

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ
ΤΗΣ ΘΕΡΜΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ**

Επόπτης
ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Σπουδαστής
ΙΟΡΔΑΝΙΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2015

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 Ρηγματώσεις	6
1.1.1 Ρωγμές τύπου αλιγάτορα.....	6
1.1.2 Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος.....	6
1.1.3 Ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή διαπλάτυνσης.....	7
1.1.4 Ρωγμές από ανάκλαση.....	7
1.1.5 Ρωγμές από ολίσθηση.....	8
1.1.6 Ρωγμές συρρίκνωσης.....	8
1.1.7 Ρωγμές στην τροχιά των δρόμων.....	9
1.1.8 Ελικοειδείς ρωγμές.....	10
1.1.9 Εγκάρσιες ρωγμές.....	10
1.2 Παραμορφώσεις – Στρεβλώσεις	10
1.2.1 Αυλακώσεις στις τροχιές των δρόμων.....	11
1.2.2 Κυματώσεις.....	12
1.2.3 Τοπικές καθιζήσεις.....	12
1.2.4 Τοπικές διογκώσεις.....	12
1.2.5 Τοπικές καθιζήσεις σε τομές οδοστρώματος.....	13
1.3 Αποσύνθεση	13
1.3.1 Αποκόλληση αδρανών.....	13
1.3.2 Λακκούβες.....	14
1.4 Λείανση επιφάνειας οδοστρώματος	15
1.4.1 Λείανση επιφάνειας οδοστρώματος – ολισθηρότητα.....	15
1.4.2 Ανάδυση ασφάλτου.....	15
1.5 Επίπεδα συντήρησης οδοστρωμάτων	16
2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	18
2.1 Μορφές ανακύκλωσης.....	18
2.2 Ψυχρή ανακύκλωση οδοστρωμάτων.....	19
3. ΘΕΡΜΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	22
3.1 Γενικά.....	22
3.2 Αναμόρφωση του ασφαλτικού οδοστρώματος (reshape).....	23
3.3 Επαναδιάστρωση του παλιού οδοστρώματος με προσθήκη υλικού χωρίς ανάμιξη (repave).....	24
3.4 Επανάμιξη του παλιού υλικού οδοστρώματος με νέο ασφαλτικό μίγμα (remix).....	24
3.5 Θερμή επιτόπια ανακύκλωση.....	25
3.5.1 Λειτουργία συμβατικής θέρμανσης οδοστρώματος.....	26
3.5.2 Λειτουργία αναθέρμανσης οδοστρώματος.....	30
3.5.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων επιτόπιας θερμής ανακύκλωσης.....	36
4. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΗΣ ΕΠΙΤΟΠΙΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ..	36
4.1 Ιστορική αναδρομή μηχανημάτων θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης...	36
4.2 Σύγχρονα μηχανήματα θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης.....	40
4.2.1 Πλεονεκτήματα του Escoraver 400.....	41
4.2.2 Διαδικασία λειτουργίας Escoraver 400.....	42

4.2.3	Λειτουργίες επί μέρους τμημάτων του Escoraver 400.....	44
4.2.4	Πλεονεκτήματα των τριών σταδίων άλεσης – θέρμανσης.....	45
4.2.5	Πλεονεκτήματα της πρόσθεσης νέου θερμού ασφαλτομίγματος.....	46
4.2.6	Παράγοντες Ανακύκλωσης – Αναζωογόνησης.....	46
4.2.7	Παράγοντες επιλογής Έργων.....	47
5.	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ....	47
5.1	Κόστος παρεμβάσεων συντήρησης.....	48
5.2	Κόστος των χρηστών.....	50
5.3	Κόστος προς το περιβάλλον.....	50
5.4	Κόστος κατασκευής, συντήρησης και ανακατασκευής.....	51
6.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	54
6.1	Εφαρμογές ψυχρής ανακύκλωσης στην Ελλάδα.....	54
6.2	Εφαρμογές ψυχρής ανακύκλωσης στο εξωτερικό.....	55
6.3	Εφαρμογές θερμής ανακύκλωσης στην Ελλάδα.....	55
6.4	Εφαρμογές θερμής ανακύκλωσης στο εξωτερικό.....	56
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59
7.1	Πλεονεκτήματα ψυχρής ανακύκλωσης.....	60
7.2	Πλεονεκτήματα θερμής εναντίων ψυχρής ανακύκλωσης.....	61
7.3	Μειονεκτήματα θερμής ανακύκλωσης σε σταθερή εγκατάσταση.....	61
7.4	Πλεονεκτήματα θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης.....	62
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα οδοστρώματα, όπως όλα τα τεχνικά έργα, με την πάροδο του χρόνου υπόκεινται σε φθορές και βλάβες. Πολλές δύσκολες εδαφικές συνθήκες ή αντιξοότητες στη θέση κατασκευής μεγάλων έργων οδοποιίας δημιουργούν την ανάγκη να αναζητηθούν τρόποι εξάλειψης ή απάλυνσης αυτών των καταστάσεων, ώστε οδοί και γέφυρες να μπορούν να κατασκευαστούν με τρόπο ασφαλή και επαρκή από άποψη αντοχής. Δυστυχώς, πολλές φορές τα προβλήματα εμφανίζονται μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και την παράδοση του έργου στην κυκλοφορία.

Οι αιτίες των εμφανιζόμενων φθορών αναζητούνται σε κοινά προβλήματα, όπως ασταθή εδάφη ή φτωχές τεχνικές συμπύκνωσης (μερικά όμως ζητήματα έχουν γενικότερο χαρακτήρα και αφορούν μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές, όπως επί παραδείγματι η δράση του παγετού ή η ευρεία διάδοση διογκούμενων υλικών. Σε ορισμένες περιοχές δημιουργούνται δυσχέρειες ακόμη και με πετρώματα τα οποία έδειχναν σκληρά κατά την εκσκαφή, όμως φθείρονται ή εμφανίζουν συμπεριφορά διογκούμενου εδάφους με την πάροδο του χρόνου και ενώ έχουν ήδη τοποθετηθεί σε μια κατασκευή επιχώματος. Ταυτόχρονα, η μεγάλη αύξηση των κυκλοφοριακών φόρτων, η αλλαγή της σύνθεσης της κυκλοφορίας, το μεγάλο κόστος συντήρησης και επισκευής των οδών και ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζει η κατάστασή τους στην πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων έχουν ωθήσει τους τεχνικούς στην αναζήτηση των αιτιών των φθορών που προκαλούνται στα οδοστρώματα και τρόπους αντιμετώπισής τους.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά ή απόδοση του οδοστρώματος είναι η ποιότητα της κατασκευής, η καταλληλότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών, ο κυκλοφοριακός φόρτος, οι συνθήκες του περιβάλλοντος και η ορθότητα της μελέτης διαστασιολόγησης του οδοστρώματος. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος από τις κλιματολογικές συνθήκες είναι η υπερβολική υγρασία, η οποία εμφανίζεται στο σώμα του οδοστρώματος λόγω κακής αποστράγγισης και αποχέτευσής του.

Τα οδοστρώματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ,τα εύκαμπτα και δύσκαμπτα. Τα κύρια αίτια που επηρεάζουν την εμφάνισή τους είναι:

- Κυκλοφοριακά φορτία
- Περιβαλλοντικές συνθήκες
- Υποδιαστασιολόγηση στη φάση μελέτης
- Χρήση ακατάλληλων υλικών και κακοτεχνίες στην φάση κατασκευής
- Καθυστερήση της κατασκευής των διαφόρων στρώσεων του ασφαλτοτάπητα

Με βάση τη μορφή (κι όχι την αιτία πρόκλησης ή τη μέθοδο αποκατάστασης) οι τυπικές βλάβες των ασφαλτικών οδοστρωμάτων μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις χαρακτηριστικές ομάδες:

- αποσύνθεση επιφάνειας,
- παραμορφώσεις,
- ρηγματώσεις
- λείανση επιφάνειας οδοστρώματος

1.1 Ρηγματώσεις (Cracks)

Οι μορφές των φθορών αυτών ποικίλουν και ως προς τις μορφές και ως προς τις αιτίες τους. Η έγκαιρη εξυγίανση της περιοχής είναι αναγκαία για την συντήρηση.

1.1.1 Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (alligator cracks)

Οι ρωγμές αυτές είναι διακλαδιζόμενες και αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που σχηματίζουν πολλά μικρά πολυγωνικά κομμάτια όμοια με αυτά του δέρματος του αλιγάτορα. Η φθορά αυτή είναι παράλληλη στη τροχιά των τροχών. Όμως με τον καιρό και με τημ επιπλέον καταπόνηση παίρνει τη μορφή που αναφέραμε. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κομμάτια δίνουν την εντύπωση ότι είναι έτοιμα να αποκολληθούν. Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται τοπικά και σε περιορισμένη έκταση ή σε μεγάλη έκταση κατά μήκος του δρόμου.



Εικόνα 1

Αίτια :

- Μεγάλο βέλος κάμψης που αναπτύσσεται στις ασφαλτικές στρώσεις λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας υπεδάφους / υπόβασης / βάσης λόγω αύξησης της υγρασίας στις στρώσεις αυτές.
- Κόπωση οδοστρώματος λόγω των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων από τον κυκλοφοριακό φόρτο.
- Ανεπαρκές πάχος επιφανειακής στρώσης ή βάσης.
- Ανεπαρκής αποστράγγιση

1.1.2 Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος (edge cracks)

Είναι ρωγμές επιμήκεις με ή χωρίς εγκάρσιες ρωγμές, συνήθως 30-50 cm από τα άκρα του οδοστρώματος. Αν η φθορά αυτή είναι πιο σοβαρή μπορεί να μοιάζει με τις ρωγμές τύπου αλιγάτορα.



Εικόνα 2

Αίτια :

- Έλλειψη πλευρικής υποστήριξης οδοστρώματος.
- Υποχώρηση υποκείμενων στρώσεων λόγω ξηρασίας εδάφους, παγετού, ανεπαρκούς αποστράγγισης, μειωμένου πάχους, κακής συμπίκνωσης.

1.1.3 Ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή διαπλάτυσης (lane and widening cracks)

Είναι διαμήκης ρωγμές που εμφανίζονται μεταξύ των λωρίδων διάστρωσης ή της διαπλάτυσης.



Εικόνα 3

Αίτια :

- Κακοτεχνίες στην κατασκευή όπως διάθρωση τάπητα με μειωμένη ποσότητα ασφαλτομίγματος στη ραφή, ανεπαρκής συγκόλληση της κάθετης επιφάνειας της προηγούμενης λωρίδας διάστρωσης και πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των εργασιών.
- Κακή συμπίκνωση των υποκείμενων στρώσεων στην διαπλάτυση της οδού.
- Καθίζηση οδοστρώματος.

1.1.4 Ρωγμές από ανάκλαση (reflection cracks)

Είναι ρωγμές ποικίλων μορφών και κατεύθυνσης (διαμήκεις, εγκάρσιες, διαγώνιες, διακλαδιζόμενες) και συναντώνται πρόσθετες ασφαλικές στρώσεις για την αποκατάσταση σοβαρών φθορών του οδοστρώματος. Συνήθως εμφανίζονται σε ασφαλικές επιστρώσεις πάνω σε δύσκαμπτα οδοστρώματα ή ακόμα σε επιστρώσεις που έγιναν πάνω από παλαιά εγκιβωτισμένα ερείσματα ή διαπλάτυσεις.



Εικόνα 4

Αίτια :

- Κάθετες και οριζόντιες μετακινήσεις του υποκείμενου οδοστρώματος λόγω συστολών ή διαστολών του υπεδάφους λόγω της υγρασίας ή θερμοκρασίας ή στην κάθετη μετακίνηση των πλακών του δύσκαμπτου οδοστρώματος ή στην κάθετη μετακίνηση των ρηγματωμένων κομματιών της παλαιάς επιφάνειας.

1.1.5 Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων (slippage cracks)

Είναι ρωγμές σε σχήμα μισοφέγγαρου.



Εικόνα 5

Αίτια :

- Ολίσθηση τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης λόγω κακής συνοχής αυτών. Η κακή συνοχή οφείλεται στην ανεπάρκεια της συγκολλητικής επάλειψης χωμάτων ή σκόνης, λαδιών αυτοκινήτων και νερού.
- Μεγάλη περιεκτικότητα λεπτόκοκκων αδρανών στο ασφαλτόμιγμα.
- Κακή συμπίκνωση της υπερκείμενης στρώσης.

1.1.6 Ρωγμές συρρίκνωσης (shrinkage cracks)

Είναι αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που διαχωρίζουν το οδόστρωμα σε μεγάλα ορθογωνικά κομμάτια. Το μέγεθος των κομματιών ποικίλει από 1 έως 3 m.



Εικόνα 6

Αίτια :

- Συρρίκνωση του ασφαλτομίγματος / βάσης / υπόβασης λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής.
- Μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα αδρανή.
- Υψηλό ποσοστό σκληρής ασφάλτου.

1.1.7 Ρωγμές στην τροχιά των τροχών (wheel path cracks)

Είναι ρωγμές παράλληλες στον άξονα της οδού. Είναι συνήθως ασυνεχείς και εμφανίζονται στην τροχιά των τροχών.



Εικόνα 7

Αίτια :

- Καθίζηση υπόβασης.
- Μειωμένη φέρουσα ικανότητα υπεδάφους.
- Κόπωση ασφαλτομίγματος λόγω της επαναλαμβανόμενης φόρτισης από τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα μεγάλα αξονικά φορτία.
- Μειωμένο πάχος ασφαλτικών στρώσεων και βάσης.

1.1.8 Ελικοειδείς ρωγμές

Είναι ρωγμές με ελικοειδή μορφή κατά μήκος του οδοστρώματος και όχι σε συγκεκριμένη θέση.

Αίτια :

- Παγετός
- Κόπωση οδοστρώματος

1.1.9 Εγκάρσιες ρωγμές (transverse cracks)

Είναι διαμήκεις ρωγμές κάθετες στην τροχιά των τροχών. Μπορεί να επεκτείνονται τμηματικά ή συνεχείς, κάθετα στο οδόστρωμα.



Εικόνα 8

Αίτια :

- Συρρίκνωση επιφάνειας οδοστρώματος λόγω χαμηλής θερμοκρασίας.
- Σκλήρυνση του ασφαλτομίγματος.
- Ρωγμές στις υποκείμενες στρώσεις.

1.2 Παραμορφώσεις – Στρεβλώσεις (Surface distortion)

Οι παραμορφώσεις είναι φθορές εκείνες που δημιουργούν πρόβλημα στην επιπεδότητα του οδοστρώματος. Έτσι καθιστούν επικίνδυνο το οδόστρωμα και μειώνουν την άνεση του οχήματος. Επίσης μπορεί να συνοδεύεται με ρηγματώσεις με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επικινδυνότητα.

1.2.1 Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών (channel or ruts)

Είναι κάθετες καθιζήσεις μορφής αυλακώσεων κατά μήκος της τροχιά των τροχών.



