

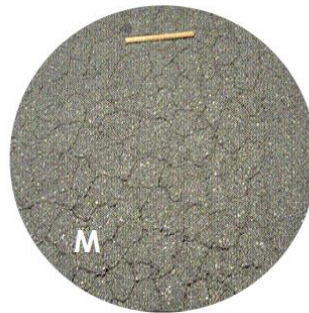
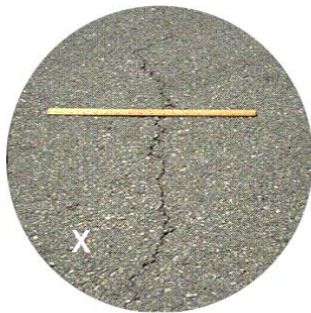


Τμήμα
Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με τίτλο

“Ρηγματώσεις και αυλακώσεις εύκαμπτων και δύσκαμπτων
οδοστρωμάτων και η αντιμετώπισή τους”



Φοιτητές: Μπεσλίκια Μαρίνα, Χριστακοπούλου Κατερίνα

Επιβλέπων: Δρ. Μπέσκου Νίκη

ΠΑΤΡΑ 2021

Περίληψη

Μια σημαντική κατηγορία δικτύων μεταφορών είναι τα χερσαία δίκτυα μεταφορών, τα οποία περιλαμβάνουν τις οδικές και τις σιδηροδρομικές μεταφορές. Οδικό δίκτυο μιας χώρας ονομάζεται το σύνολο των οδών που υπάρχουν σε αυτήν και ικανοποιούν τις ανάγκες μεταφοράς της. Το οδικό δίκτυο μιας χώρας αποτελεί συνάρτηση της οικονομικής της κατάστασης και του τεχνολογικού επιπέδου της. Με τον όρο οδόστρωμα εννοούμε το κομμάτι της οδού που κατασκευάζεται για την κυκλοφορία των οχημάτων και αποτελείται από ένα σύνολο επάλληλων στρώσεων πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού.

Η εργασία αυτή αναφέρεται στη μελέτη των χαρακτηριστικών δύο τύπων οδοστρωμάτων, εύκαμπτων και δύσκαμπτων, καθώς και στους τύπους των φθορών που εμφανίζουν. Συγκεκριμένα εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση των φθορών σε κάθε τύπο οδοστρώματος και παρουσιάζονται μέθοδοι για την αντιμετώπισή τους. Συγκεντρώθηκαν στοιχεία τόσο από τον ελλαδικό χώρο, όσο και από χώρες τους εξωτερικού, ενώ ακόμη παρουσιάζεται ένα πραγματικό παράδειγμα που πραγματεύεται αστοχίες στο οδικό δίκτυο Ξάνθης – Σταυρούπολης.

Αρχικά στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εμφάνιση και εξέλιξη των οδοστρωμάτων, από την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας μέχρι σήμερα. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός οδοστρώματος και αναλύονται οι δύο κατηγορίες, εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται τα είδη των φθορών που εμφανίζονται σε εύκαμπτα οδοστρώματα, ενώ η αντίστοιχη διαδικασία για τα δύσκαμπτα οδοστρώματα πραγματοποιείται στο κεφάλαιο 4. Το κεφάλαιο 5 παρουσιάζει αναλυτικά τις τεχνικές αντιμετώπισης των διαφόρων τύπων φθοράς, τόσο σε εύκαμπτα οδοστρώματα όσο και δύσκαμπτα. Το κεφάλαιο 6 περιέχει ένα πραγματικό παράδειγμα φθοράς οδοστρωμάτων, το οποίο εξετάζει τις αστοχίες στο οδόστρωμα Ξάνθης – Σταυρούπολης. Τέλος, στο κεφάλαιο 7 αναφέρονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Λέξεις κλειδιά: εύκαμπτα οδοστρώματα, δύσκαμπτα οδοστρώματα, φθορές οδοστρωμάτων, αστοχίες οδοστρωμάτων, συντήρηση οδοστρωμάτων

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1ο	1
Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	1
1.2 Οδοστρώματα Telford.....	3
1.3 Οδοστρώματα Macadam.....	3
1.4 Ασφαλτος.....	4
1.4.1 Οδοστρώματα Macadam με πίσσα.....	4
1.4.2 Οδοστρώματα «φύλλου» ασφάλτου.....	5
1.4.3 Ασφαλτικά Οδοστρώματα	6
1.5 Η ανάπτυξη του σκυροδέματος από τσιμέντο Portland.....	7
1.5.1 Οδοστρώματα από σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland (PCC).....	7
Κεφάλαιο 2ο	11
Οδοστρώματα	11
2.1 Οδικό δίκτυο	11
2.1.1 Εισαγωγή στα οδικά δίκτυα.....	11
2.1.2 Κατηγοριοποίηση οδών	12
2.2 Οδόστρωμα	12
2.2.1 Σκοπός οδοστρώματος.....	12
2.2.2 Ορισμός οδοστρώματος.....	13
2.2.3 Κατηγορίες οδοστρωμάτων	14
2.2.4 Λοιπά χαρακτηριστικά οδοστρωμάτων	18
2.3 Φθορές και αστοχίες οδοστρωμάτων	24
2.3.1 Γενικά στοιχεία.....	24
2.3.2 Αστοχία στο σχεδιασμό	25
2.3.3 Αστοχία στην κατασκευή	26

2.3.4 Ακαταλληλότητα των υλικών	28
2.3.5 Αστοχία στη συντήρηση.....	29
Κεφάλαιο 3ο	31
Εύκαμπτα οδοστρώματα.....	31
3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων	31
3.1.1 Κλιματολογικές συνθήκες.....	31
3.1.2 Κυκλοφοριακός φόρτος.....	33
3.1.3 Χαρακτηριστικά υπεδάφους	35
3.2 Φθορές εύκαμπτων οδοστρωμάτων	37
3.2.1 Ρηγματώσεις	37
3.2.2 Παραμορφώσεις.....	40
3.2.3 Αποσαθρώσεις/Αλλοιώσεις	42
Κεφάλαιο 4ο.....	47
Δύσκαμπτα οδοστρώματα.....	47
4.1 Κατηγορίες δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.....	47
4.2 Αρμοί δύσκαμπτων οδοστρωμάτων	49
4.3 Φθορές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων	50
4.3.1. Ανεπάρκειες αρμών (joint deficiencies).....	50
4.3.2 Ρηγματώσεις (cracking).....	51
4.3.3 Παραμορφώσεις.....	53
4.3.4 Αποσαθρώσεις	53
Κεφάλαιο 5ο	57
Μέθοδοι συντήρησης οδοστρωμάτων.....	57
5.1 Μέθοδοι συντήρησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων	57
5.1.1 Εισαγωγή.....	57
5.1.2 Επιφανειακές επεξεργασίες.....	58
5.1.3 Πορώδεις ασφαλτοτάπητες.....	63

5.1.4 Ασφαλτοτάπητες με έμπηκτες ψηφίδες	67
5.1.5 Ασφαλτικές επαλείψεις (Ασφαλτικές επιστρώσεις).....	69
5.1.6 Ασφαλτικοί λεπτοτάπητες	71
5.1.7 Ανακύκλωση.....	73
5.2 Μέθοδοι συντήρησης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων	75
Κεφάλαιο 6°.....	79
Εφαρμογές	79
6.1 Εισαγωγή	79
6.2 Αστοχίες στο οδόστρωμα Ξάνθης-Σταυρούπολης	79
6.2.1 Η ταυτότητα της οδού	79
6.2.2 Γεωλογικά στοιχεία.....	80
6.2.3 Γεωμορφολογία κατά μήκος της οδού.....	81
6.2.4 Κυκλοφοριακά στοιχεία	82
6.2.5 Λειτουργική κατάταξη-γεωμετρία της οδού.....	82
6.2.6 Επισήμανση και εκτίμηση βλαβών.....	83
Κεφάλαιο 7°.....	89
Συμπεράσματα	89
Βιβλιογραφία	91

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Η Αππία Οδός στη Ρώμη (1).....	2
Εικόνα 2: Η δομή του ρωμαϊκού οδοστρώματος (2).....	2
Εικόνα 3: Το οδόστρωμα Telford (2).....	3
Εικόνα 4: Ο πυρήνας του οδοστρώματος Macadam (4).....	4
Εικόνα 5: Τυπικό οδόστρωμα – Δομή (11).....	13
Εικόνα 6: Κατασκευαστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος (3).....	15
Εικόνα 7: Κατασκευαστική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος (12).....	15
Εικόνα 8: Κατασκευαστική διατομή μικτού οδοστρώματος (3).....	16
Εικόνα 9: Κατανομή φόρτισης σε εύκαμπτο οδόστρωμα (13).....	16
Εικόνα 10: Κατανομή φόρτισης σε δύσκαμπτο οδόστρωμα (13).....	17
Εικόνα 11: Τιμές τριών τύπων οδοστρωμάτων για διάρκεια ζωής 30 ετών, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η κυκλοφορία του δρόμου (14).....	21
Εικόνα 12: Επίδραση άοπλου οδοστρώματος για διάρκεια ζωής 30 ετών, συμπεριλαμβανομένης της κυκλοφορίας του δρόμου (14).....	21
Εικόνα 13: Μεταβολή δείκτη άνεσης οδήγησης (επάνω διάγραμμα) και μεταβολή δείκτη προφίλ οδήγησης (κάτω διάγραμμα) (1).....	23
Εικόνα 14: Νυχτερινή ορατότητα σε οδόστρωμα από σκυρόδεμα και άσφαλτο (1).....	23
Εικόνα 15: Ίχνη τροχών τυπικού Αμερικανικού φορτηγού τριών αξόνων (17).....	34
Εικόνα 16: Πυκνότητα συναρτήσεως υγρασίας (15).....	36
Εικόνα 17: Διαμήκεις ρωγμές (17).....	37
Εικόνα 18: Διαμήκεις και εγκάρσιες ρωγμές (17).....	38
Εικόνα 19: Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (17).....	38
Εικόνα 20: Ρωγμές στα άκρα οδοστρώματος (17).....	39
Εικόνα 21: Ρωγμές ανάκλασης (17).....	39
Εικόνα 22: Ρωγμές πολυγώνου (17).....	40
Εικόνα 23: Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων (17).....	40
Εικόνα 24: Αυλακώσεις από τροχιές τροχών (17).....	41
Εικόνα 25: Αυλακώσεις και αυλακώσεις με παραμένοντα νερά (17).....	41
Εικόνα 26: Αυλακώσεις και κυματώσεις κατά πλάτος του οδοστρώματος (17).....	41
Εικόνα 27: Τοπική πλαστική εξόγκωση και απόθεση (17).....	42
Εικόνα 28: Μεσαίας και υψηλής σοβαρότητας λακκούβες (17).....	43

Εικόνα 29: Επίπεδα σοβαρότητας του φαινομένου ανάδυσης ή εξίδρωσης της ασφάλτου (17)	43
Εικόνα 30: Ανάδυση και άντληση νερού και λεπτόκοκκου υλικού (17)	43
Εικόνα 31: Επίπεδα σοβαρότητας σε φθαρμένα μπαλώματα (17)	44
Εικόνα 32: Λείανση επιφανειακών αδρανών (17)	44
Εικόνα 33: Άοπλο οδόστρωμα σκυροδέματος (18)	47
Εικόνα 34: Οπλισμένο με μη-συνεχή οπλισμό οδόστρωμα σκυροδέματος (18)	47
Εικόνα 35: Οπλισμένο με συνεχή οπλισμό οδόστρωμα σκυροδέματος (18)	47
Εικόνα 36: Χαρακτηριστικοί τύποι δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (3)	48
Εικόνα 37: Χαμηλό και μέσο επίπεδο βλάβης υλικού πλήρωσης αρμών (17)	51
Εικόνα 38: Θρυμματισμός διαμήκους και εγκάρσιου αρμού (17)	51
Εικόνα 39: Χαμηλής και μέσης σοβαρότητας γωνιακές ρωγμές (17)	52
Εικόνα 40: Μέσης και υψηλής σοβαρότητας διαμήκεις ρωγμές (17)	52
Εικόνα 41: Υψηλής σοβαρότητας εγκάρσιες ρωγμές (17)	52
Εικόνα 42: Υψηλής σοβαρότητας καμπύλες ρωγμές (17)	53
Εικόνα 43: Επιφανειακές παραμορφώσεις (καθιζήσεις) (17)	53
Εικόνα 44: Αποκόλληση επιφανειακών αδρανών ή λεπίδωση (17)	54
Εικόνα 45: Θρυμματισμός πλακών (17)	55
Εικόνα 46: Ήλωση οδοστρώματος (20)	59
Εικόνα 47: Χάραξη – εκτομή οδοστρώματος (21)	60
Εικόνα 48: Χάραξη – πριονισμός οδοστρώματος (19)	60
Εικόνα 49: Αμμοβολή οδοστρώματος (19)	61
Εικόνα 50: Απόξεση οδοστρώματος (19)	62
Εικόνα 51: Πορώδης ασφαλτοτάπητας (19)	64
Εικόνα 52: Διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος (19)	68
Εικόνα 53: Διάστρωση ψηφίδων στο θερμό ασφαλτόμιγμα (19)	68
Εικόνα 54: Οδοστρωσία ψηφίδων (19)	68
Εικόνα 55: Τομή ασύνδετου υλικού στους αρμούς (19)	69
Εικόνα 56: Τόνοι χρησιμοποιούμενων RAP στις ΗΠΑ από το 2009 έως το 2013 (22)	75

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία ανά χώρα.....	33
Πίνακας 2: Συντελεστές ισοδυναμίας για μετατροπή αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (P _I =2.5, S _N =5).....	35
Πίνακας 3: Φθορές και μέθοδοι θεραπείας εύκαμπτων οδοστρωμάτων.....	45
Πίνακας 4: Εργασίες συντήρησης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.....	55
Πίνακας 5: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.....	56
Πίνακας 6: Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών για πορώδεις ασφαλτοτάπητες σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Οδηγίες.....	65
Πίνακας 7: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Εγνατίας Οδού Α.Ε.....	66
Πίνακας 8: Φθορές στην οδό, αίτια, προτεινόμενες λύσεις – Ρηγματώσεις.....	85
Πίνακας 9: Φθορές στην οδό, αίτια, προτεινόμενες λύσεις – Παραμορφώσεις.....	85
Πίνακας 10: Φθορές στην οδό, αίτια, προτεινόμενες λύσεις – Αποσυνθέσεις.....	86

Κεφάλαιο 1ο

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η οδοποιία και η οδοστρωσία συχνά χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς στην εξέλιξη των πολιτισμών. Στην πιο γενική του έννοια, δρόμος είναι ένα ανοικτό, γενικά, δημόσιο πέρασμα για τη διέλευση των οχημάτων, των ανθρώπων και των ζώων (1). Η κατασκευή οδών χρονολογείται πριν από χιλιάδες χρόνια. Η επικάλυψη των δρόμων με μια σκληρή λεία επιφάνεια (οδόστρωμα) βοήθησε να γίνουν ανθεκτικοί και ικανοί να αντέξουν την κυκλοφορία αλλά και το περιβάλλον.

Ως οδόστρωμα, λοιπόν, ορίζεται το σύνολο των επαλλήλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Το οδόστρωμα είναι μια σύνθετη κατασκευή που έχει να επιτελέσει διάφορες λειτουργίες, οι οποίες είναι ανόμοιες μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό κάνει την κατασκευή αρκετά πολύπλοκη.

Η κατασκευή ενός οδοστρώματος αποτελεί μία ιδιαίτερα υψηλή επένδυση κεφαλαίου, η οποία μάλιστα παίρνει τεράστιες διαστάσεις, όταν η κλίμακα του έργου είναι μεγάλη, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της Εγνατίας Οδού. Το κεφάλαιο αυτό προέρχεται, συνήθως, από δημόσιους πόρους. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο ο αρμόδιος για το σχεδιασμό του έργου και λήψη της τελικής απόφασης να πραγματοποιήσει μία πλήρη οικονομική ανάλυση, με σκοπό να μελετήσει διάφορα σενάρια, ώστε να επιλέξει το καταλληλότερο για τη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης και έχοντας πάντα κατά νου το ύψος της επένδυσης αλλά και την προέλευση του κεφαλαίου.

Μερικοί από τους παλαιότερους πλακόστρωτους δρόμους, που κατασκευάστηκαν από τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, συνεχίζουν να υφίστανται. Για παράδειγμα, η Αππία Οδός που κατασκευάστηκε πριν από περίπου 2.300 χρόνια στη Ρώμη, χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα.

Ως οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των επαλλήλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Το οδόστρωμα είναι μια σύνθετη κατασκευή που έχει να επιτελέσει διάφορες λειτουργίες, οι οποίες είναι ανόμοιες μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό κάνει την κατασκευή αρκετά πολύπλοκη.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η πλειονότητα των Ρωμαϊκών δρόμων κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια της Ρεπουμπλικανικής περιόδου (509 – 31 π.Χ.). Συγκεκριμένα, ο παλαιότερος δρόμος, η Αππία

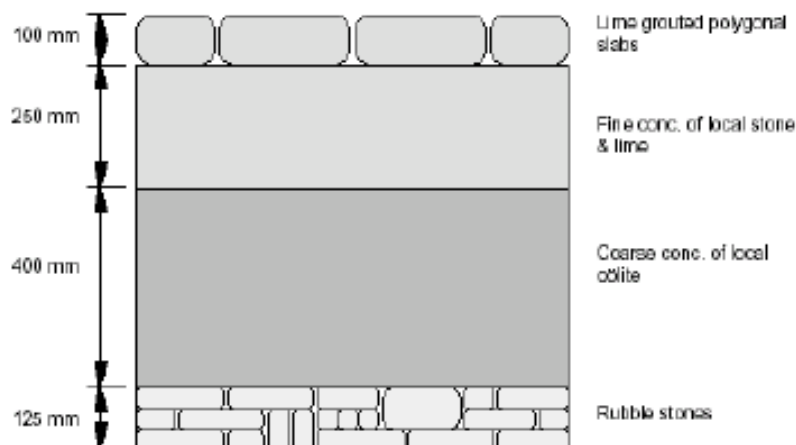
Οδός, χρονολογείται το 312 π.Χ. Το ρωμαϊκό δίκτυο αποτελούνταν από περισσότερα από 100.000km οδικού δικτύου, το οποίο είναι περίπου ίσο με το μήκος του διαπολιτειακού δικτύου των ΗΠΑ. Η υψηλή ποιότητα και η δομή των οδοστρωμάτων της, έχουν επιτρέψει σε πολλούς Ρωμαϊκούς δρόμους να επιβιώσουν μέχρι σήμερα.



Εικόνα 1: Η Αππία Οδός στη Ρώμη (1)

Η δομή ενός τυπικού ρωμαϊκού δρόμου, όπως βρέθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο, αποτελούνταν από τέσσερα βασικά επίπεδα (2):

- Επιφανειακή στρώση (Summa Crusta). Ομαλά, πολυγωνικά μπλοκ ενσωματωμένα στο υποκείμενο στρώμα.
- Βάση (Nucleus). Ένα είδος στρώσης βάσης που αποτελείται από χαλίκια και άμμο με ασβέστη και τσιμέντο.
- Υπόβαση (Rudus). Το τρίτο στρώμα αποτελείται από αργολιθοδομή και μικρότερες πέτρες, επίσης τοποθετημένες σε ασβεστοκονίαμα.
- Υπέδαφος (Statumen). Δύο ή τρεις στρώσεις από επίπεδες πέτρες τοποθετημένες σε ασβεστοκονίαμα.

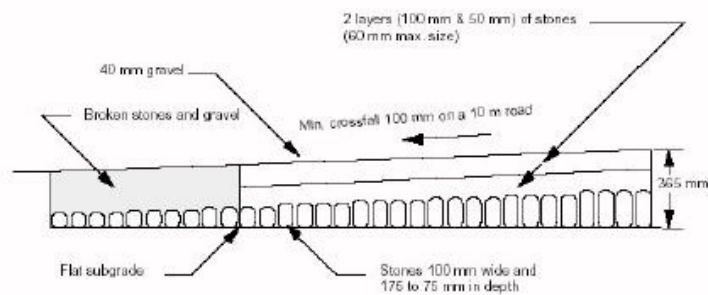


Εικόνα 2: Η δομή του ρωμαϊκού οδοστρώματος (2)

Όπως φαίνεται, τα ρωμαϊκά οδοστρώματα ήταν σχετικά παχιά, της τάξεως των 0,9m και η κατασκευή τους δεν ήταν οικονομική. Ενημερωμένες εκτιμήσεις κόστους της Αππίας Οδού είναι περίπου ίσες με 2 εκ. \$ ανά km δρόμου.

1.2 Οδοστρώματα Telford

Μια πρώτη εικόνα στη σύγχρονη οδοστρωσία, μπορεί να δει κανείς τα οδοστρώματα του Thomas Telford (1), (4). Ο Telford προσπάθησε, στο μέτρο του δυνατού, να κατασκευάσει δρόμους σε σχετικά επίπεδες επιφάνειες (όχι περισσότερο από 1:30 κλίση), προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των αλόγων που απαιτούνταν για να μεταφέρουν το φορτίο. Το οδόστρωμα Telford ήταν πάχους περίπου 350 έως 450 mm και γενικά προσδιορίζονταν τρεις στρώσεις. Το κάτω στρώμα αποτελούνταν από μεγάλες πέτρες πλάτους 100 mm και ύψους 75 έως 180 mm. Είναι αυτή η ειδική στρώση που κάνει το σχεδιασμό Telford μοναδικό. 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: Το οδόστρωμα Telford (2)

1.3 Οδοστρώματα Macadam

Τα οδοστρώματα Macadam εισήγαγαν τη χρήση των γωνιακών αδρανών. Στις αρχές του 1800 ο John MacAdam παρατήρησε ότι οι περισσότεροι πλακόστρωτοι δρόμοι του Ηνωμένου Βασιλείου αποτελούνταν από στρογγυλεμένα χαλίκια. Ήξερε ότι τα γωνιακά αδρανή πάνω από ένα ιδιαίτερα συμπαγές υπεδάφος θα έχουν σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις. Χρησιμοποίησε μια επικλινή επιφάνεια υπεδάφους για τη βελτίωση της αποστράγγισης (σε αντίθεση με τον Telford που χρησιμοποίησε μια επίπεδη επιφάνεια υπεδάφους), στην οποία τοποθέτησε γωνιακά αδρανή (σπασμένα με το χέρι με μέγιστο μέγεθος μέχρι και 75 mm) σε δύο στρώσεις με συνολικό πάχος περίπου 200 mm. Στην κορυφή αυτής της στρώσης, τοποθετήθηκε η επιφανειακή στρώση, πάχους περίπου 50 mm (με μέγιστο μέγεθος αδρανών περίπου 25 mm).

Ο λόγος, για τον οποίο ο MacAdam χρησιμοποίησε αδρανή μέγιστου μεγέθους 25mm, ήταν να παρέχει 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 (1). 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: Ο πυρήνας του οδοστρώματος Macadam (4)

1.4 Ασφαλτος

Έως την περίοδο που σχεδιάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν τα οδοστρώματα Macadam, δεν είχαν χρησιμοποιηθεί ευρέως συνδετικές κονίες με άσφαλτο. Παρά το γεγονός ότι στους Ρωμαϊκούς δρόμους χρησιμοποιούνταν ασβεστοτσιμεντοκονιάματα για να συγκρατηθούν οι μεγάλες πέτρες, στους δρόμους που κατασκευάζονταν στα τέλη του 1700 και στις αρχές του 1800 δεν χρησιμοποιούνταν κάποιο συνδετικό υλικό και συνήθως στηρίζονταν σε αδρανή για την παροχή συνοχής. Ασφαλτικά συνδετικά υλικά και επιφανειακά στρώματα άρχισαν να εμφανίζονται στα πεζοδρόμια στις αρχές του 1800.

1.4.1 Οδοστρώματα Macadam με πίσσα

Ένας δρόμος με οδόστρωμα Macadam με πίσσα αποτελείται από το βασικό οδόστρωμα Macadam με επιφάνεια πίσσας. Φαίνεται ότι το πρώτο οδόστρωμα αυτού του τύπου τοποθετήθηκε έξω από το Nottingham το 1848. Εκείνη την εποχή, τα οδοστρώματα αυτά κρίθηκαν κατάλληλα μόνο για δρόμους με χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Η λιθανθρακόπισσα, ως συνδετικό, ήταν διαθέσιμη στο Ηνωμένο Βασίλειο από το 1800 περίπου ως υπόλειμμα από την καύση άνθρακα και φυσικού αερίου.

Λίγο μετά το έργο στο Nottingham, οδοστρώματα Macadam με πίσσα κατασκευάστηκαν στο Παρίσι (1854) και το Knoxville του Tennessee (1866). Το 1871 στην Ουάσιγκτον χρησιμοποιήθηκε εκτενώς σκυρόδεμα με πίσσα για έργα οδοποιίας. Ως μέσο σκλήρυνσης χρησιμοποιήθηκε το θειικό οξύ, ενώ διάφορα υλικά όπως το πριονίδι, η τέφρα, κ.λπ. χρησιμοποιήθηκαν μέσα στο μίγμα. Κατά τη διάρκεια μιας επταετίας, κατασκευάστηκαν 630.000m². Εξαιτίας της έλλειψης προσοχής κατά τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε πίσσα, οι περισσότεροι από αυτούς τους δρόμους απέτυχαν μέσα σε λίγα χρόνια από την κατασκευή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να απαξιωθεί η πίσσα, με αποτέλεσμα την τόνωση της βιομηχανίας της ασφάλτου. Ωστόσο, ορισμένοι από αυτούς τους δρόμους στην Ουάσιγκτον, Περιφέρεια της Κολούμπια, επέζησαν για πολύ μεγαλύτερο διάστημα, περίπου 30 χρόνια. Γι' αυτά τα μίγματα, το συνδετικό υλικό, η πίσσα, αποτελούσε περίπου το 6% κατά βάρος του συνολικού μίγματος (κενά αέρα της τάξης του 17%). Περαιτέρω, χρησιμοποιήθηκαν αδρανή, με περίπου το 20% να διέρχεται από το κόσκινο των 2,00mm. Η επιφανειακή στρώση ήταν πάχους περίπου 50mm. Προϊόντα οδοστρωσίας θερμής επεξεργασίας πίσσας δεν χρησιμοποιήθηκαν στις ΗΠΑ για πολλά χρόνια.

Σαν δευτερεύουσα σημείωση, ο όρος "tarmac" ήταν ένα ιδιόκτητο προϊόν στη Βρετανία στις αρχές του 1900. Στην πραγματικότητα, ήταν ένα αναμεμιγμένο επί τόπου υλικό, αλλά εφαρμόστηκε στην επιφάνεια του δρόμου κρύο. Το tarmac αποτελούνταν από θρυμματισμένη σκωρία υψικαμίνου επικαλυμμένο με πίσσα, τσιμέντο Portland και μία ρητίνη. Σήμερα ο όρος «tarmac» είναι γενικός και συνήθως αναφέρεται σε οδοστρώματα αεροδρόμιων.

1.4.2 Οδοστρώματα «φύλλου» ασφάλτου

Τα πρώτα οδοστρώματα που κατασκευάστηκαν από πραγματικά θερμό ασφαλτόμιγμα (Hot Mix Asphalt – HMA) ονομάστηκαν οδοστρώματα “φύλλου” ασφάλτου. Τα στρώματα HMA, αυτού του τύπου οδοστρώματος, ήταν προαναμεμιγμένα και τοποθετούνταν ζεστά. Το σύστημα αυτό του οδοστρώματος είχε ως εξής:

- 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 μπάζα οδοστρωμάτων (παλιά μπλοκ γρανίτη, τούβλα, κλπ.). Σε γενικές γραμμές, αυτό το στρώμα ήταν πάχους 100 mm, για χαμηλή κυκλοφορία, και 150 mm, για μεγαλύτερη κυκλοφορία.

Τα οδοστρώματα “φύλλου” ασφάλτου έγιναν δημοφιλή στα μέσα του 1800 με το πρώτο να είναι χτισμένο πάνω από το Βασιλικό Παλάτι και την Οδό Αγίου Ονούριου στο Παρίσι το 1858. Το πρώτο τέτοιο οδόστρωμα στις ΗΠΑ κατασκευάστηκε στο Newark του New Jersey το 1870.

1.4.3 Ασφαλτικά Οδοστρώματα

Τα τελικά βήματα προς την κατεύθυνση των σύγχρονων θερμών ασφαλτομιγμάτων έγιναν από τον Frederick J. Warren. Το 1901 και 1903, ο Warren έκδωσε διπλώματα ευρεσιτεχνίας για τα πρώτα υλικά οδοστρωσίας θερμών ασφαλτομιγμάτων και την διεργασία, τα οποία αποκάλεσε «ασφαλτικά» οδοστρώματα. Ένα τυπικό ασφαλτικό μείγμα περιείχε περίπου 6% ασφαλτικό τσιμέντο και διαβαθμισμένα αδρανή, σε αναλογία για χαμηλά κενά αέρος. Η ιδέα ήταν να παράγει ένα μίγμα το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένα πιο ρευστό συνδετικό υλικό, από ότι είχε χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή “φύλλου” ασφάλτου.

Το 1910 στο Topeka του Kansas, μια απόφαση του δικαστηρίου έκρινε ότι τα μίγματα ασφαλτικού σκυροδέματος που περιείχαν αδρανή μέγιστης διάστασης 12,5mm δεν παραβίαζαν το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Warren. Έτσι, στη συνέχεια τα θερμά ασφαλτομίγματα προσανατολίστηκαν προς τα αδρανή με μικρότερη μέγιστη διάσταση. Ένα τυπικό μίγμα “Topeka” αποτελούνταν από 30% διαβαθμισμένο θραυστό πέτρωμα ή χαλίκι (όλη η ποσότητα διερχόμενη του κόσκινου των 12,5mm, περίπου 58 με 62% άμμος (υλικό που διέρχεται από το κόσκινο των 2,00mm και συγκρατείται επί του κόσκινου των 0,075mm) και 8 έως 12% filler (υλικό που διέρχεται από το κόσκινο των 0,075mm). Αυτό το μείγμα απαιτούσε 7,5 – 9,5% ασφαλτικό τσιμέντο.

Το 1910, ο Edwin C. Wallace, συνταξιούχος υπάλληλος της εταιρείας Warren Brothers, εφηύρε το Warrenite – Ασφαλτικό (Warrenite-Bitulithic). Αυτό αποτελούνταν από ένα στρώμα πάχους περίπου 25mm “λεπτόκοκκου ορυκτού με επικάλυψη ασφάλτου κυλινδρωμένο σε ένα χαμηλότερο στρώμα μεγάλων και μικρών πετρών, σκόνης από πέτρα και άσφαλτο”. Αυτό ήταν βασικά μία επιφανειακή στρώση “φύλλου” ασφάλτου πάνω σε ζεστά, μη συμπτυκνωμένα ασφαλτικά. Τα μεγάλα αδρανή των ασφαλτικών μιγμάτων δεν είχαν εκτεθεί άμεσα σε βαρέα οχήματα, γεγονός που θα μπορούσε να τα ραγίσει με την προσθήκη της λεπτής επιφανειακής στρώσης, και να οδηγήσει σε υποβάθμιση του μίγματος. Μέχρι το 1920, τα πρωτότυπα διπλώματα ευρεσιτεχνίας του Warren είχαν λήξει στις ΗΠΑ, αλλά η κληρονομιά του μίγματος Topeka έζησε, όπως φαίνεται από την τάση των ΗΠΑ προς λεπτότερης άλεσης μιγμάτων.

