

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ Π. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΩ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΒΟΛΟΣ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2010

ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ Π. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΩ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Υποβλήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
της Πολυτεχνικής Σχολής
του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 22 Ιουλίου 2010**

Εξεταστική Επιτροπή

Αναπλ. Καθηγητής Ν. Ηλιού, Επιβλέπων

Καθηγητής Αν. Μουρατίδης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Καθηγητής Αντ. Γιαννακόπουλος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Καθηγητής Ανδρ. Λοΐζος, Μέλος Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Καθηγητής Γ. Μίντσης, Μέλος Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Επικ. Καθηγητής Κ. Βογιατζής, Μέλος Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Επικ. Καθηγητής Αλ. Κοκκάλης, Μέλος Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

© Γρηγόριος Π. Παπαγεωργίου

© Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΜΕΣΩ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

ISBN

«Η έγκριση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως» (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2)

Στους γονείς μου
Πέτρο και Γλυκερία,
για όλα όσα μου έδωσαν και δίνουν.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή είναι αποτέλεσμα συνεχούς και αδιάλειπτης πολύχρονης προσπάθειας και φιλοδοξεί να προωθήσει την επιστημονική έρευνα στο πεδίο της αξιολόγησης και αναβάθμισης του υφιστάμενου οδικού δικτύου.

Παρά τα πολλά εμπόδια τα οποία εμφανίστηκαν στον δρόμο προς την ολοκλήρωση, η πορεία, οι προσωπικές εμπειρίες, η ικανοποίηση της έρευνας και το τελικό αποτέλεσμα δικαίωσαν τις προσωπικές θυσίες. Οι επαγγελματικές υποχρεώσεις για βιοποριστικούς λόγους, μαζί με τις αυτονόητες οικογενειακές και προσωπικές, δεν αποτέλεσαν τροχοπέδη στην επιμονή και υπομονή του συγγραφέα. Άλλωστε, η «Ιθάκη» δεν είναι το μόνο κέρδος, εξίσου μεγάλη ανταμοιβή είναι και η πορεία προς αυτήν.

Βέβαια, όλα τα παραπάνω θα ήταν ίσως ανέφικτα χωρίς την ουσιαστική και πολλές φορές καταλυτική συμβολή ατόμων του οικογενειακού, ακαδημαϊκού και φιλικού περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, αισθάνομαι την υποχρέωση και τη χαρά να ευχαριστήσω ιδιαίτερω και ειλικρινώς:

Τον αναπλ. καθηγητή του τμήματος κ. Νικόλαο Ηλιού, που ως επιβλέπων στήριξε και ενθάρρυνε την προσπάθειά μου, σε επιστημονικό και προσωπικό επίπεδο.

Τον καθηγητή του Α.Π.Θ. κ. Αναστάσιο Μουρατίδη, για την επιστημονική συμβολή και την προσωπική υποστήριξη, που υπήρξε ουσιώδης και τις περισσότερες φορές καταλυτική για την ολοκλήρωση της διατριβής.

Τον καθηγητή του τμήματος κ. Αντώνιο Γιαννακόπουλο για τις πολύτιμες παρατηρήσεις του.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τη γυναίκα μου, για την αρωγή και την κατανόηση που έδειξε. Τέλος, αν και τα λόγια δεν μπορούν να αποδώσουν την ευγνωμοσύνη προς τους γονείς μου, για τη στήριξη και την αγόγγυστη προσπάθεια - με στερήσεις και ιδρώτα - να μου παρέχουν όλα τα δυνατά εφόδια ώστε να πραγματοποιήσω τα όνειρα και τις επιλογές μου στη ζωή, τους ευχαριστώ για κάθε στιγμή ξεχωριστά, της πολύχρονης προσπάθειας για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Οδοποιία και συντήρηση οδών.....	2
1.2 Στόχος της διατριβής.....	6
1.3 Δομή και περιεχόμενα.....	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΑΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

2.1 Ανάγκες συντήρησης και αναβάθμισης των οδών.....	12
2.1.1 Ιστορική ανασκόπηση.....	12
2.1.2 Ορισμοί.....	19
2.1.3 Γενικά για τη συντήρηση οδοστρωμάτων.....	20
2.1.4 Το πλαίσιο ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ).....	21
2.1.5 Τα δύο επίπεδα (δικτύου και έργου) – Διαφορές.....	23
2.1.6 Η βασική αρχιτεκτονική δομή των σύγχρονων ΣΔΟ.....	23
2.2 Χαρακτηριστικά λειτουργικής και δομικής κατάστασης οδοστρώματος	24
2.2.1 Αντιολισθηρότητα.....	25
2.2.1.1 Μέτρηση & εκτίμηση αντιολισθηρότητας – Όρια συντελεστών τριβής οδοστρώματος	26
2.2.2 Ομαλότητα.....	28
2.2.2.1 Δείκτες ομαλότητας	28
2.2.2.2 Μέτρηση Ομαλότητας – Εξοπλισμός	30
2.2.2.2.1 Προφίλογράφοι (Profilographs)	30
2.2.2.2.2 Ride Meters	31
2.2.2.2.3 Προφίλόμετρα αδράνειας (Inertial Profilers)	31
2.2.3 Επιφανειακή υφή (μικροϋφή-μακροϋφή-μεγαϋφή).....	32

2.2.3.1 Μέτρηση της μικροϋφής του οδοστρώματος	34
2.2.3.2 Μέτρηση της μακροϋφής του οδοστρώματος	34
2.2.4 Φθορές- Δομική κατάσταση οδοστρώματος.....	36
2.2.5 Δείκτες	36
2.2.5.1 Σύνθετοι δείκτες κατάστασης των οδοστρωμάτων	36
2.2.5.1.1 Κατηγορίες και δημιουργία σύνθετων δεικτών	37
2.2.5.2 Συσχέτιση λειτουργιών – χαρακτηριστικών σε σχέση με την κατάσταση του οδοστρώματος.....	38
2.2.6 Κυκλοφοριακά δεδομένα (Traffic data).....	40
2.2.6.1 Χρήση των κυκλοφοριακών δεδομένων σε ΣΔΟ (σε επίπεδα έργου και δικτύου).....	41
2.2.7 Σύστημα αναφοράς της θέσης (Location Referencing).....	41
2.2.7.1 Γραμμική αναφορά θέσης (Linear Referencing).....	41
2.2.7.2 Χωρική αναφορά θέσης (Spatial Referencing)	42
2.2.8 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών	43
2.2.9 Συχνότητα συλλογής δεδομένων.....	44
2.2.10 Επίπεδα ποιότητας πληροφοριών σε Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων	44
2.2.10 Χαρακτηριστικά δεδομένων και ιδιότητες	46
2.3 Μοντέλα πρόβλεψης της επιδείνωσης της κατάστασης των οδοστρωμάτων	47
2.3.1 Βασικοί τύποι των μοντέλων πρόβλεψης	48
2.4. Κριτήρια / Βελτιστοποίηση	51
2.4.1 Μέθοδοι βελτιστοποίησης	54
2.4.2 Οικονομική ανάλυση– Προτεραιοποίηση (Prioritisation).....	55
2.5 Εφαρμογή των ΣΔΟ στις διάφορες χώρες.....	56
2.5.1 Γενικά.....	56
2.5.2 Το πρόγραμμα HDM της Παγκόσμιας Τράπεζας	56

2.5.3 ΗΠΑ	58
2.5.4 Καναδάς	60
2.5.5 Αυστραλία – Νέα Ζηλανδία	61
2.5.6 Ευρώπη	61
2.5.6.1 Ηνωμένο Βασίλειο	61
2.5.6.2 Σκανδιναβικές Χώρες	63
2.5.6.3 Άλλες Ευρωπαϊκές χώρες.....	64
2.6. Εφαρμογή των ΣΔΟ στην Ελλάδα.....	65
2.6.1 Γενικά	66
2.6.2 Το Πρόγραμμα RIMES	66
2.6.3 Αξιολόγηση της ομαλότητας υφιστάμενων ασφαλικών οδοστρωμάτων	66
2.6.4 Προπαρασκευαστικά βήματα εφαρμογής ΣΔΟ στην Εγνατία Οδό.....	67
2.6.4.1 Μετρήσεις κατάστασης οδοστρωμάτων στην Εγνατία Οδό.....	68
2.6.5 Προγράμματα Διαχείρισης Συντήρησης Οδοστρωμάτων και Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων	69
2.6.5.1 Σύστημα Διαχείρισης Συντήρησης Οδοστρωμάτων PAVMAIN.....	70
2.6.5.2 Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων ΔΟΔΟ/ΝΕ.....	71
2.6.5.3 Σύστημα για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στις Υπηρεσίες διαχείρισης της συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα.....	73
2.6.5.4 Ανάπτυξη Εμπείρου Συστήματος για τη Διαχείριση Οδοστρωμάτων..	74
2.6.5.5 Πρόγραμμα RIMS (Road Infrastructure Management System).....	75
2.6.5.5.1 Γενικά	75
2.6.5.5.2 Ο στόχος του Έργου.....	76
2.6.5.5.3 Θέσεις του πιλοτικού δικτύου	77
2.6.5.5.4 Μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης του οδοστρώματος.....	77
2.6.5.5.5 Δείκτες κατάστασης – Εξοπλισμός συλλογής δεδομένων.....	78
2.6.5.5.6 Συμπεράσματα του προγράμματος.....	79

2.6.6 Αξιολόγηση των Προγραμμάτων Διαχείρισης της Συντήρησης Οδοστρωμάτων και των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων.....	80
2.6.6.1 Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων PAVMAIN.....	80
2.6.6.2 Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων ΔΟΔΟ/ΝΕ	80
2.6.6.3 Σύστημα για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στις Υπηρεσίες διαχείρισης της συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα.....	81
2.6.6.4 Ανάπτυξη Εμπειρού Συστήματος για τη Διαχείριση Οδοστρωμάτων (Πάνος και λοιποί 2002).....	81
2.6.6.5 Πρόγραμμα RIMS (Road Infrastructure Management System).....	82
2.7 Προτάσεις για την εφαρμογή και λειτουργία Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) στην Ελλάδα	82
2.7.1 Γενικά	82
2.7.2 Μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης των Οδοστρωμάτων	82
2.7.3 Οργάνωση συλλογής δεδομένων της κατάστασης των οδοστρωμάτων	83
2.7.4 Εξοπλισμός Αξιολόγησης Οδοστρωμάτων	84
2.7.5 Απαραίτητες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη και λειτουργία ΣΔΟ στην Ελλάδα	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

3.1 Φιλοσοφία ορισμού των ορίων επιφυλακής & συναγερμού στα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων.....	89
3.1.1 Επιλογή δραστηριοτήτων συντήρησης βάσει των ορίων επιφυλακής και συναγερμού των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος.....	89
3.1.1.1 Δείκτης επικινδυνότητας του οδοστρώματος (PDI).....	92
3.1.1.2 Ανάπτυξη του δείκτη PDI για εύκαμπτα οδοστρώματα.....	93
3.1.1.3 Επεμβάσεις συντήρησης.....	95
3.1.1.4 Προσομοίωση των επιπτώσεων των επεμβάσεων συντήρησης στην κατάσταση του οδοστρώματος.....	95
3.2. Ανάπτυξη Μοντέλων Πρόβλεψης PSR	97

3.2.1 Κατηγορίες απόδοσης.....	98
3.2.2 Συνθήκη ονομασίας μοντέλων.....	98
3.2.3 Τύπος μαθηματικού μοντέλου	99
3.2.4 Διαδικασία παραγωγής μοντέλων συμπεριφοράς.....	99
3.2.4.1 Εξαγωγή ιστορικών στοιχείων.....	100
3.2.4.2 Φιλτράρισμα στοιχείων	100
3.2.4.3 Ταξινόμηση στοιχείων	101
3.2.4.4 Διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία	102
3.2.4.5 Αρχική κατάσταση.....	103
3.2.5 Διάρκεια ζωής οδοστρώματος και επίπεδα συναγερμού.....	103
3.2.6 Ανάπτυξη των μοντέλων πρόβλεψης ρηγματώσεων.....	104
3.2.6.1 Μοντέλο πρόβλεψης ρηγματώσεων.....	104
3.2.6.2 Ανάπτυξη των μοντέλων ρηγματώσεων.....	104
3.2.6.3 Τελικό σύνολο μοντέλων πρόβλεψης ρηγματώσεων.....	105
3.3 Προσέγγιση για την ένταξη συντήρησης σε σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων (ΣΔΟ)	106
3.3.1 Δημιουργία των τμημάτων ανάλυσης και πρόβλεψη της απόδοσης οδοστρωμάτων... ..	106
3.3.2 Επιλογή επεξεργασίας.....	107
3.4 Δέντρα Απόφασης	110
3.4.1 Δέντρα απόφασης προληπτικής συντήρησης	110
3.4.2 Δέντρα απόφασης διορθωτικής συντήρησης	111
3.4.3 Επίπεδα απόδοσης για τα δέντρα απόφασης.....	112
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΦΘΟΡΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	
4.1 Εισαγωγή.....	116
4.2 Φθορές οδοστρωμάτων.....	116

4.2.1 Η τεχνολογία συλλογής δεδομένων για τις φθορές των οδοστρωμάτων.....	117
4.2.2 Κόστος συλλογής δεδομένων	118
4.2.3 Σκοπός της συλλογής δεδομένων για τις φθορές οδοστρωμάτων.....	119
4.2.4 Ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής δεδομένων λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων	119
4.3 Δομική κατάσταση Οδοστρώματος.....	121
4.3.1 Μέτρηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος με τη χρήση αισθητήρων laser (High Speed Deflectograph)	123
4.3.1.1 Σύγκριση του High Speed Deflectograph με το FWD.....	123
4.3.2 Άλλες συσκευές αξιολόγησης των οδοστρωμάτων - Ground Penetrating Radar	124
4.3.3 Καταγραφή συστημάτων μέτρησης χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων στις ΗΠΑ	124
4.4 Ορισμοί και διάκριση φθορών.....	125
4.5 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων και μέτρηση επιφανειακών χαρακτηριστικών.....	126
4.5.1 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων.....	126
4.5.2 Αξιολόγηση λειτουργικής κατάστασης οδοστρώματος με οπτική επιθεώρηση.....	127
4.5.3 Αξιολόγηση λειτουργικής κατάστασης με μηχανήματα μέτρησης επιφανειακών χαρακτηριστικών.....	128
4.6 Υπόβαθρο και στόχοι καταγραφής φθορών.....	128
4.6.1 Στόχοι στρατηγικού σχεδίου για την ανάλυση του προγράμματος LTPP.....	129
4.7 Οφέλη από την καταγραφή των φθορών οδοστρώματος.....	130
4.8 Τυποποίηση των στοιχείων φθορών για τη διαχείριση οδοστρωμάτων.....	130
4.9 Αξιολόγηση Υφιστάμενων Οδοστρωμάτων εν όψει Επεμβάσεων Συντήρησης.....	131
4.9.1 Εισαγωγή	131

4.9.1.1	Σημαντικές πτυχές της αξιολόγησης οδοστρωμάτων.....	132
4.9.1.2	Καθορισμός της αξιολόγησης οδοστρώματος σε επίπεδο έργου.....	133
4.9.1.3	Σχέδιο αξιολόγησης.....	134
4.9.2	Οδηγίες για τη συλλογή δεδομένων	140
4.9.2.1	Επισκόπηση	140
4.9.2.2	Ιστορικά στοιχεία.....	141
4.9.2.3	Στοιχεία συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων	141
4.9.2.4	Στοιχεία που απαιτούνται για τη γενική αξιολόγηση της κατάστασης και τον καθορισμό του προβλήματος	142
4.9.2.5	Έρευνα φθορών.....	146
4.9.2.6	Μετρήσεις\στοιχεία ομαλότητας.....	152
4.9.2.7	Έρευνα απορροής και αποστράγγισης.....	153
4.9.2.8	Μη καταστρεπτική δοκιμή (nondestructive testing).....	154
4.9.2.9	Καταστρεπτική δοκιμή οδοστρωμάτων.....	155
4.10	Γενική αξιολόγηση της κατάστασης και καθορισμός του προβλήματος.....	157
4.10.1	Δομική επάρκεια.....	159
4.10.2	Λειτουργική επάρκεια.....	162
4.10.3	Επάρκεια αποστράγγισης.....	163
4.10.4	Διάρκεια ζωής υλικών.....	165
4.10.5	Εφαρμογές συντήρησης.....	167
4.10.6	Επάρκεια ερεισμάτων.....	168
4.10.7	Μεταβλητότητα κατά μήκος της οδού.....	168
4.11	Περίληψη.....	169
4.12	Φιλοσοφία καταγραφής φθορών οδοστρώματος.....	171
4.12.1	Υφιστάμενη μεθοδολογία κατάταξης φθορών	171
4.12.2	Ανεπάρκεια στοιχείων καταγραφής φθορών	171
4.12.3	Διερεύνηση των αιτιών	172

4.12.5 Προτεινόμενο περιεχόμενο στοιχείων καταγραφής φθορών	173
4.12.5.1 Περιγραφή φθορών.....	173
4.12.5.2 Μέγεθος – Έκταση φθορών	173
4.12.5.3 Διάκριση τύπου φθορών	174
4.12.6 Νόημα στοιχείων καταγραφής φθορών	175
4.13 Ανεπάρκεια δεικτών.....	176
4.14 Τύποι φθορών, αίτια και επεμβάσεις συντήρησης.....	178
4.14.1 Αλλιγομορφικές ρηγματώσεις.....	178
4.14.2 Εξίδρωση (ανάδυση ασφάλτου).....	179
4.14.3 Παραβολικές ρηγματώσεις.....	180
4.14.4 Ρυτιδώσεις και επωθήσεις.....	181
4.14.5 Κοιλώματα.....	182
4.14.6 Διαμήκειες ρηγματώσεις.....	183
4.14.7 Τοπικές επισκευές (μπαλώματα).....	184
4.14.8 Στιλβωμένα αδρανή.....	184
4.14.9 Λακούβες.....	185
4.14.10 Απόσπαση (αποκόλληση αδρανών).....	186
4.14.11 Τροχοαυλάκωση.....	187
4.14.12 Παραβολικές ρηγματώσεις ολίσθησης.....	188
4.14.13 Διάβρωση.....	188
4.14.14 Εγκάρσιες Ρηγματώσεις.....	189
4.14.15 Εξίδρωση και άντληση.....	190

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

5.1 Εισαγωγή.....	193
5.2 Φιλοσοφία μοντέλου αποδοχής οριακών τιμών καταλληλότητας δεικτών κατάστασης οδοστρώματος.....	193

5.3 Συσχέτιση χαρακτηριστικών του οδοστρώματος με τον κίνδυνο ατυχήματος και το κόστος χρήστη.....	194
5.3.1 Σχέση συντελεστή πλευρικής τριβής (SFC) και κινδύνου ατυχήματος.....	195
5.3.2 Σχέση διεθνούς δείκτη ομαλότητας (IRI) και κόστους χρόνου ταξιδιού (TTC).....	202
5.3.3 Σχέση βάθους τροχοαυλάκωσης (RD) και κινδύνου ατυχήματος.....	206
5.4 Όρια καταλληλότητας χαρακτηριστικών οδοστρώματος.....	211
5.4.1 Όριο καταλληλότητας του συντελεστή πλευρικής τριβής SFC.....	211
5.4.2 Όριο καταλληλότητας του Διεθνούς Δείκτη Ομαλότητας IRI.....	214
5.4.3 Όριο καταλληλότητας του βάθους τροχοαυλάκωσης RD.....	215
5.5 Τιμές ορίων καταλληλότητας.....	216
5.5.1 Τιμές ορίων καταλληλότητας ολισθηρότητας (SFC).....	216
5.5.2 Τιμές ορίων καταλληλότητας ομαλότητας (IRI).....	216
5.5.3 Τιμές ορίων καταλληλότητας τροχοαυλάκωσης (RD).....	217
5.6 Συμπεράσματα – Προοπτική	218

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΩΝ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΖΩΗΣ ΤΟΥ

6.1 Εισαγωγή.....	220
6.2 Φιλοσοφία μοντέλου ορίων αποδοχής δεικτών κατάστασης οδοστρώματος.....	220
6.3 Διαχρονική εξέλιξη της κατάστασης του οδοστρώματος.....	221
6.3.1 Εξέλιξη του συντελεστή πλευρικής τριβής (SFC).....	221
6.3.2 Εξέλιξη του δείκτη IRI.....	222
6.3.3 Εξέλιξη του βάθους τροχοαυλάκωσης (RD).....	224
6.4 Αρχικές τιμές των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος	226
6.5 Προτεινόμενο μοντέλο ορίων αποδοχής δεικτών κατάστασης οδοστρώματος.....	227

6.6 Συναρτήσεις εξέλιξης των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος σε σχέση με την κυκλοφορία.....	228
6.6.1 Εξέλιξη του της κατάστασης του οδοστρώματος (PSR).....	228
6.6.2 Εξέλιξη της αντίστασης ολίσθησης (SFC).....	228
6.6.3 Εξέλιξη ομαλότητας (IRI).....	228
6.7 Όρια αποδοχής των χαρακτηριστικών οδοστρώματος.....	229
6.8 Συμπεράσματα.....	235

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΔΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

7.1 Εισαγωγή	238
7.2 Συστήματα Διαχείρισης Οδών (ΣΔΟ).....	239
7.2.1 Εισαγωγή.....	239
7.2.2 Διαδικασίες, Άνθρωποι, Τεχνολογία και Πόροι	242
7.3 Ο Ρόλος των ΣΔΟ.....	243
7.3.1 Ετήσια έκθεση.....	243
7.3.2 Εκτίμηση Αναγκών.....	244
7.3.3 Προϋπολογισμοί συντήρησης.....	244
7.3.4 Αξία οδικής υποδομής	246
7.3.5 Ακρίβεια των προγραμμάτων προώθησης έργων των ΣΔΟ.....	247
7.3.6 Εφαρμογή του Προγραμματισμού Έργων ΣΔΟ	251
7.3.7 Διαδικασίες – Παράγοντες κλειδιά επιτυχίας	252
7.4 Άνθρωποι.....	253
7.4.1 Συστηματοποίηση	253
7.4.2 Εκπαίδευση	254
7.4.3 Συνεχής βελτίωση ποιότητας.....	255
7.5 Συλλογή δεδομένων.....	255
7.5.1 Εισαγωγή	255

7.5.2 Πολιτική συλλογής δεδομένων	256
7.5.2.1 Τύποι δεδομένων, συχνότητα επικαιροποίησης και επίπεδο ποιότητας	256
7.5.2.2 Διαδικασία συλλογής δεδομένων	257
7.5.3 Διασφάλιση ποιότητας δεδομένων.....	257
7.5.4 Συλλογή δεδομένων – Παράγοντες κλειδιά επιτυχίας.....	259
7.6 Συμπεράσματα	259
7.7 Κατάσταση της οδού και αξιολόγησή της.....	260
7.8 Τρέχουσες πρακτική και ανάγκη για την αξιολόγηση της γενικής κατάστασης της οδού	261
7.9 Δομή του προτεινόμενου μοντέλου.....	261
7.10 Εφαρμογή μοντέλου και συνολική αξιολόγηση.....	264
7.11 Σύγκριση με άλλα υφιστάμενα μοντέλα.....	265
7.12 Εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου	267
7.13 Συμπεράσματα.....	268

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

8.1 Εισαγωγή.....	271
8.2 Υφιστάμενα μοντέλα αναβάθμισης οδών.....	271
8.3. Βασική ιδέα	273
8.4 Αξιολόγηση των αναγκών και των στόχων.....	274
8.5 Κατηγοριοποίηση των οδών	276
8.6 Ανάλυση επιλογών αναβάθμισης.....	277
8.6.1 «Συντήρηση».....	277
8.6.2 «Αποκατάσταση».....	278
8.6.3 «Ανακατασκευή».....	280
8.6.4 «Νέα χάραξη».....	281

8.6.5 Αξιολόγηση της κατάστασης ανά οδικό τμήμα	281
8.7 Οδική κατάσταση και αξιολόγηση της απόδοσης	282
8.8 Επιλογή προτεινόμενης στρατηγικής αναβάθμισης.....	284
8.9 Συμπεράσματα και προοπτικές	286
8.10 Κριτήρια επιλογής για την κατηγοριοποίηση των οδών.....	286
8.10.1 Αποτίμηση κατάστασης της οδού.....	286
8.10.1.1 Αξιολόγηση κατάστασης του οδοστρώματος.....	286
8.10.1.2 Έρευνα του εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου της κυκλοφορίας.....	287
8.10.1.3 Αξιολόγηση χαρακτηριστικών χάραξης.....	287
8.11 Αξιολόγηση ζητούμενης εξυπηρετικότητας.....	292
8.11.1 Αξιολόγηση της ΣΕ.....	292
8.11.2 Κριτήρια ασφαλείας	292
8.11.3 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά ζητήματα.....	293
8.12 Μεθοδολογία επιλογής των εναλλακτικών στρατηγικών.....	294
8.12.1 Έλεγχος επάρκειας για την επιλογή «Συντήρησης».....	294
8.12.2 Γεωμετρικός και λειτουργικός έλεγχος για την επιλογή «Αποκατάστασης».....	294
8.12.3 Επάρκεια της οδού και της ΣΕ για την επιλογή «Ανακατασκευής».....	295
8.12.4 Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) με εναλλακτικές την 3 ^η και 4 ^η επιλογή αναβάθμισης.....	296
8.12.5 Εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου.....	296

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΥ

9.1 Εισαγωγή – Ορισμός.....	300
9.2 Υφιστάμενες Πρακτικές Τμηματοποίησης.....	300
9.3 Χρησιμότητα Τμηματοποίησης Οδού.....	306

9.4 Προϋποθέσεις Τμηματοποίησης Οδού.....	308
9.5 Προτεινόμενη Μεθοδολογία Τμηματοποίησης Οδού.....	310
9.5.1 Τύπος οδοστρώματος.....	310
9.5.2 Κυκλοφορικά χαρακτηριστικά.....	310
9.5.3 Ιστορικό κατασκευής.....	310
9.5.4 Κατάσταση οδοστρώματος.....	310
9.5.5 Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	311
9.5.6 Οικισμοί.....	311
9.6 Συμπεράσματα.....	312

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

10.1 Εισαγωγή.....	314
10.2 Εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου.....	315
10.2.1 Οδικό τμήμα «1».....	315
10.2.1.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος.....	315
10.2.1.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου της κυκλοφορίας.....	315
10.2.1.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.....	315
10.2.1.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας	315
10.2.1.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας.....	315
10.2.1.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων	316
10.2.1.7 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης.....	316
10.2.2 Οδικό τμήμα «2».....	316
10.2.2.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος.....	316
10.2.2.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου της κυκλοφορίας.....	316
10.2.2.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.....	316
10.2.2.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας	316
10.2.2.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας.....	316

10.2.2.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων	317
10.2.2.7 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης.....	317
10.2.3 Οδικό τμήμα «3».....	317
10.2.3.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος.....	317
10.2.3.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου της κυκλοφορίας.....	317
10.2.3.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.....	317
10.2.3.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας.....	317
10.2.3.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας.....	318
10.2.3.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων	318
10.2.3.7 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης.....	318
10.2.4 Οδικό τμήμα «4».....	318
10.2.4.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος.....	318
10.2.4.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου της κυκλοφορίας.....	318
10.2.4.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.....	318
10.2.4.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας.....	319
10.2.4.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας.....	319
10.2.4.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων	319
10.2.4.7 Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων.....	319
10.2.4.8 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης.....	319
10.3 Συνολική αποτίμηση	319

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

11.1 Επίσημάνσεις	321
11.2 Συμπεράσματα.....	322

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	324
Ελληνική βιβλιογραφία.....	324
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	326

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Οδοποιία και Συντήρηση Οδών

Η οδοποιία συνιστά την κατασκευή μιας συνεχούς διαδρομής, υπερνικώντας τα γεωγραφικά εμπόδια, με κλίσεις τέτοιες, ώστε να επιτρέπεται το ταξίδι με οχήματα ή με πεζοπορία (Kitsap County, 2006). Η οδοποιία πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές που καθορίζονται από τον νόμο (Municipal Research & Services Center of Washington, 2005) ή τις επίσημες οδηγίες (Shire of Wyndham East Kimberly, 2006). Η διαδικασία κατασκευής μίας οδού αρχίζει συνήθως με τη δημιουργία επιχωμάτων ή ορυγμάτων με εκσκαφή ή ανατίναξη, την κατασκευή γεφυρών και σιράγγων και την αφαίρεση της βλάστησης (ενδέχεται να περιλαμβάνεται και αποψίλωση δασικών εκτάσεων) και τελειώνει με την τοποθέτηση του οδοστρώματος. Για την κατασκευή μιας οδού απαιτείται ποικίλος εξειδικευμένος εξοπλισμός και μηχανήματα.



Σχήμα 1.1: Τοπογράφος εν ώρα εργασίας με χωροβάτη

Ως συντήρηση των στοιχείων της οδού ορίζεται το σύνολο των παρεμβάσεων που έχουν ως σκοπό την πλήρη αποκατάσταση της ποιοτικής και δομικής της κατάστασης. Περιλαμβάνει εργασίες μεγάλης έκτασης, όπως βελτιώσεις και επισκευές των στοιχείων της οδού.

Οι εργασίες συντήρησης αφορούν τα οδοστρώματα και τα τεχνικά έργα της οδού, η κατάσταση της οποίας επηρεάζει άμεσα τους χρήστες της. Η συντήρηση διακρίνεται στη συντήρηση των οδοστρωμάτων και στη συντήρηση των τεχνικών έργων.

Το οδόστρωμα είναι ένα από τα σημαντικότερα πάγια περιουσιακά στοιχεία για τους φορείς διαχείρισης του οδικού δικτύου. Η συντήρησή του αντιπροσωπεύει το 50% του συνολικού κόστους συντήρησης. Παράλληλα, η κατάσταση του οδοστρώματος αφορά άμεσα τους ενοδίους, δεδομένου ότι συνδέεται με την ποιότητα κύλισης, την ασφάλεια κυκλοφορίας, το λειτουργικό κόστος του οχήματος, την ταχύτητα των οχημάτων, τους χρόνους μετακίνησης και γενικά με το κόστος που επιβαρύνει τους χρήστες της οδού.

Η διατήρηση της κατάστασης του οδοστρώματος σε κατάσταση παρόμοια με αυτήν

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

Η αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό επιφανειακών ποιοτικών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος που επηρεάζουν την ποιότητα κύλισης των οχημάτων και αφορούν άμεσα τους χρήστες της οδού, όπως η αντιολισθηρότητα, η ομαλότητα και οι φθορές της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών διακρίνονται στις μετρήσεις και καταγραφές επιφανειακών χαρακτηριστικών με ειδικά συστήματα και στις οπτικές παρατηρήσεις των επιφανειακών φθορών.

Η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της αντοχής των επιμέρους ασφαλικών στρώσεων και κατ' επέκταση του συνόλου του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αντοχής διακρίνονται στις μετρήσεις με ειδικά συστήματα (μη καταστροφικές μέθοδοι) και στους δειγματοληπτικούς ελέγχους (καταστροφικές μέθοδοι).

Κάθε νέο οδόστρωμα, από τη στιγμή που αποδίδεται στην κυκλοφορία, αρχίζει να υπόκειται στην καταστροφική επίδραση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων όπως των κυκλοφοριακών φορτίων, των καιρικών συνθηκών, της ηλιακής ακτινοβολίας κ.λπ. Παράλληλα, αρχίζει και μια σταδιακή επιδείνωση της ποιότητας του οδοστρώματος, η οποία οφείλεται κυρίως στη γήρανση και κόπωση των υλικών που το συνθέτουν. Οι παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό με την ορθότητα /αξιοπιστία της μελέτης, την καταλληλότητα των υλικών και την ποιότητα της κατασκευής είναι οι αιτίες για την εμφάνιση, αργά ή γρήγορα, των επιφανειακών φθορών, της κόπωσης και εν τέλει, της αποσύνθεσης του οδοστρώματος.

Η κατασκευή ενός νέου οδοστρώματος θα πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε ως μια επένδυση του κοινωνικού συνόλου. Ο διαχειριστής του κεφαλαίου που επενδύθηκε για την κατασκευή του οδοστρώματος, δηλαδή το κράτος, έχει την ευθύνη, αλλά και την υποχρέωση όχι μόνο να το διατηρήσει, αλλά και να το διαχειριστεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αποδώσει κέρδος (όφελος). Το κέρδος στην προκειμένη περίπτωση είναι άμεσο (μείωση του χρόνου και του κόστους μετακίνησης, μείωση των ατυχημάτων, μείωση του κόστους συντήρησης των οχημάτων κ.λπ.) και έμμεσο (κοινωνικό όφελος όπως άνετη και ασφαλής μετακίνηση του κοινωνικού συνόλου για τις κοινωνικές και εμπορικές δραστηριότητες).

Για τη διατήρηση του κεφαλαίου και την απόδοση οφέλους, το οδόστρωμα θα πρέπει να συντηρείται έτσι ώστε να διατηρείται η κατάστασή του σε ένα ανεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης, καθ' όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του. Το όφελος τέλος,

μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τη διατήρηση του οδοστρώματος σε όσο το δυνατόν υψηλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης.

Συνεπώς, καθίσταται σαφές ότι η συντήρηση των οδοστρωμάτων είναι επιτακτική ανάγκη. Ο όρος *συντήρηση* στην προκειμένη περίπτωση, χρησιμοποιείται με την ευρεία του έννοια. Ακριβολογώντας, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι όροι όπως αυτοί που παρατίθενται παρακάτω.

Η ορολογία που χρησιμοποιείται για τη διατήρηση του οδοστρώματος σε ένα ανεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης διαφέρει αισθητά από χώρα σε χώρα. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ευρέως ο γενικός όρος «συντήρηση», ενώ σε άλλες χώρες χρησιμοποιούνται, όροι όπως: συνεχής περιοδική συντήρηση, προληπτική συντήρηση, θεραπευτική συντήρηση, κύρια συντήρηση, αποκατάσταση, ενίσχυση και ανακατασκευή του οδοστρώματος.

Συνεχής περιοδική συντήρηση (routine maintenance) ορίζεται το σύνολο των δραστηριοτήτων (εργασιών) που εκτελούνται συνεχώς σε ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία ή ετήσια βάση στα στοιχεία που συνθέτουν μια οδό, με σκοπό τη διασφάλιση της εξυπηρετικότητας (serviceability) κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Οι κύριες δραστηριότητες είναι, α) ο καθαρισμός της επιφάνειας του οδοστρώματος, του συστήματος αποστράγγισης, της σήμανσης και των σηματοδοτών κλπ., ακόμη και η αποψίλωση των πρανών και το κλάδεμα των δέντρων, β) η αποκατάσταση των φθορών που, εμφανίζονται στην περιοχή γύρω από τα καλύμματα των φρεατίων επίσκεψης, η αποκατάσταση των φθορών της σήμανσης και των σηματοδοτών, του φωτισμού κ.λπ., γ) η αντικατάσταση των κατεστραμμένων σθηθαίων ασφαλείας, των σημάτων και γενικότερα της επίπλωσης της οδού και δ) η χειμερινή συντήρηση του οδοστρώματος, όπως εκχιονισμός και πρόληψη δημιουργίας πάγου στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Όπως είναι φανερό, στον ορισμό της συνεχούς συντήρησης δεν περιλαμβάνονται οι εργασίες που είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη δομή του οδοστρώματος.

Προληπτική συντήρηση (preventive maintenance) ορίζεται το σύνολο των εργασιών που σκοπό έχουν να προλάβουν την πρόωρη εμφάνιση φθορών στο οδόστρωμα και, κατ' επέκταση, την πρόωρη καταστροφή του.

Θεραπευτική συντήρηση (remedial maintenance) ορίζεται το σύνολο των εργασιών που σκοπό έχουν να διορθώσουν τις ατέλειες της επιφάνειας του οδοστρώματος οι οποίες είναι άκρως επικίνδυνες για την ασφάλεια του χρήστη.

Οι εργασίες που περιλαμβάνονται στην προληπτική και διορθωτική συντήρηση δεν είναι ουσιαστικά ανεξάρτητες μεταξύ τους, εκτός από την εργασία σφράγισης ρωγμών, και συνεπώς δε θα αναφερθούν μεμονωμένα ανά περίπτωση. Οι εργασίες για προληπτική και διορθωτική συντήρηση, στο σύνολό τους είναι: σφράγιση ρωγμών, πλήρωση λάκκων, τοπική εξυγίανση (μπαλώματα), ασφαλικές επαλείψεις (surface dressing), σφραγιστική επάλειψη (slurry seal), εργασίες για την αποκατάσταση της αντιολισθηρότητας της επιφάνειας, εργασίες για την αποκατάσταση της ομαλότητας.

Κύρια συντήρηση ή αποκατάσταση οδοστρώματος, ή ανακατασκευή του οδοστρώματος, ορίζεται το σύνολο των εργασιών που σκοπό έχουν να αποκαταστήσουν πλήρως την ποιοτική κατάσταση του οδοστρώματος. Οι εργασίες συνίστανται στην κατασκευή ασφαλικής στρώσης πάχους πλέον των 25mm (ασφαλτική επίστρωση) από νέα ή ανακυκλωμένα υλικά, μετά ή άνευ ισοπεδωτικής στρώσης ή και φρεζαρίσματος της παλαιάς επιφάνειας του οδοστρώματος. Με την κατασκευή της ασφαλικής στρώσης επέρχεται και ενίσχυση του οδοστρώματος, που συμβάλλει άμεσα στη δυνατότητα παραλαβής από το οδόστρωμα μεγαλύτερου αριθμού αξονικών φορτίων.

Για την καλύτερη αποσαφήνιση του όρου «συντήρηση» οδοστρωμάτων προτείνεται όπως χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω, που συνιστάται από το Ινστιτούτο Asphalt Institute:

Συντήρηση οδοστρώματος ορίζεται το σύνολο των εργασιών για τη διατήρηση της ποιοτικής κατάστασης του οδοστρώματος όσο το δυνατόν πλησιέστερα της αρχικής. Στο σύνολο των εργασιών περιλαμβάνονται: η αποκατάσταση επιφανειακών φθορών, η σφράγιση των ρωγμών, η αποκατάσταση αντιολισθηρής ικανότητας της επιφάνειας, η αποκατάσταση των αρμών, ο καθαρισμός της επιφάνειας, η ανανέωση των διαγραμμίσεων και η απομάκρυνση ξένων σωμάτων από το οδόστρωμα (φερτά υλικά, χιόνι κ.λπ.).

Είναι φυσικό ότι η επ' άπειρο συντήρηση του οδοστρώματος είναι αδύνατο να διατηρήσει την κατάσταση αυτού όμοια με αυτήν της αρχικής ποιότητας κατά την κατασκευή. Υπάρχουν φαινόμενα μη αναστρέψιμα, όπως η κόπωση του οδοστρώματος, η αύξηση της κυκλοφορίας και οι περιστασιακές αντίξοες καιρικές συνθήκες, τα οποία συνδυαζόμενα μεταξύ τους, μειώνουν την αρχική ποιότητα του οδοστρώματος σε τέτοιο επίπεδο, ώστε μετά από κάποια χρονική περίοδο μια περαιτέρω συντήρηση να μην είναι οικονομικά συμφέρουσα και αποτελεσματική. Απαιτείται επομένως αποκατάσταση του οδοστρώματος, ειδικότερα των ασφαλικών, κυρίως, στρώσεων.

Αποκατάσταση οδοστρώματος (rehabilitation) ορίζεται το σύνολο των εργασιών που απαιτούνται για την πλήρη ποιοτική αποκατάσταση του οδοστρώματος με παράλληλη ενίσχυση αυτού έτσι ώστε να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερο αριθμό αξονικών φορτίων, αυξάνοντας ουσιαστικά τη διάρκεια ζωής του. Στο σύνολο των εργασιών περιλαμβάνονται η ενισχυτική επίστρωση (overlay), μεταβλητού πάχους αναλόγως των απαιτήσεων, όλες οι προεργασίες για την κατασκευή αυτής της στρώσης, καθώς και αυτές μετά την κατασκευή εργασίες (διαγράμμιση κ.λπ.). Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Asphalt Institute, για να θεωρηθεί η εργασία ως αποκατάσταση, το πάχος της ενισχυτικής επίστρωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 25 mm και το μήκος μεγαλύτερο από τοπικές αποκαταστάσεις του οδοστρώματος. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν το πάχος επίστρωσης είναι μικρότερο των 25 mm, η επέμβαση θεωρείται συντήρηση.

Όσον αφορά τη συντήρηση των τεχνικών έργων της οδού, αυτή συνίσταται στα παρακάτω:

- Οδοστρώματα
- Νησίδες, Κρασπεδόρειθρα και Πεζοδρόμια
- Αποχέτευση
- Επιχώματα - Ορύγματα
- Πράσινο και Δένδρα
- Ασφάλιση
- Σήμανση
- Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις
- Καθαριότητα

1.2 Στόχος της Διατριβής

Το οδικό δίκτυο εξελίσσεται συνεχώς παγκοσμίως και αναζητούνται όλο και πιο πολύ τρόποι μελέτης, υλικά και τρόποι κατασκευής, ώστε οι δρόμοι να είναι πιο ασφαλείς, πιο άνετοι για τον οδηγό, να συμβάλλουν στην οικονομία των καυσίμων και να είναι όσο το δυνατόν πιο φιλικόι προς το περιβάλλον. Με λίγα λόγια, αναζητείται ολοένα και καλύτερο οδικό δίκτυο. Για να είναι όμως αυτό εφικτό, είναι αναγκαίο να υπάρχει μία μέθοδος αξιολόγησης, ώστε να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης για κάθε οδικό άξονα, μία βάση και μία άριστη βαθμολογία.

Επιπλέον, είναι κοινώς αποδεκτό ότι σχεδόν όλες οι οδοί που έχουν κατασκευαστεί στο παρελθόν όχι μόνο στην Ελλάδα, αλλά και σε ευρωπαϊκό επίπεδο, δεν ικανοποιούν τις τρέχουσες κυκλοφοριακές ανάγκες, πλην εξαιρέσεων. Οι οδικοί άξονες αυτοί παρουσιάζουν ελλιπή λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, δεδομένης της αλματώδους τεχνολογικής ανάπτυξης στον τομέα των οχημάτων μαζί με τη ραγδαία αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων. Τα παραπάνω καταδεικνύουν την επιτακτική ανάγκη αναβάθμισης του υφιστάμενου οδικού δικτύου. Η αναβάθμιση αυτή θα πρέπει να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου σε συνάρτηση με τα επιθυμητά επίπεδα των χαρακτηριστικών αυτών, πάντα με σεβασμό στο περιβάλλον και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της περιοχής.

Ο βασικός στόχος της παρούσας διατριβής είναι διττός και συνίσταται συνοπτικά στην αξιολόγηση του υφιστάμενου οδικού δικτύου και στη διερεύνηση του βέλτιστου τρόπου αναβάθμισής του.

1.3 Δομή και περιεχόμενα

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη μνεία στην έννοια της οδοποιίας και της συντήρησης των οδών, καθορίζεται ο στόχος της διατριβής και περιγράφονται τα περιεχόμενα κάθε Κεφαλαίου.

Το 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζει τους δείκτες αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες και στις ΗΠΑ στα συστήματα διαχείρισης οδοστρώματων (ΣΔΟ) ή όπως είναι γνωστά στα αγγλικά «Pavement Management Systems (PMS)». Γίνεται σύγκριση με τους δείκτες που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα και αναδεικνύονται τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης δεικτών για την αποτίμηση της κατάστασης του οδοστρώματος.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύεται η φιλοσοφία ορισμού των οριακών τιμών των δεικτών και η χρησιμότητά των τιμών αυτών για τη λήψη απόφασης συντήρησης του οδοστρώματος μέσω ειδικών «δένδρων απόφασης» (decision trees).

Στο 4^ο Κεφάλαιο εξετάζεται η φιλοσοφία και η έννοια καταγραφής των φθορών του οδοστρώματος. Το οδόστρωμα είναι ένα από τα σημαντικότερα λειτουργικά στοιχεία της οδού για την εξυπηρέτηση των ενοδίων και για τον προγραμματισμό των επεμβάσεων από τους εκάστοτε φορείς διαχείρισης. Η κατάσταση του οδοστρώματος αφορά άμεσα στους χρήστες της οδού, δεδομένου ότι συνδέεται με την οδική ασφάλεια, το λειτουργικό κόστος των μετακινήσεων, την ταχύτητα των οχημάτων, τους χρόνους μετακίνησης και την κυκλοφοριακή άνεση.

Η διατήρηση της κατάστασης του οδοστρώματος, κατά τη φάση της λειτουργίας της οδού, σε επίπεδο παρόμοιο με αυτό που είχε κατά το χρόνο κατασκευής του είναι πρακτικά αδύνατη. Παράγοντες όπως η κυκλοφορία, οι καιρικές συνθήκες, η γήρανση των υλικών, μειώνουν την ποιότητα και την αντοχή του οδοστρώματος.

Η αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό επιφανειακών ποιοτικών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος που επηρεάζουν την ποιότητα κύλισης των οχημάτων και αφορούν άμεσα τους χρήστες της οδού, όπως η ολισθηρότητα, η ομαλότητα και οι φθορές της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος διακρίνονται στις μετρήσεις και καταγραφές επιφανειακών χαρακτηριστικών με ειδικές συσκευές και στις οπτικές παρατηρήσεις των επιφανειακών φθορών.

Η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της αντοχής των επιμέρους στρώσεων και κατ' επέκταση του συνόλου του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αντοχής διακρίνονται στις μετρήσεις με ειδικές συσκευές (μη καταστροφικές μέθοδοι) και στους δειγματοληπτικούς ελέγχους (καταστροφικές μέθοδοι).

Τέλος, αναλύεται το νόημα της καταγραφής φθορών του οδοστρώματος και επισημαίνεται η ανεπάρκεια των σύνθετων δεικτών κατάστασης.

Στο 5^ο Κεφάλαιο – στο οποίο αρχίζει η πρωτογενής έρευνα της παρούσας διατριβής – παρουσιάζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία για τον καθορισμό των οριακών τιμών των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος. Ο τρόπος με τον οποίο εξελίσσονται οι φθορές και, κατά συνέπεια, η κατάσταση του οδοστρώματος έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για πολλούς ειδικούς. Με τη συγκέντρωση δεδομένων από την καταγραφή των φθορών του οδοστρώματος έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την εξεύρεση μιας καταστατικής συνάρτησης που να περιγράφει την εξέλιξη κάθε τύπου φθοράς σε σχέση με την ηλικία ή την κυκλοφορία του οδοστρώματος. Έτσι υπάρχει πληθώρα μοντέλων πρόβλεψης της εξέλιξης της ολισθηρότητας, της ομαλότητας και της τροχοαυλάκωσης. Ο στόχος της παρούσας διατριβής δεν είναι η εξεύρεση του μοντέλου πρόβλεψης της εξέλιξης ενός δείκτη σε ένα συγκεκριμένο οδόστρωμα, αλλά γενικότερα η φιλοσοφία της επιλογής των ορίων καταλληλότητας των δεικτών που απεικονίζουν την κατάσταση του οδοστρώματος.

Όριο καταλληλότητας ορίζεται ως η οριακή (ελάχιστη ή ανώτατη) αποδεκτή τιμή ενός δείκτη ή ενός συντελεστή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός χαρακτηριστικού του οδοστρώματος, στο στάδιο λειτουργίας της οδού.

Η αποδοχή των ορίων καταλληλότητας των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος, στο στάδιο λειτουργίας της οδού, ακολουθεί την προτεινόμενη φιλοσοφία η οποία συνίσταται στα εξής βήματα: α) Ποιοτικός καθορισμός ορίων καταλληλότητας και β) Ποσοτικός καθορισμός ορίων καταλληλότητας.

Στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία για τον καθορισμό των οριακών τιμών των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος στο αρχικό στάδιο ζωής του οδοστρώματος (έναρξη κυκλοφορίας). Ακριβώς επειδή η χρησιμοποίηση ενός μοντέλου για τη συμπεριφορά όλων των οδοστρωμάτων είναι ανέφικτη, σημασία έχει ο καθορισμός της μεθοδολογίας για την εύρεση της καταστατικής συνάρτησης που διέπει την εξέλιξη κάθε τύπου φθοράς του οδοστρώματος. Σε δεύτερη φάση ακολουθεί η διερεύνηση των ορίων αποδοχής των δεικτών που απεικονίζουν την κατάσταση του οδοστρώματος.

Όριο αποδοχής ορίζεται ως η οριακή (ελάχιστη ή ανώτατη) αποδεκτή τιμή ενός δείκτη ή ενός συντελεστή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός χαρακτηριστικού του οδοστρώματος, στο αρχικό στάδιο ζωής της οδού, δηλαδή στο στάδιο παράδοσης της οδού στην κυκλοφορία.

Στο 7^ο Κεφάλαιο, προκειμένου να δημιουργηθεί μια αποδοτική και αντικειμενική μέθοδος αξιολόγησης του υφιστάμενου οδικού δικτύου, προτείνεται η αξιολόγηση όλων των χαρακτηριστικών της οδού με βάση τέσσερα σημαντικά κριτήρια, που είναι: η ασφάλεια, η εξυπηρέτηση, η οικονομία και ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος, με διαφορετική βαρύτητα το καθένα. Κάθε ένα από αυτά τα τέσσερα σημαντικά κριτήρια αποτελείται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που είναι συνιστώσες του τελικού κριτηρίου. Κάθε χαρακτηριστικό αντιστοιχίζεται σε έναν συντελεστή σχετικής βαρύτητας.

Μέσω μιας μαθηματικής μεθοδολογίας εκτίμησης, η γενική αξιολόγηση της κατάστασης παράγεται ως συνισταμένη όλων των εφαρμοσμένων χαρακτηριστικών, που εισάγεται από τους ειδικούς συντελεστές βαρύτητας που διανέμονται στα χαρακτηριστικά μέσω μιας διαδικασίας που εμπεριέχει την υποκειμενική αξιολόγηση και τις μετρήσεις-επιθεωρήσεις (έλεγχος ή οπτική επιθεώρηση). Η υποκειμενική αξιολόγηση είναι βασισμένη στην κρίση ειδικών εμπειρογνομόνων. Τα αποτελέσματα διαμορφώνονται με ένα μαθηματικό μοντέλο ώστε να δοθεί ένα συνολικό αντίτιμο ίσο με 100 για κάθε κύριο κριτήριο και η μέση αξία είναι ο συντελεστής βαρύτητας κάθε χαρακτηριστικού. Επίσης, ο μέσος όρος του βάρους κατηγορίας που δίνεται για καθένα των κύριων τεσσάρων κριτηρίων υποβάλλεται σε επεξεργασία έτσι δεδομένου ότι το ποσό των μέγιστων αποτελεσμάτων των σημαντικότερων κριτηρίων είναι ίσο με 100.

Τα 4 βασικά κριτήρια που προαναφέρθηκαν είναι οι συνισταμένες πολλών υποκριτηρίων το καθένα. Σε κάθε υποκριτήριο αντιστοιχεί ένας συντελεστής βαρύτητας. Το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών επί τη μέγιστη βαθμολογία του κριτηρίου, θα είναι ίσο με τη μέγιστη βαθμολογία του κριτηρίου (μόνο όταν ο παρακάτω συντελεστής είναι ίσος με 1). Άλλοι συντελεστές θα απεικονίζουν την επάρκεια του κάθε υποκριτηρίου με μέγιστο συντελεστή ίσο με 1 στην περίπτωση που έχουμε πλήρη επάρκεια του υποκριτηρίου.

Με αυτόν τον τρόπο το σύνολο των παραμέτρων που μπορεί να επηρεάζουν έναν άξονα, θα απεικονίζουν τελικά τη βαθμολογία της οδού, με μέγιστη ίση με 100.

Στο 8^ο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται ένα μοντέλο για τη βέλτιστη αναβάθμιση του υφιστάμενου οδικού δικτύου. Η κοινή πρακτική εξετάζει κυρίως το οδόστρωμα. Αντίθετα, το προτεινόμενο μοντέλο προχωρά σε μία αξιολόγηση των λειτουργικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού, με παράλληλη θεώρηση του περιβαλλοντικού και κοινωνικού αντίκτυπου των ενδεικνυόμενων επεμβάσεων. Ένα βασικό συστατικό της μεθόδου είναι η ταξινόμηση όλων των δίστιβων παλαιών οδών σε τέσσερις διακριτές κατηγορίες σύμφωνα με την πραγματική κατάστασή τους και τα τρέχοντα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας.

Η πρώτη κατηγορία αντιπροσωπεύει τους δρόμους με υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης και επαρκή γεωμετρικά χαρακτηριστικά, που παρέχουν ασφάλεια και άνεση. Η γεωμετρία είναι κατάλληλη καθώς και οι διατομές. Το πλάτος του οδοστρώματος εξασφαλίζει ικανοποιητική εξυπηρετικότητα. Καμία σημαντική βελτίωση δεν απαιτείται. Τα κύρια προβλήματα είναι η εμφάνιση φθορών, η αυξημένη ολισθηρότητα και ο ανεπαρκής εξοπλισμός ασφάλειας.

Στη δεύτερη κατηγορία, το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι στα όρια της σταθερής ροής, η γεωμετρία είναι γενικά κατάλληλη, το πλάτος του οδοστρώματος είναι επίσης κατάλληλο. Αντίθετα, ο σχεδιασμός των κόμβων διατομής αποδεικνύεται ανεπαρκής όσον αφορά τις πραγματικές ανάγκες κυκλοφορίας και η γεωμετρία μετάβασης στις στροφές είναι ελαττωματική.

Η τρίτη κατηγορία συγκεντρώνει τις οδούς με χαμηλό επίπεδο εξυπηρέτησης. Τα περισσότερα γεωμετρικά στοιχεία αποδεικνύονται κάτω του μετρίου όσον αφορά την τρέχουσα κατάσταση κυκλοφορίας, δημιουργώντας κατά συνέπεια κίνδυνο για τους χρήστες. Ο όγκος κυκλοφορίας φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά με τα χρόνια και η χρήση της οδού έχει ενταθεί. Το πλάτος του οδοστρώματος και των λωρίδων κυκλοφορίας δεν καλύπτει τις τρέχουσες ανάγκες κυκλοφορίας. Ο δρόμος απαιτεί διεύρυνση και πιθανώς επαναχάραξη ενσωματώνοντας τις τρέχουσες προδιαγραφές σχεδιασμού, ασφάλειας και κυκλοφορίας.

Η τέταρτη και τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τις οδούς κοντά στη φέρουσα ικανότητα τους, όπου η αποτελεσματικότητα της βελτίωσης είναι αμφισβητήσιμη. Ένα συνηθισμένο πρόγραμμα αποκατάστασης δεν μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη απάντηση εφαρμοσμένης μηχανικής για έναν παλιό δρόμο σε περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλλους ή ευαισθησίας. Επιπλέον, συγκεκριμένοι εγγενείς περιορισμοί για τους δρόμους σε κατοικημένες περιοχές ή κοντά σε αρχαιολογικές περιοχές μπορούν να περιορίσουν τις βελτιωτικές διαδικασίες στην υπάρχουσα χάραξη και να ορίσουν αντί αυτής μια εντελώς νέα διαδρομή.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα κριτήρια, κάθε οδός μπορεί να ταξινομηθεί σε μία από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Αυτή η ταξινόμηση καθιστά το βελτιωτικό σχέδιο περιεκτικό και καλά καθορισμένο λόγω της ακριβούς αξιολόγησης της κατάστασης της οδού. Ένα συγκεκριμένο βελτιωτικό σχέδιο προβλέπεται για κάθε κατηγορία οδού.

Στο 9^ο Κεφάλαιο προτείνεται μία μέθοδος τμηματοποίησης των οδών για την ορθή αξιολόγησή τους. Η τμηματοποίηση μιας οδού είναι ιδιαίτερα σημαντική και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη σωστή αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος. Κι αυτό γιατί εφόσον δεν έχει τυποποιηθεί με απόλυτα συγκεκριμένο τρόπο, υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της οδού να μην είναι αντιπροσωπευτικά της πραγματικής κατάστασης και να οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Στο 10^ο Κεφάλαιο εξετάζεται μία εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου αναβάθμισης σε συγκεκριμένα οδικά τμήματα.

Τέλος, στο 11^ο Κεφάλαιο περιγράφονται τα εξαγόμενα συμπεράσματα και οι σχετικές επισημάνσεις από την όλη έρευνα της παρούσας διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΟΔΩΝ

2.1 Ανάγκες Συντήρησης και Αναβάθμισης των Οδών

2.1.1 Ιστορική ανασκόπηση

Από την πρώτη εμφάνιση του ανθρώπου στη γη, δύο εκατομμύρια χρόνια πριν, παρατηρείται η ανάγκη για μετακίνηση, είτε για λόγους επιβίωσης είτε για την εξερεύνηση νέων και άγνωστων περιοχών. Η ανάγκη αυτή οδηγούσε τον τότε άνθρωπο σε μετακινήσεις από περιοχή σε περιοχή.

Το εδαφικό ανάγλυφο και η σχεδόν μηδενική δυνατότητα παρέμβασης του ανθρώπου σε αυτό, όπως είναι φυσικό, καθιστούσε την κάθε προσπάθεια για μετακίνηση και επικοινωνία δυσχερή. Ως εκ τούτου, ο άνθρωπος αναζήτησε τρόπους πιο εύκολης και γρηγορότερης μετάβασης από σημείο σε σημείο του τότε γνωστού κόσμου.

Με την ανακάλυψη του τροχού το 6.000 π.Χ. η ανάγκη για μετακίνηση γίνεται όλο και πιο εύκολη με τη συνδυασμένη χρήση ζώων. Οι αρχαίοι Έλληνες, γνωστοί ήδη από τα επιτεύγματά τους στον χώρο της τεχνολογίας, δεν θα μπορούσαν να υστερούν στον τομέα της χερσαίας επικοινωνίας και των μεταφορών (Σχήμα 2.1). Οι πρόσφατες συναφείς έρευνες αποδεικνύουν την πρόοδό τους στην οδοποιία και αναδεικνύουν τα άξια θαυμασμού έργα τους. Ανέπτυξαν και δημιούργησαν πυκνότατο οδικό δίκτυο, τελείως ιδιότυπο και ρηξικέλευθο, εξασφαλίζοντας έτσι την απρόσκοπτη αμαξήλατη επικοινωνία σε όλο σχεδόν τον ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 2.1: Ελληνική οδός (3^{ος} – 4^{ος} αιώνας π.Χ.) στη Velia της Ιταλίας. Η οδός είναι διαστρωμένη με ασβεστολιθικούς κυβόλιθους και διαθέτει υδραύλακες για την απορροή του νερού της βροχής.

Οι δρόμοι, που διέσχισαν την ελληνική ύπαιθρο - αλλά και αυτήν των αποικιών - ήταν δύο ειδών: αυτός που προοριζόταν μόνο για πεζοπόρους και υποζύγια, ένα δηλαδή στενό πολυπατημένο μονοπάτι, και αυτός που είχε κατασκευασθεί για άμαξες.

Οι αρχαίοι Έλληνες, λοιπόν, είχαν δημιουργήσει ένα εντελώς δικό τους σύστημα αμαξήλατης επικοινωνίας: Χάραζαν στα βραχώδη μέρη αυλάκια παντού και πάντοτε με σταθερό μετατρόχιο 1,40 μ., μέσα στα οποία κινείτο η δίτροχη ή τετράτροχη άμαξα (Σχήμα 2.2). Οι αρχαίοι ονόμαζαν αυτά τα αυλάκια αρματροχιές ή αμαξοτροχιές. Η άμαξα είχε προκαθορισμένη διαδρομή και κινιόταν με τους τροχούς μέσα στις αρματροχιές, χωρίς να μπορεί να λοξοδρομήσει.

Αυτό ήταν και το μείζον επίτευγμα των Ελλήνων οδοποιών. Στην πραγματικότητα, παραλληλίζοντας το σύστημά τους με τα σημερινά δεδομένα, θα λέγαμε ότι επρόκειτο για ένα είδος σιδηροδρόμου. Όπως ο σιδηρόδρομος έχει τους τροχούς επάνω στις ράγες, αντιστοίχως οι αρχαίοι Έλληνες είχαν την άμαξα να κινείται σταθερά μέσα στις αρματροχιές. Προφανώς η δυνατότητα να διασταυρωθούν δύο άμαξες ήταν σχεδόν αδύνατη και γινόταν μόνο σε επιλεγμένα σημεία. Οι διακλαδώσεις, εκτροπές κατά τους αρχαίους, μάλιστα είναι ίδιες με τα «παλιόδρομα» του σιδηροδρόμου, ώστε να καθίσταται εφικτή η αλλαγή πορείας της άμαξας.



Σχήμα 2.2: Αυλάκια σταθερού μετατροχίου για κίνηση με δίτροχη ή τετράτροχη άμαξα

Οι αρματροχιές σώζονται μόνο στα βραχώδη μέρη (Σχήμα 2.3), αφού προφανώς στα πεδινά εδάφη δεν ήταν εφικτή η διατήρησή τους, προφανώς όμως έχουν βρεθεί και αρματροχιές σε χώμα, κατά την ανασκαφή οδών. Σήμερα, αναζητώντας σε κάθε τόπο τις αρματροχιές, μπορούμε να σχεδιάσουμε στον χάρτη επακριβώς τη διαδρομή μιας αρχαίας οδού. Οι αρχαίοι Έλληνες, για λόγους οικονομίας κατασκεύαζαν μόνον τα απολύτως απαραίτητα τεχνικά έργα. Έτσι είναι λίγες, για παράδειγμα, οι σωζόμενες λίθινες γέφυρες, ενώ οι περισσότερες ήταν ξύλινες.

Οι αστικοί δρόμοι είχαν συνήθως για οδόστρωμα πατημένο χώμα μαζί με χαλίκι ή σπασμένα κεραμίδια. Τα λιθόστρωτα σπάνιζαν και καθιερώθηκαν μόνο κατά τα ρωμαϊκά χρόνια. Οι δρόμοι ήταν κατά κανόνα στενοί, εάν εξαιρέσουμε τις κεντρικές αρτηρίες, με πλάτος που κυμαινόταν από τα 2 έως τα 5 μέτρα. Το οδικό σύστημα των αρχαίων Ελλήνων χρονολογείται τουλάχιστον από τον 7^ο και 6^ο αιώνα π.Χ. Το πιο ο πυκνό δίκτυο βρίσκεται στην Πελοπόννησο και είναι έργο της Σπάρτης.



Σχήμα 2.3: Αρχαία ελληνική οδός

Υπάρχουν ενδείξεις ότι και στα προϊστορικά χρόνια, τουλάχιστον οι Μυκηναϊοί, διέθεταν ένα παρόμοιο αμαξήλατο δίκτυο, από το οποίο πιθανόν να κληρονόμησαν τεχνογνωσία οι επερχόμενοι. Το δίκτυο εγκαταλείπεται στο μεταίχμιο 4^{ου} και 5^{ου} μ.Χ. αιώνα. Κατά τα μεσαιωνικά χρόνια και την τουρκοκρατία οι μεταφορές γίνονταν με υποζύγια, σχηματίζοντας πολυπληθή караβάνια, από τα γνωστά καλντερίμια. Επειδή η έρευνα για τους αρχαίους ελληνικούς δρόμους διεξάγεται συστηματικά μόλις την τελευταία δεκαετία, η διεθνής βιβλιογραφία αγνοεί τα εδώ πεπραγμένα και συνεχίζει να θεωρεί τους Ρωμαίους πρώτους και άριστους οδοποιούς. Χωρίς να υποβαθμίζεται την προσφορά της Ρώμης στην εξέλιξη - όχι όμως και στη δημιουργία - της οδοποιίας, πρέπει να αναθεωρήσουμε τις υπάρχουσες απόψεις για το ποιός έθεσε τις βάσεις της. Η Ελλάδα είχε να επιδείξει πλήρες οδικό δίκτυο μερικούς αιώνες πριν από τη Ρώμη. Πιθανότατα η ρωμαϊκή οδοποιία οφείλει περισσότερα από ό,τι φανταζόμαστε στους Έλληνες. Δανείστηκε τεχνογνωσία την οποία προήγαγε και παγίωσε.

Ο Μυκηναϊκός πολιτισμός ανέπτυξε ένα από τα πρώτα δίκτυα ύδρευσης αλλά και ένα από τα πρώτα οδικά δίκτυα στην Ευρώπη. Τον 14^ο αιώνα π.Χ. οι Μυκηναϊκές άμαξες ταξίδευαν σε δρόμους μέχρι 5 μέτρων πλάτους περνώντας πάνω από κατασκευασμένες γέφυρες όπου ο χώρος το απαιτούσε. Το οδικό δίκτυο της αρχαίας Αργολίδας σώζεται ακόμη σε πολλά σημεία. Στους αρχαίους δρόμους συναντάμε και ζεύγη αυλακώσεων βάθους 7-10 εκ. και πλάτους περίπου 20 εκ. με απόσταση μεταξύ τους 1,4 μ. ή 1,8 μ. που εξυπηρετούσαν τα τροχοφόρα οχήματα της εποχής.

Υπάρχουν αναφορές ότι την κατασκευή και σχεδιασμό νέων δρόμων αναλάμβαναν οι Αμφικτύονες που χρέωναν ανάλογα και τις πόλεις για την κατασκευή. Πολλές φορές κάποιοι πλούσιοι της εποχής χορηγούσαν τα έξοδα κατασκευής κάποιων δρόμων. Η γέφυρα της Βαλύρας (άνω Πάμισος), η οποία χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, επιβεβαιώνει τη συνέχιση της αρχαίας ελληνικής γνώσης οικοδομικής χρήσης της καμάρας μέχρι και τον 3^ο αιώνα π.Χ.

Άλλη μυκηναϊκή γέφυρα είναι στο Αρκαδικό Αργολίδος στη θέση Καζάρμας στον δρόμο από το Ναύπλιο στην Επίδαυρο. Στο Αρκαδικό και στο Γαλούση υπάρχουν δύο ακόμα αρχαίες γέφυρες. Εντυπωσιακό παραμένει το μέγεθος των ογκολίθων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές τις γέφυρες κατατάσσοντάς τις στα κυκλώπεια κτίσματα.

Εξαιρετικά διατηρημένη είναι και η γέφυρα στην Ελεύθερα της Κρήτης. Χρονολογείται από τον 4^ο αιώνα π.Χ.

Παρακάτω δίδονται βασικοί ορισμοί που χρειάζονται για την κατανόηση των επόμενων Κεφαλαίων.

Ο ορισμός της οδού έχει ως εξής: Λωρίδα εδάφους κατάλληλα διαμορφωμένη ώστε να είναι δυνατή πάνω σε αυτή η κυκλοφορία πεζών και τροχοφόρων, καθώς και κάθε μεταφορά και επικοινωνία ανάμεσα σε διάφορες περιοχές και οικισμούς. Επεκτείνοντας τον ορισμό μπορούμε ακόμα να πούμε ότι ο όρος οδός περιλαμβάνει και το σύνολο των τεχνικών έργων που την αποτελούν. Η τεχνική επιστήμη που ασχολείται με τη διαμόρφωση και την κατασκευή των οδών ονομάζεται οδοποιία. Η ανώτερη επιφάνεια πάνω στην οποία εκτελείται η κυκλοφορία, γενικά, ονομάζεται κατάστρωμα της οδού, ενώ το τμήμα της επιφάνειας που προορίζεται κυρίως για την κυκλοφορία οχημάτων λέγεται οδόστρωμα. Στις άκρες και κατά μήκος του οδοστρώματος υπάρχουν τα λεγόμενα στερεά εγκιβωτισμού, που στις οδούς των πόλεων αποτελούν ουσιαστικά τα πεζοδρόμια.

Κατά την κατασκευή μιας οδού, πολλές φορές η σχεδιασμένη θεωρητική της επιφάνεια, που ονομάζεται ονομάζεται επιφάνεια κυκλοφορίας ή κυλίσεως, δεν ταυτίζεται με την πραγματική επιφάνεια του εδάφους, ευρίσκεται δηλαδή ψηλότερα ή χαμηλότερα από αυτή. Στην πρώτη περίπτωση, το φυσικό έδαφος υφίσταται εκσκαφή, ο χώρος που δημιουργείται από αυτήν την εκσκαφή καλείται όρυγμα και λέμε ότι έχουμε οδό σε όρυγμα. Στη δεύτερη περίπτωση, πάνω στο φυσικό έδαφος τοποθετούνται στερεά υλικά μέχρι το ύψος της στάθμης του καταστρώματος. Τα υλικά αυτά ονομάζονται επιχώματα και μία οδός κατασκευασμένη με αυτόν τον τρόπο λέγεται οδός σε επίχωμα. Συνήθως οικονομικοί και περιβαλλοντικοί λόγοι επιβάλλουν ώστε τα υλικά που χρησιμοποιούνται για επιχώματα να παίρνονται από τα ορύγματα. Το σύνολο των εργασιών για εκσκαφή και επιχώματα μιας οδού καλούνται «χωματισμοί». Στα τμήματα οδών που βρίσκονται σε όρυγμα κατασκευάζονται στις δύο μεριές του καταστρώματος τάφροι (χανδάκια ή χάνδακες), για αποχέτευση των νερών της βροχής. Ως άξονας της οδού θεωρείται η μέση γραμμή του καταστρώματος.

Η διαίρεση των οδών σύμφωνα με τη χωροταξία: οι οδοί διακρίνονται σε αστικές και υπεραστικές. Αστικές οδοί είναι οι οδοί των πόλεων, ενώ οι υπεραστικές μπορεί να είναι εθνικές, επαρχιακές, κοινοτικές, αγροτικές, δασικές κ.λπ. Ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους όπου έχουν κατασκευαστεί, διακρίνονται σε πεδινές και ορεινές και τέλος, ανάλογα με την Αρχή που τις κατασκεύασε και τις συντηρεί, διακρίνονται σε δημόσιες, κοινοτικές, δημοτικές και ιδιωτικές.

Σύμφωνα με τις υπεύθυνες κρατικές υπηρεσίες για τη μελέτη, κατασκευή και συντήρηση κάθε οδού και τον τρόπο της αντίστοιχης χρηματοδότησης, κατά τη διοικητική κατάταξη οι οδοί διακρίνονται σε εθνικές, επαρχιακές και κοινοτικές.

Οδικό δίκτυο μιας χώρας ονομάζεται το σύνολο των οδών που υπάρχουν σε αυτή και ενώνουν τα διάφορα σημεία της. Το οδικό δίκτυο μιας χώρας αποτελεί συνάρτηση της οικονομικής κατάστασης και του τεχνολογικού επιπέδου της χώρας.

Ιστορική εξέλιξη του οδικού δικτύου: Οι οδοί δημιουργήθηκαν από την ανάγκη για επικοινωνία και συναλλαγή μεταξύ των ανθρώπων. Αρχικά ήταν απλά φυσικά περάσματα από ένα σημείο στο άλλο. Αργότερα, με την ανάπτυξη του πολιτισμού, άρχισε να προοδεύει και η τεχνική για την κατασκευή οδών. Ο Ηρόδοτος φαίνεται να αναφέρει πρώτος για μία λιθόστρωτη οδό, που κατασκευάστηκε από τους Αιγύπτιους το 3.000 π.Χ. για να μεταφέρονται τα υλικά για την κατασκευή της περίφημης πυραμίδας του Χέοπα. Ίδια χρονολογία φαίνονται να έχουν οι λιθόστρωτες οδοί, που ίχνη τους βρέθηκαν στη Βαβυλωνία. Οι αρχαίοι Έλληνες και κυρίως οι Αθηναίοι, αν και ναυτικός λαός περισσότερο, ασχολήθηκαν με τη μελέτη και την κατασκευή οδών. Εκείνοι όμως που ασχολήθηκαν σε μεγάλη κλίμακα με την τεχνική της οδοποιίας και θεωρούνται θεμελιωτές της είναι οι Ρωμαίοι. Ολόκληρη η αχανής Ρωμαϊκή αυτοκρατορία ήταν καλυμμένη, με ένα τεράστιο οδικό δίκτυο, το οποίο εξυπηρετούσε στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς. Οι ρωμαϊκές οδοί χαρακτηρίζονταν από τις μεγάλες ευθυγραμμίες, τις μεγάλες ακτίνες καμπυλότητας και τις μικρές, γενικά, κατά μήκος και εγκάρσιες κλίσεις. Για να πετύχουν να προσδώσουν οι Ρωμαίοι αυτά τα χαρακτηριστικά στις οδούς τους, αναγκάζονταν να δημιουργούν μεγάλα αναχώματα, καθώς και μικρά (τοίχοι αντιστήριξης, οχετοί) και μεγάλα (γέφυρες) τεχνικά έργα. Οι γέφυρες των οδών αυτών κατασκευάζονταν τοξωτές, συνήθως από πέτρα ενώ άλλοτε ήταν ξύλινες. Ανάμεσα στις σπουδαιότερες ρωμαϊκές οδοί αναφέρονται οι περίφημες Εγνατία, Απλία και Αυρηλία.

Κατά τους χρόνους του μεσαίωνα όχι μόνο δεν εμφανίστηκε καμία καλή προσπάθεια για παραπέρα ανάπτυξη της τεχνικής για την κατασκευή οδών, αλλά αφέθηκε και αυτό το περίφημο ρωμαϊκό οδικό δίκτυο να καταστραφεί σχεδόν, μέσα στην αδιαφορία του κόσμου. Μόνο προς το τέλος του μεσαίωνα παρατηρήθηκε πρόοδος στην κατασκευή των γεφυριών. Ακολούθησαν πολύ μικρές και ασήμαντες βελτιώσεις της οδοποιίας για να φτάσουμε στο 18ο αιώνα, όπου παρουσιάζεται μια άνθηση στην κατασκευή οδών, στη Γαλλία πρώτα και μετά στη Γερμανία, στην Αγγλία και την Ιταλία.

Η εξέλιξη που παρουσίασαν οι φυσικές και οι τεχνικές επιστήμες από το τέλος του προηγούμενου αιώνα και εξής συντέλεσαν σε μία θαυμαστή ανάπτυξη της συγκοινωνίας και της οδοποιίας. Εμφανίστηκαν και νέα, καλύτερα δομικά υλικά, έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι σύγχρονες οδοί μεγάλης κυκλοφορίας.

Οι Ρωμαίοι, πριν από 20 και πλέον αιώνες, κατασκεύασαν και διαχειρίστηκαν ένα οδικό σύστημα (Σχήμα 2.4) σε όλη την Ευρώπη. Η ρωμαϊκή πρακτική κατασκευής οδών προέβλεπε χάραξη σε ημιορεινές περιοχές και σε πρόποδες λόφων. Έτσι οι οδοί

ήταν βατές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και δεν κινδύνευαν από πλημμύρες ή από χιονοπτώσεις. Κατά το τέλος του 17^{ου} αιώνα, τις πρώτες βάσεις της διαχείρισης των οδών στη Γαλλία έθεσε ο Pierre-Marie-Jérôme Trésaguet (1716-1796) και ο Sir Thomas Telford (1757-1834), ιδρυτής του Institution of Civil Engineers, στη Μ. Βρετανία.



Σχήμα 2.4: Αρχαία οδός στην Πομπηία της Ιταλίας

Ο John Loudon McAdam (1756-1836) όμως, ο οποίος υπήρξε πρωτοπόρος στον τομέα του σχεδιασμού και κατασκευής των οδών είναι εκείνος που, στις αρχές του 18^{ου} αιώνα, σε δύο συστηματικές αναλύσεις του, «*Remarks on the Present System of Road-Making*» και «*Practical Essay on the Scientific Repair and Preservation of Roads*», έθεσε πρώτος τις βασικές αρχές για τη διαχείριση της συντήρησης των οδών. Υποστήριξε πρώτον, ότι η κυβέρνηση πρέπει να αναλάβει έναν εποπτικό ρόλο για τα οδοστρώματα και δεύτερον, ότι η διαχείριση τους πρέπει να ασκείται από ειδικευμένο και επαρκώς αμειβόμενο προσωπικό. Τρίτον, η επιλογή των εργαζομένων στην κατασκευή των οδοστρωμάτων θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα κριτήρια της καταλληλότητας και της ικανότητας τους, και η αμοιβή τους, με βάση τα ισχύοντα στην αγορά εργασίας. Τέλος, η συντήρηση των οδών θα πρέπει να ασκείται κατά τμήματα οδών και αντίστοιχες ομάδες συντήρησης, δηλαδή κάθε ομάδα προσωπικού θα έχει την πλήρη ευθύνη για ένα καθορισμένο τμήμα οδού.

Η έννοια της επισκευής και της συντήρησης των οδοστρωμάτων, προκειμένου αυτά να διατηρούνται σε αποδεκτή κατάσταση, είναι συνυφασμένη με την διατήρηση του οδοστρώματος σε ικανοποιητικά επίπεδα από πλευράς ασφάλειας και ποιότητας κυλίσεως.

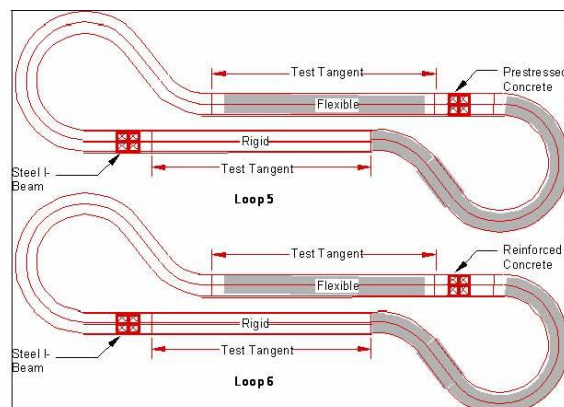
Η διαχείριση των οδικών δικτύων, καθώς αυτά επεκτείνονταν αργά κατά το πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, αλλά από τις δεκαετίες 1950-1960 και μετά, με γοργούς ρυθμούς, δεν ήταν δυνατόν να συνεχισθεί να γίνεται με απλές εμπειρικές διαδικασίες.

Αντίθετα, είχε γίνει πλέον κατανοητό ότι, μία επιστημονική αντιμετώπιση της διαχείρισης των οδικών δικτύων ήταν πλέον αναγκαία.

Στη σύγχρονη εποχή τεράστια υπήρξε η συνεισφορά στην τεχνολογική βάση της διαχείρισης των οδοστρωμάτων των ερευνητών, οι οποίοι συμμετείχαν στον πρόγραμμα AASHO (American Association of State Highway Officials) Road Test, το οποίο έλαβε χώρα κατά τα έτη 1958–1961 (Σχήμα 2.5). Η έναρξη της διαχείρισης των οδοστρωμάτων ως διαδικασία χρονολογείται περίπου στα μέσα της δεκαετίας του 1960.



(α)



(β)

Σχήμα 2.5: (α) Αεροφωτογραφία του AASHO Road Test. [Πηγή: AASHTO, 2005],
(β) Διάγραμμα κάτοψης του AASHO Road Test. [Πηγή: Highway Research Board, 1972]

Το AASHO ξεκίνησε το 1966 μία μελέτη με βάση τα αποτελέσματα του «AASHO Road Test», με σκοπό να αναπτυχθεί το θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο να οδηγήσει σε νέες εξελίξεις στον τομέα των οδοστρωμάτων. Για τον σκοπό αυτόν ερευνητές στο Πανεπιστήμιο του Texas (Hudson et al., 1968) άρχισαν να αντιμετωπίζουν τον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων με νέα αντίληψη, κάνοντας χρήση των πρώτων συστημάτων λογισμικού, υπολογιστών και εξοπλισμού.

Παρόμοιες προσπάθειες άρχισαν ταυτόχρονα και στον Καναδά (Hutchinson και Haas, 1968) και (Wilkins, 1968) με στόχο να δώσουν απάντηση στο συνολικό πρόβλημα του σχεδιασμού και της διαχείρισης των οδοστρωμάτων. Μία τρίτη ταυτόχρονη έρευνα που έθεσε ανάλογα θεμέλια ήταν στο Ινστιτούτο Μεταφορών του Τέξας (Scrivner et al., 1968).

Η ερευνητική προσπάθεια αυτών των τριών ερευνητικών ομάδων διαμορφώνει την αρχική εικόνα των συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων. Ο όρος *Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων – ΣΔΟ (Pavement Management Systems – PMS)* άρχισε να χρησιμοποιείται από ομάδες ερευνητών για να περιγράψουν ολόκληρο το φάσμα των δραστηριοτήτων που συνεπάγεται η κατασκευή και η συντήρηση των οδοστρωμάτων (Haas και Hutchinson, 1970).

Λίγο αργότερα έλαβαν χώρα δύο μεγάλα ερευνητικά προγράμματα. Το μεγαλύτερο από αυτά ήταν το ερευνητικό πρόγραμμα «123» του Τμήματος Αυτοκινητοδρόμων της Πολιτείας του Texas σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Texas. Το αποτέλεσμα της έρευνας ήταν μία σειρά εκθέσεων και εγχειριδίων κατά το έτος 1970 με πρώτο το 123-1 (Hudson et al., 1970). Τα αποτελέσματα αυτού του προγράμματος έθεσαν τις βάσεις για πολλές σύγχρονες καινοτομίες στην ανάλυση των οδοστρωμάτων.

Η άλλη μεγάλη έρευνα στο πεδίο των οδοστρωμάτων πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα NCHRP 1-10 (National Cooperative Highway Research Program) από τον Hudson (Hudson et al., 1968).

Σε δεύτερη φάση οι Hudson και McCullough (1973) ανέπτυξαν ένα πραγματικό σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων για εφαρμογή στις ΗΠΑ. Η τρίτη φάση της εφαρμογής του συνεχίστηκε από τους Lynton και McFarland (1974) στο Πανεπιστήμιο του Texas. Το μεγαλύτερο μέρος από όλη αυτή την εργασία συμπεριλαμβάνεται σε δύο βιβλία σχετικά με το θέμα της διαχείρισης των οδοστρωμάτων (RTAC, 1977) και τα Συστήματα Διαχείρισης των Οδοστρωμάτων (Haas και Hudson, 1978).

Ένα μεγάλο μέρος της έρευνας αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη της πρώτης τεχνολογίας διαχείρισης οδοστρωμάτων και την εφαρμογή της σε διάφορες Πολιτείες των ΗΠΑ. Τα επόμενα χρόνια η ανάπτυξη των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων υπήρξε ραγδαία, με αποτέλεσμα την εφαρμογή τους σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο.

2.1.2 Ορισμοί

Αυτήν τη στιγμή δεν υπάρχει ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός σχετικά με το τι είναι Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ).

Το AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ορίζει ότι *«Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων είναι ένα σύνολο εργαλείων ή μεθόδων, το οποίο παρέχει βοήθεια στους ειδικούς για την επιλογή βέλτιστων στρατηγικών στον σχεδιασμό, αξιολόγηση και συντήρηση των οδοστρωμάτων, ώστε να διατηρηθεί μία κατάσταση εξυπηρευτικότητας (serviceability) για μία καθορισμένη χρονική περίοδο»* (AASHTO, 1993, σελ. I-31).

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) *«διαχείριση της συντήρησης οδοστρωμάτων είναι η διαδικασία συντονισμού και ελέγχου και ένα αναλυτικό και περιεκτικό σύνολο δραστηριοτήτων για τη συντήρηση οδοστρωμάτων, ούτως ώστε να γίνει η κατά το δυνατόν βέλτιστη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων, π.χ. να μεγιστοποιηθεί το όφελος στο κοινωνικό σύνολο»* (OECD, 1987, σελ. 16).

Ο Haas περιγράφει ένα *«Ολικό Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων ως ένα συντονισμένο ενιαίο σύνολο δραστηριοτήτων, οι οποίες έχουν ως σκοπό την επίτευξη της μέγιστης δυνατής αξίας των διαθέσιμων δημόσιων πόρων στην παραγωγή και λειτουργία*

ομαλών, ασφαλών και οικονομικών οδοστρωμάτων» (Haas et al., 1994, σελ. 13).

Ένα Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων ουσιαστικά αποτελεί ένα σύνολο μέσων (εργαλείων) το οποίο παρέχει βοήθεια στον προγραμματισμό, αξιολόγηση και χρηματοδότηση της συντήρησης των οδοστρωμάτων με συστηματικό και οργανωμένο τρόπο.

2.1.3 Γενικά για τη συντήρηση οδοστρωμάτων

Η συντήρηση των οδοστρωμάτων σε όλες τις χώρες του κόσμου αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα. Η καταστροφική επίδραση διαφόρων παραγόντων, όπως τα φορτία κυκλοφορίας, οι καιρικές συνθήκες, η ηλιακή ακτινοβολία κ.ά., και παράλληλα η γήρανση και κόπωση των υλικών που συνθέτουν κάθε οδόστρωμα, προκαλούν, μετά την κατασκευή και παράδοση του στην κυκλοφορία, τη σταδιακή επιδείνωση των λειτουργικών και δομικών χαρακτηριστικών του και άρα της ποιότητάς του.

Τα οδοστρώματα αποτελούν για τους φορείς κατασκευής, λειτουργίας, εκμετάλλευσης και συντήρησης οδών και αυτοκινητοδρόμων, ένα από τα σημαντικότερα πάγια κεφάλαια (assets) και η κατασκευή τους θα πρέπει να θεωρείται πάντοτε ως μια επένδυση του κοινωνικού συνόλου. Για την αξιοποίηση σε βάθος χρόνου του κεφαλαίου που επενδύθηκε για την κατασκευή ενός οδοστρώματος, αυτό θα πρέπει να συντηρείται, έτσι ώστε η κατάσταση του να διατηρείται σε όσο το δυνατόν υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης για όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του.

Ο όρος «*συντήρηση οδοστρώματος*» στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται με την ευρεία έννοια. Η ορολογία που χρησιμοποιείται για τη διατήρηση του οδοστρώματος σε ένα ανεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης στην Ελλάδα, όπου χρησιμοποιείται συχνά ο γενικός όρος συντήρηση, και στις άλλες χώρες δεν είναι ίδια. Στις ΗΠΑ υπάρχει διαφορετική ορολογία, η συντήρηση διακρίνεται σε *συνήθη* ή *προγραμματισμένη, αποκατάσταση* (δευτερεύουσα και κύρια) και *προληπτική συντήρηση* (FHWA, 2005).

Στη χώρα μας με την Υ.Α. ΥΠΕΧΩΔΕ Δ17Α/09/141/ΦΝ443/ΕΓΚ.25/21-9-2006 διευκρινίζεται μόνο ο όρος «*συντήρηση*» των οδών.

Η μόνη περίπτωση αποσαφήνισης του όρου «*συντήρηση οδοστρωμάτων*» στην χώρα μας αναφέρεται από την εταιρία «Εγνατία Οδός ΑΕ» (ΕΟΑΕ). Η ΕΟΑΕ χρησιμοποιεί τον όρο «*Κύρια Συντήρηση Οδοστρωμάτων*» κυρίως για τα οδοστρώματα των νέων αυτοκινητοδρόμων, με περαιτέρω διάκριση της σε *στοιχειώδη συντήρηση* και *συντήρηση μεγάλης έκτασης* (Εγνατία Οδός ΑΕ, 2004).

Με στόχο τη συλλογή ουσιαστικών δεδομένων για την πρακτική συντήρησης των οδοστρωμάτων – ειδικότερα όσον αφορά τη συχνότητα των εργασιών συντήρησης – που εφαρμόζουν οι αρμόδιες Υπηρεσίες σε παγκόσμιο επίπεδο, εστάλησαν ειδικά ερωτηματολόγια (Παράρτημα Α) και το εξαγόμενο συμπέρασμα συνίσταται στο ότι κάθε χώρα έχει τη δική της πρακτική. Γενικά δεν υπάρχει μια ομοιόμορφη συγκεκριμένη πρακτική συντήρησης για το εθνικό και επαρχιακό δίκτυο.

2.1.4 Το πλαίσιο ενός ΣΔΟ

Ένα Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο, το οποίο μπορεί να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων προκειμένου να ευρεθούν οι πιο αποδοτικές από πλευράς κόστους στρατηγικές για την αξιολόγηση και συντήρηση των οδοστρωμάτων, ούτως ώστε αυτά να διατηρούνται στην επιθυμητή κατάσταση λειτουργικότητας. Γενικά ένα ΣΔΟ χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των αναγκών συντήρησης ενός οδικού δικτύου με βάση την υφιστάμενη κατάσταση, την επιλογή των τμημάτων του οδοστρώματος που χρειάζονται συντήρηση και τον καθορισμό του χρόνου συντήρησης (FHWA, 1989).

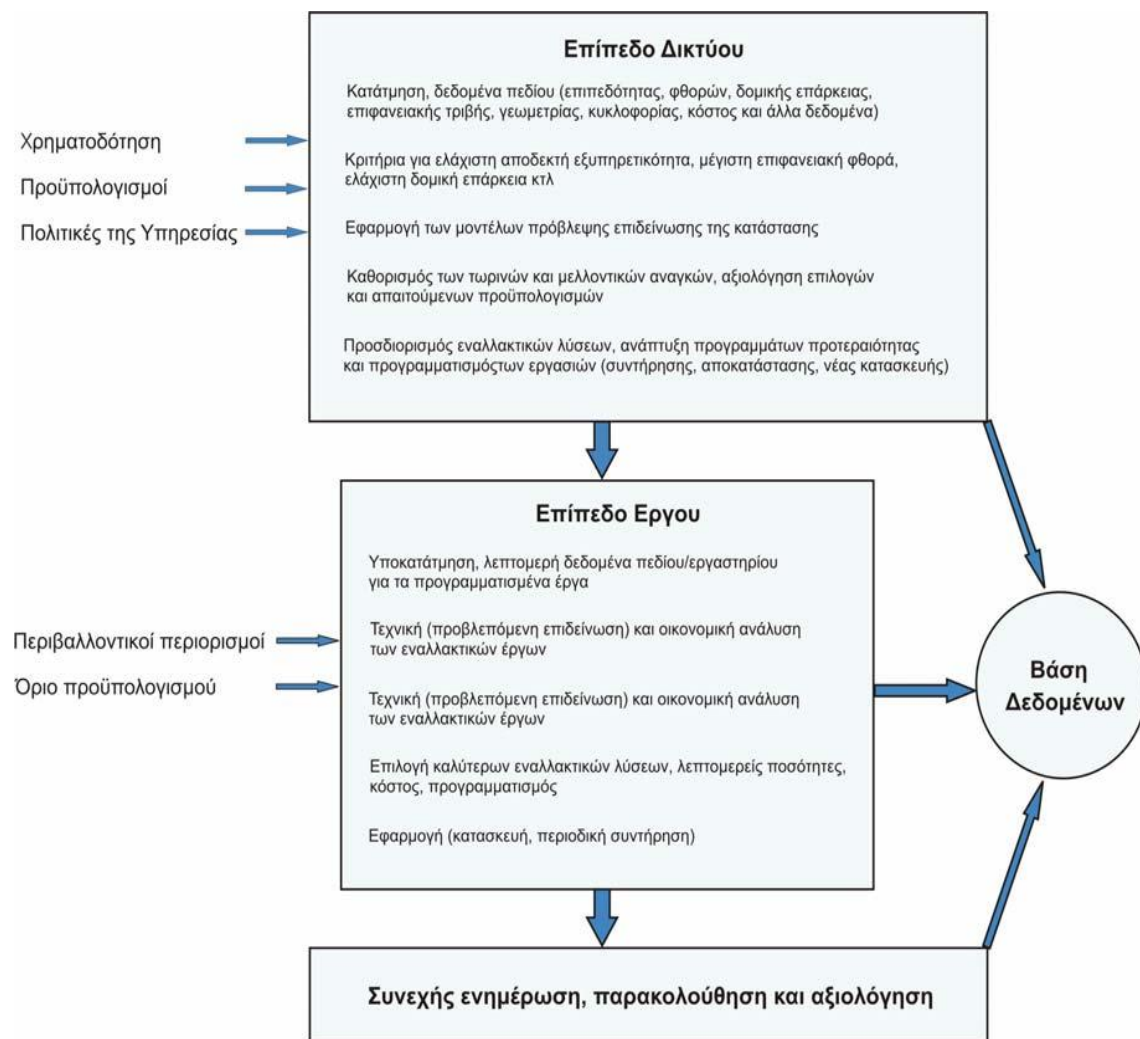
Τα επίπεδα ανάλυσης, λειτουργίας και εφαρμογής ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων είναι δύο, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο έργου. Η σχετική δομή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.6 (Haas et al., 1994).

Η *διαχείριση σε επίπεδο δικτύου* έχει ως κύρια λειτουργία την ανάπτυξη προγραμμάτων συντήρησης, ανακατασκευής και νέας κατασκευής οδοστρωμάτων, για ολόκληρο το οδικό δίκτυο, εντός των περιορισμών του διαθέσιμου προϋπολογισμού.

Η *διαχείριση σε επίπεδο έργου* αναφέρεται στις ενέργειες που επιβάλλονται από τις αποφάσεις που έχουν ληφθεί σε επίπεδο δικτύου και οι οποίες κυρίως περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση ενός συγκεκριμένου τμήματος του δικτύου.

Απαραίτητο και ουσιαστικό στοιχείο ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων αποτελεί η βάση δεδομένων, στην οποία αποθηκεύονται και ταξινομούνται τα δεδομένα.

Η διαδικασία της συνεχούς ενημέρωσης – παρακολούθησης – αξιολόγησης (feedback), η οποία περιλαμβάνει την εισαγωγή μέρους των αποτελεσμάτων του ΣΔΟ στη βάση δεδομένων, είναι αναγκαία για την αξιολόγηση της ικανότητας πρόβλεψης της μελλοντικής κατάστασης του οδοστρώματος και την επαλήθευση/τεκμηρίωση των τιμών που είχαν τεθεί για διάφορες παραμέτρους κατά τον αρχικό σχεδιασμό (σύγκριση πραγματικού κόστους εργασιών συντήρησης με αυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάλυση από το ΣΔΟ, αξιολόγηση των δεδομένων των χαρακτηριστικών της λειτουργικής και δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων από τις επισκοπήσεις με αυτά που προβλέφθηκαν από τα μοντέλα του Συστήματος).



Σχήμα 2.6: Λειτουργικό πλαίσιο Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων [Πηγή: Haas et al., 1994]

Υπηρεσίες διαχείρισης οδοστρωμάτων με αποκεντρωμένη οργάνωση περιλαμβάνουν ένα τρίτο επίπεδο διαχείρισης μεταξύ των επιπέδων δικτύου και έργου, το οποίο έχει ονομασθεί *επίπεδο επιλογής – έργου (project – selection level)*.

Το επίπεδο επιλογής έργου σχετίζεται με αποφάσεις χρηματοδότησης για έργα ή ομάδες έργων που ανταγωνίζονται σε επίπεδο δικτύου (το οποίο αναφέρεται σε αποφάσεις κατανομής της χρηματοδότησης για ολόκληρο το οδικό δίκτυο).

Το επίπεδο επιλογής έργου είναι ένα επίπεδο λήψης αποφάσεων στο οποίο γίνεται η αξιολόγηση των διαφόρων ανταγωνιζόμενων προς χρηματοδότηση έργων ή ομάδων έργων και η εφαρμογή των τελικών επιλογών που προκύπτουν από την αξιολόγηση αυτή. Ως επίπεδο λήψης αποφάσεων, σχετίζεται με την ανάλυση σε επίπεδο δικτύου και λειτουργεί ως «γέφυρα» μεταξύ των αποφάσεων σε επίπεδο δικτύου και των αποφάσεων για συγκεκριμένα τμήματα του δικτύου (επίπεδο έργου) (Haas et al., 1994).

Το επίπεδο επιλογής έργου απαιτεί τη συλλογή περισσότερων δεδομένων, από αυτά τα οποία συνήθως συλλέγονται σε επίπεδο δικτύου, αλλά σημαντικά λιγότερα από τα δεδομένα του επιπέδου έργου (AASHTO, 1990 - Bennett et al., 2007).

2.1.5 Τα δύο επίπεδα (δικτύου και έργου) – Διαφορές

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των επιπέδων δικτύου και έργου ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, αφορούν τα εργαλεία ανάλυσης, το πεδίο εφαρμογής και τα συλλεγόμενα δεδομένα (Peterson, 1987 - Haas et al., 1994).

Αν και οι διαφορές ποικίλλουν μεταξύ των Υπηρεσιών συντήρησης οδοστρωμάτων, διότι εξαρτώνται από το μέγεθος, την οργάνωση τους και άλλους εσωτερικούς παράγοντες, μερικές γενικές διαφορές μεταξύ των δύο επιπέδων είναι οι επόμενες (AASHTO, 2001):

- Οι σκοποί ή οι επιδιώξεις των αποφάσεων για τη συντήρηση των οδοστρωμάτων.

- Οι ομάδες ή τα επίπεδα εντός του οργανισμού που εμπλέκονται στη λήψη των αποφάσεων συντήρησης.

- Ο αριθμός των ομάδων ή των προσώπων που πρέπει να αναπτύξουν και να κρίνουν τις προτάσεις πριν από την υποβολή τους στην αρμόδια Υπηρεσία.

- Ο αριθμός των τμημάτων διαχείρισης τα οποία εμπλέκονται στην ανάλυση.

- Ο βαθμός λεπτομέρειας των δεδομένων και των πληροφοριών, οι οποίες απαιτούνται για τη λήψη των αποφάσεων.

Οι σκοποί ή επιδιώξεις της διαδικασίας διαχείρισης των οδοστρωμάτων σε επίπεδο δικτύου έχουν σχέση με τη διαδικασία της χρηματοδότησης (Haas et al., 2000), ενώ σε επίπεδο έργου ο σκοπός είναι η εξεύρεση των οικονομικότερων στρατηγικών συντήρησης ή ανακατασκευής για ένα τμήμα του οδικού δικτύου, εντός του διαθέσιμου προϋπολογισμού (Peterson, 1987).

2.1.6 Η βασική αρχιτεκτονική δομή των σύγχρονων ΣΔΟ

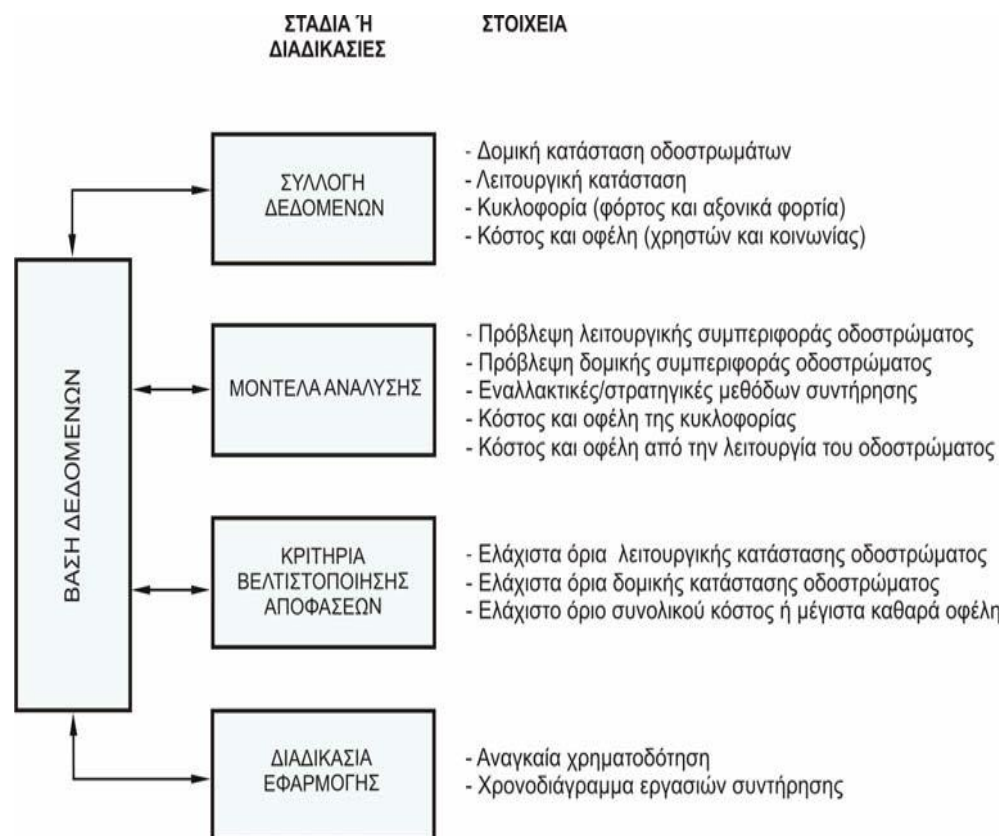
Η πιο σημαντική ίσως έρευνα για τον καθορισμό των στοιχείων ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων υπήρξε αυτή του Οργανισμού για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (ΟΟΣΑ). Το πλαίσιο και οι στόχοι του ΣΔΟ που αναπτύχθηκε από τον ΟΟΣΑ έχουν γίνει αποδεκτά από έναν αριθμό χωρών στην Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη.

Σύμφωνα με τον ΟΟΣΑ η διαδικασία της συντήρησης του οδοστρωμάτων αποτελείται από τέσσερα στάδια ή διαδικασίες (OECD, 1987).

- Συλλογή δεδομένων
- Μοντέλα ανάλυσης

- Καθορισμός κριτηρίων βελτιστοποίησης των αποφάσεων
- Αναλύσεις για τον καθορισμό της εφαρμοστέας λύσης

Ο συσχετισμός των ευρημάτων κατά στάδια καθώς και τα στοιχεία που εμπεριέχει το κάθε στάδιο επεξηγούνται στο Σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7: Βασική αρχιτεκτονική δομή των σύγχρονων ΣΔΟ [Πηγή: OECD, 1987]

2.2 Χαρακτηριστικά λειτουργικής και δομικής κατάστασης οδοστρώματος

Το οδόστρωμα πρέπει να παρέχει στους χρήστες άνετη και ασφαλή κίνηση και ικανό επίπεδο εξυπηρέτησης. Θα πρέπει επίσης να έχει δομική επάρκεια για να αντέχει στη συνδυασμένη επίδραση των φορτίων κυκλοφορίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών (Hernan de Solminihac, 2001). Τα χαρακτηριστικά ενός οδοστρώματος, τα οποία έχουν άμεση σχέση με τη λειτουργικότητα του οδοστρώματος, είναι αυτά που σχετίζονται με το γεωμετρικό του προφίλ, την ποιότητα της επιφάνειας του και επηρεάζουν την ασφάλεια και την άνεση κατά την οδήγηση, το λειτουργικό κόστος των οχημάτων, και επομένως αφορούν άμεσα τους χρήστες της οδού. Τα βασικά λειτουργικά και δομικά χαρακτηριστικά ενός οδοστρώματος, που λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγησή του, είναι (Bennett et al., 2005):

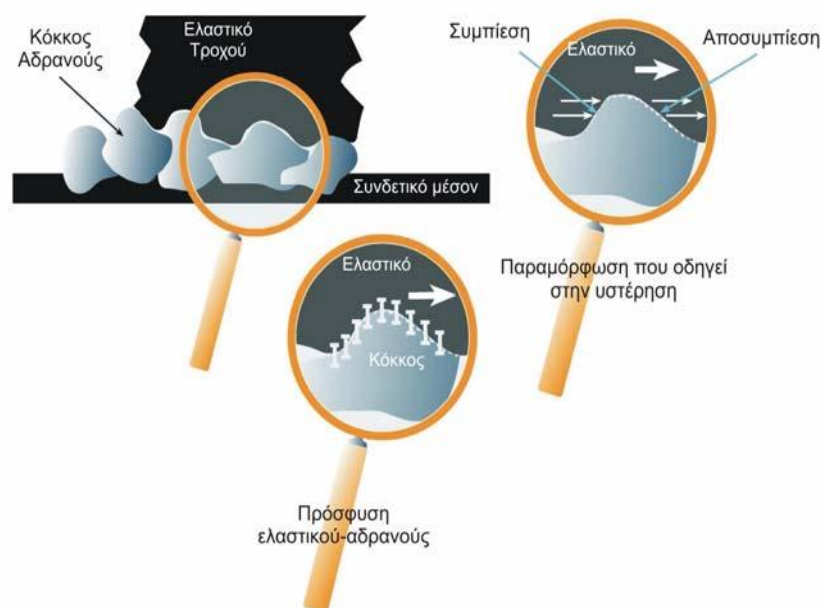
- Ομαλότητα (διαμήκης και εγκάρσια)

- Επιφανειακή υφή (μακροϋφή, μικροϋφή)
- Αντιολισθηρότητα
- Μηχανικές και δομικές ιδιότητες και
- Επιφανειακές φθορές

Παρακάτω θα αναλυθεί και εξεταστεί κάθε ένα από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ξεχωριστά και θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι εκτίμησης και αξιολόγησης (μέτρησης) τους.

2.2.1 Αντιολισθηρότητα

Η αντιολισθηρότητα (skid resistance) είναι η αντίσταση, η οποία αναπτύσσεται στη σχετική κίνηση μεταξύ του οδοστρώματος και των ελαστικών ενός οχήματος. Ο πραγματικός στόχος στον έλεγχο της ολισθηρότητας είναι ο προσδιορισμός της συνεισφοράς του οδοστρώματος στην ανάπτυξη της τριβής μεταξύ αυτού και του ελαστικού (Hegmon et al., 1973). Η αντίσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος σε ολίσθηση σχετίζεται άμεσα με την ασφάλεια των χρηστών της οδού κατά την οδήγηση (στις στροφές και κατά την πέδηση), ιδιαίτερα όταν η επιφάνεια του οδοστρώματος είναι υγρή (Griffin, 1984 - Wallman και Åström, 2001 - Kuttesch, 2004).



Σχήμα 2.8: Κύριες συνιστώσες δύναμης τριβής [Πηγή: Oliver και Halligan, 2006]

Η δύναμη τριβής, η οποία αναπτύσσεται στην επιφάνεια επαφής ελαστικού με το οδόστρωμα, εξαρτάται κυρίως από δύο συνιστώσες τη δύναμη πρόσφυσης (adhesion force) και τη δύναμη υστέρησης (hysteresis force) (Cairney, 1997 - Choubane et al.,

2003). Η συνιστώσα της πρόσφυσης οφείλεται στην ενεργό επαφή του υλικού κατασκευής του πέλματος του ελαστικού και του οδοστρώματος, καθώς το ελαστικό προσαρμόζεται στο σχήμα της επιφάνειας επαφής και σχετίζεται με τους μοριακούς δεσμούς του ελαστικού (Σχήμα 2.8). Η συνιστώσα της υστέρησης της δύναμης τριβής σχετίζεται με την αποθήκευση ενέργειας και την εκτόνωση της, καθώς το υλικό του ελαστικού παραμορφώνεται καθώς περνά τις ακανόνιστες προεξοχές του οδοστρώματος (Shuo Li et al., 2004).

Η τριβή που αναπτύσσεται στην επιφάνεια επαφής μεταξύ του οδοστρώματος και των ελαστικών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι (Wambold et al., 1987 - Sandberg, 1997 - Wallman Carl-Gustaf και Åström Henrik, 2001):

- Επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, όπως η υφή (μικροϋφή, μακροϋφή), ομαλότητα και αυλάκωση, η καθαρότητα ή η ρύπανση της επιφάνειας του οδοστρώματος (σκόνη, λάδια κ.λπ.).
- Χαρακτηριστικά του ελαστικού, όπως ο τύπος του υλικού του ελαστικού (πρόσφυση και υστέρηση), η διάταξη και το βάθος των αυλακώσεων του πέλματος του ελαστικού, η πίεση πλήρωσης του ελαστικού, το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής του ελαστικού με την επιφάνεια του οδοστρώματος, το φορτίο του τροχού, η θερμοκρασία του οδοστρώματος, η ομαλότητα του οδοστρώματος, η μικροϋφή και η μακροϋφή του, η ταχύτητα του οχήματος και η ομοιομορφία της ταχύτητας κατά τη διάρκεια της ολίσθησης.
- Λειτουργικά χαρακτηριστικά του οχήματος, όπως ταχύτητα, φορτίο άξονα και τύπος οχήματος.
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες, πάγος, χιόνι, ρύπανση και θερμοκρασία, η παρουσία ή απουσία νερού στο οδόστρωμα (βρεγμένο/στεγνό). Φυσικά η επίδραση των παραγόντων αυτών εξαρτάται τόσο από την ένταση του φαινομένου, όσο και από τη διάρκειά του.

2.2.1.1 Μέτρηση & εκτίμηση αντιολισθηρότητας – Όρια συντελεστών τριβής οδοστρώματος

Ο προσδιορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων τριβής του οδοστρώματος δεν είναι μόνο ένα τεχνικό ζήτημα, αλλά σχετίζεται με την ασφάλεια των χρηστών της οδού (Rizenbergs et al., 1977 - Gothié, 2000).

Για τη μέτρηση της αντιολισθηρότητας του οδοστρώματος χρησιμοποιούνται διάφορες συσκευές. Μερικές από τις πιο συνήθεις είναι το ολισθηρόμετρο ASTM (Skid trailer ASTM E 274), το SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine) (British Standard BS7941-1), το Mu-Meter (ASTM E 670) και το «Βρετανικό εκκρεμές» (Portable Skid Resistance Tester) (ASTM E103, BS812:114), το οποίο είναι

φορητή συσκευή για επί τόπου μετρήσεις. Στη βιβλιογραφία περιγράφονται και άλλες συσκευές (Henry, 1986 - Wallman Carl-Gustaf και Åström Henrik, 2001). Πολλοί ερευνητές αναφέρουν συσχετίσεις μεταξύ των τιμών τριβής, οι οποίες ελήφθησαν με διαφορετικές συσκευές (Henry, 1986 - Yager, 1990 - Diringer και Barros, 1990). Συσχετίσεις επίσης των αποτελεσμάτων μέτρησης τριβής μεταξύ συσκευών αναφέρονται στην εργασία Norsesmeter Friction AS (2006). Αναφορικά με τη χρήση των μετρητικών συσκευών, στις ΗΠΑ, η συσκευή η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο είναι το ολισθηρόμετρο ASTM, ενώ το SCRIM χρησιμοποιείται συνήθως από πολλά κράτη μέλη της E.E. Στην Ελλάδα η μέτρηση ολισθηρότητας γίνεται συνήθως με το ολισθηρόμετρο ASTM. Λεπτομέρειες για τις συσκευές δίνονται στη βιβλιογραφία (Henry, 2000). Δείκτες μέτρησης ολισθηρότητας και ελάχιστα επιτρεπτά όρια αντίστασης σε ολίσθηση των οδοστρωμάτων που ισχύουν στις διάφορες χώρες αναφέρονται επίσης σε ελληνική βιβλιογραφία (Νικολαΐδης, 1996).

Ο έλεγχος *αντιολισθηρότητας* των οδοστρωμάτων πραγματοποιείται για τρεις κυρίως λόγους (Shuo Li et al., 2004):

- Συλλογή στοιχείων (δεδομένων) του οδοστρώματος
- Έλεγχος των απαιτήσεων τριβής στον σχεδιασμό, την κατασκευή και συντήρηση των οδοστρωμάτων
- Διερεύνηση αιτιών ατυχημάτων

Ο συντελεστής τριβής σε στεγνά οδοστρώματα έχει μικρές διαφορές, ενώ σε υγρά οδοστρώματα παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις (Moore και Humphreys, 1973). Επειδή ο συντελεστής τριβής ελαττώνεται όταν το οδόστρωμα είναι υγρό (Noyce David et al., 2005), η μέτρηση του συντελεστή πραγματοποιείται με ταυτόχρονη διαβροχή του οδοστρώματος. Λόγω της πληθώρας των συσκευών μέτρησης της αντιολισθηρότητας και της ανάγκης σύγκρισης και εναρμόνισης των συσκευών μεταξύ τους, πραγματοποιήθηκε από το Διεθνή Οργανισμό Οδοποιΐας (PIARC) το έτος 1995 ένα σημαντικό διεθνές πείραμα, σε τμήματα των οδικών δικτύων και διαδρόμων αεροδρομίων του Βελγίου και της Ισπανίας, με σκοπό τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με χαρακτηριστικά των συσκευών και οργάνων μέτρησης τριβής και υφής που χρησιμοποιούνται σε όλον τον κόσμο. Στο πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με 41 διαφορετικές συσκευές. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων και το συσχετισμό τους προέκυψε μια μεθοδολογία εναρμόνισης των αποτελεσμάτων από διαφορετικές συσκευές μέτρησης τριβής. Τιμές τριβής οι οποίες ελήφθησαν από μία συσκευή μπορούν να μετατραπούν σε τιμές που θα μετρούσε μια άλλη συσκευή μέσω μιας εξίσωσης, στην οποία υπεισέρχεται η μέτρηση του Μέσου Βάθους Προφίλ (Mean Profile Depth) της επιφάνειας (PIARC, 1995).

Τα χαρακτηριστικά τριβής ενός οδοστρώματος χρησιμοποιούνται σε ένα *Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων*, τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο έργου. Σε επίπεδο δικτύου κυρίως για την αξιολόγηση πιθανών ολισθηρών τμημάτων και για την εξαγωγή συμπερασμάτων για το σχεδιασμό εργασιών αποκατάστασης τους και τη

δημιουργία βάσης δεδομένων αντιολισθηρότητας. Σε επίπεδο έργου συνήθως για την εξακρίβωση της κατάστασης αντιολισθηρότητας σε μία συγκεκριμένη οδό και τη λήψη απόφασης για συντήρηση της (Shuo Li et al., 2003).

2.2.2 Ομαλότητα

Ως διαμήκης και εγκάρσια ομαλότητα ή επιπεδότητα (roughness, smoothness, evenness) ενός οδοστρώματος ορίζονται οι διακυμάνσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος μεγαλύτερες από 5 mm σε σχέση με την απόλυτα επίπεδη (ιδανική) επιφάνεια, που προβλέπει η γεωμετρία σχεδιασμού του οδοστρώματος (Henry, 2000).

Οι αποκλίσεις της γεωμετρίας της πραγματικής επιφάνειας του οδοστρώματος, από την απόλυτα ιδανική επιφάνεια σχεδιασμού, επιδρούν στη δυναμική του οχήματος, την ποιότητα οδήγησης, τα δυναμικά φορτία, αλλά και στην αποστράγγιση του οδοστρώματος (ASTM E867-87). Η αλληλεπίδραση μεταξύ των ελαστικών, ιδιαίτερα των βαρέων οχημάτων, και της μη ομαλής επιφάνειας του οδοστρώματος μειώνει την ποιότητα κύλισης, η οποία είναι αντιληπτή από τον οδηγό και επιφέρει δυναμικά φορτία αλληλεπίδρασης οχήματος – τροχών – οδοστρώματος, τα οποία με τη σειρά τους ενισχύουν τη φθορά – τόσο την επιφανειακή όσο και τη δομική – του οδοστρώματος (Cebon, 1989 - OECD, 1997). Είναι επίσης προφανές ότι η ομαλότητα έχει σημαντική επίπτωση στο λειτουργικό κόστος των οχημάτων καθώς και στην άνεση των επιβατών (Sayers, 1985).

Η συλλογή δεδομένων για την ομαλότητα ενός οδοστρώματος έχει διάφορες εφαρμογές. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν παράγοντες αξιολόγησης της ποιότητας νέων οδοστρωμάτων, μελέτης της κατάστασης συγκεκριμένων οδικών τμημάτων, διάγνωσης της κατάστασης των οδοστρωμάτων σε συγκεκριμένες θέσεις και καθορισμού του τύπου των ενδεχόμενων επεμβάσεων (Budras, 2001).

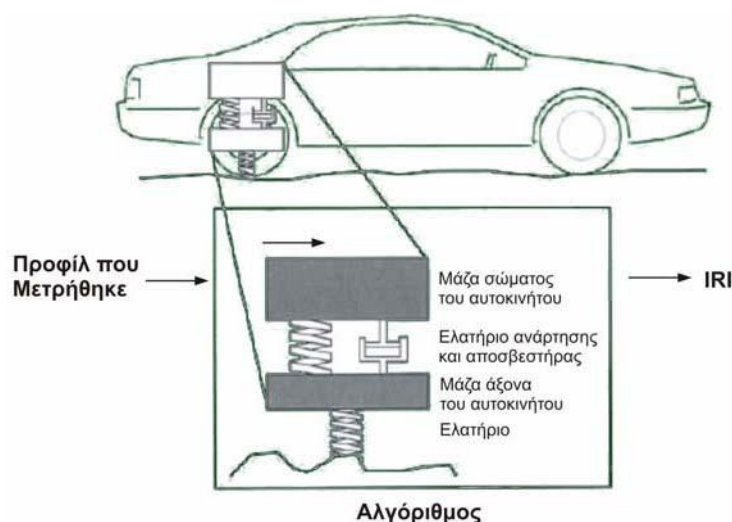
2.2.2.1 Δείκτες ομαλότητας

Η πρώτη προσέγγιση που έγινε για την αξιολόγηση της ομαλότητας ενός οδοστρώματος είναι ο δείκτης *PSR* (*Present Serviceability Rating*), ένα υποκειμενικό σύστημα βαθμολογικής κατάταξης που βασίζεται στην ποιότητα κύλισης και λαμβάνει τιμές από 0 (ουσιαστικά αδιάβατο) έως 5 (άριστο) (Carey και Irick, 1960).

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε ο *Δείκτης Παρούσας Εξυπηρετικότητας* (*Present Serviceability Index – PSI*). Ο δείκτης *PSI* προέκυψε με βάση αντικειμενικές μετρήσεις ορισμένων χαρακτηριστικών της επιφάνειας του οδοστρώματος, όπως η μέση τιμή της εγκάρσιας κλίσης και στα δύο ίχνη των τροχών, το ποσοστό επί τοις χιλίοις της ρηγματωμένης επιφάνειας (μήκος ρωγμών σε πόδια [ft] ανά επιφάνεια 1000 ft²), το ποσοστό επί τοις χιλίοις της επιφάνειας των μπαλωμάτων ανά επιφάνεια 1000 ft², και το μέσο βάθος αυλάκωσης σε ίντσες (in) (και στα δύο ίχνη των τροχών).

Ο δείκτης που χρησιμοποιείται πλέον περισσότερο είναι ο *Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας* (*International Roughness Index - IRI*). Ο προσδιορισμός του *IRI* για ένα τμήμα οδοστρώματος βασίζεται στην προσομοίωση της κίνησης ενός τυπικού αυτοκινήτου

στο υπό εξέταση οδόστρωμα. Για την προσομοίωση χρησιμοποιείται ένα φυσικό μοντέλο το οποίο καλείται «μοντέλο ενός τετάρτου τυπικού επιβατικού αυτοκινήτου» («*a quarter car model*»). Η κίνηση του ενός τετάρτου του τυπικού επιβατικού αυτοκινήτου προσομοιώνεται στο μετρούμενο προφίλ του οδοστρώματος για τον υπολογισμό των μετατοπίσεων των στοιχείων της ανάρτησης και του αμαξώματος του αυτοκινήτου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9, το ένα τέταρτο του τυπικού επιβατικού αυτοκινήτου προσομοιώνεται από ένα τυπικό μηχανικό ανάλογο, το οποίο αποτελείται από: τη μάζα του σώματος του 1/4-αυτοκινήτου (αναρτώμενη μάζα), και τη μάζα του άξονα και του τροχού – ελαστικού (μη αναρτώμενη μάζα) μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ένα ελατήριο και ένας αποσβεστήρας – που αντιπροσωπεύουν την ανάρτηση του οχήματος, ενώ μεταξύ της μη αναρτώμενης μάζας (τροχός – ελαστικό) και του εδάφους παρεμβάλλεται ένα ελατήριο Β – που αντιπροσωπεύει τη σκληρότητα του ελαστικού. Η προσομοιούμενη ταχύτητα κίνησης είναι συνήθως 50 mi/h.



Σχήμα 2.9: Το μηχανικό ανάλογο (πρότυπο) του «1/4 του αυτοκινήτου» για την προσομοίωση των μετατοπίσεων του αμαξώματος κατά την κίνηση σε ένα οδόστρωμα με δεδομένο προφίλ. Το ανάλογο χρησιμοποιείται στη διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη IRI ενός οδοστρώματος [Πηγή: FHWA, 2006]

Το άθροισμα των απόλυτων τιμών των κατακόρυφων κινήσεων της ανάρτησης, το οποίο προκύπτει από την προσομοίωση της κίνησης του 1/4 του τυπικού επιβατικού αυτοκινήτου σε ένα μήκος οδού, διαιρείται με το μήκος της διαδρομής προσομοίωσης προκειμένου να υπολογισθεί ο μέσος όρος της κίνησης της ανάρτησης ανά μονάδα μήκους. Ο δείκτης IRI ισούται με την τιμή του λόγου αυτού. Οι μονάδες μέτρησης του δείκτη IRI είναι συνήθως [m/km] ή [in/mi] (Sayers και Karamihis, 1998). Η ακριβής διαδικασία προσδιορισμού του IRI, από τις μετρήσεις του διαμήκους προφίλ του οδοστρώματος, καθορίζεται από την προδιαγραφή ASTM E-1926.

Από τις μετρήσεις του προφίλ της επιφάνειας ενός οδοστρώματος, προσδιορίζονται και άλλοι δείκτες ομαλότητας μεταξύ των οποίων, εκτός από το Διεθνή Δείκτη

Ομαλότητας (IRI), περιλαμβάνονται ο *Δείκτης Προφίλ (Profile Index – PI)*, ο *Αριθμός Ποιότητας Οδήγησης (Ride Number – RN)*, ο *Δείκτης Ποιότητας Οδήγησης του Michigan (RQI)* (NCHRP Project 1-3, 1997 – Sayers και Karamihias, 1998). Άλλοι δείκτες, όπως ο *Mean Panel Rating (MPR)* και ο *Root Mean Square Vertical Acceleration (RMSVA)* (Awasthi et al., 2003), χρησιμοποιούνται επίσης για τη αξιολόγηση της ομαλότητας των οδοστρωμάτων. Στις ΗΠΑ, η Υπηρεσία FHWA (Federal Highway Administration) απαιτεί από τις Υπηρεσίες Αυτοκινητοδρόμων των Πολιτειών να υποβάλλουν συστηματικά τις μετρήσεις ομαλότητας για το Σύστημα Επισκόπησης Κατάστασης Αυτοκινητοδρόμων (Highway Performance Monitoring System) σε IRI.

2.2.2.2 Μέτρηση Ομαλότητας – Εξοπλισμός

Σε ένα Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων οι μετρήσεις ομαλότητας χρησιμοποιούνται τόσο σε επίπεδο έργου όσο και σε επίπεδο δικτύου. Σε *επίπεδο έργου* είναι χρήσιμες στον εντοπισμό περιοχών υπερβολικά μεγάλου δείκτη ομαλότητας (τιμή του δείκτη IRI ίση με 0 m/km αντιστοιχεί σε απόλυτη ομαλότητα, ενώ IRI με τιμή 9 m/km αντιπροσωπεύει επιφάνεια δρόμου χωρίς επιφανειακή επίστρωση) και υποβοηθούν στη λήψη απόφασης, εάν ή όχι μία στρατηγική συντήρησης θα περιλαμβάνει κάποια θεραπεία για τη μείωση του δείκτη ομαλότητας (όπως επίστρωση ή απόξεση με ειδικά μηχανήματα) και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας αυτών των επεμβάσεων. Γενικά όμως οι μετρήσεις ομαλότητας παίζουν μεγαλύτερο ρόλο στη διαχείριση των οδοστρωμάτων σε *επίπεδο δικτύου* (π.χ. στον προσδιορισμό τμημάτων του οδικού δικτύου που έχουν ανάγκη άμεσης συντήρησης ή αποκατάστασης) παρά στην αξιολόγηση σε επίπεδο έργου (Hall et al., 2002).

Διάφοροι τύποι συσκευών χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ομαλότητας των οδοστρωμάτων. Στις συσκευές αυτές περιλαμβάνονται προφίλογράφοι (Ride Meters), προφιλόμετρα ταχύτητας βαδίσματος (walking-speed profilers), προφιλόμετρα αδράνειας (Inertial Profilers), υψηλής ταχύτητας μη επαφής λέιζερ (High-Speed Non-Contact Laser Profilers) και προφιλόμετρα ελαφρού βάρους μη επαφής (Lightweight Non-Contact Pro-filers) (Kuennen, 2003 – Jones και Omundson, 2004).

2.2.2.2.1 Προφίλογράφοι (Profilographs)

Οι προφίλογράφοι (π.χ. ο 25–ποδών California profilograph) είναι κατάλληλοι για τον επανέλεγχο της ομαλότητας μόνο μικρών τμημάτων οδοστρωμάτων, την επαλήθευση της διόρθωσης της ομαλότητας, η οποία έγινε μετά την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης τους, τον έλεγχο καταστρωμάτων γεφυρών, καθώς και για εργασίες στις οποίες είναι απαραίτητο να προσδιορισθεί το προφίλ του οδοστρώματος σε μικρές αποστάσεις (FHWA, 2006). Ένας προφίλογράφος αποτελείται από μία μεταλλική δοκό, η οποία σύρεται με το χέρι. Εδράζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος με τροχούς στήριξης τους οποίους φέρει στα άκρα του και οι οποίοι καθορίζουν το σχετικό οριζόντιο επίπεδο. Περιλαμβάνει ένα καταγραφέα, που συνδέεται με έναν

τροχό τον οποίο φέρει στο μέσον του και ο οποίος είναι σε επαφή με την επιφάνεια του οδοστρώματος. Το προφίλ του οδοστρώματος, που προκύπτει από τις κατακόρυφες μετακινήσεις του μεσαίου τροχού και το οποίο αποτυπώνεται μηχανικά από τον καταγραφέα σε ρολό χαρτιού, καλείται προφιλόγραμμα (profilogram). Από το προφιλόγραμμα μέσω ειδικού λογισμικού, όπως είναι το APPARE (Automated Pavement Profile Analysis and Roughness Evaluation), υπολογίζονται οι δείκτες ομαλότητας PI και IRI (Zhu και Nayar, 1993).

2.2.2.2.2 Ride Meters

Είναι ένα σύστημα μέτρησης της ομαλότητας του οδοστρώματος τύπου απόκρισης (response-type road roughness measuring system). Σε αυτήν την κατηγορία του εξοπλισμού περιλαμβάνονται συσκευές, οι οποίες μετρούν τη σχετική κίνηση άξονα και σώματος του οχήματος, και συσκευές οι οποίες μετρούν την επιτάχυνση του άξονα ή του σώματος του οχήματος (Budras, 2001). Στην πρώτη περίπτωση τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται η συσκευή είναι, ένας περιστροφικός μετατροπέας (rotary transducer), ο οποίος μετατρέπει τις μετακινήσεις του άξονα/σώματος του οχήματος σε ηλεκτρικά σήματα, ο καταγραφέας της κατάστασης του οδοστρώματος (pavement condition recorder) και ένα ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης αποστάσεων (electronic odometer). Ο καταγραφέας της κατάστασης του οδοστρώματος είναι ένας μικροεπεξεργαστής, ο οποίος τα σήματα τα οποία δέχεται από τον μετατροπέα, και το όργανο μέτρησης αποστάσεων τα επεξεργάζεται και υπολογίζει το δείκτη IRI (Budras, 2001).

2.2.2.2.3 Προφιλόμετρα αδράνειας (Inertial Profilers)

Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για τη συλλογή δεδομένων ομαλότητας σε μεγάλα μήκη οδών. Κάθε ίχνος καταγραφής της ομαλότητας απαιτεί έναν ξεχωριστό αισθητήρα λέιζερ και ένα επιταχυνσιόμετρο. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε υπολογιστή, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο όχημα, για περαιτέρω επεξεργασία. Τα προφιλόμετρα αδράνειας έχουν τη δυνατότητα καταγραφής του διαμήκους και εγκάρσιου προφίλ του οδοστρώματος, με ταχύτητες κίνησης των οχημάτων (μέχρι και 110 χιλιόμετρα ανά ώρα), μέσω της δημιουργίας αναφοράς αδράνειας, με τη χρήση επιταχυνσιομέτρων, τα οποία είναι τοποθετημένα στο σώμα του οχήματος. Με τη χρήση των υψηλής ταχύτητας προφιλόμετρων αδράνειας, οι μετρήσεις του προφίλ της επιφάνειας του οδοστρώματος εκτελούνται χωρίς να δημιουργούνται κυκλοφοριακά προβλήματα. Περισσότερα για τον εξοπλισμό μέτρησης της ομαλότητας αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Budras, 2001 - Perera και Kohn, 2002 - FHWA, 2005).

Λόγω του μεγάλου αριθμού των προφιλόμετρων αδράνειας, το Τμήμα Μεταφορών του Texas στις ΗΠΑ έχει διενεργήσει αξιολόγηση και πιστοποίηση διαφόρων κατηγοριών εξοπλισμού μέτρησης ομαλότητας (Inertial Profilers και Profilers) διαφόρων κατασκευαστών (TxDOT, 2006). Επίσης έχουν γίνει προσπάθειες αξιολόγησης προφιλόμετρων ελαφρού βάρους (Larsen, 1999 - Akhter et al., 2003) και υψηλής ταχύ-

τητας (Choubane et al., 2002 - FHWA, 2005 - Wang Hao, 2006).

Η ακρίβεια (accuracy) των μετρήσεων ενός προφίλομέτρου ελέγχεται με βάση μία συσκευή αναφοράς. Στις συσκευές αναφοράς περιλαμβάνονται το Rod and Level, το Dipstick της Face Company, ο Walking Profiler του ARRB (Australian Road Research Board) (Perera Rohan et al., 2006) κ.λπ. Από τις ερευνητικές εργασίες που αναφέρθηκαν, συνάγεται ότι διάφοροι παράγοντες έχουν επιπτώσεις στην ακρίβεια ενός προφίλομέτρου. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται: η βαθμονόμηση (calibration) του προφίλομέτρου, ο τρόπος λειτουργίας του, το περιβάλλον (ουσίες που προκαλούν ρύπανση στην επιφάνεια του οδοστρώματος), η υγρασία και η θερμοκρασία του οδοστρώματος (Rawool et al., 2002 - UMTRI, 2004 - FHWA, 2005).

Επίσης η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από τη θέση του προφίλομέτρου σε σχέση με το δρόμο, και την ικανότητά του να εντοπίσει τα υψηλά και χαμηλά σημεία στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Όπως είναι αναμενόμενο, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των αισθητήρων τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα της εντόπισης των υψηλών και χαμηλών σημείων, ιδιαίτερα στην περίπτωση που υπάρχουν στην επιφάνεια του οδοστρώματος αυλακώσεις (Mallela και Wang, 2006). Άλλοι ερευνητές, από μετρήσεις τις οποίες πραγματοποίησαν σε τύπους οδοστρωμάτων με διαφορετική επιφανειακή υφή, αναφέρουν ότι η ακρίβεια των προφίλομέτρων εκτιμάται ότι επηρεάζεται και από την επιφανειακή υφή του οδοστρώματος (Larsen, 1999 - Wang Hao, 2006).

Οι επιπτώσεις της ταχύτητας κίνησης στις μετρήσεις ομαλότητας έχουν επίσης διερευνηθεί και τα αποτελέσματα ερευνητικών μελετών έχουν δείξει ότι η ταχύτητα λειτουργίας ενός προφίλομέτρου επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων (Choubane και McNamara, 2001 - Rawool, 2002 - Choubane et al., 2002).

Στις ΗΠΑ το AASHTO έχει θεσπίσει προδιαγραφές σχετικά με τις διαδικασίες για την πιστοποίηση των προφίλομέτρων αδρανείας (AASHTO, 2005).

2.2.3 Επιφανειακή υφή (μικροϋφή-μακροϋφή-μεγαϋφή)

Σύμφωνα με την PIARC (Permanent International Association of Road Congress), η επιφανειακή υφή του οδοστρώματος ανάλογα με το βάθος της κατατάσσεται σε τρεις κατηγορίες (PIARC, 1987):

α) Μικροϋφή: Βάθος = 0.01mm έως 0.5 mm

β) Μακροϋφή: Βάθος = 0.5 mm έως 50 mm

γ) Μεγαϋφή: Βάθος = 50 mm έως 500 mm

Διακυμάνσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος μεγαλύτερες από το όριο της μεγαϋφής ορίζονται ως ομαλότητα ή επιπεδότητα (Henry, 2000).

Η μικροϋφή είναι ένα μέτρο των ανωμαλιών της επιφάνειας των κόκκων των αδρανών και ορίζεται ως μία ποιότητα των ανωμαλιών της επιφάνειας σε υποορατό ή μικρο-

σκοπικό επίπεδο.

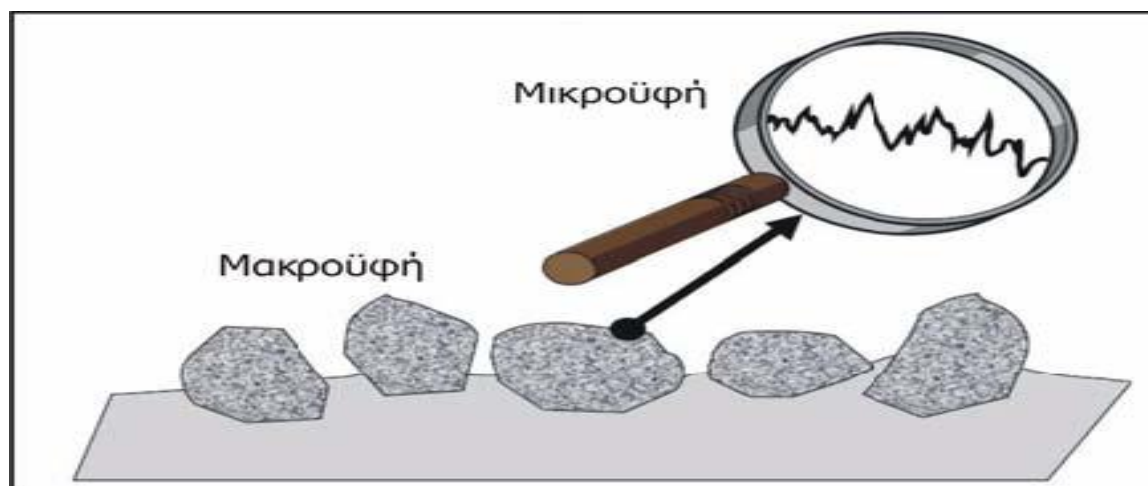
Η *μακροϋφή* είναι ένα χαρακτηριστικό του οδοστρώματος, που δηλώνει το μέγεθος των αποκλίσεων και των αυλακίων μεταξύ των κόκκων των αδρανών και επομένως είναι αποτέλεσμα της αναλογίας των μεγάλων κόκκων των αδρανών στο μίγμα του ασφαλτοσκυροδέματος.

Η μικροϋφή και η μακροϋφή (Σχήμα 2.10) είναι τα δύο είδη της υφής του οδοστρώματος, τα οποία επηρεάζουν την τριβή μεταξύ του οδοστρώματος και των ελαστικών του οχήματος (Henry, 2000). Όταν αυξάνεται η υφή της επιφάνειας των νέων οδοστρωμάτων επέρχεται αύξηση της αντίστασης ολίσθησης του οδοστρώματος. Αυτό ίσως μερικές φορές αυξάνει την έλλειψη άνεσης των χρηστών της οδού, λόγω της αύξησης του θορύβου, της δόνησης, της αύξησης της κατανάλωσης καυσίμου και της φθοράς των ελαστικών του οχήματος (Ivey et al., 1992). Όμως οι αρνητικές όψεις της αύξησης του συντελεστή τριβής του οδοστρώματος αντισταθμίζονται από την αυξημένη αντιολισθηρότητα και την πιθανότατη μείωση του αριθμού των ατυχημάτων, τα οποία θα συνέβαιναν λόγω ανεπαρκούς τριβής οδοστρώματος – ελαστικών οχημάτων (Ivey και McFarland, 1981).

Η μικροϋφή συνεισφέρει στην τριβή πρόσφυσης (adhesive friction) (Cairney και Styles, 2005) και αποτελεί σημαντικό παράγοντα απομάκρυνσης του λεπτού στρώματος του νερού από το οδόστρωμα, με αποτέλεσμα την επαφή του ελαστικού στο οδόστρωμα (Dames, 1990). Επίσης, η μικροϋφή έχει επιπτώσεις στην απόσταση που απαιτείται για την ακινητοποίηση του οχήματος κατά την πέδηση σε χαμηλές ταχύτητες ή σε υψηλές ταχύτητες στα τελευταία μέτρα της πέδησης. Αυτό οφείλεται στην μηχανική απομάκρυνση των σωματιδίων από το υλικό της επιφανειακής στρώσης του οδοστρώματος και το ελαστικό του οχήματος (Cairney και Styles, 2005).

Η μακροϋφή της επιφάνειας του οδοστρώματος συνεισφέρει στην τριβή υστέρησης (hysteresis friction), η οποία συσχετίζεται με την ικανότητα του πέλματος ενός ελαστικού να «παρακολουθεί» και να προσαρμόζεται στις μακροανωμαλίες του οδοστρώματος (Cairney και Styles, 2005). Είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που συμβάλλει στην ασφαλή κίνηση των οχημάτων, ιδιαίτερα στην περίπτωση που το οδόστρωμα είναι υγρό (Anderson et al., 1998).

Από τις παραμέτρους των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος η πιο σημαντική, ιδιαίτερα για τις υψηλές ταχύτητες, η οποία παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην έρευνα σχετικά με την τριβή των οδοστρωμάτων είναι η μακροϋφή (Wallman και Åström Henrik, 2001 – Phillips και Kinsey, 2000).



Σχήμα 2.10: Διαφορά μεταξύ μικροϋφής και μακροϋφής της επιφάνειας του οδοστρώματος [Πηγή: Crow, 2003]

2.2.3.1 Μέτρηση της μικροϋφής του οδοστρώματος

Δεν υπάρχουν προς το παρόν άμεσες μέθοδοι μέτρησης της μικροϋφής στο πεδίο και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται έμμεσοι τρόποι. Για την εκτίμηση του επιπέδου της μικροϋφής χρησιμοποιούνται συσκευές μέτρησης της τριβής χαμηλής ταχύτητας, όπως το «Βρετανικό εκκρεμές» (Portable Skid Resistance Tester), το Dynamic Friction Tester (DF Tester) και το Locked Wheel Skid Trailer, όταν ο έλεγχος γίνεται σε χαμηλές ταχύτητες (Wambold et al., 1995).

2.2.3.2 Μέτρηση της μακροϋφής του οδοστρώματος

Οι μετρήσεις της μακροϋφής διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, στις ογκομετρικές ή στατικές και στις δυναμικές μετρήσεις. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται η μέθοδος της κηλίδας άμμου (Sand Patch Method), με το Outflow Meter και με το Circular Texture Meter. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων λέιζερ (Xiangyang Mu et al., 2003).

Η μέθοδος κηλίδας άμμου είναι μία ογκομετρική προσέγγιση της μέτρησης της επιφανειακής υφής του οδοστρώματος. Ένας γνωστός όγκος διαβαθμισμένης (διερχόμενης από το κόσκινο No 60) άμμου διαστρώνεται κατάλληλα στην επιφάνεια του οδοστρώματος έτσι ώστε να σχηματίσει ένα κύκλο, γεμίζοντας τον κενό χώρο μεταξύ των αδρανών στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Το βάθος της υφής του οδοστρώματος υπολογίζεται από τη διαίρεση του όγκου της άμμου δια του εμβαδού επιφάνειας του κύκλου.

Αν και τα αποτελέσματα της δοκιμής έχουν μικρή επαναληψιμότητα, λόγω της παρεμβολής του ανθρώπινου παράγοντα (Henry, 2000), η δοκιμή εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ως αναφορά επαλήθευσης των μετρήσεων μακροϋφής σε όλο τον κόσμο. Αναλυτική περιγραφή της μεθόδου δίνεται στη βιβλιογραφία (ASTM E965–87, BS 598: Part 105).



Σχήμα 2.11: Υπολογισμός του μέσου βάθους προφίλ οδοστρώματος [Πηγή: Greenwood Engineering]

Το Outflow Meter αποτελείται από ένα διαφανή ογκομετρημένο κυλινδρικό σωλήνα, ο πυθμένας του οποίου κλείνεται με ελαστικό πάμα, και τοποθετείται στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Στον πυθμένα του κυλίνδρου υπάρχει μία βαλβίδα, η οποία όταν είναι κλειστή, ο σωλήνας γεμίζεται με νερό. Η βαλβίδα ανοίγεται και μετρείται ο χρόνος που χρειάζεται να αδειάσει ο σωλήνας από το νερό, το οποίο ρέει δια μέσου των κενών και των αυλακιών της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ο χρόνος, ο οποίος χρειάζεται για να αδειάσει ο σωλήνας από το νερό, καλείται χρόνος εκροής (Outflow Time–OFT).

Εάν η επιφάνεια του οδοστρώματος είναι τραχεία, το νερό θα αδειάσει πιο γρήγορα, ενώ εάν είναι ομαλή ο ελαστικός δακτύλιος θα προσαρμοσθεί καλύτερα στην επιφάνεια του οδοστρώματος και επομένως η εκκένωση του κυλίνδρου θα χρειασθεί περισσότερο χρόνο.

