



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ (ΔΧΤ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΘΩΡΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ – ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

ΝΙΚΗ ΜΠΕΣΚΟΥ

**ΠΑΤΡΑ
ΜΑΙΟΣ, 2026**

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέα/δημιουργού») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΘΟΡΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ»

ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ – ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας:

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Μπέσκου Νίκη

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Κωνσταντακοπούλου Φωτεινή

ΠΑΤΡΑ
ΜΑΙΟΣ, 2026

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα κα. Μπέσκου Νίκη, για την πολύτιμη βοήθεια όπως και για την καθοδήγηση που μου έδωσε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

Παράλληλα, θα ήθελα να δώσω τις ευχαριστίες μου στους γονείς και στον αδερφό μου καθώς είναι εκείνοι που με στήριξαν κατά τη διάρκεια των διπλωματικών μου σπουδών.

Τέλος αυτή η διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην αγαπημένη μου γιαγιά Δέσποινα.

Περίληψη

Η παρούσα έρευνα διεξήχθη στα πλαίσια μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας με θέμα «Αποκατάσταση φθορών οδοστρωμάτων με χρήση σύγχρονων μεθόδων» και έχει ως σκοπό την ανάδειξη της σημαντικότητας των επιδιορθώσεων των φθορών των οδοστρωμάτων τόσο στην Ελλάδα όσο και σε όλο τον κόσμο.

Ως γνωστόν, τα Ελληνικά οδοστρώματα χαρακτηρίζονται σε μεγάλο βαθμό από φθορές, λακκούβες και ρηγματώσεις σε τμήματα των εκτάσεων τους. Μερικές από τις γενεσιουργές αιτίες αποτελούν οι κλιματικές αλλαγές καθώς οι λακκούβες συνήθως αρχίζουν να εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες λόγω των κύκλων ψύξης - απόψυξης, της λανθασμένης αρχικής μελέτης εξαιτίας της αύξησης του κυκλοφοριακού φόρτου της οδού, λόγω κακοτεχνιών και χρήση μη ποιοτικών υλικών. Όλες αυτές οι αιτίες σε συνδυασμό με την απουσία χρηματικών κονδυλίων για την αποκατάσταση των βλαβών από τις τοπικές αρχές έχουν συμβάλει στην επέκταση του θέματος, και συνάμα στην απαξίωση των Ελληνικών οδοστρωμάτων.

Ως αποτέλεσμα, η ανάγκη εύρεσης λύσης έχει καταστεί αδήριτη, καθώς όλες αυτές οι φθορές προκαλούν περαιτέρω οικονομικές επιβαρύνσεις τόσο στους χρήστες των οδών όσο και στην ίδια την πολιτεία. Γι' αυτόν το λόγο, η παρούσα εργασία, στοχεύει στην εύρεση ιδανικών μεθόδων αποκατάστασης των φθορών, λαμβάνοντας υπόψιν το οικονομικό κόστος και τον τύπο της εκάστοτε αστοχίας. Επομένως, για την επίτευξη αυτού του στόχου, η αναγνώριση και ο εντοπισμός της γενεσιουργούς αιτίας της κάθε αστοχίας αποτελεί το πρωταρχικό βήμα πριν την πραγματοποίηση οποιαδήποτε άλλης ενέργειας.

Σύμμαχοι στην καταπολέμηση αυτού του ζητήματος, αποτελούν νέες τεχνολογίες και καινοτομίες οι οποίες εξαπλώνονται σταδιακά και στον Ελλαδικό χώρο και είναι πολλά υποσχόμενες με μεγάλες δυνατότητες. Έτσι λοιπόν, με όλες αυτές τις τεχνολογικές προόδους, είναι πλέον εμφανή η ανάγκη υιοθέτησης τους και στον Ελλαδικό χώρο με τα βασικά προβλήματα να αποτελούν η έλλειψη τεχνογνωσίας και ενημέρωσης.

Παρόλες τις προκλήσεις, η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών στην αντιμετώπιση των φθορών των οδοστρωμάτων στην οδοποιία είναι ευοίωνη και αναμένεται να ενισχυθεί με την πάροδο του χρόνου και της τεχνολογίας.

Λέξεις Κλειδιά

Φθορές οδοστρωμάτων, μέθοδοι αποκατάστασης οδοστρωμάτων, αποκατάσταση λακκούβων και άλλων αστοχιών

«ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΘΟΡΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ
ΜΕΘΟΔΩΝ»

ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ – ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

Abstract

This report was conducted as part of a postgraduate thesis with the title «Road surface repairing via modern methods» and has a purpose of highlighting the importance of various asphalt pavement repairs both in Greece and the rest of the world.

Greek asphalt pavements are described firmly by damages such as cracks and potholes throughout their length. Some of the main causes of these damages are mostly climate changes because potholes usually start to appear during the cold months due to the Hot – Cold climate circle, false initial road design study, increase in the roads traffic load, low quality construction materials and work quality. All these causes combined with the absence of financial funds distributed to pavement repairs from the local authorities, have significantly made matters worse and as a result, Greek pavements have become neglected.

That being said, the need of a solution to this issue is mandatory because all these damages cause further financial damages not only to the road users but to the state itself. As a result, this report aims to find ideal and suitable road surface repair methods, while keeping in mind its cost and the initial sign of damage. Furthermore, to achieve this cause, the initial step to deal with this problem should always be the identification of the initial cause of the road damage.

New technologies and innovations which strive in other countries, gradually spread to Greece as well, and are considered allies in addressing this issue due to their immense potential. In addition, with all these new technological methods lingering, it is now essential to adopt them in Greece although their most significant defect is the lack of scientific knowledge.

Despite the challenges, adopting these new technologies should be encouraged due to the fact that they will be high in demand as technology advances and time pass.

Keywords

Pavement damages, pavement repair methods, pothole repair

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	v
Λέξεις Κλειδιά.....	vi
Abstract	viii
Keywords.....	viii
Πίνακας περιεχομένων	ix
Κατάλογος εικόνων	xii
Εισαγωγή.....	1
α) Περιγραφή – σπουδαιότητα προβλήματος.....	1
β) Περιγραφή μεθοδολογίας ανάλυσης	1
γ) Δομή εργασίας.....	1
1. Κύριο Μέρος.....	3
1.1 Εισαγωγή στην ασφαλτο	3
1.1.1 Ιστορική αναδρομή	3
1.2 Τύποι ασφάλτων	4
1.3 Ασφαλτικά διαλύματα	5
1.4 Ασφαλτικά γαλακτώματα.....	5
1.5 Ασφαλτικό σκυρόδεμα	7
1.6 Αδρανή υλικά	7
1.6.1 Θραυστά αδρανή υλικά.....	8
1.6.2 Φυσικά αδρανή υλικά	8
1.6.3 Σκωρίες	9
1.6.4 Απορρίμματα ορυχείων	10
1.6.5 Υλικά κατεδαφίσεων (μπάζα).....	10
1.6.6 Τεχνητά αδρανή	10
1.6.7 Κονιορτοποιημένα υλικά παλιών οδοστρωμάτων	10
1.7 Οδόστρωμα.....	10
1.7.1 Εύκαμπτο οδόστρωμα.....	11
1.7.2 Δύσκαμπτο οδόστρωμα	11
2. Κατηγορίες φθορών οδοστρωμάτων	12
2.1 Φθορές εύκαμπτων οδοστρωμάτων	13
2.1.1 Ρηγματώσεις (διαμήκεις – εγκάρσιες)	14
2.1.2 Αυλακώσεις	20
2.1.3 Κυματώσεις (ρυτιδώσεις)	21
2.1.4 Καθιζήσεις	21

2.1.5 Τοπικές διογκώσεις.....	22
2.1.6 Τοπικές καθιζήσεις σε τομές οδοστρώματος.....	22
2.1.7 Αποσυνθέσεις (Αποσάθρωση, αποκόλληση αδρανών, λειάνσεις)	22
2.1.8 Αποκόλληση αδρανών	22
2.1.9 Λακκούβες	23
2.1.10 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος - Ολισθηρότητα	25
2.1.11 Λείανση των αδρανών	26
2.1.12 Ανάδυση ασφάλτου	26
2.2 Φθορές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων	27
2.2.1 Ρηγματώσεις - Αρμοί.....	27
2.3.1 Επιφανειακές παραμορφώσεις δύσκαμπτων οδοστρωμάτων	29
2.3.2 Αποσύνθεση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων	29
3. Μορφές συντήρησης.....	29
3.1.1 Προληπτική συντήρηση.....	31
3.1.2 Διορθωτική συντήρηση	32
3.1.3 Έκτακτη συντήρηση	32
3.1.4 Σχέση συντήρησης και διάρκεια ζωής του οδοστρώματος	33
3.1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδοστρώματος	33
3.2 Εφαρμογή ασφαλικού μείγματος.....	35
3.2.1 Θερμό ασφαλτόμιγμα	35
3.2.2 Μέθοδος ψυχρού ασφαλτομίγματος	37
3.2.3 Σύγκριση ψυχρής θερμής μεθόδου	38
3.2.4 Χρήση ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος (RAP).....	39
3.3 Έγχυση με ψεκασμό (Spray injection Patching)	40
3.4 Σφράγιση ρωγμών	43
3.4.1 Σφράγιση με ταινία	44
3.4.2 Micro surfacing.....	45
3.4.3 Μέθοδος Re-Ascon.....	46
3.4.4 Μέθοδος Fog-seal	47
3.4.5 Slurry Seal.....	48
3.5 Θέρμανση με μικροκύματα	49
3.6 Χρήση ασφαλοϋφασμάτων ή ασφαλοπλεγμάτων	51
3.7 Μεμβράνη ή μίγμα απορρόφησης τάσεων (SAM) (stress absorbing membrane).....	54
3.8 Μεμβράνη οπλισμένη με ίνες (fibre reinforced membrane)	55
3.9 Χρήση τροποποιημένου τρισιδιάστατου εκτυπωτή (3d Printer).....	55
3.10 Αυτοϊάσιμα υλικά.....	56

3.11 Ανακατασκευή βάσης οδοστρώματος με τη μέθοδο FDR	57
4. Μελέτη Περίπτωσης.....	61
4.1 Μέθοδος ψυχρής επι τόπου ανακύκλωσης με χρήση σταθεροποιητή	62
4.2 Έγχυση ψυχρού ασφαλτομίγματος με ψεκασμό	67
4.3 Ενίσχυση οδοστρώματος με τη χρήση ασφαλτοπλέγματος	72
5. Συμπεράσματα	75
Βιβλιογραφικές αναφορές	78

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Σκωρία λεπτόκοκκη.....	9
Εικόνα 2: Τομή εύκαμπτου οδοστρώματος. (Δημοκρίτειο πανεπιστήμιο Θράκης).....	11
Εικόνα 3: Στρώσεις δύσκαμπτου οδοστρώματος.....	12
Εικόνα 4: Αλιγατορική ρωγμή στον Ασπρόπυργο.....	15
Εικόνα 5: Ρωγμή στα άκρα του οδοστρώματος στον Ωρωπό.....	16
Εικόνα 6: Ρωγμή μεταξύ λωρίδων στον Ασπρόπυργο.....	17
Εικόνα 7: Ρωγμή ανάκλασης (Βιβλίο Νικολαΐδη - 2019).....	17
Εικόνα 8: Ρωγμή ανάκλασης (Νικολαΐδης - 2019).....	18
Εικόνα 9: Ρωγμή συρρίκνωσης.....	19
Εικόνα 10: Αυλακώσεις και αλιγατορικές ρωγμές στον Ασπρόπυργο.....	20
Εικόνα 11: Τροχοαυλακώσεις.....	21
Εικόνα 12: Λακκούβα στον Ωρωπό.....	23
Εικόνα 13: Πολλαπλές λακκούβες στον Ωρωπό.....	25
Εικόνα 14: Ανάδυση ασφάλτου σε περιοχή του εξωτερικού.....	27
Εικόνα 15: Οι κατηγορίες συντήρησης σε σχέση με τον χρόνο και την ποιότητα του οδοστρώματος.....	30
Εικόνα 16: Επίδραση συντήρησης και αποκατάστασης οδοστρώματος στο επίπεδο εξυπηρέτησης και στην διάρκεια ζωής αυτού.....	33
Εικόνα 17: Επίδραση παραγόντων στη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.....	34
Εικόνα 18: Σύγκριση κόστους μεταξύ ψυχρής και θερμής μεθόδου.....	39
Εικόνα 19: Σύγκριση μέτρου ελαστικότητας μείγματος Ασβεστόλιθου-60/70 και RAP-60/70.....	40
Εικόνα 20: Σκαρίφημα μεθόδου έγχυσης με ψεκάσμο.....	42
Εικόνα 21: Η μέθοδος Re-Ascon.....	46
Εικόνα 22: Διάταξη μεθόδου με τη χρήση slurry seal.....	49
Εικόνα 23: Εξοπλισμός μεθόδου θέρμανσης μέσω μικροκυμάτων.....	50
Εικόνα 24: Εξοπλισμός μεθόδου θέρμανσης μέσω μικροκυμάτων και δίπλα η λειτουργία του.....	50
Εικόνα 25: Στάδια μεθόδου θέρμανσης μέσω μικροκυμάτων.....	51
Εικόνα 26: Φωτογραφία ασφαλοπλέγματος.....	52
Εικόνα 27: Εφαρμογή ασφαλοπλέγματος.....	53
Εικόνα 28: Διάταξη της μεθόδου.....	56
Εικόνα 29: Αναπαράσταση μεθόδου FDR.....	59
Εικόνα 30: Σκαρίφημα αναμοχλευτή / ανακυκλωτή.....	59
Εικόνα 31: Μηχάνημα Spreader.....	63
Εικόνα 32: Μηχάνημα αναμοχλευτή με την ειδική δεξαμενή τσιμέντου.....	63
Εικόνα 33: Στιγμιότυπο διαδικασίας. (Νέα βάση οδού).....	64
Εικόνα 34: Διαμόρφωση νέα βάσης οδού.....	65
Εικόνα 35: Τελικό αποτέλεσμα οδού.....	65
Εικόνα 36: Ιδανική καμπύλη κοκκομετρίας βάσει ΠΕΤΕΠ 05-03-02-03.....	66
Εικόνα 37: Αυτοκινούμενο μηχάνημα (Road Patcher).....	67
Εικόνα 38: Εξαγωγή πεπιεσμένου αέρα.....	68
Εικόνα 39: Εξαγωγή προεπάλειψης.....	69
Εικόνα 40: Εξαγωγή ασφαλομίγματος.....	70
Εικόνα 41: Αποκατάσταση λακκούβας στον Ασπρόπυργο (πριν και μετά).....	70
Εικόνα 42: Αποκατάσταση αλιγατορικής ρωγμής (Πριν και μετά).....	71

Εικόνα 43: Οδός Αγ. Σοφίας.....	73
Εικόνα 44: Ρωγμές στο οδόστρωμα της οδού.....	73
Εικόνα 45: Εφαρμογή πλέγματος.....	74

Εισαγωγή

α) Περιγραφή – σπουδαιότητα προβλήματος

Ως γνωστόν, οι συγκοινωνιακές υποδομές αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο στην οικονομία μιας χώρας, καθώς εργοστάσια και επιχειρήσεις στηρίζονται στις μεταφορές και ιδιαίτερα στις χερσαίες, για την προμήθεια των πρώτων υλών και την διάθεση των προϊόντων τους στο ευρύ κοινό. Έτσι, συμπεραίνεται ότι η ποιότητα των οδοστρωμάτων οφείλει να είναι τέτοια ώστε να διασφαλίζεται η ορθή και απρόσκοπτη λειτουργία της κυκλοφορίας τους. Επιπροσθέτως, οι φθορές στο οδόστρωμα όπως είναι λογικό υποβαθμίζουν την ποιότητα οδήγησης και άνεσης των οδηγών, ενώ παρότι δεν υπάρχουν μεμονωμένα στατιστικά στοιχεία για τη διενέργεια τροχαίων ατυχημάτων με αίτιο τις φθορές / κακοτεχνίες, εκείνες αποτελούν σημαντικό παράγοντα κινδύνου της οδικής ασφάλειας. Επομένως, διαπιστώνεται ότι φθορές στα οδοστρώματα συνεπάγονται με οικονομικές επιβαρύνσεις σε οδηγούς και εταιρείες, δυσaráεσκεια στους χρήστες της οδού αλλά και υποβάθμιση του βιοτικού επιπέδου. Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει σύγχρονες μεθόδους αποκατάστασης φθορών οδοστρωμάτων και να εξετάσει την χρησιμότητα τους στον Ελλαδικό χώρο.

β) Περιγραφή μεθοδολογίας ανάλυσης

Η έρευνα των μεθόδων αποκατάστασης φθορών των οδοστρωμάτων, γίνεται με γνώμονα την καινοτομία. Συμπληρωματικά, η έρευνα διεξάγεται κυρίως σε δημοσιευμένα άρθρα επιστημονικών περιοδικών τα οποία έχουν δημοσιευθεί εντός της τελευταίας εξαετίας (2019-2025), ενώ επικεντρώνεται στα οφέλη που προσδίδει η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου, διερευνώντας την αποτελεσματικότητα και την οικονομική της σκοπιμότητα. Ακόμη, χρησιμοποιούνται στοιχεία για την βιβλιογραφία από βιβλία οδοποιίας.

γ) Δομή εργασίας

Η εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Αρχικά, γίνεται ανάλυση των διαφόρων υλικών που συναντώνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενός οδοστρώματος δηλαδή την ασφαλτο και τα αδρανή υλικά. Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής αναφορά στους τύπους οδοστρωμάτων που συναντώνται και εξετάζονται οι περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ο καθένας. Ακόμη,

παρουσιάζονται όσο το δυνατόν αναλυτικά οι φθορές των οδοστρωμάτων και γίνεται προσπάθεια για εξακρίβωση της γενεσιουργούς αιτίας της εκάστοτε αστοχίας.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, γίνεται αναφορά σε διάφορες μεθόδους αποκατάστασης αστοχιών και ρωγμών των οδοστρωμάτων. Πραγματοποιείται αναφορά τόσο σε βασικές όσο και σε σύγχρονες μεθόδους αποκατάστασης οι οποίες εξαιτίας της καινοτομίας τους δεν είναι τόσο ευρέως διαδεδομένες στην Ελλάδα.

Στο τρίτο μέρος της εργασίας, παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές σύγχρονες μέθοδοι αποκατάστασης ρωγμών των οδοστρωμάτων που έχουν πραγματοποιηθεί σε Ελληνικό χώρο.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την παρούσα έρευνα της διπλωματικής εργασίας.

1. Κύριο Μέρος

1.1 Εισαγωγή στην ασφαλτο

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ασφαλτος είναι το παλαιότερο και πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό. Χρησιμοποιείται από το έτος 6000π.Χ. ως μονωτικό και συνδετικό υλικό. (Νικολαΐδης, 2019)

- **6000 π.Χ.:**

Αναφορά στην παλαιά διαθήκη ως μονωτικό υλικό στην επίστρωση της κιβωτού,

Οι Σουμέριοι την χρησιμοποιούσαν στην βιομηχανία κατασκευής πλοίων,

Οι Βαβυλώνιοι ως συνδετικό υλικό για την κατασκευή πύργων,

Οι Αιγύπτιοι την χρησιμοποιούσαν για την ταρίχευση των νεκρών και ως υγρομονωτικό υλικό σε δεξαμενές (Νικολαΐδης, 2019)

- **3000 π.Χ.:**

Αναφορά στην ασφαλτο από τους πέρσες ως υλικό κατασκευής οδών. (Νικολαΐδης, 2019)

Η ασφαλτος εμφανίζεται στην φύση:

1. **Ως φυσικό υλικό**, με τα πρώτα φυσικά αποθέματα που εντοπίστηκαν στην Νεκρά θάλασσα, όπου η ασφαλτος εκκρινόταν από τον βυθό, επέπλεε και εκβαλλόταν στις όχθες. Ακόμη, αρκετά κοιτάσματα φυσικής ασφάλτου εντοπίζονται στην Βενεζουέλα και την νήσο Τρινιντάντ. (Νικολαΐδης, 2019)
2. **Με τη μορφή πετρώματος**, κυρίως ασβεστολιθικά ή ψαμμιτικά εμπλουτισμένα με ασφαλτο. Αυτά τα πετρώματα εντοπίστηκαν στην Αλμπέρτα του Καναδά, στην Βενεζουέλα, στο Νέο Μεξικό, Καζακστάν και σε αρκετές πολιτείες των ΗΠΑ (Γιούτα, Καλιφόρνια) ενώ στην Ελλάδα βρέθηκαν μικρές ποσότητες στις νήσους Παξούς και Αντιπαξούς. (Νικολαΐδης, 2019)
3. **Με τη μορφή της τεχνητής ασφάλτου**, η οποία είναι κατάλοιπο κλασματικής απόσταξης πρωτογενούς (αργής) πίσσας ή αργού πετρελαίου. (Νικολαΐδης, 2019)

1.2 Τύποι ασφάλτων

1.2.1 Ασφαλτοι οδοστρώσις

Οι ασφαλτοι οδοστρώσις στην Ευρώπη ταξινομούνται συναρτήσει της τιμής της διείσδυσης (βελόνης) όπου η μονάδα μέτρησης είναι το 0,1 mm, γνωστή και ως μονάδα “pen”. (Νικολαΐδης, 2019)

Οι συνηθέστεροι τύποι ασφάλτου που χρησιμοποιούνται συμβολίζονται με τα αποτελέσματα της δοκιμής διείσδυσης ως 20/30, 35/50, 40/50, 60/70, 80/100 κλπ. (Κουτρουμάνου, κ.λπ., 2003)

Εύκολα συμπεραίνεται ότι, η μαλακότερη ασφαλτος είναι αυτή που έχει μεγαλύτερη τιμή διείσδυσης και η σκληρότερη είναι αυτή που έχει μικρότερη τιμή διείσδυσης. Το ποια ασφαλτος θα χρησιμοποιηθεί είναι συνάρτηση του τύπου ασφαλτομίγματος που θα παραχθεί, των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος που επικρατούν στο έργο και του όγκου του κυκλοφοριακού φόρτου. (Νικολαΐδης, 2019)

Σε περιοχές με ψυχρό κλίμα χρησιμοποιείται κυρίως η μαλακή ασφαλτος (πχ 80/100), ενώ σε περιοχές με θερμό κλίμα χρησιμοποιείται η σκληρή (πχ 20/30). (Κουτρουμάνου, κ.λπ., 2003)

Στην Ελλάδα, συνίσταται να χρησιμοποιούνται μόνο οι ασφαλτοι 20/30, 35/50, 50/70 και 70/100. (Νικολαΐδης, 2019)

1.2.2 Σκληρές ασφαλτοι οδοστρώσις

Οι σκληρές ασφαλτοι οδοστρώσις χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και συντήρηση οδών και αεροδρομίων, ή άλλων ασφαλτοστρωμένων επιφανειών. Επιπροσθέτως, οι ειδικές ασφαλτοι οδοστρώσις είναι επέκταση των κοινών ασφάλτων οδοστρώσις και από αυτές παράγονται ασφαλτομίγματα πολύ υψηλών μέτρων δυσκαμψίας. (Νικολαΐδης, 2019)

1.2.3 Πολυβάθμιες ασφαλτοι οδοστρώσις

Οι πολυβάθμιες ασφαλτοι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και τη συντήρηση οδοστρωμάτων οδών και αεροδρομίων, ή άλλων ασφαλτοστρωμένων επιφανειών όπου υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις όπως καλή συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών (υψηλές και χαμηλές). Ειδικότερα, οι πολυβάθμιες ασφαλτοι είναι λιγότερο θερμοκρασιακά ευαίσθητες των κοινών ασφάλτων οδοστρώσις σε υψηλές θερμοκρασίες και έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά των σκληρών ασφάλτων σε χαμηλές θερμοκρασίες. (Νικολαΐδης, 2019)

1.2.4 Οξειδωμένες ασφαλτοι ή ασφαλτοι για βιομηχανική χρήση

Οι οξειδωμένες ασφαλτοι είναι για βιομηχανική χρήση και ειδικότερα για σκεπές, υγραμόνωση, συγκόλληση μεμβρανών υγραμόνωσης, θερμομόνωση ή για επικάλυψη σωλήνων και είναι κατά κανόνα οξειδωμένες ασφαλτοι. (Νικολαΐδης, 2019)

1.3 Ασφαλτικά διαλύματα

Το ασφαλτικό διάλυμα είναι ασφαλτος της οποίας το ιξώδες έχει μειωθεί με την προσθήκη σχετικά πτητικού υλικού ρευστοποίησης (διαλύτη). Στην περίπτωση που το υλικό ρευστοποίησης είναι πετρελαϊκός διαλύτης, όπως πετρελαϊκός αιθέρας (η κηροζίνη), το ασφαλτικό διάλυμα ονομάζεται ασφαλτικό διάλυμα. Λόγω της προσθήκης διαλυτών ή ελαίων ρευστοποίησης, τα ασφαλτικά διαλύματα στη φυσική τους κατάσταση και υπο κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι ρευστά υλικά σε αντίθεση με την ασφαλτο που θεωρείται στέρεο υλικό. Γι' αυτό το λόγο, τα ασφαλτικά διαλύματα δεν απαιτούν τόσο υψηλές θερμοκρασίες, όπως οι ασφαλτοι οδοστρωσίας, κατά την εφαρμογή τους. (Νικολαΐδης, 2019)

Τα ασφαλτικά διαλύματα χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν κατά κόρον για την παράγωγή ασφαλτομιγμάτων, ανοικτού τύπου σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος ή/και σε περιοχές που δεν υπήρχε πλησίον του έργου ασφαλτικό συγκρότημα θερμού ασφαλτομίγματος. Ακόμη, χρησιμοποιούνται κατά κόρον και σε εργασίες όπως συγκολλητικής, προεπάλειψης και ασφαλτικής επάλειψης. (Νικολαΐδης, 2019)

1.4 Ασφαλτικά γαλακτώματα

Τα ασφαλτικά γαλακτώματα είναι προϊόντα γαλακτωματοποίησης της ασφάλτου με νερό. Ανάλογα με την επιφανειακή φόρτιση των σωματιδίων, τα ασφαλτικά γαλακτώματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες τα κατιονικά (ή όξινα), όπου τα σωματίδια είναι φορτισμένα θετικά και τα ανιονικά (ή αλκαλικά), όπου τα σωματίδια της ασφάλτου είναι φορτισμένα αρνητικά. (Νικολαΐδης, 2019)

Σήμερα, τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα, τα ασφαλτικά γαλακτώματα και κυρίως τα κατιονικά, χρησιμοποιούνται σε όλο το φάσμα των έργων οδοποιίας όπως παραγωγή ψυχρών ασφαλτικών μιγμάτων παντός τύπου σε μόνιμη ή αυτοκινούμενη μονάδα