1.5 Η ανάπτυξη του σκυροδέματος από τσιμέντο Portland

1.5.1 Οδοστρώματα από σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland (PCC)

Το σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland (Portland Cement Concrete – PCC) εφευρέθηκε ουσιαστικά το 1824. Το πρώτο οδόστρωμα από σκυρόδεμα κατασκευάστηκε στο Bellefontaine, στο Οχάιο, το 1891 από τον George W. Bartholomew. Ο Bartholomew, που είχε μάθει για την παραγωγή σκυροδέματος στη Γερμανία και στο Τέξας, βρήκε κάποιες καθαρές πηγές των απαραίτητων πρώτων υλών, του ασβεστόλιθου και του αργίλου, στο κεντρικό Οχάιο. Επειδή αυτό ήταν το πρώτο οδόστρωμα που κατασκευάστηκε από σκυρόδεμα, το δημοτικό συμβούλιο του ζήτησε να δώσει 5.000\$, ως εγγύηση ότι το οδόστρωμα θα διαρκέσει για 5 χρόνια. Πάνω από 100 χρόνια αργότερα, μέρος του οδοστρώματος αυτού είναι σε χρήση. Την εποχή εκείνη, ο όρος «σκυρόδεμα» δεν χρησιμοποιούνταν ακόμη ευρέως, και έτσι το υλικό αυτό αποκαλούνταν «τεχνητός λίθος» και αναμιγνυόταν με το χέρι σε τετραγωνικά καλούπια διάστασης 1,5m. Για να ταιριάζει με την επίδοση και την εμφάνιση των τυπικών λιθόστρωτων οδοστρωμάτων της εποχής, ο Bartholomew χάραξε τετράγωνα διάστασης 100mm στην επιφάνεια του οδοστρώματος από σκυρόδεμα για να δώσει καλύτερο πάτημα για τα άλογα.

Το American Concrete Pavement Association (ACPA) αναφέρει για το οδόστρωμα αυτό ότι «ήταν μία άμεση επιτυχία (5). Οι επιχειρηματίες της περιοχής έκαναν αίτηση για να έχουν ολόκληρο το οικοδομικό τετράγωνο γύρω από την πλατεία οδοστρωμένο με σκυρόδεμα. Το 1893, η Court Avenue και η Opera Street οδοστρώθηκαν. Η Columbus Street και το υπόλοιπο της Main Street ακολούθησαν το 1894». Άλλα πρόωρα οδοστρώματα από σκυρόδεμα κατασκευάστηκαν στο Chicago το 1905 και διήρκεσε 60 χρόνια και στο Detroit το 1909, που ήταν το πρώτο οδόστρωμα από σκυρόδεμα μήκους ενός μιλίου. Ενδεχομένως, να υπήρχαν και άλλα οδοστρώματα από σκυρόδεμα νωρίτερα. Αναφορά κάποιων ιστορικών πηγών γίνεται στη βιβλιογραφία. Ωστόσο, το σκυρόδεμα στο Bellefontaine ήταν το πρώτο επιτυχημένο, μεγάλης διάρκειας οδόστρωμα από σκυρόδεμα.

Η ευρύτερη διαθεσιμότητα αυτοκινήτων οδήγησε στην αύξηση της ζήτησης οδοστρωμένων δρόμων. Το 1913, 37km οδοστρώματος από σκυρόδεμα κατασκευάστηκαν κοντά στο Pine Bluff, στο Arkansas, με κόστος 1\$ ανά τρέχον πόδι. Έγινε γνωστό ως «Δρόμος του Δολαρίου» (Dollarway). Το οδόστρωμα αυτό ήταν πλάτους 2,7m και πάχους 125mm. Τα απομεινάρια του δρόμου αυτού διατηρούνται ακόμη. Στη συνέχεια, ακολούθησε η κατασκευή 79km οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα σε αγροτικούς δρόμους στο Mississippi, και ως το τέλος του 1914, 3.778km οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα είχαν κατασκευαστεί στις ΗΠΑ.

Τα επόμενα χρόνια ακολούθησε πληθώρα ελέγχων και παρατηρήσεων σχετικά με το σχεδιασμό και τη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων αυτών καθώς και των διαφόρων υλικών που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτά. Οι παρατηρήσεις αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την εξέλιξη αυτών των οδοστρωμάτων στις πιο σύγχρονες ανάγκες και απαιτήσεις αλλά και σε ένα σχεδιασμό που τους πρόσδιδε την ικανότητα να ανταποκριθούν καλύτερα στους διάφορους παράγοντες, και ιδιαίτερα στην επίδραση του κυκλοφοριακού φόρτου και του περιβάλλοντος.

Ορισμένα σημεία αναφοράς στην εξέλιξη του σχεδιασμού και της επίδοσης των οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα, από το 1945 έως το 1980, συνοψίζονται ως εξής (1):

- Με βάση τις παρατηρήσεις που έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του 1930 σχετικά με τις παραμορφώσεις του οδοστρώματος λόγω της διόγκωσης ή συρρίκνωσης των υποκείμενων εδαφών, αναπτύχθηκαν θεραπείες για τα εδάφη αυτά με τη χρήση τσιμέντου ή ασβέστη.
- Εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν οι μηχανισμοί ανύψωσης λόγω παγετού, και υιοθετήθηκαν μέθοδοι για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού, μέσω της προσεκτικής κατασκευής του υπεδάφους και της χρήσης σχετικά λεπτών κοκκωδών στρώσεων ως υπόβαση.
- Η «άντληση» θεωρήθηκε ως πιθανός μηχανισμός αποτυχίας για τους αρμούς των οδοστρωμάτων σκυροδέματος και εντοπίστηκαν τα εδάφη και οι συνθήκες εκείνες που παρατηρείται το φαινόμενο αυτό. Η «άντληση» μπορεί να ελεγχθεί μέσω της χρήσης κοκκωδών υποβάσεων και με αρμούς και ράβδους ενίσχυσης.
- Ανεπαρκής αποστράγγιση ή μη ομοιόμορφη συμπύκνωση μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα με λεπτές κοκκώδεις υποβάσεις.
- Βάσεις που έχουν υποστεί θεραπεία με τσιμέντο (Concrete-treated Bases – CTBs) ή υποβάσεις παρέχουν άριστη υποστήριξη και βοηθούν στην πρόληψη της «άντλησης».
- Κάτω από κατάλληλες συνθήκες, οδοστρώματα από σκυρόδεμα μικρού πάχους μπορούν να παρέχουν ικανοποιητική απόδοση. Μερικά οδοστρώματα αεροδρομίων, πάχους 150 mm, διήρκεσαν 30 χρόνια ή και περισσότερο για όσο διάστημα τα φορτία σχεδιασμού των τροχών των αεροσκαφών δεν σημείωσαν υπέρβαση. Ομοίως, αγροτικοί δρόμοι στην Iowa των ΗΠΑ, πάχους μόνο 110 mm, άντεξαν την κυκλοφορία για 30 χρόνια.
- Ακόμη και αν η φόρτιση της πλάκας του οδοστρώματος δεν είναι υψηλή, οι υπερβολικές παραμορφώσεις, από επιβαρυντικές κυρτώσεις και στρεβλώσεις καθώς

και διάβρωση, μπορούν να οδηγήσουν σε προβλήματα στην απόδοση του οδοστρώματος.

- Οι περισσότεροι φορείς στράφηκαν αποκλειστικά στα άοπλα οδοστρώματα από σκυρόδεμα (Unreinforced Concrete Pavements – UCP ή Joint Plain Concrete Pavement – JPCP) από τα οπλισμένα με μη συνεχή οπλισμό οδοστρώματα από σκυρόδεμα (Joint Reinforced Concrete Pavement – JRCP), εξαιτίας του θρυμματισμού, των «εκρήξεων» και των σπασμένων ενισχύσεων (οπλισμού) σε ενδιάμεσες ρωγμές που σχηματίζουν οι πλάκες των JRCP.
- Προβλήματα με μη ενισχυμένους αρμούς στα JPCP, οδήγησαν στην ευρύτερη υιοθέτηση των ενισχύσεων για οδοστρώματα αυτοκινητοδρόμων και αεροδρομίων.
- Το JPCP με μικρή απόσταση αρμών της τάξης των 4,6m, παρέχει το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής για τις περισσότερες εφαρμογές.
- Όταν οι «ώμοι» του σκυροδέματος (άκρες στη διαμήκη διεύθυνση) είναι δεμένοι στις κύριες (κεντρικές) γραμμές των οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα μειώνονται οι παραμορφώσεις και οι εντάσεις, βελτιώνονται η ασφάλεια και η επιφανειακή αποστράγγιση και περιορίζεται η συντήρηση των ώμων.
- Ορθά σχεδιασμένες και κατασκευασμένες επικαλύψεις - είτε συνδεδεμένες είτε ασύνδετες - μπορεί να προσφέρουν πολλά έτη εξυπηρέτησης.

Παράλληλα με τις παραπάνω παρατηρήσεις και αλλαγές, ιδιαίτερη ώθηση δόθηκε από την εξέλιξη που παρατηρήθηκε στα μηχανήματα και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται καθώς και από τη βελτίωση των πρακτικών που εφαρμόζονται στην κατασκευή αυτών των οδοστρωμάτων.

Κεφάλαιο 2ο Οδοστρώματα

2.1 Οδικό δίκτυο

Μια σημαντική κατηγορία δικτύων μεταφορών είναι τα χερσαία δίκτυα μεταφορών, τα οποία περιλαμβάνουν τις οδικές και τις σιδηροδρομικές μεταφορές (6). Κυρίαρχο ρόλο κατέχουν οι οδικές μεταφορές αφού η οικονομία και η κοινωνία βασίζονται σε αυτές. Ενδεικτικό της σημασίας των οδικών μεταφορών είναι το γεγονός ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 44% όλων των αγαθών μετακινούνται με φορτηγά και το 79% όλων των ανθρώπων μετακινούνται με αυτοκίνητα και λεωφορεία, μέσω οδικών δικτύων.

2.1.1 Εισαγωγή στα οδικά δίκτυα

Οδικό δίκτυο μιας χώρας ονομάζεται το σύνολο των οδών που υπάρχουν σε αυτήν και ικανοποιούν τις ανάγκες μεταφοράς της. Το οδικό δίκτυο μιας χώρας αποτελεί συνάρτηση της οικονομικής της κατάστασης και του τεχνολογικού επιπέδου της.

Η πρώτη μορφή δρόμου ήταν το μονοπάτι και στη συνέχεια ο ενισχυμένος με λιθόστρωση δρόμος (7). Με την επανειλημμένη χρησιμοποίησή του ο δρόμος σύντομα ξεχώρισε σαφώς από το περιβάλλον, και απέκτησε εννοιολογική αλλά και ουσιαστική οντότητα. Έτσι, σήμερα ο δρόμος είναι μία αναγνωρίσιμη λωρίδα εδάφους ανάμεσα σε δύο μέρη, που με ανθρώπινη παρέμβαση έχει ομαλοποιηθεί ή έχει υποστεί κάποια άλλη προετοιμασία ώστε να καθιστά ευκολότερη την προσπέλαση της από ανθρώπους, ποδήλατα ή μηχανοκίνητα τροχοφόρα οχήματα. Σε αστικές περιοχές, ένας δρόμος που διέρχεται μέσα από μία πόλη ή χωριό ονομάζεται οδός και αποκτά διπλή λειτουργία, ως κοινόχρηστος αστικός χώρος και διαδρομή. Στη σύγχρονη εποχή και παρά τις επικρίσεις ή αντιρρήσεις για τη σκοπιμότητα κατασκευής νέων οδικών αρτηριών, η πυκνότητα και η ποιότητα του οδικού δικτύου μιας χώρας αποτελεί κριτήριο και βασικό χαρακτηριστικό της οικονομικής κατάστασης και της αναπτυξιακής πορείας της. Η κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη που παρατηρήθηκε στις χώρες της Ευρώπης και της Β. Αμερικής κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, συνοδεύτηκε από την εντυπωσιακή ανάπτυξη των οδικών μεταφορών και την ανάλογη αναβάθμιση των οδικών υποδομών. Η επικράτηση των οδικών μεταφορών δεν οφείλεται, αποκλειστικά και μόνο, στα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματά τους (π.χ. μεταφορά «από πόρτα σε πόρτα», δυνατότητα των ανθρώπων να προγραμματίζουν τις μετακινήσεις τους κ.α.), αλλά και στη σημαντικότερη ανάπτυξη του κλάδου των οδικών κατασκευών ως βασικού συστατικού της οικονομίας σε εθνικό και διεθνές περιβάλλον.

2.1.2 Κατηγοριοποίηση οδών

Το δίκτυο μιας χώρας χαρακτηρίζεται κυρίως από την ιεράρχησή του, δηλαδή την κατάταξή του σε οδούς διαφόρων κατηγοριών (8), (9). Η κατάταξη αυτή είναι απαραίτητη από άποψη διευκόλυνσης και συνεννόησης μεταξύ όλων αυτών που χρησιμοποιούν ή έχουν σχέση με τις οδούς. Υπάρχουν διάφορα συστήματα κατάταξης των οδών:

- 1) Διοικητική κατάταξη, όπως αυτή γίνεται από τις αρμόδιες και υπεύθυνες κρατικές υπηρεσίες. Στην Ελλάδα διακρίνονται σε: Εθνικές, Επαρχιακές, Κοινοτικές οδοί.
- 2) Αριθμητική κατάταξη. Στην Ελλάδα όλοι οι δρόμοι του κύριου εθνικού δικτύου, αλλά και αρκετές επαρχιακοί οδοί, έχουν ιδιαίτερη αρίθμηση.
- 3) Κατάταξη των οδών ανά τύπο, δηλαδή ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους.
- 4) Λειτουργική κατάταξη, δηλαδή κατάταξη ανάλογη με το λειτουργικό σκοπό που εξυπηρετεί κάθε οδός. Διακρίνονται σχετικά: ταχείες λεωφόροι, ελεύθεροι λεωφόροι, συλλεκτήριοι οδοί, αρτηρίες, τοπικοί δρόμοι.

Η λειτουργική ιεράρχηση ενός δικτύου έχει σκοπό να δώσει σε κάθε τμήμα του δικτύου ένα χαρακτήρα, ο οποίος προσδιορίζεται από το είδος της εξυπηρέτησης που καλείται να προσφέρει. Οι εθνικοί οδοί είναι συνήθως αυτοκινητόδρομοι δύο, τριών ή τεσσάρων λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Μπορούν ακόμα να είναι οδοί μεταξύ νομών και επαρχιών, μιας λωρίδας κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση.

Ο αυτοκινητόδρομος είναι δρόμος ειδικής κατηγορίας σχεδιασμένος έτσι ώστε να διακινεί το μεγαλύτερο φόρτο της οδικής κυκλοφορίας οχημάτων συνήθως μεταξύ πόλεων και να επιτρέπει την οδήγηση με σταθερά υψηλή ταχύτητα. Το κύριο χαρακτηριστικό του, το οποίο τον διακρίνει από άλλα είδη δρόμων, είναι η έλλειψη ισόπεδων διασταυρώσεων. Ο αυτοκινητόδρομος είναι κλειστός, συνήθως περιφραγμένος και η διασταύρωση με άλλους δρόμους, όπως η είσοδος και η έξοδος οχημάτων από αυτόν γίνεται μόνο μέσω ανισόπεδων διασταυρώσεων. Στους αυτοκινητόδρομους, επιβάλλεται η κατασκευή, πέραν των λωρίδων κυκλοφορίας και μιας Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης ανά κατεύθυνση.

2.2 Οδόστρωμα

2.2.1 Σκοπός οδοστρώματος

Τα οδοστρώματα κατασκευάζονται με σκοπό να επιτελέσουν τρεις βασικές λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα, ισχύει ότι (1):

1. Ο αντικειμενικός σκοπός του οδοστρώματος είναι να παραλάβει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα κατανείμει 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.

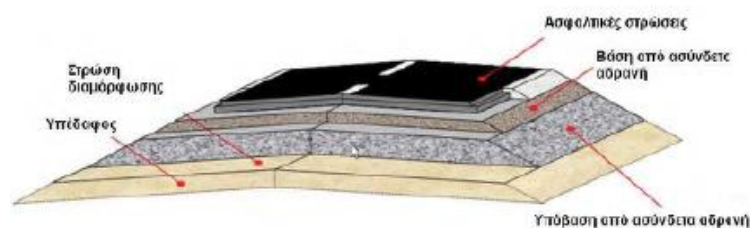
2. Επιπροσθέτως, η δομή του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι σχεδόν αδιαπέραστη από το νερό, έτσι ώστε να προστατεύεται το έδαφος έδρασης αλλά και οι στρώσεις από ασύνδετα αδρανή (μη σταθεροποιημένες στρώσεις).

3. Τέλος, 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.

2.2.2 Ορισμός οδοστρώματος

Με τον όρο οδόστρωμα εννοούμε το κομμάτι της οδού που κατασκευάζεται για την κυκλοφορία των οχημάτων και αποτελείται από ένα σύνολο επάλληλων στρώσεων πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού (10). Η χαρακτηριστική δομή του οδοστρώματος έχει τέσσερις στρώσεις:

- Στρώση έδρασης
- Στρώση υπόβασης
- Στρώση βάσης
- Ασφαλτικές στρώσεις



Εικόνα 5: Τυπικό οδόστρωμα – Δομή (11)

Η *στρώση έδρασης* 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.

Η *υπόβαση* είναι η στρώση πάνω από τη στρώση έδρασης και αποτελείται από 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 *βάση* κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης και των ασφαλτικών στρώσεων. Στη στρώση αυτή 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 φορτία με τέτοιο τρόπο ώστε οι υποκείμενες ασυμπύκνωτες στρώσεις να μην εκτίθενται σε υπερβολικές καταπονήσεις και πιέσεις. Το πάχος της υπόβασης και της βάσης διαφέρει ανάλογα την κατηγορία του οδοστρώματος, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

Οι *ασφαλτικές στρώσεις* ακολουθούν έπειτα από την βάση και έχουν συνολικό πάχος που κυμαίνεται ανάλογα με την κυκλοφορία από 4 έως 35 εκ. Στις ασφαλτικές στρώσεις ενός οδοστρώματος περιλαμβάνονται, γενικά, η ασφαλτική βάση (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 οδοστρωσίας. Η ασφαλτική στρώση αποτελεί το ανώτερο στρώμα του οδοστρώματος και πρέπει να αντέχει στον υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο χωρίς να εμφανίζει μη ικανοποιητικές ρηγματώσεις και αυλακώσεις προκειμένου να παρέχει άνεση στο χρήστη και συγχρόνως να εξασφαλίζει επαρκή αντίσταση έναντι ολίσθησης. Τα βασικά συστατικά μέρη της στρώσης αυτής 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.

2.2.3 Κατηγορίες οδοστρωμάτων

Τα οδοστρώματα που χρησιμοποιούνται σε αυτοκινητοδρόμους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (1), (3). Αυτές είναι:

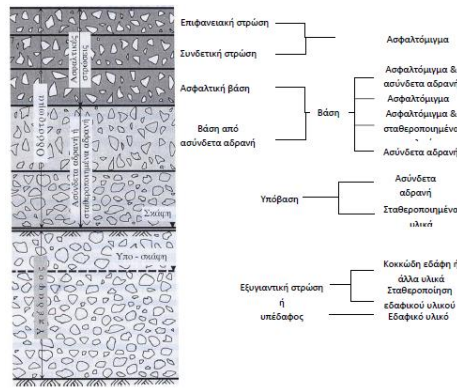
1. Εύκαμπτα (flexible) οδοστρώματα
2. Δύσκαμπτα (rigid) οδοστρώματα
3. Μικτά (composite) οδοστρώματα

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

Ο παραπάνω διαχωρισμός της δομής του εύκαμπτου οδοστρώματος βασίζεται στη διαφορετική μηχανική συμπεριφορά των στρώσεων, ομαδοποιημένων, και χρησιμοποιείται σήμερα ως

βάση για την ανάπτυξη όλων των μεθοδολογιών διαστασιολόγησης των εύκαμπτων οδοστρωμάτων.

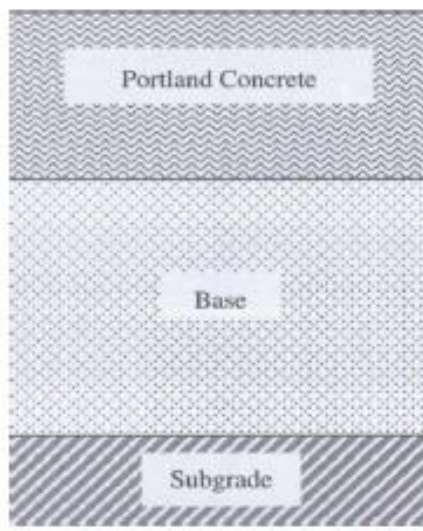
Κατασκευαστικά το εύκαμπτο οδόστρωμα διακρίνεται σε τρεις ομάδες στρώσεων: την επιφανειακή στρώση (ή στρώσεις), τη βάση και την υπόβαση. Ορισμένες φορές, λόγω ύπαρξης πολύ ασθενούς υπεδάφους, κατασκευάζεται και εξυγιαντική στρώση μεταξύ υποβάσεως και υπεδάφους.



Εικόνα 6: Κατασκευαστική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος (3)

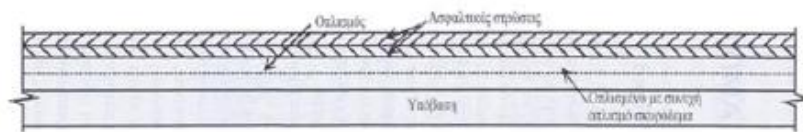
Δύσκαμπτα ή άκαμπτα ονομάζονται τα οδοστρώματα με μεγάλη ακαμψία που κατ' αποκλειστικότητα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα. Λόγω της μεγάλης ακαμψίας που διαθέτουν, σε αντίθεση με τα εύκαμπτα οδοστρώματα, οι τοπικές καθιζήσεις που πιθανόν να εμφανιστούν κάτω από αυτά δεν αντανακλώνονται στην επιφάνεια κύλισης.

Οι βασικές δομικές στρώσεις ενός τυπικού δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι δύο (2): 1) η στρώση πάνω στην οποία θα εδράσει η πλάκα του σκυροδέματος και ονομάζεται υπόβαση (ή βάση) και 2) η πλάκα από σκυρόδεμα, η επιφάνεια της οποίας είναι και η επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος.



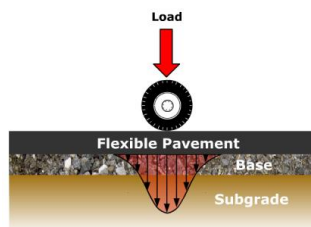
Εικόνα 7: Κατασκευαστική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος (12)

Η τρίτη κατηγορία οδοστρωμάτων, τα μικτά οδοστρώματα, αναφέρεται, συνήθως, σε οδοστρώματα στα οποία σκυρόδεμα με τσιμέντο τύπου Portland χρησιμοποιείται για να καλύψει κατεστραμμένο οδόστρωμα ασφάλτου ή ακριβώς το αντίθετο. Από αυτή την κατηγορία, περισσότερο συναντώνται τα μικτά δύσκαμπτα με συνεχή οπλισμό οδοστρώματα, τα οποία αποτελούνται από τρεις διακεκριμένες δομικές στρώσεις: την υπόβαση, την πλάκα σκυροδέματος με συνεχή οπλισμό και την ασφαλτική στρώση, συνήθως πάχους 100mm. Τα οδοστρώματα αυτά είναι, κατά κανόνα, ακριβότερα όλων των άλλων τύπων και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο σε αυτοκινητοδρόμους ή περιοχές, όπου το κόστος συντήρησης λόγω των καθυστερήσεων και της κυκλοφοριακής ανωμαλίας που θα επέλθει είναι μεγάλο. Σε κάθε περίπτωση πρόκειται για το αποτέλεσμα αποκατάστασης φθαρμένου υφιστάμενου οδοστρώματος.



Εικόνα 8: Κατασκευαστική διατομή μικτού οδοστρώματος (3)

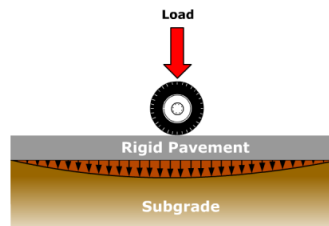
Οι όροι εύκαμπτο και δύσκαμπτο οδόστρωμα σχετίζονται με τον τρόπο που ένα οδόστρωμα, από άσφαλο και σκυρόδεμα αντίστοιχα, μεταβιβάζει το φορτίο και την παραμόρφωση στις υποκείμενες στρώσεις (18). Ιδανικά, ένα εύκαμπτο στρώμα μεταφέρει ομοιόμορφα το φορτίο και μη ομοιόμορφα την παραμόρφωση, ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε ένα δύσκαμπτο στρώμα. Στο εύκαμπτο οδόστρωμα, η μεταφορά των φορτίων στο έδαφος γίνεται δια μέσου των στρώσεων του. Το ολικό πάχος του οδοστρώματος αυτού πρέπει να είναι τόσο, ώστε οι δυνάμεις που μεταβιβάζονται σε μεγαλύτερη συνεχώς επιφάνεια να μειωθούν, μέχρι να γίνονται ανεκτές από το έδαφος έδρασης του οδοστρώματος.



Εικόνα 9: Κατανομή φόρτισης σε εύκαμπτο οδόστρωμα (13)

Στο δύσκαμπτο οδόστρωμα, όπου το υλικό του είναι μεγάλης αντοχής, το κύριο μέρος των τάσεων μεταβιβάζεται στο φορέα, ενώ το έδαφος θεμελίωσης απλώς αντιδρά στην παραμόρφωση του οδοστρώματος. Πρακτικά, η κατανομή του φορτίου και της παραμόρφωσης στους δύο τύπους οδοστρωμάτων εξαρτάται από την ακαμψία αυτών των στρωμάτων σε σχέση

με την ακαμψία των υποκείμενων κοκκωδών στρώσεων. Η αναλογία αυτή είναι πολύ μικρότερη στα οδοστρώματα από άσφαλτο σε σχέση με τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα με τσιμέντο τύπου Portland, στοιχείο το οποίο δικαιολογεί το χαρακτηρισμό τους ως εύκαμπτα και δύσκαμπτα αντίστοιχα.



Εικόνα 10: Κατανομή φόρτισης σε δύσκαμπτο οδόστρωμα (13)

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τα αντίστοιχα εύκαμπτα (1), (3). Η ακαμψία τους παρέχει μια σταθερή επιφάνεια που δεν παρουσιάζει εύκολα αυλακώσεις, ολισθήσεις και ωθήσεις, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιεί το ενδεχόμενο εμφάνισης λακκουβών. Αυτό μεταφράζεται σε ασφαλείς αυτοκινητόδρομους που απαιτούν λιγότερη συντήρηση, με λιγότερη αναστάτωση για το επιβατικό κοινό και τα εμπορικά οχήματα. Εξαιτίας αυτής της αντοχής επιλέγονται κυρίως για δρόμους που πρόκειται να έχουν αυξημένη κυκλοφορία βαρέων οχημάτων, δρόμους με έντονες κλίσεις και υψηλές αντιολισθητικές απαιτήσεις. Η ικανότητα τους για ανάληψη μεγαλύτερου κυκλοφοριακού φόρτου από βαρέα οχήματα είναι πολύ σημαντική, φτάνοντας μάλιστα να αναλαμβάνουν ακόμη και 4 φορές μεγαλύτερα φορτία από τα εύκαμπτα οδοστρώματα.

Η αντοχή των οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα δεν επηρεάζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό, όπως συμβαίνει στα οδοστρώματα ασφάλτου, από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και κυρίως από συνθήκες εξασθένησης του υπεδάφους κατά τις περιόδους απόψυξης (π.χ. Άνοιξη για το βόρειο ημισφαίριο). Αν και έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις και στα εύκαμπτα οδοστρώματα, με αποτέλεσμα αυτό το πρόβλημα να μην παρατηρείται σε σημαντικό βαθμό, ωστόσο σε περιοχές, όπως ο Καναδάς, όπου εμφανίζεται έντονα το πρόβλημα της εξασθένησης του υπεδάφους λόγω απόψυξης, ισχύουν στις αντίστοιχες περιόδους περιορισμοί ως προς το φορτίο των βαρέων οχημάτων για τα οδοστρώματα ασφάλτου. Κάτι αντίστοιχο δε συμβαίνει στα δύσκαμπτα οδοστρώματα. Ωστόσο, είναι πολύ σημαντικό η κατασκευή των οδοστρωμάτων (όλων των τύπων) να γίνει σε συγκεκριμένες συνθήκες που δε χαρακτηρίζονται από ακραίες θερμοκρασίες.

Επιπλέον, τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Υπηρεσίες αυτοκινητόδρομων αναφέρουν ότι η διάρκεια ζωής αυτών των οδοστρωμάτων είναι ίση με 25-

40 χρόνια και, γενικότερα, 1½-2 φορές μεγαλύτερη από τη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων από ασφάλτο που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν με αντίστοιχα πρότυπα.

Μία ακόμη διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους οδοστρωμάτων εντοπίζεται στη διαδικασία της διαστασιολόγησης. Στα εύκαμπτα οδοστρώματα ως αστοχία θεωρείται η ρηγμάτωση αλλά και η παραμένουσα παραμόρφωσή του, ενώ στα δύσκαμπτα μόνο η ρηγμάτωση.

Αν εξεταστεί η εξέλιξη των τιμών των υλικών που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, είναι σαφές ότι οι τιμές των εισαγόμενων υλικών, όπως του πετρελαίου και της ασφάλτου, εξαρτώνται αποκλειστικά από τις τιμές της διεθνούς αγοράς του αργού πετρελαίου και υπόκεινται σε ισχυρές διακυμάνσεις, ιδίως σε περιόδους ενεργειακής έλλειψης. Το τσιμέντο, από την άλλη πλευρά, είναι ένα ντόπιο υλικό κατασκευής και, κατά συνέπεια, η τιμή του είναι πιο σταθερή, αν και φυσικά επηρεάζεται από τις τιμές της ενέργειας. Για παράδειγμα, σε περιόδους κρίσης που χαρακτηρίζονται από έλλειψη πετρελαίου, παρατηρείται η τιμή της ασφάλτου να φθάνει απρόβλεπτα υψηλές τιμές, ενώ το τσιμέντο αντιδρά μετά από μια ορισμένη καθυστέρηση και εμφανίζει λιγότερες διακυμάνσεις. Σε ορισμένες χώρες, όπως η Τουρκία, η κατάσταση της αγοράς τσιμέντου και ασφάλτου είναι διαφορετική από ό,τι στις περισσότερες άλλες χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Εκεί το αρχικό κόστος επένδυσης για ένα δύσκαμπτο οδοστρώμα είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο εύκαμπτο. Όταν, μάλιστα, προστεθούν και οι δαπάνες συντήρησης, οι διαφορές γίνονται ιδιαίτερα υψηλές. Συνήθως, όμως, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα η αρχική κατασκευή των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων και οι απαιτούμενες δαπάνες για συντήρηση χαμηλότερες. Τέλος, μπορεί να αναφερθεί ότι στις χώρες, όπου γίνεται χρήση και των δύο τύπων οδοστρωμάτων, οι τιμές κάθε υλικού μπορούν να γίνουν ακόμη πιο ανταγωνιστικές.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα έχουν μειωμένο κόστος φωτισμού. Αυτό συμβαίνει, διότι τα οδοστρώματα αυτά αντανακλούν το φως διαχέοντάς το, σε αντίθεση με τα οδοστρώματα ασφάλτου που το αντανακλούν ελαφρώς φασματικά (λειτουργώντας σαν καθρέφτης). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, για μια συγκεκριμένη οδό να απαιτείται λιγότερο φως ανά μονάδα μήκους για να επιτευχθεί το ίδιο επίπεδο φωτισμού. Η μείωση αυτή αγγίζει το 30% περίπου για το νυχτερινό φωτισμό, συμπεριλαμβάνοντας την κατασκευή, την κατανάλωση ενέργειας και τη συντήρηση.