Από κατάλληλη εξίσωση (μοντέλο), με βάση τον χρόνο εκροής (sec), υπολογίζεται το μέσο βάθος υψής (Mean Texture Depth) της επιφάνειας του οδοστρώματος σε mm. Η μέθοδος περιγράφεται στο ASTM E2380–05 (ASTM, 2007). Οι μέθοδοι που προαναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της υψής του οδοστρώματος τοπικά και μόνον για λόγους σύγκρισης.

Το Circular Texture Meter ή CT Meter (Hanson και Prowell, 2004) έχει έναν λέιζερ αισθητήρα μετατόπισης τοποθετημένο στο άκρο ενός βραχίονα, ο οποίος περιστρέφεται σε μία περιφέρεια ακτίνας 142 mm και μετρά τοπικά την υφή σε διαστήματα των 0,9 mm. Η διαδικασία της δοκιμής αναφέρεται στο ASTM E2157 (ASTM, 2002).

Πρόσφατες μελέτες αναφέρουν ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων του MPD (Mean Profile Depth) που πραγματοποιήθηκαν με το CTM και με τη μέθοδο κηλίδας άμμου (Henry, 2000 - Abe et al., 2000 – Hanson και Prowell, 2004).

Για τη μέτρηση της επιφανειακής υψής σε μεγάλα μήκη οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται συσκευές λέιζερ τοποθετημένες σε όχημα, με αποτέλεσμα να μη κωλύεται η κυκλοφορία των οχημάτων, οι οποίες από το προφίλ του οδοστρώματος υπολογίζουν το τυπικό μέσο βάθος προφίλ (MPD), όπως καθορίζεται στο ASTM

E1845 (ASTM, 2001). Οι μετρήσεις με τα σύγχρονα συστήματα επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, όπως την τεχνολογία των αισθητήρων, το φως του περιβάλλοντος και την ταχύτητα του οχήματος, οι οποίοι έχουν επιπτώσεις στην αξιοπιστία των μετρήσεων (Mihai και Hood, 2004). Λεπτομερή στοιχεία για τις μετρήσεις της επιφανειακής υφής των οδοστρωμάτων με στατικές μεθόδους και με σύγχρονα συστήματα και συσχετίσεις των μετρήσεων μεταξύ αυτών, καθώς και συσχετίσεις μεταξύ διάφορων σύγχρονων συστημάτων αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Sandberg, 1995 - Flintsch et al., 2003 - McGhee και Flintsch, 2003).

2.2.4 Φθορές – Δομική Κατάσταση Οδοστρώματος

Οι φθορές και η δομική κατάσταση του οδοστρώματος ως βασικά χαρακτηριστικά του, αναλύονται στο Κεφάλαιο 4.

2.2.5 Δείκτες

Η προσπάθεια να αξιολογηθούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, οι φθορές και η δομική του κατάσταση, με σαφή και συνολικό τρόπο, οδήγησε στην δημιουργία των σύνθετων δεικτών. Αυτοί οι δείκτες, οι οποίοι εμπεριέχουν διάφορα στοιχεία από πληροφορίες, όπως κατάσταση (λειτουργική και δομική) οδοστρώματος, δεδομένα οδοστρώματος, γεωμετρία οδού κ.τ.λ., αντιπροσωπεύουν ένα μέτρο των επιπτώσεων στους χρήστες της οδού.

Ο Οδηγός για τη Διαχείριση των Οδοστρωμάτων «*Pavement Management Guide*», που εκδόθηκε από το AASHTO το έτος 2001, αναφέρει τον *Δείκτη Παρούσας Εξυπηρετικότητας (Present Serviceability Index – PSI)*, ως μέτρο της άνεσης κύλισης, ο οποίος έχει προκύψει από το AASHO Road Test. Επίσης αναφέρεται στο *Δείκτη Κατάστασης Οδοστρώματος (Pavement Condition Index – PCI)* και στη χρήση των δύο αυτών δεικτών στα συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων.

2.2.5.1 Σύνθετοι δείκτες κατάστασης των οδοστρωμάτων

Υπάρχει πληθώρα σύνθετων δεικτών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες και ιδιαίτερα στις Πολιτείες των ΗΠΑ.

Το Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων της Πολιτείας South Carolina των ΗΠΑ χρησιμοποιεί τον δείκτη *PQI (Pavement Quality Index)*, ο οποίος είναι ένας σύνθετος δείκτης που βασίζεται στην ομαλότητα και τις φθορές του οδοστρώματος και υπολογίζεται από τον *Δείκτη Φθορών του Οδοστρώματος (Pavement Distress Index – PDI)* και το *Δείκτη Παρούσας Εξυπηρετικότητας (PSI)* (South Carolina DOT, 2001). Ο *PQI*, ο οποίος είναι ένας συνδυασμός του PCR και του IRI, χρησιμοποιείται από το Ohio DOT (Reza Farhad et al., 2006). Ο *PDI (Pavement Distress Index)*, ο οποίος αναπτύχθηκε για να συμπεριλάβει τις φθορές του οδοστρώματος σε ένα δείκτη και χρησιμοποιείται από το Arizona Department of Transportation (ADOT, 2006). Το Delaware DOT χρησιμοποιεί τον *Overall Pavement Condition (OPC)* ένα σύνθετο και υποκειμενικό δείκτη, ο οποίος προκύπτει από συνδυασμό φθορών (Zheng και Racca, 1999). Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλοι δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται

σε Πολιτείες των ΗΠΑ (Zheng και Racca, 1999).

Στον Καναδά οι δείκτες, οι οποίοι συνήθως χρησιμοποιούνται, είναι ο *Riding Comfort Index (RCI)*, ο *Surface Distress Index (SDI)*, ο *Structural Adequacy Index (SAI)*, ο *Pavement Condition Index (PCI)*, ο IRI και ο *Pavement Quality Index (PQI)* (TAC, 2006).

2.2.5.1.1 Κατηγορίες και δημιουργία σύνθετων δεικτών

Οι σύνθετοι δείκτες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Σε αυτούς που εκφράζονται με μία αριθμητική τιμή, η οποία έχει προσδιορισθεί σύμφωνα με κριτήρια ποσοτικής εκτίμησης και/ή της εκτίμησης των χρηστών της οδού της επιφανειακής κατάστασης των οδοστρωμάτων (δείκτες ποιοτικής εκτίμησης) και σε εκείνους τους οποίους ο δείκτης προκύπτει στατιστικά με βάση προσδιορισίμους παραμέτρους φθορών στις οποίες ορίζεται σχετική βαρύτητα (στατιστικοί δείκτες).

Πίνακας 2.1: Διαφορές μεταξύ των δύο κυριότερων τύπων σύνθετων δεικτών [Πηγή: Reza et al., 2006]

Δείκτες ποιοτικής εκτίμησης	Δείκτες Στατιστικοί
Πλεονεκτήματα	
<p>Η δημιουργία τους είναι απλή, επειδή όλες οι παράμετροι μπορούν να αξιολογηθούν με την ίδια κλίμακα και τα αποτελέσματα της επισκόπησης θα καθορίσουν τους συντελεστές βαρύτητας. Μπορεί π.χ. να χρησιμοποιηθεί μία κλίμακα από το 1 έως το 5, όπου το 5 αντιπροσωπεύει την άριστη κατάσταση του οδοστρώματος και το 1 την κακή κατάσταση.</p> <p>Οι δείκτες αυτοί είναι εύκολα αποδεκτοί από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, ιδιαίτερα όταν αυτοί συμμετείχαν στη διενέργεια των επισκοπήσεων.</p>	<p>Οι δείκτες μπορεί να προκύψουν με ακρίβεια με τη χρήση στατιστικών αναλύσεων των μετρήσεων.</p> <p>Οι δείκτες βασίζονται σε παραμέτρους μέτρησης των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος (π.χ. επιφάνεια ρηγματώσεων). Έτσι είναι δυνατόν να ερευνηθούν τα αίτια για τα οποία ένας δείκτης εμφανίζει υψηλή τιμή.</p>
Μειονεκτήματα	
<p>Η υποκειμενική αξιολόγηση δε συμβαδίζει πάντοτε με τα τεχνικοοικονομικά κριτήρια.</p>	<p>Μερικές φορές είναι δύσκολο να καθορισθούν σχετικοί δείκτες βαρύτητας.</p> <p>Οι αναλύσεις υπόκεινται στους περιορισμούς των στατιστικών μεταβλητών, οι οποίες προέκυψαν από τη μελέτη μιας συγκεκριμένης περιοχής. Το γεγονός αυτό επιβάλλει την εκ νέου βαθμονόμηση του δείκτη, όταν πρόκειται αυτός να χρησιμοποιηθεί σε άλλη περιοχή με διαφορετικά χαρακτηριστικά.</p>

Οι δύο τύποι δεικτών έχουν τις διαφορές τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους (Fawcett et al., 2001). Μειονεκτήματα αναφέρονται σε συγκεκριμένους δείκτες, όπως ο Pavement Condition Rating (PCR) ένας υποκειμενικός δείκτης που βασίζεται στην οπτική καταγραφή των φθορών του οδοστρώματος, ο οποίος ως μόνος δείκτης κατάστασης για τη λήψη αποφάσεων σε ένα ΣΔΟ δεν συμβαδίζει με την

ικανοποίηση των χρηστών της οδού (Reza et al., 2006). Η δημιουργία ενός περιεκτικού σύνθετου δείκτη κυρίως εξαρτάται από:

- Τις παραμέτρους κατάστασης οι οποίες υπεισέρχονται στο δείκτη
- Τη μέθοδο που ακολουθήθηκε προκειμένου να καθορισθεί το ειδικό βάρος των παραμέτρων κατάστασης
- Τη σταθερότητα των παραμέτρων κατάστασης στο δείκτη

Για παράδειγμα, εάν η επαναληψιμότητα στη μέτρηση ενός τύπου φθοράς είναι μικρή, τότε η ανάπτυξη ενός σύνθετου δείκτη ουσιαστικής εφαρμογής είναι δύσκολη.

Οι σύνθετοι δείκτες κατάστασης έχουν σκοπό να περιγράψουν τη συνολική κατάσταση των οδοστρωμάτων των οδών και των επιστρώσεων και να χρησιμοποιηθούν ως όρια επεμβάσεων σε ένα αλγόριθμο λήψης απόφασης για τη συντήρηση του οδοστρώματος ενός τμήματος του οδικού δικτύου (Fawcett et al., 2001). Η χρησιμοποίηση όμως των σύνθετων δεικτών προϋποθέτει την κατανόηση της βάσης προέλευσης και δημιουργίας τους και πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να εκφράσουν μόνον τις συνθήκες επάνω στις οποίες βασίζονται (AASHTO, 2001). Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται διάφοροι τύποι δεικτών που απευθύνονται σε διάφορα επίπεδα αξιολόγησης μιας οδού.

2.2.5.2 Συσχέτιση λειτουργιών – χαρακτηριστικών σε σχέση με την κατάσταση του οδοστρώματος

Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών της λειτουργικής και δομικής κατάστασης ενός οδοστρώματος χρησιμοποιείται ποικιλία εξοπλισμού και οργάνων. Επειδή διαφορετικοί τύποι εξοπλισμού απαιτούν διαφορετικές μεθοδολογίες για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, συνήθως υπάρχουν διαφορετικοί δείκτες οι οποίοι προσδιορίζουν ποσοτικά το ίδιο χαρακτηριστικό κατάστασης ενός οδοστρώματος. Για τον λόγο αυτόν έχουν αναπτυχθεί τύποι συσχέτισης για να τυποποιήσουν κάποιες ιδιότητες των οδοστρωμάτων, να συσχετίσουν μετρήσεις, οι οποίες έχουν γίνει με διαφορετικό εξοπλισμό, και να κάνουν μερικές φορές κάποιες τεχνολογίες συγκρίσιμες (Bennett Christopher et al., 2007). Στον Πίνακα 2.3 συσχετίζονται λειτουργίες και χαρακτηριστικά ενός οδοστρώματος με τύπους αξιολόγησης, με διάφορους δείκτες (Crespo, 1991).

Πίνακας 2.2: Διάφοροι τύποι δεικτών ανάλογα με το επίπεδο αξιολόγησης

Επίπεδο αξιολόγησης	Δείκτης Κατάστασης	Χειρότερη τιμή	Περιοχή ελάχιστων αποδεκτών τιμών	Καλύτερη τιμή	
Κατάσταση οδού	Highway Performance Monitoring System (HPMS)	Χρησιμοποιούνται πολλοί διαφορετικοί δείκτες για την αποτίμηση της συνολικής κατάστασης της οδού			
	Kentucky Highway Rating System	0	-	100	
Κατάσταση οδοστρώματος	WSDOT's Pavement Rating System	Pavement Structural Condition (PSC)	0	50	100
		Pavement Rutting Condition (PRC)	0	50	100
		Pavement Profile Condition (PPC)	3 m/km	-	0 m/km
	Present Serviceability Index (PSI)	0	2-3	5	
	Present Serviceability Rating (PSR)	0	2-3	5	
	Pavement Distress Index (PDI)	0	5	10	
	Riding Comfort Index (RCI)	0	5	10	
	Pavement Condition Index (PCI)	0	50	100	
	Pavement Condition Rating (PCR)	0	65	100	
Δείκτες ομαλότητας	International Roughness Index (IRI)	12 m/km	-	0 m/km	
	Mean Panel Rating (MPR)	0	2-3	5	
	Profile Index (PI)	0	2-3	5	
	Ride Number (RN)	5	-	0	

Πίνακας 2.3: Συσχέτιση λειτουργιών και χαρακτηριστικών οδοστρώματος με τύπους αξιολόγησης και δείκτες [Πηγή: Crespo, 1991]

Τύπος Αξιολόγησης	Λειτουργία Οδοστρώματος	Χαρακτηριστικά οδοστρώματος	Παραδείγματα Δεικτών
Λειτουργική Αξιολόγηση	Κυκλοφοριακή άνεση	Ομαλότητα	IRI
			PSI
			QI
	Ασφάλεια	Υφή	Μακροϋφή
			Μικροϋφή
		Αντιολισθηρότητα	Skid Resistance Coefficient International Friction Index
Δομική Αξιολόγηση	Δομική Ικανότητα	Μηχανικές Ιδιότητες	Βυθίσεις
		Φθορές Οδοστρώματος	Ρηγματώσεις
			Επιφανειακές βλάβες
			Παραμορφώσεις προφίλ
Σύστημα Αναφοράς		(Θέση Οδοστρώματος / Χαρακτηριστικά δεδομένα)	

2.2.6 Κυκλοφοριακά δεδομένα (Traffic data)

Τα κυκλοφοριακά φορτία είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση των οδοστρωμάτων και έχουν ως αποτέλεσμα την επιδείνωση της. Κατά τη συλλογή των κυκλοφοριακών δεδομένων μετρούνται, ο μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος (AADT), τα αξονικά φορτία (Ισοδύναμοι Τυπικοί Άξονες), ο χρόνος ταξιδιού κ.α. Επίσης γίνεται ταξινόμηση των οχημάτων σε κατηγορίες ανάλογα με το βάρος τους, καταγραφή ατυχημάτων σε σχέση με την κατάσταση των οδοστρωμάτων (τραυματισμοί, θανατηφόρα συμβάντα), τις υλικές ζημιές, τη

συμπεριφορά των οδηγών κ.ά. (OECD, 1987 - FHWA, 1995 - NCHRP Report 538, 2005 - Hallenbeck et al., 2004). Η μέτρηση και καταγραφή του βάρους των οχημάτων κατά την κίνηση τους πραγματοποιείται με την τεχνολογία Weigh-In-Motion, η οποία βασίζεται στη χρήση υπολογιστικών συστημάτων και αισθητήρων νέας τεχνολογίας. Χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες πιεζοηλεκτρικών συστημάτων, χωρητικών επιφανειών (capacitive mats), καμπτόμενων πλακών (bending plates) και κυψελών φόρτισης (load cells) (Hajek και Selezneva, 2001 - FHWA, 2001). Οι τεχνικές συλλογής, κατηγορίες εξοπλισμού και διαχείρισης κυκλοφοριακών δεδομένων αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Middleton, 2002).

2.2.6.1 Χρήση των κυκλοφοριακών δεδομένων σε ΣΔΟ (σε επίπεδα έργου και δικτύου)

Τα κυκλοφοριακά δεδομένα συλλέγονται για τον καθορισμό της χρήσης και της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων του οδικού δικτύου και χρησιμοποιούνται στους τομείς της διαχείρισης των οδοστρωμάτων (επίπεδο δικτύου και επίπεδο έργου), της έρευνας, και στο σχεδιασμό της δομικής αντοχής και των ιδιοτήτων της επιφανειακής στρώσης των οδοστρωμάτων.

Οικονομικές αναλύσεις χρησιμοποιούν επίσης τις πληροφορίες των κυκλοφοριακών δεδομένων για να ποσοτικοποιήσουν τα οφέλη εναλλακτικών επιλογών συντήρησης, το λειτουργικό κόστος των οχημάτων και να συντάξουν μελέτες κόστους για τη λειτουργία και συντήρηση των αυτοκινητοδρόμων (Hajek και Selezneva, 2001).

Σε επίπεδο δικτύου, τα κυκλοφοριακά δεδομένα και συγκεκριμένα ο κυκλοφοριακός φόρτος και η σύνθεση του χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των προτεραιοτήτων της συντήρησης του οδοστρώματος με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους των χρηστών.

Σε επίπεδο έργου τα κυκλοφοριακά δεδομένα χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό νέων και/ή ανακατασκευασθέντων οδοστρωμάτων και την τοπική ενίσχυση της δομικής αντοχής και των επιφανειακών ιδιοτήτων τους.

2.2.7 Σύστημα αναφοράς της θέσης (Location Referencing)

Η σωστή αναφορά της θέσης είναι ένας από τους πλέον βασικούς παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την διενέργεια της επισκόπησης των οδοστρωμάτων, διότι σε αντίθετη περίπτωση η χρησιμότητα των δεδομένων τα οποία συλλέγονται θα είναι περιορισμένη ή και ελάχιστη. Προκειμένου να καθορισθεί η θέση ενός σημείου πρέπει να προσδιορισθούν δύο σημαντικά στοιχεία, η θέση του σημείου στην οδό και η διεύθυνση του (ένα σύνολο χαρακτήρων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα διαχείρισης αφού προσδιορίζουν μονοσήμαντα και συγκεκριμένα μία θέση (VicRoads, 2005 - Bennett et al., 2007).

2.2.7.1 Γραμμική αναφορά θέσης (Linear Referencing)

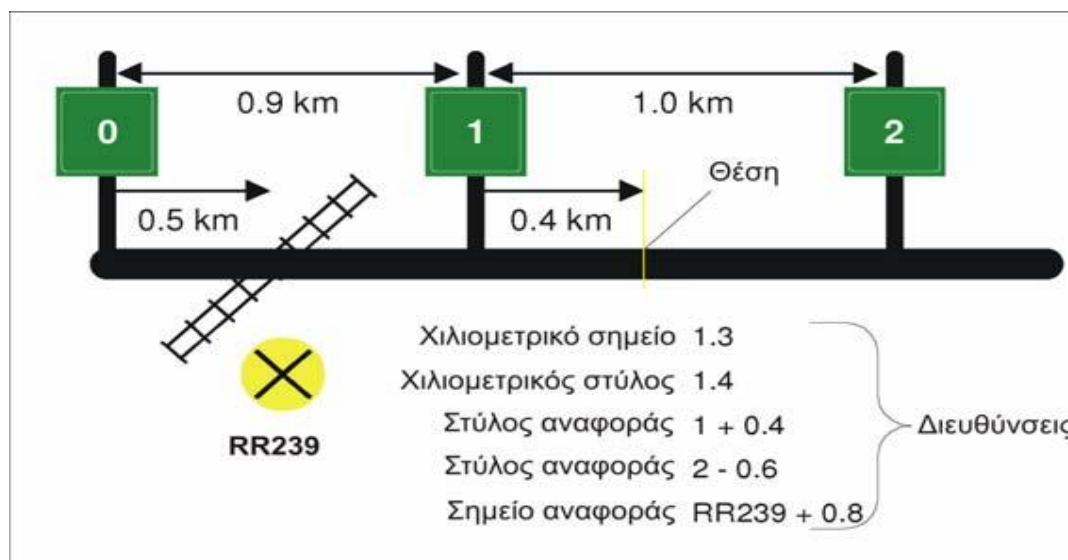
Για τη γραμμική αναφορά της θέσης ενός σημείου απαιτείται η μέτρηση αποστάσεων,

η οποία πραγματοποιείται με ψηφιακά όργανα μέτρησης (Distance Measuring Instruments – DMI). Το κύριο εξάρτημα σε ένα σύστημα DMI είναι ένας οπτικός αποκωδικοποιητής (αισθητήρας μη επαφής), ο οποίος διαιρεί κάθε περιστροφή του κυλιόμενου τροχού του οχήματος στο οποίο είναι τοποθετημένο σε 2000 παλμούς, με αποτέλεσμα όλες οι γραμμικές μετρήσεις να είναι υψηλής ακρίβειας. Η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης ανέρχεται στο 0,02% της πραγματικής απόστασης. Το DMI στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζεται ολοκληρωμένο με άλλα δεδομένα (Roadware, ARAN DMI, 2004). Για τη γραμμική αναφορά μιας θέσης χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι, όπως ο χιλιομετρικός ιστός (kilometer post) ή ο μιλιομετρικός ιστός (mile post), το χιλιομετρικό σημείο (kilometer point), το σημείο αναφοράς (reference point) και ο στύλος αναφοράς (reference post). Κάθε ένας από τους τρόπους εμφανίζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (Bennet et al., 2007). Ο *χιλιομετρικός ιστός* είναι ο πιο κοινός τρόπος γραμμικής αναφοράς μιας θέσης. Η κύρια διαφορά μεταξύ του χιλιομετρικού στύλου και του χιλιομετρικού σημείου είναι ότι οι στύλοι περιλαμβάνουν τη χρήση φυσικών στύλων ή σημάτων τα οποία τοποθετούνται σε κανονικές αποστάσεις κατά μήκος του δρόμου, συνήθως κάθε χιλιόμετρο. Ο τρόπος γραμμικής αναφοράς θέσης με το *χιλιομετρικό σημείο* συνίσταται στη μέτρηση της απόστασης από ένα γνωστό σημείο. Το σημείο αρχής είναι συνήθως η αρχή της οδού ή ένα σημείο στην είσοδο μιας πόλης. Η διεύθυνση του κάθε σημείου κατά μήκος της οδού είναι μία αριθμητική τιμή της απόστασης του σημείου από την αρχή της οδού.

Ο τρόπος γραμμικής αναφοράς θέσης με τον *ιστό αναφοράς* είναι όμοιος με τον χιλιομετρικό ιστό, με τη διαφορά ότι τα σήματα δεν είναι τοποθετημένα σε κανονικές μεταξύ τους αποστάσεις, αλλά ένα σήμα το οποίο είναι τοποθετημένο κατά μήκος του δρόμου έχει έναν μοναδικό προσδιορισμό. Αυτός ο προσδιορισμός μπορεί να είναι μία απόσταση ή απλώς ένας αριθμός. Όμοιος με το στύλο αναφοράς είναι και ο τρόπος γραμμικής αναφοράς με το *σημείο αναφοράς*, αλλά στην περίπτωση αυτή αντί για σήματα χρησιμοποιούνται κατασκευές της οδού ή άλλα στοιχεία της, όπως γέφυρες, σιδηροδρομικές γραμμές, στύλοι φωτισμού ή διασταυρώσεις οδών. Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται ο προσδιορισμός γραμμικής αναφοράς μιας θέσης ενός σημείου με πέντε διαφορετικούς τρόπους.

2.2.7.2 Χωρική αναφορά θέσης (Spatial Referencing)

Η χωρική αναφορά της θέσης ενός σημείου με τη χρήση της τεχνολογίας του Παγκόσμιου Συστήματος Καθορισμού Θέσης (Global Positioning System – GPS), επιτυγχάνεται με τη λήψη δεδομένων, σχετικά με τη θέση του σημείου αυτού ως προς τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους. Η συνήθης ακρίβεια είναι τυπικά +/- 10 μέτρα, αλλά μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση υψηλής ποιότητας δεκτών GPS και με εφαρμογή μιας μεθόδου διόρθωσης των δεδομένων. Η διόρθωση των δεδομένων μπορεί να εφαρμοσθεί είτε σε πραγματικό χρόνο (Real-time) είτε με εκ των υστέρων επεξεργασία.



Σχήμα 2.12: Γραμμικός προσδιορισμός θέσης σημείου με διαφορετικούς τρόπους [Πηγή: Deighton Associates Ltd]

Κατά τη διόρθωση σε πραγματικό χρόνο, ταυτόχρονα με την καταγραφή των δεδομένων, λαμβάνεται ένα διορθωτικό σήμα, το οποίο μπορεί να είναι από ένα τοπικό αναμεταδότη ή μέσω μιας εμπορικής υπηρεσίας, όπως το Starfire ή το Omnistar στις ΗΠΑ.

Κατά την εκ των υστέρων επεξεργασία, τα δεδομένα GPS διορθώνονται με την πρόσληψη δεδομένων θέσης από ένα σταθμό βάσης (base station). Με τις διορθώσεις μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια της τάξεως δεκάτων του μέτρου (Macbeth, 2002).

2.2.8 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών - ΓΣΠ (Geographical Information System – GIS) είναι ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, λογισμικό, προσωπικό, υπηρεσίες ή οργανισμούς και διαδικασίες, το οποίο σχεδιάστηκε να υποστηρίζει τη συλλογή, ανάλυση και παρουσίαση δεδομένων, και την αναφορά της θέσης αυτών στο χώρο, προκειμένου να επιλυθούν σύνθετα προβλήματα σχεδιασμού και διαχείρισης (Lewis και Sutton, 1993).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορούν να διευκολύνουν τις παρακάτω λειτουργίες Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (NCHRP 335, 2004):

- Συλλογή δεδομένων και αναφορά των πληροφοριών που προκύπτουν από αυτά στη βάση δεδομένων του ΣΔΟ.
- Επεξεργασία των δεδομένων και παρουσίαση τους σε έγχρωμους χάρτες, με αποτέλεσμα την επισήμανση ενδεχόμενων κενών ή αντιφατικών και περιττών πληροφοριών.
- Ολοκλήρωση ποικίλων δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές

και χρήση αυτών στην υποστήριξη της λήψης των αποφάσεων.

- Ενσωμάτωση των χωρικών δεδομένων στις αναλύσεις του ΣΔΟ.

Τα ΓΣΠ επίσης επιτρέπουν την επικάλυψη σημειακών και επιφανειακών δεδομένων, τα οποία δεν είναι γραμμικά καθορισμένα πάνω στο οδικό δίκτυο, όπως οι καιρικές συνθήκες ή πληροφορίες σχετικά με τη χρήση και την ανάπτυξη της γης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ο Flintsch (2004) αναλύει όλες τις προηγούμενες λειτουργίες αναφέροντας επί πλέον ότι η χρήση τους διευκολύνει τον υπολογισμό στατιστικών στοιχείων κατά περιοχή, όπως για παράδειγμα, τον προσδιορισμό της ύπαρξης ή μη διαφορών στη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων μεταξύ περιοχών.

2.2.9 Συχνότητα συλλογής δεδομένων

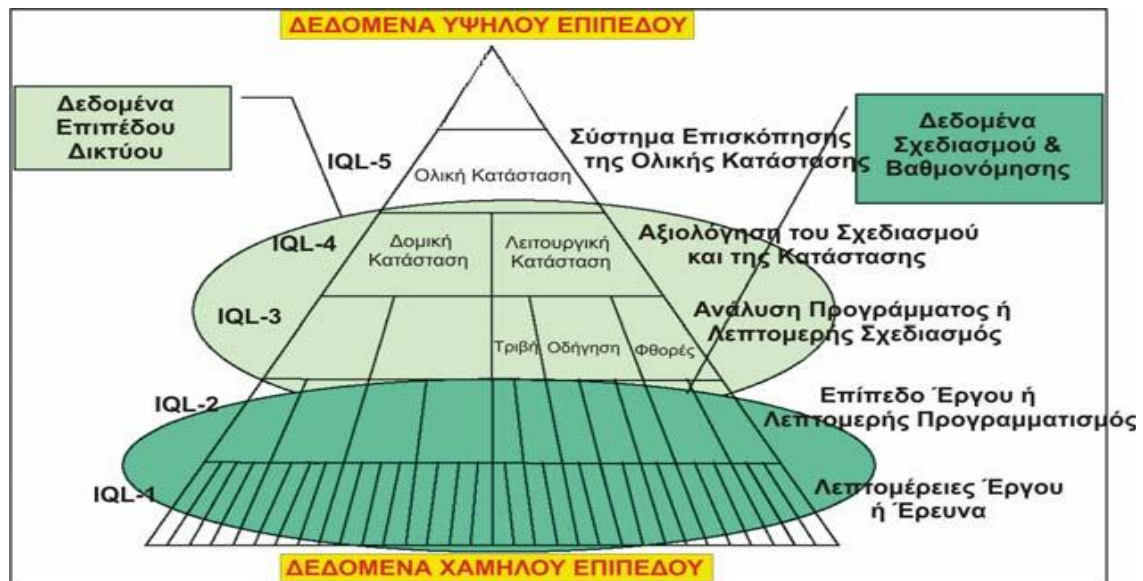
Όλα τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται αναφορικά με την κατάσταση των οδοστρωμάτων δεν έχουν ίση βαρύτητα, επομένως θα πρέπει να συλλέγονται πρώτιστα τα στοιχεία εκείνα τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Η συχνότητα των επισκοπήσεων για την καταγραφή της κατάστασης της οδού, εκτός από το σημαντικό κόστος, έχει σοβαρό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα των συλλεγόμενων δεδομένων. Τα δεδομένα θα πρέπει να συλλέγονται τόσο συχνά όσο απαιτείται για να εξασφαλίσουν την απρόσκοπτη διαχείριση του οδικού δικτύου. Η συχνότητα της συλλογής των δεδομένων σχετικά με την κατάσταση των οδοστρωμάτων συνήθως εξαρτάται από την κατηγορία της οδού. Η συλλογή των δεδομένων σε αυτοκινητοδρόμους και κύριους οδικούς άξονες διενεργείται κάθε 1-2 έτη, ενώ σε χαμηλότερης κατηγορίας οδούς κάθε 2-5 έτη (McGhee, 2004 - Bennett et al., 2005).

Η πρακτική που εφαρμόζεται στις Πολιτείες των ΗΠΑ, αλλά και σε διάφορες άλλες χώρες, όσον αφορά τη συχνότητα συλλογής δεδομένων σε σχέση με τον τύπο των δεδομένων, παρουσιάζει διαφορές, οι οποίες σχετίζονται με την τεχνολογία του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την συλλογή τους. Καταγραφή της συχνότητας συλλογής διάφορων δεδομένων σε Πολιτείες των ΗΠΑ, ανάλογα με το είδος τους, αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Bennett et al., 2007).

2.2.10 Επίπεδα ποιότητας πληροφοριών σε Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων

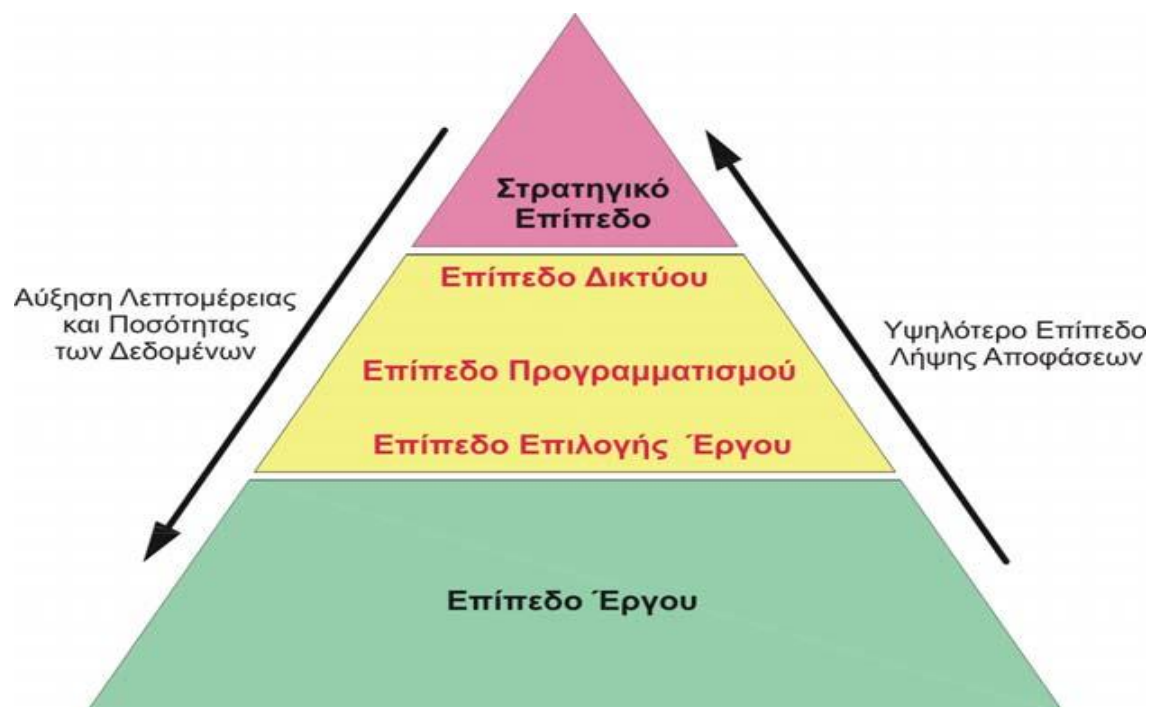
Ο όρος *Επίπεδα Ποιότητας Πληροφοριών (Information Quality Levels – IQL)* συνδέει το βαθμό της λεπτομέρειας των πληροφοριών με το επίπεδο λήψης των αποφάσεων που υποστηρίζουν (Paterson και Scullion, 1990). Τα Επίπεδα Ποιότητας Πληροφοριών βοηθούν στη δόμηση των πληροφοριών της διαχείρισης οδοστρωμάτων σε διάφορα επίπεδα, τα οποία συσχετίζονται με το βαθμό της πολυπλοκότητας που απαιτείται για τη λήψη αποφάσεων και τις μεθόδους συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων. Έτσι πολύ λεπτομερή δεδομένα (χαμηλού επιπέδου δεδομένα) συμπυκνώνονται ή ολοκληρώνονται προοδευτικά σε απλούστερες μορφές (δεδομένα υψηλού επιπέδου). Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα, υπάρχουν πέντε επίπεδα ποιότητας πληροφοριών στη διαχείριση των οδών (IQL 1 έως 5), όπως παρουσιάζονται στο

Σχήμα 2.13 (Bennett et al., 2007).



Σχήμα 2.13: Ιεραρχική αναπαράσταση των επιπέδων ποιότητας πληροφοριών [Πηγή: Bennett et al., 2007]

Τα επίπεδα λήψης αποφάσεων σε ένα ΣΔΟ, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, είναι τρία: το Στρατηγικό Επίπεδο, το Επίπεδο Δικτύου και το Επίπεδο Έργου (Haas et al., 1994 - Hudson et al., 1994 - AASHTO, 2001).



Σχήμα 2.14: Ιεραρχική δομή των διαφόρων επιπέδων λήψης αποφάσεων και των αντίστοιχων δεδομένων που απαιτούνται από πλευράς ποσότητας και λεπτομέρειας [Πηγή: Haas et al., 1994]

Τα δεδομένα, τα οποία απαιτούνται για τη λήψη αποφάσεων, σε κάθε ένα από τα διάφορα επίπεδα δεν είναι ίδια. Τα υψηλότερα επίπεδα απαιτούν πιο γενικευμένες πληροφορίες, ενώ τα κατώτερα απαιτούν πιο λεπτομερή και εξειδικευμένα δεδομένα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.14.

2.2.11 Χαρακτηριστικά δεδομένων και ιδιότητες

Η έρευνα διαφόρων πηγών σχετικά με τον τρόπο, που οι διάφορες υπηρεσίες ανά τον κόσμο αντιμετωπίζουν το θέμα της λήψης των αποφάσεων, έχει αναδείξει τις ιδιαίτερες ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να έχουν τα συλλεγόμενα δεδομένα, προκειμένου να είναι χρήσιμα.

Τα δεδομένα, τα οποία συλλέγονται, θα πρέπει να πληρούν ορισμένα κριτήρια όπως (Paterson και Scullion, 1990 - WERD, 2003):

- *Σχέση ή συνάφεια:* Κάθε στοιχείο δεδομένων, το οποίο συλλέγεται και αποθηκεύεται, οφείλει να υποστηρίζει με σαφήνεια μία καθορισμένη ανάγκη.
- *Καταλληλότητα:* Η ποσότητα των συλλεγόμενων και αποθηκευόμενων δεδομένων και η συχνότητα ενημέρωσης πρέπει να βασίζεται στις ανάγκες της Υπηρεσίας / του Οργανισμού.
- *Δυνατότητα αξιοποίησης:* Τα δεδομένα πρέπει να είναι προσιτά σε σχέση με τους οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους της Υπηρεσίας / του Οργανισμού που διατίθενται για τη συλλογή και την ενημέρωσή τους.
- *Αξιοπιστία:* Τα δεδομένα πρέπει να προσδιορίζονται από την ακρίβεια, τη χωρική κάλυψη, την πληρότητα και την επικαιρότητα.

Σύμφωνα με τον Deighton (1991), ανεξάρτητα από τον ιδιαίτερο τύπο και κατηγορία των συλλεγόμενων δεδομένων, όταν αυτά θα εισάγονται στη βάση δεδομένων (ΒΔ), θα πρέπει να παρουσιάζουν τα επόμενα σημαντικά χαρακτηριστικά (αυτά αποτελούν χαρακτηριστικά δεδομένων για οποιαδήποτε ΒΔ):

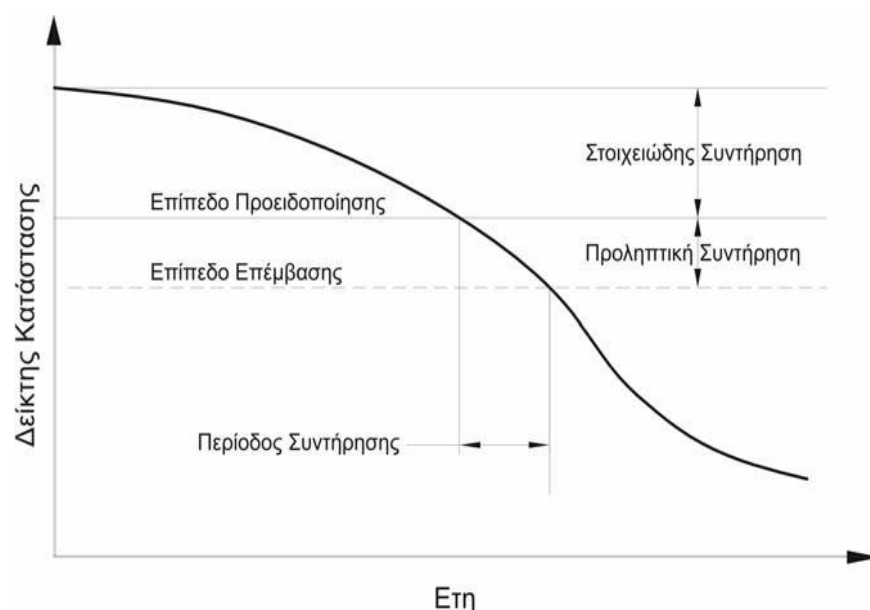
- *Ακεραιότητα:* Όποτε δύο στοιχεία δεδομένων αντιπροσωπεύουν το ίδιο τμήμα πληροφορίας, αυτά πρέπει να ταυτίζονται
- *Ακρίβεια:* Οι τιμές των δεδομένων απεικονίζουν όσον το δυνατόν πιστότερα το θεωρούμενο τμήμα που αποτελεί αντικείμενο της πληροφορίας
- *Εγκυρότητα:* Οι τιμές των δεδομένων θα πρέπει να είναι ορθές και να βρίσκονται μέσα στα όρια των πιθανών και δυνατών τιμών
- *Ασφάλεια:* Ευαίσθητα, εμπιστευτικά και σημαντικά δεδομένα να είναι περιορισμένης πρόσβασης και να προστατεύονται με κατάλληλες συστηματικές και συχνές αντιγραφές σε μέσα αποθήκευσης

Ένα πέμπτο χαρακτηριστικό, το οποίο επίσης προτείνεται, είναι η λεπτομερής αποσαφήνιση των όρων των δεδομένων και η καταγραφή τους σε ένα εγχειρίδιο, ούτως ώστε να είναι κοινοί οι συμβατικοί ορισμοί μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων Φορέων και Υπηρεσιών.

2.3 Μοντέλα πρόβλεψης της επιδείνωσης της κατάστασης των οδοστρωμάτων

Με την πάροδο του χρόνου η κατάσταση των οδοστρωμάτων, λόγω των φορτίων κυκλοφορίας και των μεταβολών του περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία), επιδεινώνεται μέχρις ότου, εντός μιας χρονικής περιόδου, να καθίσταται αναγκαία η συντήρηση του. Μία τυπική καμπύλη της εξέλιξης της κατάστασης ενός οδοστρώματος σε σχέση με την ηλικία του παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.15.

Μοντέλο επιδείνωσης οδοστρώματος ή μοντέλο πρόβλεψης της συμπεριφοράς του, είναι μια μαθηματική περιγραφή, που χρησιμοποιείται για να προβλέψει τη μελλοντική επιδείνωση του και η οποία βασίζεται σε στοιχεία της υφιστάμενης κατάστασης του οδοστρώματος, σε παράγοντες επιδείνωσης και στις επιπτώσεις της συντήρησης (OCED, 1987).



Σχήμα 2.15: Εξέλιξη της κατάστασης του οδοστρώματος [Πηγή: OECD, 1987]

Μεταξύ των κυριότερων παραμέτρων οι οποίες περιλαμβάνονται στα περισσότερα μοντέλα είναι, η δομή του οδοστρώματος, η ηλικία του, τα φορτία κυκλοφορίας καθώς και περιβαλλοντικές παράμετροι (George, 2000).

Δύο από τα κρίσιμα στοιχεία ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων είναι η πρόβλεψη της επιδείνωσης της κατάστασης των οδοστρωμάτων και η πρόβλεψη των διαφόρων τύπων φθορών τις οποίες θα εμφανίσουν (George, 2000). Η ορθή πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης ενός οδοστρώματος δίνει τη δυνατότητα οι εκάστοτε

επεμβάσεις συντήρησης να γίνονται στον σωστό χρόνο.

Συνεπώς η εφαρμογή (χρήση) βελτιωμένων μοντέλων πρόβλεψης σε ένα ΣΔΟ έχει ως αποτέλεσμα το σημαντικό περιορισμό του κόστους συντήρησης (Way, 1985 - Mohseni et al., 1990).

2.3.1 Βασικοί τύποι των μοντέλων πρόβλεψης

Τα μοντέλα πρόβλεψης κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την προβλεπόμενη μεταβλητή που χρησιμοποιούν για περιγραφή της κατάστασης του οδοστρώματος (George, 2000). Για τη δημιουργία των μοντέλων ακολουθείται η διαδικασία που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.16: Τυπική διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων πρόβλεψης της κατάστασης του οδοστρώματος [Πηγή: Harman, 2001]

Μέχρι σήμερα, έχει αναπτυχθεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός προτύπων (μοντέλων) πρόβλεψης της κατάστασης οδοστρωμάτων (Darter et al., 1985 - Jackson και Mahoney, 1990 - Lukanen και Han, 1994 - George, 2000).

Τα πρότυπα (μοντέλα) πρόβλεψης κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Συνήθης κατάταξη είναι η επόμενη:

- *Εμπειρικά (Empirical) μοντέλα*

Στα πρότυπα αυτά η εξαρτημένη μεταβλητή είναι κάποιος δείκτης της συμπεριφοράς του οδοστρώματος. Βασίζονται σε παρατηρήσεις ή μετρήσεις των χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων. Χρησιμοποιούνται υποκειμενικοί δείκτες κατάστασης των οδοστρωμάτων όπως, ποιότητα κύλισης, εξυπηρετικότητα, καθώς και στατιστικοί δείκτες (ομαλότητα, αυλάκωση, ρηγματώσεις). Αυτοί οι δείκτες συμπεριφοράς του οδοστρώματος συσχετίζονται με μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές όπως, δομική αντοχή, φορτία κυκλοφορίας και περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα μοντέλα αυτά συχνά βασίζονται σε στατιστικές

θεωρήσεις, χωρίς να προσπαθούν να αναπαραστήσουν τα πραγματικά φυσικά φαινόμενα, τα οποία αποτελούν το υπόβαθρο της διαδικασίας της συμπεριφοράς του οδοστρώματος (Prozzi και Madanat, 2002).

- *Αναλυτικά ή Μηχανιστικά (Mechanistic) μοντέλα*

Τα πρότυπα αυτά βασίζονται στη συμπεριφορά των υλικών κατασκευής κάτω από τη συνδυασμένη επίδραση των φορτίων κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος. Τα μοντέλα των υλικών που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα είναι απλοποιημένα και αντιπροσωπεύουν την συμπεριφορά τους μόνον κάτω από περιορισμένες συνθήκες. Αν και έχουν γίνει πολλές προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση έως τώρα, δεν έχει αναπτυχθεί ένα εμπειριστατωμένο και αξιόπιστο μηχανιστικό μοντέλο, και λόγω της πολυπλοκότητας της διαδικασίας επιδείνωσης των οδοστρωμάτων, αυτή η προσέγγιση είναι προς το παρόν δύσκολη σε επίπεδο εφαρμογής (Prozzi και Madanat, 2004).

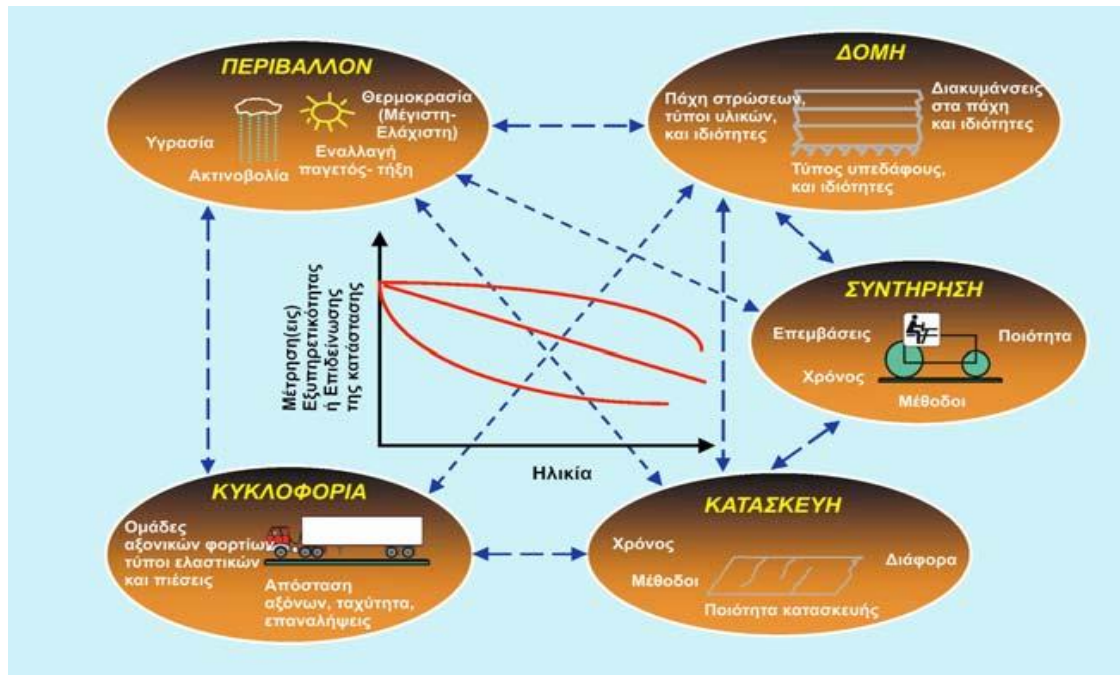
- *Εμπειρικά – Μηχανιστικά (Empirical - Mechanistic) μοντέλα*

Στα πρότυπα αυτά η επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών βασίζεται σε εκτιμήσεις της κατάστασης των οδοστρωμάτων και οι συντελεστές των παραμέτρων των μοντέλων βαθμονομούνται με τη χρήση εμπειρικών στοιχείων και διαδικασίες στατιστικής εκτίμησης. Αυτή η προσέγγιση δημιουργίας μοντέλων είναι η μόνη εφικτή σε περιπτώσεις που η μηχανιστική ανάλυση είναι αδύνατη διότι, είτε η ακριβής φυσική διαδικασία της επιδείνωσης του οδοστρώματος δεν είναι πλήρως κατανοητή, (π.χ. η περίπτωση διάδοσης των ρηγματώσεων στα οδοστρώματα από ασφαλτικό σκυρόδεμα), είτε είναι πάρα πολύ σύνθετη (η αύξηση της ομαλότητας, όπου ομαλότητα είναι ένα μέτρο της συμπεριφοράς του οδοστρώματος που περιλαμβάνει τις επιπτώσεις από διάφορες φθορές). Τα E-M μοντέλα απαιτούν τη γνώση ενός μικρού αριθμού μεταβλητών οι οποίες μετρούνται συνήθως κατά τις επισκοπήσεις της κατάστασης του οδοστρώματος ή είναι διαθέσιμες από τα στοιχεία συντήρησης, τις κυκλοφοριακές μετρήσεις και τα στοιχεία της κατασκευής του. Το γεγονός αυτό κάνει τα μοντέλα αυτά ιδιαίτερα κατάλληλα για τα συστήματα διαχείρισης των οδοστρωμάτων σε επίπεδο δικτύου (Madanat et al., 2005).

Λεπτομερείς αναλύσεις μοντέλων πρόβλεψης αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Mahoney, 1990 - Haas et al., 1994 - Zheng και Racca, 1999 - George, 2000).

Η μεγαλύτερη δυσκολία κατά την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης της κατάστασης των οδοστρωμάτων και τον περιορισμό των σφαλμάτων των μοντέλων σε ένα λογικό επίπεδο, εντοπίζεται στην εμπλοκή μεγάλου αριθμού ποικίλων παραγόντων και της αλληλεπίδρασης που υφίστανται αυτοί μεταξύ τους. Στο Σχήμα 2.17 παρουσιάζεται η πολυπλοκότητα του προβλήματος. Παρουσιάζονται οι πέντε κύριες κατηγορίες παραγόντων. Οι παράγοντες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσα στις κατηγορίες στις οποίες ανήκουν, όπως επίσης και με τους παράγοντες των άλλων κατηγοριών. Οι

διακεκομμένες γραμμές δηλώνουν μόνον τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών (Haas, 2001).



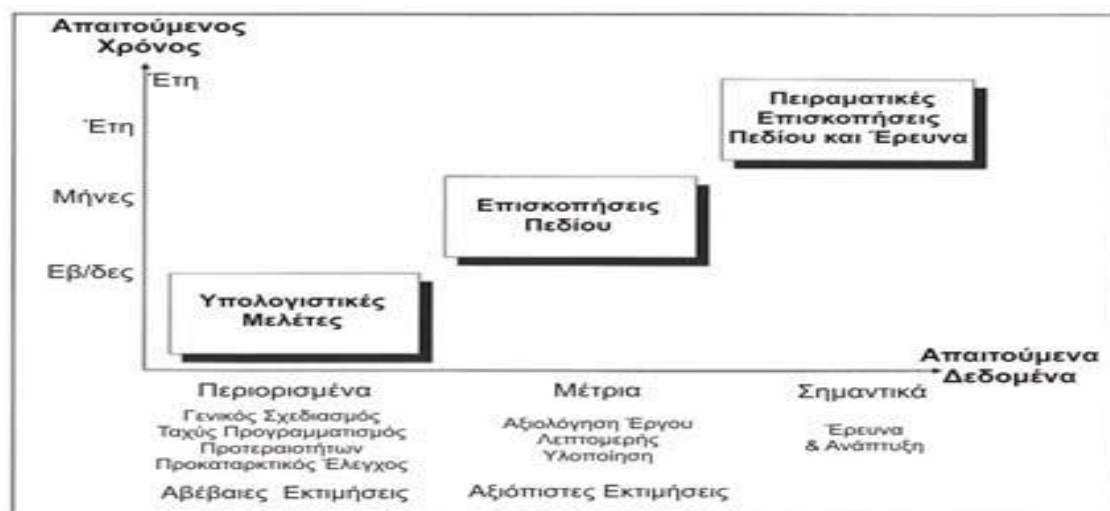
Σχήμα 2.17: Αλληλεπιδράσεις μεταξύ κατηγοριών παραγόντων σε μοντέλα πρόβλεψης κατάστασης οδοστρωμάτων [Πηγή: Haas, 2001]

Τα μοντέλα πρόβλεψης χρησιμοποιούνται σε ένα ΣΔΟ, σε επίπεδο δικτύου και σε επίπεδο έργου. Σε *επίπεδο δικτύου* είναι χρήσιμα εργαλεία για το σχεδιασμό, προγραμματισμό και τη χρηματοδότηση της συντήρησης (budgeting). Σε *επίπεδο έργου* χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό οδοστρωμάτων και την επιλογή βέλτιστων λύσεων με το μικρότερο συνολικό κόστος, την ανάλυση του κόστους των εργασιών συντήρησης τμημάτων του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια ζωής τους (life-cycle cost analysis) (George, 2000).

Πολλά από τα μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης των οδοστρωμάτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς βασίζονται στα μοντέλα που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα HDM-4. Τα μοντέλα αυτά είναι αναγκαίο να προσαρμοσθούν στις τοπικές συνθήκες κάθε χώρας λόγω των διαφορετικών υλικών, προδιαγραφών κατασκευής και κλιματολογικών συνθηκών (Morosiuk και Kerali, 2001).

Η προσαρμογή των μοντέλων είναι μία διαδικασία επίπονη και χρονοβόρα. Το αποτέλεσμα της προσαρμογής εξαρτάται από τα διαθέσιμα δεδομένα (ακρίβεια, αξιοπιστία, ποιότητα και τεχνολογία συλλογής), το ύψος της χρηματοδότησης για έρευνα και το χρονικό περιθώριο που είναι διαθέσιμο μέχρι την έκδοση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας προσαρμογής. Το HDM επιτρέπει διαφορετικά επίπεδα προσαρμογής, ανάλογα με τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα. Σε ένα *κατώτερο επίπεδο*, συντάσσονται υπολογιστικές μελέτες προσαρμογής λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων δεδομένων. Το *ενδιάμεσο επίπεδο* περιλαμβάνει μερικές επισκοπήσεις πεδίου για τη λήψη περισσότερων δεδομένων σε σχέση με το πρώτο επίπεδο. Η

προσαρμογή των συντελεστών του μοντέλου προκύπτει από μελέτη αυτού του επιπέδου. Στο *υψηλότερο επίπεδο*, εκτελούνται πειραματικές επισκοπήσεις πεδίου και ερευνητικές εργασίες. Η προσαρμογή αντιστοιχεί στο επίπεδο των ερευνητικών εργασιών που εκτελέσθηκαν κατά την αρχική ανάπτυξη των μοντέλων πρόβλεψης της κατάστασης του οδοστρώματος. Συνεπώς, είναι δυνατή η ανάπτυξη νέων μοντέλων ή η προσαρμογή των ήδη υπαρχόντων μοντέλων σε ένα διαφορετικό επιθυμητό επίπεδο προσαρμογής (Henning et al., 2006). Το Σχήμα 2.18 παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ των δεδομένων και του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση μελετών προσαρμογής διαφορετικών επιπέδων.



Σχήμα 2.18: Εννοιολογική παρουσίαση των απαιτούμενων δεδομένων και χρόνου για την προσομοίωση των μοντέλων πρόβλεψης της κατάστασης οδοστρωμάτων [Πηγή: Bennett και Paterson, 2000]

2.4. Κριτήρια / Βελτιστοποίηση

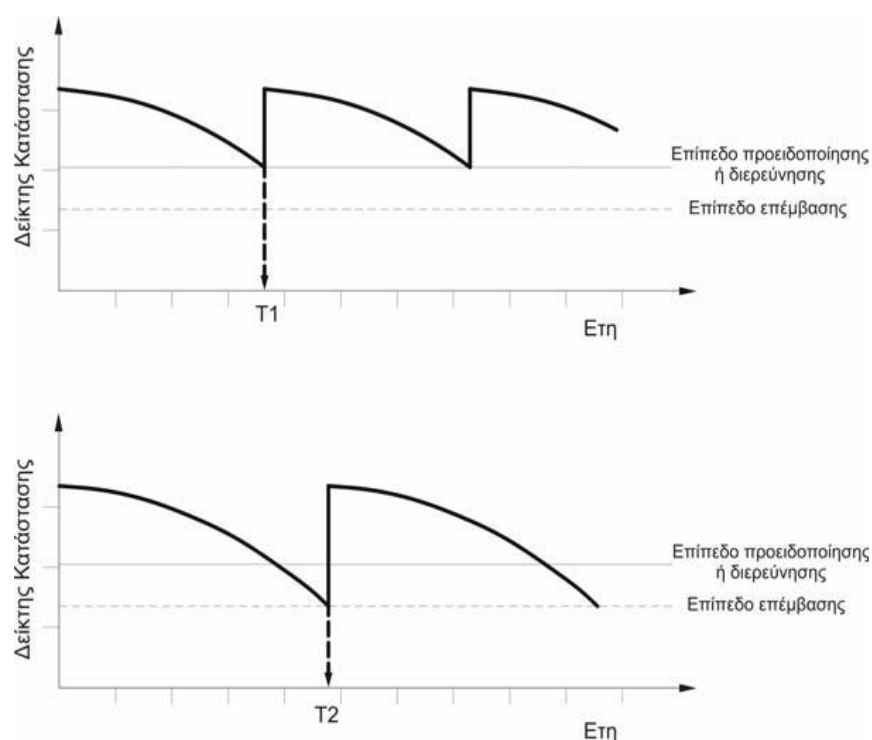
Προκειμένου να προσδιορισθούν τμήματα στο οδικό δίκτυο με λειτουργικά ελαττώματα ή με τρέχουσες ή μελλοντικές ανάγκες συντήρησης απαιτούνται να τεθούν κριτήρια αξιολόγησης σε ένα ή περισσότερα από τα επόμενα χαρακτηριστικά:

- α) Ομαλότητα ή δείκτης ομαλότητας όπως IRI, PSI, RCI,
- β) Επιφανειακές φθορές ή κάποιος σχετικός δείκτης όπως SDI, PCI
- γ) Ελαστική βύθιση (δοκός Benkelman) ή κάποιος σχετικός δείκτης όπως SAI
- δ) Επιφανειακή τριβή
- ε) Σύνθετος δείκτης όπως PQI
- στ) Κυκλοφοριακές καθυστερήσεις εξ αιτίας πιθανών εργασιών συντήρησης
- ζ) Λειτουργικό κόστος οχημάτων

Η εκτέλεση εργασιών συντήρησης προκαλεί βελτίωση της κατάστασης του οδοστρώματος. Το Σχήμα 2.19 απεικονίζει ένα παράδειγμα δύο διαφορετικών στρατηγικών.

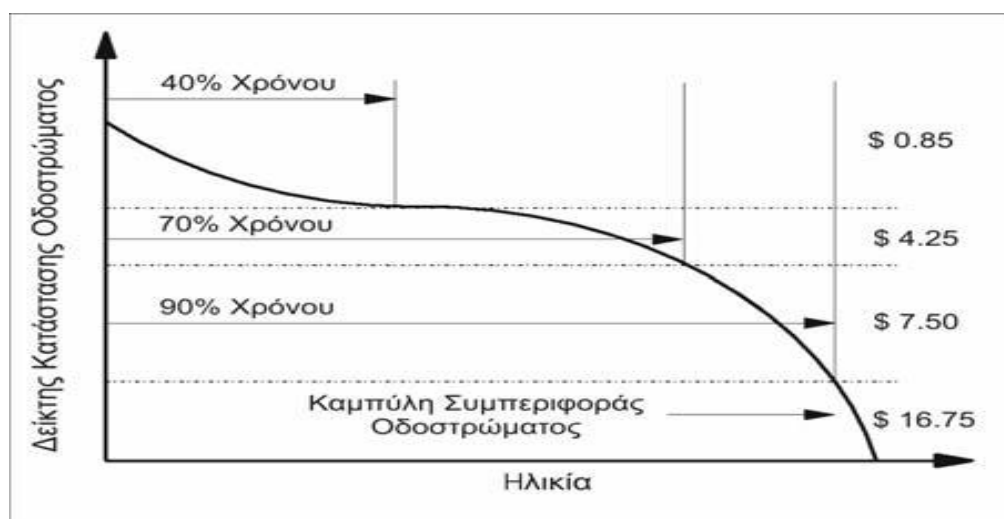
Σε ένα κλασικό διάγραμμα λειτουργικότητας – χρόνου επέμβασης (Σχήμα 2.19) διαπιστώνεται ότι η φθορά του οδοστρώματος όχι μόνο αυξάνει με το χρόνο, αλλά και επιταχύνεται, αφού η καμπύλη στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω. Στο διάγραμμα ορίζονται δύο παράλληλες ευθείες, οι οποίες αντιστοιχούν σε στάθμες κατάστασης (εξυπηρέτησης) που υποδηλώνουν αντίστοιχα καταστάσεις, όπου η επέμβαση είναι επιθυμητή (επίπεδο προειδοποίησης) ή αναγκαία (επίπεδο επέμβασης). Η επιλογή της χρονικής στιγμής της επέμβασης μεταξύ δύο σημείων T_1 και T_2 προσδιορίζει και τη στρατηγική που ακολουθείται στο θέμα της συντήρησης των οδοστρωμάτων (Μουρατίδης, 1996). Αν και κατά μια πρώτη θεώρηση θα μπορούσε να υποτεθεί ότι η στρατηγική 1 των συχνότερων επεμβάσεων, είναι δυσμενέστερη, τουλάχιστο από οικονομικής πλευράς αποδεικνύεται ότι αυτό δεν ισχύει. Μια τεχνικοοικονομική ανάλυση κόστους – οφέλους οδηγεί σε εντελώς διαφορετικά συμπεράσματα. Η επιτάχυνση της φθοράς μεταξύ T_1 και T_2 είναι πολύ μεγάλη και εκτός από την αύξηση του κόστους χρήσεως της οδού, συνεπάγεται και δυσκολότερη τεχνικά επισκευή και πιο δαπανηρή οικονομικά (Peterson, 1987, b).

Είναι προφανές ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές πιθανές λύσεις συντήρησης και η κάθε λύση δημιουργεί τη δική της καμπύλη συμπεριφοράς του οδοστρώματος, σε σχέση βεβαίως με διαφορετικά κριτήρια. Έτσι όχι μόνον υπάρχουν πολλές πιθανές λύσεις, αλλά προκύπτει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών συνδυασμών, όταν η επιλογή του κατάλληλου χρόνου, η αλληλουχία του τύπου της επέμβασης μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια μιας μακράς χρονικής περιόδου (OECD, 1987).



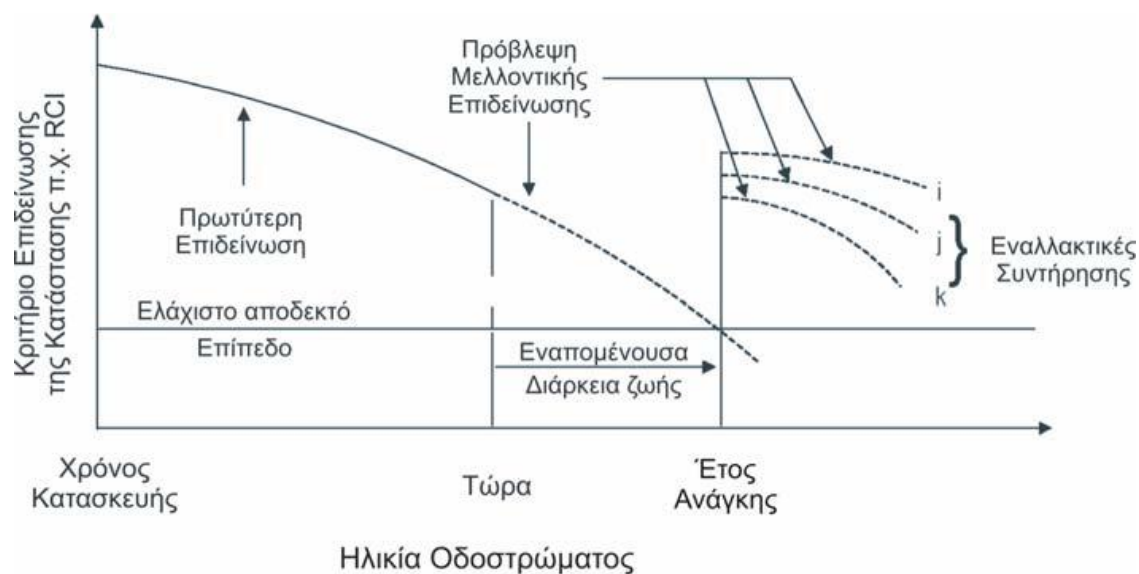
Σχήμα 2.19: Δύο διαφορετικές στρατηγικές συντήρησης [Πηγή: OECD, 1987]

Στο Σχήμα 2.20, η οποία βασίζεται σε έρευνα του Utah Department of Transportation (Peterson, 1987, b), παρουσιάζεται η εξέλιξη του κόστους συντήρησης των οδοστρώματων σε σχέση με το χρόνο επέμβασης. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα της έρευνας θα πρέπει να θεωρηθούν ότι είναι ενδεικτικά.



Σχήμα 2.20: Κόστος συντήρησης σε σχέση με τον χρόνο επέμβασης [Πηγή: Peterson, 1987, b]

Από την ανάλυση του κόστους και του οφέλους όλων των πιθανών επεμβάσεων συντήρησης για κάθε τμήμα του οδικού δικτύου μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό πλαίσιο, είναι δυνατό να ευρεθεί η πιο ικανοποιητική λύση. Όταν ο δείκτης κατάστασης π.χ. ο RCI (*Riding Comfort Index*), σε ένα τμήμα του οδικού δικτύου φθάσει (σε ενεστώτα χρόνο) στο όριο το οποίο έχει καθορισθεί (π.χ. RCI = 3.0) προκύπτει μία συγκεκριμένη ανάγκη (εκτέλεσης εργασιών) συντήρησης του οδοστρώματος. Όμως το Έτος Ανάγκης (ή χρονική στιγμή κατά την οποία θα πραγματοποιηθεί η επέμβαση στο οδόστρωμα) είναι ένα από τα πιθανά έτη (ή χρονικές στιγμές που αρχίζουν από το Τώρα και μέχρι να φθάσει ο RCI στο ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο) για την κατασκευή των εργασιών συντήρησης, διότι η συντήρηση του οδοστρώματος είναι δυνατό να γίνει ενωρίτερα ή αργότερα (Σχήμα 2.21). Προφανώς για ένα οδικό δίκτυο υπάρχουν πολλοί πιθανοί συνδυασμοί {τμημάτων} ↔ {ετών (χρονικών στιγμών) κατασκευής εργασιών συντήρησης} ↔ {εναλλακτικών λύσεων συντήρησης (i, j, k), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.21, και έτσι απαιτείται μία ανάλυση προτεραιότητας για τον καθορισμό, ποιος από τους συνδυασμούς έχει τη βέλτιστη συνολική σχέση για τη διαθέσιμη χρηματοδότηση (Haas et al., 2001).



Σχήμα 2.21: Έτος κατασκευής εργασιών συντήρησης, εναλλακτικές λύσεις συντήρησης [Πηγή: Haas et al., 2001]

2.4.1 Μέθοδοι βελτιστοποίησης

Μετά τη λήψη της απόφασης για το ποσόν της χρηματοδότησης το οποίο θα διατεθεί για τη συντήρηση ενός οδικού δικτύου και το οποίο δεν καλύπτει, σχεδόν ποτέ, όλες τις ανάγκες, υπάρχουν διάφορα τμήματα του οδικού δικτύου τα οποία διεκδικούν την προτεραιότητα εκτέλεσης των εργασιών συντήρησης. Η επιλογή αυτή των τμημάτων στα οποία τελικά θα γίνουν οι επεμβάσεις γίνεται συνήθως με τη χρήση μοντέλων βελτιστοποίησης (Haas et al., 1994).

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως, έχουν συνοψισθεί και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4 με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους (Hudson et al., 1997).

Οι μέθοδοι και τεχνικές οικονομικής αξιολόγησης, οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούνται, είναι οι επόμενες (Haas et al., 2004):

- Μέθοδος Λόγου Ωφελειών / Κόστους
- Δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης (IRR)
- Παρούσα Αξία (Present Worth Method) ή Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value–NPV)
- Ισοδύναμο Ομοιόμορφο Ετήσιο Κόστος και
- Μέθοδος Κόστους – Αποτελεσματικότητας

Πίνακας 2.4: Κατηγορίες μεθόδων βελτιστοποίησης. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα [Πηγή: Hudson et al., 1997]

Κατηγορία Μεθόδου βελτιστοποίησης	Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα
Απλή υποκειμενική αξιολόγηση των έργων βασισμένη στην κρίση	Γρήγορη, απλή, υποκείμενη σε σφάλμα, ίσως να απέχει από την βέλτιστη
Αξιολόγηση βασισμένη σε παραμέτρους όπως επίπεδο εξυπηρέτησης και κατάσταση	Απλή και εύκολη στη χρήση, ίσως να απέχει από την βέλτιστη
Βασισμένη σε παραμέτρους με οικονομική ανάλυση	Λογικά απλή, πρέπει να πλησιάζει στην βέλτιστη
Βελτιστοποίηση με μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού για κάθε έτος	Λιγότερο απλή, ίσως προσεγγίζει την βέλτιστη. Αποτελέσματα του προγραμματισμού δε λαμβάνονται υπόψη
Βελτιστοποίηση κατά προσέγγιση με τη χρήση προσέγγισης οριακής οικονομικότητας	Λογικά απλή, κοντά σε βέλτιστα αποτελέσματα
Εμπεριστατωμένη βελτιστοποίηση με μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του «πιο, τι και πότε»	Πολύ σύνθετη, μπορεί να δώσει βέλτιστο προγραμματισμό (μεγιστοποίηση των οφελών, ελαχιστοποίηση των διαφόρων κατηγοριών κόστους

2.4.2 Οικονομική ανάλυση – Προτεραιοποίηση (Prioritisation)

Η ανάλυση του κόστους για το σύνολο της διάρκειας ζωής είναι ένα οικονομικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων, με βάση το κόστος της επένδυσης της υποδομής (κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση). Για τα οδικά δίκτυα οι οικονομικοί παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να συνυπολογισθούν περιλαμβάνουν το κόστος δαπάνης από πλευράς Υπηρεσίας, των χρηστών και το κόστος των επιπτώσεων στην κοινωνία και το περιβάλλον.

Το κόστος των χρηστών περιλαμβάνει το λειτουργικό κόστος των οχημάτων, καθυστερήσεις, ατυχήματα.

Το κόστος της Υπηρεσίας περιλαμβάνει την αρχική κατασκευή, επισκευές, συντήρηση, διεύθυνση, επίβλεψη, επισκόπηση, και έλεγχο κυκλοφορίας.

Κόστος το οποίο είναι δυσκολότερο να ποσοτικοποιηθεί (υπολογισθεί) περιλαμβάνει τη μόλυνση του αέρα και του περιβάλλοντος γενικότερα, το θόρυβο, την ενόχληση των κατοίκων της περιοχής και τις επιπτώσεις στην αγορά εργασίας και στην αξία γης.

Η οικονομική ανάλυση σε ένα Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων μπορεί να βοηθήσει:

- Στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων διαφορετικών στρατηγικών συντήρησης, όπως συντήρηση η οποία επιδέχεται αναβολή ή προληπτική συντήρηση

- Στην επιλογή εναλλακτικών οικονομικών επενδύσεων μεταξύ ανταγωνιστικών εναλλακτικών επιλογών συντήρησης και αποκατάστασης
- Στον καθορισμό προτεραιότητας σε έργα συντήρησης και αποκατάστασης
- Στη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς στη χρηματοδότηση
- Στην επιλογή των κατάλληλων εργασιών συντήρησης (π.χ. επίστρωση) για ένα τμήμα του οδικού δικτύου

Η ανάπτυξη ειδικών εργαλείων οικονομικής ανάλυσης, έχει συντελέσει σημαντικά στην υποστήριξη διαφόρων λειτουργιών της διαχείρισης οδοστρωμάτων σε επίπεδο δικτύου και επίπεδο έργου. Στα εργαλεία οικονομικής ανάλυσης περιλαμβάνονται λογισμικά: Micro-BENCOST, StartBENCOST, HERS/ST, Pavement Investment Decisions (PID), FHWA Probabilistic LCCA Spreadsheet, Asphalt Pavement Association (APA) LCCA software και HDM-4, αν και ορισμένα έχουν πιο εξελιγμένα χαρακτηριστικά, όπως είναι τα HERS/ST, PID, HDM-4 τα οποία έχουν επί πλέον ικανότητα πρόβλεψης της κατάστασης των οδοστρωμάτων (Flintsch και Kuttesch, 2002).

2.5 Εφαρμογή των ΣΔΟ στις διάφορες χώρες

2.5.1 Γενικά

Τα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) μπορούν να θεωρηθούν ως ένα σύνολο εργαλείων, τα οποία βοηθούν στην υποστήριξη της λήψης αποφάσεων, κατά τη διαδικασία διαχείρισης του οδικού δικτύου, σχετικά με τη συντήρηση των οδοστρωμάτων. Στόχος των ΣΔΟ είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας του μακροχρόνιου σχεδιασμού της συντήρησης των οδοστρωμάτων (Smith και Hall, 1994).

Η χρήση ΣΔΟ οδηγεί σε εξοικονόμηση των πόρων συντήρησης, καλύτερη κατάσταση των οδοστρωμάτων καθώς και πληρέστερη κατανόηση των στόχων της διαχείρισης, των διαδικασιών και των απαιτούμενων δεδομένων, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται σε πολλές χώρες σε όλον τον κόσμο.

Στη συνέχεια γίνεται δειγματοληπτική παρουσίαση της πλούσιας βιβλιογραφίας και καταγράφονται τα κυριότερα ορόσημα στην εφαρμογή των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων στις προηγμένες τεχνολογικά χώρες.

2.5.2 Το πρόγραμμα HDM της Παγκόσμιας Τράπεζας

Το πρόγραμμα HDM είναι αποτέλεσμα του πειράματος της Βραζιλίας (1977–1982). Κατά τη διάρκεια του πειράματος δημιουργήθηκε μία τεράστια βάση δεδομένων όσον αφορά τις μεταβολές της ομαλότητας, των ρηγματώσεων και των αυλακώσεων των

οδοστρωμάτων, σε σχέση με την αντοχή τους, τα φορτία κυκλοφορίας, και διάφορες επεμβάσεις συντήρησης. Τα στοιχεία αυτά συνετέλεσαν στη δημιουργία μοντέλων για την περιγραφή της συμπεριφοράς και της επιδείνωσης των οδοστρωμάτων, τα οποία αποτέλεσαν την βάση για το λογισμικό HDM-III (Highway Design and Maintenance Standards Model). Το HDM-III αναπτύχθηκε από την Παγκόσμια Τράπεζα σε μία γενικευμένη μορφή, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κάποια καλή προσέγγιση σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος συνθηκών και να αποτελέσει εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με χρηματοδότηση και τη συντήρηση των οδοστρωμάτων στις Υπηρεσίες Οδών σε όλο τον κόσμο (Thawat Watanatada et al., 1987). Εξέλιξη του HDM-III, μέσω του προγράμματος ISOHDM (International Study of Highway Development and Management), αποτελεί το Highway Development and Management (HDM-4).

Το HDM-4 χρησιμοποιείται, σε πολλές χώρες σε όλον τον κόσμο, στη διαχείριση των οδικών δικτύων, σχετικά με το στρατηγικό σχεδιασμό (strategy analysis), την ανάλυση έργου (project analysis), τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης (program analysis), την εκτέλεση ερευνητικών μελετών και την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων. Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.22.



Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονική του συστήματος HDM-4 [Πηγή: World Bank, 2007]

Στον στρατηγικό σχεδιασμό χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της χρηματοδότησης της συντήρησης των οδικών δικτύων, την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων και τις επιπτώσεις τους στους χρήστες της οδού. Το οδικό δίκτυο

διαίρεται σε επιμέρους τμήματα ανάλογα με την κατηγορία της οδού, τον τύπο της επιφανειακής στρώσης των οδοστρωμάτων, τα χαρακτηριστικά της κατάστασης των οδοστρωμάτων, τα φορτία κυκλοφορίας κ.τ.λ.

Στον προγραμματισμό εργασιών χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση εναλλακτικών προγραμμάτων συντήρησης μεταξύ ανταγωνιζόμενων τμημάτων του οδικού δικτύου, τα οποία έχουν ανάγκη επεμβάσεων συντήρησης, με βάση την Καθαρή Παρούσα Αξία των εναλλακτικών επιλογών. Ως αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι η επιλογή της βέλτιστης συντήρησης μέσα στα πλαίσια που καθορίζονται από τη διατιθέμενη χρηματοδότηση. Στην ανάλυση έργου χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της συντήρησης ενός ή περισσότερων τμημάτων του οδικού δικτύου. Η ανάλυση έργου χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της βιωσιμότητας από οικονομικής και τεχνικής πλευράς ενός ή περισσότερων οδικών έργων. Τα κύρια αποτελέσματα είναι οι ετήσιες προβλέψεις της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων, η συντήρηση των οδοστρωμάτων και οι επιπτώσεις τους, το κόστος και τα οφέλη των χρηστών, η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Σε επίπεδο έρευνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή μελετών στον τομέα των οδών, όπως την έρευνα των επιπτώσεων των αλλαγών στην πολιτική των οδικών μεταφορών, στην κατανάλωση των καυσίμων, τις επιπτώσεις από την επιβολή ορίων στα αξονικά φορτία των φορτηγών οχημάτων και στην καθιέρωση προδιαγραφών σχετικά με τη συντήρηση των οδοστρωμάτων. Το λογισμικό, λόγω της δομής του (modular structure), προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής (κάποιων ή όλων) των εργαλείων ανάλυσης (strategy, program, project) τα οποία περιλαμβάνει, όπως και τα μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης των οδοστρωμάτων και τα μοντέλα κόστους των χρηστών σε ΣΔΟ. (Ihs Anita και Sjögren Leif, 2003) Λεπτομερείς πληροφορίες για το πρόγραμμα δίνονται στους οκτώ τόμους που το συνοδεύουν και οι οποίοι περιλαμβάνουν: Σύντομη αναφορά στο λογισμικό, τεχνικό εγχειρίδιο χρήστη, περιγραφή του λογισμικού, οδηγό εφαρμογών ο οποίος περιλαμβάνει τυπικά παραδείγματα χρήσης του και διαφόρους τύπους αναλύσεων, οδηγό βαθμονόμησης, πρόβλεψη της επιδείνωσης της κατάστασης των οδοστρωμάτων και τις επιπτώσεις τους στις εργασίες συντήρησης, τις επιπτώσεις στους χρήστες της οδού και οδηγό που αφορά τους κατασκευαστές προγραμμάτων.

2.5.3 ΗΠΑ

Οι ΗΠΑ πρωτοπορούν στα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων. Προκειμένου να γίνει αναφορά για την πρακτική, αλλά και στην έρευνα σχετικά με τα ΣΔΟ στις Πολιτείες των ΗΠΑ, θα πρέπει να αναγνωρισθούν όλοι οι παράγοντες (φορείς, οργανισμοί, υπηρεσίες), οι οποίοι εμπλέκονται στη διαχείριση των οδών και αυτοκινητοδρόμων και στην ανάπτυξη και εφαρμογή των ΣΔΟ και στα τρία επίπεδα του τομέα Διοίκησης (ομοσπονδιακό, πολιτειακό και τοπικό), και να συνεκτιμηθεί η συνεισφορά της ακαδημαϊκής κοινότητας καθώς και η τεχνογνωσία του ιδιωτικού τομέα.

Η Υπηρεσία Federal Highway Administration (FHWA) με την Ένωση American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) και το Ινστιτούτο Transportation Research Board (TRB), τα τελευταία 25 χρόνια έχουν διοργανώσει μεγάλο αριθμό συνεδρίων, εκπαιδευτικών σεμιναρίων και συσκέψεων εμπειρογνομόνων, όπου έχουν αναλυθεί σε βάθος πλείστα όσα ζητήματα, τα οποία άπτονται των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων. Ένας τεράστιος όγκος πληροφοριών είναι διαθέσιμος από τους επίσημους δικτυακούς τόπους των φορέων αυτών. Το έτος 1989 η FHWA εξέδωσε έναν κανονισμό με τον οποίο απαιτούσε όλες οι Πολιτείες να εφαρμόσουν ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων, το οποίο να περιλαμβάνει τις αστικές και υπεραστικές κύριες οδούς που ήταν στη δικαιοδοσία τους. Η Πράξη Intermodal Surface Transportation Efficiency Act του 1991 (ISTEA, 1991) επέκτεινε την εφαρμογή ΣΔΟ σε όλους τους αυτοκινητοδρόμους των Πολιτειών, οι οποίοι χρηματοδοτούνται από την Ομοσπονδιακή Κυβέρνηση. Το έτος 1996 η FHWA και η Federal Transit Administration (FTA) εξέδωσαν έναν τελικό κανονισμό σχετικά με τα συστήματα διαχείρισης και επισκόπησης. Αυτός ο τελικός κανονισμός ενσωμάτωσε τις αλλαγές από το National Highway System Designation Act του 1995 (NHS Act, 1995), επιτρέποντας στις Πολιτείες να εφαρμόζουν επιλεκτικά μάλλον, παρά υποχρεωτικά, ολόκληρα ή τμηματικά συστήματα διαχείρισης για όλους τους αυτοκινητοδρόμους, εκτός από εκείνους που ανήκουν στην Ομοσπονδιακή δικαιοδοσία. Η Ένωση AASHTO έχει εκδώσει οδηγούς, οι οποίοι παρέχουν μία πλήρη θεώρηση της διαχείρισης των οδοστρωμάτων και των ΣΔΟ, οι οποίοι αναφέρονται στα μέρη από τα οποία αποτελούνται, στους σκοπούς και τα οφέλη από την εφαρμογή τους. Το *Guidelines for Pavement Management Systems* που εκδόθηκε το 1990 περιέχει τις απαιτούμενες πληροφορίες για την ανάπτυξη ενός πλαισίου λειτουργίας ΣΔΟ για τους αυτοκινητοδρόμους, οι οποίοι εμπίπτουν στην κατηγορία της Ομοσπονδιακής χρηματοδότησης (AASHTO, 1990). Το *Pavement Management Guide* του έτους 2001 διαπραγματεύεται με λεπτομέρεια τις τεχνολογίες και τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, αναφορά, διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση των οδοστρωμάτων σε επίπεδο Πολιτειών (AASHTO, 2001). Οι AASHTO/FHWA (1999) αναφέρονται στα προβλήματα τα οποία αναφύονται συνήθως και τους παράγοντες οι οποίοι είναι κρίσιμοι για την επιτυχή ολοκλήρωση των συστημάτων διαχείρισης. Λεπτομερείς πληροφορίες για την ανάπτυξη, εφαρμογή και χρήση των ΣΔΟ σε περιφέρειες των Πολιτειών και διοικητικές υποδιαιρέσεις αυτών υπάρχουν στο *National Highway Institute (NHI) course 13426*. Το ISTEA 1991 απαιτεί από τις Πολιτείες να αναπτύξουν και εφαρμόσουν συστήματα διαχείρισης για τους αυτοκινητοδρόμους, τις γέφυρες, την οδική ασφάλεια των αυτοκινητοδρόμων, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τις δημόσιες μεταφορές και τις εμπορικές διαπολιτειακές μεταφορές.

Σήμερα όλες οι Πολιτείες στις ΗΠΑ εφαρμόζουν ΣΔΟ και συλλέγουν διάφορα δεδομένα για την κάλυψη των αναγκών τους (Flintsch et al., 2004). Επί πλέον πολλές από τις κεντρικές Υπηρεσίες Μεταφορών των Πολιτειών, αλλά και τις περιφερειακές και τοπικές αρμόδιες υπηρεσίες, εκτός από σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων, εφαρμόζουν και σύστημα διαχείρισης γεφυρών, οδικής ασφάλειας, κυκλοφοριακής

συμμόρφωσης και δημόσιων οδικών μεταφορών (DeBlasio et al., 2000).

Η ολοκλήρωση όχι μόνο των υαρχόντων συστημάτων διαχείρισης των έργων υποδομής, αλλά και άλλων παγίων (μεταφορικά μέσα, υλικά, ανθρώπινοι πόροι, κτιριακές και άλλες εγκαταστάσεις), είναι η τάση η οποία παρουσιάζεται στις Πολιτείες των ΗΠΑ σήμερα.

Αυτή ακριβώς η ολοκλήρωση αποτελεί την πλέον σημαντική θεώρηση της έννοιας *διαχείριση παγίου κεφαλαίου (Asset Management)*. Τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα, μοντέλα και συστήματα αποτελούν μία πηγή για την εξέλιξη των νέων αναβαθμισμένων και βελτιωμένων εργαλείων στη διαχείριση των παγίων. Το εγχειρίδιο *Asset Management Primer*, το οποίο εξέδωσε το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ (U.S. Department of Transportation), αναφέρεται σε ένα Γενικό Σύστημα Διαχείρισης Παγίων (A Generic Asset Management System), περιγράφει τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σύστημα και απαντά σε βασικά ερωτήματα που αφορούν τη διαχείριση του παγίου κεφαλαίου και τη στρατηγική η οποία θα πρέπει να ακολουθηθεί για την εφαρμογή του. Το έτος 1999, στο συνέδριο *Asset Management Peer Exchange* οποίο έλαβε χώρα υπό την αιγίδα των FHWA και AASHTO, τα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης ήταν μεταξύ των θεμάτων προτεραιότητας (NCHRP, 2002).

Ενώ η ανάγκη καθιέρωσης του *Asset Management* είναι προφανής, η πρακτική του έχει καθυστερήσει σε σχέση με τη θεωρία του. Ένας λόγος είναι η έλλειψη σαφήνειας στον ορισμό του, η οποία οφείλεται ότι η εφαρμογή του και τα οφέλη του παραμένουν προς το παρόν σε θεωρητικό επίπεδο (McNeil, 2001).

2.5.4 Καναδάς

Ο Καναδάς, στον τομέα των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, ακολούθησε παράλληλη πορεία με τις ΗΠΑ. Επιστημονικό και ερευνητικό ακαδημαϊκό προσωπικό της χώρας αυτής συμμετείχε από τα αρχικά στάδια στην έρευνα σχετικά με τη διαχείριση της συντήρησης των οδοστρωμάτων. Όπως και στις ΗΠΑ σε κάθε Πολιτεία, οι περισσότερες Υπηρεσίες Μεταφορών σε τοπικό επίπεδο εφαρμόζουν ΣΔΟ (Haas, 2001), με αποτέλεσμα την έκδοση σχετικών ερευνητικών αναφορών.

Στην έκθεση του *Transportation Association of Canada* του 2006 (TAC, 2006), αναφέρονται οι δείκτες που χρησιμοποιούν διάφορες Πολιτείες ως μέτρο για την συντήρηση του οδικού συστήματος, το ποσοστό του οδικού δικτύου στο οποίο διενεργούνται μετρήσεις, τις μεθόδους και την συχνότητα συλλογής των δεδομένων και τη χρήση τους. Για την Πολιτεία της Αλμπέρτα αναφέρονται οι τιμές που έχουν καθορισθεί για το δείκτη IRI ως κριτήρια για τη βαθμολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων.

Όσον αφορά το την Ένωση *Transportation Association of Canada (TAC)* και τις δραστηριότητές της στο πεδίο της Διαχείρισης Οδών, έχει εκδώσει από το 1999 το εγχειρίδιο “*Primer on Highway Asset Management*”, για να δώσει τον ορισμό του

Asset Management, να προσδιορίσει τα οφέλη του, να καταγράψει τα στοιχεία ενός συστήματος διαχείρισης πάγιου κεφαλαίου, αναλύοντας τους κρίσιμους παράγοντες για τον επιτυχή σχεδιασμό και εφαρμογή του (TAC, 1999).

2.5.5 Αυστραλία – Νέα Ζηλανδία

Για τρεις δεκαετίες οι Υπηρεσίες Οδών στην Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία εφαρμόζουν διεθνείς μεθόδους, είτε αναπτύσσουν πρωτοποριακές τεχνικές, συλλογής δεδομένων των οδοστρωμάτων. Ο Sheldon (2004) παρουσιάζει μία ανασκόπηση και το ευρύτερο πλαίσιο της συλλογής δεδομένων στις Υπηρεσίες των χωρών αυτών, σε σχέση με τον εξοπλισμό και τις πρακτικές που ακολουθούνται. Αναφέρεται στο οδικό δίκτυο, τα κυκλοφοριακά στοιχεία των βαρέων οχημάτων, τη λειτουργική και δομική κατάσταση, τις φθορές των οδοστρωμάτων και τη γεωμετρία της οδού.

Το Austroads (η ένωση των Υπηρεσιών των Οδών της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας) έχει καθοδηγητικό ρόλο στην Αυστραλία στη βελτίωση της συντήρησης των οδικών δικτύων.

Το Austroads Asset Management Reference Group (AMRG) σχεδιάζει και διαχειρίζεται την έρευνα και ανάπτυξη του πάγιου κεφαλαίου του οδικού δικτύου. Για να ανταποκριθεί στην αποστολή του το Austroads έχει αναπτύξει ένα πλαίσιο για τη διαχείριση του πάγιου κεφαλαίου των οδών από το έτος 1994 (Austroads, 1994). Στον επίσημο δικτυακό τόπο του περιέχεται μεγάλος όγκος πληροφοριών όσον αφορά εκδόσεις και κανονισμούς σε συναφή ζητήματα.

2.5.6 Ευρώπη

Στις χώρες της Ευρώπης και ιδιαίτερα της Ευρωπαϊκής Ένωσης γίνεται ευρύτατη χρήση των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων. Λεπτομέρειες για τα ΣΔΟ, τα οποία είναι σε λειτουργία στις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αναφέρονται στο Work Package 2 του Προγράμματος RIMES, Review of EU Pavement Management Systems and Bridge Management Systems. Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τη χρησιμοποίηση ΣΔΟ σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ειδικότερα παρακάτω αναφέρεται η κατάσταση που επικρατεί σε κάθε χώρα σχετικά με την εφαρμογή ΣΔΟ.

2.5.6.1 Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει αναπτύξει από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 το *UKPMS (United Kingdom Pavement Management System)*, το οποίο είναι το εθνικό πρότυπο για τα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, την αποτίμηση της κατάστασης του οδικού δικτύου και τον σχεδιασμό της χρηματοδότησης για τη συντήρησή τους.

Πίνακας 2.5: Στοιχεία σχετικά με τα ΣΔΟ σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης [Πηγή: Kerala, 1999]

Ευρωπαϊκές χώρες που χρησιμοποιούν Σ.Δ.Ο	13 (Μ. Βρετ., Γαλλία, Ισπανία, Ολλανδία, Σουηδία, Πορτογαλία, Ιταλία, Γερμανία, Αυστρία, Δανία, Φιλανδία, Νορβηγία, Βέλγιο)
Αριθμός ατόμων που λειτουργούν τα Σ.Δ.Ο	Από 1 (Δανία) έως 60 (Φιλανδία)
% Λειτουργικού κόστους συντήρησης που αναλογεί στα Σ.Δ.Ο	Από 1% (Πορτογαλία) έως 3% (Φιλανδία)
Πεδία εργασιών τα οποία οργανώνονται βάσει των Σ.Δ.Ο	
Κατασκευή νέων οδών	1 από τις 13 (Αυστρία)
Βελτίωση οδών (διαπλατύνσεις)	1 από τις 13 (Αυστρία)
Συντήρηση οδών	13 από τις 13
Χρήση Σ.Δ.Ο για τον καταμερισμό σχετικών κονδυλίων στις περιφέρειες	13 από τις 13

Στην Αγγλία, το στρατηγικό, εθνικό οδικό δίκτυο εμπίπτει στην αρμοδιότητα της κεντρικής κυβέρνησης (Department of the Environment, Transport and the Regions – DETR), ενώ οι τοπικές αρχές αυτοκινητοδρόμων (Local Highway Authorities) έχουν την αρμοδιότητα όλων των άλλων αυτοκινητοδρόμων και οδών του δικτύου. (Highways Agency, 2000), (DETR 1998), (Hawker και Hattrell, 2001) Η Υπηρεσία Highways Agency (HA), η οποία είναι μία εντεταλμένη υπηρεσία του DETR και έχει ως σκοπό να συμβάλει στην επίτευξη των σκοπών που θέτει το DETR, έχει αναπτύξει Highways Agency Pavement Management System (HAPMS). Το HAPMS είναι μια εθνική βάση δεδομένων που αποθηκεύει τα στοιχεία της υφιστάμενης κατάστασης των οδοστρωμάτων. Η ανάπτυξη της βάσης κατά τη διάρκεια του 2001-2002 ήταν ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός, δεδομένου ότι οι πληροφορίες για την κατάσταση του οδικού δικτύου είναι πλέον διαθέσιμες σε εθνικό επίπεδο και όχι μόνον σε περιφερειακή βάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το στρατηγικό προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης. Το HAPMS έχει τη δυνατότητα να αναλύει λεπτομερώς τις εναλλακτικές περιπτώσεις συντήρησης για συγκεκριμένα μήκη του δικτύου, να υπολογίζει το κόστος κατά τη διάρκεια ζωής και να προσδιορίζει τα έργα συντήρησης, τα οποία πρέπει να γίνουν μέσα στα πλαίσια της διαθέσιμης χρηματοδότησης. Στη βιβλιογραφία παραθέτονται λεπτομερείς πληροφορίες για το HAPMS, όπως και για τη συλλογή δεδομένων αναφορικά με την κατάσταση των οδοστρωμάτων. (Hawker και Hattrell, 2001). Σημαντικός οδηγός γενικότερα για τη διαχείριση της συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων, αλλά και για τα συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο αποτελεί ο κώδικας “Code of Practice for Highway Maintenance Management” (Roads Liaison Group, 2005), ο οποίος αναφέρεται μεταξύ των άλλων

στις προδιαγραφές των επισκοπήσεων της κατάστασης του οδικού δικτύου.

Το UKPMS είναι το πρότυπο σύστημα για την αξιολόγηση της κατάστασης των οδικών δικτύων, για τον σχεδιασμό της επένδυσης και τη συντήρηση των οδοστρωμάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το UKPMS δεν είναι ένα ενιαίο σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο, αλλά είναι ένα σύνολο προδιαγραφών για εκείνα τα μέρη ενός συστήματος διαχείρισης οδοστρωμάτων για τα οποία απαιτείται σε εθνικό επίπεδο η συνέπεια και η συμβατότητα. Οι κατασκευαστές λογισμικού συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων προτρέπονται να ενσωματώσουν τις βασικές πτυχές του UKPMS στα συστήματά τους. Ένα κεντρικό πρόγραμμα τα εξετάζει για να εξασφαλίζει την συγκρισιμότητα, από βασικές αλγοριθμικές απόψεις, και τη συμμόρφωση τους με το σχέδιο UKPMS.

Πέντε συστήματα εμπορικού λογισμικού ΣΔΟ των εταιρειών Exor, WDM Limited, Symology, MapInfo (Confirm) και Data Collection Limited (MARChpms) είναι πλήρως συμβατά με το UKPMS και επισήμως αναγνωρισμένα από αυτό. Στο δικτυακό τόπο του UKPMS υπάρχουν λεπτομερή στοιχεία, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται και τα αρχεία των εγχειριδίων του χρήστη.

2.5.6.2 Σκανδιναβικές Χώρες

Οι Σκανδιναβικές χώρες (Νορβηγία, Σουηδία, Φιλανδία) χρησιμοποιούν ΣΔΟ επί αρκετά έτη. Σε αυτές τις χώρες υπάρχει επίσης σε εξέλιξη έρευνα στον τομέα της συλλογής δεδομένων και των σχετικών με αυτά θεμάτων. (Offrell και Sjögren, 2003 - Ruotoistenmäki et al., 2003 - WERD, 2003) Στη συνέχεια παρατίθεται ενδεικτική βιβλιογραφία και αναφορές για τις χώρες αυτές.

Φιλανδία

Το Φιλανδικό PMS (Highway Investment Programming System - HIPS), έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για την υποστήριξη στρατηγικών αποφάσεων από τη Finnish National Road Administration (Finnra) κατά την τελευταία δεκαετία. Το ίδιο σύστημα και η προσέγγιση του έχει τεθεί σε εφαρμογή σε διάφορες άλλες Ευρωπαϊκές χώρες κατά την τελευταία δεκαετία (Σουηδία, Νορβηγία, Εσθονία, Πολωνία και Ουγγαρία). (Ruotoistemäki και Männistö, 2001) Η Φιλανδία συμμετείχε Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα RIMES. Το Work Package 6 του προγράμματος αφορά πιλοτική εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης οδοστρωμάτων σε επίπεδο δικτύου στη χώρα αυτή.

Σουηδία

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με την οργάνωση της Εθνικής Διεύθυνσης Οδών της Σουηδίας (Swedish National Road Administration – SNRA), τις διάφορες φάσεις εξέλιξης του Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Lang και Potucek, 2001), τα μοντέλα πρόβλεψης του συστήματος (Lang και Dahlgren, 2001), και την επισκόπηση των οδοστρωμάτων για τη συλλογή δεδομένων (Sjögren, 2004).

Νορβηγία

Βασικές πληροφορίες για τα κύρια μέρη του νέου ΣΔΟ (PMS2000) και τα επί μέρους χαρακτηριστικά του, το οποίο εφαρμόζει η Διεύθυνση Δημοσίων Έργων της Νορβηγίας (Norwegian Public Roads Administration – NPRA) αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Gryteselv et al., 2001).

Λεπτομερή στοιχεία για την εφαρμογή ΣΔΟ στη Νορβηγία (συλλογή δεδομένων των οδοστρωμάτων, μοντέλα πρόβλεψης) (Haugødegård et al., 1994).

Δανία

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πληροφορίες για το ιστορικό, τη δομή, τη λειτουργία και την εμπειρία από την εφαρμογή του Συστήματος Οδοστρωμάτων BELMAN στη Δανία (Jansen και Schmiidt, 1994 - Knudsen και Simonsen, 1994 - Kristiansen, 2001).

2.5.6.3 Άλλες Ευρωπαϊκές Χώρες

Εφαρμογή ΣΔΟ, έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα συλλογής δεδομένων και της διαχείρισης των οδοστρωμάτων έχουν γίνει σε πολλές άλλες Ευρωπαϊκές Χώρες. Παρακάτω παρατίθεται η σχετική βιβλιογραφία.

Γερμανία

Σημαντικό έργο έχει επιτευχθεί στη Γερμανία στο πεδίο της συλλογής δεδομένων και της ολοκλήρωσης των συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων (Bock και Helle, 2003-WERD, 2003), καθώς επίσης και στη δημιουργία ενός κοινού καταλόγου δεδομένων για όλες τις Γερμανικές Διευθύνσεις Οδών (WERD, 2003 - Socina, 2004).

Για το Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων στη Γερμανία αναφέρονται πολλά στοιχεία στη βιβλιογραφία (Krause και Maerschalk, 2003 - Woltereck, 2003).

Αυστρία

Vycudil Alfred και Litzka Johann, 2001

Weninger–Vycudil et al., 2003

Κροατία

Keller et al., 2003 - Srsen, 2003

Τσεχία

WERD, 2003 - Fenc1, 2004

Γαλλία

WERD, 2003

Ιταλία

Crispino et al., 2004

Ουγγαρία

Balkó Kornelia και Ambrus–Somogyi, 2005

Πορτογαλία

Ferreira Adelino et al., 2001

Golabi Kamal και Pereira Paulo, 2003

Picado–Santos et al., 2004 (a)

Picado–Santos et al., 2004 (b)

Σλοβακία

WERD, 2003

Mikolaj Jan και Celko Jan, 2001

Ισπανία

Gascón Varón και Vázquez de Diego, 2004

Ελβετία

Scazziga, 2004

Ιρλανδία

Πληροφορίες σχετικά με τα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων στις Υπηρεσίες της Ιρλανδίας αναφέρονται στο RPS MCOS (2005).

2.6. Εφαρμογή των ΣΔΟ στην Ελλάδα

2.6.1 Γενικά

Οι πρώτες απόπειρες αναφοράς στην Ελλάδα σχετικά με την ανάπτυξη και λειτουργία Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, καθώς και με συναφή με αυτά ζητήματα, ξεκινούν πριν από περίπου δέκα χρόνια. (Λοΐζος, 1994 - Μουρατίδης, 1996) Αξιοσημείωτη ενέργεια από πλευράς της Πολιτείας αποτελεί η έκδοση του «Εγχειριδίου Ελέγχων και Ταξινόμησης Φθορών Οδοστρωμάτων», το οποίο συντάχθηκε από τη Γενική Γραμματεία Επενδύσεων και Ανάπτυξης του Υπουργείου Οικονομίας και Οικονομικών και τη Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων του ΥΠΕΧΩΔΕ. Στο εγχειρίδιο αναφέρεται ότι είναι σκόπιμο να αναπτυχθεί ένα Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων για κάθε Περιφέρεια (ΥΠΟΙΟ–ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002). Σημαντικά βήματα έχουν γίνει σε θέματα που άπτονται των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων όπως, συλλογή στοιχείων για την αξιολόγηση της ομαλότητας σε οδοστρώματα υφιστάμενων αυτοκινητοδρόμων, δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της επιδείνωσης των οδοστρωμάτων και μετρήσεις κατάστασης των οδοστρωμάτων

οδικών αξόνων της χώρας. Περιληπτική παρουσίαση ακολουθεί στην συνέχεια.

2.6.2 Το Πρόγραμμα RIMES

Το πρόγραμμα RIMES (Road Infrastructure Maintenance Evaluation Study) είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα συντήρησης – διαχείρισης της οδικής υποδομής, το οποίο εκπονήθηκε την περίοδο 1998–2000 στα πλαίσια του 4ου Προγράμματος Πλαισίου (FP4) της Ε.Ε., από το Πανεπιστήμιο του Birmingham σε συνεργασία με εταίρους από άλλες ευρωπαϊκές χώρες και συμμετοχή του Τ.Ε.Ε. (Τμήμα Ανατολικής Μακεδονίας). Τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή του RIMES και περιλαμβάνονται σε 5 πακέτα εργασίας (Work Packages), συνηγορούν υπέρ της υιοθέτησης ενός ολοκληρωμένου εργαλείου συντήρησης – διαχείρισης έργων οδικής υποδομής βασιζόμενο στην ίδια λογική και φιλοσοφία για όλες τις χώρες της Ε.Ε. (Κοκκάλης και λοιποί, 2002).

2.6.3 Αξιολόγηση της ομαλότητας υφιστάμενων ασφαλτικών οδοστρωμάτων

Σημαντική προσπάθεια αξιολόγησης της ομαλότητας οδοστρωμάτων αυτοκινητοδρόμων αποτελεί η ερευνητική εργασία παρακολούθησης και διερεύνησης της ομαλότητας των οδοστρωμάτων, οδικών τμημάτων του αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ (Πάτρα – Αθήνα – Θεσσαλονίκη – Εύζωνοι), η οποία υπήρξε προϊόν συνεργασίας της Ειδικής Υπηρεσίας Δημοσίων Έργων (ΕΥΔΕ)–Αυτοκινητόδρομος ΠΑΘΕ και του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής (ΜΣΥ) του ΕΜΠ (Λοΐζος και λοιποί, 2002). Κατά τη διάρκεια της έρευνας η επιφανειακή κατάσταση, των υπό διερεύνηση τμημάτων οδοστρώματος του αυτοκινητοδρόμου, αξιολογήθηκε σε διάφορες φάσεις, μέσω μετρήσεων ομαλότητας με καταγραφικά συστήματα υψηλής τεχνολογίας, αξιοποιώντας και τη γνώμη των χρηστών για το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας κύλισης της οδού.

Από την ανάλυση των στοιχείων που συλλέχθηκαν προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα (Λοΐζος και λοιποί, 2002):

- Για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας αξιολόγησης της ομαλότητας των οδοστρωμάτων κρίνεται απαραίτητη πλέον η χρησιμοποίηση αυτόματων συστημάτων καταγραφής των χαρακτηριστικών της επιφάνειας των οδοστρωμάτων.
- Από την καταγραφή και επεξεργασία της ομαλότητας του υπό εξέταση οδοστρώματος σε δύο διαφορετικές χρονικές φάσεις, εκτιμήθηκε, με βάση τα στοιχεία της έρευνας, ένας ρυθμός μεταβολής της ομαλότητας της τάξης του 4%.
- Η αξιολόγηση των χρηστών για την προσφερόμενη ποιότητα κύλισης, συσχετίζεται καλύτερα με την ομαλότητα που καταγράφεται κατά μήκος του ίχνους του δεξιού τροχού του οχήματος.
- Η πραγματοποίηση των μετρήσεων ομαλότητας κατά την υλοποίηση των δύο

μορφών της διαδικασίας αποκατάστασης της ομαλότητας απέδειξε ότι οι τιμές του δείκτη IRI κυμαίνονταν στα ίδια επίπεδα. Η διαδικασία αποκατάστασης στην πρώτη περίπτωση αφορούσε την ενίσχυση της υφιστάμενης κατασκευής με ειδικό ισοπεδωτικό ασφαλτοτάπητα, για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένη άσφαλτος, και στην δεύτερη έγινε εφαρμογή της τεχνικής της ψυχρής ανακύκλωσης με αφρώδη άσφαλτο. Η ανακυκλωμένη στρώση επιστρώθηκε επίσης με ισοπεδωτικό ασφαλτοτάπητα. Τέλος τοποθετήθηκε και στις δύο περιπτώσεις αντιολισθηρός ασφαλτοτάπητας.

Στο πλαίσιο αναζήτησης ορίων αποδοχής ομαλότητας έγινε διερεύνηση αλγορίθμων προσδιορισμού της αναμενόμενης ομαλότητας, μετά την εφαρμογή του τελικού ασφαλτοτάπητα. Από την εφαρμογή συγκεκριμένου αλγορίθμου που ορίζουν οι οδηγίες του VicRoads (VicRoads, 2000) και με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων ομαλότητας, υπήρξε η διαπίστωση ότι η μεθοδολογία για την εκτίμηση ορίων προδιαγραφής για την αποδοχή της ομαλότητας του τελικού αντιολισθηρού ασφαλτοτάπητα κυκλοφορίας είναι δυνατόν να στηριχθεί στην αξιοποίηση ανάλογων αλγορίθμων.

2.6.4 Προπαρασκευαστικά βήματα εφαρμογής ΣΔΟ στην Εγνατία Οδό

Η «ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.» (ΕΟΑΕ) ιδρύθηκε τον Σεπτέμβριο του 1995 για την ταχεία υλοποίηση του 2^{ου} Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης. Είναι Εταιρεία με μοναδικό μέτοχο το Δημόσιο, λειτουργεί όμως με ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια και εποπτεύεται από το ΥΠΕΧΩΔΕ. Έχει ως σκοπό τη διαχείριση της μελέτης και κατασκευής, τη συντήρηση, τον εξοπλισμό και την εκμετάλλευση της Εγνατίας Οδού και των οδικών αξόνων που την εξυπηρετούν, καθώς και άλλων έργων εντός ή εκτός της Ελληνικής επικράτειας.

Η Εγνατία Οδός ΑΕ, έχει προβεί σε σημαντικές ενέργειες σχετικά με τη συντήρηση και τη διαχείριση του αυτοκινητοδρόμου, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται:

- Η σύνταξη «*Οδηγιών Συντήρησης Αυτοκινητοδρόμων – Κύρια Συντήρηση Οδοστρωμάτων*».
- Η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός κυκλοφοριακού μοντέλου πρόβλεψης των μετακινήσεων στην Εγνατία Οδό και η σταδιακή υλοποίηση ενός συστήματος συλλογής, επεξεργασίας και παρουσίασης κυκλοφοριακών μετρήσεων (Βίσκος και Guy, 2006).
- Η ανάπτυξη και χρήση ολοκληρωμένου συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την αποτελεσματική διαχείριση της γεωγραφικής πληροφορίας της Εγνατίας Οδού (Μαυρίδου, 2006).

Στα πλαίσια της ανάπτυξης ΣΔΟ, προέβη στη διενέργεια μετρήσεων για την αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων.

2.6.4.1 Μετρήσεις κατάστασης οδοστρωμάτων στην Εγνατία Οδό

Κατά την περίοδο 1999–2000 πραγματοποιήθηκε πιλοτικά η μέτρηση της ομαλότητας, σε τμήματα της Εγνατίας Οδού συνολικού μήκους αυτοκινητοδρόμου 75 χλμ. ή περίπου 400 χλμ. μετρούμενου μήκους (λωρίδες κυκλοφορίας). Καταγράφηκαν η διαμήκης (IRI) και η εγκάρσια ομαλότητα του οδοστρώματος. Τις μετρήσεις πραγματοποίησαν, στα πλαίσια ερευνητικού έργου με τίτλο «*Μετρήσεις Ομαλότητας και Αξιολόγηση της Επιφανειακής Κατάστασης των Οδοστρωμάτων της Εγνατίας Οδού*», ο Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και το Ινστιτούτο Οδών της Δανίας (Danish Road Institute) (Ευαγγελίδης, 2006).

Εν συνεχεία, κατά την περίοδο 2001–2002, διενεργήθηκαν μετρήσεις σε τμήματα της Εγνατίας Οδού που είχαν αποδοθεί σε κυκλοφορία και επιπλέον είχε διαστρωθεί η τελική αντιολισθηρή στρώση, στα οποία καταγράφηκαν η διαμήκης και η εγκάρσια ομαλότητα (τροχοαυλάκωση) καθώς και η επιφανειακή υφή των οδοστρωμάτων. Τις μετρήσεις πραγματοποίησαν, στα πλαίσια ερευνητικού έργου με τίτλο «*Αυτοματοποίηση Συλλογής Δεδομένων Οδοστρώματος Τμήματα της Εγνατίας Οδού*», ο Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και το Ινστιτούτο Οδικών Ερευνών της Αυστραλίας (ARRB). Στα πλαίσια του έργου καταγράφηκε επίσης, με ειδικό εξοπλισμό (GIPSI-TRAC) της ARRB Group Ltd., η γεωμετρία της οδού με τη βοήθεια δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης (GPS). Επίσης καταγράφηκαν με ψηφιακό video τα τμήματα της οδού όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνολικό μήκος αυτοκινητοδρόμου 150 χλμ. περίπου ή σε 900 χλμ. μετρούμενου μήκους (λωρίδες κυκλοφορίας μαζί με τις ΛΕΑ) (Ε.Μ.Π. [b], 2002).

Κατά την περίοδο 2004–2005 αποφασίστηκε η διεξαγωγή συστηματικών μετρήσεων των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος για 3 έτη στα τμήματα της Εγνατίας Οδού, τα οποία έχουν διαστρωθεί με αντιολισθηρή στρώση, με σκοπό τον καθορισμό των ορίων προειδοποίησης και επέμβασης. Τις μετρήσεις κατά το πρώτο έτος ανέλαβε να πραγματοποιήσει, στα πλαίσια ερευνητικού έργου με τίτλο «*Μέτρηση Χαρακτηριστικών του Οδοστρώματος και Εγκατάσταση Συστήματος Αξιολόγησης των Οδοστρωμάτων της Εγνατίας Οδού*», το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής).

Αντικείμενο των εργασιών του ερευνητικού έργου ήταν:

- Η συλλογή ιστορικών δεδομένων και ο προγραμματισμός των εργασιών υπαίθρου
- Η πραγματοποίηση των επιτόπου μετρήσεων και η επεξεργασία των στοιχείων συλλογής
- Ο σχεδιασμός βάσης δεδομένων για την καταχώρηση των στοιχείων συλλογής

- Η πραγματοποίηση εργασιών υποστήριξης (λήψη πυρήνων οδοστρώματος, εργαστηριακές δοκιμές κ.λπ.), όπου κρινόταν απαραίτητο
- Η επιλογή σε συνεργασία με την Ε.Ο.Α.Ε. κατάλληλων λογισμικών για την ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων της Εγνατίας Οδού

Οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος έγιναν σε δύο περιόδους, σύμφωνα με τις «Οδηγίες Κύριας Συντήρησης» της Εγνατίας Οδού (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2004), σε συνολικό μήκος αυτοκινητοδρόμου 190 χλμ. περίπου.

Κατά την περίοδο του Νοεμβρίου 2004 πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ολισθηρότητας με το σύστημα Grip Tester και οι μετρήσεις δομικής αντοχής των οδοστρωμάτων με το σύστημα FWD. Επίσης στις αρχές του Δεκεμβρίου 2004 πραγματοποιήθηκε λήψη πυρήνων οδοστρωμάτων.

Κατά την περίοδο Απρίλιος – Ιούνιος 2005 πραγματοποιήθηκαν επαναληπτικές μετρήσεις ολισθηρότητας και ομαλότητας, καθώς και καταγραφή του πάχους των στρώσεων του οδοστρώματος καθ' όλο το μήκος του αυτοκινητόδρομου με χρήση συστήματος ραντάρ GPR (Ground Penetrating Radar).

Οι παραπάνω μετρήσεις αποτελούν μέρος τριετούς προγράμματος της ΕΟΑΕ με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την εξέλιξη της κατάστασης των οδοστρωμάτων στην Εγνατία Οδό. Μετά το πέρας των μετρήσεων επρόκειτο να καθοριστούν οι τελικές συχνότητες συστηματικής μέτρησης των χαρακτηριστικών και θα εξετασθεί ο καθορισμός, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, ορίων προειδοποίησης και επέμβασης (Ευαγγελίδης, 2006).

Στις μελλοντικές δράσεις της ΕΟΑΕ όσον αφορά την ανάπτυξη και λειτουργία ΣΔΟ περιλαμβάνονται:

- Η προμήθεια κατάλληλου λογισμικού ΣΔΟ
- Ο καθορισμός ορίων προειδοποίησης και επέμβασης για τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος τμημάτων της Εγνατίας Οδού
- Ο καθορισμός των συχνοτήτων μέτρησης των χαρακτηριστικών οδοστρώματος της Εγνατίας Οδού
- Η δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης χαρακτηριστικών οδοστρώματος της Εγνατίας Οδού
- Η σύνταξη του 2^{ου} Μέρους των «Οδηγιών Κύριας Συντήρησης», που θα αναφέρεται στις εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης των οδοστρωμάτων

2.6.5 Προγράμματα Διαχείρισης Συντήρησης Οδοστρωμάτων και Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων

Στην Ελλάδα οι πιο αξιόλογες προσπάθειες ανάπτυξης προγραμμάτων διαχείρισης της

συντήρησης οδοστρωμάτων και συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων, οι οποίες έχουν αναφερθεί από ομάδες ερευνητών σε πανεπιστημιακά ιδρύματα, αλλά και από πλευράς Πολιτείας, κατά χρονολογική σειρά είναι οι επόμενες:

- *Σύστημα Διαχείρισης Συντήρησης Οδοστρωμάτων PAVMAIN* (Νικολαΐδης και Ευαγγελίδης, 1992)
- *Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων ΔΟΔΟ/NE* (Νικολαΐδης και Ευαγγελίδης, 1995)
- *Σύστημα για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στις υπηρεσίες διαχείρισης της συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα* (Theodorakopoulos et al., 2001 - Μαναριώτης και λοιποί, 2002)
- *Ανάπτυξη Εμπείρου Συστήματος για τη Διαχείριση Οδοστρωμάτων* (Πάνος και λοιποί 2002)
- *Πρόγραμμα Road Infrastructure Management System* (Roberts και Loizos, 2004)

Ακολουθεί περιληπτική παρουσίαση των κυριότερων σημείων τους.

2.6.5.1 Σύστημα Διαχείρισης Συντήρησης Οδοστρωμάτων PAVMAIN

Το PAVMAIN είναι η πρώτη χρονικά αξιοσημείωτη προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός Προγράμματος Διαχείρισης Συντήρησης Οδοστρωμάτων. (Νικολαΐδης και Ευαγγελίδης, 1992). Δημιουργήθηκε με σκοπό να συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος συντήρησης ευκάμπτων οδοστρωμάτων στην Ελλάδα και αποτελείται από δύο βασικά τμήματα, την Επεξεργασία Τμήματος Οδικού Δικτύου και τη Διαχείριση Συστήματος ή Δικτύου Οδών.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί αρχεία δεδομένων από τα οποία άλλα είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του προγράμματος (αρχεία φθορών και εργασιών) και άλλα δημιουργούνται από το ίδιο το πρόγραμμα (αρχεία τμημάτων δρόμων δικτύου και συστημάτων δρόμων). Το πρόγραμμα κάνει έλεγχο της κατάστασης του οδοστρώματος, δίνει τη δυνατότητα επιλογής διαφορετικών τρόπων συντήρησης, τόσο τμηματικά όσο και για όλο το τμήμα της οδού που μελετάται, καθώς και το κόστος κάθε θεραπείας και το συνολικό κόστος συντήρησης.

Η γενική (συνολική) κατάσταση του οδοστρώματος περιγράφεται με ένα σύνθετο δείκτη από 17 είδη φθορών (Νικολαΐδης, 1996). Κάθε τύπος φθοράς κατατάσσεται σύμφωνα με τη σοβαρότητα και τη συχνότητα με την οποία αυτή η φθορά εμφανίζεται. Εκτός από τους δύο αυτούς Συντελεστές (Σοβαρότητας και Συχνότητας), το πρόγραμμα χρησιμοποιεί και έναν τρίτο, τον Συντελεστή Βαρύτητας.

Η αξιολόγηση Συστήματος Οδών γίνεται με βάση τον *Ενιαίο Συντελεστή Κατάστασης (ΕΣΚ)* της κάθε οδού. Η μεθοδολογία είναι η εξής:

Το πρόγραμμα για κάθε τμήμα εξέτασης της οδού υπολογίζει τον *Τμηματικό Συντελεστή* κατάστασης του οδοστρώματος, που ορίζεται ως το γινόμενο του *Συντελεστή Βαρύτητας (ΣΒ)* επί το *Συντελεστή Σοβαρότητας (ΣΣ)* επί το *Συντελεστή Συχνότητας (ΣΣν)*. Το αλγεβρικό άθροισμα των τμηματικών συντελεστών κατάστασης διαιρούμενο με τον αριθμό των τμημάτων εξέτασης n δίνουν τον *Ενιαίο Συντελεστή Κατάστασης (ΕΣΚ)* τμήματος δικτύου με βάση τον οποίο γίνεται η αξιολόγηση. Το οδόστρωμα με το μεγαλύτερο ΕΣΚ θα πρέπει να συντηρηθεί πρώτο, στη συνέχεια το οδόστρωμα με το δεύτερο μεγαλύτερο ΕΣΚ δεύτερο κ.ο.κ.

Η λειτουργία του προγράμματος δοκιμάστηκε με δεδομένα, τα οποία λήφθηκαν από έμπειρο μηχανικό μετά από οπτική επισκόπηση και καταγράφηκαν σε ειδικό έντυπο. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από έξι διαφορετικά τμήματα του οδικού δικτύου, της περιοχής Θεσσαλονίκης, το οποίο είχε υποστεί ευρύ φάσμα φθορών. Μετά την εισαγωγή των στοιχείων των τμημάτων το πρόγραμμα επεξεργάστηκε όλα τα τμήματα του δικτύου ξεχωριστά.

Ως αποτελέσματα, από την επεξεργασία των στοιχείων, προέκυψαν το είδος της συντήρησης που πρέπει να γίνει σε συγκεκριμένες περιοχές, ή ακόμη και όλων των τμημάτων και η αξιολόγηση των τμημάτων με σκοπό την κατάταξη τους κατά σειρά προτεραιότητας συντήρησης.

Στα συμπεράσματα από την εφαρμογή του προγράμματος περιλαμβάνονται τα εξής:

1. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα της ορθολογικής και αποτελεσματικής διαχείρισης συντήρησης των οδοστρωμάτων στην Ελλάδα κυρίως σε επίπεδο Έργου.
2. Το πρόγραμμα είναι εύκολο στη χρήση του. Ως δεδομένα εισάγονται τα στοιχεία που καταγράφονται με οπτική επισκόπηση.
3. Εκτός από τον αυτόματο καθορισμό των ενδεδειγμένων λύσεων συντήρησης των οδοστρωμάτων, το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα αντικειμενικής αξιολόγησης των εργασιών συντήρησης.
4. Από τα τμήματα που εξετάστηκαν προέκυψε η σειρά επέμβασης. Στην περίπτωση μη ύπαρξης και εφαρμογής του προγράμματος η σειρά προτεραιότητας πιθανότατα να ήταν διαφορετική, λόγω της παρεμβολής του ανθρώπινου παράγοντα.
5. Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως βάση δεδομένων με γρήγορη πρόσβαση και δυνατότητα μελλοντικής στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων.
6. Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εγχειρίδιο φθορών και των κατάλληλων τύπων συντήρησης.

2.6.5.2 Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων ΔΟΔΟ/NE

Το πρόγραμμα ΔΟΔΟ/NE (Νικολαΐδης και Ευαγγελίδης, 1995), αποτελεί την πρώτη εφαρμογή GIS στον τομέα διαχείρισης οδικού δικτύου και οδοστρωμάτων στην Ελλάδα.

Η βάση δεδομένων του προγράμματος χωρίζεται σε δύο τμήματα, τη βάση δεδομένων των χαρτών και τη βάση δεδομένων του χρήστη. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δικτύου, τεχνικά/βοηθητικά έργα, εξοπλισμό της οδού, χαρακτηριστικά στοιχεία οδοστρωμάτων, μετρήσεις επί των οδοστρωμάτων, φθορές κ.ά.

Το Πρόγραμμα ενσωματώνει το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών Arc/Info, το οποίο για να λειτουργήσει χρειάζεται ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο. Ο χάρτης εισάγεται στο πρόγραμμα σε ψηφιακή μορφή και το Arc/Info δημιουργεί μετά από επεξεργασία τη βάση δεδομένων του χάρτη, που περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τον προσδιορισμό κάθε γεωγραφικού χαρακτηριστικού (π.χ. συντεταγμένες x , y κάθε σημείου, μήκη τμημάτων, εμβαδά επιφανειών κ.τ.λ.). Στο πρόγραμμα έχει εισαχθεί ο χάρτης του εθνικού δικτύου αρμοδιότητας της τ. 3^{ης} Περιφερειακής Υπηρεσίας Δημοσίων Έργων (ΠΥΔΕ), σήμερα ΔΕΣΕ (Διεύθυνση Ελέγχου Συντήρησης Έργων), της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, καθώς και όλο το επαρχιακό δίκτυο αυτής.

Το πρόγραμμα προσδιορίζει με τη βοήθεια μοντέλων τόσο την υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου και ειδικότερα των οδοστρωμάτων (Ενιαίος Συντελεστής Κατάστασης Οδοστρώματος) (Νικολαΐδης και Ευαγγελίδης, 1992), όσο και κατά το μέλλον. Το δεύτερο επιτυγχάνεται με τα μοντέλα πρόβλεψης μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων του δικτύου. Τα μοντέλα που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα, έχουν τη δυνατότητα να προβλέψουν μετά από πάροδο n -χρόνων α) την ομαλότητα του, β) την έναρξη και εξέλιξη των ρηγματώσεων και γ) τη μεταβολή του δείκτη αντίστασης σε ολίσθηση, είναι κατά βάση τα μοντέλα HDM.

Το πρόγραμμα ΔΟΔΟ/NE, παρουσιάζει σε μορφή χάρτη, και με μορφή πινάκων, των επόμενων στοιχείων των χαρακτηριστικών του δικτύου και των οδοστρωμάτων:

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου
- Στοιχεία κυκλοφορίας των οχημάτων (αριθμός οχημάτων ή/και Ισοδύναμοι Τυπικοί Άξονες)
- Τεχνικά και βοηθητικά έργα
- Χαρακτηριστικά στοιχεία οδοστρωμάτων
- Επεμβάσεις συντήρησης του δικτύου
- Εξοπλισμός Οδού
- Χρήσεις γης

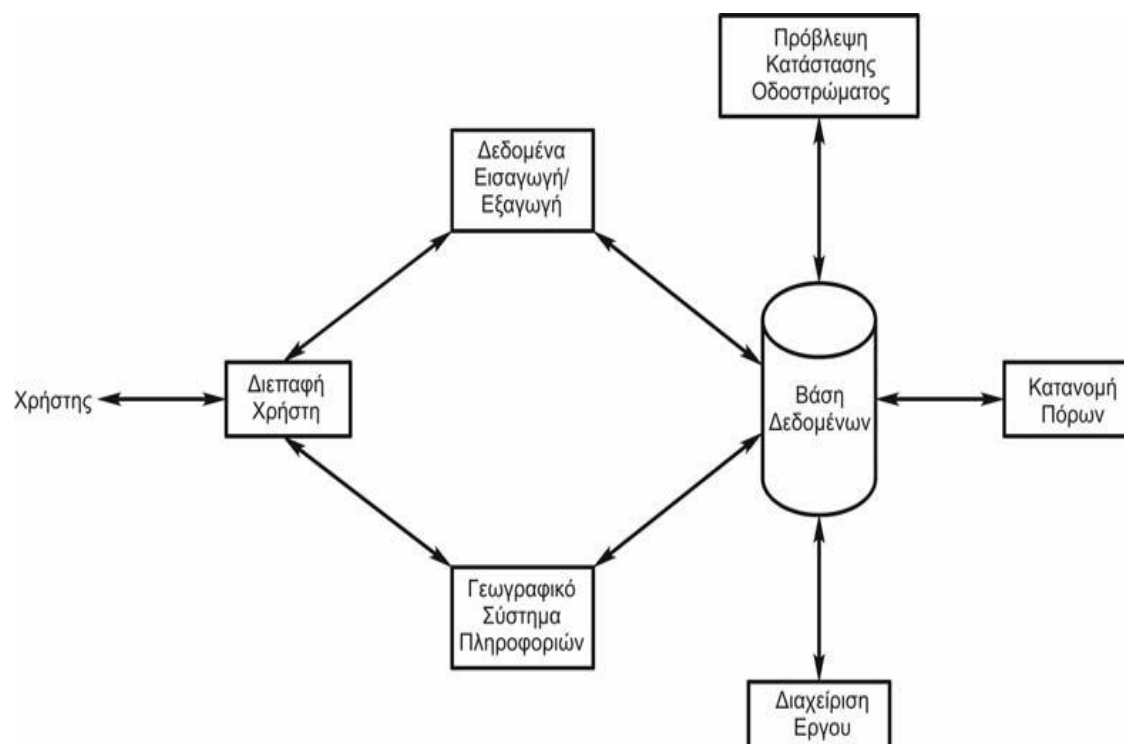
Το πρόγραμμα τέλος έχει τη δυνατότητα οικονομικής ανάλυσης όλων των ενδεδειγμένων τρόπων συντήρησης ή αποκατάστασης των οδοστρωμάτων, με αποτέλεσμα την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου κεφαλαίου.

2.6.5.3 Σύστημα για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στις Υπηρεσίες διαχείρισης της συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα

Άλλη σημαντική προσπάθεια ανάπτυξης Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, προέρχεται από ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου Πατρών, με την υποστήριξη της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης (Theodorakopoulos et al., 2001). Το πρόγραμμα έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων στις υπηρεσίες συντήρησης των οδών και αυτοκινητοδρόμων αναφορικά με το σχεδιασμό, τη χρηματοδότηση, τον προγραμματισμό και την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης, προκειμένου να διατηρηθεί η κατάσταση των οδοστρωμάτων του οδικού δικτύου της χώρας σε ένα καθορισμένο επίπεδο.

Η κατάσταση του οδοστρώματος περιγράφεται στο σύστημα από τέσσερα χαρακτηριστικά μεγέθη/δείκτες, το δείκτη ρηγματώσεων, το δείκτη της πρώτης ρηγματώσης, την ομαλότητα και την αντιολισθηρότητα.

Ο δείκτης αντιολισθηρότητας εκφράζεται σε δύο επίπεδα: καλό-μέσο, εάν $(SN_{40}) > 30$ και κακό, εάν $(SN_{40}) < 30$, όπου SN_{40} είναι ο δείκτης ολίσθησης, ο οποίος μετράται με το ολίσθηρόμετρο ASTM (ASTM skid trailer), το οποίο κινείται με σταθερή ταχύτητα 40 μίλια ανά ώρα (mph).



Σχήμα 2.23: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στις υπηρεσίες διαχείρισης της συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα [Πηγή: Theodorakopoulos et al., 2001]

Το σύστημα υποστήριξης για τη λήψη αποφάσεων (Σχήμα 2.23), το οποίο αναπτύχθηκε, περιλαμβάνει τα ακόλουθα κύρια μέρη:

- Βάση Δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες (γεωμετρία του δικτύου, στοιχεία σχετικά με την κατασκευή του (τύπος οδοστρώματος υλικά και ιδιότητες τους, πάχη των στρώσεων), τα φορτία κυκλοφορίας, την κατάσταση του οδοστρώματος (επιφανειακές φθορές, ομαλότητα, βύθιση, αντισιστηρότητα), τις εργασίες συντήρησης, το κόστος, και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, και βροχο/χιονόπτωση).
- Μονάδα για την πρόβλεψη της κατάστασης του οδοστρώματος, η οποία βασίζεται στην ανάλυση Markov.
- Μονάδα για τη βέλτιστη κατανομή των διατιθέμενων πόρων χρηματοδότησης σύμφωνα με τις ανάγκες συντήρησης.
- Μονάδα για τη διαχείριση των έργων συντήρησης.
- Το σύστημα διεπαφής χρήστη (user interface), το οποίο είναι ο σύνδεσμος επικοινωνίας ανάμεσα στο χρήστη και στα τμήματα του συστήματος. Με το σύστημα διεπαφής επιτυγχάνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ του ψηφιακού χάρτη, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παρουσίαση των γραφικών δεδομένων, με τις φόρμες εισαγωγής – εξαγωγής και τη βάση δεδομένων.

Τα δεδομένα, τα οποία παρουσιάζονται στον ψηφιακό χάρτη, περιλαμβάνουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κωδικός οδού, μήκος, και αριθμός λωρίδων), χαρακτηριστικά οδοστρώματος (τύπος, στρώσεις), φορτία κυκλοφορίας (μετρήσεις οχημάτων και σύνθεση), κατάσταση οδοστρώματος σε συγκεκριμένο χρόνο (τύπος και έκταση φθορών), προτεινόμενες επεμβάσεις συντήρησης οι οποίες περιλαμβάνουν το απαιτούμενο κόστος και τη χρονική τους διάρκεια, κατηγοριοποίηση του δικτύου (πρωτεύον, δευτερεύον) και το επίπεδο της επιθυμητής κατάστασης του.

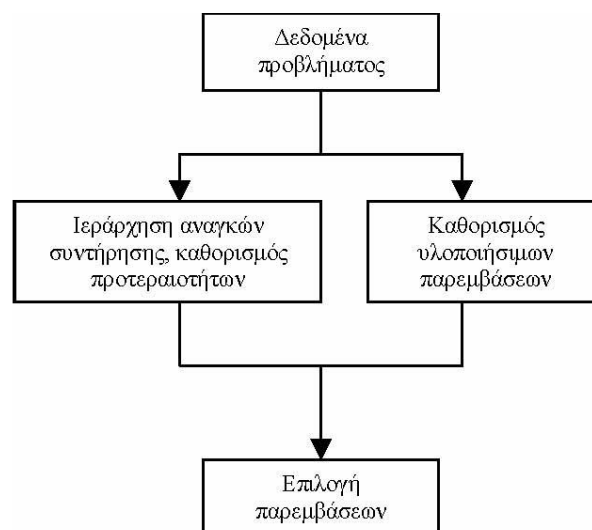
2.6.5.4 Ανάπτυξη Εμπείρου Συστήματος για τη Διαχείριση Οδοστρωμάτων

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός εμπείρου συστήματος για τη στήριξη αποφάσεων για την επιλογή των κατάλληλων επεμβάσεων συντήρησης του οδικού δικτύου (Πάνος και λοιποί, 2002).

Η καταγραφή της γνώσης και εμπειρίας των ειδικών βασίζεται στη χρήση ερωτηματολογίου, το οποίο αναπτύχθηκε με την βοήθεια των στελεχών της Δ.Ε.Σ.Ε (Διεύθυνση Ελέγχου Συντήρησης Έργων) της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας. Η υλοποίηση του εμπείρου συστήματος έγινε στο περιβάλλον του προγράμματος Exsys CORVID.

Το σύστημα αποτελείται από δύο υποπρογράμματα, το ένα για την ιεράρχηση των αναγκών συντήρησης και το άλλο για τον καθορισμό των υλοποιήσιμων παρεμβάσεων (Σχήμα 2.24). Το πρώτο ταξινομεί τα τμήματα του δικτύου ως προς την

ανάγκη συντήρησης τους, με βάση έναν αριθμό παραμέτρων (είδος και έκταση φθοράς, ρυθμός επιδείνωσης της κατάστασης του οδοστρώματος, κατηγορία δικτύου, κυκλοφοριακός φόρτος, περιβαλλοντικές συνθήκες κ.τ.λ.), που λαμβάνονται υπόψη με προκαθορισμένο ειδικό βάρος στη διαδικασία απόφασης. Το δεύτερο υποπρόγραμμα διερευνά τις παρεμβάσεις συντήρησης που μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε τμήμα, ανάλογα με τις εμφανιζόμενες φθορές και άλλα χαρακτηριστικά. Η συντήρηση που εφαρμόζεται είναι αυτή με το μέγιστο λόγο αποτελεσματικότητας – κόστους, αρχίζοντας από τα τμήματα με τις μεγαλύτερες ανάγκες συντήρησης.



Σχήμα 2.24: Η δομή του Εμπείρου Συστήματος για τη Διαχείριση Οδοστρωμάτων [Πηγή: Πάνος και λοιποί, 2002]

2.6.5.5 Πρόγραμμα RIMS (Road Infrastructure Management System)

2.6.5.5.1 Γενικά

Το πιο σημαντικό και ουσιαστικό βήμα, από πλευράς επίσημης Πολιτείας για την ανάπτυξη και πιλοτική εφαρμογή ΣΔΟ στην Ελλάδα, αποτελεί το Πρόγραμμα Road Infrastructure Management System (RIMS).

Το έτος 2000 το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας ανέθεσε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και την ARRB Transport Research Ltd, τη σύνταξη μελέτης σκοπιμότητας για ένα σύγχρονο Σύστημα Διαχείρισης Οδικής Υποδομής (ΣΔΟΥ) και την εφαρμογή του στην Ελλάδα (Roberts και Loizos, 2004). Ο σχεδιασμός του Συστήματος περιλαμβάνει μία λύση πολύ σύγχρονη και με όλα τα νεότερα χαρακτηριστικά στον τομέα των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων. Ενώ αρχικά επικεντρώνεται στα οδοστρώματα, έχει δομηθεί με δυνατότητα κλιμακωτής ανάπτυξης για μελλοντική επέκτασή του σε έργα γεφυρών και σηράγγων, με τελικό στόχο τη διαχείριση της εκτέλεσης και συντήρησης όλων των εργασιών αυτών των έργων. Οι απαιτήσεις του λογισμικού για το Σύστημα καλύφθηκαν με τη χρήση μιας

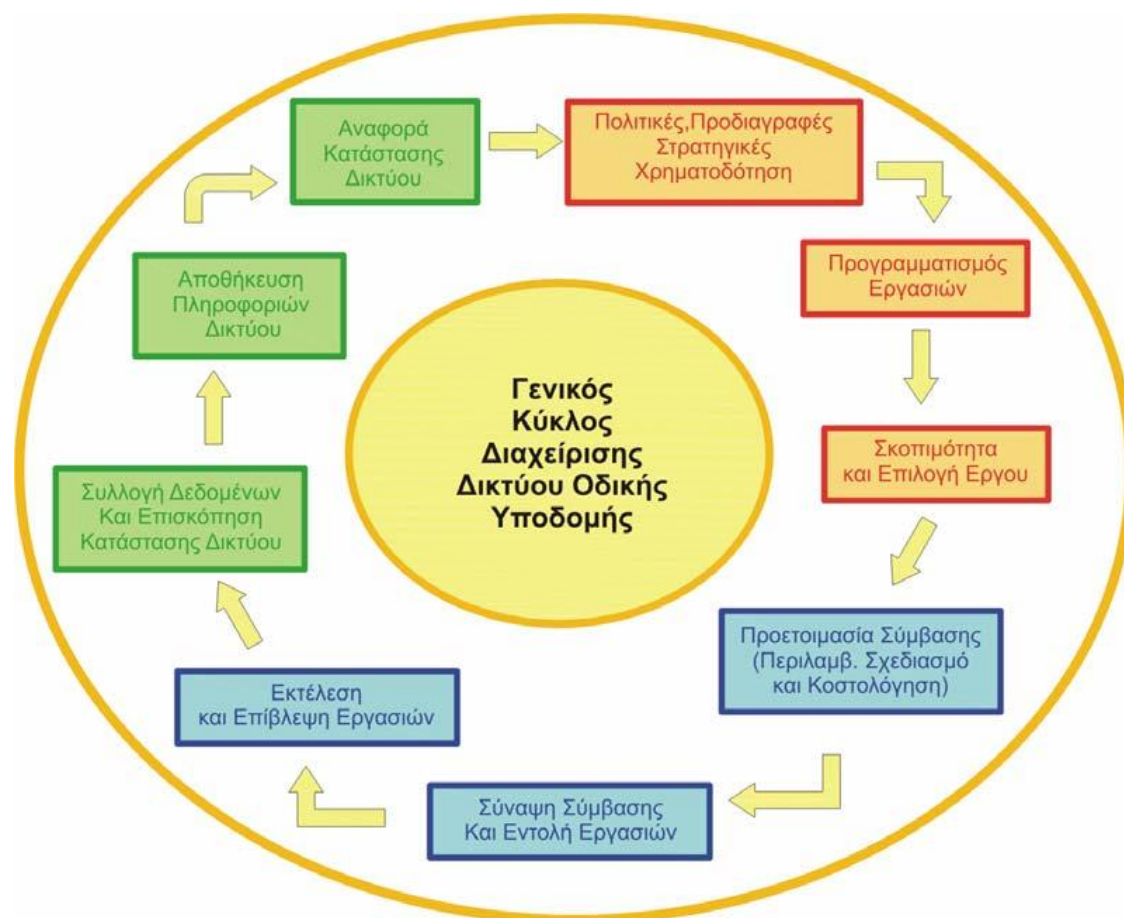
πολύ σύγχρονης αποθήκης δεδομένων (data repository), το σύστημα Confirm της SouthBank Systems, με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) ArcView της ESRI, συνδεδεμένο με τη νέα Μηχανή Ανάλυσης PLATO (Pavement Life-cycle Analysis and Treatment Optimisation) (Roberts et al., 2003), η οποία είναι δομημένη επάνω στα μοντέλα HDM-4.

2.6.5.5.2 Ο Στόχος του Έργου

Η διαχείριση της οδικής υποδομής μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κύριες λειτουργικές απαιτήσεις για κάθε δίκτυο και σύνολο από διάφορα υπο-έργα.

- Συμπεριφορά (Επισκόπηση, Αποθήκευση και Αναφορές)
- Σχεδιασμός (Χρηματοδότηση, Προγραμματισμός και Επιλογή Έργου)
- Εργασίες (Προγραμματισμός και Εκτέλεση)

Ο στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη και πιλοτική εφαρμογή ενός σύγχρονου Συστήματος Διαχείρισης Οδικής Υποδομής για την Ελλάδα, το οποίο θα μπορούσε να περιλάβει πολλές από τις λειτουργίες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.25.



Σχήμα 2.25: Λειτουργίες μέσα σε έναν τυπικό κύκλο διαχείρισης οδικής υποδομής [Πηγή: Roberts και Loizos, 2004]

Ο σκοπός της πιλοτικής εφαρμογής του RIMS, όσον αφορά τις λειτουργίες, περιελάμβανε όλες της εργασίες επισκόπησης της κατάστασης των οδοστρωμάτων και του σχεδιασμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.21, με χρώμα πράσινο και κόκκινο. Όμως το σύστημα έχει δομή για να καλύψει μελλοντικά όλον τον κύκλο περιλαμβάνοντας την προετοιμασία της σύμβασης των έργων, τη σύναψη της και την εκτέλεση των εργασιών, όπως φαίνεται στην ίδια Εικόνα με μπλε χρώμα.