Εικόνα 9

Αίτια :

- Κακή συμπίκνωση.
- Πλαστική παραμόρφωση ασφαλτομίγματος με ανεπαρκή ευστάθεια.
- Συμπύεση ή πλάγια μετακίνηση υποκείμενων στρώσεων ή ίδιου του τάπητα κυκλοφορίας από τα αξονικά φορτία.

1.2.2 Κυματώσεις (corrugations)

Είναι μια μορφή πλαστικής μετακίνησης με αποτέλεσμα να εξογκώνεται η επιφάνεια υπό μορφή κυματώσεων. Αυτές οι κυματώσεις είναι κάθετες στον άξονα του δρόμου και εμφανίζονται σε περιοχές φρεναρίσματος όπου αναπτύσσονται μεγάλες διατμητικές τάσεις. Όταν το φαινόμενο είναι τοπικό ονομάζεται απώθηση (shoving).



Εικόνα 10

Αίτια :

- Χαμηλή ευστάθεια ασφαλτομίγματος λόγω υψηλού ποσοστού ασφάλτου, χρήσης ασφάλτου χαμηλού ιξώδους, υψηλού ποσοστού λεπτόκοκκων αδρανών, κενά

ασφαλτομίγματος μικρότερα της ελάχιστης επιτρεπόμενης τιμής, μη πλήρη εξάτμιση του διαλύτη στα διαλύματα.

1.2.3 Τοπικές καθιζήσεις (local depressions)

Είναι καθιζήσεις που είναι σε περιορισμένη έκταση. Συνήθως κατακρατούν νερό που επιταχύνει τη φθορά και κάνει το οδόστρωμα επικίνδυνο για τους χρήστες λόγω ολισθηρότητας, πάγος κ.λ.π.



Εικόνα 11

Αίτια :

- Τοπική καθίζηση των υποκείμενων στρώσεων από μεγάλα αξονικά φορτία ή από κακή κατασκευή αυτών ή από μείωση της φέρουσας ικανότητας αυτών.

1.2.4 Τοπικές διογκώσεις (local upheaval)

Είναι προς τα πάνω μετακινήσεις του οδοστρώματος και χαρακτηρίζονται από διακλαδιζόμενες ρηγματώσεις.



Εικόνα 12

Αίτια :

- Τοπική διόγκωση του υπεδάφους / υπόβασης / βάσης λόγω διαστολής του εγκλωβισμένου ύδατος σε ψυχρά κλίματα.
- Διόγκωση εδαφικών υλικών από την υγρασία.

1.2.5 Τοπικές καθιζήσεις σε τομές οδοστρώματος (utility cut depression)

Είναι καθιζήσεις που εμφανίζονται όταν γίνεται τομή του οδοστρώματος από οργανισμούς κοινής ωφέλειας ή ιδιώτες.



Εικόνα 13

Αίτια :

- Κακή συμπίκνωση των υλικών επίχωσης των εγκάρσιων τομών που ανοίγονται.

1.3 Αποσύνθεση (disintegration)

Η αποσύνθεση είναι φθορές που θρυμματίζουν το οδόστρωμα σε πολλά μικρά κομμάτια.

1.3.1 Αποκόλληση αδρανών (raveling)

Είναι η φθορά που χαρακτηρίζεται από την προοδευτική αποκόλληση των αδρανών από το οδόστρωμα που αρχίζει από την άκρη του οδοστρώματος προς το κέντρο. Η επιφάνεια γίνεται τραχύτερη με το χρόνο και πολλές φορές δημιουργούνται λακκούβες.



Εικόνα 14

Αίτια :

- Χαμηλή περιεκτικότητα του μίγματος σε ασφάλτο.
- Χρήση μη καθαρών αδρανών.
- Κατασκευή του τάπητα σε χαμηλές θερμοκρασίες ή και με βροχή.
- Υπερθέρμανση της ασφάλτου.
- Χρήση σαθρών αδρανών.
- Μη επαρκής συμπίκνωση (σε ψυχρά ασφαλτομίγματα μόνο).

1.3.2 Λακκούβες (potholes)

Είναι οπές που ποικίλουν ως προς το μέγεθος και έχουν τη μορφή μικρών λεκανών μέσα στο οδόστρωμα.



Εικόνα 15

Αίτια :

- Έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα.
- Μειωμένο πάχος τάπητα κυκλοφορίας.
- Τοπική αστοχία κατά την κατασκευή των στρώσεων κυρίως της βάσης.
- Ανεπαρκής αποστράγγιση.
- Επιδείνωση της αποκόλλησης αδρανών από την επιφάνεια.

1.4 Λείανση επιφάνειας οδοστρώματος

Οι φθορές αυτές επιδρούν στην ασφάλεια και εξυπηρέτηση του οδοστρώματος λόγω της ολισθηρότητας. Η ολισθηρότητα αυτή είναι αποτέλεσμα της λείανσης των αδρανών της επιφάνειας και της ανάδυσης της ασφάλτου.

1.4.1 Λείανση επιφάνειας οδοστρώματος – Ολισθηρότητα

Είναι η φθορά των αδρανών λόγω του κυκλοφοριακού φόρτου και έχει σαν συνέπεια να εμφανίζεται λεία και ολισθηρή η επιφάνεια του οδοστρώματος.



Εικόνα 16

Αίτια :

- Χρήση ακατάλληλων σκληρών αδρανών (ασβεστολιθικά).
- Βύθιση των χονδροκόκκων αδρανών στο ασφαλτόμιγμα από την κυκλοφορία.

1.4.2 Ανάδυση ασφάλτου (bleeding or flushing)

Είναι η κάθετη μετακίνηση της ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα και η εμφάνιση της στην επιφάνεια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται ένας ασφαλτικός υμένας. Το φαινόμενο συναντάται στους θερινούς μήνες.



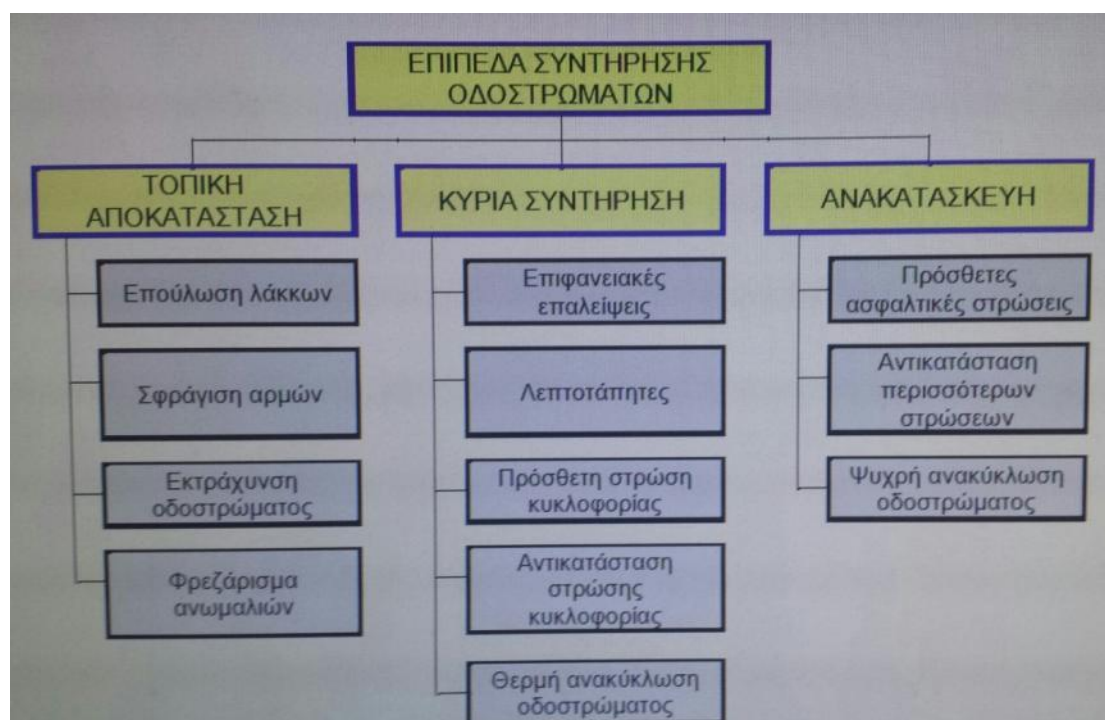
Εικόνα 17

Αίτια :

- Περίσσεια ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα.
- Ψεκασμός πλέον της απαιτούμενης ποσότητας συγκολλητικής ή προεπάλλειψης.
- Ασφαλτικός διαλύτης που μεταφέρει την άσφαλο στην επιφάνεια.
- Συμπύεση του ασφαλτομίγματος πλούσιο σε άσφαλο από την βαριά κυκλοφορία.

1.5 Επίπεδα συντήρησης οδοστρωμάτων

Ανάλογα με το βαθμό, την έκταση και το είδος των εργασιών για την αποκατάσταση των οδοστρωμάτων η συντήρηση διακρίνεται σε τρία επίπεδα, όπως φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 18. :

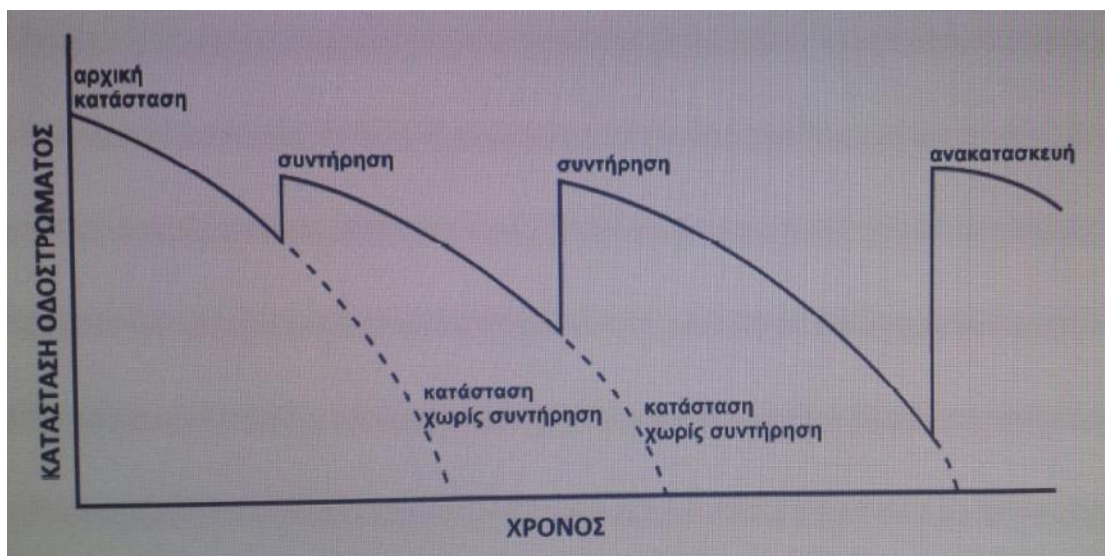


Εικόνα 18: Επίπεδα συντήρησης ασφαλτικών οδοστρωμάτων

- **Τοπική αποκατάσταση:** Στα πλαίσια της τοπικής αποκατάστασης του οδοστρώματος εκτελούνται επείγουσες εργασίες σε μεμονωμένες θέσεις, όπου έχουν παρουσιαστεί βλάβες με σκοπό τη διατήρηση της λειτουργικής κατάστασης της οδού (διορθωτική συντήρηση). Χαρακτηριστικές εργασίες τοπικής αποκατάστασης είναι η επούλωση λάκκων, η σφράγιση αρμών, η εκτράχυνση του οδοστρώματος και το φρεζάρισμα τοπικών ανωμαλιών.

- Κύρια συντήρηση:** Έχει σκοπό την επαναφορά του οδοστρώματος στην αρχική κατάστασή του, είτε με την αποκατάσταση βλαβών (διορθωτική συντήρηση), είτε με την πρόληψη εμφάνισης πρόωρων φθορών (προληπτική συντήρηση). Οι εργασίες εκτείνονται σε πλάτος τουλάχιστον μιας λωρίδας κυκλοφορίας και περιορίζονται στην ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας. Στις εργασίες αυτές περιλαμβάνονται οι επιφανειακές ασφαλτικές επαλείψεις, η κατασκευή ψυχρών ή θερμών ασφαλτικών στρώσεων πάχους έως 3,0 cm (λεπτοτάπητες), η κατασκευή πρόσθετων ασφαλτικών στρώσεων (πάχους 3,0 έως 5,0 cm), η αποξήλωση της υπάρχουσας ασφαλτικής στρώσης κυκλοφορίας και η αντικατάστασή της με νέα, καθώς επίσης η θερμή ανακύκλωση του ασφαλτικού οδοστρώματος.
- Ανακατασκευή:** Έχει σκοπό την αναβάθμιση του οδοστρώματος, που συνήθως περιλαμβάνει την ενίσχυσή του. Οι εργασίες πραγματοποιούνται σε πλάτος τουλάχιστον μιας λωρίδας κυκλοφορίας, αλλά σε αντίθεση με τις εργασίες κύριας συντήρησης δεν περιορίζονται μόνο στην ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας, αλλά εκτείνονται σε μεγαλύτερο βάθος. Αυτό γίνεται είτε με την κατασκευή πρόσθετων ασφαλτικών στρώσεων (π.χ. ισοπεδωτική στρώση και νέα στρώση κυκλοφορίας), είτε την αφαίρεση υποκείμενων στρώσεων (ασφαλτικών ή και οδοστρωσίας) και αντικατάστασή τους με νέες, είτε με την θερμή ανακύκλωση του οδοστρώματος.

Η διάρκεια ζωής ενός οδοστρώματος ανέρχεται σε 20 έτη περίπου. Με την πάροδο του χρόνου η κατάστασή του συνεχώς επιδεινώνεται κυρίως εξαιτίας των φθορών από την κυκλοφορία των οχημάτων και δευτερευόντως από τις κλιματολογικές και χημικές επιδράσεις, με αποτέλεσμα τη διαρκή υποβάθμιση του επιπέδου εξυπηρέτησης των χρηστών και της οδικής ασφάλειας. Για να διατηρηθεί στα αρχικά επίπεδα, απαιτείται ανά διαστήματα η εκτέλεση εργασιών κύριας συντήρησης. Εφόσον δεν πραγματοποιούνται έγκαιρα εργασίες κύριας συντήρησης, τότε οι ανάγκες για εργασίες τοπικών αποκαταστάσεων αυξάνονται υπερβολικά και συνοδεύονται από υψηλές δαπάνες. Το διάγραμμα της εικόνας 19 παρουσιάζει τη βαθμιαία επιδείνωση της κατάστασης των οδοστρωμάτων σε σχέση με το χρόνο καθώς επίσης την αναβάθμιση του με την εκτέλεση εργασιών συντήρησης.



Εικόνα 19: Φθορά του οδοστρώματος σε συνάρτηση την πάροδο του χρόνου

2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Τα υλικά των οδοστρωμάτων, ακόμα κι όταν έχουν παρουσιάσει φθορές ή βλάβες, δεν πρέπει να θεωρούνται άχρηστα και προς απόρριψη. Τις περισσότερες φορές στα πλαίσια της συντήρησης και κάτω από προϋποθέσεις είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή τους. Η τεχνολογία συντήρησης των οδοστρωμάτων, η οποία κάνει χρήση των υπαρχόντων υλικών χαρακτηρίζεται σαν ανακύκλωση των οδοστρωμάτων.