2.2.4 Λοιπά χαρακτηριστικά οδοστρωμάτων

Κάποια άλλα στοιχεία που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις διαφορές των δύο τύπων οδοστρωμάτων είναι ότι:

- Τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα υπερέχουν από περιβαλλοντική σκοπιά: Πιο συγκεκριμένα, πρόσφατη μελέτη του Athena Sustainable Materials Institute έδειξε ότι η ενσωματωμένη πρωτογενής ενέργεια, που απαιτείται για την κατασκευή, τη συντήρηση και την αποκατάσταση μιας εθνικής οδού, είναι 3 φορές υψηλότερη για το σχεδιασμό οδοστρώματος από άσφαλτο σε σχέση με το ισοδύναμό του από σκυρόδεμα. Με τον όρο ενσωματωμένη πρωτογενής ενέργεια γίνεται αναφορά σε όλη εκείνη την ενέργεια, που απαιτείται για την μετατροπή ενός υλικού σε τελικό προϊόν, συμπεριλαμβανομένης και της μεταφοράς. Η παραπάνω παρατήρηση σχετικά με την πρωτογενή ενέργεια, καθώς και παρατηρήσεις για ποικίλους άλλους περιβαλλοντικούς δείκτες, επαληθεύεται και από μία ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment), που πραγματοποιήθηκε για τέσσερις διαφορετικούς τύπους δύσκαμπτου, ένα τύπο μικτού και έναν τύπο εύκαμπτου οδοστρώματος με διάρκεια ζωής 30 χρόνων, από το Centre d' Energetique de l' Ecole des Mines de Paris, για λογαριασμό του CIMbeton, που είναι το κέντρο πληροφοριών για το τσιμέντο και τις εφαρμογές του στην Γαλλία. Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, για τις φάσεις της απόκτησης και της παραγωγής των πρώτων υλών, την προετοιμασία και τη μεταφορά των μιγμάτων, την κατασκευή της δομής του οδοστρώματος, τη συντήρηση και την αποξήλωση στο τέλος της διάρκειας ζωής, προκύπτει ότι τα εύκαμπτα οδοστρώματα υπερτερούν ως προς τα δύσκαμπτα στα απόβλητα – σπατάλες (wastes), στα αέρια του θερμοκηπίου (greenhouse gases), στον ευτροφισμό (eutrophication) και την τοξικότητα προς τους ανθρώπους (and toxicity to humans). Αντίθετα, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα υπερτερούν ως προς τους υπόλοιπους δείκτες, δηλαδή την ενέργεια (energy), νερό (water), φυσικούς πόρους (natural resources), ραδιενεργά απόβλητα (radioactive wastes), οξύτητα (acidification), οικοτοξικότητα (ecotoxicity), νέφος (smog) και οσμή (odour). Οι σχέσεις μεταξύ των εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων σχετικά με τους δείκτες αυτούς φαίνονται στην εικόνα 11. Ωστόσο, όταν λαμβάνεται υπόψη και η φάση της χρήσης του δρόμου, για παράδειγμα η κυκλοφορία, υπάρχει μία τελείως διαφορετική εικόνα. Αυτό φαίνεται από την εικόνα 12 για το άοπλο οδόστρωμα από σκυρόδεμα. Είναι αξιοσημείωτα μικρότερα τα τμήματα των ράβδων που αντιπροσωπεύουν την κατασκευή, τη συντήρηση και την αποξήλωση του οδοστρώματος σε σχέση με τα τμήματα που αντιπροσωπεύουν τη χρήση του. Με μόνη εξαίρεση των δείκτη των στερεών αποβλήτων, ο αντίκτυπος της κυκλοφορίας είναι κατά δέκα φορές τουλάχιστον μεγαλύτερος από όλες τις άλλες φάσεις της ζωής του οδοστρώματος.

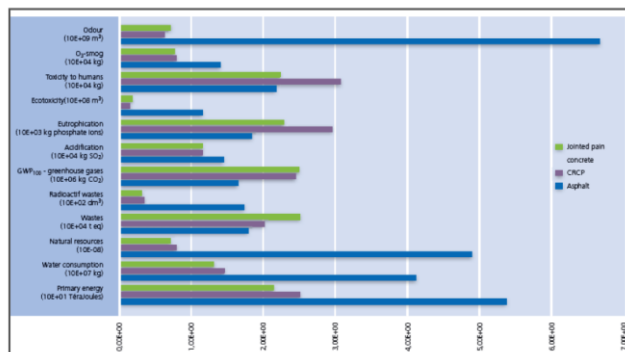
Εξαιτίας της κοινωνικής και οικολογικής σημασίας που έχει η μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, έχει πραγματοποιηθεί μια σειρά μελετών και ερευνητικών προγραμμάτων, σχετικά με την επίδραση του τύπου του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμων των επιβατικών και εμπορικών οχημάτων. Η πιο γνωστή μελέτη είναι αυτή που έγινε στον Καναδά από το National Research Council of Canada. Στην πραγματικότητα πρόκειται για μια σειρά τεσσάρων ερευνών, οι οποίες σταδιακά επεκτάθηκαν με πρόσθετες δοκιμές σε διάφορους τύπους δρόμων και οχημάτων, σε διαφορετικές εποχές και χρησιμοποιώντας μια ποικιλία στατιστικών μοντέλων. Ειδικότερα, η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η εξοικονόμηση καυσίμων στα δύσκαμπτα οδοστρώματα, σε σύγκριση με τα εύκαμπτα, τόσο για άδεια όσο και για πλήρως φορτωμένα συρόμενα οχήματα (tractor-trailer) κυμαίνεται από 0,8% έως 3,9%, για τις τέσσερις στις πέντε περιόδους του έτους και ότι αυτό βρέθηκε στατιστικά με αξιοπιστία 95%. Μια μέση εξοικονόμηση καυσίμων της τάξεως του 2,35% σίγουρα δεν είναι αμελητέα και, κατά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος σε ένα αυτοκινητόδρομο μεγάλης κυκλοφορίας, θα αντιπροσώπευε μια τεράστια διαφορά στη συνολική κατανάλωση καυσίμου και, επομένως, στις εκπομπές ρυπογόνων αερίων, όπως CO₂, NO_x και SO₂. Εκτός από τον τύπο του οδοστρώματος, η ομαλότητα και η επιφανειακή υφή είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου. Η ποιότητα της τελικής επιφάνειας σκυροδέματος διαδραματίζει καίριο ρόλο. Μια καλή ποιότητα και ένα εξίσου καλό οδόστρωμα σκυροδέματος που διατηρεί αυτές τις ιδιότητες για δεκαετίες, σε αντίθεση με ένα οδόστρωμα από σκυρόδεμα με κυματισμούς ή ανωμαλίες, που θα απαιτήσει δύσκολη και δαπανηρή θεραπεία, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα κύλισης, μειώνει την κατανάλωση καυσίμου στο ελάχιστο.

Το σκυρόδεμα είναι χημικά σταθερό και, επομένως, ασφαλές για το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα. Επιπλέον, ως αδρανές υλικό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και είναι 100% ανακυκλώσιμο. Η πλειονότητα των οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα που καταστρέφονται οδηγούνται σε εγκαταστάσεις θραύσης και διαλογής. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται σε βάσεις ή υποβάσεις οδοστρωμάτων από ασύνδετα ή μη αδρανή υλικά, ισχνά σκυροδέματα ή κυλινδρούμενα σκυροδέματα. Η χρήση ανακυκλωμένων σκυροδέματος είναι μία συνήθης πρακτική στην Αυστρία, ενώ ακολουθείται και σε άλλες χώρες, όπως Γερμανία, Πολωνία, κ.α.

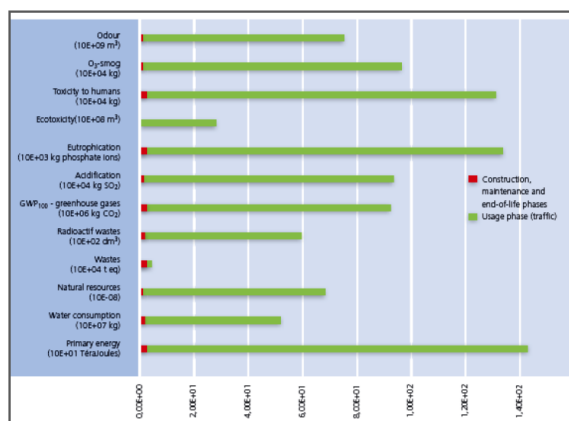
Συγκρινόμενο με το εύκαμπτο οδόστρωμα, ένα δύσκαμπτο μειώνει σημαντικά, ακόμη και κατά 50%, τις απαιτήσεις για υλικό βάσης, εξαιτίας του τρόπου κατανομής του

φορτίου. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση του κόστους προμήθειας και κατασκευής της στρώσης, την εξοικονόμηση πηγών, καυσίμων και τη μείωση των περιβαλλοντικών εκπομπών.

Στα οδοστρώματα από σκυρόδεμα γίνεται χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων, με μερική αντικατάσταση του τσιμέντου από βιομηχανικά υποπροϊόντα που ειδιάλλως θα προορίζονταν για χώρους υγειονομικής ταφής. Τα τρία πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μερικώς υποκατάστατα του τσιμέντου είναι: i) ιπτάμενη τέφρα (υποπροϊόν της καύσης άνθρακα), ii) σκωρία υψικαμίνων (από την παραγωγή χάλυβα) και iii) silica fume, δηλαδή πυριτική παιπάλη (από την παραγωγή πυριτίου ή κραμάτων σιδηροπυριτίου). Χρησιμοποιώντας αυτά τα υλικά σε κατάλληλες ποσότητες μπορεί να βελτιωθεί η διαπερατότητα και η αντοχή του οδοστρώματος. Η ιπτάμενη τέφρα και η σκωρία υψικαμίνων, επίσης, οδηγούν σε αύξηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό των πιθανών αλκαλικών αντιδράσεων των αδρανών. Επιπλέον, το σκυρόδεμα περιορίζει το φαινόμενο της θερμικής νησίδας.



Εικόνα 11: Τιμές τριών τύπων οδοστρωμάτων για διάρκεια ζωής 30 ετών, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η κυκλοφορία του δρόμου (14)



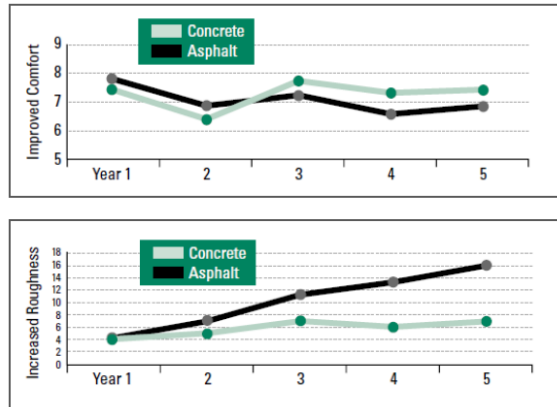
Εικόνα 12: Επίδραση άοπλου οδοστρώματος για διάρκεια ζωής 30 ετών, συμπεριλαμβανομένης της κυκλοφορίας του δρόμου (14)

- Από την πλευρά του χρήστη του οδοστρώματος μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι (1): Η αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας αυτού του φαινομένου μπορεί να μειωθεί με τη χρήση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, εξαιτίας του χρώματός του και των ανακλαστικών του ιδιοτήτων. Το albedo, δηλαδή ο λόγος της ηλιακής ενέργειας που ανακλάται από μία επιφάνεια προς τη συνολική ηλιακή ενέργεια που αυτή δέχεται, που έχει το σκυρόδεμα είναι ίσο με 15-25%, σε αντίθεση με την ασφάλτο που έχει τιμές albedo από 5-10%.

Μία πενταετής έρευνα, που πραγματοποίησε το Department of Transportation and Public Works (TPW) της επαρχίας Nova Scotia του Καναδά, έδειξε ότι με την πάροδο του χρόνου το οδόστρωμα από σκυρόδεμα προσφέρει πιο ομαλή και άνετη οδήγηση σε σχέση με αντίστοιχο οδόστρωμα από ασφάλτο, αν και αρχικά το τελευταίο είχε υψηλότερο δείκτη άνεσης οδήγησης (RCI). Η μεταβολή αυτή φαίνεται στην εικόνα 13. Η ίδια μελέτη έδειξε ότι το οδόστρωμα από σκυρόδεμα διατήρησε πιο ομαλή της επιφάνειά του στην ίδια περίοδο ανάλυσης. Η μεταβολή του δείκτη φαίνεται στην εικόνα 13. Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν και από μελέτη που υπολογίζει την τραχύτητα των οδοστρωμάτων στις ΗΠΑ. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι η τραχύτητα στα ασφαλτικά οδοστρώματα αυξάνεται ταχύτερα σε σχέση με τα δύσκαμπτα οδοστρώματα (69,9% αύξηση μέσα σε 8 χρόνια σε οδοστρώματα ασφάλτου σε αντίθεση με 3,7% αύξηση μέσα σε 9 χρόνια σε οδοστρώματα από σκυρόδεμα). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα έφεραν 3,5 φορές μεγαλύτερο φόρτο βαρέων οχημάτων.

Ο θόρυβος λόγω της κυκλοφορίας αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για τους κατοίκους των γειτονικών περιοχών και ιδιαίτερα σε αστικό περιβάλλον, όπου η πυκνότητα του πληθυσμού είναι αυξημένη κοντά στους κύριους οδικούς άξονες. Ο θόρυβος αυτός είναι πιο αυξημένος στα δύσκαμπτα οδοστρώματα. Η έρευνα που πραγματοποίησε το TPW της επαρχίας Nova Scotia του Καναδά, έδειξε στα οδοστρώματα από σκυρόδεμα υψηλότερο επίπεδο θορύβου της τάξεως των 2-4dB από τα οδοστρώματα ασφάλτου. Μολονότι, είναι αλήθεια ότι οι μειώσεις του θορύβου που έχουν επιτευχθεί με τις πορώδεις επιφάνειες ή τις λεπτές επιστρώσεις ασφάλτου, δεν μπορούν να επιτευχθούν με τα συμβατικά οδοστρώματα από σκυρόδεμα, η τεχνική της επίπασης λεπτόκοκκων αδρανών αποτελεί μία καλή εναλλακτική για πιο «ήσυχες» και ασφαλείς επιφάνειες δρόμων. Ωστόσο, γίνεται προσπάθεια από διάφορους φορείς, όπως τη Cement Association of Canada, την Portland Cement Association και την American

Concrete Pavement Association, ανάπτυξης ακόμη πιο «ήσυχων» οδοστρωμάτων σκυροδέματος.



Εικόνα 13: Μεταβολή δείκτη άνεσης οδήγησης (επάνω διάγραμμα) και μεταβολή δείκτη προφίλ οδήγησης (κάτω διάγραμμα) (1)

- Τέλος, υπάρχει διαφοροποίηση ανάμεσα στους δύο τύπους οδοστρωμάτων ως προς την ασφάλεια που παρέχουν στο χρήστη:

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι λιγότερο πιθανό να συμβεί κάποια ολίσθηση εξαιτίας παρουσίας νερού. Αυτή η περιορισμένη πιθανότητα προέρχεται από το γεγονός ότι η ποιότητα του σκυροδέματος δεν επιτρέπει εύκολα τη δημιουργία αυλακώσεων, όπου μπορεί να συγκεντρωθεί νερό. Ακόμη, τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα, στα οποία σε σχέση με αυτά από άσφαλτο, μπορούν να δημιουργηθούν μία πιο τραχιά επιφάνεια για καλύτερη αντίσταση σε ολίσθηση και αυλακώσεις για τη σωστή απομάκρυνση του νερού από το οδόστρωμα, ώστε να υπάρχει καλύτερη πρόσφυση, παρέχουν ασφαλέστερους δρόμους.

Τέλος, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα παρέχουν καλύτερη ορατότητα τις νυκτερινές ώρες. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το χρώμα αυτών των οδοστρωμάτων, καθώς ο τρόπος ανάκλασης του φωτός, που προέρχεται από τα οχήματα αλλά και από τις εγκαταστάσεις φωτισμού της οδού, φωτίζουν καλύτερα πιθανούς κινδύνους, σε σχέση με το σκουρόχρωμο οδόστρωμα ασφάλτου, αυξάνοντας την ασφάλεια των χρηστών. Η χαρακτηριστική διαφορά ανάμεσα στα δύο υλικά είναι εμφανής στην εικόνα 14.



Εικόνα 14: Νυκτερινή ορατότητα σε οδόστρωμα από σκυρόδεμα και άσφαλτο (1)

2.3 Φθορές και αστοχίες οδοστρωμάτων

2.3.1 Γενικά στοιχεία

Η έννοια φθορά αναφέρεται σε ατέλειες ή καταπονήσεις του οδοστρώματος που γίνονται αντιληπτές με απλή παρατήρηση, οι οποίες εκτιμώνται και σχετίζονται με τον κύκλο ζωής για κάθε τύπο οδοστρώματος για δεδομένες κυκλοφοριακές και καιρικές συνθήκες (19). Οι φθορές κατηγοριοποιούνται ανάλογο με τον τύπο του οδοστρώματος στο οποίο αναφέρονται (εύκαμπτο ή δύσκαμπτο) και παρουσιάζονται αναλυτικά στα Κεφάλαια 3 και 4 για κάθε τύπο οδοστρώματος.

Τα οδοστρώματα δεν παραμένουν αναλλοίωτα στο χρόνο. Καθημερινά πολλοί παράγοντες συμβάλλουν στην φθορά και επιδρούν στη συμπεριφορά τους. Πρωταρχικός παράγοντας της συνεχούς καταπόνησής τους αποτελεί ο κυκλοφοριακός φόρτος, καθώς και η ορθότητα της μελέτης διαστασιολόγησής τους, διότι ένα οδόστρωμα που έχει σχεδιαστεί για μικρότερα κυκλοφοριακά φορτία, θα εμφανίσει γρήγορα πολύ έντονες φθορές (15). Τα οδοστρώματα υπό την επίδραση του κυκλοφοριακού φόρτου, φθείρονται σταδιακά. Ο άξονας κάθε τροχού προκαλεί μια ορισμένη στιγμιαία φθορά η οποία συσσωρεύεται και φαίνεται στο τέλος της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος σαν βύθιση ή/και ρηγμάτωση. Επιπλέον, οι συνθήκες του περιβάλλοντος, χημικής ή φυσικής προέλευσης, επιβαρύνουν την συμπεριφορά των οδοστρωμάτων. Τέλος, σημαντικά επιδρούν και παράγοντες που σχετίζονται με την κατασκευή και συντήρησή τους, όπως η ποιότητα κατασκευής και η καταλληλότητα των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Για όλους αυτούς τους λόγους, η κατάσταση των οδοστρωμάτων συνεχώς μεταβάλλεται με φθίνουσα πορεία από την αρχική τους «πρότυπη» κατάσταση.

Γενικότερα, η αστοχία ενός οδοστρώματος μπορεί να αφορά την λειτουργική ή την δομική του κατάσταση. Η λειτουργική αστοχία έχει σχέση με την ποιότητα στην οδήγηση και την αισθητική εικόνα του ίδιου του οδοστρώματος. Τέτοιες μορφές αστοχίας εμφανίζονται όταν η επιφάνεια του οδοστρώματος χάσει την αντιολισθηρότητά της ή παρουσιάσει σημάδια αποσύνθεσης (αποκόλληση αδρανών ή μικρές λακκούβες) ή πτυχώσεις (κυματώσεις) ή απώθηση ασφαλικού υλικού. Η απώλεια της αντίστασης σε ολίσθηση έχει σχέση με το είδος των αδρανών και τον κυκλοφοριακό φόρτο και αρχίζει από την πρώτη μέρα λειτουργίας του οδοστρώματος. Τα άλλα είδη αστοχίας έχουν σχέση με το ασφαλτόμιγμα που χρησιμοποιείται και, αν πρόκειται να εμφανιστούν, εμφανίζονται σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα μετά την κατασκευή. Δομική αστοχία κάποιας στρώσης και κατά προέκταση του οδοστρώματος θεωρείται η ρηγμάτωση της ασφαλικής στρώσης, η οποία προκαλείται από υπέρβαση της αντοχής του ασφαλτομίγματος σε κόπωση από κάμψη. Ρωγμές στην επιφάνεια του

οδοστρώματος μπορεί να εμφανιστούν εγκάρσια ή διαμήκη ή σε μορφή πλέγματος όπως είναι οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα. Επιπλέον, δομική αστοχία θεωρείται η παραμένουσα παραμόρφωση της επιφάνειας κύλισης, που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην υπερβολική παραμόρφωση της στρώσης έδρασης (υπέδαφος).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι τέσσερις βασικοί λόγοι στους οποίους μπορεί να οφείλεται η αστοχία ενός οδοστρώματος. Γενικά, όταν ένας δρόμος ή μία οδός αστοχήσει, η αστοχία μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, αλλά συνήθως ένας από τους ακόλουθους τέσσερις είναι ο πιο κρίσιμος.

2.3.2 Αστοχία στο σχεδιασμό

Οι περισσότεροι δρόμοι δεν είναι ειδικά σχεδιασμένοι. Η χάραξή τους έχει υλοποιηθεί πάνω σε προγενέστερους δρόμους και μονοπάτια και εξελίχθηκε σε σύγχρονα οδοστρώματα. Αυτό δεν σημαίνει ότι πρέπει να έχουν πλήρως αναπτυγμένο τον τεχνικό σχεδιασμό για την αποκατάσταση κάθε οδικού δικτύου. Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι δρόμοι λειτουργούν μια χαρά. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλά ζητήματα που πρέπει να εξεταστούν. Για παράδειγμα, σε δρόμους με χαμηλό κυκλοφοριακό όγκο, η σημαντικότερη πρόκληση του σχεδιασμού αφορά τον καιρό και τις συνθήκες αποστράγγισης. Αν η αποστράγγιση έχει υλοποιηθεί σωστά και ο δρόμος έχει κατασκευαστεί τηρώντας τις ελάχιστες προδιαγραφές για το πάχος και την ποιότητα του οδοστρώματος, θα πρέπει να αντέξει ικανοποιητικά. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές αποτυχίες εξαιτίας του σχεδιασμού, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν στους ακόλουθους παράγοντες:

- **Υποδιαστασιολόγηση:** Ένας δρόμος που δεν μπορεί να αντέξει τα φορτία για τα οποία έχει σχεδιαστεί είναι υποδιαστασιολογημένος. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε μια αστοχία των προβλεπόμενων συνθηκών, όπως η αύξηση στην κυκλοφορία φορτηγών. Για παράδειγμα, θα πρέπει να σχεδιαστούν νέοι δρόμοι όταν αλλάζει η χρήση γης κάποιων περιοχών σε βιομηχανική και εμπορική λόγω της βαριάς κυκλοφορίας που θα εξυπηρετούν.
- **Αποτυχία στην πρόβλεψη των μελλοντικών συνθηκών:** Ακόμη και αν ο δρόμος έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με προδιαγραφές ποιότητας, μπορεί να υπάρχει πρόωρη αστοχία, εάν υπάρχουν συνθήκες που έχουν αγνοηθεί κατά το σχεδιασμό. Η έλλειψη καλής αποστράγγισης οδηγεί σε πιο συχνές πρόωρες βλάβες. Σε αρκετές περιπτώσεις, το πρόβλημα αυτό δεν αποτελεί ένα πρόβλημα λόγω κατασκευής ή υλικών. Γι' αυτό τον λόγο όταν πριν από την παράδοση και την χρήση του έργου γίνεται η επιθεώρησή του, πρέπει να αξιολογείται η ποιότητα της αποστράγγισής του.

- **Αλλαγές μετά την κατασκευή:** Μόλις κατασκευαστεί ένα τμήμα του οδοστρώματος, είναι πιθανό μέρος της εκτρεπόμενης κυκλοφορίας να χρησιμοποιεί το νέο δρόμο. Αν δεν έχει προβλεφθεί αυτός ο αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος, ο δρόμος μπορεί να αστοχήσει πολύ σύντομα. Η κατάσταση επιβαρύνεται περισσότερο αν παρουσιαστεί επιπλέον κίνηση βαρέων οχημάτων την άνοιξη, την περίοδο που οι φακοί του πάγου δίνουν αυξημένη υγρασία στο οδόστρωμα.

Κάποια παραδείγματα αστοχίας εξαιτίας του σχεδιασμού είναι τα εξής:

- Πάρα πολύ λεπτή ασφαλική επικάλυψη για τα φορτία κυκλοφορίας (πάρα πολύ παχιά, επίσης, δεν είναι επιθυμητή, καθώς αποτελεί σπατάλη χρημάτων).
- Η αποτυχία πρόβλεψης μιας διόγκωσης στο οδόστρωμα.
- Η σφράγιση με ασφαλικές επαλείψεις ενός οδοστρώματος με σοβαρές ρηγματώσεις και βλάβες.
- Η κακή επιλογή και ανεπαρκής εκτέλεση της μεθόδου σφράγισης των ρωγμών του οδοστρώματος.
- Η χρήση σταθεροποιητή από ασφαλικό σκυρόδεμα (asphalt cement), όταν η περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα αδρανή (fines) είναι υπερβολικά υψηλή (πάνω από περίπου 12%).

2.3.3 Αστοχία στην κατασκευή

Ακριβώς όπως ο σχεδιασμός, έτσι και η κακή ποιότητα κατασκευής μπορεί να οδηγήσει έναν δρόμο σε πρόωρη αστοχία. Πολλές κατασκευαστικές αστοχίες δεν εμφανίζονται ως ελαττώματα για πολλά χρόνια, γι' αυτό είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η αιτία της αστοχίας. Είτε η κατασκευή γίνεται με ίδια μέσα (in-house) είτε με σύμβαση, είναι σημαντικό να γίνει σωστά. Η εκπαίδευση του εργατικού δυναμικού για τις περιπτώσεις αυτεπιστασίας, αλλά και του επιβλέποντα για τις περιπτώσεις ανάθεσης της κατασκευής του έργου αποτελούν σημαντικά ζητήματα για την εξασφάλιση της ποιοτικής ολοκλήρωσής του. Η κατασκευή μπορεί να είναι το πιο δύσκολο βήμα, επειδή υπάρχουν τόσα πολλά πρακτικά θέματα και προβλήματα για τα οποία πρέπει να δοθεί κατάλληλη απάντηση. Η βασική εκπαίδευση σε συνδυασμό με την πρακτική άσκηση, καθώς και η παράλληλη απόκτηση εμπειρικής γνώσης, συμβάλλουν ικανοποιητικά στην ορθή εκτέλεση των εργασιών. Ωστόσο, οι πολύπλοκες και εξειδικευμένες εργασίες εξακολουθούν να ενέχουν δυσκολίες και προβληματισμούς και να εγκυμονούν κινδύνους για ενδεχόμενες κατασκευαστικές αποτυχίες. Οι παράγοντες, οι οποίοι ευθύνονται για αυτές τις αστοχίες περιγράφονται παρακάτω

- **Κακή ποιότητα κατασκευής:** Ένα έργο με άριστη μελέτη εάν δεν υλοποιηθεί σωστά, δεν μπορεί να έχει διάρκεια. Συνηθισμένο πρόβλημα αποτελεί η αστοχία της συμπύκνωσης της επιχωμάτωσης σε λεπτά στρώματα. Μπορεί η κατασκευή να είναι γρηγορότερη αν γίνει σε χοντρά στρώματα, όμως η επανάληψη των εργασιών για την διόρθωση του προβλήματος μετά την ενδεχόμενη καθίζηση δεν είναι μια καλή εναλλακτική λύση. Η αντιμετώπιση των ζητημάτων κατασκευής παρέχεται μέσω της κατάρτισης.
- **Χρήση ακατάλληλου εξοπλισμού:** Η χρήση του λάθους εργαλείου για τη συντήρηση του οδοστρώματος μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη αστοχία. Ένας οδοστρωτήρας με ελαστικό κύλινδρο πρέπει να χρησιμοποιείται σε οδοστρώματα για ασφαλική επάλειψη. Ένας μεταλλικός κύλινδρος οδοστρωτήρα υπερβολικού βάρους μπορεί να συντρίψει και να θραύσει τα αδρανή. Η παράλειψη της χρήσης ενός εργαλείου του εξοπλισμού μπορεί, επίσης, να προκαλέσει προβλήματα. Για παράδειγμα, αν τα αδρανή μιας στρώσης βάσης παραμείνουν χωρίς συμπύκνωση επειδή κανένας οδοστρωτήρας δεν είναι διαθέσιμος, είναι μια κακή λύση.
- **Η εσφαλμένη χρήση του εξοπλισμού:** Ακόμα κι αν υπάρχουν τα σωστά εργαλεία του εξοπλισμού, είναι σημαντικό να τα χρησιμοποιηθούν σωστά. Χρησιμοποιώντας ένα συμπίεστη για το «σβήσιμο» των ρωγμών μπορεί να εισέλθει νερό στις ρωγμές. Είναι σημαντική η γνώση της καταλληλότητας των εργαλείων του εξοπλισμού, καθώς και η χρήση τους.
- **Η αποτυχία ακολουθίας των σχεδίων:** Για τη συντήρηση του οδοστρώματος δεν απαιτούνται σχέδια μηχανικού, αλλά αρκεί ως ένα πολύτιμο εργαλείο η καταγραφή των βημάτων και η διατήρηση ενός πλάνου. Παραδείγματα αυτών των καλών σχεδιασμών περιλαμβάνουν χαράξεις, παρακάμψεις, υλικά, βήματα κατασκευής, και σχέδια σε περίπτωση κακών καιρικών συνθηκών. Χωρίς σχέδιο δεν υπάρχει η γνώση του λάθους.
- **Η έλλειψη της εκπαίδευσης:** Πολύ σημαντικό στοιχείο της σωστής εκτέλεσης των εργασιών είναι η γνώση του τρόπου υλοποίησής τους. Γι' αυτό τον λόγο αξίζει η επένδυση στην παροχή κατάρτισης για όλους τους εργαζομένους. Μπορεί να συμβαίνει κατά τη διάρκεια της εργασίας, με συνομιλίες στα διαλείμματα, με ωριαία εκπαίδευση σε συναντήσεις της εκάστοτε ένωσης, ή με ημερήσια κατάρτιση από κάποιο πρόγραμμα ή προμηθευτή.
- **Επιλογή λανθασμένης εποχής του χρόνου ή κακές καιρικές συνθήκες:** Οι καιρικές συνθήκες δεν μπορούν να ελεγχθούν, ωστόσο είναι δυνατόν να αποδοθούν ευθύνες για

τον χειρισμό τους. Μια επιφανειακή συντήρηση που τοποθετείται τον Οκτώβριο, δεν είναι πιθανό να λειτουργήσει όπως μία που τοποθετείται τον Ιούλιο. Από την άλλη πλευρά, αν έβρεχε κατά τη διάρκεια της κατασκευής τον Ιούλιο, δεν είναι πιθανό να έγινε πολύ καλά και τότε. Η γνώση των περιορισμών της κάθε επισκευής είναι μείζονος σημασίας.

