

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΕΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΚΑΙ ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.**



Φοιτήτρια : Μωϋσιάδου Γεωργία

Επιβλέπων : Δρ. Μπέσκου Νίκη

ΠΑΤΡΑ 2023

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερωσ την κυρία Μπέσκου Νίκη, επιβλέπουσα καθηγήτρια της παρούσας εργασίας για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της εργασίας, αλλά και την καθοδήγηση και συνολική επίβλεψη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αφορά την μελέτη των δύο χαρακτηριστικών τύπων οδοστρωμάτων, εύκαμπτων και δύσκαμπτων. Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι να καταλήξουμε στη καταλληλότερη μέθοδο οδοστρώματος ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε ανάγκης. Για τον σκοπό αυτό αρχικά πραγματοποιείται μια μελέτη ως προς τις βασικές αρχές του οδοστρώματος, στη συνέχεια για 2 κεφάλαια αναλύεται η δομή, ο σχεδιασμός, οι χρήσεις, οι κατηγορίες αλλά και οι φθορές με την συντήρηση των εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Στα τελευταία κεφάλαια εντοπίζονται ορισμένες διαφορές ανάμεσα στις δύο κατηγορίες οδοστρωμάτων για την επίτευξη του τελικού μας στόχου που είναι να συμπεράνουμε το καταλληλότερο οδόστρωμα. Η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εν λόγω διερευνητική προσέγγιση.

ABSTRACT

The present project concerns the study of two characteristic types of pavements, flexible and rigid. The objective of this thesis is to arrive at the most suitable pavement method according to the requirements of the particular need. For this purpose, first a study is carried out as to the basic principles of pavement, then for 2 chapters the structure, design, uses, categories and also the wear and tear with the maintenance of flexible and rigid pavements are analyzed. In the last chapters some differences between the two categories of pavements are identified to achieve our final objective which is to conclude the most suitable pavement. The thesis concludes with a commentary on the results obtained from this exploratory approach.

Πίνακας περιεχομένων	
Ευχαριστίες	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
Κατάλογος Εικόνων	7
Κατάλογος Πινάκων	9
Κατάλογος Διαγραμμάτων	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ.....	12
1.1. Ιστορική Αναδρομή.....	12
1.1.1.Οδοστρώματα Telford.....	14
1.1.2.Οδόστρωμα Macadam.....	15
1.2.Λόγοι κατασκευής οδοστρωμάτων.....	16
1.3.Σχεδιασμός οδοστρώματος.....	16
1.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων.....	18
1.4.1. Τρόποι κατασκευής οδοστρωμάτων.....	18
1.5.Δομή οδοστρώματος.....	19
1.6.Φθορές και συντήρηση οδοστρωμάτων.....	24
1.7. Κατηγορίες οδοστρωμάτων.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ.....	28
2.1. Ορισμός.....	28
2.2. Δομή.....	28
2.1.1. Μορφές ασφάλτου.....	31
2.2. Ιστορική αναδρομή.....	31
2.3. Σχεδιασμός.....	33
2.3.1.Μέθοδος σχεδιασμού AASHTO.....	34
2.4. Χρήσεις.....	37
2.5. Κατηγορίες.....	38
2.6. Φθορές και συντήρηση.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ.....	50
3.1. Ορισμός.....	50
3.2. Δομή.....	50
3.3. Ιστορική αναδρομή.....	52
3.4.Σχεδιασμός.....	53
3.4.1. Μέθοδος σχεδιασμού AASHTO93.....	54
3.5. Χρήσεις.....	59
3.6. Κατηγορίες.....	61

3.7.Φθορές και Συντήρηση.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ-ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	68
4.1.Δομή.	68
4.3.Χρήσεις και ασφάλεια.	69
4.4. Περιβαλλοντική προστασία.....	71
4.5.Κόστος.	73
4.6. Οφέλη.	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	77
5.1. Συμπεράσματα.....	77
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ	79
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 , Αππία Οδός στη Ρώμη.....	2
Εικόνα 2, Στρώσεις οδού στην αρχαία Ελλάδα.....	3
Εικόνα 3,Οδόστρωμα Telford.....	4
Εικόνα 4, Οδόστρωμα Macadam.....	5
Εικόνα 5,Τυπική δομή οδοστρώματος.....	16
Εικόνα 6,Στρώσεις τυπικού οδοστρώματος.....	20
Εικόνα 7,Δομή εύκαμπτου-ημιδύσκαμπτου-δύσκαμπτου οδοστρώματος..	24
Εικόνα 8,Τυπική δομή εύκαμπτου οδοστρώματος.....	25
Εικόνα 9,Λεπτομερής δομή στρώσεων εύκαμπτου οδοστρώματος.....	27
Εικόνα 10,Διαμήκης ρωγμές.....	37
Εικόνα 11,Εγκάρσιες ρωγμές.....	37
Εικόνα 12, Ρωγμές ολίσθησης.....	38
Εικόνα 13,Ρωγμές τύπου αλιγάτορα.....	38
Εικόνα 14,Ακραίες ρωγμές.....	39
Εικόνα 15,Ρωγμές ανάκλασης.....	40
Εικόνα 16,Ρωγμές πολυγώνου.....	40
Εικόνα 17,Αυλακώσεις.....	41
Εικόνα 18,Κυματώσεις.....	42
Εικόνα 19,Τοπικές καθιζήσεις.....	42
Εικόνα 20,Τοπικές διογκώσεις.....	43
Εικόνα 21,Αποκόλληση αδρανών.....	44
Εικόνα 22,Λακκούβες.....	44

Εικόνα 23,Εξίδρωση.....	45
Εικόνα 24,Αντληση.....	45
Εικόνα 25,Τοπική επικάλυψη φθοράς.....	46
Εικόνα 26,Τυπική δομή δύσκαμπτου οδοστρώματος.....	47
Εικόνα 27 : Διατομή οδοστρώματος από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς χωρίς βλήτρα (Jointed Plain Concrete Pavement).....	59
Εικόνα 28 :Διατομή οδοστρώματος από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς ενισχυμένους με βλήτρα (JPCP: “Jointed Plain Concrete Pavement”).....	59
Εικόνα 29 : Διατομή οπλισμένου σκυροδέματος με αρμούς.....	60
Εικόνα 30 : Διατομή οδοστρώματος από σκυρόδεμα χωρίς αρμούς με συνεχή οπλισμό.....	60
Εικόνα 31 : Διατομή οδοστρώματος από προεντεταμένο σκυρόδεμα.....	60
Εικόνα 32: Γωνιακές ρωγμές.....	62
Εικόνα 33 : Καθίζηση οδοστρώματος.....	64
Εικόνα 34 :Θρυμματισμός πλακών.....	66
Εικόνα 35: Εύκαμπτο – Δύσκαμπτο οδόστρωμα (στρώσεις).....	67
Εικόνα 36: Διαφορά μεταβίβασης των φορτίων ανάμεσα σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα.....	68
Εικόνα 37: Σύγκριση ορατότητας μεταξύ οδοστρωμάτων από άσφαλτο (asphalt pavement) και από σκυρόδεμα (concrete pavement).....	70

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1, Προτεινόμενες περίοδοι ανάλυσης.....	33
Πίνακας 2, Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας.....	33
Πίνακας 3: Κατηγορίες σκυροδέματος με βάση την αντοχή κυλινδρικού/ κυβικού δομίου (ΚΤΣ 2019).....	49
Πίνακας 4 : Τιμολόγιο κατασκευών από σκυρόδεμα (ΙΟΥΛΙΟΣ 2022).....	72
Πίνακα 5 : Τιμολόγιο κατασκευών για ασφαλικές οδοστρώσεις.....	73-74

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Νομογράφημα υπολογισμού του μέτρου αντίστασης k του υπεδάφους κατά AASHTO (1993).....	54
Διάγραμμα 2: Νομογράφημα υπολογισμού του τροποποιημένου μέτρου αντίδρασης k του υπεδάφους κατά AASHTO (1993).....	54
Διάγραμμα 3: Νομογράφημα υπολογισμού της σχετικής βλάβης u_f δύσκαμπτων οδοστρωμάτων συναρτήσει του σύνθετου μέτρου αντίδρασης k του υπεδάφους κατά AASHTO (1993).....	55
Διάγραμμα 4.: Διόρθωση του ενεργού μέτρου αντίδρασης υπεδάφους λόγω απώλειας επαφής του θεμελίου (από Huang, 2004).....	55
Διάγραμμα 5: Νομογράφημα υπολογισμού πλάκας σκυροδέματος δύσκαμπτου οδοστρώματος κατά AASHTO (1993).....	56
Διάγραμμα 6: Νομογράφημα υπολογισμού πλάκας σκυροδέματος δύσκαμπτου οδοστρώματος κατά AASHTO (1993)	57

Διάγραμμα 7 : Μεταβολή του δείκτη άνεσης οδήγησης (RCI) με την πάροδο του χρόνου.....	69
Διάγραμμα 8 : Σύγκριση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, μικτού και εύκαμπτου οδοστρώματος με 30 χρόνια διάρκεια ζωής για διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες.....	71

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την δημιουργία μίας οδού καθίσταται απαραίτητη η κατασκευή οδοστρώματος, καθώς το φυσικό έδαφος δεν είναι ικανό να αντέξει τα φορτία της κυκλοφορίας χωρίς να παραμορφωθεί σημαντικά. Οδόστρωμα, γενικότερα, ονομάζεται το μέρος της οδού που προορίζεται για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας των οχημάτων. Είναι μια σύνθετη κατασκευή που αποτελείται από επάλληλες στρώσεις που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος με τελικό σκοπό την δημιουργία της οδού. Τα οδοστρώματα διανέμουν την πίεση από τα φορτία της κυκλοφορίας έτσι ώστε να μην υπερβαίνει τα όρια η καταπόνηση του εδάφους.

Γενικά , οι τύποι οδοστρωμάτων είναι οι εξής : εύκαμπτα, δύσκαμπτα, ημιάκαμπτα και σύνθετα οδοστρώματα. Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε τα δύο πρώτα : εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

1.1. Ιστορική Αναδρομή.

Η ιστορία των οδοστρωμάτων ξεκινά χιλιετίες πίσω. Γενικά αν και οδοί είχαν κατασκευαστεί από την εποχή του χαλκού, τα πρώτα οργανωμένα οδικά δίκτυα αναπτυχθήκαν από τις αυτοκρατορίες για στρατιωτικούς και οικονομικούς λόγους όπως η περσική αυτοκρατορία, η πρώτη κινέζικη και η ρωμαϊκή αυτοκρατορία. Η ανάπτυξη της αρχαίας Ρώμης ήταν θεμελιώδης παράγοντας στο ξεκίνημα της κατασκευής οδοστρωμάτων τα οποία διευκόλυναν την κυκλοφορία των στρατιωτών, την μεταφορά εμπορευμάτων και την επικοινωνία μεταξύ περιοχών της αυτοκρατορίας. Τα αρχαία οδοστρώματα ήταν συνήθως κατασκευασμένα από λίθο. Συγκεκριμένα ο παλαιότερος δρόμος, η Αππία οδός, χρονολογείται το 312 π.Χ. Η υψηλή ποιότητα και δομή των οδοστρωμάτων αυτών έχουν επιτρέψει σε πολλούς Ρωμαϊκούς δρόμους να επιβιώσουν μέχρι σήμερα.



Εικόνα 1: Αππία Οδός στη Ρώμη

Η κατασκευή των οδών γινόταν επίσης σε περιοχές με ασθενή εδάφη και για την κατασκευή αποχετεύσεων. Το πλάτος του δρόμου κυμαινόταν από 2,5 έως 4 μέτρα , ενώ σε στροφές έφτανε μέχρι και τα 10 μέτρα. Το οδόστρωμα όπως και σήμερα χωριζόταν σε στρώσεις. Η πρώτη στρώση , η υπόβαση, αποτελούνταν από πέτρες ή μπάζα. Η δεύτερη στρώση, η βάση, απαρτιζόταν από χαλίκια όπου συγκρατούνταν με σκυροκονίαμα. Τέλος ως επιφανειακή στρώση τοποθετούσαν συμπιεσμένα χαλίκια.



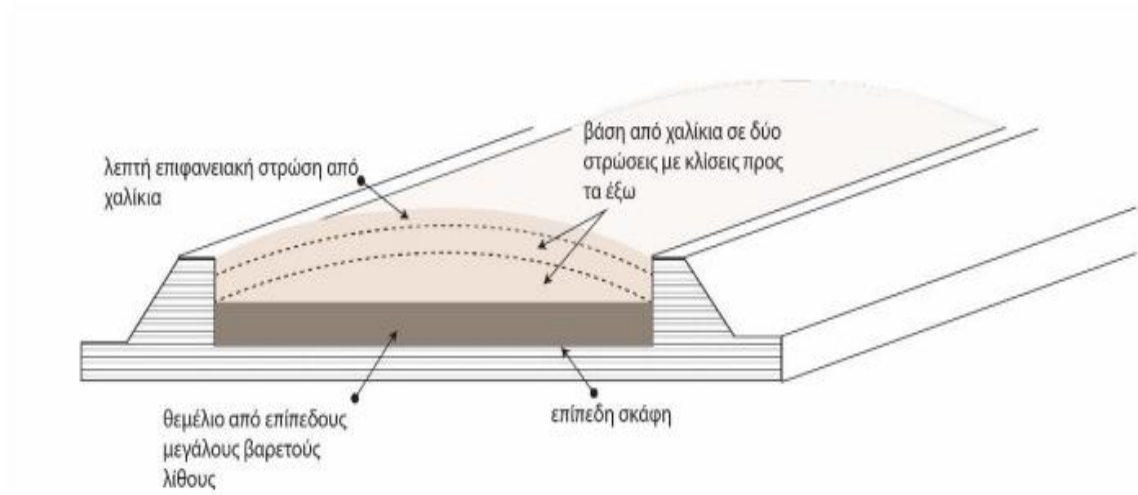
Εικόνα 2 : Στρώσεις οδού στην αρχαία Ελλάδα.

Με την πάροδο του χρόνου, την ανάπτυξη της τεχνολογίας και των υλικών εμφανίστηκαν νέα μέσα και υλικά για την κατασκευή των σημερινών οδοστρωμάτων. Η νεότερη ιστορία της οδοποιίας ξεκινάει τον 18^ο αιώνα με τον Γάλλο μηχανικό Tresaguet (1716-1796) και συνεχίζει με τους μηχανικούς Telford από την Αγγλία (1757-1834) και τον Σκωτσέζο Mc Adam (1756-1836). Οι μηχανικοί αυτοί έθεσαν τις θεμελιώδεις αρχές της μοντέρνας οδοποιίας με τη

κατασκευή ισχυρών οδοστρωμάτων με φέρουσα ικανότητα που να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του συνεχώς αυξανόμενου κυκλοφοριακού φόρτου.

1.1.1.Οδοστρώματα Telford.

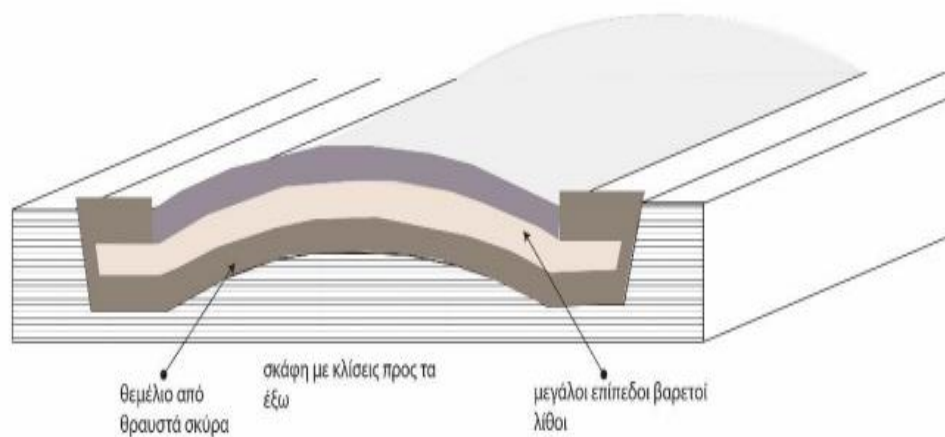
Ο Telford προσπάθησε να κατασκευάσει δρόμους με σχετικά σταθερές επιφάνειες που να μην υπερβαίνουν 1:30 κλίση προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των αλόγων που απαιτούνταν για να μεταφέρουν των φορτίων. Το οδόστρωμα Telford ήταν πάχους περίπου 350 έως 450 mm και γενικά προσδιορίζονταν από τρεις στρώσεις. Το κάτω στρώμα αποτελούνταν από μεγάλες πέτρες πλάτους 100 mm και ύψους 75 έως 180 mm. Πάνω από αυτή τη στρώση τοποθετούνταν δύο στρώσεις λίθων μέγιστου μεγέθους 65 mm (συνολικό πάχος περίπου 150 έως 250 mm), ακολουθούμενη από μια επιφανειακή φθειρόμενη στρώση χαλικιού πάχους περίπου 40 mm. Εκτιμάται ότι το σύστημα αυτό μπορούσε να υποστηρίξει φορτίο που αντιστοιχεί σε περίπου 88 N/mm.



Εικόνα 3 : Οδόστρωμα Telford.

1.1.2.Οδόστρωμα Macadam.

Ο John Macadam παρατήρησε ότι οι περισσότεροι πλακόστρωτοι δρόμοι στο Ηνωμένο Βασίλειο αποτελούνταν από στρογγυλεμένα χαλίκια. Γνώριζε ότι τα γωνιακά αδρανή πάνω από ένα ιδιαίτερα συμπαγές έδαφος θα έχουν σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις, για αυτό και εισήγαγε την χρήση τους. Χρησιμοποίησε σε αντίθεση με την μέθοδο του Telford μια επικλινή επιφάνεια εδάφους, για την βελτίωση την αποστράγγισης. Στην επιφάνεια του εδάφους τοποθέτησε γωνιακά αδρανή, σπασμένα με το χέρι με μέγιστο μέγεθος μέχρι και 75 mm , σε δύο στρώσεις με συνολικό πάχος περίπου 200 mm. Στη κορυφή αυτής της στρώσης τοποθετήθηκε η επιφανειακή στρώση, πάχους περίπου 50 mm με μέγιστο μέγεθος αδρανών περίπου 25 mm για να παρέχεται μια "ομαλή" πορεία στους τροχούς των βαγονιών. Έτσι, το συνολικό πάχος ενός τυπικού οδοστρώματος Macadam ήταν περίπου 250 mm. Το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο για αυτό το είδος του σχεδιασμού έχει εκτιμηθεί ότι είναι 158 N/mm . Ο Macadam συνειδητοποίησε ότι τα στρώματα των σπασμένων αδρανών θα "δεσμεύονταν" τελικά μαζί με τα λεπτά αδρανή (σκόνη) που δημιουργούνται από την κυκλοφορία. Με την εισαγωγή του θραυστήρα αδρανών, παράχθηκαν μεγάλες ποσότητες σκόνης αδρανών. Η αυξημένη χρήση αυτών των λεπτών αδρανών, είχε ως αποτέλεσμα τη χρήση των πιο παραδοσιακών, καλύτερα διαβαθμισμένων αδρανών ως βάση.



Εικόνα 4: Οδόστρωμα Macadam.

1.2.Λόγοι κατασκευής οδοστρωμάτων.

Το φυσικό έδαφος στη μορφή που βρίσκεται δεν είναι ικανό να φέρει τις προερχόμενες από την κυκλοφορία καταπονήσεις και δεν έχει την απαιτούμενη λεία επιφάνεια για την ομαλή κίνηση των οχημάτων. Επιπλέον δεν αντέχει στις κλιματολογικές διακυμάνσεις, την υγρασία, την βροχή κλπ. όταν επάνω του κινούνται οχήματα (Κοφίτσας Ι., 1997). Αυτοί είναι και οι βασικοί λόγοι κατασκευής οδοστρωμάτων. Μερικοί παραπάνω λόγοι για την κατασκευή οδοστρωμάτων είναι οι εξής:

1. Η παραλαβή των φορτίων της κυκλοφορίας και η κατανομή τους στο υπέδαφος. Βασική επιδίωξη είναι οι μεταβιβαζόμενες στο υπέδαφος τάσεις να μειώνονται σε τέτοιο βαθμό, έτσι ώστε να μην επιφέρουν ουσιαστικές παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην εδαφική στρώση του υπεδάφους.
2. Η δομή του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από το νερό, έτσι ώστε να προστατεύεται το έδαφος έδρασης αλλά και οι στρώσεις και να επιτυγχάνεται αναγκαία φέρουσα ικανότητα.
3. Η επιφάνεια του οδοστρώματος θα πρέπει να παρέχει μια αντιολισθηρή και ανθεκτική, στη λειαντική δράση των ελαστικών, ομαλή επιφάνεια κύλισης. Αυτό βελτιώνει την άνεση της οδήγησης και μειώνει το κόστος λειτουργίας των οχημάτων. Έτσι, κάθε στρώση ή ομάδα στρώσεων έχει να επιτελέσει ένα ξεχωριστό ρόλο.
4. Η δομική επάρκεια του ίδιου του οδοστρώματος στις καταπονήσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος, δηλαδή αποφυγή ρηγματώσεων, αυλακώσεων και αποφλοιώσεων.

1.3.Σχεδιασμός οδοστρώματος.

Ο σχεδιασμός ενός οδοστρώματος αποτελεί ένα δύσκολο έργο καθώς τελικός στόχος δεν είναι μόνο η σωστή διαστασιολόγηση αλλά και η επιλογή του συνδυασμού που θα προσδίδει την απαραίτητη αντοχή και λειτουργικότητα στη κατασκευή, στα πλαίσια ενός οικονομικού έργου για όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του. Γενικά, η διαστασιολόγηση των οδοστρωμάτων σχετίζεται με τον προσδιορισμό του πάχους των διάφορων στρώσεων του οδοστρώματος και με το είδος των υλικών που θα

χρησιμοποιηθούν. Το πάχος του οδοστρώματος πρέπει να κατανέμει τα φορτία με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι τάσεις που μεταφέρονται στο έδαφος να μην ξεπερνούν την φέρουσα ικανότητα του εδάφους. Επιπλέον οι τάσεις που αναπτύσσονται σε κάθε στρώση να μην υπερβαίνουν τις τάσεις που μπορούν να παραλάβουν τα υλικά της κάθε στρώσης.