Η πιλοτική εφαρμογή αφορούσε τη συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων, τη σύνταξη αναφορών και την ανάλυση ενός πιλοτικού δικτύου, με σκοπό να παράγει πραγματικά αποτελέσματα, ως μέσον απόδειξης της ικανότητας και της δυνατότητας εφαρμογής του συστήματος στην Ελλάδα.

2.6.5.5.3 Θέσεις του πιλοτικού δικτύου

Το έργο περιελάμβανε τη συλλογή δεδομένων σε ένα πιλοτικό δίκτυο μήκους περίπου 1400 χιλιομέτρων σε τρεις γεωγραφικά διαφορετικές περιοχές της χώρας, (Κόρινθος, Θεσσαλία και Χαλκιδική) σχετικά με τη λειτουργική και δομική κατάσταση του, με τη χρήση των πιο εξελιγμένων μέσων και μεθόδων από πλευράς τεχνολογίας και ταχύτητας (Roberts και Loizos, 2004).

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούν:

- Κόστος, παράμετροι οχημάτων, χρηματοδότηση (ως αφετηριακά δεδομένα)
- Γεωμετρία οδού, ευθυγραμμίες
- Κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος (ρωγμές, ομαλότητα, αυλάκωση, υφή)
- Δομική κατάσταση του οδοστρώματος (FWD, βύθιση)
- Κυκλοφοριακός φόρτος και σύνθεση

2.6.5.5.4 Μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης του οδοστρώματος

Τα μοντέλα που ενσωματώνει η Μηχανή Ανάλυσης PLATO προσαρμόστηκαν για τα ελληνικά δεδομένα, ώστε να παρέχουν αξιοπιστία, σταθερότητα και κατάλληλη ευαισθησία σε αλλαγές των παραμέτρων, όπως η αντοχή του οδοστρώματος, τα φορτία κυκλοφορίας και οι κλιματολογικές συνθήκες. Η τροποποίηση και προσαρμογή τους έγινε με βάση τη συλλογή στοιχείων σε τέσσερα τμήματα αυτοκινητοδρόμου στην περιοχή της Αττικής και είναι σημαντικά ευαίσθητα στα φορτία κυκλοφορίας και στην αντοχή του οδοστρώματος (Loizos et al., 2002), σε αντίθεση με τα μοντέλα HDM-4 τα οποία βασίζονται σε δεδομένα από οδούς με υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους (Roberts και Morfett, 1999).

Τα μοντέλα έχουν δημιουργηθεί έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία των υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων με την υψηλή αντοχή των οδοστρωμάτων και να αποδίδουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με τα δεδομένα των παρατηρήσεων

(Loizos et al., 2002). Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Το μοντέλο πρόβλεψης της επιδείνωσης της κατάστασης και τις επιπτώσεις στις εργασίες συντήρησης (Road Deterioration and Works Effects [RDWE]) και μοντέλο πρόβλεψης των επιπτώσεων στους χρήστες της οδού (Road User Effects – RUE) (Roberts et al., 2003).

2.6.5.5.5 Δείκτες κατάστασης – Εξοπλισμός συλλογής δεδομένων

Για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης καθώς και την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων, υπολογίστηκαν διάφοροι δείκτες για τη λειτουργική και δομική κατάσταση του οδοστρώματος, όπως ομαλότητα (IRI), αυλάκωση (rutting) (μέση τιμή σε mm), ρωγμές (% έκταση επιφάνειας) και ο δείκτης επιφανειακής κατάστασης (SCI). Ο δείκτης αυτός είναι πολύ χρήσιμος σύνθετος δείκτης και περιλαμβάνει τους προηγούμενους δείκτες (RIMS Group, 2004).

Όσον αφορά τη δομική κατάσταση των οδοστρωμάτων τα βασικά δεδομένα συλλέχθηκαν με το FWD και υπολογίστηκε ο *Structural Life Index (SLI)*, ο οποίος αποτελεί μία εκτίμηση της εναπομένουσας δομικής ζωής του οδοστρώματος λαμβάνοντας υπόψη και τους μελλοντικούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Η τιμή του SLI προϋποθέτει ότι η συντήρηση της επιφάνειας του οδοστρώματος θα πραγματοποιείται κανονικά στο μέλλον (πέρα από την ημερομηνία της εκτίμησης που προκύπτει με βάση τον SLI) (Loizos et al., 2002).

Εκείνο το οποίο θα πρέπει να παρατηρηθεί είναι ότι δεν αναφέρεται εάν έχει ληφθεί υπόψη ως δείκτης για τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος η αντιολισθηρότητα, διότι είναι γνωστό ότι αποτελεί ένα βασικό πρόβλημα των οδοστρωμάτων στη χώρα μας (Νικολαΐδης, 1996), και είναι προφανείς οι επιπτώσεις της στην ασφάλεια των χρηστών των οδών. Το πρόβλημα αυτό κυρίως οφείλεται στη χρήση αδρανών από ασβεστολιθικά πετρώματα και στον τύπο του ασφαλτομίγματος (ασφαλτικό σκυρόδεμα). Η λύση του προβλήματος συνίσταται στη χρήση αποκλειστικά και μόνο σκληρών αδρανών υλικών για την κατασκευή της επιφανειακής στρώσης και στην αλλαγή του τύπου του χρησιμοποιούμενου ασφαλτομίγματος. Για τα οδοστρώματα του υφιστάμενου οδικού δικτύου προτείνεται η εφαρμογή ενός προγράμματος κατασκευής αντιολισθηρών λεπτοταπήτων, αρχικά στο πρωτεύον οδικό δίκτυο και στη συνέχεια στο δευτερεύον δίκτυο της χώρας.

Τα κύρια μέρη του συστήματος (Σχήμα 2.26) περιλαμβάνουν τον εξοπλισμό συλλογής δεδομένων για την επισκόπηση της κατάστασης, την αποθήκη δεδομένων CONFIRM (σύστημα πληροφοριών δικτύου) και τη μέθοδο ανάλυσης PLATO (μέσο για την υποστήριξη των αποφάσεων).

Ως εξοπλισμός για την επισκόπηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων και την ολοκληρωμένη, λεπτομερή και ταχεία συλλογή (με δυνατότητα έως 100 km/h) των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το ARRB Network Survey Vehicle (NSV), του οποίου τα αποτελέσματα μεταφέρθηκαν αυτόματα στο σύστημα. Για τον έλεγχο της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Heavy Weight Deflectometer της Dynatest.

- Αναλύσεις επιπέδου προγραμματισμού των εργασιών
- Ικανότητα παρουσίασης των αναλύσεων επιπέδου έργου

2.6.6 Αξιολόγηση των Προγραμμάτων Διαχείρισης της Συντήρησης Οδοστρωμάτων και των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων

Η διαχείριση οδοστρωμάτων περιλαμβάνει δύο επίπεδα αποφάσεων, το στρατηγικό σχεδιασμό σε επίπεδο δικτύου και τον προγραμματισμό ενεργειών συντήρησης σε επίπεδο έργου. Ένα Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων είναι πλήρες όταν περιλαμβάνει κατάλληλη βάση δεδομένων, η οποία αποτελεί τον κορμό του συστήματος και έναν αριθμό από μοντέλα ή διαδικασίες όπως συλλογή δεδομένων, μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης οδοστρωμάτων, κριτήρια βελτιστοποίησης της κατανομής της χρηματοδότησης συντήρησης και οργάνωσης της εκτέλεσης των έργων συντήρησης. Η αξιολόγηση των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων που αναφέρθηκαν θα γίνει με βάση την πληρότητα τους. Ιδιαίτερη βαρύτητα είναι απαραίτητο να δοθεί όχι μόνο στην ύπαρξη μοντέλων πρόβλεψης στο σύστημα, αλλά στο κατά πόσο τα μοντέλα έχουν τύχει προσαρμογής στις συνθήκες ελληνικές συνθήκες και πραγματικότητα. Με βάση τα κριτήρια πληρότητας, το PAVMAIN και το Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων για τη Βέλτιστη Διαχείριση Πόρων Συντήρησης Οδοστρωμάτων δεν αποτελούν πλήρη Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, αλλά προγράμματα η χρήση των οποίων διευκολύνει τη διαχείριση της συντήρησης των οδοστρωμάτων.

2.6.6.1 Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων PAVMAIN

Το PAVMAIN αποτελεί ένα πρόγραμμα η χρήση του οποίου δίνει τη δυνατότητα της διαχείρισης της συντήρησης των οδικών δικτύων με αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο. Παράλληλα παρέχει την ευχέρεια στο χρήστη να λαμβάνει γρήγορα και ορθολογιστικά αποφάσεις για την προτεραιότητα των επεμβάσεων συντήρησης σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα κεφάλαια, με αποτέλεσμα τη αποδοτικότερη χρήση τους. Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως βάση δεδομένων με δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας αυτών. Επίσης το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εγχειρίδιο φθορών και των θεραπειών που αυτές απαιτούν, ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο βοηθάει στη πληρέστερη κατανόηση των αιτίων της εμφάνισης των φθορών και στην επιλογή της πλέον κατάλληλης μεθόδου συντήρησης.

2.6.6.2 Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων ΔΟΔΟ/NE

Το ΔΟΔΟ/NE είναι ένα πλήρες και ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων με χρήση του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών Arc/Info, αλλά σε καθαρά όμως πιλοτικό επίπεδο. Περιλαμβάνει βάση δεδομένων, η οποία διακρίνεται σε δύο μέρη, τη βάση δεδομένων των χαρτών και τη βάση δεδομένων του χρήστη, και λειτουργεί σε επίπεδο δικτύου και επίπεδο έργου. Παρουσιάζει τη μορφή του οδικού δικτύου όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του, την υφιστάμενη κατάσταση των οδοστρωμάτων, προτείνει μεθόδους συντήρησης σε τμήματα που βρίσκονται σε

κρίσιμη κατάσταση και με τη βοήθεια μοντέλων πρόβλεψης της συμπεριφοράς οδοστρωμάτων και εξέλιξης των κύριων τύπων φθορών προβλέπει την μελλοντική κατάσταση των οδοστρωμάτων του δικτύου, για την ορθολογικότερη οργάνωση και προγραμματισμό των μελλοντικών εργασιών συντήρησης. Παράλληλα εκτελεί οικονομικές αναλύσεις μεταξύ διαφόρων τρόπων επέμβασης και προτείνει την οικονομικότερη λύση με κριτήριο την Παρούσα Αξία των εργασιών.

Κύριο αλλά και ουσιαστικό μειονέκτημα βέβαια του Συστήματος αποτελεί το γεγονός ότι τα μοντέλα πρόβλεψης που χρησιμοποιεί, ελλείπει δεδομένων σχετικά με χαρακτηριστικά της δομικής και λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων, δεν έχουν υποστεί βαθμονόμηση και προσαρμογή στις συνθήκες της χώρας μας, με συνέπεια τα αποτελέσματα της πρόβλεψης τους να μην είναι ακριβή και έγκυρα.

2.6.6.3 Σύστημα για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στις Υπηρεσίες διαχείρισης της συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα

Το σύστημα αυτό αποτελεί ένα πλήρες Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων. Περιλαμβάνει βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται όλα τα απαραίτητα δεδομένα σχετικά με τη γενική περιγραφή των οδοστρωμάτων, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα δεδομένα κατασκευής, κυκλοφοριακά δεδομένα, δεδομένα της κατάστασης (λειτουργική και δομική), συντήρησης, κόστους, περιβαλλοντικά), μοντέλο πρόβλεψης της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων, έχει δυνατότητα βελτιστοποίησης της κατανομής των πόρων, διαχείρισης των εργασιών συντήρησης και ενσωματώνει λογισμικό GIS. Οι τύποι φθορών τις οποίες χρησιμοποιεί είναι οι ρηγματώσεις (τύπος αλιγάτορα, διαμήκεις και εγκάρσιες), λακκούβες, πτυχώσεις και αυλακώσεις, ανάδυση (συσσώρευση) ασφάλτου, η αποκόλληση και λείανση των αδρανών του ασφαλτοσκυροδέματος που έχουν ως επιπτώσεις την υψηλή ομαλότητα και χαμηλή αντιολισθηρότητα. Αυτές οι φθορές αντιπροσωπεύονται στο σύστημα από τους δείκτες, ρηγματώσεων, πρώτης ρηγμάτωσης, ομαλότητας και το δείκτη αντιολισθηρότητας. Η μεθοδολογία πρόβλεψης της κατάστασης του οδοστρώματος βασίζεται στην ανάλυση Markov. Οι πιθανότητες για τα μητρώα μετάβασης θα προκύψουν από τη γνώμη ειδικών, λόγω της έλλειψης δεδομένων της κατασκευής των οδοστρωμάτων, των επεμβάσεων συντήρησης και της υφιστάμενης κατάστασης. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει βασικά μειονεκτήματα, όπως είναι η μειωμένη ακρίβεια στην πρόβλεψη, υποκειμενικότητα στην αξιολόγηση, και η δυσκολία στη αξιολόγηση της επιδείνωσης για κάθε τύπο φθοράς ξεχωριστά.

2.6.6.4 Ανάπτυξη Εμπείρου Συστήματος για τη Διαχείριση Οδοστρωμάτων (Πάνος και λοιποί, 2002)

Το Σύστημα αυτό ανήκει στα προγράμματα διαχείρισης οδοστρωμάτων. Αναπτύχθηκε για τη στήριξη αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση οδοστρωμάτων οδικών δικτύων. Αποτελείται από δύο υποπρογράμματα. Το πρώτο έχει ως στόχο την ιεράρχηση των τμημάτων του οδικού δικτύου για τον καθορισμό των προτεραιοτήτων συντήρησης. Το δεύτερο διερευνά τις εναλλακτικές τεχνικές συντήρησης που μπορούν να

εφαρμοστούν σε κάθε τμήμα του δικτύου ανάλογα με τις εμφανιζόμενες φθορές και άλλες παραμέτρους. Η συντήρηση που εφαρμόζεται είναι αυτή με τον μέγιστο λόγο αποτελεσματικότητας – κόστους αρχίζοντας από τα τμήματα με τις μεγαλύτερες ανάγκες συντήρησης.

2.6.6.5 Πρόγραμμα RIMS (Road Infrastructure Management System)

Το Πρόγραμμα Road Infrastructure Management System (RIMS) είναι το μόνο, από όλα όσα αναφέρθηκαν, πλήρες και ολοκληρωμένο σε όλους τους τομείς Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, του οποίου έχει ήδη γίνει συνοπτική παρουσίαση των βασικών του σημείων, και έχει αναπτυχθεί για να αποτελέσει τη βάση ενός ΣΔΟ για την Ελλάδα. Επίσης είναι το μοναδικό το οποίο έχει εφαρμοσθεί πιλοτικά για την διαχείριση οδοστρωμάτων σε τμήματα του οδικού δικτύου της χώρας. Ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δοθεί στο μοντέλο πρόβλεψης της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων και στην προσαρμογή του στην ελληνική πραγματικότητα και συνθήκες, με τη συλλογή στοιχείων σε τμήματα του οδικού δικτύου.

Βρίσκεται ακόμη σε φάση εξέλιξης και συνεπώς οι ακριβείς δυνατότητες του δεν είναι αυστηρά καθορισμένες (Λοΐζος και Παπανικολάου, 2005).

2.7 Προτάσεις για την εφαρμογή και λειτουργία Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) στην Ελλάδα

2.7.1 Γενικά

Η Ελλάδα μπορεί να ωφεληθεί τα μέγιστα από την εφαρμογή ενός συστήματος συντήρησης – διαχείρισης έργων οδικής υποδομής και τον εξορθολογισμό και βελτιστοποίηση των διαδικασιών που θα προκύψουν από τη χρήση του (RIMES, undated).

Πρέπει να σημειωθεί ότι πολλές χώρες συχνά κάνουν χρήση Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, τα οποία οι ίδιες έχουν εξελίξει μέσω επιστημονικών ιδρυμάτων και φορέων τους.

2.7.2 Μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης των Οδοστρωμάτων

Η προσομοίωση της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων με τη χρησιμοποίηση αναλυτικών εργαλείων είναι μία ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των οδοστρωμάτων είναι ανισότροπα, χαρακτηρίζονται από ελαστικές και πλαστικές παραμορφώσεις και οι σχέσεις που τα διέπουν είναι μη γραμμικές.

Αντίθετα, τα προσομοιώματα, τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα, για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων, κάνουν συχνά χρήση γραμμικών σχέσεων, υποθέτουν ελαστική συμπεριφορά των υλικών και θεωρούν τα υλικά ισότροπα. Ως εκ τούτου υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την εγκυρότητα των προβλέψεων (Ulidtz και

Stubstand, 1992 - ISAP, 1989). Έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένα προσομοιώματα εμφανίζουν τελείως ανελαστική συμπεριφορά σε μεταβολές παραμέτρων που επηρεάζουν τα μέγιστα την φθορά των οδοστρωμάτων, όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος και οι κλιματικές συνθήκες. Οι διαφορές στα τελικά προϊόντα (αποτελέσματα) των ΣΔΟ εξαρτώνται σημαντικά από τα προσομοιώματα και τις προβλέψεις που αυτά παρέχουν. Έγινε επίσης φανερό, πως δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν πλήρως τα ΣΔΟ χωρίς να έχει προηγηθεί μία συστηματική και εκτενής διαδικασία προσαρμογής ή και εξέλιξης των προσομοιωμάτων τους, που απαιτούν ιστορικά στοιχεία για τις φθορές και την κυκλοφορία από πλήθος οδικών τμημάτων.

Τα προσομοιώματα για τη λειτουργία εκείνων των ΣΔΟ, που χρησιμοποιούν σχέσεις από τη μηχανική των υλικών, απαιτούν στοιχεία όπως το μέτρο ελαστικότητας και τα πάχη των στρώσεων. Επιπλέον απαιτείται σχετική εργαστηριακή ανάλυση, στοιχεία που συλλέγονται κυρίως με δειγματοληψία. Αυτή η διαδικασία παρουσιάζει σημαντικό κόστος (Κόλιας και Λοΐζος, 1997), αλλά και σημαντικές δυσκολίες επί τόπου των οδικών τμημάτων και πρακτικά είναι εξαιρετικά δύσκολο να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα.

Επίσης, εξαιτίας των διαφορών στα απαιτούμενα στοιχεία για τη λειτουργία των προσομοιωμάτων είναι σκόπιμο, πριν από την έναρξη της συλλογής στοιχείων, να έχει ήδη αποφασιστεί ποιο προσομοίωμα θα χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο ενός ΣΔΟ στο μέλλον. Αυτό είναι απαραίτητο, ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο οι όποιες αναγκαίες μετατροπές και εκτιμήσεις στοιχείων, που πάντα αλλοιώνουν, έστω και λίγο, την πραγματική κατάσταση.

Πρέπει να σημειωθεί πως τυχόν εγγενή μειονεκτήματα των ΣΔΟ και των μοντέλων που αυτά περιέχουν, όπως η απουσία παραμέτρων σχετικών με τη μεταβολή των κλιματικών συνθηκών που συνεπάγεται και την σχετική ανελαστικότητα, δεν δύνανται να απαλειφθούν ολοκληρωτικά με τη διαδικασία της προσαρμογής (Ulidtz και Stubstand, 1992).

2.7.3 Οργάνωση συλλογής δεδομένων της κατάστασης των οδοστρωμάτων

Η υιοθέτηση μίας μακροχρόνιας στρατηγικής με σκοπό τη συλλογή και αποθήκευση στοιχείων σχετικών με τα οδικά δίκτυα, κρίνεται τελείως απαραίτητη, όπως και η οργάνωση και της απαιτούμενης τεχνικής υποδομής και εξοπλισμού.

Είναι ζωτικής σημασίας η ίδρυση εύλογου αριθμού πειραματικών οδικών τμημάτων (Long Term Pavement Performance – L.T.P.P. sites), όπου θα γίνονται συστηματικές μετρήσεις της κατάστασης των οδοστρωμάτων, της κυκλοφορίας και άλλων δεδομένων, ώστε να καταστεί δυνατή η εφαρμογή και η εξέλιξη του καταλληλότερου για χρήση στις ελληνικές συνθήκες ΣΔΟ.

Η άμεση έναρξη και συστηματική συλλογή στοιχείων της υφιστάμενης λειτουργικής και δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων του οδικού δικτύου καθίσταται περισσότερο από επιτακτική, αν ληφθεί υπόψη ότι τμήματα οδικών αξόνων έχουν ήδη

παραδοθεί στην κυκλοφορία, γεγονός που συνεπάγεται ανάγκη διαχείρισης της συντήρησης τους σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, είναι γνωστό ότι πλήρης εφαρμογή και λειτουργία των ΣΔΟ δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν από την πάροδο 5 τουλάχιστον ετών από την έναρξη της συλλογής των στοιχείων, οπότε η οποιαδήποτε καθυστέρηση συνεπάγεται και απώλεια της δυνατότητας χρήσης ΣΔΟ στο πλαίσιο της συντήρησης αυτής της «νέας γενιάς» οδικών δικτύων.

Επομένως, η ύπαρξη σύγχρονης τεχνικής υποδομής, όσον αφορά τον εξοπλισμό συλλογής δεδομένων, είναι απαραίτητη. Έτσι τα συλλεγόμενα στοιχεία θα είναι αξιόπιστα και ακριβή και οι δυνατότητες του ΣΔΟ θα αξιοποιούνται πλήρως.

Βεβαίως το κόστος μιας στρατηγικής συστηματικής καταγραφής στοιχείων είναι μεγάλο, πρέπει όμως να θεωρηθεί υπό το πρίσμα μιας επένδυσης η οποία στο μέλλον θα προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση πόρων.

Η συγκριτική ανάλυση των τελικών προϊόντων τριών Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, PERS, HDM-4 και RIMS, με σκοπό την προσπάθεια για προκαταρκτική αξιολόγηση και συγκριτική ανάλυσή τους, αναδεικνύει τα διάφορα προβλήματα και αδυναμίες που αυτά τα συστήματα παρουσιάζουν τόσο σε ολοκληρωμένο επίπεδο, όσο και σε επίπεδο προσομοιωμάτων μέσω συγκριτικών αναλύσεων προσομοιωμάτων ρηγμάτωσης και ομαλότητας (Λοΐζος και Παπανικολάου, 2005).

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών φανερώνουν την ανάγκη να προϋπάρχει άμεση και συστηματική συλλογή στοιχείων σχετικών με τα οδοστρώματα, ώστε να καταστεί δυνατή η απαραίτητη εξέλιξη και προσαρμογή των ΣΔΟ στις ελληνικές συνθήκες και να μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά και στην Ελλάδα.

2.7.4 Εξοπλισμός Αξιολόγησης Οδοστρωμάτων

Για να αξιολογηθούν τα οδοστρώματα με ακρίβεια είναι ανάγκη να συνταχθεί από την Πολιτεία ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα επιθεώρησης και αξιολόγησης τους, σε όλο το εθνικό δίκτυο της χώρας. Στο πρόγραμμα αυτό θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επόμενες παράμετροι (Νικολαΐδης, 1996):

- 1 Χάραξη πολιτικής για τη συστηματική επιθεώρηση και διαχείριση της συντήρησης των οδοστρωμάτων.
- 2 Οργάνωση και στελέχωση της Υπηρεσίας ΣΔΟ και των Διευθύνσεών της.
- 3 Καθορισμός του είδους των επεμβάσεων, συσχέτιση των αποτελεσμάτων προς λήψη αποφάσεων, καθορισμός οριακών τιμών δεικτών επέμβασης για συντήρηση, ενίσχυση ή και ανακατασκευή για κάθε τύπο κρίσιμης κάκωσης ή φθοράς.
- 4 Τεχνικοοικονομική ανάλυση για τον καθορισμό του αριθμού, του τύπου και της τεχνολογίας των μηχανημάτων, καθώς και τα απαραίτητα όργανα και συσκευές, τα οποία θα πρέπει να προμηθευθούν και να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με την οπτική

(επικουρική) επισκόπηση.

Με την πληθώρα του διαθέσιμου εξοπλισμού για τη συλλογή των δεδομένων των οδοστρωμάτων, είναι χρήσιμο να γίνει αξιολόγηση των σχετικών πλεονεκτημάτων των διαφόρων τύπων εξοπλισμού. Κατά την προμήθεια εξοπλισμού θα πρέπει να γίνει λεπτομερής σύγκριση συγκεκριμένων μοντέλων διαφορετικών κατασκευαστών όμοιων χαρακτηριστικών.

Ήδη έχουν καταγραφεί σχετικές σύγχρονες προσπάθειες επίσημων φορέων αξιολόγησης και διερεύνησης της καταλληλότητας εξοπλισμού συλλογής δεδομένων.

Αξιολόγηση σύγχρονης τεχνολογίας εμπορικού εξοπλισμού συλλογής δεδομένων για την επισκόπηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων αναφέρεται από το Oregon Department of Transportation, και τη Federal Highway Administration (Mullis Cole et al., 2005).

Η World Bank αναφέρεται τους παράγοντες, οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση εξοπλισμού, προκειμένου να εκτιμηθεί εκείνος με την καλύτερη καταλληλότητα (Bennett et al., 2005).

Ο προτεινόμενος απαραίτητος εξοπλισμός, ο οποίος θα χρησιμοποιείται σε συνεχή λειτουργία για όλο το εθνικό δίκτυο, θα αποτελείται από μία για κάθε τύπο από τις επόμενες συσκευές. Σημειώνεται ότι για τον καθορισμό του αριθμού των συσκευών θεωρήθηκε και προτείνεται συχνότητα επιθεώρησης του κύριου οδικού δικτύου ανά δύο έτη και του δευτερεύοντος δικτύου τρία έτη.

Η μέτρηση ολισθηρότητας προτείνεται να πραγματοποιείται, από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, με τη χρήση του SCRIM ή ASTM Trailer, η επισκόπηση της λειτουργικής κατάστασης με το ARRB Network Survey Vehicle (NSV), το οποίο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στην Ελλάδα (Roberts και Loizos, 2004) ή άλλο παρόμοιο, ο έλεγχος της δομικής κατάστασης (μέτρηση των μέτρων ελαστικότητας) με μη καταστροφικό έλεγχο το FWD ή το HWD, η μέτρηση της επιφανειακής βύθισης το Deflectograph και η μέτρηση του πάχους των στρώσεων το Ground Penetrating Radar.

Οι δειγματοληπτικοί επί τόπου έλεγχοι των οδοστρωμάτων προτείνεται να γίνονται από τα υφιστάμενα περιφερειακά εργαστήρια, αφού προηγουμένως εξασφαλισθεί ο εξοπλισμός τους με τα κατάλληλα όργανα και συσκευές (Νικολαΐδης, 1996).

2.7.5 Απαραίτητες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη και λειτουργία ΣΔΟ στην Ελλάδα

Οι περισσότεροι φορείς αυτοκινητοδρόμων της Ε.Ε. και άλλων κρατών εφαρμόζουν διαδικασίες διαχείρισης μέσω Η/Υ για τη συντήρηση των στοιχείων της οδού. Τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται σε επίπεδο χώρας πρέπει να βασίζονται σε κοινές προδιαγραφές και να έχουν παρόμοια αρχιτεκτονική ώστε να δίνεται η δυνατότητα στην Πολιτεία, που χρηματοδοτεί άμεσα ή έμμεσα τη συντήρηση, να αξιολογεί τις προτάσεις των φορέων και να προσδιορίζει τις προτεραιότητες.

Εξυπακούεται βέβαια, ότι η εφαρμογή ΣΔΟ προϋποθέτει τη λύση μιας σειράς σοβαρών διοικητικών θεμάτων που θα πρέπει επίσης να αντιμετωπισθούν σε κεντρικό επίπεδο, όπως πχ. η διάθεση των μηχανημάτων που θα κάνουν τις μετρήσεις των τιμών ομαλότητας, ολισθηρότητας κλπ., η έγκριση ενός κοινού συστήματος αναφοράς, η δημιουργία και διατήρηση μητρώου οδών κ.λπ. (Καρακαϊδού, 2002), καθώς και η επίλυση ζητημάτων σχετικά με τη στελέχωση και εκπαίδευση του προσωπικού.

Η Πολιτεία θα πρέπει να θέσει σαφείς στόχους σχετικά με την ποιότητα των υφιστάμενων έργων οδικής υποδομής, (πχ. οριακά αποδεκτές τιμές των παραμέτρων φθοράς), για την επόμενη 5/10/20-ετία και να έχει καθορίσει σαφή κριτήρια στη διαδικασία λήψης οποιασδήποτε απόφασης κατανομής κονδυλίων για τη συντήρηση ή αναβάθμιση της οδικής υποδομής. Μόνο τότε μπορεί το σύστημα να βελτιστοποιηθεί και να λειτουργεί αποτελεσματικά (Κοκκάλης και λοιποί, 2002). Η όλη προσπάθεια θα πρέπει να ενταχθεί στο ενιαίο πλαίσιο εναρμόνισης των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων στις χώρες της Ε.Ε. (RIMES).

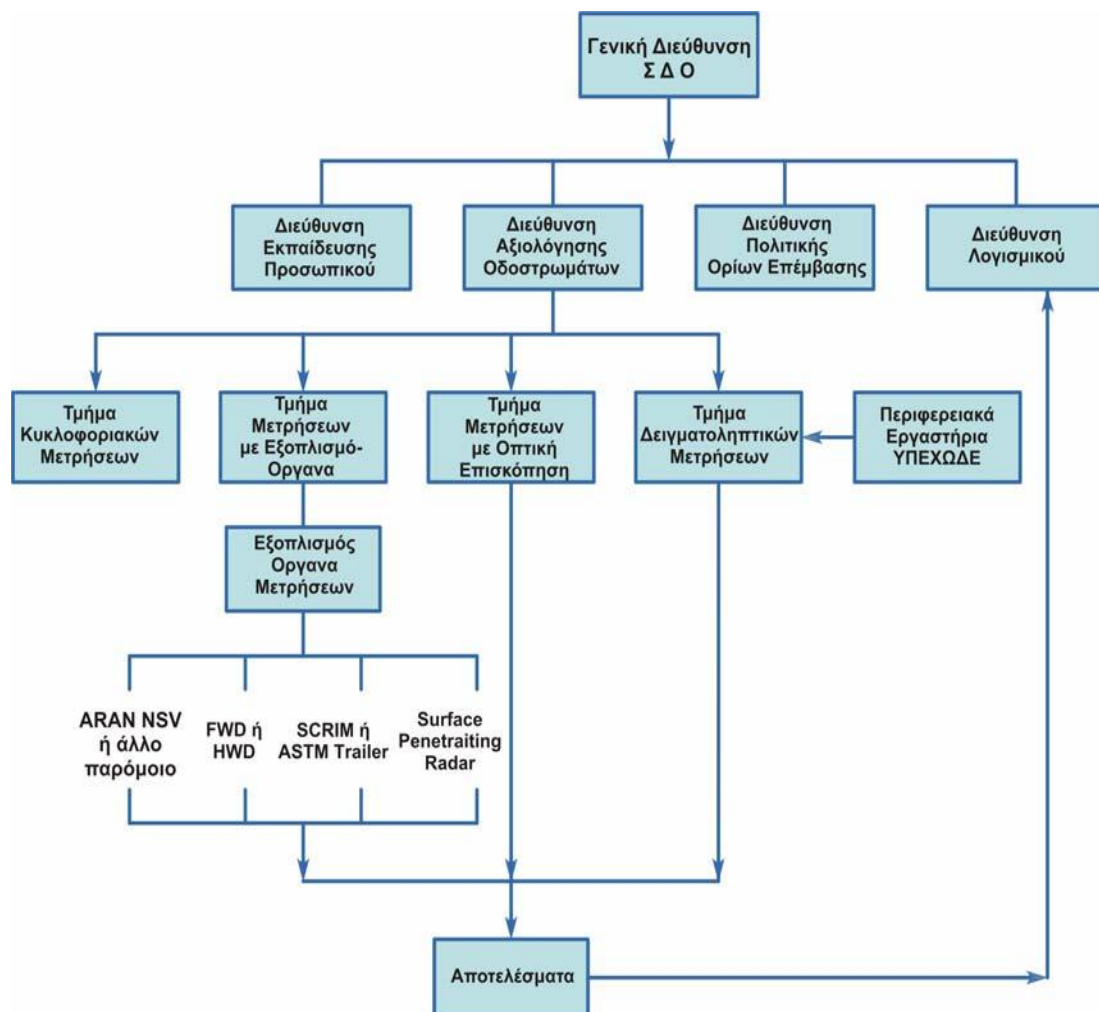
Η Πολιτεία θα πρέπει να συγκεντρώσει όλο το διαθέσιμο υλικό σχετικά την ανάπτυξη και πιλοτική εφαρμογή Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων και τις μετρήσεις που έχουν έως τώρα εκτελεσθεί σε διάφορα τμήματα αυτοκινητοδρόμων και οδών του οδικού δικτύου της χώρας, τα οποία προτείνεται να καθιερωθούν ως πειραματικά τμήματα, να αξιοποιήσει την αποκτηθείσα τεχνογνωσία και να λάβει υπόψη την διεθνή εμπειρία από την εφαρμογή και λειτουργία των Συστημάτων.

Ως βάση του Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων στη χώρα μας μπορεί να αποτελέσει το πρόγραμμα *RIMS (Road Infrastructure Management System)*. Το πρόγραμμα χρειάζεται περαιτέρω εφαρμογή και αξιολόγηση για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητάς του.

Επίσης, με την περαιτέρω αξιολόγηση του προγράμματος αυτού θα επιτευχθεί η επαλήθευση της ακρίβειας και αξιοπιστίας των μοντέλων πρόβλεψης του (Λοΐζος και Παπανικολάου, 2005).

Εν κατακλείδι, η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων στην Ελλάδα, η οποία έχει ήδη καθυστερήσει πολύ, είναι πλέον επιβεβλημένη. Οι ανάγκες διαχείρισης της συντήρησης των οδοστρωμάτων στην χώρα αναμένεται να αυξηθούν ακόμη περισσότερο τα επόμενα έτη, καθώς οδικοί άξονες αναβαθμίζονται, τμήματα νέων αυτοκινητοδρόμων έχουν κατασκευασθεί ή είναι υπό κατασκευή (Εγνατία Οδός, ΠΑΘΕ), και νέοι άξονες προβλέπονται να κατασκευασθούν στα επόμενα χρόνια (Ιόνια Οδός).

Με βάση τα ανωτέρω προτείνεται η Γενική Διεύθυνση ΣΔΟ να είναι μία για όλη την Επικράτεια, με κεντρικό άξονα τη Διεύθυνση Αξιολόγησης των Οδοστρωμάτων (Νικολαΐδης, 1996), με Διευθύνσεις και Τμήματα, όπως παρουσιάζεται στο οργανόγραμμα του Σχήματος 2.27.



Σχήμα 2.27: Προτεινόμενο οργανόγραμμα Υπηρεσίας διαχείρισης οδοστρωμάτων

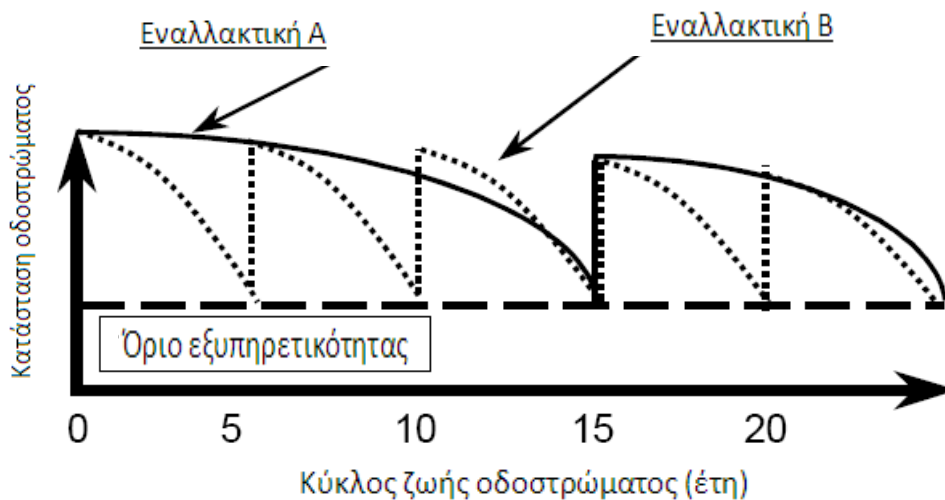
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

3.1 Φιλοσοφία ορισμού των ορίων επιφυλακής & συναγεμού στα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων

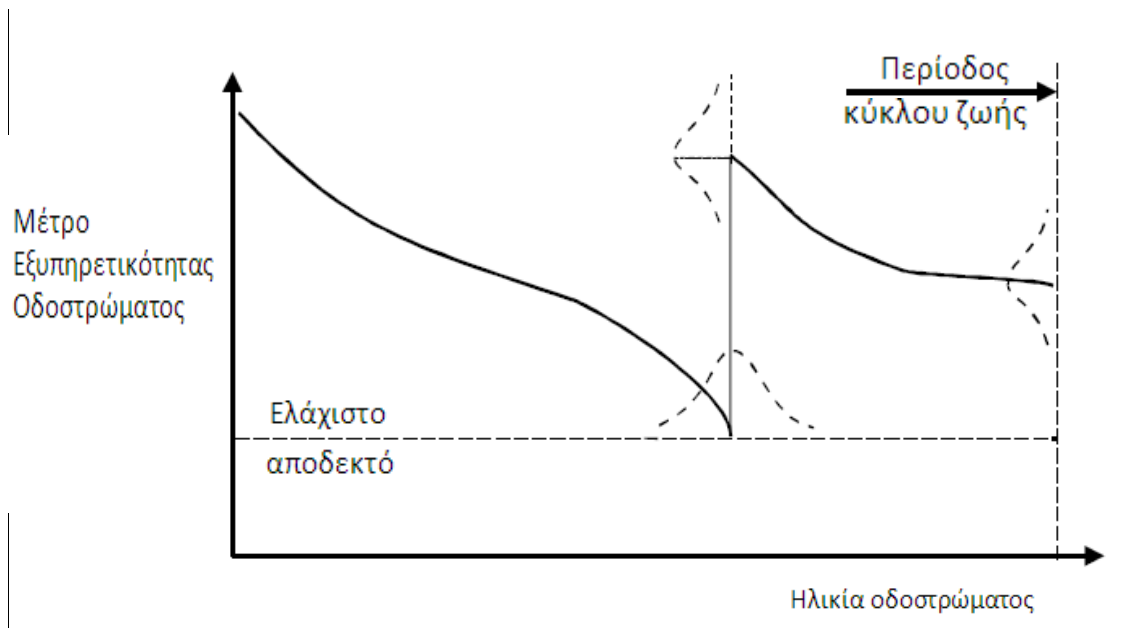
3.1.1 Επιλογή δραστηριοτήτων συντήρησης βάσει των ορίων επιφυλακής και συναγεμού των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος

Το τμήμα μεταφορών της πολιτείας Washington των Η.Π.Α. (WSDOT, 1995) χρησιμοποιεί τον δείκτη Δομικής Κατάστασης Οδοστρώματος PSC (Pavement Structural Condition) και τον Διεθνή Δείκτη Ομαλότητας IRI (International Roughness Index) για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του οδικού δικτύου. Η κατώτερη αποδεκτή τιμή του δείκτη PSC καθορίζεται με βάση μια οικονομοτεχνική ανάλυση LCCA (Life Cycle Cost Analysis), που λαμβάνει υπ' όψιν το κόστος των εργασιών συντήρησης, το κόστος χρήσης των οχημάτων VOC (Vehicle Operating Cost) και το κόστος καθυστέρησης του χρήστη (User Delay Cost) κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης.



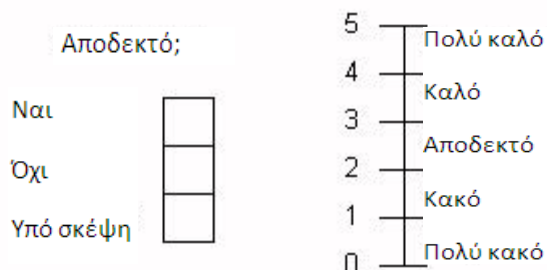
Σχήμα 3.1: Καμπύλη μεταβολής κατάστασης οδοστρώματος ανάλογα με την στρατηγική συντήρησης [Πηγή: FHWA, LCCA in Pavement Design, 1998]

Σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία εξήχθη το συμπέρασμα ότι ο βέλτιστος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών συντηρήσεων είναι ανάμεσα στα 10 – 14 χρόνια καθώς στο χρονικό αυτό διάστημα παρατηρούνται τα ελάχιστα κόστη συντήρησης. Στα έτη αυτά ο δείκτης PSC κυμαίνεται στις τιμές 70 – 40 και αντίστοιχα ο δείκτης IRI στις τιμές 2,2 – 3,4. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι η επιλογή της οριακής αποδεκτής τιμής του δείκτη PSC= 50 που είχε οριστεί αρχικά, είναι σωστή με όρους οικονομίας.



Σχήμα 3.2: Καμπύλη μεταβολής κατάστασης οδοστρώματος σε σχέση με τον χρόνο

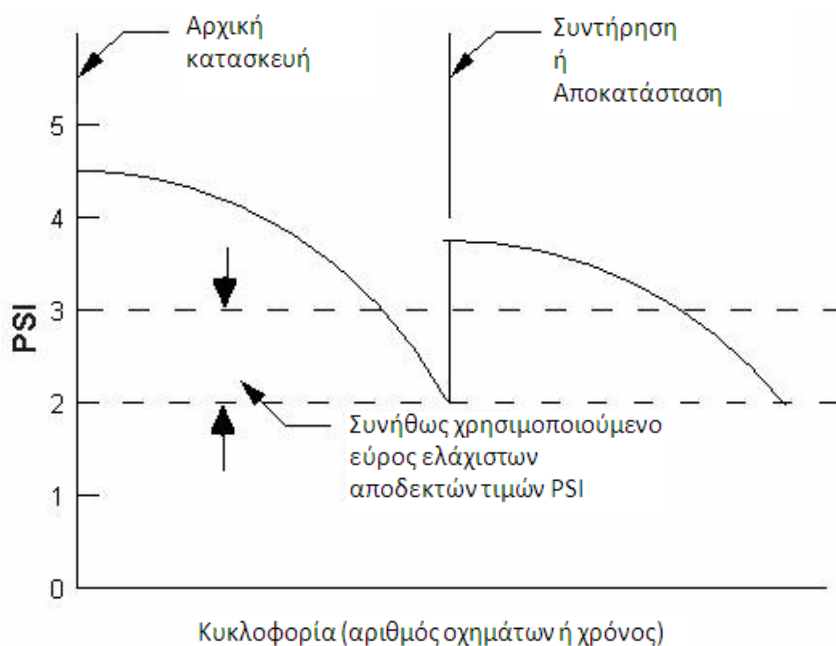
Η Ένωση AASHO (Highway Research Board, 1962) ανέπτυξε έναν ορισμό της εξυπηρέτησης οδοστρώματος, τον δείκτη PSR, που βασίζεται στην ατομική παρατήρηση. Ο δείκτης PSR ορίζεται ως «Η κρίση ενός παρατηρητή ως προς την τρέχουσα ικανότητα ενός οδοστρώματος να εξυπηρετεί την κυκλοφορία που προορίζεται να εξυπηρετήσει» (Highway Research Board, 1962). Για να παράγουν αποτελέσματα, οι παρατηρητές οδήγησαν επί της οδού και αποτίμησαν τη διαδρομή χρησιμοποιώντας την ποσοτική κλίμακα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4. Αυτή η υποκειμενική κλίμακα κυμαίνεται από 5 (άριστο) ως 0 (ουσιαστικά απροσπέλαστο). Δεδομένου ότι ο δείκτης PSR είναι βασισμένος στις ερμηνείες επιβατών για την ποιότητα του οδοστρώματος, απεικονίζει γενικά την ομαλότητα του οδοστρώματος. Συνεπακόλουθα, η ομαλότητα καθορίζει κατά ένα μεγάλο μέρος την ποιότητα του οδοστρώματος.



Σχήμα 3.4: Αντίγραφο φόρμας εκτίμησης εξυπηρετικότητας

Ο δείκτης αξιολόγησης παρούσας εξυπηρετικότητας PSR (Present Serviceability Rating) είναι μια ποιοτική εκτίμηση της άνεσης από μια επιτροπή παρατηρητών ως επιβάτες ενός αυτοκινήτου στην υπό εξέταση οδό. Δεδομένου ότι αυτός ο τύπος εκτίμησης δεν είναι πρακτικός για τα μεγάλης κλίμακας οδικά δίκτυα, προτιμήθηκε η μετάβαση σε ένα σύστημα που δεν απαιτεί παρατηρητές. Ο δείκτης παρούσας εξυπηρετικότητας PSI (Present Serviceability Index) είναι βασισμένος στο μοντέλο οδικής αξιολόγησης «AASHO PSR» της Ένωσης AASHO.

Στη μετάβαση από τον δείκτη PSR (επιτροπή παρατηρητών) στον δείκτη PSI (χωρίς επιτροπή παρατηρητών), μια επιτροπή παρατηρητών από το 1958 έως το 1960, αποτίμησε τις διάφορες οδούς στις πολιτείες Ιλλινόις, Μινεσότα και Ινδιάνα ως προς τον δείκτη PSR. Αυτές οι πληροφορίες αντιστοιχίστηκαν έπειτα σε μετρήσεις διαφόρων οδικών χαρακτηριστικών (όπως η μεταβολή κλίσης, οι ρηγματώσεις κ.τ.λ.) για την ανάπτυξη των εξισώσεων του δείκτη PSI. Περαιτέρω, οι παρατηρητές κλήθηκαν να εκφράσουν μια άποψη ως προς εάν η συγκεκριμένη οδός που αξιολογήθηκε με τον δείκτη PSR ήταν «αποδεκτή» ή «απαράδεκτη» ως πρωτεύον δίκτυο. Κατά συνέπεια, αν και ο δείκτης PSI είναι βασισμένος στο ίδιο σύστημα αποτίμησης 5βάθμιας κλίμακας, όπως ο δείκτης PSR, υπερβαίνει μια απλή αξιολόγηση της ποιότητας εξυπηρέτησης. Περίπου το μισό της επιτροπής των παρατηρητών βρήκε τον δείκτη PSR με τιμή 3,0 αποδεκτό και τον δείκτη PSI με τιμή 2,5 απαράδεκτο. Τέτοιες πληροφορίες ήταν χρήσιμες για την επιλογή ενός «τελικού» (ή αποδεκτού) εύρους δείκτη PSI. Το Σχήμα 3.3 απεικονίζει αυτή την έννοια.



Σχήμα 3.3: Έννοια της κατάστασης οδοστρωμάτων με χρήση του δείκτη παρούσας εξυπηρετικότητας (PSI) [Πηγή: Hveem και Carmany, 1948]

Η μέθοδος του δείκτη κατάστασης οδοστρώματος PCI (Pavement Condition Index), που περιγράφεται στο πρότυπο ASTM D5340, χρησιμοποιείται για να δοθεί μια τιμή του δείκτη PCI σε οδοστρώματα αεροδρομίων μέσω οπτικής επιθεώρησης. Ο δείκτης PCI είναι μια αριθμητική αποτίμηση της κατάστασης οδοστρώματος και κυμαίνεται από 0 έως 100, με το 0 να αντιστοιχεί στην χειρότερη πιθανή κατάσταση και το 100 να αντιστοιχεί στην καλύτερη δυνατή κατάσταση. Η μέθοδος δείκτη PCI αναπτύχθηκε από το ερευνητικό εργαστήριο εφαρμοσμένης μηχανικής του σώματος μηχανικών του αμερικανικού στρατού. Αυτή η μέθοδος έχει υιοθετηθεί από την ομοσπονδιακή διοίκηση αεροπορίας για να αποτιμήσει την κατάσταση του οδοστρώματος (Advisory Circular No. 150/5380-6, Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements).

3.1.1.1 Δείκτης επικινδυνότητας του οδοστρώματος (PDI)

Για τη διευκόλυνση της ανάλυσης, οι μεμονωμένοι τύποι φθορών επιφάνειας αθροίζονται σε έναν γενικό δείκτη, που καλείται δείκτης επικινδυνότητας οδοστρώματος (PDI). Ο δείκτης PDI αθροίζει τους πιο σημαντικούς τύπους φθορών σε έναν αριθμό, ο οποίος είναι ενδεικτικός της γενικής κατάστασης επιφάνειας οδοστρώματος. Ο PDI μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει την αποκατάσταση του οδοστρώματος ή να προσδιορίσει την απαραίτητη δραστηριότητα αποκατάστασης.

Η Διεύθυνση Μεταφορών της Πολιτείας Αριζόνα (Arizona Department of Transportation [ADOT]) αποφάσισε να εξεταστούν τέσσερις τύποι φθοράς για την αξιολόγηση του PDI στα εύκαμπτα οδοστρώματα. Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει τους τύπους φθοράς που εξετάζονται για τον δείκτη PDI. Επίσης, στον Πίνακα παρουσιάζονται τα επίπεδα συναγερμού (όριο επιφυλακής) και τα κριτήρια αποτυχίας (όριο αστοχίας) για κάθε τύπο φθοράς. Για έναν συγκεκριμένο τύπο φθοράς, επίπεδο συναγερμού ορίζεται ως το επίπεδο στο οποίο ένα τμήμα του οδοστρώματος επισημαίνεται για συντήρηση λόγω της συγκεκριμένης φθοράς, ενώ επίπεδο αστοχίας ορίζεται ως το επίπεδο στο οποίο τα τμήματα του οδοστρώματος θεωρούνται ότι έχουν αστοχήσει και η μόνη λύση είναι η αποκατάσταση/ανακατασκευή.

Πίνακας 3.1: Φθορές επιφάνειας για την ανάπτυξη του δείκτη PDI

Τύπος οδοστρώματος	Τύπος Φθοράς	Τρόπος / Μονάδα Μέτρησης	Όριο επιφυλακής	Όριο αστοχίας
Εύκαμπτο	Ρηγμάτωση	Ποσοστό της περιοχής	5%	20%
	Τροχοαυλάκωση	Χιλιοστόμετρα	12,25	24,5
	Ανάδυση Ασφάλτου	Δείκτης (0 έως 5), όπου το 5 αντιπροσωπεύει επιφάνεια χωρίς καθόλου αναδεδυμένη άσφαλο	3,5	2,5
	Τοπική Επισκευή (Μπάλωμα)	Ποσοστό της περιοχής	25%	50%

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο τύπος φθοράς της ρηγμάτωσης, που αναφέρεται στον Πίνακα 2.6, είναι μια συνάθροιση όλων των τύπων ρηγματώσεων και θεωρείται ως ενιαίος τύπος φθοράς για τους σκοπούς της ανάπτυξης του PDI. Επίσης, δεδομένου ότι η έκταση αυτών των φθορών δεν αξιολογείται κατά τη διάρκεια της έρευνας φθορών επιφάνειας, όλες οι φθορές υποτίθεται ότι είχαν μικρή έκταση.

Ο δείκτης PDI αναπτύσσεται σε μια κλίμακα από 0,0 έως 5,0, όπου η τιμή 5,0 αντιπροσωπεύει μια χωρίς φθορές επιφάνεια οδοστρώματος σε τέλεια κατάσταση.

Το πρότυπο PDI αναπτύχθηκε αρχικά ώστε να καθορίσει τα γενικά σημεία ελέγχου. Τα σημεία ελέγχου, που προτείνει το ADOT, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Προτεινόμενα σημεία ελέγχου PDI

Κατάσταση οδοστρώματος	Επίπεδο PDI
Επιφάνεια χωρίς φθορές	5,0
Προειδοποίηση για αποκατάσταση	4,0
Κριτήριο αστοχίας	2,5
Ελάχιστη τιμή PDI	0

Ακολούθως, παρουσιάζεται η κατάσταση του οδικού δικτύου βασισμένη στο μοντέλο PDI και στη χρησιμοποίηση των ιστορικών στοιχείων φθοράς του ADOT.

3.1.1.2 Ανάπτυξη του δείκτη PDI για εύκαμπτα οδοστρώματα

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2, ο δείκτης PDI για εύκαμπτο οδόστρωμα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τέσσερις τύπους φθοράς, οι οποίοι είναι η ρηγμάτωση, το μπάλωμα, η ανάδυση ασφάλτου και η τροχοαυλάκωση. Η ρηγμάτωση και το μπάλωμα μετρούνται ως ποσοστό της ερευνηθείσας περιοχής, όπου 0% αντιπροσωπεύει την τέλεια κατάσταση. Η τροχοαυλάκωση μετράται σε χιλιοστά, ενώ η ανάδυση ασφάλτου αξιολογείται σε μια κλίμακα μεταξύ 0 και 5, όπου 5 αντιπροσωπεύει την τέλεια κατάσταση. Για να διευκολυνθεί η ανάπτυξη του προτύπου PDI, οι τιμές των μεμονωμένων φθορών ομαλοποιήθηκαν από την άποψη ενός δείκτη, έτσι ώστε οι τιμές κάθε δείκτη μεμονωμένης φθοράς να κυμαίνονται από 0,0 έως 100,0 ως εξής:

- Δείκτης Ρηγματώσεων (C)

Η τιμή της ρηγμάτωσης είναι αύξουσα από 0 έως 100, Συνεπακόλουθα, ο δείκτης ρηγμάτωσης (C) έχει την ίδια αξία (τιμή) με το ποσοστό της ρηγματωμένης περιοχής.

- Δείκτης Τροχοαυλάκωσης (R)

Ένα βάθος τροαυλάκωσης ίσο με 50 χιλιοστά τίθεται ως μέγιστο βάθος τροχοαυλάκωσης και όλες οι τιμές μετρούνται ως ποσοστό του μέγιστου βάθους χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$R = \frac{\text{βάθος τροχοαυλάκωσης}}{50} \times 100 \quad [3.1]$$

Εάν το πραγματικό μετρημένο βάθος τροχοαυλάκωσης είναι μεγαλύτερο από 50 χιλιοστόμετρα, ο δείκτης θα είναι 100%.

- Δείκτης Ανάδυσης Ασφάλτου (F)

Η ανάδυση ασφάλτου μετρείται με μια φθίνουσα κλίμακα από 5 έως 0. Ο δείκτης ανάδυσης ασφάλτου (F) έχει τιμές από 0 έως 100 υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$F = 20 * (5,0 - \text{Ανάδυση Ασφάλτου}) \quad [3.2]$$

- Δείκτης Τοπικής Επισκευής (Μπάλωμα) (P)

Το μπάλωμα παίρνει τιμές από 0 έως 100. Συνεπακόλουθα, ο δείκτης μπαλώματος (P) θα έχει αριθμητικά την ίδια αξία (τιμή) με το ποσοστό της επιδιορθωμένης περιοχής.

Για την ανάπτυξη του δείκτη PDI, η ρηγμάτωση και η τροχοαυλάκωση θεωρήθηκαν ως «σημαντικές» φθορές, έτσι ώστε εάν οποιοσδήποτε από αυτούς τους τύπους φθοράς φθάσει στο όριο επιφυλακής ή αποτυχίας, ο PDI πρέπει να φθάσει στο όριο επιφυλακής ή αποτυχίας, αντίστοιχα. Για παράδειγμα εάν ένα τμήμα έχει 5% ρηγματώσεις, ο PDI πρέπει να είναι 4,0 και εάν το τμήμα έχει 50% τροχοαυλάκωση, ο PDI πρέπει να είναι 2,5.

Η ανάδυση ασφάλτου και το μπάλωμα θεωρήθηκαν ως «δευτερεύουσες» φθορές. Εάν οποιοσδήποτε από αυτές τις φθορές φθάσουν σε ένα όριο αποτυχίας, ο PDI θα φθάσει σε ένα όριο συναγερμού. Για παράδειγμα, εάν ένα τμήμα έχει 50% μπάλωμα, ο PDI πρέπει να είναι 4,0.

Για να ικανοποιηθούν αυτοί οι περιορισμοί έτσι ώστε κάθε δείκτης φθοράς να αντιπροσωπεύεται από έναν γραμμικό συντελεστή υψωμένο σε μια δύναμη για να αντιπροσωπευθεί η διαφορετική βαρύτητα των τύπων φθοράς και να προσαρμοστεί στην κλίμακα PDI. Η ακόλουθη εξίσωση αντιπροσωπεύει τον δείκτη PDI για τα εύκαμπτα οδοστρώματα.

$$PDI = 5,0 - (0,345C^{0,66} + 0,0142R^{1,32} + 0,005F^{1,36} + 0,02P^{1,0} - 0,0823C^{0,18} R^{0,50}) \quad [3.3]$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο PDI συνδυάζει την επίδραση των σημαντικότερων τύπων φθοράς, δηλαδή τη ρηγμάτωση και την τροχοαυλάκωση.

Ο δείκτης PDI (εξίσωση 3.3) εφαρμόζεται από το ADOT. Εντούτοις, ως αποτέλεσμα της ανάλυσης και εξαιτίας του γεγονότος ότι το ADOT αξιολογούσε παραδοσιακά την κατάσταση επιφάνειας οδοστρωμάτων πρώτιστα από την άποψη των ρηγματώσεων, η χρησιμοποίηση του PDI ως συνάρτηση των ρηγματώσεων μόνο, παρέχει καλύτερα αποτελέσματα και ακριβέστερα ταιριάζοντας με τα ιστορικά στοιχεία του ADOT. Συνεπώς, ο PDI τροποποιήθηκε σε μια συνάρτηση των ρηγματώσεων μόνο, σε αντιδιαστολή με τη συνάρτηση των ανωτέρω τεσσάρων τύπων φθοράς, ως εξής:

$$PDI = 5,0 - (0,345C^{0,66}) \quad [3.4]$$

Πρέπει να σημειωθεί, εντούτοις, ότι οι άλλοι τύποι φθοράς είναι διαθέσιμοι στο ADOT και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σύστημα εάν θεωρηθεί απαραίτητο ή εάν το ADOT τροποποιήσει τις διαδικασίες συλλογής δεδομένων φθορών που καλύπτουν άλλους τύπους, έκταση και μέγεθος φθορών.

3.1.1.3 Επεμβάσεις Συντήρησης

Ακολούθως παρουσιάζονται οι τέσσερις τύποι συντήρησης:

- Σ -- Τοπική δραστηριότητα συντήρησης (προληπτική ή θεραπευτική)
- Γ -- Γενική δραστηριότητα συντήρησης
- Α -- Δραστηριότητα αποκατάστασης (θεραπευτική συντήρηση μετά από αστοχία)
- Ν -- Δραστηριότητα ανακατασκευής

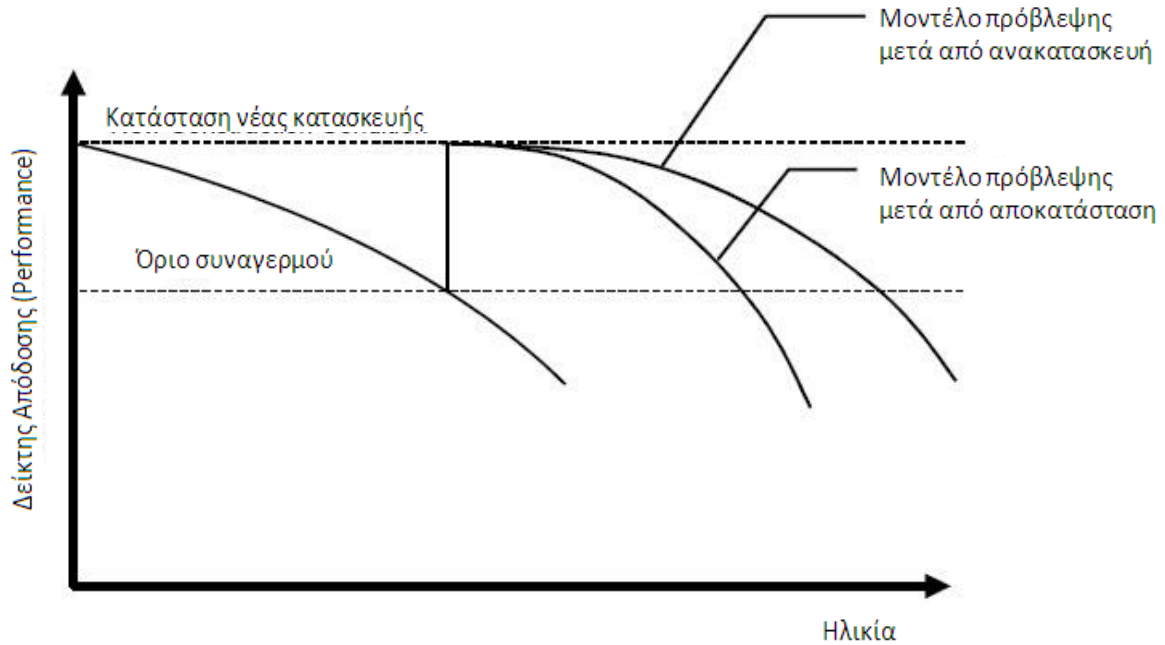
Είναι σημαντικό να καθοριστεί ακριβώς ο τύπος δραστηριότητας, επειδή έχει επιπτώσεις στον τρόπο με τον οποίο η δραστηριότητα μοντελοποιείται στην ανάλυση.

3.1.1.4 Προσομοίωση των επιπτώσεων των επεμβάσεων συντήρησης στην κατάσταση του οδοστρώματος

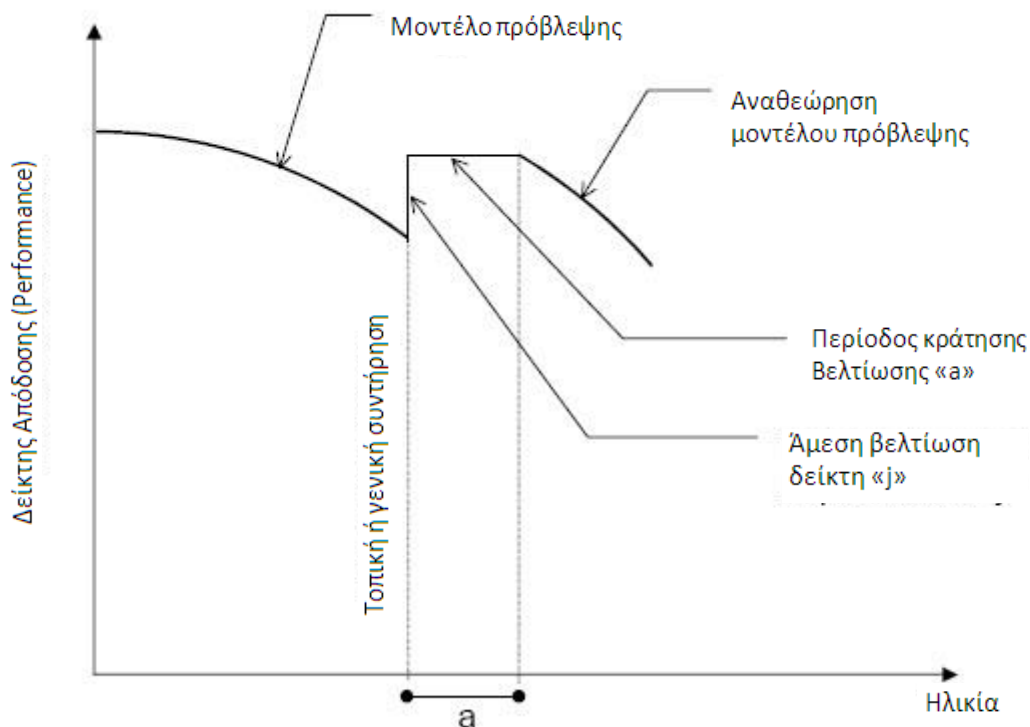
Οι επιπτώσεις των επεμβάσεων συντήρησης στη μελλοντική συμπεριφορά του οδοστρώματος οδηγούν είτε σε βελτίωση της κατάστασης του οδοστρώματος είτε σε πιο αργό ρυθμό επιδείνωσης. Η προσομοίωση της βελτίωσης στην κατάσταση του οδοστρώματος (άλμα) απαιτεί μια καμπύλη πρόβλεψης. Η προσομοίωση του πιο αργού ρυθμού επιδείνωσης γίνεται με δύο τρόπους, είτε με μια πιο επίπεδη καμπύλη πρόβλεψης είτε με «κράτημα» (καθυστέρηση) της κατάστασης του οδοστρώματος για μια ορισμένη περίοδο.

Στο ADOT, οι επιδράσεις της εφαρμογής μιας επέμβασης τύπων Α ή Ν διαμορφώνονται όπως «τα άλματα» της αύξησης στην κατάσταση οδοστρώματος στις καμπύλες απόδοσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5. Όπως μπορεί να σημειωθεί από το διάγραμμα, αυτά τα άλματα φέρνουν το οδόστρωμα στην κατάσταση ενός πρόσφατα κατασκευασμένου τμήματος.

Οι επιδράσεις της εφαρμογής μιας Σ ή Γ τύπου επέμβασης μοντελοποιούνται διαφορετικά από τις Α και Ν τύπου επεμβάσεις. Οι επιδράσεις αντιπροσωπεύονται από ένα άλμα ή μια αύξηση στην καμπύλη κατάστασης, εκτός από μια περίοδο εκμετάλλευσης, όπου η κατάσταση του οδοστρώματος κρατιέται σταθερή. Το Σχήμα 3.6 απεικονίζει πώς διαμορφώνονται οι επεμβάσεις τύπου Σ και Γ. Πρέπει να σημειωθεί ότι η αύξηση ή το άλμα για τις επεμβάσεις τύπου Σ και Γ δεν φέρνει το οδόστρωμα στην κατάσταση νέας κατασκευής.



Σχήμα 3.5: Αντίκτυπος εργασιών αποκατάστασης και ανακατασκευής



Σχήμα 3.6: Εργασίες συντήρησης ως στρατηγικές διατήρησης

Ο Πίνακας 3.3 παρουσιάζει τις περιόδους εκμετάλλευσης και βελτιώσεις του δείκτη PSR (Present Serviceability Rating) για τις δραστηριότητες συντήρησης όπως περιλαμβάνονται στο σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων του ADOT.

Πίνακας 3.3: Βελτίωση κατάστασης και περίοδος εκμετάλλευσης για τις επεμβάσεις Σ και Γ [Πηγή: ADOT, 2003]

Κωδικός	Δραστηριότητα	Τύπος	Κόστος (\$/m ²)	Περίοδος εκμετάλλευσης «α» (έτη)	Βελτίωση PSR «j»
101	Μπάλωμα	Σ	14,29	2	0,5
103	Σφράγιση ρηγματώσεων	Σ	2,38	3	0,4
104	Επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας	Γ	1,71	2	0,4
105	Αντικατάσταση τάπητα κυκλοφορίας και βάσης	Σ	19,05	4	1,0
106	Τοποθέτηση μίας ή δύο ασφαλικών στρώσεων και επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας	Γ	2,12	3	0,5
108	Επίστρωση ασφαλτομίγματος	Γ	0,30	4	0,4
109	Τοπική επίστρωση ασφαλτομίγματος	Σ	3,81	2	0,4
111	Επείγον μπάλωμα	Σ	14,29	2	0,5
113	Σφράγιση ρηγματώσεων με ασφαλτικό στεγανοποιητικό	Σ	7,14	4	0,7
123	Εφαρμογή πολυμερών/ακρυλικών σταθεροποιητών για την ενδυνάμωση της συνάφειας του ασφαλτομίγματος	Γ	4,17	3	0,5
124	Σφράγιση ρηγματώσεων με υλικά καλύτερης ποιότητας	Γ	1,90	3	0,4
125	Επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας ενισχυμένου με ειδικά πολυμερή	Γ	1,55	3	0,3
127	Διαβροχή με ασφαλτικό γαλάκτωμα	Γ	1,52	3	0,3
141	Σφράγιση ρηγματώσεων και διαβροχή με μίγμα ασφαλτικού γαλακτώματος, νερού, μετάλλων κ.ά.	Σ	4,76	5	0,5

3.2 Ανάπτυξη Μοντέλων Πρόβλεψης PSR

Για την πρόβλεψη της μελλοντικής απόδοσης οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται δύο προσεγγίσεις, οι οποίες είναι η πρόβλεψη συγκεκριμένης περιοχής και η συνηθισμένη προσέγγιση. Η προσέγγιση συγκεκριμένης περιοχής είναι βασισμένη στη χρήση των ιστορικών στοιχείων απόδοσης για να αναπτύξει τους πρότυπους συντελεστές για τα

μεμονωμένα τμήματα ανάλυσης. Για κάθε μεμονωμένο τμήμα, τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία απόδοσης από την τελευταία αποκατάσταση ή την κατασκευή αναλύονται για τον καθορισμό του μοντέλου που ταιριάζει με την παρατηρηθείσα απόδοση του τμήματος, προβλέποντας έτσι τη μελλοντική απόδοση.

Τα μοντέλα πρόβλεψης με συνηθισμένη προσέγγιση χρησιμοποιούνται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Ελλείψει επαρκών ιστορικών στοιχείων συγκεκριμένων περιοχών
- Όταν τα πρότυπα συγκεκριμένης περιοχής δεν ικανοποιούν τα κριτήρια αποδοχής
- Για την πρόβλεψη της απόδοσης οδοστρωμάτων από τη σκοπιά μελλοντικών δραστηριοτήτων αποκατάστασης

Τα μοντέλα πρόβλεψης αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας την προσέγγιση «οικογένεια-μοντέλων», όπου η μελλοντική απόδοση των τμημάτων οδοστρωμάτων της ίδιας κατηγορίας απόδοσης διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας ένα κοινό μοντέλο απόδοσης.

3.2.1 Κατηγορίες απόδοσης

Στην προσέγγιση «οικογένεια-μοντέλων», τα τμήματα οδοστρωμάτων που έχουν κοινά χαρακτηριστικά όπως ο τύπος οδοστρώματος, ο κυκλοφοριακός φόρτος κ.λπ., ομαδοποιούνται σε ένα κοινό μοντέλο. Οι κατηγορίες απόδοσης του οδοστρώματος είναι οι ακόλουθες:

- Τελευταία δραστηριότητα συντήρησης
- Τύπος οδοστρώματος
- Περιβαλλοντικές συνθήκες
- Κυκλοφορία
- Κατάσταση υπόβασης
- Δομικό πάχος

Επιπλέον, η λειτουργική κατηγορία εξετάζεται επίσης (εθνική και μη εθνική οδός). Δύο σύνολα μοντέλων απόδοσης αναπτύχθηκαν για αυτές τις δύο λειτουργικές κατηγορίες.

3.2.2 Συνθήκη ονομασίας μοντέλων

Λόγω του μεγάλου αριθμού πιθανών συνδυασμών για την ανάπτυξη του μοντέλου, επινοήθηκε ένας τρόπος αρίθμησης για την εύκολη παραπομπή (αναφορά) αυτών των μοντέλων. Ένας αριθμός αναγνώρισης 8-χαρακτήρων ορίζεται για κάθε μοντέλο ως εξής:

- Τύπος δραστηριότητας - χαρακτήρες 1-3
- Τύπος οδοστρώματος - χαρακτήρας 4
- Κατηγορία περιβάλλοντος - χαρακτήρας 5
- Κατηγορία ισοδύναμης κυκλοφορίας (ESAL) - χαρακτήρας 6
- Κατηγορία υπόβασης - χαρακτήρας 7
- Κατηγορία πάχους - χαρακτήρας 8

Για παράδειγμα, ο πρότυπος αριθμός 231-13231 είναι το μοντέλο πρόβλεψης απόδοσης που περιγράφει την αναμενόμενη απόδοση της δραστηριότητας υπ' αρ. 231 για τύπο οδοστρώματος 1, κατηγορία περιβάλλοντος 3, που υποβάλλεται στην κατηγορία κυκλοφορίας 2, με κατηγορία υπόβασης 3 και κατηγορία πάχους 1. Εάν μια συγκεκριμένη κατηγορία δεν καθορίζεται, το αντίστοιχο ψηφίο τίθεται μηδέν. Για παράδειγμα, ο πρότυπος αριθμός 231-13000 πρόβλεψης είναι το μοντέλο απόδοσης που περιγράφει την αναμενόμενη απόδοση της δραστηριότητας υπ' αρ. 231 για τύπο οδοστρώματος 1 και κατηγορία περιβάλλοντος 3, για όλους τους ισοδύναμους κυκλοφοριακούς φόρτους, υποβάσεις και πάχη.

3.2.3 Τύπος μαθηματικού μοντέλου

Για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του οδοστρώματος χρησιμοποιείται μια σιγμοειδής (δηλ. σχήματος S) καμπύλη. Αυτή η καμπύλη χρησιμοποιείται γιατί έχει μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας από άλλου σχήματος μοντελοποιήσεις για την περιγραφή της επιδείνωσης της κατάστασης ενός τμήματος οδοστρώματος. Ο τύπος του μαθηματικού μοντέλου έχει ως εξής:

$$PSR = P_0 - e^{A-B \cdot C \ln \frac{1}{Age}} \quad [3.5]$$

Σε αυτό το μοντέλο, το P_0 αντιπροσωπεύει την αρχική κατάσταση του οδοστρώματος, αμέσως μετά από την αποκατάσταση (ηλικία μηδέν), Age είναι η ηλικία σε έτη, δηλαδή ο αριθμός ετών από την τελευταία δραστηριότητα αποκατάστασης ή κατασκευής. Οι συντελεστές A, B και C είναι οι παράμετροι που καθορίζουν τη μορφή του μοντέλου.

Η ευελιξία της σιγμοειδούς συνάρτησης επιτρέπει τα μοντέλα που παράγονται να είναι κοίλα, κυρτά, σχήματος S ή ακόμα και σχεδόν γραμμικά. Ιστορικά έχει αποδειχθεί ότι με αυτόν τον τρόπο παράγονται καμπύλες που ενσωματώνουν τα συλλεχθέντα δεδομένα και περιγράφουν καλύτερα τη συμπεριφορά του οδοστρώματος.

3.2.4 Διαδικασία παραγωγής μοντέλων συμπεριφοράς

Η παραλλαγή στα διαθέσιμα στοιχεία δεν παρέχει πάντα τα επιθυμητά μοντέλα. Επομένως, σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η γνώση εφαρμοσμένης μηχανικής

της αρμόδιας υπηρεσίας βασισμένη στην εμπειρία των στελεχών της. Παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή των απαραίτητων μοντέλων συμπεριφοράς.

Οι μη γραμμικές τεχνικές αντίστροφης ανάλυσης χρησιμοποιούνται για να αναπτύξουν τα μοντέλα συμπεριφοράς για τις δραστηριότητες αποκατάστασης, όπου αρκετά καλά ιστορικά στοιχεία είναι διαθέσιμα. Η γνώση εφαρμοσμένης μηχανικής χρησιμοποιήθηκε για να ρυθμίσει τα μοντέλα και να προσαρμόσει περιπτώσεις με ανεπαρκή ιστορικά στοιχεία.

3.2.4.1 Εξαγωγή ιστορικών στοιχείων

Τα μοντέλα συμπεριφοράς παράγονται από τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία συμπεριφοράς και αποθηκεύονται σε ειδική βάση δεδομένων. Τα στοιχεία συγκεντρώνονται για τα ομοιογενή τμήματα με βάση την κατηγορία απόδοσης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε αυτήν τη μελέτη αντιπροσωπεύουν τα τελευταία 20 έτη διαθέσιμων στοιχείων.

3.2.4.2 Φιλτράρισμα στοιχείων

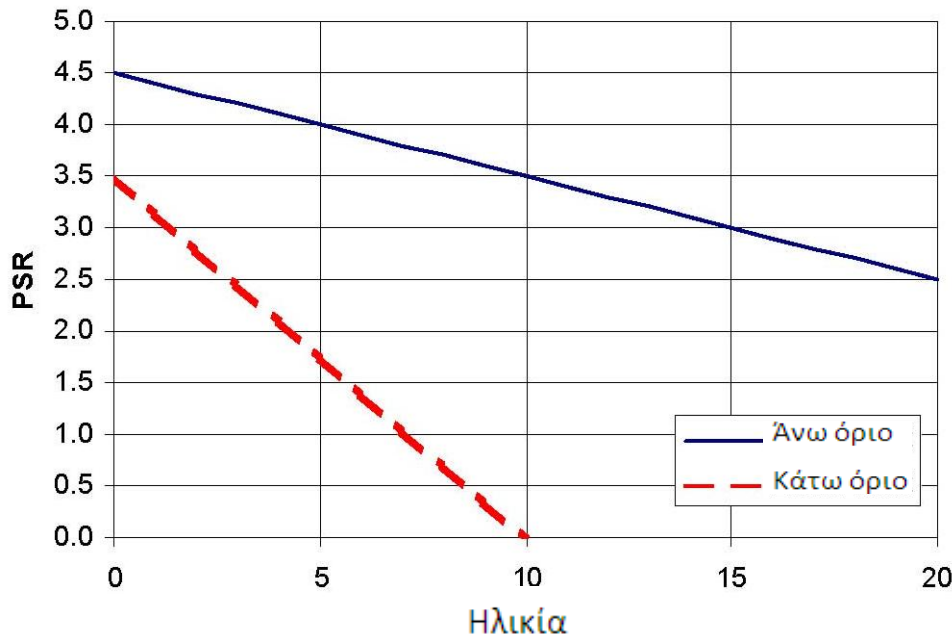
Για να εξασφαλίσουν την ανάπτυξη των καλύτερων δυνατών μοντέλων, τα στοιχεία απόδοσης πρέπει να περάσουν από μερικούς ελέγχους εξασφάλισης ποιότητας (Quality Assurance [QA]). Όσον αφορά τα στοιχεία ομαλότητας για την αποφυγή χρησιμοποίησης ακραίων δεδομένων και τμήματα που παρουσιάζουν απροσδόκητη συμπεριφορά, καθιερώθηκε ένα κριτήριο αποδοχής. Με άλλα λόγια, καθιερώθηκε ένα κριτήριο αποκλεισμού για να αφαιρούνται αυτού του είδους τα στοιχεία.

Τα όρια αποκλεισμού που χρησιμοποιούνται για να αποκλείσουν ακραία στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4, από την άποψη του δείκτη IRI και της αποτίμησης εξυπηρετικότητας οδοστρώματος PSR (Pavement Serviceability Rating). Η σχέση που συνδέει τους δείκτες IRI και PSR, παρουσιάζεται στην ακόλουθη εξίσωση.

$$PSR = 5 * e^{-0,0000577 * IRI} \quad [3.6]$$

Πίνακας 3.4: Όρια αποκλεισμού στοιχείων ομαλότητας

Ηλικία (έτη)	Κατώτερο όριο		Ανώτερο όριο	
	IRI (mm)	PSR	IRI (mm)	PSR
0	1,43	3,5	28	4,5
10	1,43	0	94	3,5



Σχήμα 3.7: Όρια ομαλότητας

3.2.4.3 Ταξινόμηση στοιχείων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα χωριστό μοντέλο πρέπει να αναπτυχθεί για κάθε συνδυασμό της δραστηριότητας αποκατάστασης, του τύπου οδοστρώματος, της λειτουργικής ταξινόμησης, της κατηγορίας περιβάλλοντος, της κατηγορίας κυκλοφορίας, της κατηγορίας υπόβασης και της κατηγορίας πάχους.

Δεδομένου ότι για την υπόβαση, οι πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες στις περισσότερες βάσεις δεδομένων, το μοντέλο αναπτύχθηκε ανεξάρτητα από την κατηγορία υπόβασης. Εντούτοις όταν αυτά τα στοιχεία είναι διαθέσιμα στο μέλλον, τα μοντέλα μπορούν να ρυθμιστούν ανάλογα με την κατηγορία υπόβασης.

Η έρευνα που διεξήχθη στα ιστορικά στοιχεία έδειξε ότι η ανάπτυξη των ξεχωριστών μοντέλων για διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας και πάχους δεν είναι απαραίτητη. Τα μοντέλα αντίστροφης ανάλυσης που αναπτύχθηκαν βασισμένα σε αυτές τις κατηγορίες δεν ήταν σημαντικά διαφορετικά.

Η επίδραση του περιβάλλοντος ερευνήθηκε πριν από την παραγωγή του μοντέλου έτσι ώστε να προσδιοριστεί εάν η ζώνη περιβάλλοντος έχει σημαντική επίδραση στην συμπεριφορά του οδοστρώματος. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας, μόνο δύο ζώνες περιβάλλοντος εξετάζονται στην ανάλυση, οι οποίες είναι η πεδινή ζώνη ερήμων και η ορεινή ζώνη. Επίσης λόγω της διαφορετικής απόδοσης μεταξύ των εθνικών και των μη-εθνικών οδών, οι περιβαλλοντικές ζώνες θα συνδυαστούν με την κατηγορία της οδού, έτσι ώστε οι περιβαλλοντικοί και λειτουργικοί συνδυασμοί κατηγορίας να είναι:

- Κατηγορία 1 -- τμήματα εθνικής οδού στην πεδινή ζώνη
- Κατηγορία 2 -- τμήματα εθνικής οδού στην ορεινή ζώνη
- Κατηγορία 3 -- τμήματα μη-εθνικής οδού στην πεδινή ζώνη
- Κατηγορία 4 -- τμήματα μη-εθνικής οδού στην ορεινή ζώνη

3.2.4.4 Διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία

Τα ιστορικά στοιχεία εξήχθησαν για κάθε δραστηριότητα αποκατάστασης και ταξινομήθηκαν βασισμένα στη λειτουργική κατηγορία και τη ζώνη περιβάλλοντος. Ο Πίνακας 3.5 παρουσιάζει τον αριθμό των διαθέσιμων ιστορικών στοιχείων για την αντίστροφη ανάλυση που ταξινομούνται κατά τη λειτουργική κατηγορία και την περιβαλλοντική ζώνη, πριν και μετά από το φιλτράρισμα των στοιχείων, όπου ο αριθμός των στοιχείων μετά από φιλτράρισμα είναι μέσα σε παρένθεση. Όπως μπορεί να σημειωθεί από τον πίνακα, ο αριθμός των στοιχείων για κάθε συνδυασμό ποικίλλει και μερικοί συνδυασμοί δεν έχουν καθόλου στοιχεία.

Πίνακας 3.5: Ιστορικά στοιχεία διαθέσιμα για την αντίστροφη ανάλυση

Δραστηριότητα Αποκατάστασης	Περιβαλλοντική/Λειτουργική Κατηγορία			
	Κατηγ. 1	Κατηγ. 2	Κατηγ. 3	Κατηγ. 4
201	2473 (1818)	1849 (1647)	2011 (1822)	3169 (2946)
202	88 (78)	2733 (2488)	253 (246)	1328 (1127)
206			651 (552)	2060 (1841)
211			623 (591)	1129 (1037)
212	2872 (2041)	2451 (1856)	81 (67)	184 (151)
213	4934 (3569)	10036 (7780)	405 (347)	338 (269)
214	11 (11)	1531 (1186)		346 (270)
215	2053 (1532)	2962 (2190)	103 (79)	300 (247)
216		200 (142)	783 (527)	916 (653)
217	72 (60)			
221	11 (11)	854 (601)	3442 (2358)	34308 (27005)
222	264 (148)	4056 (3354)	357 (287)	2042 (1587)
223	3663 (2504)	7617 (5898)	3268 (2872)	4839 (4305)
228	602 (535)	2974 (1968)	631 (480)	2505 (1562)
238	4399 (3114)	9189 (6885)	726 (481)	2425 (1844)
251	7 (7)	252 (162)		36 (32)
252				276 (190)
501	204 (173)	547 (520)	2135 (1678)	5777 (4811)

*Σημείωση: Οι αριθμοί που παρουσιάζονται μεταξύ των παρενθέσεων είναι διαθέσιμα στοιχεία μετά από φιλτράρισμα

3.2.4.5 Αρχική κατάσταση

Η αρχική κατάσταση του οδοστρώματος αμέσως μετά από μια συγκεκριμένη δραστηριότητα αποκατάστασης (η κατάσταση στην ηλικία 0) ή ο συντελεστής O στο σιγμοειδές πρότυπο, καθορίστηκε γενικά με την παρέκταση της μέσης απόδοσης στο πρώτο και δεύτερο έτος της ζωής του οδοστρώματος. Εντούτοις, αυτή η αρχική κατάσταση έπρεπε να είναι καλύτερη ή τουλάχιστον ίση με την ελάχιστη αποδεκτή κατάσταση βασισμένη στην εμπειρία για κάθε συνδυασμό δραστηριότητας/κατηγορίας. Ο Πίνακας 3.6 παρουσιάζει την ελάχιστη αποδεκτή αρχική κατάσταση.

Πίνακας 3.6: Κατώτατα αρχικά επίπεδα ομαλότητας (IRI σε m/km)

Δραστηριότητα Αποκατάστασης		Περιβαλλοντική/Λειτουργική Κατηγορία			
		Κατηγ. 1	Κατηγ. 2	Κατηγ. 3	Κατηγ. 4
Αρχική Κατασκευή / Ανακατασκευή		0,071	0,071	0,068	0,068
Αποκατάσταση	Χωρίς Απόξεση	0,064	0,064	0,061	0,061
	Απόξεση	0,067	0,067	0,064	0,064

3.2.5 Διάρκειας ζωής οδοστρώματος και επίπεδα συναγεργμού

Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής εξυπηρετικότητας (performance) των διαφορετικών δραστηριοτήτων συντήρησης και αποκατάστασης καθιερώθηκαν βάσει της εμπειρίας των στελεχών της αρμόδιας Υπηρεσίας. Οι αναμενόμενες ζωές υπηρεσίας των δραστηριοτήτων αποκατάστασης χρειάζονται για την αξιολόγηση της λογικής των μοντέλων που αναπτύσσονται βασισμένα στα ιστορικά στοιχεία και για τη ρύθμισή τους εάν αυτό είναι απαραίτητο.

Επίσης, τα επίπεδα συναγεργμού για αποκατάσταση ή τα επίπεδα ελάχιστων ορίων καθιερώνονται βάσει συζήτησης με το προσωπικό της αρμόδιας Υπηρεσίας.

Ο Πίνακας 3.7 παρουσιάζει επίπεδα συναγεργμού αποκατάστασης για κάθε κατηγορία περιβάλλοντος και λειτουργικής ταξινόμησης, από την άποψη των δεικτών IRI και PSR.

Πίνακας 3.7: Επίπεδο συναγεργμού ομαλότητας (IRI) για αποκατάσταση

Επίπεδο συναγεργμού	Περιβαλλοντική/Λειτουργική Κατηγορία			
	Κατηγ. 1	Κατηγ. 2	Κατηγ. 3	Κατηγ. 4
IRI (m/km)	1,138	1,138	1,366	1,366
PSR	3,75	3,75	3,55	3,55

3.2.6 Ανάπτυξη των μοντέλων πρόβλεψης ρηγματώσεων

Παρόμοια με τον δείκτη PSR, τα μοντέλα πρόβλεψης ρηγματώσεων αναπτύχθηκαν βασισμένα στα ιστορικά στοιχεία ρηγματώσεων.

Στις περιπτώσεις που είναι διαθέσιμα αρκετά ιστορικά στοιχεία χρησιμοποιούνται μη γραμμικές τεχνικές αντίστροφης ανάλυσης για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης ρηγματώσεων ως εργαλείο για την έναρξη δραστηριοτήτων αποκατάστασης.

3.2.6.1 Μοντέλο πρόβλεψης ρηγματώσεων

Για τα πρότυπα πρόβλεψης φθορών χρησιμοποιείται ένα εκθετικό πρότυπο. Αυτή η μορφή χρησιμοποιείται επειδή παρέχει κατάλληλη ποσοτικοποίηση της μεταβολής των φθορών, η οποία αρχίζει συνήθως από 0,0 και αυξάνεται με τον χρόνο. Ο τύπος του εκθετικού μοντέλου έχει ως ακολούθως:

$$C = e^{-\left(\frac{k}{Age}\right)^B} \quad [3.7],$$

όπου C είναι το ποσοστό ρηγματώσεων, Age είναι η ηλικία σε έτη, το k και το B είναι συντελεστές που καθορίζουν τη μορφή του μοντέλου.

3.2.6.2 Ανάπτυξη των μοντέλων ρηγματώσεων

Τα ιστορικά στοιχεία δεν παρέχουν πάντα τον γνώμονα για την ανάπτυξη των διαφορετικών μοντέλων πρόβλεψης ρηγματώσεων για διαφορετικές δραστηριότητες αποκατάστασης και περιβαλλοντικές ζώνες. Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη ήταν να ομαδοποιηθούν οι δραστηριότητες αποκατάστασης σε διάφορες ομάδες δραστηριότητας αποκατάστασης με βάση τον τύπο δραστηριότητας. Τα μοντέλα πρόβλεψης αναπτύσσονται έπειτα για αυτές τις ομάδες χρησιμοποιώντας τα ιστορικά στοιχεία μέσω της αντίστροφης ανάλυσης. Αυτά τα μοντέλα έπειτα ρυθμίζονται για να συμπεριλάβουν τη διαφορετική απόδοση μεταξύ των περιβαλλοντικών ζωνών.

Οι δραστηριότητες αποκατάστασης ομαδοποιήθηκαν σε 7 μοντέλα εξέλιξης ρηγματώσεων, B1 έως B7.

Ο Πίνακας 3.8 παρουσιάζει αυτές τις ομάδες και δραστηριότητες αποκατάστασης μέσα σε κάθε ομάδα. Όπως μπορεί να σημειωθεί από τον Πίνακα, κάθε ομάδα περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες αποκατάστασης αναμενόμενης παρόμοιας συμπεριφοράς.

Τα στοιχεία ρηγματώσεων αντιστοιχίστηκαν για κάθε ομάδα. Έπειτα εκτελέστηκε μια μη γραμμική αντίστροφη ανάλυση στα στοιχεία κάθε μίας από αυτές τις ομάδες για την ανάπτυξη του βέλτιστου μοντέλου για κάθε ομάδα δραστηριοτήτων αποκατάστασης. Σε επόμενο στάδιο το κάθε μοντέλο ρυθμίζεται για τις διαφορετικές περιβαλλοντικές ζώνες.

Πίνακας 3.8: Ομάδες μοντέλων ρηγματώσεων και αντίστοιχες δραστηριότητες αποκατάστασης [Πηγή: ADOT, 2003]

Ομάδα μοντέλου εξέλιξης ρηγματώσεων	Περιγραφή δραστηριότητας αποκατάστασης
B1	Αποξήλωση και αντικατάσταση με λεπτό συμβατικό τάπητα κυκλοφορίας
B2	Αποξήλωση και αντικατάσταση με λεπτό στεγανοποιητικό τάπητα κυκλοφορίας
B3	Αποξήλωση και αντικατάσταση με παχύ συμβατικό τάπητα κυκλοφορίας
B4	Επεμβάσεις επιφανείας και επίστρωση με λεπτό συμβατικό τάπητα κυκλοφορίας
B5	Επίστρωση με παχύ συμβατικό τάπητα κυκλοφορίας
B6	Επίστρωση με παχύ στεγανοποιητικό τάπητα κυκλοφορίας
B7	Εργασίες ανακατασκευής

3.2.6.3 Τελικό σύνολο μοντέλων πρόβλεψης ρηγματώσεων

Τα μοντέλα ρηγματώσεων ρυθμίστηκαν για να συμπεριλάβουν τις διαφορές στην αναμενόμενη απόδοση μεταξύ των διαφορετικών περιβαλλοντικών ζωνών. Η διάρκεια ζωής υπηρεσιών υποτίθεται ότι είναι η ηλικία στην οποία το τμήμα του οδοστρώματος φθάνει σε ένα επίπεδο ρηγματώσεων 5% επί της επιφάνειάς του. Η διάρκεια ζωής υπηρεσιών των τμημάτων που βρέθηκαν στην πεδινή περιβαλλοντική ζώνη είναι αναμενόμενο να είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια ζωής υπηρεσιών του τμήματος στην ορεινή ζώνη.

Ο Πίνακας 3.9 παρουσιάζει την αναμενόμενη ζωή υπηρεσιών για κάθε ομάδα δραστηριοτήτων, που βασίζεται σε ένα επίπεδο συναγερμού των ρηγματώσεων ίσο με 5% επί της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Πίνακας 3.9: Κατά προσέγγιση διάρκεια ζωής εξυπηρετικότητας (έτη) για τα μοντέλα πρόβλεψης ρηγματώσεων

Ομάδα Μοντέλων Ρηγματώσεων	Περιβαλλοντική Ζώνη	
	Πεδινή	Ορεινή
B1	9,4	7,6
B2	9,2	7,3
B3	11,7	9,9
B4	7,5	5,9
B5	10,5	8,6
B6	12,5	10,3
B7	15,8	13,8

3.3 Προσέγγιση για την ένταξη συντήρησης σε σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων (ΣΔΟ)

Ένας από τους κύριους στόχους όλων των παραπάνω είναι να επεκταθεί η χρήση των μοντέλων πρόβλεψης ώστε να υποστηρίξει τις λειτουργίες συντήρησης. Αυτός ο στόχος επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση της διορθωτικής συντήρησης και των προληπτικών δραστηριοτήτων συντήρησης στο γενικό πλαίσιο της ανάλυσης συντήρησης και αποκατάστασης (Σ&Α) και της ανάλυσης βελτιστοποίησης.

Οι ακόλουθες υποενότητες παρέχουν μια συνοπτική περιγραφή αυτής της προσέγγισης. Πρέπει να σημειωθεί εντούτοις, ότι αυτή η προσέγγιση αναπτύχθηκε βασισμένη στις ακόλουθες υποθέσεις:

- Το διορθωτικό πρόγραμμα συντήρησης είναι ένα μονοετές πρόγραμμα, όπου η επιλογή τμημάτων είναι βασισμένη στα τρέχοντα στοιχεία κατάστασης. Επίσης, ο αντίκτυπος των δραστηριοτήτων στη μελλοντική απόδοση είναι αμελητέος.
- Η προληπτική συντήρηση και τα προγράμματα αποκατάστασης είναι πολυετή προγράμματα, όπου η επιλογή τμημάτων είναι βασισμένη στα τρέχοντα και προβλεφθέντα στοιχεία απόδοσης.
- Ο αντίκτυπος των προγραμμάτων προληπτικής συντήρησης και αποκατάστασης στη μελλοντική απόδοση οδοστρωμάτων συμπεριλαμβάνεται στη χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων μοντέλων πρόβλεψης απόδοσης.
- Οι περιορισμοί προϋπολογισμών εξετάζονται στη διαδικασία επιλογής τμημάτων και τα υποψήφια τμήματα «ανταγωνίζονται» το ένα με το άλλο, βάσει της οικονομικής αποτελεσματικότητας.

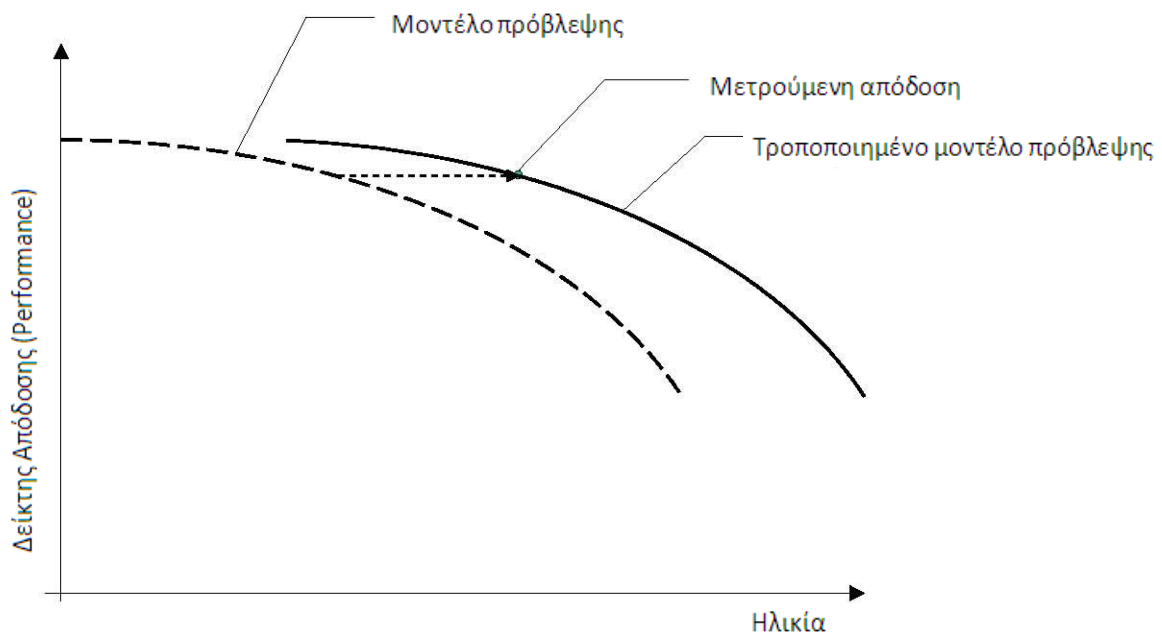
3.3.1 Δημιουργία των τμημάτων ανάλυσης και πρόβλεψη της απόδοσης οδοστρωμάτων

Ολόκληρο το δίκτυο εθνικών οδών διαιρείται σε τμήματα ανάλυσης. Αυτά τα τμήματα

διαίρούνται είτε με βάση την εμπειρία των μηχανικών της Υπηρεσίας είτε με δυναμική τμηματοποίηση με βάση συγκεκριμένα κριτήρια.

Για κάθε ομοιογενές τμήμα, η μελλοντική κατάσταση, από την άποψη της ομαλότητας και των φθορών επιφάνειας, προβλέπεται για κάθε έτος της περιόδου ανάλυσης χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα μοντέλα για το τμήμα αυτό.

Σε περίπτωση που ένα συγκεκριμένο μοντέλο πρόβλεψης προεπιλογής χρησιμοποιείται, το επιλεγμένο πρότυπο ρυθμίζεται ώστε να συμπεριλάβει τα πιο πρόσφατα ιστορικά στοιχεία με να μετατοπίσει το πρότυπο οριζόντια έτσι ώστε το πιο πρόσφατο γνωστό σημείο στοιχείων απόδοσης να συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο προεπιλογής, όπως φαίνεται στον Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Διαφοροποίηση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής κατάστασης

Τα τμήματα ανάλυσης είναι υποψήφια για προληπτική συντήρηση εάν η ηλικία τους είναι ίση ή μικρότερη από 7 έτη. Όλα τα τμήματα που δεν είναι υποψήφια για προληπτική συντήρηση είναι υποψήφια για διορθωτική συντήρηση ή αποκατάσταση. Εντούτοις, τα τμήματα είναι υποψήφια για αποκατάσταση μόνο εάν η προβλεφθείσα απόδοσή τους φθάνει τα επίπεδα συναγερμού οποτεδήποτε κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης.

3.3.2 Επιλογή επεξεργασίας

Τα τμήματα που είναι υποψήφια για προληπτική συντήρηση εξετάζονται με βάση το κατάλληλο δέντρο απόφασης προληπτικής συντήρησης για να προσδιοριστούν οι κατάλληλες εργασίες. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η διαδικασία θα επαναλαμβάνεται για κάθε έτος στην περίοδο ανάλυσης, εφόσον ικανοποιείται ακόμα το κριτήριο

προληπτικής συντήρησης (ηλικία μικρότερη ή ίση προς 7 έτη). Η τελική έκβαση αυτού του βήματος είναι ένας κατάλογος τμημάτων που είναι υποψήφια για προληπτική συντήρηση και οι εργασίες συντήρησης για κάθε τμήμα κάθε έτους της περιόδου ανάλυσης.

Οι περιορισμοί προϋπολογισμών εφαρμόζονται στις προκύπτουσες εφικτές εργασίες για να επιλεγεί το οικονομικώς πίο αποδοτικό πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης. Η προβλεφθείσα απόδοση των τμημάτων που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης θα αναθεωρηθεί σύμφωνα με την πρόβλεψη. Αυτά τα τμήματα θα εξεταστούν για αποκατάσταση εάν η αναθεωρημένη απόδοσή τους ενδείκνυται για αποκατάσταση κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης. Τα τμήματα που είναι υποψήφια για προληπτική συντήρηση και δεν επιλέγονται στο πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης θα ελεγχθούν όσον αφορά την αποκατάσταση βάσει της προβλεφθείσας απόδοσής τους.

Όλα τα τμήματα που δεν επιλέγονται για προληπτική συντήρηση θα περάσουν από το κατάλληλο δέντρο απόφασης ώστε να προσδιοριστούν οι διορθωτικές εργασίες συντήρησης για αυτά. Εντούτοις, η επιλογή μιας διορθωτικής δραστηριότητας συντήρησης για οποιοδήποτε τμήμα δεν είναι βέβαιο ότι θα έχει επίδραση στη μελλοντική απόδοσή του και θα εξεταστεί για ενδεχόμενη αποκατάσταση. Τα τμήματα που θα εξεταστούν για αποκατάσταση είναι:

- Τα τμήματα που δεν είναι υποψήφια για προληπτική συντήρηση και προκαλείται η αποκατάσταση βάσει της προβλεφθείσας απόδοσής τους και το κατάλληλο επίπεδο συναγερμού.
- Τμήματα που είναι υποψήφια για προληπτική συντήρηση, αλλά δεν επιλέγονται στο πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης λόγω προϋπολογισμού και προκαλείται αποκατάσταση βάσει της προβλεφθείσας απόδοσής τους και το κατάλληλο επίπεδο συναγερμού.
- Τμήματα που είναι στο πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης και προκαλείται αποκατάσταση βάσει της αναθεωρημένης προβλεφθείσας απόδοσής τους και το κατάλληλο επίπεδο συναγερμού.

Αυτά τα τμήματα θα περάσουν από το κατάλληλο δέντρο απόφασης για αποκατάσταση ώστε να προσδιοριστούν οι κατάλληλες εργασίες. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε έτος στην περίοδο ανάλυσης. Η τελική έκβαση αυτού του βήματος είναι ένας κατάλογος τμημάτων που ενδείκνυται για αποκατάσταση για κάθε ένα από τα έτη ανάλυσης και τις κατάλληλες εργασίες για κάθε τμήμα κάθε έτους της περιόδου ανάλυσης. Για κάθε συνδυασμό τμήμα/εργασία/έτος (section/treatment/year), υπολογίζονται το κόστος, η αποτελεσματικότητα και η οικονομική αποτελεσματικότητα.

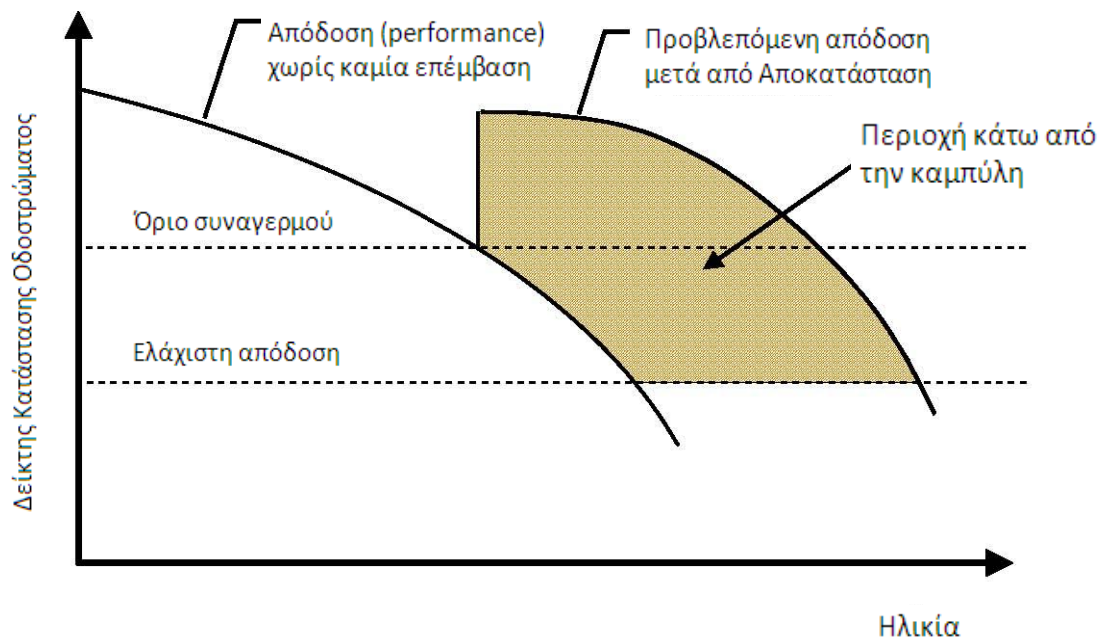
Το κόστος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το κόστος μονάδας για την επιλεγμένη δραστηριότητα συντήρησης. Η αποτελεσματικότητα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας

την ακόλουθη εξίσωση:

Αποτελεσματικότητα=Στάθμιση*Τμήμα*Περιοχή-κάτω-από-την-καμπύλη [3.8] ,

όπου η «στάθμιση» είναι ένας παράγοντας που καθορίζεται για να παρέχει μια εκτίμηση προτεραιότητας στα διαφορετικά τμήματα. Αυτήν την περίοδο, ο παράγοντας στάθμισης είναι μια λειτουργία της ΜΗΚ. Το «Τμήμα» είναι η περιοχή του οδοστρώματος. Η «περιοχή κάτω από την καμπύλη» είναι η περιοχή κάτω από την καμπύλη αποκατάστασης και επάνω από την καμπύλη χωρίς καμία επέμβαση, παράλληλα πάνω από το κατώτερο καθορισμένο επίπεδο απόδοσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9.

Η οικονομική αποτελεσματικότητα μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας σε ένα τμήμα οδοστρώματος είναι η σχέση μεταξύ της αποτελεσματικότητας και του κόστους. Όσο υψηλότερη η τιμή της με ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα, τόσο περισσότερο το όφελος για τη γενική απόδοση των δικτύων. Η οικονομική αποτελεσματικότητα χρησιμοποιείται στην ανάλυση βελτιστοποίησης για να επιλέξει το περισσότερο «ευεργετικό» πρόγραμμα και για να δώσει προτεραιότητα στα τμήματα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιλογής.



Σχήμα 3.9: Αποτελεσματικότητα εργασιών αποκατάστασης – περιοχή κάτω της καμπύλης

Για την ανάλυση χρησιμοποιούνται είτε περιορισμοί προϋπολογισμών είτε περιορισμοί απόδοσης. Οι περιορισμοί προϋπολογισμών χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των περιορισμένων προϋπολογισμών, ενώ οι περιορισμοί απόδοσης χρησιμοποιούνται όταν δεν τίθεται θέμα προϋπολογισμού μέχρι ένα συγκεκριμένο επίπεδο απόδοσης. Και οι δύο περιορισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην

ανάλυση βελτιστοποίησης, αλλά όχι για το ίδιο έτος. Η κατανομή προϋπολογισμών είναι συνήθως βασισμένη στην οικονομική αποτελεσματικότητα, το οποίο σημαίνει ότι ο προϋπολογισμός διατίθεται για να επιτύχει την υψηλότερη πιθανή απόδοση για το δίκτυο. Το τελικό πρόγραμμα θα αποτελείται από:

- Πρόγραμμα διορθωτικής συντήρησης οδοστρώματος, όπως εξηγείται ανωτέρω.
- Πρόγραμμα συντήρησης οδοστρώματος, το οποίο περιλαμβάνει το πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης και το πρόγραμμα αποκατάστασης.

3.4 Δέντρα Απόφασης

Τα δέντρα απόφασης (ΔΑ) είναι ένα από τα κρίσιμα τμήματα που μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα ανάλυσης. Τα ΔΑ χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν τη λογική προσέγγιση για την επιλογή των εφικτών εναλλακτικών λύσεων συντήρησης για κάθε τμήμα κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, βάσει της κατάστασης και της απόδοσης των τμημάτων. Χρησιμοποιούνται δύο τύποι των ΔΑ, οι οποίοι αφορούν την προληπτική συντήρηση και τη διορθωτική συντήρηση.

Τα δέντρα απόφασης πρέπει να αναπτυχθούν για κάθε συνδυασμό κατάστασης οδοστρώματος, όπως ο τύπος οδοστρώματος, η περιβαλλοντική ζώνη κ.λπ. Ο Πίνακας 3.10 παρουσιάζει τις μεταβλητές που εξετάζονται στην ανάπτυξη των δέντρων απόφασης και τα επίπεδα αυτών των μεταβλητών.

Πίνακας 3.10: Μεταβλητές που εξετάζονται για τα δέντρα απόφασης

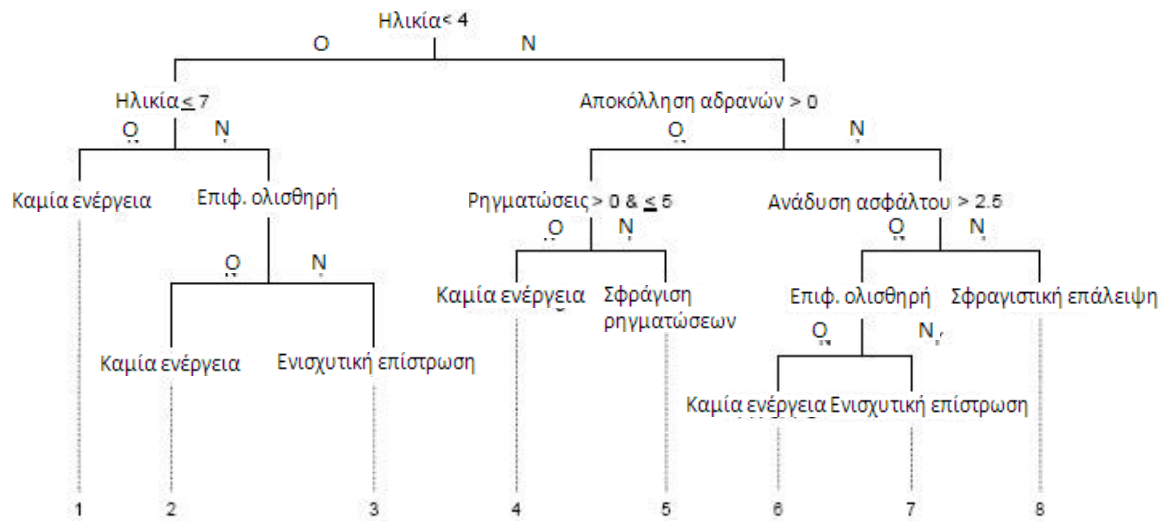
Μεταβλητή	Επίπεδα
Τύπος συντήρησης	<ul style="list-style-type: none"> • Προληπτική συντήρηση • Διορθωτική συντήρηση • Αποκατάσταση
Τύπος οδοστρώματος	<ul style="list-style-type: none"> • Εύκαμπτο οδόστρωμα • Μη εύκαμπτο οδόστρωμα
Λειτουργική κατηγορία	<ul style="list-style-type: none"> • Υπεραστικές οδοί • Μη υπεραστικές οδοί

3.4.1 Δέντρα απόφασης προληπτικής συντήρησης

Τα δέντρα απόφασης προληπτικής συντήρησης σχεδιάζονται για να εξετάσουν τα τμήματα οδοστρωμάτων με σχετικά καλή επιφανειακή κατάσταση προκειμένου να διατηρηθεί μια τέτοια κατάσταση.

Τα δέντρα απόφασης προληπτικής συντήρησης για τα εύκαμπτα οδοστρώματα αναπτύσσονται για τις εθνικές και μη εθνικές οδούς. Τα δέντρα απόφασης για τις εθνικές και μη εθνικές οδούς είναι γενικά παρόμοια, με εξαίρεση τις τελικές εργασίες.

Στις εθνικές οδούς χρησιμοποιείται συνήθως επενδεδυμένος με καουτσούκ τάπητας κυκλοφορίας ή ο συμβατικός τάπητας, ενώ για τις μη-εθνικές οδούς χρησιμοποιείται ο συμβατικός τάπητας ή η σφραγιστική επάλειψη. Το Σχήμα 3.10 παρουσιάζει δέντρα απόφασης προληπτικής συντήρησης για τις εθνικές οδούς. Ο Πίνακας 3.11 περιγράφει τη δομή αυτών των δέντρων.



Σχήμα 3.10: Δομή δέντρων απόφασης για προληπτική συντήρηση

3.4.2 Δέντρα απόφασης διορθωτικής συντήρησης

Τα δέντρα απόφασης διορθωτικής συντήρησης σχεδιάζονται για να εξετάσουν τις εντοπισμένες φθορές οδοστρωμάτων κατά τη διάρκεια μιας περιόδου προγραμματισμού ενός έτους. Τα δέντρα απόφασης διορθωτικής συντήρησης είναι βασισμένα στην παρουσία μεμονωμένων φθορών και περιλαμβάνουν τη διαλογική ενημέρωση των εργασιών συντήρησης, των κοστών μονάδας και των παραμέτρων απόφασης που χρησιμοποιούνται στην επιλογή των εργασιών συντήρησης. Αυτό περιλαμβάνει μια ιεραρχία δραστηριότητας, δηλαδή μια ιεραρχία των γενικών εργασιών συντήρησης.

Παραδείγματος χάριν, εάν οι φθορές σε ένα τμήμα οδηγούν στην επιλογή της πλήρωσης ρηγματώσεων (crack filling) μαζί με αυτήν της σφραγιστικής επάλειψης (seal coat) για έναν τύπο φθοράς και στην επιλογή της σφραγιστικής επάλειψης για έναν άλλο τύπο φθοράς, τότε η ιεραρχία θα μπορούσε να τεθεί ως εργαλείο επιλογής της πλήρωσης ρηγματώσεων (crack filling) μαζί με αυτήν της σφραγιστικής επάλειψης (seal coat) μόνο. Η επιλογή αλληλεπίδρασης των δραστηριοτήτων Σ & Γ καθορίζει τη γενική ιεραρχία της δραστηριότητας συντήρησης. Για κάθε γενική δραστηριότητα συντήρησης (Γ), οι τοπικές (Σ) δραστηριότητες μπορούν να περιληφθούν ή να αποκλειστούν. Παραδείγματος χάριν, εάν επιλέχτηκε η σφραγιστική επάλειψη, κατόπιν η πλήρωση ρηγματώσεων θα αποκλειόταν ή θα περιλαμβανόταν στον σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης. Για την εργασία πλήρωσης ρηγματώσεων μαζί με αυτήν της σφραγιστικής επάλειψης, η πλήρωση ρηγματώσεων μπορεί να είναι

για συμπεριλαμβανόμενη δραστηριότητα πριν από τη σφραγιστική επάλειψη για να επιβραδύνει την εξάπλωση των ρωγμών.

Πίνακας 3.11: Περιγραφή κόμβων των δέντρων απόφασης για προληπτική συντήρηση

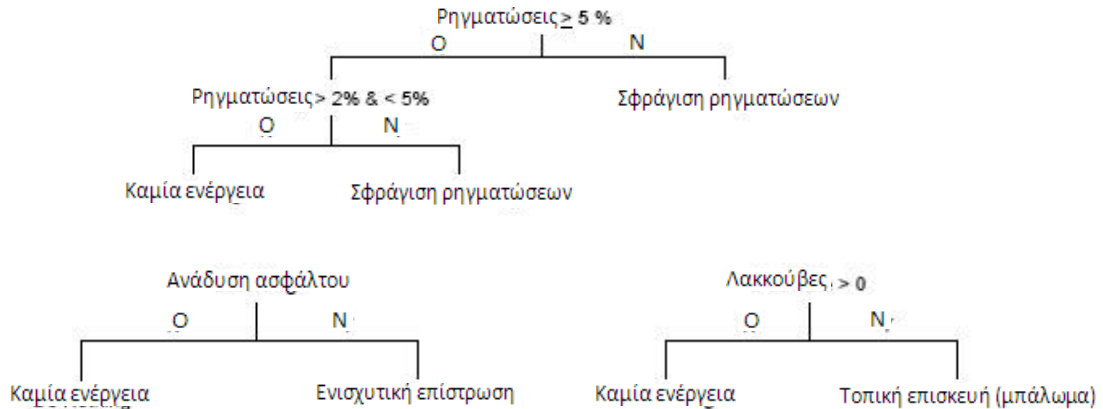
Κόμβος	Περιγραφή	Πιθανή κατάσταση οδοστρώματος	Πρόταση
1	Το οδόστρωμα ήδη έχει ηλικία άνω των 7 ετών και δεν είναι υποψήφιο για προληπτική συντήρηση		Αντεδείκνυται προληπτική συντήρηση
2	Το οδόστρωμα έχει ηλικία μεταξύ 4 και 7 ετών χωρίς προηγούμενη σφραγιστική ή νέα στρώση τάπητα κυκλοφορίας		Σφραγιστική ή νέα στρώση τάπητα κυκλοφορίας
3	Το οδόστρωμα έχει ηλικία μεταξύ 4 και 7 ετών με/χωρίς προηγούμενη σφραγιστική ή νέα στρώση τάπητα κυκλοφορίας	Η σφραγιστική ή νέα στρώση τάπητα κυκλοφορίας ενδέχεται να έχουν φθαρεί	Σφραγιστική ή νέα στρώση τάπητα κυκλοφορίας για μείωση θορύβου
4	Το οδόστρωμα είναι σχετικά καινούριο, χωρίς απόσπαση αδρανών ή ρηγματώσεις (ρηγματώσεις >5% θα πυροδοτήσουν αποκατάσταση)	Οδόστρωμα σε καλή κατάσταση	Καμία ενέργεια
5	Το οδόστρωμα είναι σχετικά καινούριο, χωρίς απόσπαση αδρανών και μερικές ρηγματώσεις	Μικρής έκτασης ρηγμάτωση επιφάνειας	Σφράγιση ρηγματώσεων
6	Το οδόστρωμα είναι σχετικά καινούριο, με μικρής έκτασης απόσπαση αδρανών – ανάδυση ασφάλτου	Απόσπαση αδρανών και ανάδυση ασφάλτου	Νέα στρώση ασφαλτοτάπητα
7	Το οδόστρωμα είναι σχετικά καινούριο, με μικρής έκτασης απόσπαση αδρανών – ανάδυση ασφάλτου	Απόσπαση αδρανών και ανάδυση ασφάλτου	Αποξήλωση και επίστρωση με νέου τάπητα κυκλοφορίας
8	Το οδόστρωμα είναι σχετικά καινούριο, με μικρής έκτασης απόσπαση αδρανών και καθόλου ανάδυση ασφάλτου	Πρόβλημα απόσπασης αδρανών	Ασφαλτική επάλειψη

Κατόπιν συζητήσεων με το προσωπικό του ADOT και βάσει των ιστορικών στοιχείων φθορών της βάσης δεδομένων του ADOT, αναπτύχθηκαν τα δέντρα απόφασης διορθωτικής συντήρησης για τα εύκαμπτα οδοστρώματα για τρεις τύπους φθορών επιφάνειας, οι οποίες είναι η ρηγμάτωση, η ανάδυση ασφάλτου και οι λακκούβες. Το Σχήμα 3.11 παρουσιάζει τα δέντρα απόφασης για τα εύκαμπτα οδοστρώματα στις εθνικές οδούς. Όπως μπορεί να σημειωθεί, τα δέντρα διορθωτικής συντήρησης είναι μια ομάδα μεμονωμένων δέντρων κάθε ένα από τα οποία βασίζεται σε έναν συγκεκριμένο τύπο φθοράς.

3.4.3 Επίπεδα απόδοσης για τα δέντρα απόφασης

Ο Πίνακας 3.12 συνοψίζει τα όρια απόδοσης οδοστρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των ΔΑ για τα τμήματα εύκαμπτων οδοστρωμάτων και για τις εθνικές και μη-εθνικές οδούς. Αυτά τα όρια αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας τα ιστορικά στοιχεία απόδοσης για τις εθνικές οδούς διαθέσιμα από το ADOT HPMA και μέσω

συζητήσεων με το προσωπικό του ADOT. Στον Πίνακα 3.12, το επίπεδο I περιγράφει μια αποδεκτή κατάσταση, το επίπεδο II μια κατάσταση συναγερμού, ενώ το επίπεδο III δείχνει την αστοχία του οδοστρώματος. Το όριο μεταξύ του επιπέδου I και του επιπέδου II καθορίζει το επίπεδο έναρξης συναγερμού, ενώ το όριο μεταξύ του επιπέδου II και του επιπέδου III καθορίζει το επίπεδο αστοχίας.



Σχήμα 3.11: Δομή δέντρων απόφασης για διορθωτική συντήρηση

Πίνακας 3.12: Επίπεδα απόδοσης για τα δέντρα απόφασης εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Παράμετρος	Εθνικές οδοί			Μη εθνικές οδοί		
	Επίπεδο I	Επίπεδο II	Επίπεδο III	Επίπεδο I	Επίπεδο II	Επίπεδο III
Ρηγματώση	$\leq 5\%$	$> 5\%$ και $\leq 20\%$	$> 20\%$	$\leq 8\%$	$> 8\%$ και $\leq 25\%$	$> 25\%$
Ομαλότητα	$PSR \geq 4,0$	$4,0 > PSR \geq 3,2$	$PSR < 3,2$	$PSR \geq 3,6$	$3,6 > PSR \geq 2,8$	$PSR < 2,8$
Τροχοαυλάκωση	$\leq 0,5$	$> 0,5$ και $\leq 1,0$	$> 1,0$	$\leq 0,5$	$> 0,5$ και $\leq 1,0$	$> 1,0$
Ανάδυση ασφάλτου	$\geq 3,5$	$< 3,5$ και $\geq 2,5$	$< 2,5$	$\geq 3,5$	$< 3,5$ και $\geq 2,5$	$< 2,5$

Πίνακας 3.13: Περιγραφή των κόμβων των δέντρων απόφασης για τα εύκαμπτα οδοστρώματα εκτός εθνικού δικτύου

Κόμβος	Περιγραφή	Πιθανή κατάσταση οδοστρώματος	Πρόταση
1	Οδόστρωμα σε καλή κατάσταση	Κανένα πρόβλημα	Καμία ενέργεια / Προληπτική συντήρηση
2	Ανάδυση ασφάλτου χωρίς ρηγματώσεις	Πρόβλημα ανάδυσης ασφάλτου	Συντήρηση επιφάνειας οδοστρώματος
3	Μικρής έκτασης τροχοαυλακώσεις χωρίς ρηγματώσεις	Πρόβλημα ασφαλτικού μίγματος	Συντήρηση επιφάνειας οδοστρώματος
4	Εκτεταμένες τροχοαυλακώσεις χωρίς ρηγματώσεις	Πρόβλημα ασφαλτικού μίγματος	Αποκατάσταση
5	Μικρής έκτασης ρηγματώσεις	Πρόβλημα επιφάνειας	Συντήρηση επιφάνειας οδοστρώματος
6	Αστοχία από ρηγματώσεις	Αστοχία ασφαλτικού μίγματος	Εκτεταμένη αποκατάσταση
7	Αυξημένες τιμές IRI χωρίς ρηγματώσεις και τροχοαυλακώσεις	Πρόβλημα ομαλότητας	Αποξήλωση και επίστρωση νέων ασφαλτικών στρώσεων
8	Αστοχία με υψηλές τιμές IRI χωρίς ρηγματώσεις και τροχοαυλακώσεις	Αστοχία ομαλότητας	Αποκατάσταση
9	Πρόβλημα τροχοαυλακώσεων και αυξημένες τιμές IRI χωρίς ρηγματώσεις	Πρόβλημα ασφαλτικού μίγματος	Αποκατάσταση - Αποξήλωση και επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας
10	Αστοχία με υψηλές τιμές IRI και πρόβλημα τροχοαυλακώσεων	Αστοχία ασφαλτικού μίγματος	Εκτεταμένη αποκατάσταση
11	Μεγάλης έκτασης ρηγματώσεις και αυξημένες τιμές IRI	Πρόβλημα ασφαλτικού μίγματος	Αποξήλωση και επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας
12	Αστοχία με υψηλές τιμές IRI και αυξημένες ρηγματώσεις	Αστοχία ασφαλτικού μίγματος	Εκτεταμένη αποκατάσταση
13	Αστοχία ρηγματώσεων	Αστοχία ασφαλτικού μίγματος	Εκτεταμένη αποκατάσταση
14	Αυξημένες ρηγματώσεις, αυξημένες τιμές IRI και πρόβλημα τροχοαυλακώσεων	Αστοχία ασφαλτικού μίγματος	Εκτεταμένη αποκατάσταση
15	Αστοχία ρηγματώσεων, πρόβλημα τροχοαυλακώσεων και αυξημένες τιμές IRI	Αστοχία ασφαλτικού μίγματος / Πιθανή αστοχία βάσης	Εκτεταμένη αποκατάσταση / Ανακατασκευή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΦΘΟΡΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Το οδόστρωμα είναι ένα από τα σημαντικότερα λειτουργικά στοιχεία της οδού για την εξυπηρέτηση των ενοδίων και για τον προγραμματισμό των επεμβάσεων από τους εκάστοτε φορείς διαχείρισης. Η κατάσταση του οδοστρώματος αφορά άμεσα στους χρήστες της οδού δεδομένου ότι συνδέεται με την οδική ασφάλεια, το λειτουργικό κόστος των μετακινήσεων, την ταχύτητα των οχημάτων, τους χρόνους μετακίνησης και την κυκλοφοριακή άνεση.

Η διατήρηση της κατάστασης του οδοστρώματος, κατά τη φάση της λειτουργίας της οδού, σε επίπεδο παρόμοιο με αυτό που είχε κατά το χρόνο κατασκευής του είναι πρακτικά αδύνατη. Παράγοντες όπως η κυκλοφορία, οι καιρικές συνθήκες, η γήρανση των υλικών, μειώνουν την ποιότητα και την αντοχή του οδοστρώματος.

Η αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό επιφανειακών ποιοτικών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος που επηρεάζουν την ποιότητα κύλισης των οχημάτων και αφορούν άμεσα τους χρήστες της οδού, όπως η ολισθηρότητα, η ομαλότητα και οι φθορές της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος διακρίνονται στις μετρήσεις και καταγραφές επιφανειακών χαρακτηριστικών με ειδικές συσκευές και στις οπτικές παρατηρήσεις των επιφανειακών φθορών.

Η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της αντοχής των επιμέρους στρώσεων και κατ' επέκταση του συνόλου του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αντοχής διακρίνονται στις μετρήσεις με ειδικές συσκευές (μη καταστροφικές μέθοδοι), που είναι και η συνηθέστερη περίπτωση, και στους δειγματοληπτικούς ελέγχους (καταστροφικές μέθοδοι).

Κάθε νέο οδόστρωμα, από τη στιγμή που δίνεται στην κυκλοφορία, υπόκειται στην καταστροφική επίδραση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων όπως των οχημάτων, των καιρικών συνθηκών και της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράλληλα, αρχίζει και μια σταδιακή επιδείνωση της κατάστασης του οδοστρώματος η οποία οφείλεται κυρίως στη διάβρωση, στην αποσύνθεση και στην κόπωση των συστατικών υλικών. Οι παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό με την επάρκεια/αξιοπιστία της μελέτης, την καταλληλότητα των υλικών και την ποιότητα της κατασκευής είναι οι αιτίες για την εμφάνιση, αργά ή γρήγορα, των επιφανειακών φθορών, της κόπωσης και τέλος της αποσύνθεσης του οδοστρώματος.

4.2 Φθορές οδοστρωμάτων

Τα είδη των φθορών των οδοστρωμάτων και τα αίτια που τις προκαλούν αναφέρονται στη βιβλιογραφία, (Shahin, 2000 - BC Ministry of Transportation, 2002), όπως επίσης και ο τρόπος μέτρησής τους. (FHWA, 2003 - SDDOT, 2005). Διάφοροι τύποι φθορών,

που μπορούν να αποτελέσουν δείκτες κατάστασης ενός οδοστρώματος, σχετίζονται με τη λειτουργική ή/και τη δομική κατάσταση του και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Τύποι φθορών και σχέση αυτών με τη λειτουργική και δομική κατάσταση ενός οδοστρώματος [Πηγή: Molenaar, 2005]

Τύπος φθοράς	Λειτουργική κατάσταση	Δομική κατάσταση
Διαμήκεις ανωμαλίες	X	
Εγκάρσιες ανωμαλίες	X	X
Ολισθηρότητα	X	
Απόσπαση αδρανών	X	
Ανάδυση ασφάλτου	X	
Διαμήκεις ρηγματώσεις		X
Εγκάρσιες ρηγματώσεις		X
Ρηγματώσεις αλιγάτορα		X
Λακκούβες	X	X
Αστοχίες/καθιζήσεις	X	X

4.2.1 Η τεχνολογία συλλογής δεδομένων για τις φθορές των οδοστρωμάτων

Οι μέθοδοι καταγραφής φθορών της επιφάνειας των οδοστρωμάτων διακρίνονται κυρίως σε οπτική (manual) και αυτόματη, μέσω λήψης ψηφιακών εικόνων, ή «ψηφιακή» (digital). Η πρώτη χρησιμοποιείται για τη συλλογή στοιχείων των φθορών των οδοστρωμάτων σε τμήματα του οδικού δικτύου (επίπεδο έργου), ενώ η δεύτερη για το σύνολο του οδικού δικτύου (επίπεδο δικτύου).

Η οπτική μέθοδος συνίσταται στην καταγραφή και βαθμολόγηση με οπτική επισκόπηση της κάθε φθοράς που εμφανίζεται στο οδόστρωμα, σε ειδικό έντυπο ή σε υπολογιστές χειρός (Personal Digital Assistants–PDA). Η εργασία αυτή εκτελείται από έμπειρους τεχνικούς, οι οποίοι είτε βαδίζουν κατά μήκος του οδοστρώματος είτε είναι επί οχημάτων (windshield), τα οποία κινούνται με μικρή ταχύτητα στην άκρη της οδού. Πολύτιμο βοήθημα στις επισκοπήσεις των οδοστρωμάτων με την οπτική μέθοδο αποτελεί το Εγχειρίδιο Ταυτοποίησης Φθορών (Distress Identification Manual) το οποίο έχει εκδώσει η FHWA στις ΗΠΑ. Το εγχειρίδιο αυτό αναφέρεται λεπτομερώς στην αναγνώριση, καταγραφή και μεθόδους μέτρησης των διαφόρων τύπων φθορών των οδοστρωμάτων (FHWA, 2003).

Η ψηφιακή μέθοδος συνίσταται στην αποτύπωση της κατάστασης της επιφάνειας του οδοστρώματος με τη λήψη σειράς εικόνων (frames) με ψηφιακές μηχανές (digital cameras), οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ειδικά οχήματα, τα οποία είναι εξοπλισμένα με Η/Υ. Οι απεικονίσεις του οδοστρώματος, οι οποίες αποθηκεύονται ψηφιακά στον Η/Υ, μπορούν να αναγνωσθούν ηλεκτρονικά και να επεξεργασθούν με τη χρήση κατάλληλου απεικονιστικού λογισμικού (Wang και Tee, 2002 - Hung et al., 2003). Σε κάθε καρτέ (frame) καταγράφεται αυτόματα ο χρόνος λήψης και η θέση την οποία αυτό απεικονίζει, η οποία προσδιορίζεται με βάση ένα σημείο αναφοράς (location referencing) (MnDOT, 2004).

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται η ανάπτυξη του *Digital Highway Data Vehicle – DHDV* (Wang, 2007), ενός οχήματος στο οποίο έχει εγκατασταθεί εξοπλισμός της πλέον σύγχρονης τεχνολογίας συλλογής δεδομένων της κατάστασης της επιφάνειας των οδοστρωμάτων. Το οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται έχει την ικανότητα λήψης εικόνων μεγέθους 4.096 εικονοστοιχείων/γραμμή (pixels/line) και δυνατότητα σάρωσης 28.000 γραμμών/sec, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα απεικόνισης ρηγματώσεων στην επιφάνεια του οδοστρώματος της τάξεως του 1 mm. Η λήψη και επεξεργασία των εικόνων γίνεται μέσω κατάλληλου λογισμικού (*Multimedia Highway Information System–MHIS*), ακόμη και όταν το όχημα κινείται με ταχύτητα 100 km/h, δηλαδή σε πραγματικό χρόνο (real-time).

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων (οπτικής και ψηφιακής) για τις φθορές των οδοστρωμάτων προκύπτει, ότι η ψηφιακή είναι περισσότερο ακριβής και λεπτομερής (Smith, 1996) και ότι οι εικόνες που συλλέγονται με την ψηφιακή μέθοδο παρέχουν μεγαλύτερες δυνατότητες για την αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων (Sivaneswaran et al., 2006). Η οπτική μέθοδος, όπως είναι φυσικό, παρουσιάζει εγγενή προβλήματα, αφού η συλλογή των δεδομένων εξαρτάται από την εμπειρία του εκάστοτε προσωπικού (υποκειμενικότητα) και δεν είναι δυνατόν να καλυφθεί μεγάλο μήκος οδού σε μικρό χρονικό διάστημα (Wang Kelvin et al., 2004). Οδηγός για τις υπηρεσίες διαχείρισης οδοστρωμάτων στις ΗΠΑ, προκειμένου αυτές να καλύψουν τις ανάγκες τους σχετικά με τα δεδομένα κατάστασης των οδοστρωμάτων για διαχείριση τους σε επίπεδο δικτύου, αποτελεί η αναφορά «Automated Pavement Distress Collection Techniques» του προγράμματος με τίτλο «National Cooperative Highway Research Program» (NCHRP, 2004). Η εν λόγω αναφορά περιλαμβάνει όλες τις πτυχές της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων σχετικά με τις φθορές των οδοστρωμάτων, όπως μέθοδοι, εξοπλισμός, συχνότητα, τεχνολογία, κόστος κ.λπ.

4.2.2 Κόστος συλλογής δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων, η αποθήκευση, η ανάκτηση, η επεξεργασία και η χρήση τους αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία, έχει πολύ υψηλό κόστος (Wilson Douglas et al., 2002) και αποτελεί το πιο δαπανηρό σκέλος της εφαρμογής και λειτουργίας ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Paterson και Scullion, 1990). Το κόστος συλλογής εξαρτάται από τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο και τεχνολογία. Συγκριτικά στοιχεία από Πολιτείες των ΗΠΑ δείχνουν, ότι το κόστος εφαρμογής της

αυτοματοποιημένης μεθόδου συλλογής στοιχείων για την εκτίμηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων, είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος της οπτικής μεθόδου (Manjriker Gunaratne, 2003). Επίσης, συγκριτική μελέτη αναφορικά με τους παράγοντες κόστος-χρόνος, που απαιτούνται για τη συλλογή δεδομένων μεταξύ οπτικής επισκόπησης και επισκόπησης με τον αυτόματο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα των δεδομένων, αποδεικνύει ότι η δεύτερη λύση είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα (Sivanewaran et al., 2006).

4.2.3 Σκοπός της συλλογής δεδομένων για τις φθορές οδοστρωμάτων

Οι επισκοπήσεις της φθοράς οδοστρωμάτων εκτελούνται σε όλο το δίκτυο (επίπεδο δικτύου) για να καθορισθεί ο τύπος και το κόστος της συντήρησης για ένα συγκεκριμένο τμήμα του (επίπεδο έργου), καθώς και για τη συλλογή δεδομένων για ερευνητικούς σκοπούς (επίπεδο έρευνας). Μερικοί από τους στόχους της συλλογής δεδομένων των φθορών του οδοστρώματος για τα επίπεδα δικτύου και έργου είναι κοινοί, ενώ άλλοι είναι διαφορετικοί. Κοινοί στόχοι στα επίπεδα δικτύου-έργου είναι:

- Η αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων της επισκόπησης, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσα σε ένα λογικό όριο ακριβείας.
- Η παροχή χρήσιμων πληροφοριών για την εφαρμογή σχεδίων συντήρησης, τον προσδιορισμό του προϋπολογισμού των εργασιών και τον καθορισμό των προτεραιοτήτων.
- Η αποτελεσματικότητα στην επισκόπηση της κατάστασης του οδοστρώματος.

Επιπλέον στόχος σε επίπεδο έργου είναι:

- Η εκτίμηση του κόστους των εργασιών συντήρησης επισκευής και αποκατάστασης Η συλλογή δεδομένων σε επίπεδο έρευνας έχει στόχο την άντληση χρήσιμων πληροφοριών για τον προσδιορισμό των αιτιών των φθορών των οδοστρωμάτων.

4.2.4 Ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής δεδομένων λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων

Η ανάγκη συλλογής τεράστιων ποσοτήτων διαφορετικών δεδομένων, σχετικά με την κατάσταση των οδοστρωμάτων, τα οποία να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και εγκυρότητα, οδήγησε στην ανάπτυξη των Ολοκληρωμένων Συστημάτων Συλλογής Δεδομένων. Σε ένα μόνο πέρασμα του οχήματος συλλογής δεδομένων, το οποίο είναι διαμορφωμένο ως ολοκληρωμένο σύστημα, με τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού, επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη συλλογή ποικιλίας δεδομένων. Μερικά από τα δεδομένα, τα οποία συνήθως συλλέγονται, είναι απεικονίσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος (φθορές, ρηγματώσεις), μετρήσεις του διαμήκους και εγκάρσιου προφίλ (ομαλότητα) και μετρήσεις της υψής του οδοστρώματος.

Η ακρίβεια και η πιστότητα επισκόπησης της κατάστασης του οδοστρώματος εξαρτάται και από τον αριθμό των αισθητήρων με τους οποίους είναι εξοπλισμένα αυτά τα ολοκληρωμένα συστήματα. Οι μετρήσεις των επισκοπήσεων με τη χρήση πολλών αισθητήρων (multi-sensor inspection) παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια και πιστότητα (Sukumar et al., 2006). Οι ίδιοι ερευνητές καταγράφουν και συγκρίνουν σύγχρονα συστήματα επιθεώρησης οδοστρώματων σε σχέση με την ακρίβεια τους, την ταχύτητα επεξεργασίας και την τεχνολογία που χρησιμοποιούν, με αποτέλεσμα από τη σύγκριση να είναι δυνατόν να συναχθούν συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο της ακριβέστερης και αποδοτικότερης απεικόνισης της επιφανείας του οδοστρώματος. Σε όλα τα συστήματα ο προσδιορισμός και καταγραφή της θέσης επισκόπησης γίνεται με την βοήθεια συσκευής *Συστήματος Καθορισμού Θέσης (Global Positioning System–GPS)* και συσκευής *Ψηφιακής Μέτρησης Αποστάσεων (Digital Measurement Instrument–DMI)*.

Υπάρχουν σημαντικά οφέλη από την αυτοματοποιημένη επισκόπηση της κατάστασης του οδοστρώματος, διότι γίνεται με περισσότερη ασφάλεια, είναι λιγότερο χρονοβόρα, και παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια από τις οπτικές επισκοπήσεις. Επί πλέον οι μετρήσεις με αυτόματο τρόπο δεν επηρεάζονται σημαντικά από παράγοντες όπως ο καιρός, ο φωτισμός, η υποκειμενικότητα και η κόπωση του προσωπικού και δεν παρακωλύεται η κυκλοφορία των οχημάτων (Freeman και Ragsdale, 2003).

Ο McGhee (2004) προσθέτει ότι επί πλέον πλεονεκτήματα της αυτόματης συλλογής δεδομένων είναι η αποδοτικότητα στη συλλογή των δεδομένων και η ασφάλεια του προσωπικού.

Μία νέα μέθοδος επισκόπησης οδοστρώματος, η οποία είναι προς το παρόν σε ερευνητικό στάδιο, είναι η τρισδιάστατη ηλεκτρονική ανίχνευση με λέιζερ (three-dimensional laser).

Η εφαρμογή τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης (stereovision) στη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων των οδοστρωμάτων με ταχύτητες κίνησης των οχημάτων είναι το αντικείμενο μελέτης του ερευνητικού προγράμματος NCHRP IDEA 111. Κατά την διεξαγωγή του προγράμματος κατασκευάστηκε όχημα με ειδικό εξοπλισμό με τον οποίο είναι δυνατή η απεικόνιση του τρισδιάστατου προφίλ του οδοστρώματος. Ένα τέτοιο σύστημα προβλέπεται να μειώσει ουσιαστικά το κόστος των επισκοπήσεων της κατάστασης των οδοστρωμάτων. Με τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι δυνατή η μέτρηση ρηγματώσεων τάξεως 1 mm με ταχύτητα 30 miles/hour, χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί όσον αφορά τον φωτισμό του περιβάλλοντος (Sukumar et al., 2006). Αν και η τεχνολογία αυτή είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, βάσιμα στοιχεία από την εκτενή βιβλιογραφία (Wang Kelvin και Weiguo Gong, 2002 - Wang Kelvin, 2003 - Grinstead Brad et al., 2005 - Sukumar et al., 2006 - Van Geem Carl και Gautama Sidharta, 2006) συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι κατά τα επόμενα έτη, η τρισδιάστατη επισκόπηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων θα αντικαταστήσει τη δισδιάστατη ψηφιακή μέθοδο επισκόπησης.

4.3 Δομική κατάσταση Οδοστρώματος

Η δομική ικανότητα ενός οδοστρώματος δηλώνει τη δυνατότητα του να παραλάβει τα φορτία κυκλοφορίας με την ελάχιστη παραμόρφωση και φθορά (NCHRP, 1994).

