αναφέρεται συνήθως ως συνδετικό υλικό ασφάλτου, καθώς ο βασικός της σκοπός είναι να «δέσει» τα σωματίδια των αδρανών μεταξύ τους. Γενικά, τα συνδετικά ασφάλτου είναι ημιστερέα ή στερέα σε θερμοκρασία δωματίου και υγρά σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία. Διαφορετικές «ποιότητες» συνδετικών ασφάλτου παράγονται αλλάζοντας την πηγή (ακατέργαστου πετρελαίου) καθώς και τις συνθήκες διύλισης για την κάλυψη διαφορετικών απαιτήσεων επίστρωσης, που προκύπτουν κυρίως από διαφορές στις περιβαλλοντικές και κυκλοφοριακές συνθήκες. Τα συνδετικά ασφάλτου ταξινομούνται σε διαφορετικές «βαθμίδες» με τη βοήθεια δοκιμών χαρακτηρισμού.

Οι ιδιότητες των συνδετικών ασφάλτου επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμοκρασία και τον χρόνο φόρτωσης. Έτσι, ο χαρακτηρισμός των συνδετικών ασφάλτου απαιτείται για τον προσδιορισμό της επίδρασης της θερμοκρασίας και της τάσης στις σχετικές μηχανικές ιδιότητες — κυρίως για δύο βασικές εφαρμογές. Η πρώτη εφαρμογή είναι η διαδικασία σχεδιασμού του πραγματικού μίγματος, όπου η άσφαλτος πρέπει να είναι τέτοιας ποιότητας ώστε να παράγει ένα μείγμα με αδρανή που θα μπορούσε να διατηρήσει τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος για τη διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος. Η δεύτερη εφαρμογή των αποτελεσμάτων της δοκιμής χαρακτηρισμού είναι για τη διαδικασία κατασκευής, όπου το συνδετικό ασφάλτου πρέπει να μεταφερθεί από ένα διυλιστήριο, να αποθηκευτεί σε μια μονάδα

ανάμειξης, να αντληθεί μέσω σωλήνων και να αναμιχθεί με αδρανή, να μεταφερθεί στο εργοτάξιο και να τοποθετηθεί και να συμπιεστεί σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες που θα επέτρεπαν την ολοκλήρωση όλων αυτών των βημάτων με τον πιο βολικό τρόπο. Επομένως, οι δοκιμές χαρακτηρισμού των συνδετικών ασφάλτου περιλαμβάνουν παρόμοιες δοκιμές σε πολλαπλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένους ρυθμούς φόρτωσης.

2.5.3 Περιβάλλον

Δεδομένου ότι τα οδοστρώματα είναι εκτεθειμένα στο περιβάλλον, πρέπει να λαμβάνονται δεόντως υπόψη οι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Υπάρχουν τρεις κύριοι παράγοντες - η θερμοκρασία, η υγρασία και η επίδραση της θερμοκρασίας στην υγρασία. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες των υλικών του οδοστρώματος. Για παράδειγμα, μια υψηλότερη θερμοκρασία μειώνει την ακαμψία των ασφαλικών υλικών, ενώ μια χαμηλότερη θερμοκρασία αυξάνει την ακαμψία τους. Μια υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία θα μείωνε την αντοχή/ακαμψία των μη δεσμευμένων υλικών, ενώ μια παγωμένη υγρασία θα αύξανε τη συνολική ακαμψία του οδοστρώματος.

Εκτός από την εφάπαξ επίδραση, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν τις ιδιότητες των υλικών του οδοστρώματος μέσω της επαναλαμβανόμενης/κυκλικής φύσης τους. Τα ευαίσθητα στον παγετό εδάφη, με αρκετή ικανότητα να αντλούν νερό μέσω τριχοειδών αγωγών, μπορούν να σχηματίσουν εστίες πάγου κατά τη διάρκεια του χειμώνα και να οδηγήσουν σε παγετό και καθώς οι εστίες του πάγου λιώνουν την άνοιξη (άνοιξη απόψυξη), σχηματίζονται κενά κάτω από τα ανώτερα στρώματα του οδοστρώματος, εξασθενώντας το με αποτέλεσμα την καταστροφή του οδοστρώματος υπό κυκλοφοριακό φόρτο.

Για να εξεταστούν αυτοί οι παράγοντες με τον κατάλληλο τρόπο, λαμβάνονται τρία βήματα. Αρχικά, αξιολογούνται οι επιδράσεις των διαφορετικών παραγόντων στα υλικά του οδοστρώματος και τα υλικά που αποδεδειγμένα είναι ευαίσθητα στις βλαβερές επιπτώσεις εξαλείφονται από την εξέταση. Δεύτερον, για τη χρήση διαθέσιμων υλικών και για την αποφυγή υπερβολικού κόστους, εάν δεν είναι δυνατό να εξαλειφθούν όλα αυτά τα υλικά, τα διαθέσιμα υλικά τροποποιούνται με πρόσθετα για να τα καταστήσουν ανθεκτικά στις επιβλαβείς επιπτώσεις του περιβάλλοντος. Τρίτον, κατά τη δομική ανάλυση και σχεδιασμό, λαμβάνεται δεόντως υπόψη η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στις σχετικές παραμέτρους (όπως η ακαμψία) και κάθε στρώμα/υλικό οδοστρώματος που απαιτείται για την εξάλειψη των επιβλαβών επιπτώσεων του περιβάλλοντος (όπως ο παγετός).

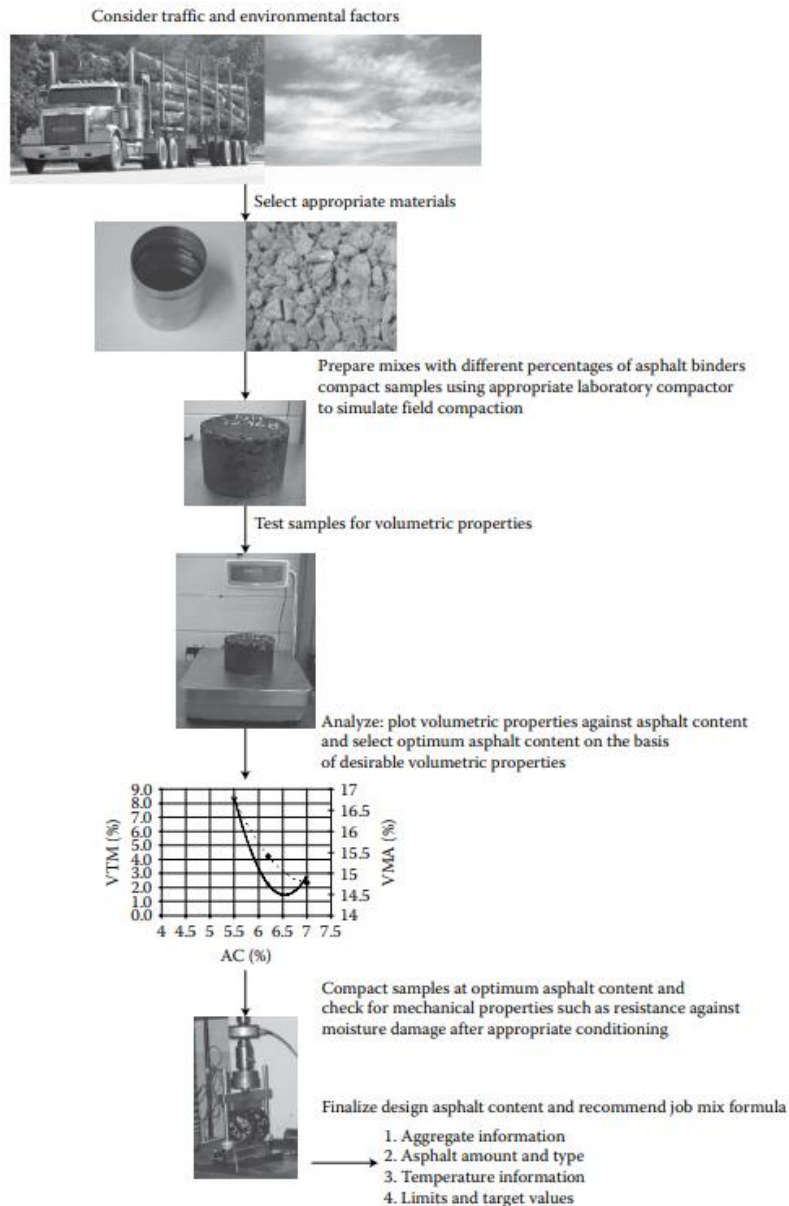
Ένα από τα σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με το οδόστρωμα που σχετίζεται άμεσα με το περιβάλλον είναι η παροχή ενός επαρκούς συστήματος επιφανειακής και υπόγειας αποστράγγισης στο οδόστρωμα. Ό,τι κι αν γίνει, λίγο νερό βροχής/χιονιού θα βρίσκει πάντα τον δρόμο του στο οδόστρωμα και κάποια υπόγεια νερά θα διαρρέουν πάντα μέσα στο οδόστρωμα. Θα πρέπει να υπάρχει ένα κατάλληλο σύστημα για την εκτροπή αυτού του νερού μακριά από το οδόστρωμα στο πλάι με τάφρους / αποχετεύσεις.

2.5.4 Σχεδιασμός μίγματος

Ο βασικός σκοπός του σχεδιασμού μίγματος είναι να επιλέγει και να συνδυάζει τα διάφορα συστατικά με τέτοιο τρόπο ώστε να καταλήγει σε ένα μείγμα που έχει τα βέλτιστα επίπεδα από όλες τις σχετικές ιδιότητες, ώστε να παραχθεί το καλύτερο δυνατό μείγμα, εντός των περιορισμών των διαθέσιμων υλικών και διαθέσιμα κεφάλαια για την παραγωγή του μίγματος.

Επομένως, η διαδικασία ξεκινά με την επιλογή της πιο κατάλληλης τυπικής προδιαγραφής (ή την ανάπτυξη μιας, εάν χρειάζεται). Η προδιαγραφή πρέπει να διευκρινίζει με σαφήνεια τις απαιτήσεις για τα υλικά όσον αφορά τις ιδιότητες που πρέπει να καθοριστούν από ειδικές δοκιμές, λεπτομέρειες των δοκιμών και αποδεκτά/μη αποδεκτά επίπεδα αποτελεσμάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Στη συνέχεια, σύμφωνα με την προδιαγραφή, επιλέγονται αδρανή, μείγματα αδρανών και συνδετικό ασφάλτου. Στη συνέχεια, διαφορετικά μείγματα πυλών αδρανών ελέγχονται για τις ιδιότητές τους. Στη συνέχεια, ένα επιλεγμένο μείγμα δοκιμάζεται με διαφορετικά περιεχόμενα ασφάλτου και προσδιορίζεται η βέλτιστη περιεκτικότητα σε άσφαλτο. Τέλος, το μείγμα (σχεδιαστικό μείγμα) με την επιλεγμένη διαβάθμιση και τη βέλτιστη περιεκτικότητα σε άσφαλτο δοκιμάζεται σε κατάλληλα επίπεδα ελεγχόμενων ιδιοτήτων (όπως κενά αέρα ή πυκνότητα) για να διασφαλιστεί ότι είναι ανθεκτικό στις επιβλαβείς επιπτώσεις του περιβάλλοντος. Επιπλέον, χρειάζεται να εκτιμηθούν οι σχετικές δομικές παραμέτρους σχεδιασμού για το σχεδιασμένο μείγμα.

Ανάλογα με τη σημασία του έργου και τα επίπεδα πολυπλοκότητας που χρησιμοποιούνται στη δοκιμή και την αξιολόγηση των υλικών, η διαδικασία σχεδιασμού του μίγματος μπορεί να κυμαίνεται από μια απλή διαδικασία έως μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία. Σε κάθε περίπτωση, είναι πάντα μια πειραματική διαδικασία δοκιμής και σφάλματος, που περιλαμβάνει τη δοκιμή πολλαπλών δειγμάτων για διαφορετικές ιδιότητες δοκιμής. Το Σχήμα 3 δείχνει τα βασικά βήματα στο σχεδιασμό του μίγματος ενός ασφαλικού μίγματος.



Σχήμα 3 Τυπική διαδικασία στον σχεδιασμό του μίγματος σε ασφαλτικό οδόστρωμα

2.5.5 Δομικός σχεδιασμός

Ο δομικός σχεδιασμός ενός οδοστρώματος εκτελείται για τον προσδιορισμό του πάχους των διαφορετικών στρωμάτων για την αποφυγή εμφάνισης προβλημάτων ή προβλημάτων στο οδόστρωμα λόγω της κυκλοφοριακής φόρτισης και του περιβάλλοντος. Τέτοιες ενοχλήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν αυλάκια ή βαθουλώματα στη διαδρομή του τροχού και ρωγμές. Η εικόνα 5

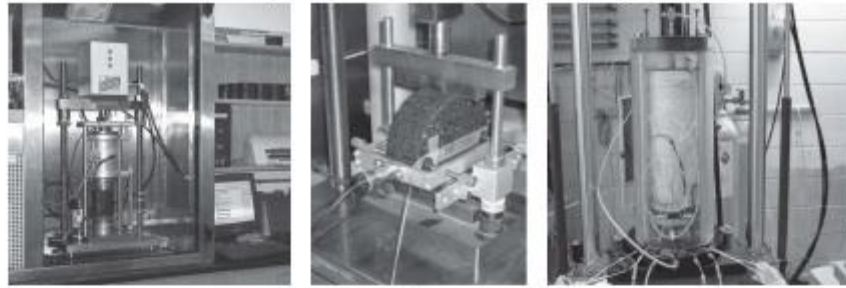
δείχνει την επίδραση διαφορετικών τάσεων και καταπονήσεων σε προβλήματα ή προβλήματα σε ασφαλτικά οδοστρώματα.



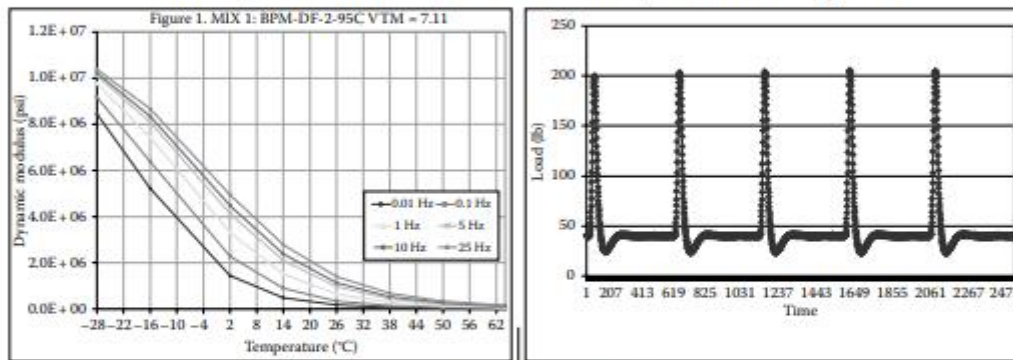
Εικόνα 5 Κύριες περιπτώσεις προβλημάτων σε μίγματα ελαστικών οδοστρωμάτων

Το επιθυμητό πάχος των στρωμάτων του εδάφους προσδιορίζεται από την εξέταση της ακαμψίας/αντοχής τους στις ιδιότητες παραμόρφωσης (όπως με τη χρήση της δοκιμαστικής ιδιότητας California bearing ratio ή CBR), καθώς και από την αλλαγή στις ιδιότητες που μπορεί να αναμένεται λόγω σε μια αλλαγή στις περιβαλλοντικές συνθήκες, κυρίως στην υγρασία και στην επίδραση της θερμοκρασίας στην υγρασία (Εικόνα 6). Ωστόσο, σημειώνεται ότι σε μια κατασκευή οδοστρώματος, η τάση στο υπόβαθρο ή την υποβάση/βάση διέπεται από την επιβαλλόμενη τάση (φορτίο οχήματος) καθώς και από το πάχος των στρώσεων από πάνω τους.

Test samples of materials as designed in mix design



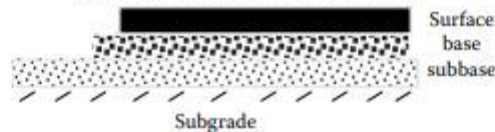
Determine pavement material response and effect of temperature and loading period



Consider traffic and environmental factors for project



Determine thickness of different layers



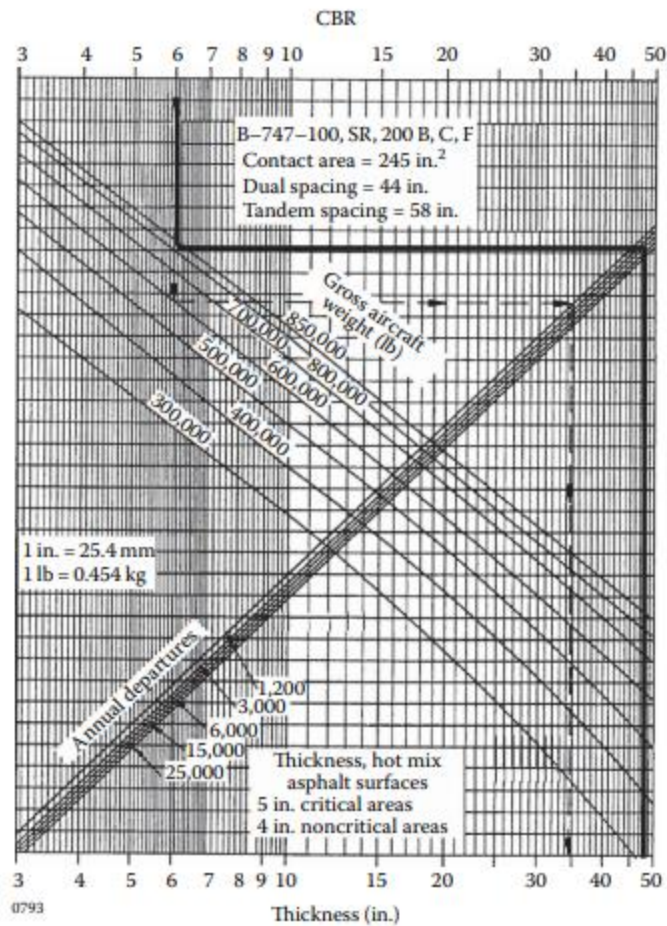
Εικόνα 6 Βασικά βήματα στον δομικό σχεδιασμό

Επομένως, εάν το υπόστρωμα/υπόβαση ή η βάση είναι γνωστό ότι είναι σχετικά αδύναμα, θα πρέπει να προστατεύονται με την κατάλληλη επιλογή μείγματος συνδετικού υλικού/επιφανείας και πάχους στρώσης. Από αυτό προκύπτει ότι η διαδικασία στατικής μελέτης στα οδοστρώματα είναι μια επαναληπτική διαδικασία που εξισορροπεί τη διαθεσιμότητα των υλικών και το κόστος της συνολικής κατασκευής του οδοστρώματος.

Ο βασικός σκοπός της δομικής διαδικασίας σχεδιασμού είναι ο συνδυασμός των διαφορετικών στρωμάτων με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει ως αποτέλεσμα την πιο οικονομική λειτουργική δομή οδοστρώματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με δύο διαφορετικές τεχνικές: (1) με τη χρήση εμπειρικών μεθόδων—δηλαδή, διαγραμμάτων και εξισώσεων που αναπτύχθηκαν από

πειραματικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με ένα σύνολο κυκλοφορίας, περιβάλλοντος και οδοστρωμάτων ή (2) με χρήση μηχανιστικής μεθόδου, στην οποία οι έννοιες της μηχανικής χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των αποκρίσεων και της απόδοσης του οδοστρώματος. Σημειώστε ότι μια καθαρά μηχανιστική προσέγγιση δεν είναι δυνατή αυτή τη στιγμή - οι αποκρίσεις μπορούν να προβλεφθούν χρησιμοποιώντας έννοιες της μηχανικής, αλλά η απόδοση πρέπει να προβλεφθεί από εμπειρικά μοντέλα. Ως εκ τούτου, είναι πιο σωστό να πούμε ότι τα οδοστρώματα μπορούν να σχεδιαστούν είτε χρησιμοποιώντας την εμπειρική προσέγγιση είτε χρησιμοποιώντας τη μηχανιστική-εμπειρική προσέγγιση (ME).

Υπάρχουν προφανώς διαφορές στα βήματα και τα επίπεδα πολυπλοκότητας μεταξύ των δύο διαδικασιών. Στην εμπειρική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη την κίνηση και το περιβάλλον, και το διαθέσιμο υπόβαθρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα κατάλληλο «διάγραμμα» για να «διαβαστεί» η απαιτούμενη βάση βάσης ή/και τα πάχη του στρώματος ασφάλτου. Τέτοιες μέθοδοι μπορεί να είναι απλές ή αρκετά περίπλοκες, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς παράγοντες όπως ο αριθμός αξόνων, οι παράμετροι αποστράγγισης, οι έννοιες της αξιοπιστίας και οι ιδιότητες του οδοστρώματος που σχετίζονται με την απόδοση. Το σχήμα 4 δείχνει ένα παράδειγμα εμπειρικής διαδικασίας σχεδιασμού οδοστρώματος αεροδρομίου για το αεροσκάφος Boeing 747. Σημειώνεται ότι σε αυτή την περίπτωση, το CBR του εδάφους χρησιμοποιείται, μαζί με πληροφορίες αεροσκάφους, για τον προσδιορισμό του πάχους του οδοστρώματος (υπόβαση+βάση+επιφάνεια) που απαιτείται στο υπόβαθρο.



Σχήμα 4 Παράδειγμα εμπειρικής διαδικασίας σχεδιασμού οδοστρώματων αεροδρομίων για αεροσκάφος Boeing 747

Η διαδικασία ΜΕ έχει περισσότερο επαναληπτικό χαρακτήρα και μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά βήματα. Ξεκινά με την εξέταση της κυκλοφορίας, της περιόδου σχεδιασμού, της προβλεπόμενης συνολικής κίνησης (αναμενόμενη κατά την περίοδο σχεδιασμού) και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Στο δεύτερο βήμα, λαμβάνοντας υπόψη το φορτίο καθώς και τις ιδιότητες που σχετίζονται με το περιβάλλον των διαθέσιμων υλικών, σχεδιάζεται μια δοκιμαστική δομή με διαφορετικά στρώματα και προσδιορίζονται τάσεις/παραμόρφωση/παραμορφώσεις σε διαφορετικά κρίσιμα επίπεδα. Τέλος, οι τάσεις και οι παραμορφώσεις χρησιμοποιούνται στα εμπειρικά μοντέλα για την πρόβλεψη της απόδοσης του οδοστρώματος κατά την περίοδο σχεδιασμού. Εάν η απόδοση δεν είναι ικανοποιητική, η διαδικασία επανέρχεται στο δεύτερο βήμα και ξεκινά με μια διαφορετική δοκιμαστική δομή. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί μια κατασκευή οδοστρώματος με ικανοποιητική απόδοση κατά την περίοδο σχεδιασμού.

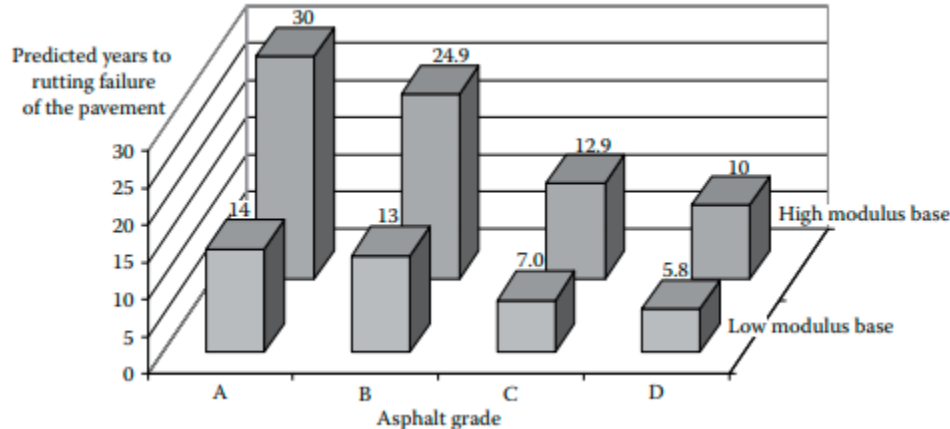
Εγγενείς στις διαδικασίες σχεδιασμού είναι οι πολύ σημαντικές εκτιμήσεις των οικονομικών και του κόστους του οδοστρώματος για ολόκληρη τη «ζωή» του (αναφέρεται ως κόστος κύκλου ζωής ή LCC). Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο το αρχικό κόστος

όσο και το κόστος τακτικής συντήρησης και διάσωσης, ιδιαίτερα για μεγάλα έργα (π.χ. για έργα οδοστρώματος που κοστίζουν περισσότερο από 1 εκατομμύριο \$).

2.4.6 Η σχέση μεταξύ μίγματος και δομικού σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός του μίγματος διεξάγεται γενικά με βάση τις ογκομετρικές ιδιότητες. Αυτή η διαδικασία παράγει τη φόρμουλα του μίγματος εργασίας (job mix formula - JMF), σύμφωνα με την οποία παράγεται το μείγμα που θα χρησιμοποιηθεί για την επίστρωση. Αυτό το μείγμα ελέγχεται για τις δομικές του ιδιότητες και, χρησιμοποιώντας αυτές τις δομικές ιδιότητες, προβλέπεται η δομική απόδοση του οδοστρώματος με το συγκεκριμένο μείγμα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η δομική απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σχεδιασμό του μίγματος, παρόλο που οι δομικές ιδιότητες μπορεί γενικά να μην λαμβάνονται ρητά υπόψη στη διαδικασία σχεδιασμού του μίγματος.