Παλαιότερα ο σχεδιασμός των οδοστρωμάτων δεν γινόταν με βάση πρότυπα και κανονισμούς. Αυτό σημαίνει ότι τα πάχη των οδοστρωμάτων επιλέγονταν με βάση την εμπειρία του μηχανικού και των διαθέσιμων υλικών. Με την πάροδο του χρόνου αυξήθηκε ο κυκλοφοριακός φόρτος και παρουσιάστηκαν φθορές στα οδοστρώματα. Επομένως δημιουργήθηκε η ανάγκη της εξέλιξης των μεθόδων σχεδιασμού. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφοροι μέθοδοι, με στόχο των σχεδιασμό οδοστρωμάτων, οι οποίες βασίστηκαν πάνω σε αναλύσεις πειραματικών δοκιμών και σε μελέτες συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων σε πραγματικές συνθήκες καθώς δεν υπήρχε ακριβής λύση για την διαδικασία σχεδιασμού. Ιστορικά μετά από 30 χρόνια που γινόταν αποκλειστικά χρήση εμπειρικών μεθόδων για τον σχεδιασμό οδοστρωμάτων, το 1965 οι Dorman και Metcalf εισήγαγαν μια προσέγγιση που συνδυάζει μηχανιστικές και εμπειρικές μεθόδους. Εισήγαγαν την μέθοδο Burmister σε διάφορα λογισμικά, υπολόγισαν τις αναπτυσσόμενες τάσεις και παραμορφώσεις ως συνάρτηση των ιδιοτήτων των υλικών, των παχών των στρώσεων και των συνθηκών φόρτισης. Εν τέλει συσχέτισαν τις μετρήσεις τους με την πραγματική συμπεριφορά του οδοστρώματος στο πεδίο.

Πλέον χρησιμοποιούνται εμπειρικοί μέθοδοι που βασίζονται σε πειραματικά αποτελέσματα πεδίου και παρατηρήσεις από κατασκευασθέντα οδοστρώματα. Οι κυριότερες μέθοδοι σχεδιασμού για εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια.

1.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων.

Στον σχεδιασμό κάθε οδοστρώματος πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι απαιτήσεις της εκάστοτε περιοχής. Το μέγεθος και είδος των φορτίων, οι κλιματολογικές συνθήκες και η αντοχή μαζί με την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του έργου αποτελούν βασικούς παράγοντες που είναι αναγκαίο να ικανοποιούνται για την επίτευξη της μακροζωίας του οδοστρώματος αλλά και την ασφάλεια των χρηστών του. Οι κλιματολογικές συνθήκες όπως είναι ο παγετός, η υγρασία, υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την φύση του εδάφους μπορεί να προκαλέσει μόνιμες φθορές στο οδόστρωμα ειδικά σε περιοχές όπου οι κλιματολογικές συνθήκες είναι έντονες. Αντίστοιχα ο κυκλοφοριακός φόρτος αποτελεί βασικό παράγοντα. Ανάλογα με το βάρος και τον αριθμό των οχημάτων καθορίζεται το πάχος των στρώσεων. Η καταστροφική επίπτωση στο οδόστρωμα προκύπτει από το φορτίο κάθε οχήματος και την κατανομή του σε άξονας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε περιοχής σε κυκλοφοριακό φόρτο υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι κατασκευής.

1.4.1. Τρόποι κατασκευής οδοστρωμάτων.

Οι πιο συνηθισμένοι είναι οι ακόλουθοι:

- Οδοστρώματα ασφαλτικής στρώσης (asphalt pavements) :

Η κατασκευή οδοστρωμάτων από άσφαλτο είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος, προτιμάται για δρόμους υψηλής κυκλοφορίας και αυτοκινητοδρόμους. Η κατασκευή αυτού του τύπου οδοστρώματος περιλαμβάνει την τοποθέτηση στρώματος από άσφαλτο σε πολλά επίπεδα το οποίο στη συνέχεια συμπιέζεται και επιπλέον επικαλύπτεται με ένα άλλο στρώμα ασφάλτου. Αυτό το είδος οδοστρώματος είναι ανθεκτικό στις κλιματολογικές αλλαγές και κατάλληλο για μικρές και μεσαίες κυκλοφορίες.

- Οδοστρώματα από σκυρόδεμα (concrete pavements) :

Τα συγκεκριμένα οδοστρώματα παρέχουν μεγαλύτερη αντοχή σε βαριά οχήματα με συνεχή κυκλοφορία επομένως προτιμώνται σε περιοχές με μεγαλύτερο κίνδυνο εκτροπής, αλλά είναι λιγότερο ευέλικτα. Η κατασκευή τους περιλαμβάνει την

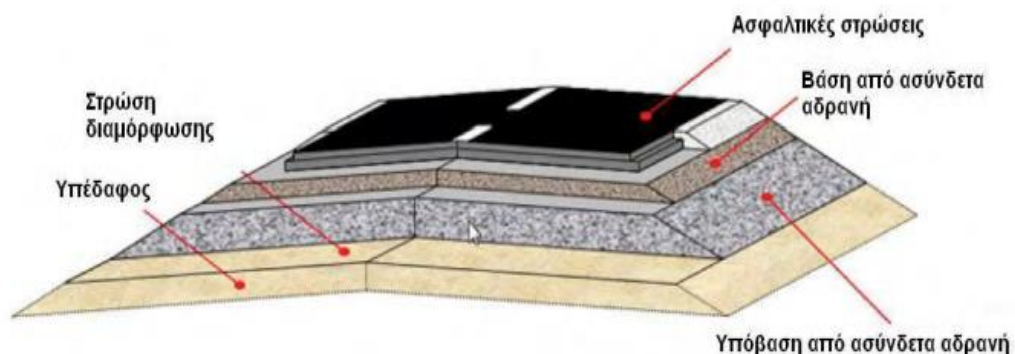
τοποθέτηση σκυροδέματος σε πολλά επίπεδα , με το στρώμα σκυροδέματος να είναι πιο παχύ συγκριτικά με την στρώση ασφάλτου στα οδοστρώματα ασφαλτικής στρώσης.

- Οδοστρώματα από λίθους και βράχο (stone and rock pavements) :

Η χρήση τους είναι συνήθης σε αγροτικές περιοχές, σε μηχανοκίνητα μονοπάτια και σε δρόμους μικρής κυκλοφορίας. Τα λίθινα οδοστρώματα αποτελούνται από μια λίθινη στρώση που τοποθετείται απευθείας στο έδαφος ή σε ένα υλικό υποστρώματος όπως άμμο και χαλίκι. Θεωρούνται οδοστρώματα ανθεκτικά στη κακοκαιρία. Τα οδοστρώματα από βράχο κατασκευάζονται από μεγάλους βράχους που τοποθετούνται σε ένα υπόστρωμα από χώμα ή άμμο και είναι ανθεκτικά και σταθερά σε καταπονήσεις.

1.5.Δομή οδοστρώματος.

Οδοστρώμα ,όπως προαναφέρθηκε, είναι το τμήμα της οδού το οποίο κατασκευάζεται για να χρησιμοποιηθεί από τα οχήματα κυκλοφορίας και να διανέμει τα φορτία κυκλοφορίας πριν φτάσουν στο έδαφος. Μια τυπική δομή οδοστρώματος όπως φαίνεται και στην εικόνα , ξεκινώντας από τις κατώτερες στρώσεις, αποτελείται από το υπέδαφος και την διαμορφωμένη του στρώση , την στρώση υπόβασης , βάσης και τις ασφαλτικές στρώσεις.



Εικόνα 5: Τυπική δομή οδοστρώματος.

➤ **ΥΠΕΔΑΦΟΣ**

Τα χαρακτηριστικά και η κατάσταση του υπεδάφους καθορίζουν την ποιότητα και την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Έτσι πριν τον σχεδιασμό του οδοστρώματος είναι απαραίτητη η γεωλογική έρευνα , ο εργαστηριακός έλεγχος και η μελέτη του εδάφους ώστε να αναγνωριστούν τα χαρακτηριστικά και η κατάστασή του. Από τα συμπεράσματα αυτά λαμβάνεται η απόφαση του βέλτιστου σχεδιασμού, δηλαδή του τρόπου δημιουργίας της στρώσης διαμόρφωσης του φυσικού εδάφους έδρασης του οδοστρώματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις που το έδαφος δεν έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά , ενδείκνυται η χρήση πρόσθετων υλικών , τα οποία μετά από συγκεκριμένη επεξεργασία το βελτιώνουν και το σταθεροποιούν.

➤ **ΣΤΡΩΣΗ ΕΔΡΑΣΗΣ**

Είναι η στρώση διαμόρφωσης του φυσικού εδάφους όπου εδράζεται το οδόστρωμα και αναλόγως τις εδαφικές συνθήκες έχει πάχος 50-70 εκ. επιλεγμένου εδαφικού υλικού ή μεταφερόμενου αμμοχάλικου και μία ή δύο στρώσεις από σταθεροποιημένο εδαφικό υλικό συνολικού πάχους 40-60 εκ.

➤ **ΥΠΟΒΑΣΗ**

Οι στρώσεις που κατασκευάζονται πάνω από την διαμορφωμένη στρώση υπεδάφους ονομάζονται στρώσεις υπόβασης. Σε αυτές χρησιμοποιούνται θραυστά υλικά ικανοποιητικής αντοχής , τα χαρακτηριστικά των οποίων δεν είναι απαραίτητο να έχουν τόσο υψηλές απαιτήσεις όσο τα υλικά των βάσεων. Σκοπός των στρώσεων υπόβασης είναι η κατασκευή ενός οδοστρώματος διατομής μεγάλου πάχους με σχετικά χαμηλό κόστος, καθώς επίσης και η διανομή των φορτίων κυκλοφορίας που λαμβάνει από την υπερκείμενη στρώση βάσης πριν μεταβιβαστούν στο έδαφος. Η υπόβαση κατασκευάζεται με υλικά σταθεροποιημένου τύπου δηλαδή είτε αμμοχάλικο θραυστό από ποτάμια ή χείμαρρους είτε από θραυστό υλικό από κατάλληλους λίθους κάθε φύσης.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΠΟΒΑΣΗΣ:

1. Γίνεται προπαρασκευή της επιφάνειας έδρασης της υπόβασης , δηλαδή της επιφάνειας των χωματουργικών.

2. Πασσαλώνεται ο άξονας της οδού έτσι ώστε να εξασφαλιστούν τα σημεία που αντιστοιχούν σε αυτά της μελέτης με την βοήθεια ταχύμετρου, μεταλλικής μετροταινίας και σιδερένιων καρφιών.
3. Χωροσταθμείται ο άξονας και οι διατομές που έχουν ληφθεί στα κύρια σημεία κάθε καμπύλης , με την συμμετοχή του χωροβάτη , σταδία και μετροταινίας.
4. Διαστρώνεται , αναμιγνύεται και τελικά συμπυκνώνεται το υλικό κατά στρώσεις. Το συμπυκνωμένο πάχος κάθε στρώσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 12cm.

Για κάθε στρώση αφού τοποθετείται το υλικό αναμιγνύεται καλά με διαμορφωτήρα. Κατά την διάρκεια της ανάμιξης προστίθεται μια απαιτούμενη ποσότητα νερού έτσι ώστε το υλικό να έχει την βέλτιστη υγρασία.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΕΛΕΙ Η ΥΠΟΒΑΣΗ:

- Μεταβιβάζει φορτία στο υπέδαφος.
- Εξασφαλίζει την άνετη κυκλοφορία των οχημάτων κατά την κατασκευαστική φάση.
- Αποτελεί μια αντιπαγετική προστατευτική στρώση.
- Λειτουργεί και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων , δηλαδή δεν επιτρέπει να μεταφερθεί υγρασία από το υπέδαφος προς τα πάνω μέσω τριχοειδών.

➤ ΒΑΣΗ

Οι στρώσεις βάσης κατασκευάζονται μεταξύ των στρώσεων της υπόβασης και των ασφαλικών στρώσεων. Όπως και στις στρώσεις υπόβασης για την κατασκευής τους χρησιμοποιούνται θραυστά αμμοχάλικα , μικρότερης κοκκομετρικής διαβάθμισης και υψηλότερων απαιτήσεων ποιότητας , προκειμένου να αντέχουν στις μεγαλύτερες καταπονήσεις, να διανέμουν αποτελεσματικά και να μεταβιβάζουν τα κυκλοφοριακά και περιβαλλοντικά με τέτοιο τρόπο ώστε οι υποκείμενες ασυμπύκνωτες στρώσεις να μην εκτίθενται σε υπερβολικές καταπονήσεις και πιέσεις. Αυτό συχνά συνεπάγεται τη συγκριτικά υψηλή ακαμψία των στρώσεων βάσης. Επίσης οι στρώσεις βάσης πρέπει να έχουν υψηλή αντοχή σε κόπωση.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΒΑΣΗΣ:

1. Εκτελείται προπαρασκευή της επιφάνειας έδρασης , που είναι η επιφάνεια της υπόβασης ή η επιφάνεια των χωματουργικών όταν δεν υπάρχει υπόβαση.
2. Πραγματοποιείται διάστρωση, ανάμιξη και συμπύκνωση του υλικού κάθε στρώσης με τον ίδιο τρόπο όπως και στην κατασκευή της υπόβασης.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΕΛΕΙ Η ΒΑΣΗ:

- Παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία στις υποκείμενες στρώσεις.
- Μειώνει τις κάθετες θλιπτικές τάσεις ώστε να ικανοποιούν την φέρουσα ικανότητα και να μην δημιουργηθούν μεγάλες παραμορφώσεις.
- Παρέχει στο οδόστρωμα αντοχή και δυσκαμψία στη κόπωση.
- Με την χρήση ασύνδετων ή σταθεροποιημένων αδρανών παρέχει μια αποτελεσματικότερη συμπύκνωσή καθώς και λιγότερες παραμορφώσεις.

➤ ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ

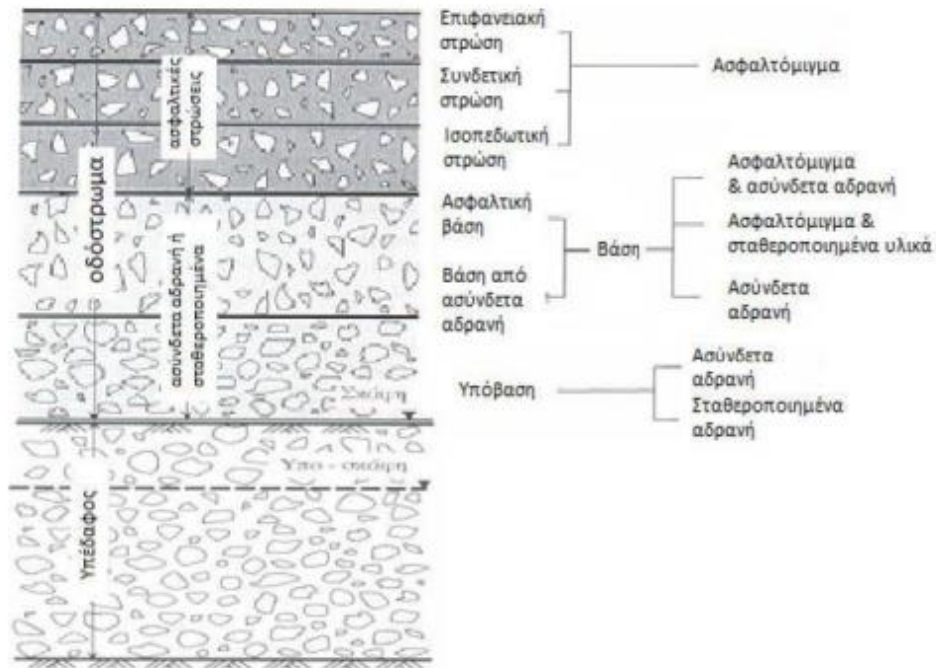
Στις ασφαλτικές στρώσεις ενός οδοστρώματος περιλαμβάνονται ,γενικά, η ασφαλτική (base course), η ισοπεδωτική στρώση , η συνδετική στρώση (binder course) και η επιφανειακή στρώση (surface course) η οποία απαιτείται να είναι αντιολισθηρή σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές των έργων οδόστρωσης.

Η συνδετική στρώση βρίσκεται ανάμεσα στην επιφανειακή και ισοπεδωτική στρώση. Κυρίως κατασκευάζεται για να κάνει την επιφάνεια είτε επίπεδη είτε με αναγκαίες κλίσεις. Πρέπει να είναι αδιαπέραστη από το νερό. Η κατασκευή της είναι αναγκαία όταν ο τάπητας κυκλοφορίας είναι πορώδης, αν και συνήθως παραλείπεται η κατασκευή της.

Η επιφανειακή στρώση χρησιμεύει στο να παρέχει μια λεία και ασφαλή επιφάνεια κυκλοφορίας , να είναι αντιολισθητική , να παρουσιάζει αντοχή σε ρηγματώσεις εξαιτίας του κυκλοφοριακού φόρτου, να συνεισφέρει στην αντοχή το οδοστρώματος καθώς και να είναι όσο το δυνατόν πιο μη διαπερατή από το νερό έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η διείσδυση υδάτων στις υπόλοιπες στρώσεις.

Η ασφαλική στρώση αποτελεί το ανώτερο στρώμα του οδοστρώματος και πρέπει να αντέχει στον υψηλό κυκλοφοριακό και περιβαλλοντικό φόρτο που προκαλείται από τις τάσεις. Επίσης δεν πρέπει να εμφανίζει ρηγματώσεις και αυλακώσεις προκειμένου να παρέχει άνεση στον χρήστη και συγχρόνως να εξασφαλίζει επαρκή αντίσταση έναντι ολίσθησης. Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως η αντίσταση σε ολίσθηση, η μείωση του θορύβου και η ανθεκτικότητα (durability), καθορίζονται οι απαιτήσεις για τις ασφαλικές στρώσεις. Σε μερικές περιπτώσεις, η ταχεία αποστράγγιση των επιφανειακών υδάτων είναι επιθυμητή, ενώ σε άλλες περιπτώσεις, η επιφανειακή στρώση (wearing course) πρέπει να είναι αδιαπέραστη, προκειμένου να κρατήσει το νερό έξω από τη δομή του οδοστρώματος. Ένα ευρύ φάσμα προϊόντων επιφανειακών στρώσεων (ασφαλικών στρώσεων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε περίπτωσης.

Συνεπώς, ανάλογα με την στρώση για την οποία προορίζεται, τις ιδιότητες και απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί, κάθε ασφαλτόμιγμα διαθέτει διαφορετική σύνθεση. Τα βασικά συστατικά του μέρη, ωστόσο, είναι η άσφαλτος και τα αδρανή υλικά, μεταξύ των οποίων δημιουργούνται και κενά αέρα. Προκειμένου να συνδεθούν τα αδρανή σε ένα συνεκτικό μίγμα χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό η άσφαλτος.



Εικόνα 6: Στρώσεις τυπικού οδοστρώματος.

1.6.Φθορές και συντήρηση οδοστρωμάτων.

Γενικά με τον όρο φθορές σε ένα οδόστρωμα εννοούμε τις καταπονήσεις ή αλλιώς τις ατέλειες που γίνονται αντιληπτές με απλή παρατήρηση και σχετίζονται με τον κύκλο ζωής για κάθε τύπο οδοστρώματος.

Οι φθορές κατατάσσονται ανάλογα με τον τύπο, την σοβαρότητα και την έκταση στην οποία παρατηρούνται. Με τον όρο σοβαρότητα (severity) νοείται ο βαθμός επικινδυνότητας που ενέχει η εκάστοτε φθορά και κατατάσσεται σε χαμηλού, μεσαίου και υψηλού βαθμού σοβαρότητας. Με τον όρο έκταση (extent) αναφερόμαστε στη ποσοτική εκτίμηση του μεγέθους της φθοράς που μετριέται σε μονάδες μήκους, εμβαδόν κάλυψης ή πλήθος εμφάνισης φθορών συγκεκριμένου τύπου.

Μερικοί από τους παράγοντες που επιδρούν στην καταπόνηση ενός οδοστρώματος :

- Κυκλοφορία

Τα οδοστρώματα λόγω της επίδρασης του κυκλοφοριακού φόρτου καταπονούνται σταδιακά. Ο άξονας κάθε τροχού προκαλεί μια στιγμιαία φθορά η οποία στο τέλος

της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος εμφανίζεται υπό την μορφή βύθισης ή και ρηγματώσης.

- Υποδιαστασιολόγηση κατά την φάση της μελέτης

Ένας δρόμος χαρακτηρίζεται ως υποδιαστασιολογημένος όταν δεν μπορεί να αντέξει τα φορτία για τα οποία έχει σχεδιαστεί. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε αστοχία των προβλεπόμενων συνθηκών όπως ο αυξανόμενος κυκλοφοριακός φόρτος σε φορτηγά ή στην αλλαγή χρήσης γης σε βιομηχανική και εμπορική. Σε τέτοιες συνθήκες επιτακτική είναι η ανάγκη της αλλαγής του δρόμου έτσι ώστε να εξυπηρετηθεί η βαριά κυκλοφορία.

