



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

**ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ/ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**

ΠΑΝΤΕΛΑΚΗ ΖΑΧΑΡΕΝΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΠΛΑΤΗ,
Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Με την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην προσπάθεια μου αυτή, με οποιοδήποτε τρόπο.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κ. Χριστίνα Πλατή, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αλλά και για τον χρόνο που αφιέρωσε, την καθοδήγηση που μου προσέφερε, την άμεση επικοινωνία και την άριστη συνεργασία καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιστημονική συνεργάτιδα του Εργαστηρίου Οδοστρωμάτων, κ. Αγγελική Αρμένη, για την πολύτιμη βοήθεια της και τις σημαντικές συμβουλές της για την εξέλιξη της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με στήριξαν και ήταν δίπλα μου κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου σπουδών διότι μοιράστηκαν μαζί μου την αγωνία, το άγχος αλλά και τις χαρές αυτού του ταξιδιού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η συντήρηση και η αποκατάσταση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, καθώς και η συγκριτική αξιολόγηση του αποδοτικότερου τρόπου επέμβασης για ένα υφιστάμενο οδόστρωμα με συγκεκριμένες φθορές βάσει της Μεθόδου AASHTO. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των διαφορετικών τύπων δύσκαμπτων οδοστρωμάτων αλλά και των φθορών που ενδέχεται να εμφανιστούν στην διατομή του οδοστρώματος. Έπειτα, παρουσιάστηκε η έννοια και η αξία της προληπτικής συντήρησης, αλλά και γενικότερα οι διαφορετικές μορφές επέμβασης στο οδόστρωμα ανάλογα τα χαρακτηριστικά της φθοράς. Με δεδομένα τα παραπάνω στοιχεία και αξιοποιώντας τις δυνατότητες του λογισμικού WinPas, η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με την συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων αποκατάστασης της διατομής ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με σκοπό τον προσδιορισμό της βέλτιστης επιλογής. Τέλος, μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων ακολουθεί ο σχολιασμός τους και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εν λόγω διερευνητική προσέγγιση.

Λέξεις κλειδιά: *Δύσκαμπτα οδοστρώματα, Μέθοδοι αποκατάστασης δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, Μέθοδος AASHTO, WinPas*

ABSTRACT:

The subject of this diploma thesis is the maintenance of rigid pavements and the comparative evaluation of the most efficient way of intervention for a specific road surface with specific wear based on the AASHTO Method. For this purpose, an analysis was carried out of the different types of rigid road surfaces as well as the wear that may occur in the cross-section of the road surface. Then, the concept and value of preventive maintenance was presented, but also in general the different forms of intervention on the road surface depending on the characteristics of wear. Given the above data and with the help of the WinPas project, this diploma thesis is completed with the comparative evaluation of two alternative methods of restoring the cross-section of a rigid road surface with specific characteristics in order to determine the optimal choice. Finally, the presentation of the results is followed by a commentary and conclusions drawn from this exploratory approach.

Key words: Rigid pavement, Methods of rehabilitation of rigid pavements, AASHTO Method, WinPas

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Αντικείμενο	1
1.2	Στόχος – Μεθοδολογία	1
1.3	Δομή Εργασίας.....	2
2	ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	3
2.1	Γενικά	3
2.2	Χρήση Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων	4
2.3	Τεχνολογία Σκυροδέματος.....	7
2.3.1	Ιστορική Αναδρομή.....	7
2.3.2	Σύσταση Σκυροδέματος.....	8
2.3.3	Αντοχή Σκυροδέματος.....	9
2.3.4	Κόπωση Σκυροδέματος.....	11
2.4	Τύποι Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων	12
2.5	Παράμετροι Σχεδιασμού Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων.....	17
2.5.1	Μηχανική Συμπεριφορά	17
2.5.2	Ανάπτυξη Τάσεων.....	18
2.5.3	Διαστασιολόγηση Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων.....	19
2.5.4	Οδικό Πείραμα AASHO	20
2.5.5	Παράμετροι Σχεδιασμού της Μεθόδου AASHTO.....	21
3	ΤΥΠΟΙ ΦΘΩΡΩΝ ΣΕ ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	25
3.1	Γενικά	25
3.2	Εγκάρσιες Ρωγμές	26
3.3	Ανισοσταθμία Γειτονικών Πλακών	27
3.4	Ρηγμάτωση Άκρου Πλάκας Σκυροδέματος	29
3.5	Κατά Μήκος Ρηγματώσεις.....	31
3.6	Ρωγμές Λόγω Μειωμένης Ανθεκτικότητας	33
3.7	Ήβωση.....	34
3.8	Λείανση Αδρανών.....	36
3.9	Τοπικές Θραύσεις στα Χείλη Αρμού	37
3.10	Θρυμματισμός Επιφανειακών Αδρανών	39
3.11	Αντληση και Διαρροή Νερού.....	41
4	ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	43
4.1	Γενικά	43
4.2	Ελεγχόμενη Ρηγμάτωση.....	44
4.3	Στεγανοποίηση Αρμών.....	45
4.4	Σφράγιση Ρωγμών.....	47

4.5	Εγκατάσταση Αποστραγγιστικού Σωλήνα.....	48
5	ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ/ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΥΣΚΑΜΠΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	50
5.1	Συντήρηση Σκυροδέματος.....	50
5.2	Λειτουργική Συντήρηση Οδοστρωμάτων.....	51
5.2.1	Γενικά.....	51
5.2.2	Επισκευή Μερικού Βάθους.....	51
5.2.3	Απόξεση Οδοστρώματος με Διαμαντοτροχό.....	52
5.2.4	Επίστρωση Σκυροδέματος.....	52
5.2.4.1	Γενική Περιγραφή.....	52
5.2.4.2	Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος.....	53
5.2.4.3	Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος.....	54
5.3	Δομική Συντήρηση Οδοστρωμάτων.....	55
5.3.1	Γενικά.....	55
5.3.2	Αναβάθμιση Μεταφοράς Φορτίου.....	55
5.3.3	Εγκάρσια Ενίσχυση.....	56
5.3.4	Στεγανοποίηση Πλάκας.....	57
5.3.5	Ανακατασκευή.....	58
6	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ/ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΔΥΣΚΑΜΠΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ.....	60
6.1	Θεώρηση Προβλήματος.....	60
6.2	Εναλλακτικά Σενάρια Επέμβασης.....	61
6.2.1	Γενικά.....	61
6.2.2	Σενάριο 1: Τακτική Συντήρηση με Σφράγιση Ρωγμών.....	62
6.2.3	Σενάριο 2: Ενίσχυση με Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος.....	63
6.2.4	Σενάριο 3: Ενίσχυση με Μη συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος.....	65
6.3	Βασικά Στοιχεία Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής.....	66
6.4	Συγκριτική Αξιολόγηση Επιμέρους Σεναρίων Επέμβασης.....	67
6.4.1	Κοινά Χαρακτηριστικά.....	67
6.4.2	Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1 και 2.....	69
6.4.3	Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1 και 3.....	71
6.4.4	Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 2 και 3.....	73
6.4.5	Συνολικά Αποτελέσματα.....	74
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	76
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	3
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΔΑΠΕΔΟ ΧΩΡΟΥ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ	4
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΔΑΠΕΔΟ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ/ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ ΒΙΕΝΝΗΣ	5
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΔΑΠΕΔΟ ΔΙΟΔΙΩΝ/ ΟΛΥΜΠΙΑ ΟΔΟΣ	6
ΕΙΚΟΝΑ 2.5: ΔΑΠΕΔΟ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ/ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΙΚΟΣ ΛΙΜΕΝΑΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	6
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	8
ΕΙΚΟΝΑ 2.7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ(C:ΘΛΙΨΗ, T:ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ)	9
ΕΙΚΟΝΑ 2.8: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	10
ΕΙΚΟΝΑ 2.9: ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΛΟΓΩ ΚΟΠΩΣΗΣ	11
ΕΙΚΟΝΑ 2.10: ΤΥΠΟΙ ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	12
ΕΙΚΟΝΑ 2.11: ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ JRCP	13
ΕΙΚΟΝΑ 2.12: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ JRCP [ΚΑΤΟΨΗ - ΤΟΜΗ]	14
ΕΙΚΟΝΑ 2.13: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ JRCP	14
ΕΙΚΟΝΑ 2.14 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ JRCP[ΚΑΤΟΨΗ - ΤΟΜΗ]	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.15: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ RCRCR[ΚΑΤΟΨΗ - ΤΟΜΗ]	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.16: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ RCP	16
ΕΙΚΟΝΑ 2.17: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ RCCP	17
ΕΙΚΟΝΑ 2.18: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	17
ΕΙΚΟΝΑ 2.19: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ E1/E2 ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΤΑΣΕΙΣ	18
ΕΙΚΟΝΑ 2.20: ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PSR)	20
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ	26
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ	27
ΕΙΚΟΝΑ 3.3: ΑΝΙΣΟΣΤΑΘΜΙΑ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ	28
ΕΙΚΟΝΑ 3.4: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΝΙΣΟΣΤΑΘΜΙΑΣ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ	29
ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΑΚΡΟΥ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΩΝ	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.8: ΡΩΓΜΕΣ ΤΥΠΟΥ "D"	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.9: ΉΒΩΣΗ ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ/ SR 195- ΟΥΑΣΙΝΓΚΤΟΝ	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.10: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΉΒΩΣΗΣ	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.11: ΛΕΙΑΝΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.12: ΘΡΑΥΞΗ ΣΤΑ ΧΕΙΛΗ ΑΡΜΟΥ-ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΡΑΒΔΟΥ	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.13: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΘΡΑΥΞΕΩΝ ΣΤΑ ΧΕΙΛΗ ΤΩΝ ΑΡΜΩΝ	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.14: ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.15: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ	40
ΕΙΚΟΝΑ 3.16: ΆΝΤΛΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗ ΝΕΡΟΥ	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.17: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΆΝΤΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ	42
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ- ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	43
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΡΜΩΝ	45
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΜΩΝ	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΦΡΑΓΙΣΗΣ ΡΩΓΜΩΝ	48
ΕΙΚΟΝΑ 4.5: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΑ	49
ΕΙΚΟΝΑ 5.1: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΡΙΚΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	51
ΕΙΚΟΝΑ 5.2: ΑΠΟΞΕΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΑΜΑΝΤΟΤΡΟΧΟ (ΠΡΙΝ-ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑ-ΔΕΞΙΑ)	52
ΕΙΚΟΝΑ 5.3: ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.4: ΜΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	54
ΕΙΚΟΝΑ 5.5: ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	55
ΕΙΚΟΝΑ 5.6: ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	56
ΕΙΚΟΝΑ 5.7: ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ	57
ΕΙΚΟΝΑ 5.8: ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΟΛΙΚΟΥ ΒΑΘΟΥΣ	58
ΕΙΚΟΝΑ 6.1: ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	60

ΕΙΚΟΝΑ 6.2: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 [ΔΙΑΤΟΜΗ Α: ΑΡΧΙΚΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ, ΔΙΑΤΟΜΗ Β: ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ 4 ΕΤΩΝ, ΔΙΑΤΟΜΗ Γ: ΣΦΡΑΓΙΣΗ ΡΩΓΜΩΝ].....	62
ΕΙΚΟΝΑ 6.3: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 [ΔΙΑΤΟΜΗ Α: ΑΡΧΙΚΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ, ΔΙΑΤΟΜΗ Β: ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ 13 ΧΡΟΝΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΔΙΑΤΟΜΗ Γ: ΣΦΡΑΓΙΣΗ ΡΩΓΜΩΝ ΚΑΙ ΑΡΜΩΝ, ΔΙΑΤΟΜΗ Δ: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ, ΔΙΑΤΟΜΗ Ε: ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ].....	63
ΕΙΚΟΝΑ 6.4: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 [ΔΙΑΤΟΜΗ Α: ΑΡΧΙΚΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ, ΔΙΑΤΟΜΗ Β: ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ 13 ΧΡΟΝΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΔΙΑΤΟΜΗ Γ: ΣΦΡΑΓΙΣΗ ΡΩΓΜΩΝ ΚΑΙ ΑΡΜΩΝ-ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ, ΔΙΑΤΟΜΗ Δ: ΜΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ].....	65
ΕΙΚΟΝΑ 6.5: ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	69
ΕΙΚΟΝΑ 6.6: ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2	70
ΕΙΚΟΝΑ 6.7: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 1-2.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 6.8: ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3	72
ΕΙΚΟΝΑ 6.9: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 1-3.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 6.10: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 2-3	73
ΕΙΚΟΝΑ 6.11: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	74

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1: ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΑΣΗΤΟ	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-2: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ LCCA	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-3: ΚΟΙΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	68

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Η Ελλάδα είναι μια χώρα η οποία διαθέτει περιορισμένο αριθμό δύσκαμπτων οδοστρωμάτων στην επικράτειά της. Εμφανίζονται κυρίως σε διόδους, σε δάπεδα αεροδρομίων ή χώρους φορτοεκφόρτωσης. Όμως, πέραν των πολλών χρήσεων που μπορούν δυνητικά να εξυπηρετήσουν τα δύσκαμπτα οδοστρώματα, δημιουργείται και το σημαντικό ζήτημα της συντήρησής τους. Πλέον, πολλά από αυτά τα δύσκαμπτα οδοστρώματα έχουν φθαρεί και η δομική τους ικανότητα έχει υποβαθμιστεί, καθώς η κυκλοφορία έχει αυξηθεί πέρα από κάθε πρόβλεψη. Όμως, οι βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με τη συντήρηση ή την αποκατάσταση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων στα ελληνικά είναι εξαιρετικά περιορισμένες, αφήνοντας ένα σημαντικό κενό στην κατανόηση των βέλτιστων πρακτικών εφαρμογής των διαφορετικών μεθόδων συντήρησης ή αποκατάστασης.

Είναι γεγονός πως τα εύκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται πιο συχνά από ότι τα δύσκαμπτα, με αποτέλεσμα πολλοί ερευνητές να επικεντρώνονται στην ανάλυση και την μελέτη της συμπεριφοράς των εύκαμπτων σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι στα δύσκαμπτα. Έτσι, η συστηματική ανάλυση των τεχνικών συντήρησης των δύσκαμπτων παραμένει ανεπαρκής, ιδιαίτερα όσον αφορά την αξιολόγηση των μεθόδων αποκατάστασης με βάση την εξέλιξη των φθορών και την εφαρμογή εμπειρικών μεθόδων, όπως είναι η AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Η επιλογή της βέλτιστης λύσης συντήρησης ή αποκατάστασης για ένα δύσκαμπτο οδόστρωμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος και την έκταση των φθορών που παρουσιάζει. Οι φθορές που μπορεί να εμφανιστούν ποικίλλουν από μικρές ρηγματώσεις έως σοβαρές δομικές αστοχίες, με κάθε περίπτωση φθοράς να απαιτεί διαφορετική προσέγγιση ως προς την αποκατάστασή της. Όμως, σημασία επίσης έχει και η οικονομική βιωσιμότητα την μεθόδου αποκατάστασης ή συντήρησης που τελικά θα επιλεγεί για το οδόστρωμα. Η αντίστοιχη αξιολόγηση, εν γένει, πραγματοποιείται μέσω της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cost Cycle Analysis-LCCA) του έργου κατασκευής ή συντήρησης.

1.2 Στόχος – Μεθοδολογία

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την παρουσίαση των διαφορετικών μεθόδων συντήρησης και αποκατάστασης ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος, αλλά και της διαδικασίας αξιολόγησής τους και τελικά την επιλογή την βέλτιστης λύσης. Η διαδικασία αξιολόγησης περιλαμβάνει τη μέθοδο LCCA με εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων συντήρησης ή αποκατάστασης και πέντε οικονομικούς δείκτες, ούτως ώστε να αναδειχθεί τελικά η οικονομικά βέλτιστη λύση. Επισημαίνεται ότι η διαδικασία αξιολόγησης βασίζεται στην παραμετροποίηση των μεγεθών ελέγχου όπως ορίζουν οι βασικές αρχές της μεθόδου AASHTO.

Αναλυτικότερα, βασικό αντικείμενο ανάλυσης υπήρξε η μελέτη ενός υφιστάμενου δαπέδου διοδίων, καθώς και η διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων αποκατάστασης ή συντήρησης του. Αρχικά, γίνεται καταγραφή των φθορών στο υφιστάμενο οδόστρωμα και

κατηγοριοποίηση τους βάση της σοβαρότητάς τους. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση τριών διαφορετικών σεναρίων συντήρησης: τακτική συντήρηση με σφράγιση ρωγμών, συνδεδεμένη επίστρωση σκυροδέματος και μη συνδεδεμένη επίστρωση σκυροδέματος. Το κάθε σενάριο αξιολογείται μέσω μεθόδου LCCA, με την οποία υπολογίζεται η αποδοτικότητα και το κόστος κάθε λύσης σε βάθος χρόνου, με στόχο την τελική επιλογή της οικονομικότερης και πιο αποτελεσματικής. Για την εφαρμογή της μεθόδου LCCA χρησιμοποιείται ως εργαλείο ανάλυσης το λογισμικό WinPas (Windows Pavement Analysis Software).

1.3 Δομή Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου και του παρόντος εισαγωγικού κεφαλαίου.

Στο **κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται ορισμένα γενικά στοιχεία για τα δύσκαμπτα οδοστρώματα αναφορικά με τις χρήσεις και τους τύπους τους, καθώς επίσης γίνεται αναφορά των ιδιοτήτων του σκυροδέματος ως δομικό υλικό.

Στο **κεφάλαιο 3** γίνεται αναφορά των πιο συχνών και συνηθισμένων φθορών που εμφανίζονται σε δύσκαμπτα οδοστρώματα αλλά και του τρόπου αξιολόγησης βάσει της σοβαρότητας, των πιθανών αιτιών πρόκλησής τους και του τρόπου επισκευής τους.

Στο **κεφάλαιο 4** αναφέρεται η αξία της προληπτικής συντήρησης και παρουσιάζονται τα είδη εφαρμογής της στα δύσκαμπτα οδοστρώματα.

Στο **κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται οι μέθοδοι συντήρησης ή αποκατάστασης των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, όπως αυτές κατηγοριοποιούνται βάσει του απαιτούμενου μεγέθους της επέμβασης, ή αλλιώς την φθορά που έχει υποστεί η διατομή του οδοστρώματος.

Στο **κεφάλαιο 6**, αξιοποιώντας το πρόγραμμα WinPas, πραγματοποιείται μια συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων αποκατάστασης ή συντήρησης ενός υφιστάμενου δύσκαμπτου οδοστρώματος με στόχο την ανάδειξη της οικονομικά βέλτιστης επέμβασης.

Στο **κεφάλαιο 7** συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω συζήτηση.

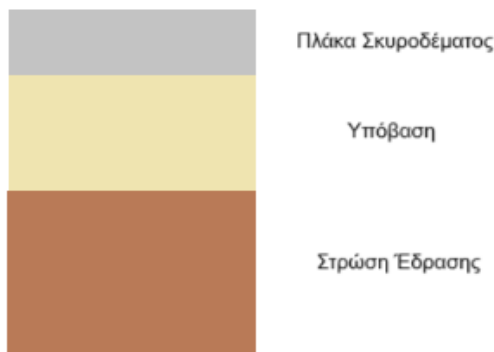
Και τέλος, στο **κεφάλαιο 8** περιλαμβάνονται οι βιβλιογραφικές αναφορές σύμφωνα με τις οποίες εκπονήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία.

2 ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

2.1 Γενικά

Ένα οδόστρωμα χαρακτηρίζεται ως δύσκαμπτο όταν η τελική επιφάνεια κυκλοφορίας του είναι ουσιαστικά μια πλάκα σκυροδέματος. Γενικά, το σκυρόδεμα σαν υλικό έχει μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, σημαντική αντοχή σε κάμψη και συνεπώς μεγάλη ακαμψία. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι ευνοϊκά για τη χρήση του σε οδοστρώματα, καθώς αναλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των τάσεων από τα κινητά ή μόνιμα φορτία που ασκούνται με αποτέλεσμα να μεταβιβάζονται σημαντικά μειωμένες στις κατώτερες στρώσεις, με στόχο εκεί οι παραμορφώσεις να είναι πάρα πολύ μικρές. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δύσκαμπτα οδοστρώματα να μην απαιτούν μεγάλο αριθμό στρώσεων με μεγάλα πάχη.

Μια τυπική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος αποτελείται από τρεις (3) στρώσεις (βλ. Εικόνα 2.1). Η επιφανειακή στρώση είναι η στρώση σκυροδέματος ή πλάκα σκυροδέματος, η οποία εδράζεται πάνω στην στρώση υπόβασης. Η στρώση της υπόβασης αποτελείται από συμπυκνωμένο ασύνδετο ή, πιο συχνά, κατεργασμένο με τσιμέντο αμμοχάλικο και ο ρόλος της είναι κυρίως η ομοιόμορφη έδραση της πλάκας σκυροδέματος, αλλά και η απομείωση των υποχωρήσεων που αναπτύσσονται. Οι τάσεις των δύο παραπάνω στρώσεων μεταβιβάζονται στη στρώση έδρασης, η οποία είναι ουσιαστικά το εξυγιασμένο έδαφος που θα εδραιωθεί η κατασκευή του οδοστρώματος.



Εικόνα 2.1: Τυπική Διατομή Δύσκαμπτου Οδοστρώματος

2.2 Χρήση Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα αξιοποιούνται για την κάλυψη αρκετών μεταφορικών αναγκών, ιδιαίτερως όταν ζητούμενο είναι η ανθεκτικότητα του οδοστρώματος τόσο αναφορικά με τις παραμορφώσεις του, όσο και σχετικά με τον χρόνο.

Στην Ελλάδα, η εφαρμογή των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων δεν είναι εκτενής συγκριτικά με την εφαρμογή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Επιλέγονται σε περιπτώσεις που τα επιβαλλόμενα φορτία είναι αμιγώς στατικά ή πολύ μεγάλα και προκαλούν σημαντικές επιπλοήσεις. Πιο συγκεκριμένα, η κατασκευή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων εφαρμόζεται στις παρακάτω περιπτώσεις:

Δάπεδα Στάθμευσης

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε χώρους στάθμευσης διότι παρουσιάζουν πολύ μικρές παραμορφώσεις και υποχωρήσεις από τα στατικά φορτία, αλλά και μεγάλη αντοχή σε αυτά. Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα δαπέδου σε χώρο στάθμευσης.



Εικόνα 2.2: Δάπεδο Χώρου Στάθμευσης
<https://www.concreteparking.org>

Ειδικά Καταστρώματα Αεροδρομίων

Σε ένα αεροδρόμιο υπάρχουν τόσο εύκαμπτα, όσο και δύσκαμπτα οδοστρώματα καθένα από τα οποία εξυπηρετεί ένα διαφορετικό σκοπό. Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα επιλέγονται στα δάπεδα στάθμευσης, αναμονής ή συντήρησης των αεροσκαφών, καθώς προσφέρουν υψηλή αντοχή και ανθεκτικότητα αναφορικά με τα φορτία που ασκούνται. Στην Εικόνα 2.3 εμφανίζεται ένα τυπικό παράδειγμα δαπέδου στάθμευσης αεροσκαφών σε αεροδρόμιο.



Εικόνα 2.3: Δάπεδο Στάθμευσης Αεροσκαφών/ Αεροδρόμιο Βιέννης
https://en.wikipedia.org/wiki/Airport_apron

Αυτοκινητόδρομοι

Η επιλογή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων για αυτοκινητοδρόμους πηγάζει από τη μεγάλη αντοχή του σκυροδέματος, η οποία μπορεί να ανταπεξέλθει στις αυξημένες κυκλοφοριακές ανάγκες του, ειδικά από οχήματα βαρέου τύπου. Έτσι, σε αρκετές χώρες στο εξωτερικό (π.χ. Η.Π.Α) είναι συνήθης πρακτική η κατασκευή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων σε αυτοκινητόδρομους. Στην Ελλάδα παρόλα αυτά, δεν επιλέγεται η χρήση τους για τις λωρίδες κυκλοφορίας σε αυτοκινητοδρόμους.

Δάπεδα Διοδίων

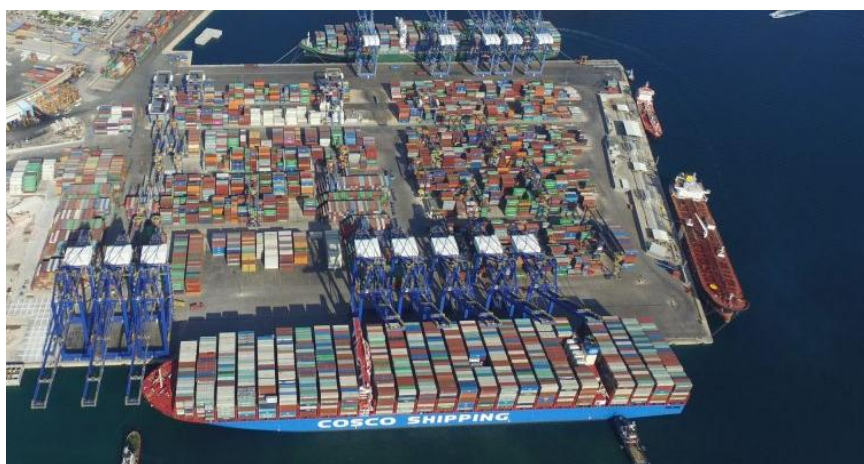
Συχνά στους αυτοκινητόδρομους υπάρχουν σταθμοί διοδίων, γεγονός που αναγκάζει τα οχήματα να σταματούν. Ο χρόνος παραμονής τους σε αυτούς εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο την συγκεκριμένη στιγμή και τον αριθμό των διαθέσιμων σταθμών διοδίων που μπορούν να εξυπηρετήσουν τα οχήματα. Επομένως, γίνεται αντιληπτό πως η χρονική διάρκεια της παραμονής τους μπορεί να ποικίλλει. Για αυτό τον λόγο, στα σημεία των διοδίων κατασκευάζονται δύσκαμπτα δάπεδα, λόγω της υψηλής ανθεκτικότητάς τους στα αμιγώς στατικά επιβαλλόμενα φορτία. Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου δαπέδου σε σταθμό διοδίων.



Εικόνα 2.4: Δάπεδο Διοδίων/ Ολύμπια Οδός
<https://www.enka.com.gr>

Λιμενικές Εγκαταστάσεις

Η επιλογή δύσκαμπτων οδοστρωμάτων σε λιμενικές εγκαταστάσεις εφαρμόζεται ευρέως, ανεξάρτητα από τον τύπο του λιμένα, είτε πρόκειται για εμπορευματικό είτε για επιβατικό. Το ειδικό αυτό δάπεδο επιλέγεται βάσει της χρήσης που θα εξυπηρετεί, όπως είναι για παράδειγμα για την αποθήκευση εμπορευματοκιβωτίων ή για τη μεταφορά οχημάτων. Στην Εικόνα 2.5 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ειδικού δαπέδου σε λιμενική εγκατάσταση.



Εικόνα 2.5: Δάπεδο Εναπόθεσης Εμπορευματοκιβωτίων/Εμπορευματικός Λιμένας Πειραιά
<https://hplogs.com.vn/>

2.3 Τεχνολογία Σκυροδέματος

2.3.1 Ιστορική Αναδρομή

Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό υπό την μορφή κονιάματος που διαθέτει μεγάλη αντοχή, είναι πολυχρηστικό και ιδανικό για κατασκευές πάσης φύσεως, όπως κτίρια, γέφυρες, φράγματα, πυρηνικούς αντιδραστήρες αλλά και οδούς. Η τεράστια ζήτηση του στην παγκόσμια αγορά κατατάσσει το σκυρόδεμα ως το υλικό που καταναλώνεται περισσότερο στον πλανήτη (Mehta&Monteiro, 2014).

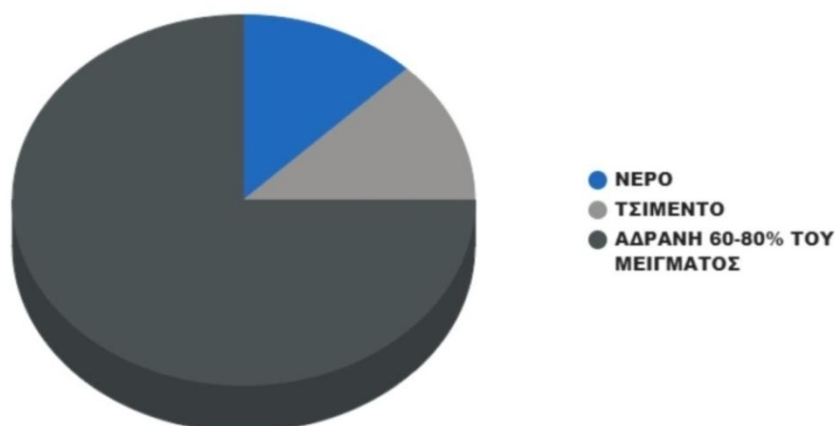
Στην Ελλάδα, η βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου αποτελεί μία από τις σημαντικότερες βιομηχανικές δραστηριότητες με μεγάλο αριθμό εξαγωγών σε πολλές χώρες της Ευρώπης, της Μέσης Ανατολής και της Αφρικής, καθιστώντας την μια από τους βασικούς πυλώνες της εθνικής οικονομίας. Μόλις το 1902, η εταιρεία TITAN A.E. άνοιξε το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου στην Ελευσίνα, καθιστώντας την βιομηχανική παραγωγή τσιμέντου ως την παλαιότερη ελληνική βιομηχανική δραστηριότητα. Η μεγάλη άνθιση του κλάδου της τσιμεντοβιομηχανίας μέχρι σήμερα οφείλεται στο πλούσιο υπέδαφος της Ελλάδας σε ασβεστολιθικό υλικό, μιας κι ο ασβεστόλιθος αποτελεί την πρώτη ύλη σχετικά με την παραγωγή τσιμέντου και των αδρανών υλικών, δηλαδή των συστατικών του σκυροδέματος.

Η οικονομική κρίση που ξέσπασε στην Ελλάδα το 2009 δεν άφησε ανεπηρέαστο τον κλάδο της τσιμεντοβιομηχανίας, την παραγωγή σκυροδέματος και κατ' επέκταση την οικοδομική δραστηριότητα. Ο κατασκευαστικός κλάδος μέχρι τότε ήταν ο δυναμικότερος στην ελληνική οικονομία διαθέτοντας έναν μεγάλο αριθμό απασχολούμενων, κάτι το οποίο μέχρι και σήμερα δεν έχει αποκατασταθεί ακόμα πλήρως. Παρόλα αυτά, η βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου ακόμη και σήμερα εξακολουθεί να διατηρεί τη δυναμικότητα της, κυρίως λόγω της διεθνούς παρουσίας των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον κλάδο.

Το σκυρόδεμα αποτελεί το κυριότερο δομικό υλικό στην Ελλάδα, καθώς χαρακτηριστικά του, όπως η μεγάλη αντοχή και η καλή αντισεισμική συμπεριφορά του, το καθιστούν κατάλληλο και ασφαλές για κάθε είδος κατασκευής. Όμως, πέρα από τις συμβατικές χρήσεις του, ο Γάλλος μηχανικός Ζοζέφ Σαβάρικ διαπίστωσε μέσω επιστημονικής έρευνας και πολλαπλών εφαρμογών τα οφέλη της χρήσης του σκυροδέματος σε οδοστρώματα και γενικά στα συγκοινωνιακά έργα. Παρατήρησε, ότι με την χρήση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων επιτρέπεται η καλύτερη δυνατή μεταβίβαση των δυνάμεων που ασκούνταν στην επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος στην στρώση έδρασης, αλλά και η κατανομή τους σε μεγαλύτερη επιφάνεια μειώνοντας έτσι την επιπόνηση που δέχεται η κάθε στρώση και ταυτοχρόνως αυξάνοντας την διάρκεια ζωής του. Το πρώτο δύσκαμπτο οδόστρωμα κατασκευάστηκε το 1893 στο Bellefontaine του Ohio και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα.

2.3.2 Σύσταση Σκυροδέματος

Το βασικό υλικό των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι το σκυρόδεμα, το οποίο προσδίδει στο οδόστρωμα χαρακτηριστικά όπως η υψηλή ανθεκτικότητα, η μεγάλη αντοχή σε στατικά και μόνιμα φορτία, η μεγάλη διάρκεια ζωής και οι χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Ως προς την σύστασή του, το σκυρόδεμα αποτελείται από τσιμέντο, αδρανή, νερό, αέρα και χημικά ή φυσικά πρόσθετα. Το σημαντικότερο συστατικό του σκυροδέματος, και αυτό με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής, είναι τα αδρανή υλικά τα οποία αποτελούνται από άμμο, γαρμπίλι και χαλίκια. Όταν, το τσιμέντο –όπου χρησιμοποιείται συνήθως τύπου Portland- ενώνεται με το νερό δημιουργεί μία πάστα, η οποία όσο σκληραίνει αποτελεί την συνδετική ουσία του μείγματος των αδρανών. Βέβαια, η αναλογία του νερού με το τσιμέντο έχει μεγάλη σημασία, καθώς η εργασιμότητα με την αντοχή συνδέονται αντιστρόφως ανάλογα, δηλαδή ενώ η μεγάλη αναλογία νερού βελτιώνει την εργασιμότητα του σκυροδέματος απομειώνει την αντοχή του, και αντίστροφα. Στην συνέχεια ο αέρας, αν και συνήθως δεν θεωρείται συστατικό, αποτελεί ένα ποσοστό 1%-9% του μείγματος σε φυσιολογικές θερμοκρασιακές συνθήκες και σε περιπτώσεις έκθεσης του σκυροδέματος σε παγετό το ποσοστό αυτό αυξάνεται. Τέλος αναφορικά με τα πρόσθετα, φυσικά ή χημικά, προστίθενται στο σκυρόδεμα για διάφορους λόγους (Ayanlere, Ajamu, Odeyemi, Ayagi, & Kareem, 2023). Ορισμένοι από αυτούς είναι: ο χρωματισμός του σκυροδέματος, η αύξηση της ρευστότητας χωρίς να επηρεαστεί η αντοχή, η επιβράδυνση πήξης και η επιτάχυνση πήξης. Στην Εικόνα 2.6 αναπαριστάται σχηματικά η σύσταση του σκυροδέματος.