παραγωγής, ασφατικές επαλείψεις, συγκολλητικές επαλείψεις, προεπάλειψη, ψυχρά ασφατομίγματα με δυνατότητα σύντομης αποθήκευσης για πλήρωση λάκκων, πλήρωση επιφανειακών ρωγμών οδοστρωμάτων κ.λπ. (Νικολαΐδης, 2019)

Τα ασφατικά γαλακτώματα συγκρινόμενα με τα ασφατικά διαλύματα αλλά και με την άσφαλο έχουν τα εξής βασικά πλεονεκτήματα:

- Είναι συμφέροντα από άποψη δαπάνης ενέργειας ή εξοικονόμησης αυτής.
- Δεν αναφλέγονται.
- Συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Καθιστούν τις ασφατικές εργασίες ασφαλέστερες.
- Έχουν την δυνατότητα να επικαλύπτουν, επιτυχώς με άσφαλο υγρά αδρανή ή υγρές επιφάνειες.
- Επιταχύνουν την πρόοδο των εργασιών και βελτιώνουν την παραγωγικότητα του συνεργείου κατασκευής.
- Αποτρέπουν ορισμένες κατασκευαστικές αστοχίες όπως ολίσθηση ταπήτων, ανάδυσης ασφάλτου και περαιτέρω οξείδωση της ασφάλτου από παρατεταμένη θέρμανση.
- Επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα στις εργασίες συγκολλητικής και προεπάλειψης. (Νικολαΐδης, 2019)

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα απορρέουν από το γεγονός ότι λόγω του πολύ χαμηλού ιξώδους σε σύγκριση με την άσφαλο αλλά και στα ασφατικά διαλύματα, η χρήση γαλακτωμάτων δεν προϋποθέτει τη χρήση θερμότητας σε κανένα στάδιο εφαρμογής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ασφατικές εργασίες να είναι ασφαλέστερες αλλά και να συνεχίζονται και με χαμηλότερες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες από αυτές που απαιτούνται για τα θερμά ασφατομίγματα. Επίσης το χαμηλό ιξώδες επιτυγχάνεται με την προσθήκη νερού και όχι διαλύτη. Επίσης η εξάτμισή ύδατος δεν επιβαρύνει την ατμοσφαιρική ρύπανση σε αντίθεση με τους διαλύτες. Τέλος, οι γαλακτωματοποιητές για την παραγωγή κατιονικών γαλακτωμάτων έχουν από την φύση τους συγκολλητικές ιδιότητες οι οποίες προστιθέμενες σε αυτήν της ασφάλτου αυξάνουν περαιτέρω τη συγκολλητική ικανότητα αυτής. (Νικολαΐδης, 2019)

Η κυριότερη διαφορά μεταξύ όξινων και αλκαλικών γαλακτωμάτων είναι η διαφορετική πρόσφυση στα διάφορα αδρανή. Τα αλκαλικά λόγω της αρνητικής φόρτισης παρουσιάζουν μεγάλη πρόσφυση με τα ασβεστολιθικά αδρανή διότι αυτά τα αδρανή με την παρουσία υγρασίας φορτίζονται θετικά (ετερώνυμα έλκονται). Αντιθέτως, δεν παρουσιάζουν καλή πρόσφυση με τα πυριτικά ή χαλαζιακά πετρώματα που με την παρουσία υγρασίας έχουν αρνητική φόρτιση. Για τον ίδιο λόγο τα όξινα γαλακτώματα λόγω της θετικής φόρτισης έχουν καλύτερη πρόσφυση στα πυριτικά ή χαλαζιακά αδρανή. (Καμπίτση Ε. & Κόκλα Δ., 2012)

1.5 Ασφαλικό σκυρόδεμα

Ασφαλικό σκυρόδεμα είναι το μίγμα ασφάλτου και αδρανών υλικών τα οποία έχουν περάσει από κοκκομετρική διαβάθμιση. Τα αδρανή υλικά σχηματίζουν μια αλληλοσυνδεμένη δομή, η οποία έχει τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην αντοχή του μίγματος σε ευστάθεια κατά τη φόρτιση. (ΠΕΤΕΠ: 05-03-11-04, 2006)

Το ασφαλικό σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται εν συντομία από τα γράμματα ΑΣ και έναν αριθμό που δηλώνει το κόσκινο διέλευσης των αδρανών. (ΠΕΤΕΠ: 05-03-11-04, 2006)

Ακόμη, χρησιμοποιείται για την κατασκευή στρώσεων κυκλοφορίας, συνδετικών και ισοπεδωτικών. Οι στρώσεις του ασφαλικού σκυροδέματος πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον 1,5 φορές τη διάμετρο του μέγιστου κόκκου του αδρανούς υλικού. (ΠΕΤΕΠ: 05-03-11-04, 2006)

1.6 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των οδοστρωμάτων μπορεί να είναι θραυστά αδρανή υλικά, φυσικά αδρανή υλικά, σκωρίες, απορρίμματα ορυχείων, υλικά κατεδάφισης, τεχνητά αδρανή, ανακυκλωμένα υλικά ή οποιοδήποτε άλλο υλικό που πληρεί τις εκάστοτε απαιτούμενες μηχανικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες για την στρώση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. (Νικολαΐδης, 2019)

Το σύνολο των αδρανών υλικών διακρίνεται σε χονδρόκοκκα αδρανή (coarse aggregate), λεπτόκοκκα αδρανή (fine aggregate) και λεπτότατα αδρανή ή λεπτά (fines) ή παιπάλη. Κατά τα Ευρωπαϊκά πρότυπα:

- Χονδρόκοκκο αδρανές, για ασφαλτικά μίγματα είναι αυτό του οποίου οι κόκκοι συγκρατούνται στο κόσκινο των 2mm και διέρχονται του κόσκινου 45mm.
- Λεπτόκοκκο αδρανές για ασφαλτικά μίγματα είναι αυτό του οποίου οι κόκκοι διέρχονται από το κόσκινο των 2mm και συγκρατούνται στο κόσκινο των 0,063mm.
- Λεπτότατα αδρανή ή παιπάλη, κατά τα Ευρωπαϊκά πρότυπα και ανεξαρτήτως μίγματος, είναι τα υλικά που διέρχονται από το κόσκινο των 0,063mm. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα λεπτότατα αδρανή ή τα λεπτά έχουν τη μορφή σκόνης. (Νικολαΐδης, 2019)

1.6.1 Θραυστά αδρανή υλικά

Τα θραυστά αδρανή υλικά παράγονται σε λατομεία από διάφορα πετρώματα με κατάλληλες μηχανικές και χημικές ιδιότητες. Τα πετρώματα κατατάσσονται σε τρεις γενικές κατηγορίες τα πυριγενή, τα ιζηματογενή και τα μεταμορφωσιγενή. Τα περισσότερα από τα πυριγενή πετρώματα, οι ψαμμίτες από τα ιζηματογενή και ο κερατόλιθος από τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα είναι συνήθως σκληρά πετρώματα από τα οποία εξάγονται ανθεκτικά θραυστά αδρανή για επιφανειακές στρώσεις. Από τα ιζηματογενή πετρώματα, όπως αυτά του ασβεστόλιθου και του δολομίτου εξάγονται θραυστά αδρανή πολύ καλής ποιότητας για όλες τις στρώσεις του οδοστρώματος εκτός από επιφανειακές στρώσεις. (Νικολαΐδης, 2019)

1.6.2 Φυσικά αδρανή υλικά

Τα φυσικά αδρανή υλικά προέρχονται από φυσικές αποθέσεις και είναι γνωστά ως χαλίκια, αμμοχάλικα ή φυσική άμμος. Βρίσκονται σε ελαφρώς σταθεροποιημένη μορφή στις παλιές κοίτες ή όχθες χειμάρρων, στα υψίπεδα που δημιουργήθηκαν κατά τη μετα-παγετώνια περίοδο, στις εκβολές ποταμών ή χειμάρρων ή σε παραλίες.

Τα υλικά φυσικών αποθέσεων χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται ευρέως ως υλικά υποβάσεων και σε ορισμένες περιπτώσεις ως υλικά βάσεων. Θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων αφού προηγουμένως απαλλαγούν (με προκοσκίνισμα και πλύση) από το χώμα ή την ιλύ που πιθανόν περιέχουν και κατόπιν να θραυστούν ώστε να αποκτήσουν την επιθυμητή κοκκομετρική διαβάθμιση. Τα αδρανή υλικά φυσικών αποθέσεων είναι μίγμα διαφόρων πετρωμάτων κυρίως ασβεστολιθικών, ψαμμιτικών και γρανιτικών. Λόγω αυτής ακριβώς της σύνθεσης τους τα θραυστά χαλίκια έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από αυτές των ασβεστολιθικών

πετρωμάτων και θα πρέπει να προτιμώνται από τα ασβεστολιθικά για τάπητες κυκλοφορίας όταν υπάρχει έλλειψη από αλλά σκληρότερα πετρώματα. (Νικολαΐδης, 2019)

1.6.3 Σκωρίες

Οι σκωρίες είναι παραπροϊόντα που παράγονται κατά τη διάρκεια παραγωγής μετάλλων, όπως σιδήρου, νικέλιου κλπ. Η χρήση των σκωριών στην οδοποιία συνήθως περιορίζεται σε έργα που γίνονται κοντά στα εργοστάσια παραγωγής. Οι σκωρίες χρησιμοποιούνται κυρίως ως υποκατάστατο των αδρανών υλικών για την κατασκευή βάσεων αλλά και για την παραγωγή ασφαλικών μειγμάτων. (Νικολαΐδης, 2019)

Πριν από οποιαδήποτε χρήση των σκωριών ειδικά των ηλεκτροκλιβάνων είναι απαραίτητο να γίνει θραύση και κοσκίνισμα του υλικού εξαιτίας της ακανόνιστης μορφής κατά την παράγωγή τους, ώστε η κοκκομετρική τους καμπύλη να ανταποκρίνεται στα όρια των ελληνικών προδιαγραφών.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των σκωριών είναι:

- Τα ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά τραχύτητας και σκληρότητας.
- Ικανοποιητικά χαρακτηριστικά σχήματος, γωνιώδεις κόκκοι.
- Υψηλοί δείκτες αντίστασης σε ολίσθηση για ασφαλοτάπητες κυκλοφορίας.
- Χαμηλό κόστος.

Ενώ στον αντίποδα, τα μειονεκτήματα των σκωριών είναι:

- Το μεγάλο ειδικό τους βάρος.
- Κίνδυνος διόγκωσης σε περίπτωση αυξημένων αναλογιών σε οξείδιο του ασβεστίου και μαγνησίου.



Εικόνα 1: Σκωρία λεπτόκοκκη.

1.6.4 Απορρίμματα ορυχείων

Τα απορρίμματα ορυχείων είναι πετρώματα με μικρή περιεκτικότητα σε μέταλλευμα που απορρίπτονται κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως ως υλικά βάσης ή υπόβασης. (Νικολαΐδης, 2019)

1.6.5 Υλικά κατεδαφίσεων (μπάζα)

Τα υλικά κατεδαφίσεων χρησιμοποιούνται όπως και τα απορρίμματα ορυχείων, συνήθως σε στρώσεις υποβάσεων ή βάσεων, αφού γίνει κάποια προεπιλογή και θραύση. Τα υλικά κατεδαφίσεων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σε ασφαλικά μίγματα βάσης ή υπόβασης (Νικολαΐδης, 2019)

1.6.6 Τεχνητά αδρανή

Τα τεχνητά αδρανή παράγονται κυρίως από τη διαπύρωση πετρωμάτων όπως βωξίτου, σχιστόλιθου κ.λπ. Ορισμένα, όπως ο πεφρυγμένος βωξίτης, χαρακτηρίζονται για την υψηλή σκληρότητα τους και χρησιμοποιούνται ως σκληρά αδρανή για επιφανειακές στρώσεις (αντιολισθηρές στρώσεις). Άλλα τεχνητά αδρανή χαρακτηρίζονται από το μικρό ειδικό βάρος και χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή ελαφρομετόν. (Νικολαΐδης, 2019)

1.6.7 Κονιορτοποιημένα υλικά παλιών οδοστρωμάτων

Τα κονιορτοποιημένα υλικά παλιών οδοστρωμάτων προέρχονται από την ανακατασκευή παλιών οδοστρωμάτων μετά από προεπιλογή και θραύση, χαρακτηρίζονται ως ανακυκλωμένα υλικά και χρησιμοποιούνται κυρίως σε υποβάσεις και βάσεις. (Νικολαΐδης, 2019)

1.7 Οδόστρωμα

Οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των επάλληλων 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. (Νικολαΐδης, 2019)

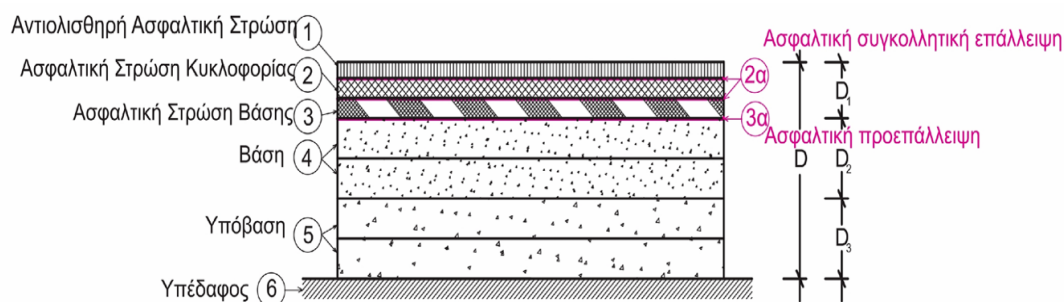
Ο αντικειμενικός σκοπός του οδοστρώματος είναι να παραλάβει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα κατανείμει στο υπέδαφος. Βασική επιδίωξη είναι οι μεταβιβαζόμενες στο υπέδαφος τάσεις να μειώνονται σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μην επιφέρουν ουσιαστικές παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην εδαφική στρώση του υπεδάφους. 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. Τέλος η επιφάνεια του οδοστρώματος θα πρέπει να παρέχει μια αντιστοιχιστική και ανθεκτική στη λειαντική δράση των ελαστικών, ομαλή επιφάνεια κύλισης. Έτσι κάθε στρώση ή ομάδα στρώσεων έχει να επιτελέσει ένα ξεχωριστό ρόλο. (Νικολαΐδης, 2019)

1.7.1 Εύκαμπτο οδόστρωμα

Η δομή του εύκαμπτου οδοστρώματος γενικότερα, αποτελείται από δύο χαρακτηριστικές ομάδες στρώσεων με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά. Την ομάδα στρώσεων από ασύνδετα ή/και σταθεροποιημένα αδρανή, που εδράζεται πάνω στο υπέδαφος, την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτομίγματα, που εδράζεται πάνω στο υπέδαφος, και την ομάδα των στρώσεων από ασφαλτομίγματα, που εδράζεται πάνω στην προηγούμενη ομάδα, βλέπε εικόνα 2. (Νικολαΐδης, 2019)

Αξίζει να αναφερθεί ότι η μεταφορά των φορτίων γίνεται από στρώση σε στρώση, ενώ εκείνες συντελούν στην αποστράγγιση του νερού.



Εικόνα 2: Τομή εύκαμπτου οδοστρώματος. (Δημοκρίτειο πανεπιστήμιο Θράκης).

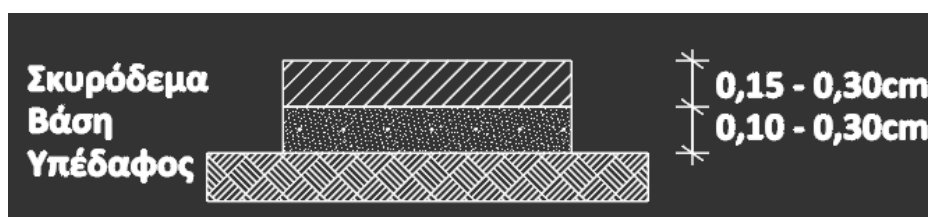
1.7.2 Δύσκαμπτο οδόστρωμα

Δύσκαμπτα ή άκαμπτα οδοστρώματα είναι 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 εμφανισθούν κάτω από αυτά δεν αντανakλώνται στην επιφάνεια κύλισης, πλην όμως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα είναι πιθανόν να εμφανισθούν ως ρηγμάτωση της πλάκας.

Οι βασικές δομικές στρώσεις ενός τυπικού δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι δύο: η στρώση πάνω στην οποία θα εδράσει η πλάκα του οδοστρώματος και ονομάζεται υπόβαση και η πλάκα από σκυρόδεμα, η επιφάνεια της οποίας είναι και η επιφάνεια κύλισης των

οχημάτων, εκτός εάν υπάρχει και μια πρόσθετη στρώση από ασφαλτόμιγμα, βλέπε εικόνα 3.

Αναλόγως την κατασκευής της πλάκας, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα χωρίζονται σε τέσσερις τύπους τα άοπλα οδοστρώματα, τα οπλισμένα με μη-συνεχή οπλισμό οδοστρώματα, τα οπλισμένα με συνεχή οπλισμό οδοστρώματα και τα οδοστρώματα με βάση από οπλισμένο οδόστρωμα με συνεχή οπλισμό και ασφατικές στρώσεις. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 3: Στρώσεις δύσκαμπτου οδοστρώματος.

2. Κατηγορίες φθορών οδοστρωμάτων

Το Ελληνικό οδικό δίκτυο και ιδιαίτερα αυτό της Αττικής, έχει κατασκευαστεί ως επι το πλείστον τις προηγούμενες δεκαετίες και καθημερινά καλείται να εξυπηρετήσει έναν μεγάλο και ραγδαία αυξανόμενο κυκλοφοριακό φόρτο εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού αλλά και της αστικοποίησης.

Ως συνέπεια, τα οδοστρώματα υπόκεινται σε φθορές καθώς εξυπηρετούν χιλιάδες μετακινήσεις από διάφορους τύπους οχημάτων (συμπεριλαμβανομένων και βαρέων οχημάτων) τα οποία προκαλούν και την μεγαλύτερη καταπόνηση στο οδόστρωμα. Ακόμη, η κατασκευή και ανακατασκευή πολλών εκ των δικτύων κοινής ωφέλειας όπως δίκτυα ύδρευσης – αποχέτευσης αλλά και πρόσφατα οι οπτικές ίνες, έχουν προκαλέσει σημαντικές φθορές στο υπάρχον οδικό δίκτυο και ως συνέπεια έχει αυξηθεί η ανάγκη για συντήρηση / αποκατάσταση του.

Επομένως, απόρροια όλων των παραπάνω γεγονότων αποτελεί το γεγονός ότι τα ασφατικά οδοστρώματα εμφανίζουν διαφόρων ειδών βλάβες οι οποίες προκαλούνται συνήθως από αστοχία λόγω υπερφόρτωσης της οδού, λόγω του κυκλοφοριακού φόρτου και λόγω

ανθρώπινης επέμβασης. Ακόμη, βλάβες και μείωση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος εμφανίζονται εξαιτίας της διείσδυσης νερού μέσα στα στρώματα κυκλοφορίας, και εξαιτίας της κακής απορροής της υπόβασης.

Οι πιο συνηθισμένες μορφές εμφάνισης των παραπάνω αστοχιών στα οδοστρώματα είναι οι εξής:

- Τοπικές διακλαδιζόμενες ρηγματώσεις (αλιγοτορικές ρηγματώσεις),
- Απλή ρηγματώση (μη αλληλοσυνδεόμενες ρηγματώσεις, εγκάρσιες ή κατά μήκος, ρηγματώσεις μεταξύ ασφαλτικών λωρίδων),
- Ρηγματώσεις στα άκρα του οδοστρώματος,
- Λακκούβες,
- Καθιζήσεις,
- Αστοχίες σε προηγούμενες εργασίες πλήρωσης (περιμετρικές ρηγματώσεις, διαφορά επιπέδου, απώλεια υλικών, ρηγματώσεις υλικού),
- Τροχοαυλακώσεις

Είναι αδιαμφισβήτητο, ότι όλες οι παραπάνω φθορές μειώνουν το βιοτικό επίπεδο μιας περιοχής και μπορούν είτε να αποβούν επικίνδυνες για τα διερχόμενα οχήματα, είτε να δημιουργήσουν σημαντικές μελλοντικές καταστροφές στο οδόστρωμα.

Ακόμη, η κατάσταση των οδοστρωμάτων επηρεάζει ουσιαστικά την αποδοτικότητα των μεταφορών (Sang, "et al.", 2024).

Ο (Li "et al.", 2023) διαπίστωσε ότι οι κακώς συντηρημένοι δρόμοι οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου, μεγαλύτερη φθορά οχημάτων και καθυστερήσεων.

2.1 Φθορές εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Οι φθορές που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- στις ρηγματώσεις,
- στις παραμορφώσεις παντός είδους,

- στις αποσαθρώσεις,
- στην λείανση της επιφάνειας κύλισης

Θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, για τον καθορισμό της καταλληλότερης συντήρησης - θεραπείας των φθορών, θα πρέπει πρώτα να καθορίζεται επακριβώς η κύρια αιτία που προκάλεσε τη φθορά. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.1 Ρηγματώσεις (διαμήκεις – εγκάρσιες)

Η ρηγμάτωση της ασφάλτου αποτελεί μια συνηθισμένη μορφή φθοράς που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση και την ασφάλεια του οδοστρώματος, υπό τη συνδυασμένη επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων και επαναλαμβανόμενης κυκλοφοριακής φόρτισης. (Min, "et al.", 2025)

Εάν η συντήρηση του ασφατικού οδοστρώματος δεν πραγματοποιηθεί έγκαιρα, η μικρορωγμή επεκτείνεται και εξελίσσεται σε μακρορωγμή, γεγονός που μειώνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος και επηρεάζει την οδική ασφάλεια. Συνεπώς, η άμεση επέμβαση και επιδιόρθωση των ρωγμών εκτός ότι επιφέρει αύξηση της διάρκειας ζωής του ασφατικού οδοστρώματος, μειώνει και την ανάγκη για πρόσθετες κατασκευές, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει και το κόστος συντήρησης. (Pei Wan, 2023)

Οι εγκάρσιες ρωγμές προκύπτουν κυρίως από ανακλαστική ρηγμάτωση, κάτω υπό τη συνδυασμένη επίδραση κυκλοφοριακής φόρτισης και θερμικών τάσεων. Αυτός ο συνδυασμός έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσονται θερμικές συστολές και ρωγμές ξήρανσης στα ημι-άκαμπτα στρώματα βάσης, οι οποίες στη συνέχεια διαδίδονται ανοδικά προς τα επιφανειακά ασφατικά στρώματα. Αντίθετα, οι διαμήκεις ρωγμές, δημιουργούνται εντός των ασφατικών στρώσεων λόγω γήρανσης και κόπωσης του υλικού, που προκαλείται από επαναλαμβανόμενη περιβαλλοντική έκθεση και κυκλοφοριακά φορτία. (Min, "et al.", 2025)

Σε πολλές περιπτώσεις η έγκαιρη απλή σφράγιση της ρωγμής ή των ρωγμών είναι η σωστότερη και αποτελεσματικότερη συντήρηση. Σε άλλες περιπτώσεις όμως, είναι αναγκαία η πλήρης εξυγίανση της περιοχής που προσβλήθηκε. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.1.1 Ρωγμές τύπου αλιγάτορα

Οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα είναι διακλαδιζόμενες και αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που σχηματίζουν πολυγωνικά κομμάτια (μπλοκ) όμοια με αυτά του δέρματος του αλιγάτορα,

βλέπε εικόνα 4. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κομμάτια αυτά δίνουν την εντύπωση ότι είναι σχεδόν έτοιμα να αποκολληθούν.

Τα αίτια που προκαλούν τις ρηγματώσεις τύπου αλιγάτορα, τις περισσότερες φορές, είναι το μεγάλο βέλος κάμψης που αναπτύσσεται στις ασφαλικές στρώσεις του οδοστρώματος λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας των στρώσεων αυτών, λόγω εποχιακής αύξησης της υγρασίας. Υπο αυτές τις συνθήκες, συνήθως εμφανίζονται τοπικά και σε περιορισμένη έκταση.

Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση κατά μήκος του δρόμου, η αιτία εμφάνισης τους είναι διαφορετική. Στην προκειμένη περίπτωση η αιτία που προκάλεσε τη φθορά είναι η πλήρης κόπωση του οδοστρώματος λόγω των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων του οδοστρώματος από τον κυκλοφοριακό φόρτο, σε συνδυασμό και με την ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους ή μειωμένου πάχους υποκείμενων στρώσεων. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 4: Αλιγατορική ρωγμή στον Ασπρόπυργο.

Για την επιδιόρθωση τοπικών εμφανίσεων αλιγατορικών ρωγμών προτείνεται η απομάκρυνση όλων των ασφαλικών στρώσεων και μέρους του εδαφικού υλικού της βάσης. Η επιφάνεια που θα ανοιχθεί θα πρέπει να επεκτείνεται κατά πλάτος περίπου μισό μέτρο μέσα στην υγιή περιοχή. Η διάστρωση της κάθε στρώσης, προτείνεται να γίνετε σε πάχος όχι μεγαλύτερο των 0,10m – 0,15m με πολύ καλή συμπίκνωση. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.1.2 Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος

Οι ρωγμές αυτές είναι συνήθως διαμήκεις και εμφανίζονται περίπου 30-50cm από τα άκρα του οδοστρώματος, μετά ή άνευ εγκαρσίων ρωγμών, βλέπε εικόνα 5.

Οφείλονται κυρίως στην ανεπαρκή υποστήριξη του οδοστρώματος λόγω ενός ή περισσότερων από τους παρακάτω λόγους: κακή συμπίκνωση, κακή αποστράγγιση, δράση παγετού, συρρίκνωση λόγω ξηρασίας του εδάφους της περιοχής ή λόγω μειωμένου πάχους των στρώσεων στα σημεία αυτά. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 5: Ρωγή στα άκρα του οδοστρώματος στον Ωρωπό.

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών συνίσταται στην πλήρωση αυτών με κατάλληλη τροποποιημένη άσφαλτο, μετά από επιμελή καθαρισμό. Εάν στην περιοχή παρουσιάζεται και καθίζηση τότε αυτή θα πρέπει να πληρείται με διάστρωση ψυχρού ή θερμού ασφαλτομίγματος. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.1.3 Ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή διαπλάτυνσης

Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται μεταξύ των λωρίδων διάστρωσης ή της διαπλάτυνσης και είναι πάντοτε διαμήκεις, βλέπε εικόνα 6.

Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο σε κακοτεχνία κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όπως διάστρωση τάπητα με μειωμένη ποσότητα ασφαλτομίγματος στη ραφή, κακή ή ανεπαρκή συγκόλληση της κάθετης επιφάνειας της προηγούμενης λωρίδας διάστρωσης και πτώση της θερμοκρασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 6: Ρωγμή μεταξύ λωρίδων στον Ασπρόπυργο.