- Αποτυχία στη πρόβλεψη μελλοντικών συνθηκών

Αφορά ένα πρόβλημα που δημιουργείται από ελλείψεις και συνθήκες που έχουν αγνοηθεί κατά την κατασκευή του έργου. Τέτοιες ελλείψεις μπορεί να είναι η έλλειψη καλής αποστράγγισης . Σε αρκετές περιπτώσεις η αποτυχία πρόβλεψης μελλοντικών συνθηκών δεν αφορά θέματα κατασκευαστικά ή τα υλικά του οδοστρώματος. Συνεπώς κατά την κατασκευή του έργου και συγκεκριμένα πριν την παράδοση του, πρέπει να γίνεται επιθεώρηση για την αποφυγή των ανωτέρω καταστάσεων.

- Αστοχία κατά την φάση της κατασκευής

Η κατασκευή κρίνεται ως ένα δύσκολο βήμα καθώς εξειδικευμένες εργασίες που ενέχουν δυσκολίες σε συνδυασμό με τυχόν απειρία του μηχανικού μπορεί να οδηγήσουν σε ενδεχόμενες κατασκευαστικές αποτυχίες. Επιγραμματικά μερικές από αυτές είναι οι εξής :

- Κακή ποιότητα κατασκευής (Αστοχία της συμπύκνωσης της επιχωμάτωσης σε λεπτά στρώματα)
- Χρήση ακατάλληλου εξοπλισμού (Πχ αν κανένας οδοστρωτήρας δεν είναι διαθέσιμος και εξαιτίας αυτού δεν γίνει συμπύκνωση των αδρανών μιας βάσης θα υπάρξει πρόωρη αστοχία)
- Εσφαλμένη χρήση εξοπλισμού (Ακόμα και αν υπάρχουν τα σωστά εργαλεία είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η σωστή χρήση τους)

- Αποτυχία της ακολουθίας των σχεδίων (Απαιτείται η χρήση καλών σχεδιασμών όπως χαράξεις , παρακάμψεις , υλικά , βήματα κατασκευής και σχέδια σε περίπτωση κακών καιρικών συνθηκών)
- Έλλειψη της εκπαίδευσης (Πολύ σημαντική είναι η παροχή κατάρτισης σε όλους τους εργαζομένους. Αυτό είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια της εργασίας , με ωριαία εκπαίδευση ή σε συναντήσεις καθώς και με ημερήσια κατάρτιση από το πρόγραμμα ή κάποιο προμηθευτή)
- Επιλογή λανθασμένης εποχής / κακές καιρικές συνθήκες (Οι κακές καιρικές συνθήκες αποτελούν πολλές φορές ένα τυχαίο γεγονός που δεν μπορεί να προβλεφθεί. Φυσικά η αντιμετώπιση τους είναι ένα ζήτημα που μπορούμε να ελέγξουμε με τις σωστές γνώσεις των παραμέτρων του εκάστοτε έργου)

- Ακαταλληλότητα των υλικών

Η χρήση λάθος υλικού θα οδηγήσει πρόωρη αστοχία. Συνεπώς είναι απαραίτητη η πιστοποίηση ότι τα υλικά τηρούν τις προδιαγραφές και ο δειγματολογικός έλεγχος τους στο εργοτάξιο. Ωστόσο δεν είναι λίγες οι φορές που ένα υλικό μπορεί να έχει τοποθετηθεί εσφαλμένα, ένα πρόβλημα είτε κατασκευαστικό είτε λόγω του υλικού. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι λόγω της προσπάθειας ενός υλοποίησης οικονομικότερου έργου οι μηχανικοί οδηγούνται στην επιλογή ενός λιγότερου δαπανηρού υλικού που συνήθως οδηγεί σε πολύ μεγαλύτερα έξοδα στο μέλλον.

- Αστοχία στη συντήρηση

Σχετικά με τον όρο συντήρηση της οδού αναφερόμαστε σε όλες τις εργασίες που χρειάζονται για την διατήρηση του οδοστρώματος στην αρχική του κατάσταση. Η έγκαιρη επισήμανση και επιδιόρθωση των φθορών είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος συντήρησης του οδοστρώματος ,έτσι είναι επιτακτική η ανάγκη της συχνής επιθεώρησης από έμπειρο προσωπικό τόσο στην επιφάνεια των οδοστρωμάτων όσο και στο σύστημα αποχέτευσης των νερών.

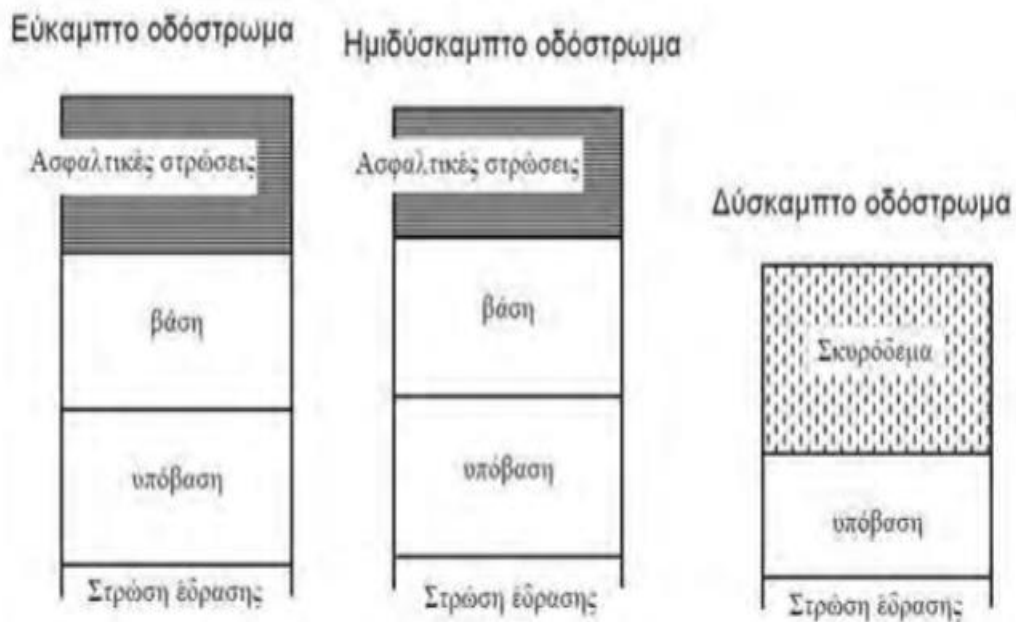
Η συντήρηση ενός έργου είναι ένα ζήτημα προϋπολογισμού και επικοινωνίας που πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολο να εκτελεστεί. Το πρώτο βήμα συντήρησης είναι η επιλογή της σωστής επισκευής για την επιδιόρθωση του προβλήματος , πράγμα που πρέπει να γίνεται από την φάση της κατασκευής. Μετά την επιλογή της

τεχνικής συντήρησης απαιτείται η σωστή κατασκευή της με την χρήση ορθών υλικών. Η αποτυχία της σωστής υλοποίησης της κατασκευής είναι μια σημαντική αιτία για την πρόωρη αστοχία της κατασκευής.

1.7. Κατηγορίες οδοστρωμάτων.

Ιστορικά τα οδοστρώματα σε σχέση με την επίδραση της κυκλοφορίας των οχημάτων χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα εύκαμπτα (flexible) και δύσκαμπτα (rigid) οδοστρώματα. Η βασική διαφορά τους εντοπίζεται στον τρόπο με τον οποίο μεταβιβάζουν και κατανέμουν τα φορτία στο υπέδαφος.

Αναφέρονται ως τύποι οδοστρωμάτων και δύο άλλες κατηγορίες, που στη πραγματικότητα αποτελούν ενδιάμεσες μορφές μεταξύ εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, τα ημιεύκαμπτα (semi-rigid) και σύνθετα (composite). Τα ημιεύκαμπτα είναι ασφαλικά οδοστρώματα με σταθεροποιημένη βάση (αδρανή και υδραυλικές κόνιες) και τα σύνθετα που φέρουν ασφαλοτάτητα κυκλοφορίες πάνω σε πλάκα σκυροδέματος.



Εικόνα 7 : Δομή εύκαμπτου – ημιδύσκαμπτου – δύσκαμπτου οδοστρώματος.

Υπάρχουν διάφορες ειδικές κατηγορίες οδοστρωμάτων αλλά στη πτυχιακή αυτή θα ασχοληθούμε και θα αναλύσουμε τις δυο κατηγορίες εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα.

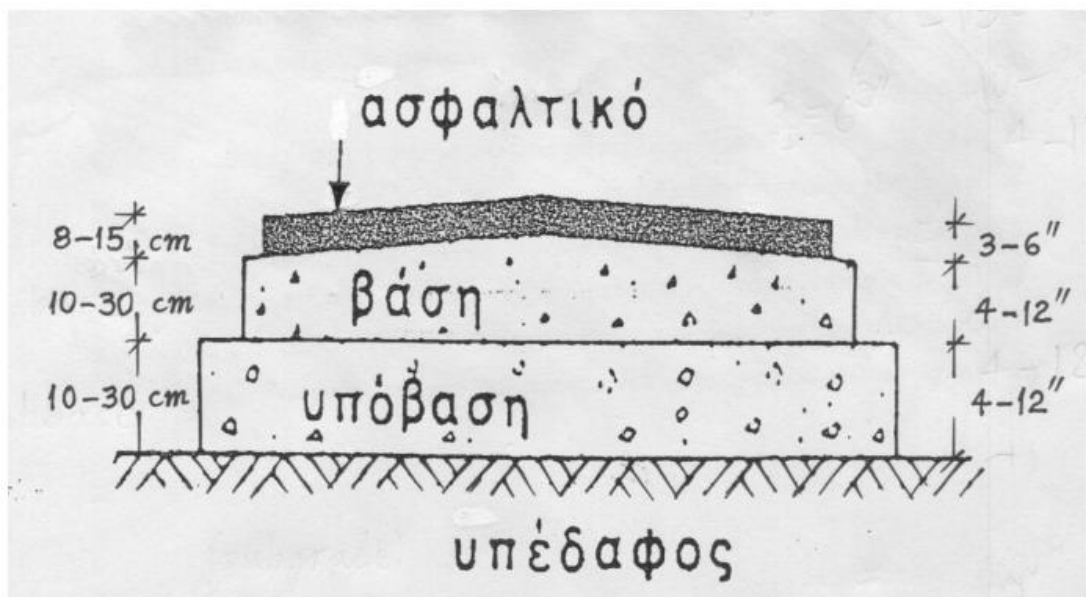
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

2.1. Ορισμός.

Το εύκαμπτο οδόστρωμα είναι ένας τύπος οδοστρώματος που αναπτύσσεται για να είναι ευέλικτος και να αντιμετωπίζει τις φυσικές και κυκλοφοριακές φορτίσεις. Συγκριτικά με δύσκαμπτο σκυρόδεμα χρησιμοποιεί παραπάνω στρώσεις που συνεργούν για να απορροφήσουν τις αναπτυσσόμενες τάσεις λόγω του κυκλοφοριακού φόρτου καθώς δεν έχει τόσο μεγάλη αντοχή.

2.2. Δομή.

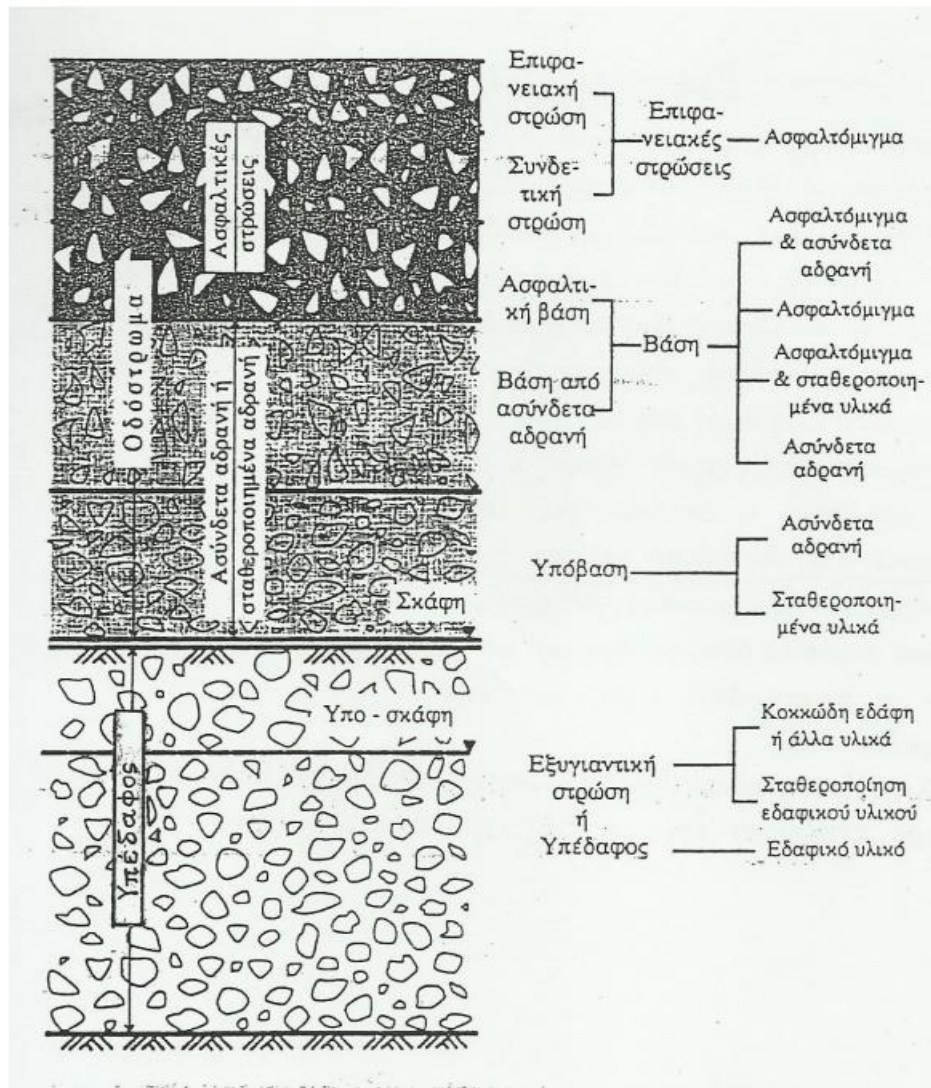
Γενικά η δομή του εύκαμπτου οδοστρώματος αποτελείται από δύο χαρακτηριστικές ομάδες στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά. Την ομάδα των στρώσεων από ασύνδετα ή σταθεροποιημένα αδρανή που εδράζεται πάνω στο υπέδαφος και την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτόμιγμα η οποία εδράζεται πάνω στην προηγούμενη ομάδα. Ο συγκεκριμένος διαχωρισμός της δομής του εύκαμπτου οδοστρώματος βασίζεται στη διαφορετική μηχανική συμπεριφορά των στρώσεων και χρησιμοποιείται σήμερα ως βάση για την ανάπτυξη όλων των μεθοδολογιών διαστασιολόγησης των ευκάμπτων οδοστρωμάτων.



Εικόνα 8 : Τυπική δομή εύκαμπτου οδοστρώματος.

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα κατασκευαστικά αποτελούνται από την ασφαλική επίστρωση, που κατασκευάζεται από στρώσεις ασφαλτομίγματος, και προς τα κάτω από την βάση και την υπόβαση που αποτελούνται από επάλληλες στρώσεις φυσικών εδαφικών και θραυστών αδρανών υλικών . Σε μερικές περιπτώσεις παραλείπεται η κατασκευή της βάσης και της υπόβασης όπου αντικαθίσταται από ασφαλτόμιγμα , οπότε το οδόστρωμα αποτελείται από αμιγώς ασφαλικές στρώσεις. Ωστόσο ορισμένες φορές , λόγω ύπαρξης ασθενούς υπεδάφους (και δείκτη CBR μικρότερο του 5%) κατασκευάζεται και εξυγιαντική στρώση μεταξύ υποβάσεως και υπεδάφους.

Αναφορικά με την εξυγιαντική στρώση , αποτελείται από κοκκώδη εδαφικά υλικά, με σταθεροποίησή του εδάφους με τσιμέντο ή ασβέστη, και είναι εκτός οδοστρώματος. Χρησιμοποιείται με σκοπό να αυξήσει την φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μπορέσει να τοποθετηθεί οδόστρωμα.



Εικόνα 9 : Λεπτομερής δομή στρώσεων εύκαμπτου οδοστρώματος.

Αναλυτικότερα για ασφαλτική επίστρωση , βάση και υπόβαση :

ο ΑΣΦΑΛΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ (asphalt concrete-AC ή hot mix asphalt-HMA)

Η ασφαλτική επίστρωση είναι μίγμα ασφάλτου και αδρανών. Η άσφαλτος είναι χρήσιμη στη κατασκευή δρόμων λόγω της βασικής θερμοπλαστικής της φύσης, δηλαδή το ότι είναι σκληρή, στερεή, ψυχρή και σε υγρή, θερμή μορφή. Οι άσφαλτοι βρίσκονται στην φύση σε καθαρή κατάσταση ή σε ανάμειξη με διάφορες ανόργανες ουσίες ή προέρχονται από την διάλυση πετρελαίου, Οι πίσσες είναι υδρογονανθρακούχα αποστάγματα του λιθάνθρακα και του ξύλου. Διακρίνονται σε υγρόπισσες ή αργές πίσσες κι σε ξηρόπισσες ή οδόπισσες.

ο ΒΑΣΗ(base) & ΥΠΟΒΑΣΗ(subbase)

Κατασκευάζονται με υλικά σταθεροποιημένου τύπου, δηλαδή υλικά που προσδίδουν σταθερότητα και αντοχή, όπως είναι το θραυστό αμμοχάλικο από ποτάμια, χείμαρρους κλπ. ή το θραυστό υλικό από κατάλληλους λίθους κάθε φύσης που έχει σταθεροποιηθεί με άργιλο ή τσιμέντο.

Η κατασκευή της βάσης και της υπόβασης είναι σημαντική καθώς :

- Βοηθούν στη κατανομή των φορτίων στο έδαφος δια μέσω των στρώσεων.
- Αυξάνουν την φέρουσα ικανότητα.
- Συντελούν στην αποστράγγιση και στην προστασία από τον παγετό.

2.1.1. Μορφές ασφάλτου.

Εκτός από την άσφαλτο που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με αδρανή υλικά υπάρχουν και μορφές ασφάλτου που συνδυάζονται με άλλα υλικά πλην των αδρανών. Μερικές διαφορετικές μορφές ασφάλτου είναι οι εξής:

- Τροποποιημένη άσφαλτος : Πρόκειται για άσφαλτο η οποία είναι ενισχυμένη με πολυμερή προσθετικά τα οποία βελτιώνουν τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες της ασφάλτου. Τα πολυμερή προσθετικά δεν διαφοροποιούν την χημική σύσταση της ασφάλτου, είναι όμως ικανά να τροποποιήσουν φυσικές ιδιότητες όπως το σημείο ευθραυστότητας της ασφάλτου.
- Ασφαλτικά σκυροδέματα: Ορίζεται ως ένα μίγμα που παρασκευάζεται σε μόνιμη εγκατάσταση με ανάμιξη θερμών και ξηρών αδρανών χονδρόκοκκων, λεπτόκοκκων και παιπάλης μαζί με θερμική καθαρή άσφαλτο σαν συνδετικό. Προορίζεται για την κατασκευή αεροδρομίων, έργων στεγανοποίησης και στρώσεων κυκλοφορίας συνδετικούς ή ισοπεδωτικούς.

2.2. Ιστορική αναδρομή.

ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ‘ΦΥΛΛΟΥ ΑΣΦΑΛΤΟΥ’

Τα οδοστρώματα ‘Φύλλα Ασφάλτου’ είναι τα πρώτα οδοστρώματα που κατασκευάστηκαν από πραγματικά θερμό ασφαλτόμιγμα (Hot Mix Asphalt – HMA). Τα στρώματά αυτού του τύπου οδοστρώματος ήταν προαναμεμειγμένα και

τοποθετούνταν ζεστά. Το πρώτο οδόστρωμα τέτοιου τύπου χτίστηκε πάνω από το Βασιλικό Παλάτι και την οδό Αγίου Ονούριου στο Παρίσι το 1858. Το 1870 χτίστηκε και το πρώτο οδόστρωμα ασφαλτικού φύλλου στις ΗΠΑ του Newark New Jersey.

Το σύστημα αυτού του οδοστρώματος αποτελείται από :

- Μια επιφανειακή στρώση πάχους 40 έως 50 mm, που αποτελείται από ασφαλτικό τσιμέντο και άμμο.
- Μια συνδετική στρώση πάχους περίπου 40 mm, που αποτελείται από σπασμένη πέτρα και ασφαλτικό τσιμέντο.
- Μία στρώση βάσης υδραυλικού σκυροδέματος ή μάζα οδοστρωμάτων (παλιά μπλοκ γρανίτη, τούβλα, κλπ.) , πάχους 100 mm, για χαμηλή κυκλοφορία, και 150 mm, για μεγαλύτερη κυκλοφορία.

ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Το 1901 και 1903 ο Frederick J. Warren έκδωσε διπλώματα ευρεσιτεχνίας για τα πρώτα υλικά οδοστρωσίας θερμών ασφαλτομιγμάτων , τα οποία αποκάλεσε ασφαλτικά οδοστρώματα . Η ιδέα του ουσιαστικά αφορούσε την παραγωγή ενός μίγματος το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένα πιο ρευστό συνδετικό υλικό από αυτό που είχε χρησιμοποιηθεί στα φύλλα ασφάλτου. Ένα τυπικό ασφαλτικό μείγμα αποτελείται από 6% ασφαλτικό τσιμέντο και διαβαθμισμένα αδρανή ,σε αναλογία για χαμηλά κενά αέρος.

Το 1910 στο Topeka του Kanas αποφασίστηκε δικαστικώς ότι τα μίγματα ασφαλτικού σκυροδέματος που περιείχαν αδρανή μέγιστης διάστασης 12,5 mm δεν παραβιάζουν το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Warren. Ένα τυπικό μείγμα Topeka περιείχε 30% διαβαθμισμένο θραυστό πέτρωμα ή χαλίκι και 8 έως 12% filler (υλικό το οποίο διέρχεται από κόσκινο των 0,075 mm) και απαιτούνταν 7,5 έως 9,5 % ασφαλτικό τσιμέντο.