Ένα παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 5. Το σχήμα παρουσιάζει την επίδραση δύο παραμέτρων στην απόδοση αυλάκωσης ενός μίγματος υπό κίνηση μεσαίου όγκου. Οι δύο παράμετροι είναι το είδος της ασφάλτου και το μέτρο της βάσης. Ο τύπος του συνδετικού υλικού και η περιεκτικότητα σε άσφαλτο της βάσης επιλέγονται κατά τον σχεδιασμό του μίγματος. Το διάγραμμα από τα έτη έως την αστοχία δείχνει ότι ένα πιο «άκαμπτο» συνδετικό ασφάλτου χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να αποτύχει λόγω αυλάκωσης. Δηλαδή, έχει μεγαλύτερη αντοχή στη δομική αυλάκωση. Ταυτόχρονα, ένα μείγμα με βάση υψηλού συντελεστή παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή στη δομική αυλάκωση από αυτό με χαμηλό συντελεστή.



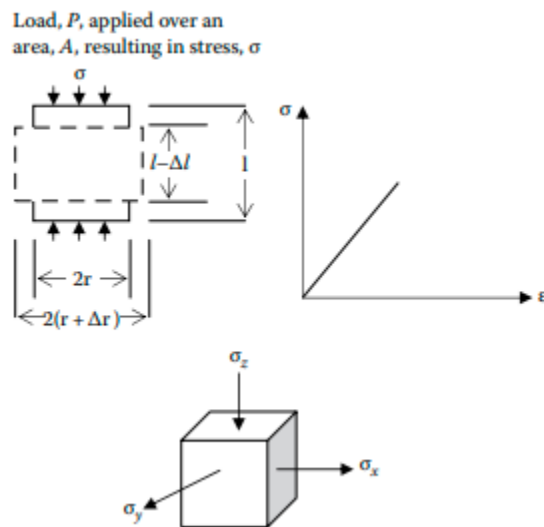
Σχήμα 5 Επίδρασεις μίγματος και δομικού σχεδιασμού στην απόδοση του οδοστρώματος

3. Θεωρητικό υπόβαθρο στον δομικό σχεδιασμό

Στο σημείο αυτό, είναι απαραίτητη η ανασκόπηση από τις βασικές τεχνικές που μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε τις τάσεις και τις παραμορφώσεις λόγω φορτίων.

3.1 Θεωρία ελαστικότητας (Hooke)

Ο λόγος της τάσης προς την καταπόνηση είναι μια σταθερή, ο συντελεστής Young, E (μέτρο ελαστικότητας). Αυτή η σταθερά συσχετίζει την τάση με την παραμόρφωση ως: $\sigma = E\varepsilon$. Ο λόγος Poisson (μ) είναι ο λόγος των ακτινικών και διαμήκων παραμορφώσεων. Το Σχήμα 6 εξηγεί τις διάφορες παραμέτρους:



Σχήμα 6 Σχήματα τάσεων και παραμορφώσεων.

Για την τρισδιάστατη περίπτωση ισχύει:

$$E\varepsilon_x = \sigma_x - \mu\sigma_y - \mu\sigma_z$$

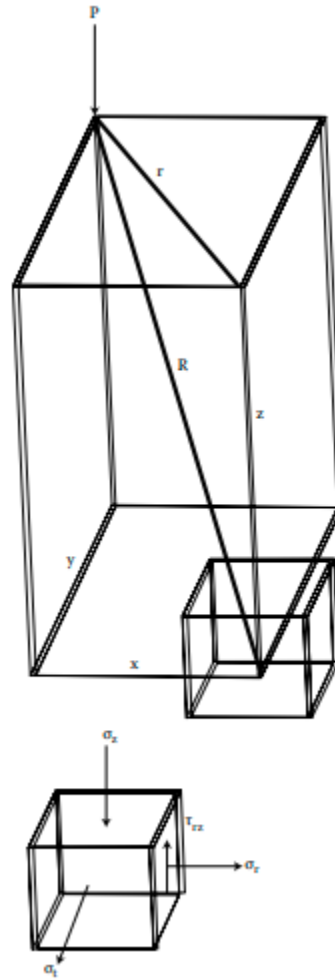
$$E\varepsilon_y = \sigma_y - \mu\sigma_x - \mu\sigma_z$$

$$E\varepsilon_z = \sigma_z - \mu\sigma_x - \mu\sigma_y$$

Σημειώνεται ότι για τα υλικά οδοστρώματος, το E και μ δεν είναι σταθερά αλλά επηρεάζονται από διαφορετικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα σε υγρασία και οι συνθήκες τάσης.

3.2 Μέθοδος Boussinesq

Αυτή η μέθοδος παρέχει έναν τρόπο προσδιορισμού τάσεων, και παραμορφώσεων ομοιογενών, ισότροπων, γραμμικά ελαστικών και ημι-άπειρων χώρων κάτω από σημειακό φορτίο. Για την καλύτερη κατανόηση θεωρείται το σχήμα 7.



Σχήμα 7 Σύστημα συντεταγμένων και τάσεις για τη μέθοδο του Boussinesq

Κατακόρυφη τάση:

$$\sigma_z = \frac{-3Pz^3}{2\pi R^5}$$

Ακτινική τάση

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

Εφαπτομενική τάση

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

Τάση διάτμησης

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

Κατακόρυφη παραμόρφωση κάτω από την επιφάνεια

$$u_z = \frac{P(1+\mu)}{2\pi E} \left[\frac{2(1-\mu)}{R} + \frac{z^2}{R^3} \right]$$

Κατακόρυφη παραμόρφωση στην επιφάνεια (z=0)

$$u_r = \frac{(1-\mu^2)P}{\pi ER}$$

όπου

r είναι η ακτινική απόσταση από το σημειακό φορτίο

z είναι το βάθος.

$$R^2 = r^2 + z^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

Για ένα κατανεμημένο φορτίο κάτω από μια κυκλική περιοχή, οι αποκρίσεις μπορούν να βρεθούν με αριθμητική ολοκλήρωση.

Κατά μήκος της κεντρικής γραμμής του φορτίου,

Κατακόρυφη τάση στο βάθος z:

$$\sigma_z = \sigma_0 \left[1 - \frac{1}{\left\{1 + (a/z)^2\right\}^{3/2}} \right]$$

Ακτινική και εφαπτομενική τάση στο βάθος z

$$\sigma_r = \sigma_t = \sigma_0 \left[\frac{1+2\mu}{2} - \frac{1+\mu}{\sqrt{1+(a/z)^2}} + \frac{1}{2 \left[\left\{1+(a/z)^2\right\}^{3/2} \right]} \right]$$

Κατακόρυφη παραμόρφωση στο βάθος z:

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)\sigma_0}{E} \left[\frac{(z/a)}{\left\{1+(z/a)^2\right\}^{3/2}} - (1-2\mu) \left\{ \frac{(z/a)}{\sqrt{1+(z/a)^2}} - 1 \right\} \right]$$

Απόκλιση στο βάθος z:

$$d_z = \frac{(1+\mu)\sigma_0 a}{E} \left[\frac{1}{\sqrt{1+(z/a)^2}} + (1-2\mu) \left\{ \sqrt{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2} - \left(\frac{z}{a}\right) \right\} \right]$$

όπου

σ_0 είναι η τάση στην επιφάνεια

E είναι το μέτρο ελαστικότητας

a είναι η ακτίνα της κυκλικής περιοχής του φορτίου

z είναι το βάθος κάτω από την επιφάνεια του οδοστρώματος

μ είναι ο λόγος Poisson

Επιφανειακή κατακόρυφη εκτροπή κατά μήκος της κεντρικής γραμμής μιας άκαμπτης κυκλικής πλάκας, με ακτίνα, a:

$$u_r = \frac{2(1-\mu^2)\sigma_0 a}{E}$$

Για τον σχεδιασμό εύκαμπτου οδοστρώματος, τα στρώματα συχνά απλοποιούνται ως ομοιογενή, ισότροπα, γραμμικά ελαστικά υλικά. Ωστόσο, στην πραγματικότητα ο κυκλοφοριακός φόρτος δεν εφαρμόζεται σε ένα σημείο αλλά κατανέμεται σε μια περιοχή. Για πρακτικούς σκοπούς, οι

εξισώσεις για ένα σημειακό φορτίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα κατανεμημένο φορτίο σε αποστάσεις ίσες ή μεγαλύτερες από $2a$ από την κεντρική γραμμή του φορτίου. Από τις εξισώσεις του Boussinesq, σημειώστε ότι το μέτρο και η απόκλιση σχετίζονται αντιστρόφως. Όταν η σπονδυλωτή αναλογία του οδοστρώματος (δηλαδή ο συνδυασμός όλων των στρωμάτων πάνω από το υπόβαθρο) και του υποστρώματος είναι κοντά στη μονάδα, ισχύουν οι εξισώσεις για ελαστικές λύσεις μιας στρώσης για τάση, καταπόνηση και παραμόρφωση υποστρώματος. Οι δοκιμές δείχνουν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που προβλέπονται από αυτή τη μέθοδο είναι μεγαλύτερες από τις μετρούμενες τιμές.

3.3 Εφαρμογή, επέκταση και βελτίωση της μεθόδου Boussinesq

Οι Foster και Ahlvin ανέπτυξαν λύσεις για κατακόρυφες και οριζόντιες καταπονήσεις και κάθετες ελαστικές καταπονήσεις λόγω κυκλικής φόρτισης πλάκας, για $\mu=0,5$. Οι Ahlvin και Ulery βελτίωσαν τα διαγράμματα των Foster και Ahlvin για να αναπτύξουν λύσεις για πλήρες μοτίβο τάσης, καταπόνησης και εκτροπής σε οποιοδήποτε σημείο της ομοιογενούς μάζας για οποιαδήποτε τιμή μ . Οι λύσεις είναι οι εξής.

$$\sigma_z = \sigma_r = p[A+B]$$

$$\sigma_r = p[2\mu A + C + (1-2\mu)F]$$

$$\sigma_t = p[2\mu A + D + (1-2\mu)E]$$

$$\tau_{rz} = \tau_{zr} = pG$$

$$\varepsilon_z = \frac{p(1+\mu)}{E_1} [(1-2\mu)A+B]$$

$$\varepsilon_r = \frac{p(1+\mu)}{E_1} [(1-2\mu)F+C]$$

$$\varepsilon_t = \frac{p(1+\mu)}{E_1} [(1-2\mu)E-D]$$

$$\Delta_z = \frac{p(1+\mu)a}{E_1} \left[\left(\frac{z}{a} \right) A + (1-\mu)H \right]$$

$$\theta = \sigma_z + \sigma_r + \sigma_t$$

$$\varepsilon_{\theta} = \varepsilon_z + \varepsilon_r + \varepsilon_t$$

$$\tau_{zt} = \tau_{tz} = 0$$

$$\sigma_{1,2,3} = \frac{(\sigma_z + \sigma_r) \pm \sqrt{(\sigma_z + \sigma_r)^2 + (2\tau_{rz})^2}}{2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$$

Παραδείγματα των τιμών των συντελεστών των εξισώσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Παραδείγματα τιμών συντελεστών εξισώσεων

r/a	z/a	A	B	C	D	E	F	G	H
0	0	1	0	0	0	0.5	0.5	0	2
	0.1	0.9005	0.09852	-0.04926	0.04296	0.45025	0.45025	0	1.80998
	0.5	0.55279	0.35777	-0.17889	0.17889	0.27639	0.27639	0	1.23607
	1	0.29289	0.35355	-0.17678	0.17678	0.14645	0.14645	0	0.82843
	2	0.10557	0.17889	-0.08944	0.08944	0.05279	0.05279	0	0.47214
	5	0.01942	0.03772	-0.01886	0.01886	0.00971	0.00971	0	0.19805
0.2	0	1	0	0	0	0.5	0.5	0	1.97987
	0.1	0.89748	0.10140	-0.05142	0.04998	0.44949	0.44794	0.00315	1.79018
	0.5	0.54403	0.35752	-0.17835	0.17917	0.27407	0.26997	0.04429	1.22176
	1	0.28763	0.34553	-0.17050	0.17503	0.14483	0.14280	0.05266	0.85005
	2	0.10453	0.18144	-0.08491	0.09080	0.05105	0.05348	0.02102	0.47022
	5	0.01938	0.03760	-0.01810	0.01950	0.00927	0.01011	0.00214	0.19785
1	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0.31831	1.27319
	0.1	0.43015	0.05388	0.02247	0.07635	0.39198	0.03817	0.31405	1.18107
	0.5	0.28156	0.13591	0.00483	0.14074	0.21119	0.07037	0.26216	0.90298
	1	0.17868	0.15355	-0.02843	0.12513	0.11611	0.06256	0.18198	0.67769
	2	0.08269	0.11331	-0.04144	0.07187	0.04675	0.03593	0.07738	0.43202
	5	0.01835	0.03384	-0.01568	0.01816	0.00929	0.00905	0.00992	0.19455
2	0	0	0	0	0	0.12500	-0.12500	0	0.51671
	0.1	0.00856	-0.00845	0.01536	0.00691	0.11806	-0.10950	0.00159	0.51627
	0.5	0.03701	-0.02651	0.05690	0.03039	0.09180	-0.05479	0.03033	0.49728
	1	0.05185	-0.01005	0.05429	0.04456	0.06552	-0.01367	0.06434	0.45122
	2	0.04496	0.02836	0.01267	0.04103	0.03454	0.01043	0.06275	0.35054
	5	0.01573	0.02474	-0.00939	0.01535	0.00873	0.00700	0.01551	0.18450

3.4 Μέθοδος Burmister για συστήματα δύο επιπέδων

Ο Burmister ανέπτυξε λύσεις για τάσεις και μετατοπίσεις σε συστήματα δύο στρωμάτων: $\mu=0,5$ για κάθε στρώμα, σε ομοιογενή, ισότροπα και ελαστικά υλικά, με το επιφανειακό στρώμα άπειρο σε έκταση στην πλευρική κατεύθυνση αλλά με πεπερασμένο βάθος, το υποκείμενο στρώμα άπειρο

σε τόσο οριζόντιες όσο και κατακόρυφες κατευθύνσεις, στρώματα σε συνεχή επαφή και το επιφανειακό στρώμα χωρίς διάτμηση και κάθετη τάση έξω από την περιοχή φόρτωσης.

Ολική απόκλιση επιφάνειας, Δt , για σύστημα δύο στρωμάτων:

Εύκαμπτη πλάκα:

$$\Delta_t = 1.5 \frac{p a^3}{E_2} F_2$$

Άκαμπτη πλάκα:

$$\Delta_t = 1.18 \frac{p a^3}{E_2} F_2$$

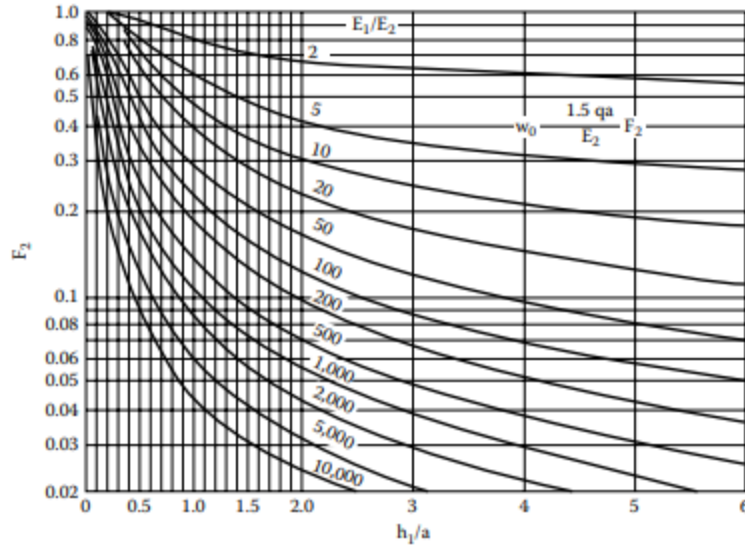
όπου

p είναι το μοναδιαίο φορτίο στην κυκλική πλάκα

a είναι η ακτίνα της πλάκας

Το E_2 είναι ο συντελεστής ελαστικότητας του κάτω στρώματος

Το F_2 είναι ο αδιάστατος παράγοντας που εξαρτάται από την αναλογία των συντελεστών ελαστικότητας του οδοστρώματος και του υποστρώματος (E_1/E_2) καθώς και το πάχος του ανώτερου στρώματος προς την ακτίνα του λόγου κυκλικού φορτίου (h_1/a), όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8 Τιμές αδιάστατου παράγοντα (F_2) στη μέθοδο Burmister για σύστημα δύο στρώσεων

Σημιώνεται ότι η τάση και οι παραμορφώσεις επηρεάζονται από την αναλογία του συντελεστή οδοστρώματος (όλα πάνω από το υπόβαθρο) και το υπόβαθρο, υπάρχει σημαντική επίδραση των στρωμάτων πάνω από το υπόβαθρο και υπάρχει σημαντική διαφορά στις κλίσεις τάσεων που λαμβάνονται από τις θεωρίες των Boussinesq και Burmister.

3.5 Μέθοδος ισοδύναμων στρωμάτων του Odemark

Ο Odemark ανέπτυξε μια μέθοδο της οποίας η αρχή είναι να μετατρέψει ένα σύστημα που αποτελείται από στρώματα με διαφορετικούς συντελεστές σε ένα ισοδύναμο σύστημα όπου όλα τα στρώματα έχουν τον ίδιο συντελεστή και στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση του Boussinesq. Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή ως μέθοδος ισοδύναμου πάχους (MET) (Ullidtz, 1987).

$$\text{Stiffness} = \frac{IE}{(1-\mu^2)}$$

όπου I η ροπή αδράνειας.

Για να παραμείνει σταθερή η ακαμψία, αυτή η έκφραση πρέπει να παραμείνει σταθερή, και συνεπώς προκύπτουν τα εξής:

$$\frac{h_2^3 E_2}{1-\mu_2^2} = \frac{h_1^3 E_1}{1-\mu_1^2}$$

$$h_e = h_1 \left[\frac{E_1}{E_2 \left(\frac{1-\mu_2^2}{1-\mu_1^2} \right)} \right]^{1/3}$$

όπου h_e είναι το ισοδύναμο πάχος. Σημειώστε ότι αυτή είναι μια κατά προσέγγιση μέθοδος και χρησιμοποιείται ένας συντελεστής διόρθωσης για να επιτευχθεί καλύτερη συμφωνία με την ελαστική θεωρία.

Σε πολλές περιπτώσεις, η αναλογία του Poisson μπορεί επίσης να θεωρηθεί ότι είναι ίδια για όλα τα υλικά. Τότε, η προαναφερθείσα εξίσωση γίνεται

$$h_e = fh_1 \left[\frac{E_1}{E_2} \right]^{1/3}$$

$$[\mu_1 = \mu_2]$$

όπου f είναι ο συντελεστής διόρθωσης που εξαρτάται από το πάχος του στρώματος, τον λόγο συντελεστή ελαστικότητας, τον λόγο Poisson και τον αριθμό των στρωμάτων στη δομή. Οι συχνά χρησιμοποιούμενες τιμές του f είναι οι εξής: 0,9 για σύστημα δύο επιπέδων και 0,8 για σύστημα πολλαπλών επιπέδων, εκτός από την πρώτη διεπαφή, όπου είναι 1,0. Ένας παράγοντας, $f = 1,1(a/h_1)^{0,3}$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρώτη διεπαφή όταν $a > h_1$.

Για ένα πολυστρωματικό σύστημα που αποτελείται από στρώματα πάχους h_1 έως h_n , με αντίστοιχα συντελεστές ελαστικότητας από E_1 έως E_n , και σταθερό λόγο Poisson, το ισοδύναμο πάχος των ανώτερων $n-1$ στρωμάτων σε σχέση με το συντελεστή του στρώματος n μπορεί να υπολογιστεί ως

$$h_{e,n} = f * \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ h_i * \left[\frac{E_i}{E_n} \right] \right\}^{1/3}$$

Σημειώνεται ότι για να χρησιμοποιηθεί το MET, οι συντελεστές ελαστικότητας θα πρέπει να μειώνονται με το βάθος, κατά προτίμηση κατά συντελεστή τουλάχιστον 2 μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων, και το ισοδύναμο πάχος ενός στρώματος θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα της περιοχής φόρτισης.

3.6 Οι λύσεις των Fox και Acum

Οι Fox και Acum και Fox ανέπτυξαν ακριβείς λύσεις για τις οριακές τάσεις στην κεντρική γραμμή ενός κυκλικού, ομοιόμορφα καταναμημένου φορτίου που ενεργεί στην επιφάνεια ενός μισού χώρου τριών στρωμάτων, με $\mu=0,5$ για όλα τα στρώματα. Παρείχαν μια σύνοψη σε πίνακα των ορθών και ακτινικών τάσεων σε συστήματα τριών στρωμάτων στη διασταύρωση του άξονα της πλάκας με τις διεπαφές του στρώματος. Ο Jones και η Pattie επέκτειναν τις λύσεις των Fox και Acum και Fox σε ένα ευρύτερο φάσμα.

Για την εύρεση των τάσεων, χρειάζονται τέσσερις παράμετροι:

$$K_1 = \frac{E_1}{E_2} \quad A = \frac{a}{h_2}$$

$$K_2 = \frac{E_2}{E_3} \quad H = \frac{h_1}{h_2}$$

Η διαδικασία για τον υπολογισμό των διαφορετικών τάσεων είναι η εξής. Για κατακόρυφες τάσεις, από γραφήματα, λαμβάνονται τα ZZ1 και ZZ2 και αξιοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις

$$\sigma_{z1} = p(ZZ1)$$

$$\sigma_{z2} = p(ZZ2)$$

Για οριζόντιες τάσεις, λαμβάνονται οι ακόλουθοι συντελεστές από πίνακες τιμών

$$[ZZ1 - RR1]$$

$$[ZZ2 - RR2]$$

$$[ZZ3 - RR3]$$

Στη συνέχεια, με βάση τις παρακάτω εξισώσεις υπολογίζονται οι οριζόντιες τάσεις από τις κατακόρυφες τάσεις που υπολογίστηκαν νωρίτερα

$$\sigma_{z1} - \sigma_{r1} = p[ZZ1 - RR1]$$

$$\sigma_{z2} - \sigma_{r2} = p[ZZ2 - RR2]$$

$$\sigma_{z2} - \sigma_{r3} = p[ZZ2 - RR3]$$

Γνωρίζοντας τα σ_{z1} και σ_{r1} , η οριζόντια τάση στο κάτω μέρος του στρώματος 1, ϵ_{r1} , μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$\epsilon_{r1} = \frac{\sigma_{r1}}{E_1} - \mu_1 \frac{\sigma_{z1}}{E_1} - \mu_1 \frac{\sigma_{z1}}{E_1}$$

3.7 Αρχές καλής κατασκευής

Η κατασκευή οδοστρώματος είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες – καθένας από τους οποίους έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει την ποιότητα του κατασκευασμένου οδοστρώματος με πολύ σημαντικό τρόπο. Η διαδικασία της καλής κατασκευής θα πρέπει να ξεκινά με τον προσδιορισμό/υιοθέτηση ή τη δημιουργία κατάλληλης προδιαγραφής. Αυτή η προδιαγραφή θα πρέπει να καθορίζει λεπτομέρειες των βημάτων, να καθορίζει τις δοκιμές που απαιτούνται για να βεβαιωθεί ότι η ποιότητα του προϊόντος είναι αποδεκτή και να παρακολουθεί τις βασικές παραμέτρους κατά την κατασκευή, έτσι ώστε τα σφάλματα να μπορούν να εντοπιστούν και να διορθωθούν γρήγορα.

Τα μείγματα οδοστρώματος παράγονται σε εργοστάσια, τα οποία μπορεί να είναι διαφορετικών τύπων. Οι βασικές διαδικασίες είναι οι ίδιες. Αδρανή διαφορετικών μεγεθών αναμειγνύονται σε συγκεκριμένες αναλογίες, ξηραίνονται, αναμειγνύονται με άσφαλτο σε υψηλή θερμοκρασία και στη συνέχεια αποθηκεύονται σε σιλό ή μεταφέρονται στο εργοτάξιο μέσω μονωμένων φορηγών.

Κατά τη διαδικασία ανάμιξης, τα βήματα παρακολουθούνται στενά για να εντοπιστεί οποιαδήποτε δυσλειτουργία. Δεδομένου ότι η διαδικασία ανάμιξης διεξάγεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος υψηλής θερμοκρασίας για να διασφαλιστεί ότι τα αδρανή έχουν στεγνώσει και η άσφαλτος είναι αρκετά ρευστή ώστε να επιτρέπει την επίστρωση και την ανάμιξη των αδρανών, και επειδή η αναλογία των διαφορετικών συστατικών γίνεται με όρους Οι μετρήσεις βάρους, θερμοκρασίας και βάρους πρέπει να παρακολουθούνται πολύ στενά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Τα φορηγά μεταφέρουν το μείγμα σε επιστρώσεις στο εργοτάξιο. Οι επιστρώσεις είναι αυτοκινούμενες μηχανές που απλώνουν το ασφαλτικό μείγμα σε συγκεκριμένο βάθος και παρέχουν την αρχική συμπίκνωση. Ο επιστρωτήρας είναι ένα περίπλοκο κομμάτι μηχανήματος και έχει πολλά κινούμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένου ενός κοιλία και μεταφορέων για την ανάμιξη του μείγματος και την αποστολή του στο πίσω μέρος από την μπροστινή χοάνη όπου παραλαμβάνει το μείγμα από τα φορηγά. Η επίστρωση στο πίσω μέρος της διατηρεί ένα συγκεκριμένο βάθος του μίγματος και πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά.