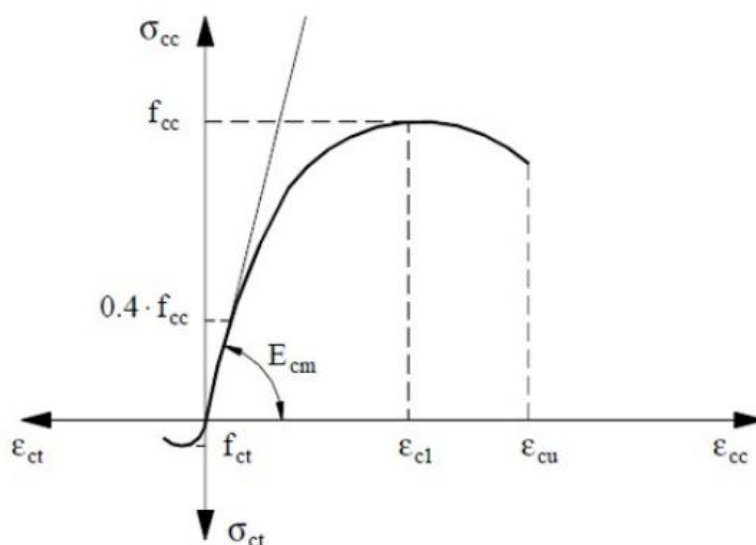


Εικόνα 2.6: Σύσταση Σκυροδέματος

Στο διάγραμμα της Εικόνας 2.6 παρουσιάζονται τα επιμέρους κύρια συστατικά του σκυροδέματος και συγκεκριμένα με μπλε χρώμα το νερό, με ανοικτό γκρι το τσιμέντο και με σκούρο γκρι τα αδρανή υλικά.

2.3.3 Αντοχή Σκυροδέματος

Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος, αρκεί να αξιοποιηθούν δεδομένα για τα μηχανικά του χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους του, όπως είναι το μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος του Poisson. Στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 2.7 απεικονίζεται η γενική μορφή των αναπτυσσόμενων τάσεων σε σχέση με τις παραμορφώσεις κατά την διάρκεια της φόρτισης. Μέσω του διαγράμματος, προκύπτει ότι το σκυρόδεμα παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή συγκριτικά με την αντίστοιχη εφελκυστική του (ΚΤΣ,2016).



Εικόνα 2.7: Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων Σκυροδέματος(c:θλίψη, t:εφελκυσμός)
(ΚΤΣ,2016)

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των συστατικών του σκυροδέματος και τον ρυθμό καταπόνησης του, συνηθίζεται η τετμημένη της κορυφής του διαγράμματος τάσεων-παραμορφώσεων να κυμαίνεται μεταξύ -0,20% και -0,25%, η συμβατική παραμόρφωση θραύσης μεταξύ -0,35% και 0,70% και η τάση θραύσης μεταξύ $0,75 \cdot f_c$ και $1,25 \cdot f_c$. Επίσης, σημειώνεται ότι η κρίσιμη ανηγμένη παραμόρφωση του σκυροδέματος υπό εφελκυσμό κυμαίνεται από +0,02% έως +0,04%.

Η απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ,2016) υπολογίζεται από τη σχέση 2.1:

$$f_c = f_{ck} + k \cdot s \quad (2.1)$$

Όπου:

- f_c : Απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη.
- f_{ck} : Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη. Θεωρείται αυτή η τιμή αντοχής, κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή ενός τυχαίου δοκιμίου.
- k : Συντελεστής που συνδέεται με το ποσοστό των αστοχιών (σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς: $k = 0.25$).

- s: Τυπική απόκλιση συμβατικών αντοχών ενός αριθμού δοκιμών.

Επίσης, η αντοχή σκυροδέματος σε εφελκυσμό υπολογίζεται από τη σχέση 2.2:

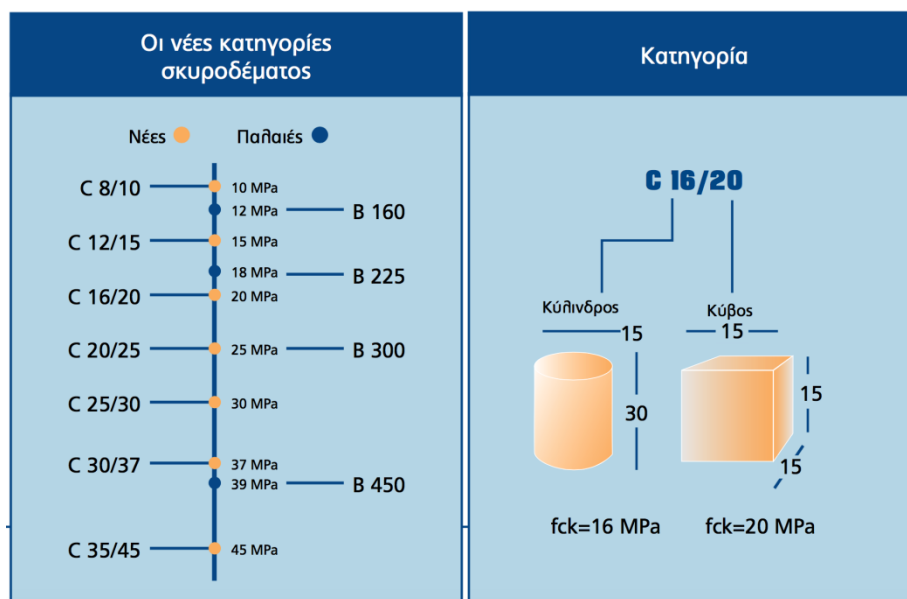
$$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3} \quad (2.2)$$

Όπου:

- f_{ctm} : Αντοχή σκυροδέματος σε εφελκυσμό.
- f_{ck} : Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος.

Γενικά, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι αρκετά μεγαλύτερη συγκριτικά με άλλα κατασκευαστικά υλικά, ακόμα και όταν αυτό είναι άοπλο, γεγονός που αιτιολογεί την κυριαρχία του υλικού στον κατασκευαστικό κλάδο. Την ζητούμενη αντοχή του το σκυρόδεμα την αποκτά έπειτα από 28 ημέρες και μπορεί να μετρηθεί είτε σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150 mm και ύψους 300 mm είτε σε κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm.

Η αναθεώρηση του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1985 το 1997 αντικατέστησε τις παλαιές κατηγορίες, ή αλλιώς ποιότητες, σκυροδέματος που χαρακτηριζόταν με το γράμμα "B" (πχ. B300) με τις νέες, οι οποίες από τότε και στο εξής χαρακτηρίζονται με το γράμμα "C" και δύο νούμερα, την χαρακτηριστική αντοχή ενός κυλινδρικού δοκιμίου και ενός κυβικού, με την συγκεκριμένη σειρά. Για παράδειγμα, η κατηγορία σκυροδέματος C16/20 αναφέρεται στην χαρακτηριστική αντοχή του κυλινδρικού δοκιμίου στα 16 MPa και την χαρακτηριστική αντοχή του κυβικού δοκιμίου στα 20 MPa.



Εικόνα 2.8: Κατηγορίες Σκυροδέματος

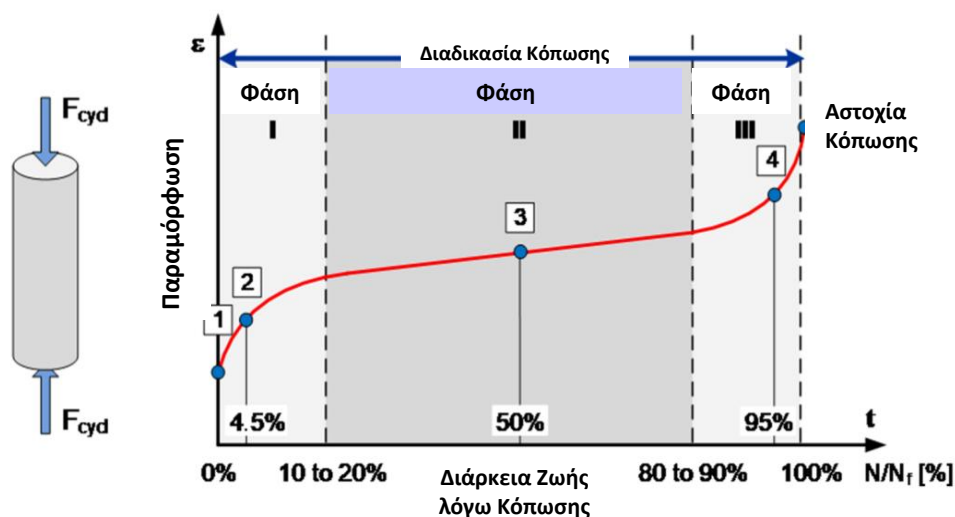
Βέβαια, ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος που είναι σήμερα σε ισχύ είναι του 2016, στον οποίο οι ποιότητες σκυροδέματος παραμένουν ίδιες.

2.3.4 Κόπωση Σκυροδέματος

Τα υλικά που υπόκεινται σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση, η οποία διαφοροποιείται συναρτήσει του χρόνου, ενδέχεται να αστοχήσουν σε τάσεις ακόμα και μικρότερες του ορίου αντοχής τους. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως αστοχία λόγω κόπωσης και αποτελεί το 90% των αστοχιών σε έργα μηχανικής φύσεως ανά τον κόσμο. Το σκυρόδεμα είναι το κατεξοχήν δομικό υλικό των σύγχρονων κατασκευών έχοντας πολλές εφαρμογές, ορισμένες εκ των οποίων είναι κτιριακές εγκαταστάσεις, γέφυρες, φράγματα και δάπεδα. Κατά την διάρκεια της ζωής ενός οδοστρώματος, πολλές και διαφορετικές φορτίσεις πλήττουν την κατασκευή καθιστώντας το σκυρόδεμα υλικό το οποίο υπόκειται σε κόπωση.

Η σταδιακή ανάπτυξη ρωγμών στο σκυρόδεμα εξαιτίας επαναλαμβανόμενων φορτίσεων θέτουν σε κίνδυνο την δομική ακεραιότητα της κατασκευής. Συγκεκριμένα, ο μηχανισμός αστοχίας του σκυροδέματος λόγω κόπωσης πραγματοποιείται λόγω της δημιουργίας ρωγμών και της επέκτασής τους σε τρία (3) στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η δημιουργία και η εμφάνιση της ρωγμής, συνήθως σε ελεύθερες επιφάνειες ή σε σημεία με υψηλή συγκέντρωση τάσεων. Έπειτα το δεύτερο στάδιο είναι η ανάπτυξη της ρωγμής και η επέκτασή της, έως ότου η ρωγμή να αποκτήσει ένα κρίσιμο μέγεθος και τελικά να επέλθει η αστοχία του σκυροδέματος, το οποίο είναι και το τρίτο στάδιο (MarcThiele, 2022).

Για τον εντοπισμό του σημείου αστοχίας λόγω κόπωσης, πραγματοποιείται ένας μεγάλος αριθμός δοκιμών σε κυλινδρικά δοκίμια. Τα δοκίμια αυτά υπόκεινται σε επαναλαμβανόμενη διαφορετικής έντασης τάση, η οποία συμβολίζεται με S , ενώ ο αριθμός των διαφορετικών κύκλων φόρτισης συμβολίζονται με N . Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών παρουσιάζονται σε καμπύλες τάσης-αριθμός κύκλων φόρτισης, ή καμπύλης $S-N$. Μια τέτοια καμπύλη παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.9 στα αριστερά, ενώ στα δεξιά της Εικόνας αναπαριστάται η εφαρμογή μιας επαναλαμβανόμενης δύναμης στο δοκίμιο, η οποία το οδηγεί στην κόπωση.



Εικόνα 2.9: Αστοχία Σκυροδέματος λόγω Κόπωσης (MarcThiele, 2022)

2.4 Τύποι Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων

Οι πολλές χρήσεις των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, καθώς και οι διαφορετικές κυκλοφοριακές ανάγκες κάθε χρήσης καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη διαφορετικών κατηγοριών οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα. Οι βασικότερες από αυτές είναι οι εξής (Λοΐζος & Πλατή, 2023):

- Οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς–**Jointed Plain Concrete Pavements**
- Οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς ενισχυμένους με βλήτρα–**Jointed Plain Concrete Pavements with dowels**
- Οδοστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα–**Jointed Reinforced Concrete Pavements**
- Οδοστρώματα από σκυρόδεμα χωρίς αρμούς με συνεχή οπλισμό–**Continuously Reinforced Concrete Pavements**
- Οδοστρώματα από προεντεταμένο σκυρόδεμα–**Pre-stressed Concrete Pavements**
- Οδοστρώματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, όπου η συμπίκνωση γίνεται με οδοστρωτήρες αντί της συμπίκνωσης με δονητές μάζας–**Roller Compacted Concrete Pavement**

Τα στοιχεία της αγοράς έως σήμερα δείχνουν ότι συνηθέστερη είναι η χρήση των οδοστρωμάτων από άοπλο σκυρόδεμα με ή χωρίς αρμούς, διότι φαίνεται να είναι η βέλτιστη επιλογή από άποψη αρχικού κόστους, συντήρησης και εφαρμογής. Αυτό επιβεβαιώνεται και με τον πίνακα της Εικόνας 2.10, παρατηρώντας πως με εξαίρεση δύο περιπτώσεων, τα οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις υπόλοιπες.

	High-standard highways	General roads	Stopping lanes	intersections	Lighter traffic roads	Parking lots	Tunnels	Airports (aprons)	Ports (container yards)	Bridges	Pavement repairs
1 Standard concrete pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2 Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3 Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4 Composite pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5 Pervious concrete pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
6 White-topping pavement (Concrete overlay pavement)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
7 Fiber reinforced concrete pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
8 Rapid hardening concrete pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
9 Precast concrete pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
10 Prestressed concrete pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
11 Concrete block pavement	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Εικόνα 2.10: Τύποι Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων και Ενδεικτικές Χρήσεις
<https://www.taiheiyō-cement.co.jp/english/rd/concrete/list/index.html>

Με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση των παραπάνω κατηγοριών και τον σαφή διαχωρισμό τους, παρουσιάζονται στην συνέχεια τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς

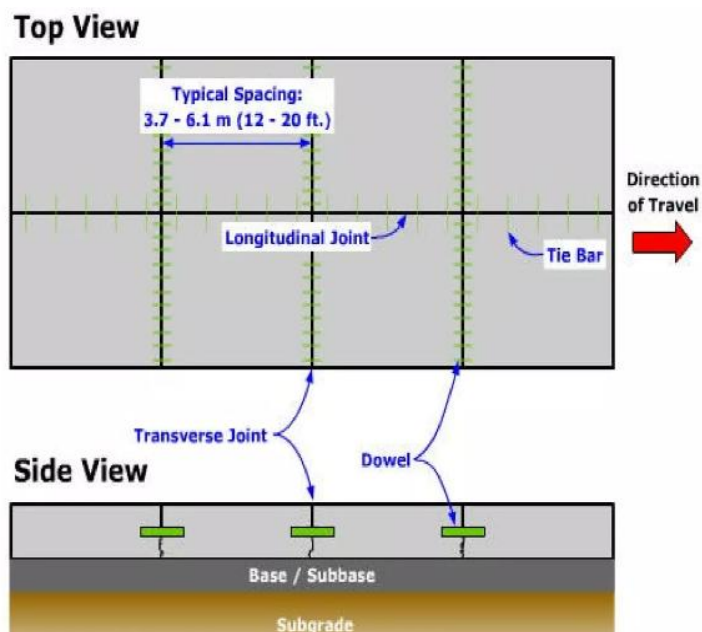
Τα οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα χωρίς βλήτρα (Jointed Plain Concrete Pavements) κατασκευάζονται με πυκνούς αρμούς συστολής. Το πάχος της πλάκας σκυροδέματος μπορεί να φτάσει έως τα 15 cm και η συμπύκνωσή της πραγματοποιείται κυρίως με μηχανικούς δονητές, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις είναι απαραίτητη και η συμπύκνωση με το χέρι. Στην Εικόνα 2.11 παρουσιάζεται μια τυπική διάστρωση οδοστρώματος χωρίς οπλισμό και χωρίς αρμούς.



Εικόνα 2.11: Διάστρωση Διατομής JPCP
<https://www.civilengicon.com/>

Οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς ενισχυμένους με βλήτρα

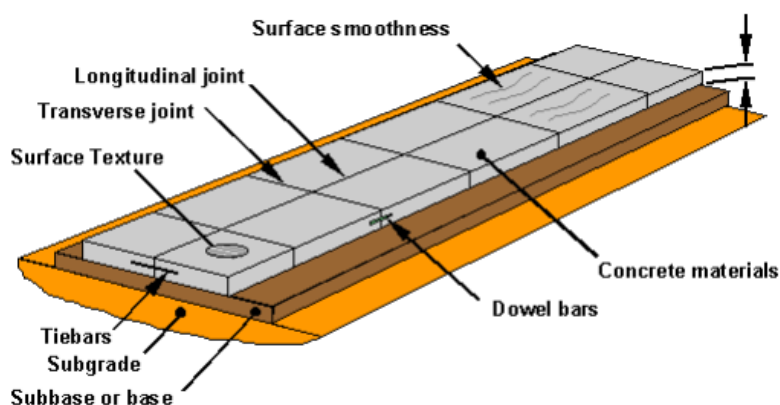
Τα οδοστρώματα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς ενισχυμένους με βλήτρα (Jointed Plain Concrete Pavements with dowels) αποτελούν τον συνηθέστερο τύπο οδοστρώματος. Γενικά, βλήτρα τοποθετούνται σε περιπτώσεις που το οδόστρωμα υπόκειται σε βαριά κυκλοφορία ή υπάρχει διαβρώσιμη υπόβαση ή το κλίμα είναι δυσμενές. Κατασκευάζονται με πυκνά διαμορφωμένους αρμούς συστολής, συνήθως σε απόσταση από περίπου 4 m έως 6 m, στους οποίους τοποθετούνται βλήτρα, συνήθως $\Phi 25$ με μήκος 500 mm, με σκοπό την βελτιστοποίηση της σύνδεσης των γειτονικών πλακών και την υποβοήθηση της μεταβίβασης φορτίου από την μία πλάκα στην άλλη. Το πάχος των πλακών κυμαίνεται από 20 cm έως 30 cm. Μια τυπική διατομή του συγκεκριμένου οδοστρώματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.12.



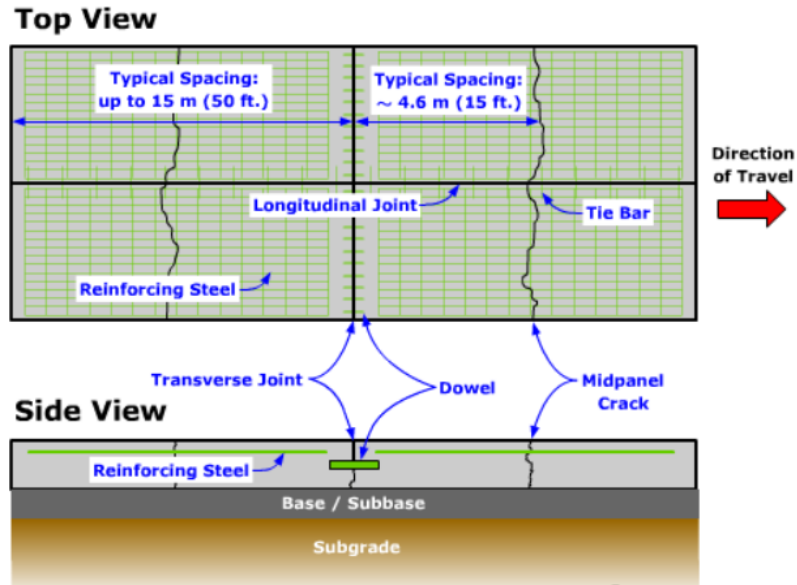
Εικόνα 2.12: Τυπική Διατομή JPCP [κάτοψη - τομή]

Οδοστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα

Στα οδοστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα (Jointed Reinforced Concrete Pavements) η ρηγμάτωση του σκυροδέματος είναι αναπόφευκτη στις πλάκες, εξαιτίας της επαναλαμβανόμενης φόρτισης στην οποία υπόκεινται, αλλά και των θερμοκρασιακών μεταβολών. Με σκοπό, λοιπόν, τον περιορισμό της διεύρυνσης των ρωγμών επιλέγεται η τοποθέτηση χαλύβδινου πλέγματος οπλισμού ή πλαισίου μέσα στην πλάκα. Ο οπλισμός αυτός συνεισφέρει στην αύξηση των αποστάσεων των αρμών από 6 m σε 15 m και στην αύξηση της δομικής ικανότητας του οδοστρώματος, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό. Στις Εικόνες 2.13 και 2.14 παρουσιάζεται η τυπική διατομή ενός οδοστρώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα σε όψη, κάτοψη και τομή.



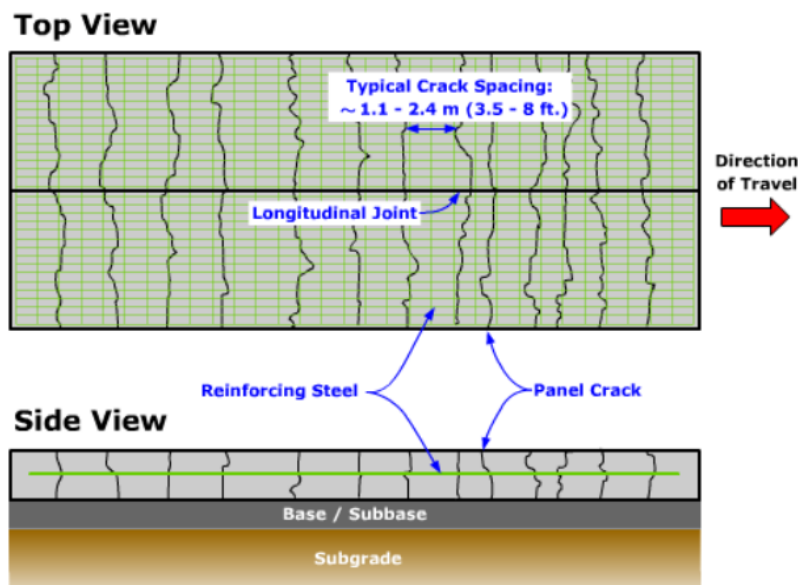
Εικόνα 2.13: Τυπική Διατομή JRCP (Shahi, 2016)



Εικόνα 2.14 Τυπική Διατομή JRCP[κάτοψη - τομή]

Οδοστρώματα από σκυρόδεμα χωρίς αρμούς με συνεχή οπλισμό

Με την τοποθέτηση συνεχούς οπλισμού στο οδόστρωμα (Continuously Reinforced Concrete Pavements), εξαλείφεται η κατασκευαστική ανάγκη της διακοπής της συνέχειας της πλάκας από εγκάρσιους αρμούς συστολής. Ο οπλισμός τοποθετείται κυρίως στην διαμήκη διεύθυνση του οδοστρώματος καλύπτοντας περίπου το 60%-80% της επιφάνειας της διατομής και βοηθητικά στην εγκάρσια. Η πυκνή τοποθέτηση οπλισμού στο οδόστρωμα επιτρέπει τη συγκράτηση του εύρους των εγκάρσιων ρηγματώσεων μέσα στο επιτρεπτό όριο, αλλά και την αραιή εμφάνισή τους. Οδοστρώματα τέτοιου τύπου συναντώνται κυρίως σε αυτοκινητοδρόμους υψηλής κυκλοφορίας και ταχυτήτων, δυσμενών κλιματολογικών συνθηκών και χαλαρών εδαφών. Στην Εικόνα 2.15 παρουσιάζεται η τυπική διατομή τους σε κάτοψη και τομή.

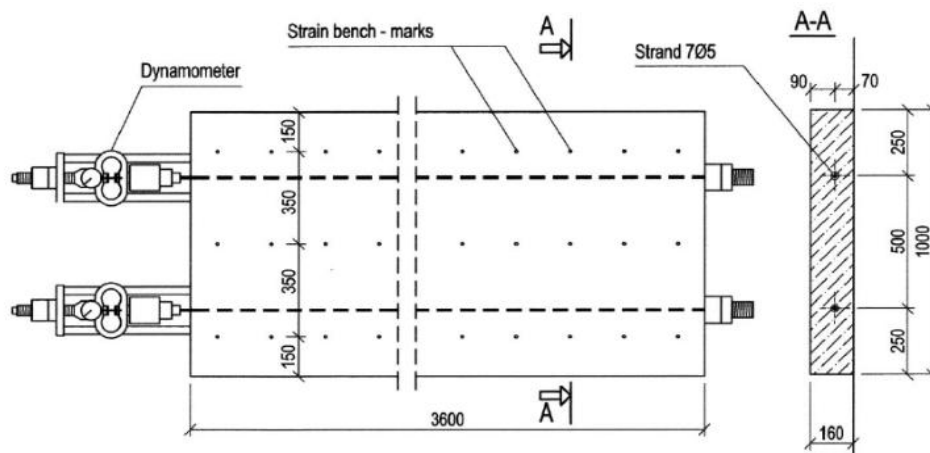


Εικόνα 2.15: Τυπική Διατομή CRCP[κάτοψη - τομή]

<https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/continuously-reinforced-concrete-pavement/>

Οδοστρώματα από προεντεταμένο σκυρόδεμα

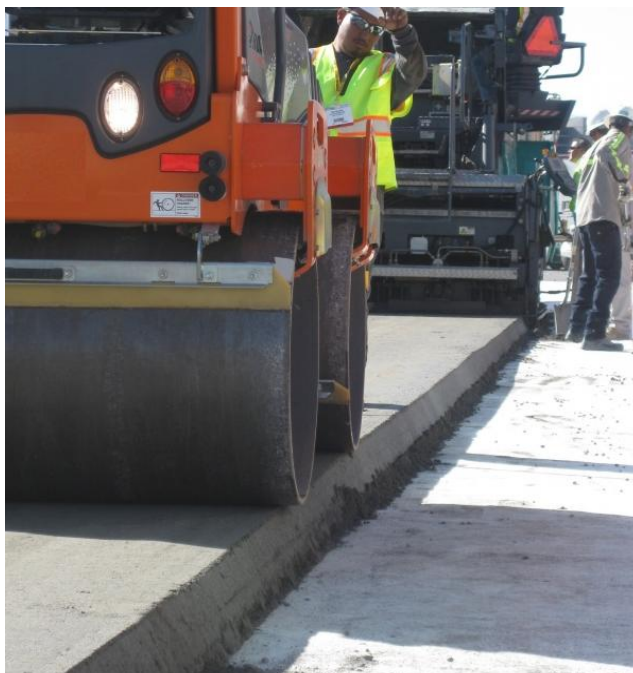
Τα οδοστρώματα από προεντεταμένο σκυρόδεμα (Pre-stressed Concrete Pavements) αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία οδοστρωμάτων. Κατασκευάζονται συνήθως επί τόπου στο έργο από σκυρόδεμα ενισχυμένο από καλώδια ή ράβδους υψηλής αντοχής, τα οποία έχουν τεντωθεί πριν την διάστρωση του σκυροδέματος. Με την διαδικασία της προέντασης επιτυγχάνεται σημαντική αναβάθμιση της αντοχής του σε εφελκυσμό, με αποτέλεσμα το οδόστρωμα να αποκτά την δυνατότητα ανάληψης μεγαλύτερων φορτίων, χωρίς το ίδιο να ρηγματωθεί. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως σε κατασκευές οδοστρωμάτων και άλλων υποδομών όπου απαιτείται αυξημένη αντοχή και μακροχρόνια απόδοση. Η χρήση σημείων έντασης (strain bench-marks) βοηθά στη μέτρηση της παραμόρφωσης του υλικού κατά τη διάρκεια της προέντασης. Στην Εικόνα 2.16 εμφανίζεται η διάταξη μια τυπικής διατομής προεντεταμένου σκυροδέματος με δύο τένοντες 7φ5 mm τοποθετημένους στη διαμήκη διεύθυνση.



Εικόνα 2.16: Τυπική Διατομή PCP
(Seruga, Smaga, & Szydłowski, 2006)

Οδοστρώματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα

Τα οδοστρώματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (Roller Compacted Concrete Pavement) οφείλουν το όνομά τους στον τρόπο κατασκευής τους και αποτελούν ένα είδος οδοστρώματος JPCP. Συγκριτικά με το συμβατικό σκυρόδεμα, το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα σαν μίγμα είναι πιο στεγνό ώστε να μπορεί να συμπιέζεται από τους οδοστρωτήρες. Συνήθως, κατασκευάζονται χωρίς αρμούς, ξυλότυπο, φινίρισμα και οπλισμό από χάλυβα ή βλήτρα. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους οδοστρωμάτων είναι η γρήγορη παραγωγή του σκυροδέματος, η άμεση παράδοση του οδοστρώματος για κυκλοφορία, το χαμηλό κόστος κατασκευής, η ευκολία διάστρωσης και η υψηλή αντοχή του σε θλίψη αλλά και εφελκυσμό. Στην Εικόνα 2.17 παρουσιάζεται ο χαρακτηριστικός τρόπος διάστρωσης τους.



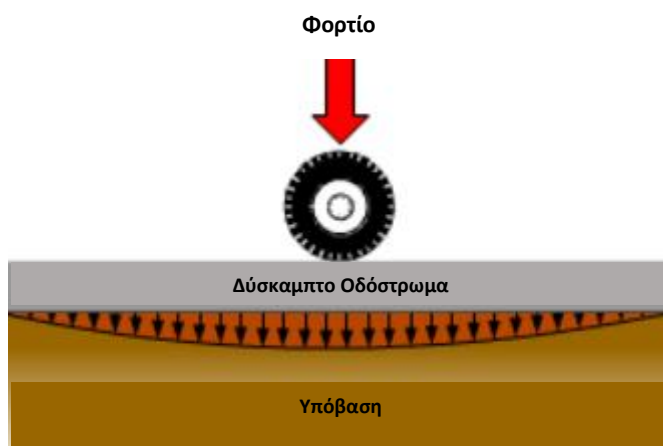
Εικόνα 2.17: Τυπική Διατομή RCCP

Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως είναι σημαντικό η τελική συμπύκνωση του οδοστρώματος να έχει ολοκληρωθεί εντός διαστήματος 45 με 60 λεπτών από την ανάμιξη.

2.5 Παράμετροι Σχεδιασμού Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων

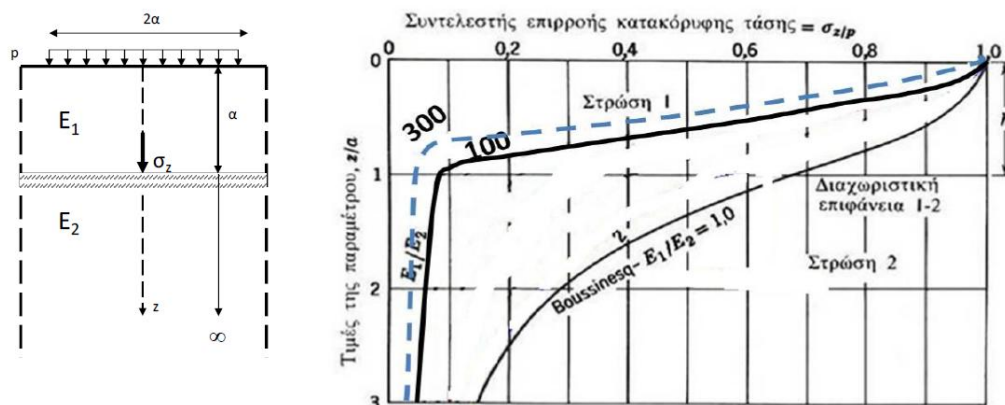
2.5.1 Μηχανική Συμπεριφορά

Η κατανομή των κατακόρυφων τάσεων, που ασκούνται στην επιφάνεια κύλισης και οφείλονται στα επιβαλλόμενα φορτία του οδοστρώματος, στην υποκείμενη στρώση και τελικά στο έδαφος επηρεάζεται από τα μέτρα ελαστικότητας των επιμέρους στρώσεων. Στην Εικόνα 2.18 απεικονίζεται η κατανομή των κατακόρυφων τάσεων σε δύσκαμπτα οδοστρώματα.



Εικόνα 2.18: Κατανομή Κατακόρυφων Τάσεων σε Δύσκαμπτα Οδοστρώματα (Λοΐζος & Πλατή, 2023)

Πιο συγκεκριμένα, το μέτρο ελαστικότητας, το οποίο συμβολίζεται με E , του σκυροδέματος κυμαίνεται συνήθως από 25.000 MPa έως 35.000 MPa, των σταθεροποιημένων εδαφικών υλικών από 3.000 MPa έως 10.000 MPa και των κατεργασμένων με υδραυλικές κονίες αμμοχάλικων από 2.000 MPa έως 10.000 MPa. Γενικά, σε ένα σύστημα δύο στρώσεων στο οποίο ο λόγος E_1/E_2 δεν παραμένει σταθερός, η κατανομή των κατακόρυφων τάσεων που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της δεύτερης στρώσης εξαρτάται από τον λόγο E_1/E_2 . (Λοΐζος & Πλατή, 2023). Στην Εικόνα 2.19 εμφανίζεται η επίδραση του λόγου των μέτρων ελαστικότητας στην κατανομή των τάσεων στην διατομή ενός οδοστρώματος.



Εικόνα 2.19: Επίδραση του λόγου E_1/E_2 στις κατακόρυφες τάσεις

Ουσιαστικά, στην περίπτωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων οι τάσεις μεταβιβάζονται στις υποκείμενες στρώσεις σημαντικά απομειωμένες εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς των μέτρων ελαστικότητας του σκυροδέματος και του υλικού της υπόβασης.