Ο έλεγχος της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος στα εύκαμπτα οδοστρώματα γίνεται προκειμένου (IDOT, 2005):

- Να καθοριστεί η δομική επάρκεια του οδοστρώματος και να προσδιοριστούν τα αίτια των αστοχιών.
- Να εκτιμηθούν οι τιμές των μέτρων ελαστικότητας των στρώσεων των οδοστρωμάτων.
- Να καθοριστούν τα απαιτούμενα πάχη των επί πλέον στρώσεων κατά τις εργασίες επισκευής των οδοστρωμάτων.
- Να αναπτυχθούν οικονομικές εναλλακτικές λύσεις συντήρησης ή ανακατασκευής.

Ο σχεδιασμός της δομικής αντοχής ενός οδοστρώματος βασίζεται στο συνολικό αριθμό φορτίων, τα οποία αναμένεται να φέρει κατά την διάρκεια της ζωής του, ενώ ο σχεδιασμός των ιδιοτήτων της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, όπως η ομαλότητα και η αντιολισθηρότητα βασίζεται στον αναμενόμενο κυκλοφοριακό φόρτο και την ταχύτητα κυκλοφορίας (Hajek και Selezneva, 2001).

Η διερεύνηση της δομικής αντοχής των οδοστρωμάτων σε *επίπεδο έργου* αποσκοπεί στον προσδιορισμό τοπικών αδυναμιών του. Για το λόγο αυτό οι έλεγχοι θα πρέπει να γίνονται σε μικρές αποστάσεις (μικρότερες των 20 μ.). Οι στόχοι για την εκτίμηση της μεταβολής της δομικής αντοχής σε μεγάλα τμήματα του οδικού δικτύου (*επίπεδο δικτύου*) είναι:

- Η αποτίμηση της αντιπροσωπευτικής δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων για στρατηγική ανάλυση (π.χ. χρηματοδότηση, στρατηγικός σχεδιασμός για επεμβάσεις συντήρησης ή ανακατασκευής).
- Ο προσδιορισμός μεγάλων μηκών οδοστρωμάτων (π.χ. τμήματα μεγαλύτερα των 100 μέτρων, όπου η αντιπροσωπευτική τιμή της δομικής αντοχής πλησιάζει μία τιμή όπου απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση) (Austroads, 2005).

Η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης ενός οδοστρώματος γίνεται από μετρήσεις που λαμβάνονται αποκλειστικά με ειδικό εξοπλισμό μη καταστροφικού ελέγχου. Επικουρικά η αξιολόγηση μπορεί να γίνει και με επί τόπου δειγματοληπτικούς ελέγχους (καταστροφική μέθοδος).

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων χρησιμοποιούν σε γενικές γραμμές την επιβολή φορτίου στην επιφάνεια τους και μετρούν τη βύθιση (υποχώρηση) η οποία επέρχεται. Διακρίνονται σε

συσκευές ώθησης (impulse), δυναμικές σταθερής κατάστασης (steady-state dynamic) και στατικές (static).

Τα κυριότερα όργανα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της δομικής κατάστασης από τους διάφορους οργανισμούς είναι, η δοκός Benkelman (AASHTO T 256 - ASTM D4695), το Road Rater και το Dynaflect (AASHTO T 256 - ASTM D 4695), το Falling Weight Deflectometer (FWD) (ASTM D 4694) και το Deflectograph (Transport and Road Research Laboratory Reports L.R.834 και L.R.835). Λεπτομερή στοιχεία για τις διάφορες συσκευές δίνονται στη βιβλιογραφία (Shahin, 1994 - Νικολαΐδης, 1996 - Austroads, 2005). Η δοκός Benkelman είναι το απλούστερο και πιο διαδεδομένο όργανο μέτρησης βύθισης, για τη δομική αξιολόγηση των οδοστρωμάτων. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται επηρεάζονται κυρίως από την υγρασία του υπεδάφους, τη μέση θερμοκρασία του οδοστρώματος και από το πάχος και τα υλικά της βάσης και της υπόβασης. Για τους λόγους αυτούς χρειάζονται διόρθωση με τη χρήση διαγραμμάτων ή διορθωτικών πολλαπλασιαστικών συντελεστών (Νικολαΐδης, 1996).

Το Deflectograph είναι συσκευή τοποθετημένη σε όχημα, το οποίο μετακινείται με ταχύτητα περίπου 2-4 km/h. Βασίζεται στην ίδια αρχή μέτρησης με αυτήν της δοκού Benkelman (Νικολαΐδης, 1996).

Τα χαρακτηριστικά του Deflectograph και οι διαδικασίες για τη μέτρηση της δομικής αντοχής των οδοστρωμάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο περιγράφονται στο Transport and Road Research Laboratory Reports L.R.834 και L.R.835.

Μια ακόμα συσκευή για την αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων είναι το «Falling Weight Deflectometer» το οποίο έχει διεθνή αναγνώριση. Χρησιμοποιεί ορισμένο κρουστικό φορτίο, το οποίο ασκείται στην επιφάνεια του οδοστρώματος με μεταλλική κυκλική πλάκα μέσω ειδικής διάταξης και έχει τη δυνατότητα να παρέχει πληροφορίες για τη δομική κατάσταση όλων των στρώσεων του οδοστρώματος, συμπεριλαμβανομένου και του υπεδάφους.

Η μέτρηση της βύθισης του οδοστρώματος γίνεται με τη χρήση γεωφώνων (συσκευές οι οποίες μετατρέπουν τη μετακίνηση του εδάφους σε ηλεκτρική τάση), τοποθετημένων σε ευθεία γραμμή διερχόμενη από το κέντρο της πλάκας. Με τη χρήση του FWD είναι δυνατή η συλλογή πληροφοριών για τη συνολική κατάσταση του οδοστρώματος, για τη δομική κατάσταση του υπεδάφους, για τη δομική κατάσταση των στρώσεων με συνδετικό υλικό κ.λπ. (Νικολαΐδης, 1996).

Το βασικό συμπέρασμα του προγράμματος του Ευρωπαϊκού προγράμματος COST 325, με τον τίτλο «*Νέος εξοπλισμός και μέθοδοι για την επισκόπηση των οδοστρωμάτων*», που πραγματοποιήθηκε κατά την χρονική περίοδο 1994-1996, ήταν η ανάγκη ανάπτυξης μιας συσκευής υψηλής ταχύτητας για τη μέτρηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος, η χρήση της οποίας θα παρέχει μεγαλύτερη οδική ασφάλεια κατά την εκτέλεση των μετρήσεων (COST 325, 1997).

Η προσπάθεια εξεύρεσης μιας περισσότερο λειτουργικής και αποδοτικής μεθόδου οδήγησε φορείς διαφόρων χωρών στην έρευνα δημιουργίας συσκευής με τη χρήση αισθητήρων λέιζερ.

4.3.1 Μέτρηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος με τη χρήση αισθητήρων laser (*High Speed Deflectograph*)

Η πρώτη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας ήταν το Purdue Deflectograph. Το σύστημα αυτό είχε τη δυνατότητα μέτρησης της λεκάνης βύθισης, την επιφανειακή υφή και το διαμήκες προφίλ του οδοστρώματος (Elton, 1982 – Elton και Harr, 1988) και διέθετε τέσσερις αισθητήρες λέιζερ, οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι σε σειρά κατά μήκος του οχήματος, το οποίο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ανέπτυξε ταχύτητα 16 km/h.

Σημαντικό σύγχρονο επίτευγμα της Σουηδικής Εθνικής Διεύθυνσης Οδών και του Σουηδικού Ερευνητικού Ινστιτούτου Οδών και Μεταφορών είναι η ανάπτυξη του *υψηλής ταχύτητας Deflectograph (High Speed Deflectograph)*. Το σύστημα διαθέτει 40 αισθητήρες λέιζερ, οπτικούς μετρητές ταχύτητας, μετατροπείς φορτίων (force transducers), επιταχυνσιόμετρα στον πίσω άξονα του και ένα γυροσκόπιο (gyroscope) για την ανίχνευση της διεύθυνσης και – με ολοκλήρωση ως προς τον χρόνο – εκτίμηση της θέσης του οχήματος. Αναλυτική περιγραφή για τις αρχές και τη μέθοδο μέτρησης, τη βαθμονόμηση της συσκευής καθώς και την επεξεργασία των δεδομένων αναφέρονται από τους ερευνητές του προγράμματος (Hildebrant και Sören, 2002).

4.3.1.1 Σύγκριση του High Speed Deflectograph με το FWD

Οι μετρήσεις με το HSD, όπως έδειξαν τα αποτελέσματα των δοκιμών, έχουν πολύ καλή συσχέτιση με αυτές που πραγματοποιούνται με το Falling Weight Deflectometer. Πρόσφατη αξιολόγηση του HSD στη Γαλλία έδειξε ότι έχει καλή επαναληψιμότητα στις μετρήσεις, μπορεί να διακρίνει διαφορετικά επίπεδα φέρουσας ικανότητας, αλλά χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση στην τροποποίηση του φορτηγού που φέρει τον εξοπλισμό, το σύστημα απόκτησης των δεδομένων και τη μεθοδολογία της ερμηνείας των αποτελεσμάτων (Simonin et al., 2005).

Το HSD είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε οι μετρήσεις της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος να εκτελούνται με ταχύτητα 80 km/h. Με προσωπικό δύο ατόμων (ένα οδηγό και ένα χειριστή H/Y), κατά τη διάρκεια μίας μόνο ημέρας, είναι εφικτός ο έλεγχος δρόμου μήκους 300 χιλιομέτρων. Από έλεγχο οδοστρωμάτων στη Δανία με το FWD σε μήκος περίπου 550 χιλιομέτρων, αναφέρεται ότι απαιτείται χρόνος 27 ημερών και κόστος 130.000 ευρώ, ενώ για το ίδιο μήκος δρόμου με το HSD, μαζί με τις συμπληρωματικές μετρήσεις με το FWD στο 1/10 του μήκους, απαιτούνται δύο ημέρες και κοστίζει 25.000 ευρώ.

Κρίνοντας από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα της συσκευής, το High Speed Deflectograph προβλέπεται να αντικαταστήσει το Deflectograph και το FWD στη δομική αξιολόγηση των οδοστρωμάτων, τα αμέσως επόμενα χρόνια. Ήδη πρόσφατα η Highways Agency στην Αγγλία έχει προβεί στην απόκτηση ενός πρωτοτύπου HSD για

τις ανάγκες της (Ferrie, 2006), κόστους περίπου ενός εκατομμυρίου λιρών Αγγλίας (Innovation & Research Focus Issue 62, 2005).

4.3.2 Άλλες συσκευές μέτρησης χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων - *Ground Penetrating Radar*

Η συσκευή Ground Penetrating Radar (GPR) χρησιμοποιείται για τη μη καταστροφική εκτίμηση κυρίως του πάχους των στρώσεων σε παλαιά οδοστρώματα, για τα οποία δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα στοιχεία σχετικά με την κατασκευή τους. Επίσης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας στις στρώσεις της βάσης και της υπόβασης, αλλά και της επιδείνωσης των συνδέσεων των λωρίδων της επίστρωσης μεταξύ τους, στα οδοστρώματα από ασφαλτικό σκυρόδεμα.

Η λειτουργία του GPR βασίζεται στην εκπομπή, διάδοση και ανάκλαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Μία μικρής διάρκειας ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκπέμπεται μέσα στο οδόστρωμα. Διηλεκτρικές ασυνέχειες στο οδόστρωμα (π.χ. αλλαγές στον τύπο του υλικού, περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας, ή πυκνότητα) προκαλούν την ανάκλαση ενός ποσοστού του κύματος, ενώ το υπόλοιπο διαδίδεται εντός του επόμενου στρώματος. Η ενέργεια του ανακλώμενου κύματος καταγράφεται σε συσκευές στην επιφάνεια και οι μετρήσεις αναλύονται για να προσδιορισθούν ιδιότητες του οδοστρώματος (πάχη στρώσεων, κενά, περιεχόμενη υγρασία κ.λπ.). Η διαδικασία μέτρησης με το GPR περιγράφεται στο ASTM D4748. Η τεχνολογία αυτή είναι η μόνη που παρέχει πληροφορίες για τις στρώσεις κάτω από την επιφάνεια του οδοστρώματος με ταχύτητα που πλησιάζει τις ταχύτητες κίνησης των οχημάτων. Για τη βαθμονόμηση (calibration) του GPR είναι αναγκαία η λήψη μερικών δοκιμίων από το οδόστρωμα (Correa et al., 2002). Συγκρινόμενη με το συμβατικό τρόπο λήψης πυρήνων (καταστροφικός έλεγχος), η οποία είναι χρονοβόρα, απαιτεί περισσότερη εργασία και προσωπικό και παρέχει μικρότερη επιφανειακή κάλυψη, η λήψη στοιχείων του οδοστρώματος με το GPR είναι περισσότερο οικονομική, γρηγορότερη και ευκολότερη στη χρήση (Jing et al., 2004).

Μειονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν, η μεγάλη ανοχή στις μετρήσεις, η οποία σε σχέση με τη δειγματοληψία με πυρήνες κυμαίνεται μεταξύ 3–15% ανάλογα με το υλικό των στρώσεων (Maser, 1996) και η δυσκολία ανάλυσης των δεδομένων, η οποία είναι επίπονη διαδικασία και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό (Hall et al., 2002). Προσπάθειες για την αντιμετώπιση αυτών των μειονεκτημάτων αναφέρονται στην βιβλιογραφία (Lee Jeong Soo, 2004).

4.3.3 Καταγραφή συστημάτων μέτρησης χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων στις ΗΠΑ

Το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ (U.S. Department of Transportation) και η Federal Highway Administration Office of Asset Management των ΗΠΑ, έχουν διενεργήσει την καταγραφή σε κατάλογο των εταιρειών κατασκευής εξοπλισμού, ο οποίος περιέχει τους τύπους των παραγόμενων συσκευών, λεπτομερή τεχνικά χαρακτηριστικά, κ.α., με σκοπό να αποτελέσει ένα βοήθημα για τις αρμόδιες Υπηρεσίες όλων των Πολιτειών προκειμένου να πληροφορηθούν για τον εξοπλισμό

που απαιτείται για τη συλλογή δεδομένων, και τη χρησιμοποίησή τους στα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (U.S. DOT, FHWA, 2002).

4.4 Ορισμοί και διάκριση φθορών

Επιφανειακές φθορές ορίζονται ως οι βλάβες που εμφανίζονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος, οι οποίες χωρίς να καθιστούν απαγορευτική την διέλευση οχημάτων, συνιστούν λειτουργικές αστοχίες οδοστρώματος ή ακόμη ενδείξεις μιας επικείμενης βλάβης. Η εμφάνιση τους στην επιφάνεια του οδοστρώματος δημιουργεί προβλήματα κυκλοφοριακής άνεσης και οδικής ασφάλειας, λιγότερο ή περισσότερο σημαντικά, ανάλογα με τον τύπο και την έκταση της φθοράς.

Η καταγραφή των επιφανειακών φθορών, σε διάφορα τμήματα ενός οδικού δικτύου είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί, είτε μετά από οπτική επιθεώρηση, είτε με την βοήθεια φωτογραφικών μηχανημάτων τα οποία προσαρμόζονται κατάλληλα σε οχήματα και αποτυπώνουν πολύ μεγαλύτερα τμήματα οδού (100-200 χλμ./ημέρα). Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων είναι ένα εγχείρημα ιδιαίτερα λεπτό, γιατί η αναπαράσταση μιας βλάβης είναι πολύ δύσκολο να αποδοθεί πιστά από μια αριθμητική τιμή και ένα χαρακτηριστικό. Για παράδειγμα, ο όρος «10% διαμήκεις ρωγμές» δεν είναι αρκετός για να απεικονίσει την πραγματική κατάσταση στον βαθμό που δεν περιέχει καμιά αναφορά για το βάθος, το μέγεθος και την θέση των ρωγμών.

Η γένεση των φθορών οφείλεται είτε σε εγγενή προβλήματα μηχανικής ανεπάρκειας του σώματος της οδού, είτε στην επενέργεια των φορτίων κυκλοφορίας επί της επιφάνειας του οδοστρώματος, είτε στην επίδραση των κλιματικών φαινομένων. Συνήθως οι βλάβες οφείλονται σε συνδυασμένη δράση των γενεσιουργών αιτίων.

Ανάλογα με την μορφή τους, οι επιφανειακές φθορές διακρίνονται σε παραμορφώσεις, ρηγματώσεις και επιφανειακές αλλοιώσεις (αποσυνθέσεις και αναδύσεις), όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 4.2: Είδη φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ	ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ
Αυλακώσεις	Διαμήκεις	Αποφλοιώσεις
Κοιλώματα	Εγκάρσιες	Αποσυνθέσεις
Διογκώσεις	Παραβολικές	Εξιδρώσεις
Επωθήσεις	Αλλιγατορικές	Διαβρώσεις
Κυματώσεις	Ανακλάσεως	Τοπικές αστοχίες
Στρεβλώσεις	Διατρήσεις	Αντλήσεις ύδατος
Ρυτιδώσεις	Πολυγώνου	Αποκαλύψεις

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των φθορών αυτών πραγματοποιείται με διαφορετική μέθοδο για κάθε μια από αυτές, ανάλογα με το αν ο χαρακτήρας της είναι γραμμικός (μήκος), εκτεταμένος (επιφάνεια) ή τοπικός (αριθμός φθορών).

4.5 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων και μέτρηση επιφανειακών χαρακτηριστικών

4.5.1 Αξιολόγηση οδοστρωμάτων

Η αξιολόγηση της κατάστασης ενός οδοστρώματος είναι θεμελιώδης προϋπόθεση για τον καθορισμό της κατάλληλης στιγμής επέμβασης, που συνίσταται στη συντήρηση ή την αποκατάσταση ή/και την ενίσχυση ή την ανακατασκευή αυτού. Κατά την αξιολόγηση καθορίζεται η λειτουργική και η δομική κατάσταση του οδοστρώματος. Έτσι, με τη λεπτομερή αξιολόγηση σε κάθε χρονική στιγμή και σε συνδυασμό με την αναμενόμενη κυκλοφορία, είναι δυνατόν να καθορισθεί το πάχος της πρόσθετης ασφαλικής επίστρωσης, εάν χρειασθεί.

Αξιολόγηση λειτουργικής κατάστασης ορίζεται το σύνολο των εργασιών για την αποτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος όπως η ομαλότητα, η ολισθηρότητα, η τροχοαυλάκωση, η ρηγμάτωση και οποιαδήποτε άλλη επιφανειακή φθορά που συμβάλλει στην επαρκή ή ανεπαρκή λειτουργία του οδοστρώματος από τη σκοπιά των οδηγών.

Αξιολόγηση δομικής κατάστασης του οδοστρώματος ορίζεται το σύνολο των εργασιών για την αποτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής του οδοστρώματος, καθώς και για την εκτίμηση της εναπομένουσας ζωής αυτού.

Μετά την αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος είναι δυνατόν να αποφασισθεί εάν το οδόστρωμα θα πρέπει να συντηρηθεί, να αποκατασταθεί ή να ανακατασκευασθεί, καθορίζεται δηλαδή η ανάγκη επέμβασης και ο τρόπος δράσης. Με τη δομική αξιολόγηση ουσιαστικά αποφασίζεται εάν απαιτείται ενίσχυση του οδοστρώματος σε σχέση με την εναπομένουσα ζωή του και επιπροσθέτως καθορίζεται το πάχος της ασφαλικής επίστρωσης (εφόσον χρειάζεται) ή επιλέγεται η ανακατασκευή του οδοστρώματος. Ενίσχυση του οδοστρώματος μπορεί να χρειασθεί είτε γιατί το οδόστρωμα υπερφορτίστηκε, είτε γιατί δεν μελετήθηκε ή δεν κατασκευάστηκε σωστά είτε γιατί επέδρασαν αρνητικά και άλλοι απρόβλεπτοι παράγοντες, με αποτέλεσμα, η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής του να μην επαρκεί για να καλύψει το χρονικό διάστημα για το οποίο σχεδιάστηκε. Βεβαίως, ενίσχυση του οδοστρώματος μπορεί να χρειασθεί γιατί, ενδεχομένως χρειάζεται να αυξηθεί η συνολική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Τα δύο στάδια αξιολόγησης δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αντιθέτως, είναι συμπληρωματικά το ένα του άλλου και θα πρέπει πάντοτε να συνυπάρχουν για τον πλήρη και ακριβή καθορισμό του τρόπου δράσης τόσο χρονικά όσο και ποσοτικά.

Η αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων γίνεται με μεθόδους που βασίζονται σε:

- α) Οπτική επιθεώρηση της επιφάνειας του οδοστρώματος,
- β) Μετρήσεις επιφανειακών χαρακτηριστικών με ειδικά μηχανήματα και
- γ) Φωτογραφική αποτύπωση της κατάστασης της επιφάνειας.

Αντιθέτως, η αξιολόγηση της δομικής κατάστασης των οδοστρώματος γίνεται σήμερα, κυρίως με ειδικά μηχανήματα (μη καταστροφικές μέθοδοι) και συνεπικουρικά με δειγματοληπτικούς ελέγχους (καροταρίες) επί των οδοστρωμάτων (καταστροφικές μέθοδοι).

4.5.2 Αξιολόγηση λειτουργικής κατάστασης οδοστρώματος με οπτική επιθεώρηση

Η οπτική επισκόπηση της επιφάνειας ήταν ο πρώτος τρόπος αξιολόγησης της κατάστασης (λειτουργικής) του οδοστρώματος που εφαρμόστηκε για τη λήψη αποφάσεων επέμβασης στο οδόστρωμα. Αυτή συνίσταται στην επισκόπηση της επιφάνειας, μετά ή άνευ βαθμολόγησης των οδοστρωμάτων ή των φθορών, από έμπειρους μηχανικούς και την αναλυτική καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης. Δεν είναι δύσκολο να γίνει αντιληπτό ότι η μέθοδος αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα αλλά και υποκειμενική. Πλην όμως, μέχρι και σήμερα αποτελεί συχνά αναπόσπαστο μέρος της αξιολόγησης ενός οδοστρώματος.

4.5.3 Αξιολόγηση λειτουργικής κατάστασης με μηχανήματα μέτρησης επιφανειακών χαρακτηριστικών

Η πλέον αντικειμενική αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος γίνεται με τη χρήση ειδικών οργάνων για την καταγραφή των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Η χρήση τους έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ταχύτητα συλλογής των στοιχείων. Το μόνο ίσως μειονέκτημα, έναντι της οπτικής επισκόπησης, είναι η απαίτηση επένδυσης πολύ μεγαλύτερου κεφαλαίου για την αγορά των αναγκαίων οργάνων.

Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά επηρεάζουν όχι μόνο την ασφάλεια και την άνεση κατά την οδήγηση, αλλά και το περιβάλλον (κυρίως τον θόρυβο) και το λειτουργικό κόστος (μείωση ή αύξηση αυτού σε σχέση με το κόστος της ενεργείας που σπαταλάται κατά την οδήγηση, το κόστος συντήρησης και το λειτουργικό κόστος των οχημάτων). Στο ίδιο σχήμα, επεξηγείται παραστατικά η επίδραση του μήκους κύματος της μηκοτομής της επιφάνειας κυκλοφορίας στα προαναφερθέντα μεγέθη.

Ένα οδόστρωμα θα πρέπει πρωτίστως να έχει επαρκώς αντιολισθηρή επιφάνεια (ικανοποιητική μικρό- και μακρο-υφή) για την αποφυγή ατυχημάτων καθώς και ικανοποιητική επιπεδότητα και στις δύο κατευθύνσεις (εγκάρσια και διαμήκη), για την παροχή άνεσης κατά την οδήγηση, αλλά και την παροχή πρόσθετης ασφάλειας. Επιπροσθέτως, η επιφάνεια του οδοστρώματος δε θα πρέπει να δημιουργεί υψηλό θόρυβο με τα ελαστικά του αυτοκινήτου και να παρουσιάζει καλές φωτοανακλαστικές ιδιότητες. Σημαντικό πρόβλημα είναι, η λόγω κακής συντήρησης ή αστοχιών επιπεδότητας συγκράτηση και δημιουργία υδάτινου υμένα στην επιφάνεια κυκλοφορίας.

4.6 Υπόβαθρο και στόχοι καταγραφής φθορών

Το πρόγραμμα μακροπρόθεσμης επίδοσης οδοστρωμάτων LTPP (Long-Term Pavement Performance) του στρατηγικού ερευνητικού προγράμματος εθνικών οδών SHRP (Strategic Highway Research Program) αναγνώρισε τη σημασία αυτών των στοιχείων και καθόρισε τις οδηγίες και τις μεθόδους συλλογής δεδομένων για την απόδοση οδοστρωμάτων.

Από τον Οκτώβριο του 1998, μελετήθηκαν περισσότερες από 7.000 φθορές σε περισσότερα από 2.000 τμήματα δοκιμής LTPP πέρα από τη Βόρεια Αμερική, δηλαδή διεξήχθησαν κατά μέσο όρο περισσότερες από τρεις έρευνες ανά τμήμα δοκιμής. Ικανοποιητικά στοιχεία είναι πλέον διαθέσιμα για να τεκμηριώσουν τις τάσεις στην επίδοση των οδοστρωμάτων (FHWA, 2003).

Ο κύριος στόχος για ένα πρόγραμμα καταγραφής φθορών είναι η αξιολόγηση των οδοστρωμάτων. Το πρόγραμμα πρόκειται να χρησιμεύσει ως ένα εργαλείο για τον προσδιορισμό των αναγκών επέκτασης και συντήρησης του οδικού δικτύου, τις αποφάσεις κρατικού προγραμματισμού, για την ενίσχυση μέσω κρατικής

επιχορήγησης, το περιφερειακό πρόγραμμα ενίσχυσης υποδομών, τη νομοθετική λήψη απόφασης και τις ανάγκες προγραμματισμού των τοπικών αρμόδιων Υπηρεσιών. Δευτερευόντως, το πρόγραμμα έχει στόχο να αναπτύξει τους ακριβείς καταλόγους φθορών οδοστρωμάτων και να προσδιορίσει τις απαραίτητες εργασίες συντήρησης, επισκευής, αποκατάστασης και ανακατασκευής.

Για να βοηθήσει στην ανάπτυξη αυτού του προγράμματος, η Διεύθυνση Μεταφορών της Πολιτείας του Washington (WSDOT) χρησιμοποιεί το διοικητικό λογισμικό συντήρησης οδοστρωμάτων PAVER. Το PAVER χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα της επιθεώρησης για να εντοπίσει τα οδοστρώματα που απαιτούν συντήρηση, αποκατάσταση, ανακατασκευή ή επισκευή. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στον χρήστη του λογισμικού να αξιολογήσει τη γενική κατάσταση των οδοστρωμάτων του οδικού δικτύου, για να προετοιμάσει και να προβλέψει τους προϋπολογισμούς που απαιτούνται ώστε να διατηρηθεί το δίκτυο σε αποδεκτό επίπεδο και για να προσδιορίσουν που είναι απαραίτητη η συντήρηση, η αποκατάσταση και οι εργασίες ανακατασκευής.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συλλογής δεδομένων, ορισμένες απαραίτητες πληροφορίες συντάσσονται για τα οδοστρώματα. Αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: χιλιομετρική θέση οδοστρωμάτων, διαστάσεις οδοστρωμάτων, τύπο επιφάνειας οδοστρωμάτων και ημερομηνία κατασκευής. Αυτές οι πληροφορίες συλλέγονται έτσι ώστε τα οδοστρώματα να μπορούν να διαιρεθούν σε εύχρηστες μονάδες, μια διαδικασία αποκαλούμενη ως καθορισμός δικτύων (WSDOT, 2006).

Καθιερωμένο ως τμήμα του στρατηγικού ερευνητικού προγράμματος εθνικών οδών (SHRP) και τώρα διοικούμενο από την ομοσπονδιακή διοίκηση εθνικών οδών (FHWA), το πρόγραμμα LTPP σχεδιάστηκε ως συνεργασία της κεντρικής διοίκησης με τις πολιτείες. Ο στόχος του προγράμματος LTPP είναι να ενισχυθούν τα κράτη και οι επαρχίες να λάβουν τις αποφάσεις που θα οδηγήσουν σε οικονομικώς πιο αποδοτικά οδοστρώματα.

4.6.1 Στόχοι στρατηγικού σχεδίου για την ανάλυση του προγράμματος LTPP

Οι στρατηγικοί στόχοι της εθνικού επιπέδου προσπάθειας ανάλυσης είναι οι ακόλουθοι. Κάθε στόχος είναι σημαντικός στο επίτευγμα του γενικού στόχου.

Στρατηγικός στόχος 1: Προσδιορισμός πραγματικής και πρόβλεψη μελλοντικής κυκλοφορίας

Στρατηγικός στόχος 2: Βελτίωση υλικών κατασκευής

Στρατηγικός στόχος 3: Βελτίωση της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον σχεδιασμό οδοστρωμάτων και της πρόβλεψης της συμπεριφοράς

Στρατηγικός στόχος 4: Βελτίωση της αξιολόγησης και της χρήσης των δεδομένων κατάστασης οδοστρωμάτων στη διαχείριση οδοστρωμάτων

Στρατηγικός στόχος 5: Αξιολόγηση της ύπαρξης ή/και ανάπτυξης νέων μοντέλων πρόβλεψης κατάστασης οδοστρωμάτων εφαρμόσιμων στον σχεδιασμό οδοστρωμάτων και την πρόβλεψη συμπεριφοράς

Στρατηγικός στόχος 6: Παροχή οδηγιών για την επιλογή στρατηγικής συντήρησης και αποκατάστασης και την πρόβλεψη της επίδοσης

Ο γενικός στόχος είναι να αναπτυχθεί η γνώση, οι σχέσεις εξέλιξης των φθορών και άλλα συμπεράσματα για να διευκολύνουν τη βελτιωμένη επιλογή στρατηγικής επεξεργασίας οδοστρωμάτων και την αξιόπιστη πρόβλεψη απόδοσης.

4.7 Οφέλη από την καταγραφή των φθορών οδοστρώματος

Η καταγραφή των φθορών ενός οδοστρώματος αποτελεί σίγουρα μια αξιόπιστη παρακαταθήκη για την κατανόηση της συμπεριφοράς του οδοστρώματος στη διάρκεια του χρόνου. Μέσα από τη μελέτη των δεδομένων που συλλέγονται είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη μηχανική ανάλυση της συμπεριφοράς του οδοστρώματος και τον υπολογισμό του χρόνου ζωής.

4.8 Τυποποίηση των στοιχείων φθορών για τη διαχείριση οδοστρωμάτων

Διάφορες μέθοδοι κατάταξης των φθορών οδοστρωμάτων και αντίστοιχες πρακτικές συλλογής χρησιμοποιούνται από τις αρμόδιες υπηρεσίες για τη διαχείριση των οδοστρωμάτων. Λόγω της έλλειψης κοινώς αποδεκτών προτύπων, υπάρχει πολύ περιορισμένη δυνατότητα ανταλλαγής, των στοιχείων φθορών που συλλέγονται, μεταξύ των Υπηρεσιών, καθώς αυτές χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους συλλογής δεδομένων. Αυτή η ανομοιόμορφη αντιμετώπιση, έχει στην πράξη σοβαρές και δαπανηρές επιπτώσεις στις εθνικές ερευνητικές προσπάθειες, στόχος των οποίων είναι να βελτιωθούν οι λειτουργίες πρόβλεψης απόδοσης οδοστρωμάτων που χρησιμοποιούνται για το μηχανιστικό σχεδιασμό οδοστρωμάτων, βάσει της απόδοσης σχεδιασμού υλικών, στην πρόβλεψη της μελλοντικής αποκατάστασης και της συντήρησης, συστατικά απαραίτητα σε συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων. Μια Υπηρεσία δεν μπορεί να εφαρμόσει εύκολα τέτοια νέα ερευνητικά μοντέλα εάν δεν συλλέγονται τα στοιχεία φθορών στη μορφή η οποία χρησιμοποιείται στο μοντέλο πρόβλεψης. Επιπλέον, οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη περιορίζονται αναγκαστικά στη χρησιμοποίηση μόνο εκείνων των συνόλων στοιχείων που ταιριάζουν με το μοντέλο πρόβλεψής τους. Η αποδοχή και η εφαρμογή των ερευνητικών προϊόντων που αναπτύσσονται από αυτές τις προσπάθειες εξαρτώνται από την τοπική πρακτική σχετικά με τη συλλογή δεδομένων κινδύνου.

Πολλές τρέχουσες μέθοδοι εκτίμησης είναι βασισμένες, εν μέρει, στην υποκειμενικότητα του προσωπικού των αρμοδίων Υπηρεσιών. Αυτή η

υποκειμενικότητα δημιουργεί τα προβλήματα για την αυτοματοποίηση συλλογής δεδομένων.

Ο στόχος αυτής της έρευνας είναι να αναπτυχθούν τα πρότυπα στοιχείων φθορών που ικανοποιούν τις ακόλουθες ανάγκες:

- Δυνατότητα χρησιμοποίησης για τον μηχανιστικό σχεδιασμό οδοστρωμάτων, στον σχεδιασμό των υλικών κατασκευής και στα πρότυπα πρόβλεψης απόδοσης (PMS).
- Βάση δεδομένων με τα θεμελιώδη στοιχεία χαρακτηριστικών επιφάνειας οδοστρωμάτων και ευκολία μεταβίβασης στις αυτοματοποιημένες και μη αυτοματοποιημένες μεθόδους μέτρησης.
- Ευρεία αποδοχή από τις αρμόδιες υπηρεσίες.

Δεν υπάρχει καμία γνωστή, κεντρικά συντονισμένη, τρέχουσα ερευνητική δραστηριότητα στην τυποποίηση της συλλογής ορισμών και δεδομένων φθορών οδοστρωμάτων όσον αφορά τη χρήση τους στον μηχανιστικό σχεδιασμό οδοστρωμάτων, στον σχεδιασμό υλικών και την πρόβλεψη απόδοσης.

Για την αξιοποίηση των συμπερασμάτων των επενδύσεων έρευνας οι αρμόδιες Υπηρεσίες απαιτείται να τυποποιήσουν τις βασικές και θεμελιώδεις φθορές οδοστρωμάτων. Χωρίς τυποποίηση, οι προκύπτουσες ασυνέπειες στους ορισμούς φθορών παρακωλύουν την αποδοχή αυτών των προϊόντων και παρατείνουν τη δυσαρμονία που υπάρχει μεταξύ του σχεδιασμού οδοστρωμάτων, του σχεδιασμού υλικών και της πρακτικής εφαρμοσμένης μηχανικής στα PMS. Με τη διοικητική αποκέντρωση της ερευνητικής χρηματοδότησης στο πλαίσιο της νομοθεσίας, η τυποποίηση είναι πιά επείγουσα και σημαντική από πάντα, έτσι ώστε οι μεμονωμένες υπηρεσίες μπορούν να ωφεληθούν από την εργασία που εκτελείται από άλλες.

Οι κοινότητες τελικών χρηστών στόχων για αυτήν την εργασία είναι το κράτος και οι τοπικές υπηρεσίες εθνικών οδών. Οι ενδιαμέσοι χρήστες είναι ερευνητές και υπεύθυνοι για την ανάπτυξη εφαρμοσμένης μηχανικής που συμμετέχουν στη συλλογή δεδομένων φθορών, τον μηχανιστικό σχεδιασμό οδοστρωμάτων, τις σχετικές με την απόδοση μεθόδους σχεδιασμού υλικών και την πρόβλεψη κατάστασης οδοστρωμάτων.

4.9 Αξιολόγηση Υφιστάμενων Οδοστρωμάτων εν όψει Επεμβάσεων Συντήρησης

4.9.1 Εισαγωγή

Ο αξιόπιστος και οικονομικός αποδοτικός σχεδιασμός ενός προγράμματος αποκατάστασης απαιτεί τη συλλογή και τη λεπτομερή ανάλυση των βασικών στοιχείων του οδοστρώματος. Τέτοια στοιχεία είναι συχνά ταξινομημένα ως εξής:

- Κατάσταση οδοστρώματος λωρίδων κυκλοφορίας (π.χ. κίνδυνος, ομαλότητα, τριβή επιφάνειας και εκτροπή).

- Κατάσταση οδοστρώματος / ερείσματος.
- Προηγούμενες δραστηριότητες συντήρησης.
- Χαρακτηριστικά σχεδιασμού οδοστρώματος (π.χ. πάχη στρώματος, τύπος ερεισμάτων και πλάτος λωρίδων κυκλοφορίας).
- Χαρακτηριστικά γεωμετρικού σχεδιασμού.
- Υλικό υπόβασης, εδαφολογικές ιδιότητες.
- Κυκλοφοριακός φόρτος.
- Κλίμα.
- Διάφοροι άλλοι παράγοντες (π.χ. χρησιμότητα οδού).

Αυτό το Κεφάλαιο παρέχει τις διαδικασίες και τις οδηγίες για την εκτέλεση της αξιολόγησης του οδοστρώματος για την επιλογή του τύπου αποκατάστασης και τον σχεδιασμό αποκατάστασης. Αναλύονται οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του οδοστρώματος και οι τύποι δεδομένων που απαιτούνται για την αξιολόγηση της κατάστασης και τον σχεδιασμό των συνιστώμενων εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης.

4.9.1.1 Σημαντικές πτυχές της αξιολόγησης οδοστρωμάτων

Η αξιολόγηση στοιχείων αποτελείται συνήθως από μια λεπτομερή ανάλυση όλων των πτυχών της κατάστασης του οδοστρώματος, με συνέπεια τον προσδιορισμό των συγκεκριμένων προβλημάτων και των αιτιών τους. Οι τύποι στοιχείων που απαιτούνται για τη σειρά ανάλυσης από τα απλά στοιχεία, όπως τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού του οδοστρώματος και η γεωμετρία της οδού, στα λεπτομερή στοιχεία που λαμβάνονται από καταστροφικές ή μη καταστροφικές δοκιμές ή για παράδειγμα τη διερεύνηση της επιφανειακής απορροής των υδάτων.

Η γενική κατάσταση του οδοστρώματος και η διερεύνηση του προβλήματος μπορούν να καθοριστούν με την αξιολόγηση των ακόλουθων σημαντικών πτυχών του οδοστρώματος:

- Δομική επάρκεια.
- Λειτουργική επάρκεια.
- Επάρκεια αποστράγγισης υδάτων.
- Διάρκεια ζωής υλικών.
- Κατάσταση ερεισμάτων.
- Έκταση των δραστηριοτήτων συντήρησης που έχουν εκτελεσθεί στο παρελθόν.

- Διαφοροποιήσεις της κατάστασης ή της συμπεριφοράς τμημάτων οδοστρώματος σε επίπεδο έργου.
- Διάφοροι περιορισμοί (π.χ. γέφυρες).

Η δομική επάρκεια αφορά εκείνες τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που καθορίζουν την συμπεριφορά του οδοστρώματος με τα δεδομένα κυκλοφοριακών φόρτων που θα χρησιμοποιηθούν στον μηχανιστικό-εμπειρικό σχεδιασμό των εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης. Η λειτουργική επάρκεια αφορά την επιφάνεια, τα υπό την επιφάνεια χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που καθορίζουν την ομαλότητα του οδοστρώματος ή εκείνα τα χαρακτηριστικά επιφάνειας που καθορίζουν την ολισθηρότητα ή άλλα χαρακτηριστικά ασφάλειας της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Η υπό την επιφάνεια αποστράγγιση και η υλική διάρκεια μπορούν να έχουν επιπτώσεις και στη δομική και λειτουργική κατάσταση. Η κατάσταση των ερεισμάτων είναι πολύ σημαντική από την άποψη της επιλογής του τύπου αποκατάστασης και την επιρροή του κόστους του προγράμματος αποκατάστασης. Οι παραλλαγές της κατάστασης του οδοστρώματος μέσα σε ένα πρόγραμμα αποκατάστασης αναφέρεται στις περιοχές όπου υπάρχει μια σημαντική μεταβλητότητα στην κατάσταση του οδοστρώματος. Τέτοιες παραλλαγές ενδέχεται να εμφανιστούν κατά μήκος της οδού ή και μεταξύ των λωρίδων κυκλοφορίας.

4.9.1.2 Καθορισμός της αξιολόγησης οδοστρώματος σε επίπεδο έργου

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει τις γενικές οδηγίες για τον προσδιορισμό των τύπων και των πρωταρχικών αιτιών κινδύνου στα υφιστάμενα οδοστρώματα. Παρέχει επίσης τις πληροφορίες για τα στοιχεία που απαιτούνται για την παροχή ενός οικονομικώς αποδοτικού σχεδίου αποκατάστασης για τα ελαττωματικά οδοστρώματα. Η επιλογή αξιολόγησης και αποκατάστασης καθώς και η διαδικασία σχεδιασμού μπορούν να υποδιαιρεθούν σε τρεις φάσεις (AASHTO, 1993). Και για τις τρεις φάσεις, τα μη αμελητέα ποσά κρίσης ανάλυσης και εφαρμοσμένης μηχανικής πρέπει να εφαρμοστούν για να καθορίσουν τα προβλήματα των υφιστάμενων οδοστρωμάτων και για να αναπτύξουν τις οικονομικώς αποδοτικές λύσεις.

Φάση I —Γενική αξιολόγηση κατάστασης και καθορισμός προβλήματος (αξιολόγηση)

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία επιλογής αποκατάστασης οδοστρωμάτων περιλαμβάνει την αξιολόγηση της γενικής κατάστασης του υφιστάμενου οδοστρώματος και τον καθορισμό των εντοπισμένων προβλημάτων του οδοστρώματος. Για να αποφύγει μια ανακριβή αξιολόγηση του προβλήματος, ο μηχανικός πρέπει να συλλέξει και να αξιολογήσει τις ικανοποιητικές πληροφορίες για το οδόστρωμα. Ο Πίνακας 4.3 περιέχει έναν περιεκτικό πίνακα ελέγχου των παραγόντων που πρέπει να εξεταστούν. Αυτός ο κατάλογος πρέπει να τροποποιηθεί για να ανταποκριθεί στις συγκεκριμένες ανάγκες του προγράμματος. Είναι ζωτικής σημασίας οι αρμόδιες υπηρεσίες να αναπτύσσουν τις διαδικασίες και τις οδηγίες για την απάντηση των ερωτήσεων στον κατάλόγο τους. Οι πληροφορίες για πολλούς από

τους παράγοντες στον Πίνακα 4.3 μπορούν να ληφθούν από το υπάρχον σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων κάθε υπηρεσίας, εντούτοις ανάλογα με πόσο τακτικά συλλέγονται τα στοιχεία και πόσο πρόσφατα είναι, μπορεί να υπάρξει η ανάγκη να συμπληρωθούν τα διοικητικά στοιχεία πεζοδρομίων με την περισσότερα τρέχουσα έρευνα τομέων και εξεταστικά στοιχεία. Τα στοιχεία που συλλέγονται και τα βήματα για τον καθορισμό μιας αξιολόγησης της τρέχουσας δομικής ή λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος είναι (Applied Pavement Technology Inc., 2001):

- 1 Συλλογή κατασκευαστικών δεδομένων (αρχεία).
- 2 Πρωτογενής έρευνα κατάστασης οδοστρώματος.
- 3 Αξιολόγηση πρώτων στοιχείων και προσδιορισμός των πρόσθετων απαιτήσεων στοιχείων.
- 4 Δευτερογενής έρευνα κατάστασης οδοστρώματος.
- 5 Εργαστηριακός χαρακτηρισμός.
- 6 Δευτερογενής αξιολόγηση στοιχείων.
- 7 Τελική έκθεση αξιολόγησης οδοστρώματος.

4.9.1.3 Σχέδιο αξιολόγησης

Ο μηχανικός σχεδιασμού πρέπει να προετοιμάσει ένα σχέδιο αξιολόγησης που περιγράφει όλες τις δραστηριότητες που απαιτούνται για την έρευνα και τον καθορισμό των αιτιών των φθορών και για την επιλογή και το σχεδιασμό μιας κατάλληλης στρατηγικής επισκευής για εκείνες τις ατέλειες. Μια καλά προγραμματισμένη διαδικασία αξιολόγησης οδοστρωμάτων πρέπει να αποτελεί μέρος του προγραμματισμού της αρμόδιας Υπηρεσίας η οποία πρέπει να εξετάζει τις απαιτήσεις ελέγχου της κυκλοφορίας για τις εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης.

Πίνακας 4.3: Πίνακας ελέγχου των παραγόντων που χρησιμοποιούνται στη γενική αξιολόγηση της κατάστασης οδοστρώματος και στον καθορισμό του προβλήματος

Παράμετρος ελέγχου	Παράγοντες	Περιγραφή
	Υφιστάμενη φθορά	<ol style="list-style-type: none"> 1. Μικρά φορτία/Φθορά κόπωσης 2. Μέτρια φορτία/ Φθορά κόπωσης (πιθανή μικρή φέρουσα ικανότητα φορτίων) 3. Μεγάλα φορτία/ Φθορά κόπωσης (εμφανής μικρή φέρουσα ικανότητα φορτίων) 4. Αδυναμία φέρουσας ικανότητας φορτίων: (ναι ή όχι)

Δομική επάρκεια	Μη καταστροφική δοκιμή (δοκιμή αναπήδησης)	1. Μεγάλης κλίμακας φθορές 2. Είναι τα υπολογισμένα με αντίστροφη ανάλυση πάχη στρώσεων λογικά;
	Μη καταστροφική δοκιμή (δοκιμή GPR)	1. Καθορισμός πάχους στρώσεων
	Μη καταστροφική δοκιμή (προφιλόμετρο)	1. Καθορισμός αστοχίας ρηγματώσεων / ραφών
	Καταστροφική δοκιμή	1. Η αντοχή και η κατάσταση των πυρήνων είναι λογική; 2. Το πάχος των στρώσεων είναι αποδεκτό;
	Έχει γίνει συντήρηση	Μικρής, Κανονικής, Μεγάλης κλίμακας
	Έχει συμβάλει στη δομική αστοχία η έλλειψη συντήρησης;	Ναι, Όχι, Περιγράψτε _____
Λειτουργική επάρκεια	Ομαλότητα	Μέτρηση _____ Πολύ καλή, Καλή, Αποδεκτή, Κακή, Πολύ κακή
	Θόρυβος	Μέτρηση _____ Ικανοποιητική, Αμφισβητήσιμη, Μη ικανοποιητική
	Αντιολισθηρότητα	Μέτρηση _____ Ικανοποιητική, Αμφισβητήσιμη, Μη ικανοποιητική
Αποστράγγιση	Κλίμα (εύρος υγρασίας και θερμοκρασίας)	Υγρασία όλο το έτος • Εποχιακή υγρασία • Πολύ λίγη υγρασία • Διείσδυση υψηλού παγετού • Παγετός-Λιώσιμο ανά περιόδους • Καθόλου προβλήματα παγετού
	Παρουσία υγρασίας-επιταχυνόμενη φθορά	Ναι, Πιθανόν, Όχι
	Υπόγεια δίκτυα αποστράγγισης	Ικανοποιητική, Οριακή, Μη ικανοποιητική
	Επιφανειακά δίκτυα αποστράγγισης	Ικανοποιητική, Οριακή, Μη ικανοποιητική
	Έχει συμβάλει η έλλειψη συντήρησης σε φθορά των συστημάτων αποστράγγισης;	Ναι, Όχι, Περιγράψτε _____
Διάρκεια υλικών	Παρουσία φθορών που οφείλονται στην αντοχή στον χρόνο (στρώση επιφάνειας)	1. Καθόλου ή μικρής έκτασης φθορές 2. Μέτριας κλίμακας φθορές 3. Μεγάλης κλίμακας φθορές
	Διάβρωση βάσης	1. Μικρής κλίμακας 2. Μέτριας κλίμακας 3. Προχωρημένης κλίμακας

	Μη καταστροφική δοκιμή (δοκιμή GPR)	Καθορισμός περιοχών με φθορές στα υλικά/ βλάβη από υγρασία (stripping)
Επάρκεια ερείσματος	Κατάσταση επιφάνειας	1. Καθόλου ή μικρής κλίμακας φθορές που οφείλονται στα φορτία 2. Μέτριας κλίμακας φθορές που οφείλονται στα φορτία 3. Μεγάλης κλίμακας φθορές που οφείλονται στα φορτία 4. Δομική αδυναμία φέρουσας ικανότητας φορτίων: (ναι ή όχι)
	Εντοπισμένες περιοχές φθορών	Ναι, Όχι, Θέση:
Μεταβλητότητα κατάστασης / συμπεριφοράς	Περιλαμβάνει το τμήμα της οδού σημαντικές φθορές σε: • Γέφυρες • Κόμβους • Ορύγματα ή Επιχώματα	Ναι ή Όχι
	Υπάρχει συστηματική μεταβλητότητα στην κατάσταση του οδοστρώματος κατά μήκος της οδού (ή τοπική μεταβλητότητα);	Ναι ή Όχι
	Συστηματική μεταβλητότητα στην κατάσταση του οδοστρώματος από λωρίδα σε λωρίδα	Ναι ή Όχι
Διάφορα	Προηγούμενη συντήρηση	Ναι ή Όχι
	Φέρουσα ικανότητα κυκλοφοριακού φόρτου και γεωμετρία	Επαρκής ή Ανεπαρκής
Περιορισμοί	Υπάρχουν διαθέσιμες παρακάμψεις για εκτροπή της κυκλοφορίας κατά την αποκατάσταση;	Ναι ή Όχι
	Μπορεί η συντήρηση να γίνει σε ώρες μη αιχμής;	Ναι, Όχι, Περιγράψτε _____
	Προβλήματα εκκένωσης γεφυρών	Περιγράψτε _____
	Παράπλευρα προβλήματα	Περιγράψτε _____
	Άλλα προβλήματα	Περιγράψτε _____

Τα αποτελέσματα από το σχέδιο αξιολόγησης βοηθούν στον προσδιορισμό συγκεκριμένων λεπτομερειών του προγράμματος που μπορεί να έχουν σημαντική

επίδραση στην απόδοση του στρατηγικού σχεδίου αποκατάστασης ή επισκευής. Μια βαθμιαία διαδικασία συλλογής στοιχείων για τα υφιστάμενα οδοστρώματα περιγράφεται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Σχέδιο συλλογής και αξιολόγησης δεδομένων

Βήμα	Τίτλος	Περιγραφή
1	Συλλογή ιστορικών στοιχείων	Αυτό το βήμα περιλαμβάνει τη συλλογή πληροφοριών όπως η θέση της οδού, το έτος κατασκευής, το έτος και ο τύπος σημαντικής συντήρησης, τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού, τα υλικά και οι εδαφολογικές ιδιοότητες, τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά, το κλίμα και οποιαδήποτε διαθέσιμα στοιχεία απόδοσης (performance).
2	Πρωτογενής έρευνα κατάστασης οδοστρώματος	Αυτό το βήμα περιλαμβάνει μια λεπτομερή έρευνα φθορών για να αξιολογηθεί η κατάσταση του οδοστρώματος. Το στοιχεία που απαιτούνται περιλαμβάνουν τις πληροφορίες φθορών, αποστράγγισης, ομαλότητας, κυκλοφορίας και τις εκτιμήσεις ασφάλειας.
3	Αξιολόγηση πρώτων στοιχείων και προσδιορισμός των πρόσθετων απαιτήσεων στοιχείων	Καθορισμός των κρίσιμων επιπέδων φθορών/ομαλότητας και των αιτιών των φθορών και της απώλειας ομαλότητας χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της πρωτογενούς έρευνας. Αυτός ο κατάλογος θα βοηθήσει στην αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης και των πιθανών προβλημάτων του οδοστρώματος. Οι πρόσθετες ανάγκες στοιχείων θα αξιολογηθούν επίσης κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος.
4	Δευτερογενής έρευνα κατάστασης οδοστρώματος	Αυτό το βήμα περιλαμβάνει τις λεπτομερείς μετρήσεις και τις δοκιμή όπως η πυρηνοληψία, η μέτρηση ομαλότητας, η μέτρηση αντίστασης ολίσθησης, η δοκιμή αναπήδησης (deflection) και οι δοκιμές αποστράγγισης.
5	Εργαστηριακός χαρακτηρισμός	Αυτό το βήμα περιλαμβάνει δοκιμές όπως η αντοχή των υλικών, ο συντελεστής ελαστικότητας, η διαπερατότητα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, η σύνθεση και η πυκνότητα, χρησιμοποιώντας τα δείγματα που λαμβάνονται από τη δευτερογενή έρευνα.
6	Δευτερογενής αξιολόγηση στοιχείων	Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της υφιστάμενης κατάστασης του οδοστρώματος και ενός γενικού καθορισμού του προβλήματος. Το γενικό πρόβλημα καθορίζεται με την αξιολόγηση της δομικής, λειτουργικής και κάτω από την επιφάνεια επάρκειας αποστράγγισης, την διάρκεια ζωής των υλικών, την κατάσταση των ερεισμάτων, τη μεταβλητότητα στην κατάσταση του οδοστρώματος κατά μήκος της οδού και τους πιθανούς περιορισμούς. Οι πρόσθετες απαιτήσεις στοιχείων για τις εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης θα καθοριστούν επίσης κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος.

7	Τελική έκθεση αξιολόγησης οδοστρώματος	Προετοιμασία μιας τελικής έκθεσης αξιολόγησης.
---	--	--

Βήματα 1 και 2: Ιστορική συλλογή δεδομένων και πρωτογενής έρευνα κατάστασης οδοστρώματος

Η διαδικασία συλλογής στοιχείων και αξιολόγησης καθώς και η φάση καθορισμού προβλήματος αποκατάστασης πεζοδρομίων πρέπει να αρχίσουν με μια συγκέντρωση των ιστορικών στοιχείων και κατά προτίμηση μερικών στοιχείων συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων.

Τα βήματα 1 και 2 του σχεδίου συλλογής και αξιολόγησης τομέων πρέπει, ως ελάχιστο, να ικανοποιήσουν όλες τις απαιτήσεις στοιχείων να εκτελέσει ένας γενικός καθορισμός προβλήματος. Οι ακόλουθες δραστηριότητες πρέπει να εκτελεστούν:

- Αναθεώρηση των αρχείων κατασκευής και συντήρησης για την ανάκτηση και εξαγωγή πληροφοριών και στοιχείων σχετικά με την απόδοση οδοστρωμάτων.
- Αναθεώρηση των προηγούμενων ερευνών φθορών, εάν υπάρχουν διαθέσιμα, για την καθιέρωση των τάσεων απόδοσης και των ποσοστών επιδείνωσης.
- Αναθεώρηση των προηγούμενων καταστροφικών δοκιμών και των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών των υλικών του οδοστρώματος και της υπόβασης.
- Αχική επιτήρηση της επιφάνειας του οδοστρώματος, των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων απορροής και άλλων σχετικών στοιχείων.
- Προσδιορισμός των τμημάτων του οδοστρώματος με παρόμοια ή διαφορετικά επιφανειακά ή υπό την επιφάνεια χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Με άλλα λόγια, απομόνωση κάθε μοναδικού παράγοντα που ενδέχεται να επηρεάσει την απόδοση του οδοστρώματος.
- Προσδιορισμός των απαιτήσεων δοκιμών για κάθε τμήμα οδοστρώματος και των σχετικών απαιτήσεων ελέγχου της κυκλοφορίας.
- Καθορισμός της απόδοσης του οδοστρώματος ανάλογα με τον σχεδιασμό.

Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται σε αυτό το βήμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαιρεθεί το οδόστρωμα σε τμήματα με παρόμοια χαρακτηριστικά σχεδιασμού, καιρικές συνθήκες περιοχής και χαρακτηριστικά απόδοσης με στόχο μια πιο λεπτομερή αξιολόγηση. Επίσης, επειδή ο περιορισμένος χρόνος και τα κεφάλαια διανέμονται σε αυτήν την μερίδα της διαδικασίας αξιολόγησης, κάθε υπηρεσία πρέπει να αναπτύξει μια τυποποιημένη διαδικασία συλλογής δεδομένων/αξιολόγησης ανάλογα με τις πληροφορίες, το προσωπικό, και τους πόρους εξοπλισμού της. Οι

πληροφορίες που συγκεντρώνονται σε αυτήν την φάση μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν για να ανιχνεύσουν οποιεσδήποτε ανεπάρκειες που πρέπει να αποκατασταθούν κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης.

Βήμα 3: Αξιολόγηση πρώτων στοιχείων και προσδιορισμός των πρόσθετων απαιτήσεων στοιχείων

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες και τα στοιχεία που συγκεντρώνονται στα βήματα 1 και 2, μπορεί να γίνει μια προκαταρκτική γενική ανάλυση της κατάστασης του οδοστρώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση των στοιχείων που λαμβάνονται για να αξιολογήσουν τις ακόλουθες σημαντικές πτυχές ενός υφιστάμενου οδοστρώματος:

- Δομική επάρκεια.
- Λειτουργική επάρκεια.
- Επάρκεια αποστράγγισης της επιφάνειας.
- Ανθεκτικότητα υλικών.
- Κατάσταση ερεισμάτων.
- Παραλλαγές της κατάστασης του οδοστρώματος.
- Διάφοροι περιορισμοί.

Εάν οποιαδήποτε από αυτές τις παραπάνω πτυχές είναι ανεπαρκής, τότε απαιτούνται περισσότερα λεπτομερή στοιχεία για να καθορίσουν τον βαθμό και το εύρος του προβλήματος καθώς και για τον σχεδιασμό όλων των εφικτών εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης. Το βήμα 3 είναι πολύ σημαντικό δεδομένου ότι βοηθά τις αρμόδιες υπηρεσίες να μειώσουν αρκετά τον κατάλογο πρόσθετων απαιτήσεων στοιχείων, που κάνουν τη γενική διαδικασία καθορισμού αξιολόγησης των οδοστρωμάτων πιο αποδοτική από οικονομική σκοπιά.

Βήμα 4 και 5: Δευτερογενής έρευνα κατάστασης οδοστρώματος και εργαστηριακός χαρακτηρισμός

Τα βήματα 4 και 5 περιλαμβάνουν λεπτομερείς μετρήσεις και δοκιμές, όπως η πυρηνοληψία και η δειγματοληψία, η μέτρηση ομαλότητας, η μέτρηση ολισθηρότητας, η καταγραφή φθορών και οι μετρήσεις απορροής. Τα συλλεχθέντα σε αυτή τη φάση στοιχεία πρέπει να επιλέγονται με βάση τις ανάγκες στοιχείων που καθορίζονται στο τέλος της πρώτης φάσης αξιολόγησης στο βήμα 3. Τα βήματα 4 και 5 θα περιλάβουν επίσης δοκιμές όπως η αντοχή υλικών, το μέτρο ελαστικότητας, η διαπερατότητα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, η σύνθεση και η πυκνότητα, χρησιμοποιώντας τα δείγματα που λαμβάνονται από τη δευτερογενή έρευνα της κατάστασης του οδοστρώματος. Η συλλογή δεδομένων, ο εργαστηριακός χαρακτηρισμός και ο χειρισμός των στοιχείων πρέπει να γίνουν σύμφωνα με τις καθορισμένες οδηγίες από αναγνωρισμένα πρότυπα

δοκιμών όπως AASHTO, ASTM, LTPP, SHRP και των τοπικών αρμοδίων Υπηρεσιών.

Βήμα 6 και 7: Δευτερογενής αξιολόγηση στοιχείων και τελική έκθεση αξιολόγησης οδοστρώματος

Ο γενικός καθορισμός του προβλήματος και η τελική αξιολόγηση του οδοστρώματος πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που συλλέγονται κατά τη διάρκεια των βημάτων 1 μέχρι 5. Τα στοιχεία που απαιτούνται για τον καθορισμό των εφικτών εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης θα προετοιμαστούν επίσης κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος. Το βήμα 7 τεκμηριώνει τις λεπτομέρειες της διαδικασίας αξιολόγησης πεζοδρομίων, των συλλεχθέντων στοιχείων και των προβλημάτων που προσδιορίζονται σε μια τελική έκθεση αξιολόγησης. Όλες αυτές οι πληροφορίες θα χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό των στρατηγικών αποκατάστασης.

4.9.2 Οδηγίες για τη συλλογή δεδομένων

4.9.2.1 Επισκόπηση

Μια από τις κρίσιμότερες πτυχές της αξιολόγησης οδοστρωμάτων είναι η συλλογή αξιόπιστων στοιχείων. Κι αυτό επειδή όλες οι σημαντικές αποφάσεις σχετικά με τα υπάρχοντα προβλήματα οδοστρωμάτων και τις εφικτές εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης εξαρτώνται από την ακρίβεια και την ακεραιότητα των στοιχείων που συγκεντρώνονται. Διάφοροι τύποι στοιχείων συλλέγονται για τη διαδικασία αξιολόγησης οδοστρωμάτων. Εύκολα ως προς τη συλλογή στοιχεία, όπως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα και η δομή του οδοστρώματος, πιο σύνθετες ιδιότητες των υλικών και μεταβλητές κατάστασης του οδοστρώματος, όπως το μέτρο ελαστικότητας και οι φθορές που διαπιστώνονται μέσω δοκιμών.

Οποιοδήποτε στοιχείο που συλλέγεται πριν από την αξιολόγηση του οδοστρώματος, ανεξάρτητα από τον τύπο, είναι ιστορικό. Περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με την περιοχή, τον σχεδιασμό και την κατασκευή, που συγκεντρώνονται από καταλόγους, μετρήσεις και πίνακες στοιχείων συντήρησης που συγκεντρώνονται καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος. Τα στοιχεία που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης οδοστρωμάτων, όπως οι οπτικές επισκοπήσεις, οι μη καταστρεπτικές και οι καταστρεπτικές δοκιμές, περιγράφονται ως στοιχεία συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων. Η πηγή στοιχείων για τον σχεδιασμό αξιολόγησης και αποκατάστασης είναι σημαντική επειδή αφορά άμεσα την αξιοπιστία της ολόκληρης διαδικασίας. Παραδείγματος χάριν, οι πληροφορίες πάχους οδοστρώματος που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αξιολόγησης μέσω της πυρηνοληψίας περιγράφονται ως στοιχεία συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων. Το ίδιο στοιχείο που λαμβάνεται από τα αρχεία που περιέχουν τα στοιχεία δοκιμής που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής περιγράφεται ως ιστορικό. Ένα επιτυχές και λεπτομερές πρόγραμμα αξιολόγησης οδοστρωμάτων απαιτεί τη συγκριτική μέτρηση επιδόσεων και τα ιστορικά στοιχεία, δεδομένου ότι μερικά στοιχεία εξ ορισμού θα παραμείνουν πάντα ιστορικά (π.χ. κυκλοφοριακοί φόρτοι). Εντούτοις, στις καταστάσεις όπου τα στοιχεία

μπορούν να ληφθούν και από τις δύο πηγές, τα στοιχεία συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων θα τείνουν να είναι πιο αξιόπιστα. Ακολούθως αναφέρονται συνοπτικές περιλήψεις των χαρακτηριστικών τύπων στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση οδοστρωμάτων.

4.9.2.2 Ιστορικά στοιχεία

Τα ιστορικά στοιχεία αποτελούνται από τα στοιχεία σχεδιασμού και τα στοιχεία ελέγχου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Τα συστατικά των ιστορικών στοιχείων περιγράφονται στα εξής τμήματα.

Στοιχεία σχεδιασμού

Τα στοιχεία καταλόγων αποτελούνται από τα στοιχεία που είναι απαραίτητα να προσδιορίσουν το πρόγραμμα υπό αξιολόγηση. Αυτό αποτελείται από τις γεωμετρικές λεπτομέρειες ενός προγράμματος και περιγράφει τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού και τις υλικές ιδιότητες των δομικών συστατικών του οδοστρώματος.

Όλα αυτά τα στοιχεία παραμένουν σταθερά μέχρι τον χρόνο της αξιολόγησης (με εξαίρεση τις υλικές ιδιότητες και το κλίμα που αλλάζουν με τον χρόνο) εκτός αν το οδόστρωμα υποβάλλεται σε σημαντικές επεμβάσεις συντήρησης. Συνήθως, τα στοιχεία σχεδιασμού λαμβάνονται από τα αρχεία της μελέτης ή της κατασκευής της οδού. Τα στοιχεία σχεδιασμού είναι όχι πάντα αξιόπιστα, γεγονός που οφείλεται στις πιθανές διαφορές ανάμεσα στη μελέτη και την εφαρμογή της κατά την κατασκευή. Τα στοιχεία σχεδιασμού πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό οδοστρωμάτων μόνο όταν δεν υπάρχει καμία άλλη εναλλακτική λύση.

Στοιχεία ελέγχου

Τα στοιχεία ελέγχου περιλαμβάνουν τις φθορές, την αντίσταση σε ολίσθηση επιφάνειας, τις μη καταστρεπτικές δοκιμές και τις καταστρεπτικές δοκιμές, όπως η πυρηνοληψία, η δειγματοληψία (καροταρίες) και ο εργαστηριακός έλεγχος. Αυτά τα στοιχεία συλλέγονται σε περιοδική βάση για να παρέχουν μια διαχρονική βάση δεδομένων για τον έλεγχο της απόδοσης του οδοστρώματος. Τα στοιχεία ελέγχου περιλαμβάνουν επίσης τις προηγούμενες εκτιμήσεις κυκλοφορίας και έναν λεπτομερή κατάλογο όλων των σημαντικών δραστηριοτήτων συντήρησης που έχουν εκτελεσθεί στο οδόστρωμα από την κατασκευή.

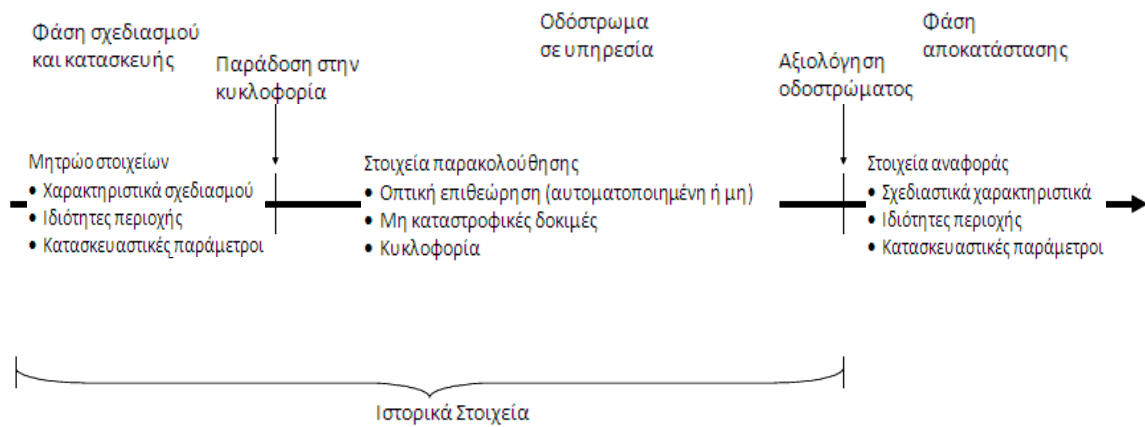
4.9.2.3 Στοιχεία συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων

Τα στοιχεία συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων αποτελούνται από τα στοιχεία φθορών που λαμβάνονται μέσω των οπτικών επιθεωρήσεων και των καταστρεπτικών/μη καταστρεπτικών δοκιμών στο οδόστρωμα.

4.9.2.4 Στοιχεία που απαιτούνται για τη γενική αξιολόγηση της κατάστασης και τον καθορισμό του προβλήματος

Τα στοιχεία που απαιτούνται για τη γενική αξιολόγηση της κατάστασης και τον

καθορισμό του προβλήματος μπορούν να ταξινομηθούν από τα επίπεδα 1 έως 3, σύμφωνα με την πηγή και την αξιοπιστία. Οι περιγραφές των διαφορετικών επιπέδων στοιχείων συνοψίζονται στον Πίνακα 4.5. Ο Πίνακας 4.5 δείχνει ότι τα διάφορα είδη πληροφοριών (είτε διαχρονική είτε συγκριτική μέτρηση επιδόσεων) απαιτούνται για μια περιεκτική αξιολόγηση οδοστρωμάτων. Οι πληροφορίες που απαιτούνται μπορούν να ληφθούν άμεσα από τους διαχρονικούς πίνακες στοιχείων της υπηρεσίας (πίνακες καταλόγων ή ελέγχου) ή με την πραγματοποίηση οπτικών ερευνών, την εκτέλεση μη καταστρεπτικών δοκιμών και την εκτέλεση καταστρεπτικών δοκιμών.



Σχήμα 4.1: Χρονικά όρια για τη συλλογή στοιχείων

Πίνακας 4.5: Καθορισμός των επιπέδων εισαγωγής δεδομένων για την αξιολόγηση οδοστρωμάτων

Παράμετρος ελέγχου	Παράγοντας	Επίπεδο συλλογής στοιχείων		
		1	2	3
Δομική επάρκεια	Τοπικά εντοπισμένες φθορές	Οπτική επιθεώρηση στο 50%-100% της οδού	Οπτική επιθεώρηση στο 10%-50% της οδού	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού
	Μη καταστροφική δοκιμή (δοκιμή αναπήδησης)	Σε διαστήματα μικρότερα των 150 μ.	Σε διαστήματα μεγαλύτερα των 150 μ.	Χρησιμοποίηση ιστορικών στοιχείων ή μη καταστροφικές δοκιμές σε επιλεγμένα σημεία
	Μη καταστροφική δοκιμή (GPR)			
	Μη καταστροφική δοκιμή (προφιλόμετρο)			

	Καταστροφική δοκιμή (πυρηνοληψία)	Σε διαστήματα μικρότερα των 600 μ.	Σε διαστήματα μεγαλύτερα των 600 μ.	Χρησιμοποίηση ιστορικών στοιχείων ή πυρηνοληψία σε επιλεγμένα σημεία
	Δεδομένα συντήρησης	Ιστορικά στοιχεία οπτική επιθεώρηση	Ιστορικά στοιχεία	Ιστορικά στοιχεία
Λειτουργική αξιολόγηση	Μη καταστροφική δοκιμή (προφιλόμετρο)—IRI	Στο σύνολο της οδού	Δοκιμές σε επιλεγμένα σημεία	Ιστορικά στοιχεία (στοιχεία ΣΔΟ)
	Μη καταστροφική δοκιμή (ολισθηρότητα)—FN	Στο σύνολο της οδού	Δοκιμές σε επιλεγμένα σημεία	Ιστορικά στοιχεία (στοιχεία ΣΔΟ)
Αποστράγγιση	Κλιματικά δεδομένα	Στο σύνολο της οδού	Σε επιλεγμένα σημεία	Σε επιλεγμένα σημεία
	Φθορές σχετιζόμενες με την υγρασία	Έρευνα αποστράγγισης στο 100% της οδού	Έρευνα αποστράγγισης δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
	Σημάδια υγρασίας-επιταχυνόμενη βλάβη	Έρευνα αποστράγγισης στο 100% της οδού	Έρευνα αποστράγγισης δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
	Κατάσταση των υπογείων αποστραγγιστικών συστημάτων	Έρευνα αποστράγγισης στο 100% της οδού	Έρευνα αποστράγγισης δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
	Κατάσταση των επιφανειακών αποστραγγιστικών συστημάτων	Έρευνα αποστράγγισης στο 100% της οδού	Έρευνα αποστράγγισης δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
	Φθορές επιφανείας σχετιζόμενες με την αντοχή στον χρόνο	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού

Διάρκεια υλικών	Κατάσταση βάσης (διάβρωση ή μόλυνση)	Δοκιμή κάθε 15 μ. κατά μήκος της οδού	Δοκιμή κάθε 150 μ. κατά μήκος της οδού	Χρήση ιστορικών στοιχείων ή δειγματοληπτικές δοκιμές
Έρεισμα	Κατάσταση επιφάνειας	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
Διαφορετικότητα κατά μήκος του οδοστρώματος	Ταυτοποίηση περιοχών με μεταβλητότητα κατάστασης	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
Διάφορα	Κυκλοφοριακή ικανότητα και γεωμετρία	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
Περιορισμοί	Υπάρχουν διαθέσιμες παρακάμψεις;	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
	Σε περίπτωση που η συντήρηση πρέπει να γίνει υπό κυκλοφορία	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
	Σε περίπτωση που η συντήρηση πρέπει να γίνει σε ώρες μη αιχμής	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού
	Προβλήματα εκκένωσης γεφυρών	Οπτική επιθεώρηση σε όλες τις γέφυρες	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα των γεφυρών σε όλο το μήκος της οδού
	Παράπλευρα προβλήματα	Οπτική επιθεώρηση στο σύνολο της οδού	Οπτικές επιθεωρήσεις δειγματοληπτικά	Συνολική έρευνα στο 100% της οδού

* Τα επίπεδα 1 και 2 χαρακτηριστικά είναι στοιχεία συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων ενώ το επίπεδο 3 αποτελείται από μια περιορισμένη μορφή στοιχείων συγκριτικής μέτρησης επιδόσεων που λαμβάνονται από τις οπτικές επιθεωρήσεις με αυτοκίνητο και τα διαχρονικά στοιχεία.

Οι δραστηριότητες που εκτελούνται ως τμήμα της συγκέντρωσης των διαχρονικών στοιχείων ή τον έλεγχο των αρχείων στοιχείων περιλαμβάνουν μια αναθεώρηση των προηγούμενων αρχείων στοιχείων κατασκευής και συντήρησης για να ανακτήσουν και να εξαγάγουν τις πληροφορίες και τα στοιχεία σχετικά με τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού του οδοστρώματος, τις υλικές ιδιότητες, και τις παραμέτρους κατασκευής.

Η αναθεώρηση πρέπει επίσης να περιλάβει τα προηγούμενα αρχεία οδοστρωμάτων για τις πληροφορίες, για τις προηγούμενες έρευνες φθορών και τις δραστηριότητες συντήρησης. Μια λεπτομερής αναθεώρηση των αρχείων παρελθόντος θα μπορούσε επίσης να παραγάγει τις πληροφορίες για τους περιορισμούς οδοστρωμάτων όπως ύπαρξη γεφυρών και τα πλευρικά εμπόδια. Δύο είδη πληροφοριών που πρέπει να συγκεντρωθούν ως τμήμα των διαχρονικών στοιχείων είναι οι κυκλοφορικοί φόρτοι και τα σχετικά με το κλίμα στοιχεία.

Τα στοιχεία κυκλοφορίας που απαιτούνται περιλαμβάνουν τις προηγούμενες και μελλοντικές εκτιμήσεις κυκλοφορίας, ως εισαγωγή για τον καθορισμό της τρέχουσας και μελλοντικής απόδοσης οδοστρωμάτων.

Οπτικές επιθεωρήσεις

Οι οπτικές έρευνες κυμαίνονται από μια περιστασιακή έρευνα που πραγματοποιείται από ένα κινούμενο όχημα σε μια πιο λεπτομερή έρευνα που συνίσταται στους εκπαιδευμένους μηχανικούς και τους τεχνικούς να περπατούν ολόκληρο το μήκος του οδοστρώματος (ή των επιλεγμένων περιοχών), να μετρούν και να χαράζουν όλες τις φθορές που προσδιορίζονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος, τα ερείσματα και τα συστήματα αποστράγγισης (Applied Pavement Technology Inc., 2001). Πρόσφατα, οι αυτοματοποιημένες οπτικές τεχνικές ερευνών έχουν γίνει πιά κοινές και υιοθετούνται για τις έρευνες φθορών και την αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων. Διάφορες μέθοδοι είναι διαθέσιμες για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, το ακατέργαστο στοιχείο που συλλέγεται κατά τη διάρκεια της έρευνας πρέπει να μετασηματιστεί για τη χρήση στην αξιολόγηση και την ανάλυση του οδοστρώματος (π.χ. μετατρέποντας τον αριθμό χαμηλής, μέσης ή εγκάρσιας ρηγματώσεως σε ένα ποσοστό ενός επιλεγμένου τμήματος 500 μ.).

Στοιχεία από μη καταστρεπτικές δοκιμές

Η μη καταστρεπτική δοκιμή (NDT) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την εξέταση της δομής πεζοδρομίων και οι ιδιότητες υλικών μέσω σημαίνων που δεν προκαλούν τις αλλαγές ζημίας ή ιδιοκτησίας στη δομή.

Καταστρεπτικές δοκιμές

Οι καταστρεπτικές δοκιμές απαιτούν τη φυσική αφαίρεση ή τη ζημία του υλικού στρώματος πεζοδρομίων για να λάβουν ένα δείγμα (είτε διαταραγμένο είτε μη διαταραγμένο) για τον εργαστηριακό χαρακτηρισμό του οδοστρώματος.

4.9.2.5 Έρευνα φθορών

Μια βασική εισαγωγή που απαιτείται για τον προσδιορισμό των εφικτών εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης είναι η κατάσταση του οδοστρώματος, η οποία αν και καθορίζεται με διαφορετικούς τρόπους από τις διαφορετικές υπηρεσίες, σχεδόν πάντα απαιτεί τον προσδιορισμό διάφορων τύπων, εύρους και βάθους φθορών μέσω της επιτόπιας οπτικής έρευνας. Οι μη αυτοματοποιημένες, οι αυτοματοποιημένες έρευνες φθορών, οι φωτογραφήσεις και οι χαμηλού ύψους αεροφωτογραφίες είναι οι μέθοδοι συλλογής στοιχείων για τον καθορισμό της κατάστασης του οδοστρώματος. Η χρήση των αυτοματοποιημένων τεχνικών θα μπορούσε σημαντικά να μειώσει το χρόνο της συλλογής δεδομένων και το χρόνο από τη συλλογή δεδομένων μέχρι τη λήψη απόφασης και την έναρξη της αποκατάστασης που είναι ο κρίσιμος χρόνος για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των οδοστρωμάτων από τα βαριά φορτία.

Γενικό υπόβαθρο

Οι ακριβείς έρευνες κατάστασης, που αξιολογούν τις φυσικές φθορές ενός οδοστρώματος, είναι ζωτικής σημασίας σε μια επιτυχή προσπάθεια αξιολόγησης επειδή τα αποτελέσματα των ερευνών διαμορφώνουν άποψη για την επάρκεια του οδοστρώματος.

Ενώ οι μηχανικοί δέχονται την ανάγκη για τις έρευνες κατάστασης ή φθορών γενικά, οι συγκεκριμένες μεθοδολογίες για τέτοιες έρευνες ποικίλλουν από την υπηρεσία σε υπηρεσία. Κάθε υπηρεσία πρέπει να αναπτύξει μια μεθοδολογία ερευνών σύμφωνα με τη χρήση των στοιχείων που παράγονται, το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό και τους οικονομικούς πόρους της.

Ελάχιστες ανάγκες πληροφοριών

Τα ακόλουθα στοιχεία απαιτούνται για την αξιολόγηση οδοστρωμάτων:

- 1 Είδος: Τα είδη των επιφανειακών φθορών που υπάρχουν στο οδόστρωμα. Οι τύποι φθορών πρέπει να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τους αιτιώδεις μηχανισμούς τους.
- 2 Μέγεθος: Το εύρος κάθε τύπου φθοράς για την αξιολόγηση του βαθμού επιδείνωσης.
- 3 Πυκνότητα: Δείχνει τη σχετική περιοχή (ποσοστό της περιοχής ή του μήκους λωρίδων) ανάλογα με τον τύπο και το βάθος φθοράς.

Μια λεπτομερής οπτική έρευνα φθορών πρέπει να εξετάσει κάθε μία από τις απαιτήσεις που απαριθμούνται ανωτέρω. Αν και οι παράμετροι κάθε κατηγορίας ποικίλλουν από Υπηρεσία σε Υπηρεσία, οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες έρευνες είναι παρόμοιες (αυτοματοποιημένες ή μη αυτοματοποιημένες) και μπορούν να προσαρμοστούν ή να τροποποιηθούν στις τοπικές συνθήκες. Ο

προσδιορισμός φθορών για τα εύκαμπτα οδοστρώματα βασίζεται στο εγχειρίδιο προσδιορισμού φθορών για το πρόγραμμα μακροπρόθεσμου σχεδιασμού οδοστρώματων (Strategic Highway Research Program [SHRP], 1993).

Αν και το εγχειρίδιο προσδιορισμού φθορών για το μακροπρόθεσμο πρόγραμμα απόδοσης οδοστρώματων αναπτύχθηκε ως εργαλείο για το πρόγραμμα LTPP (Long-Term Pavement Performance), το εγχειρίδιο έχει ευρύτερη εφαρμογή και παρέχει μια κοινή γλώσσα για την περιγραφή των ρηγματώσεων, των λακουβών, της τροχαυλάκωσης και των άλλων φθορών, που απαιτούνται για την αξιολόγηση του οδοστρώματος.



Σχήμα 4.2: Παράδειγμα ρηγματώσεων κόπωσης σε εύκαμπτο οδόστρωμα



Σχήμα 4.3: Παράδειγμα μόνιμης παραμόρφωσης σε εύκαμπτο οδόστρωμα



Σχήμα 4.4: Παράδειγμα κατά μήκος ρηγμάτωσης σε εύκαμπτο οδόστρωμα

Ο Πίνακας 4.6 παρουσιάζει μια περίληψη των κοινών τύπων φθορών για τα εύκαμπτα οδοστρώματα (Shahin, 1994 - SHRP, 1993 - Huang, 1997 - Owusu-Antwi et al., 1997 - Titus-Glover et al., 1999).

Πίνακας 4.6: Γενική κατηγοριοποίηση των φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων

Γενική περιγραφή	Είδος φθοράς	Κύριοι παράγοντες συμβολής
Ρηγμάτωση	Ρηγματώσεις κόπωσης	Φορτία
	Διαμήκειες ρηγματώσεις	Φορτία
	Ρηγματώσεις ανακλάσεως	Φορτία, υλικά, κλίμα, κατασκευή
	Εγκάρσιες ρηγματώσεις	Υλικά, κλίμα
	Ρηγματώσεις πολυγώνου	Υλικά, κλίμα, κατασκευή
Παραμόρφωση επιφανείας	Τροχοαυλάκωση	Φορτία, υλικά
	Επωθήσεις	Φορτία
Φθορές επιφάνειας	Απόσπαση αδρανών	Υλικά, κλίμα, κατασκευή
	Ανάδυση ασφάλτου	Υλικά, κλίμα, κατασκευή
Διάφορες φθορές	Διαφορά επιπέδου λωρίδας – ερείσματος	Υλικά, κλίμα, κατασκευή
	Ανάδυση νερού	Φορτία, υλικά, κλίμα, κατασκευή
Μπαλώματα και λακούβες	Φθορά μπαλωμάτων	Φορτία, υλικά, κλίμα, κατασκευή
	Λακούβες	Φορτία

Πίνακας 4.7: Καταστάσεις ανησυχίας για τα υφιστάμενα εύκαμπτα οδοστρώματα

Παράγοντας	Πιθανή κατάσταση	Όριο συναγερμού
Ρηγματώσεις κόπωσης	Αλληλένδετες ρηγματώσεις που μορφοποιούν συγκεκριμένο σχήμα	Πάνω από το 45% της επιφάνειας κυκλοφορίας, ρηγματώσεις στα όρια του οδοστρώματος
		Μεγάλης κλίμακας ρηγματώσεις σε ποσοστό πάνω από 20% της επιφάνειας κυκλοφορίας, κομμάτια ασφάλτου μετακινούνται από την κυκλοφορία
Διαμήκειες ρηγματώσεις εντός του εύρους πορείας τροχών	Διαμήκειες ρηγματώσεις μέσα ή παράπλευρα των τροχοδρομήσεων	Το μέσο εύρος των ρηγματώσεων ξεπερνά τα 6,35 mm και παρουσιάζει μερικές φθορές πάνω στις τροχοδρομήσεις σε ποσοστό πάνω από 25% του μήκους
Ρηγματώσεις ανακλάσεως	Εγκάρσιες ή διαμήκειες ρηγματώσεις που έχουν εύρος πάνω από 6,35 mm με μικρή επιδείνωση	
Εγκάρσιες ρηγματώσεις	Η ανάπτυξη των ρηγματώσεων είναι μήκους μικρότερου των 30 μ.	Το μέσο εύρος ρηγματώσεων ξεπερνά τα 6,35 mm με επιδείνωσή τους
Ρηγματώσεις πολυγώνου	Εγκάρσιες και διαμήκειες ρηγματώσεις που μορφοποιούν έναν κάρναβο	Το μέσο εύρος ρηγματώσεων ξεπερνά τα 6,35 mm με μικρή επιδείνωση
Τροχοαυλάκωση	Το μέσο βάθος ξεπερνά τα 12,7 mm	
Επωθήσεις	Οι διογκώσεις ξεπερνούν το 25% της επιφάνειας τροχοδρόμησης	Λείανση ασφαλτοτάπητα
		Ασφαλτομίγματα με υψηλή περιεκτικότητα ασφάλτου
Απόσπαση	Η επιφάνεια είναι τραχιά και διαβρωμένη, απόσπαση αδρανών σε πάνω από το 50% της επιφάνειας	Ασφαλτομίγματα ευαίσθητα στην υγρασία
		Λεπτός υμένος ασφάλτου (χαμηλή περιεκτικότητα ασφάλτου)
Εξίδρωση	Απώλεια μακροϋφής σε πάνω από το 25% της επιφάνειας	Λείανση ασφαλτοτάπητα
		Ασφαλτομίγματα με υψηλή περιεκτικότητα ασφάλτου

Ανάδυση νερού	Ανάδυση νερού σε αρμούς συστολής ή ρηγματώσεις κατά μήκος της λωρίδας	Κορεσμένα αδρανή βάσης ή εδάφη
Διαφορά επιπέδου λωρίδας – ερείσματος	Μέση υψομετρική διαφορά μεταξύ λωρίδας κυκλοφορίας και ερείσματος παραπάνω από 20,32 mm	
Κοιλώματα/Διογκώσεις, Διαμήκες προφίλ	Εύκαμπτα οδοστρώματα υποστηριζόμενα σε εδάφη που υπόκεινται σε εποχιακές διαφοροποιήσεις στην περιεκτικότητα σε υγρασία	
	Εύκαμπτα οδοστρώματα υποστηριζόμενα σε ευκαθή στον παγετό εδάφη που διαθέτουν ανεπαρκή κάλυψη για την αποτροπή διάτρησης λόγω παγετού	
Εγκάρσιο προφίλ επιφάνειας	Τροχοαυλάκωση	Περισσότερο από 12,7 μ.
	Επωθήσεις	Περισσότερο από 25% της περιοχής του ίχνους τροχών
Μπάλωμα/Φθορά μπαλώματος	Απώλεια υλικού γύρω από τα όρια μπαλωμάτων και/ή ανάδυση νερού γύρω από τα όρια	
Λακούβες	Το βάθος των λακούβων ξεπερνά τα 2,54 cm με συχνότητα πάνω από 2 ανά μίλι (1.610 μ.)	
Ομοιομορφία επιφάνειας	Εντοπισμένη περιοχή με προχωρημένες φθορές ή συχνές ξαφνικές διαφοροποιήσεις στην σπουδαιότητα των φθορών και στην καμπυλότητα της λεκάνης	
Επιδείνωση φθορών λόγω δομικής ανεπάρκειας	Οι φθορές αυξάνουν στην αύξηση των φορτίων, με επιταχυνόμενο ρυθμό	

Μη αυτοματοποιημένες έρευνες

Οι μη αυτοματοποιημένες έρευνες συνίστανται σε έναν οπτικό περίπατο σε κάθε τμήμα οδοστρώματος από εξειδικευμένα πληρώματα επιθεώρησης. Τα στοιχεία σχετικά με τους συγκεκριμένους τύπους των φθορών, το εύρος και την πυκνότητα συλλέγονται με ταυτόχρονη χαρτογράφηση της ακριβούς θέσης τους σε χάρτες φθορών. Οι φθορές που δεν περιγράφονται στο εγχειρίδιο προσδιορισμού φθορών (π.χ. Distress Identification Manual) φωτογραφίζονται για μελλοντική ανάλυση.

Αυτοματοποιημένες έρευνες (φωτογραφική καταγραφή)

Οι αυτοματοποιημένες έρευνες κέρδισαν έδαφος στα μέσα της δεκαετίας του '90. Τα πλεονεκτήματα της αυτοματοποιημένης διαδικασίας είναι τα εξής:

- Αυξανόμενη ασφάλεια (κανένα πλήρωμα ερευνών δεν απαιτείται να κινείται στα ερείσματα των οδών μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου).
- Μικρότερος αντίκτυπος στους χρήστες της οδού.

- Δυνατότητα να μετρηθεί αυτόματα η ομαλότητα του οδοστρώματος.
- Αυξανόμενη ομοιομορφία των δραστηριοτήτων συλλογής δεδομένων και επεξεργασίας δεδομένων.
- Εύχρηστη αποθήκευση των στοιχείων ερευνών όσον αφορά τις μαγνητοταινίες και τις βάσεις δεδομένων.

Οι αυτοματοποιημένες έρευνες διεξάγονται από ένα ειδικά τροποποιημένο όχημα που στεγάζει ένα εκτενές σύνολο υπολογιστών και αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων των λέιζερ, των επιταχυνσιόμετρων, των υπερηχητικών μετατροπέων, των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών και άλλων υποσυστημάτων προηγμένης τεχνολογίας. Ο σκοπός όλης αυτής της τεχνολογίας είναι να συλλεχθούν οι πληροφορίες και τα κρίσιμα στοιχεία για την κατάσταση του οδοστρώματος με πολύ γρήγορο ρυθμό. Τα συλλεχθέντα στοιχεία με αυτόν τον τύπο τεχνολογίας είναι συγκρίσιμα και συμβατά με τις τυποποιημένες μη αυτοματοποιημένες τεχνικές ερευνών.

Μόλις συλλεχθούν τα στοιχεία μαγνητοταινιών και αισθητήρων, οι πληροφορίες υποβάλλονται σε επεξεργασία από το εκπαιδευμένο και πεπειραμένο προσωπικό. Ως τμήμα της προσπάθειας επεξεργασίας δεδομένων, το προσωπικό αποτίμησης προσδιορίζει τα είδη, το μέγεθος και την πυκνότητα των φθορών.

Περίληψη

Η αξιολόγηση των φθορών παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τον καθορισμό των αιτιών της επιδείνωσης του οδοστρώματος, της κατάστασής του και τελικά των αναγκών αποκατάστασής της. Οι φθορές πρέπει να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη γενεσιουργό αίτιο (φορτίο, υγρασία, θερμοκρασία/κλίμα, υλικά ή ένας συνδυασμός αυτών). Η αποστράγγιση υδάτων πρέπει να αξιολογηθεί με ιδιαίτερη προσοχή. Εάν η υγρασία επιταχύνει την επιδείνωση της κατάστασης του οδοστρώματος, ο μηχανικός πρέπει να καθορίσει τον τρόπο που το νερό επιταχύνει την επιδείνωση, από πού προέρχεται και τι μπορεί να γίνει για την αποτροπή ή την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων.

4.9.2.6 Μετρήσεις/στοιχεία ομαλότητας

Η ομαλότητα θεωρείται ευρέως ως κρίσιμη παράμετρος και δείκτης της κατάστασης του οδοστρώματος επειδή είναι εκείνο από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά που είναι περισσότερο αντιληπτό στον χρήστη της οδού. Η ομαλότητα της επιφάνειας ενός οδοστρώματος έχει επίσης μια σημαντική επίδραση στις λειτουργικές δαπάνες και την ασφάλεια των οχημάτων. Η ομαλότητα είναι συνήθως ένας δείκτης που ποσοτικοποιεί τις εγκάρσιες αποκλίσεις σε μια επιφάνεια οδοστρώματος. Η επιφάνεια του οδοστρώματος χαρακτηρίζεται από την καταγραφή του προφίλ της (Sayers και Karamihis, 1996).

Προφίλ του οδοστρώματος ορίζεται ως μια δισδιάστατη τομή της οδικής επιφάνειας, που λαμβάνεται σύμφωνα με μια φανταστική γραμμή. Τα προφίλ που λαμβάνονται

σύμφωνα με μια εγκάρσια τομή απεικονίζουν την επίκλιση και την τροχοαυλάκωση. Τα διαμήκη προφίλ παρουσιάζουν την κλίση, την ομαλότητα και την υφή. Η ομαλότητα του οδοστρώματος χαρακτηρίζεται χρησιμοποιώντας το διαμήκες προφίλ. Η χρήση του εγκάρσιου προφίλ για τον χαρακτηρισμό της τροχοαυλάκωσης ή άλλης φθοράς εξηγείται στο εγχειρίδιο προσδιορισμού φθορών (LTTP distress identification manual) (SHRP, 1993).

Καθορισμός της ομαλότητας

Η ομαλότητα (smoothness) ορίζεται ως «οι διαμήκεις αποκλίσεις μιας επιφάνειας οδοστρώματος από μια απόλυτα επίπεδη επιφάνεια, που έχουν επιπτώσεις στη δυναμική των οχημάτων, την ποιότητα τροχοδρόμησης και τον κυκλοφοριακό φόρτο» (Janoff, 1975). Αναφέρεται επίσης ως ποιότητα τροχοδρόμησης (ride quality) ή τραχύτητα (roughness). Διάφοροι δείκτες χρησιμοποιούνται για να ποσοτικοποιήσουν το προφίλ ενός οδοστρώματος, συμπεριλαμβανομένου του δείκτη PI (Profile Index) και του διεθνούς δείκτη ομαλότητας (IRI).

Η έλλειψη ομαλότητας στην επιφάνεια ενός οδοστρώματος μπορεί να προκληθεί ή να επιδεινωθεί από διάφορους παράγοντες, ιδιαίτερα από τις κακοτεχνίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η αρχική ομαλότητα επιδεινώνεται γενικά όταν εκτίθεται το οδόστρωμα κυκλοφοριακά και κλιματικά φορτία που προκαλούν την ανάπτυξη φθορών και άλλων ατελειών στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Μερικοί από τους παράγοντες που προκαλούν την απώλεια ομαλότητας είναι οι εξής (Sayers και Karamihas, 1996 - Janoff, 1975):

- Τοπικές φθορές οδοστρωμάτων (π.χ. λακκούβες και ρηγματώσεις).
- Κυκλοφορία (που προκαλεί φθορές όπως αυλακώσεις).
- Περιβαλλοντικές διαδικασίες, που συνδυάζονται με τις υλικές ιδιότητες του ασφαλτοτάπητα όπως η φτωχή απορροή, και τα ανομοιόμορφα στρώματα υπό τον τάπητα κυκλοφορίας.

4.9.2.7 Έρευνα απορροής και αποστράγγισης

Οι φθορές στα εύκαμπτα οδοστρώματα συχνά είτε προκαλούνται είτε επιταχύνονται από την παρουσία υγρασίας στη δομή του οδοστρώματος. Κατά την αξιολόγηση της κατάστασης των υφιστάμενων οδοστρωμάτων οι μηχανικοί πρέπει να ερευνήσουν το ρόλο της βελτίωσης της απορροής και της αποστράγγισης στη διόρθωση της μειωμένος απόδοσης του οδοστρώματος. Είναι επίσης σημαντικό να αναγνωριστεί πότε οι φθορές ενός οδοστρώματος δεν είναι σχετικές με την παρουσία υγρασίας και επομένως, δεν μπορούν να θεραπευθούν από τις βελτιώσεις στην απορροή και την αποστράγγιση (AASHTO, 1993).

Περαιτέρω, η έρευνα απορροής και αποστράγγισης εστιάζει σε φθορές οδοστρωμάτων λόγω συστολής και διαστολής, φαινόμενο που προκαλείται από το πάγωμα και ξεπαγώμα του νερού.

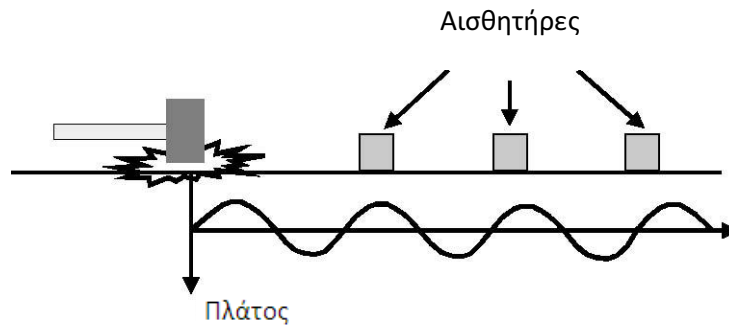
4.9.2.8 Μη καταστρεπτική δοκιμή (nondestructive testing)

Διάφορα συστήματα μη καταστρεπτικών δοκιμών NDT (nondestructive testing) είναι διαθέσιμα για χρήση στην αξιολόγηση οδοστρωμάτων. Αυτά τα συστήματα ή μέθοδοι μπορούν να ταξινομηθούν από τις ιδιότητες του οδοστρώματος που μετριοούνται από τον εξοπλισμό της δοκιμής (AASHTO, 1993 - Shahin, 1994):

- Δομική απόκριση οδοστρώματος – δοκιμή απόκλισης.
- Πάχος στρώματος και προσδιορισμός των ανωμαλιών του οδοστρώματος - δοκιμή ραντάρ διάτρησης εδάφους.
- Ελαστική απόκριση και καθορισμός των ανωμαλιών του υλικού – Σεισμική ανάλυση των κυμάτων επιφάνειας SASW (seismic analysis of surface waves), δοκιμή αντίκτυπου ηχούς I-E (impact echo) και δοκιμή απόκρισης ώθησης IR (impulse response).

Οι ευρύτατα χρησιμοποιημένες συσκευές δοκιμής εκτροπής είναι οι συσκευές φόρτισης ώθησης π.χ. fwd (falling weight deflectometer). Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν τους μετατροπείς ταχύτητας ή τα σεισμόμετρα για να μετρήσουν την εκτροπή της επιφάνειας του οδοστρώματος και τη λεκάνη εκτροπής του φορτισμένου οδοστρώματος, καθιστώντας δυνατή τη λήψη της απόκρισης του οδοστρώματος στο φορτίο και την προκύπτουσα κυρτότητα κάτω από το φορτίο. Μια άλλη κατηγορία συσκευών που μετρά την εκτροπή οδοστρωμάτων είναι ο μετρητής εκτροπής με κυλλιόμενη ρόδα (rolling wheel deflectometer), αλλά η συσκευή είναι ακόμα υπό ανάπτυξη (Herr et al., 1995).

Η σεισμική δοκιμή των συστημάτων οδοστρωμάτων είναι δυνατή χρησιμοποιώντας τη φασματική ανάλυση της μεθόδου δοκιμής κυμάτων επιφάνειας (SASW). Η μεθοδολογία SASW αναπτύχθηκε αρχικά στο πλαίσιο του στρατηγικού ερευνητικού προγράμματος εθνικών οδών (SHRP) και έχει ενισχυθεί πολύ μέσω της ανάπτυξης των νέων προγραμμάτων εξοπλισμού και υπολογιστών. Η σεισμική ανάλυση περιλαμβάνει τον καθοριστικό χρόνο ταξιδιού των κυμάτων Rayleigh μέσω του υπό δοκιμή μέσου και της μετατροπής της παρατηρηθείσας απάντησης στις υλικές ιδιότητες. Η σεισμική δοκιμή λειτουργεί συνήθως υπό πολύ μικρές συνθήκες πίεσης. Έχει αποδειχθεί χρήσιμη στον καθορισμό των συντελεστών του υλικού και του πάχους των στρωμάτων επιφάνειας. Μια σχηματική αναπαράσταση που παρουσιάζει σεισμική δοκιμή οδοστρώματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Σχηματική αναπαράσταση που παρουσιάζει σεισμική δοκιμή των οδοστρωμάτων (μετράται ταχύτητα, εύρος και μήκος κύματος)

Συνιστάται, τα στοιχεία NDT να χρησιμοποιούνται από κοινού με τις πληροφορίες από τις έρευνες φθορών για την αποτελεσματική ερμηνεία των στοιχείων. Οι δομικές NDT πρέπει να εκτελούνται πριν από την εκτέλεση των καταστρεπτικών δοκιμών, όπως η πυρηνοληψία και η ανασκαφή υλικών, για την ορθότερη επιλογή των θέσεων των δοκιμών.

4.9.2.9 Καταστρεπτική δοκιμή οδοστρωμάτων

Υπόβαθρο

Ιστορικά, οι καταστρεπτικές και μη καταστρεπτικές δοκιμές έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό για την αξιολόγηση της αντοχής και την αξιολόγηση της απόδοσης της υφιστάμενης κατάστασης των οδοστρωμάτων. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι μη καταστρεπτικές εξεταστικές τεχνικές μπορεί να μην παρέχουν πάντα έναν λογικό ή ακριβή χαρακτηρισμό των επιτόπιων ιδιοτήτων των υλικών, ιδιαίτερα για το κορυφαίο στρώμα του οδοστρώματος. Είναι αναγνωρισμένη ορθή πρακτική, να συμπληρώνονται οι μη καταστρεπτικές δοκιμές με τη χρήση των καταστρεπτικών εξεταστικών μεθόδων. Η καταστρεπτική δοκιμή εκτείνεται από την πυρηνοληψία των υλικών για την παρατήρηση και τη δοκιμή ως την αφαίρεση ενός στρώματος για την παρατήρηση της κατάστασης του οδοστρώματος.

Οι καταστρεπτικές δοκιμές απαιτούν τη φυσική αφαίρεση του υλικού στρώματος οδοστρωμάτων για τη λήψη ενός δείγματος και την παρατήρηση της κατάστασης του υλικού ή για μια επιτόπου δοκιμή.

Σημαντικές παράμετροι

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συλλογής δεδομένων, ο μηχανικός πρέπει να συσσωρεύσει αρκετές πληροφορίες για την επιτόπου κατάσταση των οδοστρωμάτων ώστε να καθορίσει την ακριβή αιτία του κινδύνου. Οι παράμετροι των πραγματικών συλλεχθέντων στοιχείων ποικίλλουν από πρόγραμμα σε πρόγραμμα.

Είναι ευθύνη του μηχανικού να καθορίσει την έκταση της συλλογής δεδομένων για ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα και να ελαχιστοποιήσει το κόστος με την αποφυγή της

συλλογής των περιττών πληροφοριών. Υπάρχουν, εντούτοις, διάφορες σημαντικές παράμετροι που πρέπει να αντιμετωπισθούν όπως ιδιαίτερα συστήνονται σε οποιαδήποτε διαδικασία συλλογής δεδομένων. Είναι οι ακόλουθες:

- Τοπικές υλικές ιδιότητες.
- Πάχη στρώματος.
- Υλικός τύπος στρώματος.
- Εξέταση πυρήνων για την παρατήρηση της γενικής κατάστασης και την ανθεκτικότητα του υλικού στον χρόνο.

Μια σημαντική πτυχή της καταστρεπτικής δοκιμής είναι να εξεταστούν τα ανακτημένα δείγματα πυρήνων για τη δύναμη και να καθοριστεί ή να επιβεβαιωθεί το πάχος στρώματος και ο υλικός τύπος. Άλλες πληροφορίες που λαμβάνονται χρήσιμες μέσω της οπτικής εξέτασης των πυρήνων είναι η γενική κατάσταση των στρωμάτων του οδοστρώματος, το εύρος και το μέγεθος του κινδύνου, την κατάσταση της σύνδεσης μεταξύ των στρωμάτων και την παρουσία ατελειών όπως ρωγμές, κενά, χωρισμός στρώματος, συνολική διανομή, αιμορραγία. Άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του υλικού που μπορούν να σημειωθούν είναι ο γενικός τύπος και η μορφή του συνόλου όπως το στρογγυλεμένο αμμοχάλικο ή η γωνιακή συντριμμένη πέτρα.

Ανάγκη για την καταστρεπτική δοκιμή

Υπάρχουν τρεις πηγές πληροφοριών διαθέσιμες στον μηχανικό κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συλλογής δεδομένων: ιστορικά στοιχεία, καταστρεπτική δοκιμή και μη καταστρεπτική δοκιμή. Μια ή περισσότερες από αυτές τις πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκπληρώσουν τις παραμέτρους συλλογής δεδομένων που απαριθμούνται ανωτέρω.

Η χρήση ενός περιορισμένου αριθμού καταστρεπτικών δοκιμών που ελέγχουν τις υλικές ιδιότητες που υπολογίζονται είτε από NDT είτε από ιστορικά στοιχεία. Επίσης, αυτές οι δοκιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν την επάρκεια αποστράγγισης.

Ο προσδιορισμός του υλικού τύπου στρώματος οδοστρωμάτων δεν μπορεί να γίνει μέσω των NDT. Ο υλικός τύπος στρώματος μπορεί συνήθως να προσδιοριστεί από τις ιστορικές πληροφορίες πεζοδρομίων, εκτός αν δεν υπάρχουν τέτοιες πληροφορίες. Ένας περιορισμένος αριθμός πυρηνοληψιών σε τυχαία επιλεγμένες θέσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει τις ιστορικές πληροφορίες.

Εν περιλήψει, ενώ η NDT προτιμάται κατά ένα μεγάλο μέρος από την καταστρεπτική δοκιμή, ένα συμπληρωματικό πρόγραμμα καταστρεπτικής δοκιμής απαιτείται για να εξασφαλίσει την ακρίβεια των αποκτηθέντων στοιχείων. Αυτό το σύστημα επίσης θα

εξασφαλίσει ότι μόνο τα ακριβή στοιχεία θα χρησιμοποιηθούν στο σχέδιο αποκατάστασης.

Επιλογή των πρωτοκόλλων δοκιμής και του απαραίτητου αριθμού δοκιμών

Οι περισσότερες υπηρεσίες χρησιμοποιούν τα τοπικά πρωτόκολλα δοκιμής τους για να εκτελέσουν την εργαστηριακή ανάλυση και να χαρακτηρίσουν τις υλικές ιδιότητες των οδοστρωμάτων. Τέτοια πρωτόκολλα δοκιμής παρέχουν τις οδηγίες σχετικά με τη μέθοδο δειγματοληψίας, την υλική προετοιμασία, τον εξοπλισμό δοκιμής ή τις συσκευές, συχνότητα της βαθμολόγησης του εξοπλισμού δοκιμής, διαδικασία δοκιμής, υπολογισμός των αποτελεσμάτων, ανάλυση στοιχείων, και υποβολή έκθεσης των αποτελεσμάτων.

Συνιστάται οι υπηρεσίες να ακολουθούν τις οδηγίες που παρέχονται στα πρωτόκολλα δοκιμής για να επιτύχουν συνεπή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η δειγματοληψία πρέπει να σχεδιαστεί για κάθε μονάδα ανάλυσης. Οι μονάδες ανάλυσης είναι τμήματα οδοστρωμάτων, τα οποία παρουσιάζουν στατιστικά ομοιόμορφες ιδιότητες και απόδοση. Αυτές οι μονάδες πρέπει να αποτελέσουν τη βάση για ένα πρόγραμμα δειγματοληψίας.

4.10 Γενική αξιολόγηση της κατάστασης και καθορισμός του προβλήματος

Το τελικό βήμα στη διαδικασία αξιολόγησης οδοστρωμάτων είναι η προετοιμασία γενικής αξιολόγησης της κατάστασης. Εάν αυτό γίνεται κατάλληλα, κατόπιν η επόμενη φάση προσδιορισμού των εφικτών εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης είναι σχετικά εύκολη. Μια τέτοιου είδους αξιολόγηση καθορίζει πλήρως τα προβλήματα που πρέπει να εξεταστούν ή να διορθωθούν, οδηγώντας στην ανάπτυξη ενός συνόλου εφικτών λύσεων αποκατάστασης.

Ακολούθως παρουσιάζονται οδηγίες για την αξιολόγηση της γενικής κατάστασης ενός οδοστρώματος και τον καθορισμό των βασικών προβλημάτων του, σε προετοιμασία για τον προσδιορισμό των εφικτών, οικονομικώς αποδοτικών εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης. Οι τομείς της αξιολόγησης περιλαμβάνουν τη δομική και τη λειτουργική επάρκεια, την επάρκεια αποστράγγισης, τη διάρκεια υλικών, τις εφαρμογές συντήρησης και την επάρκεια ερεισμάτων.

Όπως διευκρινίζεται στον Πίνακα 4.8, οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται από τις διάφορες έρευνες και τις δοκιμές που αναλύονται στο προηγούμενο τμήμα αυτού του Κεφαλαίου μπορούν και πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση της γενικής κατάστασης οδοστρωμάτων.

Πίνακας 4.8: Τομείς της γενικής αξιολόγησης της κατάστασης του οδοστρώματος και των αντίστοιχων πηγών στοιχείων

Τομέας της αξιολόγησης	Πηγή στοιχείων					
	Έρευνα φθοράς	Δοκιμή ομαλότητας	Δοκιμή τριβής	Έρευνα αποστράγγισης	Μη καταστρεπτική δοκιμή	Καταστρεπτική δοκιμή
Δομική επάρκεια	v			v	v	v
Λειτουργική επάρκεια	v	v	v			
Επάρκεια αποστράγγισης	v			v	v	v
Διάρκεια υλικών	v			v	v	v
Εφαρμογές συντήρησης	v					
Επάρκεια ερεισμάτων	v				v	
Μεταβλητότητα κατά μήκος του έργου	v	v	v	v	v	v
Διάφοροι	v			v	v	v

Ένα οδόστρωμα θεωρείται ότι έχει αποτύχει όταν υπερβαίνει οποιοσδήποτε από τις τιμές κατώτερων ορίων για κάθε κατηγορία. Όταν ένα οδόστρωμα παρουσιάζει αυτά τα επίπεδα φθορών, το ποσοστό επιδείνωσης είναι τέτοιο που οι εργασίες συντήρησης γίνονται απαγορευτικές ως προς το κόστος και απαιτούνται μεγαλύτερης κλίμακας διορθωτικά μέτρα.

Ένα οδόστρωμα με έναν ή περισσότερους κινδύνους σε μια δεδομένη κατηγορία σε οριακό επίπεδο είναι αυτό που θα χρειαστεί σύντομα αποκατάσταση. Η καθιέρωση μιας αξίας «ώθησης» για κάθε κίνδυνο, επιτρέπει στις υπηρεσίες να προγραμματίσουν, να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν μια δραστηριότητα αποκατάστασης πριν το οδόστρωμα φθάσει σε μια δομικά ανεπαρκή κατάσταση.

Η στρατηγική αποκατάστασης που υιοθετείται για ένα δεδομένο οδόστρωμα πρέπει να βασίζεται στις κατηγορίες που είναι ανεπαρκείς ή οριακές. Οι συγκεκριμένες στρατηγικές αποκατάστασης πρέπει να βασιστούν στις εκάστοτε οδηγίες των Υπηρεσιών.

4.10.1 Δομική επάρκεια

Η δομική επάρκεια ενός οδοστρώματος μπορεί να αντιμετωπισθεί από την άποψη της τρέχουσας ή μελλοντικής δομικής επάρκειας.

Η τρέχουσα δομική επάρκεια αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ του υπάρχοντος επιπέδου επιδείνωσης οδοστρώματος και του επιπέδου επιδείνωσης που κρίνεται ως δομική αποτυχία από μια υπηρεσία. Ένα οδόστρωμα που δεν έχει επιδεινωθεί στο σημείο της δομικής αποτυχίας θεωρείται δομικά επαρκές, ενώ εάν έχει φθάσει ή έχει ξεπεράσει μια ορισμένη από την Υπηρεσία οριακή τιμή επιδείνωσης θεωρείται δομικά ανεπαρκές.

Η μελλοντική δομική επάρκεια αναφέρεται στη δυνατότητα ενός οδοστρώματος να φέρει τα μελλοντικά φορτία χωρίς σημαντική συντήρηση ή επισκευή. Μετρείται από την άποψη της πρόσθετης ζωής εξυπηρέτησης (ηλικία ή κυκλοφοριακός φόρτος) κατά την οποία ένα υφιστάμενο οδόστρωμα μπορεί να εξυπηρετεί τις ανάγκες κυκλοφορίας χωρίς να υποβληθεί σε οποιεσδήποτε δομικές βελτιώσεις και χωρίς βαριά συντήρηση ή επισκευή. Αυτή η υπόλοιπη ζωή εξυπηρέτησης καθορίζεται μέσω μιας λεπτομερούς ανάλυσης των δομικών κινδύνων χρησιμοποιώντας μηχανιστικά μοντέλα πρόβλεψης.

Μια λεπτομερής αξιολόγηση της δομικής επάρκειας χρησιμοποιεί τις ακόλουθες τέσσερις βασικές δραστηριότητες:

- Αξιολόγηση του τύπου, του εύρους και του μεγέθους, των σχετικών με τον κυκλοφοριακό φόρτο βλαβών.
- Αξιολόγηση των επιτόπιων υλικών δειγμάτων μέσω πυρηνοληψίας, αφαίρεσης μικρών τμημάτων οδοστρώματος, οπτική εξέταση και δοκιμές.
- Ανάλυση της απόδοσης του οδοστρώματος στα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά.
- Υπολογισμός τη ζημίας στην υπάρχουσα δομή οδοστρώματος και επομένως, της υπόλοιπης ζωής του οδοστρώματος.

Αξιολόγηση των σχετικών με τον κυκλοφοριακό φόρτο βλαβών

Για την αξιολόγηση της τρέχουσας δομικής επάρκειας, το εύρος και το μέγεθος των σχετικών με τα κυκλοφοριακά φορτία βλαβών μπορούν να συγκριθούν με τις αξίες που παρέχονται για τις διαφορετικές κατηγορίες εθνικών οδών στον Πίνακα 4.9. Ένα οδόστρωμα θεωρείται ότι έχει αποτύχει δομικά εάν υπερβαίνει τις τιμές κατώτατων ορίων που ορίζονται ως «ανεπαρκείς». Όταν ένα οδόστρωμα παρουσιάζει αυτά τα επίπεδα κινδύνου, το ποσοστό επιδείνωσης είναι τέτοιο που οι επεξεργασίες συντήρησης γίνονται απαγορευτικές από την άποψη του κόστους και απαιτούνται μεγαλύτερης κλίμακας διορθωτικά μέτρα.

Πίνακας 4.9: Τύποι και επίπεδα φθορών που συστήνονται για την αξιολόγηση της δομικής επάρκειας υφιστάμενου οδοστρώματος

Τύπος φθοράς	Ταξινόμηση οδών	Επίπεδο φθοράς που θεωρείται:		
		Ανεπαρκές	Οριακό	Επαρκές
Ρηγματώσεις κόπωσης (επί τοις εκατό της περιοχής του ίχνους τροχών)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 20	5 έως 20	< 5
	Πρωτεύων δίκτυο	> 45	10 έως 45	< 10
	Δευτερεύων δίκτυο	> 45	10 έως 45	< 10
Διαμήκειες ρηγματώσεις στα ίχνη τροχών (m/km)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 200	50 έως 200	< 50
	Πρωτεύων δίκτυο	> 500	100 έως 500	< 100
	Δευτερεύων δίκτυο	> 500	100 έως 500	< 100
Ρηγματώσεις ανακλάσεως, εύρος ρωγμών (cm)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 1,27	0,64 έως 1,27	< 0,64
	Πρωτεύων δίκτυο	> 1,91	1,27 έως 1,91	< 1,27
	Δευτερεύων δίκτυο	> 1,91	1,27 έως 1,91	< 1,27
Εγκάρσιες ρηγματώσεις, ανά διαστήματα (m)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	< 30	30 έως 60	> 60
	Πρωτεύων δίκτυο	< 18	18 έως 36	> 36
	Δευτερεύων δίκτυο	< 18	18 έως 36	> 36
Τροχοαυλάκωση, μέσο βάθος και των δύο ίχνων τροχών (mm)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 10	6,4 έως 10	< 6,4
	Πρωτεύων δίκτυο	> 15	8,9 έως 15	< 8,9
	Δευτερεύων δίκτυο	> 20	10 έως 20	< 10
Επωθήσεις (επί τοις εκατό της περιοχής του ίχνους τροχών)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 10	1 έως 10	Καθόλου
	Πρωτεύων δίκτυο	> 20	10 έως 20	< 10
	Δευτερεύων δίκτυο	> 45	20 έως 45	< 20

Ανάλυση της επίδοσης του οδοστρώματος

Μια τρίτη μέθοδος για την ανάλυση της δομικής επάρκειας ενός υφιστάμενου οδοστρώματος περιλαμβάνει το χαρακτηρισμό της απόδοσης οδοστρώματος με επιβολή φορτίσεως μέσω μη καταστρεπτικής δοκιμής (NDT). Συνδεδεμένα με τα στοιχεία από μια πλήρη οπτική έρευνα κινδύνου, πυρηνοληψία και το πρόγραμμα εξέτασης υλικών, τα στοιχεία NDT μπορούν να παρέχουν μια πολύ αξιόπιστη αξιολόγηση της τρέχουσας δομικής επάρκειας. Σημαντικότερο, εντούτοις, είναι το γεγονός ότι τα στοιχεία που συντάσσονται και από τις τρεις αξιολογήσεις (οπτική έρευνα, πυρηνοληψία και NDT) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν την υφιστάμενη φθορά οδοστρωμάτων και, στη συνέχεια, να καθορίσουν τη δομική επάρκεια.

Για παράδειγμα, ένα οδόστρωμα με έναν μέσο μέτρο ελαστικότητας κάτω από 3.000.000 PSI θα εθεωρείτο δομικά ανεπαρκές, δεδομένου ότι το μέτρο κυμαίνεται από 3.000.000 έως 7.000.000 PSI. Μια χαμηλή τιμή ελαστικότητας θα αποδιδόταν πιθανώς σε φθορά μέσα στο υλικό, όπως η ρηγμάτωση.

Οι αρμόδιες Υπηρεσίες θα πρέπει να αναπτύξουν προδιαγραφές χαρακτηριστικών τιμών δύναμης για την αξιολόγηση της δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων.

Περίληψη

Η δομική επάρκεια ενός οδοστρώματος μπορεί να διαχωρισθεί σε δύο διαφορετικούς όρους: την τρέχουσα δομική επάρκεια και τη μελλοντική δομική επάρκεια. Οι διαδικασίες που απαιτούνται και για την τρέχουσα και μελλοντική δομική αξιολόγηση της επάρκειας συνοψίζονται παρακάτω.

Τρέχουσα δομική επάρκεια

Η τρέχουσα δομική επάρκεια αξιολογείται μέσω ενός συνδυασμού:

- Φθορές σχετικές με τον κυκλοφοριακό φόρτο.
- Διάρκεια ζωής υλικών.
- Μέτρο ελαστικότητας στρωμάτων.
- Οπτική εξέταση πυρήνων οδοστρώματος για τον καθορισμό ασυνεχειών, ασύνδετων περιοχών και άλλων ατελειών στρωμάτων.
- Φυσική δοκιμή των πυρήνων για τον καθορισμό της ελαστικότητας και της αντοχής.

Ο μηχανικός που χρησιμοποιεί τις συγκεντρωμένες πληροφορίες και στοιχεία αξιολογεί την τρέχουσα δομική επάρκεια του υφιστάμενου οδοστρώματος μετά από τις οδηγίες που παρουσιάζονται ακολούθως. Μια λεπτομερής αξιολόγηση απαντά στις ακόλουθες ερωτήσεις:

- Ποια είναι η τρέχουσα δομική επάρκεια του υφιστάμενου οδοστρώματος;
- Το οδόστρωμα χρειάζεται μια δομική βελτίωση τώρα;

Μελλοντική δομική επάρκεια

Η μελλοντική δομική επάρκεια μπορεί μόνο να αξιολογηθεί μέσω μιας δομικής ανάλυσης του υφιστάμενου οδοστρώματος, που λαμβάνει υπόψη τα εξής:

- Προηγούμενη ζημία από την κυκλοφορία και τις κλιματολογικές συνθήκες.
- Τρέχουσα κατάσταση.
- Αναμενόμενη μελλοντική κυκλοφορία και φθορές σχετικές με το κλίμα της περιοχής.

4.10.2 Λειτουργική επάρκεια

Η λειτουργική επάρκεια ενός οδοστρώματος είναι ένα μέτρο του πόσο καλά το οδόστρωμα εκτελεί την προοριζόμενη λειτουργία παροχής ενός ομαλού, ασφαλούς ταξιδιού στον οδηγό (National Highway Institute, 1998). Οι δύο αρχικές συνιστώσες της λειτουργικής επάρκειας είναι η ομαλότητα και η αντίσταση ολίσθησης. Όπως αναφέρεται προηγουμένως, η ομαλότητα είναι συνώνυμη με την ποιότητα και άνεση του ταξιδιού. Μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας πολλά είδη εξοπλισμού και τεχνικών και να αναφερθεί χρησιμοποιώντας διάφορους δείκτες. Ο πιο συνηθισμένος και αποδεκτός δείκτης μέτρησης της ομαλότητας είναι ο δείκτης IRI (AASHTO, 2002). Τα συνιστώμενα επίπεδα του δείκτη IRI για την αξιολόγηση της ομαλότητας παρέχονται στον Πίνακα 4.10. Τα κριτήρια αντίστασης ολίσθησης κατά περίπτωση μπορούν να προταθούν από τις υπηρεσίες εθνικών οδών.

Πίνακας 4.10: Συνιστώμενα επίπεδα IRI για την αξιολόγηση της ομαλότητας οδοστρωμάτων

Τύπος οδοστρώματος	Ταξινόμηση οδών	Επίπεδο IRI (m/km) που θεωρείται:		
		Ανεπαρκές (μη ομαλό)	Οριακό (μέτρια ομαλό)	Επαρκές (ομαλό)
Εύκαμπτο και άκαμπτο	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 2,75	1,58 έως 2,75	< 1,58
	Πρωτεύων δίκτυο	> 3,15	1,74 έως 3,15	< 1,74
	Δευτερεύων δίκτυο	> 3,95	1,97 έως 3,95	< 1,97

Όπως φαίνεται, τα οδοστρώματα αυτοκινητοδρόμων με IRI μεγαλύτερο από 2,75 m/km δημιουργούν σημαντική ταλαιπωρία χρηστών και επομένως θεωρούνται

λειτουργικά ανεπαρκή. Για τις δευτεροβάθμιες εθνικές οδούς, αφετέρου, ο δείκτης IRI με τιμές μέχρι 3,95 m/km είναι επαρκής επειδή οι δευτερεύουσες οδοί έχουν γενικά πολύ μικρότερο κυκλοφοριακό φόρτο από τους αυτοκινητόδρομους και οι ταχύτητες ταξιδιού είναι συχνά χαμηλότερες.

4.10.3 Επάρκεια αποστράγγισης

Η επάρκεια αποστράγγισης είναι μια λειτουργία εξωτερικών και εσωτερικών παραγόντων (National Highway Institute, 1998), όπου οι εξωτερικοί παράγοντες αποστράγγισης είναι οι κλιματολογικές συνθήκες. Οι θέσεις με τα υψηλά ποσά ετήσιας βροχόπτωσης (> 50 cm/έτος), μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, εντατικής εποχιακής βροχόπτωσης και παγετού, απαιτούν γενικά ιδιαίτερη προσοχή για την αποστράγγιση.

Οι εσωτερικοί παράγοντες αποστράγγισης είναι τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων και οι υλικές ιδιότητες, που επηρεάζουν τη δράση της υγρασίας. Τέτοιοι παράγοντες αποτελούνται από τη διαπερατότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος, το πορώδες των στρωμάτων (βάσης, υπόβασης και εδαφικής υποδομής), τον σχεδιασμό της διατομής του οδοστρώματος, τις τάφρους και τον συνυπολογισμό των παρά και κάτω από την επιφάνεια εγκαταστάσεων αποστράγγισης.

Τα αποτελέσματα όλων αυτών των παραγόντων στην επάρκεια αποστράγγισης αποδεικνύονται από τις φθορές ή/και τις ανεπάρκειες της επιφάνειας οδοστρώματος στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις αποστράγγισης.

Οπτικά αποτελέσματα ερευνών φθορών

Τα στοιχεία από τις οπτικές έρευνες φθορών θα αποκαλύψουν τους τύπους και την έκταση των κινδύνων που υφίστανται στο οδόστρωμα, που είτε προκαλούνται είτε επιταχύνονται από την υγρασία. Τέτοιοι κίνδυνοι περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε ρηγματώσεις και εξίδρωση. Η αποστράγγιση θεωρείται ανεπαρκής ή οριακή εάν οποιοδήποτε από αυτούς τους βασικούς τύπους κινδύνου παρατηρούνται στα μεγέθη που απαριθμούνται στον Πίνακα 4.11.

Αποτελέσματα ερευνών αποστράγγισης

Οι πληροφορίες που συλλέγονται από τις έρευνες αποστράγγισης καταδεικνύουν την κατάσταση και τη λειτουργία της επιφάνειας και των κάτω από την επιφάνεια εγκαταστάσεων αποστράγγισης, όπως οι τάφροι, διαμήκεις αγωγοί, εγκάρσιοι αγωγοί, οι στεγανωτικές ουσίες ενώσεων και ρωγμών και οι διάφορες κατασκευές αποστράγγισης (π.χ. οχετοί). Η έρευνα θα παραγάγει επίσης τις πληροφορίες σχετικά με την εγκάρσια κλίση οδοστρώματος, την κατά μήκος κλίση και τους οποίους παράγοντες επιρροής της υγρασίας σε ένα οδόστρωμα. Η αποξήρανση οδοστρώματος θεωρείται ανεπαρκής ή οριακή εάν οποιοδήποτε από τα παρακάτω ισχύει:

- Το νερό παραμένει στις ενώσεις και τις ρηγματώσεις του οδοστρώματος για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο μετά από βροχοπτώσεις.
- Εάν οι στεγανωτικές ουσίες ενώσεων και ρωγμών αποτυγχάνουν να εκτελέσουν το έργο τους.
- Λίμνες ύδατος στις λωρίδες ή στο έρεισμα, λόγω των συγκεντρώσεων ρύπων ή άλλων εμποδίων.
- Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πάνω από τις εγκαταστάσεις αποστράγγισης.
- Τα κάτω από την επιφάνεια στραγγιστήρια ή το γεωύφασμα δεν λειτουργούν ικανοποιητικά.
- Τα στραγγιστήρια είναι επάνω από την υπόβαση.
- Οι τάφροι αποστράγγισης έχουν μη αμελητέα ποσότητα μόνιμης βλάστησης ή/και νερού, λόγω παρεμποδίσεων ή της επίπεδης κλίσης.
- Τα φρεάτια παρεμποδίζονται ή όχι.

Πίνακας 4.11: Τύποι και επίπεδα κινδύνου που συστήνονται για την αξιολόγηση της επάρκειας αποξηράνσεων

Φθορά σχετιζόμενη με την υγρασία	Ταξινόμηση οδών	Επίπεδο φθοράς που θεωρείται:		
		Ανεπαρκής	Οριακός	Επαρκής
Λείανση ασφαλτομίγματος	Διακρατική-αυτοκινητόδρομος	Σημάδια φθοράς	Κανένα σημάδι	Κανένα σημάδι
	Πρωτεύον δίκτυο	Σημάδια φθοράς	Κανένα σημάδι	Κανένα σημάδι
	Δευτερεύον δίκτυο	Σημάδια φθοράς	Κανένα σημάδι	Κανένα σημάδι
Άντληση ύδατος (τριχοειδή αγγεία από τη βάση)	Διακρατική-αυτοκινητόδρομος	Σημάδια φθοράς	Κανένα σημάδι	Κανένα σημάδι
	Πρωτεύον δίκτυο	Σημάδια φθοράς	Κανένα σημάδι	Κανένα σημάδι
	Δευτερεύον δίκτυο	Σημάδια φθοράς	Κανένα σημάδι	Κανένα σημάδι
Άντληση ύδατος (επί τοις εκατό των	Διακρατική/αυτοκινητόδρομος	> 25	10 έως 25	< 10
	Πρωτεύον δίκτυο	> 30	15 έως 30	< 15

αρμών)	Δευτερεύον δίκτυο	> 40	20 έως 40	< 20
Μέσος εγκάρσιος αρμός/αστοχία από ρωγμή (mm)	Διακρατική/αυτοκινητόδρομος	> 3,81	2,54 έως 3,81	< 2,54
	Πρωτεύον δίκτυο	> 5,08	3,18 έως 5,08	< 3,18
	Δευτερεύον δίκτυο	> 7,62	3,81 έως 7,62	< 3,81
Αντοχή στον χρόνο (φθορά από πιέσεις αδρανών)	Όλες οι οδοί	Μέτριας και μεγάλης κλίμακας	Χαμηλής και μέτριας κλίμακας	Καθόλου ή μικρής κλίμακας
Σπασίματα γωνιών (%/km)	Διακρατική/αυτοκινητόδρομος	> 15	6 έως 15	< 6
	Πρωτεύον δίκτυο	> 18	9 έως 18	< 9
	Δευτερεύον δίκτυο	> 25	12,5 έως 25	< 12,5

Η αξιολόγηση της αποστράγγισης μπορεί επίσης να γίνει και από τα στοιχεία που λαμβάνονται από την πυρηνοληψία. Η διαπερατότητα και το αποτελεσματικό πορώδες των υλικών βάσεων/υποβάσεων, όπως καθορίζεται μέσω των εργαστηριακών δοκιμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ποσοτικοποιήσουν την ικανότητα αποστράγγισης (drainability).

4.10.4 Διάρκεια ζωής υλικών

Τα προβλήματα διάρκειας ζωής των υλικών είναι το αποτέλεσμα των δυσμενών χημικών ή φυσικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός υλικού επίστρωσης και του περιβάλλοντος.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα, τα προβλήματα που παρουσιάζονται περιστασιακά και οι αλληλεπιδράσεις που προκαλούν τα προβλήματα είναι τα ακόλουθα:

- Διάβρωση που προσδιορίζεται σε οδοστρώματα με επωθήσεις, εξίδρωση ή αυλάκωση που προκαλείται από την παγίδευση της υγρασίας στα χαμηλότερα ή ενδιάμεσα στρώματα του οδοστρώματος ως αποτέλεσμα των κενών ή της χαμηλής πυκνότητας του μίγματος ή της παρουσίας υπερβολικής ποσότητας υλικού που περνά το κόσκινο αριθ. 200 στο μίγμα.
- Απόσπαση - αποσύνθεση των αδρανών, που προκαλείται από την έλλειψη επαρκούς συμπίεσης κατά την κατασκευή, τη χρήση μη καθαρών αδρανών, τη χρήση μίγματος με ανεπαρκή άσφαλτο ή την υπερθέρμανση του ασφλατομίγματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

- Εξίδρωση, που προκαλείται από τα υπερβολικά ποσά ασφάλτου στο μίγμα ή το χαμηλό πορώδες.
- «Μόλυνση» βάσεων/υποβάσεων από λεπτόκοκκα αδρανή της εδαφικής υποδομής.

Η διάρκεια ζωής των υλικών αξιολογείται καλύτερα χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες από τις οπτικές έρευνες και από τα δείγματα πυρήνων. Ο Πίνακας 4.12 παρέχει τις οδηγίες εάν η διάρκεια ζωής των υλικών είναι ένα ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί, βασισμένο στους τύπους και τα επίπεδα φθορών σχετιζόμενων με την αντοχή στον χρόνο.

Πίνακας 4.12: Τύποι και επίπεδα φθορών που συστήνονται για την αξιολόγηση της αντοχής στον χρόνο των υλικών εύκαμπτων και σύνθετων οδοστρωμάτων

Φθορά σχετιζόμενη με την αντοχή στον χρόνο	Ταξινόμηση οδών	Επίπεδο φθοράς που θεωρείται:		
		Ανεπαρκές	Οριακό	Επαρκές
Απόσπαση (επί τοις εκατό συνολικής περιοχής)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	Απώλεια χονδρόκοκκων αδρανών	—	Απώλεια λεπτόκοκκων αδρανών
	Πρωτεύων δίκτυο	> 50	10 έως 50	< 10
	Δευτερεύων δίκτυο	> 100	45 έως 100	< 45
Τροχοαυλάκωση, μέσο βάθος και των δύο ιχνών τροχών (mm)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 10	6 έως 10	< 6
	Πρωτεύων δίκτυο	> 13	9 έως 13	< 9
	Δευτερεύων δίκτυο	> 20	10 έως 20	< 10
Επωθήσεις (επί τοις εκατό της περιοχής ιχνών τροχών)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	> 10	1 έως 10	Κανένας
	Πρωτεύων δίκτυο	> 20	10 έως 20	< 10
	Δευτερεύων δίκτυο	> 45	20 έως 45	< 20
Πολυγωνικές ρηγματώσεις, εύρος ρωγμών (mm)	Διακρατική- αυτοκινητόδρομος	Αξιοσημείωτες	—	Καθόλου
	Πρωτεύων δίκτυο	> 6	—	< 6
	Δευτεροβάθμιος	> 6	—	< 6
Ανάδυση ασφάλτου	Διακρατική-	> 10	5 έως 10	< 5

(επί τοις εκατό της περιοχής ιχνών τροχών)	αυτοκινητόδρομος			
	Πρωτεύων δίκτυο	> 25	10 έως 25	< 10
	Δευτερεύων δίκτυο	> 50	20 έως 50	< 20
Λείανση (βάση/υποβάση)	Όλες οι οδοί	Αποσύνθεση ή λείανση. Μερική άντληση ύδατος από τριχοειδή αγγεία μπορεί να παρατηρηθεί	Αποσύνθεση ή λείανση. Μερική άντληση ύδατος από τριχοειδή αγγεία μπορεί να παρατηρηθεί	Αποσύνθεση ή λείανση. Δεν υπάρχουν σημάδια άντλησης ύδατος από τριχοειδή αγγεία
Ολική μόλυνση αδρανών βάσης	Όλες οι οδοί	Μόλυνση των αδρανών βάσης/υποβάσης μέσω αγγείων του υποκείμενου εδάφους		

4.10.5 Εφαρμογές συντήρησης

Οι οπτικές έρευνες με το προσωπικό συντήρησης θα παράσχουν τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε να καθοριστεί εάν η προηγούμενη συντήρηση σε ένα οδόστρωμα έχει φθάσει σε υψηλό επίπεδο. Η έκταση των μπαλωμάτων επιδιόρθωσης που υπάρχει ως αποτέλεσμα των σαν αλλιγάτορικών - εγκάρσιων ρηγματώσεων, και άλλων σημαντικών φθορών επιφάνειας, είναι ο αρχικός δείκτης των προηγούμενων συντηρήσεων. Εντούτοις, άλλες εργασίες συντήρησης, όπως νέες στρώσεις κυκλοφορίας, η σφράγιση ρωγμών και οι σφραγισμένοι αρμοί, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη.

Τα επίπεδα συντήρησης και κατάστασης της συντήρησης (π.χ. επιδείνωση μπαλωμάτων) πρέπει να εξεταστούν στον καθορισμό της δομικής επάρκειας ενός υφιστάμενου οδοστρώματος. Οι προτεινόμενες οδηγίες ως προς ποια επίπεδα συντήρησης θεωρούνται ή όχι επαρκή για διαφορετικές κατηγορίες οδών παρέχονται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.13: Επίπεδα επιδιόρθωσης που συστήνονται για την αξιολόγηση της προηγούμενης συντήρησης

Εφαρμογή Συντήρησης	Ταξινόμηση οδών	Επίπεδο φθοράς που θεωρείται:		
		Ανεπαρκές	Οριακό	Επαρκές
Επί τοις εκατό της επιφάνειας του οδοστρώματος με φθαρμένα μπαλώματα και άλλες επισκευές	Διακρατική/αυτοκινητόδρομος	> 15	8 έως 15	< 8
	Πρωτεύων δίκτυο	> 20	10 έως 20	< 10
	Δευτερεύων δίκτυο	> 25	12 έως 25	< 12
Επί τοις εκατό της επιφάνειας του οδοστρώματος με φθαρμένα μπαλώματα, επανασφραγισμένους αρμούς και άλλες επισκευές	Διακρατική/αυτοκινητόδρομος	> 15	8 έως 15	< 8
	Πρωτεύων δίκτυο	> 20	10 έως 20	< 10
	Δευτερεύων δίκτυο	> 25	12 έως 25	< 12

4.10.6 Επάρκεια ερεισμάτων

Ο σχεδιασμός και η κατάσταση των ερεισμάτων πρέπει επίσης να εξεταστούν κάνοντας μια γενική αξιολόγηση του οδοστρώματος επειδή η προγραμματισμένη αποκατάσταση εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από τους τύπους των υλικών που αποτελούν το έρεισμα και τα είδη φθορών που υπάρχουν. Οι πληροφορίες κατάστασης που απαιτούνται για να αξιολογηθεί η επάρκεια των ερεισμάτων πρέπει να περιλάβουν, ως ελάχιστο, τα στοιχεία από τις οπτικές έρευνες φθορών. Τα στοιχεία NDT, εάν είναι διαθέσιμα, μπορούν να είναι ιδιαίτερα ευεργετικά σε αυτήν την ανάλυση εάν τα ερείσματα αναμένεται να υποστηρίξουν σημαντικές φορτίσεις βαρέων οχημάτων στο μέλλον.

Οι ίδιοι τύποι φθορών επιφάνειας που χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν τη δομική επάρκεια του οδοστρώματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογηθεί η επάρκεια των ερεισμάτων. Τέτοιοι τύποι φθορών περιλαμβάνουν τις εγκάρσιες ρηγματώσεις, την άντληση, το μάλωμα/την επιδείνωση των μπαλωμάτων και τις διαμήκεις ρηγματώσεις και τις λακκούβες.

Γενικά, τα επίπεδα κατώτατων ορίων για αυτές τις φθορές που εμφανίζονται στα ερείσματα θα είναι σχετικά πιο υψηλά από τα επίπεδα που καθρίζονται για τις λωρίδες κυκλοφορίας του οδοστρώματος.

4.10.7 Μεταβλητότητα κατά μήκος της οδού

Υπάρχουν διάφορες μορφές μεταβλητότητας κατά μήκος μιας οδού που πρέπει να εξεταστούν κατά την αξιολόγηση της συνολικής κατάστασης της οδού. Τέτοια

μεταβλητότητα καθορίζεται γενικά από τις αλλαγές στα δομικά ή λειτουργικά χαρακτηριστικά που είναι το αποτέλεσμα των παραλλαγών στην ποιότητα κατασκευής, τις φορτίσεις κυκλοφορίας, τις ιδιότητες του υποκείμενου εδάφους και το γεωγραφικό ανάγλυφο. Οι κύριες μορφές μεταβλητότητας, που μπορούν και πρέπει να σκιαγραφηθούν χρησιμοποιώντας τις φθορές, NDT και ενδεχομένως στοιχεία από καταστρεπτικές δοκιμές, περιλαμβάνουν τα εξής:

- Μεταβλητότητα της κατάστασης κατά μήκος της οδού.
- Μεταβλητότητα της κατάστασης από λωρίδα σε λωρίδα (μια πολύτιμη παρατήρηση λόγω της χαρακτηριστικής διαφοράς στην κυκλοφορία βαρέων οχημάτων).
- Μεταβλητότητα που εμφανίζεται στους κόμβους (λόγω των πιο αργά κινούμενων βαρέων οχημάτων).
- Μεταβλητότητα που εμφανίζεται στις περιοχές προσέγγισης και απομάκρυνσης από γέφυρες (λόγω περιορισμού του πλάτους της οδού και υπερβολικά ανοικτών αρμών).
- Τμήμα ορυγμάτων και επιχωμάτων.

Με τη σκιαγράφιση των θέσεων διαφορετικής κατάστασης και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής, προσδιορίζονται οι αιτίες της μεταβλητότητας. Και με τη γνώση των αιτιών μεταβλητότητας, μπορεί να αναπτυχθεί ένα καταλληλότερο σύνολο εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης λόγω της καλύτερης κατανόησης των προβλημάτων που υπάρχουν κατά μήκος της οδού.