2.1.1.4 Ρωγμές από ανάκλαση

Οι ρωγμές από ανάκλαση εμφανίζονται κατά κανόνα σε ασφατικές επιστρώσεις που διαστρώθηκαν στο παρελθόν για την αποκατάσταση σοβαρών φθορών του οδοστρώματος. Η μορφή και η κατεύθυνση τους ποικίλει από διαμήκης, εγκάρσια, διαγώνια ή και μερικώς διακλαδιζόμενη, ανάλογα με τη μορφή που είχαν οι παλαιές ρωγμές της επισκευασμένης επιφάνειας, βλέπε εικόνα 7.

Τα αίτια που προκαλούν αυτού του είδους τις ρωγμές είναι οι κάθετες και οριζόντιες μετακινήσεις του υποκειμένου οδοστρώματος. Αυτές οι μετακινήσεις οφείλονται σε μετακινήσεις του υπεδάφους ή στη διόγκωση / συρρίκνωση αυτού λόγω ύπαρξης αργιλικών υλικών. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 7: Ρωγμή ανάκλασης (Βιβλίο Νικολαΐδη - 2019).

2.1.1.5 Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων

Οι ρωγμές αυτές οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης λόγω κακής συνοχής αυτών, βλέπε εικόνα 8. Η κακή συνοχή των ταπήτων οφείλεται στην απουσία συγκολλητικής επάλειψης ή την ανεπαρκή και κακή συγκολλητική επάλειψη, ή την ύπαρξη μεταξύ των στρώσεων χωμάτων (κυρίως αργιλικών) ή λαδιών αυτοκινήτων ή ύδατος. Οι ρωγμές αυτής της μορφής μπορεί να οφείλονται επίσης, ελάχιστες όμως φορές, στη μεγάλη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε λεπτόκοκκα αδρανή ή ακόμη και στην κακή συμπίκνωση της υπερκείμενης στρώσης.

Η συντήρηση των ρωγμών αυτών γίνεται μόνο με την απομάκρυνση του τάπητα κυκλοφορίας γύρω από τη ρωγμή μέχρι του σημείου που υπάρχει καλή συνοχή ταπήτων και κατόπιν πλήρωση της επιφάνειας με θερμό ασφαλτόμιγμα. Προϋπόθεση αποτελεί ο επιμελής καθαρισμός της πληγείσας περιοχής και ο ψεκασμός της καθαρισμένης επιφάνειας με συγκολλητική επάλειψη. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 8: Ρωγμή ανάκλασης (Νικολαΐδης - 2019).

2.1.1.6 Ρωγμές συρρίκνωσης

Οι ρωγμές συρρίκνωσης είναι συνήθως ακανόνιστης μορφής, διακλαδιζόμενες και ως ένα βαθμό συνδεδεμένες μεταξύ τους, σχηματίζοντας μεγάλα πολυγωνικά μπλοκ με οξείες γωνίες, βλέπε εικόνα 9. (Νικολαΐδης, 2019)

Οι ρωγμές αυτές οφείλονται στη συρρίκνωση του ασφαλτομίγματος ή των υλικών της βάσης, της υπόβασης, ή και του εδαφικού υλικού έδρασης (κυρίως). Πλην όμως, είναι δύσκολο να αποδοθούν μετά βεβαιότητας στο ένα ή στο άλλο υλικό. Συστολή του

ασφαλτομίγματος μπορεί να επέλθει όταν αυτό έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα αδρανή και φίλλερ και υψηλό ποσοστό σκληρής ασφάλτου. Η έλλειψη κυκλοφοριακού φόρτου βοηθά στη δημιουργία αυτών των ρωγμών. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 9: Ρωγή συρρίκνωσης.

2.1.1.7 Ρωγμές στην τροχιά των τροχών

Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται στην τροχιά των τροχών και είναι πάντοτε διαμήκεις. Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην τοπική θραύση του οδοστρώματος. Η θραύση οφείλεται στη μειωμένη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους (εποχιακή ή μη) σε συνδυασμό με τα μεγάλα αξονικά φορτία που επιβάλλονται και το μειωμένο πάχος των ασφαλικών στρώσεων και της βάσεως (περίπτωση υποδιαστασιολόγησης του οδοστρώματος).

Η εμφάνιση ρωγμών στην τροχιά των τροχών μπορεί να οφείλεται και στην κόπωση των ασφαλομιγμάτων (η συνηθέστερη αιτία). Συνεπώς, απαιτείται η συστηματική διερεύνηση των αιτιών και η λήψη των κατάλληλων μέτρων προς αποφυγή περαιτέρω επιδείνωσης. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.1.8 Ελικοειδείς ρωγμές

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται με ελικοειδή μορφή (μη διακλαδιζόμενη) κατά μήκος του οδοστρώματος και όχι σε συγκεκριμένη θέση.

Η εμφάνιση των ρωγμών αυτών οφείλεται συνήθως στη δράση του παγετού ή στην κόπωση του οδοστρώματος, αλλά και πιθανότατα στην καθίζηση του επιχώματος (κυρίως μεταβατικού). (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.2 Αυλακώσεις

Οι αυλακώσεις, βλέπε εικόνα 10, οφείλονται σε μια ή περισσότερες από τις παρακάτω αιτίες:

- την παραμένουσα παραμόρφωση του ασφαλτομίγματος που εμφανίζεται με την πάροδο του χρόνου ή
- την καθίζηση των στρώσεων λόγω κακής συμπίκνωσης ή
- την παραμόρφωση ή
- την πλευρική μετακίνηση μιας ή περισσότερων στρώσεων (κυρίως της έδρασης) κάτω από την επίδραση των αξονικών φορτίων. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 10: Αυλακώσεις και αλγαιτορικές ρωγμές στον Ασπρόπυργο.

Η δημιουργία αυλακώσεων (rutting) συνήθως προηγείται της ρηγμάτωσης στα ασφαλτικά οδοστρώματα, ένα θεμελιώδες μοτίβο που οφείλεται στη συσσώρευση πλαστικών παραμορφώσεων των μειγμάτων υπό υψηλές θερμοκρασίες και βαριά φορτία. Οι ρηγματώσεις προκαλούνται όταν οι τάσεις που δέχεται το οδόστρωμα υπερβούν την αντοχή του. (Min, "et al.", 2025)

Η αυλάκωση δεν αποτελεί μόνο αρχική μορφή φθοράς, αλλά και σημαντικό προάγγελο επακόλουθης ρηγμάτωσης. Μέσω της εισχώρησης νερού στις στρώσεις του οδοστρώματος, η αυλάκωση δημιουργεί τις συνθήκες για την εμφάνιση ποικίλων μορφών ρηγμάτωσης. Έτσι, επιταχύνεται η ανάπτυξη ρωγμών, φθορών ενώ τελική απόρροια των παραπάνω αποτελούν σοβαρότερες μορφές βλαβών, όπως λακκούβες και ρηγμάτωση τύπου

«αλιγοτορικών ρωγμών», οι οποίες ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για την οδική ασφάλεια. Έτσι λοιπόν, στα πρώτα στάδια εμφάνισης τους στα οδοστρώματα, η αντιμετώπιση τους αποτελεί μονόδρομο για την αποφυγή δυσμενέστερων προβλημάτων. (Min, "et al.", 2025)



Εικόνα 11: Τροχοαυλάκωση.

2.1.3 Κυματώσεις (ρυτιδώσεις)

Οι κυματώσεις, ή ρυτιδώσεις ή πτυχώσεις είναι μια μορφή πλαστικής μετακίνησης που έχει ως αποτέλεσμα την τοπική εξόγκωση της επιφάνειας υπο μορφή κυμάτων. Στην ειδική περίπτωση που η πλαστική μετακίνηση είναι τοπική, το φαινόμενο ονομάζεται απώθηση. Οι ρυτιδώσεις ή απωθήσεις εμφανίζονται συνήθως σε περιοχές όπου αναπτύσσονται υψηλές διατμητικές τάσεις όπως σε περιοχές φρεναρίσματος (στάσεις και διασταυρώσεις), ή ανωφέρειες και κατωφέρειες και δεν συνοδεύονται από ρηγματώσεις, εκτός ορισμένων περιπτώσεων απωθήσεων. Οι ρυτιδώσεις αναπτύσσονται σε όλη την επιφάνεια του οδοστρώματος, είναι όμως περισσότερο έντονες στην κύρια λωρίδα της κυκλοφορίας.

Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στη χαμηλή ευστάθεια του ασφαλτομίγματος και στην πλαστική παραμόρφωση αυτού. Η χαμηλή ευστάθεια του ασφαλτομίγματος, συνήθως του τύπου κυκλοφορίας, μπορεί να οφείλεται στο υψηλό ποσοστό ασφάλτου, ή στη χρήση ασφάλτου με χαμηλό ιξώδες, στο υψηλό ποσοστό άμμου έναντι των χονδρόκοκκων αδρανών, ή στο γεγονός ότι το μίγμα έχει κενά μικρότερα της ελάχιστης επιτρεπτής τιμής ή στη χρήση φυσικών αδρανών ή τέλος, στη μη πλήρη εξάτμιση των διαλυτών των διαλυμάτων. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.4 Καθιζήσεις

Τοπικές καθιζήσεις χαρακτηρίζονται οι καθιζήσεις που είναι σε περιορισμένη έκταση και συνήθως δεν συνοδεύονται από μικρορωγμές. Οι καθιζήσεις αυτές κατακρατούν νερό, είναι πηγή επιταχυνόμενης φθοράς του οδοστρώματος και συγχρόνως κίνδυνος για τους χρήστες της οδού.

Οι τοπικές καθιζήσεις είναι συνήθως περιορισμένης έκτασης και οφείλονται στην τοπική καθίζηση των υποκείμενων στρώσεων κάτω από την επίδραση υψηλών αξονικών φορτίων. Οι καθιζήσεις των υποκείμενων στρώσεων μπορεί να οφείλονται σε κακή κατασκευή αυτών, ή και σε τοπική μείωση της φέρουσας ικανότητας αυτών. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.5 Τοπικές διογκώσεις

Οι τοπικές διογκώσεις οφείλονται σε τοπική διόγκωση του υπεδάφους ή της υπόβασης ή της βάσης και σπανίως των ασφαλικών στρώσεων. Η συνηθέστερη αιτία που προκαλεί τη διόγκωση είναι η διαστολή του εγκλωβισμένου ύδατος κατά τη διάρκεια του χειμώνα λόγω παγετού. Βεβαίως, δεν πρέπει να αποκλείεται και η επίδραση της υγρασίας σε διογκούμενα εδαφικά υλικά. Οι διογκώσεις ανύψωσης χαρακτηρίζονται από διακλαδιζόμενες ρηγματώσεις. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.6 Τοπικές καθιζήσεις σε τομές οδοστρώματος

Οι τοπικές αυτές καθιζήσεις εμφανίζονται από την κακή συμύκνωση των υλικών επίχωσης των εγκάρσιων τομών που ανοίγονται κυρίως από οργανισμούς κοινής ωφέλειας ή ιδιώτες. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.7 Αποσύνθεσης (Αποσάθρωση, αποκόλληση αδρανών, λειάνσεις)

Αποσύνθεση είναι η θρυμματίση της επιφάνειας του οδοστρώματος σε μικρά ασύνδετα κομμάτια. Σε αυτό περιλαμβάνεται και η αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Εάν η αποσύνθεση, όπως ορίστηκε παραπάνω, δεν συντηρηθεί έγκαιρα, είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει πολύ σύντομα σε κατάσταση όπου θα απαιτείται αποκατάσταση του οδοστρώματος. (Νικολαΐδης, 2019)

Οι κυριότερες μορφές αποσύνθεσης του οδοστρώματος σε αρχικό στάδιο είναι η αποκόλληση αδρανών (ravelling) και οι λακκούβες (potholes). (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.8 Αποκόλληση αδρανών

Η αποκόλληση αδρανών, από την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι το γνωστό ψώριασμα ή ξέφτισμα, η απογύμνωση της επιφάνειας που αρχίζει συνήθως από την άκρη του οδοστρώματος προς το κέντρο. Η αποκόλληση των αδρανών γίνεται προοδευτικά. Πρώτα αποκολλώνται τα λεπτόκοκκα αδρανή και κατόπιν τα χονδρόκοκκα.

Στα πρώτα στάδια η επιφάνεια παρουσιάζει μια σχετική τραχύτητα και κατόπιν μικρές «φωλιές» που αρχίζουν να πυκνώνουν και να μεγαλώνουν δημιουργώντας έτσι σε πολλές περιπτώσεις λακκούβες. (Νικολαΐδης, 2019)

Οι αιτίες που προκαλούν αυτού του είδους τη φθορά είναι:

- Η χαμηλή περιεκτικότητα του μίγματος σε ασφαλτο.
 - Η χρήση μη καθαρών αδρανών.
 - Η κατασκευή του τάπητα σε χαμηλές θερμοκρασίες ή/και με βροχή.
 - Η υπερθέρμανση της ασφάλτου ή του ασφαλτομίγματος.
 - Η χρήση αδρανών που έχουν την τάση να αποσυντίθενται.
 - Η μη επαρκής συμπίκνωση στην περίπτωση των ψυχρών ασφαλτομιγμάτων.
- (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.9 Λακκούβες

Οι λακκούβες, βλέπε εικόνα 12, αποτελούν μία από τις πιο συνηθισμένες μορφές αστοχίας των ασφαλικών οδοστρωμάτων. Οι σημαντικότερες αιτίες δημιουργίας τους είναι η υγρασία και τα κυκλοφοριακά φορτία (Jiusu, "et al.", 2019)

Καθώς τα ασφαλτοστρώματα γερνούν και υφίστανται καταπόνηση απο κυκλοφοριακά φορτία, οι ρηγματώσεις του οδοστρώματος αυξάνονται. Αν δεν πραγματοποιηθεί έγκαιρη συντήρηση, η φθορά επιδεινώνεται και οι ρωγμές εξελίσσονται σε λακκούβες. Η ταχεία επισκευή των λακκούβων αμέσως μετά την εμφάνιση τους, μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό περαιτέρω φθοράς του οδοστρώματος και στην αποφυγή πιο δαπανηρών επισκευών. Ωστόσο, όταν οι λακκούβες δεν επιδιορθώνονται σύντομα, το νερό εισχωρεί στις υποκείμενες στρώσεις του οδοστρώματος και προκαλεί σοβαρότερη δομική αστοχία. (Bong "et al.", 2018).



Εικόνα 12: Λακκούβα στον Ωρωπό.

Τα ασφαλτοστρωμένα οδοστρώματα συνήθως αποτελούνται από στρώσεις συνδετικού υλικού και ασφατικές στρώσεις. Όλες οι ασφατικές στρώσεις μπορούν να σχεδιαστούν και να συμπίεστούν ώστε να είναι ανθεκτικές στη διείσδυση υγρασίας. Ωστόσο, οι καταπονήσεις λόγω των καιρικών συνθηκών ή του κυκλοφοριακού φόρτου στο οδόστρωμα μπορούν να προωθήσουν την ανάπτυξη ρωγμών. Το νερό συχνά διεισδύει μέσα από τη ρηγματωμένη επιφανειακή στρώση στις υποκείμενες στρώσεις του οδοστρώματος, όπου παγώνει και διαστέλλεται όταν η θερμοκρασία πέφτει. Καθώς η θερμοκρασία ανεβαίνει ξανά, ο πάγος λιώνει και το νερό μετακινείται σε άλλα σημεία της δομής του οδοστρώματος. Αυτή η διαδικασία αφήνει κενά στην υποκείμενη στρώση, όπου το νερό παγιδεύεται ξανά και παγώνει. (Hajj, "et al.", 2021).

Οι λακκούβες, βλέπε εικόνα 13, εμφανίζονται συχνά προς το τέλος της χειμερινής περιόδου, μετά από παρατεταμένες περιόδους βροχοπτώσεων ή κατά τη διάρκεια περιόδων απόψυξης. Εστιάζοντας στο ζήτημα, οι λακκούβες μπορούν να δημιουργηθούν από την ελλιπή έως και ανεπαρκή αποστράγγιση των επιφανειακών στρώσεων και της υπόβασης, η οποία προκαλεί μείωση της φέρουσας ικανότητας. (Hafezzadeh, "et al.", 2021).

Γενικά οι λακκούβες δημιουργούνται από αδυναμίες του ασφαλτομίγματος ή της δομής του οδοστρώματος όπως:

- Έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα.
 - Μειωμένο πάχος τάπητα κυκλοφορίας.
 - Τοπική αστοχία κατά την κατασκευή των στρώσεων, κυρίως της βάσης.
 - Μη καλή τοπική αποστράγγιση της οδού.
 - Επιδείνωση της αποκόλλησης των αδρανών από την επιφάνεια του σκυροδέματος.
- (Νικολαΐδης, 2019)

Η αντιμετώπιση των λακκούβων αποτελεί φλέγων ζήτημα καθώς επηρεάζουν τόσο τη λειτουργία των χρηστών όσο και την οδική ασφάλεια του δρόμου, αυξάνοντας τον αριθμό των ατυχημάτων με τραυματισμούς ή ακόμη και θανάτους. Έκθεση του Υπουργείου Οδικών Μεταφορών και Αυτοκινητοδρόμων της Ινδίας δείχνει ότι πάνω από το 1% των ατυχημάτων και των θανάτων τα έτη 2018 και 2019 οφείλονταν σε λακκούβες. (Hafezzadeh, "et al.", 2021)

Περαιτέρω, η παρουσία λακκούβων και οι αντίστοιχες εργασίες συντήρησης του οδοστρώματος μπορούν να λειτουργήσουν ως παράγοντας πρόκλησης κυκλοφοριακής συμφόρησης, αυξάνοντας αναπόφευκτα την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων (Biswas et al., 2016, 2018; Hafezzadeh et al., 2021).

Ακόμη, σύμφωνα με μελέτη του 2010, το κόστος των ατυχημάτων και των ζημιών σε οχήματα που οφείλονταν αποκλειστικά σε λακκούβες κατά τη διάρκεια μιας βροχερής περιόδου στο Ηνωμένο Βασίλειο ξεπέρασε τα £10 δισεκατομμύρια (\$13.8 δισεκατομμύρια)(Paige-Green, "et al.", 2010).

Σε άλλη έρευνα, η Ένωση Τοπικής Αυτοδιοίκησης (LGA) εκτίμησε ότι το απαιτούμενο ποσό για την επισκευή οχημάτων που υπέστησαν ζημιές από λακκούβες στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2014 ήταν £1 δισεκατομμύριο (\$1.38 δισεκατομμύρια). (Saeed, "et al.", 2015)

Εκτός από τους ιδιώτες, οικονομικά προβλήματα προκαλούνται από την κακή κατάσταση των οδοστρώματων και σε επιχειρήσεις, καθώς αποτελέσματα έρευνας της διεθνούς εταιρείας δεδομένων και ανάλυσης YouGov έδειξαν ότι οι επιχειρήσεις στην Αγγλία και την Ουαλία υφίστανται ετήσια απώλεια £5 δισεκατομμυρίων λόγω κακής κατάστασης των δρόμων, ποσό που υπερβαίνει τον προϋπολογισμό συντήρησης του οδικού δικτύου (Saeed, "et al.", 2015).



Εικόνα 13: Πολλαπλές λακκούβες στον Ωρωπό.

2.1.10 Λεία επιφάνεια οδοστρώματος - Ολισθηρότητα

Η λεία επιφάνεια είναι μια φθορά του οδοστρώματος η οποία, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους φθορών, δεν επιδρά στην επιδείνωση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος

αλλά στο επίπεδο ασφαλείας και εξυπηρέτησης αυτού και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ολισθηρότητα της επιφάνειας.

Η λεία επιφάνεια του οδοστρώματος οφείλεται κυρίως στην λείανση των επιφανειακών αδρανών. Επίσης, μπορεί να οφείλεται και στην ανάδυση της ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος, ή στη βύθιση των χονδρόκοκκων αδρανών ή ακόμη και στη χρήση λείων και σφαιρικών αδρανών (αμμοχάλικο χειμάρρων κ.λπ.)

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, επέρχεται μείωση ή εκμηδένιση της μικρό και μακρο υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος με συνέπεια τη μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ των ελαστικών και της επιφάνειας. Η παρουσία νερού επιδεινώνει την κατάσταση και παράλληλα είναι αιτία ανάπτυξης του φαινομένου της υδρολίσθησης. Επιδείνωση της ολισθηρότητας μπορεί επίσης να επέλθει με την παρουσία λαδιών ή χώματος (κυρίως αργιλικών υλικών) πάνω στην επιφάνεια, καθώς επίσης και με την εναπόθεση ελαστικών (στις περιοχές που παρατηρείται έντονη πέδηση των οχημάτων). (Νικολαΐδης, 2019)

Η ολισθηρότητα συνδέεται άμεσα με τα τροχαία ατυχήματα. Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την άμεση αποκατάσταση της αντιολισθηρής ικανότητας της επιφάνειας. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.11 Λείανση των αδρανών

Η λείανση των αδρανών της επιφάνειας οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στη φθορά των επιφανειακών αδρανών, ενώ η πρόωγη λείανση των αδρανών οφείλεται στην ακαταλληλότητα των αδρανών. Τέτοια υλικά είναι όλα τα ασβεστολιθικά που χρησιμοποιούνται, δυστυχώς μέχρι και σήμερα, σε αρκετές επιφανειακές στρώσεις στην Ελλάδα. (Νικολαΐδης, 2019)

2.1.12 Ανάδυση ασφάλτου

Ανάδυση ασφάλτου, βλέπε εικόνα 14, είναι το φαινόμενο της κάθετης μετακίνησης της ασφάλτου μέσα στο ασφατόμιγμα και η εμφάνιση αυτής στην επιφάνεια του οδοστρώματος δημιουργώντας έναν ασφατικό υμένα. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται μόνο κατά την περίοδο των θερινών μηνών.

Η μόνη αιτία εμφάνισης ανάδυσης ασφάλτου είναι η ύπαρξη περίσσειας ασφάλτου στο ασφατόμιγμα ή ο ψεκασμός πλέον της απαιτούμενης ποσότητας συγκολλητικής ή προεπάλειψης (ανάδυση ασφάλτου από προεπάλειψη μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση διάστρωσης ενός τάπητα πάχους 40mm – 50mm). (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 14: Ανάδυση ασφάλτου σε περιοχή του εξωτερικού.

2.2 Φθορές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Οι φθορές που παρουσιάζουν τα δύσκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες όμοιες με αυτές των εύκαμπτων οδοστρωμάτων, δηλαδή: ρηγματώσεις, επιφανειακές παραμορφώσεις, αποσύνθεση επιφάνειας και λείανση επιφάνειας. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η επιτυχής συντήρηση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων με τσιμεντοκονίαμα ή γενικότερα με νέο σκυρόδεμα μετά ή άνευ οπλισμού, είναι πολύ δύσκολη και πολλές φορές αδύνατη. (Νικολαΐδης, 2019)

2.2.1 Ρηγματώσεις - Αρμοί

Οι ρωγμές είναι οι περισσότερο κοινές φθορές των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Οφείλονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην ογκομετρική συμπεριφορά του σκυροδέματος κάτω από θερμοκρασιακές αυξομειώσεις, αλλά και στην επαναλαμβανόμενη φόρτιση που επέρχεται από την κυκλοφορία.

Ρωγμές εμφανίζονται καθ' όλες τις διευθύνσεις, πλην όμως μπορούν να αποφευχθούν ή να περιορισθούν με την κατασκευή αρμών (διαστολής, συστολής και στρέβλωσης – διαμήκεις αρμοί). Παρόλο που οι αρμοί περιορίζουν την ανάπτυξη ρωγμών, δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα στη συντήρησή τους. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η συντήρηση των αρμών είναι εξίσου σημαντική, αν όχι σημαντικότερη, από τη συντήρηση των ρωγμών και αυτό διότι η έναρξη ενός μεγάλου ποσοστού ρηγματώσεων οφείλεται στη μη καλή και έγκαιρη συντήρηση των κατασκευασμένων αρμών. (Νικολαΐδης, 2019)

2.2.1.1 Φθορές στους αρμούς

Οι φθορές που παρουσιάζονται στους αρμούς είναι συνήθως η αποκόλληση του υλικού πλήρωσης, που τοποθετείται για τη στέγαση αυτών, και η ρηγμάτωση πλησίον του αρμού. Πολλές φορές εμφανίζεται και θραύση με αποκόλληση τμήματος των ακμών του αρμού.

Η αποκόλληση του υλικού οφείλεται στη γήρανση και οξείδωση του υλικού πλήρωσης, ενώ η ρηγμάτωση στη χαμηλή αντοχή του σκυροδέματος σε συνδυασμό με τα μεγάλα φορτία των οχημάτων. (Νικολαΐδης, 2019)

2.2.1.2 Γωνιώδεις (γωνιακές) ρωγμές

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται στις γωνίες των πλακών. Αν δε συντηρηθεί έγκαιρα η ρωγμή, το ρηγματωμένο γωνιακό κομμάτι θα αποκολληθεί πλήρως από την πλάκα.

Οι ρωγμές αυτές δημιουργούνται λόγω μη καλής υποστήριξης της πλάκας από το έδαφος έδρασης. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι γωνίες της πλάκας είναι το πιο ευαίσθητο σημείο της. (Νικολαΐδης, 2019)

2.2.1.3 Διαμήκειες ρωγμές

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται παράλληλα με τον άξονα του οδοστρώματος. Οφείλονται κυρίως στην συστολή της πλάκας και την ανυπαρξία κατάλληλου αριθμού διαμήκων αρμών. Πιθανές αιτίες μπορούν επίσης να είναι και η διαστολή της υποκείμενης στρώσης, οι τάσεις στρέβλωσης που αναπτύσσονται σε συνδυασμό με τα φορτία της κυκλοφορίας, ή η μειωμένη υποστήριξη του εδάφους έδρασης. (Νικολαΐδης, 2019)

2.2.1.4 Εγκάρσιες ρωγμές

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται σχεδόν κάθετα στον άξονα του οδοστρώματος και συνήθως στο κέντρο της πλάκας. Οι ρωγμές αυτές διατρέχουν όλο το πλάτος της πλάκας. Οι ρωγμές οφείλονται στην υπερφόρτιση και ανάπτυξη μεγάλων ροπών κάμψης, στην ανυπαρξία εγκάρσιων αρμών ή κατάλληλου αριθμού εγκάρσιων αρμών, ή στην ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους. (Νικολαΐδης, 2019)

2.2.1.5 Διαγώνιες ρωγμές

Είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται στις γωνίες των πλακών σχηματίζοντας μεγαλύτερα τρίγωνα από αυτά που σχηματίζονται από τις γωνιώδεις ρωγμές. Οι αιτίες για την ανάπτυξη αυτών είναι οι ίδιες με αυτές των γωνιωδών ρωγμών. (Νικολαΐδης, 2019)

2.2.1.6 Άλλες ρωγμές

Στο σκυρόδεμα ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος αναπτύσσονται και άλλες ρωγμές όπως τύπου D, πολλαπλές ρωγμές, πρόωρες ρωγμές σχεδόν αμέσως και σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά τη διάστρωση. (Νικολαΐδης, 2019)

2.3.1 Επιφανειακές παραμορφώσεις δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Οι επιφανειακές παραμορφώσεις στα δύσκαμπτα οδοστρώματα περιορίζονται αποκλειστικά και μόνο σε καθιζήσεις. Οι διαφορικές καθιζήσεις των πλακών μπορεί να οφείλονται στο ανεπαρκές σύστημα μεταφοράς του φορτίου από πλάκα σε πλάκα ή στην περαιτέρω συμπίκνωση ή συστολή του εδάφους έδρασης. (Νικολαΐδης, 2019)

2.3.2 Αποσύνθεση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Αποσύνθεση της επιφάνειας δύσκαμπτου οδοστρώματος είναι τόσο η αποκόλληση λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών από την επιφάνεια του σκυροδέματος όσο και ο θρυμματισμός των ακμών και των γωνιών των πλακών. Η αποκόλληση των αδρανών οφείλεται στη μη καλή ανάμιξη του μίγματος, στη χρήση ακατάλληλων αδρανών, στις μη κατάλληλες συνθήκες πήξης του σκυροδέματος και στη χημική δράση του άλατος που πιθανόν να χρησιμοποιείται για την αποφυγή δημιουργίας πάγου στο οδόστρωμα. (Νικολαΐδης, 2019)

3. Μορφές συντήρησης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι ολοένα μικρότεροι και περιορισμένοι δημοτικοί προϋπολογισμοί, έχουν προκαλέσει την παραμέληση της αποκατάστασης των βλαβών των οδοστρωμάτων, αφού το μεγαλύτερο μέρος του προϋπολογισμού λαμβάνεται για νέα έργα και όχι για επιδιορθώσεις.