2.5.2 Ανάπτυξη Τάσεων

Σχετικά με την κατασκευή των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το σκυρόδεμα κατά τη διάστρωση του και πριν ακόμα αποκτήσει την πλήρη αντοχή του υφίσταται επιπονήσεις. Συγκεκριμένα, οι επιπονήσεις αυτές προκαλούνται από την παρεμπόδιση των μετακινήσεων του σκυροδέματος, οι οποίες οφείλονται στις θερμοκρασιακές μεταβολές και στη συστολή κατά την πήξη. Όμως, η μικρή ηλικία του σκυροδέματος δεν του επιτρέπει την παραλαβή των τάσεων που ασκούνται στη διατομή του, με αποτέλεσμα την ακανόνιστη ρηγμάτωσή του. Για να αντιμετωπισθεί η εμφάνιση των ανεξέλεγκτων αυτών ρωγμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος κατασκευάζονται αρμοί.

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη διαδικασία συστολής του σκυροδέματος είναι η εξάτμιση του νερού από την επιφάνειά του. Κατά τη διαδικασία ωρίμανσης του σκυροδέματος είναι σημαντικό η επιφάνειά του να διαθέτει την απαιτούμενη υγρασία, ούτως ώστε η ανάπτυξη των τάσεων εφελκυσμού να πραγματοποιείται ομαλά. Ορισμένες μέθοδοι διατήρησης της υγρασίας στην επιφάνειά του είναι η κάλυψη με αδιάβροχα πλαστικά φύλλα και η χρήση χημικού υγρού συντηρήσεως. Βέβαια, στην επιτυχημένη ανάληψη των εφελκυστικών δυνάμεων και στη διαδικασία ωρίμανσης του σκυροδέματος σημαντικό ρόλο έχουν και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής, όπως είναι η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, κατά τη διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος οι τάσεις που αναπτύσσονται οφείλονται: (α) στην επιπόνηση του οδοστρώματος από την διέλευση οχημάτων και (β) σε μεταβολές της θερμοκρασίας ή ακόμα και της υγρομετρικής κατάστασης της πλάκας σκυροδέματος. Οι τάσεις από θερμοκρασία έχουν αρκετά μεγαλύτερη διάρκεια συγκριτικά με τη διάρκεια των τάσεων από φορτία, και συγκεκριμένα η διαφορά είναι ώρες σε σχέση με κλάσματα του δευτερολέπτου. Έτσι, οι τάσεις από θερμοκρασιακές μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν ως μόνιμες κατώτερες, ενώ οι τάσεις από επιβαλλόμενα φορτία ως μεταβαλλόμενες μέγιστες (Λοΐζος & Πλατή, 2023).

2.5.3 Διαστασιολόγηση Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων

Η διαστασιολόγηση ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος ταυτίζεται με τον υπολογισμό του πάχους της πλάκας σκυροδέματος ούτως ώστε να επαρκεί για να μην επέλθει ρηγμάτωση του από κόπωση. Η διαδικασία της διαστασιολόγησης μπορεί να επιτευχθεί με τρεις (3) διαφορετικές μεθόδους: (α) εμπειρικές, (β) ημι-αναλυτικές και (γ) αναλυτικές. Κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες βασίζεται σε μια θεωρία ως προς την επεξεργασία των δεδομένων, με σκοπό τον καθορισμό των παχών των στρώσεων της διατομής του οδοστρώματος.

Πιο συγκεκριμένα, οι εμπειρικές μέθοδοι βασίζονται σε ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων τα οποία έχουν συλλεχθεί στο παρελθόν για ίδιας, ή παρόμοιας, διατομής οδόστρωμα όσον αφορά στις συνθήκες κυκλοφορίας, του κλίματος, των εδαφολογικών χαρακτηριστικών και των κατασκευαστικών λεπτομερειών, όπως βλήτρα, υλικά υπόβασης και το είδος του ερείσματος. Τα αποτελέσματα των εμπειρικών μεθόδων είναι αξιόπιστα για την προσεγγιστική εκτίμηση των παχών των στρώσεων και προκύπτουν από την χρήση νομογραφημάτων.

Οι ημι-αναλυτικές μέθοδοι εξάγουν τα αποτελέσματα τους από συγκεκριμένες εξισώσεις, οι οποίες έχουν εφαρμοστεί σε πειράματα και τις επιβεβαιώνουν. Τις εξισώσεις αυτές τις συνέταξε ο Westergaard το 1926, υπολογίζοντας τις τάσεις στην γωνία, στην ακμή και στο μέσο, δηλαδή μακριά από τα άκρα, της πλάκας του σκυροδέματος και έπειτα από βελτίωση τους το 1929 και το 1947 προσδιόρισε τον τρόπο υπολογισμού του απαιτούμενου πάχους της πλάκας. Οι εξισώσεις αυτές βασίζονται σε ορισμένες παραδοχές ως προς το είδος των μετακινήσεων, των υποχωρήσεων και της συμπεριφοράς της πλάκας, όμως μέχρι και σήμερα θεωρούνται αξιόπιστες και ακριβείς.

Τέλος, οι αναλυτικές μέθοδοι βασίζονται στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων μελετώντας ακριβώς τον τρόπο που συμπεριφέρονται τα υλικά και προσδιορίζοντας με ακρίβεια το απαιτούμενο πάχος της πλάκας σκυροδέματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει την μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις δύο προηγούμενες και πλέον με την χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών η εφαρμογή της έχει απλουστευτεί, καθώς υπάρχουν προγράμματα που εκτελούν τους απαραίτητους υπολογισμούς.

Γενικά, η διαστασιολόγηση των δύσκαμπτων πραγματοποιείται από τον συνδυασμό εμπειρικών και αναλυτικών μεθόδων υπολογισμού. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι σχεδιασμού δύσκαμπτων οδοστρωμάτων και αυτές που χρησιμοποιούνται κατά βάση είναι η Μέθοδος PCA (Portland Cement Association) και η μέθοδος AASHTO. Ο σχεδιασμός ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος σύμφωνα με τη μέθοδο PCA, βασίζεται στην εμπειρία από τη λειτουργία και τη συντήρηση πραγματικών οδοστρωμάτων, καθώς και σε αποτελέσματα σχετικών ερευνών της PCA. Η μέθοδος AASHTO βασίζει τον σχεδιασμό του οδοστρώματος

σε ημι-εμπειρικές εξισώσεις, οι οποίες έχουν προκύψει από την ανάλυση πειραματικών οδοστρωμάτων, μέσω του πειράματος AASHO Road Test, και έχουν βελτιωθεί με την προσθήκη δεδομένων, είτε λόγω εμπειρίας είτε από σχετικές αναλύσεις.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλυθεί και θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος AASHO, η οποία παρουσιάζεται συνοπτικά στην συνέχεια (AASHO, 1993).

2.5.4 Οδικό Πείραμα AASHO

Σκοπός ενός οδοστρώματος είναι να παρέχει στους χρήστες του μια ασφαλή, άνετη και ευχάριστη οδηγική εμπειρία. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να συμπεριληφθούν στον όρο λειτουργικότητα ή εξυπηρετικότητα του οδοστρώματος, ο οποίος εισάγεται στην εμπειρική μέθοδο AASHO). Ουσιαστικά, χαρακτηρίζει την συμπεριφορά της οδού βάσει της λειτουργικότητάς της λαμβάνοντας υπόψιν και την τυχόν μεταβολή της, η οποία μπορεί να επέλθει από την επίδραση του χρόνου ή τα φορτία που καταπονούν την διατομή της. Γενικά με τον όρο λειτουργικότητα συνδέονται χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, όπως η ποιότητα κύλισης, η ασφάλεια της κυκλοφορίας, το λειτουργικό κόστος του οχήματος, η ταχύτητα των οχημάτων και ο χρόνος μετακίνησης, τα οποία επηρεάζουν άμεσα τον χρήστη της οδού.

Με σκοπό λοιπόν να αξιολογηθεί ένα οδόστρωμα και η λειτουργική κατάστασή του, πραγματοποιήθηκε το πείραμα AASHO (American Association of State Highway Official) στο οποίο μια ομάδα χρηστών βαθμολόγησε σε μια κλίμακα από το 0 έως το 5 την ποιότητα κύλισης του οδοστρώματος, συνεκτιμώντας όμως τις επιφανειακές ανωμαλίες, τις ρηγματώσεις και τις φθορές που πιθανόν να εμφάνιζε. Η τιμή 5 αντιστοιχούσε σε άριστη ποιότητα κύλισης, ενώ η τιμή 0 σε μη αποδεκτή κατάσταση οδοστρώματος. Από το μέσο όρο των βαθμολογιών των χρηστών προέκυψε ο όρος Βαθμολογία Παρούσας Εξυπηρετικότητας PSR (Present Serviceability Rating). Στην Εικόνα 2.20 παρουσιάζεται η φόρμα που κλήθηκε να συμπληρώσει η ομάδα των χρηστών.

Αποδεκτό;	5	Πολύ καλό
Ναι	4	Καλό
Όχι	3	Μέτριο
Δεν εκφέρω γνώμη	2	Κακό
	1	Πολύ κακό
	0	

Τμήμα οδού προς αξιολόγηση:

Κριτής: _____ Ημερομηνία: _____ Χρόνος: _____ Οχημα: _____

Εικόνα 2.20: Βαθμολογία Παρούσας Εξυπηρετικότητας (PSR)

Στο πείραμα AASHO, η συμπεριφορά των έξι (6) πειραματικών τμημάτων οδοστρώματος που κατασκευάστηκαν μελετήθηκε συγκριτικά με την επιβαλλόμενη φόρτιση τους και τις κλιματικές συνθήκες που υποβλήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα τριών χρόνων (1958-1961). Αξίζει να σημειωθεί πως βάσει της παραπάνω αξιολόγησης εξάγεται το συμπέρασμα

ότι η αστοχία του οδοστρώματος συσχετίζεται παραπάνω με την χρήση του, παρά με την έλλειψη ικανότητάς του να παραλάβει τα επιβαλλόμενα φορτία κυκλοφορίας. Επομένως, η χαρακτηριζόμενη ως κατάσταση αστοχίας του οδοστρώματος ισοδυναμεί με οδόστρωμα που λειτουργεί χωρίς να παρέχει την ζητούμενη άνεση στους χρήστες του.

Όμως, ο προσδιορισμός της επιφανειακής κατάστασης ενός οδοστρώματος συναρτήσε του PSR περιλαμβάνει υψηλό ποσοστό υποκειμενικότητας, μιας και οι βαθμολογίες των χρηστών ήταν υποκειμενικές. Πρόεκυψε λοιπόν η ανάγκη να αναπτυχθεί ένας δείκτης, ο οποίος θα αναφέρεται στα ίδια οδοστρώματα, αλλά θα είναι βασισμένος σε αντικειμενικές μετρήσεις ορισμένων παραμέτρων σχετικά με την επιφανειακή κατάσταση του όπως οι διακυμάνσεις εγκάρσιας κλίσης, οι ρηγματώσεις, το βάθος αυλάκωσης και το ποσοστό επιφάνειας που έχει επισκευαστεί με μπαλώματα. Ο δείκτης αυτός ονομάστηκε Δείκτης Παρούσας Εξυπηρετικότητας PSI (Present Serviceability Index) και η σχέση προσδιορισμού του PSI στα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι:

$$PSI = 5.41 - 1.8 * \log(1 + SV) - 0.09 * (C + P)^{0.5} \quad (2.3)$$

Όπου:

SV (Slope Variance): Μέση μεταβολή της κλίσης κατά μήκος των δύο ιχνών τροχού

C (Cracking): Μήκος ρηγματώσεων (ft) ανά 1000 ft² επιφάνειας

P (Patching): Επιφάνεια επισκευών (μπαλωμάτων) (ft²) ανά 1000 ft²

Συγκριτικά με τις παραπάνω παραμέτρους, περισσότερη έμφαση δόθηκε από τους χρήστες στην ομαλότητα, δεδομένου ότι αυτή η παράμετρος θεωρείται ότι επηρέασε περισσότερο την ποιότητα κύλισης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι γενικά ούτε ο δείκτης PSR ούτε ο PSI λαμβάνουν υπόψιν παραμέτρους σχετικά με την οδική ασφάλεια, όπως είναι η ολισθηρότητα.

Η αξία του συγκεκριμένου πειράματος είναι μεγάλη διότι αρχικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το οδικό πείραμα AASHO αξιοποιήθηκαν στην ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων σχεδιασμού οδοστρωμάτων και χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα, όπως είναι η εμπειρική μέθοδος AASHTO (AASHTO, 1993). Έπειτα, η δημιουργία του δείκτη PSI προσέφερε την δυνατότητα για μια αντικειμενικότερη εκτίμηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος, αλλά και έναν τρόπο προσδιορισμού του χρόνου επέμβασης όσο αφορά την συντήρηση του οδοστρώματος. Πιο συγκεκριμένα ως προειδοποιητική τιμή για την μελλοντική αποκατάσταση του οδοστρώματος έχει οριστεί η τιμή PSI=2,5, ενώ για τιμές κάτω του 2 (PSI<2) είναι απαραίτητη η άμεση αποκατάσταση του οδοστρώματος. Τέλος, ο δείκτης PSI πέραν της χρησιμότητας του αναφορικά με την εμπειρική μέθοδο AASHTO, αποτέλεσε και ένα θεμελιώδες στοιχείο στην ανάπτυξη των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management System: PMS) (AASHTO, 1993).

2.5.5 Παράμετροι Σχεδιασμού της Μεθόδου AASHTO

Με την πάροδο του χρόνου, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον συμπληρωματικές αναλύσεις σχετικά με την μέθοδο AASHTO, οι οποίες συνδυαστικά και με την εμπειρία που αποκτούσαν οι μελετητές οδήγησαν τελικά στην τροποποίηση και στην εξέλιξη της αρχικής

μορφής της μεθόδου (AASHTO, 1993) (AASHTO, 1998). Γενικά, η μέθοδος AASHTO είναι διαδεδομένη τόσο στην Ελλάδα, όσο και διεθνές επίπεδο και η ευκολία στην χρήση της την καθιστά προσιτή προς τον μελετητή. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ενώ έχει αναπτυχθεί νεότερη μορφή της μεθόδου AASHTO, η οποία βασίζεται σε αναλυτικές προσεγγίσεις και βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο.

Η μέθοδος σχεδιασμού AASHTO στοχεύει στην διαστασιολόγηση νέων οδοστρωμάτων, καθώς και στην αποκατάσταση υφιστάμενων αξιοποιώντας την Μέθοδο Αποκατάστασης Οδοστρωμάτων με Επίστρωση (Overlay design). Στα επόμενα Κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα πραγματοποιηθεί η εφαρμογή της μεθόδου με στόχο την συγκριτική αξιολόγηση τριών μεθοδολογιών συντήρησης ή αποκατάστασης του οδοστρώματος. Επομένως, κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση των βασικών αρχών και παραμέτρων της μεθόδου αναφορικά με τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, οι οποίες παρατίθενται στο εξής:

- **Αξιοπιστία ($R(\%)$: Reliability)**

Ως αξιοπιστία της διαδικασίας σχεδιασμού ενός οδοστρώματος ορίζεται η πιθανότητα το οδόστρωμα που σχεδιάζεται να συμπεριφερθεί ικανοποιητικά κάτω από τις κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες για την περίοδο σχεδιασμού. Η σπουδαιότητα ενός έργου καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που θα επιλεγεί. Ανάλογα την κατηγορία της οδού και την περιοχή, η αξιοπιστία μπορεί να κυμανθεί από 50% έως 99,99%.

- **Τυπική Απόκλιση (S_o : Overall standard deviation)**

Με την εισαγωγή της έννοιας της τυπικής απόκλισης στη διαδικασία σχεδιασμού ενός οδοστρώματος, λαμβάνονται υπόψη ενδεχόμενα σφάλματα που σχετίζονται με σχεδιαστικά και κατασκευαστικά δεδομένα υπολογισμών (π.χ. εκτίμηση κυκλοφορίας, χαρακτηριστικά υλικών, κλπ). Για τα δύσκαμπτα οδοστρώματα η μέθοδος προτείνει η τυπική απόκλιση να κυμαίνεται από 0.30 έως 0.40.

- **Ισοδύναμοι Τυπικοί Άξονες (W_{18} : Estimated total 18-kip equivalent single axle load applications)**

Όσον αφορά στην κυκλοφορία, η μέθοδος λαμβάνει υπόψη αθροιστικά την προβλεπόμενη κυκλοφορία για την περίοδο σχεδιασμού εκφρασμένη σε ΙΤΑ (18 kip=8.16t=80 kN). Για τον υπολογισμό της κυκλοφορίας στη λωρίδα μελέτης η μέθοδος λαμβάνει υπόψη το ποσοστό των διερχόμενων αξόνων ανά κατεύθυνση και ανά λωρίδα κυκλοφορίας.

- **Απώλεια Εξυπηρετικότητας Οδοστρώματος (ΔPSI : Serviceability loss)**

Η εξυπηρετικότητα ενός οδοστρώματος εκφράζεται συναρτήσει του δείκτη PSI (Present Serviceability Index). Ο δείκτης αυτός προκύπτει από μετρήσεις ομαλότητας και φθορών του οδοστρώματος (π.χ. ρηγματώσεις, μπαλώματα, τροχοαυλακώσεις) σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος. Η κλίμακα του δείκτη PSI κυμαίνεται μεταξύ 0 και 5, με την τιμή 5 να αντιπροσωπεύει το υψηλότερο επίπεδο εξυπηρετικότητας. Για τη μελέτη ενός νέου οδοστρώματος, καθώς και για την αποκατάσταση ενός υφιστάμενου οδοστρώματος, είναι απαραίτητος ο καθορισμός τόσο ενός αρχικού όσο και ενός τελικού δείκτη εξυπηρετικότητας. Ο αρχικός δείκτης εξυπηρετικότητας (P_i) είναι μια εκτίμηση από το χρήστη της τιμής του δείκτη PSI αμέσως μετά την κατασκευή. Η τιμή του P_i που προέκυψε από το οδικό πείραμα AASHO και προτείνεται από τη μέθοδο AASHTO για τα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι 4.5. Επιπλέον, ο

τελικός δείκτης εξυπηρετικότητας (**Pt**) αντιστοιχεί στο ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο πριν κριθεί απαραίτητη η αποκατάσταση ή ανακατασκευή του οδοστρώματος. Η μέθοδος προτείνει μία τιμή του δείκτη ίση με 2.5 για τις περιπτώσεις των αυτοκινητοδρόμων και μια χαμηλότερη τιμή και ίση με 2 για τις οδούς που δέχονται χαμηλότερους κυκλοφοριακούς φόρτους. Ένα κριτήριο για τον προσδιορισμό του ελαχίστου επιπέδου εξυπηρετικότητας μπορεί να αποτελέσει η αποδοχή του χρήστη. Η σχέση υπολογισμού της απώλειας εξυπηρετικότητας είναι η εξής:

$$\Delta PSI = (Pi - Pt) \quad (2.4)$$

όπου: Pi: αρχικός δείκτης εξυπηρετικότητας

Pt: ο τελικός δείκτης εξυπηρετικότητας

- **Ενεργό Μέτρο Αντίδρασης Εδάφους k κάτω από την Πλάκα Σκυροδέματος** (*Effective k-value beneath PCC slab*)

Στην περίπτωση που υφίσταται στρώση υπόβασης, το μέτρο αντίδρασης εδάφους μπορεί να υπολογιστεί με βάση το μέτρο ελαστικότητας της στρώσης έδρασης και της υπόβασης και από το πάχος της υπόβασης. Ο υπολογισμός του σύνθετου μέτρου αντίδρασης εδάφους k με αυτόν τον τρόπο αποτελεί μία εκτίμηση.

- **Μέτρο Ελαστικότητας Σκυροδέματος Ec** (*Concrete Elastic Modulus*)

Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος μπορεί να εκτιμηθεί είτε από εργαστηριακές δοκιμές είτε μέσω εμπειρικών σχέσεων, με βάση την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Για παράδειγμα, μία σχέση που έχει αναπτυχθεί από το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Σκυροδέματος (American Concrete Institute) είναι η ακόλουθη:

$$Ec = 57.000 (f'c)^{0.5} \quad (2.5)$$

όπου: Ec: Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (psi)

f'c: Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (psi)

- **Μέτρο Θραύσης Σκυροδέματος Sc** (*Modulus of Rupture*)

Αποτελεί ένδειξη της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και μπορεί να εκτιμηθεί μέσω εργαστηριακών δοκιμών.

- **Συντελεστής Μεταφοράς Φορτίου J** (*Load transfer Factor*)

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ικανότητα ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος να διανείμει/μεταφέρει τα φορτία κατά μήκος ασυνεχειών όπως είναι οι αρμοί ή οι ρωγμές. Για την περίπτωση των οδοστρωμάτων με αρμούς χωρίς σπλισμό ο υπόψη συντελεστής συνήθως λαμβάνει τις τιμές από 3.8 έως 4.4. Στην περίπτωση που υφίστανται μηχανισμός μεταβίβασης φορτίου, όπως για παράδειγμα μέσω της τοποθέτησης βλήτρων, ο αντίστοιχος συντελεστής μπορεί να θεωρηθεί ίσος με 3.2.

- **Συντελεστής Αποστράγγισης Cd** (*Drainage Coefficient*)

Η αποστραγγιστική ικανότητα ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος εκφράζεται μέσω του συντελεστή αποστράγγισης Cd. Η τιμή του συντελεστή αποστράγγισης για τις συνθήκες του

οδικού πειράματος AASHTO είναι $C_d=1.00$, η οποία αντιστοιχεί σε κακή αποστραγγιστική ικανότητα.

3 ΤΥΠΟΙ ΦΘΟΡΩΝ ΣΕ ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

3.1 Γενικά

Παρότι τα δύσκαμπτα οδοστρώματα διαθέτουν αξιόλογα χαρακτηριστικά και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα, είναι ένα έργο υποδομής και συνεπώς έχουν πεπερασμένη διάρκεια ζωής. Γενικά οι φθορές του οδοστρώματος, μέχρι να ολοκληρωθεί η διάρκεια ζωής του, ποικίλλουν τόσο στον τρόπο εμφάνισης τους, όσο και στην σοβαρότητά τους. Κατά την διαδικασία της οπτικής επισκόπησης του οδοστρώματος εντοπίζονται τα διάφορα είδη των επιφανειακών φθορών και καθορίζονται αν είναι δομικού ή λειτουργικού χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα, ο χαρακτηρισμός αυτός οφείλεται στην αιτία εμφάνισης της φθοράς. Στην περίπτωση που η φθορά εμφανίστηκε εξαιτίας της μειωμένης φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος ή των υλικών των επιμέρους στρώσεων χαρακτηρίζεται ως δομικής σημασίας, ενώ αν δεν σχετίζεται με τα παραπάνω θεωρείται λειτουργικού χαρακτήρα.

Συνήθως, οι επιφανειακές φθορές σχετίζονται με την διαδικασία της τελικής επεξεργασίας ενός δαπέδου και την διαδικασία του φινιρίσματος. Οι συχνότερες φθορές προκαλούνται είτε λόγω της ύπαρξης πλεονάζουσας υγρασίας, είτε λόγω της εξίδρωσης της επιφάνειας. Επίσης, ενδέχεται να εμφανιστούν φθορές εξαιτίας πρόωρης ή καθυστερημένης εφαρμογής του σκυροδέματος, αλλά και ανεπιτυχούς διάστρωσης ή συγκόλλησης του με την υποκείμενη στρώση. Τέλος, είναι πιθανό επιφανειακές φθορές να προκληθούν από την αστοχία της στρώσης βάσης. Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ακόμα ένα λόγος αστοχίας των οδοστρωμάτων είναι η έλλειψη έγκαιρης συντήρησης, όμως περαιτέρω ανάλυση σχετικά με αυτό θα πραγματοποιηθεί στα παρακάτω κεφάλαια.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα διάφορα είδη αστοχιών στα δύσκαμπτα οδοστρώματα, οι συνέπειες που προκαλούνται εξαιτίας τους, το επίπεδο σοβαρότητάς τους, οι πιθανές αιτίες που τις προκάλεσαν, ο τρόπος καταγραφής τους αλλά και ο προτεινόμενος τρόπος επισκευής τους έχοντας ως κριτήριο το επίπεδο σοβαρότητάς τους.

3.2 Εγκάρσιες Ρωγμές

Περιγραφή

Οι εγκάρσιες ρωγμές (Transverse Cracking) εμφανίζονται κυρίως κάθετα στον άξονα της οδού ή στην διεύθυνση της κλίσης (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.1 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει τέτοιου τύπου αστοχία.



Εικόνα 3.1: Εγκάρσια Ρηγμάτωση
(Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Συνέπεια

Διείσδυση επιφανειακών υδάτων και απώλεια ποιότητας κύλισης.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Χαμηλό: Ρωγμή με εύρος $<3\text{mm}$, χωρίς αποκόλληση και χωρίς ανισοσταθμία ή καλώς σφραγισμένη ρωγμή με εύρος που δεν μπορεί να καθοριστεί

Μεσαίο: Ρωγμή με εύρος $\geq 3\text{mm}$ και $<6\text{mm}$ ή με αποκόλληση $<75\text{mm}$ ή ανισοσταθμία μέχρι 6mm

Υψηλό: Ρωγμή με εύρος $\geq 6\text{mm}$ ή με αποκόλληση $\geq 75\text{mm}$ ή ανισοσταθμία $\geq 6\text{mm}$ (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

Συστολή της επιφάνειας λόγω χαμηλών θερμοκρασιών

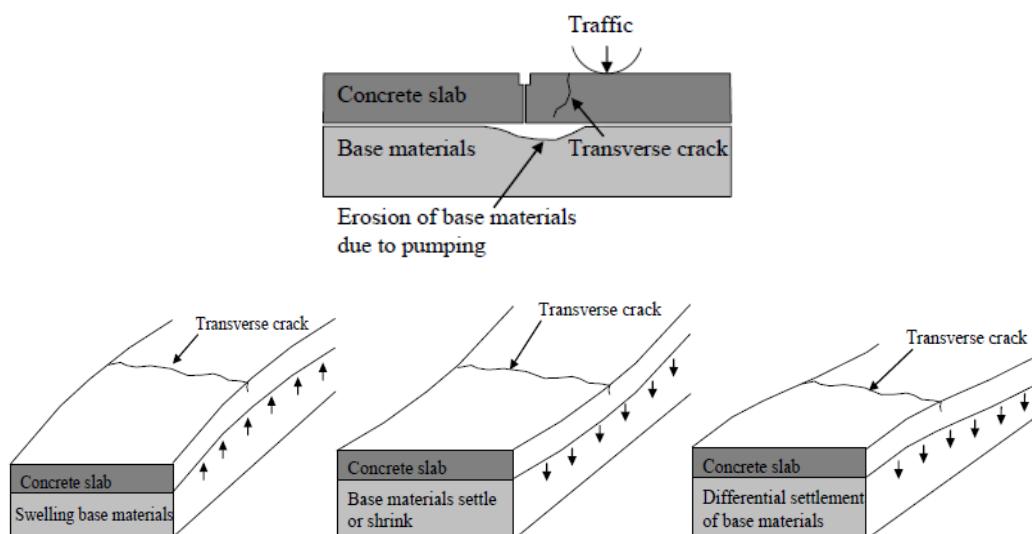
Ανακλαστική ρωγμή που προκαλείται από ρωγμές κάτω από το επιφανειακό στρώμα

Ρωγμές από κάτω προς τα πάνω

Κακή συντήρηση σκυροδέματος

Κακή αποστράγγιση του επιφανειακού νερού (Indian Roads Congress, 2018)

Στην Εικόνα 3.2 απεικονίζεται ο μηχανισμός αστοχίας εγκάρσιας ρηγμάτωσης.



Εικόνα 3.2: Μηχανισμοί Αστοχίας Εγκάρσιας Ρηγμάτωσης
(Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Τρόπος Καταγραφής

Η καταγραφή των ρηγματώσεων πραγματοποιείται μέσω αυτοψίας, στην οποία καταγράφεται το πλήθος και το μήκος (σε μέτρα) των εγκάρσιων ρωγμών, καθώς και των σφραγισμένων που βρίσκονται σε καλή κατάσταση, για κάθε επίπεδο σοβαρότητας.

Τρόπος Επισκευής

Χαμηλής/Μεσαίας: Στεγανοποίηση των ρωγμών τόσο για να αποφευχθεί η είσοδος υγρασίας στις υποκείμενες στρώσεις, όσο και να μην επεκταθεί η ήδη υπάρχουσα ρηγμάτωση. Το οδόστρωμα μπορεί να παρέχει χρόνια ικανοποιητικής υπηρεσίας μετά την ανάπτυξη μικρών ρωγμών, σε περίπτωση που εκείνες διατηρούνται σφραγισμένες.

Υψηλής: Αφαίρεση και αντικατάσταση του ρηγματωμένου τμήματος.

3.3 Ανισοσταθμία Γειτονικών Πλακών

Περιγραφή

Η ανισοσταθμία γειτονικών πλακών (Faulting) αναφέρεται σε υψομετρική διαφορά κατά μήκος αρμού ή ρωγμής και παρουσιάζεται συνήθως σε οδόστρωμα από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς χωρίς βλήτρα (JPCP). Ο μηχανισμός αστοχίας προκαλείται από την άντληση του νερού, η οποία δημιουργεί μια ανισοσταθμία στις γειτονικές πλάκες, καθιστώντας την πλάκα προσέγγισης υψηλότερη από την πλάκα εξόδου (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.3 απεικονίζεται οδόστρωμα με αστοχία τέτοιου τύπου.



Εικόνα 3.3: Ανισοσταθμία Γειτονικών Πλακών
(Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Συνέπεια

Το οδόστρωμα παρουσιάζει απώλεια της ποιότητας κύλισης.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Χαμηλό: Υψομετρική διαφορά γειτονικών πλακών εύρους <math><3\text{mm}</math> ,

Μεσαίο: Υψομετρική διαφορά γειτονικών πλακών εύρους >3mm και <math><12,5\text{mm}</math>

Υψηλό: Υψομετρική διαφορά γειτονικών πλακών εύρους >12,5mm (Miller&Bellinger, 2014).

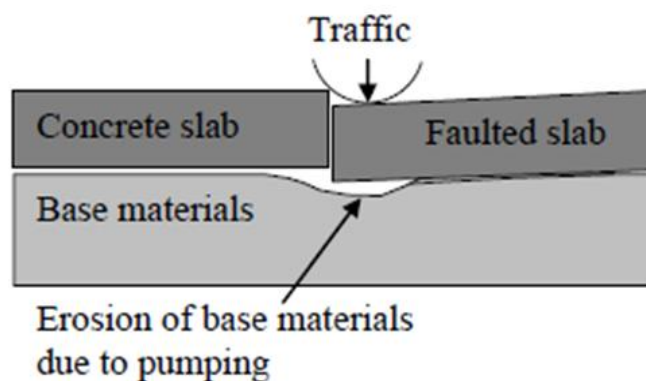
Πιθανές Αιτίες

Άντληση νερού και παραμονή του ανάμεσα στην στρώση βάσης και σκυροδέματος

Καθίζηση πλακών

Ανύψωση πλακών από ρίζες δέντρων (Indian Roads Congress, 2018).

Στην Εικόνα 3.4 εμφανίζεται ο μηχανισμός αστοχίας της ανισοσταθμίας γειτονικών πλακών.



Εικόνα 3.4: Μηχανισμός Αστοχίας Ανισοσταθμίας Γειτονικών Πλακών
(Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Τρόπος Καταγραφής

Η καταγραφή της ανισοσταθμίας ανάμεσα στις πλάκες μετράται σε χιλιοστά (mm) και σε αποστάσεις 0,30 m και 0,75 m μετρώντας από την εξωτερική άκρη της πλάκας. Σε κάθε θέση πραγματοποιούνται τρεις (3) μετρήσεις και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους ως χαρακτηριστική τιμή.

Τρόπος Επισκευής

Χαμηλό: Δεν χρειάζεται επισκευή

Μεσαίο: Ενίσχυση οδοστρώματος με χαλύβδινες ράβδους

Υψηλό: Ολική ανακατασκευή οδοστρώματος

3.4 Ρηγμάτωση Άκρου Πλάκας Σκυροδέματος

Περιγραφή

Η ρηγμάτωση του άκρου μίας πλάκας οδοστρώματος (Corner Breaks) τέμνει τους αρμούς της και ξεκινάει σε μία απόσταση περίπου 2,00m από το πεζοδρόμιο και προοδευτικά επεκτείνεται στην υπόλοιπη πλάκα. Προκαλείται από υψηλές γωνιακές καταπονήσεις, συνήθως από παρόδια στάθμευση (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.5 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει αστοχία τέτοιου τύπου.



Εικόνα 3.5:Ρηγμάτωση Άκρου Πλάκας Σκυροδέματος
(Gerges, 2009)

Συνέπεια

Επιτρέπεται η διείσδυση επιφανειακών υδάτων, αποκόπτονται τα γωνιακά τμήματα που έχουν ρηγματωθεί και μειώνεται η ποιότητα κύλισης.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Χαμηλό: Δεν υπάρχει αποκόλληση (spalling) υλικού σε ποσοστό πάνω από 10% του μήκους της ρωγμής και δεν εμφανίζεται ανισοσταθμία. Το τριγωνικό τμήμα της πλάκας που έχει διαχωριστεί δεν είναι σπασμένο σε δύο ή περισσότερα κομμάτια, δεν υπάρχει απώλεια υλικού και μπαλώματα.

Μεσαίο: Υπάρχει αποκόλληση (spalling) υλικού χαμηλής σοβαρότητας σε ποσοστό πάνω του 10% του μήκους της ρωγμής ή εμφανίζεται ανισοσταθμία της ρωγμής ή του αρμού που είναι <13mm. Το τριγωνικό τμήμα της πλάκας που έχει διαχωριστεί δεν είναι σπασμένο σε δύο ή περισσότερα κομμάτια.