2.1 Μορφές ανακύκλωσης

Η ανακύκλωση των οδοστρωμάτων διακρίνεται σε :

- ψυχρή ανακύκλωση
- θερμή ανακύκλωση

Οι δυο αυτές μέθοδοι έχουν διαφορετικό πεδίο εφαρμογής για τη συντήρηση των οδοστρωμάτων. Επίσης για κάθε μια μέθοδο έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας – εμπλουτισμού του ανακυκλωμένου υλικού και της εκτέλεσης της εργασίας. Στην εικόνα 20 παρουσιάζονται σχηματικά οι μορφές και τα είδη της ανακύκλωσης για τα ασφαλτικά οδοστρώματα.



Εικόνα 20: Μορφές ανακύκλωσης ασφαλτικών οδοστρωμάτων

2.2 Ψυχρή ανακύκλωση οδοστρωμάτων (Cold in Place Recycling CIPR)

Στην μέθοδο αυτή τα υλικά κατασκευής του οδοστρώματος διασπώνται με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, και ακολούθως αναμιγνύονται με νέο ασφαλτικό υλικό. Η προσθήκη του νέου υλικού δύναται να γίνει πριν την κονιοποίηση ή σε οποιαδήποτε φάση μετά το πρώτο πέρασμα του υλικού από τον κονιοποιητή. Το συνδυαστικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι σχεδόν πάντα ένα ασφαλτικό γαλάκτωμα, ώστε να διασφαλίζεται το πορώδες του υλικού.

Το οδόστρωμα που αποκαθίσταται με τον τρόπο αυτό, είναι κατάλληλο για χρήση σε ήπια κλίματα και για ελαφρά κυκλοφορία. Στα ζεστά κλίματα το ποσοστό της υγρασίας στο ανακυκλωμένο μίγμα πριν αυτό απλωθεί στην επιφάνεια πρέπει να είναι χαμηλό, διότι διαφορετικά θα οδηγήσει σε αστοχία εξαιτίας της εσωτερικής πίεσης από την εξάτμιση του πλεονάζοντος νερού. Η εφαρμογή της ψυχρής ανακύκλωσης είναι δυνατή με δύο μεθόδους:

- **Επιτόπια μέθοδος (in place):** Κατά την επιτόπια ψυχρή ανακύκλωση όλες οι επιμέρους εργασίες πραγματοποιούνται πάνω στην οδό. Το υλικό του υπάρχοντος οδοστρώματος αφαιρείται και αφού υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, επαναδιαστρώνεται. Η επεξεργασία συνίσταται στο θρυμματισμό, στην ανάμιξη και ενδεχομένως στην προσθήκη κατάλληλων παραγόντων σταθεροποίησης. Όλη η εργασία, από την αφαίρεση έως τη διάστρωση, πραγματοποιείται σε μια και μόνο διέλευση κατάλληλων μηχανημάτων επιτόπου του έργου, δηλαδή χωρίς τα υλικά να μεταφερθούν εκτός της οδού.
- **Σε σταθερή εγκατάσταση (in plant):** Στην ψυχρή ανακύκλωση σε σταθερή εγκατάσταση το υλικό του υπάρχοντος οδοστρώματος αφαιρείται στο προβλεπόμενο βάθος και μεταφέρεται σε εγκατεστημένο συγκρότημα. Εκεί, αφού υποστεί κατάλληλη επεξεργασία και ενδεχόμενο εμπλουτισμό με τη προσθήκη νέων αδρανών υλικών ή και πρόσθετων σταθεροποιητικών παραγόντων, το νέο αναμορφωμένο υλικό μεταφέρεται επιτόπου του έργου και διαστρώνεται στην οδό. Οι κεντρικές εγκαταστάσεις όπου λαμβάνει χώρα η ανακύκλωση, δύναται να είναι παλιές εγκαταστάσεις παραγωγής ασφαλτομίγματος που έχουν τροποποιηθεί, ή καινούριες εγκαταστάσεις που κατασκευάστηκαν με την πρόβλεψη να δέχονται και να επεξεργάζονται και τα ανακυκλωμένα υλικά από τα παλιά ασφαλτικά οδοστρώματα. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει καλύτερο έλεγχο της ποιότητας των υλικών και καλύτερο μηχανικό έλεγχο της κατασκευαστικής λειτουργίας, με αποτέλεσμα το παραγόμενο μίγμα να παρουσιάζει υψηλή συνοχή και ποιότητα.

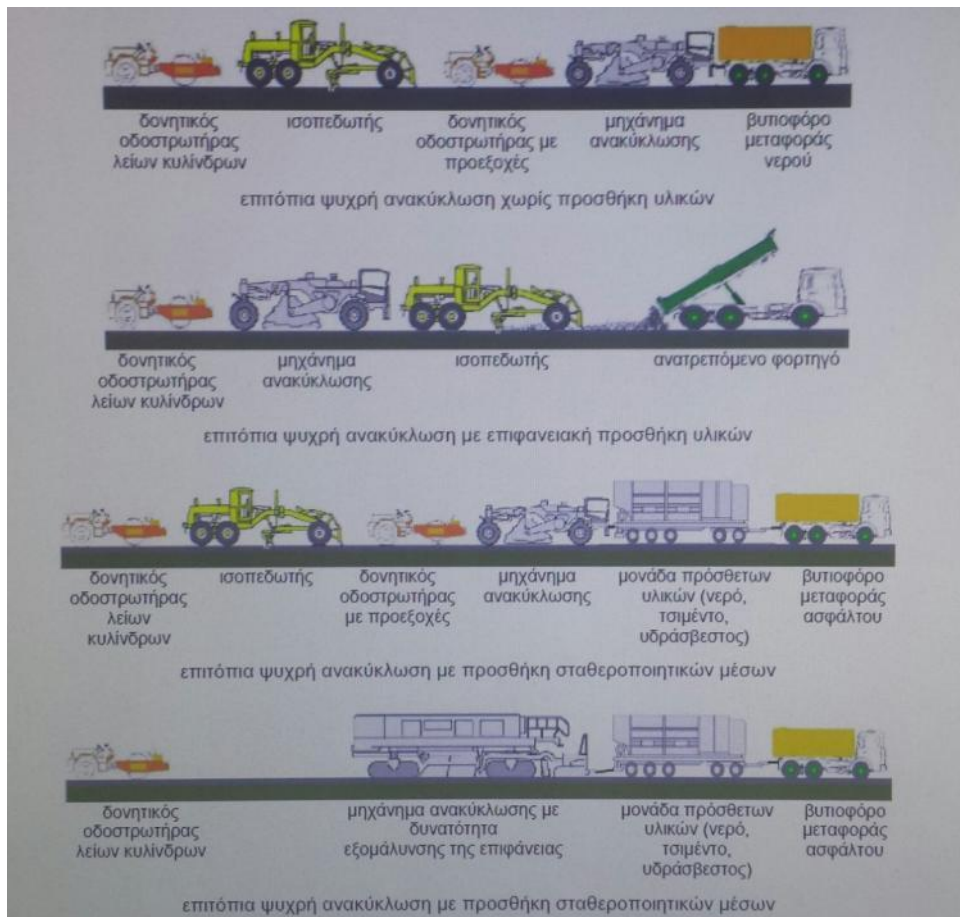
Η μέθοδος της **επιτόπιας ψυχρής ανακύκλωσης** μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορες τεχνικές. Βασικά κριτήρια για την επιλογή της πλέον κατάλληλης τεχνικής αποτελούν ο βαθμός επεξεργασίας και εμπλουτισμός του υπάρχοντος υλικού καθώς επίσης ο διαθέσιμος μηχανικός εξοπλισμός. Η πιο απλή τεχνική συνίσταται στην επαναχρησιμοποίηση του υπάρχοντος υλικού οδοστρώματος χωρίς την προσθήκη οποιουδήποτε νέου υλικού (αδρανή υλικά ή σταθεροποιητικοί παράγοντες).

Για το σκοπό αυτόν απαιτείται ένα μηχάνημα ανακύκλωσης και ένα βυτιοφόρο όχημα μεταφοράς νερού. Καθώς η μηχανή προχωρά, το υπάρχον υλικό οδοστρώματος αποξηλώνεται, θρυμματίζεται και αναμιγνύεται με το νερό που προέρχεται από το βυτιοφόρο. Το νερό χρησιμοποιείται, για να βελτιωθεί η περιεκτικότητα σε υγρασία και στη συνέχεια η επίτευξη υψηλού βαθμού συμπύκνωσης. Εφόσον το μηχάνημα ανακύκλωσης δεν διαθέτει διάταξη ισοπέδωσης, αυτή γίνεται από ισοπεδωτή. Για την τελική συμπύκνωση χρησιμοποιούνται δονητικός οδοστρωτήρας λείων κυλίνδρων.

Σε περίπτωση, κατά την οποία απαιτείται βελτίωση των υλικών του οδοστρώματος με νέα αδρανή ή με σταθεροποιητικούς παράγοντες σε μορφή σκόνης (π.χ. τσιμέντο, ασβέστης), τότε τα υλικά αυτά μεταφέρονται στην οδό με ανατρεπόμενα φορτηγά και εναποτίθενται σε σωρούς. Στη συνέχεια ισοπεδωτής τα διανέμει ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια. Η χρήση αυτοκινούμενου διανομέα, επιτρέπει την ομοιόμορφη διάστρωση του υλικών στην επιφάνεια της οδού και καθιστά περιττή τη χρήση του ισοπεδωτή. Με τη διέλευση του μηχανήματος ανακύκλωσης τα διασκορπισμένα χαλαρά υλικά αναμιγνύονται με το αποξηλωμένο υλικό του οδοστρώματος και επαναδιαστρώνονται. Ακολουθεί η ισοπέδωση του εμπλουτισμένου ανακυκλωμένου υλικού και η συμπύκνωσή του με δονητικό οδοστρωτήρα. Η τεχνική αυτή δεν είναι εφαρμόσιμη μέσα σε κατοικημένες περιοχές καθώς επίσης όταν πνέουν άνεμοι, επειδή δημιουργείται σκόνη που επιβαρύνει το περιβάλλον και αλλοιώνει την ποσότητα των σταθεροποιητικών παραγόντων.

Εναλλακτικά η προσθήκη του τσιμέντου ή υδράσβεστου μπορεί να γίνει με τη χρήση μονάδας παρασκευής αιωρήματος, που φέρει δεξαμενές νερού και τσιμέντου ή ασβέστου. Τα υλικά αυτά αναμιγνύονται σχηματίζοντας ένα πολτοποιημένο αιώρημα που διοχετεύεται μέσω σωλήνα στο μηχάνημα ανακύκλωσης που ακολουθεί.

Η πιο σύγχρονη τεχνική προβλέπει τη χρήση ασφάλτου σαν σταθεροποιητικό παράγοντα (ασφαλτικό γαλάκτωμα ή αφρώδης άσφαλτος). Στην περίπτωση αυτή η άσφαλτος μεταφέρεται σε βυτιοφόρο όχημα και διοχετεύεται στο μηχάνημα ανακύκλωσης μέσω σωλήνα. Είναι δυνατόν η τεχνική αυτή να κάνει χρήση επιπλέον και άλλου σταθεροποιητικού παράγοντα (τσιμέντο ή υδράσβεστος), οπότε είτε το συμπληρωματικό υλικό διαστρώνεται σε μορφή σκόνης, είτε χρησιμοποιείται η μονάδα παρασκευής αιωρήματος, που παρεμβάλλεται μεταξύ του βυτιοφόρου μεταφοράς ασφάλτου και του μηχανήματος ανακύκλωσης. Η εργασία ολοκληρώνεται με την ισοπέδωση και συμπύκνωση του ανακυκλωμένου υλικού.

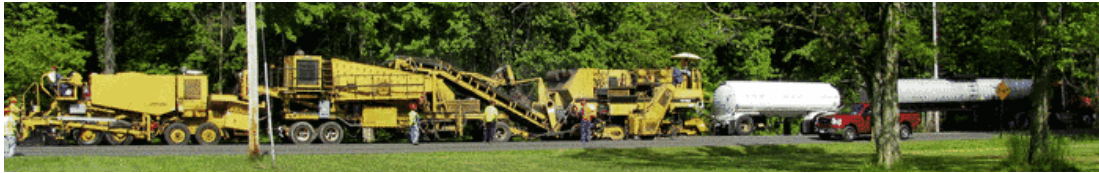


Εικόνα 21: Διάταξη μηχανημάτων στην επιτόπια ψυχρή ανακύκλωση οδοστρωμάτων

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την επιτόπια ψυχρή ανακύκλωση οδοστρωμάτων παρουσιάζουν τα μηχανήματα ψυχρής ανακύκλωσης, τα οποία έχουν δυνατότητα πραγματοποίησης της πλήρους εργασίας με ένα μόνο πέρασμα (μηχανήματα μιας διέλευσης), δηλαδή:

- αφαίρεση του οδοστρώματος σε βάθος άνω των 30 cm διατηρώντας σταθερό βάθος.
- άλεση και ανάμιξη του υλικού, ώστε να είναι δυνατή η πλήρης εκμετάλλευσή του.
- προσθήκη υλικών σταθεροποίησης του ανακυκλωμένου υλικού.
- διάστρωση και ισοπέδωση του ανακυκλωμένου υλικού καθώς επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις προ-συμπύκνωση της διαστρωμένης επιφάνειας.

Η απόδοση αυτών των μηχανημάτων μπορεί να φτάσει μέχρι 10.000m² ανά 8ωρο. Επειδή όλη η εργασία ολοκληρώνεται με μια μόνο διέλευση του μηχανήματος, το γυμνό οδόστρωμα (μετά την αφαίρεση της επιφανειακής στρώσης) δεν υπόκειται σε βλάβες εξαιτίας της κυκλοφορίας οχημάτων ή των καιρικών επιδράσεων. Τέλος η κυκλοφορία της οδού δεν επιβαρύνεται από τη διέλευση των οχημάτων μεταφοράς.



Εικόνα 22: Διάταξη μηχανημάτων μιας διέλευσης στην επιτόπια ψυχρή ανακύκλωση οδοστρωμάτων

Τα μηχανήματα διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο κίνησης (επί ελαστικών τροχών ή επί ερπυστριών), τον τρόπο λειτουργίας (χωρίς ή με δυνατότητα ισοπέδωσης και προ-συμπύκνωσης του ανακυκλωμένου υλικού) καθώς επίσης τον εξοπλισμό (χωρίς ή με κάδο βίαιης ανάμιξης). Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά λοιπόν τα μηχανήματα ανακύκλωσης διακρίνονται σε:

- ελαστικοφόρα (επί ελαστικών τροχών),
- ερπυστριοφόρα (επί ερπυστριών),
- με ειδικό εξοπλισμό.