Έτσι, πλέον αυτό το γεγονός, έχει οδηγήσει στη δημιουργία τριών τύπων εργασιών συντήρησης οδοστρωμάτων:

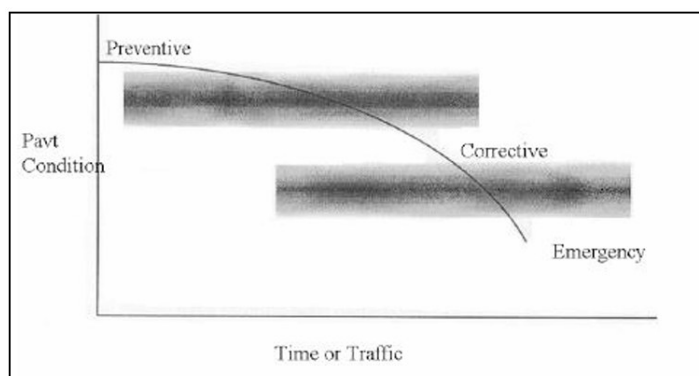
- **Στη Προληπτική Συντήρηση:** Η οποία διενεργείται για να βελτιωθεί ή να παραταθεί η λειτουργική ζωή του οδοστρώματος. Αποτελεί στρατηγική σειράς επιφανειακών επεμβάσεων και εργασιών που στοχεύουν στην επιβράδυνση της

εμφάνισης φθορών και στη μείωση της ανάγκης για τακτικές εργασίες συντήρησης. (Johnson, "et al.", 2000)

- **Στη Διορθωτική Συντήρηση:** Η οποία εκτελείται αφού εμφανιστεί κάποια φθορά στο οδόστρωμα, όπως απώλεια τριβής, μέτριο έως σοβαρό αυλάκωμα ή εκτεταμένες ρωγμές. (Johnson, "et al.", 2000)
- **Στην Έκτακτη Συντήρηση:** Η οποία διενεργείται σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης, όπως σε περίπτωση ξαφνικής αστοχίας ή σοβαρής λακκούβας που απαιτεί άμεση επισκευή. Περιλαμβάνει επίσης προσωρινές επεμβάσεις που διατηρούν την επιφάνεια λειτουργική μέχρι να πραγματοποιηθούν πιο μόνιμες επισκευές. (Johnson, "et al.", 2000)

Πολλές επεμβάσεις οδοστρωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προληπτική, διορθωτική ή έκτακτη συντήρηση. Στην εικόνα 15, απεικονίζονται οι διαφορές μεταξύ αυτών των τριών τύπων συντήρησης. Όπως φαίνεται στο γράφημα, η κύρια διαφορά είναι η κατάσταση του οδοστρώματος τη στιγμή που εφαρμόζεται η επέμβαση. Δεν υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ του πότε μια επέμβαση θεωρείται προληπτική ή διορθωτική, ή διορθωτική έναντι έκτακτης. (Johnson, "et al.", 2000)

Παρόλο που και οι τρεις τύποι είναι σημαντικοί, οι προληπτικές δραστηριότητες συντήρησης, είναι οικονομικά αποδοτικότερες και προσφέρουν καλύτερη λύση για την παράταση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος. Ακόμη, η προληπτική συντήρηση μπορεί να αποτρέψει την ανάγκη για διορθωτικές επεμβάσεις. (Johnson, "et al.", 2000)



Εικόνα 15: Οι κατηγορίες συντήρησης σε σχέση με τον χρόνο και την ποιότητα του οδοστρώματος.

3.1.1 Προληπτική συντήρηση

Οι προληπτικές επεμβάσεις μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής του, ωστόσο τα πραγματικά της οφέλη επιτυγχάνονται όταν υπάρχει ένα σταθερό πρόγραμμα εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης. (Johnson, "et al.", 2000)

Στόχος ενός τέτοιου προγράμματος επέμβασης είναι η παράταση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος και η βελτίωση της συνολικής απόδοσης του με οικονομικά αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο. Μελέτες δείχνουν ότι η προληπτική συντήρηση είναι έξι έως δέκα φορές πιο οικονομική από μια στρατηγική μηδενικών παρεμβάσεων. Οι επεμβάσεις είναι ιδιαίτερα αποδοτικές όταν εφαρμόζονται νωρίς πριν την εμφάνιση φθορών στο οδόστρωμα. Επιπλέον, η προληπτική συντήρηση επιτρέπει σε μια υπηρεσία να εξομαλύνει τον προϋπολογισμό συντήρησης από έτος σε έτος, ο οποίος διαφορετικά μπορεί να παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Για παράδειγμα, το Υπουργείο Μεταφορών του Μίσιγκαν έχει χρησιμοποιήσει την προληπτική συντήρηση για να εξισορροπήσει το πρόγραμμα με τις επιδιορθώσεις των οδικών του δικτύων. Όπως αναφέρουν, το πρόγραμμά τους, τους επιτρέπει να βελτιστοποιούν την κατάσταση του δικτύου με έναν δεδομένο προϋπολογισμό, οδηγώντας σε πιο σταθερές χρηματοδοτικές ανάγκες. (Johnson, "et al.", 2000)

Οι δραστηριότητες προληπτικής συντήρησης μπορούν να περιλαμβάνουν συμβατικές επεμβάσεις όπως σφράγιση ρωγμών, επιφανειακή επάλειψη με χαλίκι (chip sealing), εφαρμογή fog seal, πλήρωση αυλακώσεων και λεπτές ασφατικές στρώσεις. Μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν νέες τεχνολογίες, όπως υπέρλεπτες στρώσεις κυκλοφορίας, πολύ λεπτές επικαλύψεις και εφαρμογές μικροεπιφανειακής επεξεργασίας (microsurfacing). Όλες αυτές οι επεμβάσεις εκτός από τις επεμβάσεις σφράγισης ρωγμών, αφήνουν το οδόστρωμα με μια νέα επιφάνεια κυκλοφορίας. (Johnson, "et al.", 2000)

Συχνά, οι μέθοδοι προληπτικής συντήρησης στοχεύουν στην αποκατάσταση φθορών που προκαλούνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η περιοδική ανανέωση της επιφάνειας του οδοστρώματος μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη, όπως τη σφράγιση της επιφάνειας (που αποτρέπει τη διείσδυση νερού στη δομή του οδοστρώματος) και τον έλεγχο των επιπτώσεων της οξείδωσης, της αποσάθρωσης και των επιφανειακών ρωγμών. Επειδή οι περιβαλλοντικές συνθήκες παραμένουν σχετικά σταθερές με την πάροδο του χρόνου, το μέγιστο διάστημα μεταξύ επεμβάσεων προληπτικής συντήρησης θα πρέπει να βασίζεται στον χρόνο και όχι στον κυκλοφοριακό φόρτο. (Johnson, "et al.", 2000)

Για να επιλεγεί ο σωστός χρόνος εφαρμογής μιας επέμβασης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτοψίες και μη καταστροφικές δοκιμές. Αυτές προσφέρουν μια πιο ορθολογική προσέγγιση για τον προσδιορισμό των οδοστρωμάτων που χρειάζονται επέμβαση και του κατάλληλου χρόνου εφαρμογής. Με βάση τα αποτελέσματα των αυτοψιών, μπορεί να καθοριστεί πότε πρέπει να εφαρμοστεί κάθε τύπος επέμβασης. (Johnson, "et al.", 2000)

3.1.2 Διορθωτική συντήρηση

Η διορθωτική συντήρηση διαφέρει από την προληπτική συντήρηση κυρίως ως προς το κόστος και τον χρόνο εφαρμογής. Ενώ η προληπτική συντήρηση πραγματοποιείται όταν το οδόστρωμα βρίσκεται ακόμη σε καλή κατάσταση, η διορθωτική συντήρηση εφαρμόζεται όταν το οδόστρωμα χρειάζεται ήδη επισκευή, και επομένως είναι πιο δαπανηρή. (Johnson, "et al.", 2000)

Η διορθωτική συντήρηση σε σχέση με την προληπτική, εκτελείται για να διορθώσει μια συγκεκριμένη βλάβη ή περιοχή φθοράς στο οδόστρωμα.

Οι καθυστερήσεις στη συντήρηση, αυξάνουν την σοβαρότητα των φθορών, με αποτέλεσμα το κόστος επισκευής να είναι πολύ μεγαλύτερο όταν εκείνο τελικά πραγματοποιηθεί. Συνεπώς, το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του οδοστρώματος αυξάνεται σημαντικά όταν εφαρμόζεται διορθωτική συντήρηση. (Johnson, "et al.", 2000)

Οι δραστηριότητες διορθωτικής συντήρησης περιλαμβάνουν δομικές επικαλύψεις, φρεζάρισμα και επικάλυψη, επισκευή λακκούβων, επιδιορθώσεις (patching) και επισκευή ρωγμών. (Johnson, "et al.", 2000)

3.1.3 Έκτακτη συντήρηση

Αυτή η δραστηριότητα συντήρησης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης, όπως για παράδειγμα όταν μια ξαφνική αστοχία ή μια σοβαρή λακκούβα πρέπει να επισκευαστεί άμεσα, συνήθως για λόγους ασφάλειας ή για να αποκατασταθεί η κυκλοφορία ενός δρόμου. (Johnson, "et al.", 2000)

Η έκτακτη συντήρηση περιλαμβάνει επίσης επεμβάσεις που συγκρατούν προσωρινά λειτουργική την επιφάνεια μέχρι να μπορέσει να πραγματοποιηθεί μια πιο εκτεταμένη αποκατάσταση ή ανακατασκευή. (Johnson, "et al.", 2000)

Όταν απαιτείται έκτακτη συντήρηση, ορισμένα από τα συνηθέστερα κριτήρια επιλογής της μεθόδου επέμβασης παύουν να έχουν σημασία. Το κόστος μπορεί να είναι ο λιγότερο σημαντικός παράγοντας, αφού προηγούνται η ασφάλεια και ο χρόνος αποκατάστασης του

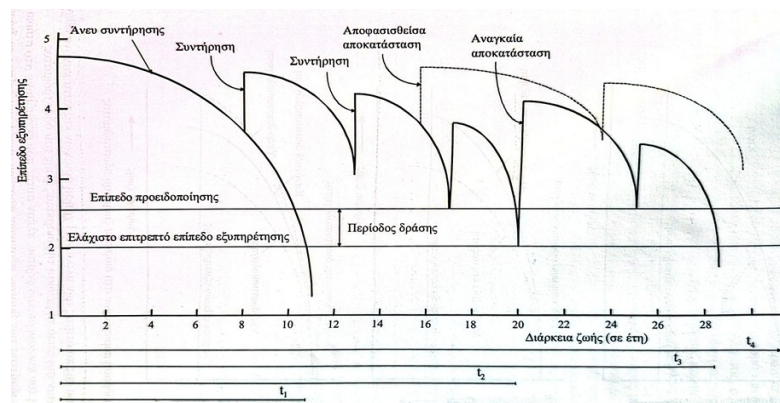
προβλήματος. Περαιτέρω, σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης, υλικά που δεν θεωρούνται κατάλληλα για προληπτική ή διορθωτική συντήρηση λόγω κόστους ή μακροχρόνιας απόδοσης, μπορεί να είναι απολύτως αποδεκτά. (Johnson, "et al.", 2000)

3.1.4 Σχέση συντήρησης και διάρκεια ζωής του οδοστρώματος

Κάθε οδόστρωμα σχεδιάζεται για ένα συγκεκριμένο αριθμό ετών, ή καλύτερα για να παραλάβει ένα συγκεκριμένο αριθμό αξονικών φορτίων μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα. Με την απόδοση του οδοστρώματος στην κυκλοφορία, η ποιότητα του οδοστρώματος, που εκφράζεται με το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι η μέγιστη. Το επίπεδο εξυπηρέτησης συνεχώς μειώνεται και για να βελτιωθεί ή να διατηρηθεί σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο, απαιτείται σε κάποια χρονική στιγμή να συντηρηθεί, βλέπε εικόνα 16. (Νικολαΐδης, 2019)

Σε κάποιο σημείο της ζωής του οδοστρώματος, είναι αναγκαία η αποκατάσταση αυτού με σκοπό τη βελτίωση της κατάστασης του (βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης) και τη δυνατότητα παραλαβής μεγαλύτερου αριθμού αξονικών φορτίων ή/και την αύξηση της διάρκειας του. (Νικολαΐδης, 2019)

Συνεπώς, η συστηματική και έγκαιρη συντήρηση του οδοστρώματος είναι αναγκαία και η αποκατάσταση αυτού είναι προτιμότερο να γίνεται πριν το επίπεδο εξυπηρέτησης λάβει την ελάχιστη επιτρεπτή τιμή. (Νικολαΐδης, 2019)



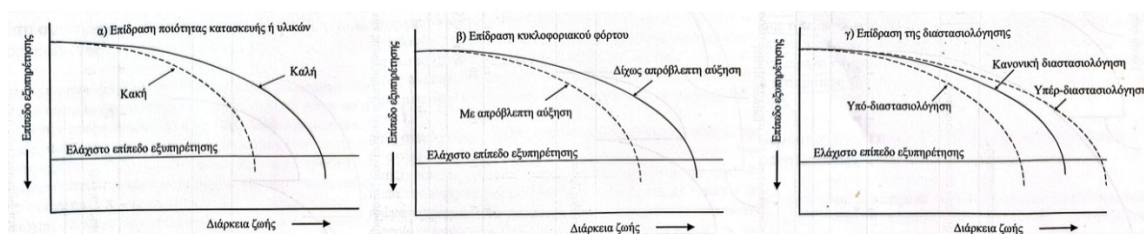
Εικόνα 16: Επίδραση συντήρησης και αποκατάστασης οδοστρώματος στο επίπεδο εξυπηρέτησης και στην διάρκεια ζωής αυτού.

3.1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδοστρώματος

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά ή καλύτερα της «απόδοσης» του οδοστρώματος είναι (βλέπε εικόνα 17):

- η ποιότητα της κατασκευής,
- η ποιότητα των χρησιμοποιημένων υλικών,
- ο κυκλοφοριακός φόρτος,
- οι συνθήκες του περιβάλλοντος
- η ορθότητα της μελέτης διαστασιολόγησης του οδοστρώματος.

Ένα κακώς κατασκευασμένο οδόστρωμα θα έχει σημαντικά μικρότερη διάρκεια ζωής από αυτό που κατασκευάστηκε σύμφωνα με όλες τις προβλεπόμενες προδιαγραφές. Παρόμοια είναι και η επίδραση της ποιότητας των υλικών. Η χρήση κατά κανόνα φθηνών υλικών κακής ποιότητας έχει σαν συνέπεια τη μείωση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος. (Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 17: Επίδραση παραγόντων στη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, πλέον αυτού που εκτιμήθηκε στο στάδιο της μελέτης, και ιδιαίτερα των βαρέων αξονικών φορτίων, μειώνουν επίσης τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Η απρόβλεπτη αύξηση των αξονικών φορτίων μπορεί να οφείλεται και στην ύπαρξη υψηλού ποσοστού υπέρβαρων αξόνων.

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδοστρώματος είναι η υγρασία του υπεδάφους, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ο παγετός και η παρουσία ή μη υλικών που διαστέλλονται παρουσία νερού (π.χ. άργιλος κ.λπ.), οι υψηλές υγρασίες υπεδάφους, οι πολύ υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και η παρουσία υλικών που διαστέλλονται σε συνδυασμό με την επίδραση των αξονικών φορτίων μειώνουν τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Η μελέτη διαστασιολόγησης του οδοστρώματος ορισμένες φορές μπορεί να μην είναι σωστή, λόγω κακής εκτίμησης ή υπολογισμού των σχεδιαστικών παραμέτρων. Έτσι, μπορεί να προταθούν μικρότερα από τα απαιτούμενα πάχη στρώσεων (υποδιαστασιολόγηση) ή

μεγαλύτερα πάχη στρώσεων (υπερδιαστασιολόγηση). Στην πρώτη περίπτωση η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος μειώνεται, ενώ στην δεύτερη αυξάνεται αλλά σε βάρος του κόστους κατασκευής. (Νικολαΐδης, 2019)

3.2 Εφαρμογή ασφαλτικού μείγματος

3.2.1 Θερμό ασφαλτόμιγμα

Θερμό ασφαλτόμιγμα ορίζεται το μίγμα ασφάλτου και αδρανών υλικών που παράγεται «εν θερμώ» σε μόνιμη εγκατάσταση και διαστρώνεται/κυλινδρώνεται «εν θερμώ» πριν την απόδοση της ασφαλτικής στρώσης στην κυκλοφορία. (Νικολαΐδης, 2019)

Το θερμό ασφαλτόμιγμα θεωρείται το καλύτερο υλικό για την επιδιόρθωση λακκούβων (Dong et al., 2014). Οι εργασίες επισκευής υπο θερμές καιρικές συνθήκες πραγματοποιούνται συνήθως με συμβατικό θερμό ασφαλτόμιγμα, το οποίο έχει χαμηλό αρχικό κόστος και ικανοποιητική απόδοση. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα και η εφαρμογή του κατά τη χειμερινή περίοδο επηρεάζονται σημαντικά από τις χαμηλές θερμοκρασίες, οι οποίες προκαλούν θερμική απώλεια κατά τη μεταφορά του στο εργοτάξιο. (Hafezzadeh, "et al.", 2021)

Με βάση τις θερμοκρασίες ανάμιξης και διάστρωσης, τα ασφαλτικά μίγματα επιδιόρθωσης ταξινομούνται γενικά σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- στο θερμό ασφαλτόμιγμα,
- στο ψυχρό ασφαλτόμιγμα και
- στα υλικά ψεκασμού – έγχυσης.

Ο πρώτος τύπος, το θερμό ασφαλτόμιγμα είναι ένα μίγμα ασφαλτικού υλικού και ορυκτών αδρανών. Συνήθως παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τα ψυχρά μίγματα και τα υλικά ψεκασμού - έγχυσης, και αναμένεται να προσφέρει μεγαλύτερη διάρκεια στο χρόνο. Το ψυχρό ασφαλτόμιγμα, συνήθως αποτελείται από υγρό ασφαλτικό γαλάκτωμα και ορυκτά αδρανή. Αυτά τα μίγματα μπορούν να εφαρμοστούν ακόμη και υπο ψυχρό κλίμα. Τα ψυχρά μίγματα συνήθως εμφανίζουν κατώτερη απόδοση σε σύγκριση με το θερμό ασφαλτόμιγμα. Όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες, σε περιοχές με παγετό, το θερμό ασφαλτόμιγμα χρησιμοποιείται συχνά για πιο μόνιμες επιδιορθώσεις κατά τη θερινή περίοδο, ενώ το ψυχρό μίγμα χρησιμοποιείται όταν τα ασφαλτικά εργοστάσια είναι κλειστά

τον χειμώνα. Τα ψυχρά μίγματα και οι επιδιορθώσεις με ψεκασμό – έγχυση θεωρούνται συνήθως προσωρινές λύσεις μέχρι να πραγματοποιηθεί μια πιο μόνιμη επιδιόρθωση (Hajj "et al.", 2021).

Η προτεινόμενη διαδικασία για μια σωστή μόνιμη επισκευή με τη χρήση ασφαλτομίγματος είναι:

1. Χάραξη της περιοχής προς επισκευή, επεκτεινόμενη πέρα από τη φθαρμένη ζώνη. Το περίγραμμα πρέπει να είναι ορθογώνιο, με δύο πλευρές κάθετες προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας. Η χάραξη του περιγράμματος γίνεται με ασφαλοκόπτη και η κοπή με αερόσφυρα ή εκσκαφέα. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση για την κατακορύφωση των παρειών των ορυγμάτων για καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.
2. Εκσκαφή του οδοστρώματος όσο απαιτείται, συμπεριλαμβανομένης της κοκκώδους βάσης και της υπόβασης, μέχρι να επιτευχθεί σταθερή θεμελίωση. Κατάλληλος εξοπλισμός εκσκαφής περιλαμβάνει φρέζες, εκσκαφείς και φορτωτές. Τα τοιχώματα της εκσκαφής πρέπει να είναι ευθύγραμμα και κατακόρυφα. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον καθαρισμό της πληγείσας περιοχής από σκόνη και τυχόν σαθρά υλικά.
3. Διαμόρφωση και συμπίκνωση της κοκκώδους βάσης ή της υπόβασης ώστε να δημιουργηθεί σταθερή θεμελίωση.
4. Εφαρμογή ασφαλικής προεπάλειψης στη βάση της εκσκαφής και εφαρμογή συγκολλητικής επάλειψης στις παρειές της εκσκαφής.
5. Επαναπλήρωση της εκσκαφής με ασφαλτόμιγμα. Το μίγμα διαστρώνεται απευθείας από το φορτηγό στα άκρα της πληγείσας περιοχής. Η διάστρωση πρέπει να γίνεται προσεκτικά για την αποφυγή διαχωρισμού υλικών. Η διάστρωση πραγματοποιείται με αρκετό υλικό ώστε, μετά τη συμπίκνωση, η επιφάνεια του ασφαλτομίγματος να είναι στο ίδιο επίπεδο με το οδόστρωμα.

Το μέγιστο πάχος κάθε στρώσης, εξαρτάται από τον τύπο του ασφαλτομίγματος και τον διαθέσιμο εξοπλισμό συμπίκνωσης. Τα θερμά ασφαλτομίγματα πρέπει να τοποθετούνται σε όσο το δυνατόν παχύτερες στρώσεις για καλύτερη διατήρηση θερμότητας και για ευκολότερη συμπίκνωση. Κάθε στρώση πρέπει να συμπεκνώνεται πλήρως. Μετά τη

συμπύκνωση, η επιφάνεια του ασφαλομίγματος πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο υψόμετρο με το υπόλοιπο οδόστρωμα. (Johnson, "et al.", 2000)

3.2.2 Μέθοδος ψυχρού ασφαλομίγματος

Τα τελευταία χρόνια, τα ψυχρά μείγματα έχουν γίνει δημοφιλή στον κλάδο επισκευής των οδοστρωμάτων λόγω της ευκολίας χειρισμού τους, του χαμηλού κόστους τους, των περιορισμένων απαιτήσεων σε εργατικό δυναμικό και εξοπλισμό καθώς και της δυνατότητας αποθήκευσής τους για μεγάλο χρονικό διάστημα. (Hafezzadeh, "et al.", 2021) Τα ψυχρά μείγματα αποτελούνται από αδρανή υλικά και ασφαλικά γαλακτώματα και είναι κατάλληλα για την επισκευή λακκούβων σε οποιοδήποτε κλίμα ενώ εφαρμόζονται κυρίως ως προσωρινή λύση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μέχρι να γίνει η κατάλληλη οριστική παρέμβαση του οδοστρώματος. (Hafezzadeh, "et al.", 2021)

Επιπλέον, ξεχωρίζουν επειδή έχουν χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, (Hafezzadeh, "et al.", 2021), καθώς τα τελευταία χρόνια για οικονομικούς κυρίως λόγους, τα αδρανή υλικά που συμμετέχουν ως συνδετικό υλικό στο ασφαλομίγμα, έχουν αντικατασταθεί από υλικό φρεζαρισμένης (ανακυκλωμένης) ασφάλτου (Hafezzadeh, "et al.", 2021) μειώνοντας έτσι τον όγκο των αποβλήτων.

Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα ψυχρά ασφαλομίγματα, παρουσιάζουν ορισμένες αδυναμίες που αντικατοπτρίζονται στη χαμηλή απόδοσή τους ή σε πρόωρες αστοχίες (Hafezzadeh, "et al.", 2021). Η μειωμένη εργασιμότητα σε ψυχρές καιρικές συνθήκες, η χαμηλή σταθερότητα ιδιαίτερα σε βαθιές λακκούβες και η ευαισθησία στην υγρασία αποτελούν τα βασικά τους προβλήματα. Επιπλέον, επειδή δεν μπορούν να συμπυκνωθούν στο ίδιο επίπεδο με τα θερμά μείγματα, εμφανίζουν υψηλό ποσοστό κενών αέρα και πορώδους. (Hafezzadeh, "et al.", 2021)

Επίσης, οι περισσότερες μηχανικές δοκιμές χρησιμοποιούν μεγάλα δοκίμια (τύπου Marshall), τα οποία απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο ωρίμανσης και δεν έχουν μεγάλη συνοχή μετά το ξεκαλούπωμα. Αντιθέτως, στην πραγματικότητα οι επισκευές πραγματοποιούνται σε λεπτότερες στρώσεις (λιγότερο από 50 mm) με σχεδόν άμεση ωρίμανση και επαναφορά της κυκλοφορίας. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη νέων διαδικασιών που μπορούν να αξιολογήσουν την απόδοση αυτών των υλικών. (Hafezzadeh, "et al.", 2021)

3.2.3 Σύγκριση ψυχρής θερμής μεθόδου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα ασφαλομίγματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα θερμά ή αλλιώς Θερμά Υλικά Επιδιόρθωσης (Hot Patching Materials – HPMs) και τα ψυχρά ή Ψυχρά Υλικά Επιδιόρθωσης (Cold Patching Materials – CPMs) (Chen et al., 2016; Dong et al., 2014b; Ghosh et al., 2020).