Υψηλό: Υπάρχει αποκόλληση (spalling) υλικού μεσαίας προς υψηλής σοβαρότητας σε ποσοστό πάνω από 10% του μήκους της ρωγμής ή εμφανίζεται ανισοσταθμία της ρωγμής ή του αρμού που είναι $\geq 13\text{mm}$. Το τριγωνικό τμήμα της πλάκας που έχει διαχωριστεί είναι σπασμένο σε δύο ή περισσότερα κομμάτια ή περιέχει μπαλώματα (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

Σοβαρές γωνιακές καταπονήσεις από επαναλαμβανόμενα φορτία

Απώλεια στήριξης

Δυσμενής μεταφορά φορτίου κατά μήκος των αρμών

Στρέβλωση γωνιών και αρμών (Indian Roads Congress, 2018).

Τρόπος Καταγραφής

Η καταγραφή των ρωγμών πραγματοποιείται μέσω αυτοψίας για καθένα από τα επίπεδα σοβαρότητας. Οι ρωγμές που έχουν επισκευαστεί με απομάκρυνση των σπασμένων

τμημάτων και αντικατάστασή τους με κατάλληλο υλικό πρέπει να καταγράφονται ως μπαλώματα.

Τρόπος Επισκευής

Στεγανοποίηση αρμών και ρωγμών

Επιδιόρθωση με ασφαλτικό σκυρόδεμα

Αντικατάσταση πλήρους βάρους

3.5 Κατά Μήκος Ρηγματώσεις

Περιγραφή

Οι κατά μήκος ρηγματώσεις (Longitudinal Cracking) είναι κυρίως παράλληλες στον άξονα της οδού και συνήθως δημιουργούνται λόγω κόπωσης του οδοστρώματος (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.6 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει αστοχία τέτοιου τύπου.



Εικόνα 3.6: Κατά Μήκος Ρηγματώσεις
<https://www.igqa.net/low-severity-longitudinal-cracks-joints>

Συνέπεια

Μειώνεται η ποιότητα κύλισης, επιτρέπεται η διείσδυση επιφανειακών υδάτων και ενδέχεται εν συνεχεία οι ρωγμές να εξελιχθούν σε αλλιγομορφικές.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Χαμηλό: Ρωγμή με εύρος $<3\text{mm}$, χωρίς αποκόλληση και χωρίς ανισοσταθμία ή καλώς σφραγισμένη ρωγμή με εύρος που δεν μπορεί να καθοριστεί

Μεσαίο: Ρωγμή με εύρος $\geq 3\text{mm}$ και $<13\text{mm}$ ή με αποκόλληση $\leq 75\text{mm}$ ή ανισοσταθμία μέχρι 6mm

Υψηλό: Ρωγμή με εύρος $\geq 13\text{mm}$ ή με αποκόλληση $\geq 75\text{mm}$ ή ανισοσταθμία $>13\text{mm}$ (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

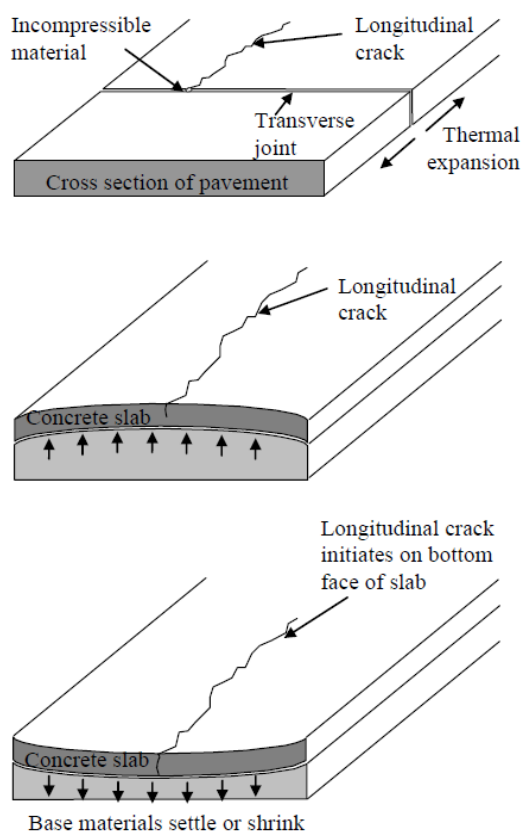
Δομική αστοχία από πάνω προς τα κάτω (top-down cracking)

Ανακλαστική ρωγμή από υποκείμενη στρώση

Παρόδια στάθμευση

Κατασκευαστικό λάθος αρμών (υπερβολικό άνοιγμα ή μικρό βάθος ή καθυστερημένη δημιουργία τους) (Indian Roads Congress, 2018).

Στην Εικόνα 3.7 εμφανίζεται ο μηχανισμός αστοχίας κατά μήκος ρηγματώσεων.



Εικόνα 3.7: Μηχανισμοί Αστοχίας Κατά Μήκος Ρηγματώσεων (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Τρόπος Καταγραφής

Η καταγραφή των ρηγματώσεων πραγματοποιείται μέσω αυτοψίας, στην οποία καταγράφεται το πλήθος και το μήκος (σε μέτρα) των εγκάρσιων ρωγμών, καθώς και των σφραγισμένων που βρίσκονται σε καλή κατάσταση, για κάθε επίπεδο σοβαρότητας.

Τρόπος Επισκευής

Χαμηλό/Μεσαίο: Σφράγιση ρωγμών

Υψηλό: Αφαίρεση και αντικατάσταση του ρηγματωμένου οδοστρώματος

3.6 Ρωγμές Λόγω Μειωμένης Ανθεκτικότητας

Περιγραφή

Οι ρωγμές μειωμένης ανθεκτικότητας (Durability Cracking: "D" Cracking), ή αλλιώς ρωγμές τύπου D, εντοπίζονται εύκολα καθώς χαρακτηρίζονται από πυκνές και στενά διαχωρισμένες ρωγμές σε σχήμα ημισελήνου και συνήθως εμφανίζονται δίπλα σε αρμούς ή προϋπάρχουσες ρωγμές. Προκαλούνται από θερμοκρασιακές μεταβολές των μεγαλύτερων, σε μέγεθος, αδρανών που βρίσκονται μέσα στην πλάκα σκυροδέματος. Η συγκεκριμένη μορφή αστοχίας εμφανίζεται γενικά στις κατασκευές από σκυρόδεμα και όχι μόνο στα οδοστρώματα (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.8 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει τέτοιου τύπου αστοχία.



Εικόνα 3.8: Ρωγμές Τύπου "D"

<https://civildigital.com/d-cracking-durability-cracking-cause-prevention/>

Συνέπεια

Οδηγεί σε θρυμματισμό των άκρων και τελικά αποσύνθεση της πλάκας και απώλεια της ποιότητας κύλισης.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Χαμηλό: Λίγες ρωγμές χωρίς αποκόλληση υλικού και χωρίς μπαλώματα.

Μεσαίο: Καλά καθορισμένες ρωγμές με κάποια αποκόλληση υλικού.

Υψηλό: Καλά καθορισμένες ρωγμές με μεγάλο ποσοστό αποκόλλησης υλικού. Ενδεχομένως να υπάρχουν τμήματα που έχουν αποκολληθεί(έως 0.10m²)και έχει κατασκευαστεί μπάλωμα (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

Μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές των αδρανών του σκυροδέματος (Indian Roads Congress, 2018).

Τρόπος Καταγραφής

Η καταγραφή των ρωγμών πραγματοποιείται με αυτοψία. Καταγράφεται ο αριθμός των εγκάρσιων ρωγμών και έπειτα η επιφάνεια της περιοχής (σε m²) που έχει επηρεαστεί από αυτήν, για κάθε επίπεδο σοβαρότητας.

Τρόπος Επισκευής

Δεν υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος επισκευής, καθώς η φθορά οφείλεται στην συμπεριφορά των αδρανών του σκυροδέματος. Επομένως, ακόμα και η μερική ή ολική αποκατάσταση της φθοράς, δεν εξαλείφεται την πιθανότητα επανεμφάνισης της ρωγμής σε άλλο σημείο.

3.7 Ήβωση

Περιγραφή

Η ήβωση (Blowups) πρόκειται για μια τοπική, προς τα πάνω, κίνηση της επιφάνειας του οδοστρώματος σε εγκάρσιους αρμούς ή ρωγμές και συνοδεύεται από θρυμματισμό του σκυροδέματος. Συνήθως, τέτοιου είδους φθορές πραγματοποιούνται την άνοιξη ή το καλοκαίρι ως αποτέλεσμα ανεπάρκειας διαστολής του σκυροδέματος λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας(Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.9 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει τέτοιου τύπου αστοχία.



Εικόνα 3.9: Ήβωση Δύσκαμπτου Οδοστρώματος/ SR 195- Ουάσιγκτον
(Gerges, 2009)

Συνέπεια

Επιτρέπεται η διείσδυση επιφανειακών υδάτων, μειώνεται η ποιότητα κύλισης καθώς επίσης ελλοχεύει κίνδυνος ασφάλειας για τους χρήστες της οδού.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Τα επίπεδα σοβαρότητας της ήβωσης δεν έχουν καθοριστεί, όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν δείκτες όπως η επιφάνεια κύλισης και η ασφάλεια του χρήστη για την διαδικασία επέμβασης (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

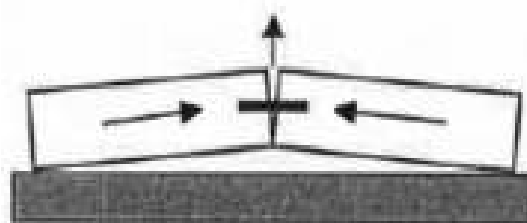
Τοπικές θραύσεις αρμών

Ρωγμές τύπου “D”

Θερμοκρασιακές μεταβολές

Κατασκευαστικά λάθη αρμών ως προς το άνοιγμά τους (Indian Roads Congress, 2018)

Στην Εικόνα 3.10 απεικονίζεται ο μηχανισμός αστοχίας της ήβωσης.



Εικόνα 3.10: Μηχανισμός Αστοχίας Ήβωσης
(IndianRoadsCongress, 2018)

Τρόπος Καταγραφής

Για την καταγραφή των φθορών πραγματοποιείται αυτοψία κατά μήκος του οδοστρώματος και επισημαίνονται τα σημεία που εμφανίζεται ήβωση.

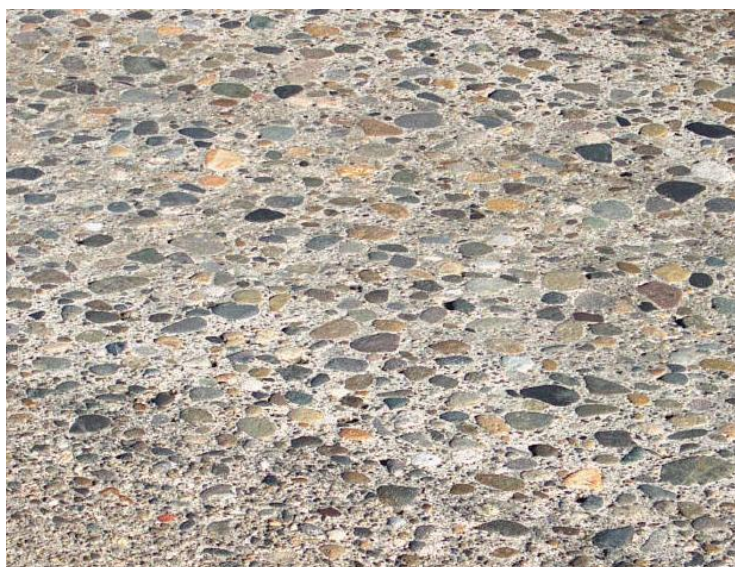
Τρόπος Επισκευής

Αποκατάσταση πλήρους βάθους

3.8 Λείανση Αδρανών

Περιγραφή

Η λείανση αδρανών (Polished Aggregate) έχει ως αποτέλεσμα να γίνονται εμφανή τα χονδρόκοκκα αδρανή. Πρακτικά, η επιφανειακή υφή του οδοστρώματος έχει χαθεί (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.11 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει τέτοιου τύπου αστοχία.



*Εικόνα 3.11: Λείανση Αδρανών
(Gerges, 2009)*

Συνέπεια

Το οδόστρωμα παρουσιάζει μειωμένη αντίσταση ολίσθησης.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Τα επίπεδα σοβαρότητας της λείανσης αδρανών δεν έχουν καθοριστεί, όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν δείκτες όπως η επιφανειακή τριβή του οδοστρώματος (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

Επαναλαμβανόμενη κυκλοφορία

Φθορά από ελαστικά αυτοκινήτων (Indian Roads Congress, 2018)

Τρόπος Καταγραφής

Για την καταγραφή των φθορών πραγματοποιείται αυτοψία κατά μήκος του οδοστρώματος και επισημαίνονται (σε m²) οι περιοχές που εμφανίζεται λείανση.

Τρόπος Επισκευής

Απόξεση οδοστρώματος με διαμαντοτροχό

Εφαρμογή επίστρωσης σκυροδέματος ή λεπτής στρώσης ασφαλτικού σκυροδέματος

3.9 Τοπικές Θραύσεις στα Χείλη Αρμού

Περιγραφή

Οι τοπικές θραύσεις στα χείλη αρμού (Spalling of Longitudinal Joints) αναφέρονται σε εμφάνιση ρηγμάτωσης, σπασίματος, απότριψης ή φθοράς στην άκρη μίας πλάκας σε απόσταση μικρότερη από 0,30m από τον αρμό (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.12 απεικονίζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει τέτοιου τύπου αστοχία.



Εικόνα 3.12: Θραύση στα Χείλη Αρμού-Διάβρωση Ράβδου (Gerges, 2009)

Συνέπεια

Προκαλεί απώλεια της ποιότητας κύλισης και δεν μεταβιβάζονται ομαλά τα φορτία από την μια πλάκα σκυροδέματος στην επόμενη.

Επίπεδο Σοβαρότητας

Χαμηλό: Θραύσεις εύρους <75mm με απώλεια υλικού ή θραύσεις χωρίς απώλεια υλικού και χωρίς μπάλωμα

Μεσαίο: Θραύσεις εύρους >75mm και <150mm με απώλεια υλικού

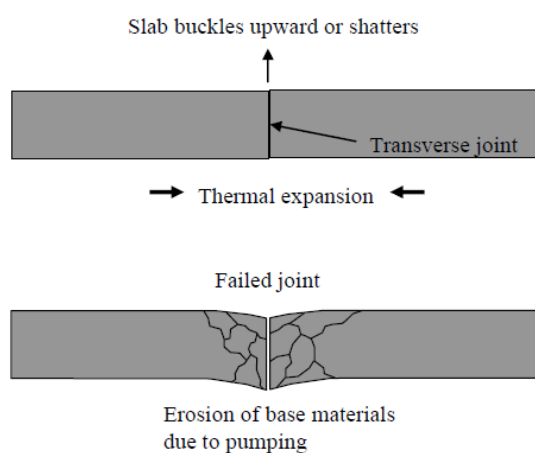
Υψηλό: Θραύσεις εύρους >150mm με απώλεια υλικού, που σπάνε σε δύο ή περισσότερα κομμάτια ή με μπάλωμα (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

Διάβρωση ράβδων

Λανθασμένη ευθυγράμμιση ράβδων κατά την σκυροδέτηση (Indian Roads Congress, 2018).

Στην Εικόνα 3.13 παρουσιάζεται ο μηχανισμός αστοχίας τοπικών θραύσεων στα χείλη των αρμών.



Εικόνα 3.13: Μηχανισμοί Αστοχίας Τοπικών Θραύσεων στα Χείλη των Αρμών (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Τρόπος Καταγραφής

Για τον εντοπισμό των ρωγμών πραγματοποιείται αυτοψία και καταγράφεται το μήκος (σε μέτρα) του αρμού που εμφανίζονται οι θραύσεις για μήκος 0,1 m και παραπάνω, για κάθε επίπεδο σοβαρότητας. Οι περιοχές θραύσεων που τα σπασμένα κομμάτια τους έχουν αντικατασταθεί πλήρως με κατάλληλο υλικό καταγράφονται ως μπάλωμα.

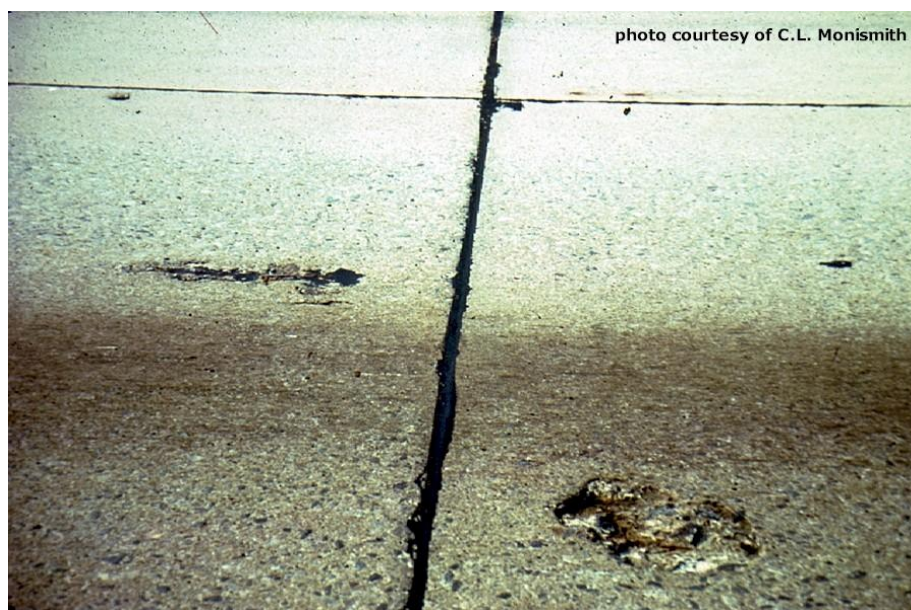
Τρόπος Επισκευής

Για όλα τα επίπεδα σοβαρότητας, προτείνεται αφαίρεση και αντικατάσταση του προσβεβλημένου συστήματος μεταφοράς φορτίου άρθρωσης και έπειτα ενίσχυση του οδοστρώματος με ράβδους σε πλήρες βάθος.

3.10 Θρυμματισμός Επιφανειακών Αδρανών

Περιγραφή

Στο σκυρόδεμα ενδέχεται να δημιουργηθεί εσωτερική πίεση, εξαιτίας ύπαρξης νερού ή θερμοκρασιακών μεταβολών, με αποτέλεσμα την αστοχία θρυμματισμού επιφανειακών αδρανών (Popouts) όπου κομμάτια της πλάκας σκυροδέματος διαρρηγνύονται δημιουργώντας στην επιφάνεια κωνικά κοιλώματα, διαμέτρου 10 mm ή και μεγαλύτερα. Τα συγκεκριμένα κοιλώματα, μέχρι ένα βαθμό, κρίνονται αποδεκτά καθώς δεν επηρεάζουν σημαντικά την δομική ακεραιότητα του οδοστρώματος. Παρόλα αυτά, για τον χρήστη της οδού τα κοιλώματα αυτά είναι αντιαισθητικά και επηρεάζουν την ομαλότητα του οδοστρώματος (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.14 απεικονίζεται η υπόψη αστοχία.



*Εικόνα 3.14: Θρυμματισμός Επιφάνειας Αδρανών
(Gerges, 2009)*

Συνέπεια

Προκαλεί μειωμένη ποιότητα κύλισης.

Επίπεδο Σοβαρότητας

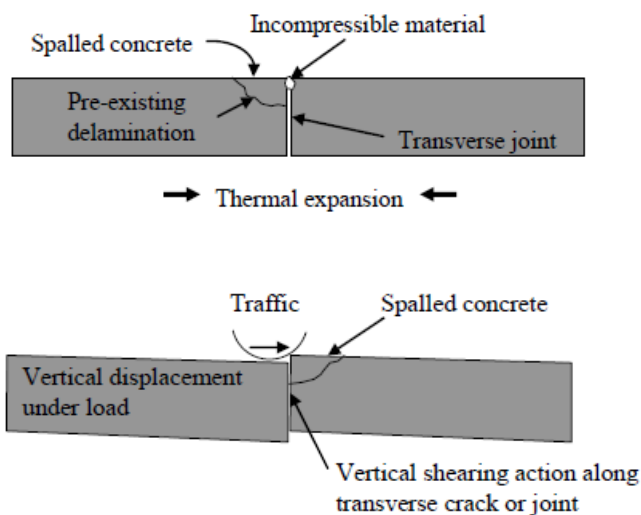
Δεν υπάρχει τυποποιημένος καθορισμός των επιπέδων σοβαρότητας, όμως γενικά τα κοιλώματα αυτά έχουν διαστάσεις από 25 mm έως 100 mm όσον αφορά τη διάμετρο και από 13 mm έως 50 mm το βάθος (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

Μειωμένη αντοχή αδρανών σε ψύξη-απόψυξη

Κακή κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών (Indian Roads Congress, 2018)

Στην Εικόνα 3.15 εμφανίζεται ο μηχανισμός αστοχίας θρυμματισμού επιφάνειας αδρανών.



Εικόνα 3.15: Μηχανισμοί Αστοχίας Θρυμματισμού Επιφάνειας Αδρανών (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Τρόπος Καταγραφής

Για την καταγραφή των φθορών πραγματοποιείται αυτοψία κατά μήκος του οδοστρώματος και επισημαίνονται (σε m^2) οι περιοχές που εμφανίζεται ο θρυμματισμός των επιφανειακών αδρανών.

Τρόπος Επισκευής

Μεμονωμένα κοιλώματα, τα οποία δεν έχουν μεγάλη διάμετρο και σημαντικό βάθος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δεν χρήζουν άμεσης επισκευής. Τα μεγαλύτερα κοιλώματα όμως σε διάμετρο και βάθος ή κοιλώματα που είναι συγκεντρωμένα σε μια περιοχή μπορούν να επισκευαστούν με μερικού βάθους επέμβαση.

3.11 Άντληση και Διαρροή Νερού

Περιγραφή

Η αστοχία άντλησης και διαρροής νερού (Pumping/Water Bleeding) αναφέρεται στην ύπαρξη νερού ανάμεσα στην στρώση της βάσης και την πλάκα σκυροδέματος, η οποία προκαλεί μια εξαναγκασμένη μετακίνηση των αδρανών υλικών που βρίσκονται μεταξύ τους. Η συγκεκριμένη μετακίνηση οδηγεί τελικά στην απομάκρυνσή των αδρανών, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια διέξοδο για το νερό. Κατά την διαδικασία αυτή η πλάκα σκυροδέματος ρηγματώνεται επιτρέποντας έτσι την άνοδο του νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η συγκεκριμένη αστοχία έχει ως συνέπεια το οδόστρωμα να γίνεται ολισθηρό.

Υπάρχουν τρία (3) είδη κινήσεων του νερού: (α) κίνηση του νερού κάτω από την πλάκα σκυροδέματος, (β) κίνηση του νερού κάτω από μία πλάκα σκυροδέματος στην αμέσως επόμενη της, όπου έτσι προκαλείται αστοχία και (γ) ανοδική μετακίνηση του νερού στην επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα την αποσάθρωση των υποκείμενων στρώσεων και την δομική αστοχία της στήριξης (Gerges, 2009). Στην Εικόνα 3.16 παρουσιάζεται ένα οδόστρωμα που εμφανίζει αστοχία τέτοιου τύπου.



Εικόνα 3.16: Άντληση και Διαρροή Νερού
(Gerges, 2009)

Συνέπεια

Μείωση στήριξης της πλάκας, η οποία οδηγεί στον σχηματισμό εγκάρσιων ρηγματώσεων, ρηγματώσεις άκρου πλάκας και ανισοσταθμίες.

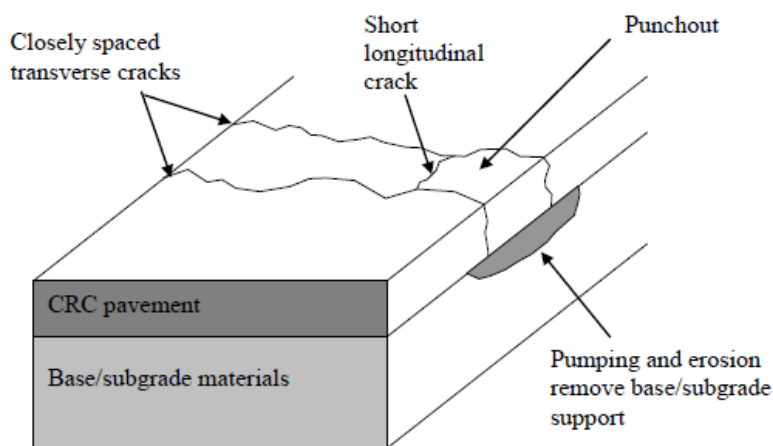
Επίπεδο Σοβαρότητας

Δεν υπάρχει συγκεκριμένη διαβάθμιση ως προς το επίπεδο σοβαρότητας, καθώς οποιοδήποτε από τις τρεις (3) περιπτώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως υποδεικνύουν το φαινόμενο της άντλησης του νερού κάτω από την πλάκα και επομένως κίνδυνο για την δομική επάρκεια του οδοστρώματος (Miller&Bellinger, 2014).

Πιθανές Αιτίες

Συγκέντρωση νερού κάτω από την πλάκα σκυροδέματος από : (α) υψηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, (β) κακή αποστραγγιστική ικανότητα οδοστρώματος και(γ) διευρυμένες ρωγμές ή ανεπαρκής στεγανοποίηση αρμών (Indian Roads Congress, 2018).

Στην Εικόνα 3.17 παρουσιάζεται ο μηχανισμός αστοχίας άντλησης και διαρροής του νερού.



Εικόνα 3.17: Μηχανισμός Αστοχίας Άντλησης και Διαρροής Νερού
(Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Τρόπος Καταγραφής

Για την καταγραφή των φθορών πραγματοποιείται αυτοψία κατά μήκος του οδοστρώματος και επισημαίνονται (σε m^2) στις περιοχές που αυτές εμφανίζονται.

Τρόπος Επισκευής

Στην συγκεκριμένη περίπτωση φθοράς η διαδικασία επισκευής πραγματοποιείται σε τέσσερα (4) στάδια: πλήρους βάθους αποκατάσταση στην περιοχή της άντλησης, εξέταση προσθήκης ράβδων για μεταφορά των φορτίων στους εγκάρσιους αρμούς, σταθεροποίηση πλακών και αντιμετώπιση της αιτίας της άντλησης ή της κακής αποστράγγισης.

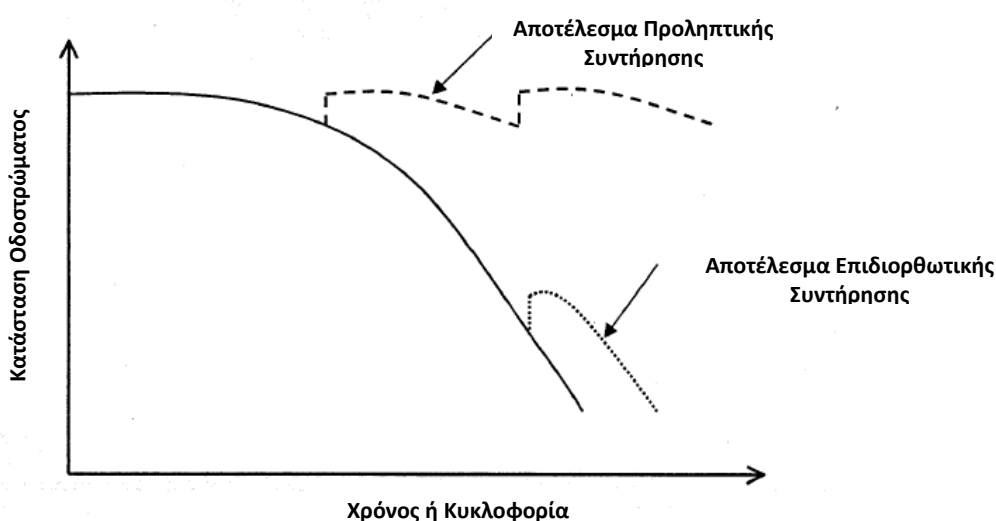
4 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

4.1 Γενικά

Η χρήση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί, καθώς χαρακτηριστικά του όπως οι χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης συνδυαστικά με την μεγάλη διάρκεια ζωής τους, τα καθιστούν βέλτιστη επιλογή σε αρκετές εφαρμογές. Όμως, η ραγδαία αύξηση των κυκλοφοριακών αναγκών σε καθημερινή βάση επιβαρύνει το οδόστρωμα με αποτέλεσμα να επιταχύνεται η φθορά του και να αυξάνεται η ανάγκη του για συντήρηση. Με σκοπό, λοιπόν, η φθορά αυτή να μην εμφανιστεί σύντομα και να υποβαθμίσει την εξυπηρετικότητα ή την ομαλότητα του οδοστρώματος σημαντικός είναι ο ρόλος της προληπτικής συντήρησης.

Η προληπτική συντήρηση είναι μία οργανωμένη στρατηγική αποτελεσματικών παρεμβάσεων σε υφιστάμενα οδοστρώματα, με σκοπό την προστασία της επιφάνειας του οδοστρώματος και την διατήρησή του σε ένα υψηλό επίπεδο λειτουργικότητας. Με άλλα λόγια, η προληπτική συντήρηση των οδοστρωμάτων είναι η εφαρμογή της σωστής, για το οδόστρωμα, μεθόδου συντήρησης την κατάλληλη χρονική στιγμή.

Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης για ένα οδόστρωμα είναι ο αυξημένος δείκτης εξυπηρετικότητας, οι καλύτερες οδηγικές συνθήκες με βελτιωμένη επιφάνεια κύλισης, η επέκταση της διάρκειας ζωής του και η βελτίωση της ασφάλειας του. Επίσης, συγκριτικά με την επιδιορθωτική συντήρηση τόσο το κόστος των επεμβάσεων της προληπτικής συντήρησης, αλλά και ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθούν αυτές είναι σημαντικά μικρότερα. Στο διάγραμμα της Εικόνας 4.1 παρουσιάζεται η έννοια της υποβάθμισης της κατάστασης του οδοστρώματος σε σχέση με την ηλικία του ή την κυκλοφορία που υφίσταται, καθώς επίσης σημειώνεται το πώς ο κατάλληλος χρόνος εφαρμογής κάθε είδους συντήρησης επηρεάζει την ζωή του οδοστρώματος.



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα Κατάστασης Οδοστρώματος- Χρόνος Ζωής Οδοστρώματος
(U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1999)

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεγάλη επίδραση της εφαρμογής της μεθόδου της προληπτικής συντήρησης, στο πέρασμα του χρόνου ή στην καταπόνηση από την υφιστάμενη κυκλοφορία, σχετικά με την κατάσταση που βρίσκεται το οδόστρωμα. Συγκεκριμένα, προκύπτει πως η έγκαιρη επέμβαση και η συνεχής παρακολούθηση του οδοστρώματος επεκτείνουν την διάρκεια ζωής του, καθώς επίσης και πως η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται να είναι αποτελεσματικότερη από την επιδιορθωτική συντήρηση.

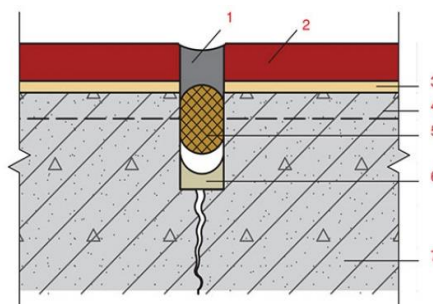
Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρονται ακολούθως κάποιες βασικές μέθοδοι ή τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την προληπτική συντήρηση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Αυτές είναι η ελεγχόμενη ρηγμάτωση του σκυροδέματος, η στεγανοποίηση των αρμών συστολής, η σφράγιση των ρωγμών και η εγκατάσταση αποστραγγιστικού σωλήνα στην διατομή του οδοστρώματος.

4.2 Ελεγχόμενη Ρηγμάτωση

Η σύνθεση του σκυροδέματος διαφοροποιείται ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου. Παρόλα αυτά, ο χρόνος σκλήρυνσης και ανάληψης της πλήρους αντοχής του ενδέχεται να επηρεάσει την επιθυμητή σύνθεση, και συγκεκριμένα την απαιτούμενη υγρασία της. Αυτό το φαινόμενο συνήθως συμβαίνει λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών, με αποτέλεσμα την σταδιακή απώλεια του νερού ανάμιξης και την ανάπτυξη μιας παραμόρφωσης, ή αλλιώς συστολής ξήρανσης, της τάξεως περίπου 0,60 ‰. Όμως, η παραμόρφωση σε αντοχή εφελκυσμού που μπορεί να υποστεί το σκυρόδεμα σε πλήρη ωρίμανση είναι 0,15 ‰ και εφόσον η ομαλή συρρίκνωση του παρεμποδίζεται, το σκυρόδεμα οδηγείται στην ακανόνιστη ρηγμάτωση του (ΚΤΣ,2016).

Οι συγκεκριμένες ρηγματώσεις συνήθως δεν αποτελούν πρόβλημα για την δομική ικανότητα του σκυροδέματος, αλλά σε περιπτώσεις οδοστρωμάτων ή ειδικών δαπέδων η εμφάνισή τους είναι ανεπιθύμητη. Όπως παρουσιάστηκε και στο Κεφάλαιο 3, οι ρηγματώσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αστοχίες, όπως τον θρυμματισμό της επιφάνειας, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του δείκτη ομαλότητας και εξυπηρετικότητας του. Με σκοπό, λοιπόν, την αποφυγή της ακανόνιστης αυτής ρηγμάτωσης πραγματοποιείται η κατασκευή αρμών ώστε η επιφάνεια του σκυροδέματος να ρηγματωθεί, αλλά ελεγχόμενα.