Εικόνες 23,24: Μηχανήματα ψυχρής ανακύκλωσης οδοστρωμάτων

3. ΘΕΡΜΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

3.1 Γενικά

Η θερμή ανακύκλωση οδοστρωμάτων είναι μια μέθοδος για την ανακατασκευή ασφαλτικών στρώσεων κυκλοφορίας. Εφαρμόζεται για την αποκατάσταση οδοστρωμάτων που παρουσιάζουν σε μεγάλη έκταση βλάβες στη στρώση κυκλοφορίας, δηλαδή για την αποκατάσταση της ασφαλτικής στρώσης κυκλοφορίας σε μεγάλο μήκος και σε πλάτος τουλάχιστον μιας λωρίδας κυκλοφορίας. Συνίσταται στην αποξήλωση του υπάρχοντος ασφαλτικού οδοστρώματος και την επαναδιάστρωση του. Η ονομασία της οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο για την αφαίρεση του υπάρχοντος υλικού, όσο και για τη διάστρωση του νέου ανακυκλωμένου υλικού χρησιμοποιείται θερμότητα.

Η εφαρμογή της θερμής ανακύκλωσης είναι ιδιαίτερα κατάλληλη, όταν δεν επιτρέπεται η μεταβολή της στάθμης της ερυθράς της οδού. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ύπαρξης παρόδιων κατασκευών, όπως είναι η ύπαρξη κρασπέδων, επενδεδυμένων τάφρων από σκυρόδεμα ή όταν απαιτείται αποκατάσταση μιας μόνο λωρίδας κυκλοφορίας της οδού. Με τη μέθοδο αυτή δεν επιτυγχάνεται ενίσχυση του οδοστρώματος με εξαίρεση την περίπτωση κατασκευής πρόσθετης ασφαλικής στρώσης κυκλοφορίας.

Κατά τη θερμή ανακύκλωση οι προς αποκατάσταση ασφαλικές στρώσεις αφαιρούνται, αφού προηγουμένως θερμανθούν με κατάλληλες συσκευές, όπως αναφέρεται στη συνέχεια. Στη συνέχεια περιστρεφόμενη φρέζα αφαιρεί το ασφαλικό οδόστρωμα, το οποίο βελτιώνεται με τη προσθήκη κατάλληλων υλικών (άσφαλτος και ενδεχόμενα νέο αδρανές θραυστό υλικό κατάλληλης κοκκομετρικής σύνθεσης) και επαναδιαστρώνεται. Η εφαρμογή της θερμής ανακύκλωσης είναι δυνατή με δυο μεθόδους:

- **Σε σταθερή εγκατάσταση (in plant):** Το ασφαλικό οδόστρωμα θερμαίνεται και αφαιρείται. Στη συνέχεια μεταφέρεται σε χώρο, όπου είναι εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής ασφαλτομίγματος, όπου υπόκειται σε κατάλληλη επεξεργασία. Το ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα μεταφέρεται στον τόπο του έργου και ακολουθεί η διάστρωσή του στην οδό.
- **Επιτόπια μέθοδος (in place):** Όλες οι εργασίες από τη θέρμανση – αφαίρεση του ασφαλικού οδοστρώματος μέχρι την επαναδιάστρωση του πραγματοποιούνται επί της οδού σε μια διέλευση με τη χρήση κατάλληλων μηχανημάτων.



Εικόνες 25,26: Σταθερές εγκαταστάσεις θερμής ανακύκλωσης οδοστρώματος.

Η επιτόπια ανακύκλωση εν θερμώ μπορεί να χωριστεί σε τρεις διαδικασίες, που έχουν ως χαρακτηριστικό τη χρήση του ίδιου μηχανικού εξοπλισμού και τη χρησιμοποίηση θερμότητας. Αυτές είναι η αναμόρφωση (reshape), η επαναδιάστρωση (gerave) και η επανάμιξη (remix).

3.2 Αναμόρφωση του ασφαλικού οδοστρώματος (reshape)

Στη μέθοδο αυτή η επιφάνεια του οδοστρώματος θερμαίνεται με υπέρυθρες ακτίνες σε θερμοκρασία 120-130 °C και επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση

χωρίς πρόσμιξη υλικού. Με τη βοήθεια κοχλιών διενεργείται μια εγκάρσια κατανομή του αναμοχλευθέντος υλικού κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο διαστρωτήρας που ακολουθεί να μπορεί να διαστρώσει το υλικό σύμφωνα με την διατομή και σε σταθερό πάχος. Το υλικό που ενδεχομένως περισσεύει απομακρύνεται από τα πλάγια του οδοστρώματος. Η συμπύκνωση του επαναδιαστρωθέντος τάπητα γίνεται αμέσως με βαρείς στατικούς ή δονητικούς συμπυκνωτές και πρέπει να ολοκληρωθεί πριν πέσει η θερμοκρασία της στρώσης που υφίσταται επεξεργασία. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος θα πρέπει το οδόστρωμα να έχει τη σωστή διατομή και να μην παρουσιάζει μεγάλες ανωμαλίες, διότι σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να προηγηθεί πλάνισμα και φρεζάρισμα της επιφάνειας. Επίσης το υπάρχον ασφαλτικό υλικό του ασφαλτοτάπητα θα πρέπει να έχει σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανούς υλικού και σωστή αναλογία σε άσφαλτο. Τέλος η άσφαλτος δεν θα πρέπει να έχει υποστεί χημικές αλλοιώσεις (π.χ. οξείδωση) σε προχωρημένο βαθμό.

3.3 Επαναδιάστρωση του παλιού οδοστρώματος με προσθήκη υλικού χωρίς ανάμιξη (repave)

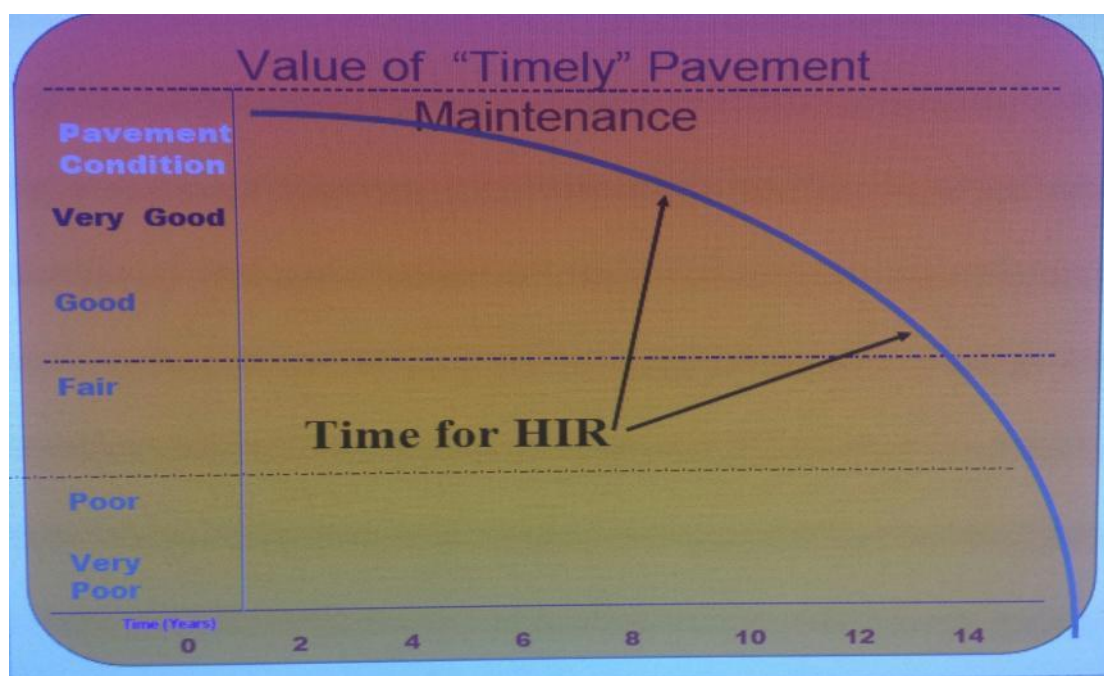
Στη μέθοδο αυτή το οδόστρωμα θερμαίνεται με υπέρυθρες ακτίνες και στη συνέχεια αναμοχλεύεται σε βάθος 3-4 cm. Εν συνεχεία διαμορφώνεται η αναμοχλευόμενη στρώση του παλιού οδοστρώματος και αναθερμαίνεται, ενώ συγχρόνως διαστρώνεται πάνω σε αυτή ένας λεπτοτάπητας (πάχους 3 cm) από νέο ασφαλτόμιγμα. Ακολουθεί συμπύκνωση της διπλής στρώσης ασφαλτομίγματος. Αν το παλιό ασφαλτόμιγμα έχει υποστεί αλλοιώσεις χημικής φύσεως, αυτές θα αντιμετωπιστούν από την κάλυψη του με τη νέα επίστρωση.

3.4 Επανάμιξη του παλαιού υλικού οδοστρώματος με νέο ασφαλτικό μίγμα (remix)

Στη μέθοδο αυτή ο παλιός ασφαλτοτάπητας θερμαίνεται και αναμοχλεύεται σε βάθος περίπου 5 cm. Το παλιό ασφαλτόμιγμα αναμιγνύεται με νέο συμπληρωματικό ασφαλτόμιγμα σε θερμαινόμενο ειδικό αναμικτήρα του μηχανήματος ανακύκλωσης. Ακολούθως γίνεται η διάστρωση του νέου μίγματος και η κυλίνδρωσή του ώστε να επέλθει συμπύκνωση. Με τη μέθοδο αυτή διορθώνεται η κοκκομετρική διαβάθμιση του αδρανούς υλικού, το ποσοστό της ασφάλτου στο μίγμα καθώς και το είδος της ασφάλτου. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η σχετική ομοιομορφία του ασφαλτομίγματος, ως προς τη διαβάθμιση των υλικών και το ποσοστό της ασφάλτου.

3.5 Θερμή επιτόπια ανακύκλωση οδοστρωμάτων (Hot In Place Recycling, HIPR)

Η θερμή επιτόπια ανακύκλωση οδοστρωμάτων είναι αυτή που χρησιμοποιείται σε πλειονότητα στις μέρες μας όσον αφορά την θερμή ανακύκλωση οδοστρωμάτων. Η θερμή επιτόπια ανακύκλωση είναι μια τεχνολογία που υπόσχεται να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση και να μειώσει το κόστος του θερμού ασφαλτικού μίγματος (Hot Mix Asphalt) στο οδόστρωμα που αποκαθίσταται. Η μέθοδος της θερμής ανακύκλωσης σε σταθερή εγκατάσταση έχει ως σκοπό να αλέσει το ανώτερο στρώμα του οδοστρώματος, να το μεταφέρει με φορηγό στην εγκατάσταση επεξεργασίας και στη συνέχεια να επαναστρώσει το νέο θερμό ασφαλτόμιγμα. Η επιτόπια μέθοδος εξαλείφει την μεταφορά του ανακυκλωμένου υλικού, πραγματοποιώντας όλη την διαδικασία με ένα μόνο πέρασμα.



Εικόνα 27: Κατάλληλος χρόνος επιλογής της θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης

Η θερμή επιτόπια ανακύκλωση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- Συμβατική θέρμανση οδοστρώματος (Conventional Heater)
- Αναθέρμανση οδοστρώματος (Re-Heat)

3.5.1 Λειτουργία συμβατικής θέρμανσης οδοστρώματος (Conventional Heater)

Βήμα 1°

Ο 1^{ος} προθερμαντήρας θερμαίνει το οδόστρωμα στους 80-110 C° .



Εικόνα 28

Βήμα 2°

Ο 2ος προθερμαντήρας θερμαίνει το οδόστρωμα στους 140-150 C° .



Εικόνα 29

Βήμα 3°

Εισαγωγή αναζωογονητικού παράγοντα.



Εικόνα 30

Βήμα 4°

Μηχάνημα με ασάλινα δόντια και υδραυλικά ελατήρια, σκάβουν-ξύνουν το υπάρχον οδόστρωμα.



Εικόνα 31

Βήμα 5°

Αναστρέψιμες κεφαλές ξανά ανακατεύουν το πλάτος του οδοστρώματος.



Εικόνα 32

Βήμα 6°

Κατανομή και επαναδιάστρωση νέου ασφαλτομίγματος.



Εικόνα 33

Βήμα 7°

Πάτημα νέας ασφάλτου με οδοστρωτήρα.



Εικόνα 34

Βήμα 8°

Η νέα πλέον πλαστικοποιημένη ασφαλτος έχει λάβει την τελική της μορφή και είναι έτοιμη προς χρήση.



Εικόνα 35

3.5.2 Λειτουργία αναθέρμανσης οδοστρώματος (Re-Heat)

Κατά την (Re-Heat) μέθοδο, θερμαίνεται η άσφαλτος, αφαιρείται η κορυφή από την επιφανειακή στρώση, προσθέεται αναζωογονητικό γαλάκτωμα, αναμιγνύεται ομοιόμορφα το υλικό επί του οχήματος σε ειδικό σκεύος και τέλος συμπυκνώνεται και διαστρώνεται η νέα άσφαλτος.

Βήμα 1°

Η επιφάνεια του δρόμου μαλακώνει με την μετάδοση θερμικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 36

Βήμα 2°

Αφαιρείται η επιφανειακή στρώση, από μηχάνημα με σύστημα περιστροφικών λεπίδων. Το υλικό αποσπάται για επεξεργασία.



Εικόνα 37

Βήμα 3°

Πρόσθεση ασφαλτικού γαλακτώματος για την ανασύσταση της ανανεωμένης ασφάλτου.



Εικόνα 38

Βήμα 4°

Επί μηχανήματος ομοιόμορφη ανάμιξη των πρόσθετων με το ασφαλτόμιγμα.



Εικόνα 39

Βήμα 5°

Επίστρωση ανακυκλωμένου υλικού. Η ανανεωμένη άσφαλτος τοποθετείται κατευθείαν στη θέση της με την σωστή κλίση και σε σωστή τάξη.



Εικόνα 40

Βήμα 6°

Ο ανακυκλωμένος ασφαλτοτάπητας ενώ είναι θερμός και ελαστικός δέχεται την τελική συμπίεση από τους οδοστρωτήρες.



Εικόνα 41

Βήμα 7°

Ο νέος ασφαλτοτάπητας είναι έτοιμος προς χρήση.



Εικόνα 42

Με τις δύο αυτές επιτόπιες μεθόδους αποφεύγουμε παραπανήσιες εργασίες μεταφοράς όπως φαίνεται στις φωτογραφίες 43,44,45, γλιτώνοντας έτσι σε χρόνο αλλά και σε χρήμα.