Γενικά, τα θερμά υλικά επιδιόρθωσης είναι καταλληλότερα για μεγάλες περιοχές επισκευής, ενώ τα ψυχρά υλικά επιδιόρθωσης προτιμώνται για μικρές και διάσπαρτες περιοχές. Παρόλο που τα θερμά υλικά επιδιόρθωσης συνήθως αναμένεται να έχουν καλύτερη απόδοση από τα ψυχρά και μπορούν να θεωρηθούν ως λύσεις με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, δεν συνιστώνται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επομένως, σε ψυχρές και υγρές καιρικές συνθήκες, τα ψυχρά υλικά επιδιόρθωσης έχουν ευρέως υιοθετηθεί και αποτελούν πλέον την προτιμώμενη επιλογή για την επισκευή λακκούβων, λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων τους όσον αφορά την προσαρμοστικότητα στο περιβάλλον, τις διαδικασίες επισκευής, την αποθήκευση και τη μεταφορά. (Wang et al., 2022)

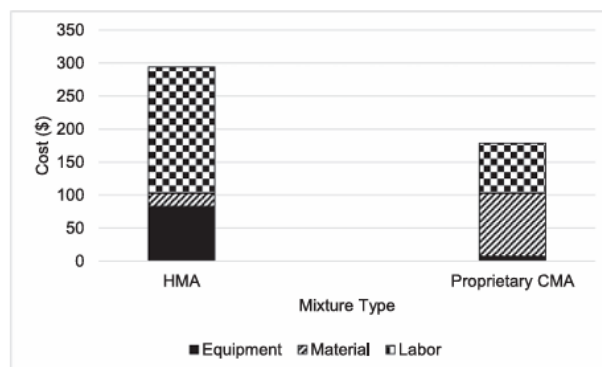
Σε αντίθεση με την μέθοδο επισκευής λακκούβας με τη χρήση θερμής ασφάλτου όπου όπως προαναφέρθηκε η πληγείσα περιοχή χρειάζεται οριοθετηθεί και ενδεχομένως να διακοπεί η κυκλοφορία προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες εργασίες (Κοπή ασφάλτου με ασφαλοκόπτη, καθαρισμό επιφάνειας, πλήρωση με θερμή άσφαλτο και συμπίκνωση), τα ψυχρά ασφαλομίγματα πλεονεκτούν διότι η επιδιόρθωση δεν είναι χρονοβόρα και με το πέρας εκείνης ο δρόμος μπορεί να δοθεί αμέσως προς χρήση από την κυκλοφορία.

Είναι αξιοσημείωτο ότι τα υλικά υψηλής ποιότητας από μόνα τους δεν εγγυώνται τη διάρκεια ζωής της επισκευής. Αν χρησιμοποιηθούν υλικά κακής ποιότητας ή αν αυτά χρησιμοποιηθούν με ακατάλληλη τεχνική, η επισκευή δεν θα έχει διάρκεια στο χρόνο.

Συνήθως, στις εργασίες επισκευής με τη χρήση της θερμής ασφάλτου, το μεγαλύτερο μέρος του κόστους αφορά το εργατικό δυναμικό και τον εξοπλισμό. Πιο συγκεκριμένα, σε έρευνα του 2013, οι Dong et al. ανέφεραν ότι το 50-60% του συνολικού κόστους επιδιόρθωσης αφορά τις αμοιβές εργαζομένων, ενώ ο εξοπλισμός αποτελεί επίσης σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους. (Hafezzadeh, "et al.", 2021)

Ωστόσο, όσον αφορά το κόστος των προσωρινών μεθόδων με τη χρήση ψυχρών μιγμάτων, υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις. Τα κόστη των υλικών και του εξοπλισμού αποτελούν την μεγαλύτερη δαπάνη, όπως έδειξε ο Lukas Hammel στην έρευνά του, βλέπε Εικόνα 18.

Επομένως, ως αποτέλεσμα, η εξειδίκευση ή μη του προσωπικού και ο τύπος του εξοπλισμού/μηχανημάτων, μπορούν να μειώσουν ή να αυξήσουν το κόστος επισκευής. (Hafezzadeh, "et al.", 2021). Ακόμη, οι δαπάνες κλεισίματος των λωρίδων των δρόμων, οι καθυστερήσεις που υφίστανται οι χρήστες της συγκεκριμένης πληγείσας οδού, οι ζημιές που υφίστανται τα διερχόμενα οχήματα από εκείνη και τα ασφαλιστικά κόστη, αποτελούν επίσης μέρος των δαπανών συντήρησης και δεν μπορούν να αγνοηθούν.



Εικόνα 18: Σύγκριση κόστους μεταξύ ψυχρής και θερμής μεθόδου.

3.2.4 Χρήση ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος (RAP)

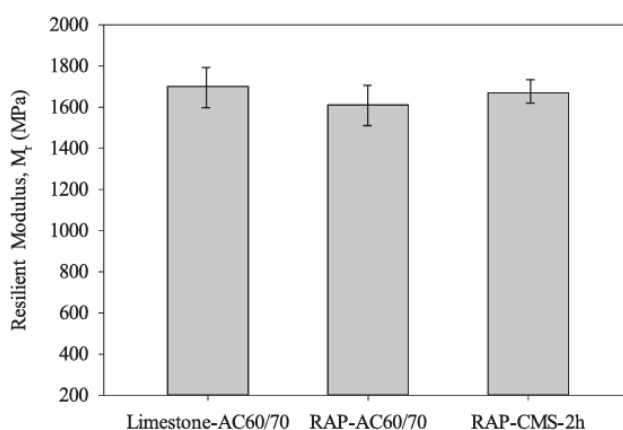
Στις μέρες μας, το ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα (Reclaimed Asphalt Pavement) (RAP) έχει αναδειχθεί ως υλικό για την επισκευή λακκούβων, λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών του πλεονεκτημάτων.

Σε έρευνα μεταξύ υλικών επιδιόρθωσης τα οποία χρησιμοποιούν 100% RAP που διεξήγαγε ο (Bong "et al.", 2018), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η απόδοση του υλικού εξαρτάται από τον τύπο των αδρανών και του γαλακτώματος που χρησιμοποιούνται στα μίγματα. Επιπλέον, τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι τα μίγματα που περιείχαν ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα, παρουσίασαν καλή συνοχή και ιδιότητες πρόσφυσης σε σύγκριση με τα μίγματα που παρασκευάστηκαν από φυσικά αδρανή. (Bong "et al.", 2018)

Παράλληλα, σε μελέτη που εκπόνησε ο (Maurin "et al.", 2003) μεταξύ δοκιμών σε δείγματα ασφάλτου τύπου 60/70 με αδρανή υλικά ασβεστολιθικής προέλευσης και σε δείγματα ανακυκλωμένου ασφαλτικού υλικού τύπου 60/70 που υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές (Ενδεικτικά οι δοκιμές ήταν οι εξής: δοκιμή Marshall, δοκιμή εφελκυστικής αντοχής, δοκιμή κόπωσης), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το δείγμα που

περιείχε φυσικά αδρανή υλικά παρουσίασε ελαφρώς καλύτερη απόδοση σε σχέση με το δείγμα του ανακυκλωμένου ασφαλτικού υλικού, βλέπε εικόνα 19.

Ωστόσο, όπως αναφέρει ο (Maupin "et al.", 2003), το συνολικό κόστος υλικών των ανακυκλωμένων ασφαλτικών μίγμάτων ήταν περίπου 60% χαμηλότερο από εκείνο του μίγματος με τα φυσικά ασβεστολιθικά αδρανή. Επομένως, τα μίγματα με RAP μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οικονομικά αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις για τη συντήρηση ασφαλτικών οδοστρωμάτων.



Εικόνα 19: Σύγκριση μέτρου ελαστικότητας μείγματος Ασβεστόλιθου-60/70 και RAP-60/70.

Το ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα, θεωρείται βιώσιμη εναλλακτική λύση έναντι των φυσικών υλικών, επειδή μειώνει την ανάγκη για τα πιο ακριβά συστατικά του ασφαλτοσκυροδέματος, δηλαδή τα φυσικά αδρανή που λειτουργούν ως συνδετικό υλικό της ασφάλτου. Ως αποτέλεσμα, το ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα (RAP) έχει γίνει ολοένα και πιο ελκυστικό υλικό και η χρήση του έχει αυξηθεί σημαντικά. (Bong "et al.", 2018)

3.3 Έγχυση με ψεκασμό (Spray injection Patching)

Η διαδικασία ψεκασμού – έγχυσης αποτελεί μια εργασία επιδιόρθωσης που μπορεί να εκτελεστεί από ελάχιστο αριθμό προσωπικού δηλαδή δύο ατόμων και ενός φορτηγού. Με εξαίρεση τον έλεγχο / διακοπή της κυκλοφορίας, η διαδικασία επιδιόρθωσης δύναται να ελεγχθεί από την καμπίνα του φορτηγού, μειώνοντας έτσι τους κινδύνους από την διερχόμενη κυκλοφορία και τον κίνδυνο προξένησης ατυχημάτων. (Maupin "et al.", 2003)

Μέσω αυτής της μεθόδου, πραγματοποιείται επισκευή εγκάρσιων ρωγμών και λακκούβων, ωστόσο μπορούν να πραγματοποιηθούν και άλλων ειδών επισκευές σε φθορές όπως, σε ρηγματώσεις τύπου αλιγάτορα, καθιζήσεις, τομές δικτύων (ΟΚΩ) και αποτυχημένων προηγούμενων επιδιορθώσεων με ασφαλτικό υλικό. (Johnson "et al.", 2000)

Οι κρατικές υπηρεσίες οδοποιίας προτιμούν τη μέθοδο ψεκασμού και έγχυσης έναντι άλλων μεθόδων, επειδή η επισκευή λακκούβων με αυτή τη μέθοδο τον χειμώνα, παρέχει καλύτερα αποτελέσματα από τη χρήση σκέτων ψυχρών μειγμάτων. (Bong "et al.", 2018)

Όπως αναφέρθηκε η μέθοδος εφαρμόζεται μέσω εξειδικευμένων μηχανήματων επιδιόρθωσης οδοστρωμάτων, τα οποία διαθέτουν ακροφύσιο με υψηλή πίεση αέρα. Με τη βοήθεια αυτού μπορούν να ψεκάζουν υπο πίεση τόσο ασφαλτικό γαλάκτωμα όσο και αδρανή υλικά. (Hajj "et al.", 2021)

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Strategic Highway Research Program (SHRP) στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές του 1990 κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος ψεκασμού και έγχυσης ήταν η λιγότερο δαπανηρή και παρείχε σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής επισκευής σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. (Bong "et al.", 2018).

Η φιλοσοφία της μεθόδου λειτουργεί με βάση την αρχή του ψεκασμού αδρανούς υλικού και γαλακτώματος με ταχεία ροή αέρα. Μέσω του ειδικού ακροφυσίου εκτόξευσης, το αδρανές υλικό επικαλύπτεται με γαλάκτωμα μέσα στη ροή αέρα, δημιουργώντας ένα μίγμα που επιτρέπει την ταχεία και ανθεκτική επισκευή φθαρμένων οδοστρωμάτων. (Road Patching System TURBO – Εγχειρίδιο λειτουργίας).

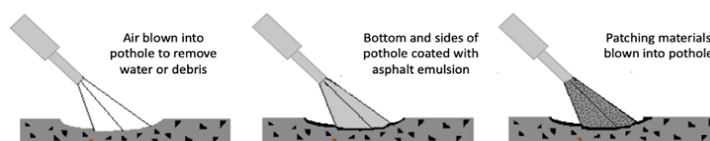
Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά γαλακτώματα και αντίστοιχα διαφορετικοί τύποι αδρανών, αρκεί το τελικό αποτέλεσμα να είναι ένα μίγμα με τη σωστή σύσταση. Για τον λόγο αυτό, κάθε γαλάκτωμα πρέπει να εξετάζεται λεπτομερώς ως προς τη συμβατότητά του με το χρησιμοποιούμενο αδρανές υλικό. Το καταλληλότερο γαλάκτωμα είναι το κατιονικό με μέτριο έως γρήγορο χρόνο πήξης. Η χρήση γαλακτωμάτων που περιέχουν εύφλεκτους διαλύτες απαγορεύεται. (Road Patching System TURBO – Εγχειρίδιο λειτουργίας)

Παρόλο που η εργασία με το μηχάνημα δεν είναι δύσκολη, είναι απαραίτητο να γνωρίσει κανείς καλά το μηχάνημα και τα χειριστήρια του και να διαθέτει εξοικείωση και εμπειρία. Η άριστη γνώση του εξοπλισμού αποτελεί τη βάση για την ποιοτική επιδιόρθωση

οδοστρώματος, καθώς ο χειριστής μπορεί να ρυθμίζει τον όγκο του παρεχόμενου πεπιεσμένου αέρα, τις ποσότητες γαλακτώματος και του αδρανούς υλικού. (Road Patching System TURBO – Εγχειρίδιο λειτουργίας)

Τα γενικά βήματα της μεθόδου spray injection, βλέπε εικόνα 20, περιλαμβάνουν:

1. Καθαρισμό της πληγείσας - κατεστραμμένης περιοχής με πεπιεσμένο αέρα. Εφαρμόζεται μια ισχυρή ριπή αέρα για να απομακρυνθούν χαλίκια, σκόνη, χώμα και πιθανώς νερό από την περιοχή που θα επιδιορθωθεί. Σκοπός της παρούσας ενέργειας είναι ο καθαρισμός και η ξήρανση της πληγείσας περιοχής.
2. Χρήση του ακροφυσίου του μηχανήματος για την εφαρμογή ενός συγκολλητικού στρώματος γαλακτώματος στα τοιχώματα και στον πυθμένα της πληγείσας περιοχής. Αυτή η ενέργεια πραγματοποιείται για την βελτίωση της πρόσφυσης του ασφαλτοσκυροδέματος που θα διαστρωθεί στη συνέχεια.
3. Έπειτα γίνεται η εκτόξευση συνδυασμού αδρανές υλικού και γαλακτώματος με τη βοήθεια του πεπιεσμένου αέρα τα οποία διοχετεύονται με πίεση μέσα στη λακκούβα, βλέπε εικόνα 20.
4. Τέλος γίνεται εφαρμογή ενός τελικού στρώματος ξηρού αδρανούς υλικού στην επιφάνεια, βλέπε εικόνα 20. (Εγχειρίδιο μηχανήματος, Straßmayr). Αυτή η ενέργεια πραγματοποιείται για να μην υπάρξει πρόβλημα κατά την απόδοση της κυκλοφορίας προς χρήση από τα οχήματα και πιο συγκεκριμένα για να μην «κολλήσει» η άσφαλτος στα ελαστικά των οχημάτων.



Εικόνα 20: Σκαρίφημα μεθόδου έγχυσης με ψεκασμό.

Η εν λόγω μέθοδος, ελαχιστοποιεί τα παραγόμενα απόβλητα της ψυχρής κατασκευής ενώ υπάρχει σημαντική μείωση εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Η εφαρμογή της μεθόδου δύναται να πραγματοποιηθεί και σε υγρό περιβάλλον.

Κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι η διαδικασία ολόκληρης της επισκευής είναι πολύ γρήγορη και γίνεται με ελάχιστη διαταραχή της κυκλοφορίας, ενώ ο δρόμος δίνεται αμέσως για χρήση από την κυκλοφορία.

Τόσο τα αδρανή υλικά όσο και το ασφαλικό γαλάκτωμα εξαρτώνται από τις προδιαγραφές και τα διαθέσιμα τοπικά υλικά. (Hajj "et al.", 2021)

Σύμφωνα με μελέτες που διεξάχθηκαν στις ΗΠΑ όπου εφαρμόστηκε η μέθοδος ψεκασμού – έγχυσης, σχεδόν σε κάθε επιδιόρθωση είχε σημειωθεί κάποιος βαθμός φθοράς ή αστοχίας ήδη από την πρώτη αξιολόγηση, και οι επιδιορθώσεις που τοποθετήθηκαν στη Route 419, στον πρωτεύοντα δρόμο, είχαν παρουσιάσει εξίδρωση ασφάλτου μέσα στον πρώτο μήνα. Οι αξιολογητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέση διάρκεια ζωής των επιφανειακών επιδιορθώσεων ήταν περίπου 1 έτος. (Maurin "et al.", 2003)

3.4 Σφράγιση ρωγμών

Η σφράγιση ρωγμών έχει αναδειχθεί ως μια ευρέως χρησιμοποιούμενη και οικονομικά αποδοτική στρατηγική προληπτικής συντήρησης, η οποία αποκαθιστά τη δομική ακεραιότητα του οδοστρώματος και παρατείνει τη διάρκεια ζωής του. (Min, "et al.", 2025)

Η σύγχρονη συντήρηση οδοστρώματων βασίζεται κυρίως σε δύο μεθόδους επισκευής ρωγμών: την τεχνική σφράγισης με ταινία (tape-sealing) και τη μέθοδο σφράγισης με υλικά σφράγισης ρωγμών (crack sealant-sealing). (Min, "et al.", 2025)

Μεταξύ των διαθέσιμων στρατηγικών επισκευής ρωγμών, συγκεκριμένες μέθοδοι - όπως μικροεπιφάνεια (microsurfacing), σφράγιση, φρεζάρισμα και ανακατασκευή, ή αυτοκόλλητες ταινίες σφράγισης, εφαρμόζονται ανάλογα με την έκταση της ρωγμής. Η τεχνολογία σφράγισης ρωγμών, έχει αναδειχθεί λόγω της απλής διαδικασίας εφαρμογής και της οικονομικής της αποδοτικότητας. (Min, "et al.", 2025)

Η διαδικασία πλήρωσης των ρωγμών με εξειδικευμένα υλικά σφράγισης, αποσκοπεί στα εξής: αποκατάσταση της δομικής ακεραιότητας και της επιφανειακής συνέχειας του οδοστρώματος, παρεμπόδιση της διείσδυσης υγρασίας στα βαθύτερα στρώματα (της βάσης και υπόβασης), αποτροπή της μείωσης της φέρουσας ικανότητας του εδάφους λόγω αυξημένης υγρασίας και επιβράδυνση της περαιτέρω διάδοσης των ρωγμών. (Min, "et al.", 2025)

Οι αποκαταστάσεις των ρωγμών, συμβάλλουν σε σημαντική παράταση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος. Η μακροχρόνια αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων σφράγισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη ποιότητα και την ανθεκτικότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών. Υλικά υψηλής απόδοσης πρέπει να χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να διατηρούν ελαστική συμπεριφορά υπό μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες και δυναμικά φορτία, με σκοπό την αποτροπή δευτερογενής ρηγμάτωσης και φαινόμενα αποκόλλησης μετά την επισκευή. (Min, "et al.", 2025)

Για τις εργασίες πλήρωσης ρωγμών, τα υλικά σφράγισης πρέπει να διαθέτουν ένα ολοκληρωμένο σύνολο χαρακτηριστικών, όπως υψηλή ρευστότητα για επαρκή διείσδυση στις ρωγμές, ισχυρή πρόσφυση για ανθεκτική διεπιφανειακή σύνδεση, επαρκή ευκαμψία έναντι παραμορφώσεων για την προσαρμογή σε αυξημένο κυκλοφοριακό φορτίο και διαστασιακή σταθερότητα υπό μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι ιδιότητες αυτές διασφαλίζουν ότι τα υλικά μπορούν να διεισδύουν αποτελεσματικά στη γεωμετρία των ρωγμών, να δημιουργούν ισχυρούς δεσμούς με τις επιφάνειες, να αντέχουν στους κύκλους παραμόρφωσης του οδοστρώματος χωρίς αστοχία και να διατηρούν την αντιρηγματική τους απόδοση καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. (Min, "et al.", 2025)

3.4.1 Σφράγιση με ταινία

Ως αναδυόμενη τεχνολογία που προωθείται ευρέως σήμερα, οι μέθοδοι σφράγισης με υλικά σφράγισης ρωγμών, εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο για την επισκευή μικρο-ρωγμών σε ασφατικά οδοστρώματα. Στη σύγχρονη τεχνική συντήρησης οδών, παραδοσιακά υλικά όπως η θερμή και η γαλακτωματοποιημένη άσφαλτος εξακολουθούν να αποτελούν βασικές επιλογές για σφράγιση ρωγμών.

Ωστόσο, τα συμβατικά αυτά υλικά παρουσιάζουν περιορισμούς. Η θερμή άσφαλτος εμφανίζει σημαντικές τεχνικές αδυναμίες, καθώς ουσιαστικά καλύπτει μόνο τις επιφάνειες της ρωγμής, παρουσιάζει χαμηλή πρόσφυση στα τοιχώματα και είναι ιδιαίτερα επιρρεπής σε επαναρηγμάτωση υπό χαμηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα, η γαλακτωματοποιημένη άσφαλτος υπερτερεί ως προς τη διεισδυτικότητα, αλλά η αντοχή και η πρόσφυσή της μετά την πήξη είναι κατώτερες σε σχέση με τα θερμώς εφαρμοζόμενα υλικά, ενώ η συνολική της ανθεκτικότητα παραμένει ανεπαρκής. (Min, "et al.", 2025)

Η τεχνική σφράγισης με ταινία εφαρμόζει μηχανική συμπίεση αυτοκόλλητων ταινιών σφράγισης για το κλείσιμο των ρωγμών, λειτουργώντας ως μια επιφανειακή λύση τύπου

band-aid για τις ρηγματώσεις του οδοστρώματος. Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί διάνοιξη της ρωγμής (crack routing), απαιτείται μόνο καθαρισμός της επιφάνειας πριν την εφαρμογή, γεγονός που αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα αποκατάστασης και αποτρέπει τις δευτερογενείς φθορές που προκαλούνται από τις εργασίες διάνοιξης.

Η εφαρμογή της μεθόδου στο πεδίο και η παρακολούθηση της από τους (Li, "et al.", 2013) έδειξαν προσωρινή απουσία αστοχίας νέας ρηγμάτωσης στις περισσότερες εγκατεστημένες ταινίες. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική μόνο για ρηχές ρωγμές. Η παρατεταμένη κυκλοφοριακή φόρτιση οδηγεί σε αποκόλληση της ταινίας, με τη συγκολλητική ουσία να μεταφέρεται στα ελαστικά των οχημάτων, προκαλώντας απώλεια υλικού και χαμηλά ποσοστά διατήρησης της επισκευής σε βάθος χρόνου. (Min, "et al.", 2025)

Η συγκριτική ανάλυση δείχνει ότι, παρότι η τεχνική ταινίας σφράγισης προσφέρει πλεονεκτήματα για την ταχεία αντιμετώπιση ρηχών επιφανειακών ρωγμών, οι περιορισμοί της ως προς την ανθεκτικότητα και το περιορισμένο πεδίο εφαρμογής μειώνουν την απόδοσή της σε βάθος χρόνου. Αντίθετα, η τεχνολογία σφράγισης με σφραγιστικά υλικά επιτυγχάνει πλήρη πλήρωση του βάθους και του πλάτους της ρωγμής μέσω καινοτόμων υλικών. Σε συνδυασμό με την εξαιρετική ικανότητα πρόσφυσης, η μέθοδος αυτή αποδεικνύεται ασυναγώνιστη στην αντιμετώπιση των βλαβών από υγρασία και στην παράταση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος.

Κατά συνέπεια, η σφράγιση με σφραγιστικά υλικά δεν αποτελεί απλώς την κυρίαρχη τεχνική επισκευής σήμερα, αλλά και τον θεμέλιο λίθο της συστηματικής συντήρησης ρωγμών. Η εφαρμογή της σύμφωνα με τις προδιαγραφές, βελτιώνει σημαντικά την απόδοση και τη λειτουργικότητα του οδοστρώματος. (Min, "et al.", 2025)

3.4.2 Micro surfacing

Η μέθοδος Micro-surfacing αποτελεί μια σύγχρονη τεχνική προληπτικής συντήρησης, η οποία διακρίνεται από την εφαρμογή ενός τροποποιημένου μίγματος γαλακτώματος ασφάλτου με πολυμερή και λεπτόκοκκα αδρανή υλικά. Η μέθοδος αυτή ξεχωρίζει για την ευελιξία και την ανθεκτικότητά της, καθώς δημιουργεί ένα ανθεκτικό και προστατευτικό στρώμα πάνω από την υπάρχουσα επιφάνεια του οδοστρώματος. (Lee, "et al.", 2023)

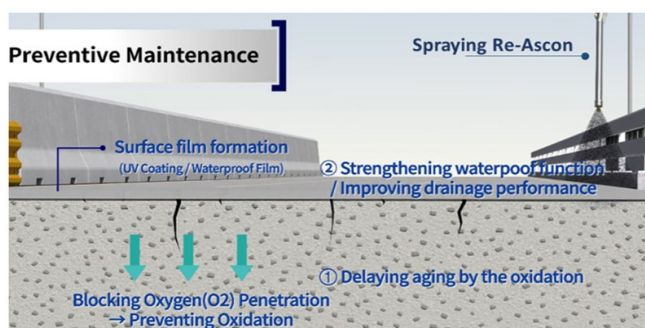
Πέρα από τον προστατευτικό της ρόλο, η εφαρμογή της μεθόδου Micro-surfacing παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες για ουσιαστικές δομικές βελτιώσεις στο οδόστρωμα, ενισχύοντας και την φέρουσα ικανότητα του. (Wang "et al.", 2019).

Η τροποποίηση του ασφαλτικού γαλακτώματος με πολυμερή, προσδίδει επιπλέον ανθεκτικότητα στην επιφάνεια, ενισχύοντας την αντίστασή της σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις και φθορές που προκαλούνται από την κυκλοφορία. Αυτά τα πλεονεκτήματα καθιστούν τη Micro-surfacing μια ολοκληρωμένη μέθοδο προληπτικής συντήρησης, ικανή να αντιμετωπίσει τόσο λειτουργικές όσο και αισθητικές ανάγκες του οδοστρώματος (Cui "et al.", 2020).

3.4.3 Μέθοδος Re-Ascon

Η μέθοδος Re-Ascon, βλέπε εικόνα 21, αποτελεί μια ιδιαίτερη τεχνική προληπτικής συντήρησης, η οποία περιλαμβάνει την προσεκτική εφαρμογή ενός λεπτού στρώματος τροποποιημένης ασφάλτου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ειδικά σχεδιασμένης για την αναζωογόνηση και ενίσχυση του υπάρχοντος οδοστρώματος. Όταν το Re-Ascon, ένα συστατικό του Micro-Bitumen Polymer, εφαρμοστεί στην επιφάνεια ενός ασφαλτικού δρόμου, σχηματίζεται μια λεπτή στρώση που σφραγίζει γρήγορα την επιφάνεια του οδοστρώματος από τον αέρα και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Αυτή η προστατευτική στρώση ενεργοποιεί μια χημική διεργασία που παράγει αέρια και ουσιαστικά «αναγεννάει» ουσίες δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση την άσφαλτο. Το παραγόμενο αέριο μπορεί να διεισδύσει έως και 10 mm κάτω από την επιφάνεια, διευκολύνοντας την αποκατάσταση και ανάκτηση της υποβαθμισμένης ασφάλτου. (Lee, "et al.", 2024)



Εικόνα 21: Η μέθοδος Re-Ascon.