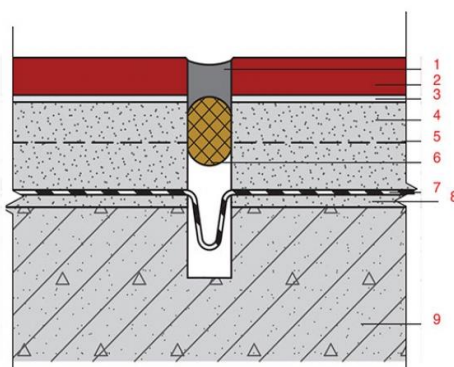
Η πρακτική της κατασκευής αρμών εξυπηρετεί γενικότερα την ανάγκη ανακούφισης του σκυροδέματος για παντός είδους ανεπιθύμητες εσωτερικές εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες προκαλούνται από δράσεις ή χρόνιες παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού, θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές, παραμορφώσεις λόγω των δράσεων και άλλων μετατοπίσεων στα όρια (π.χ. ολικές ή διαφορικές καθιζήσεις) ή στον κορμό της κατασκευής(σεισμικές μετατοπίσεις).Βέβαια, η κατασκευή αρμών δεν είναι πάντα υποχρεωτική, όμως με την επιλογή της μη ύπαρξής τους πρέπει να συμπεριλαμβάνονται υπόψιν στην μελέτη όλες εκείνες οι εντατικές καταστάσεις που περιγράφηκαν νωρίτερα. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση αρμών σε δύσκαμπτα οδοστρώματα, έχει ως συνέπεια τόσο την σωστή λειτουργία τους όσο και την οικονομικότητά τους, με την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι προδιαγραφές όσον αφορά την μελέτη, την κατασκευή, την επίβλεψη και την συντήρησή τους. Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία δημιουργίας αρμού διαστολής και στεγανοποίησης του.



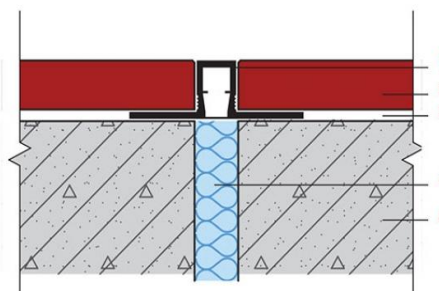
1. Σφράγιση αρμού με ελαστική μαστίχα.
2. Πλακίδιο πάχους 2 - 4 cm.
3. Τσιμεντοειδής κόλλα ακρυλικής βάσης (~ 3 - 4 mm)
4. Εξομαλυντική στρώση τσιμεντοκονιάματος (~ 1cm). Απαιτείται εάν το υπόστρωμα δεν διαμορφώνει επίπεδη επιφάνεια.
5. Ελαστικό κορδόνι.
6. Διάνοιξη αρμού στην περιοκή της ρηγμάτωσης και πλήρωση με ασφαλική μαστίχα.
7. Υπόστρωμα.

Δημιουργία αρμού διαστολής για τη διαίρεση μεγάλης επιφάνειας σε υφιστάμενο δάπεδο που έχει υποστεί ρηγμάτωση.

1. Σφράγιση αρμού με ελαστική μαστίχα.
2. Πλακίδιο πάχους 2 - 4 cm.
3. Ακρυλική κόλλα πλακιδίων.
4. Υπόστρωμα με εξομαλυνμένη επιφάνεια.
5. Ελαφρός οπλισμός (π.χ. πλέγμα)
6. Ελαστικό κορδόνι.
7. Ασφαλική μεμβράνη.
8. Εξομαλυντική στρώση τσιμεντοκονιάματος (~ 1cm). Απαιτείται εάν το υπόστρωμα δεν διαμορφώνει επίπεδη επιφάνεια.
9. Υπόστρωμα ή στρώση κλίσεων.



Διαμόρφωση αρμού διαστολής σε νέο εξωτερικό δάπεδο και επίστρωση πλακιδίων με κόλλα.



Διαμόρφωση αρμού με έτοιμο προκατασκευασμένο προφίλ. Η διάνοιξη του αρμού στο υπόστρωμα γίνεται σε βάθος 2/3 του πάχους του.

1. Προκατασκευασμένο προφίλ αρμού.
2. Πλακίδιο πάχους 2 - 4 cm.
3. Κόλλα.
4. Αφρώδες υλικό πλήρωσης αρμού.
5. Υπόστρωμα.

Εικόνα 4.2: Περιγραφική Διαδικασία Δημιουργίας Αρμών

Συγκεκριμένα, στη Εικόνα 4.2 παρουσιάζονται δύο διαφορετικές μεθοδολογίες δημιουργίας και στεγανοποίησης των αρμών διαστολής σε ένα υφιστάμενο ρηγματωμένο δάπεδο (πάνω) και σε ένα νέο εξωτερικό (κάτω αριστερά). Εμφανίζεται επίσης και η διατομή του οδοστρώματος σε περίπτωση τοποθέτησης έτοιμου προκατασκευασμένου προφίλ για την δημιουργία αρμού (κάτω δεξιά). Αναφορικά με τη διαδικασία στεγανοποίησης των αρμών, η ανάλυση του πραγματοποιείται παρακάτω.

4.3 Στεγανοποίηση Αρμών

Η κατασκευαστική σημασία των αρμών έγκειται στην διευκόλυνση της πλάκας σκυροδέματος να διαστέλλεται και να αντιδράει στις θερμοκρασιακές μεταβολές χωρίς να ρηγματώνεται. Στην πραγματικότητα ένας αρμός είναι μία τομή, εγκάρσια ή διαμήκης. Αυτή η τομή όμως, μπορεί να επιτρέψει στο νερό να μεταβεί στις υποκείμενες στρώσεις ή να γεμίσει από φερτά υλικά. Κανένα από τα δύο αυτά σενάρια δεν είναι επιθυμητό, καθώς ενδέχεται να προκληθούν αστοχίες τόσο με την δομική ικανότητα του οδοστρώματος όσο και την ομαλότητα και την ασφάλεια του (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008).

Για την διατήρηση της ποιότητας του οδοστρώματος και την αποφυγή πιθανών αστοχιών, οι αρμοί πρέπει να πληρώνονται με ειδικό εύκαμπτο στεγανωτικό διογκωτικό υλικό κατά μήκος του διάκενου. Αναφορικά με την διαδικασία εφαρμογής του υλικού, που θα επιλεγεί για την σφράγιση των αρμών, το πρώτο και βασικό βήμα για μια επιτυχημένη

στεγανοποίηση είναι ο καθαρισμός των αρμών και των ενώσεων τους από υλικά είτε είναι φερτά είτε έχουν αποκολληθεί από το σκυρόδεμα. Είναι σημαντικό πριν την εφαρμογή του στεγανωτικού υλικού να μην υπάρχουν σκόνη, άμμος ή όποιου είδους χαλαρού εδάφους, ώστε να πραγματοποιηθεί η βέλτιστη τοποθέτησή του.

Η απόφαση σχετικά με το ποιο στεγανωτικό υλικό θα χρησιμοποιηθεί τελικά προκύπτει έπειτα από οπτική επισκόπηση του οδοστρώματος. Κατά την διαδικασία αυτή καταγράφονται όλοι οι αρμοί και όσοι έχουν κενό μεγαλύτερο από 0,60cm, πριν από την εφαρμογή του στεγανωτικού υλικού τοποθετείται στον αρμό ένα στρογγυλό κορδόνι πολυουρεθάνης ή πολυαιθυλενίου κλειστής κυψέλης με σκοπό την πλήρωση του. Η διάμετρος του συγκεκριμένου υλικού θα πρέπει να είναι κατά 50% μεγαλύτερη από τον αρμό. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ως γενικό πλαίσιο, πως οι διαμήκης αρμοί είναι συνήθως μεγαλύτεροι σε μήκος συγκριτικά με τους εγκάρσιους. Για τον λόγο αυτόν, σε περίπτωση επιλογής στεγανοποίησης ενός από τους δύο σημαντικότεροι είναι οι αρμοί της διαμήκους διεύθυνσης.

Συμπερασματικά, η στεγανοποίηση των αρμών (Resealing Joints) ενός οδοστρώματος είναι μια εργασία εύκολη στην υλοποίηση και με αρκετά χαμηλό κόστος. Εφόσον εκτελεστεί σωστά και με τακτική οπτική επισκόπηση, το οδόστρωμα δύναται να επεκτείνει την διάρκεια ζωής του από 3 έως 8 έτη. Στην Εικόνα 4.3 εμφανίζεται η εφαρμογή του στρογγυλού κορδονιού πολυουρεθάνης ή πολυαιθυλενίου κλειστής κυψέλης κατά την διαδικασία στεγανοποίησης των αρμών.



Εικόνα 4.3: Τυπική Διαδικασία Στεγανοποίησης Αρμών

Αξίζει να σημειωθεί πως έπειτα την διαδικασία τοποθέτησης του στεγανοποιητικού υλικού στους αρμούς, πραγματοποιείται η σφράγιση τους με ασφαλτικό σκυρόδεμα.

4.4 Σφράγιση Ρωγμών

Η εμφάνιση ρωγμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος είναι μια εικόνα που συναντάται συχνά και συνήθως δεν προκαλεί ανησυχία, δεν ισχύει όμως το ίδιο και σε ένα οδόστρωμα. Η δημιουργία ρωγμών, ακόμα και μικρού ανοίγματος, μπορεί να προκαλέσει την ολική αστοχία του οδοστρώματος, παρότι τα αίτια που τις προκάλεσαν να μην σχετίζονται με την δομική επάρκεια του οδοστρώματος (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008).

Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, οι ρωγμές που παρατηρούνται σε ένα οδόστρωμα μπορεί να είναι εγκάρσιες στην διατομή του οδοστρώματος, κατά μήκος του κύριου άξονα, στο γωνιακό άκρο της πλάκας, τύπου «D» και τοπικές στους αρμούς. Η μέθοδος επέμβασης και αποκατάστασής τους επιλέγεται ανάλογα με την σοβαρότητα των ρωγμών αυτών. Βέβαια, συχνά σε ρωγμές χαμηλής σοβαρότητας δεν προβλέπεται η εφαρμογή κάποιας μεθόδου αποκατάστασης. Εκ πρώτης όψευς, μια τέτοια απόφαση φαίνεται λογική, πρακτική και οικονομική. Όμως, ένα χαρακτηριστικό της διατομής του οδοστρώματος είναι η επαναλαμβανόμενη φόρτιση που δέχεται καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του. Σε συνδυασμό τόσο με την πιθανή αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου αλλά και την κόπωση του σκυροδέματος, αναπόφευκτα η ρωγμή θα οδηγηθεί σε διεύρυνση του μήκους, πλάτους και βάθους της. Αν μέσω οπτικής επισκόπησης ή άλλου συστήματος παρακολούθησης του οδοστρώματος η ρωγμή αυτή δεν εντοπιστεί και δεν σφραγιστεί έγκαιρα, ενδέχεται να επιτρέψει την διείσδυση του νερού στις υποκείμενες στρώσεις και έτσι να προκληθεί δομική αστοχία του οδοστρώματος. Δηλαδή, μια ρωγμή χαμηλής σοβαρότητας μπορεί να οδηγήσει σε ολική αστοχία του οδοστρώματος καθιστώντας απαραίτητη μια επέμβαση πλήρους βάθους για την αποκατάσταση του οδοστρώματος.

Είναι σημαντικό επομένως, να γίνει αντιληπτή η αξία και η σημασία της προληπτικής συντήρησης. Η συχνή παρακολούθηση του οδοστρώματος, η καταγραφή των ρηγματώσεων που εμφανίζονται και η στεγανοποίηση τους προτού επεκταθούν σε μεγάλο βάθος και μήκος, έχουν την δυνατότητα να επεκτείνουν την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος από 3 έως 8 χρόνια. Στην πραγματικότητα, η προληπτική συντήρηση των οδοστρωμάτων είναι μια διαδικασία πολύ οικονομικότερη από την εν μέρει ή ολική επισκευή τμημάτων του οδοστρώματος, ενώ παράλληλα διατηρεί υψηλό τον δείκτη εξυπηρετικότητας για τους χρήστες της οδού.

Πέραν της σφράγισης των ρωγμών (Resealing Cracks), σημαντική είναι και η διαδικασία στεγανοποίησής τους. Η εφαρμογή των στεγανωτικών υλικών δεν διαφέρει στις περιπτώσεις των ρωγμών με εκείνη των αρμών, απλώς αν το εύρος της ρωγμής δεν είναι 0,60cm με κατάλληλα εργαλεία διευρύνεται η ρωγμή ώστε να μπορέσει να εισέλθει το υλικό και να δράσει πιο αποδοτικά. Η υπόλοιπη διαδικασία παραμένει ίδια, τόσο αναφορικά με το κομμάτι του καθαρισμού από σκόνη και χαλαρά υλικά, όσο και για την προσθήκη στρογγυλού κορδονιού πολυουρεθάνης ή πολυαιθυλενίου σε περιπτώσεις ανοίγματος μεγαλύτερου του 1,2 cm. Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται η τυπική διαδικασία σφράγισης των ρωγμών σε ένα οδόστρωμα.



Εικόνα 4.4: Τυπική Διαδικασία Σφράγισης Ρωγμών

Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν είναι απόλυτα αποτελεσματική σε όλους τους τύπους φθορών, όμως αποτελεί έναν εύκολο, γρήγορο και οικονομικό τρόπο αποτροπής της διείσδυσης του νερού στις υποκείμενες στρώσεις. Ταυτόχρονα, δρα διορθωτικά ως προς την ομαλότητα του οδοστρώματος και κατ' επέκταση της οδηγικής εμπειρίας του χρήστη της οδού.

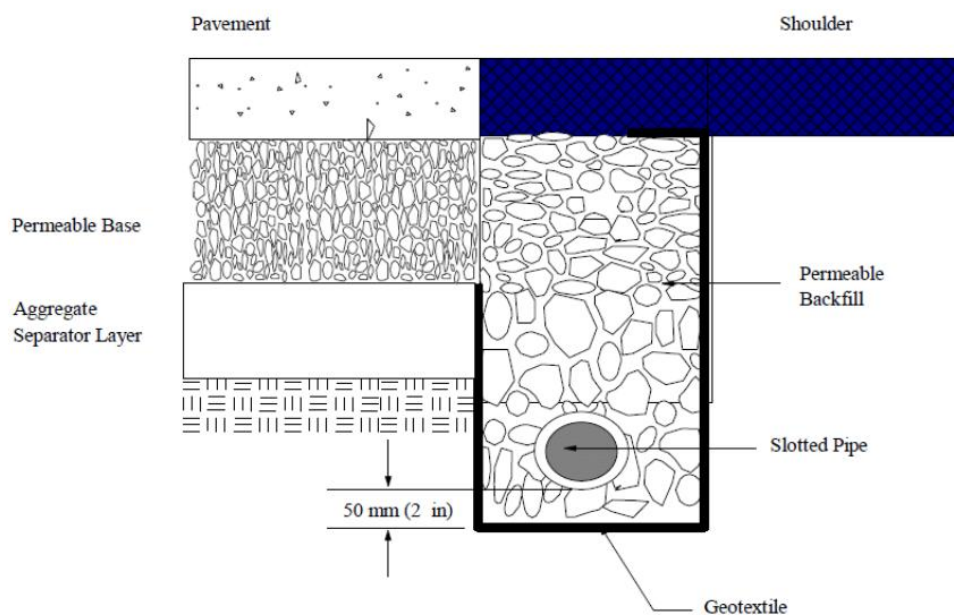
4.5 Εγκατάσταση Αποστραγγιστικού Σωλήνα

Η ύπαρξη του νερού και η ελεγχόμενη απομάκρυνση του αποτελούν βασικό αντικείμενο συζήτησης στον σχεδιασμό και στην υλοποίηση τεχνικών έργων. Έτσι, και στην περίπτωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων απαιτείται μεγάλη προσοχή σχετικά τόσο με τη σωστή αποστράγγιση του επιφανειακού νερού, όσο και με την απομάκρυνση των νερών που έχουν διεισδύσει στις κατώτερες στρώσεις θέτοντας σε κίνδυνο τη δομική επάρκεια του οδοστρώματος (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008).

Πιο συγκεκριμένα, ένα οδόστρωμα είναι εκτεθειμένο σε όμβρια νερά και σε νερά που οφείλονται στον καθαρισμό του. Αυτά, ακολουθώντας την ήδη υπάρχουσα κλίση του οδοστρώματος καταλήγουν στην πλευρική του τάφρο. Όμως, εξαιρώντας την πιθανότητα κατασκευαστικού λάθους, ένα οδόστρωμα σε κυκλοφορία μπορεί είτε να εμφανίσει ρωγμές οι οποίες να είναι μικρού εύρους και χαμηλής επικινδυνότητας, ικανές όμως να αποτελέσουν δίοδο για το επιφανειακό νερό στις κατώτερες στρώσεις, είτε να υπάρχει ήδη υπόγεια κίνηση νερού. Και στις δύο περιπτώσεις η ύπαρξη του νερού στην υπόβαση του οδοστρώματος λειτουργεί διαβρωτικά ως προς τη συνεκτικότητα των υλικών μειώνοντας την αντοχή τους, γεγονός που καθιστά τη συγκεκριμένη κίνηση μη επιθυμητή.

Τη λύση στην ανάγκη διαχείρισης και απομάκρυνσης του νερού, τόσο από την επιφάνεια κύλισης, όσο και από τις κατώτερες στρώσεις, έχει δώσει η εγκατάσταση αποστραγγιστικού σωλήνα (Retrofit edge drains). Ο συγκεκριμένος σωλήνας συλλέγει όλα τα υπόγεια νερά στο εσωτερικό του, αφού πρώτα περάσουν από ένα φίλτρο και τα κατευθύνει μαζί με τα όμβρια εκτός της επιφάνειας του οδοστρώματος. Με τον τρόπο αυτόν, επιτυγχάνεται η διατήρηση της συνοχής της διατομής του οδοστρώματος, η υψηλή εξυπηρετικότητα του και

η προστασία του από φθορές όπως η άντληση και διαρροή του νερού ή η ήβωση. Μια τυπική εγκατάσταση αποστραγγιστικού σωλήνα παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5: Εγκατάσταση Αποστραγγιστικού Σωλήνα
(Ley, Hajibabbee, Kadam, &Frazier, 2010)

Πιο συγκεκριμένα, στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζονται αναλυτικά τα μέρη του συστήματος υποδομής του αποστραγγιστικού σωλήνα. Βάσει της εικόνας, τα κύρια στοιχεία της κατασκευής είναι η διαπερατή βάση κάτω από την επιφάνεια του οδοστρώματος, το διαχωριστικό στρώμα αδρανών, το διαπερατό υλικό του επιχώματος, το γεώφασμα και ο σωλήνας με τις σχισμές. Η περιγραφή της πορείας του νερού και της λειτουργίας του συστήματος αποστράγγισης ξεκινάει από την διήθηση του στην διαπερατή βάση, έπειτα από την συγκέντρωσή του στην περιοχή του επιχώματος και τέλος προς συλλογή του στον σωλήνα. Το διαχωριστικό στρώμα αδρανών λειτουργεί ως μονωτικό, αποτρέποντας την εισχώρηση του νερού στις υποκείμενες στρώσεις και το γεώφασμα δρα προστατευτικά εμποδίζοντας την είσοδο χώματος ή άλλων υλικών στο αποστραγγιστικό σύστημα.

5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ/ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΥΣΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

5.1 Συντήρηση Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα έπειτα από τη διαδικασία διάστρωσης του χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα ούτως ώστε να αποκτήσει την πλήρη αντοχή του και να μπορέσει να δοθεί το οδόστρωμα προς κυκλοφορία, έχοντας τα χαρακτηριστικά με τα οποία σχεδιάστηκε. Κατά τη διάρκεια όμως της σκλήρυνσης του σκυροδέματος, εμφανίζεται το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης, το οποίο αν και φυσιολογικό, μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο σκυρόδεμα και επακόλουθα τη ρηγμάτωση του. Βασική αιτία της συστολής ξήρανσης είναι η εξάτμιση του νερού εξαιτίας των θερμοκρασιακών συνθηκών που επικρατούν. Με στόχο να αποτραπεί η ανεπιθύμητη αυτή ρηγμάτωση του σκυροδέματος είναι σημαντικό η επιφάνεια του να διατηρείται ενυδατωμένη, ειδικά όσο είναι ακόμα νωπή. Μια τέτοια διαδικασία εντάσσεται στην έννοια της συντήρησης του σκυροδέματος.

Με τον όρο συντήρηση του δύσκαμπτου οδοστρώματος νοείται το σύνολο των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα μετά την διάστρωση του για να αποφευχθεί η σημαντική εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας του και να ελεγχθούν οι θερμοκρασιακές επιδράσεις, οι εσωτερικές και του περιβάλλοντος σε αυτό. Με τα μέτρα αυτά επιδιώκεται η επίτευξη απρόσκοπτης ενυδάτωσης του τσιμέντου και των άλλων ενδεχομένων πρόσθετων συναφών «συνδετικών κονιών» και ο έλεγχος των επιδράσεων στο σκυρόδεμα των θερμοκρασιακών μεταβολών του περιβάλλοντος.

Η συντήρηση του σκυροδέματος μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους όπως με την υγρή συντήρηση, την κάλυψη από υγρά σκεπάσματα, την κάλυψη με αδιαπέρατα σκεπάσματα και τον ψεκάσμο με χημικά τα οποία δημιουργούν αντιεξατμιστικές μεμβράνες συντήρησης. Ανεξάρτητα από την μέθοδο που θα επιλεγεί στην εκάστοτε περίπτωση είναι σημαντικό η διαδικασία της συντήρησης να ξεκινήσει αμέσως μετά την ολοκλήρωση της διάστρωσης, να μην επιτρέπεται ή να μην επιβραδύνεται η εξάτμιση του νερού διατηρώντας έτσι την περιεκτικότητα του σταθερή και ο χρόνος συντήρησης να καθορίζεται ανάλογα με την κοκκομετρία του σκυροδέματος, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την έκθεσή του σε αυτό.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί άλλη μία παράμετρος για την ορθή εφαρμογή της συντήρησης στα δύσκαμπτα οδοστρώματα που αφορά στην μέθοδο της υγρής συντήρησης, μιας και είναι η πιο οικονομική, γρήγορη, αποδοτική και διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται καθώς δεν παρεμποδίζει την παράλληλη εξέλιξη των λοιπών εργασιών. Πιο συγκεκριμένα, στη μέθοδο της υγρής συντήρησης η επιφάνεια του σκυροδέματος διαβρέχεται ομοιόμορφα και διακεκομμένα κατά την διάρκεια της ημέρας ούτως ώστε να μην αναπτυχθεί η συστολή ξήρανσης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Για την αποτελεσματικότητα λοιπόν της μεθόδου, είναι σημαντικό το νερό συντήρησης να είναι καθαρό και να μην περιέχει συστατικά που μπορούν να επηρεάσουν τον αρνητικά οπλισμό, να μην προέρχονται από βιομηχανικά απόβλητα, να μην είναι θαλασσινό νερό και να μην έχουν θερμοκρασιακή διαφορά μεγαλύτερη των 11°C για την αποφυγή θερμικού πλήγματος.

5.2 Λειτουργική Συντήρηση Οδοστρωμάτων

5.2.1 Γενικά

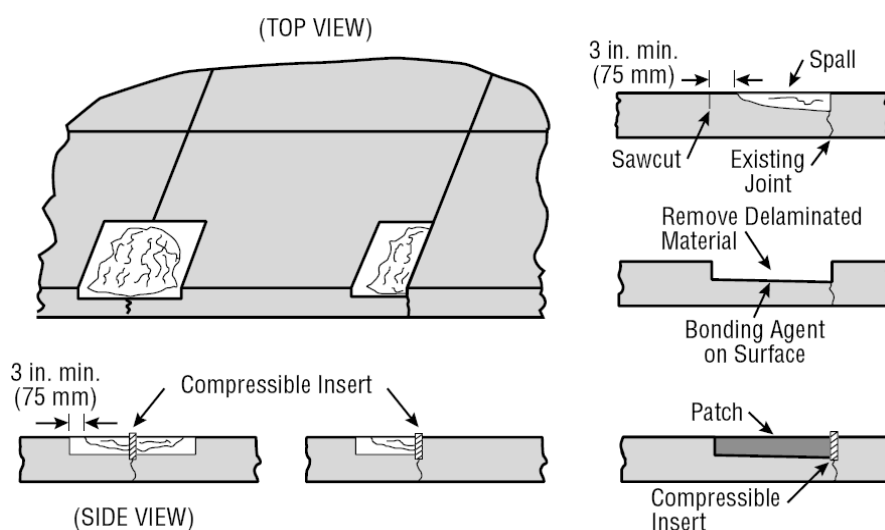
Η λειτουργική συντήρηση των οδοστρωμάτων αναφέρεται σε επεμβάσεις σχετικά με την αποκατάσταση τοπικών μεμονωμένων αστοχιών και της επιφανειακής κατάστασης του οδοστρώματος, ενώ δεν αφορά την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του. Επομένως, η λειτουργική συντήρηση είναι λύση περιορισμένης χρονικής διάρκειας και είναι ορθότερο να χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με τη δομική συντήρηση των οδοστρωμάτων για καλύτερα αποτελέσματα (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008).

Οι μέθοδοι εφαρμογής της λειτουργικής συντήρησης είναι τρεις (3): η επέμβαση μερικού βάθους, η απόξεση του σκυροδέματος από τροχό με επίστρωση διαμαντιού και η επίστρωση σκυροδέματος στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η ανάλυσή τους πραγματοποιείται παρακάτω.

5.2.2 Επισκευή Μερικού Βάθους

Επέμβαση σε μερικό βάθος (Partial Depth Repair) ονομάζεται η διαδικασία αφαίρεσης και αντικατάστασης περιοχών με μικρές και επιφανειακές φθορές, με υλικά από τσιμέντο ή άλλα επισκευαστικά υλικά. Αξίζει να σημειωθεί πως επιφανειακές φθορές χαρακτηρίζονται εκείνες που εκτείνονται από το ένα τρίτο έως το μισό του πάχους της πλάκας.

Στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου συντήρησης είναι η αποκατάσταση της φθοράς που έχει δημιουργηθεί χωρίς την ολική αφαίρεση της πλάκας και χωρίς να παρέλθει διάβρωση του οπλισμού, αν αυτός υπάρχει, επαναφέροντας έτσι τους δείκτες ομαλότητας και λειτουργικότητας του οδοστρώματος στα αρχικά επίπεδα. Η επισκευή μερικού βάθους επιλέγεται και εφαρμόζεται σε φθορές όπως ο θρυμματισμός των αρμών, οι ρωγμές τύπου «D», ο θρυμματισμός επιφανειακών αδρανών και η γωνιακή ρηγμάτωση άκρου πλάκας, με την προϋπόθεση πως η εκάστοτε φθορά είναι επιφανειακή. Η έγκαιρη εφαρμογή της μπορεί να επεκτείνει την ζωή του οδοστρώματος κατά 3 έως και 10 χρόνια. Ο μηχανισμός εφαρμογής της μεθόδου μερικού βάθους παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1.

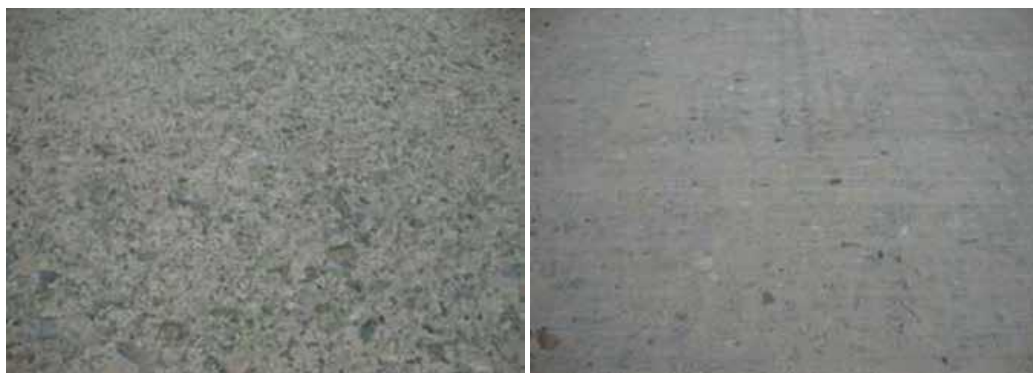


Εικόνα 5.1: Μηχανισμός Εφαρμογής Μερικού Βάθους Επισκευής (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Ουσιαστικά, με την μέθοδο αποκατάστασης μερικού βάθους αρχικά αφαιρείται εκείνο το τμήμα του οδοστρώματος που έχει αστοχήσει, έπειτα τοποθετείται μια στρώση συγκολλητικού υλικού και τέλος διαστρώνεται το κενό που έχει δημιουργηθεί με σκυρόδεμα με σκοπό να αποκαταστήσει την συνέχεια του οδοστρώματος.

5.2.3 Απόξεση Οδοστρώματος με Διαμαντοτροχό

Η απόξεση του οδοστρώματος με τη χρήση διαμαντοτροχού (Diamond Grinding) είναι μια μέθοδος συντήρησης κατά την οποία αφαιρείται ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα σκυροδέματος, περίπου από 3mm έως 6mm, με σκοπό την βελτίωση των ατελειών της επιφάνειας κύλισης. Πρόκειται για μια ειδικευμένη τεχνική που στοχεύει στην επέκταση της λειτουργικότητας, της ομαλότητας και της ολισθηρότητας του οδοστρώματος. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου εμφανίζονται στην Εικόνα 5.2, η οποία στα αριστερά της παρουσιάζει το οδόστρωμα πριν την εφαρμογή και στα δεξιά την διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας μετά.



Εικόνα 5.2: Απόξεση Οδοστρώματος με Διαμαντοτροχό (Πριν-Αριστερά και Μετά-Δεξιά)
(AASHTO, 2015)

Συνήθως, η χρήση διαμαντοτροχού για το φρεζάρισμα της επιφάνειας του οδοστρώματος επιλέγεται σε φθορές όπως η λείανση αδρανών και η ανισοσταθμία γειτονικών πλακών. Φυσικά, αν τα αίτια της τραχύτητας αυτής δεν είναι η πάροδος του χρόνου και η κυκλοφορία που υφίσταται το οδόστρωμα αλλά κάποια δομική αστοχία, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν θα είναι αποτελεσματική. Όμως, η ορθή εφαρμογή της μπορεί να προσδώσει στο οδόστρωμα από 8 έως 12 χρόνια στην διάρκεια ζωής του.

5.2.4 Επίστρωση Σκυροδέματος

5.2.4.1 Γενική Περιγραφή

Τα τελευταία χρόνια η Επίστρωση Σκυροδέματος (Concrete Overlay Design) είναι μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδος και συχνά προτιμάται εξαιτίας της αυξημένης διάρκειας ζωής που προσδίδει στο οδόστρωμα η εφαρμογή της. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας από τους λόγους διάδοσής της μεθόδου, πέραν της αποτελεσματικότητάς της, υπήρξε και η τεχνολογική εξέλιξη των τεχνικών μέσων που απαιτούνται για την υλοποίησή της. Η συγκεκριμένη εξέλιξη έδωσε την δυνατότητα της αποκατάστασης του οδοστρώματος χωρίς το κλείσιμο των αυτοκινητοδρόμων για μεγάλο διάστημα και χωρίς την ανάγκη κατασκευής

παρακάμψεων, αφού πλέον είναι εφικτή η επίστρωση να πραγματοποιείται στην μία λωρίδα και η άλλη να λειτουργεί κανονικά.

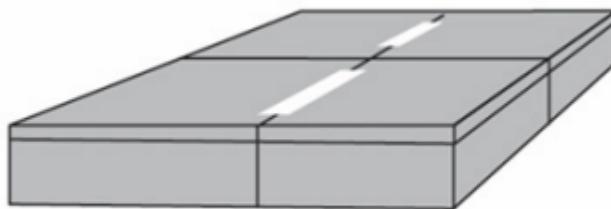
Η διαδικασία της επίστρωσης σκυροδέματος έχει δύο είδη: την συνδεδεμένη και την μη συνδεδεμένη, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

5.2.4.2 Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος

Πρόκειται για την διάστρωση μίας νέας πλάκας σκυροδέματος επάνω στο υφιστάμενο οδόστρωμα, αφού πρώτα έχει εξασφαλιστεί η σύνδεσή τους, είτε με ειδικά συγκολλητικά μέσα είτε με την προετοιμασία της ήδη υπάρχουσας επιφάνειας σκυροδέματος έτσι ώστε να αυξηθεί η πρόσφυση. Η μέθοδος της συνδεδεμένης επίστρωσης σκυροδέματος εφαρμόζεται σε οδοστρώματα που βρίσκονται σε καλή ή μέτρια κατάσταση και που δεν διαθέτουν φθορές δομικού χαρακτήρα.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι επιτυγχάνεται η μονολιθικότητα της διατομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του πάχους επίστρωσης που απαιτείται ούτως ώστε η διατομή να μπορέσει να αναλάβει την προβλεπόμενη κυκλοφορία, αλλά και την μείωση του αρχικού κόστους. Επίσης, η μέθοδος της επίστρωσης σκυροδέματος αναβαθμίζει την δομική ικανότητα του οδοστρώματος σε μεγάλο βαθμό ενώ παράλληλα προσφέρει στο οδόστρωμα ικανοποιητική βελτίωση των επιφανειακών χαρακτηριστικών ομαλότητας, ομοιομορφίας, επιφανειακής τραχύτητας και αντίστασης σε ολίσθηση.