Εικόνες 43,44,45

Τυπικός πίνακας σύγκρισης μεταξύ σταθερής ανακύκλωσης σε εγκατάσταση και των δύο μεθόδων επιτόπιας ανακύκλωσης:

Πίνακας 1

	€/m ²	Ποσοστό κέρδους	€/Mile	ΚΕΡΔΟΣ
Ανακύκλωση σε σταθερή εγκατάσταση	7,46 €	26%	105.017,1 €	27.101,2 €
Συμβατική θέρμανση οδοστρώματος (Conventional Heater)	5,53 €		779.15,9 €	
Ανακύκλωση σε σταθερή εγκατάσταση	7,46 €	25%	105.017,1 €	25.971,98 €
Αναθέρμανση οδοστρώματος (Re-Heat)	5,61 €		79.045,12 €	

- **Προαπαιτούμενα για την θερμή ανακύκλωση:**
 - ✓ Το υποψήφιο οδόστρωμα πρέπει να είναι σωστά δομημένο και να μην υπάρχουν αποτυχίες στην βάση.
 - ✓ Το υποψήφιο οδόστρωμα πρέπει να έχει τουλάχιστον 3” (ίντσες) ασφαλτόμιγμα.
- **Τύποι ασφάλτου υποψήφιοι για την επιτόπια θερμή ανακύκλωση:**
 - Ρωγμές που δημιουργούνται από την μεταβολή της θερμοκρασίας (Thermal cracking)



Εικόνα 46

- Ρωγμές επιβάρυνσης οδοστρώματος (Fatigue cracking)



Εικόνα 47

- Λακούβες (Patches)



Εικόνα 48

- Οδοστρώματα κακής οδικής συμπεριφοράς (Poor rideability)



Εικόνα 49

- Οδοστρώματα με αποκόλληση αδρανών (Raveling)



Εικόνα 50

3.5.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων επιτόπιας θερμής ανακύκλωσης

	Συμβατική θέρμανση οδοστρώματος (Conventional Heater)	Αναθέρμανση οδοστρώματος (Re-Heat)
Ανάγκη για επιφανειακή επεξεργασία / Επικάλυψη	ΝΑΙ	ΌΧΙ
Υλικά που προστίθενται κατά τη διαδικασία	Ανανεωμένη άσφαλτος	Ανανεωμένη άσφαλτος
m ² /ημέρα	9.000	4.500
Βάθος Διείσδυσης σε ίντσες	Μέχρι και 1,5"	Μέχρι και 2"
Επιτόπια δυνατότητα ανάμιξης	Ανασκαφή με λεπίδες	Εποχούμενος μίκτης (On board)
Δεσμός θερμικής επίδρασης	Μέτρια-Υψηλή	Χαμηλή-Μέτρια
Επανατοποθέτηση χαλιού	Συμβατική διάστρωση	Συμβατική διάστρωση
Οδοστρωτήρες	Διπλό δονητικός οδοστρωτήρας	Διπλό δονητικός οδοστρωτήρας
Τιμή/m ²	2,81 € + Επιφανειακή θεραπεία/Επικάλυψη	5,61 € Σύνολο

Πίνακας 2

4. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΗΣ ΕΠΙΤΟΠΙΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

4.1 Ιστορική αναδρομή μηχανημάτων θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης

Οι πρώτες μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για την θερμή επιτόπια ανακύκλωση χρονολογούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής από τις αρχές της δεκαετίας του 1980.

Από τις πρώτες μηχανές είναι και η Crupi της εταιρείας Johnson Recycling με μονό στάδιο επεξεργασίας που χρησιμοποιούσε προπάνιο, είχε αποξέστη με δόντια και δημιουργούσε υπερβολική θερμότητα με φλόγες και καπνό κατά την θέρμανση του οδοστρώματος. Το βάθος της απόξεσης έφτανε μέχρι και τα 25 mm. Η αναζωογόνηση της ασφάλτου μπορούσε να προστεθεί με σπρέι επάνω στην θερμή επιφάνεια, με πολλές επιπτώσεις για την υγεία. Επίσης δεν υπήρχε δυνατότητα

ανάμειξης του ασφαλτομίγματος και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο σε δημοτικούς δρόμους και σε αυτοκινητόδρομους χαμηλού όγκου κυκλοφορίας.



Εικόνες 51,52,53: Johnson Recycling / Cupri 1984

Το 1987 η εταιρεία Taisei Rotec σύστησε στο κοινό το μηχάνημα Sechelt. Και το μηχάνημα αυτό είχε μονό στάδιο επεξεργασίας. Χρησιμοποιούσε προπάνιο και είχε δύο προθερμαντήρες με φλόγες και υπέρυθη ακτινοβολία. Ακολουθούσε αποξέστης με δόντια και μονάδα μεταρρυθμίσης και επανάμειξης ασφαλτομίγματος, με δυνατότητα ελεγχόμενης απόθεσης και διάστρωσης. Δημιουργούσε λιγότερες φλόγες και λιγότερο καπνό και είχε δυνατότητα απόξεσης μέχρι και 40 mm. Τέλος η αναζωογόνηση της ασφάλτου γινόταν από τον έλεγχο μικρο – επεξεργαστή.



Εικόνα 54: Μεταρρυθμιστής / Μονάδα ελέγχου οδοστρώσις



Εικόνα 55: Αποξέστης με δόντια

Από τις αρχές του 2000 και μετά χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον καινούργια μηχανήματα με καλύτερες και περισσότερες δυνατότητες όπως ο AR 2000 της εταιρείας Martec και ο Pyroraver 300 E της εταιρείας Pyrotech.

Δυνατότητες Pyrotech / Pyroraver 300 :

- Ένας προ-θερμαστής
- Δύο στάδια άλεσης με προπάνιο ως καύσιμο και θέρμανση οδοστρώματος με υπέρυθη ακτινοβολία

- Ευρύ πλάτος επεξεργασίας, 3.5 έως 3.8 m
- Σύστημα ελέγχου των εκπομπών
- Αναζωογόνηση της ασφάλτου από τον έλεγχο μικρο-επεξεργαστή
- Δυνατότητα προσθήκης και επανάμειξης ασφαλτομίγματος μέχρι και 25%
- Συρόμενος μεταφορέας με κυλινδρικό οδοστρωτήρα



Εικόνες 56,57: Pyrotech /Pyropaver 300

- Σύγκριση Pyrotech / Pyropaver 300 με Martec / AR 2000 :

Pyrotech / Pyropaver 300

Martec / AR 2000

- Σύστημα δύο σταδίων
- Σύστημα πολλαπλών σταδίων

- Θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία
- Αποτέφρωση εκπομπών
- Καλά ελεγχόμενη αναζωογόνηση και προσθήκη συστημάτων
- Επί του σκάφους μίξη
- Κεφαλές τριπλής άλεσης
- Πιο αξιόπιστα εξαρτήματα
- Θέρμανση με ζεστό αέρα
- Αποτέφρωση εκπομπών
- Καλά ελεγχόμενη αναζωογόνηση και προσθήκη συστημάτων
- Επί του σκάφους μίξη
- Επιλογή καυσίμου Diesel ή προτάνιο
- Πιο αξιόπιστα εξαρτήματα
- Διαχείριση αερίων του θερμοκηπίου



Εικόνα 58: Martec / AR 2000

4.2 Σύγχρονα μηχανήματα θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης

Από τις αρχές του 2010 έως σήμερα η εταιρεία Ecorave Systems δημιούργησε ένα από τα πιο σύγχρονα μηχανήματα για την θερμή ανακύκλωση οδοστρωμάτων, τον Ecoraver 400. Ο Ecoraver 400 χρησιμοποιείται από τις περισσότερες εταιρείες του κλάδου. Αποτελείται από: 1) Τον προθερμαντήρα , 2) Δύο ή τρεις μονάδες άλεσης - θέρμανσης και 3) Από την μονάδα ανάμιξης και διάστρωσης.



Εικόνα 59: Ecoraver 400

Ο Ecoraver 400 είναι ένα μηχάνημα πολλαπλών σταδίων που μπορεί να θερμάνει, να αφαιρέσει, να αναζωογονήσει και να διαστρώσει ασφαλτικό οδόστρωμα σε βάθος μέχρι και 50 mm, σε 4 λωρίδες ανά km / ανά ημέρα λειτουργίας. Ο αναζωογονητικός παράγοντας προστίθεται για να αποκαταστήσει τις συνδετικές ικανότητες και μπορεί να προστεθεί μέχρι και 30% νέο ασφαλτόμιγμα για να βελτιωθεί η διαβάθμιση και να διορθωθεί το παλιό προφίλ του ασφαλτομίγματος με τις ρωγμές και τις λακκούβες.



1^η Μονάδα άλεσης

2^η μονάδα άλεσης

3^η μονάδα άλεσης

Μονάδα ανάμιξης και
διάστρωσης

Εικόνα 60:Διάταξη Ecoraver 400

4.2.1 Πλεονεκτήματα του Ecoraver 400:

- Οικονομία από 30% έως και 50%
- 100% του αναγεννημένου υλικού επαναχρησιμοποιείται
- Τα αέρια του θερμοκηπίου μειώνονται κατά 30%
- Μέχρι και 50 mm βάθος άλεσης από 25 mm
- 4 λωρίδες ανά km την ημέρα
- Καλύτερη ποιότητα ασφαλτομίγματος από άλλες διαδικασίες

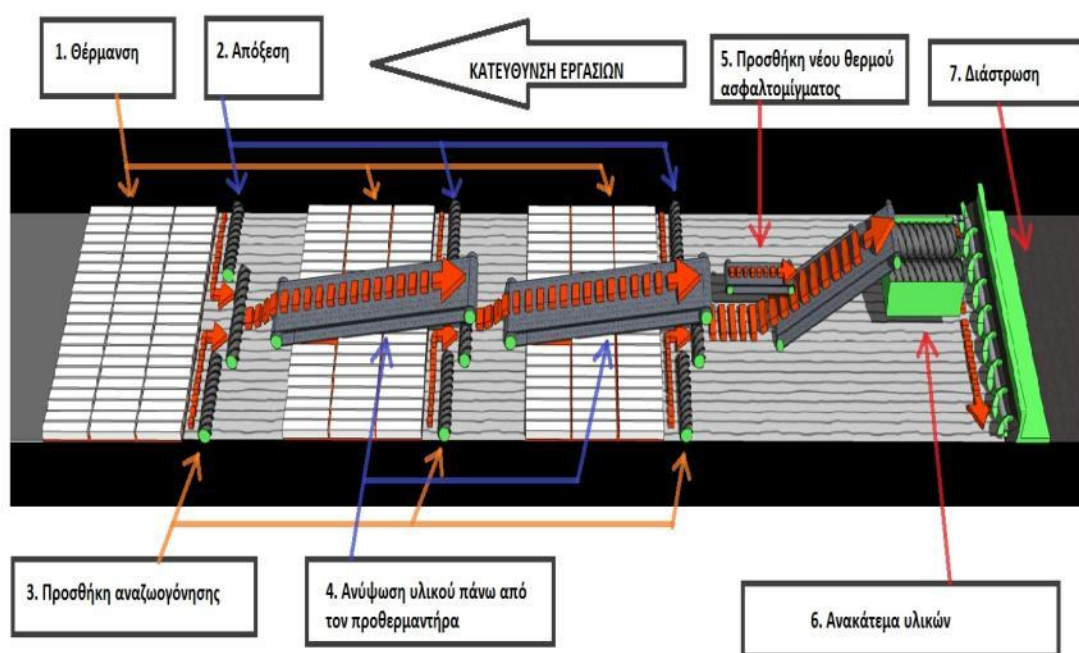


Εικόνες 61,62: Ecoraver 400

4.2.2 Διαδικασία λειτουργίας Ecoraver 400:

1. Υπέρυθρη ακτινοβολία εφαρμόζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος για την αγγροποίηση του συνδετικού υλικού.
2. Οι περιστροφικοί μύλοι κόβουν ένα τμήμα του επιθυμητού βάθους και το απλώνουν στο κέντρο.
3. Οι παράγοντες αναζωογόνησης προστίθενται για να αποκαταστήσουν τις ιδιότητες του συνδετικού υλικού.

4. Ένας μεταφορέας ανυψώνει την κομμένη πρώτη σειρά, ώστε να εκτεθεί το κατώτερο στρώμα για περαιτέρω θέρμανση.
5. Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται δύο ή τρεις φορές, ανάλογα με τη διαμόρφωση του συστήματος.
6. Νέο θερμό ασφαλτόμιγμα προστίθεται για να τροποποιήσει τη συνολική διαβάθμιση και να βελτιώσει την ομαλότητα του ασφαλτομίγματος.
7. Ακολουθούν τα τελικά στάδια εναπόθεσης και συμπίεσης χρησιμοποιώντας συμβατικό εξοπλισμό και μεθόδους (οδοστρωτήρες).



Εικόνα 63:Επεξήγηση λειτουργιών



Εικόνα 64:Πλήρες σύστημα Ecoraver 400

4.2.3 Λειτουργίες επί μέρους τμημάτων του Escoraver 400

➤ Προθερμαντήρας:



Εικόνα 65: Προθερμαντήρας:

- Ξεκινά τη διαδικασία θέρμανσης
- Διαθέτει σύστημα αποτέφρωσης εκπομπών
- Υπέρυθρη ακτινοβολία 10.000 BTU με προπύριο ως καύσιμο
- Μέγεθος εργασίας 4m x 12m
- Μέγεθος μεταφοράς 3,2 m x 12 m
- Οδηγείται κατά την διάρκεια της κινητοποίησης

➤ 2 ή 3 Μονάδες άλεσης-θέρμανσης



Εικόνα 66: Μονάδα άλεσης-θέρμανσης

- Θερμαίνει και αφαιρεί το ασφαλτόμιγμα
- Μηχανοποιημένο σύστημα ανακύκλωσης
- Μηχανή Diesel 375 HP της εταιρείας Caterpillar
- Υπέρυθρη ακτινοβολία 10.000 BTU με προπύριο ως καύσιμο
- Διαθέτει σύστημα αποτέφρωσης εκπομπών
- Μέγεθος εργασίας 4m x 17m
- Μέγεθος μεταφοράς 3,2m x 17m
- Η μονάδα σύρεται κατά την διάρκεια της κινητοποίησης

➤ Μονάδα ανάμιξης και διάστρωσης



Εικόνα 67: Μονάδα ανάμιξης και διάστρωσης

- Προσθέτει νέο θερμό ασφαλτόμιγμα και το αναμιγνύει με το ανακυκλωμένο
- Μηχανοποιημένο σύστημα ανακύκλωσης
- Μηχανή Diesel 275 HP της εταιρείας Caterpillar
- Διπλός άξονας ανάμιξης
- Μέγεθος εργασίας 4m x 10m
- Μέγεθος μεταφοράς 3.2m x 10m
- Η μονάδα ρυμουλκείται κατά την διάρκεια της κινητοποίησης



Εικόνες 68,69,70

4.2.4 Πλεονεκτήματα των τριών σταδίων άλεσης-θέρμανσης

- Επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία για τις πιο βαθιές επιφάνειες
- Τα αδρανή αφαιρούνται χωρίς να συνθλιβονται
- Ελαχιστοποιούνται οι αλλαγές στην συνολική διαβάθμιση
- Έχει υψηλή απόδοση



Εικόνα 71

4.2.5 Πλεονεκτήματα της πρόσθεσης νέου θερμού ασφαλτομίγματος

- Βελτιώνει τα επίπεδα οδήγησης
- Μειώνει τα κενά αέρος
- Καλύτερης ποιότητας ασφαλτόμιγμα
- Μειώνει τον αριθμό των ρηγματώσεων