4.11 Περίληψη

Η αξιολόγηση της γενικής κατάστασης του οδοστρώματος απαιτεί οι ακόλουθες οκτώ συνιστώσες να ερευνώνται λεπτομερώς:

- Δομική επάρκεια (τρέχουσα και μελλοντική)
- Λειτουργική επάρκεια
- Επάρκεια αποστράγγισης
- Διάρκεια ζωής υλικών
- Εφαρμογές συντήρησης
- Επάρκεια ερεισμάτων
- Μεταβλητότητα οδού
- Διάφοροι περιορισμοί

Οι πληροφορίες που απαιτούνται για να αξιολογηθούν αυτές οι συνιστώσες λαμβάνονται από ποικίλες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των αρχείων σχεδιασμού και κατασκευής, τις οπτικές έρευνες φθορών, τη δοκιμή ομαλότητας, τις έρευνες αποστράγγισης, τις NDT, τις καταστρεπτικές δοκιμές και τα αρχεία συντήρησης. Μετά την ολοκλήρωση κάθε έρευνας, ο μηχανικός είναι σε θέση να καταλάβει καλύτερα τα πραγματικά προβλήματα του υφιστάμενου οδοστρώματος. Μόλις καθοριστούν σαφώς τα προβλήματα, ο επόμενος στόχος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των στρατηγικών αποκατάστασης κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικό. Όπως σημειώνεται προηγουμένως, η διαδικασία επιλογής αποκατάστασης πρέπει να περιλαμβάνει την αξιολόγηση της γενικής κατάστασης του υφιστάμενου οδοστρώματος και τον πλήρη καθορισμό των υφιστάμενων προβλημάτων. Για να αποφευχθεί μια ανακριβής αξιολόγηση του προβλήματος, ο μηχανικός πρέπει να συλλέξει και να αξιολογήσει τις απαιτούμενες πληροφορίες για το οδόστρωμα. Είναι ζωτικής σημασίας οι αρμόδιες Υπηρεσίες να αναπτύσσουν τις διαδικασίες και τις οδηγίες για την απάντηση συγκεκριμένων ερωτημάτων κατά τη διαδικασία αξιολόγησης. Τέλος, είναι σημαντικό ο μηχανικός του προγράμματος να προετοιμάσει μια συνοπτική έκθεση που να συνοψίζει την ανάλυση των στοιχείων και τα συμπεράσματα. Η έκθεση πρέπει να δίνει έμφαση στα εξής:

- Προσδιορισμός προγράμματος (συμπεριλαμβανομένης μιας συνοπτικής δήλωσης στην ιστορία του προγράμματος και τους σημαντικότερους στόχους του προγράμματος αξιολόγησης/ αποκατάστασης).
- Συνοπτική δήλωση στα σημαντικότερα συμπεράσματα των προηγούμενων αξιολογήσεων όπου αυτές είναι διαθέσιμες.
- Σκοπός αυτής της αξιολόγησης.
- Διαστάσεις αυτής της αξιολόγησης (συνολική ή μερική αξιολόγηση). Εάν πρόκειται για συνολική, διευκρίνηση των σημαντικότερων διαστάσεων ή των κριτηρίων αξιολόγησης. Εάν πρόκειται για μερική, υπόδειξη της εστίασης (π.χ. δομική αξιολόγηση).
- Πηγές στοιχείων και μέθοδοι χρησιμοποιημένοι για τη συλλογή δεδομένων (συνοπτική αιτιολόγηση για την επιλογή αυτών των ιδιαίτερων πηγών και μεθόδων).
- Περίληψη και ερμηνεία των αποτελεσμάτων (π.χ. σημαντικές συμπεράσματα και ανεπάρκειες που απαιτούν προσοχή).
- Εναλλακτικές λύσεις διορθωτικών μέτρων και αποκατάστασης (δηλ. ενέργειες που συστήνονται ως αποτέλεσμα της αξιολόγησης και συστάσεις).

4.12 Φιλοσοφία καταγραφής φθορών οδοστρώματος

4.12.1 Υφιστάμενη μεθοδολογία κατάταξης φθορών

Η καταγραφή των φθορών με αυτοματοποιημένες ή μη μεθόδους διέπεται από προδιαγραφές ή οδηγίες για την ορθή εκτέλεση της διαδικασίας καταγραφής, όπως για παράδειγμα, το Εγχειρίδιο Αναγνώρισης Φθορών (Distress Identification Manual) (FHWA, 2003). Πέρα από το προφανές όφελος μιας τυποποιημένης διαδικασίας συλλογής δεδομένων, που είναι η ομογενοποίηση και η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, το ερώτημα που ανακύπτει προς απάντηση, συνίσταται στο ποια είναι η φιλοσοφία και το νόημα καταγραφής φθορών. Η κατάταξη των φθορών γίνεται με βάση τα παρακάτω στοιχεία:

- A) Περιγραφή της βλάβης
- B) Μέγεθος της βλάβης
- Γ) Έκταση της βλάβης
- Δ) Διάκριση (τύπος) της φθοράς

4.12.2 Ανεπάρκεια στοιχείων καταγραφής φθορών

Στην πραγματικότητα, το ερώτημα είναι αν τα παραπάνω στοιχεία είναι ικανά να οδηγήσουν στην επιλογή της τεχνικής αποκατάστασης. Εφόσον η τυποποιημένη διαδικασία συλλογής δεδομένων δεν αναφέρεται στην αξιολόγηση του αιτίου της βλάβης, το οποίο δεν διαπιστώνεται εύκολα, τότε η τυποποίηση δεν μπορεί να οδηγήσει στην επιλογή της ορθής τεχνικής αποκατάστασης. Αυτή η διαπίστωση αποτελεί και το σημαντικότερο έλλειμμα της φιλοσοφίας των συστημάτων καταγραφής φθορών. Κι αυτό γιατί το μείζον ζητούμενο για τους ενοδίους αποτελεί η ασφαλής και απρόσκοπτη διέλευση από την οδό. Για την εξασφάλιση των προαναφερομένων, είναι απαραίτητη η έγκαιρη και ορθή αντιμετώπιση των αιτιών της βλάβης, δηλαδή η βέλτιστη τεχνική επισκευής ή αποκατάστασης.

Στο σημείο αυτό γεννάται το εξής ερώτημα: Τι είναι εν τέλει πιο σημαντικό; Η κατάταξη (π.χ. απόσπαση αδρανών) ή η αναζήτηση των πραγματικών αιτιών της βλάβης (π.χ. ελλειμματικό ποσοστό ασφάλτου); Η απάντηση δεν είναι δύσκολη, αφού πρωταρχική υποχρέωση της Υπηρεσίας που έχει την ευθύνη συντήρησης της οδού είναι αναντίρρητα η διασφάλιση υψηλού επιπέδου ασφάλειας και άνεσης. Επομένως, η σημαντικότερη εξαγόμενη πληροφορία από την καταγραφή και κατάταξη των φθορών θα πρέπει να είναι η αναζήτηση των αιτιών της βλάβης.

Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι ο κύριος στόχος της κατάταξης των φθορών, πρέπει να έγκειται στην εύρεση της τεχνικής επισκευής ή αποκατάστασης. Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθεί, ότι υπάρχουν πλείστες περιπτώσεις όπου οι παρατηρούμενες φθορές είναι ίδιες· εντούτοις είναι πολύ πιθανόν η ενδεδειγμένη αντιμετώπιση να διαφοροποιείται κατά περίπτωση. Κι αυτό γιατί ταυτόσημες φθορές είναι πιθανόν να

οφείλονται σε διαφορετικά αίτια, γεγονός που διαφοροποιεί και την ενδεδαιγμένη τεχνική επισκευής ή αποκατάστασης. Επιπρόσθετα, είναι πιθανόν οδοστρώματα με όμοια φορτία κυκλοφορίας και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, να παρουσιάζουν διαφορετικές φθορές. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε μεταβλητότητα των κλιματικών συνθηκών είτε σε εγγενή διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά, όπως η σύσταση του εδάφους. Επομένως, γίνεται σαφές ότι μείζονος σημασίας - για την ορθή επιλογή της αντιμετώπισης της εκάστοτε βλάβης - είναι η διερεύνηση των αιτιών που την προκάλεσαν μέσω ενδελεχούς συλλογής στοιχείων, όπως αυτά αναλύονται παρακάτω.

4.12.3 Διερεύνηση των αιτιών

Η διερεύνηση των αιτιών της φθοράς αποτελεί επομένως το κύριο ζητούμενο της καταγραφής φθορών. Για τη διερεύνηση των αιτιών πρέπει να αναζητηθούν τα παρακάτω στοιχεία:

α) Τοπικές συνθήκες

Τα γεωμετρικά και λειτουργικά στοιχεία του τμήματος της οδού.

β) Κατασκευαστικά δεδομένα

Το έτος κατασκευής, οι χρονολογίες ενδεχόμενων επεμβάσεων συντήρησης, ο τύπος του οδοστρώματος και τα κατασκευαστικά μεγέθη της βάσης, της υπόβασης και του εδάφους.

γ) Κυκλοφοριακά δεδομένα

Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, το ποσοστό βαρέων οχημάτων.

δ) Κλιματικές συνθήκες

Περίοδος παγετού, απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές, ακραία καιρικά φαινόμενα.

ε) Ειδικές συνθήκες

Κατοικημένη ζώνη, ιδιαιτερότητες χλωρίδας και πανίδας.

4.12.4 Προτεινόμενη μεθοδολογία αντιμετώπισης των φθορών

Ο μελετητής ή ερευνητής της φθοράς θα πρέπει να την αντιμετωπίσει με βάση την παρακάτω σειρά βημάτων:

α) Κατάταξη της φθοράς

β) Διερεύνηση των αιτιών

γ) Αναζήτηση της βέλτιστης μεθόδου επέμβασης

δ) Έκταση της επέμβασης

ε) Αντιμετώπιση των πρωτογενών αιτιών

στ) Εύρεση του κατάλληλου χρόνου επέμβασης

Στη συνέχεια αναλύεται το προτεινόμενο περιεχόμενο των στοιχείων καταγραφής των φθορών, έτσι ώστε ο μελετητής να οδηγείται στις παραπάνω προτεινόμενες πληροφορίες.

4.12.5 Προτεινόμενο περιεχόμενο στοιχείων καταγραφής φθορών

4.12.5.1 Περιγραφή φθορών

Η περιγραφή της φθοράς συνιστά ουσιαστικά την ανάλυση της παρατήρησης, η οποία περιλαμβάνει λεπτομέρειες σχετικές με τη φθορά. Η ανάλυση αυτή βοηθά στην πλήρη κατανόηση της κατάστασης, δηλαδή στην κατανόηση του προβλήματος. Από την ολοκληρωμένη εικόνα που αποκτά η αρμόδια Υπηρεσία, είναι σε θέση να γνωρίζει τις επιπτώσεις που ενδέχεται να προκληθούν.

Παράλληλα, η περιγραφή της φθοράς είναι χρήσιμη για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τις ζώνες ετερογενών χαρακτηριστικών. Η πληροφορία αυτή εξάγεται στην περίπτωση που κάποιοι τύποι φθοράς παρουσιάζονται σε ζώνες επιχώματος, ενώ παράλληλα δεν εμφανίζονται σε ζώνες ορύγματος και το αντίστροφο.

Η περιγραφή της φθοράς θα πρέπει οπωσδήποτε να περιλαμβάνει το χρονικό στίγμα της, έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν η φθορά οφείλεται σε φυσιολογικό αποτέλεσμα των φορτίων κυκλοφορίας ή εάν πρόκειται για κατασκευαστική ατέλεια ή ακόμα και εγγενή αδυναμία του εδάφους. Αυτό επιτυγχάνεται συγκρίνοντας το μέγεθος της φθοράς με την αναμενόμενη τιμή που προκύπτει από το μοντέλο πρόβλεψης της εξέλιξής της. Εάν η πραγματική τιμή του μεγέθους της φθοράς παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση επί το χείρον, τότε συνεπάγεται ότι αυτή η μη αναμενόμενη εξέλιξη της οφείλεται σε κατασκευαστική ατέλεια ή εγγενή αδυναμία.

4.12.5.2 Μέγεθος – Έκταση φθορών

Μία άλλη διάκριση που αποτελεί βασικό στοιχείο των συστημάτων καταγραφής φθορών είναι αυτή της *έκτασης* και του *μεγέθους* της φθοράς. Κι αυτό γιατί η διαφοροποίηση της έκτασης και του μεγέθους της φθοράς αντικατοπτρίζει αντίστοιχη διαφοροποίηση στο αίτιο και τη μέθοδο θεραπείας. Δηλαδή, ένας τύπος φθοράς σε μεγάλη έκταση ενδέχεται να προκαλείται από αιτία που είναι διαφορετική αυτής του ίδιου τύπου φθοράς σε μικρή έκταση. Έτσι, είναι απαραίτητη η διακριτοποίηση κάθε τύπου φθοράς ανάλογα με την έκταση και το μέγεθος της φθοράς. Η διαδικασία της διάκρισης των φθορών σε επίπεδο τύπου φθοράς (π.χ. ρηγμάτωση, αυλάκωση κ.τ.λ.) πρέπει να θεωρείται ελλιπής, καθώς από μόνη της δεν μπορεί να βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την αιτία και τη μέθοδο θεραπείας. Ένας τύπος φθοράς σε μεγάλη έκταση ή μέγεθος υποδηλώνει συνήθως δομική ανεπάρκεια του οδοστρώματος ενώ ο ίδιος τύπος φθοράς με μικρή έκταση ή μέγεθος μπορεί να

οφείλεται τοπικές τυχαίες αστοχίες της κατασκευής με μικρή σημασία ως προς το σύνολο της οδού.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που συνεπάγεται της έκτασης της φθοράς είναι ο χρόνος επέμβασης για την αποκατάσταση του οδοστρώματος. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της φθοράς τόσο πιο σύντομος είναι ο χρόνος που απαιτείται για την επέμβαση αποκατάστασης του οδοστρώματος.

Το μέγεθος της φθοράς (π.χ. RD=30 mm) είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος καταγραφής. Κι αυτό γιατί, συνιστά δείκτη του βαθμού επικινδυνότητας του οδοστρώματος. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (αναφέρεται εκτενώς στο Κεφάλαιο 5 της παρούσας), παρατηρείται σαφής σχέση εξάρτησης του δείκτη ατυχημάτων από το μέγεθος της φθοράς. Επί παραδείγματι, η μείωση της τιμής αντίστασης ολίσθησης στην επιφάνεια του οδοστρώματος, επιφέρει αύξηση του δείκτη ατυχημάτων. Επιπρόσθετα, κάθε τιμή του μεγέθους φθοράς αντιστοιχίζεται σε συγκεκριμένη τιμή του δείκτη ατυχημάτων για κάθε οδόστρωμα.

Η έκταση της φθοράς (π.χ. μήκος τροχοαυλάκωσης, περιοχή ρηγματώσεων) είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό της ζώνης (περιοχής) επέμβασης. Με άλλα λόγια, η ζώνη επέμβασης σχεδιάζεται με βάση τις ζώνες παρατήρησης καταγραμμένων φθορών, αποκλείοντας τις περιοχές στις οποίες δεν παρατηρούνται φθορές. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται περιττές δαπάνες για επεμβάσεις σε περιοχές του οδοστρώματος, που δεν απαιτούν προληπτικές ή διορθωτικές παρεμβάσεις.

4.12.5.3 Διάκριση τύπου φθορών

Η διάκριση του τύπου των φθορών του οδοστρώματος αποτελεί την άκρη του νήματος, στην άλλη πλευρά του οποίου βρίσκεται η προέλευση ή το αίτιο της βλάβης. Εν πολλοίς, ο προσδιορισμός της φθοράς βάσει της διάκρισης που έχει γίνει, υποδεικνύει τα αίτια που δημιούργησαν μια συγκεκριμένη φθορά. Για παράδειγμα, η τροχοαυλάκωση έχει ως αιτία τη μη σωστή κατασκευή της υποδομής του ασφαλτοτάπητα ή του ίδιου του μίγματος του ασφαλτοτάπητα, δηλαδή μια κατασκευή που δεν έγινε σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές σχεδιασμού και κατασκευής ανάλογα με τη λειτουργική κατηγορία της οδού. Μια συγκεκριμένη φθορά, δεν μπορεί για παράδειγμα να οφείλεται σε δημιουργία παγετού κατά τη χειμερινή περίοδο ή σε φαινόμενα συστολής–διαστολής λόγω υψηλών θερμοκρασιακών μεταβολών, ενώ είναι δεδομένο ότι αυτά τα φαινόμενα υποδεικνύουν άλλον τύπο φθοράς.

Σε περίπτωση που η καταγραφή των φθορών δεν διακριτοποιείται, είναι εύλογο ότι δεν είναι δυνατή η αναζήτηση των πιθανών αιτιών. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η διακριτοποίηση των φθορών συνιστά μοχλό εκκίνησης για την εύρεση της προέλευσης της βλάβης. Η διάκριση των φθορών επιτρέπει επιπρόσθετα, την αναγνώριση του προβλήματος. Αυτό σημαίνει ότι κάθε τύπος φθοράς έχει συγκεκριμένες άμεσες συνέπειες στο οδόστρωμα και έμμεσες συνέπειες στο επίπεδο ασφάλειας, άνεσης και οικονομίας για τους οδηγούς.

Πολλές φθορές οφείλονται στη φυσική γήρανση του οδοστρώματος ως αποτέλεσμα της διαρκώς αυξανόμενης και σωρευτικής κυκλοφορίας. Σοβαρό ενδεχόμενο ωστόσο, αποτελεί και η περίπτωση της κατασκευαστικής ατέλειας, γεγονός που οδηγεί στην επιτάχυνση της έναρξης εμφάνισης της φθοράς. Ορισμένοι τύποι φθοράς οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες, ενώ άλλες είναι φυσικό επακόλουθο των σωρευτικών φορτίων κυκλοφορίας με την πάροδο του χρόνου.

4.12.6 Νόημα στοιχείων καταγραφής φθορών

Εν συνεχεία των προεκτεθέντων, είναι προφανές ότι τα στοιχεία καταγραφής φθορών είναι πολύτιμα και μπορούν να οδηγήσουν ουσιαστικά την αρμόδια Υπηρεσία σε ουσιαστικές πληροφορίες που αφορούν στα εξής θέματα:

- Αίτιο πρόκλησης φθοράς
- Κατασκευαστικές ατέλειες
- Πρόβλημα (αναμενόμενες επιπτώσεις)
- Βαθμός επικινδυνότητας
- Ζώνες ετερογενών χαρακτηριστικών
- Ζώνη (έκταση) επέμβασης
- Είδος επέμβασης (τρόπος αντιμετώπισης)
- Χρόνος επέμβασης

Πίνακας 4.14: Νόημα συστήματος καταγραφής φθορών

Ζητούμενη πληροφορία	Στοιχεία καταγραφής φθορών που είναι απαραίτητα ανάλογα με τη ζητούμενη πληροφορία			
	Διάκριση	Μέγεθος	Έκταση	Περιγραφή
Αίτιο	√	√	√	
Κατασκευαστικές ατέλειες	√			√
Πρόβλημα (επιπτώσεις)	√			√
Επικινδυνότητα	√	√	√	
Ζώνες ετερογενών χαρακτηριστικών	√			√
Ζώνη επέμβασης			√	√
Είδος επέμβασης (τρόπος αντιμετώπισης)	√	√	√	√
Χρόνος επέμβασης	√	√	√	

4.13 Ανεπάρκεια των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος

Ένα συνεχές πρόβλημα με το σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων που χρησιμοποιεί το Υπουργείο Μεταφορών της πολιτείας του Wisconsin είναι η χρήση ενός δείκτη αποκαλούμενου ως «δείκτης επικινδυνότητας οδοστρώματος» (PDI – Pavement Distress Index). Αυτός ο δείκτης αντιπροσωπεύει μια τιμή που προσδιορίζεται από τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά φθοράς για ένα δεδομένο οδόστρωμα. Συνδυάζει όλα τα ιδιαίτερα λεπτομερή στοιχεία ερευνών σε έναν ενιαίο αριθμό. Αυτός στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως μοχλός για την έναρξη βελτιώσεων.

Υπάρχουν διάφορα προβλήματα με τη χρήση των δεικτών ως εργαλεία αποφάσεων, και ο δείκτης PDI δεν αποτελεί εξαίρεση. Κατ' αρχήν, ο δείκτης PDI είναι ευαίσθητος στις δραστηριότητες συντήρησης, όπως οι ρηγματώσεις που επιδιορθώνονται και τα μπαλώματα. Σε μια πρόσφατη περίπτωση, ένα έργο βελτίωσης προγραμματίστηκε για έξι έτη. Η Υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για τη συντήρηση ανέλαβε ένα εκτενές πρόγραμμα επιδιόρθωσης ρηγματώσεων. Το οδόστρωμα ερευνήθηκε σε επόμενο χρονικό διάστημα. Ο δείκτης PDI βελτιώθηκε επειδή η προηγουμένως ερευνηθείσα φθορά δεν υφίσταται μετά την επέμβαση. Το οδόστρωμα όμως χρειάζεται ακόμα επισκευή λόγω φθορών που δεν ελήφθησαν υπόψη, αλλά αυτή η επιλογή δεν εξετάζεται πλέον. Η εφαρμογή της μεθόδου του δείκτη PDI στο οδόστρωμα είχε αποτύχει. Η τυφλή εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα ενός δείκτη με αυτόματα επίπεδα συναγερμού (trigger levels) οδήγησαν σε μια λανθασμένη απόφαση.

Επιπλέον, ο δείκτης PDI χρησιμοποιείται για να προκαλέσει προγραμματισμένες βελτιώσεις (στην ανάλυση επιπέδου οδικού δικτύου). Εντούτοις, ο τρόπος βελτίωσης δεν αξιολογείται σε σχέση με τις ιδιαίτερες φθορές του οδοστρώματος, αλλά με βάση μια γενική αξιολόγηση που αμβλύνει πολλές φορές την έκταση του προβλήματος ανά τύπο φθοράς. Κι αυτό γιατί κάθε τύπος φθοράς αντιμετωπίζεται με διαφορετικού είδους επέμβαση. Η συνολική αξιολόγηση μέσω ενός σύνθετου δείκτη δεν αποτυπώνει επακριβώς την κατάσταση ανά τύπο φθοράς. Αυτό είναι το οποίο οδηγεί στο πρόβλημα που σημειώνεται ανωτέρω, όπου οι αρμόδιοι προγραμματίζουν και προϋπολογίζουν μια συγκεκριμένη επιλογή βελτίωσης και οι σχεδιαστές διαπιστώνουν ύστερα από προσεκτική έρευνα ότι ο υποδεικνυόμενος τύπος βελτίωσης είναι λανθασμένος.

Στον Πίνακα 4.15 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος που εξετάζονται από διάφορους δείκτες κατάστασης. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι κανένας δείκτης δεν αποτιμά όλους τους τύπους φθορών. Αυτή ακριβώς η αδυναμία των δεικτών οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα για την εικόνα του οδοστρώματος, με άμεσο επακόλουθο τη λανθασμένη επέμβαση συντήρησης. Επιπρόσθετα, οι σύνθετοι δείκτες, οδηγούν στον λανθασμένο προγραμματισμό της συντήρησης σε περίπτωση που ο δείκτης παρουσιάζει ικανοποιητική τιμή, ενώ ένα χαρακτηριστικό του οδοστρώματος που δεν αξιολογείται από τον δείκτη παρουσιάζει μη αποδεκτή τιμή. Ενδέχεται, για παράδειγμα, ο δείκτης PDI να παρουσιάζει ικανοποιητική τιμή,

οδηγώντας σε προγραμματισμό επεμβάσεων συντήρησης σε επόμενη χρονική περίοδο, ενώ η συντήρηση είναι επιτακτική λόγω μη αποδεκτής ομαλότητας.

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι σύνθετοι δείκτες, παρόλο που αποδίδουν μια συνολική εικόνα της κατάστασης του οδοστρώματος, εμπεριέχουν σημαντικές αδυναμίες, που ελογχεύουν σημαντικές παραλείψεις όσον αφορά την ορθή συντήρηση της οδού.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, επισημαίνεται ότι για την καταγραφή φθορών στα συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δείκτες ανά τύπο φθοράς και όχι σύνθετοι δείκτες. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να μετρούνται όσο το δυνατόν περισσότερα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, έτσι ώστε να υπάρχει η ορθή εικόνα για την κατάστασή του, με παράλληλη αντιστοίχιση της αποτίμησης με κάθε τύπο φθοράς ξεχωριστά.

Πίνακας 4.15: Εξεταζόμενα χαρακτηριστικά ανάλογα με τον δείκτη κατάστασης

Δείκτης Κατάστασης		Εξεταζόμενα χαρακτηριστικά
WSDOT's Pavement Rating System	Pavement Structural Condition (PSC)	Φθορά υλικών οδοστρώματος
	Pavement Rutting Condition (PRC)	Τροχοαυλάκωση
	Pavement Profile Condition (PPC)	Επιπεδότητα
Present Serviceability Index (PSI)		Επιπεδότητα, ρηγματώσεις, ποσοστό τοπικών φθορών, τροχοαυλάκωση
Present Serviceability Rating (PSR)		Άνεση – ομαλότητα
Pavement Distress Index (PDI)		Ρηγματώσεις, τροχοαυλάκωση, ανάδυση ασφάλτου, τοπικές επισκευές
Riding Comfort Index (RCI)		Ομαλότητα
Pavement Condition Index (PCI)		Συνολική βαθμολογία παρατηρούμενων φθορών
Pavement Condition Rating (PCR)		Ρηγματώσεις, τοπικές βυθίσεις, ομαλότητα

Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλοι οι τύποι φθορών, η περιγραφή τους, τα προβλήματα που επισύρουν, τα πιθανά αίτια και η ενδεικνυόμενη επέμβαση συντήρησης.

4.14 Τύποι φθορών, αίτια και επεμβάσεις συντήρησης

4.14.1 Αλληγορικές ρηγματώσεις



Ρηγμάτωση κόπωσης από φορτία

Ρηγμάτωση κόπωσης από παγετό

Ρηγμάτωση από αστοχία άκρων οδοστρώματος

Περιγραφή: Η σειρά διασυνδεδεμένων ρωγμών που προκλήθηκε από την αποτυχία της επιφάνειας (ή της βάσης) από τα φορτία κυκλοφορίας. Στα λεπτά οδοστρώματα, η ρηγμάτωση αρχίζει στο κατώτερο σημείο των ασφαλτικών στρώσεων όπου η πίεση είναι η υψηλότερη και έπειτα μεταδίδεται στην επιφάνεια ως μια ή περισσότερες διαμήκεις ρωγμές. Αυτό αναφέρεται συνήθως ως «από κάτω προς τα επάνω» ή «κλασική» ρηγμάτωση κόπωσης. Στα παχιά οδοστρώματα, οι ρωγμές αρχίζουν πιθανότατα από την κορυφή ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης τροχού – οδοστρώματος και της γήρανσης του ασφαλτομίγματος (από επάνω προς τα κάτω ρηγμάτωση). Μετά από την επαναλαμβανόμενη φόρτιση, οι διαμήκεις ρωγμές αναπτύσσονται σε ένα σχέδιο που μοιάζει με την πλάτη ενός αλλιγάτορα ή ενός κροκοδείλου.

Πρόβλημα: Δείκτης δομικής αστοχίας, οι ρηγματώσεις επιτρέπουν διήθηση υγρασίας, ανεπαρκής ομαλότητα, ενδέχεται περαιτέρω επιδείνωση με τη μορφή λακκούβας

Πιθανές αιτίες: Ανεπαρκής δομική υποστήριξη, η οποία μπορεί να προκληθεί από πολλές αιτίες. Μερικές από τις πιο κοινές παρατίθενται εδώ:

- Απώλεια υποστήριξης βάσεων, υποβάσεων ή υπεδάφους (π.χ. ανεπαρκής αποστράγγιση ή λιώσιμο παγετού με συνέπεια λιγότερο δύσκαμπτη βάση).
- Λείανση στο κατώτερο σημείο των ασφαλτικών στρώσεων (το στιλβωμένο τμήμα συμβάλλει ελάχιστα στην αντοχή του οδοστρώματος με συνέπεια να μειώνεται στην ουσία το πάχος του οδοστρώματος).

- Αύξηση φορτίων (π.χ. περισσότερα ή βαρύτερα φορτία από το αναμενόμενο στον σχεδιασμό).
- Ανεπαρκής δομικός σχεδιασμός.
- Μειονεκτική κατασκευή (π.χ. ανεπαρκής συμπίεση).

Επισκευή: Οποιαδήποτε έρευνα πρέπει να συμπεριλάβει την εκσκαφή ενός κοιλώματος ή την πυρηνοληψία για να καθοριστεί η δομική κατάσταση του οδοστρώματος, καθώς επίσης και για να διερευνηθεί εάν η υπό την επιφάνεια υγρασία είναι ή όχι ένας παράγοντας συμβολής. Άπαξ και οι αλλαγιοτικές ρηγματώσεις είναι εμφανείς, η επισκευή με σφράγιση των ρωγμών είναι γενικά ατελέσφορη. Η επισκευή τους εμπίπτει γενικά σε δύο κατηγορίες:

- *Μικρή, εντοπισμένη ρηγμάτωση, ενδεικτικό της απώλειας υποστήριξης από το έδαφος.* Αφαίρεση τη ρηγματωμένης περιοχής, εκσκαφή, αντικατάσταση του τμήματος του εδάφους κάτω από το οδόστρωμα και βελτίωση της αποστράγγισης της περιοχής εάν είναι απαραίτητο. Μπάλωμα πάνω από την εξυγείανση του εδάφους.
- *Μεγάλες ρηγματωμένες περιοχές, ενδεικτικές της γενικής δομικής αστοχίας.* Τοποθέτηση νέου ασφαλτοτάπητα πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυτή η επικάλυψη πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή δομικά για να είναι ικανή να φέρει τα προσδοκώμενα φορτία επειδή το υφιστάμενο ρηγματωμένο οδόστρωμα που είναι από κάτω συμβάλλει πιθανότατα ελάχιστα ή καθόλου (Roberts et al., 1996).

4.14.2 Εξίδρωση (ανάδυση ασφάλτου)



Εξίδρωση στα ίχνη των τροχών

Εξίδρωση στα ίχνη των τροχών

Εξίδρωση εξαιτίας μεγάλης περιεκτικότητας σε άσφαλτο

Περιγραφή: Υμένιασ ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Δημιουργεί συνήθως μια λαμπερή, διαφανή επιφάνεια (όπως στην τρίτη φωτογραφία) που μπορεί να γίνει αρκετά κολλώδης.

Πρόβλημα: Απώλεια αντίστασης ολίσθησης σε συνθήκες υγρασίας.

Πιθανές αιτίες: Η εξίδρωση εμφανίζεται όταν πληρώνονται τα κενά του

ασφαλτομίγματος κατά τη διάρκεια εποχής με υψηλές θερμοκρασίες και επεκτείνεται έπειτα επάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Δεδομένου ότι η εξίδρωση δεν είναι αντιστρέψιμη κατά τη διάρκεια εποχής χαμηλών θερμοκρασιών, ο ασφαλτικός υμένας συσσωρεύεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος με την πάροδο του χρόνου. Αυτό μπορεί να προκληθεί από ένα από τα παρακάτω ή συνδυασμό τους:

- Υπερβολική ποσοστιαία αναλογία ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα (είτε λόγω προδιαγραφών του μίγματος είτε λόγω διαδικασίας παρασκευής).
- Χαμηλή περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε κενά αέρα (δηλαδή όχι αρκετός χώρος για την άσφαλο που διαστέλλεται στις υψηλές θερμοκρασίες).

Επισκευή: Τα ακόλουθα μέτρα επισκευής μπορούν να αποβάλλουν ή να μειώσουν τον υμένα ασφάλτου στην επιφάνεια του οδοστρώματος, αλλά ενδέχεται να μην διορθώσουν το αίτιο που προκάλεσε την εξίδρωση:

- Η μικρής κλίμακας εξίδρωση μπορεί συχνά να διορθωθεί με την εφαρμογή χονδρόκοκκης άμμου επάνω στον ασφαλτικό υμένα.
- Η μεγάλης κλίμακας εξίδρωση μπορεί να διορθωθεί με την απομάκρυνση του ασφαλτικού υμένα με γαιοδιαμορφωτή (γκρέιντερ) ή την αφαίρεσή του με μια συσκευή λείανσης με θερμότητα. Εάν η προκύπτουσα επιφάνεια είναι υπερβολικά τραχιά, ενδέχεται να είναι απαραίτητη η επίστρωση με νέο τάπητα κυκλοφορίας (ΑΡΑΙ).

4.14.3 Παραβολικές ρηγματώσεις



Περιγραφή: Διασυνδεδεμένες ρωγμές που διαιρούν το οδόστρωμα σε ορθογώνια κομμάτια. Τα κομμάτια κυμαίνονται από περίπου 0,1 τ.μ. μέχρι 9 τ.μ. Τα μεγαλύτερα κομμάτια ταξινομούνται γενικά σε διαμήκεις και εγκάρσιες ρηγματώσεις. Εμφανίζονται συνήθως σε μια μεγάλη περιοχή του οδοστρώματος, αλλά μερικές φορές εμφανίζεται μόνο σε μη-κυκλοφορούμενες περιοχές.

Πρόβλημα: Επιτρέπει τη διήθηση υγρασίας, τραχύτητα επιφάνειας.

Πιθανές αιτίες: Συρρίκνωση ασφαλτομίγματος και καθημερινή εναλλαγή

θερμοκρασίας. Προκαλούνται από ανικανότητα της ασφάλτου να προσαρμοστεί στους κύκλους της θερμοκρασίας λόγω:

- Γήρανση σύνθεσης ασφάλτου.
- Ανεπαρκής επιλογή ασφάλτου στην παρασκευή ασφαλτομίγματος.

Επισκευή: Οι στρατηγικές εξαρτώνται από τη δριμύτητα και την έκταση των ρηγματώσεων:

- *Μικρού εύρους ρωγμές (<1,27 cm).* Σφράγιση ρωγμών για την αποτροπή της εισόδου της υγρασίας μέσα στο έδαφος μέσω των ρωγμών. Το ασφαλτόμιγμα μπορεί να παρέχει αρκετά έτη ικανοποιητικής υπηρεσίας μετά από τη σφράγιση των ρηγματώσεων μικρού εύρους (Roberts et al., 1996).
- *Μεγάλου εύρους ρωγμές (>1,27 cm).* Αφαίρεση και αντικατάσταση του ραγισμένου οδοστρώματος με επικάλυψη.

4.14.4 Ρυτιδώσεις και επωθήσεις



Περιγραφή: Μια μορφή πλαστικής μετακίνησης που τυποποιείται σε κυματισμούς (corrugation) ή ένα απότομο κύμα (shoving) στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η διαστρέβλωση είναι κάθετη στη διεύθυνση κυκλοφορίας. Συνήθως εμφανίζεται στα σημεία έναρξης και στάσης κυκλοφορίας (corrugation) ή περιοχές όπου το οδόστρωμα εφάπτεται σε ένα άκαμπτο αντικείμενο (shoving).

Πρόβλημα: Τραχύτητα.

Πιθανές αιτίες: Συνήθως προκαλείται από την κυκλοφορία (έναρξη και παύση) που συνδυάζεται με:

- Έναν ασταθή (δηλ. χαμηλής ακαμψίας) ασφαλτοτάπητα (που προκαλείται από μόλυνση του μίγματος, λανθασμένη παρασκευή ή έλλειψη αερισμού των υγρών ασφαλτικών γαλακτωμάτων).
- Υπερβολική υγρασία του εδάφους.

Επισκευή: Ένα βαρέως ρυτιδωμένο ή με επωθήσεις οδόστρωμα πρέπει να ερευνηθεί για να καθοριστεί η πρωταρχική αιτία της αστοχίας. Οι στρατηγικές επισκευής

εμπίπτουν γενικά σε μια από τις εξής δύο κατηγορίες:

- *Μικρές, εντοπισμένες περιοχές με ρυτιδώσεις ή επωθήσεις. Αφαίρεση του διαστρεβλωμένου οδοστρώματος και μάλωμα.*
- *Μεγάλες περιοχές με ρυτιδώσεις ή επωθήσεις, ενδεικτικές της γενικής αστοχίας του ασφαλτομίγματος. Αφαίρεση του φθαρμένου οδοστρώματος και επικάλυψη με νέο.*

4.14.5 Κοιλώματα



Ταπείνωση του ερείσματος και της δεξιάς λωρίδας

Περιγραφή: Εντοπισμένες περιοχές επιφάνειας με ελαφρώς χαμηλότερα ύψη από το περιβάλλον οδόστρωμα. Οι ταπεινώσεις είναι πολύ αξιοπρόσεχτες μετά από υετό, όταν γεμίζουν με νερό.

Πρόβλημα: Τραχύτητα, ταπεινώσεις που γεμίζουν με νερό που μπορεί να προκαλέσει υδρολίσθηση των οχημάτων.

Πιθανές αιτίες: Ανύψωση παγετού ή βύθιση του εδάφους ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς συμπίεσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Επισκευή: Εξ ορισμού, οι ταπεινώσεις παρατηρούνται σε μικρές εντοπισμένες περιοχές. Μια ταπείνωση οδοστρώματος πρέπει να ερευνηθεί για να καθοριστεί η πρωταρχική αιτία της αστοχίας (δηλ. εάν πρόκειται για ανύψωση παγετού ή βύθιση του εδάφους). Οι ταπεινώσεις πρέπει να επισκευαστούν με αφαίρεση του επηρεασθέντος τμήματος οδοστρώματος και έπειτα εκσκαφή και αντικατάσταση του ελαττωματικού εδάφους. Στο τέλος γίνεται μάλωμα στο οδόστρωμα.

4.14.6 Διαμήκειες ρηγματώσεις



Διαμήκειες ρηγματώσεις ως εκκίνηση των ρηγματώσεων κόπωσης

Διαμήκειες ρηγματώσεις από κακή κατασκευή αρμών

Περιγραφή: Ρωγμές παράλληλες στον κεντρικό άξονα ή στην λωρίδα κυκλοφορίας. Συνήθως ένας τύπος ρηγμάτωσης κόπωσης.

Πρόβλημα: Επιτρέπει τη διήθηση υγρασίας, τραχύτητα οδοστρώματος, δείχνει την πιθανή έναρξη αλλιγομορφικών ρηγματώσεων και δομική αστοχία.

Πιθανές αιτίες:

- Ακατάλληλη κατασκευή ή θέση. Οι αρμοί είναι γενικά οι λιγότερο συμπαγείς περιοχές ενός οδοστρώματος. Επομένως, πρέπει να κατασκευάζονται έξω από το ίχνος των τροχών έτσι ώστε να φορτίζονται σπάνια. Οι αρμοί στο ίχνος των τροχών γενικά πρόκειται να θα αστοχήσουν πρόωρα.
- Μια ανακλαστική ρωγμή από μία κατώτερη ασφαλτική στρώση.
- Κόπωση οδοστρώματος (δείχνει την αρχή μελλοντικών αλλιγομορφικών ρηγματώσεων).
- Από επάνω προς τα κάτω ρηγμάτωση.

Επισκευή: Οι στρατηγικές εξαρτώνται από τη δριμύτητα και την έκταση του ραγίσματος:

- *Μικρού εύρους ρωγμές (<1,27 cm και σπάνιες ρωγμές).* Σφράγιση ρωγμών για να αποτροπή α) εισόδου της υγρασίας μέσα στο έδαφος μέσω των ρωγμών και β) περαιτέρω διάνοιξης των ακρών ρωγμών. Το ασφαλτόμιγμα μπορεί να παρέχει αρκετά έτη ικανοποιητικής υπηρεσίας μετά από τη σφράγιση των ρηγματώσεων μικρού εύρους (Roberts et al., 1996).
- *Μεγάλου εύρους ρωγμές (>1,27cm και πολυάριθμες ρωγμές).* Αφαίρεση και αντικατάσταση του ραγισμένου οδοστρώματος με επικάλυψη.

4.14.7 Τοπικές επισκευές (μπαλώματα)



Αστοχία μπαλώματος

Μπάλωμα πάνω σε
εντοπισμένη φθοράΜπάλωμα σε τμήμα
οδοστρώματος

Περιγραφή: Μια περιοχή του οδοστρώματος που έχει αντικατασταθεί με νέο υλικό για να επισκευαστεί το υφιστάμενο οδόστρωμα. Ένα μπάλωμα θεωρείται μια ατέλεια ανεξάρτητα από την επιτυχία εφαρμογής του.

Πρόβλημα: Τραχύτητα επιφάνειας.

Πιθανές αιτίες:

- Προηγούμενη εντοπισμένη φθορά του οδοστρώματος που έχει αφαιρεθεί και επιδιορθωθεί.
- Τομές για εργασίες (π.χ. ΔΕΗ, ΟΤΕ).

Επισκευή: Τα μπαλώματα είναι τα ίδια μια δράση επισκευής. Ο μόνος τρόπος για να απομακρυνθούν από την επιφάνεια ενός οδοστρώματος είναι η στρώση νέου ασφαλτοτάπητα.

4.14.8 Στιλβωμένα αδρανή



Πέντε έτη φθοράς

Περιγραφή: Οι περιοχές του οδοστρώματος όπου τα αδρανή που εξέχουν της ασφάλτου είναι είτε πολύ λίγα είτε δεν υπάρχουν τραχείς ή γωνιώδεις κόκκοι.

Πρόβλημα: Μειωμένη αντίσταση ολίσθησης.

Πιθανές αιτίες: Μακροχρόνια φόρτιση κυκλοφορίας. Γενικά, καθώς ένα οδόστρωμα γερνάει οι εξέχοντες τραχείς και γωνιώδεις κόκκοι λειαίνονται. Αυτό μπορεί να εμφανιστεί πιο γρήγορα εάν τα αδρανή είναι ευαίσθητα στη φθορά ή υπάγονται σε υπερβολικά φορτία.

Επισκευή: Εφαρμογή αντιολισθηρής στρώσης ή νέας ασφαλικής στρώσης.

4.14.9 Λακούβες



Λακούβα από ρηγματώσεις κόπωσης



Ανάπτυξη
λακούβας

Περιγραφή: Μικρές, με μορφή νιπτήρα ταπεινώσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος που διαπερνούν όλες τις στρώσεις ασφαλτοτάπητα μέχρι τη βάση. Έχουν γενικά αιχμηρές άκρες και κάθετες πλευρές κοντά στην κορυφή της τρύπας. Οι λακούβες είναι πλέον πιθανόν να εμφανιστούν σε δρόμους με λεπτές στρώσεις ασφαλτοτάπητα (25 έως 50 χιλ.) και εμφανίζονται σπάνια σε δρόμους με στρώσεις πάχους 100 χιλ. (Roberts et al., 1996).

Πρόβλημα: Απώλεια ομαλότητας (σοβαρά ατυχήματα μπορεί να προκύψουν από την οδήγηση σε λακούβες με υψηλές ταχύτητες), διήθηση υγρασίας.

Πιθανές αιτίες: Γενικά, οι λακούβες είναι το τελικό αποτέλεσμα των αλιγοτροπικών ρηγματώσεων. Οι διασυνδεδεμένες ρωγμές δημιουργούν μικρά χοντρά κομμάτια του οδοστρώματος, τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν κατά τη διέλευση των οχημάτων από πάνω τους.

Επισκευή: Όπως στις τοπικές επισκευές (μπαλώματα).

4.14.10 Απόσπαση (αποκόλληση αδρανών)



Απόσπαση εξαιτίας χαμηλής
πυκνότητας

Απόσπαση από συχνή ρίψη αλατιού

Απόσπαση λόγω
ανεπαρκούς
συμπίεσης

Περιγραφή: Η προοδευτική αποσύνθεση μίας στρώσης από την επιφάνεια προς τα κάτω ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό των κόκκων.

Πρόβλημα: Χαλαρά συντρίμμια στο οδόστρωμα, απώλεια ομαλότητας, νερό που συγκεντρώνεται με συνέπεια την υδρολίσθηση οχημάτων, απώλεια αντίστασης ολίσθησης.

Πιθανές αιτίες:

- Απώλεια δεσμού μεταξύ των κόκκων των αδρανών και της ασφάλτου που έχει ως αποτέλεσμα:
 - Ένα επίστρωμα σκόνης στους κόκκους που αναγκάζει την ασφάλτο για να συνδέεται με σκόνη παρά με τα αδρανή.
 - Διαχωρισμός κόκκων. Εάν οι λεπτοί κόκκοι λείπουν από τα αδρανή, η ασφαλτος δεσμεύει μόνο τα υπόλοιπα χονδρόκοκκα μόρια στα σχετικά λίγα σημεία επαφής τους.
 - Ανεπαρκής συμπίεση κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Για να αναπτυχθεί ικανοποιητική συνοχή μέσα στο ασφαλτόμιγμα απαιτείται υψηλή πυκνότητα. Η τρίτη φωτογραφία επάνω παρουσιάζει έναν δρόμο που πάσχει από απόσπαση λόγω ανεπαρκούς συμπίεσης προκαλούμενης από οδοστρωσία σε χαμηλή θερμοκρασία.
- Μηχανική απόσπαση από οχήματα (λεπίδες αποχιονιστικών οχημάτων ή ρυμουλκούμενα οχήματα).

Επισκευή: Οι στρατηγικές επισκευής εμπίπτουν γενικά σε μια από τις εξής δύο κατηγορίες:

- *Μικρές, εντοπισμένες περιοχές.* Αφαίρεση του τμήματος και μπάλωμα.

- *Μεγάλες περιοχές, ενδεικτικές της γενικής αστοχίας.* Αφαίρεση του τμήματος και επικάλυψη.

4.14.11 Τροχοαυλάκωση



Τροχοαυλάκωση
ασφαλτομίγματος

Τροχοαυλάκωση
ασφαλτομίγματος

Τροχοαυλάκωση λόγω
αστάθειας του εδάφους

Περιγραφή: Ταπείνωση της επιφάνειας στο ίχνος των τροχών. Ανύψωση μπορεί να εμφανιστεί κατά μήκος των πλευρών της τροχοαυλάκωσης. Οι αυλακιές είναι ιδιαίτερα εμφανείς μετά από μια βροχή όταν γεμίζουν με νερό. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τροχοαυλάκωσης: τροχοαυλάκωση ασφαλτομίγματος και τροχοαυλάκωση εδάφους. Η τροχοαυλάκωση ασφαλτομίγματος εμφανίζεται όταν το υποκείμενο έδαφος δεν καθιζάνει, αλλά είναι αποτέλεσμα των προβλημάτων συμπίεσης και παρασκευής. Η τροχοαυλάκωση εδάφους εμφανίζεται όταν το υποκείμενο έδαφος καθιζάνει λόγω της φόρτισης. Σε αυτήν την περίπτωση, το οδόστρωμα επικάθεται στις αυλακιές του υποκείμενου εδάφους προκαλώντας τις ταπεινώσεις της επιφάνειας στο ίχνος των τροχών.

Πρόβλημα: Οι αυλακώσεις που γεμίζουν με νερό μπορούν να προκαλέσουν υδρολίσθηση οχημάτων και ενδέχεται να είναι επικίνδυνες επειδή τείνουν να τραβήξουν ένα όχημα προς την πορεία που σχηματίζει η τροχοαυλάκωση.

Πιθανές αιτίες: Μόνιμη παραμόρφωση σε οποιαδήποτε από τις ασφατικές στρώσεις ή στο υποκείμενο έδαφος ενός ενός οδοστρώματος που προκαλούνται συνήθως από τη σταθεροποίηση ή την πλευρική μετακίνηση των υλικών λόγω της φόρτισης κυκλοφορίας. Οι συγκεκριμένες αιτίες μπορούν να είναι:

- Ανεπαρκής συμπίεση των στρώσεων ασφατοτάτητα κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Εάν δεν συμπιέζεται αρκετά αρχικά, το οδόστρωμα μπορεί να συνεχίσει να συμπιέζεται κάτω από τα φορτία κυκλοφορίας.
- Τροχοαυλάκωση υποκείμενου εδάφους (π.χ. ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς δομής του οδοστρώματος).
- Ανεπαρκής κατασκευή ασφαλτομίγματος (π.χ. υπερβολικά υψηλή περιεκτικότητα σε άσφαλτο, υπερβολικό ορυκτό υλικό πληρώσεως ασφάλτου,

ανεπαρκές ποσοστό κόκκων αδρανών γωνιώδους μορφής).

Επισκευή: Το οδόστρωμα με πρέπει να είναι επιστρωθεί με νέο ασφαλτοτάπητα.

4.14.12 Παραβολικές ρηγματώσεις ολίσθησης



Ρηγματώσεις
ολίσθησης σε στάση
λεωφορείου

Περιγραφή: Ρηγματώσεις μορφής ημισελήνου, που οι δύο τους άκρες είναι προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας.

Πρόβλημα: Επιτρέπει τη διήθηση υγρασίας, απώλεια ομαλότητας.

Πιθανές αιτίες: Οι τροχοί κατά το φρενάρισμα ή τη στροφή αναγκάζουν την επιφάνεια του οδοστρώματος να παραμορφωθεί. Η ολίσθηση και η παραμόρφωση της κατάληξης προκαλούνται από ένα αδύνατο μίγμα επιφάνειας ή μια φτωχή σύνδεση μεταξύ του τάπητα επιφάνειας (κυκλοφορίας) και του επόμενου στρώματος.

Επισκευή: Αφαίρεση και αντικατάσταση της επηρεασθείσας περιοχής.

4.14.13 Διάβρωση



Πυρηνοληψία που δείχνει τη
διάβρωση κάτω από τον
ασφαλτοτάπητα



Διάβρωση κάτω
από τον
ασφαλτοτάπητα



Αστοχία λόγω
διάβρωσης

Περιγραφή: Η απώλεια δεσμού μεταξύ αδρανών και ασφάλτου που αρχίζει συνήθως

στο κατώτατο σημείο του στρώματος και προχωρεί προς τα πάνω. Όταν η διάβρωση αρχίζει στην επιφάνεια και προχωρεί προς τα κάτω καλείται συνήθως απόσπαση.

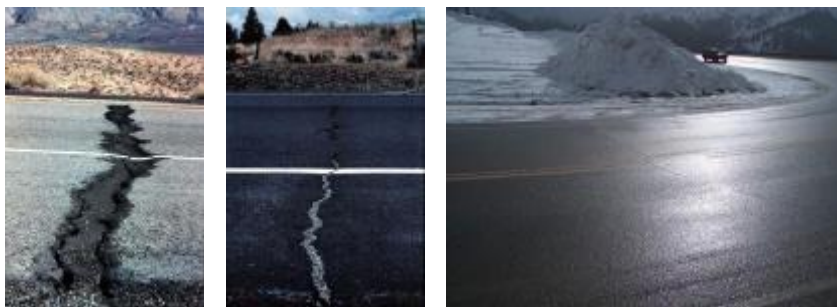
Πρόβλημα: Μειωμένη δομική υποστήριξη, τροχοαυλάκωση, επωθήσεις/ρυτιδώσεις, απόσπαση ή ρηγματώσεις (αλλιγοτροπικές και διαμήκεις).

Πιθανές αιτίες: Η από κάτω προς τα επάνω διάβρωση είναι πολύ δύσκολο να αναγνωριστεί επειδή φανερώνεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος με άλλους τύπους φθορών συμπεριλαμβανομένων τροχοαυλάκωσης, επωθήσεων/ρυτιδώσεων, απόσπασης ή ρηγματώσεων. Γενικά, ένας πυρήνας πρέπει να ληφθεί για να προσδιοριστεί θετικά η διάβρωση.

- Κακή χημική σύνθεση επιφάνειας.
- Νερό που προκαλεί τη φθορά.
- Επικαλύψεις πάνω από μη συμπιεσμένο έδαφος. Με βάση την εμπειρία του WSDOT, αυτές οι επικαλύψεις τείνουν να διαβρωθούν.

Επισκευή: Γενικά, το διαβρωμένο οδόστρωμα πρέπει να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί μετά από διόρθωση οποιωνδήποτε ζητημάτων αποστράγγισης.

4.14.14 Εγκάρσιες Ρηγματώσεις



Μεγάλη
επισκευασμένη
εγκάρσια
ρηγματώση

Μικρή
επισκευασμένη
εγκάρσια
ρηγματώση

Μικρή εγκάρσια ρηγματώση

Περιγραφή: Ρηγματώσεις κάθετες στον άξονα της οδού. Συνήθως ένας τύπος θερμικής ρηγματώσεως.

Πρόβλημα: Επιτρέπει τη διήθηση υγρασίας, απώλεια ομαλότητας.

Πιθανές αιτίες:

- Συρρίκνωση της επιφάνειας λόγω χαμηλών θερμοκρασιών ή σκλήρυνσης ασφάλτου.
- Ανακλαστική ρηγματώση που προκαλείται από ρωγμές κάτω από τη στρώση

επιφάνειας.

- Από επάνω προς τα κάτω ραγίσμα.

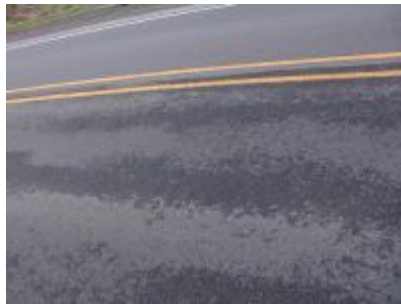
Επισκευή: Οι στρατηγικές εξαρτώνται από το εύρος και την έκταση του ραγίσματος:

- *Μικρού εύρους ρωγμές (< 1,27 cm και σπάνιες ρωγμές).* Σφράγιση ρωγμών για αποτροπή α) είσοδου υγρασίας στο υποκείμενο έδαφος μέσω των ρωγμών και β) περαιτέρω επιδείνωση των ακρών των ρωγμών. Το οδόστρωμα μπορεί να παρέχει αρκετά έτη ικανοποιητικής υπηρεσίας μετά από την ανάπτυξη μικρών ρωγμών εάν αυτές σφραγίζονται (Roberts et al., 1996).
- *Μεγάλου εύρους ρωγμές (>1,27 cm και πολυάριθμες ρωγμές).* Αφαίρεση και αντικατάσταση του ραγισμένου στρώματος με επικάλυψη.

4.14.15 Εξίδρωση και άντληση



Εξίδρωση



Εξίδρωση



Άντληση

Περιγραφή: Η υγρασία (δύο πρώτες φωτογραφίες) εμφανίζεται όταν διαρρέει το νερό από τις ενώσεις ή τις ρωγμές ή μέσω ενός υπερβολικά πορώδους ασφαλτικού στρώματος. Η άντληση (δεξιά φωτογραφία) εμφανίζεται όταν εκτινάσσεται νερό και λεπτόκοκκο υλικό από τα υποκείμενα στρώματα μέσω των ρωγμών στον τάπητα κυκλοφορίας υπό από τα φορτία κυκλοφορίας.

Πρόβλημα: Μειωμένη αντίσταση ολίσθησης, μια ένδειξη του υψηλού πορώδους του οδοστρώματος (εξίδρωση), μειωμένη δομική υποστήριξη (άντληση).

Πιθανές αιτίες:

- Πορώδες οδόστρωμα ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς συμπίεσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή του ακατάλληλης σύστασης ασφαλτομίγματος.
- Υψηλή στάθμη νερού.
- Φτωχή αποστράγγιση.

Επισκευή: Εάν το πρόβλημα είναι η υψηλή στάθμη του νερού ή η φτωχή αποστράγγιση, τότε αυτή πρέπει να βελτιωθεί. Εάν το πρόβλημα είναι το πορώδες ασφαλτόμιγμα (εξίδρωση), τότε μπορεί να εφαρμοστεί μια νέα στρώση για να

περιορίσει τη διήθηση ύδατος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

5.1 Εισαγωγή

Η πραγματική κατάσταση ενός οδοστρώματος σε κάθε χρονική στιγμή αντικατοπτρίζει την ικανότητα της οδικής υποδομής να εξυπηρετήσει τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε, δηλαδή την άνετη, ασφαλή και απρόσκοπτη χρήση από τους οδηγούς. Δεδομένου ότι η εμφάνιση φθορών και, γενικότερα, η επιδείνωση της κατάστασης με την πάροδο του χρόνου είναι φυσιολογικό επακόλουθο για ένα οδόστρωμα, είναι λογικό να παρακολουθείται η εικόνα του μέσω των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Η παρακολούθηση αυτή γίνεται μέσω της μέτρησης διαφόρων παραμέτρων ενδεικτικών της κατάστασης του οδοστρώματος. Τρία από τα σημαντικότερα μετρήσιμα χαρακτηριστικά είναι η ολισθηρότητα (skid resistance), η ομαλότητα (roughness) και η τροχοαυλάκωση (rutting). Αν και υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων και αντίστοιχα όργανα μέτρησης των παραπάνω χαρακτηριστικών, στην παρούσα διατριβή επιλέγονται διεθνώς αναγνωρισμένες και συχνά χρησιμοποιούμενες πρακτικές. Πιο συγκεκριμένα, η ολισθηρότητα εκφράζεται μέσω του συντελεστή πλευρικής τριβής SFC (sideway force coefficient), η ομαλότητα μέσω του διεθνούς δείκτη ομαλότητας IRI (international roughness index) σε μέτρα/χιλιόμετρο (m/km) και η τροχοαυλάκωση με το βάθος της RD (rutting depth) σε χιλιοστά (mm).

5.2 Φιλοσοφία μοντέλου προσδιορισμού οριακών τιμών καταλληλότητας δεικτών κατάστασης οδοστρώματος

Ο τρόπος με τον οποίο εξελίσσονται οι φθορές και, κατά συνέπεια, η κατάσταση του οδοστρώματος έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για πολλούς ειδικούς. Στο πλαίσιο της συγκέντρωσης δεδομένων μετρήσεων των φθορών του οδοστρώματος, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την εξεύρεση μιας καταστατικής συνάρτησης που να περιγράφει την εξέλιξη κάθε τύπου φθοράς σε σχέση με την ηλικία ή την κυκλοφορία του οδοστρώματος. Έτσι υπάρχει πληθώρα μοντέλων πρόβλεψης της εξέλιξης της ολισθηρότητας, της ομαλότητας και της τροχοαυλάκωσης. Ο στόχος της παρούσας διατριβής δεν είναι η εξεύρεση του μοντέλου πρόβλεψης της εξέλιξης ενός δείκτη σε ένα συγκεκριμένο οδόστρωμα, αλλά η φιλοσοφία και η διαδικασία επιλογής των ορίων καταλληλότητας των δεικτών που απεικονίζουν την κατάσταση του οδοστρώματος.

Όριο καταλληλότητας ορίζεται ως η οριακή (ελάχιστη ή ανώτατη) αποδεκτή τιμή ενός δείκτη ή ενός συντελεστή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός χαρακτηριστικού του οδοστρώματος, στο στάδιο λειτουργίας της οδού.

Η αποδοχή των ορίων καταλληλότητας των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος, στο στάδιο λειτουργίας της οδού, ακολουθεί την προτεινόμενη φιλοσοφία η οποία συνίσταται στα εξής βήματα:

A) Ποιοτικός καθορισμός ορίων καταλληλότητας

Τα αποδεκτά όρια των τιμών για τους δείκτες SFC, IRI και RD επιλέγονται με βάση την επίπτωσή τους σε δύο βασικά κριτήρια αξιολόγησης μιας οδού, τη λειτουργικότητα (ασφάλεια, άνεση, περιβάλλον) και την οικονομία. Από τη διεθνή βιβλιογραφία, διερευνάται η ενδεχόμενη σύνδεση ενός δείκτη κατάστασης του οδοστρώματος με ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης του οδοστρώματος. Εφόσον διαπιστωθεί ισχυρή συσχέτιση του δείκτη στην ασφάλεια που παρέχει το οδόστρωμα ή στο κόστος χρήσης της οδού, τότε διερευνάται η συνάρτηση μεταβολής του δείκτη με το εν λόγω κριτήριο, όπως, επί παραδείγματι, δείκτης αντίστασης σε ολίσθηση, δείκτης ατυχημάτων κ.ά.

Έχοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, η προτεινόμενη μεθοδολογία επιλογής των ορίων καταλληλότητας συνδέει τις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής SFC, του διεθνούς δείκτη ομαλότητας IRI και της τροχοαυλάκωσης RD με την ασφάλεια και την οικονομία για τους χρήστες μιας οδού. Πιο συγκεκριμένα, η έννοια της ασφάλειας απεικονίζεται στον δείκτη ατυχημάτων (accident rate) και η έννοια της οικονομίας στο κόστος χρόνου ταξιδιού TTC (travel time cost).

B) Ποσοτικός καθορισμός ορίων καταλληλότητας

Σε επόμενο στάδιο, όταν οι τιμές των παραπάνω δεικτών κατάστασης οδοστρώματος ξεπεράσουν μια συγκεκριμένη ελάχιστη ή ανώτατη τιμή που συνδέεται αντίστοιχα με σημαντικό έλλειμμα ασφάλειας (δείκτης ατυχημάτων) ή σημαντική αύξηση του κόστους για τον χρήστη της οδού (TTC), τότε οι τιμές αυτές θεωρούνται οριακές τιμές καταλληλότητας.

Τα όρια μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τη λειτουργική κατάταξη της οδού, τον κυκλοφοριακό φόρτο και την κατανομή των βαρέων οχημάτων στο σύνολο της κυκλοφορίας.

5.3 Συσχέτιση χαρακτηριστικών του οδοστρώματος με τον κίνδυνο ατυχήματος και το κόστος χρήστη

Είναι γνωστό ότι κάθε ανεπτυγμένο κράτος και αρκετές εκ των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (ΗΠΑ) έχουν συντάξει προδιαγραφές που ορίζουν τα όρια αποδοχής κάθε τύπου φθοράς του οδοστρώματος. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι τιμές των ορίων αυτών ποικίλλουν χωρίς να γνωστοποιείται τις περισσότερες φορές η λογική της επιλογής μιας μέγιστης ή ελάχιστης τιμής ενός δείκτη. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι οριακές τιμές που επιλέγονται αποδίδονται σε υποδείξεις ειδικών επιστημόνων μηχανικών με βάση την εμπειρία τους χωρίς να θεμελιώνονται επαρκώς.

Στη συνέχεια αναλύεται η προτεινόμενη μεθοδολογία για την εύρεση των ορίων καταλληλότητας του συντελεστή SFC και των δεικτών IRI και RD.

5.3.1 Σχέση συντελεστή πλευρικής τριβής (SFC) και κινδύνου ατυχήματος

Αν και τα περισσότερα ατυχήματα οφείλονται σε πολλαπλά αίτια, οι έρευνες ατυχημάτων έχουν παρουσιάσει με συνέπεια μια σύνδεση μεταξύ των ατυχημάτων και χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, όπως η ολισθηρότητα. Φαίνεται, επομένως, ότι υπάρχει μια ανάγκη για τη σε βάθος γνώση και την κατανόηση της επίδρασης της ολισθηρότητας στην οδική ασφάλεια και για αποτελεσματικές λύσεις σε ενδεχόμενες επικίνδυνες καταστάσεις.

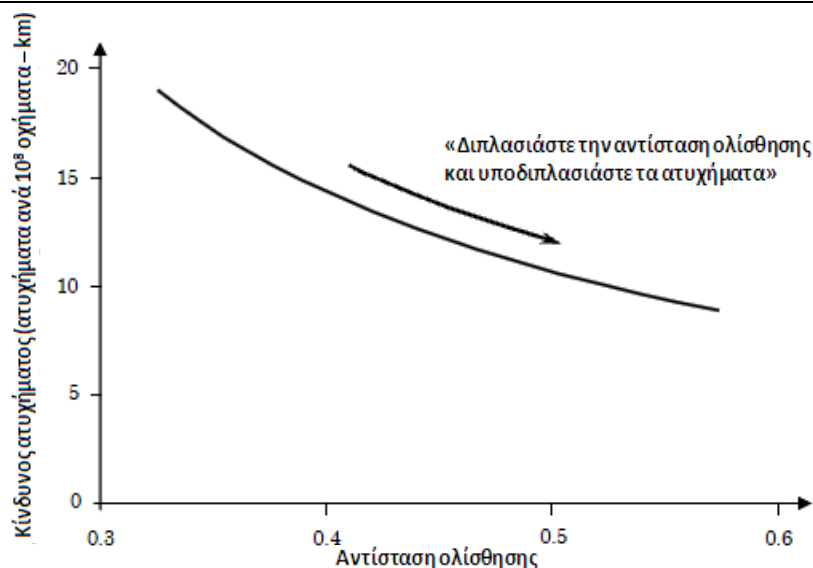
Ενώ η ακριβής σχέση μεταξύ των ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα και της τριβής του οδοστρώματος είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, η έρευνα για τα τροχαία ατυχήματα έχει δείξει ότι ο αριθμός ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα αυξάνεται καθώς η τριβή του οδοστρώματος μειώνεται (όλοι οι άλλοι παράγοντες, όπως η ταχύτητα και ο κυκλοφοριακός φόρτος, θεωρούνται σταθεροί).

Σε μια μελέτη οδικής ασφάλειας (Rizenbergs et al., 1972), αναλύθηκαν τα στοιχεία ατυχημάτων και οι μετρηθείσες τιμές τριβής των οδοστρωμάτων που λήφθηκαν από οδούς της πολιτείας του Kentucky. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν αύξηση του ποσοστού των ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα για τιμές ολισθηρότητας μικρότερες από 40, σε χαμηλά και μέτρια επίπεδα κυκλοφορίας.

Τα στοιχεία από αυτή τις σχετικές έρευνες δείχνουν ότι ατυχήματα είναι πιθανότερο να εμφανιστούν στα υγρά οδοστρώματα (με χαμηλά επίπεδα τριβής) καθώς τα επίπεδα τριβής μειώνονται. Η απώλεια αντίστασης ολίσθησης παράγει μια αξιοπρόσεκτη αύξηση στα ποσοστά ατυχημάτων. Επιπρόσθετα φαίνεται ότι όταν μειώνεται σημαντικά η τριβή του οδοστρώματος, κάτω από μια συγκεκριμένη οριακή τιμή, ο κίνδυνος ατυχημάτων αυξάνεται σημαντικά.

Η σχέση μεταξύ της τριβής οδοστρώματος και των ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα είναι συγκεκριμένη για κάθε οδόστρωμα, όπως διατυπώνεται με την εισαγωγή όχι μόνο της παραμέτρου «τριβή», αλλά πολλών άλλων παραγόντων επίσης. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας σχέσης που αναπτύσσεται για τα οδοστρώματα στη Μ. Βρετανία δείχνει ότι ο κίνδυνος ατυχήματος μειώνεται σοβαρά καθώς η αντίσταση ολίσθησης του οδοστρώματος αυξάνεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1 (Viner et al., 2004).

Η ολισθηρότητα ενός οδοστρώματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας οδικής ασφάλειας, ειδικά όταν η επιφάνεια κυκλοφορίας είναι υγρή. Τα στατιστικά στοιχεία των ατυχημάτων σε μια υγρή επιφάνεια μπορεί επομένως να είναι ένας δείκτης της ανεπάρκειας τριβής. Ειδικό μηχάνημα που είναι γνωστό με τη συντομογραφία SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine) - εξελίχθηκε και κατασκευάζεται ακόμα με την άδεια του ευρωπαϊκού εργαστηρίου μεταφορών TRL (Transport Research Laboratory) - χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ολισθηρότητας (SFC) του οδικού δικτύου.



Σχήμα 5.1: Σχέση μεταξύ της αντίστασης ολίσθησης και κινδύνου ατυχήματος [Πηγή: Viner et al., 2004]

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα προτεινόμενα όρια καταλληλότητας του συντελεστή SFC από διάφορους οργανισμούς των ΗΠΑ, της Μ. Βρετανίας και της Φινλανδίας. Παρατηρείται ότι υπάρχουν αρκετά μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των προτεινόμενων τιμών, γεγονός που καταδεικνύει την απουσία συγκεκριμένης μεθοδολογίας αποτίμησης των ορίων καταλληλότητας.

Πίνακας 5.1: Διάφορα προτεινόμενα όρια καταλληλότητας του συντελεστή πλευρικής τριβής SFC₅₀

Οργανισμός	Χώρα	Πρωτεύον δίκτυο	Δευτερεύον δίκτυο
AASHTO	ΗΠΑ	-	-
Maine DOT	ΗΠΑ	0,35	0,35
Washington DOT	ΗΠΑ	0,30	0,30
Wisconsin DOT	ΗΠΑ	0,38	0,38
Minnesota DOT	ΗΠΑ	0,45	0,45
Highways Agency	Μ. Βρετανία	0,30 – 0,45	0,45 – 0,55
Finnish Road Administration	Finland	0,60	0,40

Το 2000, μια απόφαση που λήφθηκε από δικαστήριο της Πολιτείας του Μισσούρι, σε μια υπόθεση όπου δύο οχήματα συγκρούονται λόγω αυξημένης ολισθηρότητας, κατέδειξε την ανάγκη για αποδεκτά επίπεδα τριβής στη συντήρηση οδοστρώματων (Missouri Court Affirms Award, 2003). Σε αυτήν τη συγκεκριμένη σύγκρουση, ένα άτομο απεβίωσε και ένα άλλο τραυματίστηκε σοβαρά. Το δικαστήριο αποφάσισε ότι είναι ευθύνη της Πολιτείας η βελτίωση της επιφανειακής τριβής ή να προειδοποιείται ο οδηγός τότε η εθνική οδός είναι ολισθηρή για να αποτρέψει τέτοιου είδους ατυχήματα. Εν τούτοις, η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων FHWA (Federal Highway Administration) των ΗΠΑ έχει αντισταθεί στον ορισμό ενός κατώτερου αποδεκτού ορίου ολισθηρότητας οδοστρώματος (Larson, 1999). Κάθε χώρα μεμονωμένα μπορεί να καθορίζει τα αποδεκτά όρια σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες του οδικού του δικτύου. Η Ένωση των Υπηρεσιών Οδικών Μεταφορών και Συγκοινωνιών της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας Austroads (Association of Australian and New Zealand road transport and traffic authorities) πρόσφατα δήλωσε ότι καμία απλή μέθοδος δεν υπάρχει για τον καθορισμό μιας τιμής επιφανειακής τριβής πέραν της οποίας μια οδός από «ασφαλής» μετατρέπεται σε «επικίνδυνη» (Austroads, 2005).

Μια έρευνα του 1999 για τις Υπηρεσίες Εθνικών Οδών (Highway Agencies) των ΗΠΑ αποκάλυψε ότι μόνο 11 από τις 42 υπηρεσίες που ανταποκρίθηκαν στην έρευνα είχαν δημοσιοποιήσει κατώτερα αποδεκτά όρια ολισθηρότητας (Henry, 2000). Φαίνεται ότι πολλές Υπηρεσίες είναι απρόθυμες να ορίσουν κατώτερα αποδεκτά επίπεδα τριβής οδοστρώματων λόγω ανησυχιών για την ευθύνη σε περίπτωση λανθασμένης εκτίμησης.

Διάφορες Πολιτείες των ΗΠΑ έχουν αναπτύξει τις συγκεκριμένες τιμές κατώτερων ορίων τριβής που καθορίζουν το χαμηλότερο αποδεκτό όριο τριβής πέραν του οποίου είναι επιβεβλημένη η αποκατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Παραδείγματος χάριν, το Maine, η Ουάσιγκτον και το Wisconsin χρησιμοποιούν τις οριακές τιμές 35, 30 και 38 αντίστοιχα (Henry, 2000). Εν τω μεταξύ, η Μινεσότα χρησιμοποιεί την τιμή 45 ως όριο καταλληλότητας. Η μεταβλητότητα μεταξύ αυτών των τεσσάρων Πολιτειών καταδεικνύει την ασυμφωνία μεταξύ των Διευθύνσεων Μεταφορών σχετικά με την ελάχιστη αποδεκτή τιμή τριβής.

Οι οδηγοί είναι πιθανόν να έχουν δυσκολία στην αναγνώριση των τμημάτων με αυξημένη ολισθηρότητα και υπό αυτή την οπτική, ενδέχεται να μην μειώνουν την ταχύτητά τους σε εκείνες τις χιλιομετρικές θέσεις, όπως θα ήταν απαραίτητο ώστε να διατηρηθεί ο κίνδυνος σε επίπεδο που θεωρούν αποδεκτό. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ του κινδύνου ατυχήματος και της ολισθηρότητας του οδοστρώματος. Ο κίνδυνος ατυχήματος λόγω του οχήματος που ολισθαίνει όταν ο συντελεστής πλευρικής τριβής (SFC) έχει τιμή μικρότερη από 0,45, είναι 20 φορές υψηλότερος από την περίπτωση επιφάνειας οδοστρώματος με συντελεστή SFC υψηλότερο από 0,60. Επιπλέον, εάν ο συντελεστής SFC είναι μικρότερος από 0,30, ο κίνδυνος ατυχήματος είναι 300 φορές υψηλότερος (Transport Department, 1994).

Οι Giles, Sabey και Cardew, όπως αναφέρει ο Cairney, διαπίστωσαν ότι ο κίνδυνος ατυχήματος από ολίσθηση ήταν μικρός για τιμές SFC άνω του 0,60, αλλά αυξανόταν γρήγορα για τιμές κάτω από 0,50 (Cairney, 1997 - Giles et al., 1962).

Εν τω μεταξύ, οι McCullough και Hankins συνέστησαν έναν ελάχιστο επιθυμητό συντελεστή τριβής 0,40 που μετρήθηκε με ταχύτητα 50 km/h (30 mph) από μια μελέτη 571 περιοχών στο Τέξας (Cairney, 1997 - McCullough και Hankins, 1966). Η μελέτη εξέτασε τη σχέση ολισθηρότητας - ατυχημάτων και διαπίστωσε ότι ένα μεγάλο ποσοστό των ατυχημάτων εμφανίστηκε με χαμηλά επίπεδα τριβής.

Οι Kamel και Gartshore ανακαλύπτουν παρόμοια αποτελέσματα σε ορισμένα επικίνδυνα σημεία στο Οντάριο του Καναδά (Kamel και Gartshore, 1982). Η αποκατάσταση του οδοστρώματος, με χαμηλά επίπεδα τριβής και υψηλό ποσοστό ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα, οδήγησε σε ουσιαστική μείωση των ατυχημάτων. Οι τεχνικές επεμβάσεις συντήρησης της επιφάνειας κυκλοφορίας απέφεραν μείωση των ατυχημάτων κατά 46 % συνολικά, 21 % σε στεγνό οδόστρωμα και 71 % σε υγρό οδόστρωμα.

Η έρευνα του Gothie στην αρχή της δεκαετίας του '90, που αποτελείται από τρεις χωριστές μελέτες, στόχευσε στον καθορισμό των σχέσεων αιτίου και αιτιατού μεταξύ των ιδιοτήτων οδικής επιφάνειας και του κινδύνου ατυχημάτων στη Γαλλία (Larson, 1999). Αυτές οι μελέτες περιέλαβαν τη διαδρομή περιφερειακών αρτηριών στο Μπορντώ, τέσσερις κύριες αρτηρίες που φέρουν 10.000 οχήματα ανά ημέρα στην κεντρική νοτιοανατολική Γαλλία και ένα τμήμα κύριας οδού (δρόμος με πολλές στροφές δύο κλάδων) στην κεντρική Γαλλία. Ο αριθμός ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα αυξήθηκε στη διαδρομή του Μπορντώ κατά τουλάχιστον 50 % κατά τη μετάβαση από ένα τμήμα με τιμή SFC μεγαλύτερη από 0,60 σε ένα τμήμα με τιμή SFC μικρότερη από 0,50. Τα συμπεράσματα από τη μελέτη συνίστανται στο ότι κάθε μείωση του SFC κατά 0,05 προκαλεί αύξηση του αριθμού ατυχημάτων και αύξηση του κόστους για την κοινωνία κατά περίπου 50 %. Η δριμύτητα των ατυχημάτων βρέθηκε επίσης να είναι υψηλότερη στις πιο μικρές ακτίνες οριζοντιογραφικών καμπυλών συναρμογής.

Το 1984, διεθνής επιστημονική ομάδα εμπειρογνομόνων υπεύθυνη για τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών οδικής επιφάνειας του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) έδειξε ότι στις ΗΠΑ οποιαδήποτε μείωση της επιφανειακής τριβής συνδέεται με μια σταθερή αύξηση στα ατυχήματα (OECD, 1984).

Μια άλλη μελέτη που περιγράφεται από τους Wallman και Aström με παρόμοια αποτελέσματα είναι το νορβηγικό πρόγραμμα «Veg-grepsprosjektet». Σε αυτήν τη μελέτη, οι μετρήσεις τριβής και οι παρατηρήσεις της κατάστασης των οδοστρώματων ολοκληρώθηκαν με συνέπεια την αξιολόγηση των δεικτών ατυχημάτων για διαφορετικά διαστήματα τιμών τριβής, όπως συνοψίζονται στον Πίνακα 5.2 (Wallman και Aström, 2001).

Πίνακας 5.2: Δείκτης ατυχημάτων σε διαφορετικά διαστήματα τιμών αντίστασης ολίσθησης (SFC)

Διάστημα τιμών (SFC)	Δείκτης ατυχημάτων (ατομικοί τραυματισμοί ανά εκατομμύριο χιλιόμετρα οχημάτων)
< 0,15	0,80
0,15 – 0,24	0,55
0,25 – 0,34	0,25
0,35 – 0,44	0,20

Ο Yager περιγράφει το ιδιαίτερο ενδιαφέρον που υπάρχει στην αλληλεπίδραση μεταξύ του οχήματος και της επιφάνειας του οδοστρώματος δεδομένου ότι έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια, την άνεση, την ευκολία και την οικονομία συμπεριλαμβανομένων των δαπανών χρηστών (Yager, 2005). Εστιάζει στον προσδιορισμό, την ποσοτικοποίηση και τη μέτρηση των παραγόντων που διαμορφώνουν και επηρεάζουν αυτές τις αλληλεπιδράσεις. Επιπλέον, προτείνει να επιδιωχθούν μακροπρόθεσμες βελτιώσεις σε πολλές περιοχές υποδεικνύοντας, παράλληλα, εξοπλισμό και μεθόδους συντήρησης για τη βελτίωση της αντίστασης σε ολίσθηση των επιφανειών οδοστρωμάτων κατά τη διάρκεια όλων των εποχών και ειδικά για τη χειμερινή περίοδο, υπό συνθήκες βροχής, χιονιού και πάγου. Τα δεδομένα από την καταγραφή της ολισθηρότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τον συσχετισμό ολισθηρότητας επιφάνειας οδοστρωμάτων και δείκτη ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα σύμφωνα με τον Yager.

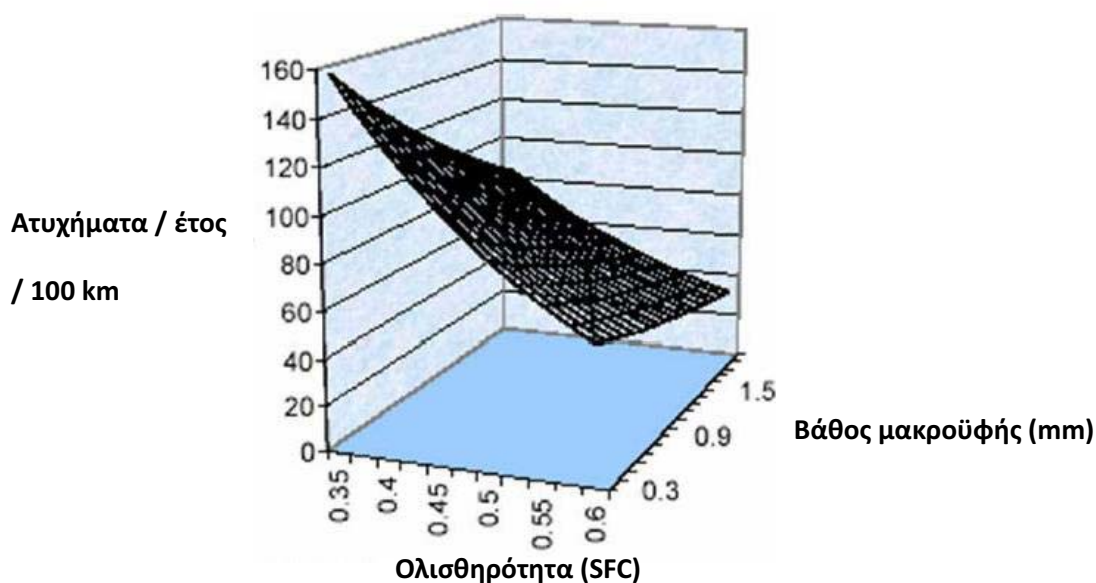
Η πρόσφατη έκδοση, από το Ηνωμένο Βασίλειο, μιας αναθεωρημένης πολιτικής για την ολισθηρότητα (HD 28/04) βασισμένη σε 15 χρόνια εμπειρίας αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα για τις δυνατότητες βελτίωσης που υπάρχουν. Το Η.Β. έχει καθορίσει όρια επιφυλακής για τα οδοστρώματα διαφόρων λειτουργικών κατηγοριών οδών. Στον Πίνακα 5.3 φαίνονται οι πρόσφατα αναθεωρημένες οδηγίες. Οι τιμές στα ελαφρώς σκιασμένα κελιά θεωρούνται κατάλληλες για οδούς με χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο, ενώ τα πιο σκούρα κελιά αντιστοιχούν σε ένα εύρος πιθανών τιμών που εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες συνθήκες μιας περιοχής.

Πίνακας 5.3: Λειτουργικές κατηγορίες οδών και όρια επιφυλακής ολισθηρότητας

Λειτουργική κατάταξη και ορισμός		Όριο επιφυλακής (SFC)							
		0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
A	Αυτοκινητόδρομος								
B	Οδός ταχείας κυκλοφορίας διπλής κατεύθυνσης								
C	Οδός ταχείας κυκλοφορίας μίας κατεύθυνσης								
Q	Τμήμα κοντά σε διασταυρώσεις και παρακάμψεις								
K	Τμήμα κοντά σε διαβάσεις πεζών και άλλες καταστάσεις υψηλού κινδύνου								
R	Παράκαμψη								
G1	Τμήμα μεγαλύτερο των 50 m με κλίση 5 – 10%								
G2	Τμήμα μεγαλύτερο των 50 m με κλίση 5 – 10%								
S1	Καμπύλη ακτίνας μικρότερης των 500 m - Οδός ταχείας κυκλοφορίας διπλής κατεύθυνσης								
S2	Καμπύλη ακτίνας μικρότερης των 500 m - Οδός ταχείας κυκλοφορίας μίας κατεύθυνσης								

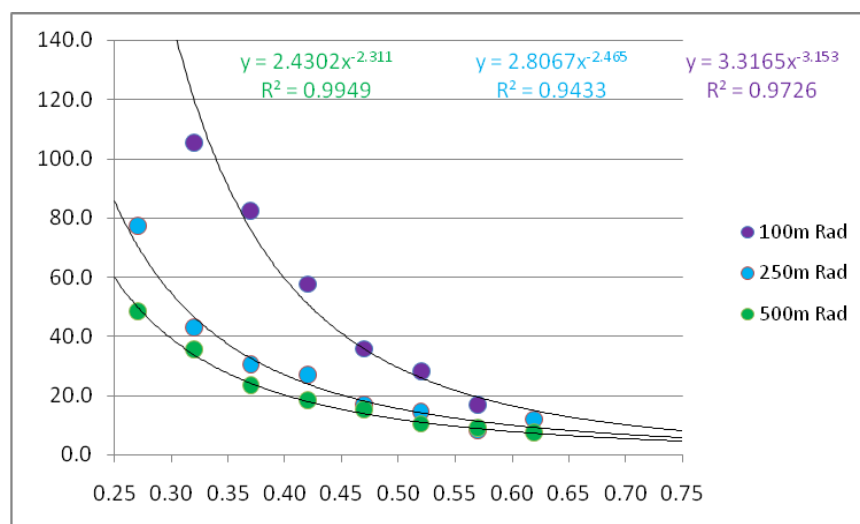
Στο Σχήμα 5.2 απεικονίζεται η επίπτωση της ολισθηρότητας (SFC) και του βάθους υφής (texture depth) στο ποσοστό ατυχημάτων (Viner et al., 2004). Η αύξηση του βάθους μακροϋφής από 0,3 mm σε 1,5 mm επιφέρει μείωση του αριθμού ατυχημάτων περίπου 50% και η αύξηση του συντελεστή πλευρικής τριβής (SFC) από 0,35 σε 0,60 αντιστοιχεί σε μείωση του αριθμού ατυχημάτων κατά 65% περίπου. Από αυτά τα στοιχεία φαίνονται ξεκάθαρα τα προσδοκώμενα οφέλη από την αύξηση της μακροϋφής και της επιφανειακής τριβής όσον αφορά τη μείωση των θανατηφόρων και

σοβαρών ατυχημάτων. Η πολιτική για την ολισθηρότητα, αναθεωρημένη το έτος 2004, προβλέπει ετήσιες μετρήσεις της ολισθηρότητας και της μακροϋφής για όλο το οδικό δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου.



Σχήμα 5.2: Μοντέλο ατυχημάτων σε σχέση με την ολισθηρότητα και το βάθος μακροϋφής [Πηγή: Viner et al., 2004]

Από μια μελέτη της Υπηρεσίας Αυτοκινητοδρόμων (Highways Agency) της Μ. Βρετανίας, συνάγεται σαφής σχέση μεταξύ της ολισθηρότητας (SFC) και του δείκτη ατυχημάτων χωρίς να υπεισέρχεται το βάθος της μακροϋφής, αλλά να εισάγεται η ακτίνα καμπυλότητας (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Δείκτης ατυχημάτων σε σχέση με την ολισθηρότητα ανάλογα με την ακτίνα καμπυλότητας

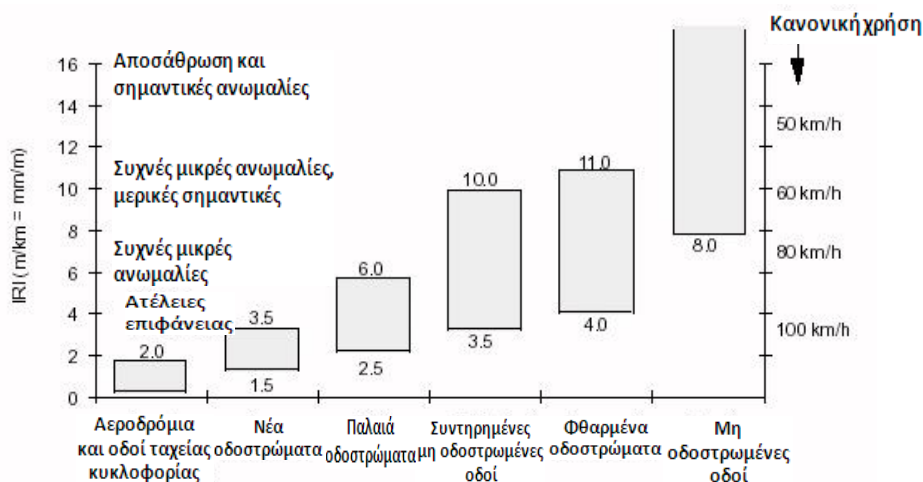
5.3.2 Σχέση διεθνούς δείκτη ομαλότητας (IRI) και κόστους χρόνου ταξιδιού (TTC)

Ομαλότητα οδοστρώματος ορίζεται γενικά ως η έκφραση των ανωμαλιών στην επιφάνεια του οδοστρώματος που έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα κύλισης RQ (ride quality) ενός οχήματος. Η ομαλότητα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του οδοστρώματος επειδή έχει επιπτώσεις όχι μόνο στην ποιότητα κύλισης, αλλά και στο κόστος καθυστέρησης οχημάτων VDC (vehicle delay cost), στην κατανάλωση καυσίμων και στις δαπάνες συντήρησης. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank), η ομαλότητα του οδοστρώματος είναι ένας βασικός παράγοντας στις αναλύσεις που συσχετίζουν την οδική ποιότητα με το κόστος των χρηστών (University of Michigan, Transportation Research Institute [UMTRI], 1998).

Η ομαλότητα ποσοτικοποιείται χρησιμοποιώντας τον σύνθετο δείκτη PSR (present serviceability rating), τον διεθνή δείκτη ομαλότητας IRI (International Roughness Index) ή άλλους δείκτες, με τον δείκτη IRI να είναι πλέον ο συνηθέστερος.

Ο διεθνής δείκτης ομαλότητας IRI προτάθηκε κατ' αρχήν από την Παγκόσμια Τράπεζα στη δεκαετία του '80. Χρησιμοποιείται για να καθορίσει το χαρακτηριστικό της διαμήκους τροχιάς και αποτελεί μια τυποποιημένη μέτρηση ομαλότητας. Οι συνιστώμενες μονάδες μέτρησης είναι τα μέτρα ανά χιλιόμετρο (m/km) ή τα χιλιοστόμετρα ανά μέτρο (mm/m). Η μέτρηση βασίζεται στη μέση αποκατεστημένη κλίση ARS (average rectified slope), η οποία είναι μια φιλτραρισμένη αναλογία της συσσωρευμένης κίνησης αναστολής (suspension) ενός τυποποιημένου οχήματος (σε χιλιοστόμετρα, ίντσες κ.λπ.) διαιρεμένη με την απόσταση που διανύεται από το όχημα κατά τη διάρκεια της μέτρησης (σε χιλιόμετρα, μίλια κ.λπ.). Ο δείκτης IRI τελικά ισούται με την τιμή ARS πολλαπλασιαζόμενη επί 1.000. Η κλίμακα IRI περιλαμβάνει τιμές από 0 m/km, που αντιστοιχεί σε ιδανική επιφάνεια οδοστρώματος χωρίς καμιά ανωμαλία, μέχρι πολύ μεγάλες τιμές που μπορεί να ανέλθουν στα 15 m/km ή και παραπάνω για πολύ φθαρμένα οδοστρώματα (Σχήμα 5.4).

Η επιπεδότητα είναι ένα μέτρο της κανονικότητας μιας οδικής επιφάνειας. Όλοι οι τύποι οδοστρωμάτων (άκαμπτος, εύκαμπτος, ημιάκαμπτος, αμμοχάλικο κ.λπ.) επιδεινώνονται σε ένα ποσοστό που ποικίλλει ανάλογα με τη συνδυασμένη δράση διάφορων παραγόντων όπως το αξονικό φορτίο των οχημάτων, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, οι καιρικές συνθήκες, η ποιότητα των υλικών και των τεχνικών κατασκευής (PIARC Technical Committee on Road Safety, 2003). Αυτές οι επιδεινώσεις ασκούν επίδραση στην ομαλότητα και την ακεραιότητα της επιφάνειας με την πρόκληση ρηγματώσεων, την παραμόρφωση ή την αποσύνθεση. Η συγκέντρωση ύδατος στην επιφάνεια κυκλοφορίας, λόγω παραμορφώσεων, βυθίσεων κ.λπ., αυξάνει τον κίνδυνο ολίσθησης των οχημάτων.



Σχήμα 5.4: Κλίμακα IRI [ανασχεδιασμένο από: Sayers et al., 1986]

Όταν η επιπεδότητα ενός ολόκληρου οδικού τμήματος επιδεινωθεί αισθητά, οι χρήστες τείνουν να μειώσουν την ταχύτητά τους προκειμένου να διατηρηθεί η άνεσή τους σε αποδεκτό επίπεδο, ελαχιστοποιώντας κατά συνέπεια τις πιθανές αρνητικές επιδράσεις στην ασφάλεια. Η ομαλότητα του οδοστρώματος μπορεί εντούτοις να είναι καταστρεπτικότερη για την ασφάλεια όταν τα προβλήματα είναι μεμονωμένα, τοπικά, απροσδόκητα και σημαντικά. Τέτοιες καταστάσεις μπορούν να παράγουν επικίνδυνους ελιγμούς αποφυγής, απώλεια ελέγχου ή μηχανική βλάβη των οχημάτων, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο ατυχημάτων. Η αύξηση του κινδύνου ολίσθησης και εκτροπής που προκαλείται από τις κάθετες ταλαντώσεις των οχημάτων στις ανώμαλες οδικές επιφάνειες μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη, ειδικά για τα βαριά οχήματα και ακόμα περισσότερο όταν τα προβλήματα είναι μεμονωμένα (PIARC Technical Committee on Road Safety, 2003).

Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται τα προτεινόμενα όρια καταλληλότητας του δείκτη IRI από οργανισμούς των ΗΠΑ, του Καναδά, της Αυστραλίας και της Σουηδίας. Παρατηρείται ότι υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των προτεινόμενων τιμών, γεγονός που καταδεικνύει της ανάγκη εύρεσης συγκεκριμένης μεθοδολογίας για την αποτίμηση των ορίων καταλληλότητας.

Πίνακας 5.4: Διάφορα προτεινόμενα όρια καταλληλότητας του διεθνούς δείκτη ομαλότητας IRI (m/km)

Οργανισμός	Χώρα	Πρωτεύον δίκτυο	Δευτερεύον δίκτυο
FHWA	ΗΠΑ	2,70	3,16 - 3,48
New Brunswick DOT	Καναδάς	2,50	2,50
Alberta DOT	Καναδάς	1,90	3,00
Washington DOT	ΗΠΑ	3,50	3,50
Kentucky DOT	ΗΠΑ	2,73	2,73
Minnesota DOT	ΗΠΑ	1,90	1,90
Indiana DOT	ΗΠΑ	3,20	3,20
Austrroads	Αυστραλία	3,67	3,67
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)	Σουηδία	3-4	3-4

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές εργασίες που επιχειρούν να συνδέσουν την ομαλότητα με το ποσοστό ατυχημάτων. Από μια συνολική ανασκόπηση γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι παρόλο που σε μερικές περιπτώσεις φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού ατυχημάτων και του δείκτη IRI, αντίθετα σε άλλες περιπτώσεις τα δύο αυτά μεγέθη δεν είναι δυνατό να συσχετισθούν. Επιπλέον των ανωτέρω οι οριακές μέγιστες τιμές του δείκτη IRI που προτείνονται από τις προδιαγραφές, αποτελούν συνήθως υποδείξεις μηχανικών με βάση την εμπειρία τους ή συνάγονται από τη συλλογή απαντήσεων σε σχετικά ερωτήματα στους χρήστες μιας οδού.

Στην εργασία των Anita Ihs και Leif Sjögren του VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute) το έτος 2003, παρουσιάζεται μια επισκόπηση του μοντέλου HDM-4 (Highway Development and Management Model) και του συστήματος διαχείρισης οδοστρώματων PMS (Pavement Management System) της Σουηδίας. Στην εργασία αυτή είναι εμφανής η επιρροή της ομαλότητας στο κόστος χρόνου ταξιδιού (time travel cost). Το κόστος χρόνου ταξιδιού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα απλοποιημένο μοντέλο που βασίζεται στο μοντέλο ταχύτητας ελεύθερης διαδρομής (free speed model) του HDM-4. Το κόστος χρόνου εξαρτάται από την ομαλότητα (roughness), το όριο ταχύτητας και έναν συντελεστή τήρησης του

ορίου ταχύτητας που αντιστοιχεί στον βαθμό που οι οδηγοί τηρούν αυτό το όριο. Η ταχύτητα ελεύθερης διαδρομής υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$v_{pc} = \frac{3,6}{\left[\left(\frac{3,6}{HG * LF} \right)^{\frac{1}{0,151}} + \left(\frac{1,5 * IRI}{203} \right)^{\frac{1}{0,151}} \right]^{0,151}}, \text{ για επιβατικά αυτοκίνητα}$$

και

$$v_l = \frac{3,6}{\left[\left(\frac{3,6}{HG * LF} \right)^{\frac{1}{0,11}} + \left(\frac{1,5 * IRI}{203} \right)^{\frac{1}{0,11}} \right]^{0,11}}, \text{ για φορτηγά,}$$

όπου HG= όριο ταχύτητας και LF= συντελεστής τήρησης του ορίου ταχύτητας, που στην παρούσα μελέτη η τιμή του λαμβάνεται ως 1.

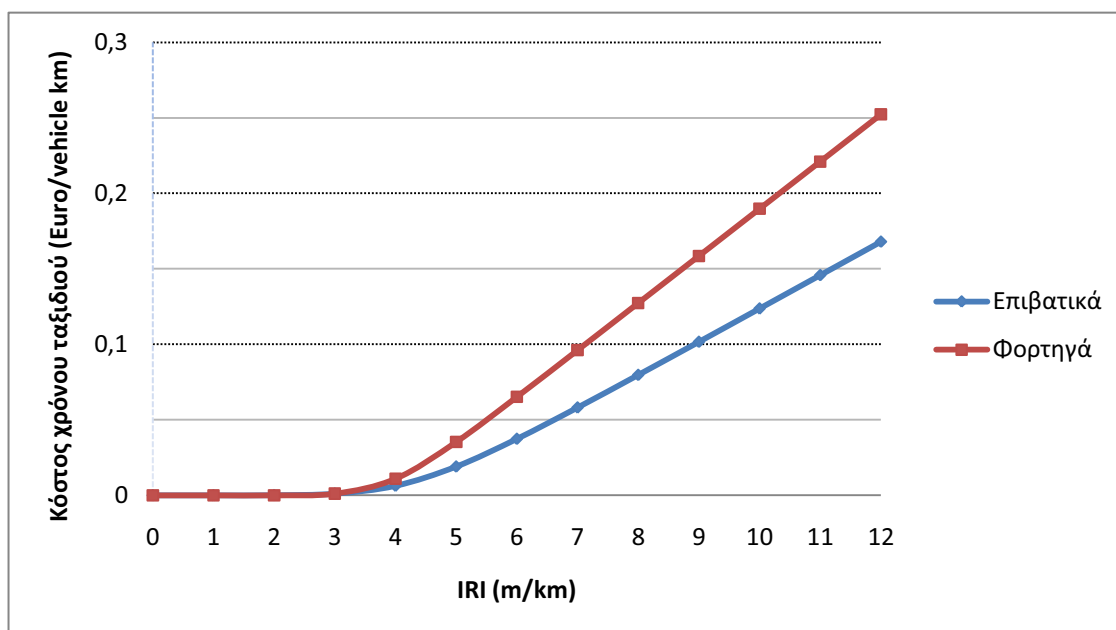
Η απώλεια του χρόνου για επιβατικά (pc) ή φορτηγά αυτοκίνητα (l), υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$t_{loss} = \frac{1}{v_i} - \frac{1}{HG * LF}, \text{ όπου } i = pc \text{ ή } l$$

Τελικά, το κόστος χρόνου ταξιδιού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες τιμές:

Επιβατικά αυτοκίνητα: 10,88 €/hr και Φορτηγά: 13,60 €/hr.

Ένα παράδειγμα της συσχέτισης του κόστους χρόνου ταξιδιού και του δείκτη IRI φαίνεται στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Κόστος χρόνου ταξιδιού σε σχέση με τον Διεθνή Δείκτη Ομαλότητας (IRI) για επιβατικά και φορτηγά, με όριο ταχύτητας 110 Km/h

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι υπάρχει ένα κρίσιμο όριο των τιμών του δείκτη IRI πέρα από το οποίο αρχίζει να αυξάνεται απότομα το κόστος χρόνου ταξιδιού. Αυτή η τιμή εκτιμάται στα 3 m/km όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5 και ισχύει για επιβατικά και φορτηγά αυτοκίνητα. Επισημαίνεται στο σημείο αυτό, ότι η παραπάνω σχέση εξαρτάται από το όριο ταχύτητας και τον βαθμό στον οποίο οι οδηγοί τηρούν αυτό το όριο, δηλαδή την οδηγική νοοτροπία, παράγοντες που ενδέχεται να διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα. Οπότε, για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων θα πρέπει να γίνεται πρώτα έρευνα για τις τιμές των δύο αυτών παραμέτρων στο οδικό δίκτυο που εξετάζεται κάθε φορά.

5.3.3 Σχέση βάθους τροχοαυλάκωσης (RD) και κινδύνου ατυχήματος

Το βάθος της τροχοαυλάκωσης RD (rutting depth) αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό της εξέλιξης του οδοστρώματος αφού επηρεάζει προφανώς την ποιότητα τροχοδρόμησης RQ (ride quality). Μετράται σε mm και σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι οριακές του τιμές κυμαίνονται στα 12 – 20 mm, ανάλογα με την κατηγορία της οδού, πέρα από τις οποίες θα πρέπει να γίνονται εργασίες συντήρησης του οδοστρώματος, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις μηχανικών.

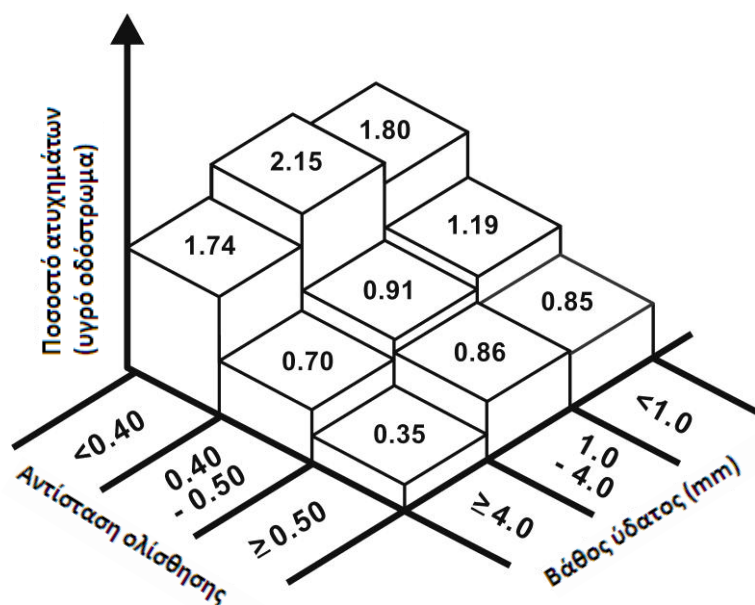
Στον Πίνακα 5.5 φαίνονται τα προτεινόμενα όρια καταλληλότητας του δείκτη RD από οργανισμούς των ΗΠΑ, του Καναδά, της Αυστραλίας και του ΗΒ. Παρατηρείται, όπως και για τον συντελεστή SFC και τον δείκτη IRI, ότι υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των προτεινόμενων τιμών, γεγονός που καταδεικνύει για άλλη μια φορά την απουσία συγκεκριμένης μεθοδολογίας αποτίμησης των ορίων καταλληλότητας.

Πίνακας 5.5: Διάφορα προτεινόμενα όρια καταλληλότητας του βάθους τροχοαυλάκωσης RD (mm)

Οργανισμός	Χώρα	Πρωτεύον δίκτυο	Δευτερεύον δίκτυο
AASHTO	ΗΠΑ	-	-
New Brunswick DOT	Καναδάς	20	20
Washington DOT	ΗΠΑ	12	12
Texas DOT	ΗΠΑ	6	6
Minnesota DOT	ΗΠΑ	12	12
Wisconsin DOT	Αυστραλία	7,6	7,6
Highways Agency	ΗΒ	20	20

Το ζητούμενο για την τεκμηρίωση ενός αποδεκτού ορίου της τροχοαυλάκωσης είναι η απάντηση στο ερώτημα αν αυτή συνδέεται με το ποσοστό ατυχημάτων. Στη βάση αυτή, μια έρευνα του Kamplade το 1990, παρουσιάζει δείκτες ατυχημάτων που μειώνονται σε υγρό οδόστρωμα με την αύξηση της τροχοαυλάκωσης στην πορεία των τροχών WTD (water depth). Αυτό είναι φαινομενικά αντίθετο προς τη συμβατική φρόνηση και προς άλλες ερευνητικές μελέτες, όπως αυτή των Start, Marc, Kim και Berg (Start et al., 1996). Οι τροχοαυλακώσεις σε υγρό οδόστρωμα και η δημιουργία λιμνών ύδατος σε αυτές, οδηγούν σε υδρολίσθηση και απώλεια ελέγχου του οχήματος.

Στην περίπτωση της ανάλυσης των στοιχείων του Kamplade μετρήθηκαν η τροχοαυλάκωση και η ολισθηρότητα (skid resistance). Από την επεξεργασία αυτών των μεταβλητών, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6, φαίνεται ότι οι υψηλότερες τιμές WTD έχουν μια θετική επιρροή στη μείωση των ατυχημάτων ενώ οι χαμηλότερες τιμές ολισθηρότητας έχουν μια συγκριτικά αρνητική επιρροή στον δείκτη ατυχημάτων (δηλ. αύξηση του δείκτη ατυχημάτων).

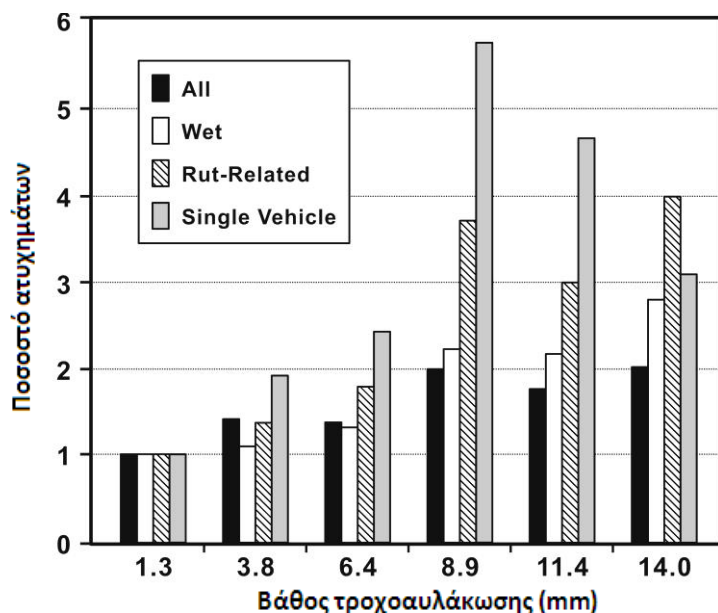


Σχήμα 5.6: Ποσοστό ατυχημάτων ως συνάρτηση του βάθους ύδατος (WTD) και της ολισθηρότητας [Πηγή: Kamplade, 1990]

Είναι δύσκολο να εξηγηθούν τα ευρήματα του Kamplade, δηλαδή ότι οι μεγαλύτερες τιμές WTD συνδέονται με χαμηλότερους δείκτες ατυχημάτων. Η μόνη εξήγηση που είναι αρκετά απλή και λογική είναι αυτή του Gallaway: «σε οδοστρώματα με αυξημένο WTD, οι περισσότεροι οδηγοί επιβραδύνουν λόγω φόβου» (Gallaway et al., 1975). Η εξαίρεση στην παραπάνω διαπίστωση θα ήταν η περίπτωση ενός ξαφνικού (απροσδόκητου) τμήματος εξαιρετικά υψηλού WTD που θα αποτελούσε έκπληξη για τον οδηγό, δηλαδή ξαφνική παραβίαση της προσδοκίας των οδηγών. Επιπρόσθετα, αυτό που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν είναι το γεγονός ότι τα στοιχεία Kamplade αφορούσαν βάθη τροχοαυλάκωσης μέχρι περίπου 6 mm έναντι των στοιχείων των Start και λοιπών, που συμπεριλάμβαναν βάθη τροχοαυλάκωσης μέχρι 14 mm. Στη μελέτη αυτή, ο δείκτης ατυχημάτων είναι σχεδόν ανεπαίσθητος στη ζώνη 0 – 6 mm. Ο δείκτης ατυχημάτων, σύμφωνα με το Σχήμα 5.7 αυξάνεται αξιολογικά για βάθη τροχοαυλάκωσης μεγαλύτερα από 6 mm.

Οι Start, Marc, Kim και Berg που συνέκριναν την επιρροή των τιμών WTD ανεξάρτητα από την ολισθηρότητα, βρήκαν ότι η αύξηση του WTD έχει αρνητική επιρροή, δηλαδή αυξημένο ποσοστό ατυχημάτων (Σχήμα 5.7). Υποτίθεται ότι η τροχοαυλάκωση γεμίζει με νερό σε συνθήκες υετού, αυξάνοντας κατά συνέπεια την πιθανότητα υδρολίσθησης. Μια μελέτη των Start, Marc, Kim και Berg του 1998, πραγματοποιήθηκε για να ποσοτικοποιήσει την επίπτωση της κατάστασης του οδοστρώματος στα ποσοστά ατυχημάτων και να αξιολογήσει πιθανές προδιαγραφές ασφάλειας για τη συντήρηση της τροχοαυλάκωσης. Το βάθος τροχοαυλάκωσης, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και οι βάσεις δεδομένων ατυχημάτων που διατηρούνται από το υπουργείο μεταφορών του Wisconsin για επαρχιακές και εθνικές οδούς αναλύθηκαν έπειτα για να προσδιορίσουν τις στατιστικές τάσεις. Τα ατυχήματα ταξινομήθηκαν ως

συσχετιζόμενα με το βάθος τροχοαλάκωσης και ερευνήθηκε εάν μπορούσε να συνδεθεί ενδεχομένως με το φαινόμενο της υδρολίσθησης. Οι μετρήσεις βάθους τροχοαλάκωσης ήταν μέσες τιμές και για τις δύο κατευθύνσεις τμημάτων μήκους 1,8 km. Τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων έδειξαν ότι ο δείκτης ατυχημάτων αρχίζει να αυξάνεται σημαντικά όταν τα βάθη τροχοαλάκωσης υπερβαίνουν τα 7,6 mm (Start et al., 1998).



Σχήμα 5.7: Σχετικοί δείκτες ατυχημάτων

Σε στεγνό οδόστρωμα οι παρατηρήσεις της ομάδας εργασίας AASHTO είναι: Το βάθος τροχοαλάκωσης RD έχει επιπτώσεις στον χειρισμό των οχημάτων. Ο χειρισμός για τα μικρότερα οχήματα είναι δυσκολότερος σε οδούς με RD που έχει δημιουργηθεί από τους τροχούς φορτηγών. Επιπρόσθετα, τα ευρύτερα φορτηγά (πλάτους μεγαλύτερου των 2,50 μ.) δημιουργούν αυξημένα προβλήματα στην οδήγηση των επιβατικών λόγω της απόστασης των τροχοαλακώσεων των δύο τροχών σε σχέση με τα κοινά φορτηγά πλάτους 2,35 μ. (Finley et al., 2007).

Το ποσοστό ατυχημάτων υπολογίζεται βάσει σχετικής έρευνας του VTI που είναι το Σουηδικό Εθνικό Ινστιτούτο Έρευνας Εθνικών Οδών και Μεταφορών (VTI meddelande 909-2002). Η κύρια αρχή για τον υπολογισμό του ποσοστού ατυχημάτων ως γραμμική σχέση της ομαλότητας IRI και του βάθους τροχοαλάκωσης RD είναι ο διαχωρισμός σε διαφορετικά μεγέθη κυκλοφοριακού φόρτου καθώς και σε καλοκαιρινή ή χειμερινή περίοδο. Η γενική εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι η ακόλουθη:

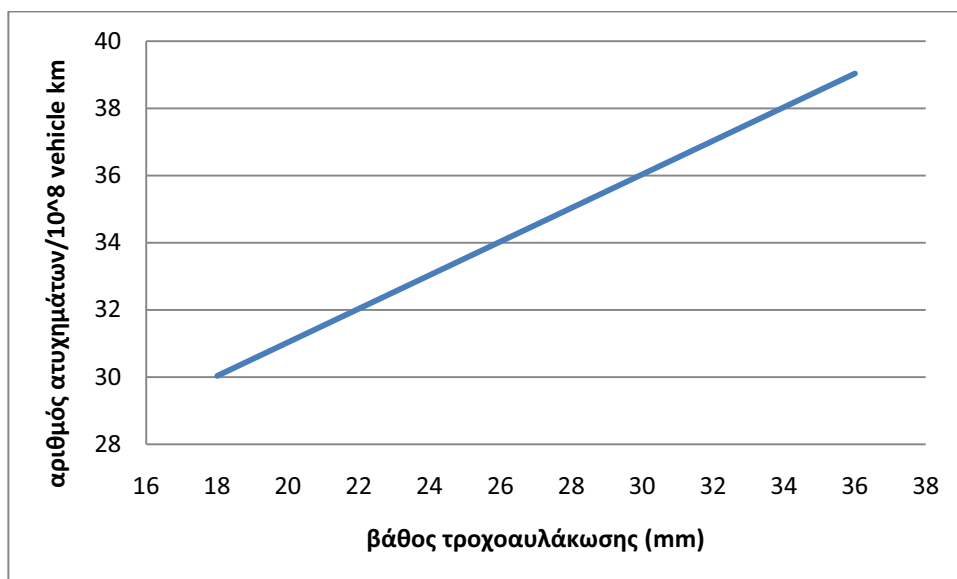
$$\text{Δείκτης ατυχημάτων} = a + b \cdot \text{IRI} + c \cdot \text{RD}$$

Οι τιμές των συντελεστών a, b και c δίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 5.6: Συντελεστές συνάρτησης ποσοστού ατυχημάτων (a= σταθερά, b= συντελεστής του δείκτη IRI and c= συντελεστής για το βάθος τροχοαυλάκωσης)

Καλοκαιρινή περίοδος			Κυκλοφοριακός φόρτος (AADT)					
IRI (mm/m)	RD (mm)			0-499	500-1999	2000-7999	>8000 Αυτοκινητόδρομος	
IRI<1,3	RD	< 18	a	21.6	20.0	14.0	14.0	6.1
			b					
			c					
1.3<IRI<4.3	RD	< 18	a	20.2	18.1	9.1	9.1	6.0
			b	1.1	1.5	3.8	3.8	0.1
			c					
IRI> 4.3	RD	< 18	a	22.7	21.2	9.9	9.9	6.0
			b	0.5	0.8	3.6	3.6	0.1
			c					
1.3<IRI<4.3	RD	> 18	a	20.9	15.5	-0.3	-0.3	-53.2
			b	0.1	0.1	0.4	0.4	0.8
			c	0.5	1.7	4.3	4.3	10.5
IRI> 4.3	RD	> 18	a	17.0	14.5	6.2	6.2	-34.3
			b	0.2	0.2	0.4	0.4	0.8
			c	1.0	1.5	2.8	2.8	6.1
Χειμερινή περίοδος								
IRI (mm/m)	RD (mm)							
IRI<1,3	RD	< 18	a	31.6	29.5	21.6	21.6	23.9
			b					
			c					
1.3<IRI<4.3	RD	< 18	a	29.6	26.5	13.8	13.8	23.3
			b	1.5	2.3	6.0	6.0	0.5
			c					
IRI> 4.3	RD	< 18	a	33.5	33.0	25.6	25.6	24.6
			b	0.6	0.8	3.2	3.2	0.2
			c					
1.3<IRI<4.3	RD	> 18	a	25.7	22.0	0.6	0.6	-38.0
			b	0.1	0.3	0.7	0.7	0.9
			c	2.0	2.1	6.1	6.1	11.0
IRI> 4.3	RD	> 18	a	26.0	24.5	10.0	10.0	-16.9
			b	0.2	0.3	0.7	0.7	0.9
			c	1.5	1.5	3.9	3.9	6.1

Επί παραδείγματι, οι τιμές των συντελεστών a, b, c στον τύπο που χρησιμοποιεί το VTI, για οδό με AADT<500 οχήματα, RD>18 mm και IRI=1,3 m/km σε καλοκαιρινή περίοδο θα είναι 20,9, 0,1 και 0,5 αντίστοιχα. Η επιρροή της αύξησης του RD στον δείκτη ατυχημάτων απεικονίζεται στο Σχήμα 5.8.



Σχήμα 5.8: Δείκτης ατυχημάτων σε σχέση με το βάθος τροχοαυλάκωσης για μέσο ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο (AADT) < 500, RD > 18 mm και IRI = 1,3 m/km σε καλοκαιρινή περίοδο

Από τα παραπάνω τεκμαίρεται ότι για βάθος τροχοαυλάκωσης RD μεγαλύτερο από μια οριακή τιμή (σημείο καμπής) αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των ατυχημάτων που παρατηρούνται. Αυτή η τιμή εκτιμάται περίπου στα 6-8 mm. Στο εύρος RD 0-6 mm η σχέση ποσοστού ατυχημάτων με το RD δεν είναι σαφής. Εν πάση περιπτώσει, για τον καθορισμό σαφούς οριακής τιμής πέραν της οποίας ο δείκτης ατυχημάτων αυξάνεται σημαντικά, θα πρέπει να συλλέγονται σχετικά δεδομένα για την υπό εξέταση οδό, ώστε το μοντέλο εκτίμησης που εξάγεται να προσεγγίζει τις εκάστοτε συνθήκες.

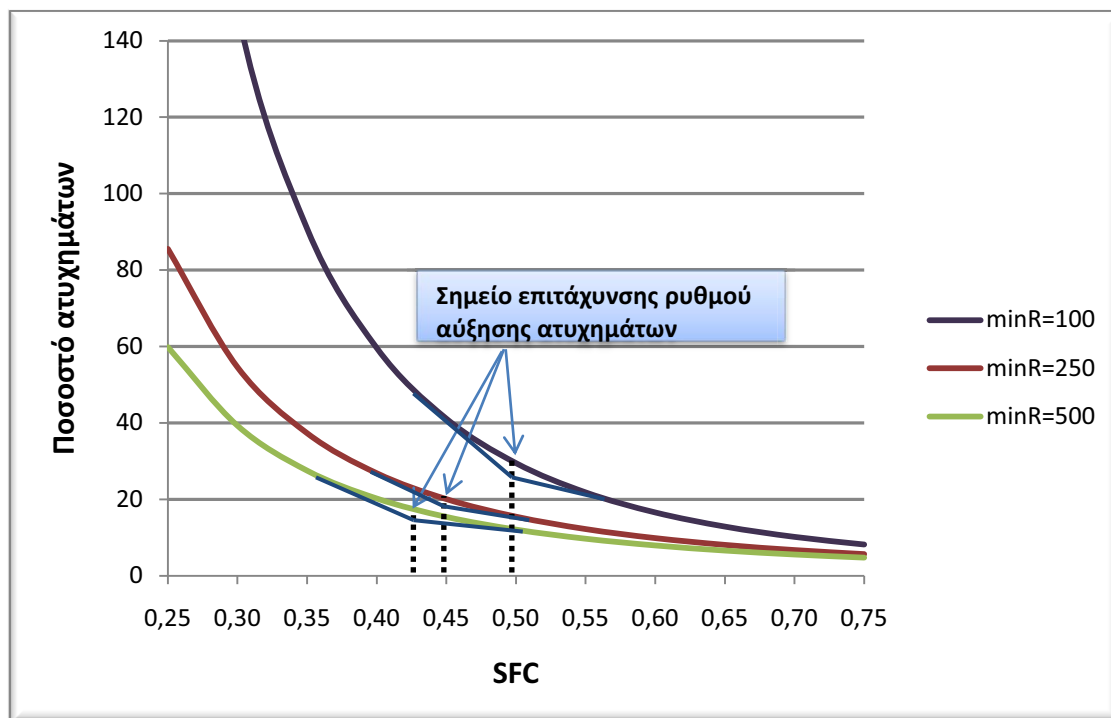
5.4 Όρια καταλληλότητας χαρακτηριστικών οδοστρώματος

5.4.1 Όριο καταλληλότητας του συντελεστή πλευρικής τριβής SFC

Έχοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω, ο τρόπος υπολογισμού του ορίου καταλληλότητας για τον συντελεστή SFC, αναλύεται στη συνέχεια.

Στο διάγραμμα που απεικονίζει τη σχέση του δείκτη ατυχημάτων με τον συντελεστή SFC, σχεδιάζονται εφαπτόμενες ευθείες γραμμές στις εκθετικής μορφής καμπύλες των συναρτήσεων, ούτως ώστε να βρεθούν τα σημεία επιτάχυνσης του ρυθμού μεταβολής (αύξησης) του ποσοστού ατυχημάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.9 για παράδειγμα. Πιο αναλυτικά, είναι φανερό από τη γραφική παράσταση ότι ο συντελεστής SFC για υψηλές τιμές μεταβάλλεται γραμμικώς και πέρα από μία οριακή τιμή αρχίζει να μεταβάλλεται εκθετικά, δηλαδή με πολύ πιο αυξημένο ρυθμό. Σχεδιάζοντας ευθεία γραμμή εφαπτόμενη στη γραμμή μεταβολής του γραφήματος, από τα δεξιά προς τα

αριστερά, με αρχή την υψηλότερη τιμή του συντελεστή SFC (0,75), προσδιορίζεται το σημείο της ευθείας γραμμής που αρχίζει να αποκλίνει από την καμπύλη γραμμή του γραφήματος. Σε αυτό ακριβώς το σημείο αρχίζει η εκθετική αύξηση του δείκτη ατυχημάτων. Αυτό το σημείο αντιστοιχεί στην κρίσιμη τιμή του συντελεστή SFC (0,43, 0,45 και 0,50 για διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας στο γράφημα του Σχήματος 5.9).



Σχήμα 5.9: Εύρεση των σημείων επιτάχυνσης (τιμές SFC) του ρυθμού μεταβολής (αύξησης) του δείκτη ατυχημάτων στο στάδιο λειτουργίας της οδού

Για την εύρεση του ακριβούς σημείου επιτάχυνσης (τιμή SFC) του ρυθμού μεταβολής του δείκτη ατυχημάτων με αριθμητικό τρόπο, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Σύμφωνα με τα προεκτεθέντα, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν κρίσιμες τιμές του συντελεστή SFC πέραν των οποίων το ποσοστό ατυχημάτων αυξάνεται με υψηλούς ρυθμούς. Βέβαια, οι τιμές αυτές δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως κατώτερα αποδεκτά όρια για οποιοδήποτε οδόστρωμα, καθώς το πιο πιθανόν είναι να υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με τη γεωμετρία της οδού, τον κυκλοφοριακό φόρτο, τις καιρικές συνθήκες, τη σύσταση του ασφαλτοτάπητα, το είδος των αδρανών και πολλών άλλων παραγόντων. Για την εύρεση αυτών των κρίσιμων τιμών σε ένα συγκεκριμένο οδικό δίκτυο, πρέπει να συλλέγονται με συστηματικό τρόπο δεδομένα πολλών ετών για την ολισθηρότητα του οδοστρώματος και τον δείκτη ατυχημάτων, ώστε κατόπιν σχετικής επεξεργασίας να εκτιμάται η συνάρτηση που συνδέει τα δύο μεγέθη.

Η μαθηματική διαδικασία που υιοθετείται για να καθορίσει τα κρίσιμα σημεία σε αυτές τις καμπύλες εξηγείται κατωτέρω.

Έστω ότι το ποσοστό ατυχήματος συσχετίζεται με τον συντελεστή SFC σύμφωνα με τον τύπο:

$$r(s) = a*s^b \quad (1),$$

όπου $r(s)$ είναι η τιμή του δείκτη ατυχημάτων, a , b είναι σταθερές που εξαρτώνται από την ακτίνα των καμπύλων συναρμογής και s είναι η τιμή του συντελεστή SFC.

Η εφαπτομένη δίνεται από την πρώτη παράγωγο:

$$r'(s) = b*a*s^{b-1} \quad (2)$$

Οι εφαπτομένες για ρεαλιστικές τιμές του s , δηλαδή για $s = 0,25$ και $s = 0,75$ έχουν κλίσεις (Σχήμα 5.10):

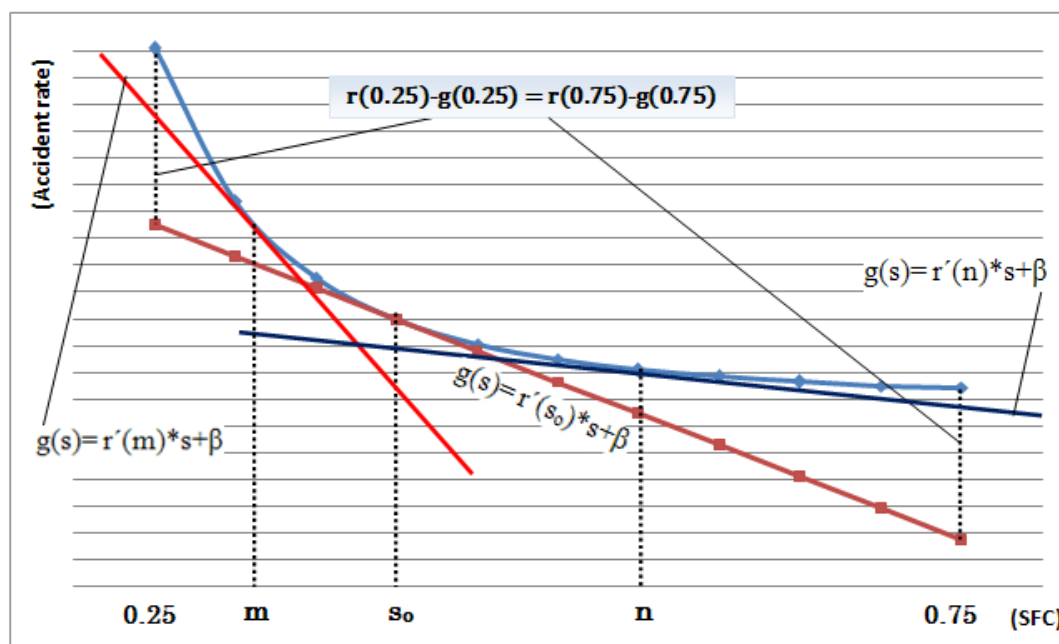
$$r'(0,25) > r'(0,75)$$

Υποτίθεται ότι η κρίσιμη τιμή του s είναι μια σχέση των ανώτερων ($s=0,25$) και χαμηλότερων ($s=0,75$) ορίων της συνάρτησης $r(s)$. Για τον καθορισμό της κρίσιμης τιμής του s , για την οποία υπάρχει μια απότομη μεταβολή στον δείκτη ατυχημάτων, χρησιμοποιείται η ακόλουθη προσέγγιση:

$$r(0,25)-r'(s)*0,25+\beta = r(0,75)-r'(s)*0,75+\beta \quad \text{ή}$$

$$r(0,25)-r'(s)*0,25 = r(0,75)-r'(s)*0,75 \quad \text{ή}$$

$$r'(s) = \frac{r(0,75) - r(0,25)}{0,5} \quad (3)$$



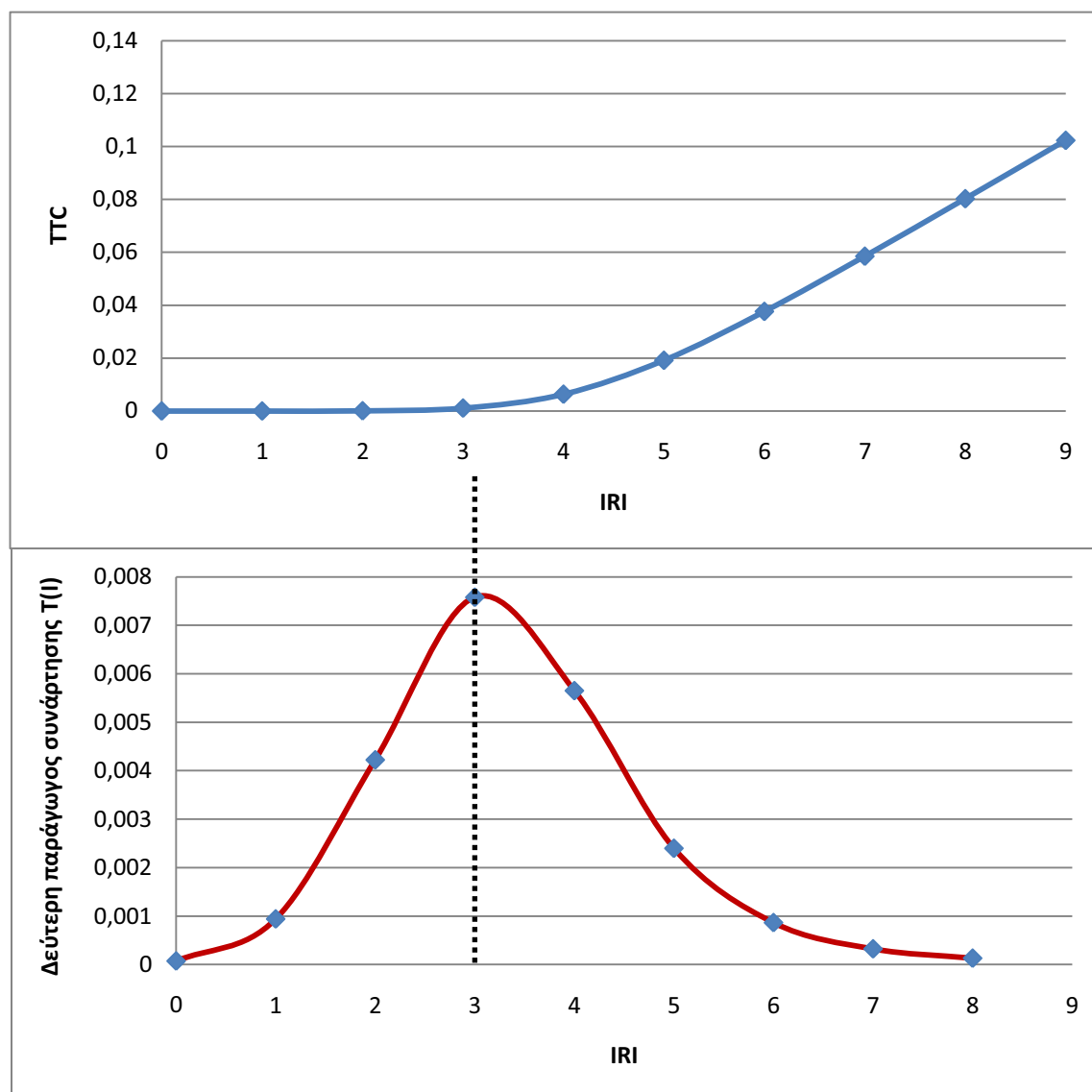
Σχήμα 5.10: Καθορισμός του ορίου καταλληλότητας s από τη σχετική επιτάχυνση του ρυθμού μεταβολής (αύξησης) του δείκτη ατυχημάτων

Έτσι, η κρίσιμη τιμή του συντελεστή SFC υπολογίζεται από τις σχέσεις (1) και (3) ως ακολούθως:

$$s = b^{-1} \sqrt{\frac{r'(s)}{a*b}} \quad \text{ή} \quad s = b^{-1} \sqrt{\frac{2 * [r(0,75) - r(0,25)]}{a*b}} \quad (4)$$

5.4.2 Όριο καταλληλότητας του Διεθνούς Δείκτη Ομαλότητας IRI

Η δεύτερη παράγωγος της συνάρτησης $T(I)$ που εκφράζει τη σχέση μεταξύ του δείκτη IRI και του κόστους χρόνου ταξιδιού (TTC) είναι μια νέα συνάρτηση, $T''(I)$, που απεικονίζει την επιτάχυνση του ρυθμού μεταβολής του TTC. Αυτή η επιτάχυνση παρατηρείται ότι έχει ένα απόλυτο μέγιστο. Αυτό το σημείο καμπής αντιπροσωπεύει την κρίσιμη τιμή του δείκτη IRI. Μια λεπτομερής παρατήρηση της εξέλιξης των συναρτήσεων $T(I)$ και $T''(I)$, δείχνει ότι το απόλυτο μέγιστο παρατηρείται όταν αρχίζουν να αυξάνονται σημαντικά οι τιμές του TTC (Σχήμα 5.11). Σε αυτό το σημείο, η τρίτη παράγωγος $T'''(I)$ είναι ίση με 0.



Σχήμα 5.11: Παράδειγμα απόλυτου μέγιστου της επιτάχυνσης του ρυθμού μεταβολής TTC για την εύρεση του ορίου καταλληλότητας

Σύμφωνα με την παραπάνω διαπίστωση, το όριο καταλληλότητας του δείκτη IRI υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$T''(I) = 0 \quad (5)$$

5.4.3 Όριο καταλληλότητας του βάθους τροχοαυλάκωσης RD

Η μεθοδολογία για τον καθορισμό του ορίου καταλληλότητας του δείκτη RD βασίζεται στο απόλυτο μέγιστο, που η συνάρτηση του δείκτη ατυχημάτων παρουσιάζει για μια συγκεκριμένη τιμή RD.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνεται για τον δείκτη IRI, το όριο καταλληλότητας του δείκτη RD υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$r'(d) = 0 \quad (6),$$

όπου $r'(d)$ είναι η πρώτη παράγωγος της συνάρτησης $r(d)$, που συσχετίζει τον δείκτη RD με τον δείκτη ατυχημάτων (r).

5.5 Τιμές ορίων καταλληλότητας

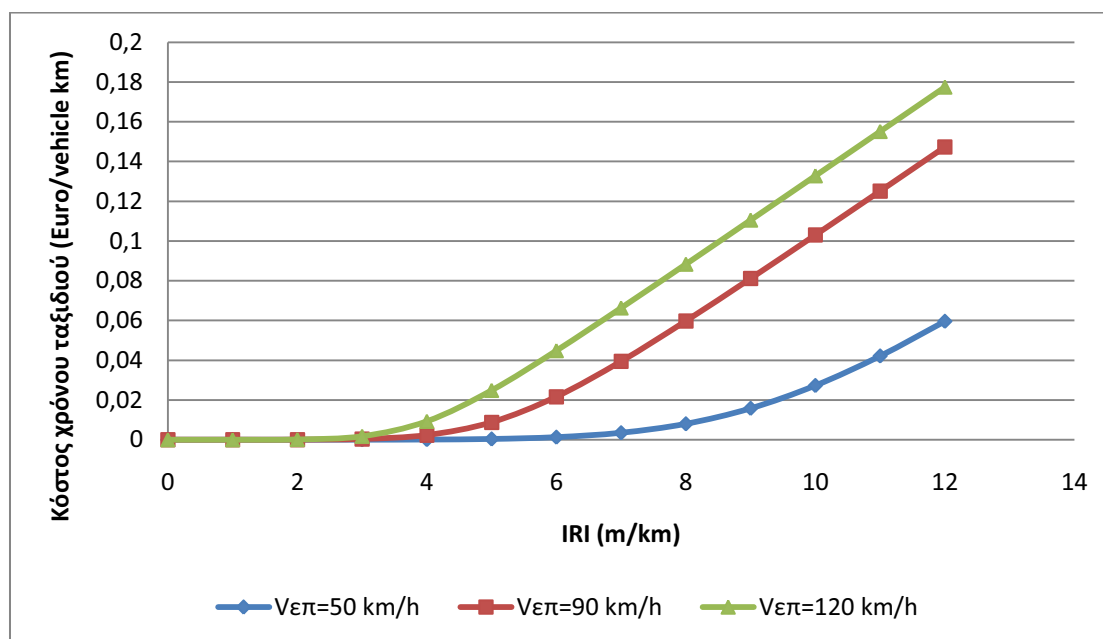
Ακολουθώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία προσδιορισμού των ορίων καταλληλότητας για τους δείκτες κατάστασης οδοστρώματος, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν επακριβώς οι τιμές των ορίων καταλληλότητας για την ολισθηρότητα, την ομαλότητα και την τροχοαυλάκωση.

5.5.1 Τιμές ορίων καταλληλότητας ολισθηρότητας (SFC)

Οι τιμές των ορίων καταλληλότητας του συντελεστή SFC για διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας της οδού φαίνονται στο Σχήμα 5.9. Για οποιαδήποτε άλλη ακτίνα καμπυλότητας μίας οδού υπό εξέταση, ακολουθείται η προτεινόμενη μεθοδολογία που αναλύεται στην Παράγραφο 5.4.1, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4).

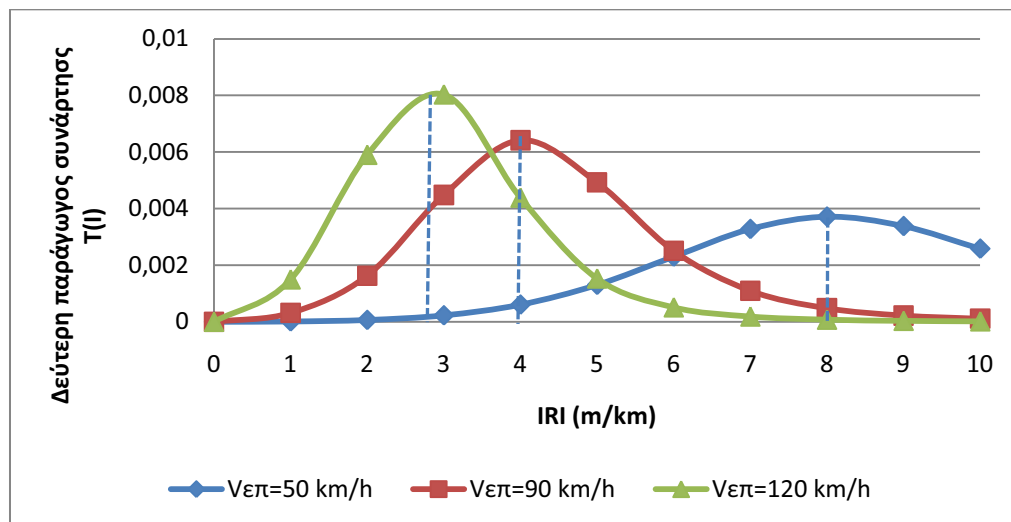
5.5.2 Τιμές ορίων καταλληλότητας ομαλότητας (IRI)

Το κόστος χρόνου ταξιδιού $T(I)$ σε σχέση με τον Διεθνή Δείκτη Ομαλότητας (IRI) για επιβατικά, με όρια ταχύτητας 50, 90 και 120 Km/h φαίνονται στο Σχήμα 5.12. Η σχέση αυτή διαφοροποιείται ανάλογα με το όριο ταχύτητας και τον βαθμό τήρησης του ορίου ταχύτητας από τους οδηγούς. Για κάθε περίπτωση, η εν λόγω σχέση ευρίσκεται χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία της Παραγράφου 5.3.2.



Σχήμα 5.12: Κόστος χρόνου ταξιδιού σε σχέση με τον Διεθνή Δείκτη Ομαλότητας (IRI) για επιβατικά, με όρια ταχύτητας 50, 90 και 120 Km/h

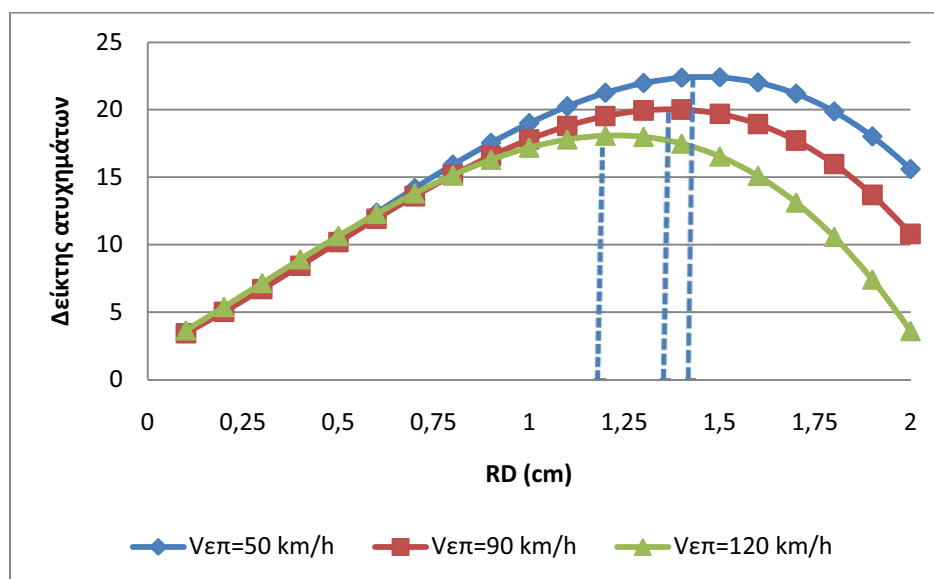
Οι τιμές των ορίων καταλληλότητας του δείκτη IRI για διαφορετικά όρια ταχύτητας φαίνονται στο Σχήμα 5.13. Για οποιαδήποτε άλλο όριο ταχύτητας, ακολουθείται η προτεινόμενη μεθοδολογία που αναλύεται στην Παράγραφο 5.4.2, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5).



Σχήμα 5.13: Τιμές ορίων καταλληλότητας (απόλυτα μέγιστα) IRI για όρια ταχύτητας 50, 90 και 120 Km/h

5.5.3 Τιμές ορίων καταλληλότητας τροχοαυλάκωσης (RD)

Οι τιμές των ορίων καταλληλότητας του δείκτη RD για διαφορετικά όρια ταχύτητας φαίνονται στο Σχήμα 5.14. Για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση ορίου ταχύτητας, ακολουθείται η προτεινόμενη μεθοδολογία που αναλύεται στην Παράγραφο 5.4.3, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (6).



Σχήμα 5.14: Τιμές ορίων καταλληλότητας (απόλυτα μέγιστα) RD για όρια ταχύτητας 50, 90 και 120 Km/h

Πίνακας 5.7: Προτεινόμενες τιμές ορίων καταλληλότητας ανάλογα με τη λειτουργική κατάταξη της οδού

Δείκτης κατάστασης οδοστρώματος	Επαρχιακό δίκτυο (V _{επ} =50 km/h)	Εθνικό δίκτυο (V _{επ} =90 km/h)	Αυτοκινητόδρομος (V _{επ} =120 km/h)
SFC	0,50	0,45	0,43
IRI (m/km)	8,0	4,0	2,8
RD (mm)	14	13	11

5.6 Συμπεράσματα – Προοπτική

Όπως έγινε αντιληπτό από τα παραπάνω, υπάρχουν τιμές του συντελεστή SFC και των δεικτών IRI, RD πέραν των οποίων παρατηρείται σημαντική επίπτωση σε βασικά κριτήρια αξιολόγησης του οδοστρώματος. Είναι εμφανές ότι υπάρχει μια συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή SFC για κάθε οδόστρωμα, πέραν της οποίας η ασφάλεια που παρέχεται μειώνεται σημαντικά. Παράλληλα, έγινε σαφές ότι υπάρχουν όρια καταλληλότητας των δεικτών IRI και RD για τα οποία το κόστος χρήσης της οδού και η ασφάλεια αντίστοιχα, συναντούν ένα σημείο καμπής στη συμπεριφορά τους. Τα παραπάνω συμπεράσματα και η προτεινόμενη μεθοδολογία εύρεσης των ορίων καταλληλότητας μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως χρήσιμα εργαλεία για την προτυποποίηση των οριακών τιμών καταλληλότητας βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων με άμεσο ανταποδοτικό όφελος τη μείωση του δείκτη ατυχημάτων μιας οδού και την ελαχιστοποίηση του κόστους χρήσης που επιβαρύνει τους οδηγούς. Εν πολλοίς, η αποκατάσταση του οδοστρώματος της οδού στη σωστή χρονική στιγμή μπορεί να οδηγήσει σε πιο ασφαλή και οικονομική κυκλοφορία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΩΝ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΖΩΗΣ ΤΟΥ

6.1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη των φθορών του οδοστρώματος με την πάροδο του χρόνου εξαρτάται από εξωγενείς και εγγενείς παράγοντες, όπως το περιβάλλον, οι κλιματικές συνθήκες, ο κυκλοφοριακός φόρτος, το ποσοστό των βαρέων οχημάτων, τις τεχνικές κατασκευής και συντήρησης. Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι δεν είναι δυνατή η διερεύνηση ενός μοντέλου διαχρονικής εξέλιξης των φθορών του οδοστρώματος που να εφαρμόζεται για τα οδοστρώματα συνολικά. Κάθε οδόστρωμα συμπεριφέρεται ανάλογα με τη συνισταμένη των εξωγενών και εγγενών παραγόντων που προαναφέρθηκαν. Ως εκ τούτου, κάθε συνάρτηση που αντιστοιχεί στην διαχρονική εξέλιξη ενός τύπου φθοράς θα πρέπει να εφαρμόζεται για οδοστρώματα με ταυτόσημα ή παρόμοια χαρακτηριστικά, έτσι ώστε να αποτελεί αξιόπιστη αναφορά της συμπεριφοράς του οδοστρώματος.