Στα πλαίσια εφαρμογής της Λειτουργικής Συντήρησης, η Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος πραγματοποιείται σε υφιστάμενα οδοστρώματα με το πάχος της να είναι το πολύ ίσο με 4 cm. Σημαντικό παράγοντα σχετικά με την ορθή εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί και η ικανοποιητική συγκόλληση της τελικής στρώσης με τις προϋπάρχουσες. Μια συνήθης και αποτελεσματική πρακτική για να επιτευχθεί η ζητούμενη συγκόλληση είναι η αρχικά «εν ψυχρώ» απόξεση και η εν συνεχεία χρήση ασφαλτικού σκυροδέματος ως συγκολλητική ουσία. Η συγκεκριμένη μέθοδος αξιοποιείται σε φθορές όπως οι εγκάρσιες ρηγματώσεις, οι τοπικές θραύσεις στα χείλη αρμών και η λείανση των αδρανών. Η ορθή και έγκαιρη εφαρμογή της έχει την δυνατότητα να επεκτείνει την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος από 5 έως 15 χρόνια, ενώ παράλληλα αποτελεί μια εναλλακτική της μεθόδου απόξεσης με διαμαντοτροχό. Η απεικόνιση της μεθόδου συνδεδεμένης επίστρωσης σκυροδέματος πραγματοποιείται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος
(Ayers, et al., 2019)

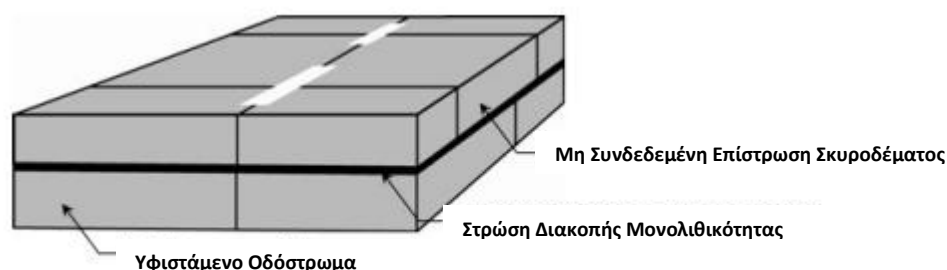
Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής της συνδεδεμένης επίστρωσης σκυροδέματος επάνω σε υφιστάμενο οδόστρωμα.

5.2.4.3 Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος

Η Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση αναφέρεται στην διάστρωση μίας νέας στρώσης σκυροδέματος επάνω σε ένα υφιστάμενο. Συχνά, έχοντας ως στόχο την μείωση των μεταξύ τους τάσεων τοποθετείται ενδιάμεσα και ένα διαχωριστικό στρώμα, όπως ένα γεωύφασμα.

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου είδους επίστρωσης επιλέγεται σε οδοστρώματα με μεγάλη σοβαρότητα φθορών, ακόμα και δομικού χαρακτήρα, διαφοροποιώντας την ουσιαστικά από την συνδεδεμένη επίστρωση. Συγκεκριμένα, ενώ στην συνδεδεμένη επίστρωση ζητούμενο είναι η μονολιθικότητα των δύο στρώσεων εξαιτίας της επαρκούς δομικής ικανότητας του υφιστάμενου οδοστρώματος, στη μη συνδεδεμένη επίστρωση ζητούμενο αποτελεί ο διαχωρισμός παλιού και νέου οδοστρώματος λόγω της μειωμένης αντοχής του.

Ως απόρροια της διαφοράς αυτής, προκύπτει η ανάγκη για μεγαλύτερο πάχος στη νέα στρώση σκυροδέματος, αφού η ήδη υπάρχουσα στρώση δεν συνεισφέρει στην ανάληψη των καταπονήσεων από τα κυκλοφοριακά φορτία. Παρόλα αυτά, η μη συνδεδεμένη επίστρωση διασφαλίζει την ακεραιότητα της επιφάνειας κύλισης από ανακλαστικές ρωγμές, προερχόμενες από το υφιστάμενο οδοστρώμα, και παράλληλα αποτελεί ταχύτερη λύση σε ότι αφορά την επισκευή ενός οδοστρώματος, μιας και στη μη συνδεδεμένη επίστρωση απαιτείται ελάχιστη προετοιμασία επιφάνειας. Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζεται η διατομή ενός οδοστρώματος έπειτα την εφαρμογή της μη συνδεδεμένης επίστρωσης σκυροδέματος.



Εικόνα 5.4: Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Οδοστρωμάτων
(Ayers, et al., 2019)

Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 5.4) εμφανίζονται ξεκάθαρα οι δύο διαφορές που επισημάνθηκαν σε σχέση με την συνδεδεμένη επίστρωση. Η πρώτη είναι η απαίτηση για μεγαλύτερο πάχος της στρώσης σκυροδέματος στην περίπτωση της μη συνδεδεμένης επίστρωσης. Η δεύτερη διαφορά εντοπίζεται στον επιθυμητό τρόπο συμπεριφοράς της νέας διατομής που δημιουργείται, έπειτα την διαδικασία της επίστρωσης. Συγκεκριμένα, στην συνδεδεμένη επίστρωση επιδιώκεται η επίτευξη της μονολιθικότητας και για αυτό τοποθετείται συγκολλητική στρώση ανάμεσα στην υφιστάμενη και στη νέα στρώση σκυροδέματος, ενώ στην μη συνδεδεμένη επιθυμείται η διακοπή της μονολιθικότητας των δύο στρώσεων εξαιτίας της μειωμένης δομικής ικανότητας της υφιστάμενης διατομής.

5.3 Δομική Συντήρηση Οδοστρωμάτων

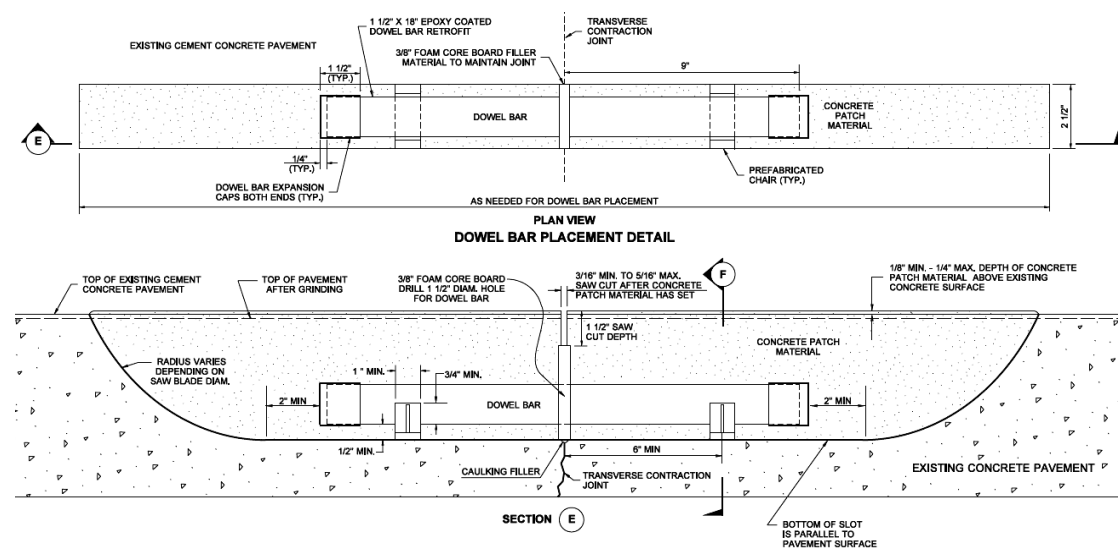
5.3.1 Γενικά

Η Δομική Συντήρηση οδοστρωμάτων αναφέρεται στον εντοπισμό και την επισκευή φθωρών δομικού χαρακτήρα. Στόχος της είναι η αντιμετώπιση του εκάστοτε προβλήματος σε βάθος και όχι η επιφανειακή κάλυψη του, ούτως ώστε να έχει ουσιαστική επίδραση στην επέκταση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος. Γενικά, η Δομική Συντήρηση των Οδοστρωμάτων συνίσταται να εφαρμόζεται συνδυαστικά με την Λειτουργική Συντήρηση για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων της (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008).

Οι μέθοδοι εφαρμογής της Δομικής Συντήρησης είναι τρεις (4): η αναβάθμιση μεταφοράς φορτίου, η εγκάρσια ενίσχυση, η στεγανοποίηση της πλάκας και η ανακατασκευή του οδοστρώματος. Η ανάλυσή τους πραγματοποιείται παρακάτω.

5.3.2 Αναβάθμιση Μεταφοράς Φορτίου

Η αναβάθμιση μεταφοράς φορτίου (Retrofit Load Transfer) ως μέθοδος Δομικής Συντήρησης αναφέρεται στην προσθήκη ή την αντικατάσταση βλήτρων μεταξύ διαδοχικών πλακών σε υφιστάμενα οδοστρώματα, με ή χωρίς βλήτρα, ή σε εγκάρσια ρηγματωμένες πλάκες σκυροδέματος. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου έχει ως στόχο την αποκατάσταση των φθωρών και την επέκταση της ζωής του οδοστρώματος. Είναι μια εξειδικευμένη τεχνική η οποία προσπαθεί να αποκαταστήσει την μεταφορά των φορτίων στις πλάκες, ούτως ώστε οι αρμοί να μην καταπονούνται σε τόσο μεγάλο βαθμό και τελικά να αστοχούν. Στην Εικόνα 5.5 εμφανίζεται αναλυτικά η μέθοδος εφαρμογής της.



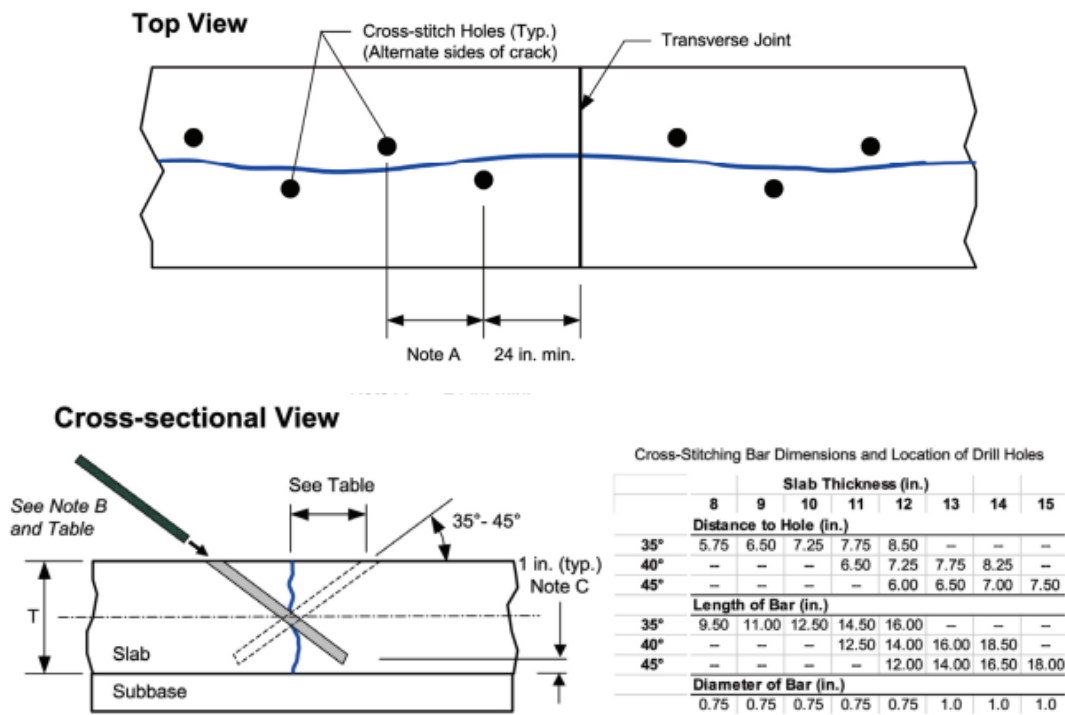
Εικόνα 5.5: Μέθοδος Εφαρμογής Αναβάθμισης Μεταφοράς Φορτίου (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Ουσιαστικά, τα νέα βλήτρα τοποθετούνται στα σημεία εκείνα που εμφανίζονται οι φθορές ή οι ανισοσταθμίες. Ο ελάχιστος αριθμός βλήτρων για κάθε νέα παρέμβαση είναι τρία (3) κατ' άξονα οχήματος ενώ στην περίπτωση που υπάρχουν ήδη βλήτρα τα οποία έχουν αστοχήσει ή έχουν διαβρωθεί εκείνα είτε αντικαθιστούνται είτε περιβάλλονται από νέα, αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη μέθοδος συνήθως εφαρμόζεται σε φθορές όπως η

ανισοσταθμία γειτονικών πλακών, οι ρηγματώσεις τύπου «D», η γωνιακή ρηγμάτωση άκρου πλάκας, οι τοπικές θραύσεις στα χείλη του αρμού και η άντληση και διαρροή νερού. Η ορθή εφαρμογή της και η αποτελεσματική αντιμετώπιση της αιτίας που προκάλεσε τις φθορές δομικού τύπου, έχει την δυνατότητα να παρατείνει την διάρκεια ζωής του σκυροδέματος από 10 έως 15 χρόνια.

5.3.3 Εγκάρσια Ενίσχυση

Η μέθοδος της εγκάρσιας ενίσχυσης (Cross Stitching) αναφέρεται στην συγκράτηση των ρωγμών κατά μήκος του άξονα της οδού, με σκοπό να αποτραπεί η διεύρυνσή τους. Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται όταν οι ρωγμές ή οι αρμοί έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο του 1,2 cm με την τοποθέτηση ράβδων υπό γωνία, συνήθως 30°, μέσα στην πλάκα του σκυροδέματος και παραπλεύρως της ρωγμής. Ο τρόπος τοποθέτησης των ράβδων μπορεί να παρατηρηθεί και στην Εικόνα 5.6.



Note A: Distance between holes is 24 in. for heavy traffic; 36 in. for light traffic.

Note B: Epoxy deformed bar into hole. Length shown in table provide 1 inch cover at surface and assume drilling per Note C.

Note C: Do not drill hole completely through slab. Stop drilling so epoxy/grout will not run out of the bottom while backfilling.

Εικόνα 5.6: Μέθοδος Εφαρμογής Εγκάρσιας Ενίσχυσης
(Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

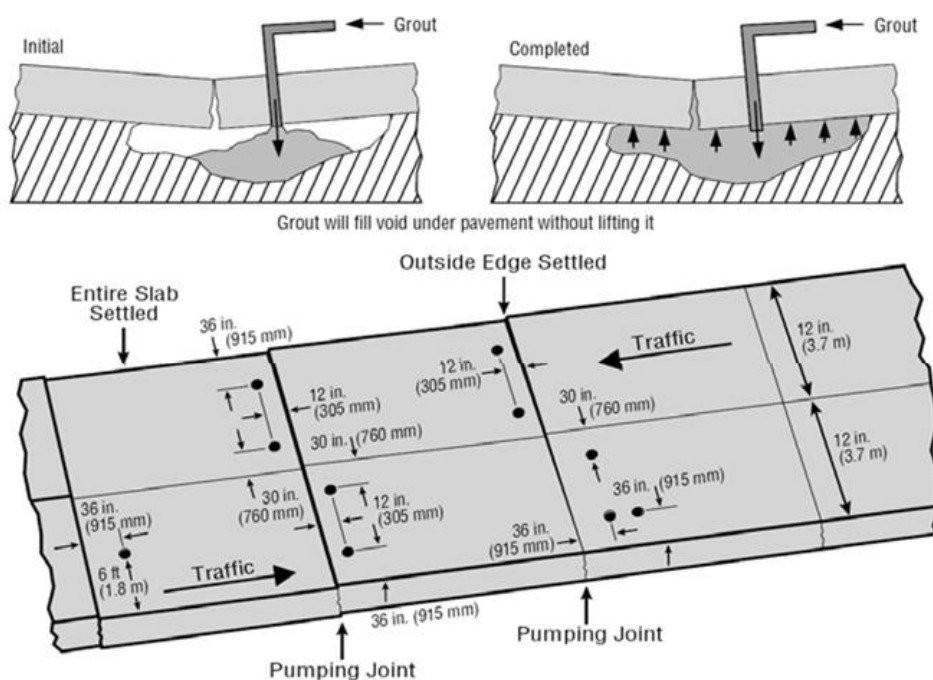
Η διαδικασία της εγκάρσιας ενίσχυσης πρέπει να συνοδεύεται και με την στεγανοποίηση των ρωγμών ή των αρμών, ούτως ώστε να αποφευχθεί η εισροή του νερού στις κατώτερες στρώσεις του οδοστρώματος. Αξίζει να επισημανθεί, πως παρότι η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι μεγάλη για ρωγμές και φθορές χαμηλής και μέτριας σοβαρότητας, όμως σε περιπτώσεις εκτεταμένων ρωγμών ή δευτερεύουσας ρηγμάτωσης δεν συμπεριφέρεται ικανοποιητικά.

Η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης οδοστρωμάτων εφαρμόζεται σε φθορές όπως οι εγκάρσιες ρηγματώσεις και οι τοπικές θραύσεις στα χείλη των αρμών. Μέσω την έγκαιρη και ορθή εφαρμογή της εγκάρσιας συντήρησης το οδόστρωμα έχει την δυνατότητα να επεκτείνει την διάρκεια ζωής του από 10 έως 15 χρόνια.

5.3.4 Στεγανοποίηση Πλάκας

Η μέθοδος της στεγανοποίησης πλάκας (Slab Undersealing) αναφέρεται στο γέμισμα κενών, τα οποία έχουν δημιουργηθεί ανάμεσα στην στρώση της βάσης και την στρώση κύλισης, διακινδυνεύοντας την δομική επάρκεια του οδοστρώματος.

Ο εντοπισμός των συγκεκριμένων φθορών, όσο εκείνες βρίσκονται σε αρχικό στάδιο, είναι αρκετά δύσκολος και απαιτεί εμπειρία και γνώσεις από όποιον πρόκειται να πραγματοποιήσει την οπτική επισκόπηση του οδοστρώματος. Επίσης, μια επιπλέον δυσκολία στην εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η μεγάλη ακρίβεια που απαιτείται ως προς την χρήση της σωστής ποσότητας τσιμεντοενέματος, ούτως ώστε τα κενά να πληρωθούν επαρκώς αλλά συγχρόνως να μην συμβεί οποιαδήποτε μη επιθυμητή ανύψωση. Στην Εικόνα 5.7 (πάνω) παρουσιάζεται η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου, ενώ στην Εικόνα 5.7 (κάτω) εμφανίζονται τα επιπλέον κενά που δημιουργούνται για να επιτευχθεί η κατανομή του υλικού σε όλα τα εσωτερικά κοιλώματα που υπάρχουν. Άλλωστε, στόχος της μεθόδου είναι η ομοιόμορφη στήριξη των διαδοχικών πλακών.



Εικόνα 5.7: Μέθοδος Εφαρμογής Στεγανοποίησης Πλάκας
(Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

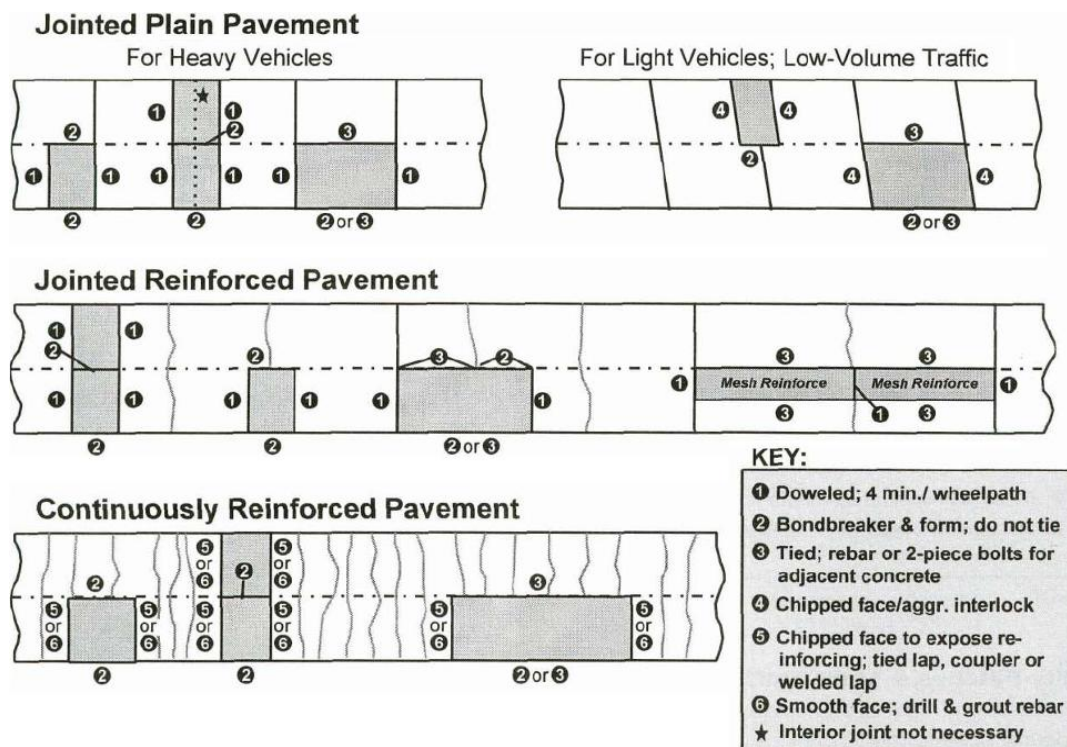
Η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης οδοστρωμάτων αξιοποιείται σε φθορές όπως η ανισοσταθμία γειτονικών πλακών και η ορθή και έγκαιρη εφαρμογή της έχει την δυνατότητα να επεκτείνει την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος από 3 έως 6 χρόνια.

5.3.5 Ανακατασκευή

Η διαδικασία ανακατασκευής του οδοστρώματος είναι η πιο ακριβή και η πιο δραστική, η οποία εφαρμόζεται σε φθορές που οι παραπάνω μέθοδοι δεν είναι αποτελεσματικές. Το βασικό μειονέκτημα της είναι ο χρόνος αποκατάστασης και παράδοσης του οδοστρώματος ξανά σε κυκλοφορία. Η μέθοδος εφαρμογής της είναι η επέμβαση ολικού βάθους και αναλύεται παρακάτω.

Η επισκευή ολικού βάθους (Full Depth Repair) αποτελεί την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των φθορών που εμφανίζονται σε ένα οδόστρωμα, καθώς αφαιρεί το τμήμα εκείνο που έχει αστοχήσει και το αντικαθιστά με ένα καινούργιο, αντιμετωπίζοντας έτσι σε βάθος την αιτία που εξ αρχής την προκάλεσε. Η απόφαση ως προς την τελική επιλογή του τμήματος που θα αφαιρεθεί χρειάζεται να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις. Συγκεκριμένα, κάθε επέμβαση που πραγματοποιείται πρέπει να είναι σε μέγεθος τόση ώστε να ανταπεξέρχεται και σε μελλοντικά προβλήματα, ελαχιστοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τους πόρους που θα χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση της εν λόγω φθοράς (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008).

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί εναλλακτική μέθοδο εφαρμογής σε όλες τις μεθόδους που έχουν αναλυθεί έως τώρα, ανεξαρτήτως τύπου φθοράς. Βέβαια όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για λόγους οικονομίας, ταχύτητας και άνεσης στην κατασκευή ανάλογα το είδος της φθοράς υπάρχει και κατάλληλη μέθοδος αποκατάστασης. Μια ενδεικτική λύση είναι η τοποθέτηση προκατασκευασμένων πλακών. Στην Εικόνα 5.8 παρουσιάζονται οι τρόποι εφαρμογής της μεθόδου σε διάφορους τύπους οδοστρωμάτων.



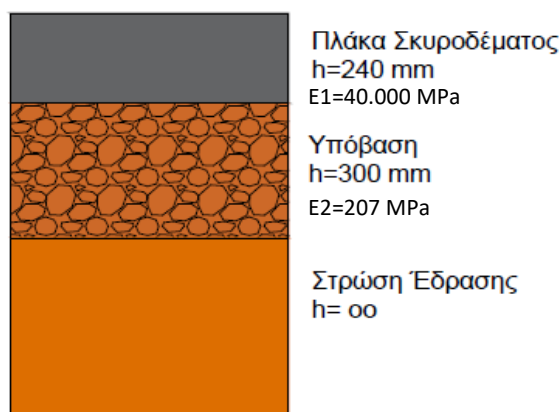
Εικόνα 5.8: Μέθοδος Εφαρμογής Επισκευής Ολικού Βάθους (Jung, Freeman, & Zollinger, 2008)

Η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης οδοστρωμάτων εφαρμόζεται σε φθορές όπως η ήβωση, η ρηγμάτωση άκρου πλάκας, η άντληση και διαρροή του νερό, οι τοπικές θραύσεις στα χείλη αρμού και οι ρωγμές τύπου «D». Μέσω της ορθής εφαρμογής της επισκευής πλήρους βάθους το οδόστρωμα έχει την δυνατότητα να επεκτείνει την διάρκεια ζωής του από 5 έως 15 χρόνια.

6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ/ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΔΥΣΚΑΜΠΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

6.1 Θεώρηση Προβλήματος

Έχοντας υπόψιν όσα έχουν αναφερθεί στα παραπάνω κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κρίθηκε σκόπιμη η πρακτική εφαρμογή τους σε ένα υφιστάμενο οδόστρωμα με στόχο την επιλογή της βέλτιστης επέμβασης συντήρησης ή αποκατάστασης. Κύριος γνώμονας ως προς την τελική επιλογή επέμβασης θεωρήθηκε η ανάλυση κύκλου ζωής του οδοστρώματος, έπειτα από την εξέταση εναλλακτικών επεμβάσεων αποκατάστασης αναφορικά με το είδος και το μέγεθος της φθοράς. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία της διατομής του οδοστρώματος (βλ.Εικόνα 6.1), βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η ανάλυση, είναι τα εξής: κατηγορία σκυροδέματος C30/37, πάχος πλάκας σκυροδέματος 240 mm, πάχος στρώσης υπόβασης 300 mm και υλικό υπόβασης ασύνδετο αμμοχάλικο. Όσον αφορά την χρήση του, πρόκειται για δάπεδο διοδίων στην περιοχή της Αττικής κατασκευασμένο από άοπλο σκυρόδεμα με αρμούς χωρίς βλήτρα. Επίσης, διατέθηκαν γενικά στοιχεία κυκλοφορίας καθώς επίσης και μετρήσεις από την εφαρμογή Μη Καταστρεπτικών Μεθόδων (Non Destructive Testing) με το Παραμορφωσίμετρο Πίπτοντος Βάρους FWD (Falling Weight Deflectometer) με στόχο τον προσδιορισμό του μεγέθους του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος την χρονική στιγμή της μέτρησης. Συγκεκριμένα τα κυκλοφοριακά στοιχεία αξιολογούνται λαμβάνοντας υπόψιν την ανάλυση της κυκλοφορίας βάσει του τύπου των οχημάτων και την βαριά κυκλοφορία, ενώ από τις μετρήσεις FWD λαμβάνεται μια χαρακτηριστική τιμή.



Εικόνα 6.1: Αρχική Διατομή Οδοστρώματος

Η δυνατότητα υλοποίησης μιας τέτοιας ανάλυσης δόθηκε μέσω του προγράμματος WinPas το οποίο είναι βασισμένο στην αμερικανική εμπειρική μέθοδο AASHTO, η παρουσίαση της οποίας έχει ήδη πραγματοποιηθεί στο Κεφάλαιο 2. Αναλυτικότερα, το πρόγραμμα δέχεται ως δεδομένα εισαγωγής στοιχεία αναφορικά με τον σχεδιασμό της αρχικής διατομής του υφιστάμενου οδοστρώματος και την θεώρηση της κυκλοφορίας, τα χαρακτηριστικά της ανάλυσης ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος, την επιλογή του είδους της επίστρωσης καθώς και στοιχεία μη καταστρεπτικών δοκιμών για την εκτίμηση της επιτόπου κατάστασης του

οδοστρώματος. Στον Πίνακα 6-1 παρουσιάζονται όλες οι παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν με στόχο την υλοποίηση της ανάλυσης από το πρόγραμμα.

Πίνακας 6-1: Παραδοχές Σχεδιασμού με τη Μέθοδο AASHTO

Γενικά Δεδομένα		
Ετήσια Αύξηση Κυκλοφορίας		6,00%
Εκτίμηση Κυκλοφορίας		
Ανάλυση βάσει των βαρέων οχημάτων		
Φορτηγά/λεωφορεία κλπ με < από 4 άξονες		40%/60%
Φορτηγά/λεωφορεία κλπ με > από 4 άξονες		100%/0%
Στοιχεία Σχεδιασμού Οδοστρώματος		
Αξιοπιστία	R	95,00%
Τυπική Απόκλιση	So	0,39
Καμπτική Αντοχή Σκυροδέματος	Sc	4,00 MPa
Μέτρο Ελαστικότητας Σκυροδέματος	Ec	40.000,00 MPa
Συντελεστής Μεταφοράς Φορτίου	J	3,80
Μέτρο Αντίδρασης Εδάφους	k	21,90 Mpa/m
Συντελεστής Αποστράγγισης	Cd	1
Αρχική Εξυπηρετικότητα	pi	4,50
Τελική Εξυπηρετικότητα	pt	2,50

Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε η ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας ίση με 6,00% διότι έχει παρατηρηθεί ως προς την κυκλοφορία πως οι κυκλοφοριακές απαιτήσεις ενός οδοστρώματος είναι αυξημένες. Η ανάλυση έγινε βάσει της βαριάς κυκλοφορίας και στον Πίνακα 6-1 εμφανίζονται τα ποσοστά συμμετοχής κάθε τύπου οχήματος. Τέλος, οι παραδοχές για την εφαρμογή της μεθόδου AASHTO βασίστηκαν στις απαιτήσεις τις ίδιες της μεθόδου και στις οδηγίες της.

6.2 Εναλλακτικά Σενάρια Επέμβασης

6.2.1 Γενικά

Τα οδοστρώματα αποτελούν ένα είδος τεχνικού έργου και όπως όλα τα τεχνικά έργα έχουν ως χαρακτηριστικό τους την καθορισμένη διάρκεια ζωής. Όμως, ο ορθός σχεδιασμός ενός οδοστρώματος είναι πολύπλευρος και έχει μεγάλο βαθμό δυσκολίας, καθώς πέρα από την ανάλυση των δεδομένων συνθηκών αποτελεί ζητούμενο και η προσεκτική εκτίμηση των μελλοντικών. Η εκτίμηση αυτή επηρεάζει άμεσα τόσο την διάρκεια ζωής του, όσο και τον βαθμό λειτουργικότητάς του. Για τη διατήρηση ενός υψηλού επιπέδου εξυπηρετικότητας του οδοστρώματος υπάρχει πληθώρα επιλογών όσον αφορά στην συντήρηση ή την επισκευή του.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης ανάλυσης και πριν την παρουσίαση των εναλλακτικών σεναρίων επέμβασης, είναι σκόπιμο να αναφερθεί η υφιστάμενη κατάσταση του οδοστρώματος. Πρόκειται για δάπεδο διοδίων με αρμούς χωρίς βλήτρα και με περίοδο ανάλυσης 25 χρόνια. Έπειτα από 13 χρόνια λειτουργία του, διάστημα που αναφέρεται στο 50%-80% της περιόδου ανάλυσης, η διατομή παρουσίασε ρωγμές, και συγκεκριμένα εγκάρσιες ρηγματώσεις μεσαίας σοβαρότητας. Ο χαρακτηρισμός των συγκεκριμένων ρηγματώσεων προέκυψε έπειτα από διαδικασία οπτικής επισκόπησης. Στην συνέχεια, για

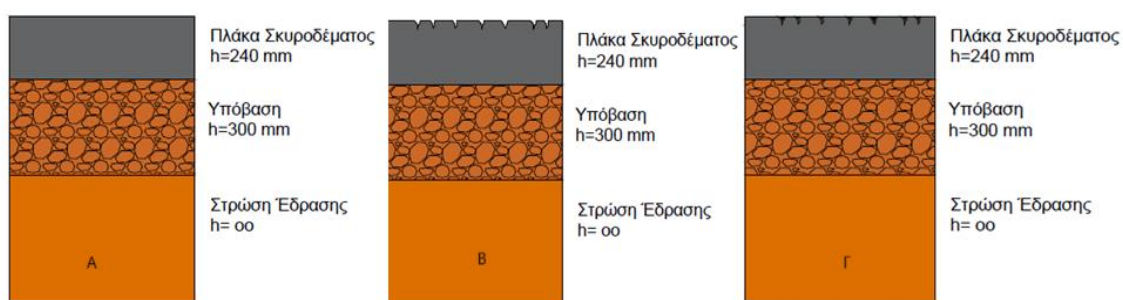
την εκτίμηση των επιτόπου μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών της διατομής πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ελαστικών υποχωρήσεων με το σύστημα Falling Weight Deflectometer (FWD). Το συγκεκριμένο σύστημα προσομοιώνει τις συνθήκες δυναμικής καταπόνησης του οδοστρώματος σε μεγάλο βαθμό με την πραγματική του φόρτιση κατά τη διέλευση ενός τροχού. Με τον τρόπο αυτό, κατά την διάρκεια της φόρτισης από τη μέθοδο FWD εξάγονται δεδομένα για τις μέγιστες ελαστικές υποχωρήσεις που μπορεί να υποστεί το οδόστρωμα, κάτω από το φορτίο και σε συγκεκριμένες αποστάσεις από αυτό.

Στην συγκεκριμένη ανάλυση, από την επεξεργασία των μετρήσεων FWD, όπως ορίζει η μέθοδος AASHTO, προσδιορίστηκε το μέτρο ελαστικότητας του υφιστάμενου σκυροδέματος ίσο με $E'c=23.438 \text{ MPa}$. Η μείωση της τιμής του μέτρου ελαστικότητας είναι λογική (αρχική τιμή $E_c=40.000 \text{ MPa}$) καθώς το οδόστρωμα στα 13 χρόνια κυκλοφορίας του έχει καταπονηθεί και έχει υποστεί ελαστικές υποχωρήσεις. Έχοντας ως δεδομένο λοιπόν την νέα τιμή του μέτρου ελαστικότητας και ως εργαλείο το λογισμικό WinPas, η μέθοδος AASHTO όσον αφορά στις επιστρώσεις θα λάβει υπόψιν της την συγκεκριμένη τιμή και όχι το αρχικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος.

Στην συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση των μεθόδων συντήρησης ή αποκατάστασης που επιλέχθηκαν προς μελέτη, αφού πρώτα κρίθηκαν ως καταλληλότερες για τη συγκεκριμένη ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η επιλογή επιστρώσης, συνδεδεμένης ή μη συνδεδεμένης, και για την πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση της ανάλυσης προστίθεται και το σενάριο της τακτικής συντήρησης ανά τέσσερα χρόνια.