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος Re-Ascon περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός λεπτού στρώματος τροποποιημένης ασφάλτου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για την αναζωογόνηση και ενίσχυση των υφιστάμενων επιφανειών οδοστρώματος. Στόχος της αποτελεί η βελτίωση της επιφανειακής ποιότητας και της δομικής ακεραιότητας μέσω της σφράγισης του εξωτερικού αέρα και της ενεργοποίησης μιας χημικής διεργασίας αναγέννησης υλικών. Αντίθετα, η μέθοδος micro-surfacing χρησιμοποιεί διαδικασία ψυχρής εφαρμογής, συνδυάζοντας γαλακτώματα ασφάλτου τροποποιημένα με πολυμερή, αδρανή υλικά, νερό και πρόσθετα. Το μίγμα αυτό εφαρμόζεται ως ομοιογενές στρώμα, προσφέροντας ταχεία πήξη και αυξημένη ανθεκτικότητα. (Lee, "et al.", 2024)

Οι διαδικασίες κατασκευής του Re-Ascon απαιτούν προσεκτική εφαρμογή του ασφατικού μίγματος, ενώ η μέθοδος micro-surfacing πραγματοποιείται επί τόπου με εξειδικευμένο εξοπλισμό που αναμιγνύει και εφαρμόζει το ψυχρό μίγμα απευθείας στην προετοιμασμένη επιφάνεια. Αυτές οι διαφορές στη σύσταση των υλικών και στις διαδικασίες κατασκευής, αναδεικνύουν τα μοναδικά χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές κάθε μεθόδου στη διατήρηση οδοστρώματων. (Lee, "et al.", 2024)

Ο κύριος στόχος της μεθόδου Re-Ascon είναι η αναβάθμιση τόσο της επιφανειακής ποιότητας όσο και της δομικής ακεραιότητας του οδοστρώματος. Η συχνή εφαρμογή της σε πρακτικές προληπτικής συντήρησης, προσφέρει μια ουσιαστική προσέγγιση διατήρησης του οδοστρώματος, αντιμετωπίζοντας όχι μόνο δομικά ζητήματα αλλά και βελτιώνοντας την αισθητική της οδικής επιφάνειας.

Η ικανότητα της μεθόδου να αναζωογονεί γηρασμένες επιφάνειες και ταυτόχρονα να τις ενισχύει απέναντι στις καταπονήσεις της κυκλοφορίας την καθιστά ως μια από τις καλύτερες μεθόδους της προληπτικής συντήρησης. (Lee, "et al.", 2024)

3.4.4 Μέθοδος Fog-seal

Η μέθοδος Fog-seal αποτελεί μια καίρια τεχνική προληπτικής συντήρησης, η οποία χαρακτηρίζεται από την προσεκτική εφαρμογή γαλακτωματοποιημένης ασφάλτου, η οποία ψεκάζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η μέθοδος αυτή έχει σχεδιαστεί με κύριο στόχο τον περιορισμό της γήρανσης της ασφάλτου και τη βελτίωση της συνολικής ανθεκτικότητας της δομής του οδοστρώματος. Η γαλακτωματοποιημένη ασφαλτος, όταν εφαρμοστεί, σχηματίζει ένα προστατευτικό στρώμα που σφραγίζει τις επιφανειακές ρωγμές, ενισχύοντας έτσι το οδόστρωμα απέναντι στις επιβλαβείς επιδράσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Η μέθοδος Fog-seal δεν έγκειται μόνο στην ικανότητα της να αντιμετωπίζει υπάρχουσες επιφανειακές φθορές, αλλά και στις προληπτικές της δυνατότητες, λειτουργώντας προληπτικά απέναντι σε μελλοντικές βλάβες. Με αυτόν τον τρόπο, η μέθοδος συμβάλλει ουσιαστικά στη διατήρηση της λειτουργικότητας και της μακροζωίας του οδοστρώματος, καθιστώντας την μια σημαντική επιλογή στο πλαίσιο των στρατηγικών μεθόδων προληπτικής συντήρησης. (Lee, "et al.", 2024)

Η εφαρμογή της Fog seal χρησιμοποιείται για:

- τη σφράγιση και τον εμπλουτισμό της επιφάνειας ασφαλτοτάπητα,
- τη σφράγιση μικρών ρωγμών,
- την αποτροπή αποσάθρωσης,
- την οριοθέτηση μεταξύ του κύριου οδοστρώματος και του ερείσματος.

Στα μειονεκτήματα της μεθόδου καθίσταται το γεγονός ότι έπειτα από την εφαρμογή της μεθόδου στην πληγείσα περιοχή του οδοστρώματος, εκείνο δεν μπορεί να δοθεί στην κυκλοφορία αμέσως και πρέπει να περάσουν τουλάχιστον τρεις ώρες. (Johnson, "et al.", 2000)

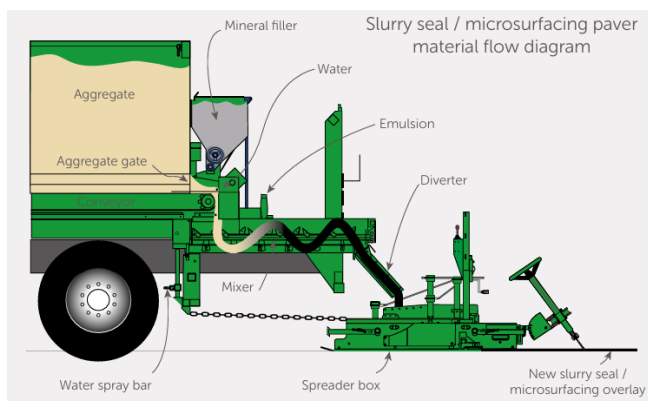
3.4.5 Slurry Seal

Τα συστήματα επιφανειακής επικάλυψης slurry (slurry seal και microsurfacing), βλέπε εικόνα 22, είναι λεπτές ψυχρές επικαλύψεις με γαλάκτωμα ασφάλτου, οι οποίες αναγνωρίζονται ως οικονομικά αποδοτικές τεχνικές αποκατάστασης και προληπτικής συντήρησης για οδοστρώματα σχεδόν για όλους τους τύπους κυκλοφορίας (διαδρόμους προσγείωσης και απογείωσης αεροπλάνων, αυτοκινητοδρόμους, ερείσματα, πεζοδρόμια, πεζόδρομους ποδηλατοδρόμους και χώρους στάθμευσης). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως στρώσεις κυκλοφορίας πάνω σε βάσεις σταθεροποιημένες με γαλάκτωμα ή σε ανακυκλωμένα οδοστρώματα, ως στρώσεις συγκόλλησης και για πλήρωση ρωγμών.

Το μίγμα slurry ή microsurfacing παρασκευάζεται σε ένα κινητό μηχάνημα ανάμιξης «Slurry Paver», το οποίο περιέχει όλα τα συστατικά (αδρανή, γαλάκτωμα ασφάλτου, νερό, πρόσθετα υλικά και προαιρετικά υλικά ίνες και χρωστικές). Τα συστατικά αυτά τροφοδοτούνται στις σωστές αναλογίες σε έναν ελικοειδή ή πτερυγιοφόρο αναμικτήρα, όπως ένας pug mill, ώστε να παραχθεί το slurry, το οποίο στη συνέχεια εκφορτώνεται στο

κουτί διάστρωσης. Συνήθως τα αδρανή και το τσιμέντο εισέρχονται πρώτα στον αναμκτήρα, ακολουθούμενα από το νερό και στη συνέχεια το γαλάκτωμα. Τα χημικά πρόσθετα εγχέονται στη γραμμή νερού.

Οι αναλογίες των συστατικών διατηρούνται σταθερές ανεξάρτητα από την ταχύτητα προώθησης ή τον ρυθμό εκφόρτωσης του μηχανήματος, είτε μέσω κοινής μετάδοσης που κινεί ογκομετρικές αντλίες για το νερό, το γαλάκτωμα, τα πρόσθετα, τα αδρανή υλικά, είτε μέσω ηλεκτρονικών ελέγχων. Η τροφοδοσία των αδρανών μπορεί να είναι ογκομετρική μέσω θυρίδας αδρανών ή να ελέγχεται με φορτιοκυψέλες στον μεταφορέα. Η σωστή βαθμονόμηση του μηχανήματος είναι ζωτικής σημασίας για επιτυχημένη εφαρμογή. (Slurry seal and microsurfacing, Nouryon, 2022)



Εικόνα 22: Διάταξη μεθόδου με τη χρήση slurry seal.

3.5 Θέρμανση με μικροκύματα

Οι Obaidi et al. πρότειναν μια ταχεία τεχνική επισκευής χρησιμοποιώντας πλακίδια ασφαλτικού μίγματος και επαγωγική θέρμανση (Obaidi et al., 2017; Obaidi, 2018), όπως φαίνονται στις φωτογραφίες 23 και 24. Οι λακκούβες καθαρίζονται, γεμίζονται με ασφαλτικά μίγματα και στη συνέχεια εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο υψηλής συχνότητας, ώστε να θερμανθούν οι χαλύβδινες πλάκες του μηχανήματος και να λιώσει το ασφαλτικό συνδετικό στη διεπιφάνεια συγκόλλησης. Η ανθεκτικότητα της επισκευής αναφέρθηκε ότι ήταν συγκρίσιμη με αυτήν ενός νέου οδοστρώματος. Επιπλέον, οι Cox et al. σημείωσαν ότι η προσθήκη χαλύβδινων αδρανών δηλαδή σκωριών μπορεί να επιτύχει πιο αποτελεσματική και ομοιόμορφη επαγωγική θέρμανση των HPMs (Cox et al., 2019).

Η εικόνα 23 (αριστερά) (από Nazzal et al., 2014) δείχνει έναν συνδυασμό υπέρυθρου θερμαντήρα με καύση προπανίου, ενώ στην εικόνα 24 παρουσιάζεται έναν άλλος τύπος υπέρυθρου θερμαντήρα κατά τη λειτουργία του.



Εικόνα 23: Εξοπλισμός μεθόδου θέρμανσης μέσω μικροκυμάτων.



Εικόνα 24: Εξοπλισμός μεθόδου θέρμανσης μέσω μικροκυμάτων και δίπλα η λειτουργία του.

Οι Byzyka et al. χρησιμοποίησαν δυναμική υπέρυθρη θέρμανση για αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του οδοστρώματος, βελτιώνοντας έτσι τη συγκόλληση μεταξύ θερμού ασφαλτικού μείγματος και του υπάρχοντος οδοστρώματος. (Wang "et al.", 2022)

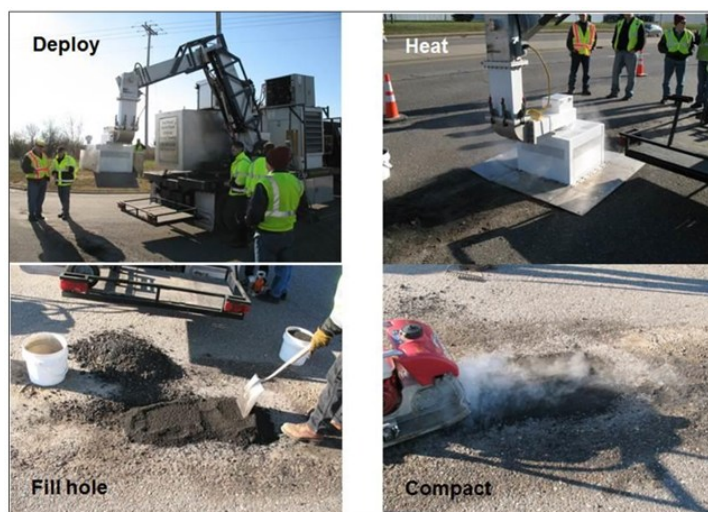
Μια πρόσφατη μελέτη του Πανεπιστημίου του Οχάιο (Nazzal et al., 2014) αξιολόγησε την δομική και την οικονομική απόδοση της μεθόδου επιδιόρθωσης λακκούβων που χρησιμοποιεί τη μέθοδο του υπέρυθρου θερμαντήρα ασφάλτου, και τη σύγκρινε με τις μεθόδους «throw and roll» (χειρωνακτική τοποθέτηση ασφαλτομείγματος) και της μεθόδου ψεκασμού με έγχυσης.

Η μελέτη των Nazzal et al. (2014) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος υπέρυθρης θέρμανσης μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικότερη από τη μέθοδο ψεκασμού με έγχυση

όταν χρησιμοποιείται για χειμερινές επιδιορθώσεις λακκούβων. Για βραχυπρόθεσμες επισκευές, η μέθοδος «throw and roll» βρέθηκε να κοστίζει λιγότερο από τη μέθοδο υπέρυθρης θέρμανσης, εφόσον δεν ληφθεί υπόψη το εργατικό κόστος.

Ωστόσο, για μόνιμες επισκευές, η μέθοδος υπέρυθρης θέρμανσης μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικότερη από τη μέθοδο «throw and roll». Συνοπτικά, ο ρυμουλκούμενος υπέρυθρος θερμαντήρας βρέθηκε να αποτελεί μια αποδοτική και οικονομική μέθοδο για την επιδιόρθωση συγκεκριμένων τύπων λακκούβων, καθώς και για άλλες επισκευές οδοστρώματος. (Zanko "et al.", 2016)

Επειδή ο εξοπλισμός μικροκυμάτων θερμαίνει το υπάρχον οδόστρωμα σε σημείο όπου εκείνο γίνεται μέρος της επισκευής, επιτυγχάνεται εξαιρετικός δεσμός μεταξύ του παλαιού και του νέου ασφαλικού υλικού. Κατά την άποψη του ερευνητή, ο θερμικός δεσμός που προκαλείται από τα μικροκύματα μεταξύ της επισκευής και του περιβάλλοντος οδοστρώματος είναι εκείνο το χαρακτηριστικό που καθιστά την τεχνολογία ανώτερη από τις υπόλοιπες μεθόδους επισκευής λακκούβων σε οδοστρώματα με θερμή άσφαλτο, ειδικά για επισκευές σε χειμερινό κλίμα. (Zanko "et al.", 2016)



Εικόνα 25: Στάδια μεθόδου θέρμανσης μέσω μικροκυμάτων.

3.6 Χρήση ασφαλτοϋφασμάτων ή ασφαλτοπλεγμάτων

Η ζήτηση για ασφαλικά μίγματα έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Στη Νότια Κορέα, ποσοστό άνω του 90% του οδικού δικτύου είναι ασφαλτοστρωμένο, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες το αντίστοιχο ποσοστό υπερβαίνει το 94% (National Asphalt

Pavement Association). Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση ασφαλτικών μίγμάτων εντείνει την πίεση στους φυσικούς πόρους αδρανών υλικών.

Παράλληλα, η ασφαλτικές επιστρώσεις παρουσιάζουν φθορές κατά τη διάρκεια της λειτουργικής τους ζωής, καθώς εκτίθεται σε περιβαλλοντικές επιδράσεις και κυκλοφοριακά φορτία. Συνεπώς, η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ασφαλτικού μίγματος όχι μόνο παρατείνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, αλλά συμβάλλει και στη μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων. (Sang "et al.", 2022)

Τα τελευταία χρόνια, για τη συντήρηση ή αποκατάσταση των ρηγματωμένων επιφανειών, χρησιμοποιούνται τα ασφαλτοϋφάσματα ή και τα ασφαλτοπλέγματα. Τα ασφαλτοϋφάσματα αποτελούνται από συνθετικές ή φυσικές ίνες και είναι της ίδιας μορφής και υφής με αυτά των γεωϋφασμάτων που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις από ασύνδετα αδρανή (κυρίως μεταξύ υπεδάφους και υπόβασης). Η βασική τους διαφορά είναι ότι τα ασφαλτοϋφάσματα είναι ανθεκτικά (δεν λιώνουν) στις υψηλές θερμοκρασίες, που έχει το ασφαλτόμιγμα κατά τη διάστρωση. Η ονομασία ασφαλτοϋφασμα χρησιμοποιείται για να γίνεται αντιδιαστολή με τα γεωϋφάσματα (geotextiles). (Νικολαΐδης, 2019)

Τα ασφαλτοπλέγματα, βλέπε εικόνα 26 είναι συνήθως πολυεστερικά υλικά ή από ίνες καλυμμένες με PVC, όμοια με τα ασφαλτοϋφάσματα που φέρουν και ένα μη πλεκτό υλικό για τη διευκόλυνση της τοποθέτησής τους και την επίτευξη συνεχούς δεσμού μεταξύ των στρώσεων. Εξυπακούεται ότι τα ασφαλτοπλέγματα είναι και αυτά στο σύνολο τους ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 26: Φωτογραφία ασφαλτοπλέγματος.

Με τη χρήση των υλικών αυτών λόγω της καλής εφελκυστικής τους αντοχής, επιβραδύνεται η εμφάνιση των ανακλαστικών ρωγμών στη νέα ασφαλτική επίστρωση. Επίσης, επειδή εμποτίζονται με ασφαλτο δρουν και ως υγρομονωτική στρώση, προστατεύοντας έτσι τις υποκείμενες στρώσεις από την καταστρεπτική επίδραση των επιφανειακών υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τη νέα ασφαλτική επίστρωση. Η χρήση τους σήμερα είναι αρκετά διαδεδομένη. (Νικολαΐδης, 2019)

Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι τα πλέγματα συμβάλλουν στη μείωση της μόνιμης παραμόρφωσης και στη βελτιωμένη κατανομή των κυκλοφοριακών φορτίων προς τα θεμέλια του οδοστρώματος (Shafer, 2021). Η μελέτη των Gonzalez-Torre έδειξε ότι τα πλέγματα ινών προσφέρουν υψηλή αντοχή σε ρηγματώση, ενώ τα πλέγματα ανθρακονημάτων βελτιώνουν την φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος. (Sang "et al.", 2022)

Το ασφαλτοϋφασμα ή το ασφαλτόπλεγμα, τοποθετείται επί της ρηγματωμένης επιφάνειας αφού προηγουμένως καθαριστεί επιμελώς και ψεκασθεί με συγκολλητική στρώση από ασφαλτικό κατιονικό γαλάκτωμα ταχείας διάσπασης, βλέπε εικόνα 27. Η ποσότητα που απαιτείται εξαρτάται από τον τύπο του υλικού και την κατάσταση της ρηγματωμένης επιφάνειας.



Εικόνα 27: Εφαρμογή ασφαλτοπλέγματος.

Η διάστρωση του ασφαλτοϋφάσματος ή του ασφαλτοπλέγματος, που διατίθεται σε ρολό (πλάτους συνήθως 3,5 – 4,0m και μήκους συνήθως 100m), γίνεται με κατάλληλο

διαμορφωμένο μηχάνημα. Κατά τη διάστρωση θα πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία πτυχώσεων και να επιδιώκεται η αλληλοκάλυψη των άκρων κατά 10-15 cm περίπου κατά την εγκάρσια διεύθυνση και κατά 5-10cm κατά τη διαμήκη διεύθυνση. Στα σημεία αλληλοκάλυψης, ψεκάζεται επί του ασφαλοϋφάσματος επιπλέον ποσότητα γαλακτώματος που βοηθά στη συγκόλληση των άκρων.

Σημειώνεται ότι τα υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις για ελάχιστη εφελκυστική αντοχή, για ελάχιστο ποσοστό επιμήκυνσης και για αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (>150C), που καθορίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ EN 15381, ή ASTM D7239. (Νικολαΐδης, 2019)

Σύμφωνα με το τεχνικό δελτίο της εταιρείας (Saint Gobain), η εγκατάσταση του ασφαλοπλέγματος μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα, ενώ η υψηλή του ανακυκλωσιμότητα το καθιστά κατάλληλο για μίγματα ανακυκλωμένου ασφαλομίγματος (RAP). (SAINT-GOBAIN ADFORS CZ s.r.o., 2022)

3.7 Μεμβράνη ή μίγμα απορρόφησης τάσεων (SAM) (stress absorbing membrane)

Η τεχνική αυτή είναι παρόμοια της απλής επιφανειακής επάλειψης με τη μόνη διαφορά ότι η ποσότητα του ασφαλικού υλικού που ψεκάζεται είναι μεγαλύτερη και το ασφαλικό συνδετικό υλικό είναι τροποποιημένη άσφαλτος.

Η τεχνική συνίσταται στη δημιουργία μιας μεμβράνης, πάχους περίπου 3,5mm, ικανής να αποσβένει τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται. Έτσι, η τεχνική έλαβε την ονομασία «stress absorbing membrane». Επί της δημιουργηθείσης μεμβράνης, διαστρώνονται μονόκοκκα αδρανή μεγέθους κόκκου 8-10mm ή 10-16mm, τα οποία κυλινδρώνονται ελαφρώς με λαστιχοφόρο οδοστρωτήρα.

Η μεμβράνη απόσβεσης των τάσεων δημιουργείται από τον ψεκασμό ειδικής τροποποιημένης (πολυμερούς) ασφάλτου μεγάλου ιξώδους. Η τεχνική αυτή, που αρχικά αναπτύχθηκε στην Αμερική και σύντομα εφαρμόστηκε στην Ευρώπη, έχει το πλεονέκτημα ότι αποφεύγεται η δημιουργία πτυχώσεων και διασφαλίζεται η καλή συγκόλληση της με την υποκείμενη στρώση. Επίσης, δεν απαιτείται η χρήση επιπλέον μηχανημάτων για τη διάστρωση της μεμβράνης, όπως στην περίπτωση του ασφαλοϋφάσματος.

Τα αδρανή που διαστρώνονται θα πρέπει να είναι σκληρά, κατάλληλα για αντιστοιχηρές στρώσεις. Η θερμοκρασία ψεκασμού της τροποποιημένης ασφάλτου δίνεται από τον κατασκευαστή και είναι συνήθως 170-200C.

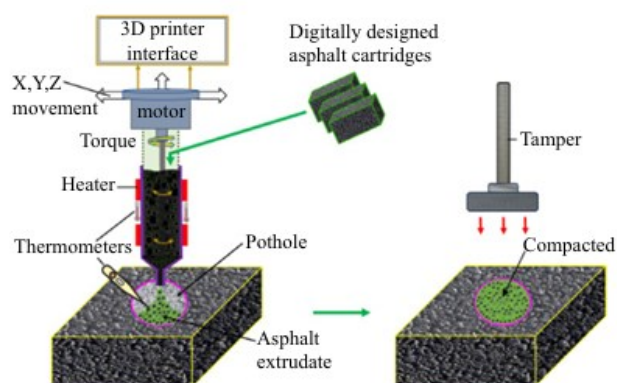
Η τεχνική αυτή όταν εφαρμόζεται, έχει σκοπό την προσωρινή συντήρηση του οδοστρώματος για την προστασία αυτού από περαιτέρω ρηγμάτωση και αποσάθρωση. (Νικολαΐδης, 2019)

3.8 Μεμβράνη οπλισμένη με ίνες (fibre reinforced membrane)

Η τεχνική αυτή είναι παρόμοια με την τεχνική SAM με τη μόνη διαφορά ότι αμέσως μετά τον ψεκασμό της ασφάλτου, διαστρώνονται κατάλληλες συνθετικές ή φυσικές ίνες και κατόπιν ακολουθεί νέος ψεκασμός της επιφάνειας. Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται με ειδικό μηχάνημα ψεκασμού και διασποράς των ινών. Επί της διαμορφωθείσης οπλισμένης μεμβράνης μπορεί να διαστρωθεί η ασφατική επίστρωση ή τα μονόκοκκα αδρανή, αναλόγως των περιπτώσεων. Οι ποσότητες που απαιτούνται ανά υλικό, προδιαγράφονται από τον παραγωγό όπως και ο τύπος της ασφάλτου που θα χρησιμοποιηθεί. Τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής είναι εξίσου καλά με αυτά που επιτυγχάνονται με ασφαλτοϋφασμα, πλην όμως το κόστος είναι αισθητά χαμηλότερο. (Νικολαΐδης, 2019)

3.9 Χρήση τροποποιημένου τρισδιάστατου εκτυπωτή (3d Printer)

Η παρούσα μέθοδος παρουσιάζει μια νέα προσέγγιση για την πλήρωση λακκούβων με ασφαλτόμιγμα με λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση. Η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιεί έναν τροποποιημένο τρισδιάστατο εκτυπωτή ως αυτοματοποιημένο μηχάνημα πλήρωσης λακκούβων ενσωματώνοντας την ψηφιακή παραγωγή «δοκιμίων» ασφάλτου και αυτοματοποιημένες διαδικασίες πλήρωσης που απαιτούν ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση, βλέπε εικόνα 28.



Εικόνα 28: Διάταξη της μεθόδου.

Στις δοκιμές που πραγματοποίησε ο (Awuah "et al.", 2024), πλήρωσε λακκούβες με ασφαλτόμιγμα με δύο διαφορετικές μεθόδους α) την χειρωνακτική πλήρωση και β) την πλήρωση με την χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή.

Η σύγκριση χειρωνακτικών και αυτοματοποιημένων τεχνικών πλήρωσης λακκούβων έδειξε ότι τα χειρωνακτικά γεμίσματα παρουσίασαν μεγαλύτερη αντοχή σε τροχοαυλάκωση λόγω πιο αποτελεσματικής συμπίκνωσης. Παρ' όλα αυτά, η αυτοματοποιημένη πλήρωση έδειξε ενθαρρυντικές δυνατότητες, επιτυγχάνοντας το 86% της αντοχής σε τροχοαυλάκωση των χειρωνακτικών γεμισμάτων. Αυτό υπογραμμίζει τη βιωσιμότητα της αυτοματοποίησης ως εναλλακτική λύση στις τρέχουσες χειρωνακτικές μεθόδους.

Τα ευρήματα της μελέτης αναδεικνύουν τη δυνατότητα ανάπτυξης «έξυπνων» μηχανημάτων ασφαλτόστρωσης, ικανών να επιλέγουν αυτόνομα μίγματα ασφάλτου ανάλογα με τις απαιτούμενες λειτουργίες, να τις παρασκευάζουν και να τα εφαρμόζουν για την επισκευή φθορών. Μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην κλιμάκωση αυτής της τεχνολογίας, με πλήρως αυτόνομα συστήματα ενσωματωμένα σε όλη τη διαδικασία επισκευής λακκούβων, για δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες. (Awuah "et al.", 2024)

3.10 Αυτοϊάσιμα υλικά

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην επιστήμη των υλικών, έχουν επιτρέψει σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση των υλικών σφράγισης μέσω της στρατηγικής ενσωμάτωσης νέων

προσθέτων, ιδιαίτερα νανοϋλικών, οδηγώντας σε αισθητά βελτιωμένη πρόσφυση και ανθεκτικότητα.