6.2 Φιλοσοφία μοντέλου ορίων αποδοχής δεικτών κατάστασης οδοστρώματος

Ακριβώς επειδή η χρησιμοποίηση ενός μοντέλου για τη συμπεριφορά όλων των οδοστρωμάτων είναι ανέφικτη, σημασία έχει ο καθορισμός της μεθοδολογίας για την εύρεση της καταστατικής συνάρτησης που διέπει την εξέλιξη κάθε τύπου φθοράς του οδοστρώματος. Σε δεύτερη φάση ακολουθεί η διερεύνηση των ορίων αποδοχής των δεικτών που απεικονίζουν την κατάσταση του οδοστρώματος.

Όριο αποδοχής ορίζεται ως η οριακή (ελάχιστη ή ανώτατη) αποδεκτή τιμή ενός δείκτη ή ενός συντελεστή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός χαρακτηριστικού του οδοστρώματος, στο αρχικό στάδιο ζωής της οδού, δηλαδή στο στάδιο παράδοσης της οδού στην κυκλοφορία.

Η εύρεση των ορίων αποδοχής των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος, στο αρχικό στάδιο ζωής της οδού, ακολουθεί την εξής φιλοσοφία:

A) Σε πρώτο στάδιο, έχοντας ως δεδομένο τον καθορισμό των ορίων καταλληλότητας (Κεφάλαιο 4), είναι απαραίτητο να καθορισθεί η καταστατική συνάρτηση της διαχρονικής εξέλιξης για τον συντελεστή SFC και του δείκτη IRI και RD.

B) Σε δεύτερο στάδιο και δεδομένου ότι σε ένα πρόσφατα κατασκευασμένο οδόστρωμα ο δείκτης $RD \rightarrow 0$, θα πρέπει να ερευνηθούν τα όρια αποδοχής του συντελεστή SFC και του δείκτη IRI, έτσι ώστε σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο, οι τιμές των SFC, IRI και RD να τείνουν στα αντίστοιχα όρια καταλληλότητας. Το σημαντικό στοιχείο της προτεινόμενης φιλοσοφίας έγκειται στη ταύτιση της χρονικής φάσης που παρουσιάζεται η οριακή τιμή καταλληλότητας για τα SFC, IRI και RD. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η «ενιαία συντήρηση» του οδοστρώματος, δηλαδή εξασφαλίζεται η αποκατάσταση του οδοστρώματος με μια ενέργεια συντήρησης για όλα τα χαρακτηριστικά και όχι ξεχωριστές ενέργειες, σε διαφορετικά χρονικά σημεία, για την αποκατάσταση κάθε χαρακτηριστικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους συντήρησης, καθώς τα συνεργεία αποκατάστασης απασχολούνται

λιγότερες φορές και ο χρόνος διακοπής ή εκτροπής της κυκλοφορίας στη ζώνη έργων μειώνεται σημαντικά.

6.3 Διαχρονική εξέλιξη της κατάστασης του οδοστρώματος

Έχοντας καθορίσει τη μεθοδολογία εύρεσης των ορίων καταλληλότητας για τον συντελεστή SFC, τον δείκτη IRI και το βάθος τροχοαυλάκωσης RD, είναι απαραίτητη η εύρεση της εξέλιξης των παραπάνω μεγεθών συναρτήσει του χρόνου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύρεση του χρονικού σημείου που εμφανίζονται οι οριακές αυτές τιμές.

6.3.1 Εξέλιξη του συντελεστή πλευρικής τριβής (SFC)

Ειδικότερα, οι τιμές του συντελεστή SFC μειώνονται με την πάροδο του χρόνου καθώς αυτό αποτελεί φυσική συνέπεια της φθοράς της επιφάνειας του οδοστρώματος λόγω της διέλευσης των οχημάτων.

Μια σημαντική πρόοδος στον τομέα αυτό ολοκληρώθηκε αρχικά στο Εργαστήριο Έρευνας Μεταφορών TRRL (Transportation Research Laboratory) στη Μεγάλη Βρετανία το 1972 (Salt, TRR-622, 1977). Σε αυτήν τη μελέτη από το TRRL, μελετήθηκαν συνολικά εκατό τριάντα εννέα τμήματα δοκιμής οδοστρωμάτων, που συμπεριέλαβαν τα ασφαλτούχα οδοστρώματα, τις επιφάνειες οδοστρωμάτων με παλαιά μπαλώματα και οδοστρώματα που κατασκευάστηκαν με διαφορετικούς τρόπους. Η μέση καθημερινή κυκλοφορία των τμημάτων δοκιμής ήταν μέχρι 4000 εμπορικά οχήματα ημερησίως. Ο συντελεστής πλευρικής τριβής επιφάνειας (SFC₅₀) καθορίστηκε χρησιμοποιώντας τη συσκευή SCRIM με ταχύτητα 50 km/h. Σύμφωνα με τη μελέτη:

$$SFC_{50} = 0,024 - 0,663 * 10^{-4} * ADTCVPL + 10^{-2} * PSV ,$$

όπου ADTCVPL (Average Daily Traffic of Commercial Vehicles Per Lane) είναι ο μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος εμπορικών οχημάτων ανά λωρίδα και PSV (Polished Stone Value) είναι η τιμή στιλβωμένου αδρανούς του οδοστρώματος (η τιμή στιλβωμένου αδρανούς δίνει ένα μέτρο της αντίστασης του αδρανούς στη δράση στίλβωσης ενός ελαστικού αυτοκινήτου υπό συνθήκες παρόμοιες με εκείνες που εμφανίζονται στην επιφάνεια ενός δρόμου. Ο αριθμός PSV καθορίζει την αντίσταση του αδρανούς στην ολίσθηση, όταν χρησιμοποιείται στην επιφάνεια ενός δρόμου).

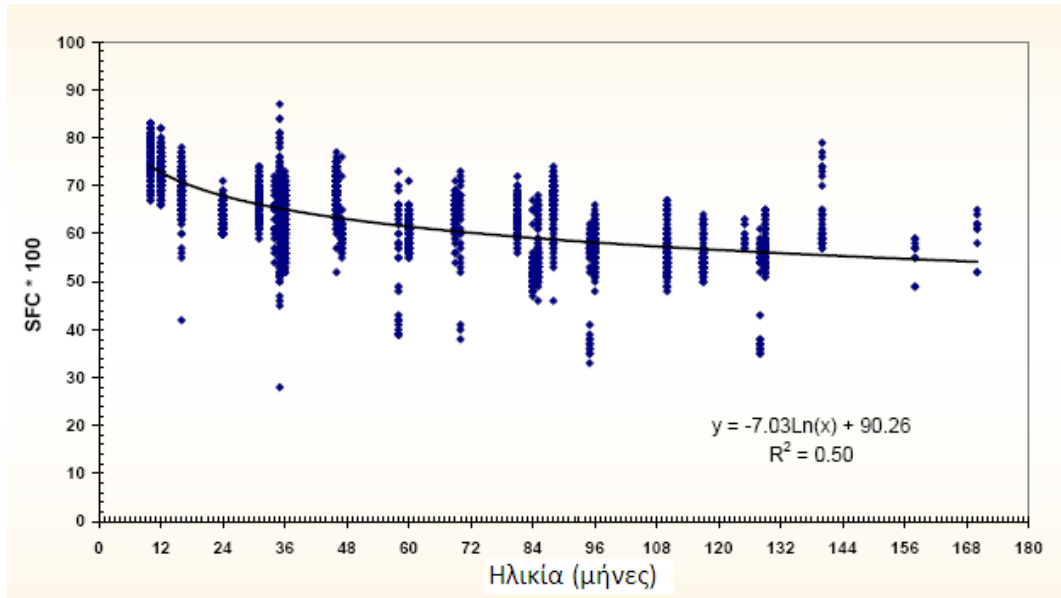
Η δημοσίευση των αποτελεσμάτων σε αυτήν τη μελέτη θεωρείται ως σημαντική πρόοδος στον τομέα της ολισθηρότητας οδοστρωμάτων. Η υψηλή αξία της παραπάνω συνάρτησης συνίσταται στο ότι είναι δυνατό να προβλεφθεί το επίπεδο αντίστασης ολίσθησης σε οποιοδήποτε τμήμα οδοστρώματος με τη γνώση του PSV του συνόλου επιφάνειας και μιας εκτίμησης της κυκλοφορίας (Szatkowski και Hosking, 1972).

Σε άλλη μελέτη του Cerezo το 2008, η εξέλιξη του συντελεστή SFC συναρτήσει του χρόνου απεικονίζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 6.1. Σύμφωνα με την έρευνα ο

τύπος που συνδέει το συντελεστή SFC με την ηλικία του οδοστρώματος είναι ο ακόλουθος:

$$SFC = (-7,03 \cdot \ln(\text{AGE}) + 90,26) / 100$$

όπου AGE είναι η ηλικία του οδοστρώματος σε μήνες.

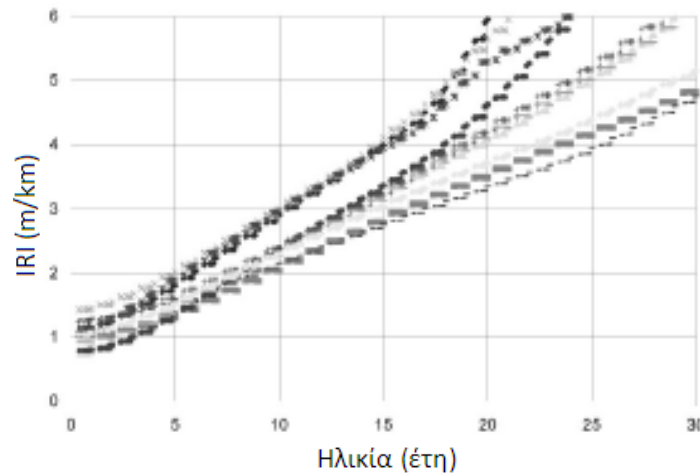


Σχήμα 6.1: Διαχρονική εξέλιξη του συντελεστή πλευρικής τριβής (SFC) [Πηγή: Cerezo, 2008]

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι υπάρχει οπωσδήποτε σχέση της εξέλιξης του συντελεστή πλευρικής τριβής SFC με την ηλικία του οδοστρώματος. Ο βαθμός της επιρροής του χρόνου θα πρέπει να εξάγεται ύστερα από σχετική μελέτη των δεδομένων για κάθε ξεχωριστή περίπτωση.

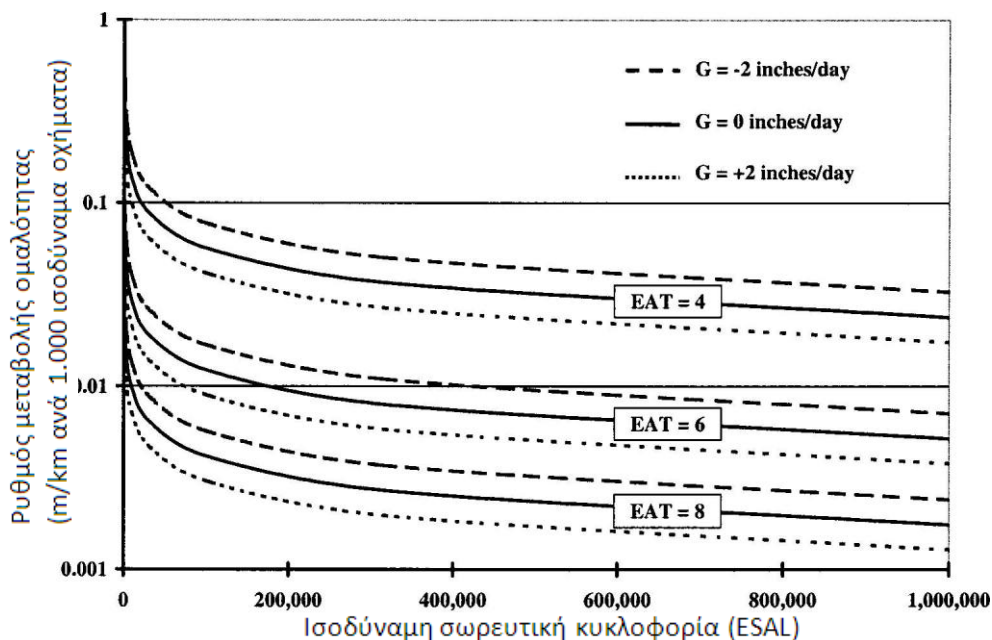
6.3.2 Εξέλιξη του δείκτη IRI

Σε ένα άρθρο του Ullidtz το 2002 μελετήθηκε η επίπτωση της ηλικίας του οδοστρώματος στον δείκτη IRI. Σύμφωνα με τη μελέτη, στο διάγραμμα του σχήματος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ενός τμήματος οδοστρώματος στο εργαστήριο, από την άποψη της εξέλιξης της ομαλότητας (IRI). Η προσομοίωση επαναλήφθηκε 10 φορές για λόγους μείωσης του σφάλματος (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2: Διαχρονική εξέλιξη του δείκτη IRI [Πηγή: Ullidtz, 2002]

Οι Prozzi και Madanat (2004), προχώρησαν στην εκτίμηση προτύπου σύμφωνα με το οποίο ο ρυθμός αύξησης της ομαλότητας (roughness) του οδοστρώματος είναι συνάρτηση του ισοδύναμου πάχους ασφάλτου του οδοστρώματος (EAT), της βαθμίδας διεύθυνσης λόγω παγετού (G) και της ισοδύναμης σωρευτικής κυκλοφορίας (ESAL) του υπό εξέταση τμήματος. Αυτή η σχέση απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 6.3 για τρία διαφορετικά ισοδύναμα πάχη ασφάλτου (4, 6 και 8 ίντσες) και τρεις διαφορετικές βαθμίδες παγετού (-2, 0 και +2 ίντσες ανά ημέρα). Παρατηρείται ότι καθώς η σωρευτική κυκλοφορία αυξάνεται ο ρυθμός αύξησης της ομαλότητας μειώνεται. Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός αύξησης της ομαλότητας μειώνεται καθώς η βαθμίδα παγετού αυξάνεται, δηλαδή κατά τη χειμερινή περίοδο.



Σχήμα 6.3: Μεταβολή του ρυθμού αύξησης ομαλότητας ως λειτουργία του κυκλοφοριακού φόρτου, της ανθεκτικότητας του οδοστρώματος και των περιβαλλοντικών συνθηκών [Πηγή: Prozzi και Madanat, 2004]

Υστερα από συλλογή μεγάλου εύρους δεδομένων ο Gulen το έτος 2001 κατέληξε σε μια μορφή συσχέτισης του δείκτη IRI με την ηλικία AGE σε έτη και τον μέσο ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο (AADT) σε οχήματα ανά ημέρα, ως ακολούθως:

$$IRI = (64 + 4 * AGE + 0,0008 * AADT) * 2,45 / 100 / 1,614 \text{ (Gulen et al., 2001)}$$

Ο Yager το 1999 απέκλεισε όλους του παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της ομαλότητας και τη συνέδεσε αποκλειστικά με την ηλικία του οδοστρώματος. Η σχέση που προτείνει ο Yager είναι η ακόλουθη:

$$IRI = IRI_0 * e^{(0,059 * AGE)}$$

όπου IRI_0 είναι η αρχική τιμή του δείκτη IRI και AGE η ηλικία του οδοστρώματος σε έτη.

Συμπερασματικά, είναι σαφές ότι η εξέλιξη του δείκτη IRI εξαρτάται από την ηλικία του οδοστρώματος και η επιρροή της ηλικίας ποικίλλει ανάλογα με πολλούς παράγοντες όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, το πάχος του ασφαλτοτάπητα και οι καιρικές συνθήκες.

6.3.3 Εξέλιξη του βάθους τροχοαυλάκωσης (RD)

Στο μοντέλο πρόβλεψης του RD από τους Abdul Isa, Law Hwa και Dadang Mohamed το έτος 2005 (Abdul Hamid Mohd Isa et al., 2005), στόχος ήταν η πρόβλεψη της κατάστασης του οδοστρώματος, ώστε να διευκολύνεται η λήψη απόφασης για συντήρηση και αποκατάσταση στο σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων (PMS).

Τα δεδομένα αυτής της μελέτης συλλέχθηκαν από τμήματα της ομοσπονδιακής οδού της ηπειρωτικής Μαλαισίας. Πιο συγκεκριμένα, 137 οδικά τμήματα από τα οποία 102 από την ομοσπονδιακή οδό «1» (74,4%), 20 από την ομοσπονδιακή οδό «8» (14,6%), 10 από την ομοσπονδιακή οδό «9» (7,3%) και 5 από την ομοσπονδιακή οδό «26» (3,7%). Από αυτά τα δείγματα, μόνο 42 επιλέχθηκαν για τις περαιτέρω αναλύσεις. Οι ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η συνάρτηση που αντιστοιχεί επαρκώς στην διαχρονική εξέλιξη του RD στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\text{Log RD} = 0,415 + 0,1 * IRI + 5,473 * 10^{-6} * AADT - 0,004 * SN^2,$$

όπου AADT είναι ο αριθμός μέσων φορτηγών σε οχήματα ανά ημέρα και

SN (structural number) είναι ο δομικός αριθμός του οδοστρώματος

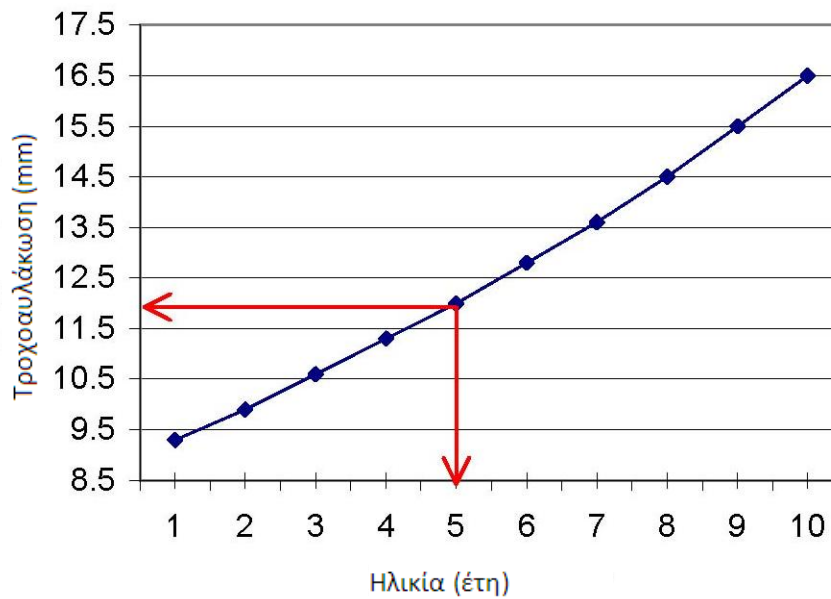
Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση, το βάθος τροχοαυλάκωσης μπορεί να υπολογιστεί για μια γνωστή τιμή του δείκτη IRI, του αριθμού των μέσων φορτηγών ανά ημέρα (AADT) και του δομικού αριθμού SN του οδοστρώματος (δείκτης που είναι ενδεικτικός του συνολικού απαιτούμενου πάχους του οδοστρώματος). Ο παράγοντας του χρόνου μπορεί να συμπεριληφθεί σε αυτό το μοντέλο έμμεσα, δηλαδή μέσω της πρόβλεψης του AADT με τη μέθοδο της σωρευτικής αύξησης.

Υποθέτοντας ότι η μέση τιμή του δείκτη IRI και ο δομικός αριθμός SN είναι 4 m/km και 7 αντίστοιχα, προβλέπεται για τα επόμενα δέκα έτη ο AADT για μέσα φορτηγά και ακολούθως υπολογίζεται ο δείκτης RD. Οι σχετικοί υπολογισμοί φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 6.1: Προβλεπόμενο RD με τη χρήση του προτεινόμενου μοντέλου

Ηλικία (έτη)	Πρότυπο φορτηγό AADT (οχ./ημέρα)	RD (mm)
1	35.000	9,3
2	40.000	9,9
3	45.000	10,6
4	50.000	11,3
5	55.000	12,0
6	60.000	12,8
7	65.000	13,6
8	70.000	14,5
9	75.000	15,5
10	80.000	16,5

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 6.1 εξάγεται η ακόλουθη γραφική παράσταση (Σχήμα 6.4), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις αρμόδιες υπηρεσίες για να αποφασίσουν ως προς το πότε πρέπει να αρχίσουν οι εργασίες αποκατάστασης ή συντήρησης του οδοστρώματος. Εάν για παράδειγμα η υπηρεσία έχει υιοθετήσει ως αποδεκτό όριο τροχοαυλάκωσης τα 12,0 mm τότε θα πρέπει να συντηρήσει το οδόστρωμα στο 5^ο έτος από την αρχή της λειτουργίας του.



Σχήμα 6.4: Γραφική παράσταση πρόβλεψης RD βασισμένη στο προτεινόμενο μοντέλο [Πηγή: Abdul Isa et al., 2005]

Στην μελέτη του Gulen που προαναφέρθηκε προτείνεται η ακόλουθη σχέση μεταξύ του βάθους τροχοαυλάκωσης RD, της ηλικίας του οδοστρώματος AGE σε έτη και του μέσου ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου AADT σε οχήματα ανά ημέρα:

$$RD = (0,0007 + 0,026 * AGE + 0,000002 * AADT) * 2,45 / 100 / 1,614 \quad (\text{Gulen et al., 2001})$$

Τελικά αποδεικνύεται ότι αυτό που ισχύει για τον συντελεστή SFC και τον δείκτη IRI, ισχύει και για το βάθος τροχοαυλάκωσης RD. Η διαχρονική εξέλιξη του δείκτη RD εξαρτάται με σαφή σχέση από την ηλικία του οδοστρώματος και η επιρροή της ηλικίας ποικίλει ανάλογα με πολλούς παράγοντες όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, η ομαλότητα (roughness) και ο δομικός αριθμός (SN).

6.4 Αρχικές τιμές των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος

Η αρχική τιμή του συντελεστή SFC, δηλαδή η τιμή που εμφανίζει το οδόστρωμα κατά την παράδοση της οδού στην κυκλοφορία, προβλέπεται από τις προδιαγραφές ή οδηγίες που εκδίδονται από τις αρμόδιες υπηρεσίες κάθε χώρας.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο οδηγιών για την αξιολόγηση και πιστοποίηση των επιφανειών υψηλής τριβής για αυτοκινητοδρόμους (Guidelines Document for the Assessment and Certification of High-Friction Surfacing for Highway) του HAPAS (Highway Authorities Product Approval Scheme) της βρετανική επιτροπής BBA (British Board of Agreement), μια επιφάνεια υψηλής τριβής περιγράφεται ως αυτή που «έχει μια ελάχιστη αξία αντίστασης ολίσθησης SRV (skid-resistance value) ίση με 65

μετρημένη με τη φορητή συσκευή Skid-Resistance Pendulum Tester». Ελλείπει άλλων σχετικών οδηγιών, τα περισσότερα ευρωπαϊκά κράτη και οι Η.Π.Α. δέχονται αρχική αποδεκτή τιμή SRV ίση με 65. Το υπουργείο μεταφορών της Μ. Βρετανίας σε μια συμβουλευτική σημείωση (Advice Note HA/36/87) έχει καθορίσει σαφή σχέση μεταξύ του συντελεστή SFC₅₀ και των μετρήσεων της φορητής συσκευής «portable skid-resistance pendulum tester». Η συσκευή παράγει μια τιμή αντίστασης ολίσθησης (SRV) η οποία είναι προσεγγιστικά ίση με $105 * SFC_{50}$. Δηλαδή $SRV = 105 * SFC_{50}$. Οπότε υιοθετώντας την ελάχιστη αποδεκτή τιμή $SRV = 65$, η ελάχιστη αποδεκτή αρχική τιμή του συντελεστή SFC θα είναι 0,62.

Η αρχική τιμή του δείκτη IRI εξαρτάται από τα υλικά και την τεχνογνωσία που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής μιας οδού. Στα νέα εύκαμπτα οδοστρώματα μετρούνται με τη συσκευή SCRIM αρχικές τιμές δείκτη IRI που κυμαίνονται στα 1,0 - 2,5 m/km. Όσον αφορά το βάθος τροχοαυλάκωσης RD, είναι αυτονόητο ότι η αρχική τιμή του τείνει στο μηδέν σε ένα πρόσφατα κατασκευασμένο οδόστρωμα.

Το ερώτημα που ανακύπτει είναι εάν οι αρχικές τιμές των τριών δεικτών που εξετάζονται, αποτελούν εχέγγυα για τη διατήρηση μιας αποδεκτής κατάστασης του οδοστρώματος για μια ικανή χρονική περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, ακολούθως εξετάζεται εάν οι τιμές των SFC, IRI και RD διατηρούνται σε αποδεκτά επίπεδα, δηλαδή σε επίπεδα που δεν ξεπερνούν τα όρια αποδοχής όπως αυτά έχουν οριστεί παραπάνω, για ένα ικανό χρονικό διάστημα από την παράδοση της οδού στην κυκλοφορία.

6.5 Προτεινόμενο μοντέλο ορίων αποδοχής δεικτών κατάστασης οδοστρώματος

Το κυρίως ζητούμενο από ένα καινούριο οδόστρωμα είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (service life) του. Αυτό σημαίνει ότι επιθυμητό είναι να διατηρούνται οι δείκτες που χαρακτηρίζουν την κατάσταση του οδοστρώματος σε αποδεκτά επίπεδα για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Κι αυτό γιατί, μεγάλη διάρκεια ζωής αντιστοιχεί σε μικρότερες δαπάνες συντήρησης για το οδόστρωμα. Σε επόμενο επίπεδο θεώρησης, ζητούμενο πρέπει να είναι η όσο το δυνατόν αναλογική εξέλιξη των τύπων φθοράς του οδοστρώματος. Με τον όρο «αναλογική» εννοείται η ομοιόμορφη εξέλιξη ενός τύπου φθοράς του οδοστρώματος ως προς τους άλλους. Το πλεονέκτημα μιας αναλογικής εξέλιξης των φθορών του οδοστρώματος συνίσταται στην ανάγκη συντήρησης για την αντιμετώπιση όλων των τύπων φθοράς του οδοστρώματος με μία συνολική επέμβαση, με αποτέλεσμα την αποφυγή εργασιών συντήρησης για κάθε τύπο φθοράς ξεχωριστά. Για την κατανόηση του παραπάνω σκεπτικού χρησιμοποιείται το εξής παράδειγμα: Έστω ότι ένα οδόστρωμα ηλικίας 5 ετών παρουσιάζει ικανοποιητική τιμή δείκτη $IRI = 2,5$ m/km και ικανοποιητικό βάθος τροχοαυλάκωσης $RD = 4,5$ mm. Η τιμή του συντελεστή SFC ύστερα από σχετική μέτρηση με τη συσκευή SCRIM είναι 0,32. Αυτό σημαίνει ότι

στην υπό εξέταση οδό τα επίπεδα ομαλότητας και τροχοαυλάκωσης είναι ικανοποιητικά, αλλά η ολισθηρότητα είναι αυξημένη σε μη αποδεκτό επίπεδο από την άποψη της ασφάλειας των οδηγών. Συνεπάγεται η ανάγκη συντήρησης του οδοστρώματος για την αύξηση της επιφανειακής τριβής. Μια τέτοιου είδους επέμβαση (νέα ασφαλική στρώση) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιφανειακής τριβής με μικρή έως μηδαμινή βελτίωση της ομαλότητας. Συνεπακόλουθα, η οδός είναι πολύ πιθανόν να παρουσιάσει στο επόμενο χρονικό διάστημα μη αποδεκτή τιμή ομαλότητας (IRI) και ταυτόχρονα ικανοποιητικά επίπεδα ολισθηρότητας (SFC) η οποία έχει βελτιωθεί από τις σχετικές εργασίες συντήρησης. Σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαία η εκ νέου συντήρηση για τη βελτίωση της ομαλότητας. Συμπερασματικά διαφαίνεται ότι η ανομοιόμορφη εξέλιξη των τύπων φθοράς του οδοστρώματος επιβάλλει αυξημένο ρυθμό εργασιών συντήρησης, γεγονός που εν τέλει έχει σημαντική επίπτωση στο κόστος συντήρησης ενός οδοστρώματος.

Το αποδεκτό χρονικό διάστημα μέχρι το οποίο η κατάσταση του οδοστρώματος διατηρείται σε ικανοποιητικό επίπεδο ορίζεται για την παρούσα εργασία στα 7 έτη. Αυτό σημαίνει ότι ένα οδόστρωμα θεωρείται επαρκές όταν οι τιμές των SFC, IRI και RD διατηρούνται σε αποδεκτά επίπεδα για χρονικό διάστημα 7 ετών.

6.6 Συναρτήσεις εξέλιξης των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος σε σχέση με την κυκλοφορία

6.6.1 Εξέλιξη του της κατάστασης του οδοστρώματος (PSR)

Η εξέλιξη του της κατάστασης του οδοστρώματος (απόδοση οδοστρώματος) υπό τα φορτία κυκλοφορίας, μπορεί να εκφραστεί επαρκώς από μια λογαριθμική εξίσωση:

$$PSR = PSR_0 * [1 - a * \ln(1 + T)] ,$$

όπου PSR_0 είναι η αρχική εκτίμηση της εξυπηρετικότητας (serviceability) του οδοστρώματος, η σταθερά $a=0,1-0,01$ (μέση τιμή $a=0,05$) και T είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα ανά ημέρα).

Αυτό σημαίνει ότι για μια καθορισμένη αρχική κατάσταση, η γενική απόδοση (performance) του οδοστρώματος εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο. Αυτή η διαπίστωση που προέρχεται από τα στοιχεία αξιολόγησης της κατάστασης της οδού, εφαρμόζεται για την εξαγωγή εξισώσεων που συνδέουν τον κυκλοφοριακό φόρτο με τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος.

6.6.2 Εξέλιξη της αντίστασης ολίσθησης (SFC)

Μια σημαντική πρόοδος σε αυτόν τον ερευνητικό τομέα αποτέλεσε η ολοκληρωμένη έρευνα του Εργαστηρίου Έρευνας Μεταφορών TRL (Transportation Research Laboratory) (Salt, 1977). Σύμφωνα με αυτήν τη μελέτη:

$$SFC_{50} = 10^{-2} * PSV + 0,024 - 6,63 * 10^{-5} * ADTCVPL \quad \eta$$

$$SFC_{50} = 10^{-2} * PSV + 0,024 - 6,63 * 10^{-5} * c * T ,$$

όπου PSV είναι η τιμή στυλβωμένου αδρανούς, ADTCVPL είναι ο μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος εμπορικών οχημάτων ανά λωρίδα και c (%) είναι το ποσοστό των εμπορικών οχημάτων ως μέρος του μέσου ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου T (οχήματα ανά ημέρα).

Η ανωτέρω εξίσωση μπορεί να γραφτεί σε μια γενική μορφή ως ακολούθως:

$$SFC = SFC_0 * (1 - \kappa * T) \quad (1),$$

όπου κ είναι σταθερά που η τιμή της εξαρτάται από τον τύπο του οδοστρώματος. Αυτή η σχέση επιτρέπει την πρόβλεψη της αντίστασης ολίσθησης σε οποιοδήποτε οδικό τμήμα εισάγοντας μόνο την αρχική τιμή του συντελεστή SFC και μια εκτίμηση του κυκλοφοριακού φόρτου T (οχήματα ανά ημέρα).

6.6.3 Εξέλιξη ομαλότητας (IRI)

Μια σχέση που εκφράζει την εξέλιξη της ομαλότητας ανάλογα με την ηλικία (κυκλοφοριακός φόρτος), προτάθηκε από τον Yager (2005) αποκλείοντας όλους τους άλλους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη μιας τραχιάς επιφάνειας οδοστρώματος:

$$IRI = IRI_0 * e^{(0,059 * b * A)} \quad \text{ή} \quad IRI = IRI_0 * e^{\lambda T} \quad (2),$$

όπου IRI₀ είναι η αρχική τιμή του δείκτη IRI, b είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο, A είναι η ηλικία του οδοστρώματος, λ είναι μια σταθερά και T είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα ανά ημέρα). Αυτός ο τύπος βασίζεται στην υπόθεση ότι η αρχική τιμή του IRI=1 (m/km).

6.6.4 Εξέλιξη του βάθους τροχοαυλάκωσης (RD)

Όσον αφορά την εξέλιξη του βάθους τροχοαυλάκωσης RD σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο, προτείνεται η ακόλουθη σχέση (Mouratidis και Freitas, 2007):

$$RD = RD_0 + \beta * h_0 * T^{0,25} \quad (3),$$

όπου RD₀ είναι η αρχική τιμή του δείκτη RD, β μια σταθερά που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ασφάλτου, h₀ είναι το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων και T είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα ανά ημέρα).

6.7 Όρια αποδοχής των χαρακτηριστικών οδοστρώματος

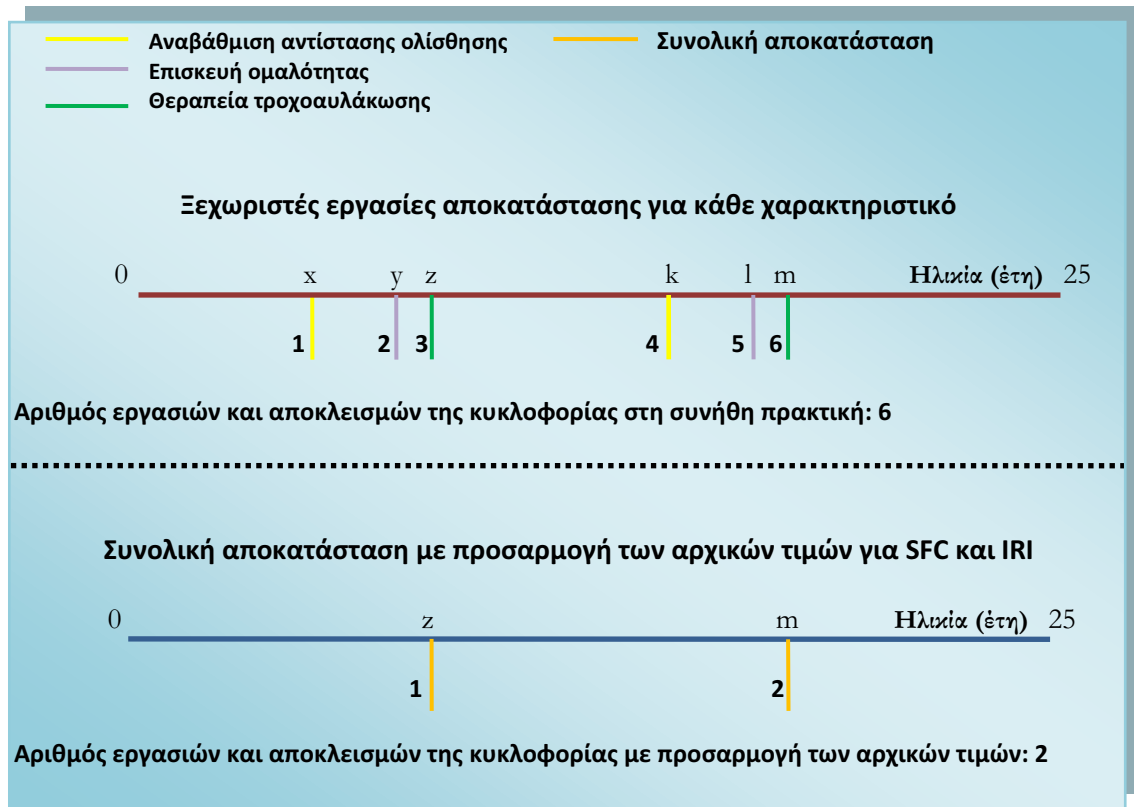
Η βασική ανησυχία των Υπηρεσιών που είναι υπεύθυνες για την οδική υποδομή και τα οδοστρώματα είναι η επίτευξη οικονομικά αποδεκτών λύσεων μακροχρόνιας διάρκειας και υψηλής εξυπηρετικότητας. Αυτό σημαίνει ότι οι δείκτες κατάστασης των οδοστρωμάτων πρέπει να διατηρούνται σε αποδεκτό επίπεδο για μεγάλο χρονικό

διάστημα. Η μακροχρόνια ζωή υπηρεσιών μίας οδού αντιστοιχεί σε σπάνιες εργασίες συντήρησης, σε χαμηλότερο κόστος των εργασιών αναβάθμισης και στην ελάχιστη διαταραχή της κυκλοφορίας. Επομένως, ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για τις αρμόδιες Υπηρεσίες είναι να καθορίσουν τις κατάλληλες τιμές των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος στο στάδιο «παράδοση στην κυκλοφορία» παρέχοντας υψηλό επίπεδο υπηρεσιών για μεγάλο χρονικό διάστημα.

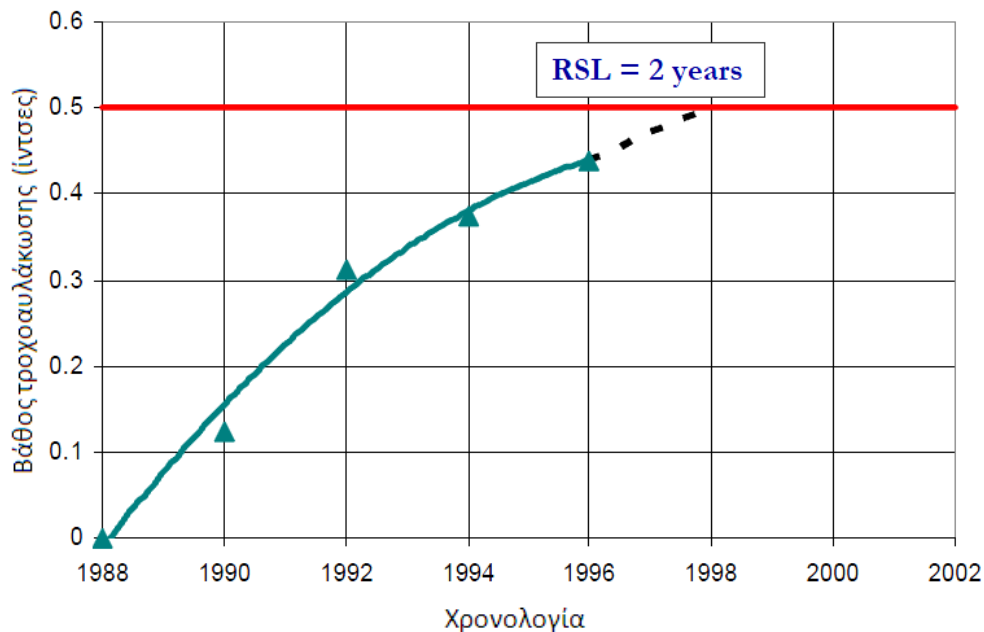
Ένα δεύτερο σπουδαίο ζήτημα είναι ο προγραμματισμός, στην πραγματικότητα, ο συγχρονισμός της μελλοντικής συντήρησης. Συνήθως, όλες οι διαδικασίες συντήρησης οδοστρωμάτων ολοκληρώνονται με την εφαρμογή μίας νέας ασφαλικής στρώσης στο οδόστρωμα. Είναι μεγάλης σημασίας, επομένως, να υπάρχει ομοιόμορφη επιδείνωση όλων των χαρακτηριστικών. Αυτό σημαίνει ότι τα περισσότερα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος θα φθάσουν στις ελάχιστες ή τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συγχρόνως, έτσι ώστε μια πλήρης αναβάθμιση να αποκαταστήσει πλήρως την κατάσταση του οδοστρώματος. Αυτή η πρακτική οδηγεί στον χαμηλότερο προϋπολογισμό των αναγκών συντήρησης και σε σπάνιες εκτροπές της κυκλοφορίας (Σχήμα 6.5).

Η βασική δομή αυτής της μεθοδολογίας αποτελείται από τέσσερα στάδια:

- α. Καθορισμός των οριακών τιμών των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος στο στάδιο λειτουργίας της οδού (Κεφάλαιο 5).
- β. Καθορισμός της σχέσης εξέλιξης της επιδείνωσης της κατάστασης του οδοστρώματος σε συνάρτηση με την κυκλοφορία (§6.6).
- γ. Υποθέτοντας ότι $RD=0$, στο αρχικό στάδιο ζωής της οδού, το χρονοδιάγραμμα για την πρώτη συντήρηση ή την επόμενη αποκατάσταση μπορεί να καθοριστεί από την εξίσωση (3) και την οριακή τιμή RD (Κεφάλαιο 5).
- δ. Ο χρόνος που παρήλθε και ο κυκλοφοριακός φόρτος που εισήχθησαν στις εξισώσεις (1) και (2) οδηγούν στις οριακές τιμές των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος (SFC, IRI) στο αρχικό στάδιο ζωής της οδού (Σχήμα 6.9).



Σχήμα 6.5: Κοινή πρακτική σε σύγκριση με την προτεινόμενη μεθοδολογία από την άποψη των επαναλήψεων των δραστηριοτήτων συντήρησης



Σχήμα 6.6: Εκτίμηση της παραμένουσας ζωής υπηρεσιών RSL (Remaining Service Life) από την άποψη του βάθους τροχοαυλάκωσης (rut depth)

Παραδείγματος χάριν, ένα οδόστρωμα με παραμένονσα ζωή υπηρεσιών (RSL) 2 ετών λόγω του αυξανόμενου βάθους τροχοαυλάκωσης (Σχήμα 6.6) μπορεί επίσης να εμφανίζει RSL 1 έτους λόγω μη αποδεκτής τιμής IRI και, συγχρόνως, μια σχετικά υψηλή αξία SFC. Οι δραστηριότητες για την αποκατάσταση ικανοποιητικής επιπεδότητας (evenness) με διόρθωση του δείκτη IRI σε διάστημα ενός έτους θα παράσχει μια νέα επιφάνεια με άριστη απόδοση μόνο ως προς την ομαλότητα. Εάν, αντίθετα, απαιτεί βελτίωση η αντίσταση ολίσθησης, οι διαδικασίες συντήρησης κινδυνεύουν να αποδειχθούν ανεπαρκείς ως προς άλλα χαρακτηριστικά επιφάνειας, όπως η επιπεδότητα και η τροχοαυλάκωση. Σε αυτήν την περίπτωση, περαιτέρω διαδικασίες συντήρησης θα είναι απαραίτητες αμέσως μετά από την εργασία συντήρησης της επιπεδότητας.



Σχήμα 6.7: Οδόστρωμα πρόσφατα επιστρωμένο με νέο τάπητα κυκλοφορίας λόγω της χαμηλής αντίστασης ολίσθησης / Παρατηρείται ήδη ανεπαρκής ομαλότητα οδοστρώματος



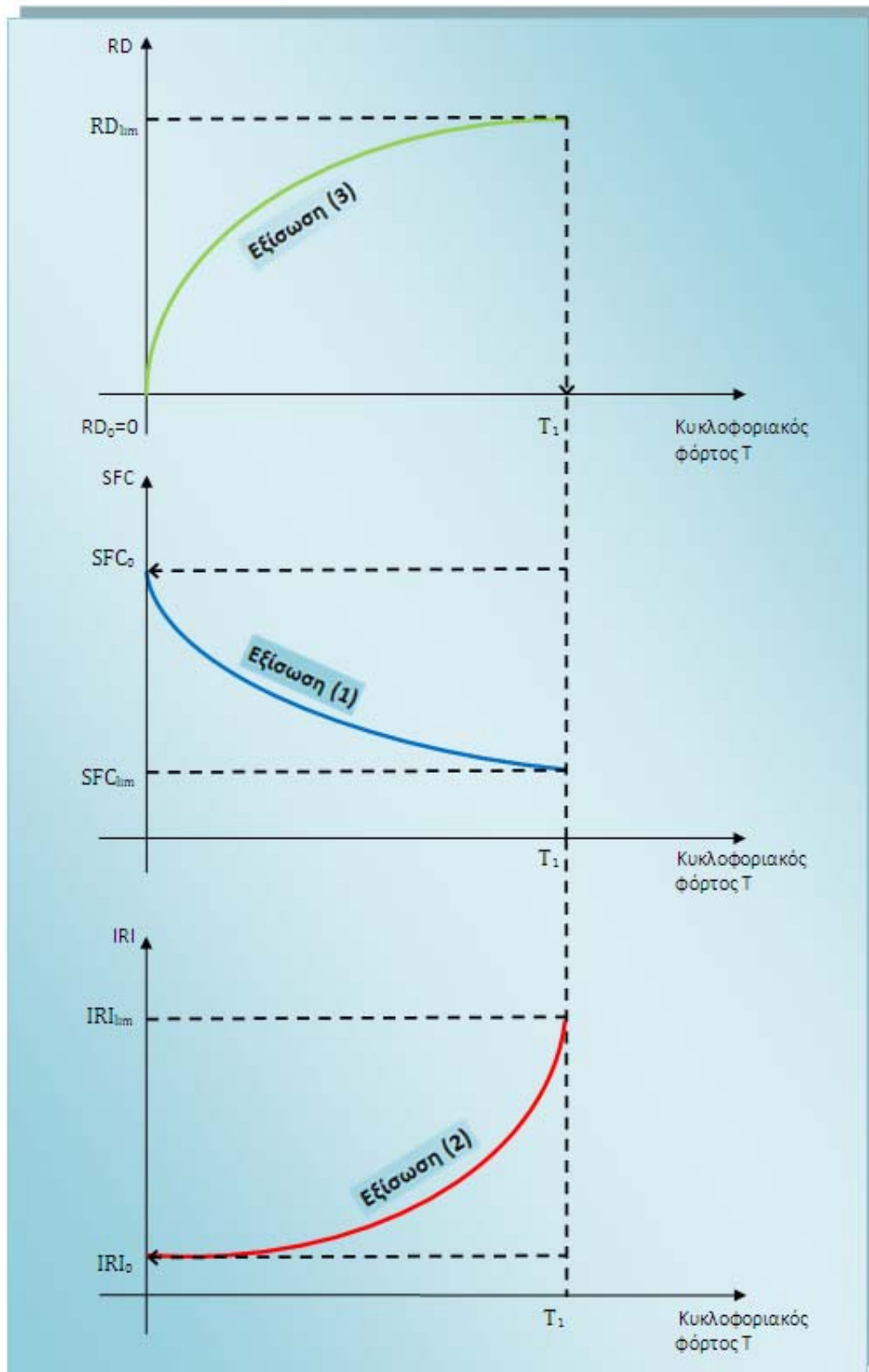
Σχήμα 6.8: Έντονη τροχοαυλάκωση και μη αποδεκτή επιπεδότητα / Ικανοποιητικές τιμές αντίστασης ολίσθησης

Μετά από τους υπολογισμούς βασισμένους στη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5, SFC_{lim} , IRI_{lim} και RD_{lim} ορίζονται ως οι οριακές τιμές SFC, IRI και RD, στο λειτουργικό στάδιο μίας οδού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτά τα όρια είναι στα πλαίσια των τιμών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2: Συνήθως χρησιμοποιούμενες οριακές τιμές των χαρακτηριστικών οδοστρώματος στο στάδιο λειτουργίας ενός κύκλου ζωής

Χαρακτηριστικό οδοστρώματος	Χρησιμοποιούμενος δείκτης ή συντελεστής	Οριακές τιμές στο στάδιο λειτουργίας ενός κύκλου ζωής της οδού	
		Εθνικό δίκτυο	Επαρχιακό δίκτυο
Αντίσταση ολίσθησης	SFC	0,40 – 0,50	0,40 – 0,50
Επιπεδότητα	IRI (m/km)	2,65 – 3,00	3,00 – 3,40
Τροχοαυλάκωση	RD (mm)	6 - 15	12 - 20

Υποθέτοντας ότι $RD = 0$ για ένα νέο ή μόλις αποκατεστημένο οδόστρωμα και RD_{lim} είναι η οριακή τιμή για το βάθος τροχοαυλάκωσης, ο κυκλοφοριακός φόρτος και, αντιστοίχως, ο χρόνος μέχρι την επόμενη εργασία βελτίωσης μπορούν να υπολογιστούν. Στη συνέχεια, ο κυκλοφοριακός φόρτος και ο χρόνος που παρήλθε, εισαγμένοι στις εξισώσεις (1) και (2) αντίστοιχα, οδηγούν στον υπολογισμό των οριακών τιμών των χαρακτηριστικών οδοστρώματος (SFC, IRI) στο αρχικό στάδιο του κύκλου ζωής της οδού (Σχήμα 6.9).



Σχήμα 6.9: Ομοιόμορφη εξέλιξη RD , SFC και IRI . Τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος φθάνουν στις οριακές τιμές τους συγχρόνως (ταυτόσημα φορτία κυκλοφορίας)

Παράδειγμα εφαρμογής

Έστω ότι σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Κεφαλαίου 5 τα όρια καταλληλότητας των SFC, IRI και RD είναι $SFC_{lim} = 0,45$, $IRI_{lim} = 3$ m/km και $RD_{lim} = 6$ mm αντίστοιχα. Επίσης, έστω ότι οι σταθερές $\beta = 10^{-2}$, $\kappa = 1,5 \cdot 10^{-5}$, $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ και το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων $h_0 = 5$ cm.

Με την υπόθεση ότι $RD_0 = 0$, από την εξίσωση (3) υπολογίζεται ο κυκλοφοριακός φόρτος T ως ακολούθως:

$$T = \frac{0,25 \sqrt{RD_{lim} - RD_0}}{\beta \cdot h_0} \quad \text{ή}$$

$$T = \frac{0,25 \sqrt{6 - 0}}{10^{-2} \cdot 50} \quad \text{ή}$$

$$T = 20.736 \text{ οχήματα/ημέρα}$$

Από τις εξισώσεις (1) & (2) υπολογίζονται τα όρια καταλληλότητας του συντελεστή SFC και του δείκτη IRI αντίστοιχα:

$$SFC_0 = \frac{SFC_{lim}}{1 - \kappa \cdot T} \quad \text{ή}$$

$$SFC_0 = \frac{0,45}{1 - 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 20.736} \quad \text{ή}$$

$$SFC_0 = 0,65$$

και

$$IRI_0 = \frac{IRI_{lim}}{e^{\lambda \cdot T}} \quad \text{ή}$$

$$IRI_0 = \frac{3}{e^{5 \cdot 10^{-5} \cdot 20.736}} \quad \text{ή}$$

$$IRI_0 = 1,06 \text{ m/km}$$

6.8 Συμπεράσματα

Ακολουθώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία εύρεσης των ορίων αποδοχής είναι δυνατή η θέσπιση προδιαγραφών για τις αποδεκτές τιμές των δεικτών κατάστασης του οδοστρώματος. Οι προδιαγραφές αυτές επεκτείνονται σε αποδεκτές τιμές PSV και SN ανάλογα με τα κυκλοφοριακά δεδομένα κάθε οδικού δικτύου.

Για την εφαρμογή του μοντέλου εύρεσης των ορίων αποδοχής για ένα συγκεκριμένο οδόστρωμα, είναι απαραίτητο να γίνεται εκτεταμένη συλλογή δεδομένων από οδούς της ίδιας περιοχής, με ταυτόσημη αν είναι δυνατόν ή παραπλήσια λειτουργική

κατάταξη, κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά, υλικά και τεχνικές κατασκευής, ούτως ώστε τα μοντέλα πρόβλεψης της εξέλιξης των χαρακτηριστικών κατάστασης του οδοστρώματος συναρτήσει του χρόνου να είναι όσο το δυνατόν αξιόπιστα και ακριβή. Κι αυτό γιατί τα μοντέλα πρόβλεψης επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως το κλίμα, τις καιρικές συνθήκες, το ποσοστό βαρέων οχημάτων, τις θερμοκρασιακές μεταβολές και την τεχνογνωσία των κατασκευαστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΔΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

7.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών σχεδόν όλες οι Υπηρεσίες που είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση του οδικού δικτύου, εφαρμόζουν κάποια μορφή αυτοματοποιημένου Συστήματος Διαχείρισης Οδών RMS (Road Management System). Ο σκοπός αυτών των συστημάτων είναι η βοήθεια της αρμόδιας Υπηρεσίας στον προγραμματισμό και τον καθορισμό προτεραιοτήτων των επενδύσεων σε οδική υποδομή.

Ενώ μερικά συστήματα διαχείρισης είναι επιτυχή, έχουν υπάρξει επίσης πολλά που αποτυγχάνουν σε μια ή περισσότερες περιοχές. Αυτό είναι παρά τις μεγάλες επενδύσεις του χρόνου και των χρημάτων. Ενώ είναι συχνά εύκολο να προσδιοριστούν τα συμπτώματα της αποτυχίας, οι αιτίες είναι συχνά σύνθετες και πολυστρωματικές. Στόχος της παρούσας διατριβής είναι να προσδιοριστούν οι παράγοντες που συμβάλουν στην επιτυχή εφαρμογή ενός Συστήματος Διαχείρισης Οδών (ΣΔΟ).

Οι 21 διαφορετικές οδικές Υπηρεσίες που εφαρμόζουν τέτοια συστήματα, σε 16 διαφορετικές χώρες, σε πέντε ηπείρους φαίνονται στον Πίνακα 7.1. Συμπεριλαμβάνονται Υπηρεσίες αναπτυσσόμενων χωρών, αλλά και Υπηρεσίες ανεπτυγμένων χωρών. Αυτό εξασφαλίζει ότι τα συμπεράσματα θα αφορούν μεγάλα και μικρά οδικά δίκτυα.

Για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, δεν είναι απαραίτητο τα ΣΔΟ να χρησιμοποιούνται ως εργαλεία οικονομικής ανάλυσης και βελτιστοποίησης (αν και φυσικά πολλοί από τους να κάνουν). Η μελέτη ερευνά τον τύπο του ΣΔΟ κάθε Υπηρεσίας και την εμπειρία του προσωπικού. Οι περισσότερες από τις Υπηρεσίες που ερευνήθηκαν εφαρμόζουν τα συστήματά τους εδώ και 7+ έτη και έχουν προηγμένες δυνατότητες σχεδιασμού και προγραμματισμού εδώ και 5+ έτη. Η παλαιότερη εφαρμογή στη μελέτη είναι περίπου 20 ετών.

Πίνακας 7.1: Υπηρεσίες που χρησιμοποιούν ΣΔΟ σε παγκόσμιο επίπεδο

Χώρα	Οργανισμός	Μήκος οδικού δικτύου υπό διαχείριση (km)	Έτος εφαρμογής του συστήματος	Έτος σχεδιασμού / Προγραμματισμός ¹
Αργεντινή	Επαρχιακή διεύθυνση αυτοκινητοδρόμων, Σάντα Φε	14.179	2002	2002
Μπανγκλαντές	Τμήμα οδών και αυτοκινητοδρόμων	21.522	1996	2000
Μποτσουάνα	Υπουργείο Έργων και Μεταφορών, Τμήμα Οδών	8.916	1993	1996
Μπουρκίνα Φάσο	Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Κατοίκων	15.271	2000	2000
Καμερούν	Διεύθυνση οδών	49.143	2000	2006
Χιλή	Υπουργείο δημοσίων έργων	80.672	1980	1985
Κίνα	Επαρχιακό γραφείο διοίκησης αυτοκινητοδρόμων Fujian	36.000	2002	-
Κίνα	Επαρχιακό γραφείο διοίκησης αυτοκινητοδρόμων Henan	70.000	2003	2003
Κίνα	Επαρχιακό γραφείο διοίκησης αυτοκινητοδρόμων Hubei	89.674	2003	-
Κόστα Ρίκα	Υπουργείο δημοσίων έργων και μεταφορών & εθνικό οδικό συμβούλιο	7.424	1998	1998
Ινδία	Εθνική αρχή αυτοκινητόδρομων Ινδίας	24.000 και περισσότερα υπό ένταξη	Σύστημα υπό ανάπτυξη	1997
Ινδία	Τμήμα δημοσίων έργων, Κυβέρνηση της Kerala	22.991	Σύστημα υπό ανάπτυξη	2005
Ινδία	Τμήμα δημοσίων έργων, Κυβέρνηση της Rajasthan	82.024	1996	1996
Ινδονησία	Γενικής διεύθυνση περιφερειακής υποδομής	35.000	1985	1990
Μοζαμβίκη	Εθνική διοίκηση οδών	12.902	1997	1997
Νέα Ζηλανδία	Συγκοινωνίες Νέας Ζηλανδίας	10.786	1980	1998
Νέα Ζηλανδία	Περιφερειακό συμβούλιο Parakura	280	1998	1998
Παπούα Νέα Γουινέα	Τμήμα έργων	27.500	2000	2004
Τανζανία	Υπουργείο έργων, τανζανική αντιπροσωπεία εθνικών οδών	28.892	2001	2002
Ουρουγουάη	Διεύθυνση εθνικών οδών	8.680	1999	1999
ΗΠΑ	Αντιπροσωπεία μεταφορών του Βερμόντ	5.310	1995	1995

¹ Αποτελείται από αυτοματοποιημένα μοντέλα για τον πολυετή προγραμματισμό και τη βελτιστοποίηση των επενδύσεων

7.2 Συστήματα Διαχείρισης Οδών (ΣΔΟ)

7.2.1 Εισαγωγή

Το οδικό δίκτυο είναι ένα σημαντικό οικονομικό-περιουσιακό στοιχείο. Η διαχείριση του στοιχείου αυτού είναι εξαιρετικά σημαντική για την οικονομική ανάπτυξη. Οι κύριες λειτουργίες της διαδικασίας διαχείρισης οδών μπορεί να κατηγοριοποιηθούν ως

εξής:

- Σχεδιασμός
- Προγραμματισμός
- Εργασίες

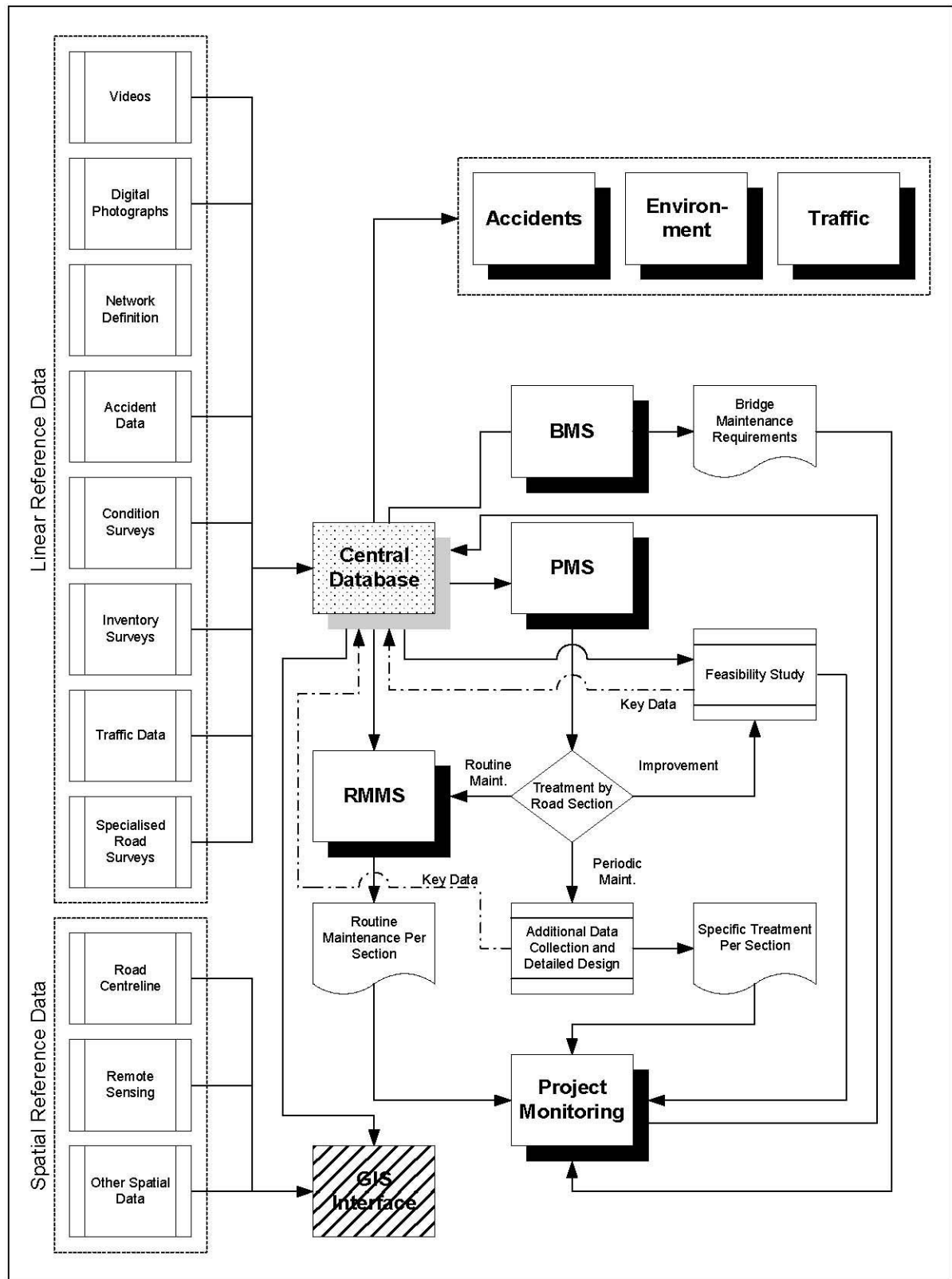
Τα ΣΔΟ συνίσταται στην παρακολούθηση, τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό μιας οδού ή ενός οδικού δικτύου. Οι κύριες δραστηριότητες ενός ΣΔΟ περιλαμβάνουν:

- Αξιολόγηση των αναγκών.
- Στρατηγικός προγραμματισμός, συμπεριλαμβανομένης της σύνταξης προϋπολογισμού για την ανάπτυξη και τη συντήρηση συγκριτικών πλεονεκτημάτων.
- Ανάπτυξη, υπό τους περιορισμούς των διαθέσιμων προϋπολογισμών, των πολυετών προγραμμάτων επενδύσεων.
- Συλλογή των στοιχείων. Όλες οι ανωτέρω δραστηριότητες απαιτούν δεδομένα. Τα σημαντικότερα δεδομένα περιλαμβάνουν το μητρώο, την κατάσταση, την κυκλοφορία και τα οικονομικά δεδομένα της οδού.

Ως ΣΔΟ ορίζεται ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και δημιουργία του μητρώου μίας οδού, της κατάστασης, της κυκλοφορίας και των σχετικών στοιχείων, με σκοπό τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό. Τα ΣΔΟ χρησιμοποιούνται από τις αρμόδιες Υπηρεσίες διαχείρισης οδών για τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης και διαχείρισης γενικά της οδού.

Το Σχήμα 7.1 είναι παράδειγμα ενός τυπικού υπολογιστικού μοντέλου ΣΔΟ. Όλα τα στοιχεία του Σχήματος 7.1 δεν εμπεριέχονται σε όλα τα ΣΔΟ, ωστόσο, υπάρχει πάντα τουλάχιστον μια κεντρική βάση δεδομένων και κάποια φόρμα αναφοράς.

Σε αναφορά του Σχήματος 7.1, τα στοιχεία ενός ΣΔΟ είναι ως εξής:



Σχήμα 7.1: Παράδειγμα ενός υπολογιστικού μοντέλου ΣΔΟ

- Συλλογή δεδομένων
- Κεντρική βάση δεδομένων
- Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ)
- Σύστημα Διαχείρισης Συντήρηση Ρουτίνας (ΣΔΣΡ)
- Σύστημα Διαχείρισης Γεφυρών (ΣΔΓ)
- Σύστημα Παρακολούθησης Κυκλοφορίας (ΣΠΚ)
- Πληροφοριακό Σύστημα Ατυχημάτων (ΠΣΑ)
- Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ΣΠΔ)
- Παρακολούθηση Έργου (ΠΕ)
- Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (ΓΠΣ)

Στο επίκεντρο αυτού του σχεδίου ήταν σχετικά με τις πρώτες τρεις συνιστώσες της RMS: συλλογή δεδομένων, κεντρική βάση δεδομένων και το σύστημα διαχείρισης πεζοδρόμιο, όπως αυτές είναι το πιο συνηθισμένο για όλους τους οργανισμούς. Οι περισσότερες υπηρεσίες έχουν επίσης κάποια μορφή του συστήματος διαχείρισης της γέφυρας και πολλές από τις παρατηρήσεις που έγιναν εδώ θα ισχύει για τα συστήματα αυτά. Ωστόσο, δεν δικαιολογούν λεπτομερής έρευνα στο μέλλον μαζί με τα άλλα στοιχεία RMS.

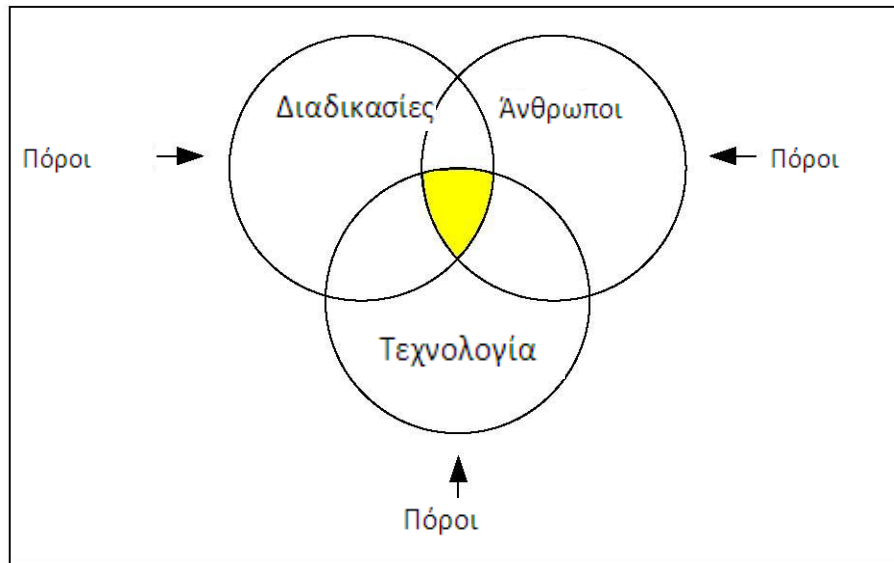
7.2.2 Διαδικασίες, Άνθρωποι, Τεχνολογία και Πόροι

Όπως συμβαίνει και με οποιοδήποτε σύστημα, ένα ΣΔΟ βασίζεται σε τρία βασικά στοιχεία: Διαδικασίες - Άνθρωποι - Τεχνολογία και κατάλληλη χρηματοδότηση (Σχήμα 7.2). Εάν οποιοδήποτε από αυτά τα στοιχεία λείπει, το σύστημα δεν ολοκληρώνεται με επιτυχία.

Τα διοικητικά στελέχη και οι διαχειριστές θα δεσμεύονται για το σύστημα, τόσο όσον αφορά τις σχέσεις τους με εξωτερικά ενδιαφερόμενα μέρη και εσωτερικά στον οργανισμό που είναι υπεύθυνος για το ΣΔΟ μέσω ορθών αρχών διαχείρισης. Η σχετική πολιτική θα πρέπει να οριοθετεί ρητά τους στόχους, το αντικείμενο του οργανισμού όσον αφορά τη διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων της οδού και διαδικασίες οι οποίες θα περιγράφουν λεπτομερώς και ακριβώς πώς το ΣΔΟ θα χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη των στόχων αυτών.

Μία ξεχωριστή οργανωτική μονάδα θα έχει σαφή ευθύνη για το ΣΔΟ και τα δεδομένα, και θα στελεχώνεται με πεπειραμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό στην ανάπτυξη και επέκταση ΣΔΟ. Εκτός από τη βασική διαδικασία διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, ορισμένες άλλες δευτερεύουσες διεργασίες είναι η κατάρτιση του προϋπολογισμού, η δημοσιονομική διαχείριση, η διαχείριση των ανθρώπινων πόρων και η διαχείριση των

πληροφοριών. Αυτές οι δευτερεύουσες διεργασίες είναι ουσιώδεις για τη διασφάλιση της διατηρησιμότητας του συστήματος συλλογής δεδομένων, της κατάρτισης του προσωπικού και της ανάπτυξης υλικού και λογισμικού συντήρησης κ.λπ.



Σχήμα 7.2: Διαδικασίες, Άνθρωποι, Τεχνολογία και Πόροι

Ο εξοπλισμός συλλογής δεδομένων, το υλικό πληροφορικής και το λογισμικό θα πρέπει να είναι κατάλληλα για χρήση, επικαιροποιημένα και να καλύπτονται από κάποιο είδος συμφωνίας συντήρησης και εγγύησης αντικατάστασης.

Το παραπάνω απαιτούνται για την αξιολόγηση της επιτυχίας των συμμετεχόντων οργανισμών.

7.3 Ο Ρόλος των ΣΔΟ

7.3.1 Ετήσια έκθεση

Τα ΣΔΟ πρέπει να θεωρούνται ως ένα ζωτικό μέρος της διαδικασίας παρακολούθησης και σχεδιασμού κάθε Υπηρεσίας που είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του οδικού δικτύου. Τα εξαγόμενα του ΣΔΟ πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη σύνταξη ετήσιων εκθέσεων, γεγονός που συμβάλλει στη διασφάλιση της εφαρμογής του συστήματος και στην ορθή συλλογή των δεδομένων.

Μερικά παραδείγματα ετήσιων εκθέσεων από αρμόδιες Υπηρεσίες είναι:

- **New South Wales RTA:** www.rta.nsw.gov.au
- **South Africa National Roads Agency:** www.nra.co.za
- **Transit New Zealand:** www.transit.govt.nz

- **UK Highways Agency:** <http://www.highways.gov.uk>

7.3.2 Εκτίμηση Αναγκών

Ένας από τους βασικούς στόχους της εφαρμογής ενός ΣΔΟ είναι να παρέχει αιτιολόγηση για τον προϋπολογισμό και να βοηθήσει στην καθοδήγηση περιορισμένων κονδυλίων προς τους τομείς όπου η απόδοση των επενδύσεων θα είναι μεγαλύτερη.

Μια «Εκτίμηση Αναγκών» είναι μια ανάλυση των αναγκών του οδικού δικτύου θεωρώντας απεριόριστο διαθέσιμο προϋπολογισμό. Εκτελείται για να υπολογιστεί το πραγματικό κόστος για τη συντήρηση ή βελτίωση του οδικού δικτύου. Δεν τίθεται περιορισμός προϋπολογισμού, ως εκ τούτου, συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας συγκεκριμένης στρατηγικής για την αρμόδια Υπηρεσία. Αυτό μπορεί να επίσης να χρησιμοποιηθεί από τον οργανισμό ως δικαιολογία για αίτηση σχετικών κονδυλίων.

7.3.3 Προϋπολογισμοί συντήρησης

Ένα κοινό πρόβλημα σε πολλές χώρες είναι μια υποχρηματοδότηση της συντήρησης του οδικού δικτύου. Όταν μια χώρα εκτελεί ένα πρόγραμμα κατασκευής μεγάλων οδικών αξόνων, υπάρχει μια τάση εκτροπής πόρων για τη συντήρηση του υπόλοιπου οδικού δικτύου. Ωστόσο, πολλές μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι μακροπρόθεσμα αυτό οδηγεί στην ανάγκη αυξημένων δαπανών συντήρησης.

Δείκτης της αποτελεσματικής χρήσης ενός ΣΔΟ σε μια Υπηρεσία είναι η κατάλληλη κατανομή των κονδυλίων για συντήρηση. Πράγματι, σε ορισμένες περιπτώσεις με την πάροδο του χρόνου το ποσοστό των διαθέσιμων κεφαλαίων για συντήρηση θα πρέπει αυξάνεται.

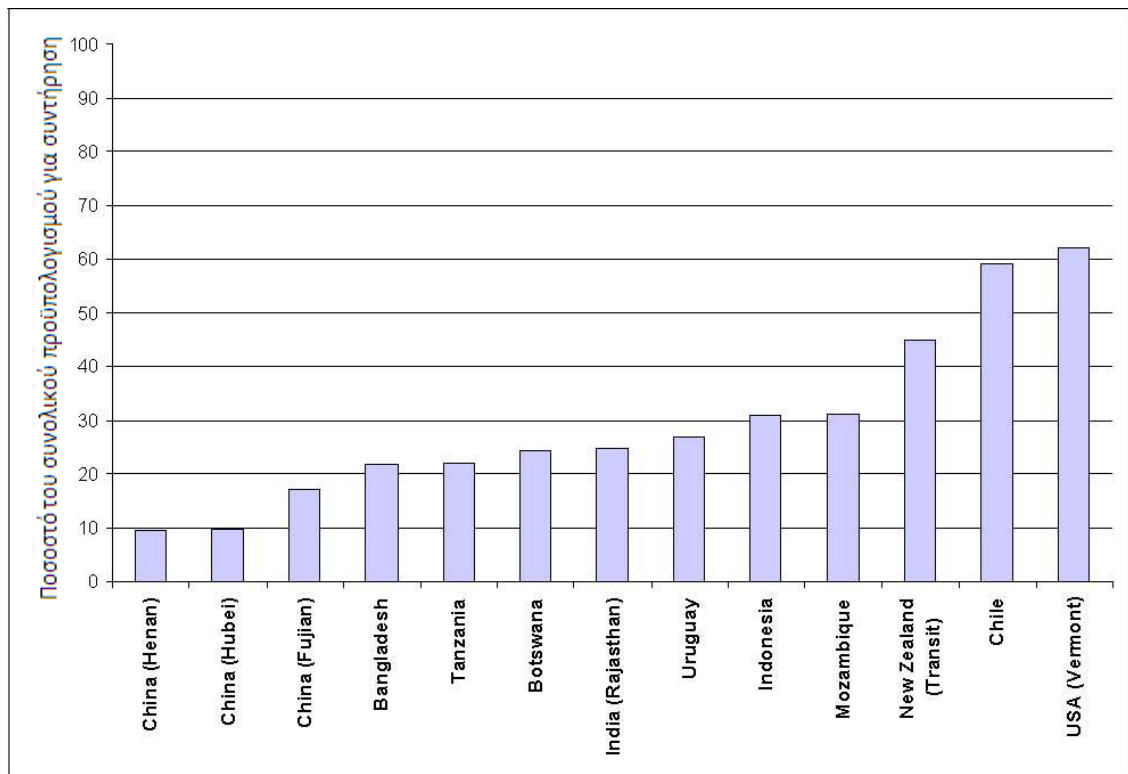
Μια ανάλυση των προϋπολογισμών (Σχήμα 7.3) έδειξε μεγάλες διαφορές στην κατανομή του προϋπολογισμού για συντήρηση μεταξύ διαφόρων χωρών. Η διαφορά φαίνεται να μη σχετίζεται με το χρονικό διάστημα στο οποίο έχει λειτουργήσει το ΣΔΟ. Μόνο η Χιλή, η Νέα Ζηλανδία και η Υπηρεσία μεταφορών του Vermont προϋπολογισμού διαθέτουν άνω του 45 % του συνολικού προϋπολογισμού, για συντήρηση. Οι τρεις επαρχίες της Κίνας διατηρούν τον χαμηλότερο προϋπολογισμό (Henan - 9,5 %, Hubei - 9,7 % και Fujian - 16,9 %) (Πίνακας 7.2).

Πίνακας 7.2: Προϋπολογισμοί συντήρησης σε επαρχίες της Κίνας

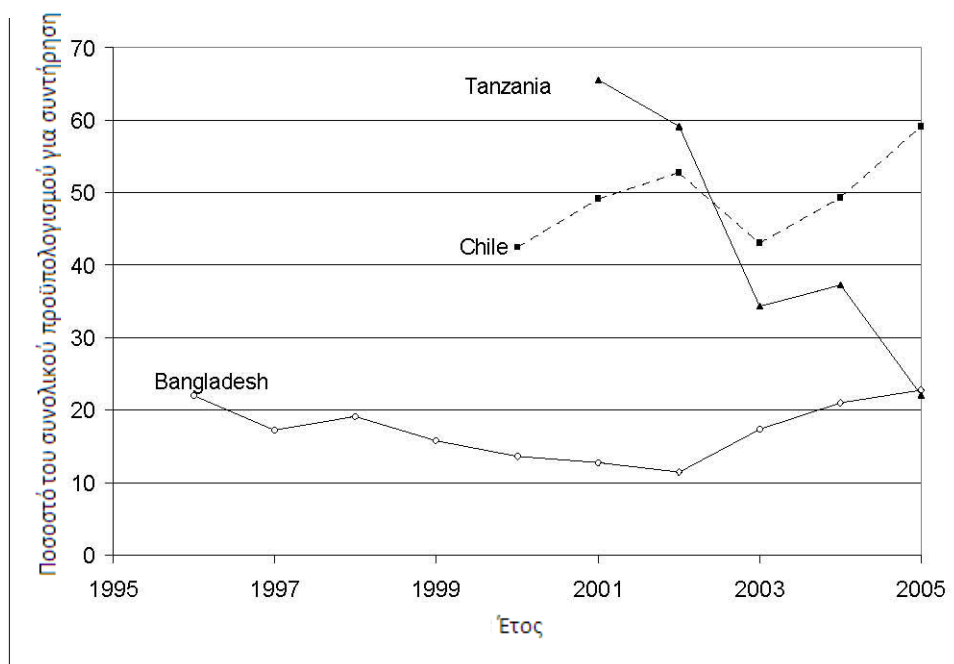
Επαρχία	Συντήρηση ως ποσοστό % του συνολικού προϋπολογισμού	Προϋπολογισμός συντήρησης (\$ / km)	Ασφαλτοστρωμένο δίκτυο	Μη ασφαλτοστρωμένο δίκτυο	Σύνολο	% ασφαλτοστρωμένου δικτύου
Fujian	16,9	2.847	15.400	20.600	36.000	42,8%
Henan	9,5	1.786	19.000	51.000	70.000	27,1%
Hubei	9,7	1.032	34.298	55.376	89.674	38,2%

Ανάλυση των προηγούμενων προϋπολογισμών έδειξε λίγες περιπτώσεις όπου υπήρξε αξιοσημείωτη αύξηση κατά την κατανομή του συνολικού προϋπολογισμού, για συντήρηση (Σχήμα 7.3):

- Χιλή: Κατόρθωσε να αυξήσει το ποσοστό των δαπανών για συντήρηση ακόμη και κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου ο συνολικός προϋπολογισμός είχε υποστεί μείωση. Αυτό είναι δείκτης επιτυχής εφαρμογής του ΣΔΟ, καθώς και αναγνώριση της σημασία της συντήρησης.



Σχήμα 7.3: Ποσοστό του συνολικού προϋπολογισμού για συντήρηση σε διάφορες χώρες



Σχήμα 7.4: Ποσοστά προϋπολογισμών συντήρησης ανά έτος

- **Μπαγκλαντές:** Παρατηρείται σημαντική καθυστέρηση της ανακατασκευής και αναβάθμισης, που σημαίνει ότι, παρόλο που ο συνολικός προϋπολογισμός αυξήθηκε σταθερά, ο προϋπολογισμός για συντήρηση μειώθηκε. Ωστόσο, η κυβέρνηση δεσμεύεται για την ορθή συντήρηση όπως αποδεικνύεται από τις αυξήσεις των τελευταίων ετών στον προϋπολογισμό.
- **Τανζανία:** Λόγω ενός μεγάλου προγράμματος έργων, το ποσοστό του συνολικού προϋπολογισμού που διατίθεται για συντήρηση μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Θα υπάρξει ανάγκη για αύξηση του προϋπολογισμού συντήρησης.

Στην Κίνα, η χρηματοδότηση για τη συντήρηση του οδικού δικτύου προέρχεται κυρίως από άδειες χρήσης του οδικού δικτύου και από τέλη των χρηστών.

7.3.4 Αξία οδικής υποδομής

Η «αξία της οδικής υποδομής» χρησιμοποιείται ως ένας βασικός δείκτης απόδοσης και διάφοροι οργανισμοί έχουν ορίσει σκοπούς και στόχους, για τη διατήρηση ή την αύξηση της αξία αυτής με την πάροδο του χρόνου. Η αξία της υποδομής παρέχει επίσης ένα μηχανισμό για τη σύγκριση της αξίας των επενδύσεων σε διαφορετικούς τύπους υποδομών (Saarinen et al., 1997). Η αξία της υποδομής μπορεί να μετρηθεί σχετικά εύκολα, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που είναι συνήθως διαθέσιμα από ένα ΣΔΟ. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν μητρώα (τύπος οδοστρώματος και πλάτος), τον βαθμό δυσκολίας και το κόστος των νέων κατασκευών, της αποκατάστασης και της επισκευής. Οι Schliessler και Bull (2004) παρουσιάζουν μια απλή τεχνική για την

εκτίμηση της αξίας της υποδομής.

Από τις μελέτες περίπτωσης (case studies), μόνο η Νέα Ζηλανδία και η Ουρουγουάη χρησιμοποιούν ρητώς την αξία της υποδομής ως δείκτη. Το Σχήμα 7.5 είναι ένα παράδειγμα των αξιών της υποδομής που αναφέρθηκαν από την Υπηρεσία Μεταφορών της Νέας Ζηλανδίας στην ετήσια έκθεσή της (Transit, 2002). Η πολιτεία του Vermont επίσης είναι πιο κοντά στην προσέγγιση της «διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων» για να βοηθήσει στην παρακολούθηση της αξίας των κρατικών επενδύσεων.

Περιγραφή	Πραγματικό			Προηγούμενο έτος		
	Κόστος αντικατάστασης (εκατ. \$)	Συσσωρευμένη απαξίωση (εκατ. \$)	Απαξιωμένο κόστος αντικατάστασης (εκατ. \$)	Κόστος αντικατάστασης (εκατ. \$)	Συσσωρευμένη απαξίωση (εκατ. \$)	Απαξιωμένο κόστος αντικατάστασης (εκατ. \$)
Δρόμοι	11,145	1,463	9,682	10,320	1,418	8,902
Γέφυρες	2,831	1,187	1,644	2,692	1,122	1,570
Υπόλοιπα	806	186	620	757	173	584
Σύνολο	14,782	2,836	11,946	13,769	2,713	11,056

Σχήμα 7.5: Παράδειγμα έκθεσης αξίας περιουσιακών στοιχείων Νέας Ζηλανδίας [Πηγή: Transit, 2002]

Η Φινλανδική Αρχή Εθνικών Οδών FINNRA (Finnish National Road Administration) γίνεται συλλογή δεδομένων για υπολογισμούς της αξίας της υποδομής από το 1950.

7.3.5 Ακρίβεια των προγραμμάτων προώθησης έργων των ΣΔΟ

Τα περισσότερα ΣΔΟ χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία ετήσιων προγραμμάτων προώθησης έργων. Αυτά προβλέπουν τις ανάγκες μελλοντικής συντήρησης για το δίκτυο. Ένα βασικό ζήτημα προς εξέταση σε ένα ΣΔΟ είναι το πόσο ρεαλιστικά το πρόγραμμα προβλεπόμενης συντήρησης αντικατοπτρίζει τις απαιτήσεις πραγματικής συντήρησης. Με άλλα λόγια, το σύστημα παράγει τα ορθά αποτελέσματα;

Η ορθότητα των αποτελεσμάτων μπορεί να καθοριστεί στα εξής πλαίσια:

- Ο τύπος της συντήρησης που προτείνεται
- Η έκταση και η θέση των εν λόγω συντήρησης
- Το συνιστώμενο έτος εφαρμογής

Πριν οποιαδήποτε Υπηρεσία εφαρμόσει ένα ΣΔΟ χρειάζεται να εξασφαλιστεί ότι οι προβλέψεις θα είναι λογικές. Αυτό γίνεται με χρήση της ανάλυσης «hit-rate» (αριθμός σωστών προβλέψεων).

Μια Υπηρεσία ανέφερε ότι ένα σημαντικό πλεονέκτημα της εφαρμογής ΣΔΟ ήταν η εγκαθίδρυση μιας διαδικασίας που είναι αποδεκτό γενικά ότι βελτιώνει τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό των οδικών επενδύσεων. Η διαδικασία περιελάμβανε:

- Δημιουργία και διατήρηση μιας αξιόπιστης βάσης δεδομένων για το μητρώο και την κατάσταση της οδού
- Χρησιμοποίηση των στοιχείων του ΣΔΟ για την ανάπτυξη σχεδίων προγραμματισμού έργων
- Επιθεώρηση τομέων για την αξιολόγηση και τη βελτίωση του προγραμματισμού έργων
- Επιβεβαίωση ότι το προτεινόμενο σχέδιο είναι το καταλληλότερο

Η διαδικασία οδήγησε σε μια προσέγγιση καλής ποιότητας στην οδική διαχείριση.

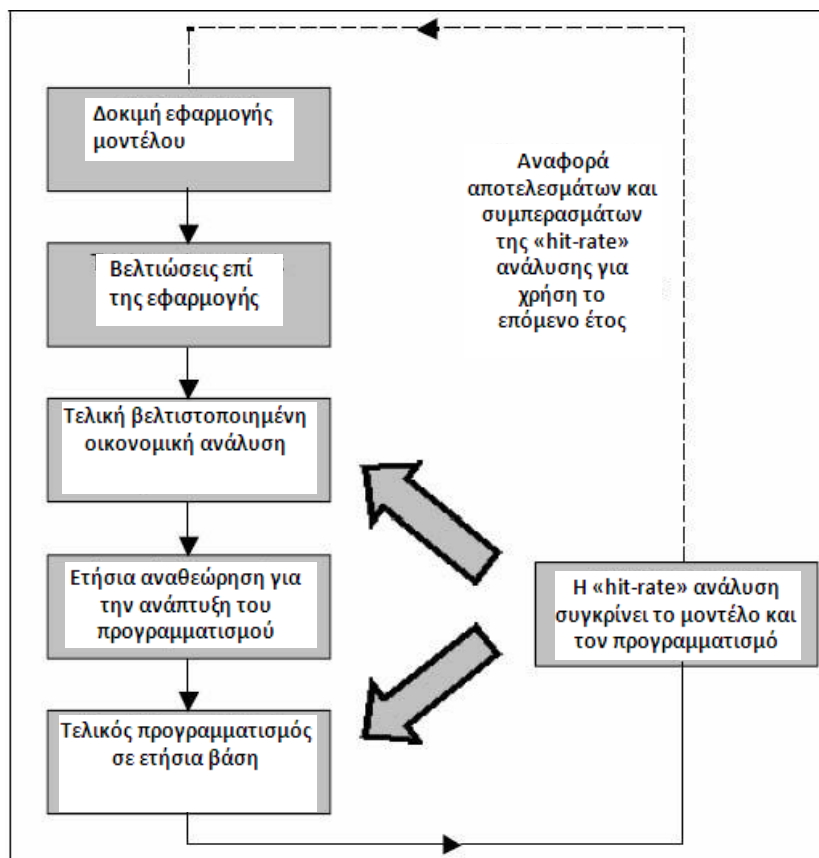
Η Υπηρεσία Μεταφορών της Νέας Ζηλανδίας (Transit, 2001) περιγράφει την προσέγγιση «hit-rate» ανάλυσης. Οι ανάγκες συντήρησης έχουν προβλεφθεί για κάθε τμήμα της οδού. Τα τμήματα εξετάζονται στη συνέχεια βάσει οπτικής επιθεώρησης και τεχνικής εμπειρίας. Συγκρίνοντας τις προβλέψεις με τις εκτιμήσεις, τέσσερα είναι τα ενδεχόμενα αποτελέσματα:

- Ορθή πρόβλεψη: Το ΣΔΟ προβλέπει την κατάλληλη εργασία συντήρησης στο εκτιμώμενο χρονικό σημείο (ορθός χρόνος/ορθή εργασία συντήρησης)
- Εσφαλμένη πρόβλεψη: Προβλέπεται διαφορετική εργασία συντήρησης (λανθασμένη εργασία συντήρησης)
- Μη ακριβής πρόβλεψη: Σε χρόνο 6 – 10 έτη της περιόδου σχεδιασμού, προβλέπεται η ίδια ή διαφορετική εργασία συντήρησης με απόκλιση +/- 2 ετών από τον εκτιμώμενο χρόνο
- Λάθος: Κανένα από τα παραπάνω (λανθασμένο χρονικό σημείο).

Το Σχήμα 7.6 παρουσιάζει την προσέγγιση ανάλυσης «hit-rate» της Νέας Ζηλανδίας. Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής αυτής της προσέγγισης είναι τα εξής:

- Η βαθμονόμηση (calibration) του προγνωστικού μοντέλου πραγματοποιείται κυρίως σε επίπεδο δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι σε όλες τις οδούς του δικτύου έχει εκχωρηθεί ο ίδιος συντελεστής βαρύτητας. Αυτό οδήγησε σε «hit-rate» ποσοστά της τάξεως του 50 %. Όπου εκχωρήθηκαν διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας σε υποδίκτυα, επετεύχθησαν «hit-rate» ποσοστά έως 80 %.
- Εντοπισμένες διαφορές στην ποιότητα και αντοχή των υλικών που αντιστοιχούσαν σε διαφοροποιήσεις της βαθμονόμησης.
- Δεν είναι αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα (δηλαδή 50 % ακριβή), γεγονός το οποίο έχει σοβαρές επιπτώσεις στη διαδικασία κατανομής χρηματοδότησης.

- Η έλλειψη πραγματικών στοιχείων για την αντοχή του οδοστρώματος επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τις προβλέψεις.
- Παρατηρήθηκαν θέματα στην επικαιροποίηση των δεδομένων, ειδικά όταν το σύστημα δεν έχει ενημερωθεί με πρόσφατες εργασίες συντήρησης.



Σχήμα 7.6: Η προσέγγιση «hit-rate» ανάλυσης στη Νέα Ζηλανδία [Πηγή: Transit, 2001]

Ο Πίνακας 7.3 δείχνει ότι από τους 17 οργανισμούς που ερωτήθηκαν εάν διαθέτουν εξελιγμένες δυνατότητες σχεδιασμού / προγραμματισμού στα συστήματά τους, μόνο τέσσερις (Transit Νέας Ζηλανδίας, PDC Νέας Ζηλανδίας, Χιλής και Υπηρεσία Μεταφορών Vermont) παρουσιάζουν συγκεκριμένη και αξιόπιστη μεθοδολογία «hit-rate» ανάλυσης που είναι σε θέση να παράγει ορθά αποτελέσματα.

Ο Τομέας Πολιτικής Σχεδιασμού στην Ινδονησία διεξήγαγε πρόσφατα μια έρευνα σε μία επαρχία για να προσπαθήσει να προσδιορίσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου ΣΔΟ. Εκτιμήθηκε ποσοστό ακρίβειας «hit-rate» μόνο 30%. Οι κυριότεροι λόγοι για την προφανή έλλειψη ακρίβειας είναι η ποιότητα των δεδομένων (μητρώο, κατάσταση οδού και κυκλοφορία).

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ποτέ δεν είναι ρεαλιστικό να υπάρξει μια 100 % συμφωνία μεταξύ προγνωστικών μοντέλων και των εκτιμώμενων αναγκών συντήρησης. Συχνά, τα προγνωστικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως η οικονομική αξιολόγηση, οι περιορισμοί του προϋπολογισμού κ.λπ., που συνήθως παραλείπονται από τις τεχνικές εκτιμήσεις. Υπάρχουν επίσης συχνά προβλήματα με τα δεδομένα, το σύστημα δεν μπορεί να λάβει υπόψη όλα τα θέματα (π.χ. θέματα ασφάλειας κυκλοφορίας) και επίσης υπάρχουν βασικοί περιορισμοί που παρουσιάζει οποιοδήποτε στατιστικό μοντέλο εκτίμησης φθορών οδοστρώματος.

Πίνακας 7.3: Υπηρεσίες που χρησιμοποιούν την «hit-rate» ανάλυση

Υπηρεσία	Εφαρμογή Σχεδιασμού / Ικανότητα Προγραμματισμού	Ανάλυση «Hit-Rate»
Αργεντινή (Σάντα Φε)	2002	Όχι
Μπανγκλαντές	2000	Όχι
Μοτσουάνα	1996	Όχι
Μπουρκίνα Φάσο	2000	Όχι
Καμερούν	2006	Όχι
Χιλή	1985	Ναι
Κίνα (Fujian)	Όχι	Όχι
Κίνα (Henan)	2003	Όχι
Κίνα (Hubei)	Όχι	Όχι
Κόστα Ρίκα	1998	Όχι
Ινδία (Rajasthan)	1996	Δεν έχει ολοκληρωθεί
Ινδία (NHAI)	1997	Σύστημα υπό ανάπτυξη
Ινδονησία	1990	Σύστημα σε πρώιμο στάδιο
Μοζαμβίκη	1997	Όχι
Νέα Ζηλανδία (TNZ)	1998	Ναι
Νέα Ζηλανδία (PDC)	1998	Ναι
Παπούα Νέα Γουινέα	2004	Όχι
Τανζανία	2002	Όχι
Ουρουγουάη	1999	Όχι
USA (VTrans)	1995	Ναι

Ωστόσο, θεσπίζοντας έναν ισχυρό μηχανισμό παρακολούθησης (feedback) που προσδιορίζει τις περιοχές όπου οι προβλέψεις του μοντέλου διαφέρουν σημαντικά από τις εκτιμώμενες ανάγκες, βελτιώνεται η συνολική ακρίβεια και η καταλληλότητα των προβλέψεων. Η εμπειρία από τη Νέα Ζηλανδία έχει δείξει ότι βελτιώσεις που αφορούν την ποιότητα των δεδομένων καθώς και τοπικών προσαρμογών μπορεί να αυξήσει την

ακρίβεια του ποσοστού «hit-rate» άνω του 80 %. Ωστόσο, αυτό απαιτεί ένα πρόγραμμα συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας στην Υπηρεσία.

Η υιοθέτηση ενός ΣΔΟ απαιτεί μια σημαντική υποχρέωση από την Υπηρεσία. Αυτή η υποχρέωση πρέπει όχι μόνο να είναι για την αρχική εφαρμογή, με την κατάλληλη προσαρμογή, αλλά και στις ενδεχόμενες διορθώσεις, συχνά μέσω παρακολούθησης της ορθής λειτουργίας.

7.3.6 Εφαρμογή του Προγραμματισμού Έργων ΣΔΟ

Ένδειξη του ρόλου που διαδραματίζουν τα ΣΔΟ στην Υπηρεσία είναι ο βαθμός στον οποίο υλοποιούνται στην πράξη οι προγραμματισμοί έργων του ΣΔΟ. Εξαιτίας του προϋπολογισμού, τεχνικών και λογιστικών παραγόντων, ακόμη και αν ο προβλεπόμενος προγραμματισμός έργων ήταν 100 % ακριβής, ποτέ δεν εφαρμόζεται το 100 %. Ωστόσο, όταν το ΣΔΟ αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού, και δίνει λογικές προβλέψεις, στη συνέχεια ένα σημαντικό τμήμα του προβλεπόμενου προγραμματισμού τίθεται σε εφαρμογή.

Οι περισσότεροι οργανισμοί είναι σε θέση να παράσχουν εκτιμήσεις σχετικά με τα ποσοστά εκτέλεσης, ωστόσο σε πολύ λίγες Υπηρεσίες παρακολουθείται η εφαρμογή στην πράξη του προγράμματος ενός ΣΔΟ. Μερικά (ιδανικά) συστήματα παρακολούθησης έργου είναι προσανατολισμένα προς αυτήν την κατεύθυνση. Ορισμένες από τις απαντήσεις σχετικής έρευνας παρατίθενται πιο κάτω:

- Αφρική: «Η πρόθεση ήταν το HDM-4 να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του ετήσιου προγραμματισμού έργων. Ωστόσο αυτό ποτέ δεν έγινε και τα υπολογιστικά μοντέλα δεν εφαρμόζονται συστηματικά σήμερα. Έγιναν ορισμένες εκτιμήσεις σύμφωνα με τη μεθοδολογία HDM-4, αλλά δεν υπάρχει κανένα αποδεικτικό στοιχείο ότι αυτές οι εκτιμήσεις έχουν χρησιμοποιηθεί στον προγραμματισμό. Ορισμένες Υπηρεσίες εφαρμόζουν πολυκριτηριακή ανάλυση, αλλά δεν υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των περιφερειών»
- Αφρική: «Ασκείται ορισμένη κοινωνικο/πολιτική ανάλυση/επιτροπή, ωστόσο δεν υπάρχει τεκμηριωμένη διαδικασία»
- Αμερική: «Φαίνεται να υπάρχει πρόβλημα επικοινωνίας μεταξύ του οργανισμού σχεδιασμού και του οργανισμού εκτέλεσης. Οι πολιτικές και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται σε ασκήσεις προγραμματισμού είναι σε πολλές περιπτώσεις διαφορετικές από εκείνες που χρησιμοποιούνται από τον οργανισμό εκτέλεσης για την επιλογή και τους στόχους των έργων»
- Αμερική: «Εκτιμάται ότι 70-80 % από τις εργασίες συντήρησης που προβλέπει το ΣΔΟ εκτελούνται στην πραγματικότητα, παρόλο που αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός παρακολούθησης από τα συστήματα ΣΔΟ ο οποίος να καταγράφει συστηματικά τα σχετικά στοιχεία»
- Ασία: «Δεν υπάρχει τρόπος να γνωρίζει κανείς εάν το σχέδιο που προέρχεται από το ΣΔΟ υλοποιείται στην πραγματικότητα ή όχι, κυρίως επειδή υπεισέρχονται τόσο πολλοί εξωτερικοί παράγοντες, αλλά επίσης επειδή το

ΣΔΟ δεν διατηρεί ένα αντίγραφο του σχεδιασμού, αντίθετα αυτό αντικαθίσταται από τον σχεδιασμό του επόμενου έτους»

Είναι σαφές από την ανασκόπηση, ότι τα περισσότερα ΣΔΟ θα επωφεληθούν έχοντας έναν μηχανισμό για την παρακολούθηση του βαθμού εφαρμογής του προγραμματισμού.

7.3.7 Διαδικασίες – Παράγοντες κλειδιά επιτυχίας

Με βάση τα στοιχεία από τις μελέτες περίπτωσης, η εφαρμογή ενός ΣΔΟ από μόνη της δεν θεωρείται ότι επηρεάζει θετικά την χρηματοδότηση για τη συντήρηση των οδικών υποδομών. Ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται ΣΔΟ και αυξάνεται ο συνολικός προϋπολογισμός, ο προϋπολογισμός συχνά στοχεύει σε μεγαλύτερο βαθμό στην ανάπτυξη του δικτύου αντί στη συντήρηση της υποδομής.

Μέρος της δέσμευσης για ένα βιώσιμο ΣΔΟ περιλαμβάνει την εξασφάλιση ικανοποιητικών κονδυλίων για τη λειτουργία του συστήματος, την επικαιροποίηση του λογισμικού και του εξοπλισμού και τη συλλογή των δεδομένων. Η αξιόπιστη και ικανοποιητική χρηματοδότηση των δραστηριοτήτων του ΣΔΟ είναι ένας βασικός παράγοντας επιτυχίας.

Οι σημαντικοί παράγοντες επιτυχούς εφαρμογής ενός ΣΔΟ έχουν ως ακολούθως:

- Χρηματοδότηση: Διαθεσιμότητα ετήσιων προϋπολογισμών σε ισχύ για τη συλλογή δεδομένων και τη λειτουργία του ΣΔΟ. Ακόμα κι αν αυτό απαιτεί αρχικά την υποστήριξη χρηματοδότησης από χορηγούς, πρέπει να υπάρξει μια συγχρονισμένη αύξηση στον προϋπολογισμό συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος που να εξασφαλίζει ότι το ΣΔΟ αυτοχρηματοδοτείται μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο.
- Η χρησιμοποίηση ενός ΣΔΟ από μόνη της δεν αποτελεί εγγύηση ότι θα είναι η εφαρμογή του θα είναι επιτυχής. Η Υπηρεσία πρέπει επίσης να ακολουθήσει τις βασικές αρχές διαχείρισης ενεργητικού. Η ισχυρή συμμετοχή των υπαλλήλων και των διευθυντών πριν και κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του συστήματος είναι απολύτως απαραίτητη.
- Σαφής και συγκεκριμένος σχεδιασμός και κύκλος προγραμματισμού / οργανογράμματος που αναπτύσσεται μέσα σε σαφείς προθεσμίες και συσχετισμός μεταξύ των κύριων ζητούμενων.
- Οι ετήσιες εκθέσεις/τα επιχειρηματικά σχέδια πρέπει να συντάσσονται ανελλιπώς ενσωματώνοντας βασικούς δείκτες απόδοσης που προσδιορίζονται από το ΣΔΟ. Αυτό αποτελεί διευθυντική ευθύνη. Βοηθά επίσης να εστιαστεί η προσοχή στο ίδιο το ΣΔΟ, δεδομένου ότι έτσι αυξάνουν οι πιθανότητες της διαθεσιμότητας του προϋπολογισμού και των κεφαλαίων για τη λειτουργία του συστήματος.
- Υποστήριξη που υλοποιείται από εξειδικευμένα στελέχη που ασχολούνται αποκλειστικά με διαχείριση ενεργητικού / συντήρηση υποδομών.

- Τακτικές ενημερώσεις στους αρμόδιους υπουργούς και σε άλλους υψηλούς κυβερνητικούς υπαλλήλους επάνω στη σημασία της συντήρησης των υποδομών και τις δράσεις που υλοποιούνται ώστε να είναι βέβαιο ότι η συντήρηση της οδικής υποδομής γίνεται ικανοποιητικά.
- Συγκεκριμένοι και ρεαλιστικοί βασικοί δείκτες απόδοσης και στόχοι για την αποτίμηση την αξίας των υποδομών και για τη συντήρηση/ενίσχυση της αξίας τους. Έλεγχος των στόχων και αξιολόγηση στο τέλος κάθε έτους εάν έχουν επιτευχθεί ή όχι και ανάλογα εκκίνηση κατάλληλης διορθωτικής ενέργειας. Με την έκδοση αυτών των πληροφοριών στις ετήσιες εκθέσεις, ενισχύεται το αίσθημα υπευθυνότητας του προσωπικού της Υπηρεσίας.
- Πολιτικές και τις διαδικασίες για τη συλλογή δεδομένων και την εξασφάλιση ποιότητας των δεδομένων αυτών.
- Τεχνικός (εσωτερικός ή/και εξωτερικός) έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται στα στοιχεία και τα συστήματα με αποτέλεσμα τις ανάλογες συστάσεις.
- Ένα πρόγραμμα συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας είναι επίσης κρίσιμο. Κανένα σύστημα δεν είναι στατικό. Όλα τα συστήματα μπορούν να βελτιωθούν.

7.4 Άνθρωποι

7.4.1 Συστηματοποίηση

Θέματα που είναι σημαντικά στη συστηματοποίηση ενός ΣΔΟ είναι εκείνα που είναι σημαντικά για κάθε σύστημα διαχείρισης. Πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Δημιουργία μιας οργανωτικής μονάδας με ειδική αρμοδιότητα για το σύστημα
- Καθορισμός ενός προϋπολογισμού για τη λειτουργία όλου του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων του προσωπικού, του εξοπλισμού, της συλλογής δεδομένων, των μετακινήσεων κ.λπ.
- Παρουσία κατάλληλα ειδικευμένου προσωπικού, με δεξιότητες διαχείρισης, με άμεση πρόσβαση και έλεγχο του προϋπολογισμού τους
- Συγκεκριμένες και λεπτομερείς ευθύνες για όλες τις πτυχές του συστήματος
- Πρόγραμμα για τη συνεχή ποιοτική βελτίωση
- Συγκεκριμένη διαχείριση ετήσιων εκθέσεων
- Τακτική ελέγχου όλων των στοιχείων του ΣΔΟ και λήψη διορθωτικών μέτρων, εφόσον είναι αναγκαίο.

Αυτό που προκύπτει από την έρευνα είναι ότι πολύ λίγοι από τους Οργανισμούς των αναπτυσσόμενων χωρών μπορεί πραγματικά να λεχθεί ότι έχουν «συστηματοποιήσει» τα ΣΔΟ τους σε βαθμό στον οποίο μπορούν να θεωρηθούν επιτυχή, και πάνω από όλα, σταθερά. Η Νέα Ζηλανδία και οι ΗΠΑ διαθέτουν ΣΔΟ συστηματοποιημένα και επαρκώς υποστηριζόμενα.

Προς επίρρωση των παραπάνω, από σχετικές έρευνες βρέθηκαν τα εξής:

- 12 Οργανισμοί από τους 21 δεν ήταν σε θέση να παρέχουν αντίγραφα των περιγραφών αρμοδιοτήτων για το προσωπικό τους, στη μονάδα που είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του ΣΔΟ.
- 10 Οργανισμοί από τους 21 αναφέρεται ότι δεν είχαν επίσημες διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας δεδομένων.
- 12 Οργανισμοί από τους 21 δήλωσαν ότι δεν κάνουν καμία επίσημη ανάλυση «hit-rate» (που υποδεικνύει μια έλλειψη ελέγχου των αποτελεσμάτων και, επομένως, την έλλειψη προσπάθειας με στόχο τη συνεχή βελτίωση).

Άλλα παραδείγματα που δεικνύουν έλλειψη συστηματοποίησης ήταν απαντήσεις όπως:

- Αφρική: Το προσωπικό ανέφερε ότι ένας από τους παράγοντες που συνεισφέρουν στην έλλειψη συστηματοποίησης ήταν «διφορούμενη περιγραφή καθηκόντων με επικαλύψεις εργασιών... δηλαδή δεν κατέστη σαφές ποιός κάνει τι».
- Αφρική: «Ο τομέας διαχείρισης οδοστρωμάτων (που είναι υπεύθυνος για το ΣΔΟ) αποτελείται από πέντε θέσεις, οι οποίες ήταν όλες κενές κατά τη στιγμή της έρευνας» (Μποτσουάνα, Τμήμα Οδών).
- Αμερική: «Είχαν εκπαιδευτεί περίπου δέκα υπάλληλοι και σχεδόν όλοι έχουν εγκαταλείψει την ομάδα» (Αργεντινή, Σάντα Φε).
- Ασία: «Η ενημέρωση του μητρώου δεν ολοκληρώθηκε ..., επειδή το πρόσωπο που είναι υπεύθυνο έχει πενταετή άδεια».

Μία από τις πιο θετικές περιπτώσεις προέρχεται από τη Χιλή, η οποία είναι στη διαδικασία της απόκτησης πιστοποίησης ISO για τη διαχείριση της ποιότητας του ΣΔΟ, συμπεριλαμβανομένης της συλλογής δεδομένων.

Στο Μπανγκλαντές ενθαρρύνονται οι εργαζόμενοι να παρακολουθήσουν σπουδές υψηλότερου επιπέδου. Πολλοί υπάλληλοι έχουν αποκτήσει υψηλά προσόντα (Masters) στα αντίστοιχα θέματα.

7.4.2 Εκπαίδευση

Το τμήμα της κατάρτισης σχεδίων εφαρμογής ενός ΣΔΟ, θα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον:

- Ρόλοι και αρμοδιότητες
- Πολιτικές συλλογής δεδομένων και διαδικασίες
- Δεδομένα επιπέδου δικτύου έναντι δεδομένων επίπεδου οδού
- Ακρίβεια στα δεδομένα
- Διασφάλιση ποιότητας δεδομένων
- Λειτουργία του συστήματος
- Εκθέσεις αναφοράς
- Έλεγχος

7.4.3 Συνεχής βελτίωση ποιότητας

Η διαχείριση ποιότητας είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία οποιασδήποτε επιχείρησης. Η συνεχής βελτίωση της απόδοσης της εταιρείας θα πρέπει να αποτελεί μόνιμο στόχο της οργάνωσης (ISO, 2000).

Αυτό που παρατηρείται από πολλές μελέτες περίπτωσης είναι ότι οι οργανισμοί που εφαρμόζουν επιτυχώς ΣΔΟ για πολλά χρόνια, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, λειτουργούν προγράμματα συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας. Αυτό ήταν εμφανές σε πολλούς τομείς όπως η ετήσια έκθεση, η συλλογή δεδομένων, η κατάρτιση κ.λπ.

Το βασικό ζήτημα είναι ότι δεν υπάρχει σύστημα το οποίο είναι στατικό. Απαιτείται συνεχής προσπάθεια για βελτίωση ανά πάσα στιγμή. Αυτό απαιτεί καθοδήγηση και συνεχής προσπάθεια από το αρμόδιο προσωπικό.

7.5 Συλλογή δεδομένων

7.5.1 Εισαγωγή

Τα δεδομένα (μητρώο οδού, κατάσταση, κυκλοφορία, περιβαλλοντικά και οικονομικά) είναι ζωτικής σημασίας στην επιτυχία οποιουδήποτε ΣΔΟ. Χωρίς ικανοποιητικά δεδομένα, δεν είναι δυνατό να γίνουν οι κατάλληλες αναλύσεις ή να ελεγχθεί το οδικό δίκτυο. Τα προβλήματα των δεδομένων είναι μια από τις κύριες αιτίες της αποτυχίας ενός ΣΔΟ.

Κάθε δεδομένο απαιτεί χρόνο, προσπάθεια και χρήματα για τη συλλογή, την αποθήκευση, την ανάκτηση και τη χρήση. Ο πρώτος κανόνας της συλλογής δεδομένων είναι ότι αυτά δεν πρέπει να συλλέγονται επειδή υπάρχει απλώς το ενδεχόμενο να είναι χρήσιμα κάποια μέρα. Είναι ανάγκη να συλλέγονται μόνο αυτά που απαιτούνται καθώς και στο ζητούμενο επίπεδο ποιότητας.

Αυτό που είναι προφανές από τις μελέτες περίπτωσης είναι ότι εκείνες οι Υπηρεσίες που χρησιμοποιούν ΣΔΟ και διαθέτουν τα περισσότερο επιτυχώς εφαρμοσμένα ΣΔΟ, έχουν όλες τις σαφείς πολιτικές και διαδικασίες για τη συλλογή δεδομένων και μια διοικητική δομή προσανατολισμένη στην εφαρμογή τους.

Η αποτυχία ενός ΣΔΟ λόγω της συλλογής δεδομένων δεν είναι αποτυχία που οφείλεται στην ίδια τη συλλογή δεδομένων, αλλά μια αποτυχία να συστηματοποιηθεί κατάλληλα η συλλογή δεδομένων. Συγκεκριμένα:

- Δεν υπάρχει συνήθως καμία σαφής πολιτική συλλογής δεδομένων
- Η συλλογή δεδομένων δεν αντιστοιχίζεται στους απαραίτητους προϋπολογισμούς
- Το προσωπικό δεν εκπαιδεύεται ή ελέγχεται κατάλληλα
- Οι διαδικασίες εξασφάλισης ποιότητας απουσιάζουν ή είναι ανεπαρκείς

- Δεν υπάρχει καμία στρατηγική αντικατάστασης για τον ειδικό εξοπλισμό ή τα οχήματα

7.5.2 Πολιτική συλλογής δεδομένων

Οι πολιτικές για τη συλλογή δεδομένων πρέπει να περιγράφουν τον τύπο στοιχείων που συλλέγεται, τη συχνότητα συλλογής και το επίπεδο λεπτομέρειας. Πρέπει επίσης να περιγράφεται η διαδικασία συλλογής. Οι πολιτικές αυτές δίνουν στις Υπηρεσίες σαφή καθοδήγηση σχετικά με τα καθήκοντα και τις ευθύνες τους και χρησιμεύουν επίσης στην επικοινωνία μεταξύ των υπηρεσιών για τη διανομή των στοιχείων.

7.5.2.1 Τύποι δεδομένων, συχνότητα επικαιροποίησης και επίπεδο ποιότητας

Οι βασικοί τύποι στοιχείων που συλλέγονται από τις αρμόδιες Υπηρεσίες είναι:

- Στοιχεία μητρώου οδού: Αυτά συλλέγονται χαρακτηριστικά ασκούν μόλις-μακριά. Επικαιροποιούνται σε κάθε εργασία συντήρησης ή αναβάθμισης της οδού. Επίσης το σύνηθες είναι έλεγχος και ενημέρωση των στοιχείων κάθε πέντε έτη περίπου. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει βιντεοσκόπηση.
- Στοιχεία κατάστασης οδοστρώματος: Μπορούν να συλλέγονται σε διαφορετικές συχνότητες, ανάλογα με την κατηγορία της οδού. Κύριες οδοί και σημαντικές εθνικές οδοί μπορούν να ελέγχονται σε συχνότερα διαστήματα (1-2 έτη), ενώ οι δευτερεύοντες οδοί μπορούν να ελέγχονται σε διαστήματα 2 - 5 ετών. Η συχνότητα πρέπει να είναι επαρκής για τον προσδιορισμό σημαντικών αλλαγών που θα επηρεάσουν τις αποφάσεις συντήρησης.
- Στοιχεία κυκλοφορίας: Τα στοιχεία κυκλοφορίας συλλέγονται συνήθως μέσω ενός συνόλου μόνιμων σταθμών μέτρησης κυκλοφορίας. Τα στοιχεία συλλέγονται συνήθως σε έναν σχετικά μικρό αριθμό αντιπροσωπευτικών στατικών θέσεων σε όλο το οδικό δίκτυο.
- Στοιχεία χάραξης: Στοιχεία συντεταγμένων όσον αφορά το ίδιο το οδικό δίκτυο ή/και θέσεις για τους δείκτες αναφοράς θέσης (π.χ. χιλιομετρικές θέσεις) και υποδομές.

Οι περισσότερες Υπηρεσίες συλλέγουν όλους τους ανωτέρω τύπους στοιχείων σε έναν βαθμό. Ένα σοβαρό πρόβλημα, εντούτοις, σε πολλές από τις Υπηρεσίες είναι δεν υπάρχουν σαφείς πολιτικές και διαδικασίες για την ενημέρωση των στοιχείων. Κατά συνέπεια, οι Υπηρεσίες λαμβάνουν αποφάσεις βάσει σχετικά παλαιών ή ελλιπών στοιχείων.

Πολλές Υπηρεσίες δεν ενημερώνουν την βάση δεδομένων τους σε κανονική βάση έτσι ώστε ακόμη και τα στοιχεία για τις βασικές υποδομές (που είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της διαχείρισης ενεργητικού) σε μερικές περιπτώσεις να είναι ξεπερασμένα. Η απώλεια εμπιστοσύνης στα στοιχεία οδηγεί στην απώλεια εμπιστοσύνης στο ΣΔΟ και μπορεί εύκολα να προκαλέσει την αποτυχία της εφαρμογής ενός ΣΔΟ.

7.5.2.2 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Από την άποψη της διαδικασίας με την οποία τα στοιχεία συλλέγονται, υπάρχουν ουσιαστικά δύο επιλογές τις οποίες μια Υπηρεσία μπορεί να εφαρμόσει. Η πρώτη είναι να συλλεχθούν τα στοιχεία με το προσωπικό της και η δεύτερη η συλλογή να γίνει από εξωτερικό συνεργάτη. Η επιλογή εξαρτάται από την Υπηρεσία και τη δυνατότητά της να αγοράσει, να ενεργοποιήσει και να διατηρήσει τον απαιτούμενο εξειδικευμένο εξοπλισμό.

Ο εξειδικευμένος εξοπλισμός χρησιμοποιείται στη συλλογή στοιχείων όπως η μακροϋφή, οι φθορές, η αντίσταση ολίσθησης και η δομή του οδοστρώματος. Οι δυσκολίες στη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού συνίστανται στα παρακάτω:

- Το κόστος του εξειδικευμένου εξοπλισμού είναι υψηλό
- Η Υπηρεσία έχει δυσκολίες στη χρηματοδότηση, την απόκτηση και τη συντήρηση του εξοπλισμού
- Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό με υψηλό βαθμό δεξιοτήτων και κατάρτισης

7.5.3 Διασφάλιση ποιότητας δεδομένων

Οι Υπηρεσίες πρέπει να έχουν τις διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας (ΔΔΠ) για τα δεδομένα. Οι ΔΔΠ πρέπει να είναι σύμφωνες με τις πολιτικές συλλογής δεδομένων της Υπηρεσίας, ειδικά όσον αφορά το ποιοτικό επίπεδο πληροφοριών (συμπεριλαμβανομένης της ακρίβειας και της συχνότητας της συλλογής δεδομένων).

Δεν είναι ασφαλές να θεωρείται ότι ο ανάδοχος συλλογής δεδομένων θα παράσχει στοιχεία καλής ποιότητας. Υπάρχει ενδεχόμενο λαθών στη γενική διαδικασία συλλογής δεδομένων, ακόμα και όσον αφορά στον αυτοματοποιημένο εξοπλισμό συλλογής δεδομένων. Ο εξοπλισμός εξελίσσεται ή αναβαθμίζεται συνέχεια και με κάθε νέα αναβάθμιση ακολουθεί ένα νέο σύνολο προβλημάτων. Επίσης, συχνά πρόβλημα αποτελεί το νέο ή άπειρο προσωπικό των αναδόχων.

Όπως περιγράφεται από τον Bennett (2000), τα λάθη προκύπτουν λόγω:

- Τυχαία λάθη μέτρησης: Εάν οι μετρήσεις δεν είναι επαναλαμβανόμενες αυτό είναι σύνηθες.
- Συστηματικά λάθη μέτρησης: Αυτοί προκύπτουν λόγω δυσλειτουργίας των οργάνων ή ακατάλληλης βαθμονόμησης (calibration).
- Λάθη χειριστών: Αυτά είναι τα πιο κοινά. Παραδείγματος χάριν, σε όλους τους τύπους ερευνών είναι πολύ εύκολο να συλλεχθούν ή να αποθηκευτούν τα στοιχεία στη λανθασμένη κατεύθυνση ή/και να αποτύχουν οι χειριστές να διενεργήσουν τους απαραίτητους καθημερινούς ελέγχους τηρώντας τις απαιτούμενες προδιαγραφές του εξοπλισμού και των οχημάτων όπως η πίεση των ελαστικών ή η βαθμονόμηση των οδομέτρων.

Συχνά ένας ανάδοχος χρησιμοποιεί υπαλλήλους γραφείου για να παγιώσει και να ξεκαθαρίσει τα στοιχεία πριν από την υποβολή τους στην Υπηρεσία. Η έλλειψη εμπειρίας του προσωπικού και η έλλειψη επίβλεψης, μπορεί επίσης να οδηγήσει σε λάθη.

Ακόμη και οι Υπηρεσίες που έχουν αναθέσει τη συλλογή δεδομένων για πολλά έτη χρησιμοποιώντας πεπειραμένους αναδόχους, εξετάζουν συνεχώς τρόπους για βελτίωση της ποιότητας των στοιχείων. Η Νέα Ζηλανδία, παραδείγματος χάριν, έχει εισάγει πρόσφατα ακριβέστερες ΔΔΠ, συμπεριλαμβανομένης της σύναψης πολυετών συμβάσεων συλλογής δεδομένων με τον ίδιο ανάδοχο έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη καταγραφή στοιχείων, δεδομένου ότι προηγούμενες αναλύσεις είχαν παρουσιάσει ανομοιογένεια στοιχείων μεταξύ διαφορετικών αναδόχων.

Ο Πίνακας 7.4 παρουσιάζει την έκταση των ΔΔΠ στοιχείων σε διάφορες Υπηρεσίες. Μόνο 50% των Υπηρεσιών εφαρμόζουν οποιεσδήποτε επίσημες διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας στα στοιχεία τους ή τα συστήματά τους. Πρέπει επομένως να υπάρχει προβληματισμός σχετικά με την ποιότητα των στοιχείων τους.

Πίνακας 7.4: Διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας δεδομένων

Υπηρεσία	Διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας δεδομένων
Αργεντινή (Σάντα Φε)	Όχι
Μπανγκλαντές	Επίσημες οδηγίες/Εγχειρίδιο
Μποτσουάνα	Όχι
Μπουρκίνα Φάσο	Όχι
Καμερούν	Όχι
Χιλή	Ναι (αιτείται πιστοποίηση ISO)
Κίνα (Fujian)	Μερικές επίσημες οδηγίες
Κίνα (Henan)	Μερικές επίσημες οδηγίες
Κινά (Hubei)	Μερικές επίσημες οδηγίες
Κόστα Ρίκα	Όχι
Ινδία (NHAI)	Μερικές επίσημες οδηγίες
Ινδία (Kerala)	Όχι
Ινδία (Rajasthan)	Όχι
Ινδονησία	Όχι
Μοζαμβίκη	Όχι
Νέα Ζηλανδία (TNZ)	Ναι
Νέα Ζηλανδία (PDC)	Ναι
Παπούα Νέα Γουινέα	Ναι
Τανζανία	Ναι
Ουρουγουάη	Όχι
ΗΠΑ (VTrans)	Ναι

Η Υπηρεσία της Χιλής αναφέρει ότι η ικανοποίηση από τα στοιχεία της είναι «επαρκώς καλή». Έχει υπάρξει σημαντική βελτίωση αλλά υπάρχουν πολλά πράγματα που πρέπει ακόμα να βελτιωθούν, ειδικά στην επικαιρότητα της υποβολής πληροφοριών. Οι προσπάθειες βελτίωσης της ποιότητας περιλαμβάνουν: νέα εγχειρίδια συλλογής δεδομένων, πιστοποίηση κατά ISO, συνυπολογισμός των ποιοτικών στόχων και των επιδομάτων παραγωγικότητας για το προσωπικό συλλογής δεδομένων.

7.5.6 Συλλογή δεδομένων – Παράγοντες κλειδιά επιτυχίας

- Ο εξοπλισμός και οι προσεγγίσεις συλλογής δεδομένων πρέπει να προσαρμοστούν στις δυνατότητες της οδικής αντιπροσωπείας.
- Μόνο τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για χρήση στη λήψη αποφάσεων πρέπει να συλλεχθούν και να αποθηκευτούν στο ΣΔΟ.
- Τα στοιχεία πρέπει να συλλεχθούν στο κατώτερο επίπεδο λεπτομέρειας με την πιο κατάλληλη τεχνολογία συλλογής στοιχείων δεδομένου των περιορισμών και των δυνατοτήτων της Υπηρεσίας.
- Οι πολιτικές και οι διαδικασίες συλλογής δεδομένων πρέπει να τυποποιηθούν και πρέπει να είναι εύκολα διαθέσιμες.
- Εάν η αντιπροσωπεία έχει αμφιβολίες για τη λειτουργία και τη συντήρηση του εξοπλισμού, κατόπιν πρέπει εκτιμηθεί εάν είναι καλύτερη η ανάθεση σε εξωτερικό συνεργάτη.
- Οι αναθέσεις απαιτούν την διασφάλιση διαχείρισης και ποιότητας του αναδόχου. Πρέπει επίσης να υπάρξουν οικονομικές ρήτρες στη σύμβαση σε περίπτωση που ο ανάδοχος αποτυγχάνει να παρέχει τα ποιοτικά στοιχεία κατά τρόπο έγκαιρο.
- Οι ακριβείς διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας στοιχείων πρέπει να υιοθετηθούν έτσι ώστε όλοι να έχουν την εμπιστοσύνη στα στοιχεία και τις αναλύσεις που διενεργούνται.
- Η συνεχής βελτίωση είναι απαραίτητη σε όλες τις πτυχές της συλλογής δεδομένων, της διασφάλισης ποιότητας και της διαχείρισης δεδομένων.

7.6 Συμπεράσματα

Αυτό που καθιστά ένα ΣΔΟ επιτυχές είναι τρεις παράγοντες: διαδικασίες, άνθρωποι και τεχνολογία (προϋποθέτοντας ικανοποιητικά κονδύλια). Σε περίπτωση οποιοσδήποτε από αυτούς αποτυγχάνει, τότε το ΣΔΟ δεν εφαρμόζεται ορθά. Ένα ΣΔΟ πρέπει επίσης να έχει τα κατάλληλα και αξιόπιστα στοιχεία.

Ζητήθηκε από τις Υπηρεσίες να εκτιμήσουν τη γενική ικανοποίησή τους με το ΣΔΟ τους σε μια κλίμακα από 1 έως 10, με το 1 να σημαίνει «απολύτως αταίριαστο στις ανάγκες» και το 10 να σημαίνει «εκπληρώνει όλες τις τρέχουσες και προβλεπόμενες μελλοντικές ανάγκες». Αυτή η ερώτηση αφορούσε όχι απλά στο ίδιο το λογισμικό, αλλά και πολλούς άλλους παράγοντες συμπεριλαμβανομένου της γενικής διαδικασίας σχεδιασμού και προγραμματισμού της Υπηρεσίας, της δυνατότητας χρησιμοποίησης του συστήματος, της υποστήριξης από τον προμηθευτή λογισμικού (ενδεχομένως), της υποστήριξης εξοπλισμού κ.λπ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.5: Συνολική ικανοποίηση από το ΣΔΟ

Υπηρεσία	Συνολική ικανοποίηση ¹
Αργεντινή (Σάντα Φε)	7,5
Μπανγκλαντές	6
Μποτσουάνα	7,4
Μπουρκίνα Φάσο	8,5
Καμερούν	6
Χιλή	7
Κίνα (Fujian)	(δεν χρησιμοποιείται)
Κίνα (Henan)	(δεν χρησιμοποιείται)
Κινά (Hubei)	(δεν χρησιμοποιείται)
Κόστα Ρίκα	5
Ινδία (NHAI)	(υπό ανάπτυξη)
Ινδία (Kerala)	(υπό ανάπτυξη)
Ινδία (Rajasthan)	(δεν χρησιμοποιείται)
Ινδονησία	6
Μοζαμβίκη	5,5
Νέα Ζηλανδία (TNZ)	8
Νέα Ζηλανδία (PDC)	8
Παπούα Νέα Γουινέα	5
Τανζανία	6,7
Ουρουγουάη	8
ΗΠΑ (VTrans)	9,9

Σημείωση: 1/ Γενική ικανοποίηση από το σύστημα - σε μια κλίμακα από το 1 (απολύτως αταίριαστο στις ανάγκες) έως το 10 (ικανοποιεί όλες τις τρέχουσες και προσδοκώμενες μελλοντικές απαιτήσεις)

Για εκείνες τις Υπηρεσίες που χρησιμοποιούν πραγματικά τα συστήματά τους, το μέσο αποτέλεσμα ήταν 7. Στις τέσσερις αντιπροσωπεύει που δεν χρησιμοποιούν ενεργά τα συστήματά τους το μέσο αποτέλεσμα μειώνεται σε 5,5.

7.7 Κατάσταση της οδού και αξιολόγησή της

Με τον όρο «κατάσταση της οδού», εννοείται η πραγματική δυνατότητα της οδού να ανταποκριθεί στις ανάγκες κυκλοφορίας και τις προτεραιότητες των οδηγών. Απεικονίζεται ουσιαστικά από την άποψη ενός εμπειρογνώμονα και ενός οδηγού για ένα οδικό δίκτυο. Εκτός από την παραδοσιακή αντίληψη για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, μια σύγχρονη προσέγγιση για την κατάσταση της οδού περιλαμβάνει και τον περιβαλλοντικό παράγοντα, δηλαδή την οικολογική προσαρμογή και την ηχορρύπανση. Η αξιολόγηση της οδού είναι το μέτρο της δυνατότητάς της να εξυπηρετεί τους χρήστες της. Η αξιολόγηση αυτή χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις ανεπάρκειες, τα επανορθωτικά μέτρα, τις οικονομικές ανάγκες και τον προγραμματισμό μελλοντικών ενεργειών.

7.8 Τρέχουσες πρακτική και ανάγκη για την αξιολόγηση της γενικής κατάστασης της οδού

Σήμερα, οι αρμόδιες υπηρεσίες που συμμετέχουν στη συντήρηση των οδών, διορίζουν το εξειδικευμένο προσωπικό τους για να εξετάσουν την πραγματική κατάσταση του οδικού δικτύου. Πειραμαμένοι μηχανικοί πραγματοποιούν οπτικές επιθεωρήσεις και εκθέτουν τα αποτελέσματα των παρατηρήσεών τους. Στην περίπτωση συστηματικής προσέγγισης της αξιολόγησης της κατάστασης μιας οδού, πραγματοποιούνται επιπλέον μετρήσεις από ειδικά οχήματα ελέγχου.

Στην Ελλάδα όπως και στις περισσότερες από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει έλλειψη μιας τράπεζας στοιχείων οδικής κατάστασης, η οποία θα περιλαμβάνει την παρούσα κατάσταση όλων των οδικών δικτύων. Εάν αυτή η τράπεζα στοιχείων υπήρχε, οι αρχές θα είχαν τη δυνατότητα να αξιολογήσουν τις τυχόν ανεπάρκειες και να καθορίσουν τις προτεραιότητες των εργασιών τους, να εξετάσουν τη σπουδαιότητα κάθε κατάστασης χωριστά. Θα ήταν σε θέση να επιλέξουν τη βελτίωση της οδικής υποδομής από την οπτική γωνία της ασφάλειας ή των περιβαλλοντικών παραγόντων κ.λπ., ανάλογα με την κυβερνητική πολιτική ή τις προτεραιότητες. Τέλος, θα κατείχαν ένα δυναμικό εργαλείο αξιολόγησης για τον μελλοντικό προγραμματισμό.

7.9 Δομή του προτεινόμενου μοντέλου

Προκειμένου να δημιουργηθεί μια αποδοτική και αντικειμενική μέθοδος, προτείνεται μια αξιολόγηση όλων των χαρακτηριστικών της οδού με βάση τέσσερα σημαντικά κριτήρια, τα οποία είναι: η ασφάλεια, η εξυπηρέτηση, η οικονομία και ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος. Σχετικοί συντελεστές βαρύτητας αντιστοιχίζονται σε κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Κάθε ένα από αυτά τα τέσσερα σημαντικά κριτήρια αποτελείται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που είναι συνιστώσες του τελικού κριτηρίου. Κάθε χαρακτηριστικό αντιστοιχίζεται σε έναν συντελεστή σχετικής βαρύτητας επίσης.

Μέσω μιας μαθηματικής μεθοδολογίας εκτίμησης, η γενική αξιολόγηση της κατάστασης παράγεται ως συνισταμένη όλων των εφαρμοσμένων χαρακτηριστικών, εισάγοντας ειδικούς συντελεστές βαρύτητας που διανέμονται στα χαρακτηριστικά μέσω μιας διαδικασίας που εμπεριέχει την υποκειμενική αξιολόγηση και τις μετρήσεις-επιθεωρήσεις (έλεγχος ή οπτική επιθεώρηση). Η υποκειμενική αξιολόγηση είναι βασισμένη στην κρίση ειδικών εμπειρογνομώνων. Τα αποτελέσματα διαμορφώνονται με ένα μαθηματικό μοντέλο ώστε να δοθεί ένα συνολικό αντίτιμο ίσο με 100 για κάθε κύριο κριτήριο και η μέση αξία είναι ο συντελεστής βαρύτητας κάθε χαρακτηριστικού. Επίσης, ο μέσος όρος του συντελεστή βαρύτητας κατηγορίας που δίνεται για καθένα εκ των κύριων τεσσάρων κριτηρίων, υποβάλλεται σε επεξεργασία έτσι ώστε το άθροισμα των μέγιστων βαθμολογιών των σημαντικότερων κριτηρίων να είναι ίσο με 100 (Πίνακας 7.6).

Το καθένα από αυτά τα 4 κριτήρια αντιστοιχεί σε μία μέγιστη βαθμολογία και το άθροισμα των επιμέρους 4 βαθμολογιών είναι η μέγιστη βαθμολογία ενός οδικού άξονα, η οποία ως υποθέσουμε ότι είναι ίση με 100.

Πίνακας 7.6: Συντελεστές βαρύτητας των βασικών κριτηρίων αξιολόγησης

A/A	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ
1	ΑΣΦΑΛΕΙΑ	40-50
2	ΑΝΕΣΗ	20-30
3	ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	10-20
4	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	10-20
ΣΥΝΟΛΟ		100

Τα 4 βασικά κριτήρια που προαναφέρθηκαν είναι οι συνισταμένες πολλών υποκριτηρίων το καθένα. Σε κάθε υποκριτήριο (Παράρτημα Β) αντιστοιχεί ένας συντελεστής βαρύτητας και ένας συντελεστής κατάστασης (από 0,0 έως 1,0). Το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών βαρύτητας με τους συντελεστές κατάστασης θα είναι ίσο με τη μέγιστη βαθμολογία του υποκριτηρίου μόνο όταν ο συντελεστής κατάστασης είναι ίσος με 1. Οι συντελεστές κατάστασης, απεικονίζουν την επάρκεια του κάθε υποκριτηρίου με μέγιστη τιμή ίση με 1 στην περίπτωση που έχουμε πλήρη επάρκεια του υποκριτηρίου. Η βαθμολογία επάρκειας δίδεται με βάση τον Πίνακα 7.7.

Πίνακας 7.7: Συντελεστές κατάστασης (επάρκεια) υποκριτηρίων αξιολόγησης

ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	
Ανεπάρκεια ή πλήρης έλλειψη χαρακτηριστικού	ΑΝΗΣΥΧΗΤΙΚΗ	0
Το χαρακτηριστικό σίγουρα δεν ανταποκρίνεται στον σκοπό για τον οποίο προορίζεται		0,2
Το χαρακτηριστικό βρίσκεται σε μη αποδεκτό επίπεδο και απαιτεί αναβάθμιση		0,4
Το χαρακτηριστικό δεν «εκθέτει» το βασικό κριτήριο αξιολόγησης στο οποίο ανήκει		0,6
Μικρές επεμβάσεις θα καταστήσουν το χαρακτηριστικό πλήρως επαρκές		0,8
Πλήρης επάρκεια χαρακτηριστικού με βάση τις προδιαγραφές	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ	1

Με αυτόν τον τρόπο το σύνολο των παραμέτρων που επηρεάζουν τη απρόσκοπτη και βιώσιμη λειτουργία ενός οδικού άξονα, θα απεικονίζουν τελικά τη βαθμολογία της οδού με μέγιστη ίση με 100.

Για να αξιολογηθεί η βαρύτητα που δίνουν οι Έλληνες ειδικοί σε κάθε κριτήριο και υποκριτήριο, έχουν συνταχθεί ειδικά ερωτηματολόγια, ώστε να καταθέσουν εκεί τις απόψεις τους ο καθένας με βάση την εμπειρία και την προσωπική κρίση. Τα ερωτηματολόγια απευθύνονται σε 10 Δ/ντές ΔΕΣΣΕ (Διευθύνσεις Ελέγχου Συντήρησης Έργων) και 10 Δ/ντές Τμ. Τροχαίας της ελληνικής επικράτειας δειγματοληπτικά. Τα ερωτήματα που τέθηκαν και τα χαρακτηριστικά – υποκριτήρια αξιολόγησης φαίνονται στο Παράρτημα Β.

Συμπληρωματικά, θα πρέπει να τεθούν κάποιες δικλείδες ασφαλείας για ορισμένα υποκριτήρια. Και αυτό γιατί όπως είναι ευνόητο, αν ένα σημαντικό υποκριτήριο είναι κάτω από ένα ελάχιστο όριο, τότε «μηδενίζεται» το σύνολο του κριτηρίου, αλλιώς η διαδικασία οδηγείται σε λάθος βαθμολογία και κατ' επέκταση λανθασμένη αξιολόγηση. Για παράδειγμα, σε μία οδό όπου η βαθμολογία των στηθαίων ασφαλείας, ως υποκριτήριο της ασφάλειας, είναι κάτω του 0,2, αυτό θα πρέπει να αποτελεί «κόκκινο» σημείο για το κριτήριο της ασφάλειας και να μηδενίζεται το σύνολο του κριτηρίου. Με αυτόν τον τρόπο υποδεικνύεται σημαντικό έλλειμμα ασφάλειας που χρήζει άμεσης επέμβασης και συνάμα μετατοπίζει το κέντρο της αξιολόγησης προς την κατεύθυνση αυτή.

Τέλος, αφού ο προσδιορισμός των συντελεστών βαρύτητας για κάθε κριτήριο και τα υποκριτήριά του έχει ολοκληρωθεί, διενεργούνται επιτόπου μετρήσεις και παρατηρήσεις της επάρκειας και της ποιότητας των οδικών χαρακτηριστικών (υποκριτηρίων). Το ποσοστό επάρκειας (από 0,0 έως 1,0), που πολλαπλασιάζεται με την αξιολόγηση της ποιότητας των χαρακτηριστικών που συστήνουν κάθε κύριο κριτήριο, παράγει έναν συγκεκριμένο βαθμό. Αυτό το ποσοστό επάρκειας, πολλαπλασιάζεται με τον βέλτιστο βαθμό που έχει καθοριστεί από τους εμπειρογνώμονες και έτσι δίνεται το τελικό αποτέλεσμα, χωριστά για κάθε κριτήριο. Το άθροισμα των αποτελεσμάτων είναι ο τελικός βαθμός της οδού.

Ένα σοβαρό πρόβλημα είναι η ποικιλομορφία της διαδικασίας ελέγχου ανάλογα με την οργάνωση συντήρησης και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Οι σαφείς και ακριβείς οδηγίες για τον τρόπο μέτρησης, αποκλείοντας τις προσωπικές εκτιμήσεις, εξασφαλίζουν την αξιοπιστία και την ακρίβεια των μετρήσεων. Έτσι, κάθε δεδομένο είναι ακριβές και μοναδικό, ακολουθώντας αυστηρές προδιαγραφές οπτικών επιθεωρήσεων. Για αυτόν τον σκοπό, πρέπει να καθορίζονται σαφώς οι προδιαγραφές σύμφωνα με τις οποίες θα αξιολογείται κάθε χαρακτηριστικό – υποκριτήριο. Προτείνονται διεθνώς αναγνωρισμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες οδηγίες – προδιαγραφές (π.χ. Εγχειρίδιο Ομοιομορφίας Συστημάτων Ελέγχου Κυκλοφορίας – MUTCD [Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways]) της Ομοσπονδιακής Διοίκησης Αυτοκινητοδρόμων (FHWA, 2003).

Το μοντέλο παρέχει τη σφαιρική-συνολική αξιολόγηση των οδών ή οδικών τμημάτων. Επιπρόσθετα δύναται να επισημάνει τις ανησυχητικές καταστάσεις λόγω υπερβολικού κινδύνου οφειλόμενου σε κάθε χαρακτηριστικό ξεχωριστά. Η πραγματική κατάσταση όλων των λειτουργικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών αξιολογείται, παρέχοντας μια πλήρη εικόνα της συνολικής πραγματικής κατάστασης. Κάθε παράμετρος αξιολογείται χωριστά, όντας επίσης μέρος του συνόλου των χαρακτηριστικών, αξιολογώντας την αλληλεπίδρασή της σε άλλα. Κάθε υποκριτήριο επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό περισσότερο από ένα κύρια κριτήρια. Επιπλέον, ορίζονται συγκεκριμένα «όρια ασφαλείας». Εάν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι κάτω από ένα ελάχιστο όριο, τότε το βασικό κριτήριο «μηδενίζεται» επισημαίνοντας τις κρίσιμες καταστάσεις, υποδεικνύοντας την άμεση επέμβαση.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι ότι κάποιο πολύ σημαντικό οδικό χαρακτηριστικό ενδέχεται να εξεταστεί όχι μόνο σε μία, αλλά σε δύο ή περισσότερες κύριες κατηγορίες αξιολόγησης (κύρια κριτήρια) λόγω της σημασίας και των πολλαπλών επιπτώσεών του. Κάθε τέτοιο χαρακτηριστικό μπορεί να αντιστοιχίζεται σε διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας ανάλογα με τη διαφορετική σημασία του για κάθε κύριο κριτήριο.