Εικόνα 72

4.2.6 Παράγοντας Ανακύκλωσης – Αναζωογόνησης

- Αποτελείται από επιλεγμένο γκρουπ μαλτενίων που αποκαθιστούν την ισορροπία του συνδετικού υλικού
- Δεν είναι γαλάκτωμα
-



Εικόνα 73:Υλικά της ασφάλτου

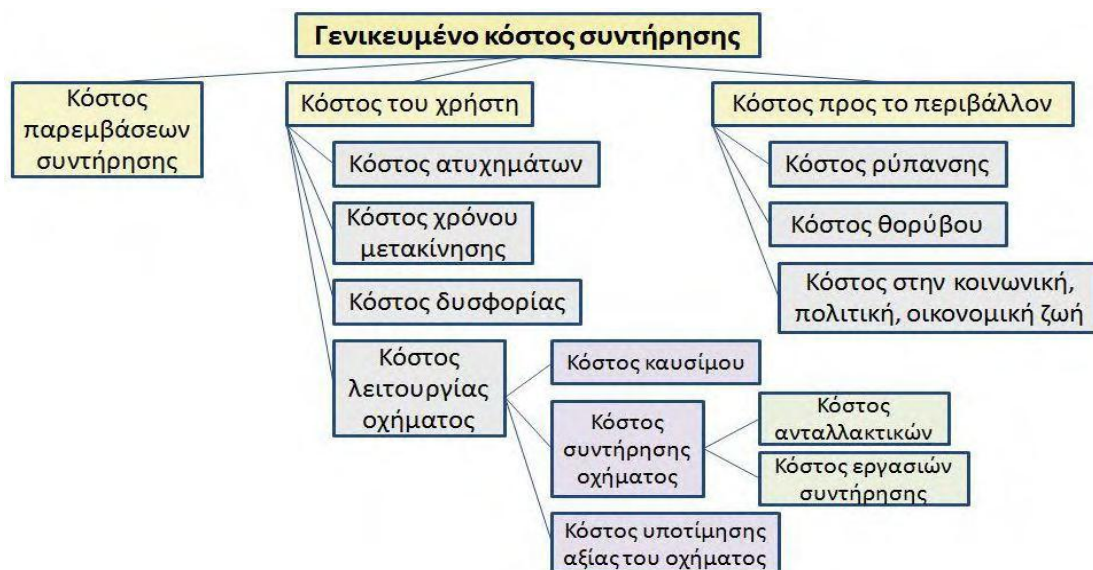
4.2.7 Παράγοντες επιλογής Έργων

- Δομική αντοχή
- Το περιεχόμενο του ασφαλτοσκυροδέματος δεν είναι χαμηλότερο από 4,5% ή μεγαλύτερο από 6%
- Η διείσδυση στο ασφαλτοσκυρόδεμα δεν είναι χαμηλότερη από 20 mm
- Τα επί τόπου κενά αέρος δεν πρέπει να είναι μικρότερα από 1%
- Τα ελαττώματα στο ασφαλτόμιγμα να είναι χαμηλής ή μέτριας σοβαρότητας

5. ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Η φθορά της οδικής υποδομής, και επομένως του οδοστρώματος, έχει ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής, δημιουργώντας ένα υψηλό κόστος συντήρησης και ένα υψηλό κοινωνικό κόστος με απώλειες σε ανθρωποώρες, καύσιμα, φθορές οχημάτων, ατυχήματα, ρύπανση (ατμοσφαιρική, ηχητική, αισθητική), επιβάρυνση στο οικονομικό περιβάλλον (εμπόριο, υπηρεσίες, τουρισμός). Έτσι, απαιτείται συνεχής συντήρηση των οδοστρωμάτων για να προσφέρουν το επιθυμητό επίπεδο άνεσης, εξυπηρέτησης και λειτουργικότητας στους χρήστες.

Οι επεμβάσεις συντήρησης που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα οδικό δίκτυο και οι εν γένει ενέργειες που αποσκοπούν στην ορθολογική διαχείριση οδικών δικτύων είναι περιορισμένες ως προς την έκταση και το μέγεθος, λόγω αντίστοιχων περιορισμών που αφορούν προσωπικό, εξοπλισμό και υλικά. Στην πράξη, αυτό μεταφράζεται, κατά κύριο λόγο, για το δημόσιο ή ιδιωτικό φορέα που έχει την ευθύνη της διαχείρισης, σε ένα πρόβλημα εξεύρεσης πιστώσεων και κατανομής των σχετικών πόρων, κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, στα έργα συντήρησης, βελτίωσης και εκσυγχρονισμού των οδών.



Εικόνα 74: Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών του γενικευμένου κόστους συντήρησης.

Για να είναι εφικτή η συντήρηση οδοστρωμάτων με περιορισμένους πόρους και ταυτόχρονα η διατήρηση του οδοστρώματος σε τέτοιο επίπεδο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στους χρήστες και στο περιβάλλον, είναι απαραίτητη η ανάλυση κόστους συντήρησης του οδοστρώματος.

Οι κύριες συνιστώσες του κόστους συντήρησης των οδοστρωμάτων είναι το κόστος των παρεμβάσεων συντήρησης ή αλλιώς το κόστος του φορέα που αναλαμβάνει τη συντήρηση του οδοστρώματος, το κόστος των χρηστών και το κόστος προς το περιβάλλον. Το κόστος των χρηστών αποτελείται από το κόστος λειτουργίας του οχήματος, το κόστος των ατυχημάτων, το κόστος καυσίμου, το κόστος του χρόνου μετακίνησης και το κόστος δυσφορίας. Το κόστος προς το περιβάλλον περιλαμβάνει το κόστος ρύπανσης, το κόστος θορύβου και το κόστος στην κοινωνική, πολιτική και οικονομική ζωή που όμως είναι αμελητέο σε σχέση με τις υπόλοιπες συνιστώσες του κόστους συντήρησης.

Το γενικευμένο κόστος συντήρησης των οδοστρωμάτων εξαρτάται από την κατάσταση του οδοστρώματος και συγκεκριμένα αυξάνεται όσο η κατάσταση στο οδόστρωμα επιδεινώνεται. Στα πλαίσια της συντήρησης των οδοστρωμάτων σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις βλαβών υπάρχουν περισσότερες από μια εναλλακτικές λύσεις. Είναι γενικά αποδεκτό ότι πρωταρχικό κριτήριο για την επιλογή μιας τεχνικής λύσης αποτελεί το κόστος αυτής. Λοιπά κριτήρια, όπως ο χρόνος κατασκευής, η ασφάλεια των εργασιών, η προστασία του περιβάλλοντος, η κατανάλωση ενέργειας κλπ., συνεκτιμώνται κατά την επιλογή της πλέον συμφέρουσας λύσης.

5.1 Κόστος παρεμβάσεων συντήρησης

Η διατήρηση του οδοστρώματος σε κατάσταση παρόμοια με αυτήν που είχε κατά το χρόνο της κατασκευής του είναι πρακτικά αδύνατη. Παράγοντες όπως η κυκλοφορία, οι καιρικές συνθήκες και η γήρανση των υλικών μειώνουν την ποιότητα και την αντοχή του οδοστρώματος. Έτσι, έπειτα από ορισμένο χρονικό διάστημα απαιτείται η αποκατάσταση του οδοστρώματος, δηλαδή η επαναφορά της κατάστασής του στο αρχικό επίπεδο ή σε ένα νέο αποδεκτό επίπεδο λειτουργικότητας που θα καθορίζεται με συγκεκριμένη διαδικασία.

Συγχρόνως, οι χρηματοδοτήσεις για τη διατήρηση των οδοστρωμάτων στα επιθυμητά επίπεδα είναι μειωμένες. Έτσι, οι φορείς οδοποιίας είναι υποχρεωμένοι να βρουν τη βέλτιστη λύση για τη συντήρηση του οδοστρώματος που θα απαιτεί το μικρότερο κόστος.

Το κόστος είναι ένας από τους παράγοντες που πρέπει να εξετάζεται προσεχτικά για την επιλογή παρεμβάσεων συντήρησης. Επιπλέον, ανάλογα με την κατάσταση του οδοστρώματος και τις φθορές που παρουσιάζει είναι δυνατή η ύπαρξη διαφορετικών παρεμβάσεων συντήρησης που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στο οδόστρωμα και να βελτιώσουν την κατάστασή του, με το ανάλογο κόστος η κάθε μία. Έτσι, προκύπτει η αναγκαιότητα μιας ανάλυσης κόστους συντήρησης του οδοστρώματος πριν από την επιλογή της κατάλληλης παρέμβασης για τη συντήρηση του οδοστρώματος.

Πίνακας 3: Οι κυριότερες παρεμβάσεις συντήρησης οδοστρωμάτων που εφαρμόζονται στην Ελλάδα.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
1	Καμία παρέμβαση.
2	Τοπική διάστρωση θερμού ή ψυχρού ασφαλτομίγματος, αφού προηγηθεί συγκολλητική.
3	Τοπική εξυγίανση άνευ τετραγωνισμού και διάστρωση θερμού ή ψυχρού ασφαλτομίγματος, αφού προηγηθεί συγκολλητική.
4	Τοπική εξυγίανση με τετραγωνισμό και διάστρωση θερμού ή ψυχρού ασφαλτομίγματος, αφού προηγηθεί συγκολλητική.
5	Τοπική εξυγίανση άνευ τετραγωνισμού και διάστρωση θερμού ή ψυχρού ασφαλτομίγματος, αφού προηγηθεί συγκολλητική και στη συνέχεια ισοπεδωτική στρώση 4-5 cm.
6	Τοπική εξυγίανση με τετραγωνισμό και διάστρωση θερμού ή ψυχρού ασφαλτομίγματος, αφού προηγηθεί συγκολλητική και στη συνέχεια ισοπεδωτική στρώση 4-5 cm.
7	Τοπική διάστρωση θερμού ή ψυχρού ασφαλτομίγματος, αφού προηγηθεί συγκολλητική και στη συνέχεια ισοπεδωτική στρώση 4-5 cm.
8	Τοπική εξυγίανση με τετραγωνισμό και διάστρωση θερμού ή ψυχρού ασφαλτομίγματος, αφού προηγηθεί συγκολλητική και στη συνέχεια ισοπεδωτική στρώση 4-5 cm και στη συνέχεια αντιολισθηρός τάπητας.
9	Φρεζάρισμα σε στρώσεις και διάστρωση ισοπεδωτικού τάπητα 4-5 cm.
10	Φρεζάρισμα σε στρώσεις και διάστρωση ισοπεδωτικού τάπητα 4-5 cm και στη συνέχεια κατασκευή αντιολισθηρού τάπητα.
11	Φρεζάρισμα σε μία στρώση και κατασκευή αντιολισθηρού τάπητα.
12	Πλήρωση ρωγμών με αμμάσφαλο ή άλλα συνθετικά υλικά.
13	Πλήρωση ρωγμών με αμμάσφαλο ή άλλα συνθετικά υλικά και κατασκευή ισοπεδωτικού τάπητα 4-5 cm.
14	Πλήρωση ρωγμών με ασφαλτομαστίχη
15	Κατασκευή ισοπεδωτικής στρώσης.
16	Κατασκευή ισοπεδωτικής στρώσης και στη συνέχεια κατασκευή αντιολισθηρού τάπητα.
17	Διάστρωση-διασπορά λεπτόκοκκων αδρανών.
18	Ανακατασκευή.

5.2 Κόστος των χρηστών

Η κυκλοφορία των οχημάτων είναι υπεύθυνη για την καταπόνηση των οδοστρωμάτων και για τα ατυχήματα. Επίσης, η κυκλοφορία σχετίζεται άμεσα με την ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας μιας χώρας και αυτός είναι ένας από τους λόγους που η επιδείνωση της κατάστασης του οδοστρώματος έχει μεγάλο αντίκτυπο στο κόστος του χρήστη. Ο καλύτερος τρόπος για τη μείωση του κόστους του χρήστη είναι η διατήρηση του οδοστρώματος σε υψηλότερα επίπεδα κατάστασης. Τα συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων διεθνώς έχουν δώσει έμφαση στη βελτιστοποίηση του κόστους συντήρησης και δεν λαμβάνουν υπόψη το κόστος των χρηστών επειδή το τελευταίο είναι δύσκολο να εκτιμηθεί.

Το κόστος των χρηστών αποτελείται από τέσσερις κύριες συνιστώσες. Οι συνιστώσες αυτές είναι το κόστος λειτουργίας του οχήματος, το κόστος των ατυχημάτων, το κόστος του χρόνου μετακίνησης και το κόστος δυσφορίας. Το κόστος λειτουργίας του οχήματος αποτελείται από το κόστος καυσίμου, το κόστος υποτίμησης της αξίας του οχήματος και το κόστος των εργασιών συντήρησης οχημάτων.

Οι συνιστώσες του κόστους χρήστη συνδέονται με την επιφανειακή κατάσταση του οδοστρώματος που απεικονίζεται, σε ικανοποιητικό βαθμό, από την επιπεδότητα του οδοστρώματος. Η επιπεδότητα του οδοστρώματος είναι ίσως η πιο σημαντική παράμετρος της κατάστασης του οδοστρώματος αφενός διότι εμπεριέχει έναν μεγάλο αριθμό φθορών κι αφετέρου γιατί αυτή χαρακτηρίζει κατά κύριο λόγο την ποιότητα κύλισης όπως την αντιλαμβάνεται ο χρήστης της οδού. Εξαιρέση αποτελούν τα ατυχήματα, στην πρόκληση των οποίων συμβάλει ουσιαστικά, εκτός της μειωμένης επιπεδότητας, και η ολισθηρότητα. Με βάση τα παραπάνω, δίνεται έμφαση στην επιπεδότητα της οδού, που εκφράζεται με το δείκτη κατάστασης του οδοστρώματος PSI.

5.3 Κόστος προς το περιβάλλον

Τις τελευταίες δεκαετίες τα θέματα προστασίας του περιβάλλοντος αναδεικνύονται σε πολύ σημαντικά και κύρια προβλήματα που απαιτούν άμεση αντιμετώπιση, καθώς έχει γίνει σαφές σε όλες τις χώρες ότι το κάθε μοντέλο ανάπτυξης που εφαρμόζεται δεν είναι δυνατόν να στηρίζεται στην εξάντληση των φυσικών πόρων και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Ως περιβάλλον σε ένα τεχνικό έργο υποδομής ορίζεται το σύνολο των παραγόντων οι οποίοι επηρεάζονται από την κατασκευή και την λειτουργία του. Οι κυριότερες συνέπειες στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία ενός τεχνικού έργου είναι:

- η κατάληψη σημαντικών επιφανειών γης,
- η αύξηση του θορύβου και η ρύπανση της ατμόσφαιρας,
- η αλλαγή του φυσικού τοπίου και των οικοσυστημάτων,

- οι χρήσεις της γης στη γειτονική περιοχή,
- η επίδραση στην κοινωνική, πολιτική και οικονομική ζωή,
- η επίδραση στο πολιτιστικό – ιστορικό περιβάλλον.