Την ίδια χρονιά ο Edwin C.Wallace εφηύρε το Warrenite-Ασφαλτικό (Warrenite-Bitulithic). Το Warrenite-Ασφαλτικό αποτελούνταν από μια επιφανειακή στρώση φύλλου ασφάλτου πάνω σε ζεστά , μη συμπτυκνωμένα ασφαλτικά. Λεπτρομερές

ήταν ένα στρώμα πάχους 25 mm λεπτόκοκκου ορυκτού με επικάλυψη ασφάλτου κυλινδρωμένο σε ένα χαμηλότερο στρώμα μεγάλων και μικρών πετρών.

Μετά το 1920 το μίγμα Torpeka έζησε ανεξάρτητα από την λήξη των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας του Warren στις ΗΠΑ. Αυτό αποδεικνύεται από των ΗΠΑ σε λεπτότερη άλεση μιγμάτων.

2.3. Σχεδιασμός.

Βασικά κριτήρια σχεδιασμού των εύκαμπτων οδοστρωμάτων που χρησιμοποιούνται στις μεθοδολογίες διαστασιολόγησης :

(α) Το πάχος την βάσης , υπόβασης και εξυγιαντικής στρώσης πρέπει να είναι τόσο ώστε να αντέξει τις καταπονήσεις από τις διελεύσεις των οχημάτων.

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

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

Ιστορικά ο σχεδιασμός των οδοστρωμάτων είχε ξεκινήσει από δύο σκοπιές. Από την μια υπήρχε η άποψη ότι ο μελετητής μηχανικός πρέπει να αντιμετωπίζει το πρόβλημα αποκλειστικά από την άποψη συμπεριφοράς του οδοστρώματος. Από την άλλη οι εκπαιδευτικοί και ερευνητές υποστήριζαν ότι το πρόβλημα πρέπει να προσεγγίζεται περισσότερο θεωρητικά. Ο ιδανικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι ο μηχανικός να βασίζεται στη θεωρία αλλά και στη πράξη. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιούνται εμπειρικοί μέθοδοι που βασίζονται σε πειραματικά αποτελέσματα πεδίου και παρατηρήσεις από κατασκευασθέντα οδοστρώματα.

Συγκεκριμένα για τον υπολογισμό του πάχους των εύκαμπτων οδοστρωμάτων , χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι, κυρίως εμπειρικοί. Οι κυριότερες εμπειρικοί μέθοδοι εύκαμπτων οδοστρωμάτων είναι η μέθοδος AASHTO των Η.Π.Α και Asphalt Institute των Η.Π.Α.

2.3.1.Μέθοδος σχεδιασμού AASHTO

Η μέθοδος σχεδιασμού AASHTO είναι η συντομογραφία του American Association of State Highway and Transportation Officials(1993) και αναφέρεται σε ένα σύνολο κανονισμών για την διαστασιολόγηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων, όπου ολοκληρώθηκε το 1986 και ισχύει μέχρι σήμερα αν και δεν χρησιμοποιείται τόσο πλέον . Ουσιαστικά είναι η βελτιστοποιημένη έκδοση του πειράματος AASHO του 1972 και της αρχικής μεθοδολογίας του οργανισμού . Χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό κανονικών οδικών δικτύων και αυτοκινητοδρόμων και είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους σχεδιασμού δρόμων και γεφυρών.

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη χρήση του θεωρητικού φορτίου που θα υποστηρίξει ο δρόμος σε συνδυασμό με το επιθυμητό επίπεδο ασφαλείας και αντοχής.

Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον σχεδιασμό οδών:

- 1.Το φορτίο του οχήματος για τον προσδιορισμό του επιθυμητού επιπέδου αντοχής του δρόμου.
- 2.Υλικοί και γεωμετρικοί παράγοντες του δρόμου.
- 3.Συνθήκες λειτουργίας του δρόμου.
- 4.Συνθήκες του εδάφους , κλίμα και συχνότητα βροχοπτώσεων.

Η μέθοδος σχεδιασμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων στοχεύει στον προσδιορισμό του δομικού αριθμού ή αλλιώς στο δείκτη δομικής αντοχής SN (Structural Number) , που είναι ένας αριθμός που προκύπτει από τα παρακάτω στοιχεία :

1.ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

- Κυκλοφοριακός φόρτος

Ο κυκλοφοριακός φόρτος αναφέρεται στο συνολικό βάρος των οχημάτων και των επιβατών που κυκλοφορούν σε μια οδική υποδομή κατά μήκος μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Εκφράζεται ως συνάρτηση του αξονικού φορτίου, του δείκτη λειτουργικότητας (pt) και του δομικού αριθμού (SN). Για νέα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται συντελεστές $Pt=2,5$ και $SN=5$.

Ο αριθμός των ισοδύναμων αξόνων στη λωρίδα μελέτης (W18) ισούται με :

$W18 = DD \times DL \times W18$, όπου :

DD = ποσοστό κατανομής αξόνων ανά κατεύθυνση.

DL = ποσοστό κατανομής αξόνων στη λωρίδα μελέτης.

W18 = συνολικός αριθμός ισοδύναμων αξόνων για όλη την χρονική διάρκεια και στις δύο κατευθύνσεις.

Αναφορικά με τον δείκτη λειτουργικότητας που αναφέρθηκε προηγουμένως, εννοούμε τον δείκτη που συνδέει την λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος και την ποιότητα οδήγησης. Ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 0 (απαράδεκτη ποιότητα οδήγησης) έως 5 (άριστη ποιότητα οδήγησης) . Η τιμή του δείκτη έχει προειδοποιητική χρήση , έτσι όταν η τιμή φτάνει υπό του 2 το οδοστρώματα θεωρείται ότι είναι σε κακή κατάσταση και απαιτείται άμεση αποκατάστασή του. Για νέους αυτοκινητοδρόμους ο δείκτης είναι 2,5.

- Διάρκεια Σχεδιασμού

Η σχεδιαστική διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος χαρακτηρίζεται από την περίοδο ανάλυσης και την περίοδο συμπεριφοράς. Η περίοδος ανάλυσης ζωής ενός οδοστρώματος αφορά την συνολική διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος κατά την οποία συμπεριλαμβάνεται η συντήρηση και η αποκατάσταση του με τις τιμές να υποδεικνύονται στον κάτω πίνακα. Η περίοδος συμπεριφοράς αναφέρεται στη περίοδο κατά την οποία το οδόστρωμα χρειάζεται συντήρηση και όχι αποκατάσταση , που είναι ελάχιστη 10 χρόνια και μέγιστη 15-20 χρόνια.

Πίνακας 1 : Προτεινόμενες περιόδοι ανάλυσης.

Κατηγορία Δρόμου	Περίοδος Ανάλυσης
Αστικοί δρόμοι με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο	30-50 έτη
Υπεραστικοί δρόμοι με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο	20-50 έτη
Ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι μικρού	15-25 έτη

κυκλοφοριακού φόρτου	
Μη ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι μικρού κυκλοφοριακού φόρτου	10-20 έτη

Πηγή : ASSHTO 1993.

- Αξιοπιστία

Εκφράζεται ως η πιθανότητα R ικανοποιητικής συμπεριφοράς του οδοστρώματος σε όλη τη διάρκεια σχεδιασμού του χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι διάφορες μεταβολές που μπορεί να προκύψουν, με τιμές που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2 : Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας.

Κατηγορία δρόμου	Προτεινόμενα επίπεδα αξιοπιστίας R	
	Αστικές περιοχές	Υπεραστικές περιοχές
Αυτοκινητόδρομοι	85-95%	80-99,9%
Κύριες αρτηρίες	80-99%	75-95%
Δευτερεύουσες αρτηρίες	80-95%	75-95%
Δρόμοι τοπικής σημασίας	50-80%	50-80%

Πηγή : ASSHTO 1993.

- Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Λόγω της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων προτείνεται η μείωση της λειτουργικότητας οδοστρώματος ΔPSI η οποία δίνεται από εμπειρικούς τύπους. Ορισμένοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που προκαλούν φθορές στο οδόστρωμα είναι οι εξής:

- Η έκθεση του οδοστρώματος στην υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις στο οδόστρωμα.
- Η χρήση αλατιού κατά τον αποχιονισμό των δρόμων.

- Η συχνή κίνηση των οχημάτων.
- Οι ακραίες κλιματικές συνθήκες όπως χιονοπτώσεις, ακραίες θερμοκρασίες, βροχοπτώσεις, χαλαζοπτώσεις και άλλα.

2.ΣΤΑΘΜΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η λειτουργικότητα του οδοστρώματος περιγράφει την ικανότητα του οδοστρώματος να παρέχει ένα ασφαλές τρόπο κυκλοφορίας με άνεση και οικονομία. Η μεταβολή της λειτουργικότητας με την πάροδο του χρόνου καθορίζει την συμπεριφορά του οδοστρώματος. Για να διατηρηθεί η λειτουργικότητα του οδοστρώματος πρέπει να διασφαλίζεται η συντήρηση του, η αποτελεσματική διαχείριση των οχημάτων και η προσαρμογή στις αλλαγές του περιβάλλοντος.

Η λειτουργικότητα συνδέεται με τον δείκτη λειτουργικότητας PT καθώς αυτός αποτελεί έναν από τους βασικότερους τρόπους μέτρησης απόδοσης του οδοστρώματος.

3.ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Για υλικά όπως βάση και ασφαλτόμιγμα οι μηχανικές ιδιότητες καθορίζονται από το μέτρο ελαστικότητας E , ενώ για το υπέδαφος καθορίζονται από το M_r (μέτρο επανάκτησης) που είναι ένα μέτρο ελαστικότητας. Με βάση τους δομικούς συντελεστές στρώσεων a_i ορίζεται ο συνολικός δομικός συντελεστής SN ως $SN = \sum_{a_i \cdot D}$, όπου D είναι το πάχος των στρώσεων.

4.ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η αποστραγγιστική ικανότητα ενός οδοστρώματος αναφέρεται στην ικανότητα του να αφαιρεί το νερό από την επιφάνειά του κατά τη διάρκεια βροχής ή χιονόπτωσης, προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα και η ασφάλεια του οδοστρώματος. Η αποστραγγιστική ικανότητα αφορά όλες τις στρώσεις εκτός της ασφαλτικής.

2.4. Χρήσεις .

Συνήθως χρησιμοποιούνται σε περιοχές με περιορισμένο όγκο κυκλοφορίας εν αντίθεση με τα δύσκαμπτα οδοστρώματα διότι έχουν μικρότερη αντοχή. Επίσης

εύκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζονται σε περιοχές που αναπτύσσονται ρίζες δέντρων και γενικότερα σε πράσινους χώρους καθώς επιτρέπουν στις ρίζες να αναπτύσσονται χωρίς να προκαλούνται φθορές. Σε περιοχές που η προστασία των χρηστών είναι κύρια ανάγκη όπως εκπαιδευτικές περιοχές ή ποδηλατοδρόμοι συναντάμε εξίσου εύκαμπτα οδοστρώματα λόγω της ομαλής τους επιφάνειας.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε μερικές παραδείγματα οδών που έχει γίνει χρήση εύκαμπτων οδοστρωμάτων :

Στην Ελλάδα:

1. Ορισμένα τμήματα της οδού Αθηνών-Κορίνθου(Εθνική Οδός Α8)
2. Ορισμένα τμήματα τη οδού Αθηνών-Λαμίας(Ε65)
3. Ορισμένα τμήματα της περιφερειακής οδού Αττικής(ΕΟΑ)
4. Η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου: Συνδέει την Πελοπόννησο με την ηπειρωτική Ελλάδα και διαθέτει στροφές προσαρμοσμένες στον ευθύγραμμο σχεδιασμό της.

Στο εξωτερικό:

5. Ορισμένα τμήματα του αυτοκινητόδρομου Α9 Μαύρη Θάλασσα, Ρωσία :Συνδέει την Μόσχα με την Μαύρη Θάλασσα.
6. I-35 W Saint Antony Falls Bridge, Μινεσότα, ΗΠΑ: Πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση της παλιάς γέφυρας που κατέρρευσε το 2007 με έκαμπτα οδοστρώματα που βοηθούν στην απορρόφηση κραδασμών.
7. Οδός Tyre-Sidon , Λίβανος :Άλλη μια χρήση εύκαμπτων οδοστρωμάτων που επιτρέπει την ανάπτυξη των ριζών των δέντρων.

2.5. Κατηγορίες.

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες βάση των υλικών, χαρακτηριστικών και των εφαρμογών τους. Μερικές από αυτές είναι οι εξής:

- Εύκαμπτα Οδοστρώματα (Flexible Pavements): Η βασική κατηγορία ου περιλαμβάνει τρία στρώματα, την ασφαλτική στρώση, την βάση και την υπόβαση.

- **Εύκαμπτα Οδοστρώματα με ενίσχυση (Reinforced Flexible Pavements):** Αυτά τα οδοστρώματα περιλαμβάνουν ενίσχυση από γεωσυνθετικά υλικά που βοηθούν στην αύξηση της αντοχής τους.
- **Εύκαμπτα οδοστρώματα με υψηλή απόδοση(High performance flexible pavements):** Αυτή η κατηγορία επικεντρώνεται στη χρήση προηγμένων υλικών και τεχνολογίας για την βελτίωση της αντοχής, της ασφάλειας και της ανθεκτικότητας των οδοστρωμάτων.
- **Τα κυκλοφοριόπηκτα :** Χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση των συγκοινωνιών και κατατάσσονται στις κατηγορίες των πιο οικονομικών.

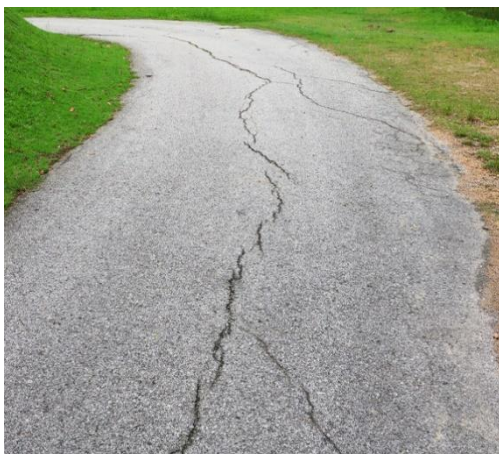
2.6. Φθορές και συντήρηση.

Κατά την διάρκεια της ζωής ενός οδοστρώματος εμφανίζονται εσωτερικές τάσεις μέσα στο σώμα του. Μερικά από τα αίτια εμφάνισης αυτών των τάσεων οφείλονται στη κυκλοφορία , στη κίνηση του εδάφους αλλά και στην μεταβολή της υγρασίας και θερμοκρασίας του σώματος του οδοστρώματος. Οι τάσεις αυτές αρχικά δημιουργούν μικρές φθορές στην επιφάνεια του οδοστρώματος που με την πάροδο του χρόνου μετατρέπονται σε ρηγματώσεις , καθιζήσεις και άλλου είδους καταπονήσεις που θα αναλύσουμε στην συνέχεια.

- **Ρηγματώσεις (cracks) :** δημιουργία σχισμών σε μια επιφάνεια.

ΕΙΔΗ ΡΗΜΑΤΩΣΕΩΝ:

1. **Διαμήκης ρωγμές (longitudinal cracks) :** Ρωγμές παράλληλες με τον άξονα της οδού που προκαλούνται από τον κυκλοφοριακό φόρτο καθώς και την θραύση του υλικού.



Συντήρηση: Πραγματοποιείται με διάστρωση νέας στρώσης και με στραγγιστικά έργα.

Εικόνα 10: Διαμήκης ρωγμές.

2. Εγκάρσιες ρωγμές (transverse cracks) : Ρωγμές κάθετες ως προς τον άξονα του οδοστρώματος λόγω σκλήρυνσης της ασφάλτου ή συστολής σε χαμηλές

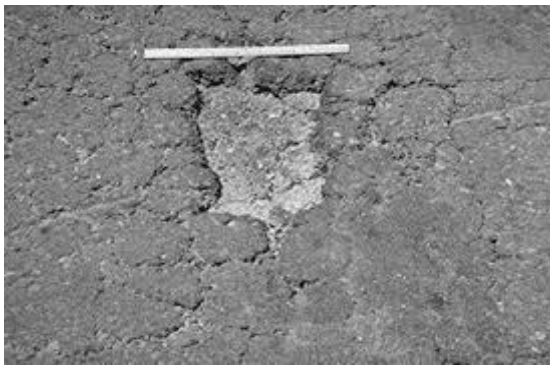


θερμοκρασίες. Το άνοιγμα των ρωγμών για ένα μέσο επίπεδο σοβαρότητας κυμαίνεται μεταξύ 6-19 mm (ο ίδιο ισχύει και για τις διαμήκειες ρωγμές).

Συντήρηση: Διάστρωση νέας ασφαλτικής στρώσης.

Εικόνα 11 : Εγκάρσιες ρωγμές .

3. Ρωγμές ολίσθησης(slip cracks) :Οι ρωγμές αυτές προέρχονται από την ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας εξαιτίας ανεπαρκούς συγκολλητικής επάλειψης , παρουσία χωμάτων ή και νερού στην επιφάνεια των στρώσεων.



Συντήρηση: Επιβάλλεται αποξήλωση του τάπητα τοπικά που έχει αποκολληθεί και πλήρωση ε θερμό ασφαλτόμιγμα μετά από καθαρισμό.

Εικόνα 12 :Ρωγμές ολίσθησης.

4.Ρωγμές τύπου αλιγάτορα(alligator cracks): Η ονομασία αυτή οφείλεται στα πολυγωνικά κομμάτια που σχηματίζονται τα οποία είναι όμοια με το δέρμα του αλιγάτορα. Η φθορά αυτή είναι παράλληλη στη τροχιά των τροχών.



Εικόνα 13 : Ρωγμές τύπου αλιγάτορα.

Αίτια :

- Ανεπαρκής αποστράγγιση.
- Ανεπαρκές πάχος επιφανειακής στρώσης ή βάσης.
- Μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος.
- Μεγάλο βέλος κάμψης που εμφανίζεται λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας και αύξηση της υγρασίας στις στρώσεις του οδοστρώματος.

Συντήρηση: Σε τοπικές ρωγμές συνίσταται τοπική αντικατάσταση (γνωστή ως μπάλωμα) των ασφαλτικών στρώσεων. Σε εκτεταμένες ρωγμές επιβάλλεται αντίστοιχα η εκτεταμένη αντικατάσταση των ασφαλτικών στρώσεων ή η προθήκη νέων στρώσεων επι των παλιών.

Ακραίες ρωγμές (edge cracks) : Διαμήκης ρωγμές συνήθως 30-50 cm στα άκρα του οδοστρώματος με ή χωρίς εγκάρσιες ρωγμές. Αν η φθορά είναι αρκετά σοβαρή μπορεί να μοιάζει με τις ρωγμές τύπου αλιγάτορα.



Εικόνα 14 : Ακραίες ρωγμές.

Αίτια :

- Κακή συμπύκνωση και αποστράγγιση.
- Υποχώρηση υποκείμενων στρώσεων λόγω ξηρασίας του εδάφους, παγετού καθώς και μειωμένου πάχους στρώσεων στα άκρα.

Συντήρηση: Πρώτο βήμα είναι ο καθαρισμός των ρωγμών και στη συνέχεια πλήρωση τους με κατάλληλα τροποποιημένη άσφαλτο. Σε περίπτωση καθίζησης γίνεται πλήρωση των ρωγμών με διάστρωση ψυχρού ή θερμού ασφαλτομίγματος τύπου slurry.

4. Ρωγμές ανάκλασης (reflection cracks): Εμφανίζονται σε ασφαλτικές στρώσεις που έχουν αποκατασταθεί και είναι ποικίλων μορφών και κατευθύνσεων. Οι ρωγμές έχουν κατευθύνσεις που εξαρτώνται από τις παλιές ρωγμές. Το άνοιγμα τους για ένα μέσο επίπεδο σοβαρότητας κυμαίνεται από 6-19 mm.



Εικόνα 15 : Ρωγμές ανάκλασης

Αίτια :

- Οριζόντιες και κάθετες μετακινήσεις του οδοστρώματος λόγω συστολών και διαστολών του υπεδάφους. Οι συστολές και διαστολές οφείλονται στη κάθετη μετακίνηση της πλάκας του οδοστρώματος ή στη κάθετη μετακίνηση των ρηγματωμένων κομματιών της παλιάς επιφάνειας.

Συντήρηση : Στις ρωγμές μικρού ανοίγματος (<3mm) συνιστάται πλήρωση αυτών με άσφαλτο ή σε ασφαλτική επάλειψη για μικρές και μεγάλες ρωγμές. Για ρωγμές μεγάλου ανοίγματος (> 3-5 mm) γίνεται καθαρισμός και στη συνέχεια πλήρωση με άσφαλτο ενώ η ασφαλτική επάλειψη γίνεται εις διπλούν.

7.Ρωγμές πολυγώνου(polygon cracks): Γνωστές και ως ρωγμές συρρίκνωσης δημιουργούν ορθογωνικά κομμάτια εμβαδού 0,1-10 m² στο οδόστρωμα.



Εικόνα 16 : Ρωγμές πολυγώνου.

Αίτια:

- Συστολή του οδοστρώματος όταν εμφανίζονται υψηλές θερμοκρασίες.
- Συρρίκνωση υπεδάφους όταν το πάχος της ασφαλτικής στρώσης είναι μικρό.
- Υψηλό ποσοστό σκλήρυνσης ασφάλτου.

Συντήρηση: Όμοια με τις ρωγμές πολυγώνου.

➤ **Παραμορφώσεις (surface distortion) :** Καταστρέφουν την επιπεδότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος εξαιτίας των καθιζήσεων του εδάφους, της μη συμπίκνωσης του εδάφους καθώς και της χαμηλής ευστάθειας.

ΕΙΔΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

1. **Αυλακώσεις (channel)** : Πρόκειται για διαμήκεις επιφανειακές καθιζήσεις κατά την διεύθυνση της τροχιάς των τροχών των οχημάτων.



Εικόνα 17 : Αυλακώσεις.

Αίτια:

- Παραμένουσες παραμορφώσεις της ασφάλτου.
- Καθίζηση στρώσεων λόγω κακής συμπίκνωσης.
- Πλευρική μετακίνηση στρώσεων ή του ίδιου τάπητα κυκλοφορίας εξαιτίας κυκλοφορίας από τα αξονικά φορτία.

Συντήρηση : Πλήρωση των αυλακώσεων με ασφαλτόμιγμα ή διάστρωση ασφαλτομίγματος μετά από φρεζάρισμα της επιφάνειας του οδοστρώματος.

2. **Κυματώσεις ή ρυτιδώσεις (corrugations)**: Είναι μια μορφή πλαστικής μετακίνησης .με αποτέλεσμα να εξογκώνεται η επιφάνεια υπό μορφή κυματώσεων. Οι κυματώσεις είναι κάθετες στον άξονα του δρόμου και εμφανίζονται σε περιοχές επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων (στάσεις, ανωφέρειες, κατωφέρειες) που δημιουργούνται μεγάλες διατμητικές τάσεις. Όταν το φαινόμενο είναι τοπικό ονομάζεται απώθηση (shoving).



Εικόνα 18 : Κυματώσεις.

Αίτια :

- Χαμηλή ευστάθεια ασφαλτομίγματος λόγω υψηλού ποσοστού ασφάλτου.
- Υψηλό ποσοστό λεπτόκοκκων αδρανών.
- Κενά ασφαλτομίγματος μικρότερα της ελάχιστης επιτρεπόμενης τιμής.

Συντήρηση : Γίνεται φρεζάρισμα της επιφάνειας σε βάθος 30-50 mm και διάστρωση νέων ασφαλτικών στρώσεων εν θερμώ.

3. Τοπικές καθιζήσεις (local depressions) : Αυτές οι καθιζήσεις είναι τοπικού χαρακτήρα και προέρχονται από τοπική καθίζηση υποκείμενων στρώσεων λόγω βαριάς φόρτισης.



Εικόνα 19 : Τοπικές καθιζήσεις.

Αίτια :

- Τοπικές καθιζήσεις υποκείμενων στρώσεων από μεγάλα αξονικά φορτία.
- κακή κατασκευή αυτών ή μείωση της φέρουσας ικανότητάς τους.

Συντήρησή: Πραγματοποιείται είτε με διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος (όταν καθίζηση $>25\text{mm}$), είτε με διάστρωση ψυχρού ασφαλτομίγματος τύπου slurry (όταν καθίζηση $<25\text{mm}$).

4. Τοπικές διογκώσεις(local upheaval) :Οι τοπικές διογκώσεις είναι προς τα πάνω μετακινήσεις του οδοστρώματος και χαρακτηρίζονται από διακλαδισμένες ρηγματώσεις.



Αίτια:

- Διαστολή του εγκλωβισμένου νερού στις υποκείμενες στρώσεις λόγω παγετού.
- Διόγκωση εδαφικών υλικών λόγω υγρασίας.

Εικόνα 20 : Τοπικές διογκώσεις.

Συντήρηση: Παρόμοια με την παραμόρφωση ρωγμών τύπου αλιγάτορα τοπικού χαρακτήρα.

➤ **Αποσαθρώσεις /Αλλοιώσεις** : Η αποσάθρωση ή αποσύνθεση της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι ο θρυμματισμός του σε μικρά κομμάτια. Η αλλοίωση της επιφάνειας του οδοστρώματος ορίζεται γενικά ως κάθε μεταβολή της ασφαλτικής επιφάνειας που μειώνει την λειτουργική της ικανότητα.

ΕΙΔΗ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΕΩΝ/ΑΛΛΟΙΩΣΕΩΝ:

1. Αποκόλληση αδρανών(raveling)

αποκόλληση αδρανών στην επιφάνεια του οδοστρώματος αρχίζει από τα άκρα και προχωρεί προοδευτικά προς το κέντρο δημιουργώντας αρχικά φωλιές που πυκνώνουν και καταλήγουν σε λακκούβες.



Αίτια :

- Ανεπαρκή ποσότητα ασφάλτου,.
- Χρήση μη καθαρών ή σαθρών αδρανών.
- Υπερθέρμανση της ασφάλτου.
- Κατασκευή του τάπητα υπό

βροχή ή κρύο .

Εικόνα 21 : Αποκόλληση αδρανών.

Θεραπεία : Συνίσταται διάστρωση ψυχρού ασφαλτικού μίγματος ή σε επιφανειακές επαλείψεις.

1. **Λακκούβες(rotholes) :** Είναι σε σχήμα κυπέλλου ή λεκάνης με ελάχιστη διάσταση επιφάνειας 150 mm και μέσο βάθος μέσης σοβαρότητας 25 - 50 mm.



Αίτια:

- Έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα.
- Μειωμένο πάχος του τάπητα κυκλοφορίας.
- Μη καλή αποστράγγιση της οδού
- Αποκόλληση αδρανών από την επιφάνεια.

Εικόνα 22 : Λακκούβες.

Συντήρηση : Πραγματοποιείται είτε καθαρισμός και πλήρωση της λακκούβας με θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα (προσωρινή λύση), είτε κόψιμο και τετραγωνισμός της λακκούβας, καθαρισμός, πλήρωση με ψυχρό ή θερμό ασφαλτόμιγμα και κυλίνδρωση (οριστική λύση).

1. Εξίδρωση : Ορίζεται η ανάδυση ασφάλτου και η εμφάνισή της στην επιφάνεια η οποία εμφανίζεται γυαλιστερή και κολλώδης. Εντοπίζεται στη τροχιά των τροχών (αυλάκωση) ή σε όλη την λωρίδα κυκλοφορίας.



Εικόνα 23 : Επίπεδα σοβαρότητας του φαινομένου εξίδρωσης της ασφάλτου.

ΑΙΤΙΑ:

- Υπερβολικό ποσοστό συνδετικού υλικού.
- Υψηλές θερμοκρασίες.

Θεραπεία: συνίσταται σε απόξεση και επίστρωση λεπτότητα.

2. Άντληση(pumping) : Είναι το φαινόμενο της ανάδυσης ύδατος και λεπτόκοκκου υλικού στην επιφάνεια κυκλοφορίας λόγω της φόρτισης. Το φαινόμενο είναι εντονότερο σε δύσκαμπτα οδοστρώματα λόγω των αρμών που προσφέρουν διόδους ροής.



ΑΙΤΙΑ:

- Κακή απορροή και αποστράγγιση σε ακατάλληλη σύνθεση των αδρανών.

Θεραπεία: Επιβάλλεται κατασκευή καλής αποστράγγισης.

Εικόνα 24 : Άντληση.

3. Υποβάθμιση μπαλωμάτων(patch degradation): Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, ένας τρόπος θεραπείας φθορών (ρηγματώσεις αλιγάτορα ή λακκούβες) γίνεται με μπαλώματα (patching), δηλαδή, με τοπικές επικαλύψεις. Τα μπαλώματα αυτά με την πάροδο του χρόνου υποβαθμίζονται λόγω κυκλοφοριακής φόρτισης και εμφανίζουν φθορές στην περίμετρο ή/και στο εσωτερικό τους. Η θεραπεία εδώ είναι ίδια με αυτή που εφαρμόζεται σε ρωγμές αλιγάτορα και λακκούβες.



Εικόνα 25 : Τοπική επικάλυψη σε φθορά.

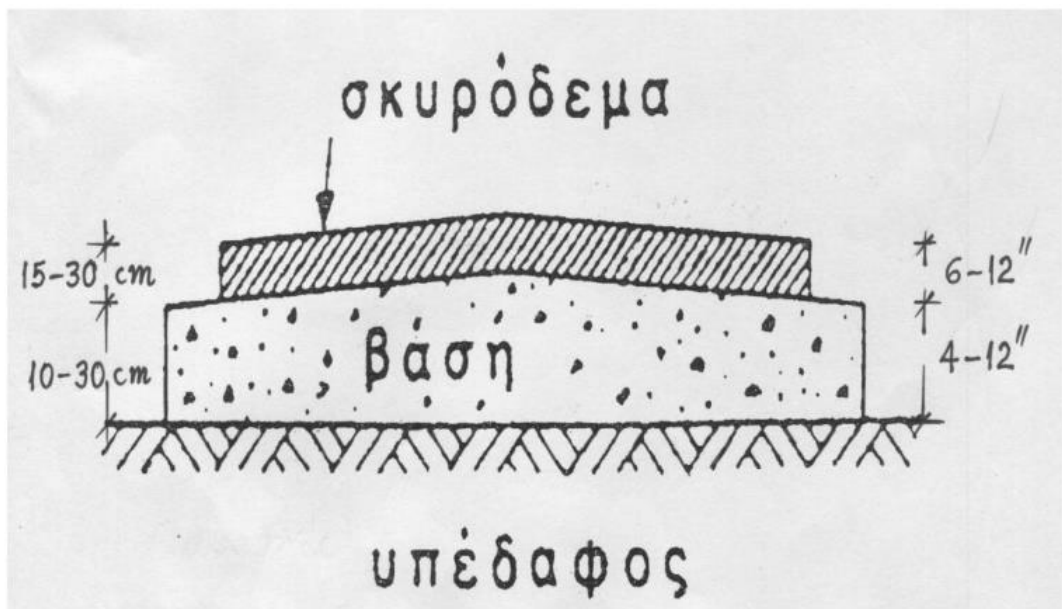
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ.

3.1. Ορισμός.

Δύσκαμπτα ή άκαμπτα οδοστρώματα ονομάζονται τα οδοστρώματα με μεγάλη ακαμψία που κατ' αποκλειστικότητα κατασκευάζεται από σκυρόδεμα (άοπλο ή οπλισμένο). Συχνά ονομάζονται οδοστρώματα από σκυρόδεμα καθώς κατασκευάζονται από σκυρόδεμα τσιμέντου Portland (Portland Cement Concrete , PCC). Συνήθως περιλαμβάνουν μια στρώση υπόβασης ανάμεσα στη πλάκα σκυροδέματος και στο υπέδαφος.

3.2. Δομή.

Οι βασικές δομικές στρώσεις ενός τυπικού δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι δύο. Η μια είναι η στρώση στην οποία θα εδράσει η πλάκα του σκυροδέματος και ονομάζεται υπόβαση (ή βάση) και η άλλη είναι η πλάκα του σκυροδέματος , η επιφάνεια της οποίας είναι η επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος.



Εικόνα 26 : Τυπική δομή δύσκαμπτου οδοστρώματος.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από την στρώση σκυροδέματος, η οποία παίζει ρόλο βάσης και επιφάνειας κυκλοφορίας, και την βάση η οποία αποτελείται από θραυστό ή φυσικό αμμοχάλικο με σκοπό την ομοιόμορφη έδραση της στρώσης

από σκυρόδεμα και την μείωση των υποχωρήσεων που αναπτύσσονται σε αυτή. Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα δεν έχουν μεγάλο αριθμό στρώσεων καθώς το σκυρόδεμα είναι υλικό με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και σημαντική αντοχή σε κάμψη.

Αναλυτικότερα για βάση και πλάκα σκυροδέματος :

ο **ΒΑΣΗ:**

Κατά κανόνα η στρώση βάσης στα δύσκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζεται από σταθεροποιημένα ασύνδετα υλικά που πρέπει να έχουν την απαιτούμενη κοκκομετρική διαβάθμιση. Η κατασκευή της συνήθως παραλείπεται όμως περιλαμβάνεται σε ορισμένες μεθόδους διαστασιολόγησης.

Η κατασκευή της βάσης στα δύσκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιείται διότι:

- Διευκολύνει την κατασκευή .
- Αυξάνει την αντοχή της πλάκας του σκυροδέματος, δηλαδή του οδοστρώματος.
- Αποτρέπει καθιζήσεις στο έδαφος.
- Παρέχει προστασία από τον παγετό.
- Αποτρέπει την άνοδο του νερού λόγω τριχοειδή φαινομένων.

Η στρώση βάσης παρέχει κάποια στατική αντοχή στο σκυρόδεμα όμως η συμβολή της στη φέρουσα ικανότητα ενδέχεται να είναι σχετικά μικρή.

ο **ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Η άνω στρώση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων κατασκευάζεται από σκυρόδεμα, γεγονός που αποτελεί σημαντικό λόγο να αναφερθούν βασικά χαρακτηριστικά του στοιχείου. Το σκυρόδεμα πρόκειται για ένα υλικό που παρουσιάζει υψηλό μέτρο ελαστικότητας και αποτελείται από τσιμέντο, αδρανή υλικά, νερό και σε κάποιες περιπτώσεις από χημικά ή φυσικά πρόσθετα. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά και οι παράμετροι του σκυροδέματος, όπως είναι το μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson, χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του στην φόρτιση που του επιβάλλεται.

Στις κατασκευές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων γίνεται χρήση τσιμέντου Portland. Η αντοχή του σκυροδέματος αυξάνει με το πέρας της ηλικία του γεγονός που επηρεάζεται από τον τύπο τσιμέντου που χρησιμοποιείται. Υπολογίζεται με την μέτρηση της αντοχής σε σύνθλιψη κύβων ή κυλίνδρων σκυροδέματος μετά από συγκεκριμένο μίγμα. Τα δοκίμια αυτά αφήνονται για 28 ημέρες και μετά από καθορισμένες διαδικασίες ελέγχονται. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κατηγορίες σκυροδέματος με βάση την χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού και αντίστοιχα κυβικού δοκιμίου.

Πίνακας 3: Κατηγορίες σκυροδέματος με βάση την αντοχή κυλινδρικού/ κυβικού δοκιμίου (ΚΤΣ 2019)

Κατηγορία αντοχής σε θλίψη	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου $f_{ck,cyl}$ N/mm ² (MPa)	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυβικού δοκιμίου $f_{ck,cube}$ N/mm ² (MPa)
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

3.3. Ιστορική αναδρομή.

Το σκυρόδεμα από τσιμέντο Portland εφευρέθηκε το 1824. Το πρώτο οδόστρωμα από σκυρόδεμα κατασκευάστηκε στο Bellefontaine του Οχάιο το 1891 από τον George W. Bartholomew. Μέρος του οδοστρώματος αυτού είναι σε χρήση ακόμα και θεωρείται το πρώτο επιτυχημένο οδόστρωμα από σκυρόδεμα μεγάλης διάρκειας. Την εποχή εκείνη χρησιμοποιούνταν ο όρος ‘τεχνητός λίθος’ αντί του σημερινού όρου ‘σκυρόδεμα’ και αναμιγνυόταν με το χέρι σε τετραγωνικά καλούπια διάστασης 1,5m. Ο Bartholomew με στόχο να εναρμονίζεται με τα λίθινα οδοστρώματα της

εποχής χάραξε τετράγωνα διάστασης 100mm στην επιφάνεια του οδοστρώματος από σκυρόδεμα, δίνοντας έτσι και καλύτερο πάτημα για τα άλογα. Αργότερα διαστρώθηκαν και άλλοι γνωστοί δρόμοι όπως ο Court Avenue και Opera Street το 1893 και ο Columbus Street και Main Street το 1894. Άλλα οδοστρώματα από σκυρόδεμα που ακολούθησαν ήταν στο Chicago το 1905 που διήρκησε 60 χρόνια και στο Detroit το 1909 που ήταν το πρώτο οδόστρωμα μήκους ενός μιλίου.

Το πάχος της πλάκας σκυροδέματος κυμαινόταν από 15 έως 17 cm. Τα επόμενα χρόνια παρατηρήθηκε αύξηση στη διαθεσιμότητα αυτοκινήτων και κατά συνέπεια αύξηση στη ζήτηση νέων δρόμων. Έτσι το 1913 κατασκευάστηκε κοντά στη Pine Bluff οδόστρωμα από σκυρόδεμα 37km με πάχος 125mm και πλάτος 2,7m , όπου απομεινάρια του διατηρούνται ακόμα. Στη συνέχεια ακολούθησε η κατασκευή οδοστρωμάτων 79km σε αγροτικούς δρόμους του Mississippi και 3.778km στις ΗΠΑ ως το τέλος του 1914.

Με την πάροδο του χρόνου έγιναν όλο και περισσότερες μελέτες σχετικές με τον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων καθώς και των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών. Οπότε ήταν φυσικό επόμενο ο σχεδιασμός να προσαρμοστεί στις σύγχρονες ανάγκες και απαιτήσεις ιδιαίτερα αυτές του κυκλοφοριακού και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη διάφορων μεθόδων διαστασιολόγησης οι οποίες αναλύονται στο παρακάτω κεφάλαιο.

3.4.Σχεδιασμός .

Οι επικρατέστερες μέθοδοι σχεδιασμού δύσκαμπτων οδοστρωμάτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς είναι εμπειρικές (empirical) , μηχανιστικές (mechanistic) ή αναλυτικές και ο συνδυασμός τους (mechanistic-empirical).

Αναφορικά μια εμπειρική μέθοδος που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα είναι η ‘AASHTO93’, όπου θα αναλυθεί και παρακάτω.

Ορισμένες αναλυτικές μέθοδοι θεωρούνται η ‘PCA Design Method’,η οποία χρησιμοποιεί ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και μπορεί να εφαρμοστεί μέσω του λογισμικού Street Pave 12, και η μέθοδος ‘French Rational Design Method for Roads and Highways’ όπου χρησιμοποιεί το κλασικό ελαστικό πολύστρωτο γραμμικό μοντέλο και εφαρμόζεται μέσω του λογισμικού Alize-LCPC software.

Γενικότεροι η μέθοδος που συνδυάζει μηχανιστικές και αναλυτικές μεθόδους βασίζεται στον υπολογισμό της ανταπόκρισης των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων στα φορτία και στη συνέχεια στη σύγκριση και εν τέλη διόρθωση των αποτελεσμάτων μέσω μιας εκτεταμένης βάσης εμπειρικών δεδομένων από μετρήσεις υφιστάμενων οδοστρωμάτων. Χαρακτηριστική μέθοδος που συνδυάζει αναλυτικούς υπολογισμούς και εμπειρία είναι η μηχανιστική εμπειρική μέθοδος της AASHTO: “Mechanistic - Empirical Pavem and Design Guide”, MEPDG [AASHTO, 2008].

3.4.1. Μέθοδος σχεδιασμού AASHTO93.

Η μέθοδος σχεδιασμού AASHTO93 αποτελεί μια εμπειρική μέθοδος σχεδιασμού δύσκαμπτων οδοστρωμάτων η οποία βασίζεται στην ανάλυση των πειραματικών οδοστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια του οδικού πειράματος AASHTO (‘AASHTO Road Test’, 1962).

Ιστορικά τώρα, η πρώτη έκδοση του οδηγού διαστασιολόγησης έγινε το 1961. Στη συνέχεια το 1972 έγιναν ορισμένες αναθεωρήσεις (“Evaluation of AASHTO Guide of Design of Pavement Structures”, NCHRP Report 128) και εν τέλη το 1993 πήρε την τελική του μορφή (AASHTO “Guide for Design of Pavement Structures”) και συνοπτικά αποκαλείται AASHTO93.

Στόχος της είναι ο προσδιορισμός του πάχους πλάκας σκυροδέματος , που επιτυγχάνεται μέσω διάφορων σχεδιαστικών παραμέτρων με σημαντικότερους το μέτρο αντίδρασης υπεδάφους , το μέτρο θραύσης σκυροδέματος και τους ισοδύναμους τυπικούς άξονες.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ:

1. Κυκλοφοριακός φόρτος (ESAL), όπως στο υποκεφάλαιο 2.3.1.

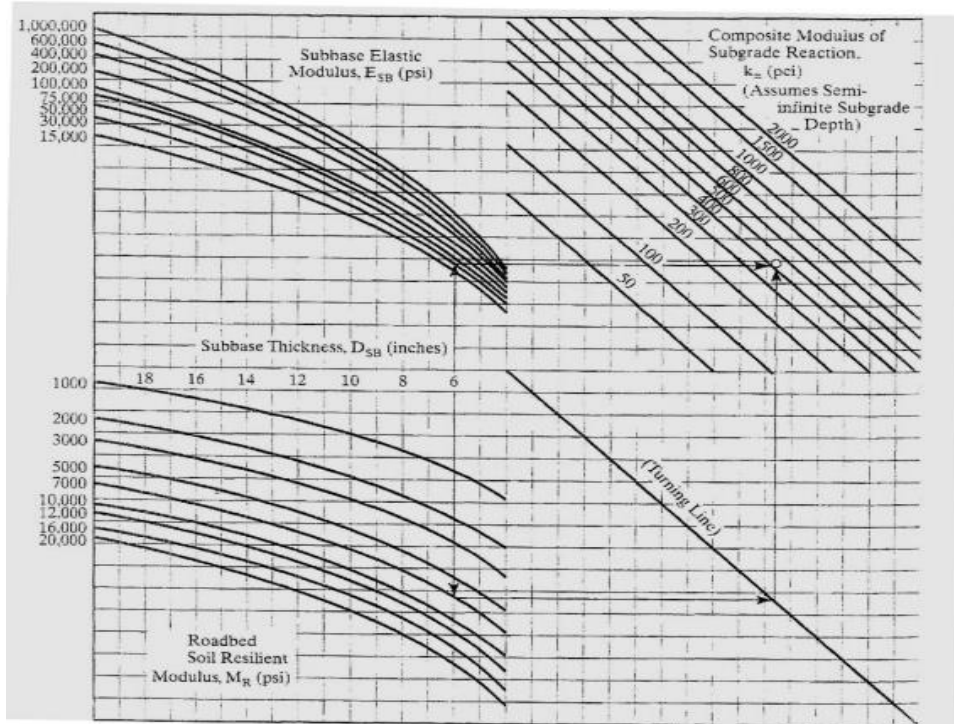
2. Διάρκεια σχεδιασμού, όπως στο υποκεφάλαιο 2.3.1.