6.2.2 Σενάριο 1: Τακτική Συντήρηση με Σφράγιση Ρωγμών

Το Σενάριο 1 στην ανάλυση του εν λόγω οδοστρώματος αφορά τη Τακτική Συντήρηση του με σφράγιση ρωγμών ανά περιοδικά διαστήματα. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε πως στο συγκεκριμένο Σενάριο 1 το οδόστρωμα με περίοδο ανάλυσης 25 χρόνια υπόκεινται σε Τακτική Συντήρηση κάθε τέσσερα (4) χρόνια κατά την οποία οι ρωγμές που έχουν δημιουργηθεί σφραγίζονται. Η απεικόνιση του σεναρίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.2.



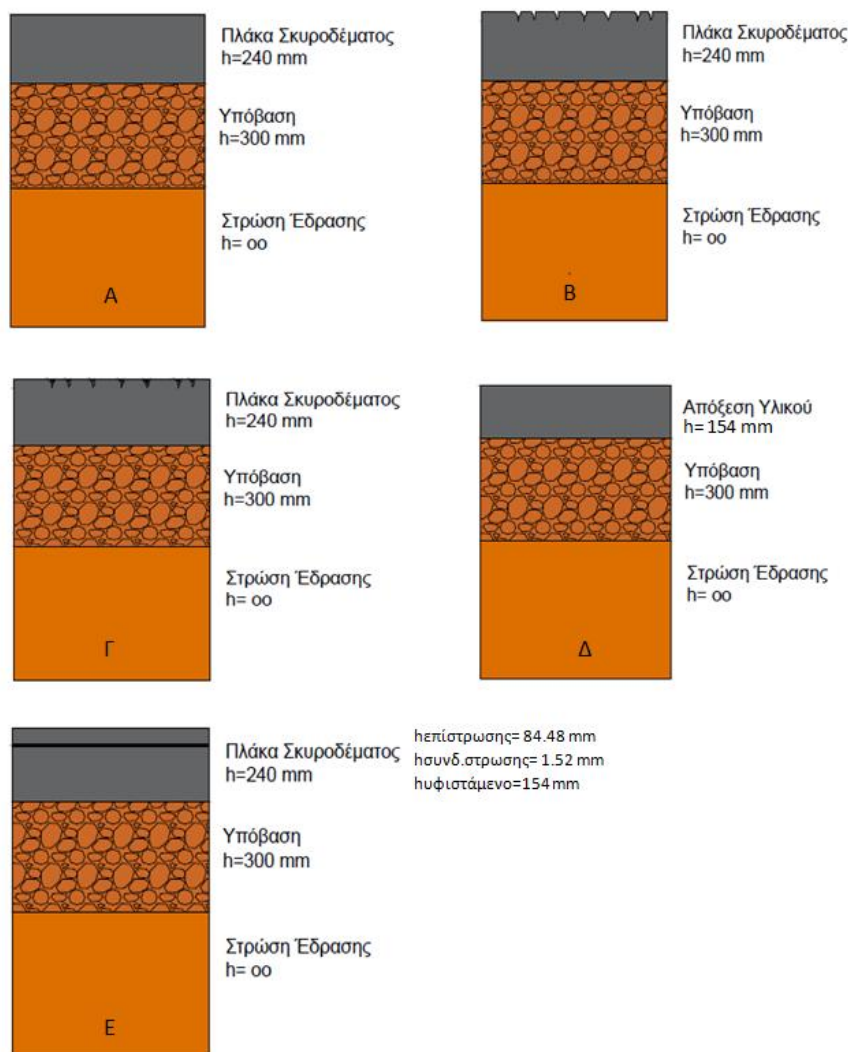
Εικόνα 6.2: Απεικόνιση Σεναρίου 1 [Διατομή A: Αρχικό Οδόστρωμα, Διατομή B: Ρηγμάτωση Επιφάνειας κατά την διάρκεια 4 ετών, Διατομή Γ: Σφράγιση Ρωγμών]

Προβλέπεται ότι η διαδικασία αυτή θα πραγματοποιηθεί έξι φορές στην διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

6.2.3 Σενάριο 2: Ενίσχυση με Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος

Το Σενάριο 2 στην ανάλυση του εν λόγω οδοστρώματος αφορά την Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος (Bonded Concrete Overlay).

Στην Εικόνα 6.3 παρουσιάζονται οι επιμέρους διατομές του οδοστρώματος κατά την διαδικασία εφαρμογής της Συνδεδεμένης Επίστρωσης.



Εικόνα 6.3: Απεικόνιση Σεναρίου 2 [Διατομή Α: Αρχικό Οδόστρωμα, Διατομή Β: Ρηγμάτωση Επιφάνειας έπειτα από 13 χρόνια λειτουργίας, Διατομή Γ: Σφράγιση Ρωγμών και Αρμών, Διατομή Δ: Προετοιμασία Επιφάνειας για την Επίστρωση, Διατομή Ε: Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος]

Αξίζει να παρουσιαστεί αναλυτικά η διαδικασία εφαρμογής της συνδεδεμένης επίστρωσης σκυροδέματος, καθώς στην συνέχεια της ανάλυσης πραγματοποιείται η κοστολόγηση κάθε εργασίας με στόχο την τελική σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων για την ανάδειξη του βέλτιστου. Σημειώνεται ότι το πάχος απόξεσης και το πάχος επίστρωσης σκυροδέματος προέκυψαν μέσω του προγράμματος WinPas.

Η μεθοδολογία εφαρμογής είναι η εξής:

- **Βήμα 1: Σφράγιση και Στεγανοποίηση Ρωγμών και Αρμών**

Ως αρχικό στάδιο της διαδικασίας είναι ο εντοπισμός των φθορών του οδοστρώματος και η κατηγοριοποίηση τους ως επιφανειακές ή δομικές. Σε περίπτωση που υπάρχει μικρός αριθμός δομικών φθορών, το οδόστρωμα μπορεί να υποστηρίξει μια συνδεδεμένη επίστρωση, αφού πρώτα αυτές επιδιορθωθούν κατάλληλα. Στην ανάλυση το οδόστρωμα παρουσιάζει επιφανειακές εγκάρσιες ρηγματώσεις μεσαίας σοβαρότητας. Επομένως, η συγκεκριμένη επίστρωση μπορεί να υλοποιηθεί και πρώτο βήμα της εν λόγω διάστρωσης είναι η αποκατάστασή τους. Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3, η επιδιόρθωση ρωγμών τέτοιου τύπου πραγματοποιείται με την σφράγιση και την στεγανοποίηση τους. Ακόμη, απαιτείται η ίδια διαδικασία και για τους αρμούς διαστολής του σκυροδέματος, διότι στην νέα στρώση θα δημιουργηθούν νέοι στις ίδιες ακριβώς θέσεις. Με την σφράγιση και την στεγανοποίηση ο στόχος είναι να αποτραπεί η δημιουργία ανακλαστικών ρωγμών από το υφιστάμενο οδόστρωμα στην νέα στρώση σκυροδέματος.

- **Βήμα 2: Προετοιμασία Επιφάνειας**

Η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να είναι καθαρή πριν την διάστρωση του νέου στρώματος σκυροδέματος, καθώς έτσι επιτυγχάνεται η αποδοτικότερη σύνδεση μεταξύ υφιστάμενου και νέου σκυροδέματος. Η διαδικασία της προετοιμασίας της επιφάνειας μπορεί να χωριστεί σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η μερική απόξεση υλικού από την επιφάνεια, με σκοπό την αύξηση της τραχύτητας της μέσω της δημιουργίας αυλακώσεων στο σκυρόδεμα (diamond grooving) σε βάθος 86 mm, όσο περίπου και η επίστρωση που θα τοποθετηθεί λαμβάνοντας υπόψιν και το συνδετικό υλικό. Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τον καθαρισμό της τελικής επιφάνειας με την μέθοδο της σφαιριδοβολής ή της ψυχρής ανακύκλωσης υλικού ή της υδροβολής. Στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε επιλέχθηκε η μέθοδος της υδροβολής, καθώς παρότι η εφαρμογή της απαιτεί ένα εύλογο διάστημα ούτως ώστε να στεγνώσει το οδόστρωμα πριν την διάστρωση του συνδετικού υλικού, είναι η αποτελεσματικότερη. Αξίζει να σημειωθεί πως αφού στεγνώσει η επιφάνεια του σκυροδέματος και λίγο πριν διαστρωθεί το συνδετικό υλικό, είναι απαραίτητη η εκτόξευση αέρα στο οδόστρωμα για την ολοκλήρωση της προετοιμασίας του.

- **Βήμα 3: Συνδετικό Υλικό**

Βαρύνουσα σημασία για την ικανοποιητική σύνδεση των δυο στρωμάτων και την εξασφάλιση της ζητούμενης μονολιθικότητας είναι η διάστρωση του συνδετικού υλικού και η κατάλληλη επιλογή του. Συνήθως, χρησιμοποιούνται είτε αραιά τσιμεντοκονιάματα, τα οποία έχουν μεγάλη εργασιμότητα και πλαστιμότητα, είτε ασφαλτόμιγμα, το οποίο επιλέχθηκε και στην ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η διάστρωση ενός λεπτού συνδετικού ασφαλτικού στρώματος με πάχος περίπου 1.50 mm.

- **Βήμα 4: Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος**

Η επίστρωση του σκυροδέματος πραγματοποιείται πριν ακόμα στεγνώσει το συνδετικό υλικό, σχεδόν ταυτόχρονα. Σε περίπτωση που αυτή η παράμετρος δεν ικανοποιηθεί κατά την διάστρωση, τότε το νέο σκυρόδεμα θα πρέπει να αφαιρεθεί είτε με την μέθοδο της αμμοβολής είτε της σφαιριδοβολής. Στην συγκεκριμένη ανάλυση η επίστρωση που προκύπτει είναι πάχους περίπου 85mm, με την συγκεκριμένη στρώση να αποτελεί την νέα επιφάνεια κύλισης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα προέκυψαν μέσω του προγράμματος WinPas και της μεθόδου AASHTO, στην οποία και βασίζεται.

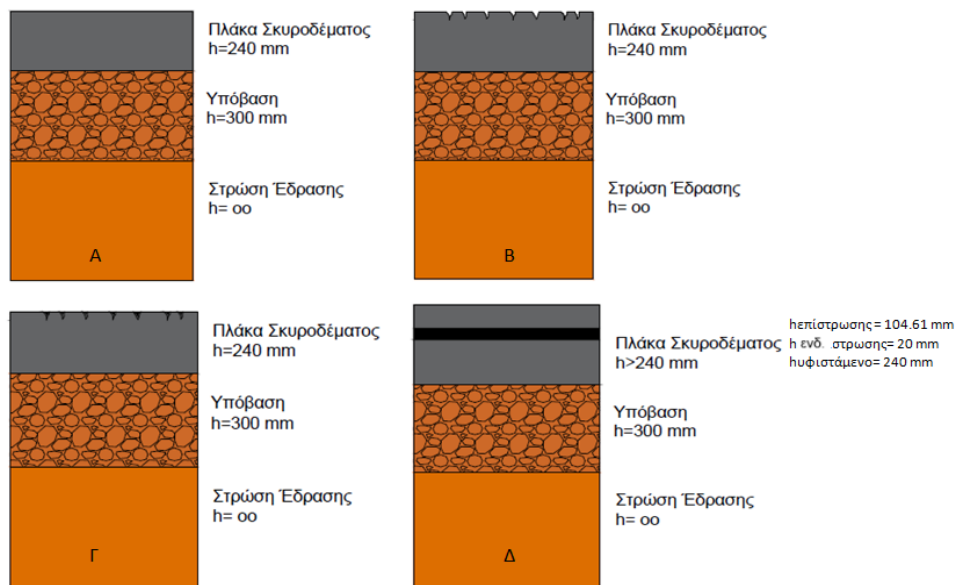
- **Βήμα 5:** Ελεγχόμενη Ρηγμάτωση Επιφάνειας-Στεγανοποίηση Αρμών

Σε κάθε διάστρωση σκυροδέματος είναι πολύ σημαντική η ωρίμανση του, ούτως ώστε να καταφέρει να αναπτύξει την επιθυμητή και ζητούμενη αντοχή του. Επομένως, πέραν της απαιτούμενης διαβροχής του εξίσου σημαντική είναι και η ελεγχόμενη ρηγμάτωση του. Η δημιουργία των αρμών διαστολής πραγματοποιείται στις θέσεις εκείνες που προϋπήρχαν αρμοί στο αρχικό οδόστρωμα.

6.2.4 Σενάριο 3: Ενίσχυση με Μη συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος

Το Σενάριο 3 στην ανάλυση του εν λόγω οδοστρώματος αφορά την Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος (Unbonded Concrete Overlay).

Τα ζητούμενα πάχη διάστρωσης σκυροδέματος προέκυψαν μέσω του προγράμματος WinPas και συγκεντρωτικά μαζί με την διαδικασία εφαρμογής της επίστρωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.4.



Εικόνα 6.4: Απεικόνιση Σεναρίου 3 [Διατομή Α: Αρχικό Οδόστρωμα, Διατομή Β: Ρηγμάτωση Επιφάνειας έπειτα από 13 χρόνια λειτουργίας, Διατομή Γ: Σφράγιση Ρωγμών και Αρμών-Προετοιμασία Επιφάνειας για την Επίστρωση, Διατομή Δ: Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος]

Αναλυτικότερα, η μεθοδολογία εφαρμογής είναι η εξής:

- **Βήμα 1:** Σφράγιση και Στεγανοποίηση Ρωγμών και Αρμών

Στην μη συνδεδεμένη επίστρωση σκυροδέματος, η ανάγκη για σφράγιση ρωγμών είναι ελάχιστη και αναφέρεται αποκλειστικά σε όσες χαρακτηρίζονται ως μεγάλης σοβαρότητας. Στο συγκεκριμένο οδόστρωμα δημιουργούνται ρωγμές μεσαίας σοβαρότητας, άρα πιθανότατα δεν θα χρειαζόντουσαν σφράγιση. Παρόλα αυτά, για την πληρότητα της ανάλυσης θεωρείται ότι πραγματοποιείται η σφράγιση τους. Όμως, το πιο σημαντικό κομμάτι του Βήματος 1είναι η σφράγιση και στεγανοποίηση των αρμών, διότι έχει σαν στόχο την αποφυγή της εισχώρησης της υγρασίας στις κατώτερες στρώσεις.

- **Βήμα 2:** Προετοιμασία Επιφάνειας

Όσον αφορά την διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας, περιλαμβάνει την αφαίρεση χαλαρών υλικών από την επιφάνεια στην οποία πρόκειται να διαστρωθεί η στρώση διακοπής της μονολιθικότητας.

- **Βήμα 3:** Στρώση Διακοπής Μονολιθικότητας

Ως καταλληλότερο υλικό διάστρωσης για την διακοπή της μονολιθικότητας και την αποφυγή εμφάνισης ανακλαστικών των ρωγμών από το υφιστάμενο στο νέο οδόστρωμα θεωρείται το ασφαλτικό σκυρόδεμα θερμής ανάμειξης. Η διάστρωση ασφαλτικού σκυροδέματος θερμής ανάμειξης είναι κατάλληλη τόσο για την απομόνωση του ήδη υπάρχοντος οδοστρώματος, όσο και για την χρήση του ως εξομαλυντική βάση για την διαδικασία της επίστρωσης. Βάσει της ανάλυσης του προγράμματος WinPas, το πάχος της στρώσης είναι 20mm.

- **Βήμα 4:** Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος

Αναφορικά με την μη συνδεδεμένη επίστρωση σκυροδέματος, η διάστρωση του δεν διαφέρει σε τίποτα με εκείνη της συνδεδεμένης. Βάσει το προγράμματος WinPas και της αναλυτικής μεθόδου που επιλύει, προκύπτει το πάχος της επίστρωσης ίσο με περίπου 110mm.

Η μη συνδεδεμένη επίστρωση επομένως οδηγεί σε μία διατομή με συνολική στρώση σκυροδέματος πάχους περίπου 370mm, δηλαδή 130mm παραπάνω από την αρχική διατομή.

- **Βήμα 5:** Δημιουργία και Στεγανοποίηση Αρμών

Τελευταίο βήμα στην διαδικασία επίστρωσης είναι η δημιουργία και στεγανοποίηση των αρμών. Αρχικά, η ελεγχόμενη ρηγμάτωση του οδοστρώματος είναι απαραίτητη ούτως ώστε να μην ρηγματωθεί ανεξέλεγκτα η επιφάνεια κύλισης. Αξίζει να σημειωθεί πως οι αρμοί πρέπει να δημιουργηθούν με μικρότερο βάθος και σε πιο κοντινή απόσταση από εκείνους του αρχικού οδοστρώματος, δημιουργώντας έτσι μικρότερα πλαίσια. Ο λόγος που είναι σημαντική η εφαρμογή των παραπάνω είναι εξαιτίας της μεγάλης ακαμψίας της νέας στρώσης σκυροδέματος και των τριβών που δημιουργούνται ανάμεσα στην πλάκα σκυροδέματος και του ασφαλτικού σκυροδέματος, τα οποία προκαλούν καμπτικές τάσεις στην επίστρωση. Βέβαια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σπλισμός στους αρμούς, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει σε αυτή την περίπτωση. Αφού λοιπόν δημιουργηθούν οι αρμοί, σειρά έχει η στεγανοποίησή τους για να αποφευχθεί η εισροή νερού στις παρακείμενες στρώσεις, διασφαλίζοντας την δομική τους ικανότητα.

6.3 Βασικά Στοιχεία Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής

Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis) έργου αποτελεί ένα κρίσιμο και βασικό εργαλείο στην διαδικασία λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τον σχεδιασμό αλλά και την διαχείριση των τεχνικών έργων. Βασικός στόχος της συγκεκριμένης ανάλυσης είναι η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας ενός έργου βάσει του συνολικού κόστους του σε βάθος χρόνου. Στον όρο συνολικό κόστος συμπεριλαμβάνονται

και τα κόστη που αναφέρονται στην αρχική κατασκευή, στην λειτουργία, στην συντήρηση, στην αναβάθμιση και στην απόσυρση του έργου.

Στην ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί παρακάτω, η μεθοδολογία της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής θα αποτελέσει κριτήριο για την τελική επιλογή της μεθόδου συντήρησης ή αποκατάστασης που θα εφαρμοστεί στο δεδομένο οδόστρωμα. Πιο συγκεκριμένα, θα πραγματοποιηθεί συγκριτική αξιολόγηση ανάμεσα σε τρία εναλλακτικά σενάρια επέμβασης βάσει της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής αξιοποιώντας το πρόγραμμα WinPas. Στόχος της παραπάνω διαδικασίας είναι η τελική επιλογή του οικονομικά βέλτιστου σεναρίου.

Η οικονομική αυτή ανάλυση θα βασιστεί σε πέντε δείκτες: το αρχικό κόστος κατασκευής, τα έξοδα παροχής υπηρεσιών, τις συνολικές δαπάνες, την παρούσα αξία και το ετήσιο κόστος. Το αρχικό κόστος αναφέρεται στο κόστος κατασκευή της διατομής του οδοστρώματος, το οποίο είναι κοινό και στα τρία εναλλακτικά σενάρια. Έπειτα, τα έξοδα παροχής υπηρεσιών αναφέρονται στα επιμέρους κόστη της διαδικασίας εφαρμογής του εκάστοτε σεναρίου. Ως συνολικές δαπάνες θεωρείται το άθροισμα αρχικού κόστους και εξόδων παροχής υπηρεσιών. Στην συνέχεια, ο όρος Παρούσα Αξία αναφέρεται σε μια μέθοδο οικονομικής ανάλυσης που υπολογίζει την αξία των μελλοντικών δαπανών ή εισοδημάτων σε σημερινά χρήματα, λαμβάνοντας υπόψη τον πληθωρισμό και το προεξοφλητικό επιτόκιο. Και τέλος, το Ετήσιο Κόστος αντιπροσωπεύει το συνολικό ετήσιο κόστος του κάθε σεναρίου.

Πέρα από τα παραπάνω στοιχεία η μέθοδος της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής αξιοποιεί και οικονομικά στοιχεία της αγοράς, όπως είναι το επιτόκιο και ο ρυθμός πληθωρισμού με τις τιμές τους να παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-2.

Πίνακας 6-2: Οικονομικά Στοιχεία για την LCCA

Επιτόκιο	4,25%
Ρυθμός Πληθωρισμού	2,50%
Περίοδος Ανάλυσης	25 χρόνια

Συγκεκριμένα, τα δεδομένα για την επιλογή του επιτοκίου και του ρυθμού πληθωρισμού προέρχονται από την Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα, ενώ η περίοδος ανάλυσης των επιμέρους σεναρίων αποτελεί παραδοχή.

6.4 Συγκριτική Αξιολόγηση Επιμέρους Σεναρίων Επέμβασης

6.4.1 Κοινά Χαρακτηριστικά

Σε συνέχεια της παρουσίασης των τριών σεναρίων συντήρησης ή αποκατάστασης του οδοστρώματος που υπόκεινται στην παρούσα ανάλυση, σειρά έχει η συγκριτική αξιολόγησή τους λαμβάνοντας υπόψιν οικονομικά στοιχεία, όπως το αρχικό κόστος κατασκευής του οδοστρώματος και τα επιμέρους κόστη εργασιών. Η αρχική κοστολόγηση της κατασκευής είναι κοινή και στα τρία σενάρια, ενώ κοινά είναι επίσης και χαρακτηριστικά, τα οποία αναφέρονται σε οικονομικούς δείκτες της αγοράς και τεχνικές παραδοχές. Το σύνολο των παραπάνω στοιχείων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6-3.

Πίνακας 6-3: Κοινά Σημεία των Σεναρίων Ανάλυσης

Οικονομικά Στοιχεία		Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Επιτόκιο	4,25%	Μήκος Μελέτης	1 km
Ρυθμός Πληθωρισμού	2,50%	Πλάτος Λωρίδας	3,50 m
Περίοδος Ανάλυσης	25 χρόνια	Απόσταση Διαδοχικών Αρμών	4,50 m
Τιμή Σκυροδέματος C30/37	99 \$/cu yd	Πυκνότητα Σκυροδέματος	25000 kg/m ³
Τιμή Αμμοχάλικου	22 \$/cu yd	Πυκνότητα Αμμοχάλικου	20000 kg/m ³
Αρχικό Κόστος Κατασκευής			
Μήκος Μελέτης	1 km		
Πλάτος Λωρίδας	3,50 m	Ποσότητες Υλικών Ανά Στρώση	Τιμή Μονάδος
Πάχος Πλάκας Σκυροδέματος	240 mm	=1000m*3,50m*0,240m=840 m ³ ή 1098.68 cu yd	\$ 108.769,32
Πάχος Υπόβασης (Αμμοχάλικο)	300 mm	=1000m*3,50m*0,300m=1050 m ³ ή 1373.35 cu yd	\$ 30.213,70
Συνολικό Αρχικό Κόστος			\$ 138.983,02

Αναλυτικά, οι οικονομικοί δείκτες όπως το επιτόκιο και ο ρυθμός πληθωρισμού προέκυψαν από στοιχεία της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας, ενώ οι τιμές του σκυροδέματος και του αμμοχάλικου σε όγκο υπολογίστηκαν μετατρέποντας τις πραγματικές τιμές της αγοράς στην Ελλάδα από ευρώ ανά κυβικό μέτρο σε δολάρια ανά κυβική γιάρδα. Η περίοδος ανάλυσης του οδοστρώματος, το μήκος μελέτης, το πλάτος λωρίδας, η απόσταση διαδοχικών αρμών και η πυκνότητα του αμμοχάλικου έλαβαν τις τιμές τους μέσω παραδοχών που βρίσκουν σύμφωνο και τον κανονισμό AASHTO και τα δεδομένα της Ελληνικής αγοράς. Τέλος, το αρχικό κόστος κατασκευής της διατομής το οδοστρώματος που αποτελείται από μία πλάκα σκυροδέματος, πάχους 240 mm, και την στρώση της υπόβασης από ασύνδετο αμμοχάλικο, πάχους 300 mm, είναι **\$138.983,02**. Ο υπολογισμός του αρχικού κόστους παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 3.

Έχοντας λοιπόν ως κοινό παρανομαστή τις παραπάνω παραδοχές και το αρχικό κόστος κατασκευής του οδοστρώματος, μέσω του προγράμματος WinPas προσφέρεται η δυνατότητα σύγκρισης δύο σεναρίων επέμβασης με σκοπό την ανάδειξη της βέλτιστης οικονομικά μεθόδου συντήρησης ή αποκατάστασης του οδοστρώματος. Η αξιολόγηση των σεναρίων πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψιν δείκτες όπως το αρχικό κόστος κατασκευής, τα έξοδα παροχής υπηρεσιών, τις συνολικές δαπάνες, την παρούσα αξία και το ετήσιο κόστος. Η ανάλυση του αρχικού κόστους, των εξόδων παροχής και των συνολικών δαπανών έχει πραγματοποιηθεί. Επομένως, σχετικά με την Παρούσα Αξία υπολογίζεται βάσει του κανονισμού AASHTO και συγκεκριμένα για το Σενάριο 1 αξιοποιείται ο τύπος:

$$\text{\$ΠΑ} = [\text{Ετήσια Έξοδα Παροχής Υπηρεσιών}] * \left[\frac{(1+d)^n - 1}{d(1+d)^n} \right] \quad (6.1)$$

ενώ για τα Σενάρια 2 και 3 ο τύπος:

$$\text{\$ΠΑ} = [\text{Ετήσια Έξοδα Παροχής Υπηρεσιών}] * \left[\frac{1}{(1+d)^t} \right] \quad (6.2)$$

Όπου d= το επιτόκιο προεξόφλησης, δηλαδή 1,71%,

n= ο αριθμός των ετών που επαναλαμβάνεται η επέμβαση, δηλαδή n=4 και

t= το έτος που συμβαίνει η επέμβαση, δηλαδή t=13.

Τέλος, ο δείκτης Ετήσιου Κόστους, υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{\$ΕΚ} = [\text{Αρχικό Κόστος}] * \left[\frac{r*(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] + [\text{Ετήσια Έξοδα Παροχής Υπηρεσιών}] \quad (6.3)$$

Όπου r = το πραγματικό επιτόκιο, δηλαδή 0,017073 και
 n = η περίοδος ανάλυσης, δηλαδή 25 χρόνια.

Από την συγκεκριμένη διαδικασία θα προκύψουν τρεις υποπεριπτώσεις αξιολόγησης, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

6.4.2 Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1 και 2

Η συγκεκριμένη Συγκριτική Αξιολόγηση αφορά το Σενάριο 1, δηλαδή την Μέθοδο Τακτικής Συντήρησης, και το Σενάριο 2, δηλαδή την Μέθοδο Αποκατάστασης Οδοστρώματος με Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος.

Ξεκινώντας από την κοστολόγηση του Σεναρίου 1, υπενθυμίζεται ότι η μέθοδος της Τακτικής Συντήρησης εφαρμόζεται κάθε τέσσερα χρόνια. Το συγκεκριμένο δεδομένο εμφανίζεται στην Εικόνα 6.5 ως 0,25 στο κενό της ποσότητας. Το συνολικό κόστος της εν λόγω μεθόδου προκύπτει από την θεώρηση ότι η επιφάνεια μελέτης, δηλαδή τα 1000 m μήκους επί 3,50 m πλάτους ή 3.500m²ή ακόμα 4.577,83 sq yd, έχει κόστος συντήρησης \$16.744,00 και αφού η συγκεκριμένη εργασία εφαρμόζεται έξι φορές κατά την περίοδο ανάλυσης του οδοστρώματος προκύπτει το συνολικό κόστος ύψους **\$104.650,00**. Για τον προσδιορισμό του κόστους συντήρησης ανά τετραγωνική γιάρδα, θεωρήθηκε ένα μέσο κόστος ύψους 3,00 €/m²το οποίο έπειτα μετατράπηκε σε \$/sq yd.

Pavement Description [Σενάριο 1]

Item	Analysis Year	Determine Quantity Using	Quantity	Unit	Unit Cost	Item Cost	Present Worth
Annual Maintenance	N/A		0.25	sq yd	16744	104650	104650
Total:						\$104,650	\$104,650

Εικόνα 6.5: Κοστολόγηση Σεναρίου 1

Όσον αφορά στην κοστολόγηση του Σεναρίου 2, σημειώνεται ότι ως χρόνος επέμβασης θεωρείται το 13^ο έτος και οι απαιτούμενες εργασίες πραγματοποιούνται με την σειρά που έχει αναφερθεί στην Ενότητα 6.2.2. Αναλυτικά, η κοστολόγηση του σεναρίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.6.

Pavement Description Bonded Overlay - Σενάριο 2

General Info		Initial Cost		In-Service Costs			
Item	Analysis Year	Determine Quantity Using	Quantity	Unit	Unit Cost	Item Cost	Present Worth
Saw and Seal Cracks	13	Enter Quantity Directly	3280	In feet	2	6560	6560
Diamond Grooving	13	Enter Quantity Directly	4578	sq yd	3	13734	10122
Surface Preparation	13	Enter Quantity Directly	4578	sq yd	1	4578	3374
Tack Coat Layer	13	Enter Quantity Directly	4578	sq yd	1.5	6867	5061
Bonded PCC Overlay	13	Enter Quantity Directly	389	cu yd	99	38511	28382
Joint/Crack Seal/Reseal	13	Enter Quantity Directly	777	In feet	3	2331	1718
Total:						\$72,581	\$55,217

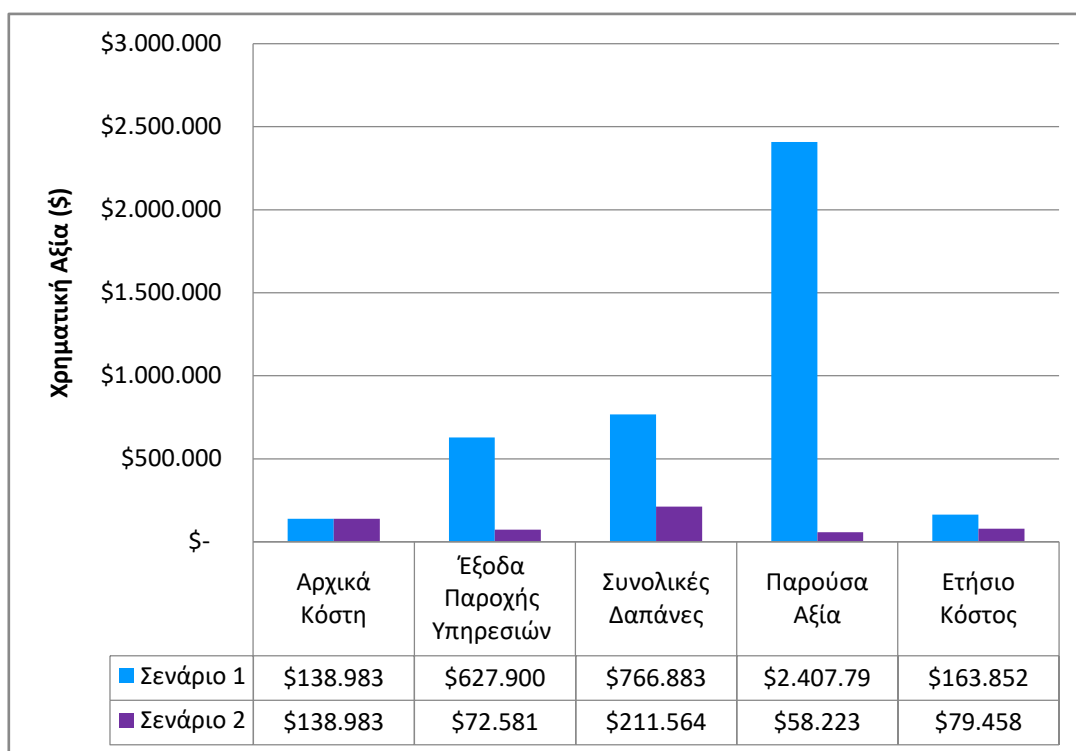
Εικόνα 6.6: Κοστολόγηση Σεναρίου 2

Σημασία όμως έχει και να διευκρινιστούν οι ποσότητες, αλλά και οι τιμές κόστους των επιμέρους εργασιών. Συγκεκριμένα, για το Σενάριο 2:

- Σφράγιση/Στεγανοποίηση Ρωγμών/Αρμών: Η συγκεκριμένη εργασία μετράται σε τρέχον πόδια μήκους ρωγμών ή αρμών που πρέπει να σφραγισθούν ή να στεγανοποιηθούν. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το μήκος ανάλυσης είναι 1.000 m και ότι οι αρμοί είναι τοποθετημένοι ανά 4,50 m προκύπτουν 223 αρμοί, οι οποίοι έχουν μήκος 3,50 m άρα συνολικό μήκος σφράγισης αρμών είναι 777 m. Η επιφάνεια όμως, είναι εγκάρσια ρηγματωμένη και οι ρωγμές αυτές θέλουν επίσης σφράγιση, άρα προσεγγιστικά θεωρείται ότι περίπου είναι 1.000 τρέχον μέτρα, ή 3.280 τρέχον πόδια με τιμή 2 \$/feet.
- Δημιουργία Αυλακώσεων στην Επιφάνεια/Προετοιμασία Επιφάνειας/Συνδετική Στρώση: Διαφέρει προς την τιμή κάθε εργασία, όμως η ποσότητα μένει η ίδια 3,50m*1000 m, δηλαδή 3.500m² ή ακόμα 4.578 sq yd. Το κόστος ορίστηκε ως 3 \$/sq yd, 1 \$/sq yd και 1 \$/sq yd αντίστοιχα, βάσει στοιχείων της αγοράς.
- Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος: Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το πάχος της επίστρωσης είναι περίπου 85 mm και επί 3,50 m πλάτος και 1000m μήκους μελέτης, προκύπτουν 297,5 m³, ή αλλιώς 389 cu yd με κόστος 99 \$ ανά κυβική γιάρδα.
- Σφράγιση/Στεγανοποίηση Αρμών/Ρωγμών: Αναφέρεται στην δημιουργία αρμών ανά 4,50 m και στην στεγανοποίησή τους, δηλαδή στα 1000m / 4,50 m προκύπτουν 223 αρμοί συνολικού μήκους 780,50 m, αφού το πλάτος της λωρίδας είναι 3,50 m. Συνολικά σε πόδια είναι 2.560,70. Η τιμή λαμβάνεται υπόψιν ως 3 \$/feet.