Ενδεικτικά παραδείγματα της αποτυχίας στην κατασκευή αποτελούν:

- Η αποτυχία συμπύκνωσης της τοπικής εξυγίανσης με ψυχρό ασφαλτικό μίγμα που περιέχει ανακυκλωμένα κομμάτια ελαστικών
- Η αποτυχία να τοποθετηθούν τα αδρανή σε ασφαλτικές επαλείψεις (chip seal) πριν τη διάσπαση των ασφαλτικών γαλακτώματων
- Η χρήση ενός συμπιεστή αέρα χωρίς διαχωριστή ελαίου/νερού για τον καθαρισμό των ρωγμών (μπορεί να εισαχθεί νερό και να προκληθεί απώλεια των συνδέσμων)
- Η διάστρωση πάνω σε μια βάση που δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένη
- Η υλοποίηση εργασιών με ασφαλτικά γαλακτώματα μετά τα τέλη Οκτωβρίου (ή σε οποιαδήποτε κρύα ημέρα)

2.3.4 Ακαταλληλότητα των υλικών

Η χρήση του λάθους υλικού στο σωστό μέρος ή του σωστού υλικού σε λάθος θέση μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη αστοχία. Μερικές φορές τα προβλήματα είναι προφανή, ενώ άλλες φορές δεν δείχνουν να σχετίζονται με την επιλογή του υλικού. Οι σημαντικότεροι λόγοι στους οποίους μπορεί να αποδοθεί μια αποτυχία λόγω των υλικών είναι:

- **Λάθος υλικό:** Το λάθος υλικό οδηγεί σε πρόωρη αστοχία. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση βρώμικου χαλκιού στη βάση. Η χρήση του λιγότερο δαπανηρού υλικού μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μεγαλύτερα έξοδα στην μέλλον. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η κατανόηση των περιορισμών του συγκεκριμένου προϊόντος πριν τη χρήση.
- **Το υλικό δεν πληροί τις προδιαγραφές:** Κατά την επιλογή των υλικών, είναι απαραίτητη η πιστοποίηση ότι πληρούν τις προδιαγραφές. Προτείνεται ο δειγματοληπτικός έλεγχος των προϊόντων στο εργοτάξιο. Όμως, δεν είναι πάντα δυνατή η λήψη δείγματος μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής.
- **Λανθασμένη τοποθέτηση του υλικού:** Εάν το υλικό έχει τοποθετηθεί εσφαλμένα, μπορεί να προκαλέσει πρόωρη αστοχία. Θα μπορούσε να είναι είτε κατασκευαστικό πρόβλημα είτε πρόβλημα λόγω του υλικού. Μερικές φορές, το πρόβλημα είναι η αποτυχία της τοποθέτησης ενός στοιχείου χρησιμοποιώντας μια νεότερη τεχνική.

- **Ασυμβατότητα με άλλα υλικά:** Το κόστος της ασυμβατότητας των συστατικών παρατίθεται σχεδόν κάθε φορά που αποτυγχάνει ένα οδόστρωμα με ασφαλική επάλειψη (chip seal), αν και στην πραγματικότητα, αυτό δεν συμβαίνει σχεδόν ποτέ. Πολύ συνηθισμένη είναι η χρήση σκονισμένων αδρανών που δεν συγκρατούν τα ασφατικά γαλακτώματα. Όταν παρουσιαστεί αυτό το πρόβλημα, οι συνέπειες μπορεί να είναι δραματικές.

Κάποια παραδείγματα των αποτυχιών λόγω των υλικών είναι:

- Η εφαρμογή ασφαλικής επάλειψης (chip seal) πάνω στην επιφάνεια ασφαλικής βάσης μετά από αποκόλληση του ασφαλτοτάπητα χωρίς να προηγηθεί διάστρωση τάπητα
- Η χρήση ασφαλικού γαλακτώματος για την πλήρωση ρηγματώσεων, καθώς σε ρηγματώσεις με διάκενο 2-3 mm απαιτείται η εφαρμογή ασφαλικής μαστίχης (άσφαλτος με λεπτόκοκκα αδρανή), ενώ σε περισσότερο εκτεταμένες ρηγματώσεις απαιτείται ανακατασκευή της επιφάνειας του οδοστρώματος
- Η χρήση ψυχρού ασφαλτομίγματος σε περίπτωση τακτικής επισκευής (μπάλωμα) με εσφαλμένη τεχνική
- Η χρήση σκονισμένων ή υγρών αδρανών σε εργασίες συντήρησης της επιφάνειας

2.3.5 Αστοχία στη συντήρηση

Το πρόβλημα της συντήρησης παρουσιάζεται στο ότι δεν είναι αρκετή. Πρόκειται για ένα ζήτημα προϋπολογισμού, προγραμματισμού και επικοινωνίας, που μερικές φορές είναι πολύ δύσκολο να ξεπεραστεί. Μόλις αποφασιστεί η εκτέλεση μιας συντήρησης είναι σημαντική η υπενθύμιση ότι όλες οι τεχνικές συντήρησης έχουν σχεδιαστεί για να ταιριάζουν με συγκεκριμένες συνθήκες και πρέπει να κατασκευάζονται κατάλληλα χρησιμοποιώντας τα σωστά υλικά. Η πρόωρη αστοχία της συντήρησης οδοστρώματος είναι συνήθως μια αποτυχία του σχεδιασμού, της κατασκευής, ή των υλικών.

- **Σχεδιασμός:** Το πρώτο βήμα στον σχεδιασμό είναι η επιλογή της σωστής επισκευής για την επιδιόρθωση του προβλήματος. Σε πάρα πολλές περιπτώσεις, η επιλογή της επισκευής γίνεται με μη-τεχνικούς λόγους. Επιπλέον, πολλές συντηρήσεις γίνονται χωρίς σχεδιασμό. Γνωρίζοντας τι χρειάζεται να γίνει μπορεί να υλοποιηθεί η σωστή επισκευή, γεγονός που αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα βήματα στο σχεδιασμό της συντήρησης του οδοστρώματος.
- **Κατασκευή:** Μετά την επιλογή της τεχνικής συντήρησης, απαιτείται η σωστή κατασκευή της. Η αποτυχία της σωστής υλοποίησης της επισκευής συντήρησης είναι μια σημαντική αιτία για την πρόωρη αστοχία του οδοστρώματος.

- **Υλικό:** Η χρήση του σωστού υλικού είναι κρίσιμης σημασίας. Μπορεί να κοστίζει λιγότερο η αγορά ενός φθηνότερου χαλκιού, η επιδιόρθωση, ή το γαλάκτωμα, αλλά είναι τεράστιο το κόστος αντικατάστασης εάν αποτύχει πρόωρα.

Κεφάλαιο 3ο Εύκαμπτα οδοστρώματα

3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Ο σχεδιασμός των εύκαμπτων οδοστρωμάτων γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψιν τις κλιματολογικές συνθήκες, τον κυκλοφοριακό φόρτο καθώς και τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους (15).

3.1.1 Κλιματολογικές συνθήκες

Οι κλιματολογικές συνθήκες πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη στη διαδικασία υπολογισμού του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος ιδιαίτερα σε περιοχές με ιδιαίτερες καιρικές συνθήκες. Ο συνδυασμός των κλιματολογικών συνθηκών με την φύση του εδάφους μπορεί να επιφέρει αρνητικές συνέπειες και μόνιμες φθορές στο οδόστρωμα. Πιο συγκεκριμένα (15), (16):

- **Θερμοκρασία περιβάλλοντος:** Η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το οδόστρωμα. Σε περιοχές που η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, υπάρχει ο κίνδυνος να εμφανιστεί ρευστοποίηση της ασφάλτου που σε συνδυασμό με την κυκλοφορία των οχημάτων μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση της επιφανειακής στρώσης και καταστροφή της επιφάνειας κύλισης. Ταυτόχρονα μπορεί να προκληθεί ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος και να δημιουργηθεί έτσι ολισθηρή επιφάνεια κύλισης. Συνεπώς μπορεί να προκληθεί ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος και να δημιουργηθεί έτσι ολισθηρή επιφάνεια κύλισης.

Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται στη μείωση του μέτρου δυσκαμψίας (E) του ασφαλτομίγματος που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Γι αυτό το λόγο κατά το σχεδιασμό του ασφαλτομίγματος, πρέπει να επιλέγεται η σωστή κατηγορία και ποσοστό ασφάλτου για αποφυγή αυτών των αρνητικών καταστάσεων. Ανάλογη σημασία πρέπει να δίνεται και σε περιοχές όπου η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η χαμηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει συρρίκνωση του εδάφους με αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών. Επίσης σε περίπτωση που γίνει εισχώρηση νερού στο εδαφικό υλικό, η πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει κρυστάλλους πάγου που θα έχουν σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος.

- Παγετός:** Η δράση του παγετού μπορεί να προκαλέσει ανύψωση σε σημεία του οδοστρώματος λόγω των κρυστάλλων που γίνονται πάγος μέσα στο υπέδαφος. Αυτό έχει ως τελική συνέπεια την εμφάνιση ρωγμών στο οδόστρωμα. Για να μπορέσει να δημιουργηθεί ο παγετός πρέπει το έδαφος να είναι ευαίσθητο δηλαδή τα εδάφη με κόκκους μικρότερους του 0,02 χιλιοστά, να υπάρχει νερό και η θερμοκρασία να πέφτει με αργό ρυθμό ούτως ώστε να προλάβουν τα μόρια του νερού να γίνουν πάγος. Όταν μετά ανέβει η θερμοκρασία της υποδομής και αρχίσει να λιώνει ο πάγος από πάνω προς τα κάτω, τότε έχουμε εκεί περίσσειμα νερού, που δεν μπορεί να φύγει. Το νερό αυτό, το οποίο εμποδίζεται να στραγγίσει από τα κατώτερα στρώματα που τα στεγανοποιεί ο πάγος, προξενεί χαλάρωση και μαλάκωμα του εδάφους, δηλαδή σημαντική μείωση της αντοχής της υποδομής (μείωση φέρουσας ικανότητας). Η εμφάνιση τέτοιων φαινομένων εμποδίζει την σωστή κατανομή των φορτίων διαμέσου των στρώσεων του οδοστρώματος στο υπέδαφος και έχει ως επακόλουθα την εμφάνιση παραμορφώσεων και ρηγματώσεων. Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων στις περιπτώσεις που ένα οδόστρωμα πρόκειται να κατασκευαστεί σε ευαίσθητο σε παγετό έδαφος γίνεται κατά το στάδιο της διαστασιολόγησης έχοντας ως στόχο:

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

3.1.2 Κυκλοφοριακός φόρτος

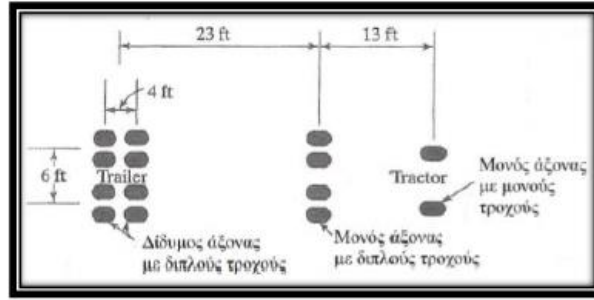
Κατά την κατασκευή ενός οδοστρώματος, η αποτίμηση του κυκλοφοριακού φόρτου αποτελεί μία από τις βασικές παραμέτρους της κατασκευής αυτής, αφού για τον καθορισμό του πάχους του οδοστρώματος πρέπει κανείς να γνωρίζει τον αριθμό και το βάρος του κάθε οχήματος (17). Τα οχήματα που κυκλοφορούν σε μία οδό είναι μίγμα από επιβατικά, λεωφορεία, φορτηγά, νταλίκες κλπ. με διαφορετικό αριθμό αξόνων και διαφορετικό φορτίο το καθένα από αυτά. Ανάλογα με το φορτίο κάθε οχήματος και την κατανομή του σε άξονες, προκύπτει και η καταστροφική του ικανότητα έναντι του οδοστρώματος. Επειδή η καταστροφική ικανότητα των επιβατικών οχημάτων είναι αμελητέα σε σχέση με αυτή των εμπορικών, τα φορτία που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό οδοστρωμάτων συνήθως αναφέρονται σε εμπορικά οχήματα. Στα εμπορικά οχήματα οι άξονες μπορεί να είναι μονοί, δίδυμοι ή τρίδυμοι οι οποίοι φέρουν ένα ή δύο ελαστικούς τροχούς ανά πλευρά. Για τον υπολογισμό του φορτίου σε μια οδό χρησιμοποιείται το αξονικό φορτίο 18 kip (80 kN) μονού άξονα. Για την έκφραση του κυκλοφοριακού φόρτου χρησιμοποιείται διεθνώς ως μονάδα μέτρησης ο Ισοδύναμος Τυπικός Άξονας (ITA). Τα μέγιστα επιτρεπτά αξονικά βάρη διαφόρων τύπων οχημάτων, όπως αυτά έχουν θεσπιστεί σε διάφορες χώρες δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Μέγιστα επιτρεπτά αξονικά φορτία ανά χώρα

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

^(a) Εξαρτάται από τον άξονα

^(β) Ενδοεθνικό όριο, ολλάντες ελαστικός από Πολιτεία σε Πολιτεία



Εικόνα 15: Τχνη τροχών τυπικού Αμερικανικού φορτηγού τριών αξόνων (17)

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

$$\frac{N_t}{N_j} = \left(\frac{P_j}{P_t}\right)^\gamma = a \quad (1)$$

Όπου:

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

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

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

a = είναι συντελεστής ισοδυναμίας.

Ο υπολογισμός των συντελεστών ισοδυναμίας μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση της εξίσωσης ή να ληφθεί από τον πίνακα με τους υπολογισμένους συντελεστές ισοδυναμίας που προέκυψαν από το πείραμα του AASHO για τη μετατροπή μονών, δίδυμων και τρίδυμων αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες (ITA). Στον πίνακα 2 φαίνεται ο τυπικός πίνακας με τους συντελεστές ισοδυναμίας κατά AASHTO.

Πίνακας 2: Συντελεστές ισοδυναμίας για μετατροπή αξόνων σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες ($P_1=2.5, S_N=5$) (3)

Βάρους άξονα		Συντελεστές ισοδυναμίας ανά τύπο άξονα		
kN	kgms	Μονός	Δίδυμος	Τρίδυμος
4.45	1	0.00002	0.0000	0.0000
8.9	2	0.00018	0.0000	0.0000
17.8	4	0.00209	0.0003	0.0000
26.7	6	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8	0.0343	0.003	0.001
44.5	10	0.0877	0.007	0.002
53.4	12	0.189	0.014	0.003
62.3	14	0.360	0.027	0.006
71.2	16	0.623	0.047	0.011
80.0	18	1.000	0.077	0.017
89.0	20	1.510	0.121	0.027
97.8	22	2.180	0.180	0.040
106.8	24	3.030	0.260	0.057
115.6	26	4.090	0.364	0.080
124.5	28	5.390	0.495	0.109
133.5	30	7.000	0.658	0.145
142.3	32	8.880	0.857	0.191
151.2	34	11.18	1.095	0.246
160.0	36	13.93	1.380	0.313
169.0	38	17.20	1.700	0.393
178.0	40	21.08	2.080	0.487
187.0	42	25.64	2.510	0.597
195.7	44	31.00	3.000	0.723
204.5	46	37.24	3.550	0.868
213.5	48	44.50	4.170	1.033
222.4	50	52.88	4.860	1.220
231.3	52		5.630	1.430
240.2	54		6.470	1.660
249.0	56		7.410	1.910
258.0	58		8.450	2.200
267.0	60		9.659	2.510
275.8	62		10.84	2.850
284.5	64		12.22	3.220
293.5	66		13.73	3.620
302.5	68		15.38	4.050
311.5	70		17.19	4.520
320.0	72		19.16	5.030
329.0	74		21.32	5.570
338.0	76		23.66	6.150
347.0	78		26.22	6.780
356.0	80		29.00	7.450
364.7	82		32.00	8.200
373.6	84		35.30	8.900
382.5	86		38.80	9.600
391.4	88		42.60	10.60
400.3	90		46.80	11.60

3.1.3 Χαρακτηριστικά υπεδάφους

Ως έδαφος ορίζεται ως όλα τα υλικά, ανόργανα και οργανικά που περιβάλλουν τον φλοιό της γης υπό μορφή χαλαρών ή μαλακών αποθέσεων (3), (15). Υπέδαφος στο σχεδιασμό οδοστρωμάτων ονομάζεται το συμπυκνωμένο και διαμορφωμένο έδαφος στο οποίο κατασκευάζεται το οδόστρωμα. Σε περιπτώσεις που δε είναι αναγκαία η διαμόρφωση του εδάφους, το υπέδαφος ταυτίζεται με την επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

Οι γενικές ομάδες εδαφών είναι οι ακόλουθες:

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

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

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

Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε στην Καλιφόρνια στη δεκαετία του 1930 χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Ως CBR ορίζεται ο λόγος (σε %) της δύναμης η οποία απαιτείται για να διεισδύσει το έμβολο της συσκευής εντός του εδαφικού υλικού σε ένα βάθος, προς τη δύναμη που απαιτείται σε ένα πρότυπο υλικό. Πρακτικά όμως όταν ο δείκτης CBR είναι μικρότερος του 3 είναι αναγκαίο να γίνει η συμπίκνωση του εδαφικού υλικού. Είναι επιθυμητό να ελέγχονται οι τιμές του CBR επιτόπου με τις εργαστηριακές τιμές. Στα χονδρόκοκκα εδάφη συνήθως οι εργαστηριακές τιμές διαφέρουν με τα αποτελέσματα στο χώρο εργασίας. Στα αργιλώδη εδάφη όμως σχετίζονται οι δύο τιμές του CBR. Ο έλεγχος είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί όταν το οδόστρωμα τοποθετείται στο υπεδάφος και αυτό δεν συμπυκνώνεται κατά την κατασκευή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί και η δοκιμή Proctor, η οποία προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ της βέλτιστης υγρασίας του εδαφικού υλικού και της μέγιστης πυκνότητας (16). Μέσα από τη διαδικασία του πειράματος για διαφορετικές περιεκτικότητες υγρασίας, τα ζεύγη τιμών ποσοστού υγρασίας και ξηρή πυκνότητα τοποθετούνται σε γραμμικούς άξονες συντεταγμένων. Η περιεχόμενη υγρασία αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης και ονομάζεται «βέλτιστη υγρασία» για μέγιστη συμπίκνωση.



Εικόνα 16: Πυκνότητα συναρτήσει υγρασίας (15)

3.2 Φθορές εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Τα διάφορα είδη φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων μπορούν να καταταγούν σε τρεις κατηγορίες: ρηγματώσεις, παραμορφώσεις και αποσαθρώσεις/αλλοιώσεις (17).

3.2.1 Ρηγματώσεις

Ρηγμάτωση (cracking) είναι η διακοπή της συνέχειας σε μία επιφάνεια ή ένα σώμα. Τα πιο γνωστά είδη ρωγμών είναι τα ακόλουθα:

1. **Διαμήκειες ρωγμές** (longitudinal cracks). Είναι ρωγμές παράλληλες με τον άξονα του οδοστρώματος λόγω κυκλοφοριακής κόπωσης (fatigue) και θραύσης υλικού μειωμένου πάχους για τα επιβαλλόμενα φορτία. Το άνοιγμα των ρωγμών αυτών για ένα μέσο επίπεδο σοβαρότητας κυμαίνεται μεταξύ 6 και 19 mm. Η συντήρηση των ρωγμών αυτών γίνεται με διάστρωση νέας ασφαλτικής στρώσης (overlay) και με στραγγιστικά έργα.



Εικόνα 17: Διαμήκειες ρωγμές (17)

2. **Εγκάρσιες ρωγμές** (transverse cracks). Είναι ρωγμές κάθετα προς τον άξονα του οδοστρώματος λόγω συστολής σε χαμηλές θερμοκρασίες, σκλήρυνσης της ασφάλτου ή ρηγματώσεις υποκείμενων στρώσεων. Το άνοιγμα των ρωγμών αυτών για ένα μέσο επίπεδο σοβαρότητας κυμαίνεται μεταξύ 6 και 19 mm. Η συντήρηση των ρωγμών αυτών γίνεται με διάστρωση νέας ασφαλτικής στρώσης.



Εικόνα 18: Διαμήκειες και εγκάρσιες ρωγμές (17)

3. **Ρωγμές τύπου αλιγάτορα** (alligator cracks). Είναι ρωγμές που σχηματίζουν πολυγωνικά κομμάτια όμοια με αυτά του δέρματος του κροκοδείλου αλιγάτορα. Οι ρωγμές αυτές οφείλονται στη μειωμένη φέρουσα ικανότητα των υποκείμενων στρώσεων (όταν είναι τοπικές) και στην κυκλοφοριακή κόπωση (όταν είναι εκτεταμένες). Η συντήρηση/θεραπεία συνίσταται σε τοπική αντικατάσταση των ασφαλτικών στρώσεων για τοπικές ρωγμές και σε εκτεταμένη αντικατάσταση των ασφαλτικών στρώσεων ή προσθήκη νέων στρώσεων επί των παλιών για εκτεταμένες ρωγμές. Η τοπική αντικατάσταση είναι γνωστή και ως μάλωμα (patching).



Εικόνα 19: Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (17)

4. **Ακραίες ρωγμές** (edge cracks). Είναι διαμήκειες ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος (30-50 cm από τα άκρα) με ή και χωρίς εγκάρσιες ρωγμές λόγω κακής συμπίκνωσης, κακής αποστράγγισης, παγετού, συρρίκνωσης εκ ξηρασίας και μειωμένου πάχους στρώσεων στα άκρα. Η συντήρησή τους γίνεται με πλήρωση αυτών με κατάλληλη άσφαλτο αφού προηγηθεί καθαρισμός.



Εικόνα 20: Ρωγμές στα άκρα οδοστρώματος (17)

5. **Ρωγμές ανάκλασης** (reflection cracks). Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται σε ασφαλτικές στρώσεις αποκατάστασης παλιών και έχουν ποικίλες κατευθύνσεις που εξαρτώνται από αυτές των παλιών ρωγμών. Το άνοιγμα των ρωγμών αυτών για ένα μέσο επίπεδο σοβαρότητας είναι μεταξύ 6 και 19 mm. Η αιτία αυτών των ρωγμών είναι οι κάθετες και οριζόντιες μετακινήσεις του υποκείμενου οδοστρώματος. Ο τρόπος συντήρησης ρωγμών ανάκλασης μικρού ανοίγματος (<3 mm) συνίσταται σε σφράγιση/πλήρωση αυτών με άσφαλτο ή σε ασφαλτική επάλειψη για ρωγμές σε μικρή ή μεγάλη έκταση, αντίστοιχα. Για ρωγμές μεγάλου ανοίγματος (>3-5 mm), η πλήρωση με άσφαλτο γίνεται μετά από διεύρυνση και καθαρισμό τους ενώ η ασφαλτική επάλειψη γίνεται εις διπλούν.



Εικόνα 21: Ρωγμές ανάκλασης (17)

6. **Ρωγμές πολυγώνου** (block cracks). Οι ρωγμές αυτές διαιρούν το οδόστρωμα σε περίπου ορθογωνικά κομμάτια εμβαδού από 0.1 έως 10 m² και είναι επίσης γνωστές και ως ρωγμές συρρίκνωσης (shrinkage cracks). Προέρχονται από συστολή του ασφαλτομίγματος σε χαμηλές θερμοκρασίες (ιδιαίτερα όταν αυτό είναι γερασμένο) ή από συρρίκνωση του υπεδάφους όταν το πάχος της ασφαλτικής στρώσης είναι μικρό. Η συντήρηση των ρωγμών αυτών γίνεται όπως και στις ρωγμές ανάκλασης.



Εικόνα 22: Ρωγμές πολυγώνου (17)

7. **Ρωγμές ολίσθησης** (slippage cracks). Οι ρωγμές αυτές προέρχονται από ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης λόγω ανεπαρκούς συγκολλητικής επάλειψης ή παρουσίας χωμάτων, λαδιών ή νερού στην διεπιφάνεια των στρώσεων. Η μορφή των ρωγμών αυτών έχει σχήμα παραβολικό ή μισοφέγγαρου. Η θεραπεία εδώ συνίσταται σε αποξήλωση του τάπητα (τοπικά) και πλήρωση με θερμό ασφαλτόμιγμα μετά από καθαρισμό.



Εικόνα 23: Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων (17)

3.2.2 Παραμορφώσεις

Οι παραμορφώσεις της επιφάνειας (surface deformations) του οδοστρώματος καταστρέφουν την επιπεδότητά του και οφείλονται στην ιξωδοελαστικότητα της ασφάλτου και στην χαμηλή της ευστάθεια, στην ανεπαρκή συμπίκνωση των στρώσεων και στις καθιζήσεις του εδάφους. Τα πιο γνωστά είδη επιφανειακών παραμορφώσεων είναι:

- 1) **Αυλακώσεις** (ruts or channels). Πρόκειται για διαμήκεις επιφανειακές καθιζήσεις κατά την διεύθυνση της τροχιάς των τροχών των οχημάτων. Οι αυλακώσεις οφείλονται σε παραμένουσες παραμορφώσεις της ασφάλτου, σε καθίζηση στρώσεων λόγω κακής συμπίκνωσης ή σε πλευρική μετακίνηση στρώσεων λόγω φόρτισης. Η συντήρηση συνίσταται σε πλήρωση των αυλακώσεων με ασφαλτόμιγμα ή σε διάστρωση ασφαλτομίγματος μετά από φρεζάρισμα της επιφάνειας του οδοστρώματος.



Εικόνα 24: Αυλακώσεις από τροχιές τροχών (17)

- 2) **Κυματώσεις ή ρυτιδώσεις (corrugations)**. Αυτές είναι εξογκώσεις (υπό μορφή κυμάτων) της επιφάνειας του οδοστρώματος κατά μήκος του άξονά του και προέρχονται από παραμένουσες πλαστικές παραμορφώσεις λόγω υψηλών διατμητικών τάσεων σε περιοχές επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων (στάσεις, ανωφέρειες, κατωφέρειες). Όταν η πλαστική εξόγκωση είναι τοπική ονομάζεται απώθηση (shoving). Η συντήρηση οδοστρωμάτων με κυματώσεις γίνεται με φρεζάρισμα της επιφάνειας σε βάθος 30-50 mm και διάστρωση νέων ασφαλτικών στρώσεων εν θερμώ.



Εικόνα 25: Αυλακώσεις και αυλακώσεις με παραμένοντα νερά (17)

- 3) **Τοπικές καθιζήσεις (local depressions or bird baths)**. Αυτές οι καθιζήσεις είναι τοπικού χαρακτήρα και προέρχονται από τοπική καθίζηση υποκείμενων στρώσεων λόγω βαριάς φόρτισης. Η συντήρησή τους γίνεται είτε με διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος (όταν καθίζηση $>25\text{mm}$), είτε με διάστρωση ψυχρού ασφαλτομίγματος τύπου slurry (όταν καθίζηση $<25\text{mm}$).



Εικόνα 26: Αυλακώσεις και κυματώσεις κατά πλάτος του οδοστρώματος (17)

- 4) **Τοπικές διογκώσεις (local upheavals or bumps)**. Οι τοπικές διογκώσεις προέρχονται συνήθως από διαστολή του εγκλωβισμένου νερού στις υποκείμενες στρώσεις λόγω παγετού. Η συντήρηση των διογκώσεων αυτών γίνεται όπως στην περίπτωση ρωγμών τύπου αλιγάτορα τοπικού χαρακτήρα.



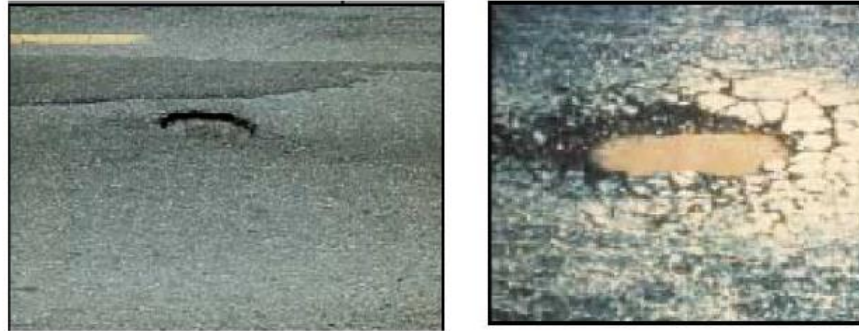
Εικόνα 27: Τοπική πλαστική εξόγκωση και απόθηση (17)

3.2.3 Αποσαθρώσεις/Αλλοιώσεις

Η αποσάθρωση ή αποσύνθεση (disintegration) της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι ο θρυμματισμός του σε μικρά κομμάτια. Η αλλοίωση (defect) της επιφάνειας του οδοστρώματος ορίζεται γενικά ως κάθε μεταβολή της ασφαλικής επιφάνειας που μειώνει την λειτουργική της ικανότητα. Οι αποσαθρώσεις/αλλοιώσεις περιλαμβάνουν:

Αποκόλληση αδρανών (ravelling or weathering). Η 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. Αυτή η αποκόλληση προέρχεται από ανεπαρκή ποσότητα ασφάλτου, χρήση μη καθαρών ή σαθρών αδρανών, υπερθέρμανση της ασφάλτου, κατασκευή του τάπητα υπό βροχή ή κρύο και μη επαρκή συμπύκνωση. Η θεραπεία συνίσταται κυρίως σε διάστρωση ψυχρού ασφαλτικού μίγματος ή σε επιφανειακές επαλείψεις.

1. **Λακκούβες** (potholes). Οι λακκούβες έχουν σχήμα κυπέλλου ή λεκάνης με ελάχιστη διάσταση επιφάνειας 150 mm και μέσο βάθος μέσης σοβαρότητας από 25 έως 50 mm. Η δημιουργία τους οφείλεται σε έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα, μειωμένο πάχος του τάπητα κυκλοφορίας, μη καλή αποστράγγιση της οδού και σε αποκόλληση αδρανών. Η συντήρηση γίνεται είτε με καθαρισμό και πλήρωση της λακκούβας με θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα (προσωρινή λύση), είτε με κόψιμο και τετραγωνισμό της λακκούβας, καθαρισμό, πλήρωση με ψυχρό ή θερμό ασφαλτόμιγμα και κυλίνδρωση (οριστική λύση).



Εικόνα 28: Μεσαίας και υψηλής σοβαρότητας λακκούβες (17)

2. **Εξίδρωση (bleeding).** Ως εξίδρωση ορίζεται η ανάδυση ασφάλτου και η εμφάνισή της στην επιφάνεια η οποία εμφανίζεται γυαλιστερή και κολλώδης. Η εξίδρωση οφείλεται σε υπερβολικό ποσοστό συνδετικού υλικού και υψηλές θερμοκρασίες και εντοπίζεται στην τροχιά των τροχών (αυλάκωση) ή σε όλη τη λωρίδα κυκλοφορίας. Η θεραπεία συνίσταται σε απόξεση και επίστρωση λεπτοτάπητα.



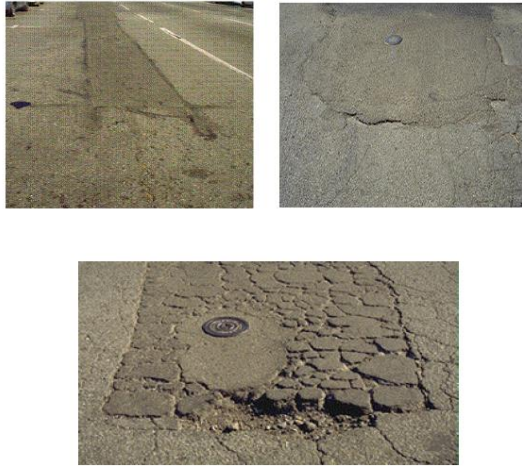
Εικόνα 29: Επίπεδα σοβαρότητας του φαινομένου ανάδυσης ή εξίδρωσης της ασφάλτου (17)

3. **Άντληση (rumping).** Άντληση είναι το φαινόμενο της ανάδυσης ύδατος και λεπτόκοκκου υλικού στην επιφάνεια κυκλοφορίας λόγω της φόρτισης. Η άντληση οφείλεται σε κακή απορροή και αποστράγγιση και σε ακατάλληλη κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών. Το φαινόμενο είναι εντονότερο σε δύσκαμπτα οδοστρώματα λόγω των αρμών που προσφέρουν διόδους ροής. Η θεραπεία εδώ επιβάλλει κατασκευή καλής αποστράγγισης.



Εικόνα 30: Ανάδυση και άντληση νερού και λεπτόκοκκου υλικού (17)

4. **Υποβάθμιση μπαλωμάτων** (patching deterioration). 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 (Εικόνα 31). Η θεραπεία εδώ είναι ίδια με αυτή που εφαρμόζεται σε ρωγμές αλιγάτορα και λακκούβες.