Ακριβώς μετά τον επιστρωτήρα έρχονται οι οδοστρωτήρες κύλινδρων. Διαφορετικοί κύλινδροι έχουν διαφορετικές λειτουργίες. Οι δονούμενοι κύλινδροι τυμπάνου από χάλυβα βοηθούν στην αρχική συμπίκνωση και οι κύλινδροι με ελαστικό και οι στατικοί κύλινδροι από χάλυβα παρέχουν την ενδιάμεση και τελική συμπίκνωση. Οι κύλινδροι πρέπει να έχουν κατάλληλο βάρος και η συχνότητα και το πλάτος των κραδασμών (για δονητικούς κύλινδρους) πρέπει να ρυθμίζονται στο κατάλληλο επίπεδο. Οι κύλινδροι πρέπει επίσης να κινούνται με τη σωστή ταχύτητα και με το σωστό σχέδιο για να εξασφαλίσουν την καλύτερη δυνατή συμπίεση.

Τέλος, καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας παραγωγής και τοποθέτησης, πρέπει να υιοθετηθεί μια κατάλληλη διαδικασία ποιοτικού ελέγχου για την παρακολούθηση των βασικών ιδιοτήτων και τη διόρθωση, εάν είναι απαραίτητο, τυχόν σφαλμάτων το συντομότερο δυνατό. Μπορεί επίσης να υπάρχει μια διαδικασία διασφάλισης ποιότητας για να βεβαιωθείτε ότι η διαδικασία ποιοτικού ελέγχου λειτουργεί πραγματικά.

4. Δομικός Σχεδιασμός Ελαστικών Οδοστρωμάτων

Όπως περιεγράφηκε παραπάνω, τα εύκαμπτα οδοστρώματα αντλούν την ικανότητα μεταφοράς φορτίου τους κατανέμοντας τις επιφανειακές τάσεις στα υποκείμενα στρώματα σε μια ολόενα και πιο ευρεία περιοχή. Αυτή η πολυεπίπεδη δράση επιτρέπει τον υπολογισμό της δομικής τους απόκρισης χρησιμοποιώντας σχέσεις που βασίζονται στις λύσεις του Boussinesq, όπως περιεγράφηκαν παραπάνω.

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τις τρεις κύριες μεθοδολογίες που είναι διαθέσιμες για το σχεδιασμό ευέλικτου οδοστρώματος, δηλαδή τη μέθοδο American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) 1986/19932 τη μέθοδο σχεδιασμού του Asphalt Institute (AI),³ και τη μέθοδο που προτείνεται από το NCHRP 1-37A Μελέτη.²⁴ Συνήθως, αξιοποιούνται όλες οι διαθέσιμες μεθόδους σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων που αντικατοπτρίζουν την απόδοση των δικών τους οδοστρωμάτων, και χρησιμοποιούν κρίση και οικονομικές εκτιμήσεις για την επιλογή των τελικών συνδυασμών πάχους στρώσης που πληρούν τα κριτήρια σχεδιασμού τους.

4.1 Η μέθοδος σχεδιασμού AASHTO 1986/1993

Η βάση των τρεχουσών μεθόδων σχεδιασμού ευέλικτου και άκαμπτου οδοστρώματος AASHTO είναι μια δοκιμή απόδοσης οδοστρώματος ορόσημο που πραγματοποιήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 κοντά στην Οττάβα του Ιλινόις, με κόστος 27 εκατομμύρια δολάρια (1960 δολάρια). Διαχειριζόταν από την τότε Αμερικανική Ένωση Αξιωματούχων Κρατικών Αυτοκινητοδρόμων, που στο εξής θα αναφέρεται ως Δοκιμή Δρόμου AASHO. Η γενική του διαμόρφωση αποτελούνταν από τέσσερις βρόχους δύο λωρίδων, μήκους 2 μιλίων ο καθένας, που βρίσκονται στη μελλοντική ευθυγράμμιση του I-80. Επιπλέον, δύο μικρότεροι βρόχοι κατασκευάστηκαν από αυτήν την ευθυγράμμιση για τη διεξαγωγή ειδικών μελετών. Κάθε μία από τις μεγάλες λωρίδες βρόχου περιλάμβανε τμήματα δοκιμής οδοστρώματος κατασκευασμένα από διαφορετικούς συνδυασμούς πάχους στρώσης, τόσο εύκαμπτου όσο και άκαμπτου. Σε καθεμία από αυτές τις λωρίδες βρόχου εκχωρήθηκε μια συγκεκριμένη διάταξη φορτηγού με σταθερά φορτία αξόνων που οδηγούσαν περίπου δύο οκτάωρες βάρδιες την ημέρα. Μια ποικιλία μετρήσεων αξιολόγησης του οδοστρώματος συλλέχθηκε σε τακτά διαστήματα δύο φορές την εβδομάδα. Αυτά περιλάμβαναν την τραχύτητα του οδοστρώματος και την ταλαιπωρία του οδοστρώματος (ρωγμές, αυλακώσεις κ.λπ.). Για κάθε τμήμα δοκιμής, η συλλογή δεδομένων συνεχίστηκε έως ότου έφθασε στο τέλος της λειτουργικής του ζωής—δηλαδή, τιμή δυνατότητας συντήρησης τερματικού 2,0 όσον αφορά το PSI. Τα τμήματα αστόχησαν μέσα σε μια περίοδο δύο ετών, από το 1958 έως το 1960.

Ο προφανής περιορισμός της επιταχυνόμενης φόρτισης σε αυτό το βραχυπρόθεσμο πείραμα ήταν ότι η επίδραση του περιβάλλοντος υποτιμήθηκε. Ωστόσο, αυτό το πείραμα δημιούργησε την πρώτη ουσιαστική βάση δεδομένων με παρατηρήσεις απόδοσης οδοστρώματος υπό ελεγχόμενη κυκλοφορία. Η ανάλυση παλινδρόμησης αυτών των δεδομένων δημιούργησε τις πρώτες εμπειρικές σχέσεις μεταξύ του αριθμού περασμάτων αξόνων σε αστοχία ικανότητας συντήρησης, των δομικών χαρακτηριστικών και της διαμόρφωσης άξονα/φορτίο άξονα. Αυτές οι σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των συντελεστών ισοδυναμίας φορτίου και των πρώτων

εμπειρικών εξισώσεων σχεδιασμού οδοστρώματος τόσο για εύκαμπτα όσο και για άκαμπτα οδοστρώματα. Αυτά τα πρώιμα δεδομένα αποτέλεσαν τη βάση για τη μεθοδολογία σχεδιασμού οδοστρώματων που υιοθετήθηκε από την AASHTO και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σήμερα.

Η απώλεια λειτουργικότητας λόγω κίνησης υπολογίζεται από μια εμπειρική σχέση που προέρχεται από τα δεδομένα Δοκιμών Δρόμου AASHTO. Σχετίζει τον αριθμό των σωρευτικών περασμάτων ESAL με την αντίστοιχη αλλαγή στη δυνατότητα συντήρησης του οδοστρώματος, PSI. Εκφράζεται στην ακόλουθη μορφή (Imperial μονάδες):

$$\begin{aligned} \log(W_{18}) = & Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 \\ & + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \\ & + 2.32 \log(M_r) - 8.07 \end{aligned}$$

όπου:

W_{18} = ο αριθμός των ESAL που θα οδηγήσει σε αλλαγή στη δυνατότητα συντήρησης του PSI.

SN = ο δομικός αριθμός

M_r = ο συντελεστής ελαστικότητας του υποβάθρου.

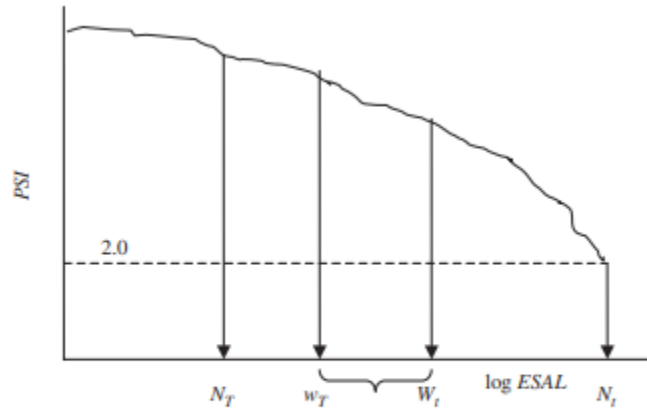
Οι μεταβλητές Z_R και S_0 είναι η τυπική κανονική απόκλιση και το τυπικό σφάλμα στην πρόβλεψη της λειτουργικότητας του οδοστρώματος, αντίστοιχα. Το S_0 συνδυάζει τα τυπικά σφάλματα στην πρόβλεψη φόρτωσης κυκλοφορίας (δηλαδή, ESAL) και στην πρόβλεψη της απόδοσης μέχρι το τέλος της λειτουργικής ζωής ενός οδοστρώματος, (π.χ. PSI 2,0). Αυτές οι δύο πηγές αβεβαιότητας εξηγούνται μέσω της καμπύλης απόδοσης του οδοστρώματος που φαίνεται στο Σχήμα 9 και ορίζεται ως:

$w_T - N_T$ = διαφορά μεταξύ του πραγματικού και του προβλεπόμενου αριθμού ESAL διάρκειας σχεδιασμού, η οποία μπορεί να είναι θετική ή αρνητική.

$N_t - W_t$ = διαφορά μεταξύ του πραγματικού και του προβλεπόμενου αριθμού ESAL που θα μειώσει τη δυνατότητα συντήρησης σε επίπεδο τερματικού, το οποίο θα μπορούσε να είναι θετικό ή αρνητικό.

Για να αντισταθμιστούν αυτές οι δύο πηγές αβεβαιότητας και να προβλεφθεί αξιόπιστα το πάχος του στρώματος που θα αποτρέψει την αστοχία πριν από την επίτευξη της περιόδου σχεδιασμού, η διαφορά $w_T - W_t$ ορίζεται σε μια αρνητική τιμή (δηλαδή, το W_t επιλέγεται μεγαλύτερο από το w_T). Η διαφορά τους ορίζεται ίση με το γινόμενο του τυπικού σφάλματος στην πρόβλεψη του PSI (συνήθως, μεταξύ 0,25 και 0,6) πολλαπλασιαζόμενο με την τυπική κανονική απόκλιση που αντιστοιχεί στο επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας. Σημειώνεται ότι επειδή η Εξίσωση είναι σε λογαριθμική μορφή, αυτή η προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές αυξήσεις στον αριθμό των ESAL που εισάγονται (δηλαδή, W_t).

Για παράδειγμα, για αξιοπιστία 95% και δεδομένου ενός τυπικού σφάλματος στην πρόβλεψη PSI 0,5, ο λογάριθμος των ESAL αυξάνεται κατά $1,645 \times 0,5 = 0,8225$, που αριθμητικά αντιπροσωπεύει έναν παράγοντα $100,8225 = 6,645,15$



N_T = the design number of ESALs over the design life T .

w_T = the actual number of ESALs over the design life T .

W_T = the predicted number of ESALs to reach terminal PSI (Equation 11.1).

N_i = the actual number of ESALs to reach terminal PSI.

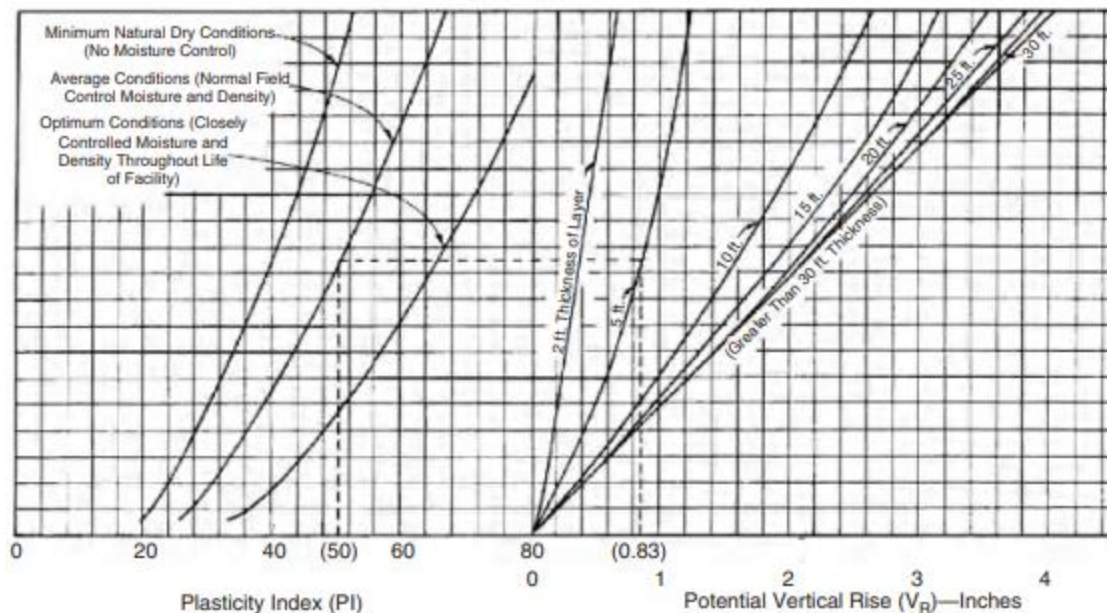
Σχήμα 9 Έννοια αξιοπιστίας σχεδίασης οδοστρώματος

Η έκδοση του 1993 του οδηγού σχεδίασης οδοστρώματος AASHTO εξετάζει την απώλεια της δυνατότητας συντήρησης του οδοστρώματος λόγω της διόγκωσης του υποστρώματος και του παγετού. Η απώλεια λειτουργικότητας λόγω διόγκωσης, ΔPSI_{SW} , δίνεται ως συνάρτηση του χρόνου t (έτη) από:

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

όπου:

V_R = η πιθανή κατακόρυφη άνοδος λόγω διόγκωσης (ίντσες), η οποία είναι κυρίως συνάρτηση του Δείκτη Πλαστικότητας του υποβάθρου, όπως φαίνεται στο νομογράφημα του σχήματος 10.



Notes:

1. This figure is predicated upon the following assumptions:
 - a. The subgrade soils for the thickness shown all are passing the No. 40 mesh sieve.
 - b. The subgrade soils has a uniform moisture content and Plasticity Index throughout the layer thickness for the conditions shown.
 - c. A surcharge pressure from 20 inc of overburden ± 10 inc will have no material effect).
2. Calculations are required to determine V_R for other surcharge pressure

Σχήμα 10 Διάγραμμα για την εκτίμηση της δυνητικής κατακόρυφης ανόδου του υποβάθρου λόγω διόγκωσης, V_R

P_s = το ποσοστό της συνολικής επιφάνειας του οδοστρώματος που υπόκειται σε διόγκωση. θ = a σταθερά ρυθμού διόγκωσης υποβάθρου που μπορεί να υπολογιστεί από σχετικό νομογράφημα.

Η απώλεια λειτουργικότητας λόγω ανύψωσης παγετού, ΔPSI_{FH} , δίνεται ως συνάρτηση του χρόνου t (έτη) από:

$$\Delta PSI_{FH} = 0.01 pf \Delta PSI_{max} (1 - e^{-0.02 \phi t})$$

όπου:

ΔPSI_{max} = η μέγιστη απώλεια λειτουργικότητας λόγω ανύψωσης παγετού που εκτιμάται με βάση την ποιότητα της αποστράγγισης και το βάθος διείδυσης παγετού χρησιμοποιώντας κατάλληλο νομογράφημα.

pf = τοις εκατό της πιθανότητας παγετού υποκειμενικά εκτιμώμενη.

ϕ = ποσοστό ανύψωσης παγετού (mm/ημέρα) που υπολογίζεται κυρίως από την Ενοποιημένη Ταξινόμηση Εδάφους (USC) του εδάφους υποβάθμισης με χρήση νομογραφήματος

4.2 Μέθοδος Σχεδίασης Ινστιτούτου Ασφάλτου

Το Asphalt Institute (AI) ανέπτυξε μια μηχανιστική μέθοδο για το σχεδιασμό εύκαμπτου οδοστρώματος. Βασίζεται σε δύο κριτήρια, δηλαδή τον περιορισμό της εφελκυστικής τάσης στο κάτω μέρος της στρώσης του ασφαλτικού σκυροδέματος για την αποφυγή ρωγμών λόγω κόπωσης και τον περιορισμό της θλιπτικής καταπόνησης στην κορυφή του το υπόστρωμα για να αποτρέψει την πλαστική παραμόρφωση του υποστρώματος που θα οδηγήσει σε αυλάκωση. Η έκφραση που χρησιμοποιήθηκε για να συσχετίσει τον αριθμό των κύκλων με την αστοχία κόπωσης N_f και την εφελκυστική τάση ασφάλτου σκυροδέματος ϵ_t υιοθετήθηκε από την εργασία των Finn et al.:

$$N_f = 0.0795 \epsilon_t^{-3.291} E^{-0.854}$$

όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης του ασφαλτοσκυροδέματος σε lbs/in². Η αποτυχία ρωγμής κόπωσης ορίστηκε ως η ρωγμή λόγω κόπωσης που καλύπτει το 10% της περιοχής στις διαδρομές των τροχών. Το μέτρο ελαστικότητας του ασφαλτικού σκυροδέματος ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία και το ρυθμό φόρτισης. Ως αποτέλεσμα, το N_f και το σχετικό ποσοστό ζημιάς λόγω κόπωσης ποικίλλει ανάλογα με την εποχή και την ταχύτητα του οχήματος.

Η έκφραση που χρησιμοποιείται για να συσχετίσει τον αριθμό των κύκλων με την αστοχία αυλάκωσης N_r και την υποβαθμισμένη κατακόρυφη θλιπτική τάση ϵ_v είναι:

$$N_r = 1.365 \cdot 10^{-9} \epsilon_v^{-4.477}$$

Η αστοχία αυλάκωσης ορίστηκε ως ένα βάθος αυλάκωσης ίσο με 12,5 mm (0,5 in). Για να διευκολυνθεί η εφαρμογή αυτής της προσέγγισης, διεξήχθη μια σειρά εργασιών υπολογιστικής ανάλυσης ελαστικής στρώσης χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς πάχους στρώσης οδοστρώματος και δημιουργήθηκαν νομογραφήματα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα υπολογιστή DAMA. Παρήχθησαν νομογραφήματα που επιτρέπουν την επίλυση του πάχους της στρώσης του ασφαλτικού σκυροδέματος, δεδομένου του συντελεστή ελαστικότητας (M_r) του υποστρώματος και των ESAL που αναμένονται κατά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Διαφορετικά νομογραφήματα είναι διαθέσιμα ανά πάχος στρώσης βάσης και τύπο υλικού (ακατέργαστη βάση και γαλακτωματοποιημένη σταθεροποιημένη βάση ασφάλτου), καθώς και για τρεις διακριτές μέσες ετήσιες θερμοκρασίες αέρα (MAAT), συγκεκριμένα 7° C, 15.5° C και 24.4° C.

4.3 Μέθοδος Σχεδίασης NCHRP 1-37A

Η Μελέτη NCHRP 1-37A υιοθέτησε μια μηχανιστική-εμπειρική προσέγγιση στην ανάλυση ζημιών των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Αυτό περιλαμβάνει τον υπολογισμό των δομικών αποκρίσεων του οδοστρώματος στο φορτίο (δηλαδή, τάσεις/παραμορφώσεις), τη μετατροπή τους σε ζημιά και τη συσσώρευση της ζημιάς σε προβλήματα, που μειώνουν την απόδοση του οδοστρώματος με την πάροδο του χρόνου.

Το μοντέλο υπολογιστή με ελαστική στρώση JULEA20 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δομικών αποκρίσεων του οδοστρώματος. Η προσέγγιση NCHRP 1-37A εφάρμοσε λειτουργίες ζημιάς για ρωγμές κόπωσης (από κάτω προς τα πάνω και από πάνω προς τα κάτω), αυλάκωση υπολογίζοντας την πλαστική παραμόρφωση σε όλα τα στρώματα και τραχύτητα οδοστρώματος. Όπως περιεγράφηκε παραπάνω, τα κυκλοφοριακά φορτία εισάγονται σε όρους κατανομής φορτίου άξονα—δηλαδή φάσματα φορτίου—ανά διαμόρφωση άξονα. Πρόσθετα στοιχεία, όπως ο όγκος AADTT, τα MAF s ανά κατηγορία φορτηγών, ο αριθμός αξόνων ανά διαμόρφωση και κατηγορία φορτηγών και η κατανομή του όγκου κυκλοφορίας φορτηγών κατά τη διάρκεια της τυπικής ημέρας, επιτρέπουν τον υπολογισμό του αριθμού των αξόνων ανά διαμόρφωση και βάρους σε ωριαίες προσανξήσεις. Αυτή η μεθοδολογία υλοποιείται στο λογισμικό NCHRP 1-37A, το οποίο είναι διαθέσιμο για λήψη από τον ιστότοπο Transportation Research Board, www.trb.org. (Σημειώνεται ότι το λογισμικό NCHRP 1-37A, στην τρέχουσα μορφή του, δέχεται είσοδο μόνο σε μονάδες Imperial). Παρακάτω παρέχεται μια περιγραφή των λειτουργιών βλάβης που εφαρμόζονται στη μονάδα πρόβλεψης απόδοσης ευέλικτου οδοστρώματος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η μεθοδολογία βρίσκεται επί του παρόντος υπό αναθεώρηση. Το αποτέλεσμα αυτής της ανασκόπησης και της επακόλουθης έρευνας είναι πιθανό να οδηγήσει σε τροποποιήσεις σε ορισμένες από τις λειτουργίες ζημιών που περιγράφονται στη συνέχεια.

Η ζημιά κόπωσης συσσωρεύεται για την εκτίμηση της ρωγμής αλιγότερα από κάτω προς τα πάνω και της διαμήκου ρωγμής από πάνω προς τα κάτω. Η έκφραση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αριθμού των επαναλήψεων έως την αστοχία N_f για τη διάσπαση από κάτω προς τα πάνω και από πάνω προς τα κάτω είναι μια παραλλαγή της έκφρασης που προτείνεται από τον Finn και υιοθετείται από την προσέγγιση μηχανιστικής σχεδίασης AI:

$$N_f = 0.00432 k_1' C \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^{3.9492} \left(\frac{1}{E} \right)^{1.281}$$

όπου ϵ_t είναι η τάση εφελκυσμού στο ασφαλτικό στρώμα και E είναι η ακαμγία του στρώματος (lbs/in^2). Οι συντελεστές C και k_1' είναι σταθερές βαθμονόμησης. Το C δίνεται από:

$$C = 10^M$$

με:

$$M = 4.84 \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69 \right)$$

όπου V_b είναι ο όγκος του συνδετικού και V_a είναι ο όγκος του μείγματος ως ποσοστά του συνολικού όγκου μίγματος. Ο συντελεστής k_1' είναι συνάρτηση του πάχους της στρώσης ασφαλτικού σκυροδέματος h_{ac} (ίντσες). Ορίζεται διαφορετικά για τη συσσώρευση κόπωσης από κάτω προς τα πάνω και από πάνω προς τα κάτω:

$$k_1' = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{11.02 - 3.49 h_{ac}}}}$$

$$k_1' = \frac{1}{0.01 + \frac{12}{1 + e^{15.676 - 2.8186 h_{ac}}}}$$

Η ζημιά κόπωσης FD (ποσοστό) συσσωρεύεται χωριστά για ρωγμές από κάτω προς τα πάνω και από πάνω προς τα κάτω, σύμφωνα με την υπόθεση του Miner που εκφράζεται ως:

$$FD = \sum \frac{n_{i,j,k,l,m}}{N_{i,j,k,l,m}} 100$$

όπου:

$n_{i,j,k,\dots}$ = εφαρμοζόμενος αριθμός εφαρμογών φορτίου σε συνθήκες i, j, k, l, m, n.

$N_{i,j,k,\dots}$ = αριθμός εφαρμογών φορτίου άξονα σε αστοχία πυρόλυσης υπό συνθήκες i, j, k, l, m, όπου:

i = μήνας, ο οποίος αντιπροσωπεύει μηνιαίες αλλαγές στα συντελεστές βάσης και υποστρώματος λόγω διακυμάνσεων υγρασίας και ασφάλτου σκυροδέματος λόγω διακυμάνσεων θερμοκρασίας.

j = ώρα της ημέρας, η οποία αντιπροσωπεύει τις ωριαίες αλλαγές στο μέτρο του ασφαλικού σκυροδέματος.

k = τύπος άξονα (μονός, διπλός, τριπλός και τετραπλός).

l = επίπεδο φορτίου για κάθε τύπο άξονα.

m = διαδρομή κυκλοφορίας, υποθέτοντας μια κανονικά κατανεμημένη πλευρική περιπλάνηση τροχού.

Οι αλλαγές θερμοκρασίας και υγρασίας υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το Ενισχυμένο Ενσωματωμένο Κλιματικό Μοντέλο και τα δεδομένα καιρού από την περιοχή γύρω από την περιοχή όπου βρίσκεται το πεζοδρόμιο που σχεδιάζεται. Οι υπολογισμοί ζημιών κόπωσης στο λογισμικό NCHRP 1-37A περιλαμβάνουν μια σειρά από πολυεπίπεδες λύσεις ελαστικής ανάλυσης για τον υπολογισμό των τάσεων εφελκυσμού στο στρώμα του ασφαλτοσκυροδέματος και του προκύπτοντας αριθμού επαναλήψεων μέχρι την αστοχία κόπωσης για κάθε διαμόρφωση άξονα και μέγεθος φορτίου. Στη συνέχεια, ο πραγματικός αριθμός διελεύσεων άξονα με βάση τη διαμόρφωση και το φορτίο άξονα για τη συγκεκριμένη τοποθεσία που αναλύεται υπολογίζεται από την είσοδο κίνησης στο οδόστρωμα. Τέλος, υπολογίζεται η συσσωρευμένη ζημιά κόπωσης σε σχέση με το χρόνο.