Η ασφαλτος, ως ένα χαρακτηριστικό ιξωδοελαστικό υλικό, μπορεί να επιδιορθώσει αυτόματα μικρορωγμές σε περιόδους που δεν υφίσταται καταπόνηση το οδόστρωμα από διερχόμενα κυκλοφοριακά φορτία, κάτι που θεωρείται εγγενής αυτοϊαση του ασφαλικού υλικού (García, 2012; Qiu et al., 2011; Sun et al., 2018b; Sun et al., 2020; Zhang, L. et al., 2018). Ωστόσο, η επίτευξη της βέλτιστης κατάστασης εγγενούς αυτοϊασης είναι ανέφικτη σε πραγματικές συνθήκες χρήσης της οδού λόγω της συνεχούς κυκλοφορίας και των απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών, οι οποίες περιορίζουν την ικανότητα του ασφαλικού συνδετικού υλικού να επιδιορθώνει τις μικρορωγμές. Για τον λόγο αυτό, έχουν εισαχθεί εξωγενείς μέθοδοι αυτοϊασης για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας επιδιόρθωσης ρωγμών στα ασφαλικά υλικά. (Pei Wan, 2023)

Η εμφάνιση «έξυπνων» υλικών σφράγισης με δυνατότητες αυτό-ανίχνευσης και αυτό-ίασης έχει εισαγάγει αυτόνομες λειτουργίες παρακολούθησης φθοράς, παρέχοντας καινοτόμες τεχνολογικές δυνατότητες για τη μετάβαση της συντήρησης οδοστρωμάτων προς πιο έξυπνα και πιο ακριβή συστήματα. Παράλληλα, οι εξελίξεις στις μη καταστροφικές τεχνικές δοκιμών, έχουν ενισχύσει τις δυνατότητες αξιολόγησης της ποιότητας επισκευής ρωγμών, επιτρέποντας τη γρήγορη και ακριβή εκτίμηση της πυκνότητας του υλικού σφράγισης και της κατάστασης του κατά τη λειτουργία. (Min, "et al.", 2025)

Η συνδυαστική εφαρμογή αυτών των τεχνολογικών προόδων, συμβάλλει στη βελτιωμένη ανθεκτικότητα των συστημάτων σφράγισης ρωγμών, επιτρέπει τη δυναμική παρακολούθηση και ποσοτική αξιολόγηση της εξέλιξης της φθοράς και παρέχει θεμέλια για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας σταθερότητας των επισκευασμένων οδοστρωμάτων. (Min, "et al.", 2025)

3.11 Ανακατασκευή βάσης οδοστρώματος με τη μέθοδο FDR

Η ανακύκλωση/ανακατασκευή πλήρους βάθους του οδοστρώματος με τη χρήση τσιμέντου τύπου Portland (FDR-PC) είναι μια τεχνική που μπορεί να αντιμετωπίσει τα περισσότερα είδη φθορών των παλαιών ασφαλικών οδοστρωμάτων. Η FDR-PC περιλαμβάνει την επιτόπου αναμόχλευση της υπάρχουσας ασφαλικής στρώσης και την ανάμειξή της με προκαθορισμένη ποσότητα του υποκείμενου υλικού βάσης, ενώ ταυτόχρονα αυτά τα υλικά

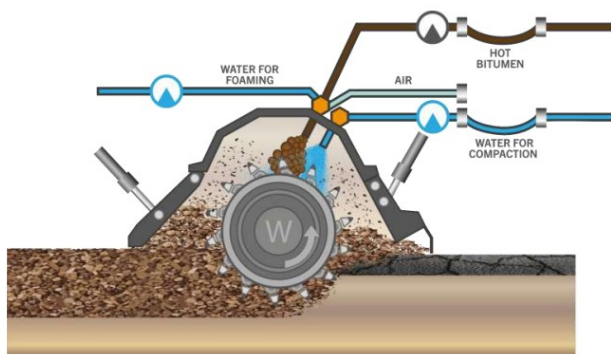
σταθεροποιούνται με τσιμέντο ώστε, μετά τη συμπύκνωση, να παραχθεί μια νέα στρώση βάσης (Fedrigo, "et al.", 2020)

Οι στρώσεις ανακυκλωμένου μίγματος ανακυκλωμένων ασφαλικών υλικών, υποκείμενων στρώσεων οδοστρωσίας και υλικού ρευστοποιητή είναι μια μέθοδος ανακατασκευής οδών, με την οποία δια ανακύκλωσης και ανάμειξης με υλικό ρευστοποιητή (τσιμέντο / ιπτάμενη τέφρα) του υπάρχοντος ασφαλικού ή μη οδοστρώματος και των υποκείμενων στρώσεων, δημιουργείται ένα νέο στρώμα βάσης. Αυτή η μέθοδος ενδείκνυται για την διάνομιξη νέων οδών ειδικά σε χωματόδρομους.

Οι υπο κατασκευή στρώσεις οδοστρωσίας αποτελούνται από ανακυκλωμένο ασφαλικό οδόστρωμα (RAP) (σε περίπτωση που η οδός είναι ασφαλοστρωμένη), ανακυκλωμένο υλικό βάσης, τσιμέντο (2–6% κατά βάρος των συνολικών αδρανών) και νερό (στη βέλτιστη περιεκτικότητα για συμπύκνωση). Η ποσότητα του RAP στο μίγμα εξαρτάται από το πάχος της ασφαλικής στρώσης και είναι συνήθως μικρότερη από το 50% των συνολικών αδρανών. (Fedrigo, "et al.", 2020)

Η διαδικασία ξεκινά με τον θρυμματισμό του οδοστρώματος (ασφαλικής στρώσης, υποκείμενης βάσης, υπόβασης ή και εδάφους), βλέπε εικόνα 29 και 30. Το θρυμματισμένο υλικό αναμιγνύεται ομοιόμορφα με το σταθεροποιητικό υλικό, όπως το τσιμέντο τύπου πόρτλαντ, και δημιουργείται ένα αναβαθμισμένο, ομοιογενές υλικό. (Τεχνική μελέτη έργου Δήμου Ασπροπύργου). Η αναμόχλευση, συνήθως πραγματοποιείται σε βάθος 100 mm έως 300 mm, αλλά τα σύγχρονα μηχανήματα ανακύκλωσης μπορούν να αναμοχλεύσουν υλικά σε βάθη έως 450 mm. Το μηχάνημα ανακύκλωσης / αναμόχλευσης αναμιγνύει τα υπάρχοντα υλικά με τσιμέντο ενώ ταυτόχρονα εγχέει την κατάλληλη ποσότητα νερού από τη δεξαμενή μέσα στον θάλαμο ανάμειξης. (Fedrigo, "et al.", 2020)

Η συμπύκνωση πραγματοποιείται γενικά με βαρείς δονητικούς οδοστρωτήρες με λεία τροχιά και δονητικούς οδοστρωτήρες με ποδοπέλματα, οι οποίοι λειτουργούν σε υψηλό εύρος δόνησης. Οι οδοστρωτήρες με ελαστικούς τροχούς πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή ώστε να μην απομακρύνουν το τσιμέντο. Το νέο αναμοχλευμένο υλικό της βάσης αφού διαστρωθεί, συμπίεζεται με την χρήση οδοστρωτήρα και δημιουργεί μια άκαμπτη, σταθεροποιημένη βάση. (Fedrigo, "et al.", 2020)



Εικόνα 29: Αναπαράσταση μεθόδου FDR.

Η μέθοδος φέρει πολλά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων τα ακόλουθα:

- Οικονομία στην χρήση πρώτων υλών,
- Αυξημένη δομική ικανότητα,
- Συντομευμένο χρονοδιάγραμμα κατασκευής,
- Επαναχρησιμοποίηση υπαρχόντων υλικών,
- Μειωμένο ανθρακικό αποτύπωμα.

Αναλυτικότερα, με τη χρήση επιτόπιων υλικών, δηλαδή με την αναμόχλευση της ήδη υπάρχουσας ασφαλικής στρώσης δεν απαιτείται να αφαιρεθεί το υπάρχον οδόστρωμα.



Εικόνα 30: Σκαρίφημα αναμοχλευτή / ανακυκλωτή.

Πρόκειται για μια οικολογική μέθοδο η οποία αξιοποιεί με επί τόπου ανακύκλωση τα υπάρχοντα υλικά, ενώ παράλληλα περιορίζει την χρήση νέων υλικών λατομείου. (Τεχνική

μελέτη έργου Δήμου Ασπροπύργου). Υπογραμμίζεται ότι με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι απαιτούμενες μεταφορές που ενδεχομένως θα απαιτούνταν σε περίπτωση κλασσικής μεθόδου αποκατάστασης και συνάμα γίνεται συμβολή στην μείωση εκπομπών ρύπων.

Η μέθοδος αυξάνει την δομική ικανότητα του νέου οδοστρώματος παρέχοντας ισχυρότερη και πιο σταθερή βάση της οδού. Τα πλέον τροποποιημένα στρώματα του οδοστρώματος και υπεδάφους γίνονται μια νέα βάση οδοστρώματος με βελτιωμένη δομή. Επιπλέον, η άκαμπτη βάση μειώνει τις παραμορφώσεις που δέχεται λόγω των φορτίων κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να υπάρχουν χαμηλότερες καταπονήσεις στην ασφαλική επιφάνεια. Αυτό το γεγονός, καθυστερεί την εμφάνιση επιφανειακών καταπονήσεων, όπως ρωγμές λόγω κόπωσης ενώ έτσι παρατείνεται η διάρκεια ζωής του νέου οδοστρώματος. (Τεχνική μελέτη έργου Δήμου Ασπροπύργου).

Η κατασκευή μειώνει το συνολικό χρονοδιάγραμμα κατασκευής, συμβάλλοντας στην ελαχιστοποίηση της ταλαιπωρίας για χρήστες της οδού, καθώς ολοκληρωμένα τμήματα οδών μπορούν να δοθούν αμέσως για χρήση από την κυκλοφορία. (Τεχνική μελέτη έργου Δήμου Ασπροπύργου)

Στα μειονεκτήματα της μεθόδου, η εκτέλεση της εργασίας απαιτεί υψηλή εξειδίκευση του προσωπικού, εξειδικευμένο μηχανολογικό εξοπλισμό και πολλούς εργαστηριακούς ελέγχους και σύμφωνα με την ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-17-00.

Πέραν αυτών, όπως έγινε αναφορά παραπάνω, το βάθος της αναμόχλευσης δύναται να πραγματοποιηθεί σε βάθος που κυμαίνεται από 100mm έως 300mm. Στον Ελλαδικό χώρο υπάρχει κίνδυνος να υποστούν ζημιές τα δίκτυα οργανισμών κοινής ωφέλειας (ΟΚΩ), δεδομένου ότι σε πολλές αστικές οδούς παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της ελλιπής καταγραφής τόσο της πορείας της διέλευσης τους όσο και του βάθους που έχουν εγκιβωτιστεί. Περαιτέρω, σε αυτό το σημείο έχουν συμβάλει και οι τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις καθώς πραγματοποιούνται συνεχώς εργασίες εγκατάστασης οπτικών ινών οι οποίες έχουν κατακλίσει τα Ελληνικά οδοστρώματα, προσθέτοντας ακόμη έναν κίνδυνο. Συνοψίζοντας, σε περίπτωση που η μελέτη αφορά την ανακατασκευή αστικής οδού και όχι κάποιου χωματόδρομου, η έγκαιρη προμήθεια με τα σχέδια δικτύων ΟΚΩ της εξεταζόμενης οδού από τις οικείες υπηρεσίες καθώς και η διενέργεια ερευνητικών τομών αποτελεί πανάκεια των περισσότερων προβλημάτων που ενδέχεται να προξηγηθούν από την διεξαγωγή της μεθόδου.

4. Μελέτη Περίπτωσης

Ο Δήμος Ασπροπύργου αποτελεί αδιαμφισβήτητα μια από τις βιομηχανικότερες περιοχές στην Αττική. Προς απόδειξη αυτού, τα τελευταία χρόνια ο Δήμος φιλοξενεί ένα όλο και μεγαλύτερο ευρύ φάσμα βιομηχανικών εγκαταστάσεων όπως αποθήκες logistics, διυλιστήρια, βαριές βιομηχανίες, χαλυβουργίες, βιομηχανίες πλαστικών καθώς και κέντρα διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών. Χαρακτηριστικά, το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του Δήμου καλύπτεται από τις προαναφερόμενες βιομηχανίες που σταδιακά κατακλύζουν την περιοχή, καθιστώντας την ως έναν από τους βασικότερους πυλώνες του εμπορίου και βιομηχανίας της Αττικής.

Ως εκ τούτου, ο Δήμος Ασπροπύργου κατέχει πρωταρχικό ρόλο στην οικονομία της χώρας καθώς οι περισσότερες βιομηχανίες της περιοχής τροφοδοτούν τόσο την Αττική όσο και την υπόλοιπη Ελλάδα με προϊόντα διαφόρων ειδών, πρώτες ύλες και καύσιμα. Έτσι λοιπόν, συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι ένας τέτοιος Δήμος που αποτελεί κινητήριο δύναμη της οικονομικής δραστηριότητας της βιομηχανίας της Αττικής, θα όφειλε να έχει ένα εξίσου εξυπηρετικό και οργανωμένο οδικό δίκτυο δίχως ελαττώματα και προβλήματα για τους χρήστες του.

Ωστόσο, στην πραγματικότητα, αυτό δεν ισχύει καθώς το οδικό δίκτυο του Δήμου έχει κατασκευαστεί τις προηγούμενες δεκαετίες με τις κυκλοφοριακές μελέτες να μην έχουν λάβει υπόψιν τον σημερινό κατά πολύ αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο. Αναλυτικότερα, το οδικό δίκτυο καλείται να υποστηρίξει χιλιάδες μετακινήσεις οχημάτων με πλειονότητα βαριά οχήματα, τα οποία προκαλούν τακτικές φθορές στο οδόστρωμα. Ενδεικτικά, τέτοιες φθορές αποτελούν οι λακκούβες, αλιγοτορικές ρωγμές, ρηγματώσεις ακόμη και καθιζήσεις.

Συνέπεια όλων των παραπάνω φθορών αποτελούν οικονομικές επιβαρύνσεις στις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην περιοχή καθώς δημιουργούνται καθυστερήσεις κατά τις παραδόσεις των προϊόντων και των πρώτων υλών. Ακόμη, οικονομικές επιβαρύνσεις υφίστανται και οι απλοί χρήστες των οδών, καθώς οι φθορές στο οδόστρωμα και ειδικότερα οι λακκούβες προξενούν φθορές στις αναρτήσεις και στα ελαστικά των οχημάτων.

Ενδεικτικά, στη συνέχεια αναφέρονται μερικά παραδείγματα από εργασίες επισκευής φθορών οδοστρωμάτων που έχουν πραγματοποιηθεί στον Δήμο Ασπροπύργου.

4.1 Μέθοδος ψυχρής επι τόπου ανακύκλωσης με χρήση σταθεροποιητή

Στα πλαίσια της διεξαγωγής διανοίξεων νέων οδών στην περιοχή Νεόκτιστα του Δήμου Ασπροπύργου, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω μέθοδος που αναλύθηκε και στην παράγραφο 3.11.

Ανάλυση μεθόδου:

Για την διενέργεια της μεθόδου της ψυχρής επι τόπου ανακύκλωσης συνετέλεσε το γεγονός ότι το εδαφικό υλικό της περιοχής χαρακτηρίζεται ως γαιωβραχώδες το οποίο γενικά αποτελεί από τα καλύτερα εδαφικά υλικά που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση έδρασης των οδοστρωμάτων.

Προϋπόθεση για την διεξαγωγή της μεθόδου αποτελεί η χρησιμοποίηση ενός ειδικού μηχανήματος τύπου αναμοχλευτή εδαφικού υλικού, ενδεικτικής μάρκας (Wirtgen) το οποίο ουσιαστικά αναμοχλεύει / ανακυκλώνει το ήδη υπάρχων εδαφικό υλικό αν πρόκειται για μη διανοιγμένη οδό (χωματόδρομος) είτε ασφαλτικό υλικό (αν πρόκειται για ήδη υφιστάμενη ασφαλτοστρωμένη οδό). Εξυπακούεται το γεγονός ότι πριν την διεξαγωγή της μεθόδου, απαιτείται πλήθος εργαστηριακών ελέγχων όπως κοκκομετρική ανάλυση, προσδιορισμός ισοδύναμου άμμου, αντίσταση σε θρυμματισμό (Los Angeles) και προσδιορισμός ορίων Atterberg.

Διαδικασία:

Η διαδικασία ξεκινάει με την οριοθέτηση των διαστάσεων της μελλοντικής οδού σύμφωνα με την εκπονηθείσα μελέτη από ειδικό συνεργείο τοπογράφων. Αφού οριοθετηθεί η έκταση της νέας οδού με τη χρήση πασσάλων, σειρά έχει η διασπορά του υλικού που θα λειτουργήσει ως σταθεροποιητής (Στο συγκεκριμένο έργο αυτό είναι το τσιμέντο).

Υπό κανονικές συνθήκες, η διασπορά του υλικού που θα λειτουργήσει ως σταθεροποιητής γίνεται από ειδικό όχημα (Spreader), βλέπε εικόνα 31. Στο συγκεκριμένο προτζεκτ αφενός λόγω έλλειψης ύπαρξης τέτοιου μηχανήματος στον Ελλαδικό χώρο και αφετέρου επειδή το προτζεκτ δεν είναι τόσο μεγάλης έκτασης, χρησιμοποιήθηκε μια ειδική δεξαμενή τσιμέντου/ασβέστη, βλέπε εικόνα 32, όγκου 3m³. Υπογραμμίζεται ότι η περιεκτικότητα του μίγματος σε τσιμέντο ορίζεται από ειδικά πιστοποιημένα εργαστήρια η οποία προσδιορίζεται από την διενέργεια πλήθους εργαστηριακών δοκιμών που αναφέρονται και στην προηγούμενη παράγραφο σε συνδυασμό και με βάση την εμπειρία και ιστορικών στοιχείων για στρώσεις από τσιμεντόδετο ανακυκλωμένο υλικό.



Εικόνα 31: Μηχάνημα Spreader.



Εικόνα 32: Μηχάνημα αναμοχλευτή με την ειδική δεξαμενή τσιμέντου.

Συνοψίζοντας, το ειδικό μηχάνημα του αναμοχλευτή αρχικά πραγματοποιεί ένα πέρασμα από την υπο διαμόρφωση οδό διανέμοντας το υλικό σταθεροποίησης (τσιμέντο), βλέπε εικόνα 32. Εν συνεχεία, στο δεύτερο πέρασμα του θέτει σε λειτουργία τον αναμοχλευτή και κατόπιν, ορίζεται το βάθος ανάδευσης σύμφωνα με την μελέτη. Σημειώνεται ότι όλες οι ποσότητες διάστρωσης καθώς και το βάθος ανακύκλωσης ρυθμίζονται αυτόματα από ειδικό λογισμικό του οχήματος.

Έτσι λοιπόν, ξεκινά ο θρυμματισμός του οδοστρώματος (ασφαλτικής στρώσης, υποκείμενης βάσης, υπόβασης) αν πρόκειται για ήδη ασφαλτοστρωμένη οδό, είτε του εδαφικού υλικού (αν πρόκειται για χωματόδρομο). Το θρυμματισμένο υλικό αναμιγνύεται ομοιόμορφα με το σταθεροποιητικό υλικό (τσιμέντο), σε συνδυασμό με νερό το οποίο διανέμεται επίσης από το ειδικό μηχάνημα και έτσι δημιουργείται ένα ομοιογενές υλικό στρώμα βάσης, βλέπε εικόνα 33.



Εικόνα 33: Στιγμιότυπο διαδικασίας. (Νέα βάση οδού).

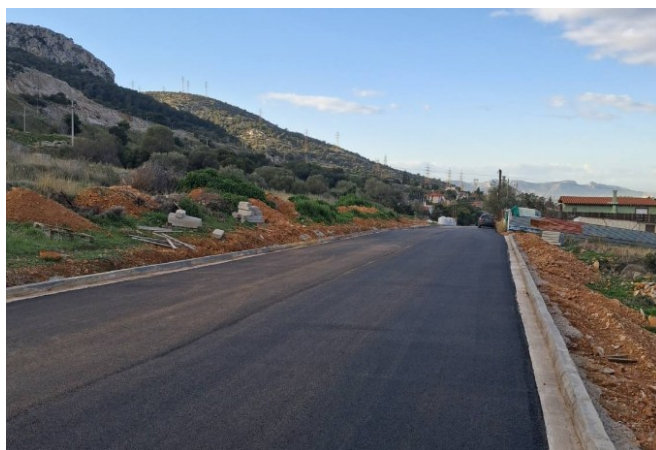
Τα συστατικά υλικά μιας τέτοιας στρώσης είναι ανακυκλωμένο ασφαλτικό οδόστρωμα (RAP) ή εδαφικό υλικό ενδεχομένως με θρυμματισμένο βράχο, ανακυκλωμένο υλικό βάσης, τσιμέντο (2-6% κατά βάρος των συνολικών αδρανών) και νερό (στη βέλτιστη περιεκτικότητα για συμπίκνωση).

Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω μέθοδος, η νέα βάση της οδού απαιτείται να διαμορφωθεί και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανήματος ισοπέδωσης γαιών (Grader) και οδοστρωτήρα. Συγκεκριμένα, το μηχάνημα Grader ευθυγραμμίζει την νέα βάση (δίνοντας παράλληλα τις επιθυμητές κλίσεις), ενώ ο οδοστρωτήρας την συμπυκνώνει έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη συμπίκνωση, βλέπε εικόνα 34.

Στην συνέχεια πραγματοποιείται η συνήθης τυπική μέθοδος ασφαλτόστρωσης σύμφωνα με τα πάχη της εγκεκριμένης μελέτης και η οδός αποκτά την τελική της μορφή, βλέπε εικόνα 35.



Εικόνα 34: Διαμόρφωση νέα βάσης οδού.

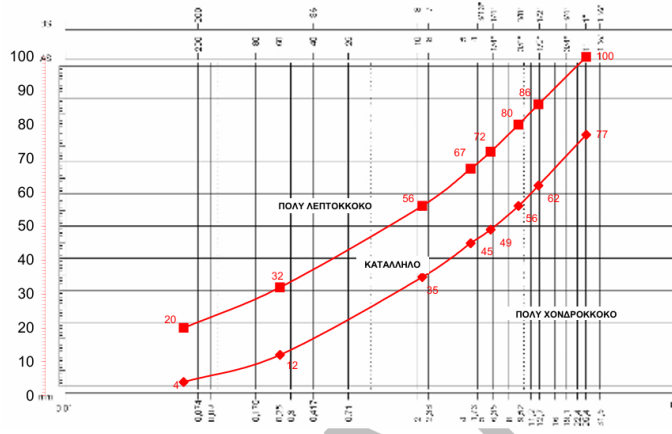


Εικόνα 35: Τελικό αποτέλεσμα οδού.

Ποιοτικός έλεγχος:

Για την εξακρίβωση του ποιοτικού ελέγχου της μεθόδου εφαρμόζονται διάφορες εργαστηριακές μελέτες. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με την ΠΕΤΕΠ 05-03-02-03 (έκδοση 1.0, Μάιος 2006), τα στοιχεία του ανακυκλωτή όπως η ταχύτητα περιστροφής τυμπάνου και η ταχύτητα προώθησης συρμού πρέπει να προσαρμόζονται κατάλληλα ώστε να επιτυγχάνεται η πλησιέστερη στη μελέτη σύνθεσης κοκκομετρία, βλέπε εικόνα 36. Ακόμη, τα στοιχεία του μικροεπεξεργαστή του ανακυκλωτή για την παροχή νερού και λοιπών προσθέτων υγρών υλικών πρέπει να παρακολουθούνται στενά από το προσωπικό.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΕΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΨΥΧΡΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΦΡΩΔΟΥΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ Η/ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ



Εικόνα 36: Ιδανική καμπύλη κοκκομετρίας βάσει ΠΕΤΕΠ 05-03-02-03.

Ακόμη, σύμφωνα με την ίδια ΠΕΤΕΠ για τον έλεγχο του ανακυκλωμένου υλικού λαμβάνονται δείγματα από τυχαίες θέσεις πίσω από τον συρμό ανακύκλωσης τα οποία σφραγίζονται για να διατηρηθεί η υγρασία τους. Από τα δείγματα αυτά δημιουργούνται πυρήνες Marshall για να γίνει εύρεση της διατμητικής τάσης του υλικού και να συγκριθεί με την προσδοκώμενη από την μελέτη σύνθεσης και αντοχής. (ΠΕΤΕΠ 05-03-02-03, 2006).

Πέραν αυτών, δειγματοληψίες οφείλουν να γίνονται και για την διαπίστωση του πάχους της στρώσης, του φαινόμενου βάρους, του ποσοστού κενών (AASHTO : T-166) και του ποσοστού ασφάλτου (AASHTO : T-30). Επιπροσθέτως, στους ελέγχους καταλογίζεται και ο έλεγχος του βαθμού συμπίκνωσης ο οποίος εξακριβώνεται μέσω της τροποποιημένης μεθόδου Proctor σε δοκίμια.

4.2 Έγχυση ψυχρού ασφαλτομίγματος με ψεκασμό

Στα πλαίσια της αντιμετώπισης των ολοένα και συχνότερα εμφανιζόμενων λακκούβων στα οδοστρώματα του Δήμου Ασπροπύργου, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω πρωτοποριακή μέθοδος που αναλύθηκε και στην παράγραφο 3.3.

Ανάλυση μεθόδου:

Η μέθοδος της έγχυσης ψυχρού ασφαλτομίγματος με ψεκασμό, αποτελεί μια σύγχρονη μέθοδο η οποία ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες λόγω της ταχύτητας της αποκατάστασης, καθώς και επειδή η πληγείσα περιοχή του οδοστρώματος δίνεται απευθείας για χρήση από την κυκλοφορία δίχως να δημιουργείται όχληση.

Για την επίτευξη του ποιοτικού ελέγχου της μεθόδου ακολουθείται το πρότυπο BS 10947:2019.

Προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί η χρήση ειδικών αυτοκινούμενων μηχανημάτων, βλέπε εικόνα 37 τα οποία διαθέτουν δεξαμενές ασφαλικού γαλακτώματος, νερού, αδρανών υλικών καθώς και βραχίονα με ακροφύσιο. Για την διεξαγωγή της μεθόδου απαιτούνται μόνο δύο άτομα προσωπικού οδηγός και χειριστής. Επιπροσθέτως, η εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να γίνει υπο οποιαδήποτε καιρική συνθήκη ακόμη και σε υγρό περιβάλλον, ενώ ξεχωρίζει για το μειωμένο ανθρακικό της αποτύπωμα.



Εικόνα 37: Αυτοκινούμενο μηχάνημα (Road Patcher).

Διαδικασία:

Αρχικά, για την διεξαγωγή της μεθόδου απαιτείται η προμήθεια των κατάλληλων βάσει μελέτης σύνθεσης αδρανών υλικών. Για την συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης προτιμήθηκε ασφαλικό γαλάκτωμα τύπου KE-1 καθώς και δύο τύποι αδρανών υλικών (χονδρόκοκκα

και λεπτόκοκκα) από γρανιτικά και βαλσατικά πετρώματα. Εν συνεχεία, τα υλικά τοποθετούνται στις δύο διαφορετικές ειδικές δεξαμενές του μηχανήματος χωρίς να αναμειχθούν μεταξύ τους. Το ειδικό μηχάνημα διαθέτει δύο δεξαμενές για την αποθήκευση των αδρανών υλικών τα οποία χωρίζονται σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα και μια δεξαμενή για την αποθήκευση του ασφαλικού γαλακτώματος.