Εικόνα 31: Επίπεδα σοβαρότητας σε φθαρμένα μπαλώματα (17)

5. **Λείανση αδρανών** (polished aggregates): Η Εικόνα 32 δείχνει την λείανση αδρανών στην επιφάνεια εύκαμπτου οδοστρώματος.



Εικόνα 32: Λείανση επιφανειακών αδρανών (17)

Στον Πίνακα 3 περιγράφονται συνοπτικά τα διάφορα είδη φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων, που παρουσιάστηκαν παραπάνω, καθώς και οι μέθοδοι θεραπείας τους.

Πίνακας 3: Φθορές και μέθοδοι θεραπείας εύκαμπτων οδοστρωμάτων (17)

ΘΕΡΑΠΕΙΑ ΦΘΟΡΕΣ	ΛΙΠΩΞΕΛΗ (planing)	ΕΠΙΣΚΕΥΗ (patching)	ΣΦΡΑΓΙΣΗ (crack seal)	ΑΣΦΑΛΤΙΚΗ ΕΠΙΛΑΒΕΙΨΗ	ΛΕΠΤΟ- ΤΑΠΗΤΑΣ	ΑΝΑ- ΚΥΚΛΩΣΗ
Τοπικές Διογκώσεις	X	XX	-	-	(*)	(*)
Κυματώσεις	XX	X	-	(*)	XX	-
Ρυτιδώσεις	XX	-	-	-	XX	X
Τοπικές Βυθίσεις	-	XX	(*)	(*)	-	(*)
Συμφυλώσεις	(*)	X	-	-	XX	X
Αυλακώσεις	XX	X	-	(*)	XX	X
Επωθήσεις	X	(*)	-	(*)	XX	(*)
Αλλαγομορφικές Ρωγμές	X	(*)	XX	XX	(*)	-
Ρωγμές Πολυγώνου	(*)	X	X	X	XX	-
Διαμηκείς Ρωγμές	(*)	(*)	XX	(*)	(*)	(*)
Ρωγμές στα έγχνη των τροχών	-	(*)	X	X	X	(*)
Ρωγμές παρά το έρεισμα	-	(*)	X	X	(*)	-
Μαιανδρικές Ρωγμές	-	(*)	X	(*)	X	-
Εγκάρσιες Ρωγμές	-	X	(*)	(*)	X	-
Ρωγμές Ανάκλισης	-	(*)	X	(*)	X	-
Ρωγμές Ολόσθησης	-	X	(*)	(*)	(*)	(*)
Απώλεια Ψηφίδων	-	(*)	-	X	XX	-
Απόσπαση Αδρανών	-	X	(*)	XX	XX	(*)
Λείανση Αδρανών	(*)	-	-	X	X	-
Εξιδρωση	X	-	-	(*)	X	(*)
Λακκοίβες	-	XX	(*)	(*)	X	-
Μπαλώματα	(*)	X	(*)	(*)	X	(*)
Ανάλυση Ύδατος	-	(*)	(*)	(*)	-	-
Κακή Απορροή	-	-	-	-	X	-
Ολοσθηρότητα	(*)	-	-	XX	XX	(*)

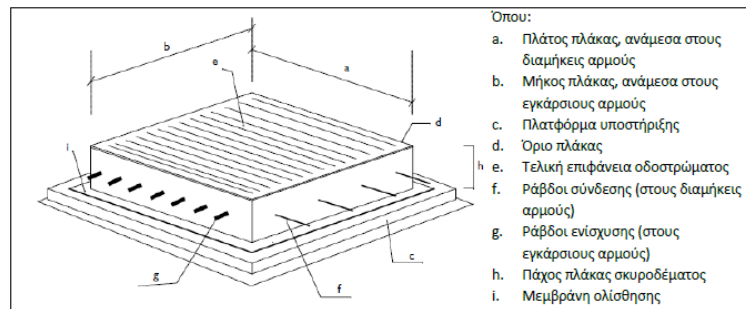
(*) = Πρακτική που σπάνια εφαρμόζεται
X = Πρακτική που χρησιμοποιείται σε ορισμένες χώρες
XX = Συνήθης πρακτική.

Κεφάλαιο 4^ο Δύσκαμπα οδοστρώματα

4.1 Κατηγορίες δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

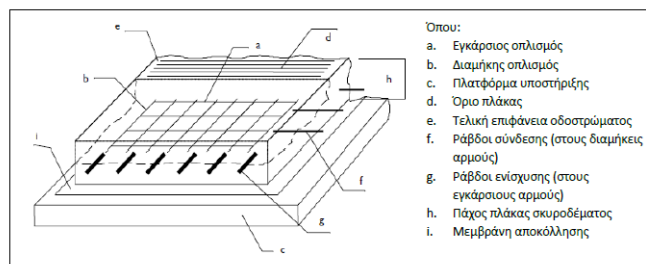
Τα δύσκαμπα οδοστρώματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την κατασκευή της πλάκας σκυροδέματος (1), (3). Οι τρεις αυτοί τύποι είναι:

α) τα άοπλα οδοστρώματα (Unreinforced Concrete Pavement – U.C.P. ή Joint Plain Concrete Pavement – J.P.C.P.),



Εικόνα 33: Άοπλο οδοστρώμα σκυροδέματος (18)

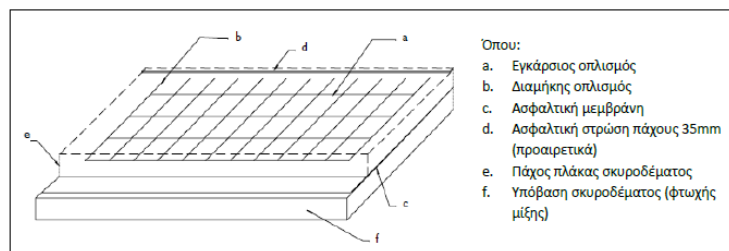
β) τα οπλισμένα με μη-συνεχή οπλισμό οδοστρώματα (Jointed Continuously Reinforced Concrete Pavement – J.R.C.P.),



Εικόνα 34: Οπλισμένο με μη-συνεχή οπλισμό οδοστρώμα σκυροδέματος (18)

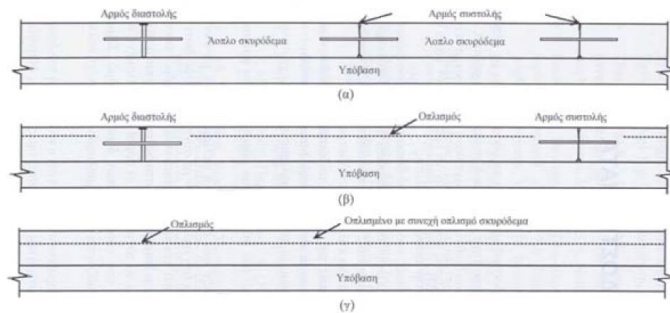
και

γ) τα οπλισμένα με συνεχή οπλισμό οδοστρώματα (Continuously Reinforced Concrete Pavement – C.R.C.P.).



Εικόνα 35: Οπλισμένο με συνεχή οπλισμό οδοστρώμα σκυροδέματος (18)

Η βασική διαφορά μεταξύ των άοπλων ή οπλισμένων με μη-συνεχή οπλισμό οδοστρωμάτων και των οπλισμένων με συνεχή οπλισμό δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι ότι στα πρώτα κατασκευάζονται αρμοί και στις δύο διευθύνσεις, εγκάρσια και διαμήκη, ενώ στα δεύτερα μόνο κατά τη διαμήκη διεύθυνση. Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι αρμοί στα οπλισμένα οδοστρώματα είναι λιγότεροι των οδοστρωμάτων δίχως οπλισμό. Σήμερα υπάρχει η τάση να κατασκευάζονται άοπλα ή οπλισμένα με συνεχή οπλισμό δύσκαμπτα οδοστρώματα.



Εικόνα 36: Χαρακτηριστικοί τύποι δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (3)

Θα μπορούσε, γενικά, να ειπωθεί ότι η κατασκευή του άοπλου οδοστρώματος είναι απλούστερη και σε απόλυτες τιμές κόστους φθηνότερη. Βασικό μειονέκτημα των άοπλων οδοστρωμάτων είναι η σχετικά μεγάλη συχνότητα των εγκάρσιων αρμών, που μειώνει την άνεση κατά την οδήγηση καθώς επίσης αυξάνει τις πιθανότητες κατασκευαστικής αστοχίας και μελλοντικής πιθανής διαφορικής καθίζησης των πλακών. Το μειονέκτημα αυτό περιορίζεται με τη χρήση σιδηρού οπλισμού. Στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των εγκάρσιων αρμών μειώνεται και ιδιαίτερα όταν ο οπλισμός είναι συνεχής οι εγκάρσιοι αρμοί δεν κατασκευάζονται. Το κόστος κατασκευής και στις δύο περιπτώσεις είναι αναλογικά μεγαλύτερο από αυτό του άοπλου δύσκαμπτου οδοστρώματος.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε έναν πολύ μικρό αριθμό του συνόλου των κατασκευών χρησιμοποιείται προεντεταμένο σκυρόδεμα. Η χρήση του προεντεταμένου σκυροδέματος έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, πλην όμως η κατασκευή είναι ακριβότερη και απαιτείται ύπαρξη κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού και εξειδικευμένου προσωπικού. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης προεντεταμένου σκυροδέματος είναι: μείωση του πάχους της πλάκας (συνήθως το πάχος της προεντεταμένης πλάκας για οδοστρώματα οδοποιίας είναι 10-15cm), δυνατότητα εφαρμογής μεγαλύτερων φορτίων και μείωση του συνολικού αριθμού των αρμών σε σύγκριση με τα οπλισμένα με μη-συνεχή οπλισμό οδοστρώματα.

4.2 Αρμοί δύσκαμπτων οδοστρώματων

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην πλάκα σκυροδέματος ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος προέρχονται από διάφορες αιτίες (1), (3). Οι κυριότερες αιτίες είναι: το φορτίο του κυκλοφοριακού φόρτου (αξονικά φορτία), οι θερμοκρασιακές μεταβολές (συστολή, διαστολή, κύρτωση), οι μεταβολές της υγρασίας της πλάκας και οι τριβές που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια με την υποκείμενη στρώση. Για την αντιμετώπιση των τάσεων, που αναφέρθηκαν παραπάνω, στα δύσκαμπτα με αρμούς οδοστρώματα κατασκευάζονται τρεις τύποι αρμών:

1. Αρμοί συστολής. Οι αρμοί συστολής κατασκευάζονται κατά την εγκάρσια διεύθυνση (ή υπό γωνία – λοξοί αρμοί) για να ανακουφίσουν (μετριάσουν) τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, μεταβολών υγρασίας και ανάπτυξης τριβών και για να υποχρεώσουν την πλάκα να παρουσιάσει ρηγμάτωση στο σημείο ύπαρξης αρμού. Εάν δεν κατασκευασθούν αρμοί συστολής, η πλάκα θα παρουσιάσει ρηγμάτωση σε τυχαία σημεία και διευθύνσεις της επιφάνειας. Οι αρμοί αυτοί τοποθετούνται ανά τέσσερα έως πέντε περίπου μέτρα στην περίπτωση άοπλης πλάκας (εξαρτάται από το πάχος της πλάκας) και ανά μεγαλύτερη απόσταση στην περίπτωση οπλισμένης πλάκας με μη-συνεχή οπλισμό. Η απόσταση αυτή καθορίζεται από την ποσότητα του σιδηρού οπλισμού που τοποθετείται και μπορεί να κυμανθεί από 20- 30m.
2. Αρμοί διαστολής. Οι αρμοί διαστολής κατασκευάζονται κατά την εγκάρσια διεύθυνση για να διασφαλιστεί (προβλεφθεί) χώρος για τη θερμοκρασιακή διαστολή της πλάκας και έτσι να αποφευχθεί η ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων, οι οποίες θα προκαλέσουν θραύση της πλάκας. Στον αρμό διαστολής υπάρχει πλήρης ασυνέχεια της πλάκας (σύνηθες πλάτος ασυνέχειας 20-25mm). Η απόσταση μεταξύ των αρμών αυτών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το πάχος της πλάκας, την αναπτυσσόμενη τριβή με την υπόβαση και το συντελεστή θερμικής διαστολής του σκυροδέματος, και καθορίζεται στο στάδιο της μελέτης.
3. Αρμοί κύρτωσης. Οι αρμοί αυτοί κατασκευάζονται κυρίως κατά τη διαμήκη διεύθυνση και για το λόγο αυτό είναι γνωστοί και ως διαμήκεις αρμοί. Η μόνη περίπτωση που αρμοί κύρτωσης κατασκευάζονται κατά την εγκάρσια διεύθυνση είναι όταν η πλάκα είναι άοπλη. Στα οπλισμένα οδοστρώματα η κύρτωση που εμφανίζεται κατά την εγκάρσια διεύθυνση παραλαμβάνεται από το διαμήκη σιδηρό οπλισμό. Σκοπός των αρμών αυτών είναι να παραλάβουν αποκλειστικά και μόνο την πιθανή κύρτωση των πλακών που θα επέλθει από τη θερμοκρασιακή διαφορά

κατά το βάθος της. Σε καμία περίπτωση δεν προορίζονται για τη συστολή ή τη διαστολή των πλακών. Οι διαμήκεις αρμοί χρειάζονται για τον έλεγχο των ρωγμών κατά τη διαμήκη διεύθυνση αλλά και για να παρέχεται η ευχέρεια να κατασκευάζεται η πλάκα σε πρόσφορα πλάτη.

Πέρα από τους παραπάνω βασικούς τύπους αρμών υπάρχουν και οι αρμοί διακοπής εργασιών ή εκτάκτου ανάγκης και οι διαμήκεις κατασκευαστικοί αρμοί. Οι αρμοί διακοπής εργασιών δεν είναι ουσιαστικά διαφορετικού τύπου αρμοί, αλλά δημιουργούνται αναγκαστικά λόγω διακοπής των εργασιών και οι κατασκευαστικοί αρμοί μεταξύ λωρίδων διάστρωσης είναι όμοιοι με τους διαμήκεις αρμούς.

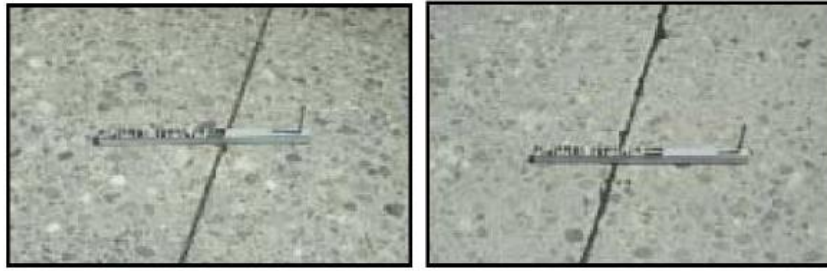
4.3 Φθορές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Τα διάφορα είδη φθορών δύσκαμπτων οδοστρωμάτων μπορούν να καταταγούν σε τέσσερις κατηγορίες: ανεπάρκειες αρμών, ρηγματώσεις, παραμορφώσεις και αποσαθρώσεις (17). Η συντήρηση των δύο πρώτων ειδών φθορών αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της όλης συντήρησης των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων.

4.3.1. Ανεπάρκειες αρμών (joint deficiencies)

Τα πιο σημαντικά είδη των φθορών στους αρμούς είναι:

1. **Φθορά υλικού πλήρωσης αρμών (joint seal damage).** Η κύρια φθορά των αρμών (διαμήκων και εγκάρσιων) είναι η αποκόλληση του υλικού πλήρωσης για τη στεγάνωσή τους. Αυτή συμβαίνει λόγω γήρανσης του υλικού πλήρωσης. Η συντήρηση του αρμού γίνεται με απομάκρυνση του παλιού υλικού, καθαρισμό του αρμού και πλήρωσή του με νέο ελαστομερές υλικό.
2. **Θρυμματισμός αρμών (joint spalling).** Λόγω χαμηλής αντοχής του σκυροδέματος της πλάκας και υπερφόρτισής της, οι ακμές των αρμών (διαμηκών και εγκάρσιων) θρυμματίζονται και έτσι επιταχύνεται και η φθορά του υλικού πλήρωσής τους. Η συντήρηση που γίνεται για τη φθορά του υλικού πλήρωσης καλύπτει και τον θρυμματισμό των ακμών των αρμών.



Εικόνα 37: Χαμηλό και μέσο επίπεδο βλάβης υλικού πλήρωσης αρμών (17)



Εικόνα 38: Θρυμματισμός διαμήκους και εγκάρσιου αρμού (17)

4.3.2 Ρηγματώσεις (cracking)

Τα πιο σημαντικά είδη ρωγμών είναι:

1. **Γωνιακές ρωγμές (corner breaks).** Αυτές οι ρωγμές εμφανίζονται στις γωνίες των πλακών και αν δεν συντηρηθούν, το σχηματιζόμενο τριγωνικό κομμάτι της πλάκας στη γωνία της θα αποκοπεί από αυτήν. Οι ρωγμές αυτές προέρχονται λόγω κακής στήριξης της πλάκας στη βάση ή το έδαφος και η συντήρησή τους περιλαμβάνει καθαρισμό και πλήρωσή τους με ελαστομερές υλικό. Σε περίπτωση αποκοπής του τριγωνικού κομματιού της πλάκας, αυτό απομακρύνεται και τη θέση του καταλαμβάνει ελαστομερές ασφαλτικό υλικό (αν το κομμάτι είναι μικρό) ή ασφαλτόμιγμα (αν το κομμάτι είναι μεγάλο).
2. **Διαμήκεις ρωγμές (longitudinal cracks).** Αυτές είναι ρωγμές παράλληλες προς τον άξονα του οδοστρώματος και προέρχονται κυρίως από συστολή της πλάκας και έλλειψη αρκετών διαμηκών αρμών, αλλά και από διαστολή της υποκείμενης στρώσης ή ασθενή στήριξη της πλάκας από το έδαφος. Η συντήρηση των ρωγμών αυτών συνίσταται σε καθαρισμό και πλήρωση με ελαστομερές ασφαλτικό υλικό.
3. **Εγκάρσιες ρωγμές (transverse cracks).** Οι ρωγμές αυτές έχουν διεύθυνση εγκάρσια ως προς τον άξονα του οδοστρώματος, εμφανίζονται συνήθως στο κέντρο της πλάκας και οφείλονται σε υψηλές καμπτικές τάσεις, στην έλλειψη αρκετών εγκάρσιων αρμών και

σε ασθενές υπέδαφος στήριξης. Η συντήρησή τους γίνεται όπως και στην περίπτωση των διαμηκών ρωγμών.

4. **Καμπύλες ρωγμές** (durability cracks). Οι ρωγμές αυτές βρίσκονται κοντά η μία στην άλλη, έχουν σχήμα ημισέληνου, εμφανίζονται πλησίον αρμών, ρωγμών ή ελεύθερων πλευρών της πλάκας και ξεκινούν από γωνίες της πλάκας. Τα αίτια δημιουργίας και η συντήρησή τους είναι παρόμοια με αυτά της περίπτωσης των γωνιακών ρωγμών.



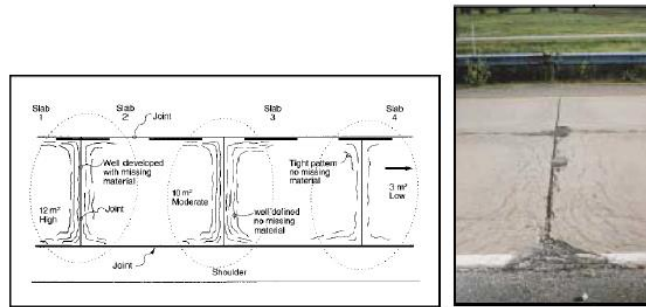
Εικόνα 39: Χαμηλής και μέσης σοβαρότητας γωνιακές ρωγμές (17)



Εικόνα 40: Μέσης και υψηλής σοβαρότητας διαμήκειες ρωγμές (17)



Εικόνα 41: Υψηλής σοβαρότητας εγκάρσιες ρωγμές (17)



Εικόνα 42: Υψηλής σοβαρότητας καμπύλες ρωγμές (17)

4.3.3 Παραμορφώσεις

Οι επιφανειακές παραμορφώσεις στα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι καθιζήσεις (διαφορικές) των πλακών του οδοστρώματος λόγω ανεπαρκούς μεταφοράς του φορτίου από πλάκα σε πλάκα (μέσω των ράβδων σύνδεσης), συστολής ή διαστολής του υπεδάφους ή και άντλησης νερού και λεπτόκοκκων αδρανών μέσω ατελών αρμών. Καθιζήσεις μικρού μεγέθους αντιμετωπίζονται με ασφαλτόμιγμα τύπου slurry. Καθιζήσεις μεγάλου μεγέθους αντιμετωπίζονται με πρόσθετη στρώση ασφαλτοτάπητα πάνω σε μια ισοπεδωτική στρώση. Τέλος η άντληση λεπτόκοκκων υλικών αντιμετωπίζεται με πλήρωση του δημιουργηθέντος κενού με ειδικό ασφαλτικό υλικό που εφαρμόζεται με αντλία.



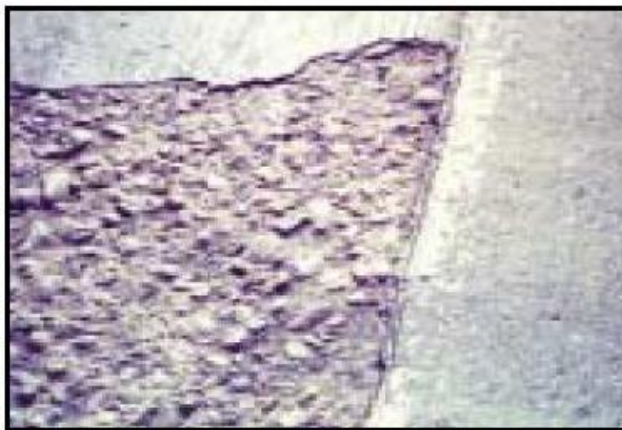
Εικόνα 43: Επιφανειακές παραμορφώσεις (καθιζήσεις) (17)

4.3.4 Αποσαθρώσεις

Οι αποσαθρώσεις (disintegration) περιλαμβάνουν τα παρακάτω είδη:

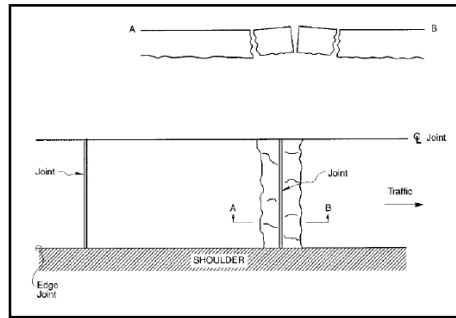
1. **Λεπίδωση** (scaling). Η λεπίδωση είναι αποκόλληση επιφανειακών αδρανών (βάθος < 25 mm) λόγω μη καλής ανάμιξης του σκυροδέματος, χρήσης ακατάλληλων αδρανών,

πήξης του σκυροδέματος σε χαμηλές θερμοκρασίες και χρήσης άλατος τον χειμώνα για αποφυγή παγετού. Η συντήρηση γίνεται με διάστρωση ψυχρού ασφαλτομίγματος τύπου slurry. Αν η αποκόλληση των αδρανών έχει προχωρήσει σε βάθος $> 25\text{mm}$ η συντήρηση γίνεται με διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος ή σκυροδέματος με τσιμέντο Portland.



Εικόνα 44: Αποκόλληση επιφανειακών αδρανών ή λεπίδωση (17)

- 2. Θρυμματισμός πλακών (slab buckling or spalling).** Ο θρυμματισμός των πλακών στις ακμές, στις γωνίες ή και στο μέσον τους προέρχεται από διαστολή των πλακών, διόγκωση του υπεδάφους ή γέμισμα των αρμών με χαλίκια. Συνήθως ο θρυμματισμός συνοδεύεται και από αποκόλληση τμημάτων του σκυροδέματος και γι' αυτό απαιτείται όχι συντήρηση αλλά αποκατάσταση του οδοστρώματος. Η αποκατάσταση αυτή γίνεται είτε με ανακατασκευή των πλακών με σκυρόδεμα από τσιμέντο Portland (όταν οι πλάκες είναι λίγες), είτε με διάστρωση ασφαλτομίγματος (μετά από απομάκρυνση θρυμματισμένων τμημάτων και βάνσιμο τοιχωμάτων με ασφαλτικό γαλάκτωμα), είτε με διάστρωση νέας στρώσης από σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland (μετά από απομάκρυνση θρυμματισμένων τμημάτων και καθαρισμό). Μία νέα τεχνική ανακατασκευής δύσκαμπτων οδοστρωμάτων όταν το σκυρόδεμα είναι άοπλο συνίσταται σε διάσπαση των πλακών σκυροδέματος σε μικρά τεμάχια (50-100cm), σε βύθιση αυτών στη βάση ή στο υπέδαφος με τη βοήθεια βαριάς κυλίνδρωσης, σε προσθήκη αδρανών με επανασυμπύκνωση και τελικά σε διάστρωση νέου ασφαλτοτάπητα πάχους 10-15 cm.



Εικόνα 45: Θρυμματισμός πλακών (17)

Ο Πίνακας 4 περιγράφει συνοπτικά τα διάφορα είδη φθορών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο αυτό και τις μεθόδους θεραπείας τους.

Πίνακας 4: Εργασίες συντήρησης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (17)

Κατάταξη εργασιών	Είδος εργασίας	Περιγραφή εργασιών	Είδος Δύσκαμπτου Οδοστρώματος		
			Άοπλο με αμμό (JP)	Οπλισμένο με αμμό (JR)	Συνεχούς οπλισμού (CR)
- Στοιχειώδης συντήρηση	- Εργασίες καθαρισμού, επισκευών	Αποψίωση, επαναδιαγράμμιση, καθαρισμός στραγγιστηρίων	*	*	*
- Περιοδική συντήρηση	- Προληπτικές επεμβάσεις	Επανάταξη ράβδων μεταφοράς φορτίου	*	-	-
		Επανάταξη ερεισιμάτων σκυροδέματος	*	*	-
		Συναρμογή πλευριών στραγγιστηρίων	*	*	-
		Σφράγιση αρμών	*	*	-
	- Επισκευές - Αποκαταστάσεις	Αντικατάσταση πλακών	*	-	-
		Επισκευή συνολικής διατομής	-	*	*
		Επισκευή μερικής διατομής	*	-	-
	- Αναβάθμιση	Επιφανειακή χάραξη* (φρεζάρισμα)	*	*	-
		Επίστρωση σκυροδέματος πλήρους σύνδεσης	*	*	*
		Επίστρωση ασύνδετης πλάκας σκυροδέματος	*	*	*
- Ανακατασκευή	Συνολική ανακατασκευή οδοστρώματος	*	*	*	

Τέλος, ο Πίνακας 5 περιγράφει συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων σε σύγκριση με τα εύκαμπτα οδοστρώματα. Από τον κατωτέρω πίνακα μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι τα δύσκαμπτα οδοστρώματα υπερτερούν των εύκαμπτων οδοστρωμάτων ως προς τα περισσότερα κριτήρια σύγκρισης. Το σημαντικό όμως κόστος κατασκευής τους έναντι αυτού των εύκαμπτων οδοστρωμάτων έχει ως αποτέλεσμα τα τελευταία να χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στην οδοποιία (94% στις Η.Π.Α.).

Πίνακας 5: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (17)

ΙΔΙΟΤΗΤΑ		ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (+) ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (-)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
1	Κόστος κατασκευής	-	- Σημαντικό κόστος κατασκευής έναντι του αντίστοιχου για εύκαμπτο οδόστρωμα
2	Δαπάνες συντήρησης	+	- Περιορισμένες σε σχέση με τα εύκαμπτα οδοστρώματα
3	Φέρουσα ικανότητα	+	- Σημαντικά μεγαλύτερη από τα παραδοσιακά οδοστρώματα
4	Αντίσταση σε εφαιτομενικά φορτία	+	- Υψηλή αντοχή
5	Κλιματικά φαινόμενα	+	- Υψηλή αντοχή
6	Διαδικασία συντήρησης ή ενίσχυσης	-	- Δύσκολες και δαπανηρές τεχνικές
7	Συμπεριφορά έναντι μετατοπίσεων της υποδομής	+	- Εξαιρετική συμπεριφορά έναντι μικρών μετατοπίσεων
		-	- Σημαντικές αστοχίες σε μεγάλες μετατοπίσεις

Κεφάλαιο 5ο

Μέθοδοι συντήρησης οδοστρωμάτων

5.1 Μέθοδοι συντήρησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων

5.1.1 Εισαγωγή

Η ορολογία που αναφέρεται στη διατήρηση του οδοστρώματος σε αποδεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης μεταβάλλεται από χώρα σε χώρα. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ο όρος «συντήρηση», ενώ διεθνώς συναντώνται και οι όροι: συνεχής συντήρηση, προληπτική συντήρηση, διορθωτική συντήρηση, κύρια συντήρηση, αποκατάσταση, ενίσχυση και αναζωογόνηση του οδοστρώματος (3), (19).

Συνεχής συντήρηση (routine maintenance) πραγματοποιείται με ένα σύνολο εργασιών που εκτελούνται συνεχώς σε ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία ή ετήσια βάση και αυτά αφορούν τα στοιχεία που συνθέτουν μια οδό. Οι εργασίες αυτές περιλαμβάνουν α) τον καθαρισμό της επιφάνειας του οδοστρώματος, του συστήματος αποστράγγισης, της σήμανσης, καθώς και την αποψίλωση των πρανών, το κλάδεμα των δέντρων και της φύτευσης, β) την αποκατάσταση των φθορών γύρω από τα φρεάτια επίσκεψης, των φθορών της σήμανσης και του φωτισμού, γ) την αντικατάσταση των κατεστραμμένων στηθαίων ασφαλείας, σημάτων, κλπ., δ) την χειμερινή συντήρηση του οδοστρώματος, δηλαδή τον εκχιονισμό και την πρόληψη της δημιουργίας πάγου στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι η συνεχής συντήρηση εξυπηρετεί την χρήση την οδού και δεν ασχολείται με τη δομή της.

Η προληπτική συντήρηση (preventive maintenance) διεξάγει εργασίες που έχουν ως σκοπό να προλάβουν την πρόωρη εμφάνιση φθορών, άρα την πρόωρη καταστροφή του οδοστρώματος.

Η διορθωτική συντήρηση (corrective maintenance) έχει ως σκοπό την διόρθωση των ατελειών της επιφάνειας του οδοστρώματος, οι οποίες είναι επικίνδυνες για την ασφάλεια των χρηστών.

Οι εργασίες της προληπτικής και της διορθωτικής συντήρησης δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και σε αυτές περιλαμβάνονται: η σφράγιση ρωγμών, η πλήρωση των λάκκων, η τοπική εξυγίανση (μπαλώματα), οι ασφαλτικές επαλείψεις (surface dressing), η σφραγιστική με slurry και οι εργασίες για την αποκατάσταση της ολισθηρότητας και της ομαλότητας της επιφάνειας.

Η κύρια συντήρηση ή αποκατάσταση οδοστρώματος ή αναζωογόνηση οδοστρώματος (demand maintenance) περιλαμβάνει εργασίες που σκοπό τους έχουν την πλήρη αποκατάσταση της ποιότητας του οδοστρώματος. Αυτές αφορούν την κατασκευή ασφαλτικής στρώσης πάχους τουλάχιστον 25 mm (ασφαλτική επίστρωση) από νέα ή ανακυκλωμένα υλικά, μετά ή άνευ ισοπεδωτικής στρώσης ή/και φρεζαρίσματος της παλαιάς επιφάνειας του οδοστρώματος, ώστε

το οδόστρωμα να ενισχυθεί άμεσα και να είναι ικανό να παραλάβει μεγαλύτερα αξονικά φορτία.

Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι η συντήρηση έχει σκοπό της τη διατήρηση της ποιοτικής κατάστασης του οδοστρώματος όσο το δυνατόν πλησιέστερα της αρχικής. Όμως, οι επαναλαμβανόμενες συντηρήσεις στο πέρασμα του χρόνου δεν είναι δυνατό να επιτύχουν αυτόν τον σκοπό. Αυτό συμβαίνει διότι ο χρόνος δημιουργεί φθορά, όπως κόπωση του οδοστρώματος, μείωση της ποιότητάς του ως συνέπεια των καιρικών συνθηκών και του αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου. Επομένως, η αποκατάσταση των ασφαλτικών, κυρίως, στρώσεων κρίνεται απαραίτητη.

Ως αποκατάσταση ενός οδοστρώματος ονομάζονται οι εργασίες που συμβάλλουν στην πλήρη αποκατάσταση της ποιότητας του οδοστρώματος με ταυτόχρονη ενίσχυσή του, ώστε να μπορεί να αναλάβει μεγαλύτερα αξονικά φορτία και, έτσι, να αυξήσει την διάρκεια ζωής του. Αυτές οι εργασίες αφορούν την κατασκευή ασφαλικής επίστρωσης (overlay) μεταβλητού πάχους σύμφωνα με τις απαιτήσεις, και τις εργασίες που προαπαιτούνται αλλά και έπονται αυτής.

Σύμφωνα με το Asphalt Institute, ως αποκατάσταση χαρακτηρίζεται μια επέμβαση όταν το πάχος της ασφαλικής επίστρωσης είναι τουλάχιστον 25 mm, διαφορετικά ονομάζεται συντήρηση.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται σύντομα οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση των φθαρμένων οδοστρωμάτων, αλλά και για τη βελτίωση των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών. Οι τεχνικές αυτές, αναφέρονται ως τεχνικές συντήρησης και εκτελούνται για τον σκοπό αυτό.

5.1.2 Επιφανειακές επεξεργασίες

Οι εργασίες που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια ενός οδοστρώματος στοχεύουν στην επαναφορά της αντλιοσθητικής του ικανότητας, η οποία φθίνει σταδιακά με τη δράση των φορτίων κυκλοφορίας (6), (19). Στις τεχνικές των επιφανειακών επεξεργασιών περιλαμβάνονται μηχανικές και χημικές επεμβάσεις στην επιφανειακή στρώση του οδοστρώματος, αλλά δεν περιλαμβάνονται τεχνικές διάστρωσης νέων ταπήτων.

Ήλωση (Bush Hammering)

Αυτή η εργασία επισκευάζει τη φυσική φθορά την οποία υπόκεινται το οδόστρωμα. Πιο συγκεκριμένα, συνίσταται στην τράχυνση (αγρίεμα) της επιφάνειας και πραγματοποιείται με τη χρήση μηχανήματος. Το μηχάνημα διαθέτει πολλά μικρά σφυριά από σκληρυμένο ατσάλι, το οποίο ονομάζεται «bush hammering». Αυτά τα σφυριά αγριεύουν τη συνολική επιφάνεια δημιουργώντας νέες αιχμηρές γωνιακές ακμές στην επιφάνεια του δρόμου. Η μέθοδος αυτή δεν

είναι κατάλληλη για την συντήρηση των αυλακώσεων της επιφάνειας. Όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν την εφαρμογή νέας ασφαλτικής στρώσης σε μια υπάρχουσα επιφάνεια, καθώς βοηθάει στην αποτελεσματικότερη συγκόλληση μεταξύ τους.



Εικόνα 46: Ήλωση οδοστρώματος (20)

Χάραξη – Εκτομή (Milling)

Ονομάζεται και φρεζάρισμα και είναι η διαδικασία της απομάκρυνσης τουλάχιστον ενός τμήματος της επιφάνειας μιας ασφαλτοστρωμένης περιοχής, όπως ενός δρόμου, μιας γέφυρας, ή ενός πάρκινγκ (21). Το φρεζάρισμα αφαιρώντας πλήρως αρκετό πάχος λειαίνει την επιφάνεια με τη χρήση μηχανήματος. Το μηχάνημα αυτό φέρει έναν κύλινδρο με παράλληλους οριζόντιους άξονες σε σχήμα κλωβού. Πάνω σε αυτούς τους άξονες στερεώνονται χαλύβδινες λεπίδες, οι οποίες περιστρέφοντας τον κύλινδρο και τους άξονες χαράσσουν την επιφάνεια. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί λόγοι για τους οποίους το φρεζάρισμα μπορεί να υπερισχύσει έναντι μιας απλής νέας ασφαλτόστρωσης πάνω στην υπάρχουσα επιφάνεια.

Η ανακύκλωση της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι ένας από τους βασικούς λόγους για το φρεζάρισμα της επιφάνειας μιας οδού. Χρησιμοποιείται ευρέως για αυτό τον σκοπό, καθώς η ασφαλτική επιφάνεια απομακρύνεται και αλέθεται μέχρι να επαναχρησιμοποιηθεί ως συστατικό του νέου ασφαλτοτάπητα. Για τις ασφαλτικές επιφάνειες, το προϊόν του φρεζαρίσματος είναι ένας «αναγεννημένος» ασφαλτοτάπητας (reclaimed asphalt pavement – RAP), ο οποίος μπορεί να ανακυκλωθεί με άσφαλτο θερμού ασφαλτομίγματος (hot mix asphalt) συνδυάζοντας με νέα υλικά αδρανών και ασφαλτικό τσιμέντο ως συνδετικό υλικό. Το φρεζάρισμα μπορεί, επίσης, να αφαιρέσει τις επιφανειακές φθορές του οδοστρώματος προσδίδοντας καλύτερη ποιότητα οδήγησης, αλλά και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο οδόστρωμα. Μερικά από τα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει είναι η αποκόλληση αδρανών, η ανάδυση ασφάλτου, οι τροχαυλακώσεις, οι επωθήσεις, καθώς και η φθορά από τροχαία ατυχήματα και πυρκαγιά. Τέλος, η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να ελέγξει ή να αλλάξει το ύψος ενός μέρους ή του συνόλου του δρόμου, ώστε να εφαρμόζεται η

υψομετρική μελέτη, ιδίως στην αστική οδοποιία στις θέσεις των κρασπέδων, των φρεατίων, κλπ., ή ακόμη για τροποποιήσει την κλίση ή την καμπυλότητα του δρόμου.



Εικόνα 47: Χάραξη – εκτομή οδοστρώματος (21)

Χάραξη – Πριονισμός (Grooving)

Η εργασία χάραξης – πριονισμού ενός οδοστρώματος είναι μια διαδικασία κατά την οποία ειδικά σχεδιασμένες μηχανές εξοπλισμένες με κυκλικές διαμαντοφόρες λεπίδες χρησιμοποιούνται για την δημιουργία μικρών καναλιών αποστράγγισης πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος (19). Οι λεπίδες είναι τοποθετημένες σε σταθερή απόσταση πάνω σε έναν οριζόντιο άξονα, και ψύχονται συνεχώς με νερό που αντλείται από ένα βυτίο, το οποίο στη συνέχεια ανακτάται μέσω ενός συστήματος κενού. Με την περιστροφή του άξονα οι λεπίδες δημιουργούν εγκοπές στην επιφάνεια του οδοστρώματος κατά την κίνηση του μηχανήματος. Αυτές οι εγκοπές μπορούν να κατασκευαστούν είτε εγκάρσια είτε κατά μήκος της επιφάνειας σε οδοστρώματα τόσο σκυροδέματος όσο και ασφάλτου. Ο «πριονισμός» της επιφάνειας ενός δρόμου βελτιώνει σημαντικά την πρόσφυση σε βρεγμένο οδόστρωμα και κατ' επέκταση μπορεί να μειώσει τα οδικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών.



Εικόνα 48: Χάραξη – πριονισμός οδοστρώματος (19)

Διάστρωση υδροχλωρικού οξέος

Η διάστρωση με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος πραγματοποιείται σε οδοστρώματα σκυροδέματος που δεν περιέχουν ασβεστολιθικά αδρανή. Το διάλυμα είναι 20 βαθμών σε αναλογία 50% και διαχέεται σε ποσότητα $0,2 - 0,5 \text{ lit/m}^2$. Η αντίδραση του διαλύματος με

την επιφάνεια του οδοστρώματος διαρκεί 15 λεπτά και κατόπιν εκτελείται η έκπλυση της επιφάνειας για να απομακρυνθεί η περίσσεια οξέος και παραγώγων αλάτων.

Αμμοβολή (Sand Blasting)

Η αμμοβολή είναι μια βιομηχανική διαδικασία με την οποία τα περίσσεια υλικά μπορούν να αφαιρεθούν από μία επιφάνεια. Δύο βασικά συστήματα, το σύστημα αναρρόφησης και το σύστημα τροφοδοσίας βαρύτητας/πίεσης, χρησιμοποιώντας την πίεση του αέρα σε συνδυασμό με ένα αποξεστικό υλικό (abrasive), το οποίο συνήθως είναι επεξεργασμένη άμμος, εκτοξεύουν το υλικό μέσω ενός ακροφυσίου με πίεση και, έτσι, απομακρύνονται οι προσμίξεις από την επιφάνεια του στόχου. Ως αποξεστικά υλικά μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν πέτρα της άμμου, ρινίσματα χαλκού και μικρές ψηφίδες.



Εικόνα 49: Αμμοβολή οδοστρώματος (19)

Επιφανειακή Πύρωση (Flame Scouring)

Η τεχνική της επιφανειακής πύρωσης εφαρμόζεται σε οδοστρώματα σκυροδέματος και χρησιμοποιεί φλόγιστρα ασετιλίνης (3.000 οC), τα οποία προκαλούν ελαφρά ρυτίδωση στην επιφάνεια του σκυροδέματος. «Τα φλόγιστρα μπορεί να είναι τοποθετημένα στη σειρά κατά την εγκάρσια έννοια, ώστε να δημιουργούν μια ενιαία επιφάνεια, αλλά και να έχουν διάκενα μεταξύ τους προκειμένου να σχηματίζονται πτυχώσεις».

Απόξεση (Planing)

Η απόξεση είναι μια διαδικασία αποξήλωσης της επιφανειακής στρώσης μικρού πάχους, η οποία διενεργείται με τη χρήση μηχανήματος. Το μηχάνημα φέρει μια περιστρεφόμενη οριζόντια λεπίδα, η οποία αλέθει το ασφαλτικό σκυρόδεμα και κατόπιν το υλικό οδηγείται κατευθείαν μέσα σε ένα φορτηγό. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στην αστική οδοποιία, καθώς η συνεχής διάστρωση ασφαλτοταπήτων δημιουργεί πρόβλημα ανύψωσης της ερυθράς της οδού. Ακόμη, το πλάνισμα μιας οδού είναι μια ιδανική και οικονομικότερη εναλλακτική λύση συγκριτικά με την προμήθεια αδρανών από το λατομείο κατά την ανακατασκευή των οδοστρωμάτων, καθώς προμηθεύει με αδρανή μετά από μια διαδικασία μικρότερου κόστους, και επιπλέον τα αδρανή αυτά είναι ιδανικότερα για την κατασκευή

ασφαλτομιγμάτων. Επιπλέον, συνιστάται ως μια μέθοδος φιλική προς το περιβάλλον, καθώς ελαχιστοποιεί τα απόβλητα της ανακατασκευής των οδοστρώματων.



Εικόνα 50: Απόξεση οδοστρώματος (19)

Διάστρωση διαλύτου

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις εξίδρωσης ασφάλτου με σκοπό την δέσμευση της περίσσειας του συνδετικού υλικού. Ο διαλύτης που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι το λευκό οινόπνευμα και διαχέεται σε ποσότητα $0,2 - 0,4 \text{ kg/m}^2$. Έπειτα, ακολουθεί η διάστρωση άμμου λατομείου για την δέσμευση των υγρών ουσιών και ο καθαρισμός της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Επισκευές ρηγματώσεων

Η μέθοδος της επισκευής των ρωγμών (crack repairs) επιλέγεται όταν οι ρωγμές είναι στενές ($1/4 - 1$ ίντσα) και δεν έχουν επιδεινωθεί στα άκρα. Οι επισκευές των ρωγμών εμπίπτουν, γενικά, σε δύο κατηγορίες εργασιών: της σφράγισης και της πλήρωσης. Η σφράγιση εμποδίζει τη διείσδυση νερού και υλικών στη ρωγμή, ώστε να την κάνει «ενεργή». Ως ενεργή ονομάζεται μια ρωγμή που κινείται σημαντικά (περισσότερο από το $1/8$ ίντσας) λόγω καιρικών συνθηκών ή κυκλοφοριακών φορτίων. Η πλήρωση μειώνει τη διήθηση του νερού σε μια ρωγμή μη-ενεργή. Ως υλικό επισκευής χρησιμοποιείται συνήθως το ασφαλτόμιγμα ψυχρής εφαρμογής και η ασφαλική μαστίχη.

Τοπικές επισκευές (Μπαλώματα)

Η δημιουργία μπαλωμάτων (patching) είναι μια δραστηριότητα που πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για να διατηρήσει βατή την επιφάνεια των οδοστρώματων. Οι περισσότερες επιδιορθώσεις γίνονται για την πλήρωση λάκκων. Λακκούβες, ρωγμές ολίσθησης και άλλες ατέλειες του οδοστρώματος μπορούν, επίσης, να επισκευαστούν καλύτερα με τοπικές επισκευές (μπαλώματα), όμως, δεν μπορούν να επιδιορθωθούν προβλήματα στη βάση. Υπάρχουν τρεις τύποι μπαλωμάτων: ψυχρού ασφαλτομίγματος, θερμού ασφαλτομίγματος «ημιμόνιμο» και επιδιόρθωσης με σπρέι (spray patching). Η τοπική επισκευή του οδοστρώματος είναι μια πολύ οικονομική μέθοδος, αν εκτελεστεί σωστά.

Επισκευές περιοχών

Σε αντίθεση με την τοπική επισκευή, η επισκευή περιοχής (area repair) περιλαμβάνει μια πιο εκτεταμένη επισκευή. Η επιδιόρθωση μιας περιοχής περιλαμβάνει την περικοπή και την αντικατάσταση ενός τμήματος του δρόμου. Είναι σχετικά ακριβή μέθοδος για την επισκευή μιας περιοχής, αλλά δεδομένου ότι διορθώνει τυχόν προβλήματα στη βάση δεν είναι σπάταλη και μπορεί να είναι η καλύτερη εναλλακτική λύση για δρόμους με μικρές επικίνδυνες περιοχές.

Τοπικές επισκευές (Μπαλώματα)

Η δημιουργία μπαλωμάτων (patching) είναι μια δραστηριότητα που πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για να διατηρήσει βατή την επιφάνεια των οδοστρωμάτων. Οι περισσότερες επιδιορθώσεις γίνονται για την πλήρωση λάκκων. Λακκούβες, ρωγμές ολίσθησης και άλλες ατέλειες του οδοστρώματος μπορούν, επίσης, να επισκευαστούν καλύτερα με τοπικές επισκευές (μπαλώματα), όμως, δεν μπορούν να επιδιορθωθούν προβλήματα στη βάση. Υπάρχουν τρεις τύποι μπαλωμάτων: ψυχρού ασφαλτομίγματος, θερμού ασφαλτομίγματος «ημιμόνιμο» και επιδιόρθωσης με σπρέι (spray patching). Η τοπική επισκευή του οδοστρώματος είναι μια πολύ οικονομική μέθοδος, αν εκτελεστεί σωστά.

Επισκευές περιοχών

Σε αντίθεση με την τοπική επισκευή, η επισκευή περιοχής (area repair) περιλαμβάνει μια πιο εκτεταμένη επισκευή. Η επιδιόρθωση μιας περιοχής περιλαμβάνει την περικοπή και την αντικατάσταση ενός τμήματος του δρόμου. Είναι σχετικά ακριβή μέθοδος για την επισκευή μιας περιοχής, αλλά δεδομένου ότι διορθώνει τυχόν προβλήματα στη βάση δεν είναι σπάταλη και μπορεί να είναι η καλύτερη εναλλακτική λύση για δρόμους με μικρές επικίνδυνες περιοχές.

5.1.3 Πορώδεις ασφαλτοτάπητες

Πορώδεις ασφαλτοτάπητες (porous or pervious surfacings) ονομάζονται «οι ασφαλτικοί τάπητες υψηλής διαπερατότητας που χρησιμοποιούνται ως στρώσεις κυκλοφορίας με σκοπό την ταχεία αποστράγγιση των υδάτων μέσω των πόρων της κατασκευής» (3), (6), (19). Χαρακτηριστικό των ασφαλτομιγμάτων αυτών είναι το μεγάλο ποσοστό κενών αέρος (>18%), το οποίο επιτρέπει την γρήγορη αποστράγγιση των επιφανειακών βρόχινων υδάτων και επιφέρει μείωση του θορύβου επαφής ελαστικού/οδοστρώματος. Για την επίτευξη του μεγάλου ποσοστού κενών χρησιμοποιείται στην σύστασή του μεγάλη αναλογία χονδρόκοκκων συστατικών και ενδιάμεσο κενό σε κλάσμα της κοκκομετρικής καμπύλης.



Εικόνα 51: Πορώδης ασφαλτοτάπητας (19)

Η τεχνική αυτή επιλέγεται κυρίως για δύο βασικούς λόγους, οι οποίοι είναι:

- η αύξηση της οδικής ασφαλείας, λόγω της εξάλειψης του κινδύνου της υδρολίστεσης, καθώς και του φαινομένου εκτίναξης επιφανειακού ύδατος (πιτσίλισμα), αλλά και λόγω της βελτίωσης της ορατότητας ως προς τη σήμανση και προς τα φώτα και τους προβολείς των οχημάτων
- η μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου, λόγω δημιουργίας κατάλληλης επιφανειακής μακροϋφής και σύστασης μίγματος

Τα μειονεκτήματα των μιγμάτων αυτών είναι:

- η ταχύτερη οξείδωση της ασφάλτου, η μικρή αντοχή του μίγματος στις αυξομειώσεις της περιεκτικότητας της ασφάλτου
- η μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με μίγματα κλειστού τύπου (περί τα 20 έτη)
- η μείωση της αποτελεσματικότητας και λειτουργικότητας αυτών λόγω πλήρωσης των κενών με σκόνες και άμμο
- η απαίτηση για ύπαρξη καλής υποκείμενης στεγανής επιφάνειας με ικανοποιητική εγκάρσια κλίση
- η μείωση της φέρουσας ικανότητας της στρώσης σε σύγκριση με μίγματα κλειστού τύπου και, τέλος
- η απαίτηση μεγαλύτερης ποσότητας άλατος κατά τη χειμερινή συντήρηση προς αποφυγή δημιουργίας πάγου

Τα πρώτα τρία μειονεκτήματα επιλύονται, κατά μεγάλο βαθμό, με τη χρήση τροποποιημένης ασφάλτου, ενώ τα υπόλοιπα δεν θεωρούνται τόσο σοβαρά ώστε να μειώσουν την αποτελεσματικότητα και τη χρησιμότητα των μιγμάτων αυτών. Εφαρμόζεται σε νέες κατασκευές σε οδούς με σημαντική κυκλοφορία και για την συντήρηση παλαιών οδοστρωμάτων. Σε περιπτώσεις εφαρμογής ως μέθοδο αποκατάστασης παλαιού οδοστρώματος

απαιτείται ο έλεγχος επάρκειας της φέρουσας ικανότητας του υποκείμενου οδοστρώματος και της διασφάλισης της ικανοποιητικής συγκόλλησης της τελικής στρώσης.

Η τεχνική αυτή ξεκίνησε να εφαρμόζεται στην Ευρώπη την δεκαετία του '80 και σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως στο Βέλγιο, την Ολλανδία, τη Γαλλία και την Ισπανία. Η επιλογή της αναλογίας των συστατικών, καθώς και η κοκκομετρική διαβάθμιση διαφέρει από χώρα σε χώρα. Το μίγμα ενός πορώδους ασφαλτοτάπητα χαρακτηρίζεται από το ποσοστό των κενών και το κλάσμα κενού κοκκομετρίας. Επειδή αυτό το είδος ασφαλτοτάπητα θεωρείται ανοιχτού τύπου σύστασης, διέπεται από αυστηρές προδιαγραφές σχετικά με τις μηχανικές κυρίως ιδιότητες των αδρανών. Το συνιστώμενο πάχος του πορώδους τάπητα είναι 40 mm και βασική προϋπόθεση αποτελεί η χρήση σκληρών αδρανών, μη ασβεστολιθικών, κατάλληλων για αντλιοσθηρές στρώσεις. Η άσφαλτος που χρησιμοποιείται συνήθως είναι τροποποιημένη άσφαλτος (ελαστομερής ή πολυμερής) και η συνηθής περιεκτικότητά της στο μίγμα κυμαίνεται από 3,5% - 5,0%. Οι τροποποιημένοι άσφαλτοι που χρησιμοποιούνται παράγονται με την προσθήκη ελαστομερών και πλαστομερών, όπως ίνες, πολυμερή και καουτσούκ. Υπερβολικά μικρά ποσοστά ασφάλτου δημιουργούν προϋποθέσεις για αποσύνθεση του τάπητα (disintegration), ενώ αντίστοιχα τα μεγάλα ποσοστά ασφάλτου μπορεί να οδηγήσουν στον διαχωρισμό (segregation) των συστατικών κατά την μεταφορά τους στο εργοτάξιο για διάστρωση. Στην Ελλάδα η χρήση των πορώδων ασφαλτικών ταπήτων είναι πολύ περιορισμένη. Στις πειραματικές τους εφαρμογές σε Θεσσαλονίκη και Ιωάννινα οι κοκκομετρικές που χρησιμοποιηθήκαν διαφέρουν από τις προδιαγραφές της Αγγλίας (TRRL) και του Βελγίου. Οι προτεινόμενες από τις Τεχνικές Οδηγίες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, όπως φαίνονται στον Πίνακα 6, είναι όμοιες με αυτές της προδιαγραφής ASTM D 3515 για ανοιχτού τύπου αντλιοσθηρές στρώσεις, χωρίς να χαρακτηρίζονται ως μίγματα πορώδους σύνθεσης.

Πίνακας 6: Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών για πορώδεις ασφαλτοτάπητες σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Οδηγίες (3)

Μέγεθος κόσκινου τετραγωνικής οπής (ASTM)	Ονομαστικό μέγεθος μεγίστου κόκκου	
	12,5 mm	9,5 mm
	Ποσοστό διερχόμενο (%)	
19,00 mm (3/4")	100	100
12,50 mm (1/2")	90 - 100	100
9,50 mm (3/8")	60 - 100	90 - 100
4,75 mm (No 4)	15 - 40	30 - 50
2,36 mm (No 8)	4 - 12	5 - 15
1,18 mm (No 16)	-	-
0,30 mm (No 50)	-	-
0,07 mm (No 200)	2 - 5	2 - 5
Συνιστώμενο πάχος στρώσης	4 - 5 cm	3 - 4 cm

Το 2001 η Εγνατία Οδός Α.Ε. εξέδωσε σχετικές προδιαγραφές για ασφαλτομίγματα πορώδους σύνθεσης. Τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης του μίγματος φαίνονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Εγνατίας Οδού Α.Ε. (3)

Μέγεθος κόσκινου	Ποσοστό διερχόμενο (%)
20 mm	100
14 mm	95 - 100
10 mm	50 - 100
6,3 mm	15 - 55
4 mm	10 - 20
2 mm	7 - 15
0,50 mm	5 - 10
0,063 mm	3 - 5

Ένας πορώδης ασφαλτοτάπητας παράγεται στις ίδιες εγκαταστάσεις με τα συνήθη ασφαλτομίγματα. Επειδή η ψύξη των ασφαλτομιγμάτων που διαστρώνονται σε λεπτό πάχος είναι ταχεία, οι θερμοκρασίες παραγωγής είναι κάπως υψηλότερες, από τις αντίστοιχες των ασφαλτομιγμάτων συνήθους πάχους. Ειδικότερα, η θερμοκρασία ανάμιξης (θερμοκρασία στην έξοδο του αναμκτήρα) πρέπει να είναι 150° - 170° C. Οι πορώδεις τάπητες εδράζονται πάνω σε στρώσεις ασφαλτοσκυροδέματος πυκνής σύνθεσης και κατάλληλης επίκλισης, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή απορροή των ομβρίων, χωρίς να εισέρχεται νερό στις υποκείμενες στρώσεις. Λόγω του μικρού πάχους των πορωδών ταπήτων, απαιτείται συγκολλητική επάλειψη με μικρή ποσότητα ασφαλτικού γαλακτώματος για την αποφυγή δημιουργίας επιφάνειας ολίσθησης του τάπητα πάνω στην επιφάνεια έδρασης, καθώς και για πρόσθετη στεγανοποίηση της επιφάνειας της στρώσης έδρασης. Το ασφαλτόμιγμα διαχέεται με χρήση διανομέα ασφάλτου και με την προσθήκη αραιωμένου ασφαλτικού γαλακτώματος (με περιεκτικότητα 30% σε άσφαλτο) και διαστρώνεται σε όλο το πλάτος του δρόμου, χωρίς κατά μήκος ραφές. Αν αυτό δεν είναι δυνατόν (π.χ. λόγω παρεμπόδισης της κυκλοφορίας), η ένωση των λωρίδων γίνεται με προσεκτική θέρμανση της ήδη κατασκευασμένης επιφάνειας, ώστε να μην εμποδίζεται η απορροή. Στις κατά μήκος ή εγκάρσιες στον άξονα της οδού ραφές δεν επιτρέπεται η επάλειψη με ασφαλτικό, ή η κατασκευή αρμού συγκόλλησης, λόγω παρεμπόδισης της απορροής των ομβρίων. Η συμπύκνωση πραγματοποιείται με ελαφρά κυλίνδρωση με τη χρήση οδοστρωτήρα 8-10 t με λείους κυλίνδρους (συνήθως αρκούν 1-2 διελεύσεις). Σε περίπτωση βροχής, δυνατού ανέμου ή θερμοκρασιών κάτω των 20° C, οι

εργασίες διακόπτονται, όπως επίσης και όταν υπάρχει νερό στην επιφάνεια έδρασης των πορωδών ταπήτων.

5.1.4 Ασφαλοτάπητες με έμπηκτες ψηφίδες

Η τεχνική αυτή συνίσταται στην διάστρωση ενός ασφαλοτάπητα χωρίς χονδρόκοκκα συστατικά, στην επιφάνεια του οποίου εμπήγνυται εν θερμώ προεπηλειμμένες ψηφίδες (precoated chippings) (6), (19).

Αυτοί οι ασφαλοτάπητες παρουσιάζουν ικανοποιητική αδιαπερατότητα και επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα έναντι ερπυσμού, και ως αποτέλεσμα διατηρούν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος σε καλή κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Εφαρμόζονται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις οδών ταχείας κυκλοφορίας, καθώς και σε τμήματα οδών υψηλής επικινδυνότητας λόγω των υψηλών δεικτών αντιολισθηρότητας, που είναι δυνατόν να επιτευχθούν και τοποθετούνται στην πρώτη σειρά των αντιολισθητικών στρώσεων κυκλοφορίας και θεωρούνται ως μέσο θεραπείας της ολισθηρότητας.

Για την εφαρμογή αυτής της τεχνικής απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή ως προς την επιλογή των ψηφίδων (κοκκομετρία, σκληρότητα, αντοχή σε φθορά, στίλβωση), ως προς τα μηχανήματα διάστρωσης και τις συνθήκες κατασκευής (ρυθμός διάστρωσης, θερμοκρασία). Η εκτέλεση των εργασιών ξεκινά με τη διάστρωση του θερμού ασφαλομίγματος (Hot Rolled Asphalt – HRA) από τη μηχανή οδοστρωσίας (φίνισερ) στο απαιτούμενο πάχος μέχρι τη γραμμή και το επίπεδο που καθορίζει την περιοχή. Το πάχος του τάπητα θα πρέπει να είναι κατάλληλο για το μέγεθος των σκύρων και το ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών του ασφαλικού μίγματος. Έπειτα, ακολουθεί η διάστρωση των ψηφίδων (σκύρων). Η ποιότητα του μηχανήματος της διασποράς (ψηφιδιέρα) και του εργατοτεχνικού προσωπικού που το λειτουργεί υπαγορεύουν σε μεγάλο βαθμό το αν το θερμό ασφαλομίγμα και οι ψηφίδες που θα διαστρωθούν θα δημιουργήσουν μια αποδεκτή επιφάνεια σε εμφάνιση και οδική ποιότητα. Μια κακοσυντηρημένη ψηφιδιέρα θα είναι πολύ δύσκολο να παράγει ένα καλό οδόστρωμα. Οι ψηφίδες κατανέμονται ομοιόμορφα σε ποσότητα 12 kgs/m², η οποία συνήθως είναι επαρκής για να δημιουργήσουν βάθος υψής 1,5 mm., καθώς εμπήγνυται στην καυτή στρώση του ασφαλομίγματος.

Κατόπιν, ακολουθεί η συμπύκνωση, η οποία χαρακτηρίζεται ως μια επιδέξια διαδικασία. Τα σκύρα δεν πρέπει να διαστρωθούν ούτε σε πολύ υψηλή θερμοκρασία, καθώς θα «εξαφανιστούν» στο ασφαλομίγμα, αλλά ούτε και σε πολύ χαμηλή, καθώς τότε δύναται σύντομα να κινδυνέψουν με αποκόλληση. Ιδιαίτερη προσοχή επιβάλλεται σε περιπτώσεις

ψυχρού περιβαλλοντικού αέρα, οπότε συστήνεται τα τρία μηχανήματα (φίνισερ, ψηφιδιέρα και οδοστρωτήρας) να εργάζονται πολύ στενά μεταξύ τους.

Τέλος, πραγματοποιείται η κοπή των αρμών. Είναι καλή πρακτική η δημιουργία κάθετων αρμών, οι οποίοι αφαιρούν το χαλαρό και ασυμπιεστο υλικό και κατόπιν, στο πλήρες συμπιεσμένο τμήμα του αρμού περιχύνεται ζεστή πίσσα και, έτσι, παράγεται ένας ισχυρός σύνδεσμος. Συνήθως αναγνωρίζεται ότι το τμήμα που πρέπει να κοπεί βρίσκεται σε απόσταση ίση με το βάθος της στρώσης, ώστε να βρεθεί η υγιής και συμπυκνωμένη ασφαλτος.



Εικόνα 52: Διάστρωση θερμού ασφαλτομίγματος (19)



Εικόνα 53: Διάστρωση ψηφίδων στο θερμό ασφαλτόμιγμα (19)



Εικόνα 54: Οδοστρωσία ψηφίδων (19)



Εικόνα 55: Τομή ασύνδετου υλικού στους αρμούς (19)

Ένας σωστά κομμένος και βαμμένος αρμός θα διαρκέσει επ' αόριστον και υπάρχουν πολλά ανάλογα παραδείγματα. Δυστυχώς, όμως υπάρχει σχεδόν ένας ίσος αριθμός παραδειγμάτων αποτυχημένων αρθρώσεων που έχουν λάβει ή θα χρειαστεί να λάβουν διορθωτική επέμβαση. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα οι αρθρώσεις μπορεί να είναι τόσο κακές, που να αποτελούν τον λόγο για την πρόωρη ανάπλαση του οδοστρώματος της περιοχή. Πριν την παράδοση της οδού σε κυκλοφορία πραγματοποιείται επιμελής καθαρισμός της επιφάνειας κυκλοφορίας για να απομακρυνθούν τυχόν ψηφίδες που δεν ενσωματώθηκαν στον τάπητα. Μια σωστά σχεδιασμένη, κατασκευασμένη, αποθηκευμένη, μεταφερόμενη και διαστρωμένη ασφαλτική επιφάνεια με έμπηκτες ψηφίδες έχει τη δυνατότητα ζωής για τριάντα χρόνια .