3. Αξιοπιστία R και τυπική απόκλιση S_o , όπως στο υποκεφάλαιο 2.3.1.

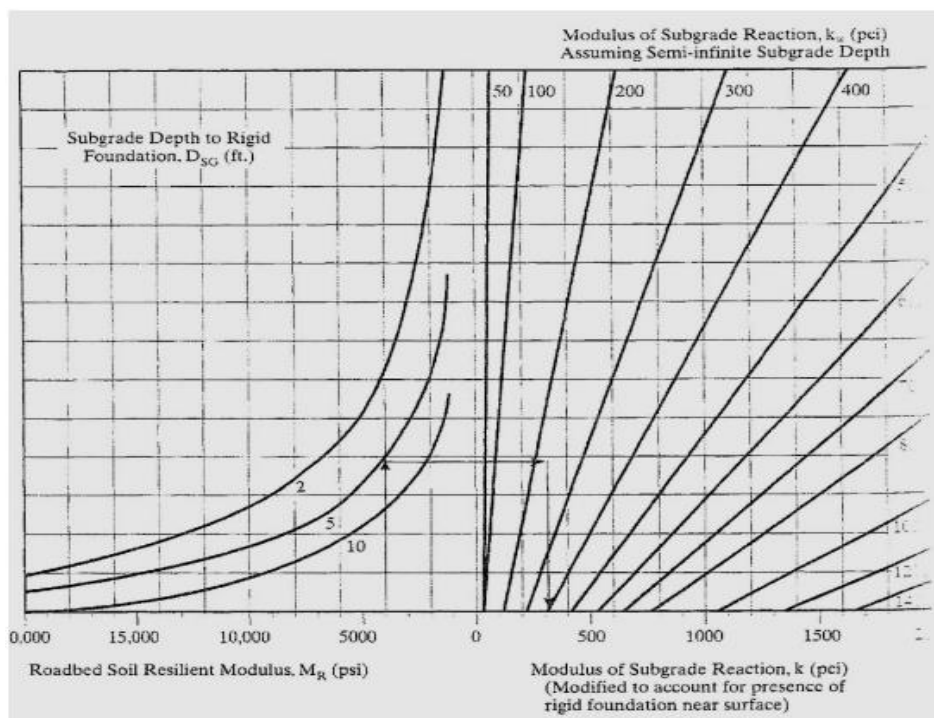
4. Παρών δείκτης λειτουργικότητας ΔPSI, όπως στο υποκεφάλαιο 2.3.1.

57 5. Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $E_c = 57000(f_c')^{0.5}$, σε psi, όπου f_c' είναι η θλιπτική αντοχή του σε psi.

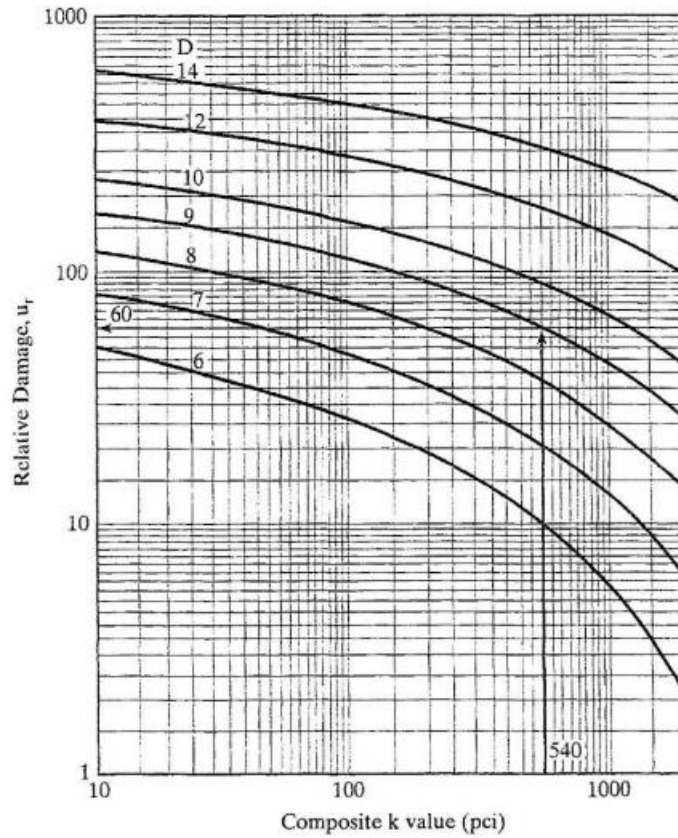
6. Μέτρο καμπτικής αντοχής σκυροδέματος (modulus of rupture) S_c σε psi.
7. Εποχιακό μέτρο επανάκτησης M_R του υπεδάφους (συνήθως για κάθε μήνα).
8. Εποχιακό μέτρο ελαστικότητας E_{SB} υπόβασης (συνήθως για κάθε μήνα).
9. Μέτρο αντίδρασης k του υπεδάφους. Ο υπολογισμός του k γίνεται με τη βοήθεια της παρακάτω διαδικασίας :
 - i) Το k αρχικά υπολογίζεται για κάθε μήνα με τη βοήθεια του νομογραφήματος του Σχ.1 για γνωστές τιμές των M_R , E_{SB} και του πάχους D_{SB} της υπόβασης. Το k αυτό ονομάζεται σύνθετο k_{∞} διότι αντιστοιχεί σε σύστημα υπόβασης-υπεδάφους και το υπέδαφος αυτό είναι ο ελαστικός ημίχωρος που εκτείνεται στο άπειρο. Αν δεν υπάρχει υπόβαση, τότε $k=M_R/19.4$.
 - ii) Αν υπάρχει βραχώδες υπόστρωμα κοντά στην επιφάνεια του υπεδάφους (μέχρι και 10ft), υπολογίζεται νέο διορθωμένο k από το νομογράφημα του Σχ.2.
 - iii) Υπολογίζεται ο συντελεστής σχετικής βλάβης της πλάκας U_r με τη βοήθεια του νομογραφήματος του Σχ.3, για την τιμή του σύνθετου (διορθωμένου) k του βήματος (ii) και την υπόθεση ενός προσεγγιστικού πάχους D της πλάκας. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους 12 μήνες ενός έτους και προσδιορίζεται το U_r ως μέσος όρος των $12u_r$.
 - iv) Με βάση το μέσο U_r χρησιμοποιώντας πάλι το νομογράφημα του Σχ.3 βρίσκει κανείς την ενεργό τιμή του μέτρου αντίδρασης k .
 - v) Τέλος, χρήση του νομογραφήματος του Σχ.7.4 και γνώση του συντελεστή απώλειας φέρουσας ικανότητας στρώσης έδρασης πλάκας L_S (με τιμές από 0.0 ως 3.0 για διάφορα υλικά της έδρασης πλάκας και μέση τιμή 1.5) δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού του διορθωμένου ενεργού μέτρου αντίδρασης (που είναι η σωστή τιμή του k που ζητούσε κανείς) ως συνάρτηση του ενεργού k που προέκυψε από το βήμα (iv).
10. Συντελεστής μεταφοράς J , ο οποίος εκφράζει την δυνατότητα της πλάκας σκυροδέματος να μεταφέρει φορτίο μέσω αρμών και ρωγμών με τη βοήθεια των ράβδων ενίσχυσης και σύνδεσης. Μία χαρακτηριστική τιμή του J είναι 3.0.
11. Συντελεστής αποστράγγισης C_d που κυμαίνεται μεταξύ 0.70 και 1.25 με την τιμή 1.0 να αποτελεί μία καλή ενδιάμεση τιμή.



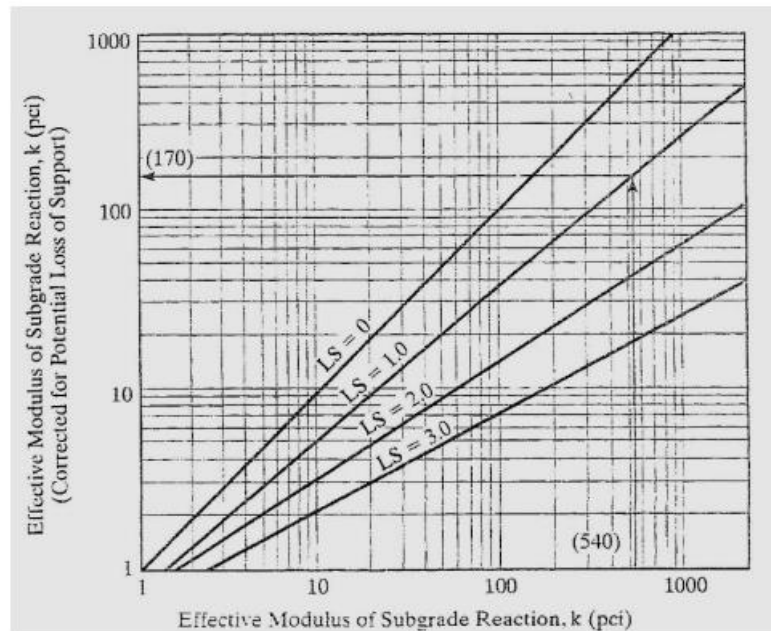
Διάγραμμα 1: Νομογράφημα υπολογισμού του μέτρου αντίστασης k του υπεδάφους κατά AASHTO (1993).



Διάγραμμα 2: Νομογράφημα υπολογισμού του τροποποιημένου μέτρου αντίδρασης k του υπεδάφους κατά AASHTO (1993).

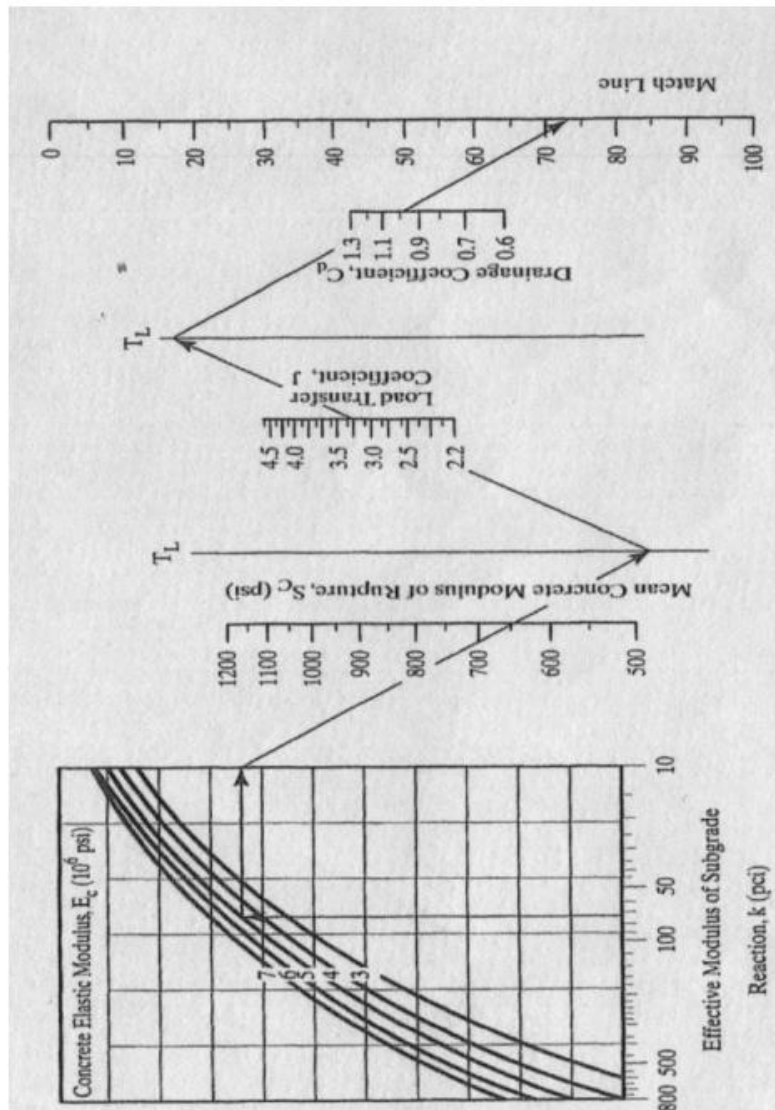


Διάγραμμα 3: Νομογράφημα υπολογισμού της σχετικής βλάβης u_r δύσκαμπτων οδοστρωμάτων συναρτήσει του σύνθετου μέτρου αντίδρασης k του υπεδάφους κατά AASHTO (1993).

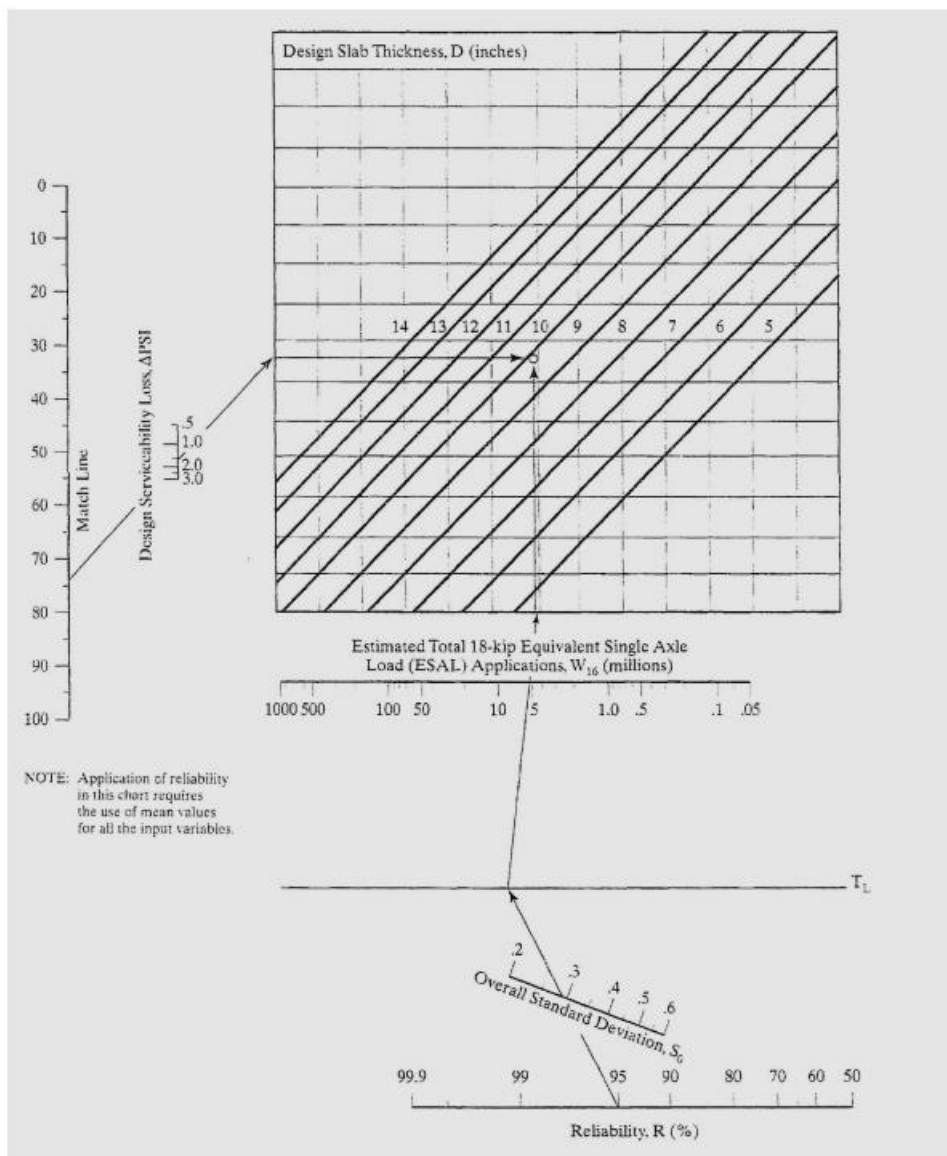


Διάγραμμα 4.: Διόρθωση του ενεργού μέτρου αντίδρασης υπεδάφους λόγω απώλειας επαφής του θεμελίου (από Huang, 2004).

Για τον προσδιορισμό του πάχους της πλάκας σκυροδέματος γίνεται χρήση των σχημάτων 5 και 6 με βάση το μέτρο αντίστασης υπεδάφους k που υπολογίστηκε παραπάνω, το μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος E_c , την θλιπτική αντοχή σκυροδέματος S_c , τους συντελεστές μεταφοράς J και αποστράγγισης C_d , τον δείκτη απώλειας λειτουργικότητας ΔPSI , την αξιοπιστία R , την τυπική απόκλιση S_o και τον συνολικό αριθμό ESAL. Το πάχος που θα βρεθεί θα πρέπει να συγκριθεί με αυτό που υποτέθηκε από το βήμα (iii) του υπολογισμού του k και σε περίπτωση που βρεθεί διαφορά θα πρέπει να επαναληφθούν οι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5 Νομογράφημα υπολογισμού πλάκας σκυροδέματος δύσκαμπτου οδοστρώματος κατά AASHTO (1993)



Διάγραμμα 6: Νομογράφημα υπολογισμού πλάκας σκυροδέματος δύσκαμπτου οδοστρώματος κατά AASHTO (1993)

3.5. Χρήσεις.

Δύο από τα βασικά χαρακτηριστικά των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι η αντοχή τους και η ακαμψία τους. Για αυτό τον λόγο η χρήση τους προτιμάται σε έργα με μεγάλη διέλευση φορτίων και με σημαντικά μεγάλες καταπονήσεις. Οι υποδομές λοιπόν που συναντάται η χρήση τους είναι λιμενικά έργα, σταθμοί διοδίων και αυτοκινητόδρομοι με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο, όπου τα οδοστρώματα τους εδράζονται σε ευπαθή εδάφη που παρουσιάζουν φαινόμενα καθιζήσεων και παραμορφώσεων. Μια άλλη σημαντική εφαρμογή είναι τα δάπεδα αεροδρομίων,

όπου είναι οδοστρώματα από άοπλο ή ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι περισσότεροι ευρωπαϊκοί αυτοκινητόδρομοι αλλά και οι αυτοκινητόδρομοι στη Κίνα είναι κατασκευασμένοι από δύσκαμπτο σκυρόδεμα για την αντιμετώπιση του μεγάλου κυκλοφοριακού φόρου που όλο και αυξάνεται. Σε έρευνα που έγινε από το World Road Association από 35 χώρες τα δύσκαμπτα οδοστρώματα έχουν συνολικό μήκος 2,1 εκατομμύρια χιλιόμετρα.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες περιπτώσεις χρήσης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων:

Στην Ελλάδα :

- 1.Οδός Πελοποννήσου(ΠΑΘΕ): η οδός που διασχίζει την Πελοπόννησο έχει πολλά τμήματα κατασκευασμένα από δύσκαμπτο οδόστρωμα.
- 2.Οδός Ολυμπίας οδού(E65): Σε ορισμένα τμήματα της διαδρομής από την Πάτρα προς τον Πύργο υπάρχουν δύσκαμπτα οδοστρώματα.
- 3.Οδός Ιεράπετρας-Σητείας: Γνωστός και ως Εθνικός οδικός άξονας ανατολικής Κρήτης, κατασκευάστηκε με τεχνολογία οπλισμένου σκυροδέματος και περιλαμβάνει αρκετά τούνελ.

Στο εξωτερικό:

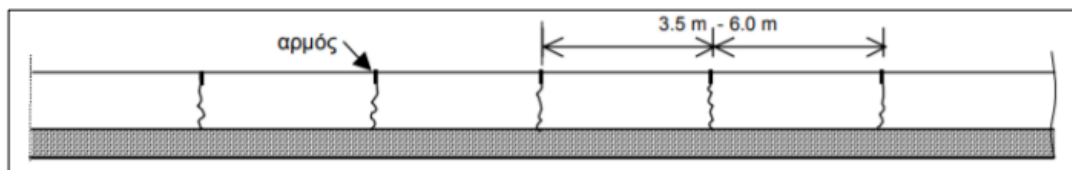
- 1.Great Ocean road,Αυστραλία: Οδός στη νότια ακτή τις Αυστραλίας με πολλές στροφές.
- 2.Stelvio Pass,Ιταλία: Ένας από τους υψηλότερους δρόμους στην Ευρώπη με 48 στροφές σε κοντινή απόσταση.
- 3.Καρακόρουμ Highway, Πακιστάν: Αυτός ο δρόμος είναι γνωστός για τις απότομες στροφές του και τα ανήφορα τμήματα. Έχει κατασκευαστεί σε ανήφορα τοπία με δύσκαμπτο οδόστρωμα για να συνδέει το Πακιστάν με την Κίνα.

3.6. Κατηγορίες.

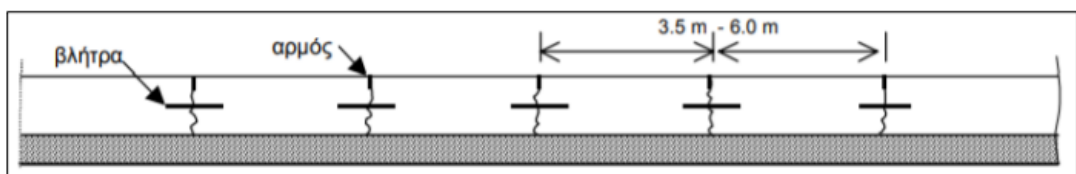
Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα από σκυρόδεμα χωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους για τον έλεγχο ρηγματώσεων και παρουσιάζονται παρακάτω:

- Άοπλο οδόστρωμα από σκυρόδεμα(Jointed Plain Concrete Pavement)

Είναι ο πιο κοινός τύπος δύσκαμπτου οδοστρώματος. Τα άοπλα οδοστρώματα από σκυρόδεμα αποτελούνται από πλάκες σκυροδέματος χωρισμένες με αρμούς συστολής κάθε 3,5 με 6 μέτρα. Η μεταφορά του φορτίου στους αρμούς επιτυγχάνεται είτε από την τριβή που δημιουργούν τα αδρανή που περιέχονται στο σκυρόδεμα είτε τοποθετούνται μεταλλικά βλήτρα(βλήτρα: κυλινδρικό στέλεχος συνήθως από μέταλλο με πεπλατυσμένη την μια άκρη που χρησιμοποιείται για συνδέσεις και στερεώσεις.). Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι υποχρεωτική η κατασκευή βλήτρων.