7.10 Εφαρμογή μοντέλου και συνολική αξιολόγηση

Η διαδικασία αποτίμησης αρχίζει με μια μέτρηση για κάθε χαρακτηριστικό. Αυτά μετρούνται με διάφορους τρόπους, με συσκευές παρακολούθησης ή μετρήσεων επί οχημάτων, επί τόπου οπτικές επιθεωρήσεις και σε περίπτωση που η οπτική επιθεώρηση είναι αδύνατη, με ηλεκτρονική καταγραφή (video log) (Σχήμα 7.7). Κάθε υποκριτήριο αντιστοιχεί σε μία βαθμολογία που κυμαίνεται από 0,0 έως 1,0 και δίδεται σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας αποτίμησης. Αυτό το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται έπειτα με τον αριθμό που αντιστοιχεί στον συντελεστή βαρύτητας αυτού του χαρακτηριστικού. Το άθροισμα αυτών των γινομένων πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή βαρύτητας (επί τοις εκατό) κάθε κατηγορίας (κύριο κριτήριο) που εξετάζεται. Επιπλέον, ορίζονται «όρια ασφαλείας» για ορισμένα υποκριτήρια. Εάν ένα σημαντικό υποκριτήριο βαθμολογείται κάτω από ένα ελάχιστο όριο, τότε το βασικό κριτήριο δεν πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν, διαφορετικά το μοντέλο οδηγεί σε λάθος βαθμολογία και εν τέλει σε λανθασμένη αξιολόγηση.



Σχήμα 7.7: Αποτίμηση των χαρακτηριστικών της οδού με διάφορους τρόπους

Το σύνολο των αποτελεσμάτων των τεσσάρων κύριων κριτηρίων είναι ο συνολικός βαθμός αξιολόγησης, ο οποίος απεικονίζει την τρέχουσα κατάσταση της οδού. Τελικά το μοντέλο οδηγεί σε μια αξιολόγηση της κατάστασης ανά κατηγορία (βασικό κριτήριο) και μια συνολική αξιολόγηση της κατάστασης της οδού.

Εφαρμόζοντας αυτό το σύστημα αξιολόγησης στο οδικό δίκτυο, καταρτίζεται τελικά μια βάση οδικών δεδομένων (χάρτης οδικής κατάστασης), αποτελούμενη από όλες τις οδούς της κάθε Περιφέρειας. Έτσι, υλοποιείται ένα εργαλείο που βοηθά τις Υπηρεσίες να αξιολογήσουν - συγκρίνουν όλες τις οδούς του δικτύου αρμοδιότητάς τους και να ορίσουν προτεραιότητες συντήρησης. Επίσης βοηθά στην επισήμανση καταστάσεων συναγερμού λόγω υπερβολικού κινδύνου που προκαλείται από κάποιο χαρακτηριστικό της οδού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πληροφόρηση των οδικών Υπηρεσιών για την πραγματική κατάσταση κάθε τμήματος του οδικού δικτύου και για την ίδρυση και επικαιροποίηση μιας αποδοτικής τράπεζας οδικών δεδομένων. Επιπλέον, το προτεινόμενο μοντέλο είναι χρήσιμο στην ταξινόμηση των οδών όσον αφορά την απόδοσή (performance) τους και στην αξιολόγηση των προτεραιοτήτων συντήρησης, στα πλαίσια μιας καινοτόμου διοικητικής πολιτικής οδικής συντήρησης.

Η εφαρμογή του μπορεί να αναθεωρείται κάθε 4-5 έτη ώστε τα δεδομένα να είναι κατάλληλα και ακριβή. Επιπλέον, ο συντελεστής βαρύτητας κάθε χαρακτηριστικού μπορεί να αναθεωρείται ανάλογα με τις αλλαγές στην οδική υποδομή, την ακρίβεια των συστημάτων ελέγχου και κυρίως σύμφωνα με το πιο πρόσφατο τεχνολογικό υπόβαθρο.

7.11 Σύγκριση με άλλα υφιστάμενα μοντέλα

Τα υφιστάμενα μοντέλα αξιολόγησης της οδικής κατάστασης είναι κυρίως βασισμένα στην αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος. Στις ΗΠΑ, υπάρχουν

Οργανισμοί που χρησιμοποιούν μοντέλα που εξετάζουν μερικά βασικά χαρακτηριστικά ασφάλειας και εξυπηρετικότητας, αλλά είναι περιορισμένα σε πολύ λίγα χαρακτηριστικά αξιολόγησης.

Από σχετικές συνεντεύξεις με τους κρατικούς ανώτερους υπαλλήλους υπεύθυνους για τον προγραμματισμό, εξήχθησαν διάφορα συμπεράσματα (Zegeer και Rizenbergs, 1979). Τα κράτη προσαρμόζουν τα συστήματα αξιολόγησής τους στις ιδιαίτερες ανάγκες τους (Mercier και Stoner, 1989). Πολλά κράτη δίνουν έμφαση στην κατάσταση του οδοστρώματος (Taqui, 1992). Συχνά δίνουν προτεραιότητα στο επαρχιακό και τοπικό δίκτυο, παρά στο δίκτυο σε εθνικό επίπεδο (Iowa Department of Transportation, 2001– Mercier και Stoner, 1989 – Najafi, 1989).

Μια μελέτη που δημοσιεύεται στο Transportation Research Record (TRB) επεξηγεί μερικά από αυτά τα θέματα και παρουσιάζει τα μέτρα που λαμβάνονται συνήθως για την ιεράρχηση του προγραμματισμού οδικών έργων. Αφορούσε τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε στο Gainesville της Πολιτείας Φλόριντα των ΗΠΑ (Zegeer και Rizenbergs, 1979).

Η Πολιτεία της Αϊόβα χρησιμοποιεί το Μητρώο Επάρκειας Πρωτεύοντος Δικτύου. Περιέχει μια λεπτομερή περιγραφή της μεθοδολογίας, με εξαίρεση το πώς καθορίζονται τα μήκη των τμημάτων των οδών. Η Αϊόβα ταξινομεί τα τμήματα των οδών της σε αγροτικά, δημοτικά, και προαστιακά. Αντίθετα με άλλα κράτη, χρησιμοποιεί μια ρύθμιση για να ελαττώσει τις βαθμολογίες των οδικών τμημάτων που είναι κάτω από τα καθορισμένα αποδεκτά επίπεδα. Δίνει μεγάλη έμφαση στους παράγοντες ασφάλειας, οι οποίοι μετρούνται με τα ακόλουθα στοιχεία: πλάτος επιφάνειας οδοστρώματος, τύπος και πλάτος ερείσματος, περιορισμοί μήκους ορατότητας και αριθμός ατυχημάτων. Δεν χρησιμοποιεί τα ατυχήματα για την αξιολόγηση της επάρκειας δημοτικών ή προαστιακών οδικών τμημάτων (Iowa Department of Transportation, 2001).

Το Highway Development and Management System (HDM-4) και το σουηδικό σύστημα είναι ακόμα υπό ανάπτυξη, το βρετανικό σύστημα χρησιμοποιείται μόνο στην Ινδία και τη Μαλαισία. Τα γαλλικά και φινλανδικά συστήματα είναι αρκετά περίπλοκα επειδή μερικές από τις ενότητες ανάλυσης απαιτούν υψηλή εμπειρία στη χρήση του συστήματος και μερικές φορές μοιάζουν με «μαύρα κουτιά». Οποσδήποτε όλα τα ανωτέρω συστήματα με την κατάλληλη χρήση δίνουν αξιόπιστα και υπεύθυνα δεδομένα, που παρόλα αυτά λαμβάνουν υπ' όψιν τους μόνο την κατάσταση του οδοστρώματος.

Ως εξαίρεση του κανόνα, το σύστημα αξιολόγησης εθνικών οδών της Πολιτείας του Κεντάκυ συνίσταται στην κατάσταση του οδοστρώματος, στην ασφάλεια και σε έναν δείκτη εξυπηρετικότητας. Εντούτοις, είναι πολύ απλό και περιλαμβάνει μόνο οκτώ δείκτες απόδοσης για οκτώ χαρακτηριστικά της οδού αντίστοιχα. Είναι βασισμένο στις ταξινομήσεις του Highway Information System (HIS) και εισάγει νέους συντελεστές βαρύτητας.

Τα κύρια αποτελέσματα του HDM-4 περιλαμβάνουν: Ετήσιες προβλέψεις της κατάστασης του οδοστρώματος, επιπτώσεις βελτίωσης οδών και συντήρησης οδοστρωμάτων, δαπάνες και οφέλη χρηστών, εκτιμήσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τυποποιημένους οικονομικούς δείκτες (NPV, EIRR, BCR κ.λπ.). Τα χαρακτηριστικά προγραμματιζόμενα έργα περιλαμβάνουν συντήρηση και αποκατάσταση οδοστρωμάτων, διαπλάτυνση ή βελτιώσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών, νέα κατασκευή κ.λπ.

Το Υπουργείο Μεταφορών της Μινεσότα (Minnesota Department of Transportation [Mn/DOT]) χρησιμοποιεί τρεις δείκτες για την αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος. Ένας δείκτης αντιπροσωπεύει την ομαλότητα, ένας τις φθορές και ένας την γενική κατάσταση του οδοστρώματος. Αυτοί οι δείκτες, που απαριθμούνται στον Πίνακα 7.8, χρησιμοποιούνται για να ποσοτικοποιήσουν την παρούσα κατάσταση του οδοστρώματος και να προβλέψουν τη μελλοντική κατάσταση, πληροφορίες οι οποίες απαιτούνται για τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό των έργων. Για κάθε δείκτη, η υψηλότερη τιμή σημαίνει ιδανική κατάσταση οδοστρώματος.

Πίνακας 7.8: Δείκτες κατάστασης οδοστρώματος του Mn/DOT

Ονομασία δείκτη	Χαρακτηριστικό οδοστρώματος	Βαθμολογική κλίμακα
Present Serviceability Rating (PSR)	Ομαλότητα (roughness)	0,0 – 5,0
Surface Rating (SR)	Φθορές (distress)	0,0 – 4,0
Pavement Quality Index (PQI)	Συνολική ποιότητα οδοστρώματος	0,0 – 4,5

Το προτεινόμενο μοντέλο έχει μια απολύτως διαφορετική οπτική. Αν και το μοντέλο αξιολογεί τη γενική κατάσταση της οδού με την βαθμολόγηση των περισσότερων από τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού και απόδοσης (performance), εξετάζει επίσης την περιβαλλοντική προσαρμογή και τον οικονομικό αντίκτυπο, όχι με τον υπολογισμό της ποσότητας καυσίμων (HDM IV), αλλά με τη βαθμολόγηση όλων των χαρακτηριστικών, των κριτηρίων και της οδού συνολικά.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να δημιουργηθεί μια ακριβής και αναλυτική μέθοδος για την αξιολόγηση του οδικού όρου. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, το μοντέλο βασίζεται στην εξέταση του συνόλου των κριτηρίων που θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στην κατάσταση της οδού. Η δομή του είναι βασισμένη σε δύο εργαλεία αξιολόγησης. Το πρώτο συσχετίζεται με τις μετρήσεις (παρακολούθηση - οπτική επιθεώρηση - ηλεκτρονική καταγραφή) που πραγματοποιήθηκαν στην οδό και το δεύτερο με τις εκτιμήσεις που βασίζονται στην εμπειρία των υπαλλήλων των Οργανισμών και των Υπηρεσιών που είναι υπεύθυνες για τη συντήρηση.

7.12 Εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου

Ακολουθώντας την παραπάνω μεθοδολογία για κάθε υποκριτήριο, δίδεται ένας βαθμός κατάστασης (0,0 έως 1,0) σε καθένα από αυτά, βάσει σχετικής μέτρησης ή οπτικής

επιθεώρησης κάθε χαρακτηριστικού. Ο βαθμός αυτός πολλαπλασιάζεται με τον βέλτιστο βαθμό που έχει δοθεί σε καθένα χαρακτηριστικό από τους εμπειρογνώμονες βάσει της σπουδαιότητάς του. Το γινόμενο αυτό είναι ο τελικός βαθμός κάθε υποκριτηρίου και το άθροισμα αυτών των γινομένων επί τον βέλτιστο βαθμό του βασικού κριτηρίου επί τοις εκατό, παράγει τον τελικό βαθμό του βασικού κριτηρίου. Τέλος, το άθροισμα των τελικών βαθμών των κύριων τεσσάρων κριτηρίων αποτελεί τη συνολική βαθμολογία της υπό αξιολόγηση οδικής αρτηρίας.

Έτσι: $OCR = C_s + C_c + C_e + C_n$

$$C_s = (S_1 + S_2 + \dots + S_s) * C_{s_{max}} / 100$$

$$C_c = (S_1 + S_2 + \dots + S_c) * C_{c_{max}} / 100$$

$$C_e = (S_1 + S_2 + \dots + S_e) * C_{e_{max}} / 100$$

$$C_n = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) * C_{n_{max}} / 100$$

όπου OCR (Overall Condition Rating) είναι ο συνολικός βαθμός κατάστασης της οδού, C_s είναι ο βαθμός ασφαλείας, C_c είναι ο βαθμός άνεσης, C_e είναι ο βαθμός οικονομίας, C_n είναι ο βαθμός περιβαλλοντικής προσαρμογής, S_s είναι ο βαθμός χαρακτηριστικού ασφαλείας, S_c ο βαθμός χαρακτηριστικού άνεσης, S_e είναι ο βαθμός χαρακτηριστικού οικονομίας, S_n είναι ο βαθμός χαρακτηριστικού περιβαλλοντικής προσαρμογής, και $s=1,2,\dots,m$, $c=1,2,\dots,o$, $e=1,2,\dots,p$, $n=1,2,\dots,q$ ο αριθμός των χαρακτηριστικών για κάθε κριτήριο αντίστοιχα.

Η βαθμολογία κάθε χαρακτηριστικού είναι:

$$S = S_1 * S_2,$$

όπου S_1 ο βαθμός κατάστασης που παράγεται από μέτρηση ή επιτόπου επιθεώρηση και μαθηματική αντιστοιχία σε κλίμακα από 0,0 μέχρι 1,0 και το S_2 η βέλτιστη βαθμολογία που είναι η τιμή που δίνεται από εμπειρογνώμονες.

7.13 Συμπεράσματα

Η εφαρμοσμένη μηχανική και η τεχνική κοινωνία χρειάζονται ένα συνολικό μοντέλο αξιολόγησης, το οποίο πρέπει να είναι ανοικτό, δυναμικό και αναθεωρήσιμο χωρίς σοβαρές αλλαγές στη δομή του. Πρέπει επίσης να είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί από μη εξειδικευμένο προσωπικό και να έχει σαφή εφαρμογή λαμβάνοντας υπ' όψιν ταυτόχρονα τις γνώμες των εμπειρογνομένων και συγκεκριμένες - τυποποιημένες οδηγίες μετρήσεων ή οπτικής επιθεώρησης.

Οι συγκεκριμένοι στόχοι αυτού του Κεφαλαίου είναι να διατυπωθεί μια αναλυτική μέθοδος για την αξιολόγηση της οδικής κατάστασης, έτσι ως όλες αρμόδιες Υπηρεσίες να καθιερώσουν μια τράπεζα δεδομένων οδικής κατάστασης (χάρτης οδικού δικτύου)

και να παράγουν ένα κατάλληλο σύνολο δεδομένων αξιολόγησης, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό και την οργάνωση της συντήρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

8.1 Εισαγωγή

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, ένα μεγάλο μέρος του εθνικού και επαρχιακού δικτύου είναι αρκετά παλαιό. Οι οδοί που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν στη δεκαετία του '50 και τη δεκαετία του '60 αδυνατούν σήμερα να καλύψουν τις πραγματικές ανάγκες κυκλοφορίας και απαιτούν συντήρηση ή αναβάθμιση. Η κοινή πρακτική της αναβάθμισης παλαιών δίστιβων οδών συνίσταται στη στρώση ενός νέου τάπητα κυκλοφορίας. Εντούτοις, αυτή η πρακτική αποδεικνύεται συχνά ανεπαρκής να παράσχει υψηλό επίπεδο εξυπηρετικότητας (serviceability) και ενέχει το ρίσκο να είναι αναποτελεσματική. Μία υφιστάμενη παλαιά οδός μπορεί να χρειάζεται ποικίλες βελτιωτικές επεμβάσεις. Η βέλτιστη στρατηγική πρέπει να προβλεφθεί σε σχέση με τα σύγχρονα λειτουργικά κριτήρια όπως η οδική ασφάλεια και η εξυπηρετικότητα. Σε αυτό το πλαίσιο, διαμορφώνεται μια συστηματική προσέγγιση του ζητήματος της βέλτιστης στρατηγικής, στοχεύοντας στην εισαγωγή όλων των σημαντικών παραγόντων σε έναν αλγόριθμο επεξεργασίας, υποδεικνύοντας τη βέλτιστη επέμβαση σε κάθε περίπτωση. Το προτεινόμενο μοντέλο προορίζεται να καθορίσει και να συστήσει την κατάλληλη στρατηγική σε κάθε τμήμα του οδικού δικτύου έτσι ώστε να παρέχει υψηλό επίπεδο υπηρεσίας ταυτόχρονα με την αποφυγή περιττών δαπανών. Αυτή η στρατηγική προχωρά σε μια συνολική αξιολόγηση των υπό εξέταση οδών όσον αφορά την απόδοσή (performance) τους και καθορίζει τις προτεραιότητες βελτίωσης, σύμφωνα με μια καινοτόμο διοικητική πολιτική. Το μοντέλο διακρίνει τέσσερα επίπεδα επιλογών αναβάθμισης, καθεμία από τις οποίες υιοθετείται με κριτήρια την κατάσταση της οδού, τα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας, τους περιορισμούς στα σχετικά κονδύλια και την περιβαλλοντική προσαρμογή. Η τελική επιλογή παρέχει την καλύτερη λύση αναβάθμισης από την άποψη κόστους – οφέλους.

8.2 Υφιστάμενα μοντέλα αναβάθμισης οδών

Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, ένα μεγάλο μέρος του εθνικού και επαρχιακού δικτύου είναι αρκετά παλαιό. Εκτός αν είναι κατάλληλα συντηρημένες, αυτές οι παραδοσιακές δίστιβες οδοί παρέχουν μετά βίας τη στάθμη εξυπηρέτησης που απαιτείται από τις τρέχουσες κυκλοφοριακές ανάγκες (Φωτογραφία 8.1). Στο πλαίσιο των εργασιών αναβάθμισης, που υπαγορεύεται συνήθως από μια κακή κατάσταση του οδοστρώματος ή μία χαμηλή Στάθμη Εξυπηρέτησης (ΣΕ), η κοινή πρακτική συνίσταται στη στρώση ενός νέου τάπητα κυκλοφορίας. Τα βασικά χαρακτηριστικά της χάραξης παραμένουν αμετάβλητα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια ωραία εμφάνιση αποκατεστημένη επιφάνεια που, εντούτοις, παρουσιάζει σημαντικές ανεπάρκειες όσον αφορά τη φέρουσα ικανότητα της οδού και την καταλληλότητα της χάραξης.

Τα υφιστάμενα μοντέλα αναβάθμισης εστιάζουν κυρίως στη συντήρηση του οδοστρώματος. Το 1980, το Συμβούλιο Έρευνας Μεταφορών (Transport Research Board [TRB]) εισάγει μια «Μεθοδολογία Απόφασης για τη Συντήρηση και την Αναβάθμιση των Χαμηλών Κυκλοφορίας Οδών», υπολογίζοντας το κόστος

συντήρησης και προτείνει έναν γενικευμένο δείκτη ομαλότητας για παγκόσμια χρήση. Το Υπουργείο Μεταφορών της Πολιτείας Μινεσότα (Minnesota Department of Transport [Mn/DOT]) χρησιμοποιεί τρεις δείκτες για να παρουσιάσει και να ποσοτικοποιήσει την κατάσταση των οδοστρωμάτων. Τα κύρια σημεία του Εγχειριδίου Ανάπτυξης και Διαχείρισης Εθνικών Οδών της Παγκόσμιας Ένωσης Οδών (World Road Association [PIARC], 2005) περιλαμβάνουν την πρόβλεψη της απόδοσης και της συντήρησης οδοστρωμάτων, τα αποτελέσματα της οδικής βελτίωσης, τις δαπάνες και τα οφέλη των χρηστών, τις εκτιμήσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τυποποιημένους οικονομικούς δείκτες κ.λπ. Το 2003, το TRB δημοσιεύει τα αποτελέσματα μιας έρευνας που τιτλοφορείται «Επάρκεια Γεωμετρικού Σχεδιασμού για τις Δίστιβες Επαρχιακές Οδούς Ταχείας Κυκλοφορίας». Η πεμπτούσια αυτής της έρευνας στρέφεται στον καθορισμό του όρου «επάρκεια σχεδιασμού» ως εξής: «Η επάρκεια του σχεδιασμού είναι η προσαρμογή των γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών της οδού στην προσδοκία των οδηγών». Η ερευνητική ομάδα ανέπτυξε τη βάση για ένα εξειδικευμένο σύστημα στην επάρκεια σχεδιασμού για να συμπληρώσει την εργασία που είχε γίνει από άλλες έρευνες στα πλαίσια της ανάπτυξης του Διαδραστικού Μοντέλου Σχεδιασμού Ασφαλείας Εθνικών Οδών (Interactive Highway Safety Design Model [IHSDM]) του FHWA. Προκειμένου να τοποθετηθεί το προτεινόμενο σύστημα επάρκειας σχεδιασμού στην χρονική εξέλιξη, παρουσιάζεται μια συνοπτική αναθεώρηση της προηγούμενης έρευνας για την επάρκεια σχεδιασμού.

Τα σχετικά ερευνητικά προγράμματα στο παρελθόν έχουν επιδιώξει να αναπτύξουν συστήματα που πραγματεύονται την επάρκεια σχεδιασμού είτε ποσοτικά (*Μεθοδολογία για την Αξιολόγηση της Επάρκειας Γεωμετρικού Σχεδιασμού* [Messer, 1980], *Εναλλακτικές Μέθοδοι Βαθμολόγησης Επάρκειας Σχεδιασμού για Δίστιβες Επαρχιακές Οδούς* [Fitzpatrick et al., 2000]) είτε ποιοτικά (εργασία των Alexander και Lunenfeld για την επάρκεια σχεδιασμού [1986]), με ποικίλους βαθμούς επιτυχίας.

Ως εξαίρεση σε αυτόν τον κανόνα της αξιολόγησης ενός προγράμματος αναβάθμισης καθαρά στο επίπεδο της εφαρμοσμένης μηχανικής, το Εγχειρίδιο Ανάπτυξης και Σχεδιασμού Έργων (Project Development and Design Manual [PDDM]) της Ομοσπονδιακής Διοίκησης Εθνικών Οδών (Federal Highway Administration [FHWA], 1996) προτείνει ένα ενσωματωμένο μοντέλο που βασίζεται στην κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση. Εντούτοις, το εγχειρίδιο είναι γενικό και αρκετά περίπλοκο, μερικές από τις ενότητες ανάλυσης του απαιτούν υψηλή εμπειρία στη χρήση του συστήματος. Παρά τις τέσσερις εναλλακτικές λύσεις που προτείνονται για την αναβάθμιση, το PDDM δεν παρέχει σαφή κριτήρια για την καλύτερη επιλογή.

Συμπερασματικά, ορισμένα μοντέλα οδηγούν στη βέλτιστη εναλλακτική λύση αναβάθμισης με την εισαγωγή του κόστους (κόστος εργασιών και χρηστών) ως μόνο κριτήριο για τον καθορισμό του προγράμματος αναβάθμισης.



Φωτογραφία 8.1: Δίστιβη οδός (χαμηλή στάθμη εξυπηρέτησης)

8.3. Βασική ιδέα

Το κύριο μειονέκτημα των υφιστάμενων μοντέλων αποκατάστασης συνίσταται στο ότι παρά τις καλά θεμελιωμένες αρχές, η εφαρμοσμένη μεθοδολογία οδηγεί δύσκολα στη βέλτιστη βελτιωτική στρατηγική. Σε πολλές περιπτώσεις, η βέλτιστη, σύμφωνα με υφιστάμενα μοντέλα, επιλογή αναβάθμισης, αποτελείται από ατελέσφορες ενέργειες και άσκοπες δαπάνες. Αυτό οφείλεται στη μεθοδολογία που δεν επιτρέπει την ενσωμάτωση όλων των οδικών χαρακτηριστικών στον αλγόριθμο επεξεργασίας δεδομένων. Παραδείγματος χάριν, μετά από μία απόφαση βέλτιστης επιλογής αναβάθμισης που υποδεικνύει την αναβάθμιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ή την ανακατασκευή του οδοστρώματος, η στάθμη εξυπηρέτησης ενδέχεται να εμφανίζεται χαμηλή. Σε αυτήν την περίπτωση, οι απαιτούμενες δαπάνες δεν οδηγούν στη βελτίωση της οδού και δεν συμβάλλουν ουσιαστικά στην επάρκεια ασφάλειας και άνεσης.

Ακολουθώντας τη σύγχρονη μεθοδολογία, οι εναλλακτικές λύσεις αναβάθμισης εισάγονται από έναν ειδικό συγκοινωνιολόγο και η βέλτιστη εναλλακτική λύση παρέχεται ως αποτέλεσμα των υπολογισμών του μοντέλου. Αυτή η ανάλυση κόστους-οφέλους μπορεί να οδηγήσει σε ατελέσφορες λύσεις. Παραδείγματος χάριν, το οδόστρωμα μπορεί να ενισχυθεί ή να επιστρωθεί με νέο τάπητα ενώ η βέλτιστη διαδικασία αναβάθμισης για την αντιμετώπιση των ανεπαρκειών της οδού είναι κατάλληλη διαπλάτυνση ή πλήρης επαναχάραξη. Η έννοια της προτεινόμενης

προσέγγισης είναι απολύτως διαφορετική εστιάζοντας άμεσα στην αποτελεσματικότητα των εναλλακτικών λύσεων. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο κύριος στόχος, οι οδοί ταξινομούνται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες και η εναλλακτική λύση αναβάθμισης για κάθε οδική κατηγορία καθορίζεται συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις ανεπάρκειες της οδού. Η βέλτιστη εναλλακτική λύση επιλέγεται μέσα από τα ειδικά κριτήρια επιλογής, θεωρώντας όλα τα σημαντικά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας, της επάρκειας της χάραξης, της ΣΕ, της άνεσης και της περιβαλλοντικής προσαρμογής.

Η προσέγγιση που παρουσιάζεται παρακάτω ενσωματώνει τις αρχές της εφαρμοσμένης μηχανικής σε έναν συμπτυκνωμένο αλγόριθμο που αφορά στη βέλτιστη έκταση της επένδυσης με το καλύτερο αποτέλεσμα από τεχνικής πλευράς. Στην παρούσα διατριβή εγκαλείται η κοινή πρακτική που εστιάζει στο οδόστρωμα. Αντ' αυτού, διεξάγεται μια ενδελεχής έρευνα για τις εναλλακτικές λύσεις, με βάση σαφή κριτήρια συμπεριλαμβανομένου του κοινωνικού αντίκτυπου. Μια μέτρια αύξηση του προϋπολογισμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της οδικής εξυπηρετικότητας: επανασχεδιασμός των κόμβων, προσαρμογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών στις στροφές, τοπική ή γενικευμένη διαπλάτυνση οδοστρώματος. Η βασική έννοια μιας καρποφόρου και αποτελεσματικής επένδυσης στον επανασχεδιασμό και την αναβάθμιση του οδικού δικτύου, εθνικού και επαρχιακού, είναι το θεμελιώδες στοιχείο αυτής της λογικής προσέγγισης.

8.4 Αξιολόγηση των αναγκών και των στόχων

Λαμβάνοντας υπόψη την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής στρατηγικής αναβάθμισης, συγκεκριμένα ζητήματα που πρέπει να εξεταστούν κατά σειρά, είναι τα εξής:

α. Μητρώο οδικών και κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών

Μια πλήρης μέθοδος αξιολόγησης της κατάστασης της οδού πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις παρεμβαίνουσες παραμέτρους: κατάσταση οδοστρώματος, ανάγκες λειτουργικότητας και κυκλοφορίας, περιβαλλοντικοί περιορισμοί και αποδοτικότητα δαπανών των εναλλακτικών λύσεων. Η προτεινόμενη προσέγγιση ενσωματώνει και αξιολογεί τους ανωτέρω παράγοντες στοχεύοντας στην αποφυγή των δαπανηρών διαδικασιών αναβάθμισης που δεν βελτιώνουν σημαντικά την τρέχουσα εξυπηρετικότητα της οδού.

Η προτεινόμενη δομή της μεθόδου αναβάθμισης αποτελεί τη βάση δεδομένων όπου εισάγονται τα αρχικά γεωμετρικά και λειτουργικά οδικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, χρησιμοποιείται μια βάση εισαγωγής για την καταγραφή και επεξεργασία των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων σύμφωνα με τα εφαρμοσμένες προδιαγραφές ασφάλειας.

β. Προσαρμογή των αναγκών στην οδό

Το πραγματικό επίπεδο εξυπηρέτησης, που μετριέται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, απεικονίζει τον βαθμό ανταπόκρισης στις τρέχουσες κυκλοφοριακές ανάγκες. Μια αποτελεσματική στρατηγική αναβάθμισης πρέπει να ενσωματώσει μια εκτίμηση της μελλοντικής κυκλοφορίας χρειάζεται σε συνάρτηση με μία επικαιροποιημένη ΣΕ, εξετάζοντας επίσης τη δυνατότητα πραγματοποίησης του προγράμματος και την αποδοτικότητα της επένδυσης.

γ. Εξέταση επιλογών βελτίωσης για την επίτευξη των στόχων

Οι διαθέσιμες τεχνικές αναβάθμισης εξετάζονται βηματικά. Κάθε εναλλακτική λύση πρέπει να εξεταστεί στο πλαίσιο της εφαρμογής ειδικών γεωμετρικών ή λειτουργικών κριτηρίων, μέσω μιας βαθμιδωτής ταξινόμησης, από τη λιγότερο στην περισσότερο δαπανηρή λύση, προκειμένου να αποφευχθεί το υπερβολικό κόστος εργασιών χωρίς τα αναμενόμενα ανταποδοτικά οφέλη.

Συγκεκριμένα και σαφώς καθορισμένα κριτήρια τίθενται σε μια βαθμιαία διαδικασία, έτσι ώστε να υποδειχθεί με ασφαλή και λογικό τρόπο στην καλύτερη επιλογή αναβάθμισης. Η κλασική προσέγγιση εφαρμοσμένης μηχανικής, συντίθεται σε αυτή τη φάση από μια εκτίμηση της κατάστασης της οδού και από έναν ζητούμενο καθορισμό απόδοσης (performance).

δ. Οι παράμετροι των περιβαλλοντικών και κοινωνικών περιορισμών

Οι εναλλακτικές λύσεις εξετάζονται σε σχέση με το περιβάλλον ή τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε κατοικημένες περιοχές. Σύμφωνα με τους προαναφερόμενους παράγοντες, μία εναλλακτική, αποδεκτή από την άποψη της εφαρμοσμένης μηχανικής, ενδέχεται να αποκλειστεί εκτρέποντας σε μια άλλη εφικτή επιλογή.

ε. Ορισμός της βέλτιστης λύσης

Ενσωματώνοντας όλα τα ανωτέρω στοιχεία στον θεμελιώδη αλγόριθμο, καθορίζεται η βέλτιστη λύση. Οι αρμόδιες Υπηρεσίες μπορούν να υιοθετήσουν μια λογική μέθοδο αξιολόγησης της κατάστασης των οδών για να καθορίσουν τη βέλτιστη, βάσει της απόδοσης, εναλλακτική λύση αναβάθμισης. Εξετάζοντας τις διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις για την οδική αναβάθμιση, είναι απολύτως απαραίτητο να εξεταστεί η συνολική απόδοση και συγκεκριμένα ζητήματα σχετικά με τις υφιστάμενες παλαιές οδούς. Η συνολική απόδοση αποτελείται από την ενσωμάτωση της χάραξης της υποδομής στο φυσικό περιβάλλον και στις κατοικημένες περιοχές. Τα συγκεκριμένα ζητήματα, εκτός από την καταλληλότητα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, είναι κυρίως η πραγματική κατάσταση και η ακεραιότητα του οδοστρώματος, η επάρκεια του σχεδιασμού της χάραξης και η συμβατότητά της όσον αφορά τη λειτουργική ταχύτητα. Η προτεινόμενη προσέγγιση προσπαθεί να ενσωματώσει όλα αυτά τα ζητήματα σε μια ρεαλιστική και αποτελεσματική αλγοριθμική δομή για χρήση από τους σχεδιαστές και τις αρμόδιες Υπηρεσίες.

8.5 Κατηγοριοποίηση των οδών

Ένα βασικό μέρος της μεθόδου είναι η ταξινόμηση όλων των παλαιών δίστιβων οδών σε τέσσερις ευδιάκριτες κατηγορίες σύμφωνα με την πραγματική κατάστασή τους και τα τρέχοντα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας:

- Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από οδούς που παρουσιάζουν υψηλή ΣΕ και επαρκή γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα οποία παρέχουν άνεση και ασφάλεια. Η χάραξη είναι κατάλληλη, οι κόμβοι είναι καλά σχεδιασμένοι σύμφωνα με τις τρέχουσες προδιαγραφές σχεδιασμού. Το πλάτος του οδοστρώματος εξασφαλίζει ικανοποιητική εξυπηρετικότητα. Καμία σημαντική βελτίωση δεν απαιτείται. Τα κύρια προβλήματα είναι η εμφάνιση επισημασμένων ρηγματώσεων ή τροχοαυλάκωσης, η αυξανόμενη ολισθηρότητα και ο ανεπαρκής εξοπλισμός ασφάλειας.

- Στη δεύτερη κατηγορία, η ΣΕ είναι στο πλαίσιο σταθερής ροής, η γεωμετρία είναι γενικά κατάλληλη, το πλάτος του οδοστρώματος είναι επίσης επαρκές σύμφωνα με τις προδιαγραφές σχεδιασμού. Απεναντίας, ο σχεδιασμός των κόμβων αποδεικνύεται ανεπαρκής όσον αφορά τις πραγματικές ανάγκες κυκλοφορίας και η γεωμετρία μετάβασης στις στροφές είναι ελαττωματική.

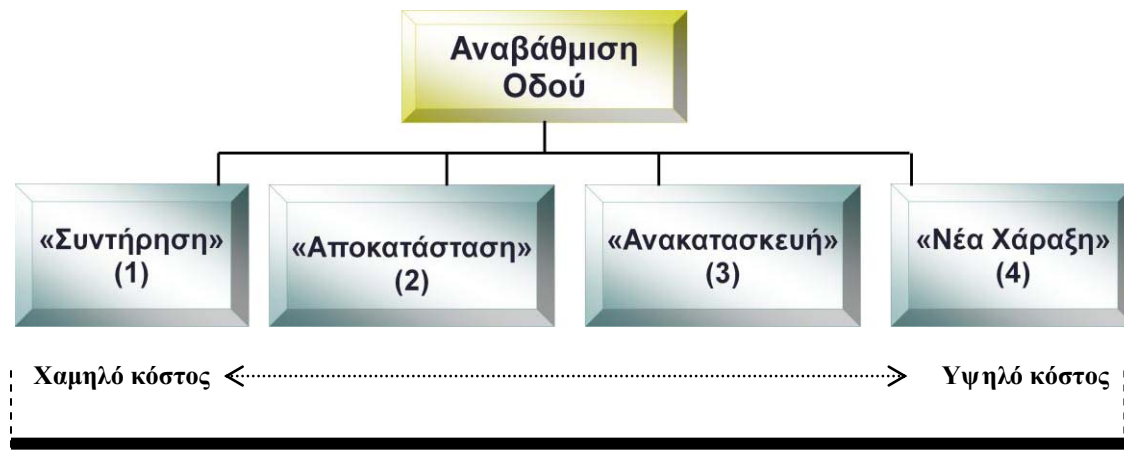
- Η τρίτη κατηγορία συγκεντρώνει οδούς με χαμηλή ΣΕ. Τα περισσότερα γεωμετρικά στοιχεία αποδεικνύονται κάτω του μετρίου όσον αφορά την τρέχουσα κατάσταση κυκλοφορίας, δημιουργώντας κατά συνέπεια τον συναφή κίνδυνο για τους χρήστες της οδού. Ο όγκος κυκλοφορίας φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά με την πάροδο των ετών και η χρήση της οδού έχει ενταθεί. Το πλάτος οδοστρώματος και λωρίδων δεν καλύπτει τις τρέχουσες κυκλοφοριακές ανάγκες. Η οδός απαιτεί διαπλάτυνση και πιθανώς επαναχάραξη ενσωματώνοντας τις τρέχουσες προδιαγραφές σχεδιασμού, ασφάλειας και κυκλοφορίας.

- Η τέταρτη και τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει οδούς με ΣΕ κοντά στη φέρουσα ικανότητά τους, όπου η αποτελεσματικότητα της αναβάθμισης είναι αμφισβητήσιμη. Ένα συνηθισμένο πρόγραμμα αποκατάστασης δεν μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη απάντηση για μία παλαιά οδό σε ένα φυσικό τοπίο υψηλής ευαισθησίας. Επιπλέον, οι συγκεκριμένοι εγγενείς περιορισμοί για τις οδούς σε κατοικημένες περιοχές ή κοντά σε αρχαιολογικούς χώρους ενδέχεται να απαγορεύουν τις επεμβάσεις αναβάθμισης στην υπάρχουσα χάραξη και να εξαναγκάσουν αντ' αυτού, σε μια εντελώς νέα χάραξη.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα κριτήρια, κάθε οδός μπορεί να ταξινομηθεί σε μια από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Αυτή η ταξινόμηση καθιστά το σχέδιο αναβάθμισης περιεκτικό και καλά καθορισμένο λόγω της ακριβούς αξιολόγησης της κατάστασης. Ένα συγκεκριμένο σχέδιο αναβάθμισης προβλέπεται για κάθε οδική κατηγορία.

8.6 Ανάλυση επιλογών αναβάθμισης

Οι διαφορετικές επιλογές αναβάθμισης της οδού είναι ταξινομημένες σε τέσσερις ευδιάκριτες στρατηγικές (Σχήμα 8.1) που παρουσιάζονται σε σειρά όσον αφορά την έκταση της επέμβασης. Ο όρος που αποδίδεται σε κάθε επιλογή θεωρείται ότι ταιριάζει καλύτερα και καθορίζεται εφεξής:



Σχήμα 8.1: Επιλογές αναβάθμισης οδού

8.6.1 «Συντήρηση»

Η πρώτη στρατηγική, αποκαλούμενη «Συντήρηση» αποτελείται από χαμηλού κόστους τοπικές επισκευές και ανανέωση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Η οδική χάραξη εμφανίζεται κατάλληλη, οι κόμβοι παρουσιάζουν επάρκεια σχεδιασμού (Φωτογραφία 8.2α). Τα συνηθισμένα σημάδια μικρής κλίμακας φθορών εμφανίζονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά παρέχουν υψηλή ΣΕ. Καμία χρονική καθυστέρηση ή κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν παρατηρείται. Δεν απαιτείται καμία σημαντική επέμβαση.

Η επιφάνεια του οδοστρώματος πρέπει να ανανεωθεί (Φωτογραφία 8.2β) και η μη αποτελεσματική σήμανση καθώς και τα ανεπαρκή προστατευτικά κιγκλιδώματα πρέπει να επισκευαστούν. Γενικά, η πρώτη εναλλακτική λύση δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε βελτίωση στα χαρακτηριστικά της χάραξης και αποτελείται κυρίως από την συμβατική συντήρηση. Το κόστος των διαδικασιών παραμένει χαμηλό.

Οι εργασίες της «Συντήρησης», κατά συνέπεια, δεν περιλαμβάνουν ανακατασκευή του οδοστρώματος ή διαπλάτυνση της οδού.



Φωτογραφία 8.2α: Ικανοποιητικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού



Φωτογραφία 8.2β: Μέτρια φθορά: τροχοαυλάκωση και ρηγματώσεις

8.6.2 «Αποκατάσταση»

Η δεύτερη επιλογή αποκαλούμενη «Αποκατάσταση» περιλαμβάνει ριζικότερες επεμβάσεις. Το πλάτος του οδοστρώματος παρέχει μία ικανοποιητική ΣΕ, αλλά τα χαρακτηριστικά χάραξης στις στροφές είναι ανεπαρκή (Φωτογραφία 8.3α). Οι κόμβοι παρουσιάζουν ανεπαρκή γωνία προσέγγισης ή δεν υπάρχει λωρίδα αριστερής στροφής (Φωτογραφία 8.3β). Ο εξοπλισμός ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας είναι φθαρμένος ή ξεπερασμένος.



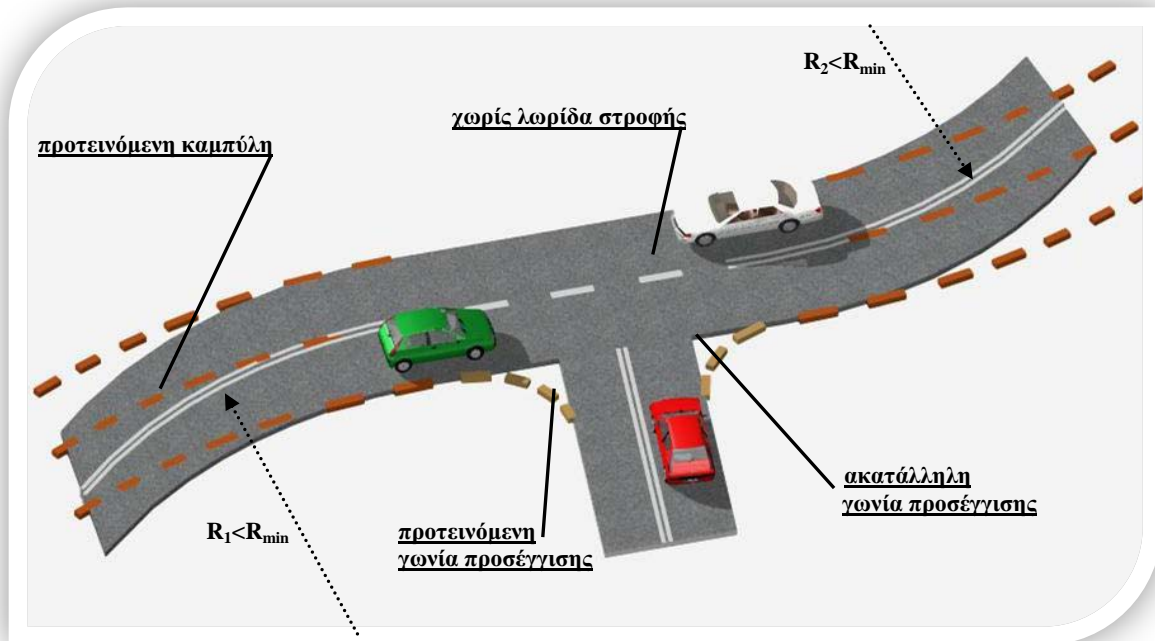
Φωτογραφία 8.3α: Ανεπαρκής επίκλιση ακτίνα καμπυλότητας



Φωτογραφία 8.3β: Ανεπαρκής κόμβος – ανυπαρξία λωρίδας αριστερής στροφής

Οι εργασίες για την κατάλληλη αναβάθμιση της οδού πραγματοποιούνται με σεβασμό στην υφιστάμενη χάραξη. Το οδόστρωμα πρέπει να ανανεωθεί όπου απαιτείται, τα ερείσματα και οι παρακρηπίδες να αναδιαμορφωθούν, ο εξοπλισμός οδικής ασφάλειας να εκσυγχρονιστεί, οι ισόπεδοι κόμβοι και οι ακτίνες καμπυλότητας να επανασχεδιαστούν (Σχήμα 8.2). Οι εργασίες αναβάθμισης περιλαμβάνουν γεωμετρικές βελτιώσεις σύμφωνα με τις σύγχρονες προδιαγραφές σχεδιασμού όσον αφορά την

οριζόντια και κάθετη ακτίνα καμπυλότητας καθώς επίσης και την επάρκεια σχεδιασμού των κόμβων.



Σχήμα 8.2: Εργασίες «Αποκατάστασης»

Η επίκλιση και η ακτίνα καμπυλότητας πρέπει να αναμορφωθούν έτσι ώστε να ικανοποιούν την αυξανόμενη ανάγκη για άνεση και ασφάλεια αναφορικά με τη λειτουργική ταχύτητα της οδού. Οι γωνίες προσέγγισης των κόμβων πρέπει να ανασχεδιαστούν έτσι ώστε να συμμορφωθούν με το ελάχιστο μήκος ορατότητας και η βελτίωση στην οδική γεωμετρία ενδέχεται να περιλαμβάνει λωρίδες στροφής για ισόπεδους κόμβους με σημαντικό κυκλοφοριακό φόρτο στοχεύοντας στη μείωση του δείκτη ατυχημάτων. Το πρόγραμμα «αποκατάστασης» απαιτεί υψηλότερο διαθέσιμο προϋπολογισμό.

Οι εργασίες δεν περιλαμβάνουν την πλήρη διαπλάτυνση του οδοστρώματος ή τη συνολική ανακατασκευή της οδικής υποδομής. Οι διαδικασίες αναβάθμισης στοχεύουν στην εξασφάλιση επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών χωρίς υπερβολικές δαπάνες. Οι μεγάλης κλίμακας διαδικασίες που αναφέρονται στο συνολικό οδικό μήκος δεν προβλέπονται στα πλαίσια αυτής της επιλογής αναβάθμισης.



Φωτογραφία 8.4: Μη αποδεκτό μήκος ορατότητας, λόγω κατακόρυφης γεωμετρίας

8.6.3 «Ανακατασκευή»

Η τρίτη επιλογή, αποκαλούμενη «Ανακατασκευή», αναφέρεται σε συνολικές επεμβάσεις αναβάθμισης και περιλαμβάνει ουσιαστικά τη σε μεγάλη κλίμακα διαπλάτυνση της οδού και την αντίστοιχη επέκταση της υποδομής (Σχήμα 8.3). Η χάραξη μπορεί να συντηρηθεί και να διατηρηθεί αλλά το μικρό πλάτος λωρίδων και η χαμηλή φέρουσα ικανότητα επιβάλλουν, σε αυτήν την περίπτωση, τη διεύρυνση του οδοστρώματος και των ερεισμάτων, την επέκταση των διατάξεων αποστράγγισης και των οχετών και σημαντικές επεμβάσεις χωματουργικών έργων.

Οι εργασίες περιλαμβάνουν τη διαπλάτυνση του οδοστρώματος και την ανακατασκευή γεφυρών όπου απαιτείται (Φωτογραφία 8.5β). Η χάραξη, σε πολλές περιπτώσεις, μπορεί να είναι ικανοποιητική, αλλά το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας δεν είναι ικανοποιητικό (Φωτογραφία 8.5α). Η ΣΕ είναι χαμηλή. Το κόστος των εργασιών, σε αυτήν την περίπτωση, είναι σημαντικό εξαιτίας των μεγάλης κλίμακας επεμβάσεων και των απαιτούμενων απαλλοτριώσεων.

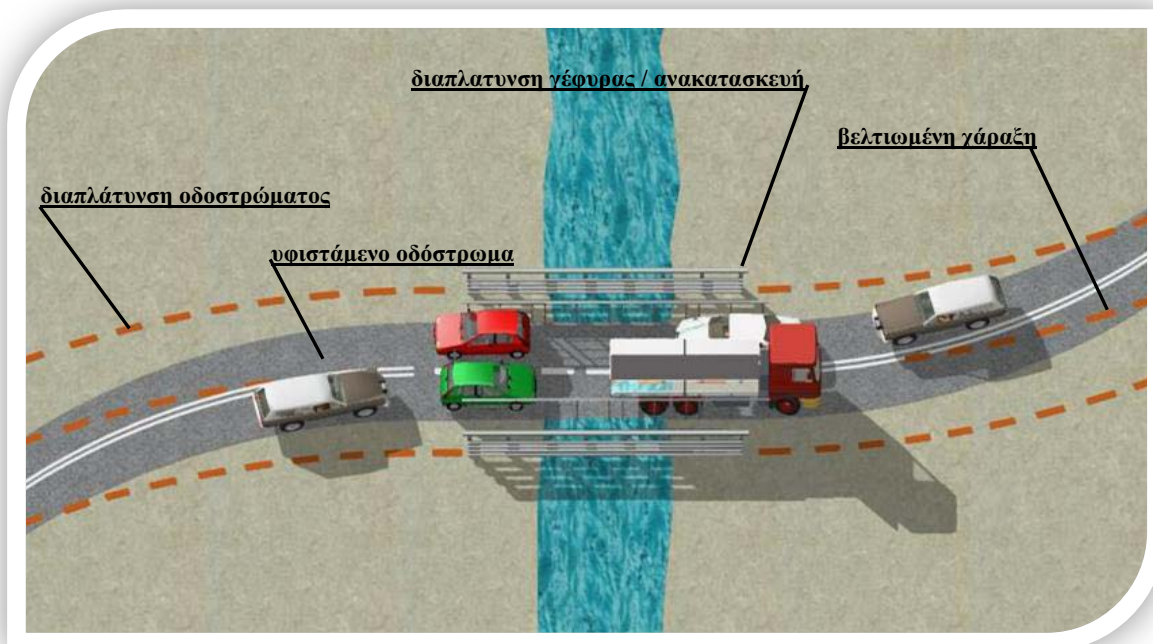


Φωτογραφία 8.5α: Μη αποδεκτό πλάτος λωρίδας – κακός γεωμετρικός σχεδιασμός



Φωτογραφία 8.5β: Στενή λωρίδα/ ανύπαρκτο έρεισμα σε παλαιά γέφυρα

Οι εργασίες «Ανακατασκευής» περιλαμβάνουν μια ουσιαστική προσπάθεια να επανακατασκευαστεί η υφιστάμενη οδός σύμφωνα με πλήρεις και σύγχρονες προδιαγραφές γεωμετρικού σχεδιασμού και ασφάλειας.



Σχήμα 8.3: Εργασίες «Ανακατασκευής»

8.6.4 «Νέα χάραξη»

Η τέταρτη επιλογή συνίσταται στη θεώρηση μιας συνολικά «Νέας Χάραξης», μια εξ ολοκλήρου νέα επιλογή διαδρομής και κατασκευής της οδού. Αυτή είναι η έσχατη επιλογή σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές λύσεις, είτε λόγω υπερβολικού κόστους των εργασιών αποκατάστασης/ανακατασκευής είτε λόγω μιας γενικής επαναθεώρησης του προγράμματος αναβάθμισης εξαιτίας της αναμενόμενης περιβαλλοντικής επίδρασης και ζητημάτων κοινωνικού οφέλους. Αυτή μπορεί να είναι η περίπτωση παλαιών οδών σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές ή σε κατοικημένες περιοχές με υψηλά ποσοστά ατυχημάτων. Εάν αυτό συμβαίνει, τότε η παλαιά οδός πρέπει να εγκαταλειφθεί ή να υποβαθμιστεί και να ερευνηθεί η προοπτική μιας απολύτως νέας διαδρομής. Η πραγματοποίηση ενός νέου προγράμματος αντιμετωπίζει συχνά σοβαρά και δαπανηρά προβλήματα, όπως οι απαλλοτριώσεις, η κατασκευή των νέων κόμβων και γεφυρών. Αν και, μερικές φορές είναι η τεχνικά επικρατούσα επιλογή, αυτή η εναλλακτική λύση υψηλών δαπανών μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί λόγω πολιτικών ή χρηματικών περιορισμών.

8.6.5 Αξιολόγηση της κατάστασης ανά οδικό τμήμα

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ευρεία ποικιλία των φυσικών, γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών που έχουν επιπτώσεις στην ασφάλεια, ο συστατικός

αλγόριθμος παρέχει έναν έλεγχο κατάστασης για κάθε οδικό τμήμα ξεχωριστά. Η προτεινόμενη μέθοδος υιοθετεί μια μεθοδολογία τμηματοποίησης που ισχύει για οδικά τμήματα τουλάχιστον 3 χλμ. (Highway Capacity Manual [HCM], 2000) ή για οδικά τμήματα μεταξύ δύο ισόπεδων κόμβων. Η μεθοδολογία τμηματοποίησης εξελίχθηκε και η ακριβή της δομή παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 8 της παρούσας διατριβής. Στις περισσότερες περιπτώσεις μια μοναδική στρατηγική αναβάθμισης εφαρμόζεται στις περιπτώσεις οδών εκτεταμένου μήκους. Αυτό οδηγεί σε χαμηλό προϋπολογισμό λειτουργίας και μετριασμό του περιβαλλοντικού αντίκτυπου επίσης. Αντίθετα, διαφορετικές επιλογές αναβάθμισης ενδέχεται να εφαρμοστούν σε οδικά τμήματα που παρουσιάζουν ποικίλα χαρακτηριστικά και παρουσιάζουν πολύ διαφορετικές αποδόσεις (performance).

8.7 Οδική κατάσταση και αξιολόγηση της απόδοσης

Προκειμένου να επιτευχθεί η συνολική αξιολόγηση κάθε προγράμματος αναβάθμισης, η προτεινόμενη μέθοδος καθορίζει ένα μητρώο οδικής κατάστασης και μια ζητούμενη/απαραίτητη αξιολόγηση της απόδοσης. Η πραγματική κατάσταση της οδού ή των οδικών τμημάτων αποτυπώνεται όσον αφορά το οδόστρωμα, τη γεωμετρία και τον εξοπλισμό ασφάλειας. Η επιθυμητή απόδοση, σχετική με τις τρέχουσες κυκλοφοριακές ανάγκες, εκφράζεται με τον κυκλοφοριακό φόρτο, τη λειτουργική ταχύτητα, τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο και κοινωνικά θέματα. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση πραγματοποιείται ένας πενταπλός έλεγχος κάθε οδικού τμήματος ως εξής:

A. Μητρώο κατάστασης της οδού

- *Κατάσταση οδοστρώματος*
- *Εξοπλισμός ασφάλειας και διαχείρισης της κυκλοφορίας*
- *Γεωμετρικά χαρακτηριστικά*

B. Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας

- *Υπολογισμός της Σ.Ε. και κριτήρια ασφαλείας*
- *Περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές*

Η αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος καθιερώνεται μέσω της οπτικής επιθεώρησης του οδοστρώματος, της λωρίδας έκτακτης ανάγκης και των ερεισμάτων από εξειδικευμένο προσωπικό των αρμόδιων Υπηρεσιών. Τα ηλεκτρονικά αρχεία και η παρακολούθηση της οδού ενισχύουν τις σχετικές πληροφορίες.

Η ασφάλεια και η έρευνα εξοπλισμού ελέγχου της κυκλοφορίας αποτελούν της οπτικής επιθεώρησης των προστατευτικών κιγκλιδωμάτων, του φωτισμού, των διακριτικών γνωρισμάτων και των σημαδιών.

Στα πλαίσια **των γεωμετρικών χαρακτηριστικών** της χάραξης, καταγράφονται μέσω σχετικών μετρήσεων ή μέσω παρατήρησης των στοιχείων της οριστικής μελέτης σχεδιασμού της οδού, η ακτίνα καμπυλότητας R_0 , το πλάτος λωρίδας b_0 , η κλίση s , η επίκλιση q και το μήκος ορατότητας D .

Όσον αφορά **την αξιολόγηση της ζητούμενης λειτουργικότητας**, ο πραγματικός όγκος κυκλοφορίας (κυκλοφοριακός φόρτος) υπολογίζεται με επιτόπου μετρήσεις και η **στάθμη εξυπηρέτησης (ΣΕ)** καθορίζεται από τους σχετικούς υπολογισμούς των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών και τη σύγκριση με τα σχετικά γραφικά κριτήρια ΣΕ σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Εγχειριδίου Φέρουσας Ικανότητας (HCM) (TRB, 2000). Η αξιολόγηση **των κριτηρίων ασφάλειας** βασίζεται σε μετρήσεις της λειτουργικής ταχύτητας V_{85} (Ειδική Επιτροπή για Επεξεργασία Ζητημάτων του Ευρωπαϊκού Δικτύου, 2001). Σε γενικές γραμμές, η λειτουργική ταχύτητα αντιστοιχεί στη συμπεριφορά του μέσου οδηγού και ορίζει τα επιθυμητά γεωμετρικά χαρακτηριστικά που εξασφαλίζουν την ασφάλεια της κυκλοφορίας. Η διαφορά μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ταχύτητας μελέτης, που εξετάζεται παράλληλα με την απόκλιση της λειτουργικής ταχύτητας μεταξύ δύο διαδοχικών στοιχείων σχεδιασμού της οδού («ευθυγραμμία-καμπύλη» ή «καμπύλη-καμπύλη»), παράγει τον χαρακτηρισμό της ποιότητας οδικού σχεδιασμού από την άποψη της ασφάλειας και της άνεσης.

Όσον αφορά στις περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές της προοριζόμενης αποκατάστασης (Φωτογραφία 8.5), μια πλήρης διαδικασία για την επιλογή της καλύτερης επιλογής πρέπει να περιλαμβάνει έναν κατάλληλο τελικό έλεγχο. Οι κατασκευασμένες στο παρελθόν οδοί μπορεί να μην είχαν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον για πολλές δεκαετίες, εφόσον ο όγκος της κυκλοφορίας παρέμενε περιορισμένος και η ταχύτητα των οχημάτων χαμηλή. Η αύξηση όμως του κυκλοφοριακού φόρτου μπορεί να προκαλέσει απροσδόκητη υποβάθμιση στο περιβάλλον.

Επιπλέον, οι εγγενείς αδυναμίες, όπως η εγγύτητα σε ιστορικές/αρχαιολογικές περιοχές ή οι περιβαλλοντικά προστατευόμενες ζώνες κοντά ή παράπλευρα της οδού, θεωρούνται επίσης αποφασιστικά ζητήματα για την επιλογή της βέλτιστης επιλογής αναβάθμισης. Τέλος, η υφιστάμενη οδική χάραξη μέσω κατοικημένων περιοχών μπορεί να επανεξεταστεί λόγω υψηλού δείκτη ατυχημάτων.



Φωτογραφία 8.5: Περιβαλλοντική προσαρμογή της χάραξης

8.8 Επιλογή προτεινόμενης στρατηγικής αναβάθμισης

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία και να υποδειχθεί η καλύτερη επιλογή, κάθε οδικό τμήμα εξετάζεται μέσω του παραπάνω πενταπλού ελέγχου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, καθορίζεται η βέλτιστη επιλογή αναβάθμισης. Τα κριτήρια επιλογής παρουσιάζονται κατωτέρω με μορφή ενός πίνακα. Χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά κατάστασης της οδού και τα απαραίτητα στοιχεία απόδοσης στον αλγόριθμο που φαίνεται στον Πίνακα 8.1, υποδεικνύεται η προτιμητέα επιλογή αναβάθμισης μετά από μια σαφή και λογική μεθοδολογία.

Η προτεινόμενη μέθοδος ενσωματώνει την περιβαλλοντική και κοινωνική προσαρμογή ως ποιοτικούς παράγοντες της αξιολόγησης προκειμένου να οδηγήσει στη βέλτιστη επιλογή αναβάθμισης. Μέσω μιας διαδικασίας αξιολόγησης του περιβαλλοντικού και κοινωνικού αντίκτυπου, οι σχετικοί παράγοντες της προσαρμογής αποδίδονται αντίστοιχα σε κάθε οδικό τμήμα.

Πίνακας 8.1: Κριτήρια Κατηγοριοποίησης Οδού – Εργασίες Αναβάθμισης σε Δίστιβες Οδούς

Κατάσταση της Οδού/ Συνολική Αξιολόγηση	Λεπτομερής Αξιολόγηση		Κυκλοφοριακά Χαρακτηριστικά			Περιβαλλοντική / κοινωνική προσαρμογή	Εναλλακτική Αναβάθμισης	Εργασίες Αναβάθμισης
	Οδόστρωμα	Γεωμετρία	Φόρτος	Απόκλιση $ V_{85} - V_{0} / V_{85i} - V_{85i+1} $	Σ.Ε.			
1 Ελαφρώς καταπονημένη οδός	Επιφανειακές φθορές*	Ικανοποιητική	Μέτριος	Μικρή	C ή υψηλότερη	Ικανοποιητική	«Συντήρηση»	Επιδιόρθωση επιφάνειας οδοστρώματος Επιδιόρθωση του εξοπλισμού ασφαλείας & διαχείρισης της κυκλοφορίας
2 Μη αποδεκτή ποιότητα σχεδιασμού της οδού	Καταπόνηση επιφάνειας	Μη ικανοποιητική σε στροφές και κόμβους*	Μέτριος	Σημαντική	B ή C	Ικανοποιητική	«Αποκατάσταση»	Στροφές / κόμβοι επανασχεδιάζονται και επανακατασκευάζονται Επιδιόρθωση επιφάνειας οδοστρώματος Επιδιόρθωση του εξοπλισμού ασφαλείας & διαχείρισης της κυκλοφορίας
3 Οδός υψηλής κυκλοφορίας / Χαμηλή στάθμη εξυπηρέτησης	Επιφανειακή και δομική καταπόνηση	Μη επαρκής επιφάνεια / πλάτος οδοστρώματος*	Υψηλός	Μικρή	D ή χαμηλότερη*	Ικανοποιητική	«Ανακατασκευή»	Πλήρης διαπλάτυνση επιφάνειας της οδού και του οδοστρώματος Αποκατάσταση επιφάνειας οδοστρώματος Επανατοποθέτηση και ανανέωση του εξοπλισμού ασφαλείας & διαχείρισης της κυκλοφορίας
4 Οδός υψηλής κυκλοφορίας σε ευαίσθητες περιοχές	Επιφανειακή και δομική καταπόνηση	Μη επαρκής επιφάνεια / πλάτος οδοστρώματος	Υψηλός	-	D ή χαμηλότερη	Προβληματική ή Επιθετική*	«Νέα Χάραξη»	Εντελώς νέα επιλογή διαδρομής και χάραξης Η παλαιά οδός εγκαταλείπεται ή χρησιμοποιείται ως βοηθητική

* Αποφασιστικό κριτήριο

8.9 Συμπεράσματα και προοπτικές

Η προσέγγιση που παρουσιάζεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της πραγματικής κατάστασης των υφιστάμενων παλαιών δίστιβων οδών και τη διάκριση των οδών σε τέσσερις κατηγορίες, βάσει της λειτουργικής κατάστασης της οδού, ενσωματώνοντας τις πραγματικές και μελλοντικές ανάγκες κυκλοφορίας και τις τρέχουσες προδιαγραφές ασφάλειας. Καθεμία εκ των τεσσάρων κατηγοριών, που ορίζεται βάσει μιας προσομοίωση απόδοσης και ενός μελλοντικού συσχετισμού των αναγκών κυκλοφορίας, αντιστοιχίζεται στην βέλτιστη για την περίπτωση αυτή εναλλακτική λύση αναβάθμισης. Η επικρατούσα επιλογή αναβάθμισης, σε κάθε περίπτωση, υποτίθεται ότι προσφέρει το καλύτερο αποτέλεσμα με το λιγότερο κόστος, αποφεύγοντας περιττές εργασίες και δαπάνες μέσω μιας λογικής και ρεαλιστικής προσέγγισης.

Η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις αρμόδιες Υπηρεσίες για να αποφασίσουν κατάλληλα σχετικά με τη φύση και το εύρος των εργασιών αναβάθμισης σύμφωνα με τις ανάγκες, τους στόχους και τις προδιαγραφές ασφάλειας. Επίσης, αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθιερώσει έναν κατάλογο προτεραιότητας αναβάθμισης με την ταξινόμηση των οδών σε τέσσερις κατηγορίες όσον αφορά την απόδοσή τους. Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος λεπτομερώς, είναι απαραίτητο να αξιολογηθεί η επάρκεια των οδικών χαρακτηριστικών με ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια.

8.10 Κριτήρια επιλογής για την κατηγοριοποίηση των οδών

Τα ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια ελέγχου για την επιλογή της καλύτερης βελτιωτικής επιλογής παρουσιάζονται κατωτέρω.

8.10.1 Αποτίμηση κατάστασης της οδού

Η αξιολόγηση της κατάστασης της οδού αποτελείται από την αξιολόγηση της κατάστασης της επιφάνειας του οδοστρώματος, του εξοπλισμού ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας και των χαρακτηριστικών της χάραξης ως εξής.

8.10.1.1 Αξιολόγηση κατάστασης του οδοστρώματος

Η επιφάνεια του οδοστρώματος αξιολογείται με την καταγραφή, μέσω οπτικής επιθεώρησης, ρηγματώσεων, λακκούβων και πτυχώσεων, του οδοστρώματος, της λωρίδας έκτακτης ανάγκης και των ερεισμάτων από εξειδικευμένο προσωπικό. Τα ηλεκτρονικά αρχεία παρακολούθησης (φωτογραφίες, video) ενισχύουν τις σχετικές παρατηρήσεις (Φωτογραφία 8.6).



Φωτογραφία 8.6: Φθορές επιφανείας οδοστρώματος – Τροχοαυλάκωση, ρηγματώσεις και λακκούβες

8.10.1.2 Έρευνα του εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου της κυκλοφορίας

Αυτή η έρευνα συνίσταται στην οπτική επιθεώρηση των στηθαίων ασφαλείας, του ηλεκτροφωτισμού, της σήμανσης και της σηματοδότησης. Η πραγματική κατάσταση των υπό εξέταση στοιχείων αξιολογείται ως «φθαρμένο» ή «ξεπερασμένο» σε περίπτωση που ο εξοπλισμός είναι χαλασμένος ή πρέπει να αντικατασταθεί για να ικανοποιήσει τις τρέχουσες ανάγκες αναλόγως.

8.10.1.3 Αξιολόγηση χαρακτηριστικών χάραξης

Προχωρώντας στην εξέταση των κατώτερων ορίων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών με έναν ρεαλιστικό τρόπο, το προτεινόμενο μοντέλο παρέχει έναν έλεγχο των κύριων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Συνεπώς, ορίζεται ένα όριο απόκλισης ή μια αξία κατώτατων ορίων για κάθε γεωμετρικό χαρακτηριστικό, έναντι των τυποποιημένων τιμών. Το εύρος της απόκλισης ορίζεται σύμφωνα με τη λειτουργική ταξινόμηση οδών των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) της Ειδικής Επιτροπής για τα Ζητήματα Επεξεργασίας του Ευρωπαϊκού Δικτύου (ΕΕΖΕΕΔ, 2001). Εφόσον τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ξεπερνούν αυτήν την απόκλιση, τότε επισημαίνεται αυτόματα αλλαγή της λειτουργικής κατηγορίας της

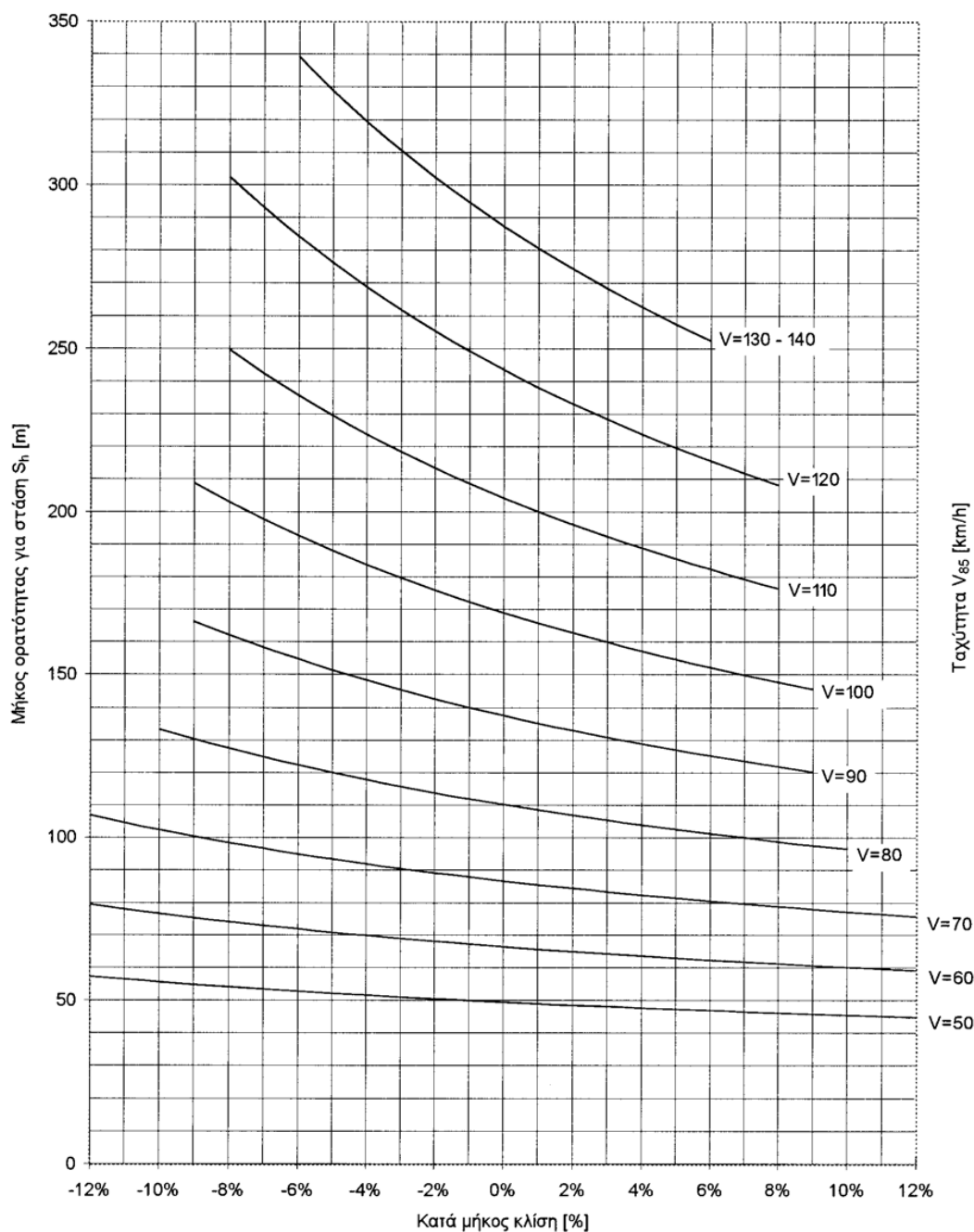
οδού. Στο πλαίσιο της αξιολόγησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ο Πίνακας 8.2 δείχνει τις οριακές τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών για το εθνικό και επαρχιακό δίκτυο.

Πίνακας 8.2: Επιτρεπτές τιμές οδικών χαρακτηριστικών* [Πηγή: ΕΕΖΕΕΔ, 2001]

Δίκτυο	V_0 (km/h)	Πλάτος λωρίδας	$R_{min}, q_{max}, s_{max}$					
			Πεδινό έδαφος		Ημιορεινό έδαφος		Ορεινό έδαφος	
			$q_{max} = 8 \%$		$q_{max} = 7 \%$		$q_{max} = 7 \%$	
			R_{min} (m)	s_{max} (%)	R_{min} (m)	s_{max} (%)	R_{min} (m)	s_{max} (%)
Επαρχιακό	60	3,25	125	6	140	7	140	9
Επαρχιακό / Εθνικό	80	3,50	250	4	280	5	280	7
Εθνικό	100	3,75	420	3	480	4	480	6

*όπου: V_0 = ταχύτητα μελέτης, q = επίκλιση σε κυκλικό τόξο, s = κατά μήκος κλίση

Το μήκος ορατότητας για στάση (Stopping Sight Distance [SSD]) αξιολογείται ως προς την επάρκειά του σε ολόκληρο το οδόστρωμα ακολουθώντας την πολιτική σχεδιασμού της Αμερικανική Ένωση Πολιτειακών Αυτοκινητοδρόμων και Ανώτερων Υπαλλήλων Μεταφορών (AASHTO, 2001) και το μήκος ορατότητας για απόφαση (Decision Sight Distance [DSD]) αξιολογείται στους ισόπεδους κόμβους σύμφωνα με τις οδηγίες που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6 του Εγχειριδίου Σχεδιασμού του Υπουργείου Μεταφορών της Αϊόβα (IDT, 2004). Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση λαμβάνεται από το διάγραμμα του Σχήματος 8.4 σε συνάρτηση με την ταχύτητα V_{85} και την κατά μήκος κλίση της οδού s . Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για απόφαση λαμβάνεται από τον Πίνακα 8.3 διορθωμένο ανάλογα με τη γωνία προσέγγισης στην κύρια οδό από έναν διορθωτικό συντελεστή που λαμβάνεται από τον Πίνακα 8.4.



Σχήμα 8.4: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση σε υγρό οδόστρωμα [Πηγή: ΟΜΟΕ-Χ]

Η επίκλιση στην ευθυγραμμία και στο κυκλικό τόξο καταγράφεται μέσω σχετικών μετρήσεων ή από την οριστική μελέτη εάν αυτή είναι διαθέσιμη και συγκρίνεται με τις τυποποιημένες οριακές τιμές (ΕΕΖΕΕΔ, 2001).

Οι ακτίνες καμπυλότητας συγκρίνονται με τις τυποποιημένες ελάχιστες τιμές που δίνονται από τις οδηγίες με βάση την ταχύτητα μελέτης. Εάν η ταχύτητα μελέτης είναι άγνωστη, η λειτουργική ταχύτητα V_{85} μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καθοριστική ταχύτητα για τις ελάχιστες τιμές ακτινών καμπυλότητας.

Πίνακας 8.3: Μήκος ορατότητας για απόφαση σε ισόπεδο κόμβο [Πηγή: IDT, 2004]

Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Μήκος ορατότητας για αριστερή στροφή εισόδου στην κυρία οδό (m)	Μήκος ορατότητας για ευθεία κίνηση εισόδου – εξόδου (κάθετη κίνηση) από την κυρία οδό (m)
20	45	40
30	65	55
40	85	75
50	105	95
60	130	110
70	150	130
80	170	145
90	190	165
100	210	185
110	230	200
120	255	220
130	275	235

Πίνακας 8.4: Διορθωτικός συντελεστής ανάλογα με τη γωνία προσέγγισης στην κυρία οδό [Πηγή: IDT, 2004]

Γωνία (μοίρες)	90	80	70	60	45
Συντελεστής	1,00	1,01	1,03	1,06	1,17
Ο ακριβής συντελεστής μπορεί να βρεθεί με γραμμική παρεμβολή					

Το πλάτος λωρίδας συγκρίνεται με τις τυποποιημένες τιμές με βάση την ταχύτητα μελέτης. Ο κανόνας για την επάρκεια του πλάτους λωρίδας στηρίζεται στο γεγονός ότι οι στενές λωρίδες συνδέονται με τον αυξανόμενο κίνδυνο εξόδου του οχήματος από την οδό, μετωπικών συγκρούσεων, αντίθετης κατεύθυνσης πλαγιομετωπικών συγκρούσεων και πλαγιομετωπικών συγκρούσεων ίδιας κατεύθυνσης. Σύμφωνα με την αναφορά «National Cooperative Highway Research Program Report 502», με τίτλο «Geometric Design Consistency on High-Speed Rural Two-Lane Roadways», μειώσεις του πλάτους λωρίδας, που συνδέονται με μεγαλύτερη από 5% αύξηση του κινδύνου ατυχημάτων, θεωρούνται απαράδεκτες. Αυτό το αυξημένο ποσοστό ατυχημάτων αντιστοιχεί σε μειωμένο κατά 0,30 μ. πλάτος λωρίδας όταν η μέση ημερήσια κυκλοφορία (ΜΗΚ) είναι πάνω από 2.000 οχήματα. Θεωρώντας μια μάλλον πιο συντηρητική αξιολόγηση της επάρκειας σχεδιασμού προς την πλευρά της ασφάλειας, η αποδεκτή απόκλιση μεταξύ του πραγματικού πλάτους λωρίδας και των τυποποιημένων τιμών ορίζεται στα 0,25 μ. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι η μείωση του πλάτους λωρίδας κατά 0,25 μ. αντιστοιχεί στις περισσότερες περιπτώσεις στην αλλαγή της λειτουργικής κατηγορίας μιας οδού σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ (ΕΕΖΕΕΔ 2001).

Τα πλάτη των γεφυρών αξιολογούνται σε κάθε περίπτωση ανάλογα με τη ΜΗΚ όπως προτείνονται στον Πίνακα 8.5. Εάν η διεύρυνση παρόδων προγραμματίζεται ως τμήμα της βελτιωτικής επιλογής που επιλέγεται, το χρησιμοποιήσιμο πλάτος γεφυρών πρέπει να συγκριθεί με το προγραμματισμένο πλάτος των παρόδων προσέγγισης αφότου διευρύνονται.

Πίνακας 8.5: Ελάχιστο πλάτος γεφυρών [Πηγή: FHWA, 1988]

ΜΗΚ έτους σχεδιασμού (οχήματα)	Πλάτος γέφυρας
0 - 750	Πλάτος λωρίδων οδού
751 – 2.000	Πλάτος λωρίδων οδού συν 0,6 μ.
2.001 – 4.000	Πλάτος λωρίδων οδού συν 1,2 μ.
Πάνω από 4.000	Πλάτος λωρίδων οδού συν 1,8 μ.

Τέλος, η κλίση s καταγράφεται μέσω σχετικών μετρήσεων και συγκρίνεται με τις μέγιστες τυποποιημένες τιμές που απαιτούνται από τις προδιαγραφές (ΕΕΖΕΕΔ, 2001).

Η αποδεκτή απόκλιση από όλες τις προαναφερόμενες οριακές τιμές παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 8.6: Κριτήρια αποδεκτής απόκλισης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ / ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Μήκος ορατότητας για στάση / απόφαση (ελάχιστη τιμή)	$D_i < D_{min}$
Επίκλιση σε ευθυγραμμία / Επίκλιση σε κυκλικό τόξο (ελάχιστη / μέγιστη τιμή)	$2,5\% < q < q_{max}$
Ακτίνα καμπυλότητας (ελάχιστη τιμή)	$R_i < R_{min}$
Πλάτος λωρίδας (ελάχιστη τιμή)	$ b_i - b_{req} \leq 0,25 \text{ m}$
Κλίση (μέγιστη τιμή)	$s_i - s_{max} < 1\%$

8.11 Αξιολόγηση ζητούμενης εξυπηρετικότητας

Η αξιολόγηση της ζητούμενης εξυπηρετικότητας (performance) αποτελείται από την αξιολόγηση της ΣΕ, τα κριτήρια ασφαλείας και την περιβαλλοντική/κοινωνική προσαρμογή της χάραξης ως εξής.

8.11.1 Αξιολόγηση της ΣΕ

Αντιμετωπίζοντας την περίπτωση μιας παλαιάς οδού, το επόμενο βήμα είναι η μέτρηση του κυκλοφοριακού φόρτου Q_0 και της ΣΕ. Το έτος σχεδιασμού για τις βελτιωτικές επεμβάσεις ορίζεται το 20ο έτος από την παράδοση στην κυκλοφορία της αναβαθμισμένου οδού, θεωρώντας αυτό το χρονικό διάστημα έναν ικανοποιητικό κύκλο ζωής μίας αναβαθμισμένης τυπικής δίστιβης οδού.

Η ζητούμενη ΣΕ για το έτος σχεδιασμού καθορίζεται από τους σχετικούς υπολογισμούς των χαρακτηριστικών και του κυκλοφοριακού φόρτου σχεδιασμού με τα γραφικά κριτήρια των ΣΕ σύμφωνα με τη μεθοδολογία HCM (HCM, 2000).

8.11.2 Κριτήρια ασφαλείας

Εάν η ταχύτητα μελέτης V_0 μιας παλαιάς οδού είναι άγνωστη, η λειτουργική ταχύτητα V_{85} θεωρείται ως ταχύτητα σχεδιασμού. Σε γενικές γραμμές, «η λειτουργική ταχύτητα αντιστοιχεί στην οδηγική συμπεριφορά των συνηθισμένων χρηστών της οδού» και καθορίζει τα επιθυμητά γεωμετρικά χαρακτηριστικά που εξασφαλίζουν την ασφάλεια της κυκλοφορίας. Η διαφορά μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας και της ταχύτητας μελέτης που εξετάζεται παράλληλα με την απόκλιση της λειτουργικής ταχύτητας μεταξύ δύο διαδοχικών στοιχείων χάραξης της οδού («ευθυγραμμία-καμπύλη» ή «καμπύλη-καμπύλη») παράγει τον χαρακτηρισμό της ποιότητας σχεδιασμού της οδού από την άποψη της ασφάλειας και της άνεσης. Κατά αυτόν τον τρόπο, διαμορφώνεται μια χάραξη που επηρεάζει αναλογικά τη συμπεριφορά των οδηγών και επιτυγχάνονται δύο θεμελιώδεις στόχοι:

1. *Η ταχύτητα μελέτης παραμένει σταθερή σε ένα οδικό τμήμα ικανοποιητικού μήκους ή στα οδικά τμήματα που αποτελούν χαρακτηριστικές μονάδες και έχουν παρόμοια λειτουργικά χαρακτηριστικά.*

2. *Αποφεύγεται η υπερεκτίμηση ή η υποτίμηση των χαρακτηριστικών στοιχείων σχεδιασμού στο οδικό τμήμα.*

Οι μελέτες βελτιστοποίησης και βελτίωσης των υφιστάμενων οδών μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να θεωρούνται αποδεκτές, όταν κύριο κριτήριο είναι η οικονομία, εάν αξιολογηθούν όσον αφορά την ποιότητα σχεδιασμού μέτρεις («Αποδεκτή» - Πίνακας 8.7).

Πίνακας 8.7: Κριτήρια ποιότητας σχεδιασμού οδού [Πηγή: ΕΕΖΕΕΔ, 2001]

Κριτήριο Ασφαλείας	Ποιότητα σχεδιασμού οδού		
	Καλή	Αποδεκτή	Μη αποδεκτή
I	$ V_{85}-V_0 < 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} \leq V_{85}-V_0 \leq 20 \text{ km/h}$	$20 \text{ km/h} < V_{85}-V_0 $
II	$ V_{85i}-V_{85(i+1)} < 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} \leq V_{85i}-V_{85(i+1)} \leq 15 \text{ km/h}$	$15 \text{ km/h} < V_{85i}-V_{85(i+1)} $

όπου: V_{85} = λειτουργική ταχύτητα, V_0 = ταχύτητα μελέτης και i = αριθμός καμπύλης

Έτσι, τα δύο κριτήρια που παρουσιάζονται ανωτέρω εκπληρώνονται αντίστοιχα όταν:

1. $V_{85} - V_0 \leq 20 \text{ km/h}$ (ΕΕΖΕΕΔ, 2001) και
2. $V_{85i} - V_{85(i+1)} \leq 15 \text{ km/h}$ (ΕΕΖΕΕΔ, 2001) όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος σχεδιασμού είναι μικρότερος από 750 οχήματα ανά ημέρα (FHWA, 1988).

Σε περίπτωση που η διαφορά μεταξύ V_{85} και V_0 είναι λιγότερο από 10 km/h, καμία περαιτέρω βελτίωση δεν απαιτείται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η «Συντήρηση» αποτελείται από μία νέα στρώση ασφαλτοτάπητα και την αντικατάσταση του φθαρμένου εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου κυκλοφορίας. Εάν αυτή η διαφορά υπερβαίνει τα 10 km/h παραμένοντας λιγότερο από 20 km/h, οι επικλίσεις στα κυκλικά τόξα χρειάζονται επανυπολογισμό βάσει της V_{85} , προκειμένου να εξασφαλιστούν ασφαλή χαρακτηριστικά πρόσφυσης. Όποτε αυτό δεν είναι δυνατό, συστήνεται αντ' αυτού η τοποθέτηση των κατάλληλων προειδοποιητικών πινακίδων.

8.11.3 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά ζητήματα

Οι οδοί που κατασκευάστηκαν στις προηγούμενες δεκαετίες ενδέχεται να προκαλούν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Ο βαθμός αυτού του αντίκτυπου εξαρτάται από εγγενείς περιορισμούς όπως η εγγύτητα στις ιστορικές/αρχαιολογικές περιοχές ή οι περιβαλλοντικά προστατευόμενες ζώνες (π.χ. «Natura 2000») κοντά στην οδό και ποσοτικοποιείται πολύ δύσκολα. Εντούτοις, δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι η προσαρμογή της γεωμετρίας της οδού και των χαρακτηριστικών κυκλοφορίας στο περιβάλλον είναι ένας καθοριστικός παράγοντας που λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπ' όψιν προκειμένου να αρχίσουν οι επεμβάσεις αναβάθμισης. Ο βαθμός της περιβαλλοντικής προσαρμογής ποσοτικοποιείται πολύ δύσκολα, έτσι θεωρείται μια ποιοτική εκτίμηση της υπάρχουσας χάραξης. Η περιβαλλοντική επίδραση είναι ενοχλητική ή επιθετική σε περίπτωση που ιστορικά ή αρχαιολογικά μνημεία είναι πολύ κοντά ή σε επαφή με την οδό. Μια χάραξη διαμέσου περιβαλλοντικά προστατευόμενων ζωνών θεωρείται επίσης ως ένας αυστηρός περιορισμός για την αξιολόγηση της υφιστάμενης χάραξης.

Από την άποψη του κοινωνικού αντίκτυπου, η υφιστάμενη χάραξη μέσω κατοικημένων περιοχών αξιολογείται υπό την οπτική του δείκτη ατυχημάτων.

8.12 Μεθοδολογία επιλογής των εναλλακτικών στρατηγικών

Προκειμένου να γίνει η επιλογή της καλύτερης στρατηγικής αναβάθμισης, κάθε οδικό τμήμα εξετάζεται μέσω των προαναφερομένων κριτηρίων επιλογής. Ανάλογα με τα αποτελέσματα των ανωτέρω ελέγχων, το μοντέλο οδηγεί στην κατηγοριοποίηση της οδού και αντίστοιχα στη βέλτιστη στρατηγική αναβάθμισης.

8.12.1 Έλεγχος επάρκειας για την επιλογή «Συντήρησης»

Η επιφάνεια του οδοστρώματος έχει επιδεινωθεί, παρατηρούνται ρηγματώσεις, λακκούβες και τροχοαυλάκωση. Ο εξοπλισμός ασφάλειας και ελέγχου κυκλοφορίας έχει φθαρεί. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποδεικνύονται ικανοποιητικά. Η ΣΕ του έτους σχεδιασμού υπολογίζεται ότι είναι «C» ή υψηλότερη και τα κριτήρια ασφάλειας εκπληρώνονται. Τέλος, η εκτίμηση περιβαλλοντικού και κοινωνικού αντίκτυπου υπολογίζεται ότι είναι ικανοποιητική. Εάν όλα αυτά ισχύουν, το μοντέλο υποδεικνύει μία οδό της πρώτης κατηγορίας και επιλέγεται ως βέλτιστη στρατηγική αναβάθμισης η «Συντήρηση».

Οι εργασίες αναβάθμισης αποτελούνται από την επισκευή της επιφάνειας του οδοστρώματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές και την επισκευή των φθαρμένων ή την αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων στοιχείων εξοπλισμού.

8.12.2 Γεωμετρικός και λειτουργικός έλεγχος για την επιλογή «Αποκατάστασης»

Η οδός παρέχει ΣΕ «B» ή «C» και η εκτίμηση περιβαλλοντικού/κοινωνικού αντίκτυπου είναι ικανοποιητική. Το αποφασιστικό κριτήριο για την επιλογή της «Αποκατάστασης» ως καλύτερη βελτιωτική στρατηγική είναι η επάρκεια της γεωμετρίας στις στροφές και τους κόμβους. Εάν δεν ικανοποιείται ένα από τα κριτήρια ελέγχου για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της χάραξης (Πίνακας 8.5), η «Αποκατάσταση» επιλέγεται ως η καλύτερη εναλλακτική αναβάθμισης.

Ακόμα κι αν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αξιολογούνται είναι επαρκή, τα κριτήρια ασφαλείας (Πίνακας 8.6) που παρουσιάζονται ανωτέρω δίνουν μια πιο σύνθετη άποψη της ποιότητας της οδού από τη σκοπιά της ασφαλείας και της άνεσης. Σε περίπτωση που ένα από τα δύο κριτήρια ασφαλείας δεν ικανοποιείται, οι εργασίες «Αποκατάστασης» επιλέγονται ως οι καταλληλότερες. Στις εργασίες περιλαμβάνεται και η αποκατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος εάν αυτή παρουσιάζει φθορές, καθώς και αντικατάσταση των φθαρμένων ή ακατάλληλων στοιχείων εξοπλισμού ασφαλείας και ελέγχου της κυκλοφορίας.

Οι επεμβάσεις αποτελούνται από τον επανασχεδιασμό και την ανακατασκευή των καμπυλών και των ισόπεδων κόμβων, τις τοπικές ή εκτεταμένες επισκευές της

επιφάνειας του οδοστρώματος και την επισκευή ή αντικατάσταση του εξοπλισμού ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας.

Η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας (R_{req}) και το συνιστώμενο πλάτος λωρίδας (I_{req}) δίνονται στον Πίνακα 8.2. Κατά συνέπεια, για ένα οδικό τμήμα «καμπύλη – καμπύλη» (Σχήμα 8.3), οι ακτίνες καμπυλότητας R_i (R_1, R_2) αυξάνονται σε R_{req} (R'_1, R'_2) προκειμένου να ανταποκριθούν στις σύγχρονες προδιαγραφές σχεδιασμού.

Η «Ανακατασκευή» αποτελείται από εργασίες διαπλάτυνσης της οδού, τον επανασχεδιασμό της ακτίνας καμπυλότητας όπου απαιτείται και την επέκταση της υποδομής. Μετά τον καθορισμό των ακτινών καμπυλότητας (R'_1, R'_2) που απαιτούνται για κάθε στροφή, είναι απαραίτητος ο πλήρης επανασχεδιασμός του οδικού τμήματος, δηλ. των χαρακτηριστικών χάραξης, του πλάτους λωρίδων, της κατά μήκος κλίσης και της επίκλισης. Ο επανασχεδιασμός του οδικού τμήματος καθορίζει τον όγκο των χωματουργικών έργων, τις υποδομές που επεκτείνονται και τις ενδεχόμενες απαλλοτριώσεις.

8.12.3 Επάρκεια της οδού και της ΣΕ για την επιλογή «Ανακατασκευής»

Για οικονομικούς λόγους, το ποσοστό του μέγιστου κυκλοφοριακού φόρτου που απαιτείται να εξυπηρετηθεί πρέπει να είναι σημαντικό, αντιστοιχώντας σε έναν ικανοποιητικό βαθμό εκμετάλλευσης της φέρουσας ικανότητας της οδού. Ο ελάχιστος βαθμός εκμετάλλευσης για τις υφιστάμενες δίστιβες οδούς καθορίζεται σε 40%. Συνεπώς, η ΣΕ «C» και η ΣΕ «D» ορίζεται ως η ελάχιστη και μέγιστη επιθυμητή αντίστοιχα (Πίνακας 8.8).

Η περίοδος σχεδιασμού αναφέρεται σε 20 - 25 έτη τουλάχιστον, για την αποδοχή του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της οδού σύμφωνα με το ελάχιστο αποδεκτό όριο του Πίνακα 8.8, που σημαίνει κυκλοφοριακό φόρτο που αντιστοιχεί σε ΣΕ «C» ή «D».

Πίνακας 8.8: Βαθμός εκμετάλλευσης της οδού σύμφωνα με τη ΣΕ

Δίκτυο	Καταλληλότητα βάσει της ΣΕ		
	Καλή	Αποδεκτή	Μη αποδεκτή
Επαρχιακό / Εθνικό	ΣΕ = Α ή Β	ΣΕ = C ή D	ΣΕ = E ή F

Εάν η ΣΕ του έτους σχεδιασμού (π.χ. 20ετία), σύμφωνα με την εκτίμηση του κυκλοφοριακού φόρτου, είναι «μη αποδεκτή» βάσει του Πίνακα 8.8, τότε το προτεινόμενο μοντέλο παρακάμπει την «Αποκατάσταση» και υποδεικνύει την «Ανακατασκευή» ως βέλτιστη εναλλακτική λύση αναβάθμισης.

Θεωρείται επιπρόσθετα δεδομένο ότι η προσαρμογή της οδού στο περιβάλλον επισύρει όλα εκείνα τα κατάλληλα μέτρα, έτσι ώστε η νέα ή αναβαθμισμένη οδός να έχει όσο το δυνατόν μικρότερο αντίκτυπο στο τοπίο και να ενσωματώνεται στο υφιστάμενο εδαφικό ανάγλυφο.

8.12.4 Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) με εναλλακτικές την 3^η και 4^η επιλογή αναβάθμισης

Μετά την ολοκλήρωση των ελέγχων των γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών της οδού και εφόσον αποκλειστούν η 1^η και 2^η επιλογής αναβάθμισης, σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία, το επόμενο και τελευταίο βήμα συνίσταται στη διερεύνηση βασικών επιπτώσεων που ενδέχεται να έχει η 3^η επιλογή αναβάθμισης στο περιβάλλον της περιοχής. Οι βασικές αυτές επιπτώσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.9.

Πίνακας 8.9: Βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της 3^{ης} επιλογής αναβάθμισης

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ / ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
Ιστορικοί / αρχαιολογικοί χώροι κοντά στην οδό
Χάραξη της οδού διαμέσου ή κοντά σε περιβαλλοντικά προστατευμένες περιοχές
Χάραξη της οδού διαμέσου κατοικημένων περιοχών (οικισμοί) που συνδέεται με υψηλό δείκτη ατυχημάτων
Κίνδυνος μόλυνσης από μεγάλο ποσοστό βαρέων οχημάτων

Εξειδικευμένο προσωπικό της αρμόδιας Υπηρεσίας και κατά περίπτωση εξωτερικοί συνεργάτες πρέπει να εξετάσουν τους περιορισμούς του Πίνακα 7.9. Εάν έστω και ένας από αυτούς ισχύει, τότε θα πρέπει να συνταχθεί σχετική ΜΠΕ που θα περιλαμβάνει δύο εναλλακτικές λύσεις και αυτές θα είναι η 3^η και η 4^η επιλογή αναβάθμισης, δηλαδή η «Ανακατασκευή» και η «Νέα Χάραξη». Η ΜΠΕ θα εξετάζει τον οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό αντίκτυπο και θα διεκπεραιώνεται βάσει της μεθοδολογίας που αναλύεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία ΓΔ XI (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1995).

8.12.5 Εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου

Για την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου είναι απαραίτητη κατ' αρχήν η αξιολόγηση των φθορών της επιφάνειας του οδοστρώματος, των γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών, η διερεύνηση των κριτηρίων ασφαλείας. Εφόσον η αξιολόγηση αυτή δεν καταλήγει σε μία από τις δύο πρώτες επιλογές αναβάθμισης («Συντήρηση» και «Αποκατάσταση»), τότε εξετάζονται οι βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της 3^{ης} επιλογής («Ανακατασκευή»). Εάν παρουσιάζονται αυτές οι επιπτώσεις ως αντίκτυπος της εφαρμογής της «Ανακατασκευής», τότε σε τελευταία

φάση λαμβάνει χώρα μια ΜΠΕ με τις εναλλακτικές της «Ανακατασκευής» και της «Νέας Χάραξης». Το αποτέλεσμα της ΜΠΕ υποδεικνύει την βέλτιστη επιλογή αναβάθμισης της οδού. Ανάλογα με τα αποτελέσματα κάθε ελέγχου, επιλέγεται η βέλτιστη επιλογή βάσει του συγκεντρωτικού Πίνακα 8.10.

Πίνακας 8.10: Βέλτιστη επιλογή αναβάθμιση

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ	Φθορές οδοστρώματος		Απαρχαιωμένος εξοπλισμός		Μη ικανοποιητική γεωμετρία		Μικρή απόκλιση		Ζημαντική απόκλιση		Επαρκής επιφάνεια / οδοστρώματος		Μη επαρκής επιφάνεια / οδοστρώματος		Υψηλή Σ.Ε.		Χαμηλή Σ.Ε.		ΜΠΕ
	Απαρχαιωμένος εξοπλισμός	Μη ικανοποιητική γεωμετρία	Μικρή απόκλιση	Ζημαντική απόκλιση	Επαρκής επιφάνεια / οδοστρώματος	Μη επαρκής επιφάνεια / οδοστρώματος	Υψηλή Σ.Ε.	Χαμηλή Σ.Ε.											
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 ή 4
Φθορές οδοστρώματος Απαρχαιωμένος ή φθαρμένος εξοπλισμός	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 ή 4
Ικανοποιητική γεωμετρία	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 ή 4
Μη ικανοποιητική γεωμετρία	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3 ή 4
Μικρή απόκλιση $ V_{85}-V_0 $, $ V_{85i}-V_{85i+1} $	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 ή 4
Σημαντική απόκλιση $ V_{85}-V_0 $, $ V_{85i}-V_{85i+1} $	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3 ή 4
Επαρκής επιφάνεια / πλάτος οδοστρώματος	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 ή 4
Μη επαρκής επιφάνεια / πλάτος οδοστρώματος	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ή 4
Χαμηλή Σ.Ε. Υψηλή Σ.Ε.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ή 4
ΜΠΕ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 ή 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΥ

9.1 Εισαγωγή – Ορισμός

Με την έννοια τμηματοποίηση ορίζεται η υποδιαίρεση μιας οδού σε τμήματα βάσει καθορισμένων κριτηρίων.

Η τμηματοποίηση μιας οδού είναι ιδιαίτερα σημαντική και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη σωστή αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος. Κι αυτό γιατί εφόσον δεν έχει τυποποιηθεί με απόλυτα συγκεκριμένο τρόπο, υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της οδού να μην είναι αντιπροσωπευτικά της πραγματικής κατάστασης και να οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Για την αποφυγή των παραπάνω, στο Κεφάλαιο αυτό της διατριβής, προτείνεται μια μεθοδολογία για την τμηματοποίηση δίστιβων οδών μη διαχωρισμένης κυκλοφορίας του επαρχιακού και εθνικού δικτύου, με βάση σαφώς καθορισμένα και συγκεκριμένα κριτήρια.

Ακολούθως παρουσιάζονται οι υφιστάμενες μεθοδολογίες τμηματοποίησης και σε επόμενη φάση αναλύεται η χρησιμότητα της τμηματοποίησης για την αξιολόγηση και τις επεμβάσεις που ενδείκνυνται ανάλογα με τα ευρήματά της.

9.2 Υφιστάμενες Πρακτικές Τμηματοποίησης

Το εγχειρίδιο HCM (Highway Capacity Manual) της Ομοσπονδιακής Διοίκησης Αυτοκινητοδρόμων FHWA (Federal Highway Administration) των Η.Π.Α., βασίζεται στα εξής κριτήρια για την τμηματοποίηση μιας οδού:

- A) Τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά κατά μήκος ενός τμήματος της εθνικής οδού
- B) Το εδαφικό ανάγλυφο (ορεινό ή πεδινό)
- Γ) Τη γεωμετρία
- Δ) Τη λειτουργική κατάταξη

Αυτή η μεθοδολογία χαρακτηριστικά εφαρμόζεται σε τμήματα εθνικών οδών τουλάχιστον 2 μιλίων (mi). Τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά που απαιτούνται, περιλαμβάνουν τον διπλής κατεύθυνσης ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο, έναν συντελεστή ώρας αιχμής ΣΩΑ (Peak Hour Factor [PHF]) και την κατανομή ανά κατεύθυνση της κυκλοφοριακής ροής. Ο ΣΩΑ μπορεί να υπολογιστεί από τα τυχόν διαθέσιμα στοιχεία κυκλοφορίας ή από κατάλληλες προκαθορισμένες τιμές που αντιστοιχούν στις ταξινομημένες σε πίνακες τιμές που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 12 του HCM (Highway Capacity Manual). Τα στοιχεία κυκλοφορίας περιλαμβάνουν επίσης το ποσοστό των βαρέων οχημάτων σε κάθε ρεύμα κυκλοφορίας (FHWA, 2000).

Σε μια αναφορά υπό την αιγίδα του Υπουργείου Μεταφορών της πολιτείας του Texas (Texas Department of Transportation [T/DOT] – Research and Technology Implementation Office, 2007) με τίτλο «Διαδικασία για τη χρησιμοποίηση του δείκτη ατυχημάτων στον σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων» (Procedure for Using Modification Factors in the Highway Design Process), η διαδικασία τμηματοποίησης (segmentation procedure) βασίζεται σε συγκεκριμένα κριτήρια και εδράζεται κυρίως στην αναγκαιότητα ομοιογένειας για κάθε μήκος (τμήμα) του οδοστρώματος που εξετάζεται. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση ενός μήκους του οδοστρώματος προϋποθέτει ότι το οδόστρωμα διαιρείται σε ομοιογενή τμήματα. Εν προκειμένω, τα τμήματα θεωρούνται ομοιογενή όταν η κυκλοφορία, η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας είναι τα ίδια για το μήκος του τμήματος που αναλύεται. Τα ακόλουθα βήματα περιγράφουν τη διαδικασία για κάθε τμήμα οδοστρώματος.

Βήμα 1 - Καθορισμός αρχικών τμημάτων

Για το υπό εξέταση οδόστρωμα, όπως προσδιορίζεται στο Βήμα 1 της διαδικασίας, λαμβάνονται οι απαραίτητες πληροφορίες κυκλοφορίας και γεωμετρίας για να εφαρμοστούν οι κανόνες κατάτμησης που προσδιορίζονται στον Πίνακα 9.1. Αυτοί οι κανόνες αντιπροσωπεύουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις ενός τμήματος στην αρχή του. Τα όρια κάθε τμήματος καθορίζονται από αυτούς τους κανόνες επειδή το σχετικό χαρακτηριστικό σχεδιασμού είναι γνωστό ότι έχει σημαντική επίδραση στην ασφάλεια. Επιπρόσθετα, τα κριτήρια υποδιαίρεσης που απαριθμούνται στον Πίνακα 9.1 (και που αναλύονται στο Βήμα 3) αντιπροσωπεύουν τις επιθυμητές προϋποθέσεις ενός νέου τμήματος. Αυτά τα κριτήρια χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τις περιπτώσεις όπου μία αλλαγή στο χαρακτηριστικό σχεδιασμού είναι αρκετά σημαντική ώστε ενδέχεται να έχει επίδραση στην ασφάλεια.

Το πρώτο τμήμα εκτείνεται από την αρχή της οδού μέχρι τη θέση όπου ένας ή περισσότεροι από τους κανόνες του Πίνακα 9.1 υποδεικνύουν την αναγκαιότητα να αρχίσει ένα νέο τμήμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας κόμβος ή μία διασταύρωση δεν καθορίζει απαραίτητα το όριο ενός τμήματος. Μία ή περισσότερες διασταυρώσεις (ισόπεδοι κόμβοι) μπορούν να εμπεριέχονται σε ένα τμήμα. Το μοντέλο πρόβλεψης ασφάλειας τμήματος υπολογίζει μόνο εκείνα τα ατυχήματα που λαμβάνουν χώρα εντός του τμήματος. Τα ατυχήματα δεν περιλαμβάνουν αυτά που προσδιορίστηκαν στην έκθεση ατυχημάτων ως γενόμενα επί της διασταύρωσης ή ως συσχετιζόμενα με τη διασταύρωση. Τα ατυχήματα γενόμενα επί της διασταύρωσης ή ως συσχετιζόμενα με τη διασταύρωση υπολογίζονται χωριστά χρησιμοποιώντας το μοντέλο πρόβλεψης ασφάλειας διασταύρωσης. Αν και δεν είναι απαραίτητο να καθοριστεί η αρχή ενός τμήματος σε μια διασταύρωση, πιθανόν να είναι απαραίτητο να γίνει έτσι εάν ο ΜΗΚ (μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος) – ADT (Average Daily Traffic) αλλάζει στη διασταύρωση κατά το ποσοστό που υπερβαίνει τον κανόνα που διευκρινίζεται στον Πίνακα 9.1.

Πίνακας 9.1: Κανόνες τμηματοποίησης και κριτήρια υποδιαίρεσης [Πηγή: T/DOT, 2007]

Κατηγορία	Χαρακτηριστικό Σχεδιασμού	Κανόνας ή Κριτήριο
Κανόνες Τμηματοποίησης	Μέσος Ημερήσιος Κυκλοφοριακός Φόρτος	Αν η διαφοροποίηση ξεπερνά το 5%
	Οριζόντια καμπύλη	Τμήμα από την αρχή μέχρι το τέλος της καμπύλης
	Διαγραμμίσεις στον κεντρικό άξονα	Τμήμα από την αρχή μέχρι το τέλος
	Λωρίδα αριστερής στροφής και στις δύο κατεύθυνσης	Τμήμα από την αρχή μέχρι το τέλος
	Λωρίδα προσπέρασης	Τμήμα από την αρχή μέχρι το τέλος
Κριτήρια Υποδιαίρεσης Τμημάτων	Κατά μήκος κλίση ¹	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν η αλλαγή είναι μεγαλύτερη από 3 %
	Πλάτος λωρίδας	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν η αλλαγή είναι $\pm 0,3$ μ.
	Πλάτος λωρίδας εξωτερικού ερείσματος	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν η αλλαγή είναι $\pm 0,3$ μ.
	Οριζόντια ορατότητα	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν η αλλαγή είναι ± 3 μ.
	Κλίση πρανούς	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν η αλλαγή της κλίσης είναι από μία από τις ακόλουθες κατηγορίες στην άλλη: 1:3 ή πιο επίπεδο, πιο επικλινές από 1:3
	Πλάτος γέφυρας	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν το πλάτος λωρίδας της γέφυρας είναι λιγότερο από το πλάτος λωρίδας της οδού συν 0,6 μ.

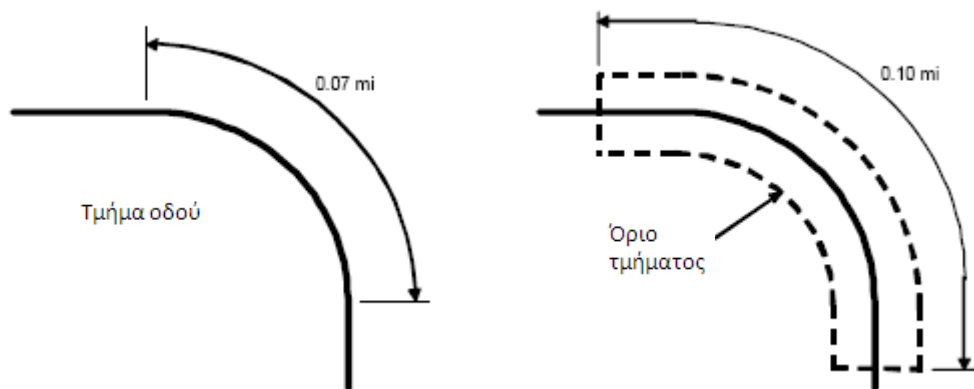
¹Εάν ένα τμήμα υποδιαιρείται λόγω αλλαγής του πρόσημου κλίσης, το νέο τμήμα πρέπει να αρχίσει στο σημείο καμπής

Βήμα 2 - Ρύθμιση του μήκους μικρών τμημάτων

Όλα τα τμήματα που καθορίζονται στο Βήμα 1 πρέπει να έχουν μήκος 0,1 mi ή περισσότερο λόγω της ακρίβειας της θέσης ατυχήματος. Εάν ένα χαρακτηριστικό σχεδιασμού του Πίνακα 9.1 χρησιμοποιείται για να καθορίσει ένα τμήμα, αλλά το μήκος του χαρακτηριστικού είναι λιγότερο από 0,1 mi (π.χ. μια οριζόντια καμπύλη 0,07 mi), τότε το μήκος τμήματος πρέπει να αυξάνεται σε 0,1 mi. Οποιοδήποτε τμήμα που αυξάνεται το μήκος του κατά αυτόν τον τρόπο πρέπει να κεντροθετηθεί με βάση το μικρό μήκος του χαρακτηριστικού σχεδιασμού. Το πρόσθετο μήκος για αυτό το τμήμα θα αποτελείται από τα παρακείμενα τμήματα οδοστρώματος. Το αποτελεσματικό μήκος του χαρακτηριστικού σχεδιασμού για τον υπολογισμό του δείκτη ατυχημάτων θεωρείται ίσο με 0,1 mi (όχι το πραγματικό μήκος). Αυτή η έννοια διευκρινίζεται στο Σχήμα 9.1 όπου το τμήμα που περιέχει μια 0,07 mi καμπύλη αυξάνεται σε 0,1 mi.

Βήμα 3 - Καθορισμός πρόσθετων τμημάτων

Για όλα τα μη-καμπύλα (ευθύγραμμα) τμήματα, εφαρμόζονται τα κριτήρια υποδιαίρεσης που προσδιορίζονται στον Πίνακα 9.1 για να καθοριστεί εάν απαιτείται περαιτέρω υποδιαίρεση των αρχικών τμημάτων. Όπως σημειώνεται στο Βήμα 2, όλα τα τμήματα πρέπει να έχουν ένα μήκος 0,1 mi ή περισσότερο λόγω της σχετικής ακρίβειας (0,1 mi) της θέσης ατυχήματος. Εάν, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των κριτηρίων υποδιαίρεσης, ένα τμήμα είναι λιγότερο από 0,1 mi, τότε πρέπει να συνδυαστεί με ένα παρακείμενο μη-καμπύλο τμήμα, εάν αυτό είναι δυνατόν, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα νέο τμήμα που έχει μήκος τουλάχιστον 0,1 mi.



Σχήμα 8.1: Απεικόνιση του καθορισμού τμήματος για μικρού μήκους χαρακτηριστικά σχεδιασμού

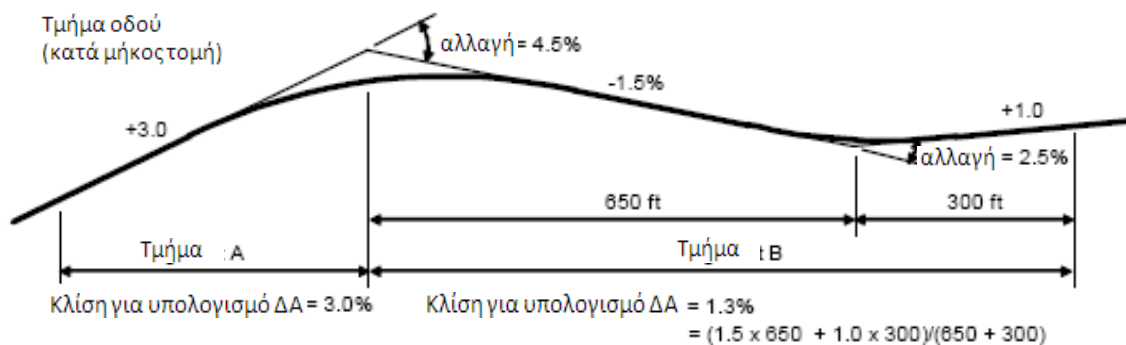
Βήμα 4 - Καθορισμός τμημάτων βάσει κρίσης

Εάν, μετά την ολοκλήρωση των Βημάτων 1, 2, και 3, ο συνδυασμός αλλαγών σε ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά σχεδιασμού σε οποιοδήποτε τμήμα είναι πιθανό να οδηγήσει σε μια σημαντική αλλαγή στην κατάσταση του οδοστρώματος, τότε απαιτείται η κρίση εξειδικευμένου προσωπικού προκειμένου να αποφασιστεί εάν πρέπει να υποδιαιρεθεί περαιτέρω το τμήμα για να προσαρμόσει αυτές τις αλλαγές. Οι αλλαγές μπορεί να αφορούν στα χαρακτηριστικά σχεδιασμού που παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.1, καθώς επίσης και οποιαδήποτε άλλα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος ή περιβάλλοντος της οδού, που έχουν επιρροή στην ασφάλεια (π.χ. πυκνότητα κυκλοφορίας, παρουσία ερείσματος με τραχεία επιφάνεια κ.λπ.).

Συμπληρωματικές οδηγίες

Οποιαδήποτε διάσταση χαρακτηριστικών σχεδιασμού (π.χ. πλάτος λωρίδας) που ποικίλλει μέσα σε ένα τμήμα πρέπει να υπολογίζεται κατά μέσο όρο και ο μέσος όρος να χρησιμοποιείται σε κάθε μοντέλο πρόβλεψης ασφάλειας. Μια παραλλαγή αυτής της οδηγίας ισχύει όταν αλλάζει η κατά μήκος κλίση μέσα σε ένα τμήμα. Συγκεκριμένα,

εάν η κλίση ποικίλλει κατά μήκος ενός τμήματος και η αλλαγή στην κλίση στο σημείο καμπής δεν υπερβαίνει το 3%, τότε η τιμή της κλίσης που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι ίση με το σταθμισμένο μέσο όρο της απόλυτης τιμής των κλίσεων των εφαπτομένων της κατακόρυφης χάραξης κατά μήκος του τμήματος, όπου η στάθμιση γίνεται στο μήκος της εφαπτομένης (με αρχή και τέλος την προβολή της εφαπτομένης στην αρχή και στο τέλος του τμήματος αντίστοιχα). Αυτή η παραλλαγή απεικονίζεται με παράδειγμα στο Σχήμα 9.2, που απεικονίζει την κατά μήκος τομή ενός οδοστρώματος. Η αλλαγή κλίσης 4,5% στο σημείο καμπής της κατακόρυφης χάραξης υπερβαίνει το 3,0%. Σύμφωνα με τα κριτήρια υποδιαίρεσης κατάτμησης στον Πίνακα 9.1, το τμήμα Α πρέπει να τελειώσει και το τμήμα Β πρέπει να αρχίσει στο σημείο καμπής αυτής της καμπύλης. Η κλίση που χρησιμοποιείται για το τμήμα Α πρέπει να είναι ίση με αυτή της εφαπτομένης της κατακόρυφης χάραξης, η οποία είναι 3,0%. Η αλλαγή κλίσης στο κοίλο σημείο της κατακόρυφης χάραξης δεν υπερβαίνει το 3,0%, έτσι σε αυτό το σημείο καμπής δεν αρχίζει ένα νέο τμήμα. Εντούτοις, σε απόσταση 300 ποδιών (ft) πέρα από αυτό το σημείο καμπής, μια αλλαγή στη διατομή απαιτεί τον τερματισμό του τμήματος Β. Σύμφωνα με την προαναφερθείσα μεθοδολογία, η κλίση που χρησιμοποιείται για αυτό το τμήμα είναι 1,3%. Αυτή η τιμή λαμβάνεται ως σταθμισμένος μέσος όρος των δύο κλίσεων στο μήκος του τμήματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η απόλυτη τιμή κάθε κλίσης.



Σχήμα 9.2: Παράδειγμα κλίσης για χρήση στον υπολογισμό δείκτη ατυχημάτων (ΔA)

Το εγχειρίδιο ασφάλειας αυτοκινητοδρόμων HSM (Highway Safety Manual) της Ομοσπονδιακής Διοίκησης Αυτοκινητοδρόμων FHWA (Federal Highway Administration) των Η.Π.Α., βασίζεται στα εξής κριτήρια για την υποδιαίρεση δίστιβης οδού σε τμήματα (TRB, 2003):

Πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας πρόβλεψης ασφάλειας σε μια υφιστάμενη δίστιβη οδό, το οδόστρωμα πρέπει να διαιρεθεί σε μονάδες ανάλυσης που θα αποτελούνται από ομοιογενή τμήματα. Ένα νέο τμήμα αρχίζει σε κάθε θέση όπου η τιμή μίας από τις ακόλουθες μεταβλητές αλλάζει:

- Μέση ημερήσια κυκλοφορία (οχήματα/ημέρα)
- Πλάτος ερείσματος

- Τύπος ερείσματος
- Πυκνότητα εξόδων (έξοδοι ανά χλμ.)
- Εμπόδια παρά την οδό

Επίσης, ένα νέο τμήμα αρχίζει σε οποιοσδήποτε από τις ακόλουθες θέσεις:

- Κόμβος
- Αρχή ή τέλος μιας οριζόντιας καμπύλης (στροφής)
- Σημείο καμπής της κατακόρυφης χάραξης, στο οποίο δύο διαφορετικοί βαθμοί κλίσης του οδοστρώματος συναντιούνται
- Αρχή ή τέλος μιας λωρίδας προσπέρασης ή ενός σύντομου τετράστιβου τμήματος που παρέχεται με σκοπό την αύξηση της δυνατότητας προσπέρασης
- Αρχή ή τέλος μιας κεντρικής λωρίδας αριστερής στροφής και από τις δύο κατευθύνσεις

Επιπλέον, κάθε ισόπεδος κόμβος στις δίστιβες εθνικές οδούς αντιμετωπίζεται ως χωριστή μονάδα ανάλυσης.

Τα νέα τμήματα της οδού αρχίζουν και τελειώνουν στα σημεία 85 μέτρα πριν και μετά αντίστοιχα από το κέντρο κάθε κόμβου. Εάν τα κέντρα δύο κόμβων είναι σε απόσταση μικρότερη από 170 μέτρα, ένα νέο τμήμα αρχίζει στο μέσον μεταξύ των δύο κέντρων των κόμβων. Μετά από αυτήν τη διαδικασία κατάτμησης, η οδός που αξιολογείται θα αποτελείται από τμήματα ποικίλου μήκους, κάθε ένα από τα οποία θα είναι ομοιογενές όσον αφορά τον κυκλοφοριακό φόρτο, το πλάτος λωρίδας, το πλάτος ερείσματος, τον τύπο ερείσματος, την πυκνότητα των εξόδων, τα εμπόδια στα άκρα της οδού, την κυρτότητα, την κλίση, την ύπαρξη λωρίδων προσπέρασης ή σύντομων τμημάτων τεσσάρων λωρίδων κυκλοφορίας και την ύπαρξη κεντρικών λωρίδων αριστερής στροφής και στις δύο κατευθύνσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι σπειροειδείς μεταβάσεις θεωρούνται μέρος της οριζόντιας καμπύλης με την οποία γειτονεύουν και οι κατακόρυφες καμπύλες θεωρούνται μέρος της κλίσης με την οποία γειτονεύουν.

Στη συνέχεια καθορίζονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα γεωμετρικού σχεδιασμού και ελέγχου της κυκλοφορίας για ένα τμήμα οδοστρώματος:

- Μήκος του τμήματος (χλμ.)
- Μέση ημερήσια κυκλοφορία (οχήματα/ημέρα)
- Πλάτος λωρίδων (μέτρα)
- Πλάτος ερεισμάτων (μέτρα)
- Τύπος ερεισμάτων (άσφαλτος/αμμοχάλικο/συνθετικό/τύρφη)

- Παρουσία ή απουσία οριζόντιας καμπύλης (καμπύλη/εφαπτομένη)
- Μήκος της οριζόντιας καμπύλης (χλμ.), εάν το τμήμα βρίσκεται σε μια καμπύλη (αυτό αντιπροσωπεύει το συνολικό μήκος της οριζόντιας καμπύλης, ακόμα κι αν η καμπύλη επεκτείνεται πέρα από τα όρια του τμήματος οδοστρώματος που αναλύεται)
- Ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης (μ.), εάν το τμήμα βρίσκεται σε μια καμπύλη
- Παρουσία ή απουσία σπειροειδούς καμπύλης μετάβασης, εάν το τμήμα βρίσκεται σε μια καμπύλη (αυτό αντιπροσωπεύει την παρουσία ή την απουσία μιας σπειροειδούς καμπύλης μετάβασης στην αρχή και στο τέλος της οριζόντιας καμπύλης, ακόμα κι αν η αρχή ή/και το τέλος της οριζόντιας καμπύλης είναι πέρα από τα όρια του υπό ανάλυση τμήματος)
- Εγκάρσια κλίση της οριζόντιας καμπύλης, εάν το τμήμα βρίσκεται σε μια οριζόντια καμπύλη
- Κλίση (επί τοις εκατό)
- Πυκνότητα εξόδων (έξοδοι ανά χλμ.)
- Παρουσία ή απουσία μιας λωρίδας προσπέρασης για την αύξηση των ευκαιριών προσπέρασης
- Παρουσία ή απουσία ενός τεσσάρων λωρίδων σύντομου τμήματος για την αύξηση των ευκαιριών προσπέρασης
- Παρουσία ή απουσία μιας διπλής κατεύθυνσης λωρίδας αριστερής στροφής
- Παρόδια εμπόδια

9.3 Χρησιμότητα Τμηματοποίησης Οδού

Προτού παρουσιαστεί η μεθοδολογία τμηματοποίησης μιας οδού που προτείνεται στην παρούσα διατριβή, θα πρέπει να καταδειχθεί η χρησιμότητα της ίδιας της τμηματοποίησης. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα στοιχειοθετηθεί η αναγκαιότητα ύπαρξης μιας συγκεκριμένης μεθοδολογίας κατάτμησης.

Επιγραμματικά, η χρησιμότητα τμηματοποίησης μιας οδού συνίσταται στα εξής δύο σημεία:

A) Αξιολόγηση οδού

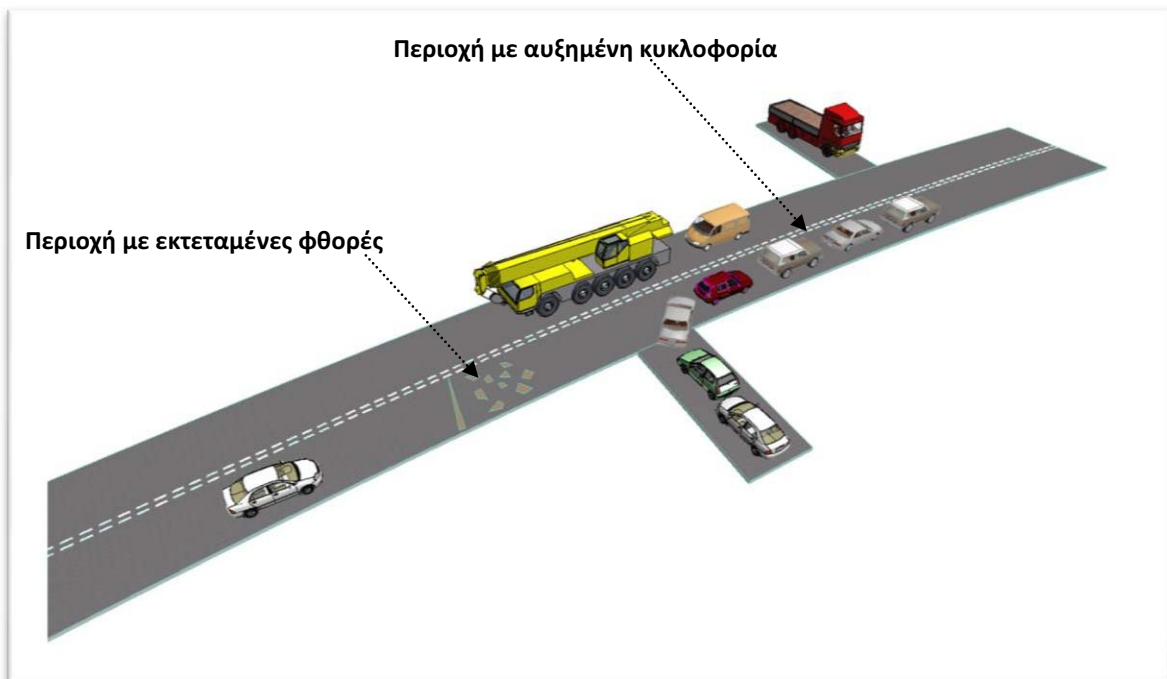
B) Επεμβάσεις αποκατάστασης

Όσον αφορά την αξιολόγηση, επισημαίνεται ότι είναι απαραίτητη η τμηματοποίηση μιας οδού για τους παρακάτω λόγους. Πρώτιστα είναι προφανές ότι δεν είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η κατάσταση μιας οδού στο σύνολό της χωρίς να υποδιαιρεθεί σε

τμήματα, για πρακτικούς λόγους, δηλαδή τη διευκόλυνση των μετρήσεων ή οπτικών παρατηρήσεων και την απλοποίηση της ταξινόμησης των συλλεχθέντων δεδομένων και στοιχείων. Επιπρόσθετα, η αξιολόγηση μιας οδού επί το σύνολό της, ενδέχεται να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα για την κατάστασή της. Για παράδειγμα, ένα οδόστρωμα το οποίο είναι σχεδόν κατεστραμμένο σε ένα πολύ μικρό τμήμα του, ενώ σε όλη την υπόλοιπη επιφάνεια είναι σε καλή κατάσταση (Σχήμα 9.3), είναι δυνατόν να παραπλανήσει τον αξιολογητή, εάν εξεταστεί συνολικά. Δηλαδή, συνολικά η οδός φαίνεται να είναι σε καλή κατάσταση, ενώ τοπικά είναι σε πολύ κακή. Αντίθετα, η εξαγωγή πληροφοριών κατά τμήμα είναι πιο ακριβής και αποτυπώνει την κατάσταση στη σωστή της διάσταση, δηλαδή κατά θέση και κατά έκταση.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι η αξιολόγηση μιας οδού εν συνόλω, δεν αποτυπώνει την πραγματική κατάσταση, εξωραΐζει την εικόνα της οδού και αλλοιώνει την αίσθηση επάρκειας των γεωμετρικών και κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών. Παράλληλα, ενδέχεται να αμβλύνει την έκταση και το μέγεθος των φθορών του οδοστρώματος. Και αυτό γιατί, όσο αυξάνεται ο παρανομαστής επί του οποίου γίνεται η αξιολόγηση, τόσο αμβλύνεται η αποτίμηση της κατάστασης του οδοστρώματος.

Όσον αφορά τις επεμβάσεις αποκατάστασης μιας οδού, αυτές ενδείκνυνται βάσει της αξιολόγησης της κατάστασης. Άρα εάν η αξιολόγηση της κατάστασης δεν γίνει σωστά, αυτό οδηγεί συνεπακόλουθα στην λανθασμένη εκτίμηση των ενδεδειγμένων επεμβάσεων. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι οι επεμβάσεις που απαιτούνται για την αποκατάσταση μιας οδού εξαρτώνται άμεσα από την αξιολόγηση της οδού.



Σχήμα 9.3: Παράδειγμα οδού με ανομοιογένεια περιοχών εκτεταμένων φθορών και διαφορετικά κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά ανά τμήμα της οδού

Συμπερασματικά, η τμηματοποίηση της οδού είναι απαραίτητη για την σωστή αξιολόγηση της κατάστασής της και την ορθή επιλογή των επεμβάσεων αποκατάστασης.

9.4 Προϋποθέσεις Τμηματοποίησης Οδού

Επειδή κάθε υφιστάμενη οδός ενδέχεται να μην έχει συνεχή και ομοιόμορφα χαρακτηριστικά κατά το μήκος της και προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ευρεία ποικιλία των φυσικών, γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζονται σε τμήματά της, η υπό αξιολόγηση οδός υποδιαιρείται σε μικρότερα μέρη, που αποκαλούνται οδικά τμήματα. Ο τύπος του οδοστρώματος, το ιστορικό της κατασκευής και της συντήρησης, τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά, η κατάσταση του οδοστρώματος και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατά το μήκος ενός οδικού τμήματος, όπως περιγράφεται παρακάτω.

α) Τύπος οδοστρώματος

Η δομική σύνθεση του οδοστρώματος, δηλαδή το πάχος και το υλικό των στρώσεων του ασφαλτοτάπητα, της βάσης και της υπόβασης θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατά το μήκος του οδικού τμήματος (Σχήμα 9.4).

β) Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά

Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων και ο κυκλοφοριακός φόρτος θα πρέπει να είναι συνεχή σε όλο το οδικό τμήμα χωρίς σοβαρές διακυμάνσεις. Σε αρκετές περιπτώσεις τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά είναι συνεχή μεταξύ δύο ισόπεδων κόμβων.

γ) Ιστορικό κατασκευής

Οι εργασίες κατασκευής και συντήρησης σε κάθε οδικό τμήμα θα πρέπει να έχουν αρχίσει και περαιωθεί στον ίδιο χρόνο. Οδοστρώματα που έχουν κατασκευασθεί ή συντηρηθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους θεωρούνται διαφορετικά οδικά τμήματα.

δ) Κατάσταση οδοστρώματος

Εφόσον κατά την επιθεώρηση της κατάστασης του οδοστρώματος διαπιστωθεί εμφανής διαφορά στη φθορά του, τότε η διαφορά αυτή θεωρείται κριτήριο τμηματοποίησης.

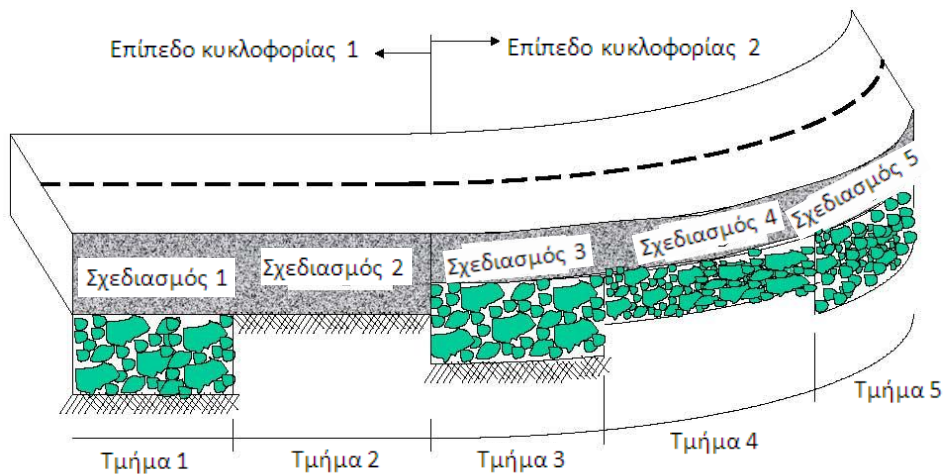
ε) Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Η εξυπηρέτηση ή μη παρόδιων ιδιοκτησιών αποτελεί επίσης κριτήριο τμηματοποίησης της οδού.

στ) Οικισμοί

Σε οδούς που διέρχονται διαμέσου οικισμών, ξεχωριστό οδικό τμήμα θεωρείται αυτό που έχει αρχή και τέλος τις χιλιομετρικές θέσεις που η οδός συναντάει και εγκαταλείπει τον οικισμό αντίστοιχα.

Τέλος, σε περίπτωση που τα παραπάνω κριτήρια τμηματοποίησης ικανοποιούνται σε μήκος οδού μεγαλύτερο από 3 χλμ., τότε το μήκος αυτό διαχωρίζεται σε δύο ή περισσότερα οδικά τμήματα των 3 χλμ. Τουλάχιστον, για λόγους ομογενοποίησης της στατιστικής επεξεργασίας και απλοποίησης εφαρμογής της μεθοδολογίας του μητρώου καταγραφής της κατάστασης της οδού. Σε αυτή την περίπτωση, το τελευταίο τμήμα θα έχει μήκος μικρότερο ή ίσο με 3 χλμ. Επιπρόσθετα, μήκος οδού με ομοίμορφα χαρακτηριστικά, που διατρέχει παραπάνω από δύο ισόπεδους κόμβους διαχωρίζεται σε οδικά τμήματα με αρχή και τέλος ισόπεδο κόμβο.



Σχήμα 9.4: Παράδειγμα οδού προς αξιολόγηση διηρημένης σε πέντε τμήματα με ομοίμορφες ιδιότητες του οδοστρώματος

Στις περισσότερες περιπτώσεις μια μοναδική στρατηγική βελτίωσης εφαρμόζεται σε οδούς εκτεταμένου μήκους. Αυτό οδηγεί σε χαμηλό προϋπολογισμό εργασιών βελτίωσης και στον μετριασμό του περιβαλλοντικού αντίκτυπου επίσης. Αντίθετα, οι διαφορετικές επιλογές βελτίωσης, δύναται να εφαρμοστούν σε οδικά τμήματα που παρουσιάζουν ποικίλα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά και λόγω των χαρακτηριστικών αυτών διαφοροποιούνται ως προς άλλα τμήματα της ίδιας οδού. Για παράδειγμα, τμήμα οδού με εξυπηρέτηση παροδίων ιδιοκτησιών ή δίπλα σε αρχαιολογικούς χώρους δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί όπως άλλα οδικά τμήματα χωρίς ιδιαιτερότητες.

9.5 Προτεινόμενη Μεθοδολογία Τμηματοποίησης Οδού

Έχοντας ως προαπαιτούμενο την ομοιογένεια που θα πρέπει να παρουσιάζουν τα παραπάνω έξι χαρακτηριστικά της οδού, αναλύονται τα κριτήρια που θα πρέπει να πληρεί κάθε χαρακτηριστικό ξεχωριστά.

9.5.1 Τύπος οδοστρώματος

Πριν από την αξιολόγηση του οδοστρώματος, θα πρέπει να ερευνούνται τμήματα αυτού τα οποία παρουσιάζουν τυχόν ανομοιομορφία στον τύπο τους, δηλαδή στο πάχος και το υλικό των στρώσεων του ασφαλοτάτητα, της βάσης και της υπόβασης.

Για παράδειγμα, τμήμα της οδού που είναι επιστρωμένο με άκαμπτο οδόστρωμα (π.χ. οδόστρωμα σταθμού διοδίων) θα αποτελεί χωριστή μονάδα ανάλυσης. Κι αυτό γιατί η αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος, οπωσδήποτε επηρεάζεται άμεσα από το τύπο του.

9.5.2 Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά

Τμήματα της οδού που παρουσιάζουν διαφορετική στάθμη εξυπηρέτησης θα πρέπει να αξιολογούνται αυτόνομα. Σε αντίθετη περίπτωση, η αξιολόγηση της οδού ως προς το επίπεδο εξυπηρέτησης που αυτή παρέχει, θα δώσει αποτελέσματα που δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Επί παραδείγματι, έστω οδός η οποία σε ένα τμήμα της ανάμεσα σε 2 ισόπεδους κόμβους παρουσιάζει στάθμη εξυπηρέτησης F ενώ σε όλο το υπόλοιπο μήκος της παρουσιάζει στάθμη εξυπηρέτησης C . Εάν η οδός αποτιμηθεί συνολικά θα φέρεται να παρέχει στάθμη εξυπηρέτησης C , γεγονός που αποτελεί εσφαλμένη αξιολόγηση. Δηλαδή ουσιαστικά υπάρχει ένα «τυφλό» τμήμα της οδού που δεν αξιολογείται. Επισημαίνεται ότι η μη επαρκής αξιολόγηση οδηγεί σε λανθασμένη απόφαση για την ενδεχόμενη ενέργεια αποκατάστασης ή αναβάθμισης.

9.5.3 Ιστορικό κατασκευής

Το ιστορικό κατασκευής, συντήρησης ή ανακατασκευής πρέπει να συνεκτιμάται απαραίτητα στην τμηματοποίηση της οδού. Συγκεκριμένα, αναγκαία συνθήκη αποτελεί η ομοιομορφία ηλικία του οδοστρώματος σε κάθε τμήμα. Παράλληλα, αυτή η συνθήκη επεκτείνεται και στην τυχόν συντήρηση ή ανακατασκευή τμημάτων του οδοστρώματος. Κατά συνέπεια, πρέπει να συντάσσεται πίνακας δεδομένων με την ηλικία κάθε τμήματος της οδού ως προς τις προαναφερόμενες εργασίες. Κι αυτό γιατί, τμήμα οδού που παρουσιάζει ανομοιομορφία ως προς την ηλικία του, οδηγεί σε επισφαλή συμπεράσματα αξιολόγησης με την έννοια ότι αυτά δεν αφορούν στη γενική εικόνα του τμήματος, αλλά σε στενά ορισμένα υποτμήματά του.

9.5.4 Κατάσταση οδοστρώματος

Τμήματα της οδού στα οποία παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένες φθορές, πρέπει να εξετάζονται ως ξεχωριστά τμήματα ανάλυσης. Με τον όρο «ιδιαιτέρα αυξημένες φθορές» εννοούνται τμήματα όπου το οδόστρωμα παρουσιάζει φθορές που είναι

ασυνήθιστες βάσει της ηλικίας του και βάσει τη χρονολογία της ενδεχόμενης τελευταίας συντήρησης. Η ιδιομορφία αυτή αποτελεί σαφές κριτήριο υποδιαίρεσης σε ξεχωριστό τμήμα.

9.5.5 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Η εξυπηρέτηση παροδίων ιδιοκτησιών συνιστά παράγοντα αλλαγής της λειτουργίας της οδού σύμφωνα με τις «Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Λειτουργική Κατάταξη Οδικού Δικτύου (ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ)» (Ομάδα Εργασίας της Ειδικής Επιτροπής Επεξεργασίας Θεμάτων Διευρωπαϊκού Δικτύου, 2001). Συνεπώς είναι προφανές ότι αυτό το τμήμα της οδού πρέπει να υποδιαιρεθεί αφού η αξιολόγησή του παρουσιάζει ειδικά χαρακτηριστικά ως προς την υπόλοιπη οδό.

9.5.6 Οικισμοί

Ακολουθώντας την ίδια λογική, σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ, το πέρασμα της υπό αξιολόγηση οδού διαμέσου οικισμών (πόλεις ή χωριά) αποτελεί σαφές κριτήριο τμηματοποίησης.

Όλα τα παραπάνω κριτήρια εξετάζονται κατά σειρά και συνυπολογίζονται τελικώς για την εξαγωγή των τελικών τμημάτων στα οποία θα υποδιαιρεθεί η οδός (Πίνακας 9.2).

Πίνακας 9.2: Κανόνες τμηματοποίησης και κριτήρια υποδιαίρεσης

Κατηγορία	Χαρακτηριστικό Σχεδιασμού	Κριτήριο	Κανόνας
Τμήματα	Μήκος	Απόσταση αρχής από τέλος	Μικρότερη ή ίση με 3 χλμ.
	Οδοστρώμα	Τύπος οδοστρώματος	Εύκαμπτο, άκαμπτο κ.τ.λ.
	Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά	Στάθμη εξυπηρέτησης (ΣΕ)	Σταθερή σε όλο το μήκος του τμήματος
	Οδοστρώμα	Ιστορικό κατασκευής (Ηλικία οδοστρώματος)	Ίδια σε όλο το μήκος του τμήματος
	Οδοστρώμα	Κατάσταση οδοστρώματος	Εκτεταμένες φθορές
	Λειτουργικά χαρακτηριστικά	Παρόδιες ιδιοκτησίες	Εξυπηρέτηση ή όχι
	Χάραξη	Οικισμοί	Τμήμα διαμέσου οικισμού
Κριτήρια Υποδιαίρεσης Τμημάτων	Κατά μήκος κλίση	Αλλαγή κλίσης	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν η αλλαγή είναι μεγαλύτερη από 3 %
	Πλάτος λωρίδας	Αλλαγή πλάτους λωρίδας	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν η αλλαγή είναι $\pm 0,3$ μ.
	Πλάτος γέφυρας	Αλλαγή πλάτους γέφυρας ως προς την υπόλοιπη οδό	Υποδιαίρεση στο σημείο αλλαγής εάν το πλάτος λωρίδας της γέφυρας είναι λιγότερο από το πλάτος λωρίδας της οδού συν 0,6 μ.

9.6 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την τμηματοποίηση των οδών, αποτελεί προαπαιτούμενο για την ορθή αξιολόγηση και για την εύρεση της κατάλληλης διορθωτικής επέμβασης. Αποτελεί όχι το μείζον, αλλά εξίσου σημαντικό ζήτημα με την αξιολόγηση μίας οδού. Κι αυτό γιατί κάθε προσπάθεια αξιολόγησης χωρίς την ορθή, με βάση τα προαναφερθέντα, τμηματοποίηση είναι σχεδόν βέβαιο ότι δεν οδηγεί σε αποτελέσματα που ανταποκρίνονται στην πραγματική κατάσταση της οδού. Είναι ευνόητο ότι η λανθασμένη αποτίμηση της κατάστασης μίας οδού, μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες διορθωτικές επεμβάσεις και άσκοπες δαπάνες, χωρίς κανένα ουσιαστικό αποτέλεσμα στην προσπάθεια αναβάθμισης ή αποκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

10.1 Εισαγωγή

Για την πλήρη κατανόηση του προτεινόμενου μοντέλου βελτιστοποίησης της αναβάθμισης των υφιστάμενων δίστιβων οδών μη διαχωρισμένης κυκλοφορίας του επαρχιακού και του εθνικού δικτύου, παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου σε μία οδό του επαρχιακού δικτύου της Ελλάδος.

Η εφαρμογή θα γίνει στην επαρχιακή οδό Βέροιας – Σκύδρας. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγονται τέσσερα οδικά τμήματα (Πίνακας 10.1) τα οποία ύστερα από τις σχετικές μετρήσεις και παρατηρήσεις, διαπιστώθηκε ότι αντιστοιχούν το καθένα σε μία από τις τέσσερις κατηγορίες του προτεινόμενου μοντέλου αναβάθμισης.