5.1.5 Ασφαλτικές επαλείψεις (Ασφαλτικές επιστρώσεις)

Ασφαλτικές επαλείψεις ή ασφαλτικές επιστρώσεις (surface dressings ή chip seal ή sprayed seal ή tar and chip) ονομάζονται οι επιφανειακές στρώσεις ασφαλτικών οδοστρωμάτων, των οποίων η κατασκευή πραγματοποιείται μέσω μιας απλής και συγκεκριμένης τεχνικής. Στην τεχνική αυτή, πάνω σε μια υφιστάμενη επιφάνεια κυκλοφορίας, στεγνή και καθαρή, διαχέεται συνδετικό ασφαλτικό υλικό (καθαρή ή τροποποιημένη άσφαλτος, γαλακτώματα, μίγματα ασφάλτων και πίσσας) και ακολουθεί η διάστρωση των αδρανών και η συμπύκνωση της στρώσεως.

Η τεχνική των ασφαλτικών επαλείψεων δεν επιφέρει αύξηση της μηχανικής αντοχής του οδοστρώματος, ιδιαίτερα σε περίπτωση απλής (single-layer) ασφαλτικής επίστρωσης. Αντίθετα, η διπλή επίστρωση επιφέρει μια μικρή αύξηση της μηχανικής αντοχής. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει είναι:

- η ευαισθησία στις κλιματικές συνθήκες, η αδυναμία στην βελτίωση της μηχανικής αντοχής του οδοστρώματος

- η ακαταλληλότητα σε περιπτώσεις έντονων αστοχιών επιπεδότητας (πτυχώσεων, κοιλωμάτων, παραμορφώσεων, αυλακώσεων) της επιφάνειας κυκλοφορίας
- η συχνή εμφάνιση προβλημάτων θορύβου
- η εμφάνιση εξίδρωσης (ανάδυση ασφάλτου) σε υψηλές θερμοκρασίες
- η χαλαρή σύνδεση που παρουσιάζεται συχνά σε σημαντική ποσότητα αδρανών
- με αποτέλεσμα τα αδρανή να εκτινάσσονται κατά την κυκλοφορία των οχημάτων και να προκαλούν φθορές σε αυτά (θραύση ανεμοθωράκων)

Υπάρχουν τρία είδη ασφαλικών επαλείψεων:

- η απλή επίστρωση
- η διπλή επίστρωση
- η απλή επάλειψη με διπλή επίστρωση αδρανών

Μπορούν να τοποθετηθούν, κατά τη συντήρηση των οδικών δικτύων, σε υδατόπηκτα οδοστρώματα, ασφαλοτάπητες, χαλικόστρωτες οδούς και οδοστρώματα σκυροδέματος, καθώς και σε πορώδεις ασφαλοτάπητες με διπλή επάλειψη (δύο στρώσεις συνδετικού υλικού). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση των ακόλουθων περιπτώσεων των ασφαλικών οδοστρωμάτων:

- Κάλυψη των καταστραμμένων στρώσεων κυκλοφορίας και σφράγιση τυχόν ρωγμών
- Επαναφορά ικανοποιητικής συμπεριφοράς έναντι ολισθηρότητας
- Μείωση του ρυθμού φθοράς των επιφανειακών ασφαλοταπήτων
- Τροποποίηση του χρώματος της επιφάνειας κυκλοφορίας είτε για λόγους κυκλοφοριακών ρυθμίσεων είτε για λόγους ορατότητας και ασφάλειας

Αρχικά, η πίσσα, συνήθως με τη μορφή γαλακτώματος, σε κατάλληλο ποσοστό ψεκάζεται πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος από την ράβδο ψεκασμού, η οποία βρίσκεται στο πίσω μέρος ενός μεγάλου βυτιοφόρου που περιέχει το γαλάκτωμα ασφάλτου. Ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιούνται ασφαλικά διαλύματα, γαλακτώματα αλλά και τροποποιημένη ασφαλτος για τις δύσκολες θέσεις της οδού. Απαραίτητη είναι η προεργασία καθαρισμού, καθώς και η διάστρωση προεπάλειψης. Η ασφαλική προεπάλειψη ή σφραγιστική στρώση συνιστάται σε επιφάνειες χαλικόστρωτων οδών ή ρηγματωμένων οδοστρωμάτων, ενώ η συγκολλητική επάλειψη σε επιφάνειες πλακών σκυροδέματος. Έπειτα, πάνω στην πίσσα εφαρμόζονται αμέσως τα σκύρα του κατάλληλου μεγέθους με τη χρήση ενός «διασκορπιστή», της ψηφιδιέρας, που ρυμουλκείται συνήθως πίσω από το φορτηγό που περιέχει τα σκύρα.

Κατόπιν, σε μικρή απόσταση από την ψηφιδιέρα ακολουθεί ο οδοστρωτήρας για την συμπύκνωση της στρώσης. Συνήθως 3 – 4 διελεύσεις με ταχύτητα 8 – 10 km/h είναι ικανοποιητικά. Μετά το τέλος των εργασιών η λωρίδα παραδίδεται σε κυκλοφορία.

Για να διεξαχθούν οι εργασίες απαραίτητη προϋπόθεση είναι η θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη των 10ο C χωρίς βροχόπτωση και η επιφάνεια να είναι ενιαία, στεγνή και καθαρή. Όσο αφορά τους αρμούς, πρέπει να σφραγίζονται προκαταρκτικά για την αποφυγή δημιουργίας ανωμαλιών στην επιφάνεια κατά την διάστρωση.

Η ασφαλτος της ασφαλικής επίστρωσης, καθώς ασφαλίζει τα σκύρα στην υφιστάμενη επιφάνεια, σφραγίζει το παλιό οδόστρωμα εμποδίζοντας, έτσι, την είσοδο του νερού, διότι το νερό, αν επιτραπεί να εισέλθει στις υποκείμενες στρώσεις, θα προκαλέσει σοβαρή βλάβη στην αντοχή/φέρουσα ικανότητα του δρόμου έχοντας ως αποτέλεσμα την πρόωρη αστοχία του δρόμου. Τα σκύρα αποκαθιστούν την υφή της ασφαλικής επιφάνειας, η οποία έχει λειανθεί εξαιτίας της φθοράς από την κυκλοφορία, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην πρόληψη ατυχημάτων λόγω ολίσθησης. Στις ασφαλικές επαλείψεις απαιτείται η χρήση αδρανών υψηλής ποιότητας (σκληρά, καθαρά, ανθεκτικά σε φθορά και στίλβωση). Η ασφαλική επάλειψη δεν προσθέτει δύναμη στο οδόστρωμα, αλλά διατηρεί ένα υγιές οδόστρωμα σε μια ισχυρή κατάσταση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Οι πιο συχνές της αστοχίες είναι η απόσπαση των αδρανών και η εξίδρωση, οι οποίες οφείλονται σε κατασκευαστικές αστοχίες. Σκοπός της τεχνικής αυτής είναι η δημιουργία ενός σταθερού μωσαϊκού από αδρανή συνδεδεμένο με ασφάλεια στην επιφάνεια του δρόμου, το οποίο παρέχει μια ολοκληρωμένη στεγανοποίηση εμποδίζοντας την είσοδο του νερού μέσα στο οδόστρωμα, και μια φρέσκια σκληρή επιφανειακή στρώση ανθεκτική στην ολίσθηση.

5.1.6 Ασφαλτικοί λεπτοτάπητες

Ασφαλτικοί τάπητες πάχους από 1 – 4 cm ονομάζονται λεπτοτάπητες (thin overlays ή slurry seal) και χρησιμοποιούνται ως επενδύσεις σε νέες κατασκευές, αλλά ιδιαίτερα για συντήρηση υφιστάμενων οδοστρωμάτων.

Οι λεπτοτάπητες συντίθενται από συμβατικά μίγματα συνεχούς κοκκομετρίας αδρανών, ενώ ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται καθαρή ασφαλτος στα θερμά μίγματα και ασφαλικά γαλακτώματα στα ψυχρά μίγματα. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και τροποποιημένες ασφαλτοι. Στην αστική οδοποιία έχουν αναφερθεί και κατασκευές που χρησιμοποιούν ασφαλικά διαλύματα (cut-backs) για κατασκευή στρώσεων πάχους 1,5 cm. Η διάστρωση στην περίπτωση αυτή γίνεται σε θερμοκρασία 70 – 80° C. Με τη χρήση τους επί

υφισταμένων οδοστρωμάτων έχουν ως στόχο την συντήρηση και τη βελτίωση των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών. Ειδικότερα:

- Βελτιώνουν την επιφανειακή υφή του οδοστρώματος και μειώνουν την ολισθηρότητά του, Εξαλείφουν το φαινόμενο της εκτόξευσης ύδατος από την επιφάνεια κυκλοφορίας, Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία νέων ταπήτων σε αστικές περιοχές, όπου το πάχος του ασφαλτοτάπητα πρέπει να διατηρείται σε συγκεκριμένα όρια
- Μειώνουν το θόρυβο
- Δημιουργούν νέα στεγανή επιφάνεια στο οδόστρωμα, η οποία προστατεύει τις υποκείμενες στρώσεις

Οι λεπτοτάπητες, κατά κανόνα, κατασκευάζονται με υψηλής ποιότητας ασφαλτικά υλικά. Ως εκ τούτου τα πλεονεκτήματά τους είναι:

- Η υψηλή αντοχή σε κόπωση και γήρανση
- Η καλή συμπεριφορά υπό υψηλές θερμοκρασίες
- Η αντίσταση σε διάβρωση και αποκόλληση του συνδετικού υλικού (stripping)
- Η απλή εφαρμογή (ως ψυχρά, συνήθως, μίγματα)
- Η δυνατότητα αποκατάστασης αστοχιών επιπεδότητας

Οι ασφαλτικοί λεπτοτάπητες είναι κατάλληλοι ως θεραπεία σε οδοστρώματα τα οποία :

- Έχουν τις ακόλουθες βλάβες:
 - «ξηρής όψεως», λεπτά οδοστρώματα, που είναι πορώδη και διαπερατά, ο
 - έχουν αρχίσει να εμφανίζουν εκδορές
 - έχουν εκτεταμένες ρωγμές και είναι υπερβολικά λεπτά για σφράγιση των ρωγμών τους
 - έχουν ρωγμές στην επιφάνεια, οι οποίες είναι εκτεταμένες για να επισκευαστούν μόνο με σφράγιση
 - έχουν κράσπεδο, το οποίο δεν επιτρέπει στρώσεις με μεγάλη πάχη
- Εμφανίζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
 - δεν έχουν δομική βλάβη (κόπωση)
 - δεν εμφανίζουν αξιόλογες αυλακώσεις
 - έχουν επαρκή απομένουσα δομική αντοχή για να διαρκέσει η θεραπεία συντήρησης

Κάθε κράτος έχει διαφορετικές απαιτήσεις στην διαβάθμιση και τη συνολική ποιότητα των αδρανών (23). Εξ' ορισμού τα αδρανή που χρησιμοποιούνται σε έναν ασφαλτικό λεπτοτάπητα πρέπει να έχουν μικρό ονομαστικό μέγιστο μέγεθος αδρανών (nominal maximum aggregate size – NMAS). Για παράδειγμα, σε επιστρώσεις που είναι 1,5 ίντσες (37,5 mm) ή λιγότερο, το

NMAS πρέπει να είναι 12,5 mm και μικρότερο, προκειμένου η υπερύψωση της ερυθράς στην αναλογία NMAS να διατηρείται από 3:1 έως 5:1, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής συμπύκνωση. Η ποιότητα των αδρανών που απαιτείται εξαρτάται από τον τύπο του υφιστάμενου οδοστρώματος, την προβλεπόμενη κίνηση, και την ταχύτητα των οχημάτων που χρησιμοποιούν το οδόστρωμα. Οι απαιτήσεις των χονδρόκοκκων και των λεπτόκοκκων αδρανών ποικίλλουν ανάλογα με τοπικά διαθέσιμα υλικά, καθώς και τα επίπεδα κυκλοφορίας. Όσο αφορά το συνδετικό υλικό, στις περισσότερες περιπτώσεις η ποιότητά του καθορίζεται σύμφωνα με το κλίμα και το επίπεδο της κυκλοφορίας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Το σύστημα ταξινόμησης της απόδοσης (Performance Grade System, PG system), στο οποίο τα συνδετικά υλικά κατατάσσονται ανάλογα με την επίδοσή τους μετά από μια σειρά δοκιμών, επιτρέπει την επιλογή του κατάλληλου ασφαλτικού σκυροδέματος σύμφωνα με τις υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες κατά τις οποίες θα διεξαχούν οι εργασίες και το επίπεδο του ισοδύναμου μονού αξονικού φορτίου (equivalent single axle loads, ESAL). Οι πρακτικές που εφαρμόζονται διαφέρουν από χώρα σε χώρα (NAPA, 2009).

5.1.7 Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση των ασφαλτικών υλικών είναι «μια τεχνική που συνίσταται στην ανάκτηση, επεξεργασία και αναδιάστρωση των συστατικών των ασφαλτοταπήτων, δηλαδή της ασφάλτου και των αδρανών» (6), (19). Η πρώτη ενεργειακή κρίση οδήγησε στην αύξηση του κόστους του πετρελαίου, και κατ' επέκταση και της ασφάλτου. Παράλληλα, η περιβαλλοντική επιβάρυνση εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης των κατασκευών, καθώς και η απαίτηση για συνεχή βελτίωση, οδήγησε τη βιομηχανία να στραφεί στην ανακύκλωση. Οι πρώτες εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν στις Η.Π.Α. στα μέσα της δεκαετίας του 1970, και αργότερα, η τεχνική επεκτάθηκε στην Ευρώπη, όπου την επόμενη δεκαετία σημείωσε εκρηκτική πρόοδο.

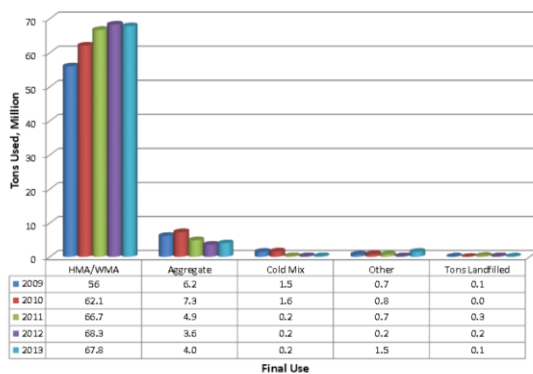
Το χαρακτηριστικό των ασφαλτικών οδοστρωμάτων που συμβάλλει στην συνεχή ανάπτυξη της μεθόδου αυτής είναι το μεγάλο ποσοστό ανακυκλωσιμότητά της.

Τα ασφαλτικά οδοστρώματα είναι ως 100% ανακυκλώσιμα. Σύμφωνα με έρευνα του 2011 από την Federal Highway Administration και την National Asphalt Pavement Association, πολύ μικρό ποσοστό ασφαλτικού οδοστρώματος, λιγότερο από 1%, διατίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Η ανακύκλωση ενός οδοστρώματος μπορεί να γίνει είτε σε μεγάλη κλίμακα (επιτόπια ανακύκλωση ασφάλτου ή ανακύκλωση ασφάλτου σε μόνιμες εγκαταστάσεις) είτε σε μικρότερη κλίμακα. Στην ανακύκλωση ασφάλτου μικρής κλίμακας, το ασφαλτικό υλικό που λαμβάνεται διαχωρίζεται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

- Cookies ασφαλτόστρωση. Πρόκειται για κομμάτια του φυσικού ασυμπίεστου θερμού ασφαλτομίγματος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιδιόρθωση λακκουβών. Η χρήση των κομματιών αυτών έχει ερευνηθεί ότι είναι μια λιγότερο ακριβή, με μικρότερης έντασης εργασία και πιο ανθεκτική εναλλακτική λύση για την επισκευή λακκουβών (μπαλώματα) με ψυχρό ασφαλτόμιγμα.
- Ανακυκλωμένο ασφαλτικό οδόστρωμα (reclaimed asphalt pavement, RAP). Κομμάτια ασφάλτου που έχουν αφαιρεθεί από ένα δρόμο, ένα πάρκινγκ ή μια δευτερεύουσα οδό θεωρούνται RAP. Επειδή η ασφαλτική στρώση έχει συμπιεστεί, το RAP είναι ένα πυκνότερο υλικό της ασφάλτου και συνήθως χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να ανακυκλωθεί από ότι η ασφαλτόστρωση cookies.
- Άσφαλτος ως προϊόν φρεζαρίσματος (Millings asphalt). Μικρά κομμάτια ασφάλτου που παράγονται με μηχανική λείανσης των επιφανειών της ασφάλτου ονομάζονται asphalt millings. Μεγάλα τμήματα millings που έχουν μια πλούσια, μαύρη απόχρωση που δείχνει την υψηλή τους περιεκτικότητα σε άσφαλτο είναι καλύτερα για τον σκοπό της ανακύκλωσης της ασφάλτου. Οι επιφάνειες που φρεζάρονται συνιστάται να γίνεται σε πλήρες βάθος (full depth milling), όταν επιλέγονται για ανακύκλωση φρεζαρισμένα ασφαλτικά. Η φρεζαρισμένη άσφαλτος πλήρους βάθους περιέχει, συνήθως, προσμίξεις υπόβασης, όπως χαλίκι, λάσπη και άμμο. Αυτές οι προσμίξεις της υπόβασης διαφεύγουν από την αρχική άσφαλτο με πετρέλαιο, το οποίο στεγνώνει το υλικό κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης.

Σημειώνεται, ακόμη, ότι η άσφαλτος που προέρχεται από άσφαλτο είναι καλύτερη από την άσφαλτο που προέρχεται από σκυρόδεμα. Όταν φρεζαριστεί το ασφαλτικό σκυρόδεμα, η σκόνη που δημιουργείται δεν είναι συμβατή με ασφαλτικά προϊόντα, διότι δεν είναι άσφαλτος. Σύμφωνα με στοιχεία που συνέλεξε η NAP, η χρήση των υλικών RAP τα τελευταία χρόνια απεικονίζεται στην Εικόνα , στην οποία παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των RAP αξιοποιείται σε θερμά ασφαλτομίγματα.



Εικόνα 56: Τόνοι χρησιμοποιούμενων RAP στις ΗΠΑ από το 2009 έως το 2013 (22)

Η ανακύκλωση του ασφαλτικού μίγματος μπορεί σε γενικές γραμμές να καταταχθεί σε δύο κατηγορίες, την ανακύκλωση σε μόνιμη εγκατάσταση και την επιτόπια ανακύκλωση. Εάν το RAP έχει τροποποιηθεί σε εργοστάσιο, μακριά από το εργοτάξιο, τότε η διαδικασία είναι γνωστή ανακύκλωση σε μόνιμη εγκατάσταση. Στην επιτόπια διαδικασία ανακύκλωσης το RAP τροποποιείται στη θέση που είναι διαθέσιμο. Περαιτέρω, η θέρμανση του RAP δημιουργεί επιπλέον κατηγοριοποίηση των μεθόδων ανακύκλωσης. Εάν εφαρμόζεται θερμότητα, τότε η διαδικασία είναι γνωστή ως ανακύκλωση εν θερμώ. Στην περίπτωση εν ψυχρώ ανακύκλωσης, τα παλιά υλικά συνδέονται χρησιμοποιώντας κάποιο μέσο ανακύκλωσης (όπως γαλάκτωμα χαμηλού ιξώδους) χωρίς την εφαρμογή θερμότητας.

Ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης θα μπορούσε να βασίζεται στο βάθος του παλαιού οδοστρώματος που απομακρύνθηκε. Εάν οι ανώτερες στρώσεις του οδοστρώματος αστοχήσουν, τότε τα άνω στρώματα θα αφαιρεθούν και θα διαστρωθούν ξανά. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως επιφανειακή ανακύκλωση. Ωστόσο, εάν η βάση αστοχήσει, τότε τα στρώματα του οδοστρώματος μέχρι το στρώμα βάσης απομακρύνονται και κατασκευάζονται ξανά. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως πλήρης αποκατάσταση.

5.2 Μέθοδοι συντήρησης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Ακόμα και τα καλύτερα, από πλευράς σχεδιασμού και κατασκευής, οδοστρώματα από σκυρόδεμα θα φθαρούν τελικά και θα χρειαστούν συντήρηση ή αποκατάσταση (1). Είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η έγκαιρη συντήρηση ή διατήρηση του οδοστρώματος, μπορεί να παρατείνει σημαντικά τη ζωή του και να καθυστερήσει την ανάγκη για αποκατάσταση.

Ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα συντήρησης και αποκατάστασης, όμως, απαιτεί μία βαθύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του οδοστρώματος. Οι βασικές πτυχές του σχεδιασμού, μπορούν να αποτελέσουν μία ένδειξη για το αν μια συγκεκριμένη φθορά του οδοστρώματος μπορεί να

οφείλεται σε ανεπαρκές πάχος, σε ένα ασταθές υλικό υπόβασης ή σε υπερβολική απόσταση αρμών.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα παρουσιάζουν λιγότερες φθορές από τα εύκαμπτα (6), (19). Οι φθορές αυτές μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, τις λειτουργικές και τις δομικές. Οι λειτουργικές φθορές αφορούν βλάβες λόγω φθοράς της πλάκας σκυροδέματος, όπως είναι η αποσάθρωση, η αποσύνθεση, οι ρωγμές, κλπ., ενώ οι δομικές φθορές αναφέρονται στην ανεπάρκεια, κυρίως, της φέρουσας ικανότητας μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος, της υπόβασης και του εδάφους έδρασης. Τέτοια παραδείγματα είναι η δημιουργία ανισοσταθμίας (faulting) στις θέσεις των ρωγμών, οι διαμπερείς ρωγμές, τα φαινόμενα άντλησης και εμφάνισης ύδατος στην επιφάνεια, κλπ. Για την αντιμετώπιση των βλαβών αυτών εφαρμόζονται οι τεχνικές που περιγράφονται ακολούθως:

Επίστρωση ασφαλτικού τάπητα

Η τοποθέτηση επιφανειακού ασφαλτοτάπητα αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο συντήρησης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Η μέθοδος εφαρμόζεται για να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά λειτουργικές φθορές. Μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις που απαιτείται αυξημένη δομική αντοχή, ο επιφανειακός ασφαλτοτάπητας μπορεί να ενισχυθεί με γεωμεμβράνες ή ειδικά συνθετικά πλέγματα (grids). Με αυτόν τον τρόπο προλαμβάνεται η δημιουργία ρωγμών εξ ανακλάσεως (reflective cracking) στις πλάκες που φέρουν ρωγμές πολυγώνου ή τύπου αλιγάτορα.

Διάσπαση – Σταθεροποίηση της πλάκας

Η διάσπαση της πλάκας και η βύθιση των τεμαχίων στην υπόβαση (crack and seat technique) αποτελεί μια τεχνική αντιμετώπισης των δομικών βλαβών ενός οδοστρώματος, που υποδεικνύουν ότι βρίσκεται στο τελικό στάδιο της ζωής του και, ειδικότερα, αφορά την ανακατασκευή των οδοστρωμάτων από άοπλο σκυρόδεμα. Η εφαρμογή της τεχνικής διαχωρίζεται σε τρεις φάσεις:

- 1 η Φάση. Στην πρώτη φάση η πλάκα σκυροδέματος τεμαχίζεται και διασπάται σε τεμάχια διαστάσεων 50 – 100 cm με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού.
- 2 η Φάση. Σε αυτή τη φάση τα τεμάχια του σκυροδέματος βυθίζονται στο υπόστρωμα από θραυστό ή φυσικό αμμοχάλικο και σταθεροποιούνται μηχανικά με τη χρήση οδοστρωτήρων μεγάλου βάρους (μεγαλύτερου των 30 t), ώστε να τοποθετηθούν σταθερά. Κατόπιν, ακολουθεί η προσθήκη αδρανών υλικών και η επανασυμπύκνωση της στρώσης.
- 3 η Φάση. Στην τελική φάση διαστρώνονται οι ασφαλτοτάπητες βάσης και κυκλοφορίας, συνολικού πάχους 10 – 15 cm. Σε κάποιες περιπτώσεις, για την

αποφυγή των επιφανειακών αστοχιών και των ρωγμών εξ ανακλάσεως, μπορούν να προστεθούν ίνες στα ασφαλτομίγματα των επιφανειακών ταπήτων.

Ενίσχυση μέσω επίστρωσης πλάκας σκυροδέματος

Η τεχνική της επίστρωσης πλάκας σκυροδέματος πάνω σε μια υφιστάμενη πλάκα (overlay) συμβάλει στην συντήρηση αλλά και την ενίσχυση του οδοστρώματος, καθώς βελτιώνει τα επιφανειακά χαρακτηριστικά και αυξάνει την φέρουσα ικανότητά της. Μπορεί, συνεπώς, να επηρεάσει τόσο την λειτουργική όσο και την δομική κατάσταση του οδοστρώματος. Εφαρμόζεται σε υφιστάμενες πλάκες σκυροδέματος που διατηρούν ένα ποσοστό της αρχικής φέρουσας ικανότητάς τους.

Οι επιστρώσεις μπορούν να διακριθούν σύμφωνα με:

- το υλικό, σε επιστρώσεις απλού, οπλισμένου ή με ίνες σκυροδέματος,
- τη μέθοδο τοποθέτησης, με σύνδεση (bonded) ή χωρίς σύνδεση (unbonded),
- το πάχος της στρώσης, σε εξαιρετικά λεπτές (έως 3 cm), πολύ λεπτές (3 – 5 cm) και λεπτές (5 – 10 cm).

Τα κύρια στάδια της διαδικασίας κατασκευής με την τεχνική αυτή περιλαμβάνουν:

- τον καθαρισμό της επιφάνειας,
- την δημιουργία τραχιάς επιφάνειας μέσω εκτόξευσης νερού υπό πίεση ή φρεζαρίσματος,
- την διάστρωση λεπτής συνδετικής στρώσης (συνήθως τσιμεντοκονία ή αμμοτσιμεντοκονία),
- την διάστρωση της νέας στρώσης σκυροδέματος πάνω στην υγρή επιφάνεια του οδοστρώματος.

Σφράγιση και συντήρηση αρμών

Η συντήρηση των αρμών αποτελεί το σπουδαιότερο στοιχείο της διατήρησης των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, τόσο λειτουργικά όσο και δομικά, και περιλαμβάνει της ακόλουθες ενέργειες:

- απομάκρυνση του παλαιού υλικού
- αποκατάσταση της διατομής (εφόσον απαιτείται)
- καθαρισμό του αρμού
- αναπλήρωση του αρμού

Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πλήρωση των αρμών είναι ασφατικά, πολυμερή πλαστικά, σιλικόνες, κλπ, και επιλογή τους εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες. Κάποιες από τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί για την σφράγιση και συντήρηση των αρμών είναι:

- η αποκατάσταση της λειτουργικότητας των ράβδων σύνδεσης με απομάκρυνση των υφισταμένων ράβδων και προσθήκη νέων,
- η ενσωμάτωση στις θέσεις των αρμών ειδικών συσκευών, οι οποίες παραλαμβάνουν και μεταβιβάζουν φορτία (σύστημα LCPC – Freyssinet)

Ανύψωση Πλακών

Η τεχνική αυτή αντιμετωπίζει την εμφάνιση υψομετρικών μεταβολών στις πλάκες σκυροδέματος. Μια πλάκα σκυροδέματος χάνει την κατακόρυφή της θέση, χωρίς όμως να χάνει την δομική της αντοχή, εξαιτίας της απώλειας λεπτόκοκκου υλικού στην βάση ή και το έδαφος έδρασης, ή της κακής λειτουργίας των μηχανισμών αποστράγγισης – αποχέτευσης.

Οι εργασίες που περιλαμβάνονται σε αυτή την τεχνική συντήρησης είναι:

- Η ανύψωση της πλάκας στην κανονική υψομετρική της θέση με τη βοήθεια κατάλληλου και εξειδικευμένου μηχανικού εξοπλισμού
- Η έγχυση ενέματος τσιμεντοκονίας ή συνθετικών ρητινών (με πίεση ή με δημιουργία κενού) για την πλήρωση του κενού κάτω από την πλάκα.

Κεφάλαιο 6^ο

Εφαρμογές

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί μία πραγματική εφαρμογή που αφορά αστοχίες στο οδόστρωμα Ξάνθης-Σταυρούπολης (23). Συγκεκριμένα στην ενότητα αυτή, γίνεται λόγος για τα γεωλογικά στοιχεία και τη γεωμορφολογία της οδού, καθώς και για τα κυκλοφοριακά στοιχεία. Έπειτα γίνεται επισήμανση των βλαβών του οδοστρώματος και αποδίδονται τα αίτια που τις προκάλεσαν ενώ τέλος προτείνονται τεχνικές αποκατάστασης τους.

6.2 Αστοχίες στο οδόστρωμα Ξάνθης-Σταυρούπολης

6.2.1 Η ταυτότητα της οδού

Η Εθνική Οδός 14 κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1950 για να συνδεθεί οδικά ο νομός Ξάνθης με τον όμορο νομό Δράμας, διερχόμενη μέσα από διάφορους οικισμούς των δύο νομών (Παρανέστι, Σταυρούπολη κ.ά.). Όλο το μήκος που διατρέχει το τμήμα που μελετήθηκε ανήκει στο Νομό Ξάνθης. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες αρχής και τέλους στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ-87 είναι αντίστοιχα (573218,450, 457865,348) και (562439,340, 462882,123).

Το συγκεκριμένο τμήμα δεν διέρχεται από οικισμούς, αλλά αποτελεί το μοναδικό οδικό άξονα επικοινωνίας των ορεινών κοινοτήτων της περιοχής με την υπόλοιπη χώρα ως συλλεκτήριος των υφισταμένων κοινοτικών δικτύων. Επίσης, αποτελεί τη μοναδική οδική σύνδεση του Δήμου Σταυρούπολης (5000 κάτοικοι) και του Παρανεστίου (3000 κάτοικοι) με την υπόλοιπη περιοχή, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη και αξιοποίησή τους. Η οδός αρχίζει από την έξοδο της Δράμας και φτάνει μέχρι την έξοδο της Ξάνθης, διερχόμενη από τη Σταυρούπολη. Το συνολικό μήκος του υπό μελέτη τμήματος της οδού ανέρχεται σε 24,3 km. Εξυπηρετεί με συνδετήριες οδούς τα χωριά Πίλημα, Γοργόνα, Λυκοδρόμιο, Εχίνο κ.ά. Η γη στην περιοχή γύρω από τον άξονα της οδού είναι ως επί το πλείστον δασική.

Η βελτίωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και η αποκατάσταση της ορατότητας σε αρκετά σημεία της οδού, η αύξηση του πλάτους του καταστρώματος και η χάραξη με μεσημβρινό προσανατολισμό για την αποφυγή των επιπτώσεων του παγετού σκοπεύει να βελτιώσει την ασφάλεια και τις συνθήκες κυκλοφορίας.

6.2.2 Γεωλογικά στοιχεία

Η ευρύτερη ορεινή περιοχή ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Ροδόπης, η οποία αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα μεγάλης ηλικίας (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι με εναλλαγές μαρμάρων) καθώς και από διεισδύσεις γρανιτών και εκχύσεις ηφαιστειακών. Γενικά, πρόκειται για συμπαγή πετρώματα, εφ' όσον είναι υγιή. Στην περιοχή του μελετώμενου άξονα τα πετρώματα είναι κυρίως γνεύσιοι και γνευσιακοί σχιστόλιθοι, οι οποίοι διατέμνονται σε αρκετά σημεία από φλέβες αλπικών πετρωμάτων με μικρές εμφανίσεις γρανιτικών σωμάτων. Υπάρχει επίσης μικρή εμφάνιση μαρμαρυγιακών σχιστολίθων με εναλλασσόμενα στρώματα μαρμάρων. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα, εκτός των μαρμάρων, αποτελούνται από γνεύσιους, σχιστόλιθους και όλες τις ενδιάμεσες μεταξύ αυτών σειρές. Πρόκειται για λεπτομεσοκρυσταλλικά πετρώματα με χρώματα που ποικίλουν από τεφρό έως ανοικτό καστανό, με υφή γνευσιακή, κοκκώδη, σχιστώδη. Εντοπίζονται ΒΔ-ΝΑ στο μέσον της περιοχής. Προς τα νότια της ορεινής ζώνης, εντοπίζονται σε φακούς ή στρώσεις μέσα στα μάρμαρα διακόπτοντας την συνέχειά τους.