Εικόνα 27 : Διατομή οδοστρώματος από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς χωρίς βλήτρα (Jointed Plain Concrete Pavement)

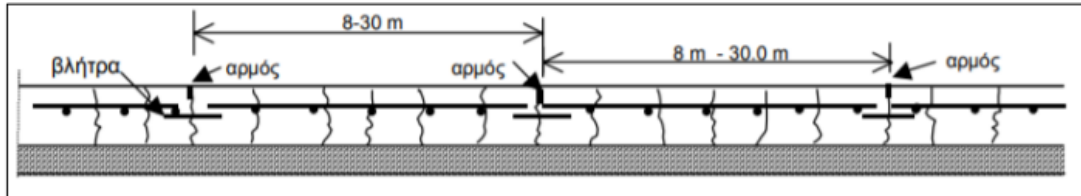


Εικόνα 28 : Διατομή οδοστρώματος από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς ενισχυμένους με βλήτρα (JPCP: “Jointed Plain Concrete Pavement”)

- Οδοστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα(Jointed Reinforced Concrete Pavement)

Τα οδοστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα φέρουν ελαφρύ οπλισμό στις πλάκες μεταξύ των αρμών συστολής που κατασκευάζονται κάθε 7,5-9 μέτρα και

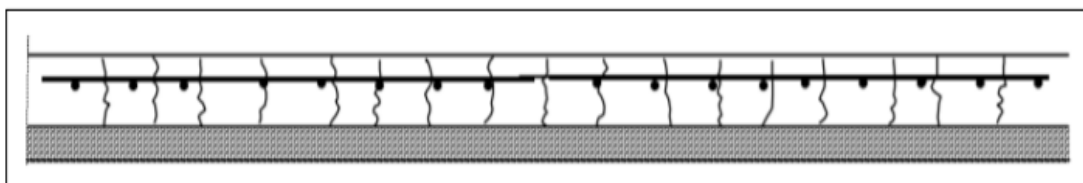
τοποθετούνται βλήτρα στους αρμούς. Σε βάθος χρόνου παρουσιάζουν αρκετές φθορές οπότε έχουν πάψει να το χρησιμοποιούν πολλές εταιρίες.



Εικόνα 29 : Διατομή οπλισμένου σκυροδέματος με αρμούς.

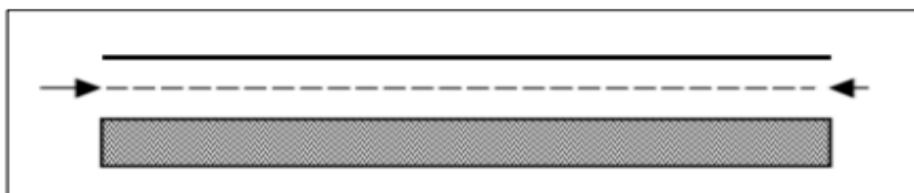
- Οδοστρώματα από σκυρόδεμα χωρίς αρμούς με συνεχή οπλισμό (Continuously Reinforced Concrete Pavement)

Τα συνεχώς οπλισμένα οδοστρώματα από σκυρόδεμα είναι τα πιο ανθεκτικά και ακριβά στην κατασκευή αλλά λειτουργούν υποδειγματικά κάτω από μεγάλο κυκλοφοριακό φορτίο και ξεπερνούν κατά πολύ την διάρκεια ζωής για την οποία σχεδιάστηκαν. Κατασκευάζονται κυρίως σε υπεραστικές οδούς μεγάλης κυκλοφορίας με πολύ καλά αποτελέσματα. Στις Βρυξέλες οδόστρωμα CRCP που κατασκευάστηκε το 1950 βρίσκεται ακόμα σε κυκλοφορία. Σε αυτά τα οδοστρώματα εμφανίζονται ρωγμές με μεταξύ τους αποστάσεις 1,1 έως 2,4m χωρίς όμως να δημιουργείται φθορά στο οδόστρωμα που συγκρατείται από τον οπλισμό.



Εικόνα 30 : Διατομή οδοστρώματος από σκυρόδεμα χωρίς αρμούς με συνεχή οπλισμό

- Οδοστρώματα από προεντεταμένο σκυρόδεμα (Prestressed Concrete Pavement)



Εικόνα 31 : Διατομή οδοστρώματος από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

- Οδοστρώματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα(RCCP).

Τα οδοστρώματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα είναι ένα μίγμα σκυροδέματος με μικρή περιεκτικότητα σε νερό, η οποία καθορίζεται με κριτήριο την όσο το δυνατόν καλύτερη συμπίκνωση του υλικού με οδοστρωτήρες. Αν και μοιάζει με αμμοχάλικο κατεργασμένο με τσιμέντο η περιεκτικότητα σε τσιμέντο είναι διπλάσια ή τριπλάσια και η σύνθεση των συγκεκριμένων υλικών. Η επιφάνεια κύλισης του είναι κατάλληλη για στρώση κυκλοφορίας σε δρόμους με μικρή ταχύτητα κίνησης των οχημάτων, όπως είναι οι βιομηχανικοί, αγροτικοί και δασικοί δρόμοι. Ενώ για δρόμους μεγάλων ταχυτήτων απαιτείται ξεχωριστή στρώση κυκλοφορίας (ΕΛΟΤ 2012).

Αξίζει να σημειωθεί ότι από τους παραπάνω τύπους σκυροδέματος εκείνος που χρησιμοποιείται ευρέως είναι τα οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς ή χωρίς βλήτρα (JPCP) καθώς η συντήρηση αλλά και το αρχικό κόστος κατασκευής τους χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος.

3.7.Φθορές και Συντήρηση.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα παρουσιάζουν ορισμένες αστοχίες οι οποίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, λειτουργικές και δομικές.

Οι λειτουργικές βλάβες οφείλονται σε φθορές στη πλάκα σκυροδέματος και αναφέρονται κυρίως στη ποιότητα των υλικών και στις εξωγενείς επιδράσεις. Έχουν λειτουργικό χαρακτήρα και μερικές από αυτές είναι :

- (α) αποσάθρωση λόγω παγετού
- (β) επιφανειακή αποσύνθεση λόγω χρήσης ακατάλληλων υλικών
- (γ) αποσύνθεση λόγω χημικών αντιδράσεων
- (δ) απολέπιση λόγω χρήσης αλατιού σε περίοδο παγετού
- (ε) ρωγμές συστολής κατά την σκλήρυνση του τσιμέντου

Οι δομικές φθορές αφορούν την ανεπάρκεια και ακαταλληλότητα της φέρουσας ικανότητας του συστήματος ‘πλάκα σκυροδέματος-υπόβαση-έδαφος έδρασης’. Οι αστοχίες αυτές εκδηλώνονται ως εξής :

- (α) φαινόμενα άντλησης και εμφάνισης ύδατος στην επιφάνεια κυκλοφορίας
- (β) διαμπερείς ρωγμές σε διάφορες θέσεις της πλάκας
- (γ) δημιουργία ανισοστάθμιας (faulting) στις θέσεις αρμών
- (δ) κατασκευαστικές βλάβες λόγω κακής διάταξης συνδετήριων ράβδων
- (ε) ρωγμές λόγω καμπτικών ροπών
- (ζ) τοπική ανύψωση πλακών κατά μήκος του αρμού (buckling)

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα γενικότερα παρουσιάζουν λιγότερες φθορές τόσο από πλευράς φέρουσας ικανότητας όσο και από πλευρά φορτίων. Ορισμένα είδη φθορών που εμφανίζονται στα ασφαλικά οδοστρώματα είναι η αποσάθρωση ,ρωγμές , παραμορφώσεις καθώς και ειδικές βλάβες όπως ανεπάρκεια αρμών και ο θρυμματισμός αρμών.

➤ Ρηγματώσεις

1. **Γωνιακές Ρωγμές (corner cracks):** Ρωγμές με τριγωνικό σχήμα. Εμφανίζονται στις γωνίες των πλακών και αν δεν συντηρηθούν το σχηματιζόμενο τριγωνικό κομμάτι της πλάκας θα αποκοπεί.



ΑΙΤΙΑ:

- Κακή στήριξη της πλάκας στη βάση ή στο έδαφος.
 - Αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος.

Εικόνα 32: Γωνιακές ρωγμές.

Συντήρηση και Θεραπεία : Η συντήρηση περιλαμβάνει καθαρισμό των ρωγμών με ελαστομερές υλικό. Σε περίπτωση όπου το τριγωνικό κομμάτι από την πλάκα τότε απομακρύνεται και την θέση του καταλαμβάνει ελαστομερές ασφαλικό υλικό αν το κομμάτι είναι μικρό αλλιώς με ασφαλτόμιγμα αν το κομμάτι είναι μεγάλο.

2. Διαμήκεις Ρωγμές(longitudinal cracks): Αυτές είναι ρωγμές παράλληλες προς τον άξονα του οδοστρώματος .

ΑΙΤΙΑ:

- Συστολή της πλάκας και διαστολή της υποκείμενης στρώσης.
- Ασθενής στήριξη της πλάκας από το έδαφος.

Συντήρηση: Παρόμοια με την συντήρηση των διαμηκών ρωγμών.

3.Εγκάρσιες Ρωγμές(transverse cracks): Οι ρωγμές αυτές έχουν εγκάρσια διεύθυνση ως προς τον άξονα του οδοστρώματος και εμφανίζονται στο κέντρο της πλάκας.

ΑΙΤΙΑ:

- Υψηλές καμπτικές τάσεις.
- Έλλειψη αρκετών εγκάρσιων αρμών.
- Ασθενές υπέδαφος.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: Όμοια συντήρηση με αυτή των διαμηκών ρωγμών.

4.Καμπύλες Ρωγμές(curved cracks): Το σχήμα που συναντιούνται είναι ημισελήνου και η μια είναι κοντά στην άλλη. Συνήθως βρίσκονται πλησίον αρμών, υπάρχον ρωγμών , ελεύθερων πλευρών της πλάκας και ξεκινούν από γωνίες της πλάκας.

ΑΙΤΙΑ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: Όμοια με την περίπτωση των γωνιακών ρωγμών.

➤ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ:

1.Καθιζήσεις (subsidence): Η καθίζηση είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο ένα τμήμα εδαφικής μάζας του φλοιού της γης υποχωρεί και μετατοπίζεται κατακόρυφα προς τα κάτω. Στις πλάκες του οδοστρώματος παρατηρούνται καθιζήσεις μικρού και μεγάλου μεγέθους.



Εικόνα 33 : Καθίζηση οδοστρώματος.

ΑΙΤΙΑ:

- Ανεπαρκής μεταφορά του φορτίου από πλάκα σε πλάκα μέσω των ράβδων σύνδεσης.
- Συστολή και διαστολή του υπεδάφους.
- Άντληση λεπτόκοκκων αδρανών μέσω ατελών αρμών.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: Οι καθιζήσεις μικρού μεγέθους αντιμετωπίζονται με ασφαλτόμιγμα τύπου slurry. Οι καθιζήσεις μεγάλου μεγέθους με πρόσθετη στρώση ασφαλτοτάπητα πάνω σε μια ισοπεδωτική στρώση.

Σχετικά με την συντήρηση της άντλησης των λεπτόκοκκων αδρανών , πραγματοποιείται πλήρωση των κενών που έχουν δημιουργηθεί με ειδικό ασφαλτόμιγμα με την χρήση αντλίας για την εφαρμογή του.

➤ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΕΙΣ

1.Αποκόλληση αδρανών(ravelling) : Είναι φθορά που χαρακτηρίζεται από σταδιακή αποκόλληση επιφανειακών αδρανών, βάθους μικρότερου των 25 mm, από το οδόστρωμα. Η επιφάνεια του οδοστρώματος γίνεται τραχύτερη και συχνά δημιουργούνται λακκούβες.

ΑΙΤΙΑ:

- Κακή ανάμιξη του σκυροδέματος και πήξη του σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Χρήση ακατάλληλων αδρανών.
- Χρήση άλατος για την αποφυγή παγετού την εποχή του χειμώνα.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: Όταν η αποκόλληση των αδρανών είναι βάθους μικρότερου των 25mm η συντήρηση ολοκληρώνεται με την διάστρωση ψυχρού ασφαλτομίγματος τύπου slurry. Σε περίπτωση η αποκόλληση των επιφανειακών αδρανών έχει ξεπεράσει το βάθος μεγέθους 25 mm , τότε πραγματοποιείται διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος ή σκυροδέματος με τσιμέντο Portland.

2.ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΩΝ (spalling): Θρυμματισμός είναι η αλλοίωση των αιχμηρών ακρών των πλακών του οδοστρώματος κατά μήκος κάθε πλευράς ρωγμής. Εμφανίζεται όταν ένα θραύσμα αποκόπτεται κατά μήκος των ακρών των ρωγμών του οδοστρώματος. Έτσι εφόσον υπάρχει αποκόλληση τμημάτων του σκυροδέματος απαιτείται αποκατάσταση του οδοστρώματος.



ΑΙΤΙΑ:

- Διαστολή πλακών.
- Διόγκωση του υπεδάφους.
- Τοποθέτηση χαλκικών στους αρμούς ή στις ρωγμές με αποτέλεσμα το σπάσιμο της πλάκας σε αυτά τα σημεία.

Εικόνα 34 :Θρυμματισμός πλακών.

ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ: Η αποκατάσταση γίνεται με δύο τρόπους. Στον ένα τρόπο αρχικά απομακρύνονται τα θρυμματισμένα κομμάτια και βάζονται τα τοιχώματα με ασφαλτικό γαλάκτωμα. Στη συνέχεια πραγματοποιείται διάστρωση με ασφαλτόμιγμα. Αντίστοιχα μετά από απομάκρυνση θρυμματισμένων κομματιών και καθαρισμό , διαστρώνεται νέα στρώση από σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland. Στη

περίπτωση που υπάρχουν λίγες πλάκες γίνεται ανακατασκευή των πλακών με σκυρόδεμα από τσιμέντο Portland.

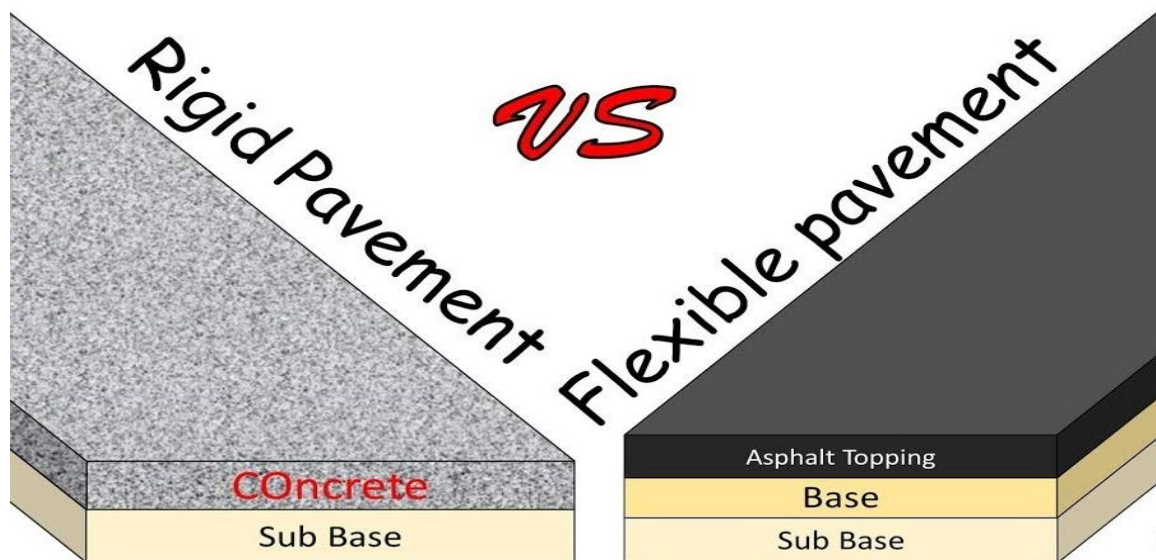
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ-ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ

ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε όλους τους παραπάνω τομείς κάνοντας σύγκριση μεταξύ ευκάμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Τελικός μας στόχος είναι να καταλήξουμε στο προτιμότερο οδόστρωμα για τις εκάστοτε ανάγκες.

4.1.Δομή.

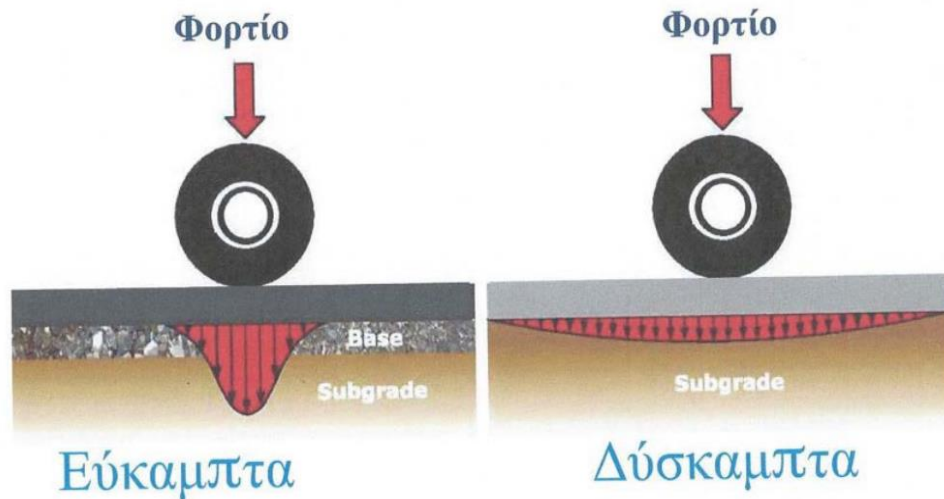
Χαρακτηριστική διαφορά στη δομή μεταξύ εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι ότι τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από περισσότερες στρώσεις. Συγκεκριμένα αποτελούνται από την βάση, την υπόβαση, τις ασφαλτικές στρώσεις ενώ τα δύσκαμπτα οδοστρώματα από την βάση και την πλάκα σκυροδέματος.



Εικόνα 35: Εύκαμπτο – Δύσκαμπτο οδόστρωμα (στρώσεις).

Το πάχος των στρώσεων που αποτελούνται τα εύκαμπτα οδοστρώματα πρέπει να είναι τόσο ώστε οι δυνάμεις που μεταβιβάζονται σε μεγαλύτερη συνεχώς επιφάνεια να μειωθούν, μέχρι να γίνουν ανεκτές από το έδαφος έδρασης του οδοστρώματος.

Σύμφωνα και με το όνομα τους τα εύκαμπτα οδοστρώματα λυγίζουν υπό φόρτιση κάτι που θέλουμε να αποφεύγεται. Εν αντιθέσει τα δύσκαμπτα οδοστρώματα λόγω της πλάκας σκυροδέματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακαμψία η οποία παρέχει σταθερή επιφάνεια που δεν παρουσιάζει εύκολα φθορές οι οποίες οφείλονται για την εμφάνιση λακκουβών στην επιφάνεια του.



Εικόνα 36: Διαφορά μεταβίβασης των φορτίων ανάμεσα σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα.

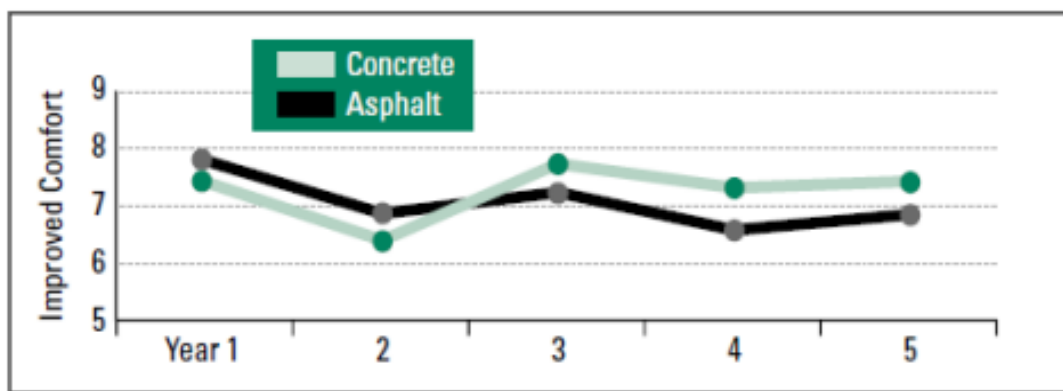
4.3.Χρήσεις και ασφάλεια.

Γενικά λόγω της δομής και της αντοχής τους τα δύσκαμπτα συναντώνται κυρίως σε υψηλής κυκλοφορίας οδούς, δρόμους με έντονες κλίσεις και υψηλές αντισεισμικές απαιτήσεις ενώ τα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται περισσότερο σε χαμηλής κυκλοφορίας οδούς. Ο θόρυβος αποτελεί έναν παραπάνω λόγο που τα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται συχνότερα σε χαμηλής κυκλοφορίας οδούς όπως σε γειτονικούς οδούς. Μια έρευνα που πραγματοποίησε το Department of Transportation and Public Works (TPW) της επαρχίας Nova Scotia του Καναδά απέδειξε ότι ο θόρυβος λόγω κυκλοφορίας στα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι μεγαλύτερος της τάξεως των 2-4Db από ότι στα εύκαμπτα οδοστρώματα. Στα ασφαλτικά οδοστρώματα ο θόρυβος είναι μικρότερος λόγω των λεπτών στρώσεων της ασφάλτου που αποτελείται. Ωστόσο γίνεται προσπάθεια για την ανάπτυξη

μεθόδων που θα λύσουν το πρόβλημα του θορύβου από διάφορους φορείς όπως τη Cement Association of Canada και την American Concrete Pavement Association.