Τα οδικά δίκτυα, ως τεχνικά έργα, επιβαρύνουν το περιβάλλον με τη λειτουργία τους. Η επιδείνωση της κατάστασης των οδοστρωμάτων έχει ως συνέπεια την αύξηση του θορύβου, τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και την επίδραση στην κοινωνική, πολιτική και οικονομική ζωή μιας περιοχής. Επομένως, το κόστος προς το περιβάλλον εξαιτίας της κατάστασης του οδοστρώματος αποτελείται από το κόστος των επιπλέον ρύπων στην ατμόσφαιρα, το κόστος του επιπλέον θορύβου εξαιτίας της κατάστασης του οδοστρώματος και το κόστος στην κοινωνική, πολιτική και οικονομική ζωή.

5.4 Κόστος κατασκευής, συντήρησης και ανακατασκευής

Στο αρχικό κόστος κατασκευής, στο κόστος συντήρησης και στο κόστος ανακατασκευής του οδοστρώματος συμπεριλαμβάνονται το κόστος αγοράς, μεταφοράς και τοποθέτησης των υλικών για την πλήρη κατασκευή του οδοστρώματος. Το κόστος εκφράζεται σε €/m² και υπολογίζεται λεπτομερώς.

Πίνακας 4:Κόστος επιμέρους εργασιών

Αντιολισθηρός τάπητας ασφαλτικού σκυροδέματος πάχους 40mm	3,23 €/m ²
Πορώδης τάπητας πάχους 40 mm	3,52 €/m ²
Πορώδης τάπητας πάχους 30 mm	3,08 €/m ²
Λεπτοτάπητας Slurry seal Τύπου III	2,05 €/m ²
Αντιολισθηρός τάπητας με SMA πάχους 40mm	4,11 €/m ²
Αντιολισθηρός τάπητας με SMA πάχους 30mm	3,82 €/m ²
Κοινός τάπητας κυκλοφορίας πάχους 40 mm	1,76 €/m ²
Κοινός τάπητας κυκλοφορίας πάχους 50 mm	2,14 €/m ²
Συνδετική στρώση πάχους 50mm	2,05 €/m ²
Ασφαλτική βάση πάχους 50mm	1,85 €/m ²
Βάση / υπόβαση ασύνδετων αδρανών πάχους 100mm	1,12 €/m ²
Προεπάλειψη με ασφαλτικό γαλάκτωμα ή διάλυμα	0,44 €/m ²
Συγκολλητική με ασφαλτικό γαλάκτωμα, μία στρώση	0,18 €/m ²
Φρεζάρισμα στρώσης πάχους 30mm	0,44 €/m ²
Φρεζάρισμα στρώσης πάχους 40mm-50mm	0,50 €/m ²
Φρεζάρισμα στρώσης πάχους 60mm-70mm	0,62 €/m ²
Ισοπεδωτική στρώση μεταβλητού πάχους 20mm-30mm	1,23 €/m ²
Καθαίρεση ασφαλτικών στρώσεων	14,67 €/m ²

Οι εργασίες συντήρησης και ανακατασκευής μιας οδού συνεπάγεται πτώση του επιπέδου εξυπηρέτησης, καθυστερήσεις, αύξηση του κόστους λειτουργίας των οχημάτων, αύξηση των πιθανοτήτων πρόκλησης ατυχημάτων και γενικότερα μείωση της άνεσης για τους χρήστες.

Παραδοχές και παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν

Σαν τυπικό μήκος οδού θεωρήθηκε το 1km. Δεδομένου ότι το κόστος χρήστη εκφράζεται σε €/m², σαν τυπικό πλάτος οδού θεωρήθηκαν τα 11 m (δηλαδή το μισό του συνολικού πλάτους αυτοκινητοδρόμου με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση).

Πίνακας 5: Κόστος κατασκευής, συντήρησης και ανακατασκευής για οδόστρωμα με αντιολισθηρή στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα.

Είδος κόστους	Κόστος (€/m ²)
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 20 έτη	18,88
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 30 έτη	20,36
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 40 έτη	21,46
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 10 έτη	19,74
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 20 έτη	20,81
Συντήρηση	3,90

Πίνακας 6: Κόστος κατασκευής, συντήρησης και ανακατασκευής για οδόστρωμα με πορώδη τάπητα.

Είδος κόστους	Κόστος (€/m ²)
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 20 έτη	20,20
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 30 έτη	21,68
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 40 έτη	22,79
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 10 έτη	21,36
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 20 έτη	22,43
Συντήρηση (διάστρωση νέου τάπητα 40mm)	5,55
Συντήρηση (διάστρωση νέου τάπητα 30mm)	5,08

Πίνακας 6: Κόστος κατασκευής, συντήρησης, ανακατασκευής για οδόστρωμα με αντιολισθηρή στρώση από Slurry seal.

Είδος κόστους	Κόστος (€/m ²)
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 20 έτη	19,46
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 30 έτη	20,94
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 40 έτη	22,05
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 10 έτη	20,33
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 20 έτη	21,41
Συντήρηση (άνευ φρεζαρίσματος)	2,23
Συντήρηση (μετά φρεζαρίσματος & τάπητα κυκλοφ.)	4,49

Πίνακας 6: Κόστος κατασκευής, συντήρησης και ανακατασκευής για οδόστρωμα με αντιολισθηρή στρώση από SMA

Είδος κόστους	Κόστος (€/m ²)
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 20 έτη	19,76
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 30 έτη	21,24
Αρχικό κόστος κατασκευής για διάρκεια ζωής 40 έτη	22,34
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 10 έτη	20,62
Ανακατασκευή για διάρκεια ζωής 20 έτη	21,69
Συντήρηση (διάστρωση τάπητα SMA 30mm)	4,43
Συντήρηση (διάστρωση τάπητα SMA 40mm)	4,78

6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Η ιδέα της ανακύκλωσης δεν είναι νέα, καθώς τα πρώτα γραπτά εμφανίζονται στα 1930. Οι Ηνωμένες Πολιτείες οδήγησαν την τεχνολογική ανάπτυξη της μοντέρνας ανακύκλωσης. Το πρώτο εργοτάξιο ανακύκλωσης έγινε το 1974, κοντά στο Sloan της Nevada. Το 1978 η F.H.W.A.(Federal Highway Administration), κατέγραψε είκοσι επτά (27) ενδιαφέροντα εργοτάξια ανακύκλωσης, που χρησιμοποίησαν περίπου 1.200.000 τόνους παλιών υλικών οδοστρωσίας. Μ'αυτόν τον τρόπο, ανακτήθηκαν 771.000 τόνοι αδρανών και 42.000 τόνοι ασφάλτου, πράγμα που δείχνει την γρήγορη ανάπτυξη της μεθόδου.

Το 1978, στην Δυτική Γερμανία, έγινε το πρώτο εργοτάξιο ανακύκλωσης με την μορφή πειραματικού σχεδίου και για δυο (2) χιλιόμετρα οδού ταχείας κυκλοφορίας. Επίσης η Φιλανδία την ίδια χρονιά, έκανε τις πρώτες πειραματικές προσπάθειες ανακύκλωσης. Άλλες χώρες οι οποίες ενδιαφέρονται για την ανάπτυξη της τεχνολογίας της ανακύκλωσης είναι η Ινδία, η Ν. Αφρική, η Ολλανδία, η Ιταλία, η Γαλλία και η Αγγλία.

6.1 Εφαρμογές ψυχρής ανακύκλωσης στην Ελλάδα

Η ψυχρή ανακύκλωση οδοστρωμάτων εφαρμόστηκε στην Ελλάδα για πρώτη φορά πολύ αργότερα, την περίοδο 2001-2002 σε ένα πιλοτικό έργο, που πραγματοποιήθηκε από τις υπηρεσίες του τότε Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Αφορούσε σε εργασίες στο τμήμα της παράκαμψης των διυλιστηρίων Κορίνθου του αυτοκινητοδρόμου Πατρών – Αθηνών.

Τα αποτελέσματα του πιλοτικού έργου κρίθηκαν θετικά. Κατόπιν αυτού η τεχνολογία της ψυχρής ανακύκλωσης εφαρμόστηκε σε ένα μεγάλο έργο συντήρησης του αυτοκινητοδρόμου Πατρών – Αθηνών – Θεσσαλονίκης – Ευζώνων. Η έρευνα, η μελέτη, ο σχεδιασμός και η επίβλεψη του έργου ανατέθηκε στην εταιρία Loudon International. Για την εφαρμογή της μεθόδου επιλέχθηκαν τέσσερα οδικά τμήματα, από τα οποία τα δύο στον άξονα Αθήνα – Υλίκη και τα άλλα δύο στον άξονα Αθήνα – Κόρινθος, με συνολικό μήκος 121 km και επιφάνεια περίπου 500.000m². Ο μέσος κυκλοφοριακός φόρτος της οδού ξεπερνούσε τα 40.000 οχήματα/ημέρα, εκ των οποίων περίπου το 25% ήταν βαρέα οχήματα (ωφέλιμο φορτίο άνω του 1,5 t).

Οι εργασίες διερεύνησης των περιοχών του έργου άρχισαν τον Ιούλιο 2003 και απετέλεσαν μια εξαιρετικά επίπονη διαδικασία. Περιλάμβαναν μεγάλο αριθμό ερευνών πεδίου για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Το έργο εκτεινόταν σε πολύ μεγάλο μήκος και μάλιστα σε τέσσερα διαφορετικά τμήματα, ο αυτοκινητόδρομος στο παρελθόν είχε διαπλατυνθεί, ενώ στα πλαίσια της συντήρησης είχε υποστεί διάφορες επεμβάσεις. Συνεπώς η σύνθεση του οδοστρώματος παρουσίαζε μεγάλη ανομοιομορφία.

Οι εργασίες κατασκευής άρχισαν το Σεπτέμβριο 2003 και ολοκληρώθηκαν το Δεκέμβριο 2007. Εφαρμόστηκε η μέθοδος της επιτόπιας ψυχρής ανακύκλωσης με

προσθήκη αφρώδους ασφάλτου και τσιμέντου. Η δομή του νέου οδοστρώματος περιλάμβανε:

- ασφαλική αντιολισθηρή στρώση κυκλοφορίας πάχους 4 cm,
- ασφαλική στρώση βάσης πάχους 5 cm,
- ανακυκλωμένη οδοστρωσία με αφρώδη άσφαλτο πάχους 30 cm για τη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας (λωρίδα βαριάς κυκλοφορίας) και πάχους 20 cm για τις υπόλοιπες λωρίδες.

6.2 Εφαρμογές ψυχρής ανακύκλωσης στο εξωτερικό

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η μέθοδος της ψυχρής ανακύκλωσης άρχισε να εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα στα τέλη της δεκαετίας 1980-90 για τη συντήρηση και την ανακατασκευή ασφαλτικών οδοστρωμάτων. Επειδή δεν υπάρχουν εθνικές τεχνικές προδιαγραφές, για την εφαρμογή της μεθόδου πολλές πολιτείες ή οργανισμοί οδοποιίας προχώρησαν στη σύνταξη τεχνικών οδηγιών. Για παράδειγμα αναφέρονται οι πολιτείες California, Oregon, Pennsylvania.

Στην Ευρώπη η ψυχρή ανακύκλωση οδοστρωμάτων με αφρώδη άσφαλτο εφαρμόστηκε στη Νορβηγία από το έτος 1983, ενώ το 1997 με τη συγκεκριμένη μέθοδο ανακατασκευάστηκαν οδοί συνολικής επιφάνειας 1,8 εκατομμυρίων m². Επίσης η μέθοδος εφαρμόστηκε στην Ολλανδία και τα κράτη της Βαλτικής. Εκτός από την Ευρώπη η σταθεροποίηση οδοστρωμάτων με αφρώδη άσφαλτο χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα στην Βραζιλία, στην Αυστραλία και σε άλλες χώρες.

6.3 Εφαρμογές θερμής ανακύκλωσης στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα για πρώτη φορά εφαρμόστηκε η μέθοδος της θερμής ανακύκλωσης τον Οκτώβριο 1984 για την ανακατασκευή ασφαλτικών οδοστρωμάτων στο οδικό δίκτυο της περιοχής Αθηνών από τις αρμόδιες υπηρεσίες του τότε Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Το έτος αυτό καθώς επίσης και κατά το επόμενο πραγματοποιήθηκαν τέσσερα έργα ανακατασκευής οδοστρωμάτων.

Το πρώτο έργο αφορούσε την ανακατασκευή του οδοστρώματος της οδού Πειραιώς. Οι εργασίες εκτελέστηκαν και στους δυο κλάδους της οδού πλάτους 14,00m σε μήκος 8.100m και η ολική επιφάνεια ανήλθε σε 104.000m². Για τα 45.000m² εφαρμόστηκε η τεχνική επαναδιάστρωσης (repave), όπου έγινε ανακύκλωση του υφιστάμενου οδοστρώματος σε βάθος 3,5–4,0 cm και στη συνέχεια διαστρώθηκε νέα ασφαλική στρώση κυκλοφορίας πάχους 3 cm (λεπτοτάπητας), ώστε τελικά δημιουργήθηκε μια ενιαία στρώση κυκλοφορίας πάχους 6,5 cm. Για τα υπόλοιπα 59.000m² εφαρμόστηκε η τεχνική επανάμειξης (remix), όπου το παλιό οδόστρωμα αφαιρέθηκε σε βάθος 3,5 cm και στη συνέχεια αναμίχθηκε με νέο θερμό ασφαλτόμιγμα, ώστε να προκύψει στρώση κυκλοφορίας πάχους 6,5 cm.

Τον Ιούνιο του 1985 εφαρμόστηκε στο τμήμα από Δαφνί έως Σκαραμαγκά της εθνικής οδού Αθηνών – Κορίνθου. Εφαρμόστηκε η τεχνική επαναδιάστρωσης (gerave). Αρχικά αφαιρέθηκε και επαναδιαστρώθηκε το υπάρχον ασφαλτικό οδόστρωμα σε βάθος 3,0–3,5 cm και πάνω σε αυτό κατασκευάστηκε νέα ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας πάχους 2,0–2,5 cm (λεπτοτάπητας) με σκληρά αντιολισθηρά υλικά προέλευσης Λήμνου.

Στη συνέχεια η θερμή ανακύκλωση εφαρμόστηκε για την ανακατασκευή του οδοστρώματος σε τμήμα της οδού Συγγρού μήκους 1.100m, πλάτους 20,00m και επιφάνειας 23.000m². Το παλιό οδόστρωμα αφαιρέθηκε σε βάθος 6cm και στη συνέχεια σε ένα τμήμα εφαρμόστηκε η τεχνική αναμόρφωσης (reshape), ενώ στο υπόλοιπο η τεχνική επαναδιάστρωσης (gerave).

Τέλος ανακατασκευάστηκε το οδόστρωμα της οδού Πατησίων στο τμήμα από την οδό Αγίου Μελετίου μέχρι την λεωφόρο Αλεξάνδρας ολικής επιφάνειας 3.000m². Το οδόστρωμα αφαιρέθηκε σε βάθος 4 cm και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η τεχνική επανάμειξης (remix) με την προσθήκη και ανάμιξη νέου θερμού ασφαλτομίγματος.