Πίνακας 10.1: Τα οδικά τμήματα της μελέτης περίπτωσης

A/A	ΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ	Κατηγορία οδού (βάσει προτεινόμενου μοντέλου)
1	15 ^ο – 17 ^ο χλμ. επαρχ. οδού Βέροιας – Έδεσσας	1 ^η
2	5 ^ο – 7 ^ο χλμ. επαρχ. οδού Βέροιας – Έδεσσας	2 ^η
3	12 ^ο – 14 ^ο χλμ. επαρχ. οδού Βέροιας – Έδεσσας	3 ^η
4	26 ^ο – 28 ^ο χλμ. επαρχ. οδού Βέροιας – Έδεσσας	4 ^η

Για κάθε τμήμα πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος των γεωμετρικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών. Η ταχύτητα μελέτης της οδού δεν είναι γνωστή και για αυτό επιλέχθηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία ως ταχύτητα σχεδιασμού η λειτουργική ταχύτητα V_{85} , η οποία ύστερα από σχετικές επί τόπου μετρήσεις βρέθηκε ότι είναι ίση με 90 km/h. Κατόπιν, έγινε ο έλεγχος των κριτηρίων ασφαλείας και υπολογίστηκε η ΣΕ για την περίοδο σχεδιασμού της αναβάθμισης, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση λήφθηκε ως 20 έτη. Τέλος, στις περιπτώσεις όπου αποκλείονται οι εναλλακτικές λύσεις αναβάθμισης 1 και 2, δηλαδή η «Συντήρηση» και η «Αποκατάσταση», διενεργήθηκε ΜΠΕ για να ληφθεί η τελική βέλτιστη απόφαση. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας αναλύεται παρακάτω.

10.2 Εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου

10.2.1 Οδικό τμήμα «1»

10.2.1.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος

Στο 1^ο οδικό τμήμα (15^ο - 17^ο χλμ. Βέροιας – Έδεσσας) ο έλεγχος του οδοστρώματος έδειξε τα εξής:

Παρατηρούνται διάφορες φθορές του οδοστρώματος. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκαν διαμήκεις και αλλιγοατορικές ρηγματώσεις, τροχοαυλάκωση σχεδόν σε όλο το μήκος του οδικού τμήματος.

10.2.1.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας

Κατά τον έλεγχο του εξοπλισμού ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας, προέκυψε ότι σε αρκετά σημεία ο εξοπλισμός ήταν φθαρμένος ή εκτός σύγχρονων προδιαγραφών.

10.2.1.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, ύστερα από τις σχετικές μετρήσεις και παρατηρήσεις βρέθηκαν ότι πληρούν τις σύγχρονες προδιαγραφές. Σύμφωνα με την ταχύτητα σχεδιασμού των 90 km/h που επιλέχθηκε (ίση με την V_{85}), τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, δηλαδή η κατά μήκος κλίση, η επίκλιση, οι ακτίνες καμπυλότητας και το πλάτος λωρίδας, υπερτερούν των οριακών τιμών που προβλέπονται από τις προδιαγραφές.

Παράλληλα, η γεωμετρία των κόμβων είναι επαρκής και το μήκος ορατότητας για στάση στην οδό και για απόφαση στους κόμβους είναι μεγαλύτερα αμφότερα των προτεινόμενων ελάχιστων τιμών.

10.2.1.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας

Ο σχετικός έλεγχος του Κριτηρίου Ασφαλείας I δεν διενεργείται καθώς ως ταχύτητα μελέτης (σχεδιασμού) επιλέχθηκε η V_{85} , όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Από τον έλεγχο του Κριτηρίου Ασφαλείας II προέκυψε ότι η διαφορά των λειτουργικών ταχυτήτων των διαδοχικών στοιχείων χάραξης είναι μικρότερη των 10 km/h. Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.7 του Κεφαλαίου 8, η ποιότητα σχεδιασμού της οδού είναι καλή.

10.2.1.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας

Αξιολογώντας τα στατιστικά δεδομένα που διαθέτει στο Τμήμα Τροχαίας Βέροιας, βρέθηκε ότι η ετήσια αύξηση των οχημάτων που κινούνται στο εν λόγω οδικό τμήμα είναι 2,5%. Έτσι υπολογίστηκε εύκολα ο αναμενόμενος κυκλοφοριακός φόρτος του έτους 2030 (περίοδος σχεδιασμού αναβάθμισης τα 20 έτη). Με βάση αυτόν τον κυκλοφοριακό φόρτο υπολογίστηκε η ΣΕ το εν λόγω έτος και βρέθηκε ότι θα είναι «C». Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.8 του Κεφαλαίου 8, η ΣΕ είναι αποδεκτή.

10.2.1.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων

Από τη διερεύνηση βασικών επιπτώσεων που διενεργήθηκε σύμφωνα με τον Πίνακα 8.9 του Κεφαλαίου 8, βρέθηκε ότι δεν συνίσταται λόγος να γίνει ΜΠΕ.

10.2.1.7 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω ελέγχων και χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 8.10 του Κεφαλαίου 8, επιλέγεται ως βέλτιστη στρατηγική αναβάθμισης για το εν λόγω οδικό τμήμα η «Συντήρηση».

10.2.2 Οδικό τμήμα «2»

10.2.2.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος

Στο 2^ο οδικό τμήμα (5^ο - 7^ο χλμ. Βέροιας – Έδεσσας) ο έλεγχος του οδοστρώματος έδειξε τα εξής:

Παρατηρήθηκαν διάφορες φθορές παρόμοιες με αυτές του τμήματος «1», σχεδόν σε όλο το μήκος του οδικού τμήματος.

10.2.2.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας

Παρατηρήθηκε φθαρμένος και πεπαλαιωμένος εξοπλισμός.

10.2.2.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, ύστερα από τις σχετικές μετρήσεις και παρατηρήσεις βρέθηκαν ότι δεν πληρούν όλα τις σύγχρονες προδιαγραφές. Σύμφωνα με την ταχύτητα σχεδιασμού των 90 km/h, οι ακτίνες καμπυλότητας, είναι κατώτερες των ελάχιστων τιμών που προβλέπονται από τις προδιαγραφές (Πίνακας 8.2 Κεφαλαίου 8).

Παράλληλα, η γεωμετρία των κόμβων δεν είναι επαρκής και το μήκος ορατότητας για απόφαση στους κόμβους είναι μικρότερο των προτεινόμενων ελάχιστων τιμών.

10.2.2.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας

Ο σχετικός έλεγχος του Κριτηρίου Ασφαλείας I δεν διενεργείται καθώς ως ταχύτητα μελέτης (σχεδιασμού) επιλέχθηκε η V_{85} , όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Από τον έλεγχο του Κριτηρίου Ασφαλείας II προέκυψε ότι η διαφορά των λειτουργικών ταχυτήτων των διαδοχικών στοιχείων χάραξης είναι μεγαλύτερη των 15 km/h. Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.7 του Κεφαλαίου 8, η ποιότητα σχεδιασμού της οδού είναι μη αποδεκτή.

10.2.2.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας

Αξιολογώντας τα στατιστικά δεδομένα που διαθέτει στο Τμήμα Τροχαίας Βέροιας, βρέθηκε ότι η ετήσια αύξηση των οχημάτων που κινούνται στο εν λόγω οδικό τμήμα είναι 2,5%. Έτσι υπολογίστηκε εύκολα ο αναμενόμενος κυκλοφοριακός φόρτος του έτους 2030 (περίοδος σχεδιασμού αναβάθμισης τα 20 έτη). Με βάση αυτόν τον

κυκλοφοριακό φόρτο υπολογίστηκε η ΣΕ το εν λόγω έτος και βρέθηκε ότι θα είναι «C». Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.8 του Κεφαλαίου 8, η ΣΕ είναι αποδεκτή.

10.2.3.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων

Από τη διερεύνηση βασικών επιπτώσεων που διενεργήθηκε σύμφωνα με τον Πίνακα 8.9 του Κεφαλαίου 8, βρέθηκε ότι δεν συνίσταται λόγος να γίνει ΜΠΕ.

10.2.2.7 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω ελέγχων και χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 8.10 του Κεφαλαίου 8, επιλέγεται ως βέλτιστη στρατηγική αναβάθμισης για το εν λόγω οδικό τμήμα η «Αποκατάσταση».

10.2.3 Οδικό τμήμα «3»

10.2.3.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος

Στο 3^ο οδικό τμήμα (12^ο - 14^ο χλμ. Βέροιας – Έδεσσας) ο έλεγχος του οδοστρώματος έδειξε τα εξής:

Παρατηρήθηκαν διάφορες φθορές παρόμοιες με αυτές του τμήματος «1», σχεδόν σε όλο το μήκος του οδικού τμήματος.

10.2.3.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας

Παρατηρήθηκε φθαρμένος και πεπαλαιωμένος εξοπλισμός.

10.2.3.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, ύστερα από τις σχετικές μετρήσεις και παρατηρήσεις βρέθηκαν ότι δεν πληρούν όλα τις σύγχρονες προδιαγραφές. Σύμφωνα με την ταχύτητα σχεδιασμού των 90 km/h, το πλάτος λωρίδας είναι 2,50 μ., δηλαδή πολύ μικρότερο των οριακών τιμών που προβλέπονται από τις προδιαγραφές.

Παράλληλα, η γεωμετρία των κόμβων είναι ανεπαρκής και το μήκος ορατότητας για στάση στην οδό και για απόφαση στους κόμβους είναι μικρότερα αμφοτέρω των προτεινόμενων ελάχιστων τιμών.

10.2.3.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας

Ο σχετικός έλεγχος του Κριτηρίου Ασφαλείας I δεν διενεργείται καθώς ως ταχύτητα μελέτης (σχεδιασμού) επιλέχθηκε η V₈₅, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Από τον έλεγχο του Κριτηρίου Ασφαλείας II προέκυψε ότι η διαφορά των λειτουργικών ταχυτήτων των διαδοχικών στοιχείων χάραξης είναι μεγαλύτερη των 15 km/h. Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.7 του Κεφαλαίου 8, η ποιότητα σχεδιασμού της οδού είναι μη αποδεκτή.

10.2.3.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας

Αξιολογώντας τα στατιστικά δεδομένα που διαθέτει στο Τμήμα Τροχαίας Βέροιας, βρέθηκε ότι η ετήσια αύξηση των οχημάτων που κινούνται στο εν λόγω οδικό τμήμα είναι 3,5%. Έτσι υπολογίστηκε εύκολα ο αναμενόμενος κυκλοφοριακός φόρτος του έτους 2030 (περίοδος σχεδιασμού αναβάθμισης τα 20 έτη). Με βάση αυτόν τον κυκλοφοριακό φόρτο υπολογίστηκε η ΣΕ το εν λόγω έτος και βρέθηκε ότι θα είναι «F». Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.8 του Κεφαλαίου 8, η ΣΕ είναι μη αποδεκτή.

10.2.3.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων

Από τη διερεύνηση βασικών επιπτώσεων που διενεργήθηκε σύμφωνα με τον Πίνακα 8.9 του Κεφαλαίου 8, βρέθηκε ότι δεν συνίσταται λόγος να γίνει ΜΠΕ.

10.2.3.7 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω ελέγχων και χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 8.10 του Κεφαλαίου 8, επιλέγεται ως βέλτιστη στρατηγική αναβάθμισης για το εν λόγω οδικό τμήμα η «Ανακατασκευή».

10.2.4 Οδικό τμήμα «4»

10.2.4.1 Έλεγχος κατάστασης οδοστρώματος

Στο 4^ο οδικό τμήμα (26^ο - 28^ο χλμ. Βέροιας – Έδεσσας) ο έλεγχος του οδοστρώματος έδειξε τα εξής:

Παρατηρήθηκαν διάφορες φθορές παρόμοιες με αυτές του τμήματος «1», σχεδόν σε όλο το μήκος του οδικού τμήματος.

10.2.4.2 Έλεγχος εξοπλισμού ασφάλειας και ελέγχου της κυκλοφορίας

Παρατηρήθηκε φθαρμένος και πεπαλαιωμένος εξοπλισμός.

10.2.4.3 Έλεγχος επάρκειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, ύστερα από τις σχετικές μετρήσεις και παρατηρήσεις βρέθηκαν ότι πληρούν τις σύγχρονες προδιαγραφές. Σύμφωνα με την ταχύτητα σχεδιασμού των 90 km/h που επιλέχθηκε (ίση με την V_{85}), τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, δηλαδή η κατά μήκος κλίση, η επίκλιση, οι ακτίνες καμπυλότητας και το πλάτος λωρίδας, υπερτερούν των οριακών τιμών που προβλέπονται από τις προδιαγραφές.

Παράλληλα, η γεωμετρία των κόμβων είναι επαρκής και το μήκος ορατότητας για στάση στην οδό και για απόφαση στους κόμβους είναι μεγαλύτερα αμφότερα των προτεινόμενων ελάχιστων τιμών.

10.2.4.4 Έλεγχος κριτηρίων ασφαλείας

Ο σχετικός έλεγχος του Κριτηρίου Ασφαλείας I δεν διενεργείται καθώς ως ταχύτητα μελέτης (σχεδιασμού) επιλέχθηκε η V_{85} , όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Από τον έλεγχο του Κριτηρίου Ασφαλείας II προέκυψε ότι η διαφορά των λειτουργικών ταχυτήτων των διαδοχικών στοιχείων χάραξης είναι μεγαλύτερη των 15 km/h. Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.7 του Κεφαλαίου 8, η ποιότητα σχεδιασμού της οδού είναι μη αποδεκτή.

10.2.4.5 Αξιολόγηση ζητούμενης λειτουργικότητας

Αξιολογώντας τα στατιστικά δεδομένα που διαθέτει στο Τμήμα Τροχαίας Βέροιας, βρέθηκε ότι η ετήσια αύξηση των οχημάτων που κινούνται στο εν λόγω οδικό τμήμα είναι 3,2%. Έτσι υπολογίστηκε εύκολα ο αναμενόμενος κυκλοφοριακός φόρτος του έτους 2030 (περίοδος σχεδιασμού αναβάθμισης τα 20 έτη). Με βάση αυτόν τον κυκλοφοριακό φόρτο υπολογίστηκε η ΣΕ το εν λόγω έτος και βρέθηκε ότι θα είναι «F». Άρα σύμφωνα με τον Πίνακα 8.8 του Κεφαλαίου 8, η ΣΕ είναι μη αποδεκτή.

10.2.3.6 Διερεύνηση βασικών επιπτώσεων

Από τη διερεύνηση βασικών επιπτώσεων που διενεργήθηκε σύμφωνα με τον Πίνακα 8.9 του Κεφαλαίου 8, βρέθηκε ότι δεν συνίσταται λόγος να γίνει ΜΠΕ.

10.2.4.7 Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ)

Από τη ΜΠΕ που διενεργήθηκε (Παράρτημα Γ), βρέθηκε ότι η 4^η επιλογή αναβάθμισης παρουσιάζει καλύτερη βαθμολογία από την 3^η επιλογή.

10.2.4.8 Επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αναβάθμισης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω ελέγχων και χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 8.10 του Κεφαλαίου 8, επιλέγεται ως βέλτιστη στρατηγική αναβάθμισης για το εν λόγω οδικό τμήμα η «Νέα Χάραξη».

10.3 Συνολική αποτίμηση

Σχετικές φωτογραφίες και η ΜΠΕ που αναφέρθηκε παρατίθενται σε μορφή Πινάκων στο Παράρτημα Γ της παρούσας. Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας του προτεινόμενου μοντέλου έγινε αντιληπτό ότι τελικά εντοπίζεται με ακρίβεια η κατηγορία της οδού, αλλά και εκείνα τα οδικά χαρακτηριστικά τα οποία απαιτούν αναβάθμιση. Έτσι επιλέγεται η βέλτιστη επιλογή αναβάθμισης για κάθε οδικό τμήμα ξεχωριστά λαμβάνοντας υπ' όψιν το περιβάλλον και την τοπική κοινωνία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

11.1 Επισημάνσεις

Αναντίρρητα το μεγαλύτερο μέρος του οδικού δικτύου της Ελλάδας αλλά και των άλλων ευρωπαϊκών χωρών έχει κατασκευαστεί πολλές δεκαετίες πριν, σύμφωνα με τις τότε προδιαγραφές (όπου αυτές υπήρχαν). Αυτό το γεγονός από μόνο του αποτελεί μια εγγενή παθογένεια του οδικού δικτύου η οποία πρέπει να αντιμετωπιστεί. Και δεδομένου ότι η οδική υποδομή αποτελεί περιουσιακό στοιχείο μεγάλης αξίας για κάθε χώρα και για τη συντήρησή της απαιτούνται μεγάλα κονδύλια, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η διαχείριση αυτού του περιουσιακού στοιχείου είναι ζωτικής σημασίας για κάθε χώρα. Επιπλέον, οι οδικοί άξονες και η κατάστασή τους έχουν άμεσο και σημαντικό αντίκτυπο στις συγκοινωνίες (εμπορικές και μη) και κατ' επέκταση στην ανάπτυξη της επιχειρηματικότητας, του εμπορίου, την εισαγωγική – εξαγωγική δραστηριότητα, τον τουρισμό και εν γένει στην επικοινωνία μεταξύ των πολιτών.

Σε αυτό το σημείο ακριβώς παρεμβαίνει ο τομέας της Διαχείρισης των Έργων Οδοποιίας, με σκοπό τον καλύτερο προγραμματισμό των έργων συντήρησης. Αυτός ο βέλτιστος προγραμματισμός και σχεδιασμός των έργων συντήρησης του οδικού δικτύου οδηγεί στην αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων κεφαλαίων με σεβασμό στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος για την επιτυχή διαχείριση των έργων υποδομής, είναι, ειδικά στην εποχή που διανύει ο πλανήτης, η βιώσιμη ανάπτυξη στα πλαίσια των αρχών της αειφορίας, δηλαδή της συνειδητής και σώφρονος διαχείρισης των πόρων, ανθρωπογενών και φυσικών, προς όφελος του σημερινού ανθρώπου, αλλά χωρίς την εξάντληση, την υποβάθμιση ή την καταστροφή τους, ώστε να συνεχίσουν να είναι χρήσιμα στις επερχόμενες γενεές.

Με γνώμονα τις παραπάνω βασικές αρχές, η παρούσα διατριβή προσπαθεί να συμβάλλει προς αυτήν την κατεύθυνση όσον αφορά τη βιώσιμη ανάπτυξη της οδικής υποδομής. Βέβαια, για την υλοποίηση αυτής της προσπάθειας απαιτείται διεπιστημονική προσέγγιση, αλλά ο ρόλος του μηχανικού οδοποιίας ή του συγκοινωνιολόγου είναι καταλυτικός και αποτελεί το κεντρικό επιστημονικό πεδίο γύρω από το οποίο θα πρέπει να ενσωματωθούν – προσαρμοσθούν οι ειδικότητες σχετικές με το περιβάλλον και την οικονομία. Υπό την οπτική αυτή είναι προφανές ότι οι μηχανικοί που ασχολούνται με τη διαχείριση της οδικής υποδομής, θα πρέπει να διαθέτουν γνώσεις περιβαλλοντικής και οικονομικής διαχείρισης.

Όλα τα παραπάνω είναι αδήριτη ανάγκη να περιστρέφονται γύρω από έναν ανθρωποκεντρικό άξονα, δηλαδή ουσιαστικά γύρω από την αέναη υποχρέωση του ανθρώπου να παραδίδει στις επόμενες γενεές κάτι καλύτερο από αυτό που παρέλαβε από τις προηγούμενες.

11.2 Συμπεράσματα

Υπό το πρίσμα της βιώσιμης ανάπτυξης, η έρευνα που συντελέστηκε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής, ανέδειξε νέες δυνατότητες συντήρησης και αναβάθμισης του οδικού δικτύου. Τα χρήσιμα σχετικά συμπεράσματα κωδικοποιούνται συνοπτικά παρακάτω.

- 1) Από τη μελέτη της ενδεχόμενης συσχέτισης του δείκτη ατυχημάτων και του κόστους του χαμένου χρόνου των χρηστών μίας οδού με την κατάσταση του οδοστρώματος, μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία, έγινε σαφές ότι υπάρχουν συγκεκριμένες τιμές των δεικτών που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση και την καλύτερη αντίληψη της κατάστασης του οδοστρώματος, πέρα από τις οποίες παρατηρείται απότομη επιδείνωση. Πέρα από τις οριακές αυτές τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής (sideway force coefficient [SFC]) και του βάθους τροχοαυλάκωσης (rutting depth [RD]) αυξάνει απότομα ο ρυθμός αύξησης του δείκτη ατυχημάτων. Όσον αφορά τον Διεθνή Δείκτη Ομαλότητας (International Roughness Index [IRI]), βρέθηκε ότι πέρα από μία συγκεκριμένη οριακή τιμή του, αυξάνεται σημαντικά το κόστος χρόνου ταξιδιού (time travel cost [TTC]). Συνεπώς, θέτοντας ως βασικά κριτήρια για την επιλογή των οριακών τιμών των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος την ασφάλεια και την οικονομία, είναι δυνατόν να καθοριστούν συγκεκριμένες οριακές τιμές των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος.
- 2) Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που εξετάζεται είναι οι τιμές των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος στο αρχικό στάδιο ζωής της οδού, δηλαδή κατά την παράδοση στην κυκλοφορία. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν σαφώς αιτιολογημένες και επιστημονικά τεκμηριωμένες προδιαγραφές, παρά μόνον προτεινόμενες τιμές, βασισμένες στην κρίση και την εμπειρία εξειδικευμένων επιστημόνων, γίνεται μια προσπάθεια καθορισμού των οριακών αυτών τιμών, βάσει του δεδομένου ότι η τροχοαυλάκωση τείνει σε μηδενικά επίπεδα για μία νέα οδό. Θεωρείται ότι ο δείκτης IRI και ο συντελεστής SFC πρέπει να φθάνουν σε οριακές τιμές (όπως αυτές έχουν καθοριστεί προηγουμένως) την ίδια χρονική στιγμή με την οριακή τιμή της τροχοαυλάκωσης, έτσι ώστε οι επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης να αφορούν στο σύνολο των οδικών χαρακτηριστικών με άμεσο όφελος το μικρότερο κόστος των εργασιών και τη λιγότερη ταλαιπωρία των οδηγών. Εκτιμώντας τον χρόνο που η τροχοαυλάκωση φθάνει σε οριακή τιμή και σε συνδυασμό με μοντέλα πρόβλεψης της εξέλιξης των οδικών χαρακτηριστικών, υπολογίζονται οι αρχικές αποδεκτές τιμές του δείκτη IRI και του συντελεστή SFC.
- 3) Η επιθεώρηση του οδοστρώματος είναι η συνήθης πρακτική που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της κατάστασης μιας οδού. Αυτή η προσέγγιση παρέχει περιορισμένα στοιχεία εστιάζεται στο οδόστρωμα χωρίς να λαμβάνει υπ' όψιν τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού. Στην παρούσα διατριβή, προτείνεται μια ολιστική προσέγγιση, που περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά μιας οδού, από την άποψη της

ασφάλειας, της άνεσης, της οικονομίας και της περιβαλλοντικής προσαρμογής. Με αυτόν τον τρόπο, παράγεται μια συνολική εικόνα της οδού ταυτόχρονα με μία βαθμολογία ανά κριτήριο (ασφάλεια, άνεση, οικονομία, περιβάλλον). Η εφαρμογή του μοντέλου συνολικής αξιολόγησης παρέχει στις αρμόδιες Υπηρεσίες ένα εργαλείο αξιολόγησης και ιεράρχησης του οδικού δικτύου ανάλογα με την πραγματική του κατάσταση, έτσι ώστε να υλοποιείται ανάλογα ο κατάλληλος σχεδιασμός και προγραμματισμός των έργων συντήρησης.

- 4) Η αναβάθμιση του υφιστάμενου παλαιού οδικού δικτύου σε επαρχιακό και εθνικό επίπεδο είναι ζωτικής σημασίας ζήτημα, καθώς οι παλαιές αυτές οδοί δεν ικανοποιούν τις σύγχρονες απαιτήσεις σε ασφάλεια, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και σπάνια ανταποκρίνονται στις ολοένα και αυξανόμενες κυκλοφοριακές ανάγκες. Η συνήθης πρακτική συνιστά αναβάθμιση του οδοστρώματος βάσει των σύγχρονων προδιαγραφών, γεγονός που συχνά οδηγεί σε άσκοπες δαπάνες, αφού πολλές φορές η αιτία ελλείμματος ασφάλειας ή επιπέδου εξυπηρέτησης δεν είναι αυτή, αλλά διάφορα γεωμετρικά ή λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού. Με βάση αυτή την διαπίστωση προτείνεται ένα μοντέλο αναβάθμισης που παρέχει τέσσερις εναλλακτικές επιλογές, ανάλογα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των λειτουργικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού, της κατάστασης του οδοστρώματος και την περιβαλλοντική της προσαρμογή. Με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένης μεθοδολογίας, το προτεινόμενο μοντέλο υποδεικνύει τη βέλτιστη λύση η οποία αντιμετωπίζει επακριβώς τα αίτια του προβλήματος, χωρίς περιττές και άσκοπες δαπάνες.
- 5) Η αξιολόγηση μίας οδού γίνεται συνήθως με την υποδιαίρεση της σε τμήματα για λόγους διευκόλυνσης των μετρήσεων και στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων. Τα τμήματα αυτά συνήθως είναι ισομήκη ή μερικές φορές περιορίζονται στις περιοχές μετάβασης και απομάκρυνσης από κόμβους. Η προτεινόμενη μεθοδολογία τμηματοποίησης διακρίνει συγκεκριμένα θέματα που πρέπει να τίθενται ως κριτήρια τμηματοποίησης προκειμένου τα αποτελέσματα της αξιολόγησης να αντικατοπτρίζουν την εικόνα της οδού στην πραγματική της διάσταση. Η ορθή τμηματοποίηση της οδού αποτελεί προαπαιτούμενο για την ορθή αξιολόγησή της. Σε αντίθετη περίπτωση παρατηρούνται αποτελέσματα αξιολογήσεων που εξομαλύνουν και αμβλύνουν την πραγματική κατάσταση οδηγώντας συνεπακόλουθα σε λανθασμένα συμπεράσματα και λανθασμένες επεμβάσεις αποκατάστασης.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

1. Εγνατία Οδός ΑΕ, 2004, Οδηγίες Συντήρησης Αυτοκινητοδρόμων
http://www.egnatia.gr/flash/operations_service_gr.html
2. Βίσκος Ευάγγελος, Guy Simon, 2006, Μετρήσεις και Προβλέψεις Χαρακτηριστικών Κυκλοφορίας στην Εγνατία Οδό, Εγνατία Οδός Α.Ε.: Καινοτόμες Δράσεις, Έρευνα και Σύγχρονα Συστήματα Διαχείρισης, Πρακτικά Ημερίδας, Θεσσαλονίκη
3. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (ΕΑΠ), 1999, «Σχεδιασμός, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μέθοδοι εκτίμησής τους», Πάτρα
4. Ε.Μ.Π. (α), 2002, Πιλοτική Εφαρμογή Στρατηγικού Σχεδιασμού για τη Διαχείριση της Οδικής Υποδομής στην Ελλάδα, Τελική Έκθεση, Ερευνητικό Πρόγραμμα, ΥΠΕΘΟ
5. Ε.Μ.Π. (β), 2002 Αυτοματοποίηση συλλογής δεδομένων οδοστρώματος σε τμήματα της Εγνατίας Οδού, 1^η Έκθεση, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.
6. Ευαγγελίδης Δημήτριος, 2006, Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων Εγνατίας Οδού, Εγνατία Οδός Α.Ε.: Καινοτόμες Δράσεις, Έρευνα και Σύγχρονα Συστήματα Διαχείρισης, Πρακτικά Ημερίδας, Θεσσαλονίκη
7. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ΓΔ XI, 1995, Environmental Impact Assessment: Methodology and Research
8. Καρακαϊδού Ιωάννα Ε., 2002, Διαχείριση της Συντήρησης και Λειτουργίας των Ελληνικών Αυτοκινητοδρόμων, 3^ο Διεθνές Συνέδριο Ασφαλικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων, Θεσσαλονίκη
9. Κοκκάλης Α., Ιωαννίδη Α., Παρδάλη Ε., 2002, Δομή μιας Σύγχρονης Μεθόδου Συντήρησης Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, 3^ο Διεθνές Συνέδριο Ασφαλικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων, Θεσσαλονίκη
10. Κόλιας Σ., Λοΐζος Α., 1997, Σημειώσεις Οδοστρωμάτων, Τομέας Μ.Σ.Υ. Ε.Μ.Π., Αθήνα
11. Λοΐζος Α., Παπανικολάου Λ., 2005, Προκαταρκτική Αξιολόγηση Προσομοίωσης Συμπεριφοράς Οδοστρωμάτων στο πλαίσιο Συστημάτων Διαχείρισης, Τεχνικά Χρονικά Ι, τεύχος
12. Λοΐζος Α., Πλατή Χ., Κανελλαΐδης Γ., 2002, Αξιολόγηση Ομαλότητας Υφιστάμενων Ασφαλικών Οδοστρωμάτων, 3^ο Διεθνές Συνέδριο, Ασφαλτικά Μίγματα και Οδοστρώματα, Θεσσαλονίκη

13. Μαναριώτης Ι. Δ., Θεοδωρακόπουλος Δ. Δ., Χασιακός Α. Π., 2002, Ένα Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων για την βέλτιστη Διαχείριση των Πόρων Συντήρησης Οδοστρωμάτων. 3^ο Διεθνές Συνέδριο, Ασφαλτικά Μίγματα και Οδοστρώματα, Θεσσαλονίκη
14. Μαυρίδου Όλγα, 2006, Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών της Εγνατίας Οδού, Εγνατία Οδός Α.Ε.: Καινοτόμες Δράσεις, Έρευνα και Σύγχρονα Συστήματα Διαχείρισης, Πρακτικά Ημερίδας, Θεσσαλονίκη
15. Μουρατίδης Α., 1996, Μια πολυδιάστατη Πολιτική Διαχείρισης του Εθνικού Οδικού Δικτύου, Τεχνικά Χρονικά, Πρακτικά ημερίδας «Μεγάλοι Χερσαίοι Συγκοινωνιακοί Άξονες στην Ελλάδα», τεύχος 3/96, Αθήνα
16. Νικολαΐδης Α., Ευαγγελίδης Δ., 1992, Διαχείριση του προβλήματος συντήρησης ευκάμπτων οδοστρωμάτων με την βοήθεια προγράμματος Η/Υ, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτοσκυροδέματος και Ευκάμπτων Οδοστρωμάτων, Θεσσαλονίκη
17. Νικολαΐδης Α., Ευαγγελίδης Δ., 1995, Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Διαχείρισης Οδικών Δικτύων και Οδοστρωμάτων με χρήση ΓΣΠ, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, τόμος 2, Λάρισα, σελ. 557-570
18. Νικολαΐδης Α. Φ., 1996, Οδοποιία, Οδοστρώματα, Υλικά, Έλεγχος Ποιότητας, Θεσσαλονίκη
19. Πάνος Γ., Χασιακός Α., Θεοδωρακόπουλος Δ., Βαγιώτας Π., 2002, Ανάπτυξη εμπειρικού συστήματος για τη διαχείριση οδοστρωμάτων, 3^ο Διεθνές Συνέδριο, Ασφαλτικά Μίγματα και Οδοστρώματα, Θεσσαλονίκη
20. ΥΠΟΙΟ-ΤΠΕΧΩΔΕ, 2002, Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών, Γενική Γραμματεία Επενδύσεων και Ανάπτυξης, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Πρότυπα Τεύχη για Περιφερειακά Έργα, ΟΕΜΚ-Β-9, Οδηγός Επίβλεψης Μελετών και Κατασκευών, Εγχειρίδιο ελέγχων και ταξινόμησης φθορών οδοστρωμάτων
http://www.hellaskps.gr/min_requirements/html/PE5.htm
21. Ομάδα Εργασίας της Ειδικής Επιτροπής Επεξεργασίας Θεμάτων Διευρωπαϊκού Δικτύου, 2001, Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Λειτουργική Κατάταξη Οδικού Δικτύου (ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ)

Ξενόγλωσση

22. Al-Omari, B. and Darter, M.I., September 1992, Relationship Between IRI and PSR. Interim Report for 1991-1992, Report No. UILU-ENG-92-2013. Illinois Department of Transportation. Springfield, IL.
23. AASHO Road Test (1958-1961)
http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/06_structural_design/aasho_road_test.htm <http://ce.washington.edu>
24. AASHTO, 1990, *Guidelines for Pavement Management Systems*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1990, 45 pp.
25. AASHTO/FHWA, 1999, Asset Management Peer Exchange: Using Past Experiences to Shape Future Practices, Executive Summary, AASHTO/FHWA, based on a workshop held in Scottsdale, Arizona.
26. AASHTO, 2001, *Pavement Management Guide*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2001, 254 pp.
27. AASHTO, 2002, Transportation Asset Management Guide, NCHRP Project 20-24(11), Washington, DC
28. AASHTO, 2005, American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard PP49-03, Certification of Inertial Profiling Systems, AASHTO Provisional Standards, Washington, DC, 2005.
29. Abe H., Henry J. J., Wambold J., Tamai A., 2000. Measurement of Pavement Macrotexture with Circular Texture Meter. In Transportation Research Record 1764, pp 201-209. Transportation Research Board, Washington, DC.
30. Abdul Hamid Mohd Isa, Law Tiek Hwa and Dadang Mohamed Ma'some (2005) PAVEMENT PERFORMANCE MODEL FOR FEDERAL ROADS, Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 428-440
31. ADOT, 2006, Development and Implementation of Arizona Department of Transportation (ADOT) Pavement Management System (PMS), Final Report 494
www.azdot.gov/TPD/ATRC/publications/project_reports/PDF/AZ494/Text.pdf
32. ALGENZ, Association of Local Government Engineers of New Zealand, 2000, Road Information Management Systems Implementation of Predictive Modeling for Road Management Report DT/99/F2-2
www.rims.org.nz/NR/rdonlyres/BD274021-79EC-48D3-8ACF-

33. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2004, *A Policy of Geometric Design of Highways and Streets*
34. American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures—1993*, Washington, D.C.
35. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
36. American Society for Testing and Materials (ASTM). (2000). *Annual Book of ASTM Standards, Section four: Construction*. vol. 4.03. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
37. American Association of State Highway and Transportation Officials (2000). *AASHTO Standard Practice for Application of Ground Penetrating Radar (GPR) to Highways— AASHTO PP 40*, Washington, D.C.
38. American Society for Testing and Materials (1996). *Annual Book of ASTM Standards, Volume 4.03, Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems*, ASTM, West Conshohocken, PA.
39. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2004) *A Policy of Geometric Design of Highways and Streets*
40. American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). *AASHTO Standard Practice for Determination of International Roughness Index for Quantifying Roughness of Pavements—AASHTO PP 37*, Washington, D.C.
41. Anderson D. A., Huebner R. S., Reed J. R., Warner J. C., Henry J. J., 1998, *Improved Surface Drainage of Pavements*. NCHRP Web Document 16, Project 1-29 TRB, National Research Council, Washington DC
42. Andrén Peter, 2006, *Development and Results of the Swedish Road Deflection Tester*

http://www2.mech.kth.se/thesis/2006/lic/lic_2006_peter_andren.pdf
43. Applied Pavement Technology, Inc. (2001). *HMA Pavement Evaluation and Rehabilitation—Participant’s Workbook*, NHI Course No. 131063, National Highway Institute, Washington, D.C.
44. Applied Pavement Technology, Inc. (2001). *PCC Pavement Evaluation and Rehabilitation—Participant’s Workbook*, NHI Course No. 131062, National

- Highway Institute, Washington, D.C.
45. ARE Inc., 1989, Road Surface Management for Local Governments, National Highway Institute (NHI) course 13426, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
 46. ASTM E 1654-94, 2000, Standard Guide for Classification of Automated Pavement Condition Survey Equipment, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pa.
 47. ASTM, 2001, American Society for Testing and Materials. Standards Designations E-274, E-501, E-965, E-1845, E2960 και E-2157. Annual Book of ASTM Standards [CD-ROM] Volume 04.03
 48. ASTM E965-87, Standard test method for method for measuring surface mactotexture depth using volumetric technique, Vol. 4, section 04.03. Philadelphia, USA
 49. ASTM E2157, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter, American Society for Testing and Materials, ASTM Designation E2157, Volume 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems, 2004.
 50. ASTM E2380-05, 2007, Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter
 51. Austroads 1994, Road Asset Management Guidelines, Austroads, Sydney (AP-109/94).
 52. Austroads, 2005, Internal Report, Guidelines for Road Network Condition Monitoring: Part 3–Pavement Strength, IR-88/05
 53. Austroads (2005) Guidelines for the Management of Road Surface Skid Resistance. Austroads Publication No. AP-G83/05. Sidney
 54. Awasthi G., Singh T., Das A., 2003, On Pavement Roughness Indices, Vol. 84
www.ieindia.org/publish/cv/0503/may03cv6.pdf
 55. Balkó András, Ambrus-Somogyi Kornelia, 2005, Maintenance and Rehabilitation Systems of Infrastructure Management, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 2, No2
 56. Bennett, C.R. (2000). *Evaluating the Quality of Road Survey Data*. Report to Transfund New Zealand. Available for download from www.lpcb.org .
 57. Bennett C., Paterson W. D. O, 2000, A Guide to Calibration and Adaptation of HDM-4. The Highway Development and Management Series, Volume Five. PIARC, Paris.

58. Bennett C. R., Chamorro Alondra, Chen Chen, Hernan de Solminihac, Flintsch Gerardo W., 2005, Data Collection Technologies for Road Management, East Asia Pacific Transport Unit, The World Bank, Washington, D.C.
59. Bennett Christopher R., Hernán de Solminihac, Chamorro Alondra, 2006, Data Collection Technologies for Road Management, The World Bank, Washington, DC, Transport Note No. 30

<http://www.worldbank.org/highways>
60. Bennett Christopher R., Chamorro Alondra, Chen Chen, Hernan de Solminihac, Flintsch Gerardo W., 2007, Data Collection Technologies for Road Management, East Asia Pacific Transport Unit, The World Bank, Washington, D.C.

<http://www.road-anagement.info/reports/user/6/07-02-12DataCollectionTechnologiesReport-v2.pdf>
61. Bock H., Heller S., 2004, Supply and Plausibility Data Checks of the PMS Road Information Databases, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
62. Braun R. P., 1987, Justifying Required Funds –A Review of Success Stories, Vol 3, Ministry of Transportation of Ontario, Second North American Conference on Managing Pavements. Proc., Toronto, Canada
63. British Columbia, 2002, Ministry of Transportation, Pavement Surface Condition Rating Manual, Second Edition

www.th.gov.bc.ca/publications/const_maint/2002_Pavement_Surface_Condition_Rating_Manual_V2.pdf
64. British Standards Institution, BS 598: Part 105, Method of test for the determination of texture depth, HMSO, London, 1991
65. Broten Margaret, 1996, Local Agency Pavement Management Application Guide, Northwest Technology Transfer Center, Washington State Department of Transportation

www.wsdot.wa.gov/fasc/EngineeringPublications/Manuals/PMAG.pdf
66. Budras Joseph, 2001. A Synopsis on the Current Equipment Used for Measuring Pavement Smoothness FHWA

<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/smoothness/rough.cfm>
67. Button Joe W., Fernando Emmanuel G., Middleton Dan R., 2004, Synthesis of Pavement Issues Related to High Speed Corridors, Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration, Report No., Texas

68. Cairney, P. (1997) Skid Resistance and Crashes – A Review of the Literature. *Research Report No. 311, ARRB Transport Research Ltd, Vermont South Victoria, Australia*
69. Cairney P., Styles E., 2005, A Pilot Study of the Relationship between Macrottexture and Crash Occurrence, ARRB Transport Research, Victoria, Australia
70. Carey W. N., Irick, P. E., 1960, The Pavement Serviceability-Performance Concept, Highway Research Bulletin 250 Highway Research Board Washington D.C.
71. Cebon D., 1989, Vehicle-generated Road Damage: A Review, *Vehicle System Dynamics*, 18(1-3), 107-150.
72. Cerezo, V. (2008) Pavement Prediction Performance Models and Relation with Traffic Fatalities and Injuries, Paper Presented in 6th Symposium on Pavement Surface Characteristics, World Road Association, Portoroz, Slovenia
73. Chang Jia-Ruey, Lin Jyh-Dong, Chung Wei-Chen, Chen Dar-Hao, 2002, Evaluating the Structural Strength of Flexible Pavements in Taiwan Using the Falling Weight Deflectometer, *International Journal of Pavement Engineering*, Volume 3, Number 3 / pp. 131 – 141
74. Choubane B., McNamara Ronald L., 2001, Research Report FL/DOT/SMO/01-451, Precision of High-speed Profilers for measurement of Asphalt Pavement Smoothness, State of Florida
75. Choubane B., McNamara, R. L. Page G. C. T., 2002, Evaluation of High Speed Profilers for Measurement of Asphalt Pavement Smoothness in Florida, *Transportation Research Record No. 1813*, pp. 62-67
76. Choubane B., Holzshuher C. R., Gokhale S., 2003, Precision of Locked Wheel Testers for Measurement of Roadway Surface Friction Characteristics. Research Report FL/DOT/SMO/03-464. State Materials Office, Florida
77. Choubane Bouzid., McNamara Ronald L, 2001, State of Florida, Precision of High– Speed Profilers for measurement of Asphalt Pavement, Research Report, FL/DOT/SMO/01-451
78. Cole Mullis, Reid Joni, Brooks Eric, Norris Shippen, 2005, Automated Data Collection Equipment for Monitoring Highway Condition Final Report, Oregon Department of Transportation, Federal Highway Administration
79. Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI). (1996). *Continuously Reinforced Concrete*. PowerPoint slide presentation on the CRSI web site. Concrete

- Reinforcing Steel Institute. Schaumburg, IL. <http://www.crsi.org>. Accessed 21 January 2002.
80. Corley-Lay, J.B. (1998). Friction and Surface Texture Characterization of 14 Pavement Test Sections in Greenville, North Carolina. *Transportation Research Record 1639*. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. pp. 155-161.
 81. Correa, C.E., Hall, K.T. and A.L. Simpson. (2002). *LTPP Data Analysis: Effectiveness of Maintenance and Rehabilitation Options*. NCHRP Web Document 47 (Project 20-50[03/04]). National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC.
 82. COST 325, 1997, Final Report, New Pavement Monitoring Equipment and Methods Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities
 83. COST 336, 1998, Falling Weight Deflectometer Information Gathering Report Task Group 2 - FWD at Network Level Version: Final draft report
<http://cordis.europa.eu/cost-transport/src/cost-336.htm>
 84. Crespo del Rio, R. 1991, Sistema de Gestión de Firmsas I, Equipos y Técnicas de Auscultación. Revista Rutas, No 23, 10-14
 85. Crispino M., Mismetti G., Olivari G., Scazziga I., 2004, PMS and the Transfer of Competences for Interurban Road Networks, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany [CD-ROM]
 86. Crow, "A Literature Survey on Tire Surface Friction on Wet Pavements Application of Surface Friction Testers", Report 03-06, CROW, Netherlands, 2003
 87. Cundill M. A., 1996, Transport Research Laboratory, TRL Report 229, The Merlin Road Roughness Machine: User Guide
http://www.transport-links.org/transport_links/publications/publications_v.asp?id=268&title=The+MERLIN+road+roughness+machine%3A+User+Guide.
 88. Dames J., 1990, The Influence of Polishing Resistance of Sand on Skid Resistance of Asphalt Concrete. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies. ASTM Special Technical Publication 1031. W.E. Meyer and J. Reichert, Eds., American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 14-29. Pavement Design
 89. Danylo N. H., 1998, Viewpoint - Asset Management: A Tool for Public Works

- Officials?, *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, 4(3), 91-92
90. Darter M. I., 1980, Requirements for Reliable Predictive Pavement Models, Transportation Research Board, Research Record 766
 91. Darter M. I., Becker J. M., Snyder M. B., Smith R. E., 1985, Portland Cement Concrete Pavement Evaluation System-COPES, National Cooperative Highway Research Program Report 277, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
 92. De Solminihac Hernan, 2001, *Gestión de Infraestructura Vial*, 2nd Ed. University texts, Engineering School. Catholic University of Chile Editions. Santiago, Chile.
 93. DeBlasio Allan J., Tischer Mary Lynn, McNeil Sue, 2000, Asset Management: What is the Fuss? and Survey on Asset Management, Presented at the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, January 9-13, 2000. Published in TRR 1729.
 94. Deighton R., 1991, Chapter 3: Database, An Advanced Course on Pavement Management Systems, TRB, FHWA, AASHTO, Boston MA.
 95. Deighton R., 1999, Annual Users Conference, Customer Satisfaction Survey, Bowmanville, Canada
 96. Deming W. E., 1986, *Out of the Crisis*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge
http://deming.eng.clemson.edu/pub/den/deming_info.htm#points
 97. Department of Transportation and Federal Highway Administration Office of Asset Management, Data Collection Equipment
<http://knowledge.fhwa.dot.gov/tam/aashto.nsf/0/9c49d4630693632085256ccc00485ae2?OpenDocument>
 98. Diring K. T., Barros R. T., 1990, Predicting the Skid Resistance of Bituminous Pavements through Accelerated Laboratory Testing of Aggregates Surface Characteristics of Roadways: International Research Technologies, ASTM STP 1031, American Society of Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania. pp. 61-76.
 99. DOT, FHWA, 2002, Pavement Management Catalog, Pavement Management Software
 100. Elton David John, 1982, Non-contact, non-destructive pavement profile, texture and deflection measurement. PhD thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA

101. Elton David J., Harr Milton E., 1988, New nondestructive pavement evaluation method. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 114(1):76–92
102. ERES Consultants (2001). *DataPave Software (version 3.0)*, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
103. European Transport Safety Council (1997) *Road Safety Audit and Safety Impact Assessment*
104. Falls L. C., Khalid S., Haas R., 1992, A Cost-Benefit Analysis of Network Level Pavement Management, Proc., Transportation Association of Canada Annual Conference, Quebec
105. Falls Lynne Cowe, Tighe Susan, 2004, Analysing Longitudinal Data to Demonstrate the Costs and Benefits of Pavement Management, *Public Works Management & Policy*, Vol. 8 No. 3, 176-191
106. Falls Lynne Cowe, Haas Ralph, McNeil Sue, Tighe Susan, 2001, Using Common Elements of Asset Management and Pavement Management to Maximize Overall Benefits Transportation Research Board, 80'th Annual Meeting, Washington, D.C.
107. Farber, E., Janoff, M.S., Cristinzio, S., Bluebaugh, J.G, Reisener, W. and Dunning, W. (1974) Determining pavement skid resistance requirements at intersections and braking sites, NCHRP Report No 154, Transportation Research Board, Washington, DC
108. Fawcett Glenn, Henning T., Pradhan N., Riley M., 2001, The Use of Composite Indices as Resurfacing Triggers, Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington [CD-ROM]
109. Federal Highway Administration (FHWA) (1996) *Project Development and Design Manual (PDDM)*
110. Federal Highway Administration (FHWA), 1988, Technical Advisory T 5040. 28, *Developing Geometric Design Criteria and Processes for Nonfreeway RRR Projects*
111. Federal Highway Administration (FHWA) *Life Cycle Cost Analysis (LCCA) in Pavement Design (1998)*
112. Federal Highway Administration (FHWA). (July 1989). *Automated Pavement Condition Data Collection Equipment*. Resource Paper contained within the *FHWA Pavement Notebook*. Pavement Division, Federal Highway Administration. Washington, D.C.

113. Federal Highway Administration (FHWA) (2003) Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fourth Revised Edition) FHWA-RD-03-031, June 2003
114. Federal Highway Administration (FHWA) (2003) Long Term Pavement Performance Distress Data Consolidation Final Report FHWA-RD-01-143, October 2003
115. Fencl V., 2004, Road Asset Management System in the Czech Republic, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia [CD-ROM]
116. Ferne Brian, 2006, CSS Annual Autumn Conference, TRL
<http://www.cssnet.org.uk/public/events/Autumn%20Conference%202006/Brian%20Ferne%20Properties.ppt#54>
117. Ferreira Adelino, Antunes António, Picado-Santos Luís, 2001, A GIS-Based Pavement Management System, Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington [CD-ROM]
118. FHWA, 1989, Federal-Aid Highway Program Manual” Federal Highway Administration
119. FHWA, 1993, Management and Monitoring System: Interim Final Rule, Federal Register, Vol. 58, No. 229, Federal Highway Administration 23 CF Parts 500 and 626, Federal Transit Administration 46 CFR Part 614, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
120. FHWA, 1995, (a) Traffic Monitoring Guide, Third Edition, FHWA-PL-95-031, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Highway Information Management
121. FHWA, 1995, (b) Pavement and Road Surface Management for Local Agencies, Participant’s Manual, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
www.wsdot.wa.gov/fasc/EngineeringPublications/Manuals/PMAG.pdf
122. FHWA, 1996, Federal Highway Administration and American Association of State Highway and Transportation Officials. Asset Management: Advancing the State of the Art into the 21 Century Through Public-Private Dialogue
123. FHWA, 1999, Asset Management Primer, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Asset Management
www.pavementpreservation.org/library/getfile.php?journal_id=628
124. FHWA, 2000, Ground Penetrating Radar for Measuring Pavement Layer

- Thickness
- http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=337
- 125.FHWA, 2001 a, Key findings from LTPP distress data, Publication No FHWA-RD-02-031
- 126.FHWA, 2001 b, Traffic Monitoring Guide. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration
- <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tmguid/index.htm>
- 127.FHWA, 2002
- <http://www.fhwa.dot.gov/policy/ohpi/hpms/abouthpms.htm>
- 128.FHWA, 2003, Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program Publication No. FHWA-RD-03-031
- <http://www.tfrc.gov/pavement/ltp/reports/03031/index.htm>,
http://www.fhwa.dot.gov/Pavement/pub_details.cfm?id=91
- 129.FHWA (2003). *Manual Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (MUTCD) U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- 130.FHWA, 2005, Memorandum Pavement Preservation Definitions
- wwwcf.fhwa.dot.gov/pavement/preservation/091205.pdf
http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/06_structural_design/aasho_road_test.htm
131. FHWA, 2005, Quantification of Smoothness Index Differences Related to Long-Term Pavement Performance Equipment Type
- www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=372 - 8k
132. FHWA, 2006, Achieving a High Level of Smoothness in Concrete Pavements without Sacrificing Long-Term Performance. Chapter 2. Pavement Smoothness Measurements, Equipment for Smoothness Measurement
- <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pccp/pubs/05068/02chapter2.cfm>
133. Finley, M.D. and Miles, J.D. (2007) “Exterior Noise Created by Vehicles Travelling Over Rumble Strips.” Presented at the TRB Annual Meeting, January 2007. (See TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM)
- 134.Flintsch G. W., 2004, Spatial Analysis Applications for Pavement Management, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia

135. Flintsch Gerardo W., Kuttesch Jeff, 2002, Engineering economic analysis tools for pavement management. 3rd International Conference Bituminous Mixtures and Pavements Thessaloniki, Greece [CD-ROM]
136. Flintsch W. Gerardo, Edgar de León, Kevin K. McGhee, Imad L. Al-Qadi, 2003, TRB Annual Meeting [CD-ROM], Paper revised from original submittal.
www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-001436.pdf
137. Flintsch G. W., Dymond R. Collura, J., 2004, Pavement Management Applications using Geographic Information Systems, National Cooperative Highway Research Project 20-5, Synthesis Topic 34-11, Washington, DC
138. Freeman Thomas J., Ragsdale John E., 2003, Development of Certification Equipment for TxDOT Automated Pavement Distress Equipment, Texas Transportation Institute.
www.tti.tamu.edu/documents/4204-1.pdf
139. Gallaway, B.M., D. L. Ivey, H. E. Ross, W. B. Ledbetter, D. L. Woods, and R. E. Schiller, “Tentative Pavement and Geometric Design Criteria for Minimizing Hydroplaning,” Report No. FHWA-RD-75-11, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1975
140. Gallaway B. M., Schiller R. E., Ivey D. L., Ledbetter W. B., Ross H. E., Woods D. L., White F., 1979, Pavement and Geometric Design Criteria for Minimizing Hydroplaning, Report No. FHWA-RD-79-31, Federal Highway Administration, Washington, D.C..
141. GASB34, 1999, Governmental Accounting Standards Board Statement 34: Basic Financial Statements – and Management’s Discussion and Analysis for State and Local Governments, Governmental Accounting Standards Board, Norwalk, Conn.
142. Gascón Varón C. M., Vázquez de Diego J. A., 2003, Implementation of a Pavement Management System on a 1,600 km Regional Network, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
143. Geem Carl Van, Gautama Sidharta, 2006, Mobile Mapping with a Stereo-Camera for Road Assessment in the frame of Road Network Management.
www.pegasus4europe.com/pegasus/workshop/documents/contributions/VanGeem_full.pdf
144. George K. P., 2000, MDOT Pavement Management System: Prediction Models and Feedback System, Final Report.
<http://www.gomdot.com/research/pdf/SS119.pdf>

145. Gharaibeh N. G., Darter M. I., Uzarski D. R., 1999, Development of Prototype Highway Asset Management System, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 5, No. 2, pp. 61–68.
146. Giles, C.G., Sabey, B.E. and Cardew, K.H.F. (1962) “Development and Performance of the Portable Skid Resistance Tester,” ASTM Special Technical Publication No. 326, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, Pennsylvania.
147. Gillespie, T. D., et al (1980). Calibration of Response-Type Road Roughness Measuring Systems, National Cooperative Highway Research Program, Report 228, Washington, D.C., 81 p.
148. Gillespie, T. D. (1987). et al. Methodology for Road Roughness Profiling and Rut Depth Measurement, Report No. FHWA-RD-87-042, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
149. Golabi Kamal, Pereira Paulo, 2003, Innovative Pavement Management System for Road Network of Portugal, *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE
150. Gothie, M. (1996) Relationship between Surface Characteristics and Accidents. Proc. 3rd International Symposium on Pavement Surface Characteristics, pp. 271-281
151. Gothié M., 2000, The contribution to road safety of pavement surface characteristics. *Bulletin de liaison de Laboratoires de Ponts et Chaussées*, 224-ref 4158, pp 5–12
152. Griffin L., 1984, Accident Data Relationships The influence of Road Discontinuities. A State of the Art Report. Transportation Research Board. Washington D.C.
153. Grinstead Brad, Koschan Andreas, Page David, Gribok Andrei, Abidi Mongi A., 2005, Vehicle-borne Scanning for Detailed 3D Terrain Model Generation
154. Grinstead B., Koschan A., Page D., Gribok A., Abidi M. A., 2005, Vehicle-borne Scanning for Detailed 3D Terrain Model Generation, SAE (Society of Automotive Engineers) Commercial Vehicle Engineering Congress, Chicago, IL, SAE Technical Paper 2005-01-3557.
155. Gryteselv Dagfin, Haugødegård Torleif, Sund Even K., 2001, The New Norwegian Pavement Management System, Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington [CD-ROM]
156. Gulen, S., Zhu, K., Weaver, J., Shan, J. and Flora, W. F. (2001) Development of Improved Pavement Performance Prediction Models for Indiana Pavement Management System (PMS)

157. Gunaratne Manjriker, 2003, Study of the Feasibility of Video Logging With Pavement Condition Evaluation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Florida, Summary of Final Report, BC965
www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_SMO/FDOT_BC965.pdf
158. Haas R. C. G., Hutchinson B. G., 1970, A Management System for Highway Pavements, Proc., Australian Road Research Board
159. Haas Ralph, Hudson W. Ronald, 1978. *Pavement Management Systems*, McGraw Hill, New York
160. Haas Ralph, Hudson W. Ronald, Zaniewski John, 1994, *Modern Pavement Management*, Krieger, Malabar Florida
161. Haas Ralph, 1998, Pavement Management: A Great Past But What About the Future?, Keynote Address, Proc., Fourth Int. Conf. On Managing Pavements, Dept. of Civil Eng., Univ. of Pretoria, South Africa
162. Haas Ralph, 2001, Reinventing The (Pavement Management) Wheel, Distinguished Lecture, Presented At Fifth International Conference On Managing Pavements, Seattle, Washington
www.asphalt.org/GRAPHICS/Haaslecture.pdf
163. Haas R., Tighe S., Cowe Falls L., 2004, Generic Protocol for Whole-of-Life Cost Analysis of Infrastructure Assets, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia
164. Hajek Jerry J., Olga I. Selezneva, 2001, New Developments in the Use of Traffic Data for Pavement Management, Proceedings of Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington [CD-ROM]
165. Hall, K. T., M. I. Darter, L. Khazanovich, and T. E. Hoerner (1997). Validation of Guidelines for k-Value Selection and Concrete Pavement Performance Prediction, Report No. FHWA-RD-96-198, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
166. Hall J. P., 2000, Cost/Benefit Analysis of GIS Implementation: Case of the Illinois Department of Transportation, GIS for Transportation Symposium, Minneapolis, Minn
167. Hall Kathleen T., Carlos E. Correa, Samuel H. Carpenter, Robert P. Elliott, 2002, Guidelines for Evaluation of Highway Pavements for Rehabilitation, Pavement Evaluation Conference, Roanoke, Virginia
168. Hallenbeck Mark, Herbert Weinblatt, 2005, NCHRP Report 509, Collection,

- Analysis, and Forecasting for Mechanistic Pavement Design, Transportation Research Board, Washington, D.C.
169. Hanson Douglas I., Prowell Brian D., 2004, Evaluation of for Measuring Surface Texture of Pavement, Federal Highway Administration, NCAT Report 04-05
- www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep04-05.pdf
- www.trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_538.pdf
170. Hao Wang, 2006, Road Profiler Performance Evaluation and Accuracy Criteria Analysis, Thesis Submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, In partial fulfillment of the requirements for the degree of: Master of Science in Civil and Environmental Engineering
- [scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08082006-234802/unrestricted/Thesis for Hao Wang.pdf](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08082006-234802/unrestricted/Thesis%20for%20Hao%20Wang.pdf)
171. Haugødegård Torleif, Johansen Johnny M., Bertelsen Dag, Gabestad Knut, 1994, Norwegian Public Roads Administration: A Complete Pavement Management System in Operation, 3rd International Conference on Managing Pavements, Vol 2, pp 25-33
172. Hauer, E. 2000. "Shoulder width, Shoulder Paving and Safety" Draft Report. Department of Civil Engineering. University of Toronto
173. Hawker Les, Hattrell Dave, 2001, The New Generation Pavement Management System for Major Roads in England, 5th International Conference on Managing Pavements, [CDROM]
174. Hegmon R. R., Gillespie T. D., Meyer W. E., Measurement Principles Applied to Skid Testing, Skid Resistance of Highway Pavements, ASTM STP 530, American Society for Testing and Materials, 1973, pp. 78-90
175. Henning T. F. P., Costello S. B., Watson T. G., 2006, A review of the HDM/dTIMS pavement models based on calibration site data Land Transport New Zealand
- www.transit.govt.nz/content_files/conference/T-Henning.pdf
176. Henry J. J., 2000, Evaluation of Pavement Friction Characteristics, NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 291, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
177. Herr, W. J., J. W. Hall, T. D. White, and W. Johnson (1995), "Continuous Deflection Basin Measurement and Backcalculation Under a Rolling Wheel Load Using Scanning Laser Technology," Transportation Congress

- Proceedings, American Society of Civil Engineers, San Diego, CA
178. Hicks, R.G. and Mahoney, J.P. (July 1981). *National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 76: Collection and Use of Pavement Condition Data*. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C.
 179. Highway Design Manual (HDM-4) (2005) 'Highway Development and Management System' *World Road Association (PIARC)*
 180. Highway Research Board. (1970) *Special Report No. 113: Standard Nomenclature and Definitions for Pavement Components and Deficiencies*. Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C.
 181. Highway Research Board. (1972). *National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 14: Skid Resistance*. Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C.
 182. Highways Agency, 2000, Business Plan 2000/01 - The Highways Agency, London, England
 183. Highways Agency, 2001, Design Manual for Roads and Bridges
 184. Hildebrant Gregers, Søren Ramussen, 2002, *Development of a High Speed Deflectograph*. Road Directorate, Danish Road Institute ISBN 87-91177-03-0
 185. Hoffman, M.S. and Thompson, M.R. (June 1981). Nondestructive Testing of Flexible Pavements Field Testing Program Summary. Report No. UILU-ENG-81-2003. Illinois Department of Transportation. Springfield, IL
 186. Horne W. B., 1998, Runway Friction Tester Minimum Dynamic Hydroplaning Speed, prepared for ASTM E 17.22/96.1 Task Group Meeting, Atlanta, Georgia
 187. Huang, Y. H. (1997). *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ
 188. Hudson W. R., Finn F. N., McCullough B. F., Nair K., Vallerga B. A., 1968 *Systems Approach to Pavement Systems Formulation, Performance Definition and Materials Characterization*, Final Report, NCHRP Project 1-10, Materials Research and Development Inc.
 189. Hudson W. R., McCullough B. F., Scrivner F. H., Brown J. L., 1970, *A Systems Approach Applied to Pavement Design and Research*, Texas Highway Department, Center for Highway Research of The University of Texas at Austin and Texas Transportation Institute of Texas A&M University, Res. Rept. 123-1

190. Hudson W. R., McCullough B. F., 1973, Flexible Pavement Design and Management: Systems Formulation, NCHRP Report 139
191. Hudson W. R., Hudson S. W., Way G., Delton J., 2000, Benefits of Arizona DOT Pavement Management System after Sixteen Years Experience. Washington D.C. Transportation Research Board meeting
192. Hudson R. W., Hudson S. W., Visser, W., Anderson, V., 2001, Measurable benefits obtained from pavement management. Proceedings of the Fifth International Conference on Managing Pavements, National Academy Standard, Seattle, Washington [CD-ROM]
193. Hung Chi Chung, Girarello Roberto, Soeller Tony, Masanobu Shinozuka, 2003, Automated management of pavement inspection system (AMPIS), Smart systems and nondestructive evaluation for civil infrastructures. Conference, San Diego CA , Vol. 5057, pp. 634-644
- shino8.eng.uci.edu/Pdf/203c-3.pdf
194. Hutchinson B. G., R. C. G. Haas, 1968, A Systems Analysis of the Highway Pavement Design Process, Research Record 239, Highway Research Board
195. Hveem, F.N. and Carmany, R.M. (1948). The Factors Underlying a Rational Design of Pavements. *Proceedings*. Highway Research Board, 1948
196. IDOT, 2005, Illinois Department of Transportation, 2005, Testing and Data Collection PTA-T1, Bureau of Materials and Physical Research, Pavement Technology Advisory, Non Destructive Testing with the Falling Weight Deflectometer, PTA-T1
197. Ihs Anita and Leif Sjögren (2003) An Overview of HDM-4 and the Swedish Pavement Management System (PMS). VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
- www.vti.se/3363.epibrw
198. Infrastructure Management Systems (IMS). (2001). IMS online website, data collection technology and capability section. <http://www.ims-tetracon.com/services/pavemgmt.asp>. Accessed 18 September 2001
199. Iowa Department of Transportation, 2004, Design Manual, Chapter 6
200. ISAP, 1989, International Society for Asphalt Pavements, Asphalt Pavement Evaluation and Overlay Design Guide
201. ISO (2000). Quality Management Systems – Fundamentals and Vocabulary. Available for download from www.iso.org
202. ISTE, 1991, Eileen S. Stommes, 2003, The Impact of the Intermodal Surface

- Transportation Efficiency Act of 1991 (ISTEA) On Rural Areas: Changes in Road and Bridge Conditions
203. Ivey D. L., McFarland W. F., 1981, Economic Factors Related to Raising Levels of Skid Resistance and Texture. Transportation Research Record 836, TRB, National Research Council Washington D.C., σελ. 83-86
204. Ivey D. L., Griffin L. I., Lock J. R., Bullard D. L., 1992, Texas Skid Initiated Accident Reduction Program: Final Report 910-1F, TTI: 2-18-89/910, TX-92/910-1F, TXDOT, Austin TX
205. Jackson N., Mahoney J., 1990, Washington State Pavement Management System. Federal Highway Administration, Text for Advanced Course of Pavement Management
206. Jain S. P., McCullough B. F., Hudson W. R., 1971, Flexible pavement system—second generation, incorporating fatigue and stochastic concepts. Report 123–10, Center for Highway Research, the University of Texas at Austin. Austin.
207. Janoff, M. S. (1975). Pavement Roughness and Rideability, National Cooperative Highway Research Program Report 275, Washington, DC.
208. Jayawickrama, P.W. and Thomas, B. (1998). Correction of Field Skid Measurements for Seasonal Variations in Texas. *Transportation Research Record 1639*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. pp. 147-154
209. Kamel, N. and Gartshore, T. (1982) Ontario's Wet Pavement Accident Reduction Program. Pavement Surface Characteristics and Materials, *ASTM Special Technical Publication No. 763*
210. Kamplade, Jurgen (1990) "Analysis of Transverse Unevenness with Respect to Traffic Safety". Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, 1990 pp 211-223
211. Keller M., Rukavina H., Debak R., 2004, Implementation of a Pavement Management System at the Croatian State Road Agency, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
212. Kelvin C. P. Wang, We-Yih Tee, 2002, Federal Aviation Administration Airport Technology Transfer Conference
<http://www.airporttech.tc.faa.gov/naptf/att07/2002%20TRACK%20P.pdf/P-69.pdf>
213. Kerali H. R., Evdorides H., Holtc C., Spernol Rieviere, Feighan N., Tapio K.,

- R., Kavina-Sodequist, M., Ornskov J., Mannisto V., Kahkonen A., Potucek J., 1999, Road Infrastructure Maintenance Evaluation Study, 2nd European Road Research Conference, Brussels.
214. Khazanovich L., S. D. Tayabji, and M. I. Darter (1999). Backcalculation of Layer Parameters for LTPP Test Sections, Volume I: Slab on Elastic Solid and Slab on Dense Liquid Foundation Analysis of Rigid Pavements, Report No. FHWA-RD-00-086, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
215. Killingsworth, B. and H. Von Quintus (1996). Backcalculation of Layer Moduli of SHRPLTPP General Pavement Study (GPS) Sites, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
216. Killingsworth, B. and H. Von Quintus (1997). Design Pamphlet for the Backcalculation of Pavement Layer Moduli in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures, Report No. FHWA-RD-97-076, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
217. Knudsen Freddy, Per Simonsen, 1994, How Decision Makers at Various Levels Use Output from the Danish Pavement Management System, 3rd International Conference on Managing Pavements, Vol 2, pp 74-82
218. Krause G., Maerschalk G., 2004, First Use of the Pavement Management Systems (PMS) for the Federal Trunk Roads in Germany, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
219. Kristiansen Jørn R., 2001, Why a PMS Implemented in 1989 is Still a Success and Continuously Used, Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington
220. Kuennen T., 2003, Technologies Boost Concrete Pavement Smoothness, Better Roads Magazine, Des Plaines, Illinois
221. Kulakowski B. T., et al., 1990, Skid Resistance Manual, USDOT Federal Highway Administration Report No. FHWA-IP-90-013, The Pennsylvania Transportation Institute, University Park, Pennsylvania
222. Kummer H. W., 1966, Unified Theory of Rubber and Tire Friction, Engineering Research Bulletin B-94, The Pennsylvania State University, State College
223. Kutttesch Jeffrey S., 2004, *Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet-Weather Accidents for Virginia Data*. Thesis Submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil and Environmental Engineering
224. Lang Johan, Potucek Jaro, 2001, Pavement Management Systems in Sweden,

- Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington
- 225.Lang Johan, Dahlgren Johan, 2001, Prediction Model in the Swedish PMS, Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington
- 226.Larsen Donald A., 1999, Evaluation of Lightweight Non-Contact Profilers for Use in Quality Assurance Specifications on Pavement Smoothness, Connecticut Department of Transportation
- 227.Larson C. D., Skrypczuk O. L., 2004, Lessons of Asset Management Data Collection at Virginia DOT, Paper No. 471, 6th International Conference on Managing Pavements Theme 5, Innovation in Practices and Technologies
- 228.Larson, R.M. (1999) Consideration of Tire/Pavement Friction/Texture Effects on Pavement Structural Design and Materials Mix Design. Office of Pavement Technology, HIPT
- 229.Lee Jeong Soo, Nguyen Cam, Scullion Thomas, 2004, A Novel, Compact, Low-Cost, Impulse Ground-Penetrating Radar for Nondestructive Evaluation of Pavements 1502 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 53, No. 6, pp. 1502- 1509
- 230.Lewis S., Sutton J., 1993, Demonstration Project No. 85: GIS/Video Imagery Applications, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- 231.Li Jing, Huichun Xing, Xuemin Chen, Y. Sun, Liu Richard, Hua Chen, Oshinski E. D., Moon Won, German Claros, 2004, Extracting Rebar's Reflection from Measured GPR Data, Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar, 21-24 June, Delf, The Netherlands
- 232.Li J., Simha K. C., 2004, A Methodology for Multicriteria Decision Making in Highway Asset Management, 83rd Annual TRB Meeting Washington, DC
- 233.Loizos A., Roberts J., Crank S., 2002, Asphalt Pavement Deterioration Models for Mild Climatic Conditions, Proceedings 9th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, Denmark
- 234.Loizos A. A., Papanikolaou L., 2005, Preliminary Evaluation of Pavement Deterioration Models for Pavement Management Systems, Journal of the Technical Chamber of Greece (TEE)
- http://www.ath.aegean.gr/srcosmos/generic_pinakas.aspx?pinakas=publicatio ns&groupby =j_title&journal=Tech.Chron.I&volume=25
- 235.Lukanen E. O., Han C., 1994, Performance History and Prediction Modeling for Minnesota Pavements. 3rd International Conference on Managing Pavements. Proceedings, Vol. 1, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 63-73.

236. Lyton R. L., McFarland W. F., 1974, Implementation of a Systems Approach to Pavement Design, Research Record 512 Transportation Research Board.
237. Macbeth Andrew G., 2002, Automatic Bicycle Counting, IPENZ Transportation Group, Technical Conference, Technical Paper
www.ipenz.org.nz/ipenztg/ipenztg_cd/cd/2002_pdf/34_Macbeth.pdf
238. Madanat Samer, Ziad Nakat, Nakul Sathaye, 2005, Development of Empirical-Mechanistic Pavement Performance Models using Data from the Washington State PMS Database, Final Report prepared for the California Department of Transportation through the Partnered Pavement Research Center Contract, University of California, Davis and Berkeley
www.its.berkeley.edu/pavementresearch/PDF/WSDOT_PMS_Final_Report.pdf
239. Mahoney J., 1990, Introduction to Prediction Models and Performance Curves, Course Text, FHWA Advanced Course on Pavement Management
240. Mahmuda Akhter, Hancock Jeffrey I. E., Hossain Mustaque, Parcels William H. Jr., Kansas Department of Transportation 2003 Report No. FHWA-KS-01-2, Final Report, Evaluation of Performance of Light-Weight Profilometers
ntl.bts.gov/lib/24000/24600/24600/KS012_Report.pdf
241. Mallela R., Wang H., 2006, Harmonizing Automated Rut Depth Measurements—Stage 2. Land Transport New Zealand Research Report 277. 58pp.
www.transfund.govt.nz/research/reports/277.pdf
242. Maser K. R., 1996, Evaluation of Pavements and Bridge Decks at Highway Speed Using Ground Penetrating Radar. Proceedings ASCE Structures Congress XIV, Chicago.
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9309/29583/01343450.pdf>
243. McCullough, B.F. and Hankins, K.D. (1966) “Skid Resistance Guidelines for Surface Improvements on Texas Highways,” *Highway Research Record 131*, Highway Research Board, Washington D.C.
244. McGhee Kevin K., Flintsch Gerardo W., 2003, Final Report High-Speed Texture Measurement of Pavements, Virginia Transportation Research Council in Cooperation with the U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Charlottesville, Virginia, VTRC 03-R9
www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/03-r9.pdf
245. McNeil Sue, DeBlasio Allan, Tischer Mary Lynn, 2000, Asset Management:

- What is the Fuss? Transportation Research Record McNeil Sue, 2001, Tools to Support Management System Integration for Asset Management, Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington [CD-ROM]
246. McPherson Kevin, Bennett Christopher R., 2005, Success Factors for Road Management Systems, East Asia Pacific Transport Unit, The World Bank, Washington D.C.,
- www.road-management.info/reports/user/6/05-10-11SuccessFactorsforRoadManagementSystems.pdf
247. Mercier C.R. and J.W. Stoner “Sufficiency Ratings for Secondary Roads: An Aid for Allocation of Funds?” *Transportation Research Record* 1156:35-40.
248. Mercier C.W. and J. W. Stoner 1989. “Roadway Sufficiency Rating System Model Validation”. *Transportation Quarterly*. Vol. 43:15-23.
249. Middleton Dan, 2002, Advances in Traffic Data Collection and Management, Federal Highway Administration, Washington, DC., Texas Transportation Institute
250. Mikolaj Jan, Celko Jan, 2001, Execution of Pavement Management System by the National Road Agency, Fifth International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington [CD-ROM]
251. Minnesota Department of Transportation (2007) *Road Design Manual (RDM)*
252. Missouri Court Affirms Award (2000) DOT Had Duty to improve Skid Resistance and/or Warn of Slippery Highway. U.S. Roads, Road Injury Prevention & Litigation Journal.
- <http://www.usroads.com/journals/rilj/0109/ri10901.htm>. Accessed February 19, 2003
253. MnDOT, 2004, Video-Log User Manual, Report: MnDOT/OM-PM-2004-02, Office of Materials, Pavement Management Unit
- www.mrr.dot.state.mn.us/pavement/PvmtMgmt/Videolog_User_Manual.pdf -
254. Mohseni A., Darter Michael I., Hall James P., 1990, Illinois Pavement Network Rehabilitation Management Program. Transportation Research Record 1272, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 85-95.
255. Molenaar, A. (2005) Structural evaluation and strengthening of flexible pavements using deflections measurements and visual condition surveys. In AAA Molenaar, Z Yuanfang, & HJ van Zuylen (Eds.), Proceedings Sino-Netherlands seminar (pp. 341-422). Delft: TRAIL Research School. (TUD)

256. Moore A. B., Humphreys J. B., 1973, High-Speed Skid Resistance and the Effects of Surface Texture on the Accident Rate, Skid Resistance of Highway Pavements, ASTM STP 530, American Society for Testing and Materials, pp. 91-100.
257. Morosiuk G., Kerali H., 2001, The Highway Development and Management Tool HDM-4, TRL Limited, Crowthorne, Berkshire RG45 6AU, United Kingdom, PA3759101, IKRAMUs Seminar on Asphalt Pavement Technology (ISAPT 2001), Kuala Lumpur
- www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_760_PA3759_2001.pdf
258. Mouratidis, A., Eliou, N. and Papageorgiou, G. (2005) 'Model for Assessment of Overall Road Condition', Proceedings of the 15th IRF World Meeting, Bangkok, Thailand.
259. Mouratidis, A., Eliou, N. and Papageorgiou, G. (2010) "A Comprehensive Methodology to Define Threshold Values of Pavement Performance Indicators". Paper accepted for presentation at the 11th International Conference on Asphalt Pavements organized by the International Society for Asphalt Pavements (ISAP), 01-06 August 2010, Nagoya, Japan.
260. Mouratidis, A. and Freitas, A. R. (2007) "Assessment of pavement rutting due to asphalt flow". Proceedings of the International Conference on Advanced Characterization of Pavement and Soil Engineering Materials, 20-22 June 2007, Athens, Greece.
261. Mouratidis, A. and Papageorgiou, G. (2006) 'Road Serviceability Appraisal in View of Alignment Improvement', Paper presented at the 9th International Road Conference, Budapest, Hungary
262. Mouratidis, A. and Papageorgiou, G. (2010) 'Threshold Values of Pavement Characteristics at the Initial Stage of a Road Lifetime', Proceedings of the 16th IRF World Meeting, Lisbon, Portugal.
263. Mouratidis, A. and Papageorgiou, G. (2010) "A Rational Approach for Optimization of Road Upgrading", Accepted for publication in the Canadian Journal of Civil Engineering
264. Mouskas, KC; Sun W. and Qu T. 1999. "Impact of Access Driveways on Accident Rates at Multilane Highways." New Jersey Institute of technology, National Center for Transportation and Industrial Productivity, Newark, NJ
265. M. P. W., 2002, Metro Public Works, Nashville, Tennessee, Learning What Software Variables to Evaluate When Selecting A Pavement Management Software Program

www.apwa.net/meetings/congress/2004/handouts/documents/1020.pdf

266. Najafi F.T. (1989) "A Step-by-Step Procedure for Roadway Network Improvement Priority Setting". *Transportation Research Record* 1229: 108-117

267. NASA, 2001, Slippery When Wet!, Aerospace Technology Enterprise Published by NASAexplores

media.nasaexplores.com/lessons/01-053/fullarticle.pdf

268. National Highway System Designation Act (NHS) of 1995, Public Law 104-59, Nov. 28, 1995

www.dotcr.ost.dot.gov/documents/ycr/pl104-59.pdf

269. National Highway Institute (1998). Techniques for Pavement Rehabilitation; A Training Course, Participant's Manual, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

270. NCHRP Synthesis 203, 1994, Current Practices in Determining Pavement Condition. A Synthesis of Highway Practice. Transportation Research Record, National Research Council, USA

271. NCHRP Web Document 1 (Project 1-31), Smoothness Specifications for Pavements, Smith K. L., Smith L. D., T. E. Hoerner, M. I. Darter, J. H. Woodstrom, 1997. (NCHRP, 2002)

272. NCHRP, 2002, National Highway Cooperative Research Program, Asset Management Guidance for Transportation Agencies, Research Results Digest, No. 266

273. NCHRP Synthesis 335, Gerardo Flintch, Randy Dymond, John Collura, 2004, Pavement Management Applications Using Geographic Information Systems, Washington, D.C.

274. NCHRP, 2004, Synthesis 334, Automated Pavement Distress Collection Techniques, A Synthesis of Highway Practice

www.trb.org/publications/nchrp/nchrp_syn_334.pdf

275. NCHRP REPORT 538, Traffic Data Collection, Analysis, and Forecasting for Mechanistic Pavement Design, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2005

trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_538.pdf

276. Ness Van N. J., 1987, Efficient Use of Resources Through Changing Internal Priorities—A Review of Case Studies. Vol. 3 Second North American

- Conference on Managing Pavements. Ontario Ministry of Transportation and Communications, Toronto, Canada
- 277.No author. 1992. “Research Pays Off: Median Jersey Barriers Reduce Severity of Freeway Crashes”. *TR News*. 162:28-29
- 278.No author. 1997. “CALTRANS announces new freeway barrier policy.” *Civil Engineering News*. 9(8) pp25
- 279.Norsemeter Friction AS, A Primer on Modern Runway Surface Friction Measurement, Volume 1, Norsemeter Courtesy Publication
- <http://www.norsemeter.no/Downloads/Files/Runway%20Primer.pdf>
- 280.Noyce David A., Hussain U. Bahia, Josué M. Yambó, Guisk Kim, 2005, Incorporating Road Safety into Pavement Management: Maximizing Asphalt Pavement Surface Friction for Road Safety Improvements, Midwest Regional University Transportation Center Traffic Operations and Safety (TOPS) Laboratory
- 281.OECD, 1984, *Road Transport Research, Road Surface Characteristics*, Paris
- 282.OECD, 1984, Road Surface Characteristics – Their Interaction and their Optimization. *OECD Scientific Expert Group, Road Transport Research*, Paris, France
- 283.OECD, 1987, *Road Transport Research Pavement Management Systems*
- 284.OECD, 1997, Pre-publication Final Report of OECD IR6 Project: Dynamic Interaction of Heavy Vehicles with Roads and Bridges, Dynamic Interaction of Vehicle and Infrastructure Experiment (DIVINE Project), Proceedings of the Asia-Pacific Concluding Conference, Melbourne.
- 285.Offrell P., Sjögren L., 2004, Crack Measures and Reference Systems for a Harmonized Crack Data Collection Using Automatic Systems, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
- 286.Oliver, J. and Halligan, S. 2006, ‘A targeted approach to the measurement of skid resistance’, ARRB Conference, 22nd, Canberra
- 287.Owusu-Antwi, E. B., L. Titus-Glover, L. Khazanovich, and J. R. Roesler (1997). Development and Calibration of Mechanistic-Empirical Distress Models for Cost Allocation. Final Report, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- 288.Page, B.G. and Butas, L.F. (1986) Evaluation of friction requirements for California state highways in terms of highway geometrics, Report

FHWA/CA/TL-86-01, Office of Transportation Laboratory, California Department of Transport

289. Paterson W. D. O., 1988, Road Deterioration and maintenance effect: Models for planning and management. The John Hopkins University Press. Published for the World Bank.

290. Paterson W. D. O., Scullion T., 1990, Information systems for road management: draft guidelines on system design and data issues. Infrastructure and Urban Development Department Report INU 77. Washington DC: The World Bank.

291. Perera R. W., Kohn S. D., 2002, Issues in Pavement Smoothness: A Summary Report, NCHRP Project 20-51[1].

pubsindex.trb.org/document/view/default.asp?lbid=710705 - 9k

292. Perera Rohan W., Kohn Starr D., Wiser Larry J., 2006, Factors Contributing to Differences Between Profiler and Reference Device IRI, TRB 2006 Annual Meeting CD-ROM

293. Peterson D. E., (a) 1987, Pavement Management Practices. NCHRP Synthesis 135. Washington, D.C.: Transportation Research Board, NCR.

294. Peterson D. E., (b) 1987, Good Roads Cost Less (Pavement Rehabilitation Needs, Benefits, and Costs in Utah) Report No. UDOT-MR-77-8, Utah DOT, Salt Lake City, UT

295. Phillips S. M., Kinsey P., 2000, Advances in Identifying Road Surface Characteristics Associated with Noise and Skidding Performance, Proceedings, PIARC Surface Characteristics, Nantes, France

296. PIARC, 1995, Report 01.04.T., International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements Technical Committee, France.

297. PIARC, Optimization of Pavement Surface Characteristics, PIARC Technical Committee on Surface Characteristics, Report to the XVIII World Road Congress, Brussels, Belgium

298. PIARC Technical Committee on Road Safety (2003) Road Safety manual World Road Association

299. PIARC, 2005.

<http://www.piarc.org/en/projects/hdm4/>

300. Picado-Santos, L., Pereira P., Matos J., 2004, The IEP Pavement Management System: Initial Activities and Planned Developments, 2nd European Pavement

- and Asset Management Conference, Berlin, Germany
301. Prozzi Jorge A., Madanat Samer M., 2002, A Non-linear Model for Predicting Pavement Serviceability, TRB Annual Meeting
302. Prozzi, J. A. and Madanat, S. M. (2004) Development of Pavement Performance Models by Combining Experimental and Field Data JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS © ASCE / MARCH 2004
303. Rawool S., Fernando E., R. Walker, 2002, Project 0-4385 Literature Review, Interoffice Memorandum, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas.
304. Reid Donald, 2004, APWA American Public Works Association, Learning what software variables to evaluate when selecting a pavement management software program
- www.apwa.net/Documents/About/TechSvcs/ROW/Products/Learning_what_software_variables_to_evaluate-9-04.pdf
305. Reza Farhad, Boriboonsomsin Kanok, Bazlamit Subhi, 2006, Development of a Pavement Quality Index for the State of Ohio, Paper for 85th Annual Meeting of The Transportation Research Board, Washington, D.C., TRB 2006 Annual Meeting CD-ROM Paper revised from original submittal.
306. RIMES, Work Project for EC-DG-VII RTD Programme - Contract No. RO-97-SC 1085/1189, Package 2, Review of road infrastructure systems and models in EU member states, Road Infrastructure Maintenance Evaluation Study
- <http://civ-hrg.bham.ac.uk/rimes/work1.htm>
307. RIMES, Road Infrastructure Maintenance Evaluation Study Pavement and Structure Management System, Project for EC-DG-VII RTD Programme - Contract No. RO-97-SC 1085/1189, Work Package 6, Pilot Trial of the Project and Works Programming Analysis in Greece
- <http://civ-hrg.bham.ac.uk/rimes/work5.htm>
308. RIMS, 2000, Road Information Management Systems Implementation of Predictive Modeling for Road Management Report DT/99/F2-2
309. RIMS Group, Special Study Task 6403, 2004, Performance Condition Index (PCI) National Investigation, November
- www.rims.org.nz/NR/rdonlyres/D7A67D50-9EA1-443F-8540-A7686E1F1DF/0/PCIRreport.pdf
310. Rizenbergs R., Burchheit J. C., Warren, L. A., 1977, Relation of accidents and

- pavement friction on rural, two-lane-roads, Transportation Research Report 296, Washington D.C, Roads Liaison Group, 2005, Well-maintained Highways, Code of Practice for Highway Maintenance Management σελ. 85, 86.
- 311.Rizenbergs R. L., Deen R. C., 1987, Allocation of Resurfacing Monies to Highway Districts in Kentucky, Vol. 3, Second North American Conference on Managing Pavements. Ontario Ministry of Transportation and Communications, Totonto, Canada
- 312.Roads Liaison Group, 2005, Code of Practice for Highway Maintenance Management, Well-Maintained Highways, TSO
<http://www.ukroadsliaisongroup.org/>
- 313.Roadware, ARAN DMI, 2004, Digital Video, Right of Way Perspective Digital Images
www.roadware.com/lib/pdf/datasheet.room.pdf
- 314.RoadWare, 2004, Pavement Video, Pavement View Digital Images
www.roadware.com/lib/pdf/datasheet.pavement_video.pdf
- 315.Rodenborn Shirley A., Smith Roger E., 1994, Considerations for Development and Supporting Appropriate Pavement Management Software for End Users, 3rd International Conference on Managing Pavements, Vol 2, pp 3-8, San Antonio Texas
- 316.Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., and Kennedy, T.W. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*. National Asphalt Paving Association Education Foundation. Lanham, MD.
- 317.Roberts J. D, Morfatt M. A., 1999, A Desktop Implementation and Review of Selected Pavement Performance in the Management of the Victorian Road Network, Contract Report RC90012-1, ARRB TR, Vermont South, Vic., Australia
- 318.Roberts Jon, Roper Ron, Loizos Andreas, 2003, Plato: A new engine for the implementation of HDM technology for road infrastructure management analysis, Road & Transport Research
http://www.findarticles.com/p/articles/mi_qa3927/is_200306/ai_n9255095
- 319.Roberts J., Loizos A., 2004, The Development and Pilot Implementation of a Road Infrastructure Management System for Greece, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia

320. Robinson R., 1995, Rethinking policy, strategy and information under severe budget constraints: management information and tools to prioritise works. Selecting road management systems. World Bank, European Union TACIS Program and GTZ. Proceedings of Highway Policy Seminar for Countries of the Former Soviet Union, Moscow, Washington DC: International Bank for Reconstruction and Development, World Bank
321. RPS MCOS, 2005, Pavement Management Review Report
[www.environ.ie/.../0/3e95229839da219680256f0f003db97b/\\$FILE/PMS%20Review%20Report%20Ver%20F01.pdf](http://www.environ.ie/.../0/3e95229839da219680256f0f003db97b/$FILE/PMS%20Review%20Report%20Ver%20F01.pdf)
322. RTAC, Roads and Transportation Association of Canada, 1977, Pavement Management Guide, Ottawa, Canada.
323. Ruotoistenmäki A., Kanto, A., Männistö V., 2004, Optimizing the Condition Data Collection for a Road Network, 2nd European Pavement and Asset M Conference, Berlin, Germany
324. Saarinen, J., Toivonen, T., Mannisto, V. and Taipo, R. (1997). Pavement Management in Finland: Decision-Making from National Policies to Project-Level Programming. Report to the Finnish National Road Administration, Inframan Ltd. Management
325. Sabir H. M., Wade L. G., 1990, Wet-Pavement Safety Programs, NCHRP Synthesis of Highway Practice 158, Highway Research Board, National Research Council
326. Salt, G.F. (1977) "Research on Skid-Resistance at the Transport and Road Research Laboratory (1927-1977)," In Transportation Research Record No. 622: Skidding Accidents: Pavement Characteristics. Transportation Research Board, Washington, D.C.
327. Sandberg Ulf, 1995, Development of an International Standard for Measurement Pavement Macrotecture. 20th World Road Conference, Montreal, Canada
328. Sandberg Ulf, 1997, Influence of Road Surface on Traffic Characteristics Related to Environment, Economy and Safety A State-of-the-art Study regarding Measures and measuring Methods. VTI notat 53A, Swedish National Road and Transport Research Institute.
329. Sayers M. W., 1985, Development, Implementation, and Application of the Reference Quarter-Car Simulation. Special Technical Publication 884. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania,

- 330.Sayers, M.W.; Gillespie, T.D. and Paterson, D.W.O. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. Technical Paper No. 46., 87 p. The World Bank. Washington, D.C.
- 331.Sayers, M. W., and S. M. Karamihas (October 1996). *The Little Book of Profiling—Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*, Copyright, the University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- 332.Sayers M. W., Karamihas S. M., 1998, *The Little Book of Profiling*. University of Michigan (USA)
- <http://www.umtri.umich.edu/divisionPage.php?pageID=64>
- 333.Scazziga I., 2004, *The Role of PMS and in a New Public Management Environment*, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
- 334.Schliessler, A. and Bull, A. (2004). *Road Network Management*. UN-ECLAC/GTZ Report. Available for download from www.gtz.de/roads
- 335.Scofield, L.A. (June 1993). *Profilograph Limitations, Correlations, and Calibration Criteria for Effective Performance-Based Specifications*. Project 20-7, Task 53. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- 336.Scrivner F. H., Moore W. M., McFarland W. F., Carey R., 1968, *A Systems Approach to the Flexible Pavement Design Problem*, Texas Transportation Institute, Res. Rept. 32-11
- 337.Shahin, M. Y. (1994). *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hardbound, ISBN 0-412-99201-9
- 338.Shahin M. Y., 2000, *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Kluwer Academic Publishers Group, Fourth Printing
- 339.Shahin M. Y., Keifer K. A., Burkhalter J. A., Nelson, B., 1988, *MicroPAVER, Version 4.1 User Manual*, U.S. Army Corps of Engineers CERL
- 340.Sheldon G. N., 2004, *Australian Data Collection Practices*, Proceedings 6th International Conference on Managing Pavements [CD-ROM]
- 341.Shuo Li, Noureldin Samy, Zhu Karen, 2003, *Upgrading the INDOT Pavement Friction Testing Program*, Final Report FHWA/IN/JTRP-2003/23
- <http://docs.lib.purdue.edu/jtrp/215>
- 342.Simanek L. P., Litzka J., 2004, *Practical Application of Performance Indicators for Road Pavements in the Austrian PMS*, 2nd European Pavement

- and Asset Management Conference, Berlin, Germany
- 343.Simonin Jean-Michel, Lièvre Denis, Hildebrand Gregers, Rasmussen Soren, 2005, Assessment of the Danish High Speed Deflectograph in France, 7th International Conference on Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields
- 344.Sivaneswaran, N. and Pierce, L. (October 2001). PowerPoint presentation to the Road and Street Maintenance Supervisor's Conference. Viewed 31 October 2001
- 345.Sivaneswaran N., Pierce L. M., Mahoney J. P. 2006, Proceedings 6th International Conference on Managing Pavements [CD-ROM]
- 346.Sjögren Leif, 2004, Road Surface Measuring in Sweden or Europe? Sixth International Conference on Managing Pavements, Australia [CD-ROM]
- 347.Smadi O., 2004, Quantifying the Benefits of Pavement Management, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia. [CD-ROM]
- 348.Smith Roger E., 1994, New Approach to Defining Pavement Management Implementation Steps, 3rd International Conference on Managing Pavements, Vol 2, pp 148-156, San Antonio Texas
- 349.Smith Roger E., 1994, Overview Of Institutional Issues in Pavement Management Implementation and Use, 3rd International Conference on Managing Pavements, Vol 2, pp 53-63, San Antonio Texas
- 350.Smith R. E., 1996, Evaluation of Automated Pavement Distress Data Collection Procedures for Local Agency Pavement Management”, Research Project GC10470, Washington State Department of Transportation, Olympia, Washington
- 351.Smith R. E., Hall J. P., 1994, Overview of institutional issues in pavement management rd implementation and use, Proceedings of the 3 International Conference on Managing Pavements, Vol. 2, σελ. 53-63, Transportation Research Board, Washington DC, 1994, San Antonio, TX, 22-26
- 352.Socina M., 2004, Providing and Exchanging Asset Management Data, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia [CD-ROM].
- 353.South Carolina DOT, 2001, South Carolina Department of Transportation, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Summary Report, Report Number FHWA-SC-01-03
- www.clemson.edu/t3s/scdot/pdf/projects/SPR%20602.pdf

354. Special Committee for Processing Issues of European Network (2001)
Instructions of Road Operation Studies for Greece
355. Srsen M., 2004, Different Levels of Road Management in Croatia, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
356. Stannard Eric, (undated), Getting Started with HDM-4 Version 2.0
http://www.hdmglobal.com/hdm4v2_freedownloads.asp
357. Start, Marc R., Jeong, Kim and William, D. Berg. (1996) "Development of Safety Based Guidelines for Treatment of Pavement Rutting." Proceeding of the Conference, Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program (SHRP) No. 4, Part 5
358. Start, M. R., Kim, J. and Berg, W. D. (1998) POTENTIAL SAFETY COST-EFFECTIVENESS OF TREATING RUTTED PAVEMENTS This paper appears in Transportation Research Record No. 1629, Design and Rehabilitation of Pavements 1998
359. Stover, VG, Hawley, PE, Woods, DL, and Hamm RA. 1993. "Access Management as a Congestion Management Strategy". Conference Paper
360. Strategic Highway Research Program (SHRP) (1993). Distress Identification Manual for Long Term Pavement Performance Project, Publication No. SHRP-P-338, Strategic Highway Research Program, Washington, D.C.
361. Sukumar S. R., Yu S., Page D. L., Koschan A. F., Abidi M. A., 2006, Multi-sensor Integration for Unmanned Terrain Modeling, Proc. SPIE Unmanned Systems Technology VIII, Vol. 6230, Orlando, FL, pp. 65-74, April
362. Szatkowski, W.S. and Hosking, J.R. (1972) "The Effect of Traffic and Aggregate on the Skidding Resistance of Bituminous Surfacing" Transport and Research Laboratory Report No. 504, Materials Division - Highway Department, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, England
363. Sztraka J. K., 2000, Indicators of the Benefits of Pavement Management, 1st European Pavement Management System Conference, Budapest, Hungary
364. TAC, 1999, Highway Asset Management Systems: A Primer, Transportation Association of Canada
365. TAC, 2006, Transportation Association of Canada, Performance Measures for Road Networks: A Survey of Canadian Use, Prepared by: Transportation Association of Canada, Prepared for: Transport Canada
www.tac-atc.ca/english/pdf/perf-measures-0306.pdf

366. Tack J. N., Chou Y. J., 2001, Pavement Performance Analysis Applying Probabilistic Deterioration Methods, *Transportation Research Record* 1769, pp. 20-27
367. Taqui A.M. (1992) "Highway Performance Monitoring System Analytical Process Application to Kentucky's Adequacy Program". *Transportation Research Record* 1364:10-19
368. Task Force for Pavement Design of the AASHTO Operating Subcommittee on Design (AASHTO). (1976). Guidelines for Skid Resistant Pavement Design. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
369. Techniques in Implementing Pavement Management Systems, 3rd International Conference on Managing Pavements, Vol 2, pp 139-147
370. Texas Department of Transportation, 2006, Material/Producer List 1, Certified Profilers
http://tti.tamu.edu/facilities/riderut_facility/certified_profilers.htm
371. The Washington State Department of Transportation (WSDOT) *Pavement Management System: Operational Enhancements*, Final Report (1995)
372. Theberge P. E., 1987, Pavement Management-A Successful Tool for Establishing Funding Levels and Priorities, Vol 3, Ministry of Transportation of Ontario, 1987, Second North American Conference on Managing Pavements. Proc., Toronto, Canada
373. Theodorakopoulos D. D., Chassiakos A. P., Manariotis I. D., 2001, Improvements in Highway Maintenance Management in Greece, Maintenance Management, Conference Proceedings 23, TRB, pp 249-256
374. Titus-Glover, L., E. Owusu-Antwi, and M. I. Darter (1999). Design and Construction of PCC Pavements, Volume II: Design, Site, and Construction Parameters that Influence Pavement Performance, Report No. FHWA-RD-98-127, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
375. Titus-Glover, L., E. Owusu-Antwi, and M. I. Darter (1999). Design and Construction of PCC Pavements, Volume III: Improved PCC Performance. Report No. FHWA-RD-98-113, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
376. Titus-Glover, L., J. Mallela, M. Ayers, J. Jiang, and H. Shami (2002). Assessment of LTPP Materials Data, Report No. FHWA-RD-02-001, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

377. TMahoney, J.P. and Lytton, R.L. (1978). *Measurements of Pavement Performance Using Statistical Sampling Techniques*. Report No. FHWA-TX-78-207-2. Texas Transportation Institute, Texas A&M University. College Station, TX
378. Transit (2001). A Procedure for Assessing Model Credibility. Taranaki Special Study Hit Rate Procedure. Transit New Zealand, Wellington. Transit New Zealand. 2001
379. Transit (2002). Annual Report 2001/2002. Transit New Zealand, Wellington. Available for download from www.transit.govt.nz
380. Transit (2004). Annual Report 2003/2004. Transit New Zealand, Wellington. Available for download from www.transit.govt.nz
381. Transport Department (1994-2) Design Manual for Roads and Bridges - Skidding Resistance, London
382. *Transportation Research Record 1536*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. pp. 52-58
383. *Transportation Research Record 1684*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. pp. 128-136.
384. Transportation Research Board (TRB) (1980) *Decision Methodology for Maintenance and Upgrading*
385. Transportation Research Board (TRB) (2000). *Highway Capacity Manual (HCM)*, Washington, D.C., ISBN 0-309-06681-6.
386. Transportation Research Board (TRB) (2003). Highway Safety Manual (HSM), NCHRP Project 17-18(4), Bellomo-McGee Inc., Vienna, Virginia, Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri, February 2003.
387. Transportation Research Board (TRB) (2007)
<http://rns.trb.org/dproject.asp?n=14141>
388. TRB, 1994, Transportation Research Board, Third International Conference on Managing Pavements Proc., Vol. 1 to 3, San Antonio TSO, 1998, Department of the Environment, Transport and the Regions. A new deal for transport: better for everyone, Stationery Office, London, England.
389. TRL Transport Research Laboratory (1991). Research Report 296: The relationship between surface texture of roads and accidents
390. TSO, 1998, Department of the Environment, Transport and the Regions - Trunk Roads Review - Stationery Office, London, England.
391. TSO, 2005, The Stationery Office, Roads Liaison Group, Well-maintained

- Highways, Code of Practice for Highway Management,
www.ukroadsliaisongroup.org/pdfs/p03_well_maintained_highways.pdf
http://www.ukpms.com/tech_docs/usermanual.asp
392. Ulidtz P., Stubstand R., 1992, Standard Engineering Principles in PMS applications, ASTM, STP 1121
393. Ullidtz Per, Technical University of Denmark (2002) ANALYTICAL TOOLS FOR DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENTS
394. UMTRI, 2004, Research Review, UMTRI, Vol. 35, No. 3
395. University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI). (March 1998). *International Roughness Index*. Web page from the Road Roughness Home Page: <http://www.umtri.umich.edu/erd/roughness/iri.html>. Accessed 4 October 2001.
396. University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) (1998) <http://www.umtri.umich.edu/divisionPage.php?pageID=62>
397. U.S. DOT, FHWA, 2002, Pavement Management Software, Data Collection Equipment, Office of Asset Management, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration
<http://knowledge.fhwa.dot.gov/tam/aashto.nsf/0/9c49d4630693632085256ccc00485ae2?OpenDocument>
398. Van Geem Carl and Gautama Sidharta (2006) *Mobile Mapping with a Stereo-Camera for Road Assessment in the frame of Road Network Management*. University lecture
399. Venukanthan Kana Suresh, Hawthorne Michael, Erchul Mary, 2001, Importance of Hotline Support in the Development of Pavement Management System Software, Fifth International Conference on Managing Pavements [CD-ROM]
400. VicRoads, 2000, Ride quality for pavements- Notes on standard specification, Victoria, Australia
401. VicRoads, 2005, RoadsOne Project Stage -1 RIS, Functional Specification, Sub Project 3 Location Referencing System Analysis, LSR Background, Literature Review, ITS and Evolving Spatial Technologies
402. Viner, H., Sinhal, R. and Parry, T. (2004) "Review of UK Skid Resistance Policy" Paper prepared for 5th International Symposium on Pavement Surface Characteristics---Road and Airports, Toronto, Ontario, Canada

403. Viner, H.E, Sinhal, R., Parry, A.R. (2005) Linking road traffic accidents with skid resistance - Recent UK developments, TRL Paper reference PA/INF4520/05
404. Virginia Transportation Research Council. (March 1996). Assessment of Virginia's Hybrid South Dakota Road Profiling System. Web page: <http://www.virginiadot.org/vtrc/briefs/96-r20rb/profile.htm>. Accessed 19 September 2001
405. Vycudil Alfred, Litzka Johann, 2001, Implementation of a Pavement Management System in Austria–Pilot Phase, Fifth International Conference on Managing Pavements [CD-ROM]
406. Vycudil Alfred, Litzka Johann, 2001, Elements of the Austrian PMS and Experiences From the First Application, Fifth International Conference on Managing Pavements, [CD-ROM]
407. Yager, T.J. (2005) Pavement Surface Properties. Committee on Surface Properties-Vehicle Interaction, TRB, 1999. <http://www.nationalacademies.org/trb/publications/tmbc/13501.pdf>. Accessed February 13, 2003. <http://gulliver.trb.org/publications/millennium/00087.pdf>. Re-accessed January 18, 2005
408. Wallman, C.G. and Aström, H. (2001) Friction Measurement Methods and the Correlation between Road Friction and Traffic Safety – Literature Review. *Project Code 80435, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden*
www.vti.se/EPiBrowser/Publikationer/M911A.pdf
409. Wambold J. C., Antle C. E., Henry J. J., Rado Z., 1995, International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements,. Final Report submitted to the Permanent International Association of Road Congress (PIARC), State College PA
410. Wang Hao, 2006, Thesis Submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University In partial fulfillment of the requirements for the degree of: Master of Science In Civil and Environmental Engineering Blacksburg, Virginia
[scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08082006-234802/unrestricted/Thesis for Hao Wang.pdf](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08082006-234802/unrestricted/Thesis%20for%20Hao%20Wang.pdf)
411. Wang Kelvin C. P., Weiguo Gong, 2002, Automated Pavement Distress Survey: A Review and A New Direction, Pavement Evaluation Conference, Roanoke, Virginia
pms.nevadadot.com/2002presentations/43.pdf

412. Wang K. C. P., 2003, Transportation Research Circular: Automated Imaging Technologies for Pavement Distress Survey, Committee A2B06, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
413. Wang Kelvin C. P., Elliott Robert P, Meadors Alan, Evans Mark, 2004, Application and Validation of An Automated Cracking Survey System, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia [CD-ROM]
414. Wang Kelvin C. P., 2007, Automated Survey and Visual Database Development for Airport and Local Highway Pavement
- http://www.mackblackwell.org/web/research/ALL_RESEARCH_PROJECTS/2000s/2042/Final%20Report%20MBTC%202042%20Wang%20AUTO%20SURVEY%20%20VISUAL%20DB%20DEV%20FOR%20AIRPORT%20%20LOCAL%20HIWAY%20PAVEMENT.pdf
415. Washington Department of Transportation (WSDOT) (2006) Washington State Airport Pavement Management Program Update Aviation is currently in the process of updating the statewide pavement management program. The program update was initiated in January of 2005 and was completed by June of 2006.
- <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ltp/about.cfm>
- <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ltp/stratplan/strategic.cfm>
416. Watanatada Thawat, Clell Harral, Paterson William D. O., Dhareshwar Ashok M., Bhandari Anil, Tsunokawa Koji, 1987, The Highway Design and Maintenance Standards Model Volume 1. Description of the HDM-III Model, The World Bank, The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London
- <http://www.worldbank.org/transport/roads/tools.htm>
417. Way G. B., 1985, Network Optimization System for Arizona. North American Pavement Management Conference, Proceedings, Vol. 1, Toronto, Ontario, Canada
418. WERD, 2003, Data Management for Road Administrations-A Best Practice Guide, Western European Road Directors, Sub-Group Road Data, Conference of European Directors, (CERD), Europe
- <http://www.roaddata.org/bestpractice/guide.asp>
419. Weninger-Vycudil, A., Simanek, P., Litzka, J., 2003, Practical Application of Performance Indicators for Road Pavements in the Austrian PMS, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany

420. Wilkins E. B., 1968, Outline of a proposed Management System for the CGRA Pavement Design and Evaluation Committee Proc. Canadian Good Roads Association
421. Wilson Douglas, Pradhan, Nabin K., Henning Theuns J., 2002, The appropriateness of data in a pavement management system: The New Zealand experience, Road & Transport Research
http://www.findarticles.com/p/articles/mi_qa3927/is_200206/ai_n9093009
422. Woltereck G., 2004, Experiences in the Implementation of Management Systems on Network and Project Levels in Bavaria, 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, Germany
423. Wood, S. L. (1991). "Evaluation of Long-Term Properties of Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 88, No. 6.
424. World Road Association (PIARC) (2005) Highway Development and Management System (HDM-4)
425. World Road Association (PIARC) (2007) Social and Environmental Approaches to Sustainable Transport Infrastructures
426. Xiangyang Mu, Li Lin, Tang Nan, Ce Liu & Jiang Xiuhan, 2003, Laser-based system for highway pavement texture measurement, Intelligent Transportation Systems, Proceedings 2003 IEEE, Volume 2, 12-15 Oct. 2003 Page(s):1559 - 1562 vol.2
427. Yager T. J., Aircraft/Ground-Vehicle Friction Measurement Study, 1990, Surface Characteristics of Roadways: International Research Technologies, ASTM STP 1031, American Society of Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania pp. 154-167
428. Yager, T.J. (2005) Pavement Surface Properties. Committee on Surface Properties-Vehicle Interaction, TRB, 1999
<http://www.nationalacademies.org/trb/publications/tmbc/13501.pdf>. Accessed February 13, 2003. <http://gulliver.trb.org/publications/millennium/00087.pdf>. Re-accessed January 18, 2005
429. Zegeer, C.V., R.C. Deen, and J.G. Mayes (1981), Effect of Lane Width and Shoulder Widths on Accident Reduction on Rural Two Lanes. Transportation Research Record 806, 33-43
430. Zegeer C.V. and R.L. Rizenbergs, "Priority Planning for Highway Reconstruction." *Transportation Research Record* 698 (1979): 15-23
431. Zheng Qingbo, Racca David P., 1999, Support of Pavement Management Systems at The Delaware Department of Transportation, Delaware

Transportation Institute and Delaware Department of Transportation

<http://dspace.udel.edu:8080/dspace/bitstream/19716/766/1/pmsfinal.pdf>

432. Zhu J., Nayar R., 1993, APPARE: A PC Software Package for Automated Pavement Profile Analysis and Roughness Evaluation," Transportation Research Record, No. 1410, pp. 52-58, Transportation Research Board, Washington, D.C.
433. Zimmerman Cathryn A., Darter Michael I., 1994, Using Innovative Management

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Αξιότιμε/η κύριε/α,

στα πλαίσια της διδακτορικής μου διατριβής με τίτλο «Βελτιστοποίηση Αναβάθμισης Υφιστάμενου Οδικού Δικτύου», ευρίσκομαι σε μια φάση έρευνας που αφορά τις επεμβάσεις συντήρησης των οδικών δικτύων. Με στόχο την συλλογή ουσιαστικών δεδομένων για την πρακτική συντήρησης των οδοστρωμάτων σας παρακαλώ να συμπληρώσετε τους ακόλουθους πίνακες σχετικά με τη συνήθη πρακτική που εφαρμόζει η Υπηρεσία σας όσον αφορά τη συχνότητα των εργασιών συντήρησης του οδοστρωμάτων.

Για λόγους κατηγοριοποίησης, οι εργασίες συντήρησης του οδοστρώματος θεωρούμε ότι διακρίνονται σε τρεις τύπους:

1. Ασφαλτική επίστρωση
2. Επισκευή / ενίσχυση
3. Ανακατασκευή

Παρακαλείσθε να σημειώσετε με «X» στο αντίστοιχο κελί του πίνακα, τη συχνότητα εφαρμογής της κάθε εργασίας στο οδικό δίκτυο αρμοδιότητάς σας.

Σας ευχαριστώ εκ των προτέρων.

Με τιμή,

Γρηγόριος Π. Παπαγεωργίου

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός

Υποψήφιος Διδάκτωρ

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ

Εργασία συντήρησης	Ανάλυση εργασίας	Χρόνος από την παραχώρηση στην κυκλοφορία (έτη)	
Ασφαλτική επίστρωση	Επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας στο υφιστάμενο οδόστρωμα	< 3	<input type="checkbox"/>
		3 - 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		> 12	<input type="checkbox"/>
Επισκευή / Ενίσχυση	Σφράγιση ρηγματώσεων ή επιφανειακή απόξεση, τοποθέτηση μίας ή δύο ασφαλτικών στρώσεων και νέου τάπητα κυκλοφορίας	< 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		12 - 15	<input type="checkbox"/>
		> 15	<input type="checkbox"/>
Ανακατασκευή	Αποξήλωση ασφαλτικών στρώσεων, ανακατασκευή οδοστρώματος και ερεισμάτων χρησιμοποιώντας υλικά καλύτερης ποιότητας	< 15	<input type="checkbox"/>
		15 - 20	<input type="checkbox"/>
		20 - 25	<input type="checkbox"/>
		25 - 30	<input type="checkbox"/>
		> 30	<input type="checkbox"/>

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Εργασία συντήρησης	Ανάλυση εργασίας	Χρόνος από την παραχώρηση στην κυκλοφορία (έτη)	
Ασφαλτική επίστρωση	Επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας στο υφιστάμενο οδόστρωμα	< 3	<input type="checkbox"/>
		3 - 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		> 12	<input type="checkbox"/>
Επισκευή / Ενίσχυση	Σφράγιση ρηγματώσεων ή επιφανειακή απόξεση, τοποθέτηση μίας ή δύο ασφαλτικών στρώσεων και νέου τάπητα κυκλοφορίας	< 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		12 - 15	<input type="checkbox"/>
		> 15	<input type="checkbox"/>
Ανακατασκευή	Αποξήλωση ασφαλτικών στρώσεων, ανακατασκευή οδοστρώματος και ερεισμάτων χρησιμοποιώντας υλικά καλύτερης ποιότητας	< 15	<input type="checkbox"/>
		15 - 20	<input type="checkbox"/>
		20 - 25	<input type="checkbox"/>
		25 - 30	<input type="checkbox"/>
		> 30	<input type="checkbox"/>

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

ΕΠΑΡΧΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Εργασία συντήρησης	Ανάλυση εργασίας	Χρόνος από την παραχώρηση στην κυκλοφορία (έτη)	
Ασφαλτική επίστρωση	Επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας στο υφιστάμενο οδόστρωμα	< 3	<input type="checkbox"/>
		3 - 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		> 12	<input type="checkbox"/>
Επισκευή / Ενίσχυση	Σφράγιση ρηγματώσεων ή επιφανειακή απόξεση, τοποθέτηση μίας ή δύο ασφαλτικών στρώσεων και νέου τάπητα κυκλοφορίας	< 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		12 - 15	<input type="checkbox"/>
		> 15	<input type="checkbox"/>
Ανακατασκευή	Αποξήλωση ασφαλτικών στρώσεων, ανακατασκευή οδοστρώματος και ερεισμάτων χρησιμοποιώντας υλικά καλύτερης ποιότητας	< 15	<input type="checkbox"/>
		15 - 20	<input type="checkbox"/>
		20 - 25	<input type="checkbox"/>
		25 - 30	<input type="checkbox"/>
		> 30	<input type="checkbox"/>

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

ΔΙΑΚΟΙΝΟΤΙΚΟ / ΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Εργασία συντήρησης	Ανάλυση εργασίας	Χρόνος από την παραχώρηση στην κυκλοφορία (έτη)	
Ασφαλτική επίστρωση	Επίστρωση νέου τάπητα κυκλοφορίας στο υφιστάμενο οδόστρωμα	< 3	<input type="checkbox"/>
		3 - 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		> 12	<input type="checkbox"/>
Επισκευή / Ενίσχυση	Σφράγιση ρηγματώσεων ή επιφανειακή απόξεση, τοποθέτηση μίας ή δύο ασφαλτικών στρώσεων και νέου τάπητα κυκλοφορίας	< 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		12 - 15	<input type="checkbox"/>
		> 15	<input type="checkbox"/>
Ανακατασκευή	Αποξήλωση ασφαλτικών στρώσεων, ανακατασκευή οδοστρώματος και ερεισμάτων χρησιμοποιώντας υλικά καλύτερης ποιότητας	< 15	<input type="checkbox"/>
		15 - 20	<input type="checkbox"/>
		20 - 25	<input type="checkbox"/>
		25 - 30	<input type="checkbox"/>
		> 30	<input type="checkbox"/>

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
(ΑΓΓΛΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ)

Dear Sir / Dear Colleague,

In the frame of my doctoral thesis entitled "A Rational Approach for Optimization of Road Upgrading", in the Civil Engineering Department of Aristotle University of Thessaloniki, I am in search of current practice of pavement maintenance. I, therefore, would kindly ask you to fill the following checklists according to the usual practice applied by the competent Road Authorities in your country with regard to pavement maintenance operations.

It will only take you a couple of minutes but it will be of great importance to me.

Thanking you in advance for your kindness, I send you my

Best regards,

Grigorios P. Papageorgiou

Dipl. Civil Engineer

PhD Candidate

PRIMARY NETWORK**(MOTORWAYS, TRUNK ROADS, NATIONAL NETWORK)****FREQUENCY OF PAVEMENT CONDITION ASSESSMENT (*)**

Pavement Feature	Up to once a year	Every 2 years	2 - 5 years	5 - 10 years	> 10 years	Extremely variable	Never
Skid Resistance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Longitudinal evenness	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transverse profile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rutting	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Macro-Texture	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cracks / Potholes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asphalt Layer Thickness	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bearing Capacity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(*) Please check the most widely applied / most common practice.

SECONDARY NETWORK**(REGIONAL / DISTRICT ROADS, COLLECTOR ROADS, PAVED LOCAL ROADS)****FREQUENCY OF PAVEMENT CONDITION ASSESSMENT (*)**

Pavement Feature	Up to once a year	Every 2 years	2 - 5 years	5 - 10 years	> 10 years	Extremely variable	Never
Skid Resistance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Longitudinal evenness	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transverse profile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rutting	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Macro-Texture	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cracks / Potholes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asphalt Layer Thickness	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bearing Capacity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(*) Please check the most widely applied / most common practice.

PRIMARY NETWORK**(MOTORWAYS, TRUNK ROADS, NATIONAL NETWORK)****CURRENT PRACTICE IN PAVEMENT UPGRADING (*)**

Upgrading operation	Layout of operations	Time elapsed from opening to traffic (years)	
Asphalt Overlay	Simple pose of an overlay	< 3	<input type="checkbox"/>
		3 - 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		> 12	<input type="checkbox"/>
Rehabilitation / Strengthening	Crack sealing or surface planing, pose of one or two asphalt concrete layers and new wearing course	< 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		12 - 15	<input type="checkbox"/>
		> 15	<input type="checkbox"/>
Reconstruction	Removal of asphalt layers, pavement and shoulder reconstruction using more performant materials	< 15	<input type="checkbox"/>
		15 - 20	<input type="checkbox"/>
		20 - 25	<input type="checkbox"/>
		25 - 30	<input type="checkbox"/>
		> 30	<input type="checkbox"/>

(*) Please check all three cases if applicable.

Normally, maintenance starts by pose of an overlay, continues with more extended operations and concludes with a reconstruction at the end of the life period.

SECONDARY NETWORK**(REGIONAL / DISTRICT ROADS, COLLECTOR ROADS, PAVED LOCAL ROADS)****CURRENT PRACTICE IN PAVEMENT UPGRADING (*)**

Upgrading operation	Layout of operations	Time elapsed from opening to traffic (years)	
Asphalt Overlay	Simple pose of an overlay	< 3	<input type="checkbox"/>
		3 - 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		> 12	<input type="checkbox"/>
Rehabilitation / Strengthening	Crack sealing or surface planing, pose of one or two asphalt concrete layers and new wearing course	< 5	<input type="checkbox"/>
		5 - 8	<input type="checkbox"/>
		8 - 12	<input type="checkbox"/>
		12 - 15	<input type="checkbox"/>
		> 15	<input type="checkbox"/>
Reconstruction	Removal of asphalt layers, pavement and shoulder reconstruction using more performant materials	< 15	<input type="checkbox"/>
		15 - 20	<input type="checkbox"/>
		20 - 25	<input type="checkbox"/>
		25 - 30	<input type="checkbox"/>
		> 30	<input type="checkbox"/>

(*) Please check all three cases if applicable.

Normally, maintenance starts by pose of an overlay, continues with more extended operations and concludes with a reconstruction at the end of the life period.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Αξιότιμε κ. Διοικητά/Διευθυντά, στα πλαίσια της διδακτορικής μου διατριβής, θα μου ήταν εξαιρετικά χρήσιμο να απαντήσετε στα παρακάτω ερωτήματα που αφορούν στις παραμέτρους ενός οδικού άξονα και τη σπουδαιότητα (κατά την εκτίμησή σας) που αυτοί έχουν ως προς 4 βασικά στοιχεία, τα οποία είναι τα εξής:

1. Ασφάλεια
2. Άνεση
3. Οικονομία
4. Περιβάλλον

Αν υποθέσουμε ότι καθένα από αυτά τα 4 στοιχεία αντιστοιχεί σε μία μέγιστη βαθμολογία και ότι το άθροισμα των επιμέρους 4 βαθμολογιών είναι η μέγιστη βαθμολογία ενός οδικού άξονα, η οποία ως υποθέσουμε ότι είναι ίση με 100, τότε παρακαλώ συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα, σύμφωνα με την προσωπική εμπειρία και κρίση σας:

A/A	ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΒΑΘΜΟΣ
1	ΑΣΦΑΛΕΙΑ	
2	ΑΝΕΣΗ	
3	ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	
4	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	
ΣΥΝΟΛΟ		100

Το καθένα από τα παραπάνω 4 κριτήρια υποδιαιρείται σε χαρακτηριστικά, τα οποία συνιστούν το εκάστοτε κριτήριο. Με τον ίδιο τρόπο, όπως συμπληρώσατε τον παραπάνω πίνακα, παρακαλώ να συμπληρώσετε και τους παρακάτω:

ΑΣΦΑΛΕΙΑ

A/A	ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΒΑΘΜΟΣ
1	ΣΤΗΘΑΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	
2	ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ	
3	ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ (ΦΘΟΡΕΣ)	
4	ΗΛΕΚΤΡΟΦΩΤΙΣΜΟΣ	
5	ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ (ΕΛΙΚΤΟ)	
6	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΕΩΝ / ΕΞΟΔΩΝ	
7	ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ & ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΙΣΗΣ	
8	ΕΠΙΚΛΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ (6%)	
9	ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ	
10	ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ (ΠΟΙΟΤΗΤΑ)	
11	ΠΛΑΤΟΣ ΕΡΕΙΣΜΑΤΟΣ	
12	ΤΥΠΟΣ ΝΗΣΙΔΑΣ	
13	ΤΥΠΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	
14	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ	
15	ΛΟΙΠΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (ΟΡΙΟΔΕΙΚΤΕΣ, ΨΑΡΟΚΟΚΑΛΑ Κ.Α.)	
16	ΣΥΝΕΧΕΙΑ & ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	
17	ΑΛΛΗΛΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ & ΣΥΝΕΠΕΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	
ΣΥΝΟΛΟ:		100

ΑΝΕΣΗ

Α/Α	ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΒΑΘΜΟΣ
1	ΕΙΔΟΣ/ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΞΟΔΩΝ -ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΕΩΝ	
2	ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ	
3	ΠΛΑΤΟΣ ΕΡΕΙΣΜΑΤΟΣ	
4	ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ & ΟΔΟΥ	
5	ΤΥΠΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	
6	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	
7	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΘΕΣΕΩΝ ΠΙΘΑΝΗΣ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ	
8	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΚΙΝΓΚ	
9	ΣΗΜΑΝΣΗ / ΔΙΑΓΡΑΜΜΙΣΗ	
10	ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ	
11	ΗΛΕΚΤΡΟΦΩΤΙΣΜΟΣ	
12	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ – ΨΗΦΙΑΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗ	
ΣΥΝΟΛΟ:		100

ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

A/A	ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΒΑΘΜΟΣ
1	ΒΑΘΜΟΣ ΕΛΙΚΤΟΥ / ΣΤΡΟΦΕΣ	
2	ΑΚΤΙΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ	
3	ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ	
4	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΕΙΣ	
5	ΦΘΟΡΕΣ (ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ)	
6	ΣΤΡΟΦΕΣ	
7	ΑΝΩΦΕΡΕΙΑ / ΚΑΤΩΦΕΡΕΙΑ / ΕΠΙΠΕΔΟ	
ΣΥΝΟΛΟ:		100

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

A/A	ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΒΑΘΜΟΣ
1	ΔΕΝΔΡΟΦΥΤΕΥΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	
2	ΔΕΝΔΡΟΦΥΤΕΥΣΗ ΝΗΣΙΔΑΣ	
3	ΑΝΤΙΘΟΡΥΒΙΚΑ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ	
4	ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ	
ΣΥΝΟΛΟ:		100

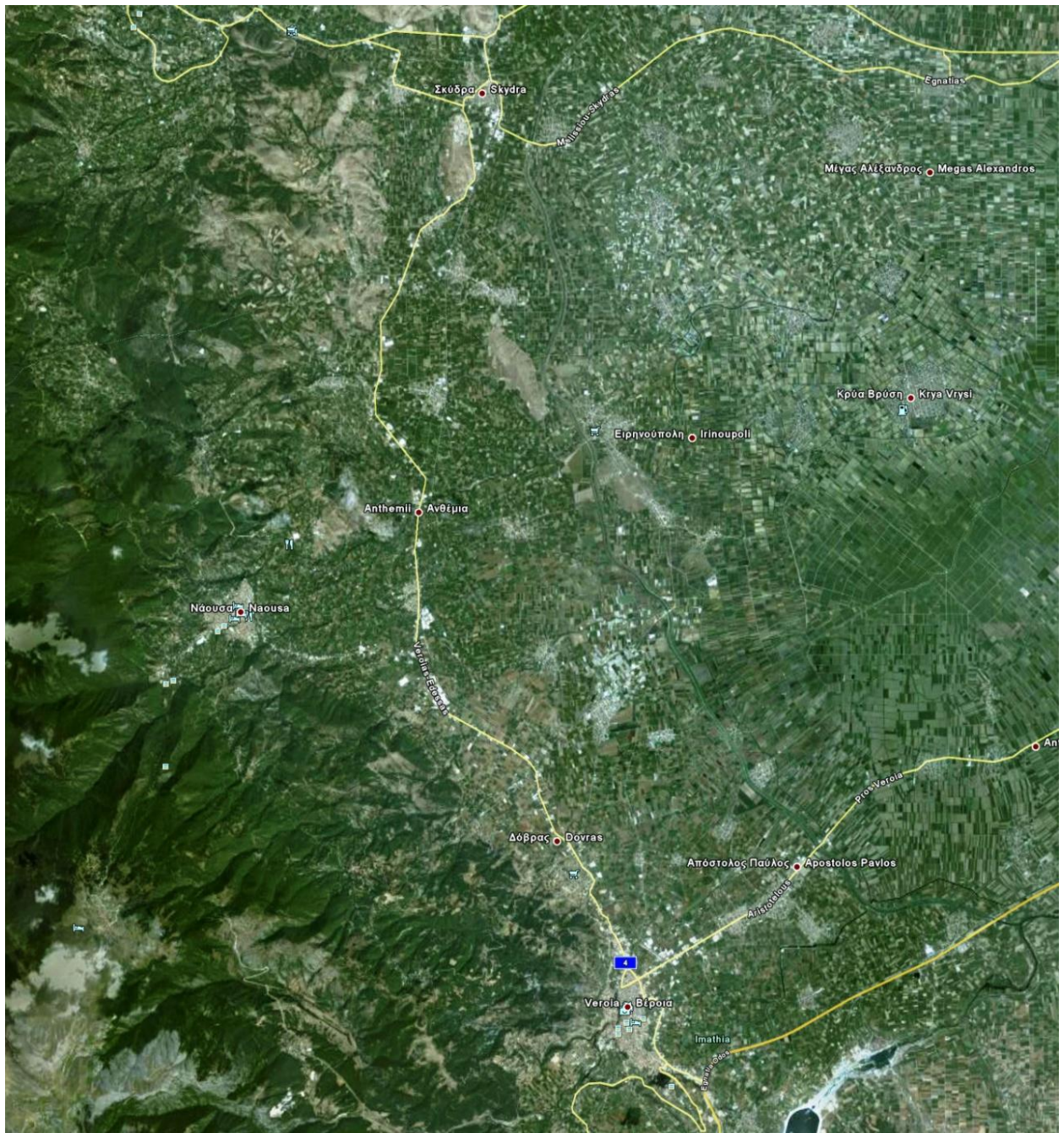
Σημειώνεται ότι μπορείτε να συμπληρώσετε τις κενές γραμμές με χαρακτηριστικά της οδού τα οποία δεν αναφέρονται και είναι σημαντικά κατά την κρίση σας, καθώς και να τα αντιστοιχίσετε σε βέλτιστη βαθμολογία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Εισαγωγή

Για την πλήρη κατανόηση του προτεινόμενου μοντέλου βελτιστοποίησης της αναβάθμισης των υφιστάμενων δίστιβων οδών μη διαχωρισμένης κυκλοφορίας του επαρχιακού και του εθνικού δικτύου, παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου σε μία οδό του επαρχιακού δικτύου της Ελλάδος.




Η εφαρμογή θα γίνει στην επαρχιακή οδό Βέροιας – Έδεσσας.






Σχήμα Γ-1: Δορυφορική φωτογραφία της οδού Βέροιας – Έδεσσας [Πηγή: Google Earth]

Πίνακας Γ-1: Τμήματα της οδού με χαρακτηριστικές παρατηρήσεις (Οι φωτογραφίες υποδεικνύουν τη βέλτιστη επιλογή)

Κατηγορία οδού «1»	
<p>Δεν απαιτείται περαιτέρω βελτίωση</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   <p style="text-align: center;">Φωτογραφίες 1, 2: <i>Ικανοποιητικός σχεδιασμός κόμβων</i></p> </div>
<p>Κακή κατάσταση οδοστρώματος – Απαιτείται νέος τύπητας κυκλοφορίας</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p style="text-align: center;">Φωτογραφία 3: <i>Φθορές οδοστρώματος</i></p> </div>

<p>Στηθαίο ασφαλείας κατεστραμμένο – Απαιτείται αντικατάσταση</p>	 <p>Φωτογραφία 4: Κατεστραμμένο στηθαίο ασφαλείας</p>
<p>Ο εξοπλισμός ασφάλειας απαιτεί αντικατάσταση</p>	 <p>Φωτογραφία 5: Φθαρμένος εξοπλισμός ασφάλειας</p>
<p>Επικίνδυνο σημείο – Απαιτείται άμεσα απομάκρυνση</p>	 <p>Φωτογραφία 6: Βραχομάζα δίπλα στο οδόστρωμα</p>

Κατηγορία οδού «2»	
<p>Ο ισόπεδος κόμβος χρειάζεται ανασχεδιασμό</p>	 <p>Φωτογραφία 7: <i>Ανεπαρκής σχεδιασμός</i></p>
<p>Απαιτούνται μέτρα αποκατάστασης της ορατότητας</p>	 <p>Φωτογραφία 8: <i>Η στροφή παρέχει μειωμένη ορατότητα</i></p>
	 <p>Φωτογραφία 9: <i>Μειωμένη ορατότητα λόγω κατακόρυφης χάραξης</i></p>

<p>Διορθωτικές επεμβάσεις για την επίκλιση</p>	 <p>Φωτογραφία 10: Ανάποδη επίκλιση στη στροφή</p>
<p>Κατηγορία οδού «3»</p>	
<p>Το πλάτος της οδού υποδεικνύει διαπλάτυνση</p>	 <p>Φωτογραφία 11: Πλάτος οδοστρώματος 5 μ. – (Αναποτελεσματική θέση πινακίδας)</p>
<p>Απαιτείται διαπλάτυνση του οδικού τμήματος</p>	 <p>Φωτογραφία 12: Χαμηλή ΣΕ</p>

Κατηγορία οδού «4»	
Εγγενής περιορισμός για διαπλάτυνση	 <p style="text-align: center;">Φωτογραφία 13: Αρχαιολογικός χώρος κοντά στην οδό</p>
Υψηλός δείκτης ατυχημάτων – Χρειάζεται ΜΠΕ	 <p style="text-align: center;">Φωτογραφία 14: Κατοικημένη περιοχή</p>
Βιότοπος επίσημα χαρακτηρισμένος «Natura 2000» - Χρειάζεται ΜΠΕ	 <p style="text-align: center;">Φωτογραφία 15: Περιοχή «Natura 2000»</p>

4^ο οδικό τμήμα

Δέντρο δικαιούχων (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 2)

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

- Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής
- Υπουργείο Οικονομίας
- Περιφέρεια Κ. Μακεδονίας
- 3^η ΔΕΚΕ
- Νομαρχία Ημαθίας - Πέλλας (Τμήμα Πολεοδομίας & Περιβάλλοντος, Τμήμα Υγείας, Δ/νση Γεωργίας)
- Δήμος Βέροιας, Δοβρά, Ανθεμίων, Έδεσσας (Οικονομικό τμήμα)

ΟΜΑΔΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΥΜΦΕΡΟΝΤΩΝ

- Εμπορικό επιμελητήριο
- Ξενοδοχειακό επιμελητήριο
- Επιχειρηματίες-επενδυτές (ξενοδοχοί-κέντρα αναψυχής-μεταποίηση)
- Κατασκευαστικές εταιρίες
- Υπεραστικές συγκοινωνίες
- Καταστήματα
- Τράπεζες

ΕΚΛΕΓΜΕΝΟΙ ΑΞΙΩΜΑΤΟΥΧΟΙ

- Υπουργοί-Βουλευτές
- Νομάρχης-Νομ. Σύμβουλοι
- Δήμαρχος-Δημ. Σύμβουλοι
- Περιφερειάρχης

ΟΜΑΔΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

- Ελληνική Greenpeace
- Οικολογικές – περιβαλλοντικές οργανώσεις

ΟΜΑΔΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ

- Σύλλογος αρχιτεκτόνων – επιστημ. Μηχανικών – εργοληπτών
- Περιβαλλοντολόγοι
- Πανεπιστημιακά τμήματα

ΚΑΤΟΙΚΟΙ-ΟΜΑΔΕΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

- Άτομα που ζουν μόνιμα στην περιοχή
- Τουρίστες
- Άτομα που ζουν σε γειτονικές περιοχές
- Πολιτιστικοί σύλλογοι

ΔΕΝΤΡΟ ΑΞΙΩΝ (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 3)

1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

1.1 Επίπεδο απασχόλησης

1.1.1 Απασχόληση στον κατασκευαστικό τομέα

1.1.1.1 Απασχόληση εξειδικευμένων εργατών

1.1.1.2 Απασχόληση ανειδίκευτων εργατών

1.1.2 Απασχόληση στον τομέα του τουρισμού

1.1.2.1 Απασχόληση σε ξενοδοχειακές μονάδες

1.1.2.2 Απασχόληση σε εμπορικά καταστήματα

1.1.2.3 Απασχόληση σε επιχειρήσεις κέντρων αναψυχής

1.1.3 Απασχόληση στον τομέα υπηρεσιών

1.1.3.1 Απασχόληση υπαλλήλων σε τράπεζες

1.1.3.2 Απασχόληση λογιστών, δικηγόρων, μηχανικών, μεσιτών εξαιτίας των νέων επιχειρήσεων που θα δημιουργηθούν με την ανάπτυξη της περιοχής

1.2 Ρυθμός ανάπτυξης

1.2.1 Ανάπτυξη τουρισμού

1.2.2 Ανάπτυξη εμπορίου

1.2.3 Ανάπτυξη υπηρεσιών

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

2.1 Ποιότητα-ποσότητα νερού

2.1.1 Μόλυνση επιφανειακών υδάτων λόγω επιφανειακής απορροής

2.1.2 Μείωση υδάτινων αποθεμάτων (πιθανές γεωτρήσεις)

2.2 Ποιότητα αέρα

2.2.1 Εκπομπές καυσαερίων των οχημάτων

2.2.2 Εκπομπές σκόνης

2.3 Βιολογικοί πόροι

2.3.1 Επιδράσεις χλωρίδας-πανίδας

2.3.2 Επιδράσεις στις καλλιέργειες της περιοχής (απώλεια περιοχών)

2.4 Κυκλοφορία (αύξηση της κυκλοφορίας ΙΧ και μέσων μαζικής μεταφοράς)

2.5 **Θόρυβος** (αύξηση όχλησης λόγω αυξημένης κίνησης οχημάτων και τουριστών)

2.6 **Αισθητική αλλαγή του τοπίου** (μετατροπή από αγροτική περιοχή σε χώρο αυτοκινητοδρόμου)

3. ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

3.1 Πολιτισμός

3.1.1 Τοπική αρχιτεκτονική (επίδραση στη ντόπια αρχιτεκτονική και είσοδος νέων στοιχείων σε εγκαταστάσεις, πιθανώς ασύμβατα)

3.1.2 Ήθη και έθιμα (αλλαγές στον τρόπο ζωής των κατοίκων-είσοδος ξενόφερτων συνηθειών)

3.2 Δημόσια υγεία – ασφάλεια

3.2.1 Απορρίμματα (είσοδος τρωκτικών, εντόμων στην περιοχή-μετάδοση ασθενειών)

3.2.2 Οχήματα (αυξημένα καυσαέρια και θόρυβος-κίνδυνος ατυχημάτων)

3.2.3 Εγκληματικότητα (αυξημένη κίνηση τουριστών αλλά και πιθανή εισαγωγή ξένου εργατικού δυναμικού)

3.3 Ισότητα

3.3.1 Ισότητα κατοίκων (ισορροπία μεταξύ των ντόπιων κατοίκων και όχι επιλεκτική προώθηση συμφερόντων)

3.3.2 Ισότητα επενδυτών (ομοίως με παραπάνω)

3.3.3 Ισότητα γενεών (διατήρηση της ανάπτυξης από γενεά σε γενεά)

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

C1 Απασχόληση στον τομέα τουρισμού (ταξιδιωτικά γραφεία-ξενοδοχεία-εστιατόρια)

C2 Ανάπτυξη τουρισμού (κέρδη εταιριών-επενδύσεις)

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

C3 Ρύπανση

C4 Εξάντληση υδάτινων αποθεμάτων (πιθανές γεωτρήσεις)

3. ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

C5 Ήθη και έθιμα

C6 Τοπική αρχιτεκτονική

ΔΙΚΑΙΟΥΧΟΙ

- S1 Κάτοικοι Δήμων
- S2 Κάτοικοι ευρύτερης περιοχής
- S3 Δημοτικές αρχές
- S4 Επιχειρηματίες-επενδυτές

Λαμβάνοντας υπόψη τους 3 παράγοντες επιλογής δικαιούχων (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 2) όπως την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος, το μέγεθος του δείγματος και τον πρακτικό του χαρακτήρα, αλλά και κάνοντας σαφή παραδοχή ότι οι άμεσα θιγόμενοι σε μια περιοχή που πρόκειται να εκτελεστεί κάποιο έργο είναι οι κάτοικοι του και η δημοτική αρχή, καθώς και οι επενδυτές που θα το υλοποιήσουν καταλήγουμε στους παραπάνω βασικούς δικαιούχους. Η επιλογή των βασικότερων κριτηρίων γίνεται με βάση την επιλογή κριτηρίων υψηλότερης προτεραιότητας (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 3). Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης σίγουρα περιβαλλοντικά κριτήρια όπως η εξάντληση του νερού αλλά και η αισθητική αλλαγή του τοπίου έχουν την ίδια βαρύτητα και σημασία για όλους (ακόμη και για τους επιχειρηματίες) και αποτελούν αξίες στις οποίες επιβάλλεται περισσότερο προβληματισμός. Επίσης οι βασικές προδιαγραφές των κριτηρίων αξιολόγησης (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 3) όπως ο χωρικός και χρονικός καθορισμός των επιπτώσεων και η διερεύνηση του προβληματισμού που σχετίζεται με τις επιπτώσεις θα πρέπει να ικανοποιούν στο ελάχιστο τα παραπάνω κριτήρια. Ειδικότερα στο οικονομικό κριτήριο της ανάπτυξης του τουρισμού επιβάλλεται ακριβής χρονικός προγραμματισμός για τη μη ύπαρξη προβλημάτων στις μελλοντικές γενεές, γεγονός που το καθιστά βασικότατο.

Μήτρα Υπολογισμένων Επιπτώσεων (κλίμακα 1-10)

(Βαθμός / επίπεδο επίπτωσης) (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 7)

Κριτήρια		A0 («Ανακατασκευή»)	A1 («Νέα Χάραξη»)
C1	Απασχόληση εργατών	5	9
C2	Ανάπτυξη τουρισμού	4	9
C3	Αύξηση ρυπαντικού φορτίου	9	6
C4	Μείωση υδάτινων πόρων	9	7
C5	Επιδράσεις χλωρίδας & πανίδας	9	5

Διάνυσμα επίδοσης / προφίλ (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 7)

q1= {5, 4, 9, 9, 9} (επιλογή «Ανακατασκευής»)

q2= {9, 9, 6, 7, 5} (επιλογή «Νέας Χάραξης»)

Διάνυσμα υπολογισμένων επιπτώσεων

(ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 7)

q1= {5, 9} Απασχόληση εργατών

q2= {4, 9} Ανάπτυξη τουρισμού

q3= {9, 6} Αύξηση ρυπαντικού φορτίου

q4= {9, 7} Μείωση υδάτινων πόρων

q5= {9, 5} Επιδράσεις κλωρίδας & πανίδας

Δέντρο των προτεραιοτήτων για κάθε δικαιούχο (κλίμακα 0,01-0,50) με $\Sigma=1$

Ο βαθμός σπουδαιότητας που οι δικαιούχοι αποδίδουν σε κάθε κριτήριο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Κριτήρια Δικαιούχοι	C1	C2	C3	C4	C5
S1	0,45	0,35	0,20	0,40	0,40
S2	0,40	0,30	0,20	0,30	0,30
S3	0,20	0,40	0,15	0,15	0,15
S4	0,05	0,50	0,05	0,15	0,05

Συγκεντρωτικές προτεραιότητες:

W1= {0,45, 0,35, 0,20, 0,40, 0,40}

W2= {0,40, 0,30, 0,20, 0,30, 0,30}

W3= {0,20, 0,40, 0,15, 0,15, 0,15}

W4= {0,05, 0,50, 0,05, 0,15, 0,05}

ΜΗΤΡΕΣ ΑΞΙΩΝ (Βαθμός αποδοχής ή προτίμησης κάθε δικαιούχου) (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 7)

S1 Κάτοικοι Δήμων $V_j = \{ v_j (q_{mn}) \}$

Κριτήρια Σενάρια	C1	C2	C3	C4	C5	Σ
A0	2,25	1,40	1,80	3,60	3,60	12,65
A1	4,05	3,15	1,20	2,80	2,00	13,20

S2 Κάτοικοι ευρύτερης περιοχής

Κριτήρια Σενάρια	C1	C2	C3	C4	C5	Σ
A0	2,00	1,20	1,80	2,70	2,70	10,40
A1	3,60	2,70	1,20	2,10	1,50	11,10

S3 Δημοτικές αρχές

Κριτήρια Σενάρια	C1	C2	C3	C4	C5	Σ
A0	1,00	1,60	1,35	1,35	1,35	6,65
A1	1,80	3,60	0,90	1,05	0,75	8,10

S4 Επιχειρηματίες-επενδυτές

Κριτήρια Σενάρια	C1	C2	C3	C4	C5	Σ
A0	0,25	2,00	0,45	1,35	0,45	4,50
A1	0,45	4,50	0,30	1,05	0,25	6,55

Ιεραρχική κλιμάκωση συλλογικών προτιμήσεων (ΕΑΠ, 1999, τόμος Β2, κεφ. 4, εν. 2)

Εναλλακτικές	κλιμάκωση συλλογικών προτιμήσεων
A0	$12,65+10,40+6,65+4,50=$ 34,20
A1	$13,20+11,10+8,10+6,55=$ 38,95

Παρατηρούμε λοιπόν ότι για κάποιες κοινωνικές ομάδες (επιχειρηματίες), η κατασκευή νέας οδού έχει μεγαλύτερη αξία από ότι στις υπόλοιπες. Βλέπουμε για παράδειγμα ότι για τους επιχειρηματίες έχει μηδαμινή αξία (4,50) η διατήρηση της υπάρχουσας κατάστασης και αυτό είναι απολύτως φυσικό, αφού δεν επωφελούνται επιπλέον. Γενικά, η «Νέα Χάραξη» είναι προτιμότερη ($38,95 > 34,20$).