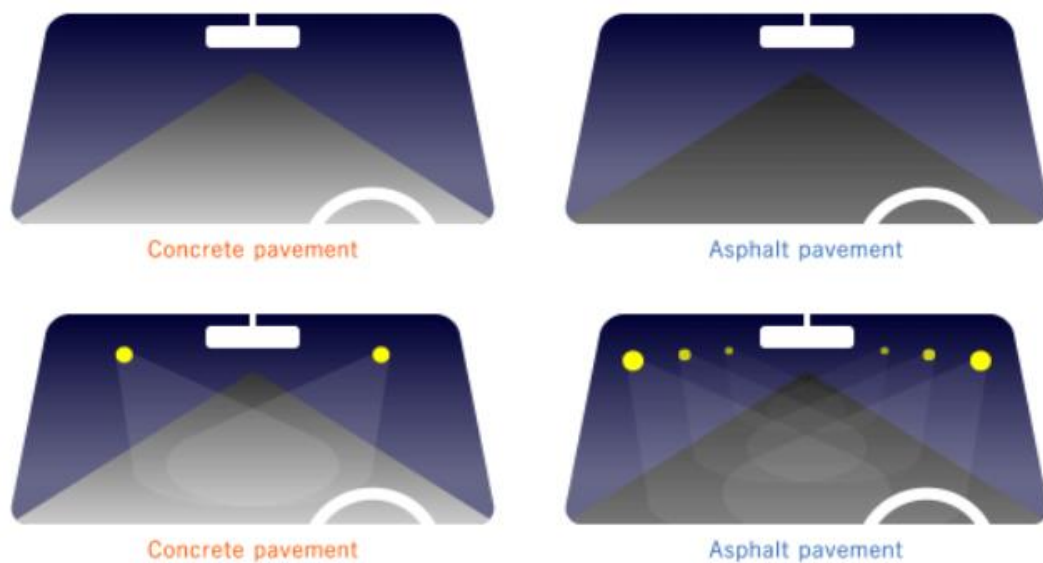
Στο κομμάτι της χρήσης είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι στην Ελλάδα η χρήση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι ελάχιστη συγκριτικά με την χρήση τους στο εξωτερικό.

Σχετικά με την ασφάλεια που προσφέρει το κάθε οδόστρωμα, με βάση μια έρευνα που έγινε στο TPW φάνηκε ότι με την πάροδο του χρόνου ένα οδόστρωμα από σκυρόδεμα προσφέρει μεγαλύτερη άνεση και ασφάλεια. Η μεταβολή αυτή παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 7 : Μεταβολή του δείκτη άνεσης οδήγησης (RCI) με την πάροδο του χρόνου.

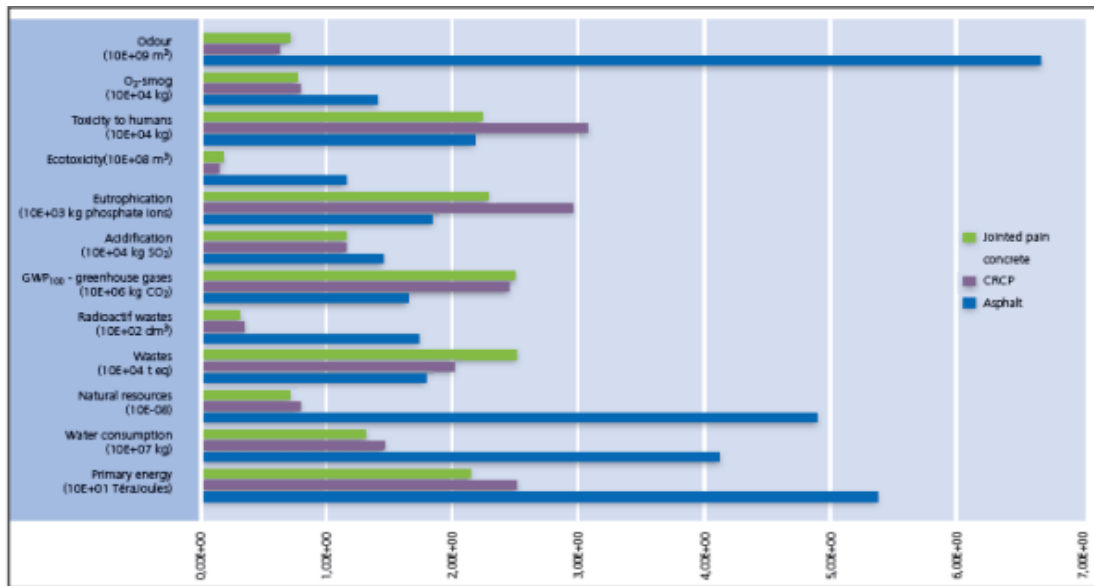
Όσον αφορά την ορατότητα τις νυχτερινές ώρες, που αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ασφάλειας, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα υπερτερούν. Συγκεκριμένα το χρώμα της επιφάνειας του σκυροδέματος σε συνδυασμό με τον τρόπο που αντανακλάται το φως από τα αμάξια ή από τις εγκαταστάσεις φωτισμού της οδού φωτίζει καλύτερα τον δρόμο και εξίσου πιθανούς κινδύνους. Αντίστοιχα στα εύκαμπτα οδοστρώματα, το σκούρο χρώμα της ασφάλτου ελλοχεύει μεγαλύτερους κινδύνους και μειώνει τη ορατότητα. Επιπλέον η υψηλή ορατότητα οδηγεί και στη μείωση του κόστους φωτισμού.



Εικόνα 37: Σύγκριση ορατότητας μεταξύ οδοστρωμάτων από άσφαλτο(asphalt pavement) και από σκυρόδεμα (concrete pavement).

4.4. Περιβαλλοντική προστασία.

Ένα σημαντικό και βασικό ζήτημα είναι κατά πόσο το οδόστρωμα είναι φιλικό ως προς το περιβάλλον. Σύμφωνα με μια ανάλυση κύκλου ζωής από το Centre d' Energetique de l' Ecole des Mines de Paris που πραγματοποιήθηκε για τέσσερις διαφορετικούς τύπους δύσκαμπτου οδοστρώματος, ένα τύπο μικτού και ένα τύπο εύκαμπτου με διάρκεια ζωής 30 χρόνια φάνηκε ότι τα δύσκαμπτα οδοστρώματα υπερτερούν ως προς την ενέργεια (energy), νερό (water), φυσικούς πόρους (natural resources), ραδιενεργά απόβλητα (radioactive wastes), οξύτητα (acidification), οικοτοξικότητα (ecotoxicity), νέφος (smog) και οσμή (odour). Αντίθετα τα εύκαμπτα οδοστρώματα υπερτερούσαν ως προς τα απόβλητα-σπατάλες (wastes), στα αέρια του θερμοκηπίου (greenhouse gases), στον ευτροφισμό (eutrophication), και την τοξικότητα προς τους ανθρώπους (toxicity to humans). Συγκεκριμένα η μελέτη αυτή βασίστηκε στις φάσεις της απόκτησης και της παραγωγής πρώτων υλών, τη προετοιμασία και τη μεταφορά μιγμάτων, την κατασκευή της δομής του οδοστρώματος, την συντήρηση και την αποξήλωση στο τέλος τη διάρκειάς ζωής.



Διάγραμμα 8 : Σύγκριση δýσκαμπτων οδοστρωμάτων, μικτού και εύκαμπτου οδοστρώματος με 30 χρόνια διάρκεια ζωής για διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες.

Επίσης ένα οδόστρωμα με καλή ποιότητα επιφάνειας κύλισης χωρίς κυματισμούς και ανωμαλίες παίζει σημαντικό ρόλο στην εκπομπή ρυπογόνων αερίων ως προς το περιβάλλον. Ειδικότερα με γνώμονα την μελέτη από το National Research Council of Canada παρουσιάστηκε ότι η εξοικονόμηση καυσαερίων που γίνεται στα δýσκαμπα οδοστρώματα συγκριτικά με τα ασφαλτικά κυμαίνεται από 0,8% έως 3,9% για τις τέσσερις από τις πέντε περιόδους του έτους με αξιοπιστία 95%. Η έρευνα διαδραματίστηκε σε διάφορους τύπους δρόμων και οχημάτων (για άδεια και πλήρως φορτωμένα συρόμενα οχήματα) σε διαφορετικές εποχές.

Ένα ακόμα όφελος ως προς το περιβάλλον που αξίζει να σημειωθεί είναι η μείωση των φαινομένων αστικής θερμικής νησίδας. Με το όρο θερμική νησίδα εννοούμε το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα, τις καλοκαιρινές περιόδους, στο εσωτερικό των πόλεων που οφείλεται στην αλλαγή του κλίματος που προκαλεί η αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας στις αστικές επιφάνειες. Μέσω του χρώματος του οδοστρώματος και των ιδιοτήτων ανάκλασης του η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί. Ειδικότερα ο λόγος της ηλιακής ενέργειας που ανακλάται από το οδόστρωμα προς την συνολική ηλιακή ενέργεια που δέχεται στα δýσκαμπα σκυροδέματα είναι 15-25% ενώ στα εύκαμπα 5-10%.

4.5.Κόστος.

Το κόστος κατασκευής και συντήρησης ενός έργου οδοποιίας αποτελεί βασικό παράγοντα για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας, της ασφάλειας, της οικονομικής αποδοτικότητας και βιωσιμότητας του εκάστοτε έργου. Γενικότερα τα κόστη κατασκευής ανάμεσα σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα διαφέρουν καθώς έχουν διαφορετικό σχεδιασμό και χρησιμοποιούν διαφορετικά υλικά. Σύμφωνα με το υπουργείο περιβάλλοντος χωροταξίας και δημοσίων έργων θα αναφερθούμε στο τιμολόγιο των εργασιών ασφαλικών και αντίστοιχα κατασκευών από σκυρόδεμα.

Πίνακας 4 : Τιμολόγιο κατασκευών από σκυρόδεμα (ΙΟΥΛΙΟΣ 2022)

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ/ΥΛΙΚΑ	ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Κοιτοστρώσεις, περιβλήματα αγωγών από σκυρόδεμα C12/15	82,00 €
Κατασκευή ρείθρων, τραπεζοειδών τάφρων, στρώσεων προστασίας στεγάνωσης γεφυρών κλπ με σκυρόδεμα C16/20	86,00 €
Κατασκευή τοίχων, πεζοδρομίων γεφυρών, επένδυσης πασσαλοστοιχιών κ.λπ. από σκυρόδεμα C16/20	95,00 €
Μικροκατασκευές (φρεάτια, ορθογωνικές τάφροι κλπ) με σκυρόδεμα C16/20	115,00 €
Χαλύβδινος οπλισμός σκυροδέματος B500C	1,05 €
Χαλύβδινο δομικό πλέγμα B500C	1,05 €

Οι τιμές του άνω πίνακα είναι γενικής εφαρμογής και δεν εξαρτώνται από το μέγεθος των κατασκευών, την ολοκλήρωσή τους σε μια ή περισσότερες φάσεις ή τυχόν τοπικούς περιορισμούς όπως είναι η στενότητα χώρου ή η εξασφάλιση της κυκλοφορίας κατά την διάρκεια της κατασκευής ή και η σκυροδέτηση υπό ακραίες καιρικές συνθήκες κλπ.

Οι εργασίες που προαναφέρθηκαν θα εκτελούνται σύμφωνα με τις ακόλουθες Ελληνικές τεχνικές προδιαγραφές (ΕΤΕΠ) στο εκάστοτε μέτρο που αφορά κάθε κατασκευή:

1. Παραγωγή και μεταφορά σκυροδέματος
2. Διάστρωση και συμπύκνωση σκυροδέματος
3. Συντήρηση σκυροδέματος
4. Εργοταξιακά συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος
5. Δονητική συμπύκνωση σκυροδέματος
6. Σκυροδετήσεις ογκωδών κατασκευών
7. Ικριώματα
8. Καλούπια κατασκευών από σκυρόδεμα (τύποι)
9. Διαμόρφωση τελικών επιφανειών σε έγχυτο σκυρόδεμα χωρίς χρήση επιχρισμάτων

Πίνακα 5 : Τιμολόγιο κατασκευών για ασφαλικές οδοστρώσεις.

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ/ΥΛΙΚΑ	ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Τομή οδοστρώματος με ασφαλτοκόπτη	0,90€ (Τιμή ανά τρέχον μέτρο τομής οδοστρώματος με ασφαλτοκόπτη)
Απόξεση ασφαλικού οδοστρώματος (φρεζάρισμα) σε βάθος έως 4cm	1,05€ (Τιμή για ένα τετραγωνικό μέτρο (m ²) πλήρως τελειωμένης εργασίας εκσκαφής - φρεζαρίσματος υφιστάμενου οδοστρώματος)
Απόξεση ασφαλικού οδοστρώματος (φρεζάρισμα) σε βάθος έως 6 cm	1,35€ (Τιμή για ένα τετραγωνικό μέτρο (m ²) πλήρως τελειωμένης εργασίας εκσκαφής - φρεζαρίσματος υφιστάμενου οδοστρώματος)
Απόξεση ασφαλικού οδοστρώματος (φρεζάρισμα) σε βάθος έως 8 cm	1,70€ ((Τιμή για ένα τετραγωνικό μέτρο (m ²) πλήρως τελειωμένης εργασίας εκσκαφής - φρεζαρίσματος υφιστάμενου οδοστρώματος)
Ασφαλτική προεπάλειψη	1,10€ (Τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο

	ασφαλτικής προεπάλειψης)
Ασφαλτική συγκολλητική επάλειψη	0,42€ (Τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο ασφαλτικής συγκολλητικής επάλειψης.)
Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας συμπτυκνωμένου πάχους 0,05 m με χρήση κοινής ασφάλτου	7,44€ (Τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο ασφαλτικής στρώσης κυκλοφορίας)
Ασφαλτική στρώσης κυκλοφορίας μεταβλητού πάχους με χρήση κοινής ασφάλτου	64,13€ (Τιμή ανά τόνο διαστρωθέντος ασφαλτομίγματος)
Επούλωση λάκκων με ψυχρό ασφαλτόμιγμα	0,60€ (Τιμή ανά κιλό ψυχρού ασφαλτομίγματος, συμπεριλαμβανομένης της δαπάνης προμήθειας και μεταφοράς όλων των απαιτούμενων υλικών από οποιαδήποτε απόσταση στη θέση διάστρωσης)
Γαλβανισμένο χαλύβδινο πλέγμα οπλισμού ασφαλτικών στρώσεων, εφελκυστικής αντοχής 40 kN/m κατά τις δύο διευθύνσεις	7,00€ (Τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας οπλισμένης ασφαλτικής στρώσης, με ανοιγμένες τις επικαλύψεις του πλέγματος)

Από την συλλογή των παραπάνω στοιχείων παρατηρούμε ότι το αρχικό κόστος κατασκευής ενός ασφαλτικού οδοστρώματος είναι χαμηλότερο από ενός δύσκαμπτου, κάτι βέβαια που εξαρτάται από τις τιμές της εκάστοτε περιοχής και τις προδιαγραφές του έργου.

4.6. Οφέλη.

Οφέλη εύκαμπτων οδοστρωμάτων:

- Χαμηλό αρχικό κόστος κατασκευής των οδοστρωμάτων γεγονός που προσφέρει μεγαλύτερες επιφάνειες με μικρότερη χρηματοδότηση
- Χαμηλότερος ο θόρυβος από την κυκλοφορία οχημάτων
- Ομαλή εμπειρία οδήγησης σε «φρεσκοστρωμένα» οδοστρώματα
- Ευελιξία στο οδόστρωμα
- Εύκολη τακτική συντήρηση, χωρίς πολλές διακοπές λειτουργίας

Οφέλη δύσκαμπτων οδοστρωμάτων:

- Μπορεί τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα να είναι πιο ακριβά αρχικά, έχουν όμως παρόμοιο κόστος κύκλου ζωής με την ασφαλτο
- Αντέχει βαρύτερα φορτία και οχήματα γι' αυτό προτιμάται σε στάσεις λεωφορείων, αποβάθρες φόρτωσης και περιοχές που κυκλοφορούν φορτηγά
- Λιγότερος κίνδυνος συσσώρευσης νερού και διολίσθησης οχημάτων
- Λιγότερη «εξάρτηση» από το υπέδαφος καθώς μπορεί να «γεφυρώσει» τα μαλακά σημεία
- Μειωμένη τακτική συντήρηση με αντικατάσταση επιλεγμένων τμημάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Συμπεράσματα

Οι κρατικές υπηρεσίες αυτοκινητοδρόμων επιλέγουν τον τύπο οδοστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί με γνώμονα την πολιτική και την οικονομία. Στο ερώτημα ποιο οδόστρωμα είναι προτιμότερο δεν μπορεί να απαντήσει κανείς χωρίς να γνωρίζει τις απαιτήσεις του έργου που θα κατασκευαστεί το οδόστρωμα. Δηλαδή στη περίπτωση περιοχών που υπάρχει ασθενές έδαφος με ασταθείς συνθήκες αποστράγγισης ή σε περιοχές με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο η επιλογή ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι προτιμότερη, καθώς ένα ασφαλτικό σκυρόδεμα δεν θα μπορούσε να διατηρήσει τις συνθήκες αποστράγγισης σε επιθυμητό επίπεδο ούτε να αντέξει τα μεγάλα φορτία της κυκλοφορίας. Από την άλλη σε μια πιθανή συνθήκη σχεδιασμού οδοστρώματος σε μια κατοικημένη περιοχή με χαμηλό φόρτο κυκλοφορίας θα ήταν ιδανική η επιλογή ενός εύκαμπτου οδοστρώματος λόγω του χαμηλού θορύβου κυκλοφορίας, σημαντικό στοιχείο εφόσον βρισκόμαστε σε κατοικήσιμη περιοχή, καθώς και του χαμηλού αρχικού κόστους που θα πληρούσε τις προδιαγραφές για μια χαμηλή κυκλοφορία.

Σημαντικός παράγοντας στην επιλογή οδοστρώματος είναι το κόστος που αναλύσαμε και προηγουμένως. Καταλήξαμε ότι με βάση τα υλικά και τις επιμέρους εργασίες τα εύκαμπτα οδοστρώματα έχουν μικρότερο αρχικό κόστος από ότι τα δύσκαμπτα. Συμπερασματικά όμως αν και το αρχικό κόστος των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι υψηλότερο, μπορούν να εξυπηρετήσουν μέχρι και 40 χρόνια με ελάχιστη έως και μηδαμινή συντήρηση. Τα εύκαμπτα οδοστρώματα από την άλλη γενικά απαιτούν κάποιου είδους συντήρηση κάθε 10 με 15 χρόνια. Αυτό μας οδηγεί στη σκέψη ότι αν και το αρχικό κόστος των εύκαμπτων οδοστρωμάτων είναι χαμηλό η κατασκευή ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος θα επιφέρει μεγαλύτερα κέρδη στο πέρασ του χρόνου. Όμως αν είναι εφικτό η κατασκευή να ολοκληρωθεί σε στάδια τα εύκαμπτα οδοστρώματα γίνονται μια οικονομικότερη λύση καθώς κατά την διάρκεια της κατασκευής μπορεί να συνεχίζει η λειτουργία της κυκλοφορίας (σύμφωνα με την οικονομική ανάλυση που έγινε από μια επιτροπή εμπειρογνομώνων για τον επερχόμενο αυτοκινητόδρομο Nagpur - Mumbai Access controlled Expressway)

Η τελευταία διαπίστωση μας οδηγεί και πάλι στο συμπέρασμα ότι ανάλογα με τις ανάγκες και τους πόρους που διαθέτουμε για κάθε έργο ένα εύκαμπτο ή ένα δύσκαμπτο οδόστρωμα μπορεί να θεωρηθεί ιδανική ή χειρίστη λύση.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

1. Development of Vadodara Mumbai Expressway (Phase-II) from km.26.320 to km.104.700 (km.390.864 of NH-8) of Main Expressway in the State of Maharashtra.
2. AASHTO 1993, "AASHTO guide for design of pavement structures", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C
3. Asphalt-Institute. (1991). Thickness design - Asphalt pavements for highways and streets. Manual series No.1 (MS-1), Asphalt Institute, Lexington, KY.
4. Highways Agency, 2006. Design manual for roads and bridges pavement design and maintenance, November 2006.
5. Taylor G.W., Patten, J.D., Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption – Phase III, prepared for Natural Resources Canada Action Plan 2000 on Climate Change and Cement Association of Canada, January 2006.
6. European Concrete Paving Association (EUPAVE), Concrete Roads: A Smart and Sustainable Choice, September 2009.
7. Nova Scotia Transportation and Public Works, Asphalt Concrete Pavement and Portland Cement Concrete Pavement, Highway 104, Cumberland County, Year 5 of 5 Year Study, October 1999.
8. Cement Association of Canada, The Benefits of Concrete Highways.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ιωάννης Δ. Κοφίτσας, 1997 Στοιχεία οδοστρωμάτων.
2. Αθ. Φ. Νικολαΐδης, 1996. Οδοποιία οδοστρώματα –υλικά , έλεγχος Ποιότητας.
3. Κόλιας, Α. Λοίζος, 1992. «Σημειώσεις Οδοστρωμάτων»
4. Τσώχος Γ. , 1984. Οδοποιία, Τόμος Γ΄, Τεύχος 1, Η μελέτη των οδοστρωμάτων.
5. Σημειώσεις μαθήματος οδοποιία ΙΙ, Νίκη Μπέσκου (2020).
6. ΚΤΣ (1997). “Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος”.