Η περιοχή ρωγμών κόπωσης από κάτω προς τα πάνω FC (ποσοστό της συνολικής επιφάνειας λωρίδας) υπολογίζεται ως:

$$FC = \frac{100}{1 + e^{c'_2(-2+\log FD)}}$$

όπου FD είναι η ζημιά κόπωσης από κάτω προς τα πάνω (ποσοστό) που υπολογίζεται και το c_2 δίνεται από:

$$c'_2 = -2.40874 - 39.748 (1 + h_{ac})^{-2.856}$$

Η διαμήκης ρωγή κόπωσης από πάνω προς τα κάτω (πόδια/μίλι) υπολογίζεται ως:

$$FC = \frac{10560}{1 + e^{(7.0-3.5 \log FD)}}$$

όπου FD είναι το ποσό της ζημιάς κόπωσης από πάνω προς τα κάτω (ποσοστό) που υπολογίζεται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω προβλημάτων ορίων, η γραμμική ελαστική ανάλυση αποδίδει ανακριβή αποτελέσματα κοντά στη διεπαφή επιφάνειας ελαστικού-οδοστρώματος. Για να παρακάμψει αυτόν τον περιορισμό, το μοντέλο NCHRP 1-37A χρησιμοποιεί γραμμική παρέκταση των παραμορφώσεων που υπολογίζονται βαθύτερα στο στρώμα ασφαλικού σκυροδέματος για να εκτιμήσει τις επιφανειακές παραμορφώσεις που είναι απαραίτητες για την ανάλυση ρωγμών κόπωσης από πάνω προς τα κάτω.

Ο οδηγός NCHRP 1-37A υπολογίζει τη ζημιά από αυλακώσεις αθροίζοντας την πλαστική παραμόρφωση σε κάθε στρώμα οδοστρώματος και το υπόβαθρο. Η πλαστική παραμόρφωση, PD, υπολογίζεται διαιρώντας κάθε στρώμα σε έναν αριθμό υποστιβάδων, υπολογίζοντας την πλαστική παραμόρφωση σε κάθε υποστιβάδα και προσθέτοντας τις πλαστικές παραμορφώσεις που προκύπτουν μέσω:

$$PD = \sum_{i=1}^n \varepsilon_p^i h^i$$

όπου ε_p^i είναι η πλαστική καταπόνηση στο υπο-στρώμα i , h^i είναι το πάχος του υποστρώματος i και n είναι ο αριθμός των υποστιβάδων που διακρίνονται. Όπως περιγράφεται στη συνέχεια, η πλαστική καταπόνηση ε_p σε κάθε στρώμα οδοστρώματος υπολογίζεται από την αντίστοιχη ελαστική (ή ελαστική) κατακόρυφη τάση εν χρησιμοποιώντας γραμμική ελαστική ανάλυση. Η διαδικασία που υιοθετήθηκε αναπτύχθηκε από τους Tseng και Lytton.

Η καταπόνηση του πλαστικού στη στρώση ασφαλικού σκυροδέματος ε_p υπολογίζεται ως συνάρτηση της κατακόρυφης ελαστικής (ελαστικής) τάσης ε_v που λαμβάνεται από την ανάλυση ελαστικών στρώσεων χρησιμοποιώντας:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_v} = k_1 10^{-3.4488} T^{1.5606} N^{0.479244}$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του στρώματος ασφαλτικού σκυροδέματος ($^{\circ}F$), N είναι ο αθροιστικός αριθμός των κύκλων φόρτωσης και k_1 είναι ένας παράγοντας βαθμονόμησης που αντιπροσωπεύει το αυξημένο επίπεδο περιορισμού με το βάθος, που εκφράζεται με το μεταβλητό βάθος (ίντσες):

$$k_1 = (C_1 + C_2 \text{ depth}) 0.328196^{\text{depth}}$$

όπου:

$$C_1 = -0.1039 h_{ac}^2 + 2.4868 h_{ac} - 17.342$$

$$C_2 = 0.0172 h_{ac}^2 - 1.7331 h_{ac} + 27.428$$

Το NCHRP 1-37A υιοθέτησε ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Tseng και Lytton για τον υπολογισμό της πλαστικής τάσης ε_p στα μη δεσμευμένα κοκκώδη στρώματα. Σχετίζει το ε_p με την κατακόρυφη ελαστική (ελαστική) παραμόρφωση ε_v , που υπολογίζεται από την πολυεπίπεδη ελαστική ανάλυση χρησιμοποιώντας:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_v} = \beta_G \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r} \right) e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^\beta}$$

όπου τα β , ρ και ε_0 είναι ιδιότητες υλικού που λαμβάνονται από εργαστηριακές δοκιμές που περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενη φόρτιση σε επίπεδο ελαστικής παραμόρφωσης ε_r , και N είναι ο αριθμός των κύκλων φορτίου. Η διαδικασία ανάπτυξης αυτού του μοντέλου περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 3. Η σταθερά βαθμονόμησης β_G έχει την τιμή 1,673 για τα βασικά στρώματα και 1,35 για τα υπόβαθρα. Οι τιμές των β και ρ δίνονται από:

$$\log \beta = -0.6119 - 0.017638 W_c$$

$$\rho = 10^9 \left(\frac{-4.89285}{1 - (10^9)^\beta} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

όπου W_c είναι η περιεκτικότητα σε νερό (%). Ο λόγος $\varepsilon_0/\varepsilon_r$ υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των πειραματικών μετρήσεων μετά από 1 και 10^9 κύκλους φόρτωσης:

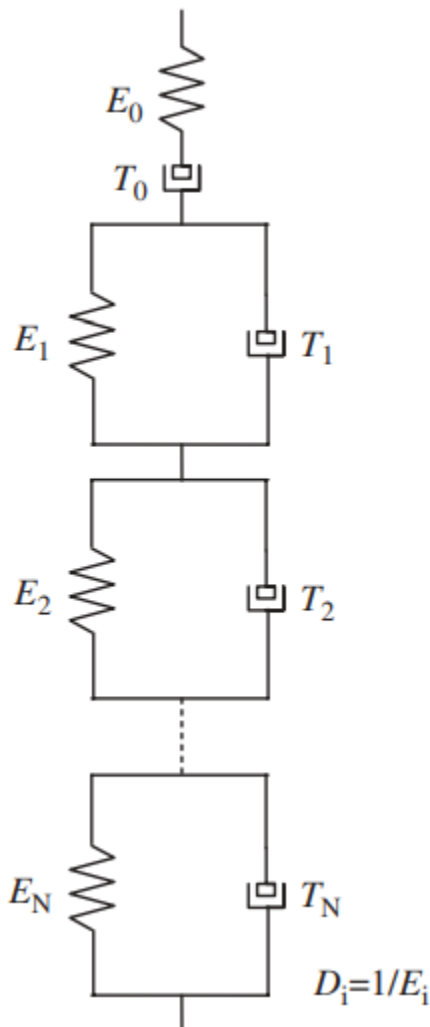
$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r} = \frac{1}{2} \left(0.15 e^{(\rho)^\beta} + 20 e^{\left(\frac{\rho}{10^9}\right)^\beta} \right)$$

Το μοντέλο θερμικής πυρόλυσης που υιοθετήθηκε από την προσέγγιση σχεδιασμού NCHRP 1-37A βασίζεται στην εργασία που εκτελείται στο πλαίσιο της σύμβασης A-005 του Στρατηγικού Προγράμματος Έρευνας για τους Αυτοκινητόδρομους (SHRP) και της εργασίας που πραγματοποιήθηκε από τους Witczak et al. κάτω από τη μελέτη NCHRP 9-19. Ο βασικός μηχανισμός του συσχετίζει τις θερμικές τάσεις που υπολογίζονται από τη συμμόρφωση ερπυσμού του ασφαλτικού σκυροδέματος με την αντοχή του σε εφελκυσμό. Οι ιδιότητες προσδιορίζονται από τη δοκιμή έμμεσης τάσης (IDT) που διεξάγεται σύμφωνα με το Πρότυπο AASHTO T322-03. Η δοκιμή IDT χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συμμόρφωσης του ασφαλτικού σκυροδέματος

σε εφελκυσμό σε διάφορες θερμοκρασίες και για την κατασκευή της κύριας καμπύλης του σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 5. Ένα γενικευμένο μοντέλο Voight-Kelvin προσαρμόζεται στην κύρια καμπύλη, το οποίο επιτρέπει την έκφραση της συμμόρφωσης ερπυσμού (ή του συντελεστή επιβράδυνσης παραμόρφωσης) του ασφαλτικού σκυροδέματος $D(\xi)$ σε όρους μειωμένου χρόνου ξ ως:

$$D(\xi) = D_0 + \frac{D_0 \xi}{T_0} + \sum_{i=1}^N D_i (1 - e^{-\xi/T_i})$$

όπου D_i και T_i είναι οι σταθερές που χαρακτηρίζουν τα ελαστικά ελατήρια $N + 1$ και τα ταμπλό, αντίστοιχα (Εικόνα 7). Ο μετασχηματισμός αυτής της συνάρτησης στο πεδίο συχνοτήτων $D^*(s)$ επιτρέπει την εκτίμηση του συντελεστή χαλάρωσης της τάσης του ασφαλτοσκυροδέματος στον τομέα συχνότητας $E^*(s)$ ως:



Εικόνα 7 Γενικευμένο μοντέλο Voight-Kelvin που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή δεδομένων κύριας καμπύλης ασφαλτικού σκυροδέματος

όπου Λ είναι ο τελεστής Laplace και s ο τελεστής τομέα συχνότητας. Ένας αντίστροφος μετασχηματισμός Laplace της συνάρτησης $E^*(s)$ δίνει το μέτρο χαλάρωσης ασφάλτου σκυροδέματος στο πεδίο του χρόνου, που συμβολίζεται με $E(\xi)$. Αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό των τάσεων ως συνάρτηση της αλλαγής της θερμοκρασίας και/ή του χρόνου φόρτωσης χρησιμοποιώντας την αρχή της υπέρθεσης του Boltzman. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε για το χειρισμό αυτών των υπολογισμών χρησιμοποίησε ένα σχήμα πεπερασμένων διαφορών και ενσωματώθηκε στο λογισμικό NCHRP 1-37A.

Η θερμοκρασία προβλέπεται ως συνάρτηση του βάθους στο ασφαλτικό σκυρόδεμα χρησιμοποιώντας το μοντέλο EICM. Οι θερμικές τάσεις που υπολογίζονται με αυτόν τον τρόπο συγκρίνονται με την άθικτη εφελκυστική αντοχή του ασφαλτοσκυροδέματος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω σχετικά γρήγορης δοκιμής IDT σταθερής παραμόρφωσης (ρυθμός φόρτισης 1,27 cm/λεπτό) που διεξάγεται σε διάφορες θερμοκρασίες. Η θερμική εγκάρσια ρηγμάτωση ξεκινά όταν οι θερμικές τάσεις υπερβαίνουν την αντοχή σε εφελκυσμό του ασφαλτικού σκυροδέματος. Η διάδοση της ρωγμής προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας τον νόμο του Paris, ο οποίος προσαρμόστηκε για ρωγμές σε ιζωδοελαστικά υλικά, και εκφράζεται ως:

$$\Delta C = A \Delta K^n$$

όπου ΔC = η αύξηση του μήκους της ρωγμής, ΔK = είναι η αλλαγή στη συνάρτηση έντασης τάσης, και n και A είναι παράμετροι θραύσης. Ο παράγοντας έντασης πίεσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας:

$$K = \sigma \left(0.45 + 1.99 C_0^{0.56} \right)$$

όπου, C_0 είναι το αρχικό μήκος ρωγμής και σ είναι η τάση στην ασφαλτική στρώση σκυροδέματος στο βάθος του άκρου της ρωγμής. Η παράμετρος n λαμβάνεται με την προσαρμογή μιας εκθετικής σχέσης στην κύρια καμπύλη συμμόρφωσης ερπυσμού, ακολουθώντας μια τεχνική που αναπτύχθηκε από τους Lytton et al. Σχετίζει την παράμετρο ρωγμής n με την κλίση m του γραμμικού τμήματος του $\log D(\xi)$ έναντι της κύριας καμπύλης $\log \xi$ μέσω:

$$n = 0.8 \left(1 + \frac{1}{m} \right)$$

Η παράμετρος A καθορίστηκε μέσω βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας δεδομένα εγκάρσιας ρωγμής επί τόπου:

$$\log A = 4.389 - 2.52 \log (10000 S_t n)$$

όπου S_t είναι η αντοχή εφελκυσμού (lbs/in²) του μείγματος ασφαλτοσκυροδέματος που μετρήθηκε, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Τέλος, η έκταση της εγκάρσιας θερμικής ρωγμής σε ασφαλτοσκυρόδεμα AC (σε γραμμικά πόδια/500 πόδια) υπολογίζεται από την πιθανότητα το μήκος των θερμικών ρωγμών C να υπερβαίνει το πάχος της στρώσης του ασφαλτικού σκυροδέματος D , εκφραζόμενο ως:

$$AC = 353.5 N \left(\frac{\log C/D}{0.769} \right)$$

όπου N είναι η τυπική κανονική πιθανότητα ότι το C θα είναι μεγαλύτερο από το D (δηλαδή, 0,769 είναι η εκτιμώμενη τυπική απόκλιση του λογαρίθμου του μήκους της ρωγμής). Το λογισμικό υπολογιστή αναπτύχθηκε εφαρμόζοντας καθένα από αυτά τα βήματα. Αυτό το λογισμικό ενσωματώθηκε στο λογισμικό οδηγών NCHRP 1-37A για να επιτρέψει την πρόβλεψη θερμικής ρωγμής. Η εισαγωγή σε αυτήν την ενότητα περιλαμβάνει την κύρια καμπύλη συμμόρφωσης ερπυσμού από ασφαλτοπετόν, την αναλογία Poisson, την αντοχή σε εφελκυσμό και τα περιβαλλοντικά δεδομένα για τη θέση σχεδιασμού.

5. Ζητήματα αστοχίας και απόδοσης

Ένα ολοκαίνουργιο πεζοδρόμιο στην αρχή της σχεδιαστικής του ζωής αναμένεται να είναι χωρίς καμία «ταλαιπωρία» ή ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά. Τέτοια χαρακτηριστικά, τα οποία περιλαμβάνουν αυλάκωση, ρωγμές, μπαλώματα ή τραχύτητα, είναι «ανεπιθύμητα» από την άποψη της απόδοσης του οδοστρώματος—όσο μεγαλύτερη δυσφορία, τόσο μικρότερη είναι η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος—και σε κάποιο σημείο, οι ταλαιπωρίες είναι τόσο μεγάλες σε την ένταση (π.χ. βαθιές αυλακώσεις) καθώς και την έκταση (π.χ. το 75% της περιοχής του τροχού σε μια περιοχή του έργου έχει ρωγμές) που το οδόστρωμα θεωρείται ότι έχει «αστοχήσει» ή στο τέλος της διάρκειας σχεδιασμού του. Οι επόμενες ενότητες εξηγούν τις πιθανές ταλαιπωρίες και τη σχέση τους με την απόδοση ενός οδοστρώματος.

5.1 Ζητήματα αστοχίας

Υπάρχουν διάφορες μορφές ταλαιπωρίας στα ασφαλτοστρώματα, καθεμία από τις οποίες συνδέεται με συγκεκριμένο λόγο (όπως κακή σχεδίαση, κατασκευή ή περιβαλλοντικές συνθήκες) ή συνδυασμός αυτών, και οι περισσότερες συμβαίνουν ως αποτέλεσμα της κυκλοφορίας. Η εικόνα 8 παραθέτει τις κοινές ταλαιπωρίες στα ασφαλτοστρώματα. Οι διάφορες δυσκολίες περιγράφονται στις ακόλουθες ενότητες, με αλφαβητική σειρά.



Bleeding



Block cracking



Corrugations



Delamination



Edge crack



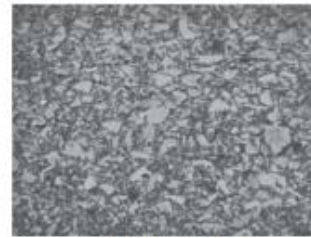
Edge fatigue crack



Fatigue crack



Longitudinal crack at joint



Polished aggregate



Pothole



Raveling



Reflective cracking



Rutting



Slippage crack



Thermal cracking

Εικόνα 8 Κοινά ζητήματα αστοχίας σε ασφαλτοστρώματα.

- Αιμορραγία (Bleeding)

Αιμορραγία είναι η εμφάνιση ασφαλτικού συνδετικού υλικού στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυτό είναι ένα επιφανειακό ελάττωμα που προκαλείται από υπερβολικό συνδετικό ασφάλτου στο επιφανειακό ασφαλτικό μίγμα. Μετριέται σε τετραγωνικά μέτρα. Οι διαφορετικές συνθήκες αιμορραγίας περιλαμβάνουν αποχρωματισμό, κάλυψη αδρανών με λεπτή ανακλαστική επιφάνεια και απώλεια υφής.

- Ρωγμή σε μπλοκ (Block Cracking)

Η ρωγμή μπλοκ αναφέρεται σε ένα σχέδιο ρωγμών που χωρίζουν την επιφάνεια σε περίπου ορθογώνια κομμάτια ($>0,1 \text{ m}^2$). Τέτοιες ρωγμές εμφανίζονται λόγω συρρίκνωσης του ασφαλτικού μίγματος λόγω μεταβολών όγκου στη βάση ή το υπόβαθρο. Μετράται σε τετραγωνικά μέτρα και η σοβαρότητά του μπορεί να περιγραφεί ως χαμηλή (πλάτος ρωγμής $\leq 6\text{mm}$ ή σφραγισμένες ρωγμές των οποίων το πλάτος δεν μπορεί να μετρηθεί, με στεγανωτικό σε καλή κατάσταση), μέτρια (πλάτος ρωγμής $>6\text{mm}$ αλλά $\leq 19\text{mm}$ ή οποιαδήποτε ρωγμή με μέση τιμή πλάτος $\leq 19\text{mm}$ και παρακείμενο τυχαίο ράγισμα χαμηλής σοβαρότητας) και υψηλό (πλάτος ρωγμής $>19\text{mm}$ ή οποιαδήποτε ρωγμή με μέσο πλάτος $\leq 19\text{mm}$ και παρακείμενο μέτριας έως υψηλής σοβαρότητας τυχαία ρωγμή).

- Κυματισμοί (Corrugations)

Οι αυλακώσεις είναι κυματισμοί που σχηματίζονται πλευρικά σε μια επιφάνεια ασφαλτικού οδοστρώματος. Αυτά συμβαίνουν ως αποτέλεσμα της έλλειψης σταθερότητας του θερμού μίγματος ασφάλτου (HMA) σε σημείο όπου ξεκινά και σταματά η κυκλοφορία ή σε λόφους όπου τα οχήματα φρενάρουν υποβαθμισμένα. Οι αιτίες της έλλειψης σταθερότητας είναι η υπερβολική ή πολύ μαλακή άσφαλτος, η υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο και η υπερβολική παρουσία λείων και στρογγυλεμένων αδρανών στο μείγμα.

- Αποκόλληση (Delamination)

Η αποκόλληση είναι ο διαχωρισμός της επάνω στρώσης από το στρώμα από κάτω. Προκαλείται από κακή σύνδεση ή από αστοχία του δεσμού μεταξύ των δύο στρωμάτων. Η κακή συγκόλληση μπορεί να οφείλεται σε ακατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας ή σε ακατάλληλη επίστρωση πριν από την εφαρμογή της στρώσης φθοράς ή/και σε ένα σχετικά λεπτό στρώμα φθοράς. Η απώλεια δεσμού μπορεί να προκληθεί από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η είσοδος νερού και οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι κατάψυξης-απόψυξης.

- Ρωγμές άκρων (Edge Cracks)

Ρωγμές στις ακμές εντοπίζονται σε πεζοδρόμια με μη ασφαλτοστρωμένους ώμους. Είναι ημισελήνου ή αρκετά συνεχείς ρωγμές που τέμνουν την άκρη του οδοστρώματος. Οι ρωγμές βρίσκονται σε απόσταση 0,6 m από την άκρη του οδοστρώματος δίπλα στον ώμο. Οι διαμήκεις ρωγμές εκτός του τροχού και εντός 0,6 m από την άκρη του οδοστρώματος ταξινομούνται επίσης ως ρωγμές ακμών. Η ρωγμή οφείλεται στην έλλειψη πλευρικής στήριξης (ώμου), στην αδυναμία της βάσης ή του υποστρώματος που προκαλείται από τη δράση του παγετού και στην ανεπαρκή αποστράγγιση. Μετράται σε μέτρα και η σοβαρότητα αναφέρεται ως χαμηλή (ρωγμές χωρίς θραύση ή απώλεια υλικού), μέτρια (απώλεια υλικού και διάσπαση σε έως και 10% της ραγισμένης

περιοχής) ή υψηλή (απώλεια υλικού ή διάσπαση σε περισσότερες από το 10% της ραγισμένης περιοχής).

- Ρωγμές κόπωσης και ρωγμές κόπωσης άκρων (Fatigue Cracks, Edge Fatigue Cracks)

Οι ρωγμές κόπωσης αρχίζουν γενικά στο μονοπάτι του τροχού. Οι ρωγμές κόπωσης των άκρων σχηματίζονται λόγω της κακής στήριξης κάτω από την ξαπλωμένη στήριξη στην άκρη των οδοστρωμάτων με πλακόστρωτους ώμους. Αυτή η ταλαιπωρία, που εντοπίζεται στα μονοπάτια των τροχών, ξεκινά ως μια σειρά από αλληλένδετες ρωγμές και εξελίσσεται σε ένα μοτίβο σύρματος κοτόπουλου/αλιγάτορα. Οι διασυνδεδεμένες ρωγμές δημιουργούν τεμάχια πολλών όψεων, οξείας γωνίας, συνήθως με μέγιστο μήκος 0,3 m. Η επαναλαμβανόμενη εφελκυστική τάση/καταπόνηση στο κάτω μέρος της στρώσης ασφάλτου, που προκαλείται από την κυκλοφορία, οδηγεί σε ρωγμές λόγω κόπωσης. Ξεκινά από κάτω και κινείται προς τα πάνω. Η ραγισμένη περιοχή πρέπει να είναι ποσοτικοποιήσιμη για να υπολογίζεται ως ρωγμή κόπωσης. Η ραγισμένη περιοχή πρέπει να μετράται σε τετραγωνικά μέτρα, για καθένα από τα τρία επίπεδα σοβαρότητας: χαμηλό, μεσαίο και σοβαρό. Εάν, σε μια περιοχή, υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα σοβαρότητας και δεν μπορούν να διακριθούν, ολόκληρη η περιοχή θα πρέπει να βαθμολογηθεί ως για την υψηλότερη βαθμολογία σοβαρότητας. Μια περιοχή χαμηλής σοβαρότητας είναι αυτή στην οποία δεν υπάρχουν ή υπάρχουν λίγες ρωγμές σύνδεσης, οι ρωγμές δεν είναι σπασμένες ή σφραγισμένες και δεν υπάρχουν ενδείξεις άντλησης. Μέτριας σοβαρότητας περιοχές είναι εκείνες στις οποίες οι ρωγμές συνδέονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας ένα πλήρες σχέδιο και οι ρωγμές μπορεί να είναι ελαφρώς σπασμένες ή σφραγισμένες, χωρίς ενδείξεις άντλησης. Σε μια περιοχή υψηλής σοβαρότητας, οι ρωγμές αλληλοσυνδέονται με μέτριες ή σοβαρές εκρήξεις, σχηματίζοντας ένα πλήρες σχέδιο. κομμάτια μπορεί να κινούνται κάτω από την κυκλοφορία. Οι ρωγμές μπορούν να σφραγιστούν. και η άντληση μπορεί να είναι εμφανής.

- Διαμήκεις ρωγμές αρμών (Longitudinal Joint Cracks)

Οι διαμήκεις ρωγμές αρμών αναπτύσσονται στους κατασκευαστικούς αρμούς λόγω κακής στρωμένων αρμών ή ακατάλληλων κατασκευαστικών τεχνικών. Μετρώνται σε μέτρα και η σοβαρότητά τους εκφράζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στη ρωγμή μπλοκ.

- Γυαλισμένα Αδρανή (Polished Aggregate)

Γυαλισμένα αδρανή είναι η έκθεση των χονδρόκοκκων αδρανών λόγω της φθοράς του ασφαλτικού συνδετικού υλικού και των λεπτών αδρανών από το επιφανειακό ασφαλτικό μίγμα. Μετριέται σε τετραγωνικά μέτρα.

- Λακούβες (Potholes)

Οι τρύπες σε σχήμα μπολ, με ελάχιστη κάτοψη 150 mm στην επιφάνεια του οδοστρώματος, ονομάζονται λακούβες. Υπάρχουν τέσσερις κύριες αιτίες των λακούβων: (1) ανεπαρκές πάχος του οδοστρώματος για να υποστηρίξει την κυκλοφορία στους κύκλους χειμώνα-άνοιξη-πάγωμα-απόψυξη. (2) κακή αποστράγγιση, που οδηγεί σε συσσώρευση περίσσειας νερού. (3) αστοχίες σε τάφρους και χυτά βοηθήματα. και (4) ελαττώματα οδοστρώματος και μη σφραγισμένες ρωγμές. Για μια έρευνα κινδύνου, καταγράφεται ο αριθμός των λακούβων και τα τετραγωνικά μέτρα της πληγείσας περιοχής. Τα επίπεδα σοβαρότητας μπορούν να αναφερθούν ως χαμηλά (<25 mm βάθος), μέτρια (25 mm < βάθος <50 mm) ή υψηλά (>50 mm βάθος).