Παρά τα θετικά αποτελέσματα όσον αφορά στο κόστος και την ποιότητα κατασκευής καθώς επίσης την ταχύτητα εργασίας, η θερμή ανακύκλωση δεν συνέχισε να εφαρμόζεται για την ανακατασκευή των ελληνικών οδών κάτι που δεν ισχύει για τις εφαρμογές στο εξωτερικό, όπου η μέθοδος της θερμής ανακύκλωσης χρησιμοποιείται κατά κόρον.

6.4 Εφαρμογές θερμής ανακύκλωσης στο εξωτερικό

Η μέθοδος της θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης είναι αυτή που έχει κερδίσει την μάχη σε σχέση με την ψυχρή μέθοδο. Στις Η.Π.Α ιδιαίτερα αλλά και στον Καναδά χρησιμοποιείται κατά κόρον και έχει κερδίσει την μάχη της προτίμησης από τις κατά τόπου πολιτείες και δήμους που θέλουν να διορθώσουν τα προβλήματα που έχουν προκύψει στα ασφαλτικά οδοστρώματα με την πάροδο του χρόνου. Η ιστορία της μεθόδου στις Η.Π.Α. ξεκινάει από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και από τότε οι εφαρμογές της είναι αμέτρητες, με χιλιάδες χιλιόμετρα ασφαλτομίγματος να έχουν ανακατασκευαστεί, είτε πρόκειται για οδικές αρτηρίες ή ακόμα και για ασφαλτοτάπητα αεροδρομίων.

Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικά ορισμένες περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης για την διόρθωση των φθορών του οδοστρώματος:

- Πολιτεία του Kansas, Η.Π.Α., από το 1997 μέχρι το 2002



Εικόνα 75

- Waukesha County, Wisconsin, Η.Π.Α (2006-2010), 836.000 m² οδοστρώματος.



Εικόνες 76,77

- Washington County, Minnesota, Η.Π.Α (2010), 50.160 m²



Εικόνες 78,79

- City of Manistee, Michigan , Η.Π.Α (2009), 52.668 m²



Εικόνες 80,81

- Britton Road to Coal Creek Bridge Vicinity, Washington ,Η.Π.Α. (2010), 25,4 km



Εικόνες 82,83

- Kelowna Airport, Καναδάς (2012), 195.200 m²



Εικόνες 84,85,86

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θερμή ανακύκλωση έχει αποδειχθεί ότι είναι μια πολύ οικονομική στρατηγική αποκατάστασης του οδοστρώματος, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διατήρηση της υφιστάμενης ασφάλτου επαναχρησιμοποιώντας το ήδη υπάρχον υλικό. Ωστόσο η διαδικασία αυτή δεν είναι κατάλληλη για τα υφιστάμενα οδοστρώματα τα οποία έχουν πολύ μεγάλη διακύμανση στο μίγμα του θερμού ασφαλτομίγματος.

Οι τρεις διαφορετικοί τύποι της θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης: **Η αναμόρφωση του ασφαλτικού οδοστρώματος (reshape)**, **η Επαναδιάστρωση του παλιού οδοστρώματος με προσθήκη υλικού χωρίς ανάμιξη (gerave)** και **η Επανάμιξη του παλαιού υλικού οδοστρώματος με νέο ασφαλτικό μίγμα (remix)**, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη διαφορετικών στόχων ανακύκλωσης.

Η αναμόρφωση του ασφαλτικού οδοστρώματος (reshape), χρησιμοποιείται ως μια διαδικασία για να διορθώσει μικρές ρωγμές της επιφάνειας ή παρατυπίες. **Η Επαναδιάστρωση του παλιού οδοστρώματος με προσθήκη υλικού χωρίς ανάμιξη (repave)**, χρησιμοποιείται για την εξάλειψη αυλακώσεων και ξεφτίσματος του οδοστρώματος και **η Επανάμιξη του παλαιού υλικού οδοστρώματος με νέο ασφαλτικό μίγμα (remix)**, χρησιμοποιείται για να επαναφέρει το οδόστρωμα σε μεγαλύτερο βάθος με την προσθήκη των παρθένων αδρανών υλικών ή του θερμού ασφαλτομίγματος.

Όποια και αν θα μπορούσε να είναι η διαδικασία, όταν γίνεται με τον σωστό τρόπο, η θερμή ανακύκλωση οδηγεί γενικά σε εξοικονόμηση πόρων και εξαλείφει τα μη δομικά προβλήματα του οδοστρώματος με την ελάχιστη ενόχληση για την κυκλοφορία. Την ίδια στιγμή το οδόστρωμα διατηρείται στα υφιστάμενα επίπεδα ποιότητας.

Τέλος πρέπει να ειπωθεί ότι η ανακύκλωση των οδοστρωμάτων με τη γενική της μορφή (θερμή και ψυχρή) αποτελεί μια μέθοδο που εφαρμόζεται για την αποκατάσταση αυτών, που έχουν υποστεί βλάβες σε μεγάλη έκταση και βαθμό. Δεν είναι δυνατή η εφαρμογή των μεθόδων αυτών για την αποκατάσταση τοπικών ή περιορισμένης έκτασης βλαβών.

7.1 Πλεονεκτήματα ψυχρής ανακύκλωσης

Χαρακτηριστικά	Μέθοδος ψυχρής ανακύκλωσης
Διάρκεια κατασκευής	Εξαιρετικά σύντομη διάρκεια λόγω ολοκλήρωσης εργασιών σε μία μόνο διέλευση
Κόστος κατασκευής	Μεγάλη μείωση κόστους λόγω έλλειψης μεταφοράς υλικών
Μηχανικός εξοπλισμός	Χρήση σύγχρονων μηχανημάτων με αποτέλεσμα την καλύτερη ποιότητα κατασκευής
Προστασία περιβάλλοντος	Μειωμένη ρύπανση και κατανάλωση ενέργειας
Οδική ασφάλεια	Αυξημένη οδική ασφάλεια λόγω μικρής διάρκειας εργασιών

Πίνακας 7: Οφέλη ψυχρής ανακύκλωσης

7.2 Πλεονεκτήματα θερμής εναντίων ψυχρής επιτόπιας ανακύκλωσης

- Η θέρμανση του οδοστρώματος μαλακώνει τα συνδετικά υλικά
- Τα αδρανή του ασφαλτομίγματος δεν θρυμματίζονται κατά την απόξεση
- Η διαβάθμιση διατηρείται
- Υψηλής ποιότητας οδοστρώματα με 80% ανακυκλωμένα υλικά
- Το κόστος αγοράς – μεταφοράς νέων υλικών μειώνεται



Εικόνα 87

7.3 Μειονεκτήματα θερμής ανακύκλωσης σε σταθερή εγκατάσταση

Η μέθοδος της θερμής ανακύκλωσης σε σταθερή εγκατάσταση έχει χάσει την προτίμηση των μεγάλων εταιρειών που ασχολούνται με την ανακύκλωση των οδοστρωμάτων. Κύριοι λόγοι για την κατάσταση αυτή είναι οι εξής:

- Μεγαλύτερο κόστος λόγω μεταφοράς υλικών
- Αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της σταθερής εγκατάστασης
- Μεγάλο κόστος ενέργειας παραγωγής
- Μεγαλύτερη διάρκεια εργασιών και αποκατάστασης λόγω μεταφοράς υλικών.

7.4 Πλεονεκτήματα θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης

Τα πλεονεκτήματα της θερμής επιτόπιας ανακύκλωσης είναι πάρα πολλά, τόσο σε σχέση με την ανακύκλωση σε σταθερή εγκατάσταση όσο και με την μέθοδο της ψυχρής ανακύκλωσης:

- Ανακυκλώνει το 100% του υπάρχοντος οδοστρώματος, μειώνοντας την ανάγκη για νέα αδρανή υλικά
- Χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια από ότι άλλες μεθόδους αποκατάστασης
- Δεν απαιτεί μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων του νέου υλικού στο εργοτάξιο, με αποτέλεσμα λιγότερες εργασίες
- Εξοικονόμηση σε χρήμα και σε χρόνο
- Πιο φιλική μέθοδος για το περιβάλλον
- Βελτίωση της αντοχής και της δύναμης του ασφαλτομίγματος
- Εξοικονόμηση πρώτων υλικών και ενέργειας
- Οι πιο λεπτές επικαλύψεις έχουν μεγαλύτερο βαθμό απορροής των υδάτων
- Η θέρμανση και η απόξεση του οδοστρώματος σφραγίζει και θεραπεύει σε βάθος τις ρωγμές
- Αποκαθίσταται η ευελιξία του ασφαλτομίγματος με την προσθήκη των χημικών παραγόντων αναζωογόνησης
- Η οδική ασφάλεια ενισχύεται μέσω της βελτιωμένης αντίστασης ολίσθησης
- Επεκτείνει την ζωή του οδοστρώματος
- Μειώνει τα αέρια του θερμοκηπίου μέχρι και 40%
- Το ανακυκλωμένο οδόστρωμα είναι υψηλότερης ποιότητας από το πρωτότυπο
- Και τέλος μπορεί και αυτό ξανά, να ανακυκλωθεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ελληνική

1. Αθανασοπούλου, Α.Δ. (2001) "Εντοπισμός, περιγραφή και τρόπος αντιμετώπισης φθορών οδοστρώματος", 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Αθήνα.
2. Κολλάρος Α. Γ, Αθανασοπούλου, Α.Δ., Παπακωνσταντίνου Ε. Σ, 'Φθορές και Συντήρηση Οδοστρωμάτων'.
3. 'Η συντήρηση των ασφαλτικών οδοστρωμάτων με ανακύκλωση των υλικών', (άρθρο του κ. Δ. Σπηλιωτόπουλου).
4. Σπηλιωτόπουλος Κ. "Ανακύκλωση ασφαλτικών οδοστρωμάτων – Οι πρώτες εφαρμογές στην Ελλάδα", Ελληνικοί Αυτοκινητόδρομοι, τεύχος 2-3, Ιούλιος – Δεκέμβρης 1985.
5. Αλευρά Α., Καραϊσκού Ε., Αγγελούση Κ., Πολάκис Α. "Αποκατάσταση οδοστρώματος με τη μέθοδο της ψυχρής ανακύκλωσης και τη χρήση αφρώδους ασφάλτου", 4ο Διεθνές Συνέδριο Ασφαλτικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων, σελ. 651-663, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2007.
6. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα πολιτικών μηχανικών, 'Φθορές οδοστρωμάτων και τεχνικές συντήρησης'.
7. 'Συντήρηση και αποκατάσταση φθορών σε σταθεροποιημένα οδοστρώματα', Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική σχολή Ξάνθης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διπλωματική εργασία: Νταιλιάνα Παρασκευή - Σερίφη Κλεοπάτρα.
8. 'Συντήρηση και αποκατάσταση φθορών σε σταθεροποιημένα οδοστρώματα', Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική σχολή Ξάνθης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διπλωματική εργασία: Νταιλιάνα Παρασκευή - Σερίφη Κλεοπάτρα.
9. 'Σύστημα οικονομικής και περιβαλλοντικής διαχείρισης οδοστρωμάτων με χρήση γενετικών αλγορίθμων', Παναγοπούλου Μαίρη, Πολιτικός Μηχανικός, Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης.
10. 'Οικονομική ανάλυση οδοστρωμάτων, ανάλυση κόστους διάρκειας ζωής', Εγνατία Οδός.

B. Ξένη

11. E. Buchinger, H. Fegerl, E. Fugger, (2000), “Regulation and innovation in the recycling industry”, Institute for prospective technological studies, Seville.
12. ‘Runway Friction Testing Report Summary Report’, Kelowna International Airport, Tradewind Scientific Ltd., (October 2012).
13. Technical Memo, EBA Engineering Consultants Ltd., Kelowna Airport – Runway 16-34 Rehabilitation (April 2010).
14. ‘Leveraging the Operational and Cost Advantages of Hot In-place Recycling for a Single-Runway Airfield Pavement Rehabilitation’, Project at Kelowna International Airport.
15. ‘*Hot In-Place Recycling*’, Presented by the Hot In-Place Recycling Technical Committee. Asphalt Recycling and Reclaiming Association, 1996.
16. J.W. Button, D.N. Little, and C.K. Estakhri. ‘*Hot In-Place Recycling of Asphalt Concrete*’, In Synthesis of Highway Practice 193, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1994.
17. ‘An Overview of Recycling and Reclamation Methods for Asphalt Pavement Rehabilitation’, Asphalt Recycling and Reclaiming Association, 1992.
18. ‘Asphalt hot - mix recycling’, (the Asphalt institute).
19. ‘Guidelines for recycling pavement materials’, (National Cooperative Highway Research Report).
20. Nunn Michael and Ferne Brian W. (2001), “*Design and Assessment of Long-Life Flexible Pavements*”, Transport Research Laboratory, (United Kingdom), Transportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”, p. 32-49.
21. Von Quintus Harold L (2001), “Hot-Mix Asphalt Layer Thickness Design for Longer-Life Bituminous Pavements”, Fugro-Brent, Rauhut Engineering, Inc., Transportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”, p. 66-78.
22. Harm Eric (2001), “Illinois Extended-Life Hot-Mix Asphalt Pavements”, Illinois Department of Transportation, Transportation Research Circular “Perpetual Bituminous Pavements”, p. 108-114.
23. Asphalt Recycling and Reclaiming Association. ‘*Hot In-Place Recycling*’, Presented by the Hot In-Place Recycling Technical Committee, ARRA Convention, 1996.
24. ‘An Overview of Recycling and Reclamation Methods for Asphalt Pavement Rehabilitation’. *Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, MD, 1992.*
25. “Basic Asphalt Recycling Manual”, Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA), Annapolis Maryland, U.S.A. 2001.
26. Collings D. C., Jenkins K. J., “Whole-of-Life Analysis of Different Pavements: The

Real Picture”, First International Conference on Pavement Preservation, Newport Beach, California, April 2010.

27. ‘Evaluation of Hot In-place Recycle’, Mark Russell, Jeff S. Uhlmeyer, Joe DeVol, Chris Johnson, Jim Weston.

28. ‘Hot In-place Recycling’, by Sealcoating Inc.

29. ‘Cost benefits of pavement preservation’, R. Gary Hicks.

30. ‘Hot In-place recycling in Canada’, Ken Fyvie, CTAA Conference November 15 2009.

31. ‘The Evolution of Hot In-Place Asphalt Recycling in British Columbia’, presented to the Transportation Association of Canada, by Patrick Wiley, April 14 2013.

32. ‘New developments in Hot In-place recycling of asphalt pavements’, by Ronald L. Terrel, John A. Epps, James B. Sorenson.

33. ‘Pavement recycling, guidelines for: In-place recycling with cement, In-place recycling with emulsion or foamed bitumen, Hot mix recycling in plant’, by PIARC.

Γ. Πηγές από διαδίκτυο

34. www.hotinplacerecycling.com

35. www.dustrol.com

36. www.ecopavesystems.com

37. www.roadscience.net

38. www.fhwa.dot.gov

39. www.midlandasphalt.com

40. www.enviro-pave.com

41. www.paveover.com