Συγκεντρωτικά, το συνολικό κόστος του Σεναρίου 2 ανέρχεται στα **\$72.581,00**.

Εν συνεχεία πραγματοποιείται η συγκριτική αξιολόγηση των δύο σεναρίων θεωρώντας ως έξοδα παροχής υπηρεσιών το κόστος της υλοποίησης του εκάστοτε Σεναρίου και έχοντας δεδομένο το κοινό αρχικό κόστος κατασκευής τους.



Εικόνα 6.7: Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1-2

Παρατηρώντας το διάγραμμα της Εικόνας 6.7 γίνεται αντιληπτό πως, πέραν του δεδομένου κοινού αρχικού κόστους των δύο Σεναρίων, το Σενάριο 2 είναι σημαντικά οικονομικότερο συγκριτικά με το Σενάριο 1 όμως, το Σενάριο 1 παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη παρούσα αξία σε σχέση με το 2.

6.4.3 Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1 και 3

Η συγκεκριμένη Συγκριτική Αξιολόγηση αφορά το Σενάριο 1, δηλαδή την Μέθοδο Τακτικής Συντήρησης, και το Σενάριο 3, δηλαδή την Μέθοδο Αποκατάστασης Οδοστρώματος με Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος.

Τα οικονομικά και τεχνικά στοιχεία του Σεναρίου 1 έχουν ήδη περιγραφεί και παρουσιαστεί στην προηγούμενη Ενότητα 6.3.2 και στην Εικόνα 6.6. Σημειώνεται ότι το κόστος του ανέρχεται στις **\$104.650,00**. Έτσι με σκοπό την υλοποίηση της συγκριτικής αξιολόγησης, ακολουθεί η ανάλυση του Σεναρίου 3.

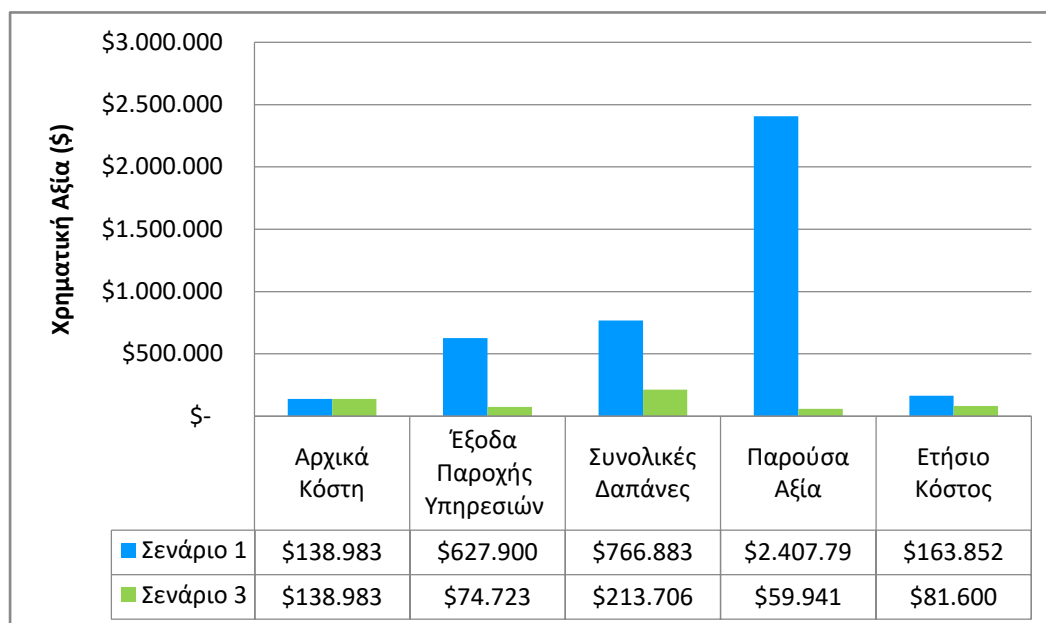
Το έτος επέμβασης παραμένει το 13^ο, ενώ ίδιες μένουν και οι ποσότητες σε όλες τις κοινές εργασίες του Σεναρίου 3 με το Σενάριο 2. Η ουσιαστική διαφορά των δύο σεναρίων εντοπίζεται ως προς τις απαιτούμενες εργασίες, γεγονός που έχει ήδη αναλυθεί παραπάνω, και στις ποσότητες των εργασιών αυτών. Αναλυτικά, η κοστολόγηση του Σεναρίου 3 παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.8.

Pavement Description Unbonded Overlay - Σενάριο 3							
General Info		Initial Cost	In-Service Costs				
Item	Analysis Year	Determine Quantity Using	Quantity	Unit	Unit Cost	Item Cost	Present Worth
▶ Saw and Seal Cracks	13	Enter Quantity Directly	3280	In feet	2	6560	6560
Surface Preparation	13	Enter Quantity Directly	4578	sq yd	3	13734	10122
Bond Breaker Layer	13	Enter Quantity Directly	4578	sq yd	1	4578	3374
Unbonded PCC Overlay	13	Enter Quantity Directly	480	cu yd	99	47520	35021
Saw and Seal Joints	13	Enter Quantity Directly	777	In feet	3	2331	1718
Total:						674 723	656 706

Εικόνα 6.8: Κοστολόγηση Σεναρίου 3

Συγκεκριμένα, στη διαδικασία προσδιορισμού του συνολικού κόστους εργασιών διαφοροποιείται το πάχος της επίστρωσης, η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 104,61 mm. Επομένως για 1.000 μμήκους μελέτης με πλάτος 3,50m προκύπτουν 366 m³ άρα περίπου 480 cu yd με τιμή 99 \$/ cu yd.

Το συνολικό κόστος του Σεναρίου 3 ανέρχεται στις **\$74.723,00** και θεωρώντας ως έξοδα παροχής υπηρεσιών το κόστος της υλοποίησης του εκάστοτε Σεναρίου παρουσιάζεται η συγκριτική αξιολόγηση των δύο σεναρίων, έχοντας ως δεδομένο το κοινό αρχικό κόστος κατασκευής τους.



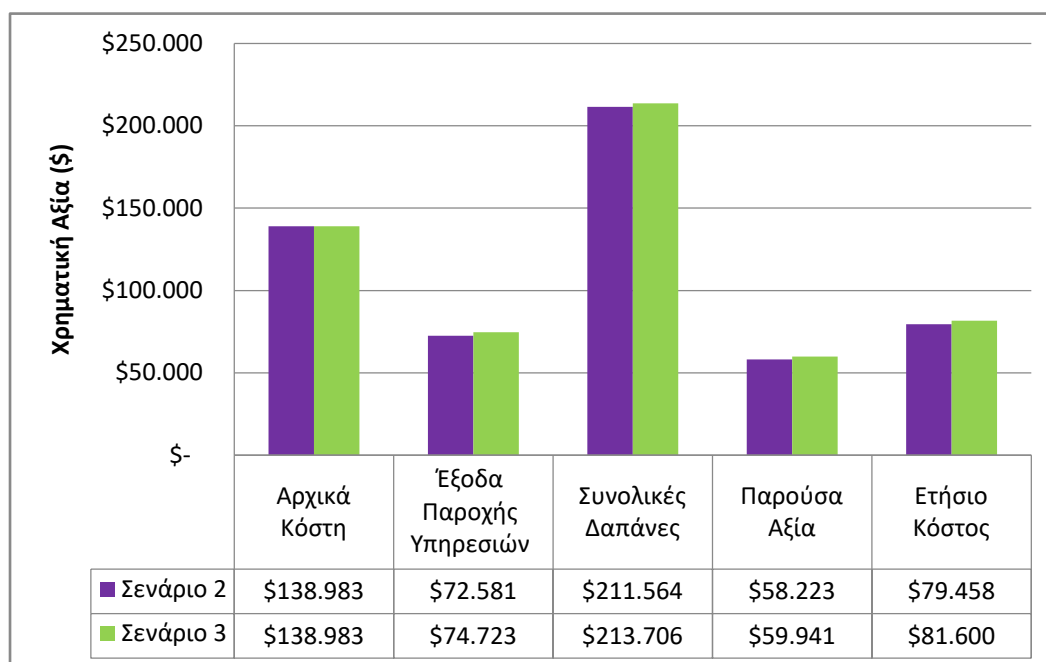
Εικόνα 6.9: Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 1-3

Παρατηρώντας το διάγραμμα της Εικόνας 6.9 γίνεται αντιληπτό πως, πέραν του δεδομένου κοινού αρχικού κόστους των δύο Σεναρίων, το Σενάριο 3 είναι σημαντικά οικονομικότερο και σε σχέση με το Σενάριο 1, όμως το Σενάριο 1 έχει πολύ μεγαλύτερη παρούσα αξία σε σχέση με το 3.

6.4.4 Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 2 και 3

Η συγκεκριμένη Συγκριτική Αξιολόγηση αφορά το Σενάριο 2, δηλαδή την Μέθοδο Αποκατάστασης Οδοστρώματος με Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος, και το Σενάριο 3, δηλαδή τη Μέθοδο Αποκατάστασης Οδοστρώματος με Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος.

Μέχρι στιγμής η παρουσίαση και η κοστολόγηση των δύο σεναρίων έχει πραγματοποιηθεί παραπάνω, με την εφαρμογή του Σεναρίου 2 να ανέρχεται στο ποσό των **\$72.581,00** και για το Σενάριο 3 στο ποσό των **\$74.723,00**. Ανάμεσα στα δύο αυτά σενάρια παρατηρείται πολύ μικρή διαφορά στο κόστος των επιμέρους εργασιών, ή αλλιώς στα έξοδα παροχής υπηρεσιών, καθώς επίσης τα δύο αυτά σενάρια έχουν αναδειχθεί ως βέλτιστα στην σύγκρισή τους με το Σενάριο 1. Επομένως για την τελική επιλογή του καταλληλότερου σεναρίου επέμβασης σχετικά με τη συγκεκριμένη διατομή, είναι σημαντική η αξιολόγηση τους βάσει των δεικτών που έχουν αναφερθεί παραπάνω.

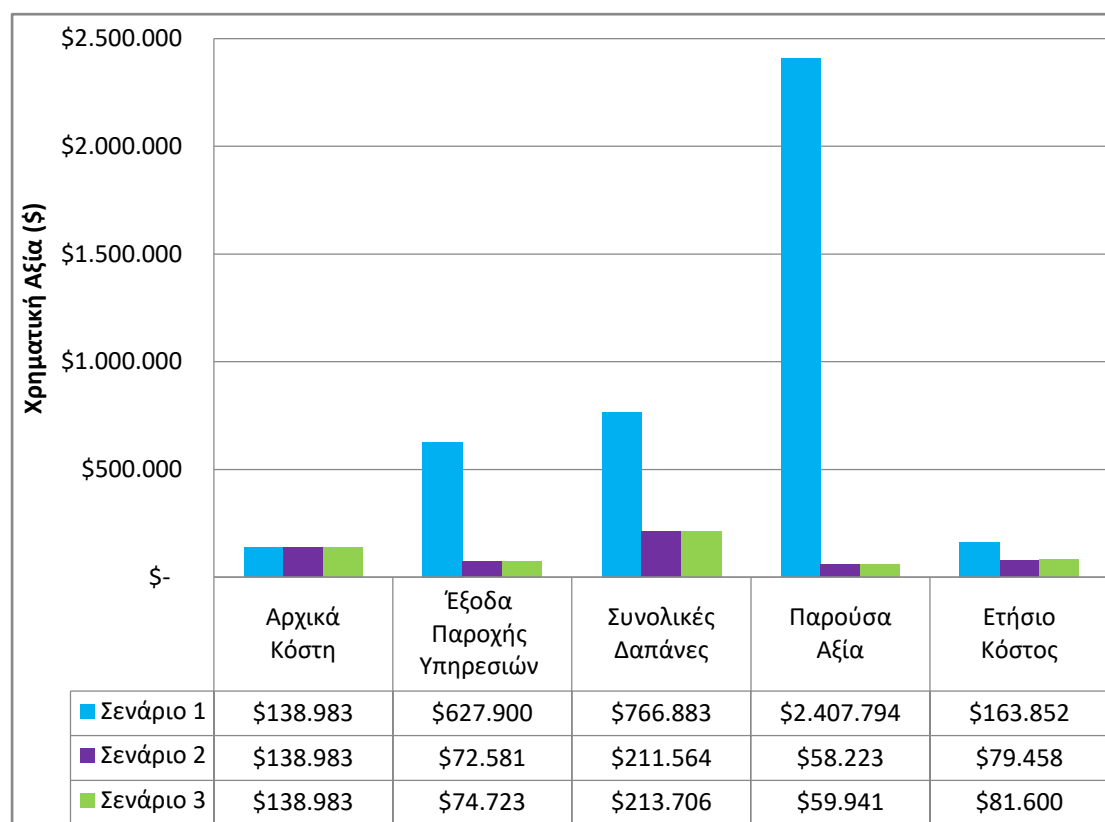


Εικόνα 6.10: Συγκριτική Αξιολόγηση Σεναρίων 2-3

Σύμφωνα λοιπόν με το διάγραμμα της Εικόνας 6.10, η μικρή διαφορά που παρατηρήθηκε παραπάνω σχετικά με τα έξοδα παροχής υπηρεσιών εξακολουθεί να υπάρχει και στους υπόλοιπους δείκτες καθιστώντας έτσι το Σενάριο 2, δηλαδή τη διάστρωση της Συνδεδεμένης Επίστρωσης Σκυροδέματος, ως τη βέλτιστη μεταξύ τους επιλογή.

6.4.5 Συνολικά Αποτελέσματα

Με στόχο λοιπόν την ολοκληρωμένη απεικόνιση των αποτελεσμάτων των τριών παραπάνω Συγκριτικών Αξιολογήσεων, παρατίθεται στην Εικόνα 6.11 ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα στο οποίο εμφανίζονται αναλυτικά τα εναλλακτικά σενάρια επέμβασης.



Εικόνα 6.11: Συγκεντρωτική Απεικόνιση Αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Ο δείκτης σχετικά με τα **Αρχικά Κόστη** δεν προσφέρει καμία πληροφορία σχετικά με την βέλτιστη επιλογή σεναρίου.
2. Σύμφωνα με τον δείκτη **Έξοδα Παροχής Υπηρεσιών**, όπως και με τον δείκτη **Συνολικές Δαπάνες**, το χαμηλότερο κόστος έχει το Σενάριο 2 με μικρή διαφορά από το 3, ενώ το Σενάριο 1 παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση και από τα δύο μιας και είναι το ακριβότερο.
3. Ο δείκτης της **Παρούσας Αξίας** παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή του στο Σενάριο 1, η οποία είναι και πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των δύο εναλλακτικών Σεναρίων με το Σενάριο 2 να παρουσιάζει την μικρότερη τιμή.
4. Τέλος, όσο αφορά τον δείκτη του **Ετήσιου Κόστους** το Σενάριο 2 διαθέτει το χαμηλότερο συγκριτικά με τα υπόλοιπα.

Συμπερασματικά, το Σενάριο 2 προσφέρει την καλύτερη δυνατή σχέση απόδοσης-κόστους αφού συνδυάζει χαμηλά Έξοδα Παροχής Υπηρεσιών, Συνολικές Δαπάνες και Ετήσιο Κόστος. Όσον αφορά στον δείκτη της Παρούσας Αξία στο Σενάριο 2, παρουσιάζεται μειωμένος διότι αρχικά τα μειωμένα Έξοδα Παροχής Υπηρεσιών του κατανέμονται σε μικρότερα ποσά σε βάθος χρόνου με την συνολική παρούσα αξία τους να είναι μειωμένη, και έπειτα λόγω των

εργασιών αποκατάστασης που ολοκληρώνονται σε συντομότερο χρονικό διάστημα δημιουργώντας μικρότερες μελλοντικές δαπάνες. Επομένως, το **Σενάριο 2** κρίνεται το οικονομικότερο ως προς την εφαρμογή του για το υφιστάμενο οδόστρωμα και η μέθοδος αποκατάστασης οδοστρώματος της Συνδεδεμένης Επίστρωσης Σκυροδέματος η πλέον κατάλληλη.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστίασε στη μελέτη των χαρακτηριστικών των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων και στις μεθόδους αποκατάστασης και συντήρησής τους. Αναλύθηκαν οι κύριοι τύποι δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (Κεφάλαιο 2) και οι φθορές που συνήθως εμφανίζουν κατά τη διάρκεια της ζωής τους (Κεφάλαιο 3). Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη σημασία της προληπτικής συντήρησης (Κεφάλαιο 4), καθώς αυτή μπορεί να συμβάλει στην παράταση της ζωής των οδοστρωμάτων και στη μείωση των δαπανών αποκατάστασης. Παρουσιάστηκαν οι κύριες μέθοδοι συντήρησης και αποκατάστασης (Κεφάλαιο 5) και πραγματοποιήθηκε η συγκριτική αξιολόγηση τριών διαφορετικών σεναρίων αποκατάστασης μέσω της μεθόδου AASHTO και με τη χρήση του λογισμικού WinPas (Κεφάλαιο 6). Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης ανάλυσης η μέθοδος Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis-LCCA) έργου αξιοποιήθηκε για την αξιολόγηση των τριών εναλλακτικών σεναρίων αποκατάστασης με στόχο την ανάδειξη της οικονομικά βέλτιστης λύσης. Η μελέτη αυτή οδήγησε σε σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν τόσο τις τεχνικές επεμβάσεις, όσο και τη συνολική οικονομική βιωσιμότητα των προτεινόμενων λύσεων.

Συγκεκριμένα, τα τρία εναλλακτικά σενάρια που εξετάζονται συμβολίζονται ως:

- Σενάριο 1, το οποίο αντιστοιχεί σε Τακτική Συντήρηση του οδοστρώματος με σφράγιση ρωγμών κάθε τέσσερα χρόνια,
- Σενάριο 2, το οποίο αντιστοιχεί σε Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος σε υφιστάμενο οδόστρωμα και
- Σενάριο 3, το οποίο αντιστοιχεί σε Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος σε υφιστάμενο οδόστρωμα.

Τα τρία αυτά σενάρια υπόκεινται σε Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA) αξιολογώντας δείκτες όπως το αρχικό κόστος κατασκευής, τα έξοδα παροχής υπηρεσιών, οι συνολικές δαπάνες, η παρούσα αξία και το ετήσιο κόστος.

Από την συγκριτική αξιολόγηση των τριών αυτών σεναρίων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Το Σενάριο 2, που αφορά στη Συνδεδεμένη Επίστρωση σκυροδέματος (Bonded Concrete Overlay), φαίνεται ότι είναι η πλέον αποδοτικότερη λύση, καθώς επιτυγχάνει χαμηλότερο ετήσιο κόστος συντήρησης και προσφέρει τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο οδόστρωμα. Συγκρινόμενο με τα άλλα δύο σενάρια, το κόστος αποκατάστασης ήταν το χαμηλότερο, ενώ οι επιδιορθώσεις ήταν γρήγορες και λιγότερο απαιτητικές σε βάθος χρόνου. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί πως κανείς θα περίμενε μεγαλύτερη διαφορά στα κόστη ανάμεσα στο Σενάριο 2 και 3, εξαιτίας του μεγαλύτερου πάχους σκυροδέματος που διαθέτει το Σενάριο 3. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ο προσεκτικός καθαρισμός της επιφάνειας που αυξάνει το κόστος παροχής υπηρεσιών, αλλά και την συνολική διαδικασία εφαρμογής και συνεπώς τις συνολικές δαπάνες. Ο δεύτερος λόγος είναι η σφράγιση όλων των ρωγμών στο Σενάριο 2, σε αντίθεση με το 3 στο οποίο σφραγίζονται μόνο οι ρωγμές μεγάλης σοβαρότητας. Επομένως, όντως η διαφορά στο πάχος του σκυροδέματος δημιουργεί διαφορά στο κοστολόγιο του κάθε σεναρίου, όμως οι επιμέρους εργασίες μειώνουν αυτή τη διαφορά.

2. Το Σενάριο 3, δηλαδή η Μη Συνδεδεμένη Επίστρωση Σκυροδέματος (Unbonded Concrete Overlay), η ανάλυση έδειξε πως παρουσίασε επίσης υψηλό επίπεδο αποδοτικότητας, με τα έξοδα παροχής υπηρεσιών του όμως να είναι υψηλότερα από το Σενάριο 2. Τα αυξημένα έξοδα παροχής υπηρεσιών του Σεναρίου 3 ήταν κάτι αναμενόμενο, καθώς η θεμελιώδης διαφορά των δύο επιστρώσεων έγκειται στο διαφορετικό πάχος επίστρωσης που απαιτείται στην συνδεδεμένη επίστρωση, το οποίο εξαιτίας της μονολιθικότητας της διατομής είναι μικρότερο και επομένως οικονομικότερο. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του Σεναρίου 2, δηλαδή το αυξημένο πάχος επίστρωσης σκυροδέματος, χωρίς να έχει προηγηθεί διαδικασία απόξεσης προκαλεί εν γένει πρόβλημα σχετικά με το υψόμετρο της οδού. Παρόλα αυτά, σε σχέση με το Σενάριο 1 (Τακτική Συντήρηση), αποδείχθηκε μακροπρόθεσμα πιο οικονομικό, καθώς μείωσε τα μελλοντικά κόστη συντήρησης επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.
3. Τέλος το Σενάριο 1, ή η Τακτική Συντήρηση, αναδείχθηκε ως η λιγότερο οικονομική επιλογή, τόσο σε επίπεδο εξόδων παροχής υπηρεσιών όσο και ετήσιου κόστους. Ωστόσο, η παρούσα αξία παρουσιάζεται πολύ υψηλή, γεγονός που καθιστά την μέθοδο Τακτική Συντήρησης ελκυστική επιλογή όταν το ζητούμενο είναι η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση επένδυσης μακροπρόθεσμα. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της παρούσας αξίας τόσο μεγαλύτερη αξία έχει σήμερα η επένδυση, άρα και πιο επικερδής. Επομένως, με ζητούμενο την μεγιστοποίηση της απόδοσης της επένδυσης και παραβλέποντας τα υψηλότερα κόστη, το Σενάριο 1 αποτελεί την κατάλληλη επιλογή. Όμως, η παρούσα ανάλυση λαμβάνει υπόψιν της τις μελλοντικές δαπάνες και η βέλτιστα οικονομικά επιλογή είναι το Σενάριο 2, έχοντας μέτριες αποδόσεις επένδυσης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως παρά το γεγονός ότι αυτή η μέθοδος επιτρέπει μικρές, τακτικές επεμβάσεις, το συνολικό κόστος σε βάθος χρόνου ήταν το υψηλότερο από τα τρία σενάρια. Ο λόγος που συνέβη αυτό είναι διότι η Τακτική Συντήρηση έχει σημασία να γίνεται διαρκώς και όποιες φθορές εντοπίζονται να επιδιορθώνονται κατάλληλα και απευθείας. Δεν αποτελεί αποτελεσματική μέθοδο συντήρησης του οδοστρώματος μια πάγια συντήρηση σε τακτά διαστήματα, όπως και αποδείχθηκε.

Το οδόστρωμα χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση για τη διατήρηση του σε υψηλά επίπεδα λειτουργικότητας και εξυπηρετικότητας. Η προληπτική συντήρηση των οδοστρωμάτων είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος επίτευξης του συγκεκριμένου στόχου, αλλά και ένα μέσο παράτασης της διάρκειας ζωής τους. Με γνώμονα, λοιπόν τα συμπεράσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, η παρούσα διπλωματική εργασία προτείνει τις ακόλουθες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και βελτίωση:

- Η αξιοποίηση νέων υλικών τα οποία μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα των οδοστρωμάτων ή να μειώσουν το κόστος κατασκευής και συντήρησης είναι σημαντική για την επόμενη φάση της έρευνας. Υλικά όπως σύνθετες ύλες ή καινοτόμες τεχνικές επισκευής δύναται να συμβάλουν στην αποδοτικότερη συντήρηση του οδοστρώματος.
- Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA) που εφαρμόστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να εμπλουτιστεί περαιτέρω με πιο εξειδικευμένα μοντέλα, λαμβάνοντας υπόψιν παράγοντες όπως το περιβαλλοντικό κόστος, οι επιπτώσεις στην κυκλοφορία και η κοινωνική ευημερία. Καθώς επίσης η εφαρμογή πιο εξελιγμένων μοντέλων θα μπορούσε να παρέχει πιο ακριβείς εκτιμήσεις για το συνολικό κόστος των παρεμβάσεων.
- Η εγκατάσταση και η αξιοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης και καταγραφής της κατάστασης των οδοστρωμάτων σε τακτά χρονικά διαστήματα μπορεί να συμβάλει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τις

ενέργειες αποκατάστασης και συντήρησης του οδοστρώματος. Οι αισθητήρες και η τεχνολογία IoT (Internet of Things) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συνεχή συλλογή δεδομένων σχετικά με την κατάσταση του οδοστρώματος, επιτρέποντας έτσι την άμεση εφαρμογή προληπτικών επεμβάσεων αλλά και την συνολική επισκόπηση της κατάστασης του.

- Οι κλιματολογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της Ελλάδας διαφοροποιούν τις ανάγκες συντήρησης και αποκατάστασης των οδοστρωμάτων της σε σχέση με εκείνα που βρίσκονται σε άλλες χώρες. Η προσαρμογή των μεθόδων συντήρησης στα συγκεκριμένα δεδομένα της χώρας, καθώς και η ενσωμάτωση τοπικών υλικών και τεχνικών, θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εξόδων και τη βελτίωση της απόδοσης των επεμβάσεων.
- Για την υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών και την αξιοποίηση της διεθνούς εμπειρίας, είναι σημαντική η συνεχής εκπαίδευση μηχανικών και τεχνικών σε νέες μεθόδους και τεχνικές συντήρησης. Η διοργάνωση σεμιναρίων και η παροχή πληροφοριών μέσω τεχνικών δημοσιεύσεων μπορεί να συμβάλει στην περαιτέρω ενίσχυση της τεχνογνωσίας στον τομέα της συντήρησης οδοστρωμάτων.

Με την εφαρμογή των παραπάνω προτάσεων, η συντήρηση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων στην Ελλάδα ενδέχεται να γίνει πιο αποτελεσματική και βιώσιμη, μειώνοντας το συνολικό κόστος της προς όφελος της κοινωνίας και του περιβάλλοντος.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AASHTO. (2001). *Geometric Design Guidelines for very low-volume roads*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington, D. C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2015). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice*. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2012). *Windows Pavement Analysis Software (WinPAS) Guide*. American Concrete Pavement Association.
- Austrroads. (1992). *Pavement Design. A Guide to the Structural Design of Road Pavements*. Sydney.
- Austrroads. (2004). *Pavement Design. A Guide to the Structural Design of Road Pavements*. Sydney.
- Ayanlere, S., Ajamu, S., Odeyemi, S., Ayayi, O., & Kareem, M. (2023). Effects of water-cement ratio on bond strength of concrete. *Materials Today:Proceedings*, 86 (7) , 134-139.
- Ayers, M., Cackler, T., Fick, G., Harrington, D., Schwartz, D., Smith, K., et al. (2019). *Overview of the Guide for Concrete Pavement Distress Assessments and Solutions*. Sabrina Shields-Cook.
- Chindaprasirt, P., Sujumnongtoku, P., & Posi, P. (2019). Durability and Mechanical Properties of Pavement Concrete Containing Bagasse Ash. *Materials Today: Proceeding*, 17 (4) , 1612-1626.
- Chopra, M., Wanielista, M., & Spence, J. (2007). *Construction and Maintenance Assessment of Pervious Concrete Pavements, Final Report, Research Program*. Florida Department of Transportation.
- Department of Transportation of the State of New Jersey. (2015). *Roadway Design Manual*. New Jersey.
- Federal Highway Administration. (2005). *Techbrief: Concrete Pavement Rehabilitation and Preservation Treatments*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Gerges, N. (2009). *Distresses and Treatment/Repair Methods in Flexible and Rigid Pavements*. Continuing Education and Development.
- Indian Roads Congress. (2018). *Guidelines for Maintenance, Repair and Rehabilitation of Cement Concrete Pavements*. New Delhi: Indian Roads Congress.
- Jung, Y. S., Freeman, T. J., & Zollinger, D. G. (2008). *Guidelines for Routine Maintenance of Concrete Pavement*. Texas Transportation Institute.
- Kukjoo, K., Sanghyun, C., Bongsuk, P., & Sangyoung, H. (2021). Precast Prestressed Concrete Pavement (PPCP): Effect of Thermal Gradient on Curling Deflection and Stress. *Construction and Building Materials*, 274 (121966) .
- Ley, T., Hajibabbee, A., Kadam, S., & Frazier, R. (2010). *Development and Implementation of a Mechanistic and Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) for Rigid Pavements, Annual Report for FY 2010*. Oklahoma: Department of Transportation or the Federal Highway.
- Mehta, P., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2014). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fifth Revised Edition)*. Washington: Federal Highway Administration.
- Ortega, J. J., Ruiz, G., Yu, R. C., Afanador-Garcia, N., Tarifa, M., Poveda, E., et al. (2018). Number of Tests and Corresponding Error in Concrete Fatigue. *International Journal of Fatigue*, 116 , 210-219.

- Pandey, V. K., & Srivastava, S. (2021). A Review on Failure of Rigid Pavement. *Dogo Rangang Research Journal*, 11 (1) , 548-553.
- Peshkin, D. G., Hoerner, T. E., & Zimmerman, K. A. (2004). *The Optimal Time for Preventive Maintenance: Concepts and Practice*. Transportation Research Board.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D. Y., & Kennedy, T. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Second Edition*. Lanham: NAPA Education Foundation.
- Sarfraz, A. (2011). *Fracture Characterization of Thin Bonded Asphalt Concrete Overlay Systems*. Urbana, Illinois: Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois at Urbana Champaign.
- Seruga, A., Smaga, A., & Szydłowski, R. (2006). *Prestressed Concrete Pavements, 10th International Symposium on Concrete Roads*. Brussels.
- Shahi, P. (2016). *Pavement Design Guidelines (Rigid Pavements)*. Nepal: Government of Nepal, Ministry of Physical Infrastructure and Transport Department of Roads Planning Monitoring and Evaluation Unit.
- Smith, R., Freeman, T., & Pendleton, O. (1993). *Pavement Maintenance Effectiveness, Strategic Highway Research Program*. Washington,DC: National Academy of Sciences.
- Tan, Q., Zhu, H., Yang, S., Yang, X., & Ou, L. (2024). Precast Assembled Road Paving Technology: Progress and Prospects. *Materials*, 17 (10) , p. 2245.
- Tayabji, S., Ye, D., & Buch, N. (2013). Precast Concrete Pavements: Technology Overview and Technical Considerations. *PCI Journal*, 58 (1) , 112-128.
- Thiele, M., & Pirsakawetz, S. (2022). Analysis of Damage Evolution in Concrete under Fatigue Loading by Acoustic Emission and Ultrasonic Testing. *Materials - Cyclic Deterioration of Concrete*, 15 (1):341 .
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (1999). *Pavement Preventive Maintenance, Participant Workbook*. National Highway Institute.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (1989). *Rigid Pavement Analysis and Design*. Urbana, Illinois: Department of Civil Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Yoder E. J., Witczak M. W. (1975). *Αρχές Σχεδιασμού Οδοστρωμάτων* (Δεύτερη Αμερικάνικη Έκδοση ed.). Μ. Γκιούρδας.
- Αγγελόπουλος, Δ. (2023). *Φθορές σε Εύκαμπτα και Δύσκαμπτα Οδοστρώματα και Μέθοδοι Συντήρησης - Αποκατάστασης των*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Γερόνικος, Κ. (2018). *Ανάπτυξη Μοντέλου Βελτιστοποίησης Κατανομής Πόρων για την Επιδιόρθωση και Συντήρηση των Οδοστρωμάτων (Σε Μια Διοικητική Περιφέρεια)*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Δαναηλίδου, Χ. Γ. (2014). *Τεχνική και Οικονομική Αξιολόγηση των Μεθόδων Συντήρησης Οδοστρωμάτων*. Θεσσαλονίκη.
- Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. (2015). ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-01-01-03-00: Συντήρηση του Σκυροδέματος, Β' (1890). *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας* , 17539-17540.
- Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. (2016). Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος. *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, Β' (1561) , 116.
- Καλτσούνης, Α. (2007, Μάιος). Οδοποιία Ιστορική Αναδρομή. *Τεχνικά Χρόνια* .
- Κόλιας, Σ. (1998). *Σκυρόδεμα (Υπενθύμιση Βασικών Αρχών Τεχνολογίας Σκυροδέματος)*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κυριακού, Χ. (2021). *Διερεύνηση Μεθόδων Σχεδιασμού Δύσκαμπτων Οδοστρωμάτων και Συγκριτική Αξιολόγηση τους*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Λοΐζος, Α., & Πλατή, Χ. (2024). *Σημειώσεις για το μάθημα "Αξιολόγηση και Συντήρηση Οδοστρωμάτων"*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Οδοστρωμάτων.

Λοΐζος, Α., & Πλατή, Χ. (2023). *Σημειώσεις για το μάθημα "Σχεδιασμός Οδοστρωμάτων Οδών και Αεροδρομίων"*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Οδοστρωμάτων.

ΠΕΤΕΠ 1501-05-03-01-00. (2017). *Στρώση Έδρασης Οδοστρώματος από Ασύνδετα Εδαφικά Υλικά*. Αθήνα: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης.

Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος. (2013). *Τεχνική Οδηγία 4*. In Σ. Π. Ελλάδος, *Δάπεδα απο Σκυρόδεμα (Πλάκες επί εδάφους)* (66). Αθήνα: Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος.

Τσακαλάκης, Κ. (2020). *Σημειώσεις μαθήματος "Τεχνολογία Δομικών Υλικών - Αδρανή Σκυροδέματος"*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.