- Raveling

Το Raveling αναφέρεται στη φθορά της επιφάνειας του οδοστρώματος από απώλεια συνδετικού ασφάλτου και μετατόπιση αδρανών. Η διαδικασία ξεκινά ως απώλεια λεπτών και μπορεί να συνεχιστεί σε μια κατάσταση με απώλεια χονδροειδών αδρανών και μια πολύ τραχιά και τραχιά επιφάνεια. Το Raveling προκαλείται από τη δράση του νερού που βρίσκει το δρόμο του μέσα από την επιφάνεια του οδοστρώματος λόγω κακής συμπύκνωσης και επομένως χαμηλής πυκνότητας και σχετικά υψηλών κενών, και μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία της λακκούβωσης. Μετριέται σε τετραγωνικά μέτρα.

- Ανακλαστική ρωγμή (Reflective Cracking)

Οι ανακλαστικές ρωγμές είναι αυτές στις επικαλύψεις ασφάλτου που προκαλούνται από ασυνέχειες στη δομή του οδοστρώματος από κάτω. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε παλιό ραγισμένο ασφαλτικό οδόστρωμα ή αρμούς σε τσιμεντένιο οδόστρωμα από κάτω. Τα επίπεδα βαρύτητας καταγράφονται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην πυρόλυση μπλοκ.

- Αυλάκωση (Rutting)

Ως αυλάκωση ορίζεται η διαμήκης κοιλότητα στη διαδρομή του τροχού, με ή χωρίς εγκάρσια μετατόπιση. Μπορεί να μετρηθεί με ευθεία άκρη ή προφίλτρο σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ένα αυλάκι είναι μια φυσική παραμόρφωση της επιφάνειας και επίσης αποτρέπει τη διασταυρούμενη αποστράγγιση του νερού κατά τη διάρκεια των βροχών, οδηγώντας σε συσσώρευση νερού στα αυλάκια και αυξάνοντας την πιθανότητα ατυχημάτων που σχετίζονται με την υδρολίσθηση. Γενικά ένα βάθος αυλάκωσης 0,5 ίντσες θεωρείται αποτυχία αυλάκωσης. Η αυλάκωση είναι αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενης φόρτισης, η οποία προκαλεί συσσώρευση και αύξηση μόνιμων παραμορφώσεων. Η αυλάκωση μπορεί να είναι (1) αυλάκωση χαμηλής έως μέτριας σοβαρότητας—μονοδιάστατη συμπύκνωση ή κατακόρυφη συμπίεση κοντά στο κέντρο του τροχού, που προκαλείται από συμπύκνωση μειγμάτων με υπερβολικά κενά αέρα στο επιτόπιο μείγμα υπό κίνηση. (2) μέτριας έως υψηλής σοβαρότητας αυλάκωση - κοιλότητα στη διαδρομή του τροχού μαζί με εξογκώματα εκατέρωθεν της κοιλότητας, που προκαλείται από πλευρική ροή λόγω πλαστικής παραμόρφωσης, που προκύπτει από διατμητική αστοχία του μείγματος υπό κυκλοφορία και γενικά σχετίζεται με πολύ χαμηλά κενά αέρα στο μείγμα. και (3) αυλακώσεις συνοδευόμενες από ρωγμές στην επιφάνεια του οδοστρώματος, που προκαλούνται από αυλακώσεις σε υποκείμενα στρώματα, όπως το υπόβαθρο ή το υπόβαθρο.

- Ρωγμή ολίσθησης (Slippage Crack)

Οι ρωγμές ολίσθησης είναι συνήθως ρωγμές σε σχήμα ημισελήνου ή μισοφέγγαρου που παράγονται όταν τα οχήματα φρενάρουν ή στρίβουν, γεγονός που προκαλεί ολίσθηση ή ώθηση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Αυτό προκαλείται από ένα HMA χαμηλής αντοχής ή από έλλειψη δεσμού μεταξύ της επιφάνειας και των κατώτερων στρωμάτων.

- Θερμικές ρωγμές (Thermal Cracks)

Η θερμική ρηγμάτωση εμφανίζεται με τη μορφή εγκάρσιας ρωγμής, η οποία ορίζεται ως ρωγμές που είναι κυρίως κάθετες στην κεντρική γραμμή του οδοστρώματος. Αυτές οι ρωγμές εμφανίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι θερμικές ρωγμές μπορεί να προκληθούν από τη θραύση του ασφαλτικού μίγματος λόγω σοβαρής πτώσης της θερμοκρασίας ή από θερμική

κόπωση που προκαλείται από επαναλαμβανόμενους κύκλους χαμηλής και υψηλής θερμοκρασίας. Η σοβαρότητα της θερμικής ρωγμής μετράται από το πλάτος της ρωγμής. Μια εγκάρσια ρωγμή χαμηλής σοβαρότητας είναι αυτή με μέσο πλάτος ≤ 6 mm ή μια σφραγισμένη ρωγμή με στεγανοποιητικό υλικό σε καλή κατάσταση και πλάτος που δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Μια εγκάρσια ρωγμή μέσης σοβαρότητας είναι αυτή με μέσο πλάτος >6 και ≤ 19 mm ή οποιαδήποτε ρωγμή με μέσο πλάτος ≤ 19 mm και παρακείμενη τυχαία ρωγμή χαμηλής σοβαρότητας, ενώ μια ρωγμή υψηλής σοβαρότητας έχει μέσο πλάτος >19 mm ή ≤ 19 mm αλλά με παρακείμενο τυχαίο ράγισμα μέτριας έως υψηλής σοβαρότητας. Καταμετρώνται μόνο οι ρωγμές που έχουν μήκος $>0,3$ m. Καταγράφεται ο αριθμός και το μήκος των εγκάρσιων ρωγμών σε κάθε επίπεδο σοβαρότητας. Ολόκληρη η εγκάρσια ρωγμή πρέπει να βαθμολογηθεί στο υψηλότερο επίπεδο σοβαρότητας που υπάρχει για τουλάχιστον το 10% του συνολικού μήκους της ρωγμής. Το μήκος, σε m, είναι το συνολικό μήκος της ρωγμής. Εάν οι ρωγμές είναι σφραγισμένες, τότε το μήκος των ρωγμών με στεγανωτικό σε καλή κατάσταση (για τουλάχιστον το 90% της ρωγμής) θα πρέπει να μετράται σε κάθε επίπεδο σοβαρότητας. Μέρος της θερμικής εγκάρσιας ρωγμής που εκτείνεται σε μια περιοχή ρωγμών κόπωσης που προκαλείται από φορτίο δεν υπολογίζεται.

5.2 Εκτίμηση Απόδοσης

Ένα οδόστρωμα κατασκευάζεται για την ασφαλή και ομαλή διέλευση της κυκλοφορίας. Υπάρχει ανάγκη να ποσοτικοποιηθεί ο βαθμός στον οποίο το πεζοδρόμιο εξυπηρετεί το σκοπό του ή την «απόδοσή του». Αυτός ο ποσοτικός προσδιορισμός μπορεί να γίνει σε σχέση με τις συνθήκες κινδύνου που παρουσιάζει το οδόστρωμα οποιαδήποτε στιγμή μετά την κατασκευή του.

Το AASHO Road Test εισήγαγε την έννοια της δυνατότητας συντήρησης για τη μέτρηση της απόδοσης. Χρειάστηκε να χαρακτηριστούν τα τμήματα του οδοστρώματος ως προς την κατάστασή τους, ώστε να αναπτυχθούν σχέσεις μεταξύ της απόδοσης και των παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση. Αρχικά, εισήχθη η έννοια της τρέχουσας βαθμολογίας λειτουργικότητας (PSR). Το PSR (Εικόνα 10.3) ορίζεται ως η κρίση ενός παρατηρητή ως προς την τρέχουσα ικανότητα ενός πεζοδρομίου να εξυπηρετεί την κυκλοφορία που προορίζεται να εξυπηρετήσει. Το PSR κυμαίνεται από 1 έως 5, ξεκινώντας από το τέλειο 5 και μειώνεται με το πέρασμα του ΚΙΝΗΣΗ στους ΔΡΟΜΟΥΣ. Για να χαρακτηριστούν τα οδοστρώματα από την άποψη της βαθμολογίας λειτουργικότητας, στη συνέχεια εισήχθη ο δείκτης λειτουργικότητας οδοστρώματος (PSI) με βάση τις παρατηρούμενες συνθήκες κινδύνου:

Acceptable?		5		Very good
		4		Good
		3		Fair
		2		Poor
		1		Very poor
		0		

Yes	
No	
Undecided	

Section identification	_____	Rating	_____
Rater	_____	Date	_____
		Time	_____
		Vehicle	_____

Εικόνα 9 Έννοια της τρέχουσας βαθμολογίας λειτουργικότητας

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + \overline{SV}) - 1.38RD^2 - 0.01\sqrt{C+P} \text{ (flexible pavement)}$$

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + \overline{SV}) - 0.09\sqrt{C+P} \text{ (rigid pavement)}$$

όπου

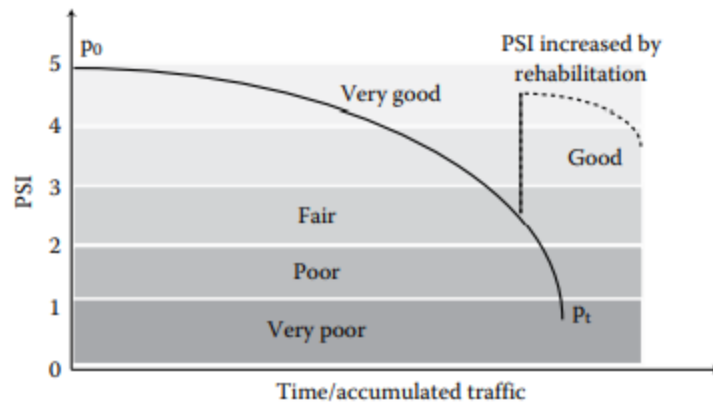
Το SV είναι ο μέσος όρος της διακύμανσης της κλίσης στους δύο τροχούς (μετρούμενο με το προφίλόμετρο CHLOE ή το μετρητή τραχύτητας του Bureau of Public Roads [BPR])

C, P είναι τα μέτρα ρωγμής και μπαλώματος στην επιφάνεια του οδοστρώματος

C είναι τα συνολικά γραμμικά πόδια των ρωγμών Κατηγορίας 3 και Κλάσης 4 ανά 1000 ft² επιφάνειας οδοστρώματος

Μια ρωγή Κατηγορίας 3 ορίζεται ως ανοιγμένη ή θρυμματισμένη (στην επιφάνεια) σε πλάτος 0,25 ίντσες ή περισσότερο σε απόσταση ίση με τουλάχιστον το μισό του μήκους της ρωγμής. Ως ρωγή κατηγορίας 4 ορίζεται κάθε ρωγή που έχει σφραγιστεί. Το RD είναι το μέσο βάθος αυλάκωσης (in.). Το P εκφράζεται σε ft² ανά 1000 ft² επιφάνειας οδοστρώματος. Η βασική ιδέα ήταν ότι ακριβώς όπως το PSR (αριθμητικά η ίδια τιμή με το PSI), το PSI θα έπεφτε με την πάροδο του χρόνου (δηλαδή, με το πέρασμα της κυκλοφορίας), ξεκινώντας από ένα αρχικό p₀ σε ένα τερματικό pt. Η καμπύλη μπορεί να εκφραστεί με μια εξίσωση ως εξής (Εικόνα 10):

$$p_0 - p = (p_0 - p_t) \left(\frac{W}{\rho} \right)^\beta$$



Εικόνα 10 Διάγραμμα του PSI έναντι του χρόνου.

όπου

Τα β και ρ εξαρτώνται από τη δομή του οδοστρώματος (πάχος και ακαμψία) και τη φόρτιση

Το β καθορίζει το σχήμα της γραφικής παράστασης

β είναι ο αριθμός των φορτίων στα οποία $p=1,5$

W είναι το αθροιστικό φορτίο

Σημειώνεται ότι η απόδοση ανά πάσα στιγμή μπορεί να εκφραστεί ως η περιοχή κάτω από την καμπύλη λειτουργικότητας από την αρχή έως το υπό εξέταση σημείο. Η λειτουργικότητα του οδοστρώματος ανά πάσα στιγμή μπορεί να «αυξηθεί» με αποκατάσταση, όπως επίστρωση ασφαλτομίγματος

5.3 Ζημιές

Στη διαδικασία σχεδιασμού AASHTO, η απώλεια της δυνατότητας συντήρησης (Δ PSI) αναφέρεται ως ζημιά. Αυτή η ζημιά θεωρείται ότι προκαλείται από την κυκλοφορία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ηλικία. Στις μηχανιστικές-εμπειρικές διαδικασίες σχεδιασμού οδοστρώματος, η απόδοση του οδοστρώματος εκφράζεται με όρους δυσφορίας. Οι καταπονήσεις προβλέπονται βάσει μοντέλων (που κοινώς αναφέρονται ως συναρτήσεις μεταφοράς) που συσχετίζουν τη μηχανική απόκριση (στρές/καταπόνηση) με την παρατηρούμενη δυσφορία. Σημειώστε ότι τέτοια μοντέλα πρέπει να βαθμονομηθούν για συγκεκριμένες περιοχές, κλίμα, υλικά και συνθήκες κατασκευής. Σε πιο εξελιγμένες μεθόδους, ένας δείκτης ζημιάς υπολογίζεται από μια μηχανιστική απόκριση και ο δείκτης βλάβης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συσσώρευσης δυσφορίας με το χρόνο. Ως ζημιά ορίζεται η φθορά του οδοστρώματος λόγω της επίδρασης της κυκλοφορίας σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτή η φθορά συμβαίνει ως αποτέλεσμα της αλλαγής στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών της στρώσης του οδοστρώματος. Αυτή η ζημιά δεν συμβαίνει εξ ολοκλήρου ταυτόχρονα, αλλά μάλλον προοδευτικά—ή, ακριβέστερα, σε προσαυξήσεις— με τη διέλευση κάθε οχήματος ή, αν εκφράζεται χρονικά, κάθε ώρα κατά τη διάρκεια του σέρβις του. Σημειώστε ότι η ζημιά ανά ώρα δεν είναι η ίδια— μπορεί να είναι μεγαλύτερη, για παράδειγμα, λόγω ενός βαρύτερου οχήματος που κινείται πάνω

της εκείνη την ώρα ή λόγω μείωσης του συντελεστή μέτρησης της στρώσης ασφάλτου λόγω υψηλής θερμοκρασίας εκείνη την ώρα. Επομένως, η πιο ορθολογική προσέγγιση είναι να ληφθεί υπόψη και να υπολογιστεί η ζημιά σε κάθε προσαύξηση λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική κίνηση (κατηγορία οχήματος) και τις ιδιότητες του υλικού του οδοστρώματος (σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία) για αυτήν την περίοδο αύξησης (π. 1 ώρα). Η ζημιά σε οποιαδήποτε αύξηση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$D = \frac{n}{N}$$

όπου

n είναι οι υπολογισμένες εφαρμογές φορτίου

N είναι ο επιτρεπόμενος αριθμός εφαρμογών φόρτωσης

Σημειώνεται ότι ο επιτρεπόμενος αριθμός φορτίων εξαρτάται από την κατάσταση του στρώματος οδοστρώματος σε οποιαδήποτε περίοδο αύξησης - επομένως, το N είναι διαφορετικό για διαφορετικές περιόδους αύξησης. Η συνολική ζημιά σε οποιοδήποτε σημείο υπολογίζεται αθροίζοντας όλες τις ζημιές με την πάροδο του χρόνου, μέχρι εκείνη τη στιγμή, ως εξής (συνήθως αναφέρεται ως υπόθεση του Miner):

$$\text{Total damage} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^o \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}}$$

όπου i, j και k είναι οι διαφορετικές κατηγορίες στις οποίες γίνεται το άθροισμα της ζημιάς. Τέτοιες κατηγορίες μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικές χρονικές αυξήσεις, περιπλάνηση κυκλοφορίας και κατηγορία φορτηγών. Η βασική ιδέα είναι ότι για κάθε προσαύξηση χρόνου (δηλαδή, για ένα μοναδικό σύνολο ιδιοτήτων υλικού που συνδέονται με ένα μοναδικό σύνολο περιβαλλοντικών συνθηκών), η ζημιά προσδιορίζεται για κάθε τύπο και κίνηση του οχήματος. Όσο περισσότερες κατηγορίες χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των προσαυξήσεων, τόσο πιο ακριβής είναι ο υπολογισμός της ζημιάς.

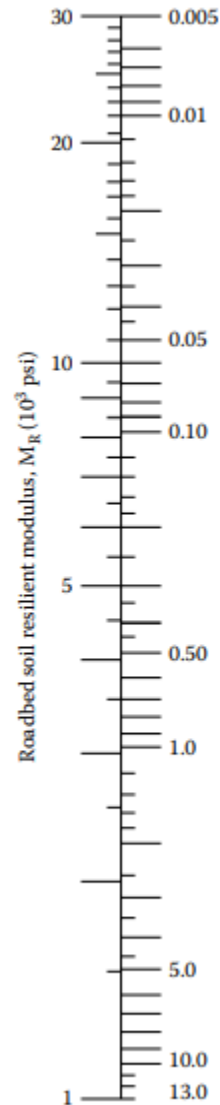
Αυτή η συνολική ζημιά με την πάροδο του χρόνου μπορεί στη συνέχεια να συσχετιστεί με την αγωνία και, στη συνέχεια, τελικά η αγωνία μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του χρόνου. Για οποιονδήποτε συγκεκριμένο τύπο κινδύνου, όταν η συνολική ζημιά (μερικές φορές αναφέρεται ως συντελεστής αθροιστικής ζημιάς ή CDF) φτάσει στο 1, το οδόστρωμα λέγεται ότι έχει αστοχήσει (ας πούμε, λόγω ρωγμών).

Σε μια απλούστερη προσέγγιση, αντί να εξετάζεται η ζημιά σε κάθε προσαύξηση ξεχωριστά, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικές ή σταθμισμένες τιμές κάθε μεταβλητής για τον προσδιορισμό της συνολικής ζημιάς. Για παράδειγμα, η έννοια του αποτελεσματικού συντελεστή ελαστικότητας του εδάφους (εδάφους/υποβάθρου) συνιστάται στη διαδικασία σχεδιασμού AASHTO. Η μέθοδος αποτελείται από τον εργαστηριακό ή επιτόπιο προσδιορισμό (ή την πρόβλεψη μέσω της συσχέτισης άλλων ιδιοτήτων) του συντελεστή ελαστικότητας του εδάφους για διαφορετικές συνθήκες υγρασίας (υγρή/ξηρή) που αναμένονται στις διαφορετικές εποχές υγρασίας. Στη συνέχεια, υπολογίζεται μια πραγματική τιμή συντελεστή ελαστικότητας που έχει το ίδιο (ισοδύναμο) αποτέλεσμα με το συνδυασμένο αποτέλεσμα των διαφορετικών συντελεστών

υπό διαφορετικές συνθήκες υγρασίας. Αυτός ο αποτελεσματικός συντελεστής υπολογίζεται με βάση τη σχετική ζημιά που οφείλεται στη διακύμανση του συντελεστή του εδάφους σε διαφορετικές εποχές. Η διαδικασία απεικονίζεται με ένα παράδειγμα στο Σχήμα 11

Month	Roadbed soil modulus, M_R (psi)	Relative damage, U_f
Jan.	20,000	0.01
Feb.	20,000	0.01
Mar.	2,500	1.51
Apr.	4,000	0.51
May.	4,000	0.51
June	7,000	0.13
July	7,000	0.13
Aug.	7,000	0.13
Sept.	7,000	0.13
Oct.	7,000	0.13
Nov.	4,000	0.51
Dec.	20,000	0.01
Summation: $\Sigma U_f =$		3.72

$$\text{Average: } \bar{u}_f = \frac{\Sigma u_f}{n} = \frac{3.72}{12} = 0.31$$



Εικόνα 11 Υπολογισμός του αποτελεσματικού συντελεστή εδάφους με βάση τη σχετική ζημιά. (Από την Αμερικανική Ένωση Κρατικών Υπαλλήλων Αυτοκινητοδρόμων και Μεταφορών (AASHTO),

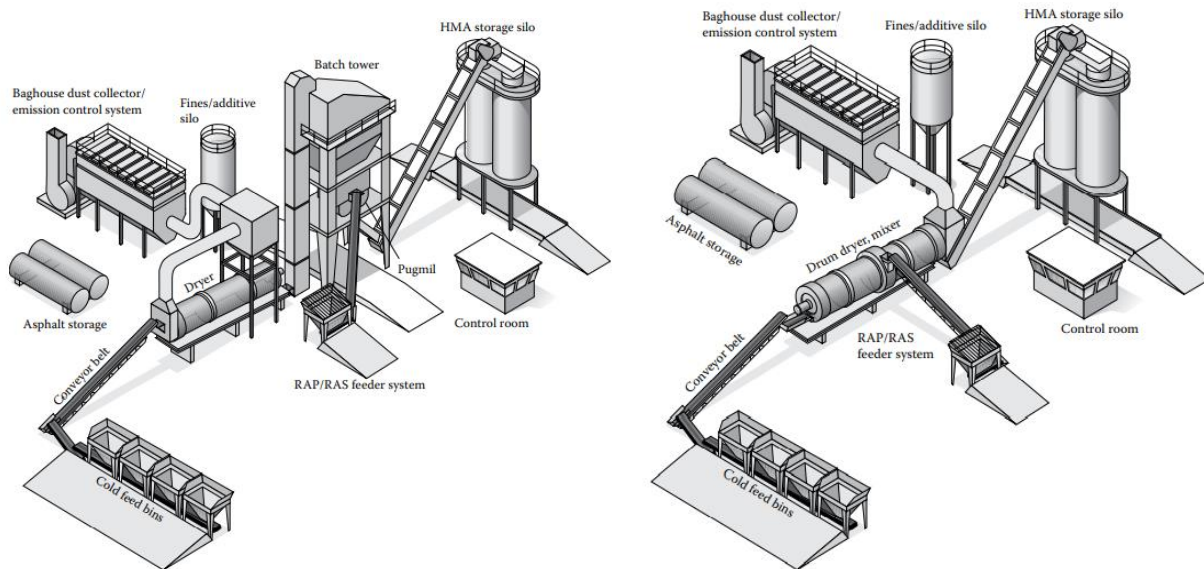
6. Κατασκευή εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Τα βασικά βήματα στην κατασκευή ασφαλτικών οδοστρωμάτων συνίστανται στην επιλογή των κατάλληλων υλικών και τη διεξαγωγή ενός κατάλληλου σχεδιασμού ανάμειξης, τη διασφάλιση ξήρανσης και ανάμειξης αδρανών από σωστά συντηρούμενα αποθέματα, ανάμειξη αδρανών με ασφαλτικό συνδετικό υλικό, παράδοση του μείγματος σε μονωμένα φορτηγά με ομαλό τρόπο. να ταιριάζει με την ταχύτητα του οδοστρωτή, ξαπλώνοντας με οδοστρωτήρας και χρησιμοποιώντας σωστά επιλεγμένο συνδυασμό κυλίνδρων επιθυμητού βάρους και τύπου, με σωστή συχνότητα κραδασμών ή/και πίεση ελαστικού, σε σωστό μοτίβο κύλισης. Οι κύλινδροι θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στην οδόστρωμα και να λειτουργούν με την επιθυμητή ταχύτητα και τρόπο οπισθοπορείας και περιστροφής. Όλος ο εξοπλισμός πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Και, πολύ σημαντικό, πρέπει να διασφαλίζεται καλός ποιοτικός έλεγχος σε κάθε βήμα στη μονάδα και κατά τη διάρκεια των εργασιών τοποθέτησης και κύλισης. Πρέπει να υπάρχει σαφής επικοινωνία για οποιαδήποτε προβλήματα μεταξύ του εργοστασίου και του εργοταξίου και, εάν απαιτείται, θα πρέπει να γίνουν προσαρμογές στο σχεδιασμό του μείγματος, την παραγωγή του εργοστασίου, τη μεταφορά και τις εργασίες τοποθέτησης και κύλισης. Θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για τη χρήση προσθέτων στα υλικά, όπως φυσική στρογγυλεμένη άμμο για τη μείωση της σκληρότητας ενός μείγματος ή/και τη χρήση ειδικού εξοπλισμού, όπως ένα όχημα μεταφοράς υλικού για τη μείωση του διαχωρισμού που σχετίζεται με τη θερμοκρασία, εάν απαιτείται.