Μετέπειτα, τα υλικά θα αναμειχθούν στην απαιτούμενη δοσολογία σύμφωνα με την ρύθμιση που θα εφαρμόσει ο χειριστής. Σημειώνεται ότι το μηχάνημα διαθέτει θερμαινόμενη δεξαμενή για την απαιτούμενη θέρμανση του ασφαλικού γαλακτώματος, ενώ η δοσολογία του μείγματος προσδιορίζεται ανάλογα με τον τύπο του οδοστρώματος, τις καιρικές συνθήκες και φυσικά της εκπονηθείσας μελέτης. Αφού πραγματοποιηθούν τα παραπάνω βήματα, το ειδικό όχημα είναι έτοιμο προς λειτουργία.

Το ειδικό όχημα αφού μεταβεί στο σημείο που χρήζει αποκατάσταση πραγματοποιεί τις εξής ενέργειες:

- Αρχικά, τίθεται σε λειτουργία ο ειδικός βραχίονας που βρίσκεται στο εμπροσθεν τμήμα του οχήματος με το ακροφύσιο. Από το χειριστήριο του, ρυθμίζεται για να εξάγει μόνο πεπιεσμένο αέρα έτσι ώστε να καθαριστεί η πληγείσα περιοχή από τυχών νερά, θρυμματισμένα / σαθρά υλικά, αποκολλημένα αδρανή υλικά, σκόνη και χώμα, βλέπε εικόνα 38. Τονίζεται ότι για την βέλτιστη δυνατή ποιότητα, οφείλεται να δίνεται η μέγιστη επιμέλεια στον καθαρισμό της επιφάνειας πριν την επιδιόρθωση.



Εικόνα 38: Εξαγωγή πεπιεσμένου αέρα.

- Στην συνέχεια ο ειδικός βραχίονας με το ακροφύσιο ρυθμίζεται έτσι ώστε να ψεκάζει μόνο ασφαλικό γαλάκτωμα ως συγκολλητικό υλικό στην πληγείσα

περιοχή για να λειτουργήσει ως συνδετικό υλικό του οδοστρώματος με το ασφαλτόμιγμα, βλέπε εικόνα 39.



Εικόνα 39: Εξαγωγή επάλειψης.

- Αφού εξασφαλιστεί ότι η πληγείσα περιοχή (λακκούβα) έχει καλυφθεί πλήρως με το γαλάκτωμα, τίθεται σε λειτουργία το ακροφύσιο έτσι ώστε να ψεκάζει το αναμειγμένο πλέον ασφαλτόμιγμα (ασφαλτικό γαλάκτωμα και χονδρόκοκκο αδρανές υλικό), βλέπε εικόνα 40. Σημειώνεται ότι για βέλτιστο αποτέλεσμα, η ανάμειξη γίνεται σε δύο στρώσεις, μια στρώση με γαλάκτωμα και χονδρόκοκκο αδρανές υλικό και μια με γαλάκτωμα και λεπτόκοκκο αδρανές υλικό. Η πληγείσα περιοχή γεμίζεται έτσι ώστε να καλυφθεί πλήρως με το ασφαλτόμιγμα, και να είναι στο ίδιο επίπεδο με το οδόστρωμα χωρίς να δημιουργεί κοιλώματα ή κυρτώματα. Χάρη στο ακροφύσιο με την δυνατότητα του να εξάγει το ασφαλτόμιγμα υπο υψηλή πίεση δεν απαιτείται επιπλέον χρήση δονητικής πλάκας ή οδοστρωτήρα καθώς το μείγμα αυτοσυμπυκνώνεται από κάτω προς τα πάνω. Είναι επιθυμητό να αποφεύγεται η υπερβολική ποσότητα γαλακτώματος στο μίγμα, επειδή ένα μίγμα με υψηλή αναλογία γαλακτώματος χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να σκληρύνει. Από την άλλη πλευρά, αν το αδρανές υλικό δεν είναι επαρκώς κορεσμένο με γαλάκτωμα, η επισκευή δεν διαρκεί σε βάθος χρόνου.



Εικόνα 40: Εξαγωγή ασφαλτομίγματος.

- Τέλος, το ακροφύσιο ρυθμίζεται έτσι ώστε να εξάγει μόνο λεπτόκοκκο αδρανές υλικό το οποίο εκτοξεύεται με πίεση στην επιδιορθωμένη περιοχή με σκοπό να δημιουργηθεί μια προστατευτική στρώση η οποία θα βελτιώσει την πρόσφυση των ελαστικών των οχημάτων και έτσι δεν πρόκειται να αποκολληθούν από την διερχόμενη κυκλοφορία.

Η επιδιόρθωση γίνεται σε ελάχιστο χρονικό πλαίσιο και ο δρόμος δίνεται αμέσως προς χρήση από την κυκλοφορία. Η μέθοδος σίγουρα δίνει άμεση λύση στην επίλυση του προβλήματος στις οδικές μεταφορές και είναι οικονομική, ωστόσο θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω μελέτες για την εξακρίβωση της ποιότητας της σε βάθος χρόνου. Παρακάτω στις εικόνες 41 και 42 παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό από επεμβάσεις στην περιοχή του Ασπροπύργου σε αποκατάσταση λακκούβας και αλιγατορικής ρωγμής αντίστοιχα.



Εικόνα 41: Αποκατάσταση λακκούβας στον Ασπρόπυργο (πριν και μετά).



Εικόνα 42: Αποκατάσταση αλγατορικής ρωγμής (Πριν και μετά).

Ποιοτικός έλεγχος:

Για την εξακρίβωση του ποιοτικού ελέγχου της μεθόδου εφαρμόζεται η βρετανική μέθοδος Snowball test του πρότυπου BS 10947:2019. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται αξιολόγηση της συνοχής, της εργασιμότητας και της απορροής συνδετικού υλικού των ασφαλτικών υλικών μέσω χειροκίνητης ανάμιξης ενός μικρού δείγματος υλικών, ώστε να προσομοιωθεί η διαδικασία spray injection patching. Το υλικό μορφοποιείται με τα χέρια ώστε να σχηματιστεί μία μπάλα. (BS 10947:2019)

Συνοπτικά, με τη μέθοδο αυτή δημιουργείται μια μπάλα από συγκεκριμένης ποσότητας γαλάκτωμα και αδρανούς υλικού η οποία αφήνεται να σταθεί για 15 λεπτά. Σε περίπτωση που δεν μπορέσει να σχηματιστεί η μπάλα ή αν η μπάλα διαλύεται το μίγμα απορρίπτεται. (BS 10947:2019)

4.3 Ενίσχυση οδοστρώματος με τη χρήση ασφαλοπλέγματος

Στα πλαίσια της αντιμετώπισης των ολοένα και συχνότερων εμφανιζόμενων λακκούβων και φθορών του οδοστρώματος σε μία από τις εμπορικότερες και κορεσμένες από κυκλοφορία βαρέων οχημάτων οδούς του Δήμου Ασπροπύργου δηλαδή της οδού Αγίας Σοφίας, πραγματοποιήθηκε η παρακάτω μέθοδος που αναλύθηκε και στην παράγραφο 3.6.

Ανάλυση μεθόδου:

Τα τελευταία χρόνια σε μια προσπάθεια να πραγματοποιηθεί βελτίωση της ποιότητας των μηχανικών ιδιοτήτων του ασφαλικού μείγματος καθώς και της παράτασης της διάρκειας ζωής του στο οδόστρωμα, χρησιμοποιούνται ευρέως τα ασφαλοϋφάσματα ή τα ασφαλοπλέγματα ως υλικό ενίσχυσης. Αναλυτικότερα, λόγω της εφελκυστικής τους αντοχής, επιβραδύνουν την ανάπτυξη ρωγμών και συμβάλλουν στην μείωση της μόνιμης παραμόρφωσης του οδοστρώματος.

Ιστορικό - Διαδικασία:

Αρχικά, η οδός της Αγίας Σοφίας, βλέπε εικόνα 43, επειδή όπως αναφέρθηκε αποτελεί μια από τις εμπορικότερες οδούς του Δήμου Ασπροπύργου, απαιτήθηκε εκτενής μελέτη για την οργάνωση των συνεργειών επέμβασης.

Αναλυτικότερα η προς ενίσχυση οδός, αποτελεί δίοδο ένωσης μεγάλης κυκλοφορίας βαριών οχημάτων (Βυτιοφόρων, φορτηγών μεταφοράς πρώτων υλών) από την Αττική οδό στον Δήμο Ασπροπύργου και όχι μόνο. Ακόμη, το γεγονός ότι η οδός φιλοξενεί τις εισόδους μεγάλων βιομηχανιών, εταιρειών και αποθηκών logistics κατέστησε την διενέργεια των εργασιών τις πρωινές ώρες αδύνατη, γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκαν να διεξαχθούν οι εργασίες βραδινές ώρες και κυρίως σαββατοκύριακα όπου η οδός δεν έχει την ίδια ιδιαίτερα μεγάλη κίνηση.



Εικόνα 43: Οδός Αγ. Σοφίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της μεγάλης διέλευσης βαριάς κυκλοφορίας καθώς και ότι σε αρκετά σημεία επικρατεί στένωση της οδού (μείωση του πλάτους του οδοστρώματος) αφενός η κυκλοφορία ωθείται να διέρχεται με αρκετά χαμηλή ταχύτητα και αφετέρου δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση, βλέπε εικόνα 44. Αποτέλεσμα του συνδυασμού των παραπάνω γεγονότων, συνιστά το γεγονός ότι στο οδόστρωμα σχηματίζονται κοιλώματα και αλγιοτορικές ρωγμές σχεδόν στο μεγαλύτερο μήκος της οδού. Όλες αυτές οι φθορές αποτελούν απόρροια της παραμονής υψηλού κυκλοφοριακού φορτίου (Δηλαδή των βαριών οχημάτων) στο οδόστρωμα εξαιτίας και των στενώσεων της οδού.



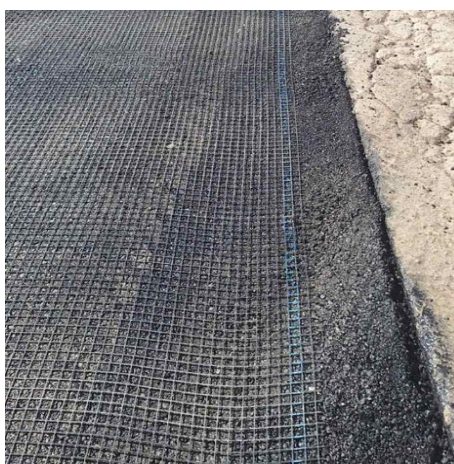
Εικόνα 44: Ρωγμές στο οδόστρωμα της οδού.

Οι εργασίες ξεκίνησαν με το ασφαλές κλείσιμο της οδού πρώτα στο ένα της ρεύμα κυκλοφορίας και έπειτα στο επόμενο. Το οδόστρωμα, φρεζαρίστηκε πλήρως και στην συνέχεια καθαρίστηκε με την χρήση ειδικής σκούπας που συνδέεται σε φορτωτή πλάγιας ολίσθησης. Σε σημεία όπου το φρεζαρισμένο πλέον οδόστρωμα είχε λακκούβες ή κοιλότητες, εκείνες πληρώθηκαν σε στρώσεις με την χρήση θραυστού αδρανές υλικού οδοστρωσίας (3Α). Σημειώνεται ότι μετά από κάθε στρώση (3Α), το υλικό διαβρέχεται και εν συνεχεία συμπυκνώνεται με την χρήση οδοστρωτήρα, σε όσες φορές απαιτηθούν ούτως ώστε να καλυφθεί πλήρως το κοίλωμα και να επιτευχθεί το απαιτούμενο ύψος.

Αφού έγινε διασφάλιση ότι το οδόστρωμα είχε απαλλαχθεί απο λακκούβες και κοιλότητες πραγματοποιήθηκε εφαρμογή ασφαλικής προεπάλειψης με τη χρήση μηχανήματος φινισερ. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε εφαρμογή ασφαλικής συγκολλητικής και έγινε διάστρωση ισοπεδωτικής στρώσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μελέτης.

Πριν την εφαρμογή της τελικής στρώσης κυκλοφορίας έγινε η εφαρμογή του πλέγματος ενίσχυσης από ίνες υάλου, βλέπε εικόνα 45. Σημειώνεται ότι η εφαρμογή του πλέγματος δύναται να γίνει μετά την ισοπεδωτική στρώση αλλά και μετά το φρεζαρισμένο οδόστρωμα. Το πλέγμα διαστρώθηκε με χειροκίνητο εξοπλισμό με την απαιτούμενη επιμέλεια. Επειδή απαιτήθηκαν δύο πλευρικές στρώσεις πλέγματος για να καλύψουν το πλάτος του οδοστρώματος, αυτό είχε ως αποτέλεσμα η διαμήκης αλληλοεπικάλυψη του πλέγματος να είναι 5cm όπως ορίζουν οι οδηγίες του κατασκευαστή.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η τελική στρώση κυκλοφορίας και η οδός παραδόθηκε προς χρήση.



Εικόνα 45: Εφαρμογή πλέγματος.

5. Συμπεράσματα

Η βιομηχανική ανάπτυξη μιας χώρας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ποιότητα των οδοστρωμάτων και του δικτύου οδικών μεταφορών. Οι οδικές μεταφορές αποτελούν τον πρωταρχικό τρόπο διακίνησης και εφοδιασμού αγαθών και πρώτων υλών σε επιχειρήσεις, επομένως η ποιότητα των οδοστρωμάτων οφείλεται να βρίσκεται σε επιθυμητό επίπεδο ούτως ώστε να εξυπηρετούνται οι χρήστες της δίχως προβλήματα. Παράλληλα, φθορές στο οδόστρωμα όπως λακκούβες, αλγαιατικές ρωγμές και καθιζήσεις μειώνουν την ποιότητα οδήγησης, προκαλούν ζημιές και συνάμα οικονομικά προβλήματα σε οχήματα ενώ αυξάνουν τον κίνδυνο προξένησης τροχαίων ατυχημάτων.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο συνεχώς αυξανόμενος κυκλοφοριακός φόρτος, η ελλιπής έως μηδαμινή συντήρηση και οι ανεξέλεγκτες επεμβάσεις με ορύγματα από εταιρείες παροχής τηλεπικοινωνιών είναι μερικές από τα πολλαπλές αιτίες που προκαλούν φθορές στα Ελληνικά οδοστρώματα. Αυτές οι αιτίες σε συνδυασμό με τα ολοένα και λιγότερα οικονομικά κονδύλια που καλούνται να εντοπίσουν οι οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης, έχουν πλέον αναδείξει την σοβαρότητα του προβλήματος.

Τα τελευταία χρόνια, εναλλακτικές τεχνολογίες αποκατάστασης φθορών οδοστρωμάτων, άρχισαν να αποκτούν διεθνώς μεγαλύτερη απήχηση λόγω της καινοτομίας, του χαμηλού κόστους τους και των περιβαλλοντικά φιλικών χαρακτηριστικών τους. Εμβαθύνοντας, οι νέες αυτές μέθοδοι, καλούνται να δώσουν λύσεις που εξυπηρετούν όχι μόνο τις δομικές αλλά και οικονομικές απαιτήσεις, ενώ παράλληλα η ποιότητα της επιδιόρθωσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε να έχει διάρκεια στο χρόνο.

Γίνεται αναφορά σε αρκετές νέες μεθόδους, ωστόσο, εξαιτίας της συσχέτισης της επαγγελματικής πορείας του συγγραφέα με το αντικείμενο της εργασίας, επιλέχθηκαν να τονισθούν ορισμένες από τις αναφερόμενες μεθόδους οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Εξεταζόμενες μέθοδοι της εργασίας όπως η μέθοδος έγχυσης ψυχρού ασφαλτομίγματος με ψεκασμό καλύπτουν τα αναφερόμενα κριτήρια δείχνοντας αξιόλογες δυνατότητες όπως:

- Μειωμένο ανθρακικό αποτύπωμα,
- Ταχύτητα επιδιόρθωσης της πληγείσας περιοχής,

- Ταχύτητα απόδοσης της οδού για χρήση από την διερχόμενη κυκλοφορία.

Ωστόσο, παρά την αδιαμφισβήτητη συμβολή της στην αποκατάσταση των φθορών στα οδοστρώματα κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή περαιτέρω μελετών για την εξακρίβωση της ποιότητας της σε βάθος χρόνου.

Μια εξίσου υψηλού αξιοσημείωτη και εξεταζόμενη μέθοδος είναι εκείνη της ψυχρής επιτόπου ανακύκλωσης με χρήση σταθεροποιητή. Μέσω αυτής της μεθόδου, η βάση και ο ασφαλικός τάπητας της οδού ανακυκλώνονται και με την χρήση υλικού σταθεροποιητή όπως το τσιμέντο Portland ενισχύεται η φέρουσα ικανότητα της νέας πλέον βάσης της οδού. Αυτή η μέθοδος διαπρέπει στην διάνοιξη νέων οδών και στην ενίσχυση των βάσεων των οδοστρωμάτων. Εμβαθύνοντας, ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν τα παρακάτω:

- Οικονομία στην χρήση πρώτων υλών,
- Αυξημένη δομική ικανότητα οδοστρώματος,
- Επαναχρησιμοποίηση υπαρχόντων υλικών,
- Μειωμένο ανθρακικό αποτύπωμα.

Ωστόσο, παρά τις δυνατότητες που προσφέρει αυτή η καινοτόμα μέθοδος, τα μειονεκτήματα της όπως ο μεγάλος αριθμός εργαστηριακών ελέγχων και η αυξημένη τεχνογνωσία που οφείλει να διαθέτει το εργατοτεχνικό προσωπικό την καθιστούν λιγότερο ελκυστική για ευρεία εφαρμογή. Επιπροσθέτως, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου στον Ελλαδικό χώρο θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς το βάθος ανακύκλωσης της οδού όπου θα πραγματοποιηθεί η ανακύκλωση θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αποφευχθούν φθορές σε δίκτυα κοινής ωφέλειας εξαιτίας της άναρχης χωροθέτησης τους στα Ελληνικά οδοστρώματα.

Συμπερασματικά, παρά τις υφιστάμενες προκλήσεις που παρουσιάζουν οι νέες και καινοτόμες μέθοδοι, η υιοθέτηση τους σε συνδυασμό με ένα ορθώς οργανωμένο πλαίσιο κρίνεται αποδοτική.

Ως εκ τούτου, μεταξύ άλλων, οι μελετητικές εταιρείες και οι τεχνικές υπηρεσίες των ΟΤΑ οφείλουν να αναλάβουν δράση ώστε να ενθαρρύνουν την επιλογή τους κατά την εκπόνηση μελετών, ώστε οι ίδιες να διαδοθούν περαιτέρω ενώ παράλληλα όλο και περισσότερες

τεχνικές εταιρείες θα ενδιαφερθούν για να εξελίσσουν το γνωστικό τους αντικείμενο και να συμβαδίσουν με τις τεχνολογικές εξελίξεις.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Awuah, F.K.A., Garcia-Hernandez, A. & Thom, N. Automating the repair of potholes using machine techniques and digitally crafted asphalt cartridges. Constr Robot 8, 1 (2024). <https://doi.org/10.1007/s41693-024-00116-y>
- Bong Ju Kwon, Dahae Kim, Suk Keun Rhee, Y. Richard Kim, Spray injection patching for pothole repair using 100 percent reclaimed asphalt pavement, Construction and Building Materials, Volume 166, 2018, Pages 445-451, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.145>.
- British Standards Institution. (2019). Spray injection patching for highways and other paved areas. Specification (BS 10947:2019)
- Dong, Q., Huang, B., & Zhao, S. (2014). Field and laboratory evaluation of winter season pavement pothole patching materials. International Journal of Pavement Engineering, 15(4), 279–289. <https://doi.org/10.1080/10298436.2013.814772>
- Fedrigo, William & Núñez, Washington & Visser, Preng. (2020). A review of full-depth reclamation of pavements with Portland cement: Brazil and abroad. Construction and Building Materials. 262. 120540. 10.1016/j.conbuildmat.2020.120540.
- Hajj, Ramez and Lu, Yujia (2021). Current and Future Best Practices for Pothole Repair in Illinois. <https://doi.org/10.36501/0197-9191/21-003>
- Jiusu Li, Jianfang Liu, Wenbo Zhang, Guanlan Liu, Lingchun Dai, Investigation of thermal asphalt mastic and mixture to repair potholes, Construction and Building Materials, Volume 201, 2019, Pages 286-294, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.153>.
- Johnson, A., Professional Engineering Services, Ltd. (2000). Best Practises Handbook on Asphalt pavement maintenance. Minesota: Minnesota Technology Transfer (T2) Center / LTAP Program Center for Transportation Studies University of Minnesota 511 Washington Avenue S.E. Minneapolis, MN 55455-0375
- L. Hammel, Reparatur asphalte – Stand der Technik und aktuelle Entwicklungen, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, TU Dresden, 2015
- Li, F.; Shi, X.; Xu, J. Performance Evaluation and Technical Requirements of Asphalt Pavement Crack Seal Band. J. Beijing Univ. Technol. 2013, 39, 1855–1860
- Maupin, G. W and Payne, Charles W (2003). Evaluation of spray injection patching.
- Menglim Hoy, Vaiphot Samrandee, Worachet Samrandee, Apichat Suddeepong, Itthikorn Phummiphan, Suksun Horpibulsuk, Apinun Buritatum, Arul Arulrajah, Chakkrid Yeanyong, Evaluation of asphalt pavement maintenance using recycled asphalt pavement with asphalt binders, Construction and Building Materials, Volume 406, 2023, 133425, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133425>.
- Min, W., Lu, P., Liu, S., & Wang, H. (2025). A Review of Crack Sealing Technologies for Asphalt Pavement: Materials, Failure Mechanisms, and Detection Methods. Coatings, 15(7), 836. <https://doi.org/10.3390/coatings15070836>
- National Asphalt Pavement Assosiation, The Asphalt Pavement Industry Fast Facts, Natl. Asph. Pavement Assos. (n.d.). <https://www.asphalt pavement.org>.

- Obaidi, H., Gomez-Meijide, B. and Garcia, A., 2017. A fast pothole repair method using asphalt tiles and induction heating. *Construction and Building Materials*, 131, pp.592-599.
- Obaidi, Hadel. (2018). Development of Innovative Pothole Repair Materials Using Induction Heating Technology. 10.13140/RG.2.2.15618.53449.
- Paige-Green, A. Maharaj, J. Komba, Potholes: Technical guide to their causes, identification and repair, CSIR Built Environment, Stellenbosch, South Africa, 2010.
- Pei Wan, Shaopeng Wu, Quantao Liu, Huan Wang, Xing Gong, Zenggang Zhao, Shi Xu, Jian Jiang, Lulu Fan, Liangliang Tu, Extrinsic self-healing asphalt materials: A mini review, *Journal of Cleaner Production*, Volume 425, 2023, 138910, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138910>.
- P. Cui, S. Wu, Y. Xiao, C. Yang, F. Wang, Enhancement mechanism of skid resistance in preventive maintenance of asphalt pavement by steel slag based on micro-surfacing, *Constr. Build. Mater.* 239 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117870>
- Raheb Hafezzadeh, Federico Autelitano, Felice Giuliani, Asphalt-based cold patches for repairing road potholes – An overview, *Construction and Building Materials*, Volume 306, 2021, 124870, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124870>
- Saeed, S. Qamariatul, M. Rahman, A. Woodside, The state of pothole management in UK local authority, *Bituminous Mixtures Pavements V I* (2015) 153–159.
- Sang-Yum Lee, Tam Minh Phan, Dae-Wook Park, Evaluation of carbon grid reinforcement in asphalt pavement, *Construction and Building Materials*, Volume 351, 2022, 128954, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128954>.
- Sang-Yum Lee, Jun-Seong Choi, Tri Ho Minh Le, Unraveling the optimal strategies for asphalt pavement longevity through preventive maintenance: A case study in South Korea, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 21, 2024, e03464, ISSN 2214-5095, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03464>.
- Tao Wang, Yasin Amara Sekou S. Dra, Xiaopei Cai, Zhiqiang Cheng, De Zhang, Yi Lin, Huayang Yu, Advanced cold patching materials (CPMs) for asphalt pavement pothole rehabilitation: State of the art, *Journal of Cleaner Production*, Volume 366, 2022, 133001, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133001>.
- V.R. Schaefer, Effectiveness of Geotextiles/Geogrids in Roadway Construction; Determine a Granular Equivalent (GE) Factor, 2021
- Wang, S. Shen, X. Li, B. Song, Micro-surfacing mixtures with reclaimed asphalt pavement: Mix design and performance evaluation, *Constr. Build. Mater.* 201 (2019) 303–313, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.164>.
- William Fedrigo, Washington Peres Núñez, Alex T. Visser, A review of full-depth reclamation of pavements with Portland cement: Brazil and abroad, *Construction and Building Materials*, Volume 262, 2020, 120540, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120540>.
- Yan Li, Zhengbo Zou, Jiupeng Zhang, Yinzhang He, Guojing Huang, Junbo Li, Refined evaluation methods for preventive maintenance of project-level asphalt pavement based on confusion-regression model, *Construction and Building Materials*, Volume 403, 2023, 133105, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133105>.

Zanko, L.M., Hopstock, D.M., DeRocher, W., 2016. Evaluate and Develop Innovative Pavement Repair and Patching: Taconite-Based Repair Options (Final Report No. MN/RC 2016-03). University of Minnesota Duluth.

Θεοδωρακόπουλος, Δ. Μπούσιας, Ε. Γιαννόπουλος, Π. (2003). Ανάλυση και Σχεδιασμός Κατασκευών: Τεχνική της Κατασκευής. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Καμπίτση Ε., Δ. Κοκλα, Δ. (2012). Πτυχιακή εργασία: Κατασκευή οδοστρωμάτων αυτοκινητοδρόμων με σύγχρονες τεχνολογίες, Πάτρα 2012.

Κουτρουμάνου, Ε. Μπαλντούκας, Α. Μπούσιας, Ε. & Φράντζης, Π. (2003). Δομικά υλικά και Εξοπλισμός Κατασκευής Τεχνικών Έργων: Τεχνική της Κατασκευής. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Νικολαΐδης, Αθ. (2019). ΟΔΟΠΟΪΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ - ΥΛΙΚΑ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ, Τέταρτη έκδοση Θεσσαλονίκη, Τριανταφύλλου & Σία.

ΠΕΤΕΠ 05-03-02-03 – Κατασκευή βάσεων οδοστρωμάτων με ψυχρή ανακύκλωση επί τόπου υλικών και προσθήκη αφρώδους ασφάλτου ή τσιμέντου – Έκδοση 1.0 Μάιος 2006

ΠΕΤΕΠ 05-03-11-04 – Ασφαλτικές στρώσεις κλειστού τύπου – Έκδοση 1.0 Μάιος 2006

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα: Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.