Τα μάρμαρα καταλαμβάνουν το 25% περίπου της έκτασης. Η μεγαλύτερη εμφάνισή τους ξεκινά από την είσοδο του ποταμού Νέστου προς τον κάμπο και συνεχίζει σε δύο κλάδους. Ο ένας κλάδος βαίνει προς Ξάνθη-Σταυρούπολη-Δαφνώνα και ο άλλος καλύπτει τα όρη της Λεκάνης φτάνοντας μέχρι την Καβάλα και το Φαλακρό όρος καταλήγοντας και πάλι στη λεκάνη απορροής του Νέστου. Πρόκειται για αδρόκοκκα λευκά μάρμαρα και για ταινιωτά (γραφιτικά, πυριτωμένα) και δολομιτοποιημένα μάρμαρα. Χαρακτηριστικό τους ο έντονος τεκτονισμός από μικρά ή μεγάλα ρήγματα και η πλήρωση πολλών κενών και ρηγμάτων με μεταλλεύματα. Επιφανειακά, σε πολλές θέσεις με μικρές κλίσεις, εμφανίζονται εξαλλοιωμένα, δημιουργώντας μια συγκέντρωση από κίτρινο αργιλικό υλικό.

Τα ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται στα ιζήματα που έχουν αποθεθεί στην κοιτή του Νέστου και των χειμάρρων του (π.χ. πεδινό τμήμα περιοχής Σταυρούπολης-Κεχροκάμπου) και είναι χονδρόκοκκα χαλαρά υλικά με περιορισμένη ένταση και βάθος και στα ιζήματα στο εσωτερικό της λεκάνης τα οποία προήλθαν από μικρά βυθίσματα από τον τεκτονισμό του υποβάθρου. Αυτά εντοπίζονται σε πολλές θέσεις κυρίως προς τα Β και ΒΑ. Αποτελούνται από ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους εναλλασσόμενους με λιγνιτικές στρώσεις και κροκαλοπαγή.

6.2.3 Γεωμορφολογία κατά μήκος της οδού

Η ευρύτερη περιοχή αποτελείται από δύο βασικές μορφολογικές ενότητες ως αποτέλεσμα έντονης τεκτονικής δραστηριότητας στο παρελθόν και συνδυασμένης συνεχούς δράσης (διάβρωση, απόθεση) του ποταμού Νέστου και κλάδων του.

Η ορεινή περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονο πολυσχιδές ανάγλυφο με πυκνό υδρογραφικό δίκτυο στα ΒΑ. Γενικά συμπίπτει με τα γνευσιακά και γρανιτικά πετρώματα τα οποία από τη φύση τους είναι αδιαπέραστα και δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες επιφανειακής απορροής. Οι νότιες περιοχές παρουσιάζουν ένα σχετικά αδρό ανάγλυφο με αραιό υδρογραφικό δίκτυο και σχεδόν ταυτίζονται με τμήματα που δομούνται από μάρμαρα τα οποία εμφανίζονται με μεγάλο συντελεστή κατεΐσδυσης του νερού της βροχής.

Ο τεκτονισμός είναι σημαντικός στην ορεινή ζώνη. Μεγάλος αριθμός διακλάσεων, ρηγματώσεων και άλλων ασυνεχειών διατρέχουν τη μάζα των πετρωμάτων προς όλες τις κατευθύνσεις υποβοηθώντας την αποσάθρωση και τη διάβρωση και τη δημιουργία ενός επικαλύμματος αποσαθρωμένου μανδύα όπου το ευνοούν οι τοπογραφικές συνθήκες. Τα προϊόντα της αποσάθρωσης μεταφέρονται στα χαμηλότερα σημεία από τα υδάτινα ρεύματα. Η παρουσία, πάντως, πυκνής δασικής βλάστησης προστατεύει αποτελεσματικά το έδαφος. Η χάραξη της οδού είναι ορεινή. Σε αρκετά σημεία τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της είναι ανεπαρκή για τη σημερινή στάθμη της κυκλοφορίας. Το μέσο πλάτος του οδοστρώματος είναι περίπου 6,5 μέτρα και παρά τις κατά καιρούς επεμβάσεις οπτικά σε κακή κατάσταση. Τμήμα της οδού με ισχυρή κατά μήκος κλίση διέρχεται από σκιερή περιοχή με αποτέλεσμα κατά τη χειμερινή περίοδο να δημιουργούνται προβλήματα στην κυκλοφορία λόγω παγετού.

Τα τεχνικά έργα για την απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων από το οδόστρωμα και για τη διοχέτευση των υδάτων των μισογαγγειών επί του σώματος της οδού στα κατάντη είναι αρκετές φορές ανεπαρκή λόγω της μικρής τους διατομής και της μεγάλης ποσότητας φερτών στερεών που μεταφέρουν οι απότομες κλίσεις των μισογαγγειών. Το έδαφος στη ζώνη διάβασης της οδού είναι ορεινό με έντονες κλίσεις και πτυχώσεις. Οι εγκάρσιες κλίσεις του εδάφους κυμαίνονται γύρω στο 60%. Οι συναντώμενες χαραδρώσεις και ρεύματα είναι σημαντικές. Σε όλο το μήκος, το έδαφος είναι βραχώδες και γαιωμιβραχώδες. Από τις επιφανειακές ενδείξεις, αλλά και από εκσκαφές που έγιναν σε τμήματα της οδού η αναλογία εκτιμάται σε περίπου 30% βραχώδη και 70% γαιωμιβραχώδη εδάφη. Μόνο στο αρχικό τμήμα της οδού η αναλογία είναι περίπου 10% βραχώδες και 90% ημιβραχώδες έδαφος.

Το κλίμα των νομών Ξάνθης και Δράμας από τους οποίους διέρχεται η οδός, καθώς και της ευρύτερης περιοχής, είναι μεσογειακό, πλούσιο όμως σε βροχές με μέση τιμή που μπορεί να

φτάσει τα 800 χιλιοστά/έτος. Η κατανομή της βροχής στη διάρκεια του έτους δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Παγετός δεν εμφανίζεται με μεγάλη συχνότητα στην περιοχή της χάραξης, που στο σύνολό της είναι πεδινή, προφυλάσσεται δε από τους βόρειους ανέμους από την οροσειρά της Ροδόπης.

6.2.4 Κυκλοφοριακά στοιχεία

Από μελέτες έχει προκύψει ότι διέρχονται από την οδό 1230 οχήματα ανά ημέρα και για τις δύο κατευθύνσεις. Θεωρώντας ότι αυτή η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία είναι η μέγιστη που μπορεί να δεχθεί ο οδικός άξονας και λαμβάνοντας υπόψη μέση ετήσια αύξηση 4% στην εικοσαετία 1995-2015 και 3,2% στην εικοσαετία 2015-35, προκύπτουν ως μέγιστοι φόρτοι σχεδιασμού 3950 και 7200 οχήμ./ημέρα για τα έτη 2015 και 2035 αντίστοιχα.

Μετρήσεις που αφορούν τη σύνθεση της κυκλοφορίας έδωσαν τα εξής ποσοστά ανά κατηγορία οχήματος: επιβατικά 63%, λεωφορεία 4%, ημιφορτηγά 8%, ελαφρά φορτηγά 18%, βαριά φορτηγά 4%, δίκυκλα και λοιπά οχήματα 3%. Παρά τη σχετικά μικρή μικτή κυκλοφορία, το ποσοστό των βαρέων οχημάτων στο μίγμα είναι ιδιαίτερα υψηλό, λόγω της χρησιμότητας της οδού και αποτελεί πηγή δημιουργίας προβλημάτων για το οδόστρωμα. Σημαντικό ρόλο παίζουν ο αριθμός και η αναλογία των βαρέων οχημάτων που διέρχονται από την οδό.

Από μετρήσεις έχει προκύψει ότι η κίνηση βαρέων οχημάτων είναι αυξημένη τις πρωινές ώρες, ιδιαίτερα τις πρώτες πρωινές ώρες, ενώ μειώνεται αισθητά το απόγευμα και μηδενίζεται ουσιαστικά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η μελέτη των κυκλοφοριακών συνθηκών έδειξε ότι στο εν λόγω οδικό τμήμα υπάρχει μια ισοκατανομή ως προς τον αριθμό των οχημάτων.

Όσον αφορά τα τροχαία δυστυχήματα, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία για το οδικό αυτό τμήμα, το οποίο πάντως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μέτριας επικινδυνότητας λόγω των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των όχι ιδιαίτερα υψηλών ταχυτήτων που αναπτύσσονται σε αυτό. Προβλήματα στους οδηγούς δημιουργούνται κυρίως από τη μειωμένη ορατότητα κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών λόγω ομίχλης, από την ολισθηρότητα λόγω λείανσης αδρανών και από τη συχνή εμφάνιση παγετού.

6.2.5 Λειτουργική κατάταξη-γεωμετρία της οδού

Σύμφωνα με το σχέδιο Ελληνικού Κανονισμού Οδών, η υπό μελέτη οδός κατατάσσεται στην κατηγορία Α, διότι αποτελεί υποτήμημα της επαρχιακής οδού Ξάνθης-Δράμας, συνδέει πρωτεύουσες νομών και κατά το μεγαλύτερο τμήμα της βρίσκεται εκτός κατοικημένων περιοχών. Η οδός συνδέει οικισμούς και, επομένως, από άποψη κυκλοφοριακής ποιότητας κατατάσσεται στην κατηγορία ΙΙΙ. Για την κατηγορία ΑΙΙΙ, η ελάχιστη εφαρμοζόμενη ταχύτητα μελέτης είναι 60 km/h. Η επιτρεπόμενη ταχύτητα δεν μπορεί να υπερβεί τα 80 km/h.

Το μήκος του εξετασθέντος τμήματος είναι 23,4 km, με όρια τυπικής απόστασης για οδούς αυτής της κατηγορίας τα 25 έως 50 χιλιόμετρα. Να σημειωθεί ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών ελάχιστη σχέση έχουν με επιφανειακές βλάβες του είδους που παρατηρούνται στα οδοστρώματα. Κρίθηκε, όμως, απαραίτητο να συλλεχθούν και να συντεθούν όλα τα στοιχεία γεωμετρίας, ώστε να δημιουργηθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της οδού.

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία που περιγράφονται παραπάνω, η έρευνα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών είναι σε θέση να οδηγήσει σε μερικές ενδείξεις για πιθανά αίτια φθορών. Θα ήταν λογικό να υποθεθεί, ότι τα μικρά ερείσματα, σε συνδυασμό με τις ισχυρές κλίσεις των πρανών του επιχώματος, δεν δημιουργούν προϋποθέσεις εγκιβωτισμού, με αποτέλεσμα τα κατακόρυφα φορτία να προκαλούν σημαντικές μετατοπίσεις κατά την οριζόντια έννοια στα πρανή του επιχώματος. Άμεση συνέπεια θα ήταν αφενός η διατάραξη και παραμόρφωση των στρώσεων του επιχώματος και του 3Α και αφετέρου η εμφάνιση βλαβών στους ασφαλτοτάπητες. Όλα αυτά, φυσικά, σε συνάρτηση με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των στρώσεων και τα φορτία κυκλοφορίας.

6.2.6 Επισήμανση και εκτίμηση βλαβών

Η εξέλιξη της κατάστασης ενός οδοστρώματος επιβάλλει τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή όσων σημείων προαναγγέλλουν τη δημιουργία βλαβών. Η επισήμανση και εκτίμηση των βλαβών σε σημεία με φθορές ή με πιθανότητα εμφάνισης φθορών βοηθά στην επεξεργασία προγραμμάτων συντήρησης. Η επισήμανση γίνεται είτε με άμεση οπτική εξέταση ή με φωτογράφιση ή κινηματογράφιση του οδοστρώματος σε λωρίδες πλάτους περίπου 5 m, ή ακόμη με τη βοήθεια μηχανημάτων μέτρησης της ομαλότητας του οδοστρώματος.

Η οδός σε όλο το τμήμα της είναι ασφαλτοστρωμένη, με οδόστρωμα που γενικά διατηρείται σε καλή κατάσταση. Σε ορισμένα σημεία, όμως, έχει υπάρξει ολοσχερής καταστροφή και πλήρης αποκόλληση του επιφανειακού ασφαλτοτάπητα, αλλά και του υποκείμενου σκυρωτού, της οποίας είχαν προηγηθεί παραμορφώσεις και ρωγμές αλιγάτορα. Σε διάφορα άλλα σημεία της οδού και ιδιαίτερα γύρω από τις θέσεις καθολικής αστοχίας (λάκκοι, φωλιές κ.λπ.), η οδός εμφανίζει ρωγμές μορφής αλιγάτορα σ' όλο το πάχος του ασφαλτοτάπητα. Οι φθορές μπορούν να αποδοθούν:

- Στην ποιότητα και σύσταση του ασφαλτομίγματος. Πρέπει να διαπιστωθεί κατά πόσο ο ασφαλτοτάπητας ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές και τις πραγματικές απαιτήσεις της κυκλοφορίας της οδού

- Στη σύνδεση του ασφαλτοτάπητα με τις υποκείμενες στρώσεις που επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από τις συνθήκες διάστρωσης τους (θερμοκρασία και υγρασία)
- Στο πάχος του ασφαλτοτάπητα
- Στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του θραυστού υλικού της βάσης του οδοστρώματος
- Στην ποιότητα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του επιχώματος.
- Στις συνθήκες εγκιβωτισμού του οδοστρώματος
- Στην εν γένει μηχανική επάρκεια του οδοστρώματος έναντι της κυκλοφορίας
- Στη στάθμη του υπογείου ορίζοντα
- Στις κλιματικές συνθήκες, οι οποίες σε περίπτωση έντονων, θερμοκρασιακών μεταβολών προξενούν τους θερινούς μήνες παραμορφώσεις του ασφαλτοτάπητα και ρωγμές το χειμώνα

Σε διάφορες χιλιομετρικές θέσεις εμφανίζονται καθ' όλη την έκταση του έργου καθιζήσεις μικρής έκτασης. Στη σύνδεση των λωρίδων αντίθετης κατεύθυνσης επισημάνθηκαν σε αρκετά σημεία της διαδρομής ρηγματώσεις, που εκτείνονται σε μικρές αποστάσεις. Τα αποτελέσματα της αποτύπωσης και αξιολόγησης των φθορών στο υπό μελέτη τμήμα και προτεινόμενες λύσεις δίδονται στους Πίνακες 8 έως και 8. Ο Πίνακας 8 αφορά στις ρηγματώσεις, στον Πίνακα 9 περιγράφονται οι εντοπισθείσες αποσυνθέσεις και προτείνονται μέτρα επέμβασης, ενώ οι άλλες μορφές βλαβών (αυλακώσεις στις τροχιές, τοπικές καθιζήσεις κ.ά.) καλύπτονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 8: Φθορές στην οδό, αίτια, προτεινόμενες λύσεις – Ρηγματώσεις (23)

Χ.Θ.	Αίτια	Συντήρηση-αποκατάσταση
Κατά μήκος ρωγμές στον άξονα και τα άκρα της οδού		
81+300 80+800 79+900 71+750 70+250	Θραύση του οδοστρώματος λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους σε συνδυασμό με το μειωμένο πάχος των ασφαλτικών στρώσεων και της βάσης. Είναι πιθανόν να οφείλονται και σε κόπωση του ασφαλτομίγματος.	Στις περισσότερες περιπτώσεις η σφράγιση-πλήρωση των ρωγμών αυτού του είδους είναι η σωστότερη και αποτελεσματικότερη συντήρηση.
Ρωγμές αλιγάτορα		
76+500 74+550 73+250 72+250 72+000 71+750	Η μειωμένη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους, η πλήρης κόπωση του οδοστρώματος λόγω των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων από τον κυκλοφοριακό φόρτο σε συνδυασμό με την ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους ή μειωμένου πάχους των υποκείμενων στρώσεων.	1. Τοπικές εμφανίσεις Για ριζική επισκευή των ρωγμών αλιγάτορα, εφ' όσον οφείλονται στη μειωμένη ευστάθεια του εδάφους έδρασης, συνιστάται α) πλήρης απομάκρυνση όλων των ασφαλτικών στρώσεων, των στρώσεων με ασύνδετα αδρανή και μέρους του εδάφους έδρασης, β) λήψη κατάλληλων μέτρων για υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα και γ) η ανακατασκευή των στρώσεων με νέα κατάλληλα υλικά. 2. Μεγάλης έκτασης Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα οφείλονται σε κόπωση του οδοστρώματος, η θεραπεία γίνεται μόνο με αποκατάσταση του τάπητα, δηλαδή με μια πρόσθετη ασφαλική στρώση πάχους ανάλογου της κατάστασης του οδοστρώματος, με ή χωρίς απομάκρυνση του ρηγματωμένου τάπητα κυκλοφορίας.
Ρωγμές ολίσθησης		
71+100	Ρωγμές αυτού του τύπου οφείλονται στην ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης, λόγω κακής συνάφειας. Η κακή συνοχή των ταπήτων οφείλεται στην απουσία συγκολλητικής επάλειψης ή σε ανεπαρκή και κακή συγκολλητική επάλειψη ή στην ύπαρξη μεταξύ των στρώσεων χωμάτων ή λαδιών αυτοκινήτων ή ύδατος.	Απομάκρυνση του τάπητα κυκλοφορίας γύρω από τη ρωγμή, μέχρι του σημείου που υπάρχει καλή συνάφεια ταπήτων και κατόπιν πλήρωση με θερμό ασφαλτόμιγμα της επιφάνειας που αποξελώθηκε. Πριν την πλήρωση η επιφάνεια θα πρέπει να καθαριστεί επιμελώς και κατόπιν να ψεκαστεί, επ' αυτής και επί των τοιχωμάτων της, συγκολλητική επάλειψη από κατιονικό γαλάκτωμα.
Ρωγμές συρρίκνωσης		
76+600	Συρρίκνωση του ασφαλτομίγματος ή των υλικών της βάσης ή/και της υπόβασης. Στην υπό μελέτη οδό, που το πάχος του τάπητα κυκλοφορίας είναι μικρό, πιθανότατα οφείλονται σε συρρίκνωση του υπεδάφους.	Ανάλογα με το μέγεθος των ρωγμών η συντήρησή τους μπορεί να γίνει με διάστρωση ψυχρού ασφαλικού μίγματος, με πρόσθετη ασφαλική στρώση ή αντικατάσταση του ασφαλικού.

Πίνακας 9: Φθορές στην οδό, αίτια, προτεινόμενες λύσεις – Παραμορφώσεις (23)

Χ.Θ.	Αίτια	Συντήρηση-αποκατάσταση
Αυλακώσεις στις τροχιές, τοπικές καθιζήσεις και διογκώσεις, εγκάρσιες πτυχώσεις		
82+750 78+300 73+250 72+750 71+400	α) μη-καλή συμπύκνωση όλων των στρώσεων, β) καθίζηση του υπεδάφους, γ) χαμηλή ευστάθεια των ασφαλτομίγμάτων, δ) ελαστοπλαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος	Γενικά, η συντήρηση των παραμορφώσεων μπορεί να περιλαμβάνει απλή πλήρωση με θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα μέχρι και πλήρη απομάκρυνση της προσβληθείσας περιοχής και την αντικατάστασή της με νέα υλικά.

Πίνακας 10: Φθορές στην οδό, αίτια, προτεινόμενες λύσεις – Αποσυνθέσεις (23)

Χ.Θ.	Αίτια	Συντήρηση-αποκατάσταση
Αποκόλληση υλικού – Λακκούβες		
77+100 77+000 74+500 71+400 71+250	α) Χρήση μη καθαρών αδρανών, β) χρήση αδρανών που έχουν την τάση να αποσυντίθενται, γ) έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα, δ) μειωμένος τάπητας κυκλοφορίας, ε) τοπική αστοχία κατά την κατασκευή των στρώσεων, κυρίως της βάσης, στ) μη-καλή αποστράγγιση της οδού Λακκούβες μπορούν να δημιουργηθούν από την επιδείνωση της αποκόλλησης των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Καθοριστικό στοιχείο για την εμφάνιση τέτοιων βλαβών στην οδό αποτελεί η μικρή φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος που οφείλεται στο μικρό πάχος και πιθανόν ελαττωματική κατασκευή της βάσης από θραυστό υλικό.	Καθαρισμός των περιοχών από τα σαθρά υλικά και πλήρωση των λάκκων με κατάλληλο θερμό ή ψυχρό ασφαλτόμιγμα ή όταν η κατάσταση του οδοστρώματος είναι πολύ κακή εξετάζεται και η περίπτωση πρόσθετης ασφαλτικής στρώσης.
Λείανση επιφανείας		
81+600 74+500 72+500	α) λείανση των επιφανειακών αδρανών β) ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος ή γ) βύθιση των χονδροκόκκων αδρανών	Συντήρηση της επιφάνειας και αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας με: α) διάστρωση νέου τάπητα από κατάλληλο θερμό ασφαλτόμιγμα με σκληρά αδρανή, β) διάστρωση πορώδους τάπητα, γ) μέθοδος προεπαλειμμένων ψηφιδών, δ) ασφαλική επάλειψη σε απλή ή διπλή στρώση, ε) απόξεση της επιφάνειας με ειδική φρέζα

Η μορφολογία και ο λειτουργικός χαρακτήρας της οδού δεν δικαιολογούν ανώτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά στην πλειονότητα των τμημάτων. Όμως, όσον αφορά την επιδομή, απαιτείται σοβαρή προσπάθεια συντήρησης ή αποκατάστασης βλαβών.

Για το σύνολο της οδού μπορεί να ειπωθεί ότι το οδόστρωμα δεν βρίσκεται σε ανεκτή κατάσταση ώστε να επιτρέπει τη διεξαγωγή της κυκλοφορίας με σχετική ασφάλεια και άνεση. Επεμβάσεις συντήρησης και ενίσχυσης του οδοστρώματος θεωρούνται απαραίτητες στην παρούσα φάση, προκειμένου να αποφευχθεί η περαιτέρω εξέλιξη των υπαρχουσών φθορών, οι οποίες είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε ολική καταστροφή του. Εκτιμάται ότι οι επεμβάσεις αυτές θα επιμηκύνουν τη ζωή της οδού και, σε συνδυασμό με βελτιώσεις στη χάραξη και τη μηκοτομή (διαπλάτυνση της οδού, παράκαμψη οικισμών, κατασκευή ερεισμάτων και λωρίδων καθοδήγησης) θα βελτιώσουν τις κυκλοφοριακές συνθήκες και θα αυξήσουν την κυκλοφοριακή ικανότητα και την οδική ασφάλεια.

Αν και το συνολικό πάχος του οδοστρώματος εξακολουθεί να παραμένει μικρό σε σχέση με τα μεταβιβαζόμενα φορτία και την αναμενόμενη αύξησή τους με την πάροδο του χρόνου, η άρτια

κατασκευή της ενίσχυσης θα βελτιώσει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού. Για να ολοκληρωθεί η έρευνα των αστοχιών και της αποκατάστασής τους στο τμήμα της Ε.Ο. 14 Ξάνθης-Σταυρούπολης, χρειάζεται να γίνουν γεωλογικές τομές, εργαστηριακοί έλεγχοι των κοκκωδών και ασφαλικών υλικών, έλεγχος της τραχύτητας με όργανα ακριβείας με καταστρεπτικές ή μη καταστρεπτικές μεθόδους, πειραματική έρευνα και έρευνα πεδίου για τη δυνατότητα χρήσης νέων, καλύτερης ποιότητας, αλλά και ανακυκλωμένων υλικών.

Κεφάλαιο 7^ο Συμπεράσματα

Η κατασκευή και επομένως συντήρηση των οδοστρώματων προκύπτει ως άμεση ανάγκη λόγω της αύξησης της κυκλοφορίας και την καθημερινά φθορά, η οποία οφείλεται στα φορτία κυκλοφορίας καθώς και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η επιλογή του κατάλληλου οδοστρώματος κατά την κατασκευή του, καθώς και η συντήρησή του με την καταλληλότερη μέθοδο αποκατάστασης είναι ιδιαίτερα σημαντική και εξαρτάται από τα εκάστοτε χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, καθώς και την έκταση της φθοράς. Σημαντικό σημείο της αποτελεσματικότητας μιας μεθόδου αποτελεί η σωστή εφαρμογή της, διότι ακόμη και αν είναι υψηλής δαπάνης, τα μακροπρόθεσμα οφέλη της την καταστούν βιώσιμη.

Πιθανός είναι ακόμη και ο κίνδυνος μιας πρόωρης αστοχίας, η οποία μπορεί να οφείλεται σε αστοχία στον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συντήρηση ή την επιλογή ακατάλληλων υλικών. Σε αντίθεση με τη φυσική φθορά ενός οδοστρώματος, η αστοχία του μπορεί να αποτραπεί, γιατί ευθύνεται σε παράγοντες που μπορούν να προβλεφθούν. Από τεχνικής πλευράς δεν υπάρχει καλύτερη ή αποτελεσματικότερη μέθοδος συντήρησης ενός οδοστρώματος, καθώς τα συστατικά του κάθε ασφαλτομίγματος διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση, όπως επίσης και οι φθορές που εμφανίζονται και επομένως, και οι ανάγκες που δημιουργούνται.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα παρουσιάζουν λιγότερες φθορές από τα εύκαμπτα, κοστίζει όμως περισσότερο η αρχική επένδυση για την κατασκευή τους. Επιπλέον, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα, σε περίπτωση που αστοχήσουν, απαιτούν μεγαλύτερα ποσά για την αποκατάστασή τους. Αντίθετα με τα εύκαμπτα οδοστρώματα, τα δύσκαμπτα δεν παρουσιάζουν μεγάλο βέλος κάμψης, τοπικά, εξαιτίας του κυκλοφοριακού φόρτου. Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα έχουν την ιδιότητα να διανέμουν το φορτίο πάνω από μια σχετικά πλατιά επιφάνεια του υποστρώματος και να αποφεύγουν την συγκεντρωμένη τάση στη θεμελίωση, η οποία ενδέχεται να αναπτύξει πολύ σημαντική παραμόρφωση και καθίζηση.

Η επιλογή του τύπου του οδοστρώματος, καθώς και η τελική επιλογή του πάχους και των υλικών κάθε στρώσης, οφείλει να γίνεται όχι μόνο με γνώμονα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, αλλά πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν και το κόστος και να αποτελεί μια συμφέρουσα πρόταση.

Όσον αφορά το οδόστρωμα κατά μήκος της οδού Ξάνθης – Σταυρούπολης, παρατηρούνται ρηγματώσεις στις λωρίδες κυκλοφορίας, παράλληλα, εγκάρσια και πάνω στον άξονα της. Οι ρωγμές του οδοστρώματος αποτελούν το συχνότερη και σοβαρότερη μορφή αστοχίας που διαπιστώθηκε ενώ τα είδη των ρωγμών ποικίλουν. Η αποσύνθεση του οδοστρώματος είναι το

δεύτερο κατά σειρά σοβαρότητας και συχνότητας πρόβλημα που παρουσιάζεται στην οδό. Εμφανίζεται κυρίως με αποκόλληση αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος, αποκόλληση υλικού κατά πλάκες και λακκούβες. Καθοριστικό στοιχείο για την εμφάνιση τέτοιων βλαβών στην οδό αποτελεί η μικρή φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος που οφείλεται στο μικρό πάχος και πιθανόν ελαττωματική κατασκευή της βάσης από θραυστό υλικό.

Οι παραμορφώσεις ή στρεβλώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι έντονες σε αρκετά σημεία. Το μέγεθος και η συχνότητά τους αυξάνουν την επικινδυνότητα της οδού αφού η ταχύτητα κίνησης των οχημάτων είναι υψηλή για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της, λόγω της μικρής κίνησης που αυτή παρουσιάζει. Ως εκ τούτου, η συντήρησή τους θεωρείται αναγκαία για την ασφάλεια και την άνεση των οδηγών. Κυριότερες μορφές αστοχίας της κατηγορίας των παραμορφώσεων που απαντώνται στην οδό είναι αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών, τοπικές καθιζήσεις και διογκώσεις και εγκάρσιες πτυχώσεις.

Τέλος, σε πολλά σημεία της οδού παρουσιάζονται φαινόμενα λείανσης της επιφάνειας του οδοστρώματος που οφείλονται κυρίως στην λείανση των επιφανειακών αδρανών, στην ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος ή και στη βύθιση των χονδρόκοκκων αδρανών.

Βιβλιογραφία

1. Αποστολακάκη Λ. (2011) [pdf] “Ανάλυση κόστος κύκλου ζωής οδοστρώματων από σκυρόδεμα”. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
2. Pavement Interactive. Pavement History. available at: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-history/>
3. Νικολαΐδης Α. (2002) “Οδοποιία Οδοστρώματα - Υλικά Έλεγχος ποιότητας. Θεσσαλονίκη, 2002.
4. WAPA. Asphalt Pavement History. Available at: <https://www.asphaltwa.com/welcome-asphalt-pavement-history/>
5. American Concrete Pavement Association (ACPA). Available at: http://metiebar.acpa.org/Concrete/Pavement/About_Concrete/100_Years_of_Innovation/index.asp
6. Μουρατίδης Α. (2008) “Οδοποιία. Η διαχείριση των οδικών έργων”. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
7. Καλτσούνης Α. (2007) “Οδοποιία. Ιστορική αναδρομή”. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ Μάιος-Ιούνιος 2007.
8. Ματσούκης Ε. (2008) “Τεχνική της κυκλοφορίας”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
9. Σημειώσεις μαθήματος ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.
10. Καρλαυτης Π. (2016) [pdf] “Δείκτης αξιολόγησης λειτουργικής κατάστασης οδοστρώματος”. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
11. EAPA (European Asphalt Pavement Association). (2010) “What is Asphalt.” (Online)
12. Papagiannakis, A.T., Masad, E.A., Pavement Design and Materials, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
13. Yaacob H. (2018), “Pavement Design & Construction / Advanced Highway Engineering”. Available at: <https://people.utm.my/haryatiyaacob/files/2018/03/Design-Flex-Haryati-2017.pdf>
14. European Concrete Paving Association (EUPAVE), *Concrete Roads: A Smart and Sustainable Choice*, September 2009. Available at: https://issuu.com/eupave/docs/sustainable_concrete_roads_-_eupave

15. Μποριτσι Μ., Γκουτζουπα Α., Στρατης Α. (2011) [pdf] “Σχεδιασμός οδοστρωμάτων: Σύγκριση μεθόδων διαστασιολόγησης”. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.
16. Ιωάννης Δ. Κοφίτσας (1997) “Στοιχεία οδοστρωμάτων”, Αθήνα, 1997.
17. Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία ΙΙ, Νίκη Μπέσκου (2020).
18. Griffiths, G., Thom, N., Concrete Pavement Design Guidance Notes, Taylor & Francis, Abingdon, Oxon, 2007.
19. Δανηλίδου Χ. (2011) [pdf] “Τεχνική και οικονομική αξιολόγηση των μεθόδων συντήρησης οδοστρωμάτων”. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
20. KUTTER, 2014 [pdf] Bush hammering method Available at: www.kutter-dsk.de/cms/upload/EN/Broschueren/KUTTER_Bush_hammering_method.pdf
21. Lightbreather, 2014 [online] *Pavement milling*. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Pavement_milling
22. NAPA (National Asphalt Pavement Association), 2014 [pdf] *4th Annual Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2009–2013*. Available at: http://www.asphaltpavement.org/PDFs/IS138/IS138-2013_RAP-RAS-WMA_Survey_Final.pdf
23. Κολλαρος Α., Αθανασοπούλου Δ., Παπακωνσταντίνου Ε. (2006) “Φθορές και Συντήρηση Οδοστρωμάτων”. 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Ξάνθη, 2006.