6.1 Παραγωγή

Η παραγωγή ασφάλτου χαλαρού θερμού μίγματος (hot mix asphalt - HMA) ξεκινά από το εργοστάσιο HMA — το οποίο μπορεί να είναι είτε τύπου παρτίδας (Εικόνα 12α) είτε τύπου τυμπάνου (παράλληλη ή αντίθετη ροή, ανάλογα με το αν τα αδρανή εισέρχονται στο τύμπανο από την πλευρά της φλόγας του καυστήρα ή από την αντίθετη πλευρά, αντίστοιχα) (Εικόνα 12β). Και στις δύο εγκαταστάσεις, τα βήματα συνίστανται στη θέρμανση και ξήρανση αδρανών και ανάμιξή τους με θερμαινόμενο υγρό συνδετικό ασφάλτου. Σε ένα εργοστάσιο παρτίδας, η παραγωγή γίνεται σε «παρτίδες»—μία παρτίδα πυλών αδρανών διαφορετικών μεγεθών στεγνώνει σε ένα τύμπανο, μεταφέρεται σε ζεστό ανελκυστήρα και αναμιγνύεται με άσφαλτο σε έναν μύλο. Στην περίπτωση μιας μονάδας τυμπάνων, η παραγωγή είναι μια συνεχής διαδικασία - αδρανή διαφορετικών μεγεθών ξηραίνονται στο μπροστινό μέρος του τυμπάνου στεγνωτηρίου και στη συνέχεια αναμιγνύονται με το συνδετικό υγρής ασφάλτου στο πίσω μέρος του τυμπάνου. Σε ένα εργοστάσιο παρτίδας, τα αδρανή συλλέγονται σε μεταφορείς ψυχρής τροφοδοσίας, θερμαίνονται σε ένα τύμπανο ξηραντηρίου, μετακινούνται σε ένα ζεστό ανελκυστήρα, ελέγχονται ξανά πάνω από ένα κατάστρωμα οθόνης και διαχωρίζονται σε θερμούς κάδους και στη συνέχεια αναμιγνύονται με άσφαλτο στον μύλο. Στο εργοστάσιο τυμπάνων, ο πύργος, που αποτελείται από τον θερμό ανελκυστήρα, τα θερμά δοχεία και τον μύλο, εξαλείφεται και η ανάμειξη γίνεται στο τύμπανο. Χρησιμοποιούνται επίσης υβριδικά φυτά, που χρησιμοποιούν ορισμένα χαρακτηριστικά τόσο των εγκαταστάσεων παρτίδας όσο και των τυμπάνων. Οι εγκαταστάσεις τυμπάνων είναι συνεχείς σε αντίθεση με τις μονάδες παρτίδας όπου κάθε παρτίδα αδρανών πρέπει να ζυγίζεται και να αναμιγνύεται ξεχωριστά. Ωστόσο, οι μονάδες παρτίδας είναι επίσης πιο αποτελεσματικές σε περιπτώσεις σύντομων περιόδων παραγωγής ή καθυστερήσεων στη μεταφορά ή όταν

απαιτούνται πολλαπλοί τύποι μειγμάτων (όπως πλακόστρωση για αυτοκινητόδρομους, χώρους στάθμευσης και δρόμους) σε αστικές περιοχές.



Εικόνα 12(α) αριστερά: Σχηματική απεικόνιση μονάδας παρτίδας, (β) Δεξιά Σχηματική απεικόνιση μονάδας τυμπάνου.

Η παραγωγή HMA είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και απαιτεί επισκευή και συνεχή επίβλεψη από έμπειρα και εκπαιδευμένα άτομα. Μόλις παραχθεί το HMA, είτε αποθηκεύεται σε σιλό είτε τοποθετείται σε φορτηγά για μεταφορά στο εργοτάξιο. Το σιλό πρέπει να είναι σωστά μονωμένο για να αποτρέπεται η οξείδωση και η απώλεια θερμότητας από το HMA. Τα φορτηγά πρέπει επίσης να μονωθούν (μερικές φορές θερμαίνονται) για να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια θερμότητας από το HMA κατά τη μεταφορά.

6.2 Μεταφορά και εναπόθεση

Μόλις τα φορτηγά φτάσουν στο εργοτάξιο, το HMA μεταφέρεται είτε απευθείας στον επιστρωτή είτε σε έναν επιστρωτήρα μέσω μιας συσκευής μεταφοράς υλικού (MTD). Ο ρόλος του MTD είναι να αναμιγνύει το HMA για να αποφευχθεί ή να μειωθεί η πιθανότητα διαχωρισμού. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι επιτρέπει τη συνεχή οδόστρωση—μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η χοάνη του οδοστρωτήρα αδειάσει και πριν φτάσουν περισσότερα φορτηγά με νέα HMA.

Ο επιστρωτήρας τοποθετεί το HMA σε συγκεκριμένο πάχος με τη βοήθεια του τσιμεντοκονιάματος. Παρέχει επίσης κάποια συμπίεση στο μείγμα. Η υπολειπόμενη συμπίεση παρέχεται από τον(τους) κύλινδρο(ους) (οδοστρωτήρες) που ακολουθούν τον επιστρωτή. Γενικά, χρησιμοποιούνται κύλινδροι με αυτά τα διακριτά χαρακτηριστικά. Ένας χαλύβδινος κύλινδρος διπλού τυμπάνου χρησιμοποιείται για την έλαση διάσπασης, ένας στατικός χαλύβδινος κύλινδρος ή ένας πνευματικός κύλινδρος χρησιμοποιείται για ενδιάμεση έλαση και συνήθως ένας κύλινδρος από στατικό χάλυβα τυμπάνου χρησιμοποιείται για φινιρίσμα. Γενικά, ένα μείγμα συμπυκνώνεται κατά 20%–25%. Οι γενικά χρησιμοποιούμενοι παχύτεροι ανελκυστήρες είναι 2–4 ίντσες και οι λεπτότεροι ανελκυστήρες είναι 1–2 ίντσες. Οι παχύτεροι ανελκυστήρες συμπυκνώνονται

ευκολότερα, καθώς διατηρούν τη θερμότητα περισσότερο και επίσης βοηθούν στην αποφυγή της τάσης γεφύρωσης των λεπτότερων ανυψωτικών. Οι λεπτότερες ανυψώσεις, ωστόσο, παρέχουν καλά αποτελέσματα μέσω καλύτερης ομαλότητας και βοηθούν στην αποφυγή ώθησης, κάτι που θα μπορούσε να συμβεί σε παχύτερους ανελκυστήρες.

Τα επιχρίσματα με τη μορφή ψεκασμένης ασφάλτου ή γαλακτώματος (συνήθως αραιωμένης αργής πήξης) χρησιμοποιούνται για την παροχή δεσμού μεταξύ της παλιάς επιφάνειας και της νέας στρώσης ασφαλτικού μίγματος. Εφαρμόζεται στην υπάρχουσα επιφάνεια πριν την εφαρμογή του ΗΜΑ. Πριν από την εφαρμογή της στρώσης κόλλας, η επιφάνεια πρέπει να είναι καθαρή, στεγνή και χωρίς χαλαρά υλικά και η επίστρωση εφαρμόζεται κατά προτίμηση σε θερμοκρασίες επιφάνειας > 80°F και δεν εφαρμόζεται σε κρύες ή/και υγρές συνθήκες. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το σωστό είδος και ποσότητα και θα πρέπει να δοθεί επαρκής χρόνος για σκλήρυνση πριν καθοριστεί το ΗΜΑ. Ο τυπικός ρυθμός εφαρμογής είναι υπολειμματική περιεκτικότητα σε ασφαλτο 0,03–0,04 για νέα στρώση, 0,04–0,06 για οξειδωμένη στρώση, 0,06–0,08 για αλεσμένο ΗΜΑ και στρώσεις σκυροδέματος και 0,04–0,06 gal/yard² για οδόστρωμα σκυροδέματος. Ο πραγματικός ρυθμός εφαρμογής καθορίζεται γενικά πολλαπλασιάζοντας την υπολειμματική περιεκτικότητα επί 1,5, υποθέτοντας 2/3 υπολειμματικής ασφάλτου και 1/3 νερού σε ένα γαλάκτωμα. Συνήθως, εφαρμόζεται σε διπλό γύρο με φορηγό διανομή, σε λεπτή στρώση και ομοιόμορφα για να καλύψει ολόκληρη την επιφάνεια, συμπεριλαμβανομένων όλων των κάθετων επιφανειών αρμών και κατασκευών. Ορισμένα πρακτορεία χρησιμοποιούν επίσης συνδετικό ασφάλτου ποιότητας PG για επίστρωση.

Η επικάλυψη ΗΜΑ πρέπει να τοποθετείται μόνο αφού σπάσει η επίστρωση, όπως είναι εμφανές από μια αλλαγή χρώματος από καφέ σε μαύρο.

6.3 Εξοπλισμός

6.3.1 Φορητά

Για τις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων, τα φορητά πρέπει να είναι μονωμένα. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένας μουσαμάς (καμβάς) για να συγκρατεί τη θερμότητα, να κρατά τις ελαφριές βροχοπτώσεις μακριά από το ΗΜΑ και να κρατά μακριά τη σκόνη. Ωστόσο, σημειώστε ότι ο μουσαμάς πρέπει να είναι δεμένος σωστά - διαφορετικά θα τείνει να πέφτει στον αέρα και στην πραγματικότητα θα κρυώσει το μείγμα αερίζοντας καθώς το φορητό κινείται στο δρόμο. Τα κρεβάτια φορητών πρέπει να είναι καθαρά και τα φορητά πρέπει να φορτώνονται σωστά για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός. Συνήθως, τα φορητά πρέπει να φορτώνονται πρώτα στο μπροστινό μέρος, μετά στο πίσω μέρος και τέλος στη μέση. Τα φορητά φορητά είναι διαφορετικών τύπων — τελική χωματερή, κάτω ή κοιλιακή απόρριψη (μεγάλη χωρητικότητα) και ζωντανή βάση (flow-boy) (παραδίδει ΗΜΑ με μεταφορέα). Το πρώτο είναι κατάλληλο για πλακόστρωση σε δρόμους με κυκλοφοριακή συμφόρηση καθώς έχει καλύτερη ευελιξία λόγω του μεγέθους του και χωρίς ρυμουλκούμενο, το δεύτερο είναι κατάλληλο για πλακόστρωτο σε αγροτικούς δρόμους, ενώ το τρίτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μείγματα με δυνατότητα διαχωρισμού. Το κρεβάτι Στο φορητό τελικού ανατρεπόμενου φορητού γενικά εκτείνεται πέρα από τους πίσω τροχούς έτσι ώστε το μείγμα να μπορεί να απορριφθεί στη χοάνη του οδοστρωτήρα. ή αλλιώς μια ποδιά στερεώνεται στο κρεβάτι. Το κρεβάτι πρέπει να προσαρμόζεται στη χοάνη χωρίς να χρειάζεται να πιέζεται προς τα κάτω το οδόστρωμα και το φορητό δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με το

πλακόστρωτο κατά την παράδοση του μείγματος για να αποφευχθεί η πίεση της επίστρωσης πίσω στο χαλάκι και η πρόκληση χτυπήματος στο πεζοδρόμιο. Για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός του μείγματος, το κρεβάτι του φορτηγού πρέπει να ανυψώνεται αργά. Ένας αναδευτήρας μπλέντερ μπορεί να προσαρτηθεί στο τελικό ανατρεπόμενο φορτηγό για να τοποθετήσετε το μείγμα σε ένα ανεμιστήρα.

Μείγματα από το κάτω μέρος ή τα φορτηγά χωματερής εναποτίθενται απευθείας στο πεζοδρόμιο σε ένα παράθυρο, είτε μέσω ενός κουτιού διασκορπισμού κάτω από τις πύλες χωματερής είτε μέσω αλυσίδων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των ανοιγμάτων της πύλης χωματερής. Ένας ανελκυστήρας παραλαμβάνει το μείγμα και το μεταφέρει στον πλακόστρωτο. Το μήκος της απόθεσης θα πρέπει να ελέγχεται για να διασφαλίζεται ότι η θερμοκρασία του μείγματος δεν πέφτει κάτω από τις επιθυμητές θερμοκρασίες τοποθέτησης και συμπίεσης.

Ένας μεταφορικός μάντας ή ένας μεταφορικός πηγάκι χρησιμοποιείται για την εναπόθεση του μείγματος από έναν ζωντανό πυθμένα (flow-boy) μέσω του πυθμένα του κρεβατιού του φορτηγού, είτε απευθείας σε μια χοάνη είτε σε ένα παράθυρο. Πριν από τη μεταφορά, γενικά εκδίδονται εισιτήρια φόρτωσης στο εργοστάσιο, που περιέχουν τον αριθμό του έργου, τον τύπο του μείγματος, την προέλευση, το βάρος και τον χρόνο φόρτωσης και τη θερμοκρασία του.

Μερικές φορές χρησιμοποιείται ένα όχημα μεταφοράς υλικού για να παραλάβει το μείγμα από το φορτηγό ή να το παραλάβει από ένα παράθυρο, να το αποθηκεύσει, να το ανακατέψει ξανά με τρυπάνια και στη συνέχεια να το μεταφέρει στην οδόστρωμα. Αυτό βοηθά στη διατήρηση της ομοιομορφίας του μείγματος και στη μείωση των διαφορών θερμοκρασίας, στην αποφυγή πρόσκρουσης των φορτηγών έλξης σε επιστρώσεις και στη διατήρηση σταθερών εργασιών οδοστρώματος

6.3.2 Επιστρωτήρες

Το ΗΜΑ τοποθετείται και συμπιέζεται σε έναν ορισμένο βαθμό με τον επιστρωτή (Εικόνα 13). Η πλακόστρωτη είναι τοποθετημένη από καουτσούκ ή γάλυβα και αποτελείται από μια χοάνη για την παραλαβή του υλικού από το φορτηγό ή ένα όχημα μεταφοράς υλικών, μεταφορείς για την αποστολή του υλικού στο πίσω μέρος, κοχλίες (με διαθέσιμες προεκτάσεις) για τη διανομή του μείγματος εγκάρσια στο πλάτος του οδοστρώματος, και μια τσιμεντοκονία (συχνά θερμαινόμενη και ικανή να δονείται και με προεκτάσεις), η οποία εξασφαλίζει συγκεκριμένο βάθος του υλικού και προκαταρκτική συμπύκνωση. Η επίστρωση παρέχει συμπύκνωση 75%-85% της θεωρητικής μέγιστης πυκνότητας. Τα πλάτη οδοστρώματος με τον διαθέσιμο εξοπλισμό μπορεί να κυμαίνονται από 8 έως 48 πόδια. Οι εργασίες εγκατάστασης και έλξης θα πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να διασφαλίζεται η ομοιόμορφη και συνεχής λειτουργία της οδοστρωτήρας.



Εικόνα 13 Επιστρωτήρας

Οι ρυθμίσεις της διάστρωσης πρέπει να γίνονται σε μικρές αυξήσεις, μόνο όταν είναι απαραίτητο, για να αποφευχθούν προβλήματα στην οδόστρωση παρακείμενων λωρίδων.

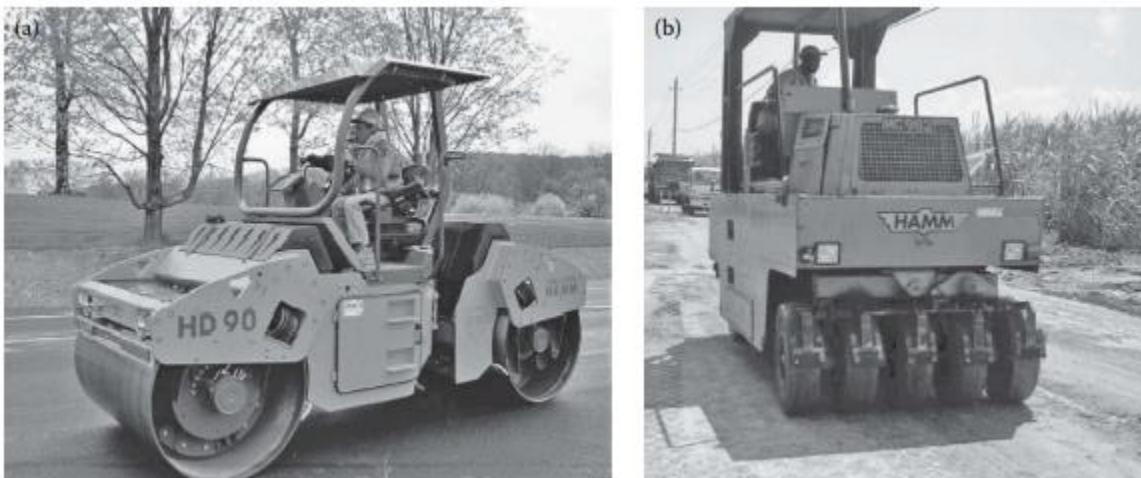
Ο έλεγχος βαθμού γίνεται συνήθως με ένα stringline/mobile ski, sonic/laser, καθώς και με σύστημα GPS. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία επιστρώσεων περιλαμβάνουν τη χρήση κινητήρα μεταβλητής ταχύτητας για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση του θορύβου όποτε είναι δυνατόν, ειδικά σχεδιασμένους σωλήνες για την απομάκρυνση της θερμότητας και των καυσαερίων από το πλήρωμα, καλύτερη ικανότητα περιστροφής, σχεδιασμό εξαρτημάτων επίστρωσης για μείωση της πιθανότητας διαχωρισμού του μείγματος, και επανασχεδιασμός του οδοστρώματος για τη βελτίωση της ορατότητας του χειριστή.

Η τοποθέτηση των μειγμάτων σε ορισμένες περιοχές μπορεί να είναι αδύνατη με επιστρώσεις και απαιτείται χειροτεχνία για την εξάπλωση του μείγματος. Η τοποθέτηση και το άπλωμα περιλαμβάνουν γενικά φτυάρια και λαούτα, αντίστοιχα. Τα υλικά πρέπει να χαλαρώνουν πριν απλωθούν και οι σκληροί σβώλοι θα πρέπει να απορρίπτονται και πριν από την κύλιση η περιοχή πρέπει να ελέγχεται με το πρότυπο και το ίσιωμα.

6.3.3 Κυλινδροφόρα (Οδοστρωτήρες)

Η συμπίεση των στρωμάτων επιτυγχάνεται με τη μείωση του όγκου του αέρα στο μείγμα και επίσης με τον επαναπροσανατολισμό των σωματιδίων του συσσωματώματος. Οι δύο μέθοδοι που είναι αποτελεσματικές για την πύκνωση είναι η συμπίεση και η δημιουργία διαμητικής τάσης μεταξύ συμπιεσμένων και παρακείμενων ασυμπιεστων υλικών. Οι κύλινδροι χρησιμοποιούνται για διάσπαση και ενδιάμεση κύλιση, συμπίεση και κύλιση φινιρίσματος για την αφαίρεση σημαδιών κυλίνδρων. Τα διαθέσιμα πλάτη τυμπάνου (πλάτη κύλισης) κυμαίνονται από 3 έως 7 πόδια, περίπου. Γενικά, ένας δονητικός ή στατικός κύλινδρος με χαλύβδινο τροχό, με το πρώτο τύμπανο ως οδηγό, χρησιμοποιείται για τη βλάβη. Η πίεση επαφής που εξασφαλίζει τη συμπίκνωση μπορεί να μεταβληθεί αλλάζοντας το φορτίο έρματος ή τη δυναμική δύναμη (στην περίπτωση δονητικού κυλίνδρου) ή την πίεση του ελαστικού (για έναν κύλινδρο με ελαστικό

ελαστικό). Οι κύλινδροι (Εικόνα 14) μπορούν να είναι επικαλυμμένοι με καουτσούκ (αυτοί οι κύλινδροι έχουν συνήθως βάρος 15–20 τόνων και η πίεση των ελαστικών τους είναι γενικά περίπου 90 psi, με 4500 λίβρες ανά ελαστικό), ένας δονούμενος κύλινδρος με χαλύβδινο τροχό (συνήθως βάρος 10 τόνων, με δονήσεις υψηλής συχνότητας και χαμηλού πλάτους) και στατικός κύλινδρος από χάλυβα (10–12 τόνοι). Ολοένα και περισσότερο, η κύλιση κλιμακίου με δύο κυλίνδρους ίδιας μάρκας και μοντέλου πίσω από την επιστρώσεων χρησιμοποιείται για να εκμεταλλευτεί το πλεονέκτημα της υψηλότερης θερμοκρασίας τάπητα και να αποφύγει την ανάγκη διαφορετικών τύπων κυλίνδρων και σημάδια κυλίνδρων στο χαλάκι. Οι πρόσφατες εξελίξεις στους κυλίνδρους περιλαμβάνουν την πρόβλεψη για ταλάντωση (για συμπίεση λεπτών στρωμάτων και ευαίσθητων περιοχών όπως καταστρώματα γεφυρών) ή δόνηση τόσο στα τύμπανα όσο και στους αισθητήρες για συνεχή παρακολούθηση της συμπύκνωσης του χαλιού. Ένας άλλος τύπος κυλίνδρου είναι αυτός που αποτελείται από τρεις τροχούς της ίδιας διαμέτρου και με ίση δύναμη συμπίεσης ανά γραμμική ίντσα—όλοι από τους οποίους κινούνται. Τέτοιοι κύλινδροι είναι κατάλληλοι για συμπίεση λεπτών ανελκυστήρων και πεζοδρομίων πόλεων κατασκευασμένων από εύθραυστες κατασκευές όπου οι κραδασμοί δεν είναι κατάλληλοι. Τέτοιοι κύλινδροι μειώνουν την ώθηση κατά τη συμπύκνωση και παρέχουν επίσης τη δυνατότητα αύξησης των δυνάμεων χρησιμοποιώντας έρμα νερού. Υψηλής δόνησης μικρής ακτίνας με μικρότερα τύμπανα είναι διαθέσιμα για συμπύκνωση γύρω από βοηθητικά προγράμματα καθώς και για συμπύκνωση δρόμων, ποδηλατοδρόμων και συντήρηση δρόμων περιοχές. Οι κύλινδροι Intelligent Compaction (IC) (η ιδέα που αναπτύχθηκε αρχικά για συμπίεση εδάφους και υποβάσεως) χρησιμοποιούνται επίσης για τη συμπίεση του HMA.



Εικόνα 14 (α) Οδοστρωτήρας με χαλύβδινο τύμπανο και (β) Οδοστρωτήρας με ελαστικό κύλινδρο.

Αυτοί οι κύλινδροι (δονούμενος χαλύβδινος τροχός) είναι εξοπλισμένοι με Global Positioning System (GPS), αισθητήρες θερμοκρασίας υπερύθρων, επιταχυνσιόμετρα (στο πλαίσιο κυλίνδρου κοντά στο τύμπανο), μονάδα επεξεργασίας, αποθήκευση δεδομένων και οθόνη. Καθώς ο κύλινδρος κινείται πάνω από το χαλάκι, ο χειριστής λαμβάνει μια ζωντανή ένδειξη της «Τιμής Έξυπνης Μέτρησης Συμπίεσης (ICMV)», που είναι ένα μέτρο της ακαμψίας του υλικού. Τα δεδομένα βοηθούν τον χειριστή να εντοπίσει αδύναμα σημεία, να διατηρήσει την ομοιομορφία συμπίεσης και να καθορίσει τον βέλτιστο αριθμό περασμάτων κυλίνδρων για μια συγκεκριμένη εργασία.

6.4 Σημαντικοί παράγοντες κατά την κατασκευή

Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τη διαδικασία κατασκευής του ασφαλικού οδοστρώματος και ως εκ τούτου η σωστή τους εξέταση είναι απολύτως απαραίτητη για την εξασφάλιση καλής κατασκευής. Οι παράγοντες, έχουν ως εξής:

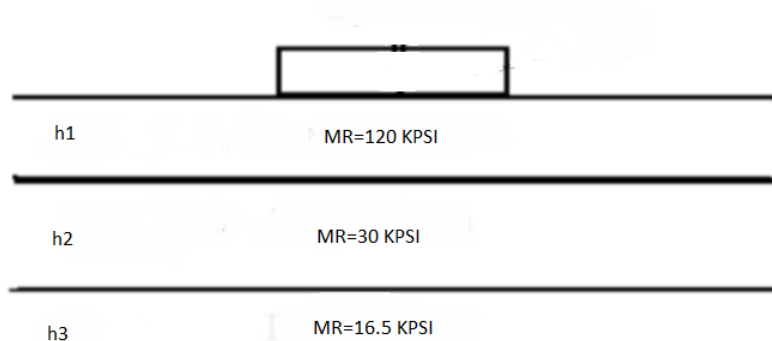
1. Πρέπει να πληρούνται οι προδιαγραφές για αδρανή και συνδετικά υλικά.
2. Έλεγχος της ποιότητας με κατάλληλα εκπαιδευμένο και εξοπλισμένο προσωπικό.
3. Διατήρηση της ροής των υλικών προς τον επιστρωτήρα με ταχύτητα ώστε να περιοριστεί ο χρόνος αναμονής του οδοστρωτήρα.
4. Εξασφάλιση της ομαλής μεταφοράς των υλικών από το φορτηγό στο επιστρωτήρα, ενώ ο επιστρωτήρας κινείται.
5. Όλοι οι μηχανισμοί, όπως ο μεταφορέας, η πύλη χοάνης και ο κοχλίας, στην πλακόστρωτη πρέπει να λειτουργούν σωστά ώστε να διατηρείται μια καλή και σταθερή ποσότητα ΗΜΑ στη σωστή θερμοκρασία μπροστά από το τσιμεντοκονίαμα.
6. Εξασφάλιση οδοστρώματος με ελάχιστο αριθμό εγκάρσιων αρμών.
7. Το σημείο αναφοράς για τη λειτουργία διάστρωσης δεν πρέπει να αναπροσαρμόζεται υπερβολικά—αποφυγή των συνεχών/συχνών αναπροσαρμογών των αυτόματων χειριστηρίων του επιστρωτήρα.
8. Χρησιμοποίηση των κατάλληλων οδηγίων για να επιλεγούν οι σωστές τεχνικές κύλισης—τους τύπους και τον αριθμό των κυλίνδρων, τον αριθμό των περασμάτων και το σχέδιο κύλισης.
9. Βεβαίωση ότι ο εξοπλισμός, όπως ο επιστρωτήρας και οι κύλινδροι, είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας.
10. Κατά την τοποθέτηση ή την κύλιση, εάν ένα πρόβλημα εντοπιστεί ως πρόβλημα που σχετίζεται με το σχεδιασμό του υλικού ή του μείγματος, τότε πρέπει να αναφερθεί στο εργαστήριο/εργοστάσιο το συντομότερο δυνατό για να διασφαλιστούν αναπροσαρμογές/διορθωτικές ενέργειες.

7. Μελέτη περίπτωσης εργασίας: Σχεδιασμός ελαστικών οδοστρωμάτων

Για τις ανάγκες της εργασίας, ως μελέτη περίπτωσης εξετάζεται ο σχεδιασμό τριών διαφορετικών ασφαλτικών οδοστρωμάτων. Οι υπολογισμοί των τριών οδοστρωμάτων θα γίνουν αρχικά με την χρήση της μεθόδου Odemark για τον υπολογισμό των ισοδύναμων παχών και των τάσεων και παραμορφώσεων που αναπτύσσονται αντίστοιχα, έχοντας σαν βασικές υποθέσεις το αρχικό πάχος των στρωμάτων, τις ιδιότητες των υλικών και το επιβαλλόμενο φορτίο. Έπειτα με θεώρηση η οποία έγινε, οι επιτρεπόμενες τιμές διέλευσης φορτίου με βάση τα κριτήρια αστοχίας σε ρηγμάτωση λόγω κόπωσης του ασφαλτικού υλικού και αστοχίες αστοχία σε στρώση έδρασης για αποφυγή αυλάκωσης στην επιφάνεια. Βάση αυτών και αντίστοιχων υποθέσεων σε σχέση με το επίπεδο αξιοπιστίας θα υπολογισθεί μέσω αντίστοιχων νομογραφημάτων το πάχος του κάθε στρώματος και το συνολικό πάχος του οδοστρώματος.

7.1 Μελέτη περίπτωσης 1

Θεωρείται εύκαμπτο οδόστρωμα τριών στρώσεων με πάχη και μέτρα ελαστικότητας στρώσεων, όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Λαμβάνεται συντελεστής αποστράγγισης στρώσεων $m_2=m_3=1$. Τα αρχικά δεδομένα των στρωμάτων του οδοστρώματος παρουσιάζονται στο σχήμα 11.



Σχήμα 11 Αρχικά στοιχεία οδοστρώματος μελέτης περίπτωσης 1

Από δοκιμές οι οποίες έγιναν, θεωρήσαμε πως :

$$W_{18} = N_f = 0.674 * 10^6$$

Υπολογισμός δομικού αριθμού στρωμάτων

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, η αξιοπιστία καθορίζεται με βάση το είδος της οδού και την θέση της σε $R=95\%$. Η τυπική απόκλιση έχει τιμές μεταξύ 0.4-0.5. Θεωρείται ότι $S_o=0.45$

Πίνακας 2 Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας ανάλογα με τον τύπο της οδού

Κατηγορία οδού	Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας R	
	Αστικές περιοχές	Υπεραστικές περιοχές
αυτοκινητόδρομοι	85-99.9%	80-99.9%
κύριες αρτηρίες	80-99%	75-95%
δευτερεύουσες αρτηρίες	80-95%	75-95%
μικρές τοπικές οδοί	50-80%	50-80%

Η απώλεια Εξυπηρετικότητας δίνεται ως:

$$\Delta PSI = p_0 - p_t = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

όπου $p_0=4.2$ (συνθήκες μετά την κατασκευή) $p_t=2.5$ χαμηλότερη λειτουργικότητα που είναι ανεκτή πριν την ανάγκη αποκατάστασης ή ανακατασκευής

Για τον υπολογισμό του δομικού αριθμού του εκάστοτε στρώματος απαιτείται ο υπολογισμός του M_R που αντίστοιχα απαιτεί τον καθορισμό του C.B.R. για το εκάστοτε στρώμα.

Αρχικά θεωρείται ότι το οδόστρωμα είναι τύπου NP1: Αποτελείται από ασφαλτική επιφανειακή στρώση με βάση και υπόβαση από ασύνδετα αδρανή υλικά. Ονομάζεται και ελαφρύ οδόστρωμα και χρησιμοποιείται κυρίως όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος δεν ξεπερνά τα 5 εκατομμύρια ΙΤΑ

Ο C.B.R. λαμβάνεται από τον πίνακα 3

Πίνακας 3 Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης με ασύνδετα αδρανή

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

Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι ισχύει:

Έδαφος: C.B.R.=11

Υποβάση: C.B.R.=20

Βάση: C.B.R.=80

Κατά συνέπεια ισχύει ότι

$M_R=1500 \cdot C.B.R./10$

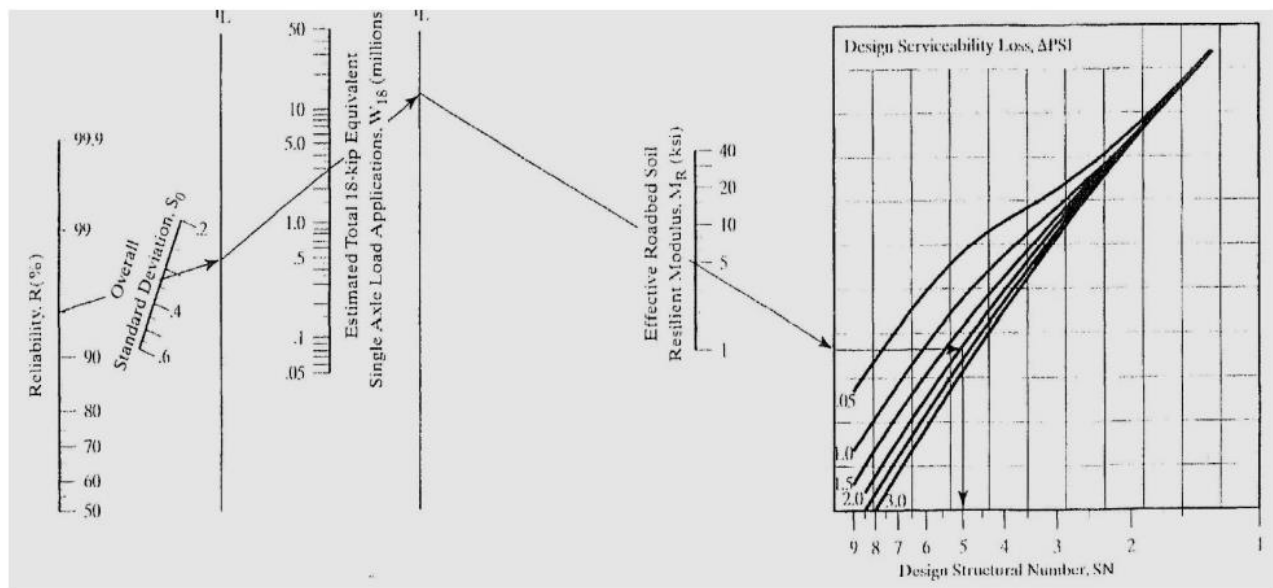
Άρα:

Έδαφος: $M_R=1500 \cdot 11=16500 \text{ psi}=16.5 \text{ kpsi}$

Υποβάση: $M_R=1500 \cdot 20=30000 \text{ psi}=30 \text{ kpsi}$

Βάση: $M_R=1500 \cdot 80=120000 \text{ psi}=120 \text{ kpsi}$

Κατά συνέπεια η τιμή του δομικού αριθμού για το κάθε στρώμα μπορεί να υπολογισθεί από το νομογράφημα στο σχήμα 12.



Σχήμα 12 Νομογράφημα προσδιορισμού δομικού αριθμού (SN) στρώσης και εύκαμπτου οδοστρώματος

Από την χρήση του νομογραφήματος προκύπτει ότι

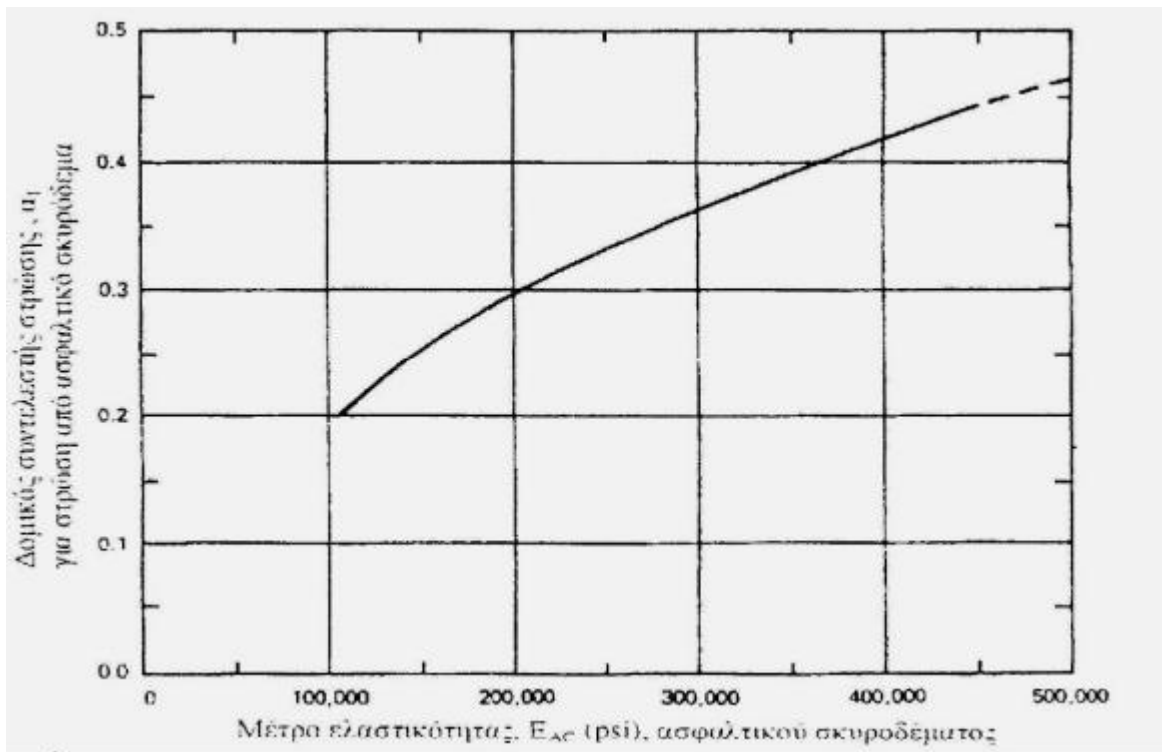
SN1=2.54

SN2=4.14

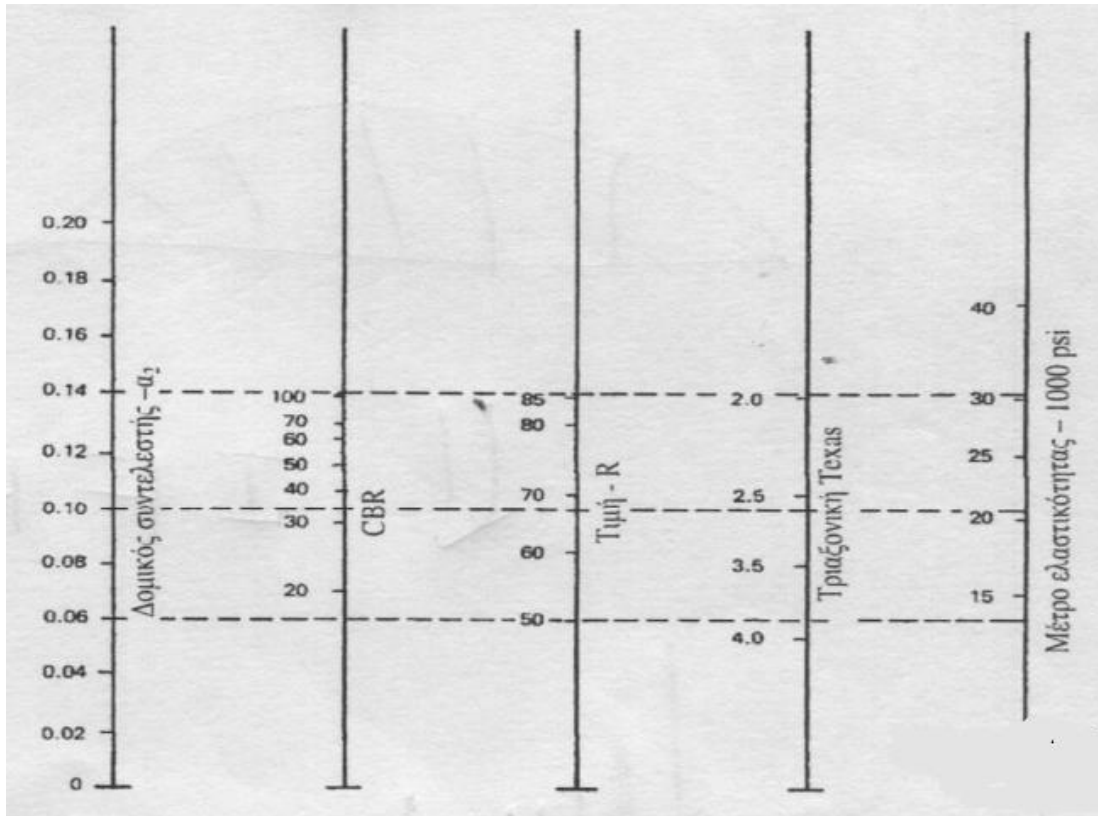
SN3=8.34

Υπολογισμός πάχους στρώσεων

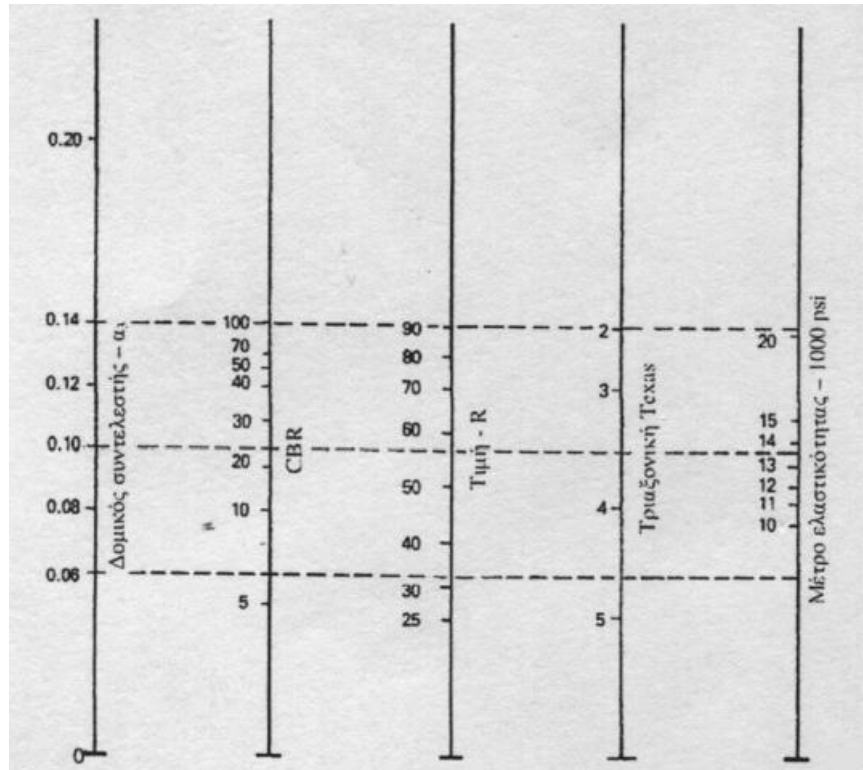
Για τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων απαιτείται ο καθορισμός των συντελεστών α . Αυτό γίνεται από τα νομογραφήματα στα σχήματα 13-15.



Σχήμα 13 Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυροδέμα α_1



Σχήμα 14 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2)



Σχήμα 15 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (α_3)

Το μέτρο ελαστικότητας της ασφαλτικής στρώσης είναι $M_r=120\text{kpsi}$. Σύμφωνα με το διάγραμμα που ακολουθεί $\alpha_1=0,4$

Σύμφωνα με τους σχετικούς πίνακες κατηγοριών γαιωδών εδαφικών υλικών για οδικά έργα, προκύπτει ότι $\text{CBR}>80$. Από το νομογράφημα που ακολουθεί προκύπτει ότι $\alpha_2=0,135$

Σύμφωνα με τους σχετικούς πίνακες κατηγοριών γαιωδών εδαφικών υλικών για οδικά έργα, προκύπτει ότι $\text{CBR}>30$. Από το νομογράφημα που ακολουθεί προκύπτει ότι $\alpha_2=0,11$

Υπολογισμός πάχους στρωμάτων

Εν γένει είναι

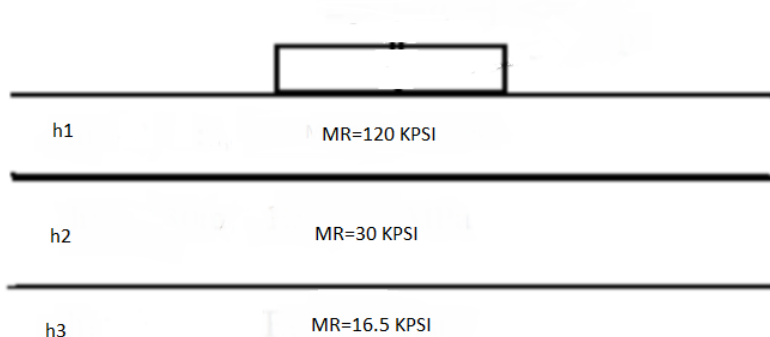
$$h_1 = SN_1^* / \alpha_1 = 6,35 \text{ inches} = 7 \text{ in} = 0,18\text{m}$$

$$h_2 = (SN_2 - \alpha_1 * h_1) / \alpha_2 = 11.88 \text{ inches} = 12 \text{ in} = 0.31\text{m}$$

$$h_3 = (SN_3 - (\alpha_1 * h_1 + \alpha_2 * h_2)) / \alpha_3 = 15,13 \text{ inches} = 16 \text{ in} = 0.41\text{m}$$

7.2 Μελέτη περίπτωσης 2

Θεωρείται εύκαμπτο οδόστρωμα τριών στρώσεων με πάχη και μέτρα ελαστικότητας στρώσεων, όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Λαμβάνεται συντελεστής αποστράγγισης στρώσεων $m_2=m_3=1$. Τα αρχικά δεδομένα των στρωμάτων του οδοστρώματος παρουσιάζονται στο σχήμα 11.



Σχήμα 16 Αρχικά στοιχεία οδοστρώματος μελέτης περίπτωσης 2

Από δοκιμές οι οποίες έγιναν , θεωρήσαμε πως :

$$W_{18} = N_f = 1.45 * 10^6$$

Υπολογισμός δομικού αριθμού στρωμάτων

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, η αξιοπιστία καθορίζεται με βάση το είδος της οδού και την θέση της σε $R=95\%$. Η τυπική απόκλιση έχει τιμές μεταξύ 0.4-0.5. Θεωρείται ότι $S_o=0.45$

Πίνακας 4 Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας ανάλογα με τον τύπο της οδού

Κατηγορία οδού	Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας R	
	Αστικές περιοχές	Υπεραστικές περιοχές
αυτοκινητόδρομοι	85-99.9%	80-99.9%
κύριες αρτηρίες	80-99%	75-95%
δευτερεύουσες αρτηρίες	80-95%	75-95%
μικρές τοπικές οδοί	50-80%	50-80%

Η απώλεια Εξυπηρευτικότητας δίνεται ως:

$$\Delta PSI = p_0 - p_i = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

όπου $p_0 = 4.2$ (συνθήκες μετά την κατασκευή) $p_i = 2.5$ χαμηλότερη λειτουργικότητα που είναι ανεκτή πριν την ανάγκη αποκατάστασης ή ανακατασκευής

Για τον υπολογισμό του δομικού αριθμού του εκάστοτε στρώματος απαιτείται ο υπολογισμός του M_R που αντίστοιχα απαιτεί τον καθορισμό του C.B.R. για το εκάστοτε στρώμα.

Αρχικά θεωρείται ότι το οδόστρωμα είναι τύπου NP1: Αποτελείται από ασφαλτική επιφανειακή στρώση με βάση και υπόβαση από ασύνδετα αδρανή υλικά. Ονομάζεται και ελαφρύ οδόστρωμα και χρησιμοποιείται κυρίως όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος δεν ξεπερνά τα 5 εκατομμύρια ΙΤΑ

Ο C.B.R. λαμβάνεται από τον πίνακα 5

Πίνακας 5 Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης με ασύνδετα αδρανή

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

Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι ισχύει:

Έδαφος: C.B.R.=11

Υποβάση: C.B.R.=20

Βάση: C.B.R.=80

Κατά συνέπεια ισχύει ότι

$$M_R = 1500 * C.B.R. / 10$$

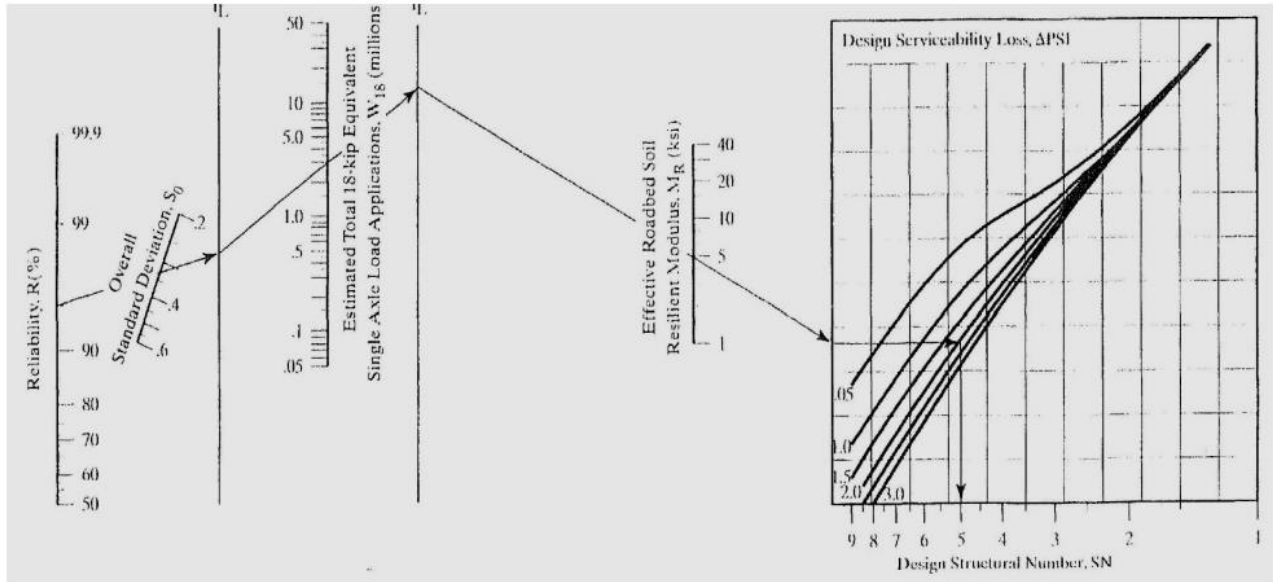
Άρα

$$\text{Έδαφος: } M_R = 1500 * 11 = 16500 \text{ psi} = 16.5 \text{ kpsi}$$

$$\text{Υποβάση: } M_R = 1500 * 20 = 30000 \text{ psi} = 30 \text{ kpsi}$$

$$\text{Βάση: } M_R = 1500 * 80 = 120000 \text{ psi} = 120 \text{ kpsi}$$

Κατά συνέπεια η τιμή του δομικού αριθμού για το κάθε στρώμα μπορεί να υπολογισθεί από το νομογράφημα στο σχήμα 17.



Σχήμα 17 Νομογράφημα προσδιορισμού δομικού αριθμού (SN) στρώσης και εδάκμπτου οδοστρώματος

Από την χρήση του νομογραφήματος προκύπτει ότι

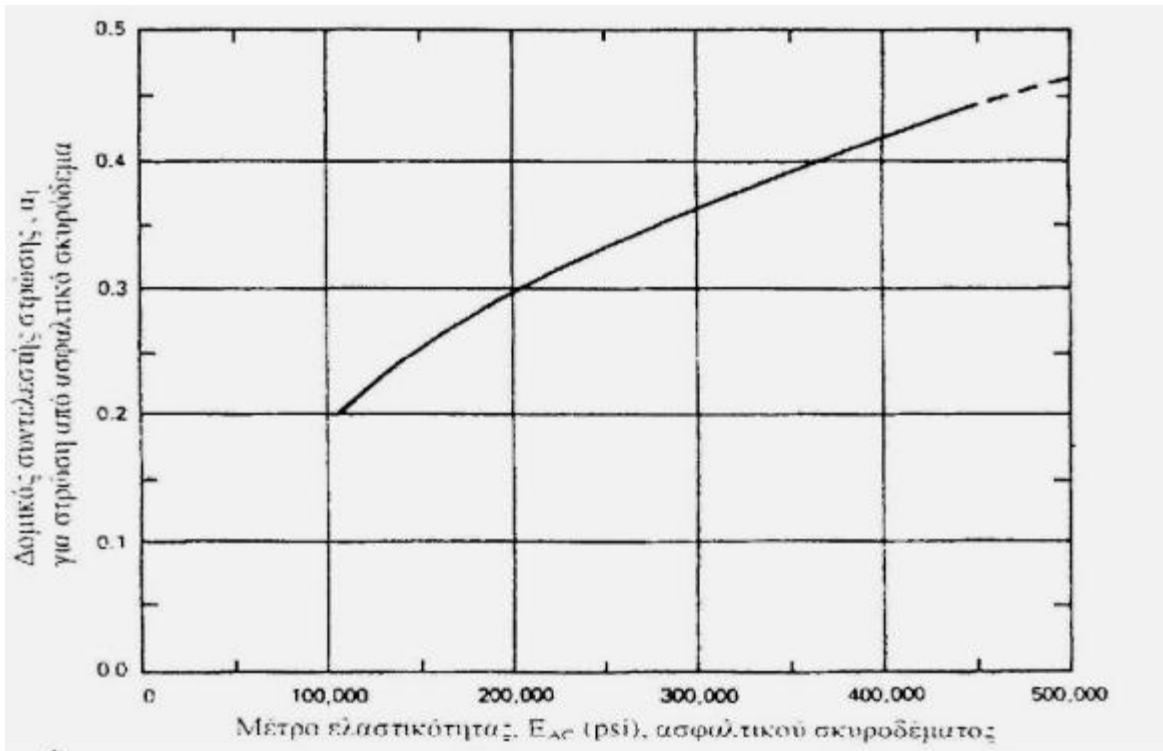
$$SN1=2.72$$

$$SN2=4.82$$

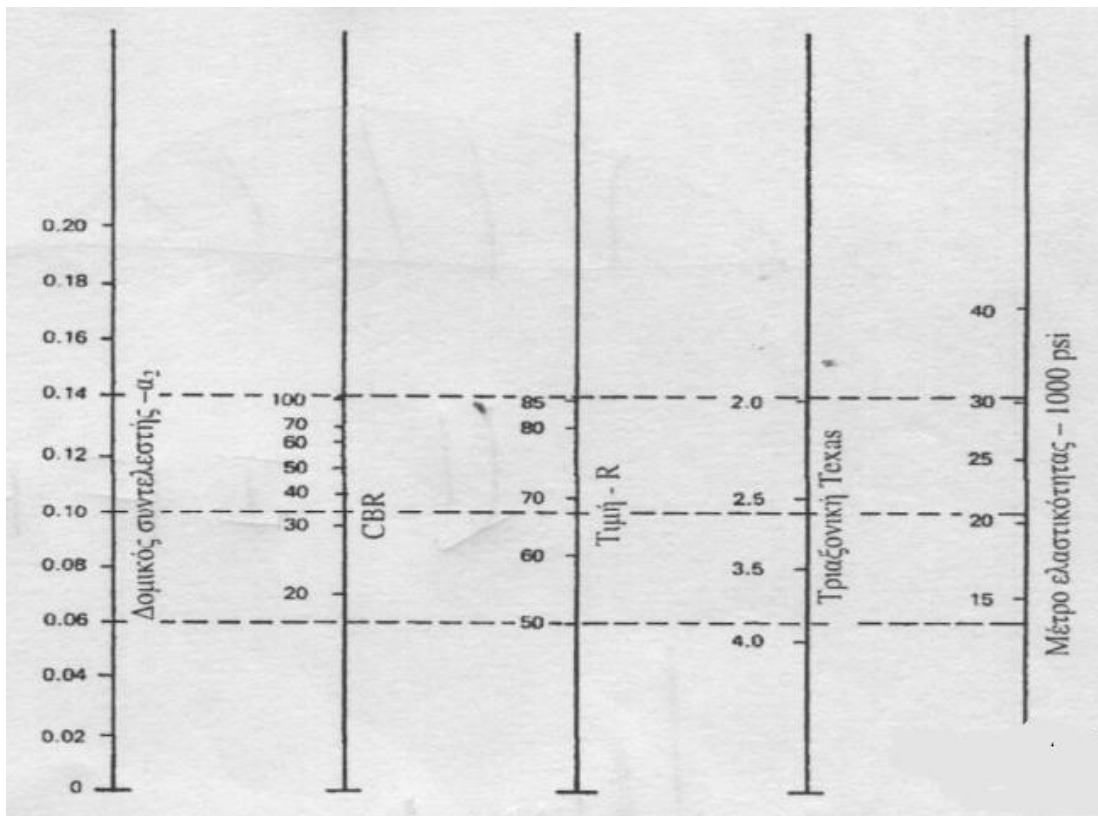
$$SN3=9.44$$

Υπολογισμός πάχους στρώσεων

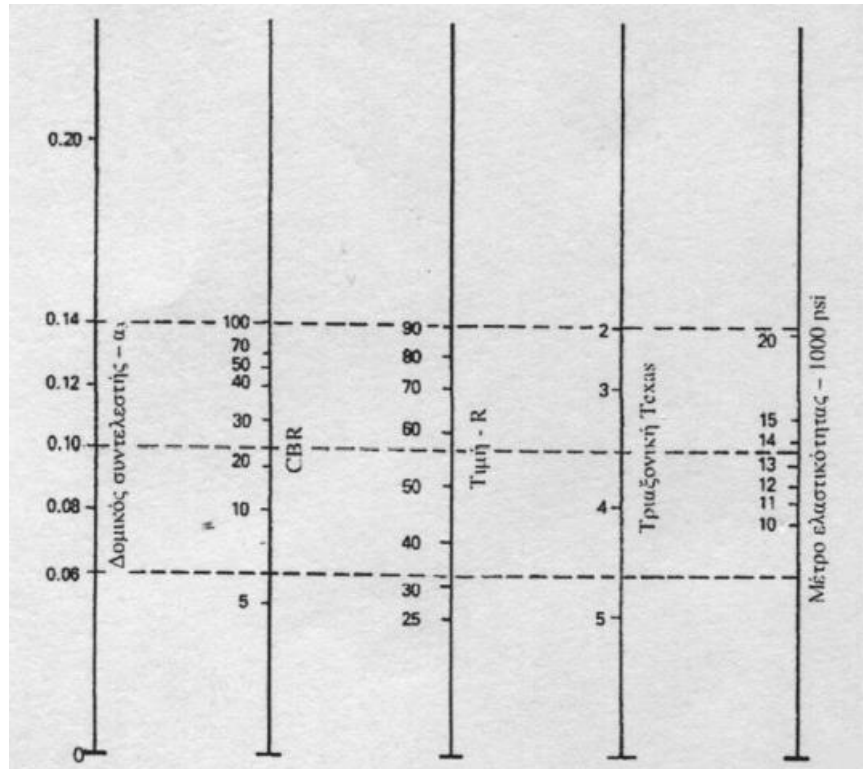
Για τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων απαιτείται ο καθορισμός των συντελεστών a . Αυτό γίνεται από τα νομογραφήματα στα σχήματα 18-20.



Σχήμα 18 Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα a_1



Σχήμα 19 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2)



Σχήμα 20 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (α_3)

Το μέτρο ελαστικότητας της ασφαλτικής στρώσης είναι $M_r:120\text{kpsi}$. Σύμφωνα με το διάγραμμα που ακολουθεί $\alpha_1=0,37$

Σύμφωνα με τους σχετικούς πίνακες κατηγοριών γαιωδών εδαφικών υλικών για οδικά έργα, προκύπτει ότι $\text{CBR}>80$. Από το νομογράφημα που ακολουθεί προκύπτει ότι $\alpha_2=0,135$

Σύμφωνα με τους σχετικούς πίνακες κατηγοριών γαιωδών εδαφικών υλικών για οδικά έργα, προκύπτει ότι $\text{CBR}>30$. Από το νομογράφημα που ακολουθεί προκύπτει ότι $\alpha_2=0,11$

Υπολογισμός πάχους στρωμάτων

Εν γένει είναι

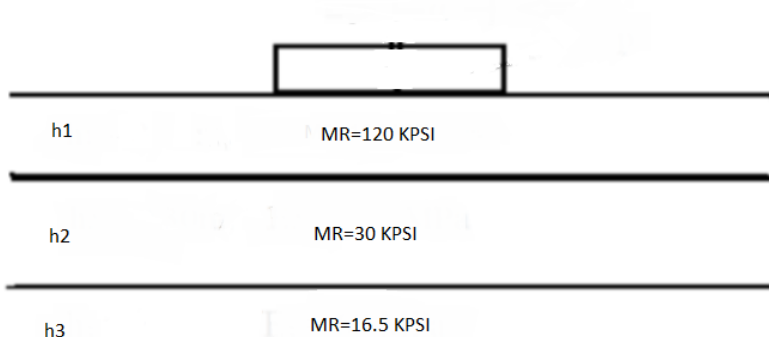
$$h_1 = SN_1^*/\alpha_1 = 7,35 \text{ inches} = 8 \text{ in}=0,21\text{m}$$

$$h_2 = (SN_2 - \alpha_1^*h_1) / \alpha_2 = 15.49 \text{ inches} = 16 \text{ in}=0.41\text{m}$$

$$h_3 = (SN_3 - (\alpha_1^*h_1 + \alpha_2^*h_2)) / \alpha_3 = 17,23 \text{ inches} = 18 \text{ in}=0.46\text{m}$$

7.3 Μελέτη περίπτωσης 3

Θεωρείται εύκαμπτο οδόστρωμα τριών στρώσεων με πάχη και μέτρα ελαστικότητας στρώσεων, όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Λαμβάνεται συντελεστής αποστράγγισης στρώσεων $m_2=m_3=1$. Τα αρχικά δεδομένα των στρωμάτων του οδοστρώματος παρουσιάζονται στο σχήμα 21.



Σχήμα 21 Αρχικά στοιχεία οδοστρώματος μελέτης περίπτωσης 3

Από δοκιμές οι οποίες έγιναν, θεωρήσαμε πως :

$$W_{18} = N_f = 8.41 * 10^6$$

Υπολογισμός δομικού αριθμού στρωμάτων

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, η αξιοπιστία καθορίζεται με βάση το είδος της οδού και την θέση της σε $R=95\%$. Η τυπική απόκλιση έχει τιμές μεταξύ 0.4-0.5. Θεωρείται ότι $S_o=0.45$

Πίνακας 6 Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας ανάλογα με τον τύπο της οδού

Κατηγορία οδού	Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας R	
	Αστικές περιοχές	Υπεραστικές περιοχές
αυτοκινητόδρομοι	85-99.9%	80-99.9%
κύριες αρτηρίες	80-99%	75-95%
δευτερεύουσες αρτηρίες	80-95%	75-95%
μικρές τοπικές οδοί	50-80%	50-80%

Η απώλεια Εξυπηρετικότητας δίνεται ως:

$$\Delta PSI = p_0 - p_t = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

όπου $p_0=4.2$ (συνθήκες μετά την κατασκευή) $p_i=2.5$ χαμηλότερη λειτουργικότητα που είναι ανεκτή πριν την ανάγκη αποκατάστασης ή ανακατασκευής

Για τον υπολογισμό του δομικού αριθμού του εκάστοτε στρώματος απαιτείται ο υπολογισμός του M_R που αντίστοιχα απαιτεί τον καθορισμό του C.B.R. για το εκάστοτε στρώμα.

Αρχικά θεωρείται ότι το οδόστρωμα είναι τύπου NP1: Αποτελείται από ασφαλτική επιφανειακή στρώση με βάση και υπόβαση από ασύνδετα αδρανή υλικά. Ονομάζεται και ελαφρύ οδόστρωμα και χρησιμοποιείται κυρίως όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος δεν ξεπερνά τα 5 εκατομμύρια ΙΤΑ

Ο C.B.R. λαμβάνεται από τον πίνακα 7

Πίνακας 7 Απαιτήσεις για υλικά βάσης και υπόβασης με ασύνδετα αδρανή

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

Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι ισχύει:

Έδαφος: C.B.R.=11

Υποβάση: C.B.R.=20

Βάση: C.B.R.=80

Κατά συνέπεια ισχύει ότι

$M_R=1500 * C.B.R./10$

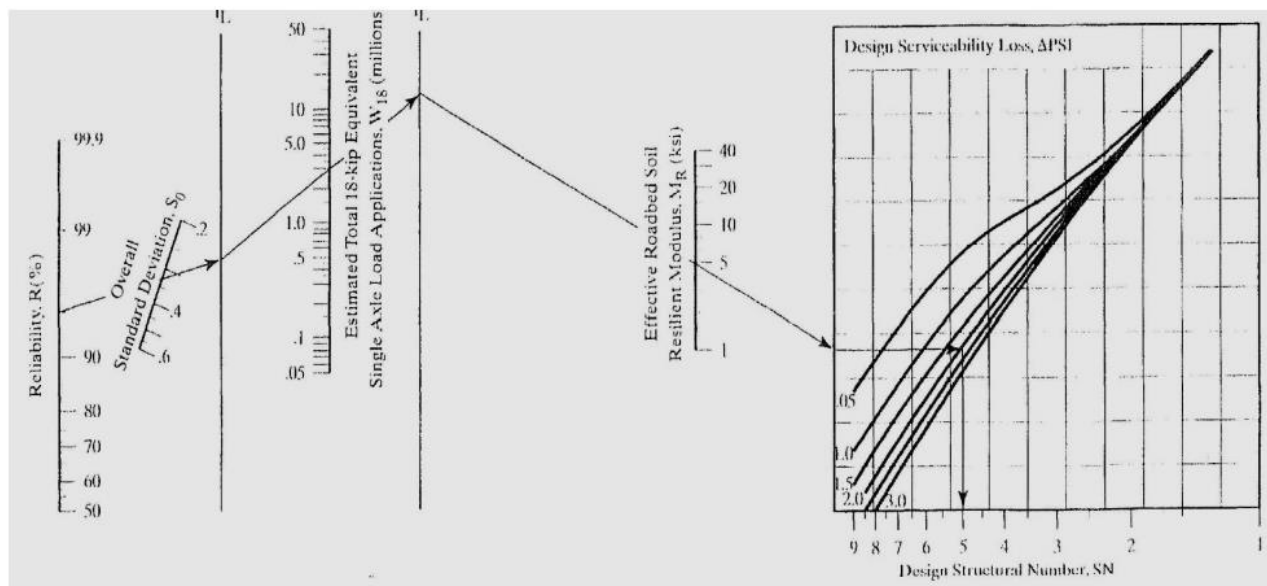
Άρα

Έδαφος: $M_R=1500 * 11=16500 \text{ psi}=16.5 \text{ kpsi}$

Υποβάση: $M_R=1500 * 20=30000 \text{ psi}=30 \text{ kpsi}$

Βάση: $M_R=1500 * 80=120000 \text{ psi}=120 \text{ kpsi}$

Κατά συνέπεια η τιμή του δομικού αριθμού για το κάθε στρώμα μπορεί να υπολογισθεί από το νομογράφημα στο σχήμα 22.



Σχήμα 22 Νομογράφημα προσδιορισμού δομικού αριθμού (SN) στρώσης και εύκαμπτου οδοστρώματος

Από την χρήση του νομογραφήματος προκύπτει ότι

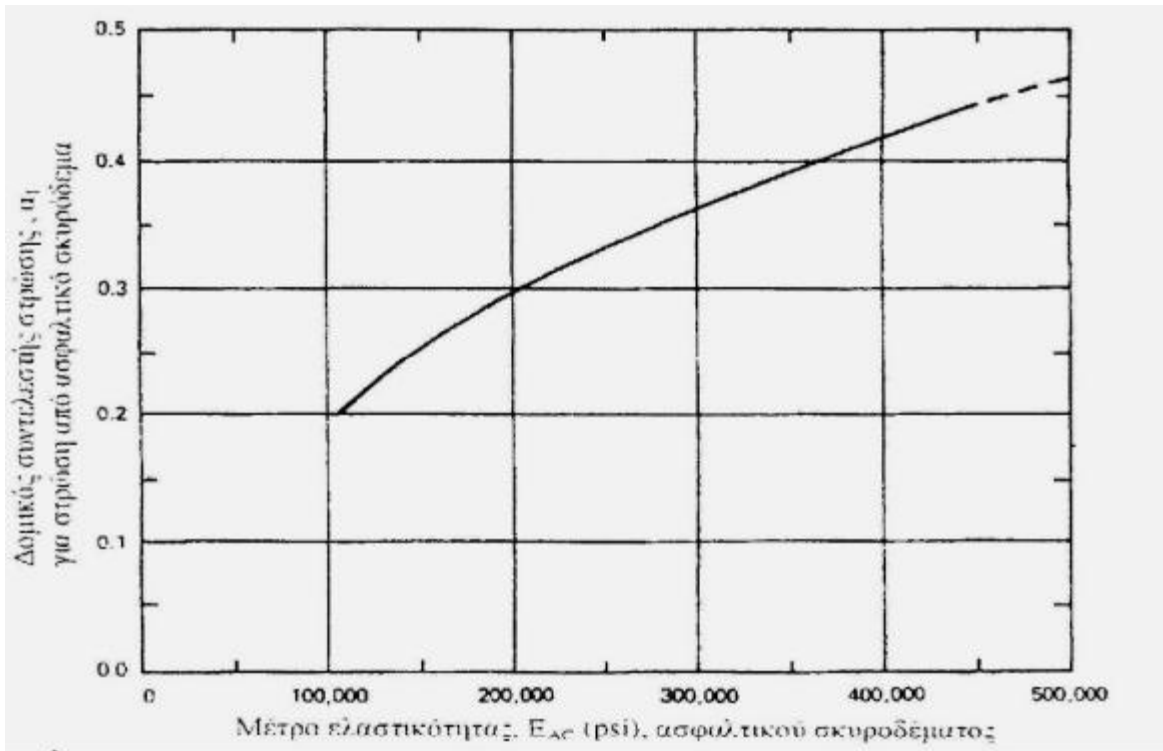
$$SN_1=3.87$$

$$SN_2=6.19$$

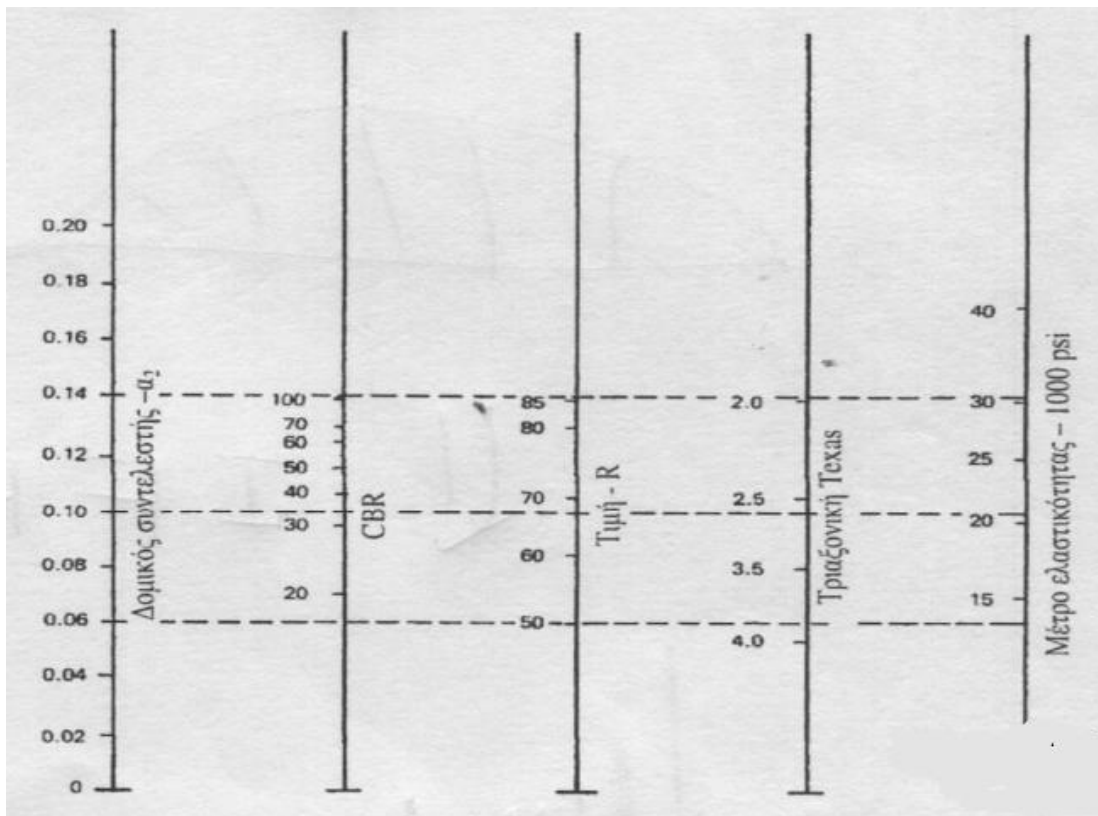
$$SN_3=9.62$$

Υπολογισμός πάχους στρώσεων

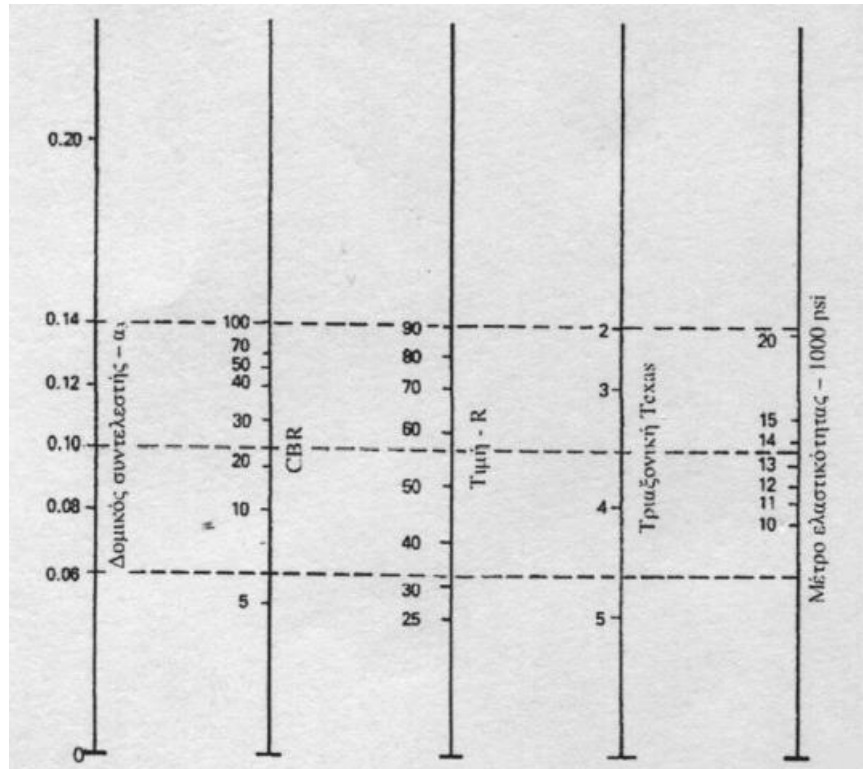
Για τον υπολογισμό του πάχους των στρώσεων απαιτείται ο καθορισμός των συντελεστών a . Αυτό γίνεται από τα νομογραφήματα στα σχήματα 23-25.



Σχήμα 23 Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστών στρώσεων από ασφαλτικό σκυρόδεμα a_1



Σχήμα 24 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών βάσης από ασύνδετα αδρανή (a_2)



Σχήμα 25 Νομογράφημα υπολογισμού συντελεστών υπόβασης από ασύνδετα αδρανή (α_3)

Το μέτρο ελαστικότητας της ασφαλτικής στρώσης είναι $MR=120$ kpsi . Σύμφωνα με το διάγραμμα που ακολουθεί $\alpha_1=0,41$.

Σύμφωνα με τους σχετικούς πίνακες κατηγοριών γαιωδών εδαφικών υλικών για οδικά έργα, προκύπτει ότι $CBR>80$. Από το νομογράφημα που ακολουθεί προκύπτει ότι $\alpha_2=0,135$

Σύμφωνα με τους σχετικούς πίνακες κατηγοριών γαιωδών εδαφικών υλικών για οδικά έργα, προκύπτει ότι $CBR>30$. Από το νομογράφημα που ακολουθεί προκύπτει ότι $\alpha_2=0,11$

Υπολογισμός πάχους στρωμάτων

Εν γένει είναι

$$h_1 = SN_1^*/\alpha_1 = 9,43 \text{ inches} = 10 \text{ in} = 0,26\text{m}$$

$$h_2 = (SN_2 - \alpha_1 * h_1) / \alpha_2 = 17.21 \text{ inches} = 18 \text{ in} = 0.46\text{m}$$

$$h_3 = (SN_3 - (\alpha_1 * h_1 + \alpha_2 * h_2)) / \alpha_3 = 17,11 \text{ inches} = 18 \text{ in} = 0.46\text{m}$$

8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε αρχικά μέσω κατάλληλης και εκτενούς βιβλιογραφικής ανασκόπησης το ζήτημα του σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό, το θεωρητικό υπόβαθρο που αξιοποιείται στις υπάρχουσες μεθόδους και οι προτεινόμενες από την σχετική βιβλιογραφία και κανονισμούς μέθοδοι. Παράλληλα, παρουσιάστηκαν επιγραμματικά τα βασικά στοιχεία και διαδικασίες παραγωγής των εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

Στο πρακτικό/ερευνητικό μέρος της εργασίας, εφαρμόστηκε η σχετική θεωρία για τον σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων σε τρία παραδείγματα – μελέτες περίπτωσης. Για τον καθορισμό εν τέλει του μέγιστου αριθμού διελεύσεων ανά περίπτωση.

Βάση αυτών και με την χρήση της ανάλογης διαδικασίας και νομογραφημάτων, υπολογίστηκαν εκ νέου τα απαιτούμενα πάχη για την παρασκευή του οδοστρώματος. Συμπερασματικά, στην περίπτωση και των τριών μελετών περίπτωσης, παρατηρείτε πως τα πάχη των στρώσεων βγαίνουν λογικά σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Βιβλιογραφία

Νικολαΐδης Α. Φ., (1996). Οδοποιία οδοστρώματα –υλικά , έλεγχος Ποιότητας

AASHTO (1993), AASHTO guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C

ΟΣΜΕΟ ΕΟΑΕ (1998), Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Έργων Οδοποιίας , Εγνατίας Οδού Α.Ε

Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (Vol. 2, pp. 401-409). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

TAI, T. (1991). Thickness design: asphalt pavements for highways and streets.

Highways Agency. (1994). *Design manual for roads and bridges*. HM Stationery Office.

Thom, N. (2008). *Principles of pavement engineering* (p. 470). London: Thomas Telford.

Mallick, R. B., & El-Korchi, T. (2008). *Pavement engineering: principles and practice*. CRC Press.

Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). *Pavement design and materials*. John Wiley & Sons.