

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Ειδίκευσης
Διαχείρισης Τεχνικών Έργων

Διπλωματική Εργασία

Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθεις Πρακτικές και αξιολόγησή τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα εφαρμογής στην Περιφέρεια Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης «Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2^{ης} Επαρχιακής οδού Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό Πραμάντων»

ΕΛΕΝΗ Κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ
Διπλωματούχος Τοπογράφος Μηχανικός MSc

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

ΕΛΕΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ - Διπλωματική Εργασία
Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθειες Πρακτικές και
αξιολόγησή τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα εφαρμογής
στην Περιφέρεια Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης
«Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2^{ης}
Επαρχιακής οδού Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό
Πραμάντων

Ε.Α.Π. 2026

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

ΕΛΕΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ - Διπλωματική Εργασία
Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθειες Πρακτικές και
αξιολόγησή τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα εφαρμογής
στην Περιφέρεια Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης
«Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2^{ης}
Επαρχιακής οδού Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό
Πραμάντων

ΕΛΕΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ - Διπλωματική Εργασία
Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθειες Πρακτικές και
αξιολόγησή τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα
εφαρμογής στην
Περιφέρεια Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης «Αποκατάσταση
και βελτίωση οδικού τμήματος της 2^{ης} Επαρχιακής οδού
Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό Πραμάντων

**Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθειες Πρακτικές και αξιολόγησή
τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα εφαρμογής στην Περιφέρεια
Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης «Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού
τμήματος της 2^{ης} Επαρχιακής οδού Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως
οικισμό Πραμάντων»**

ΕΛΕΝΗ Κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ

Διπλωματούχος Τοπογράφος Μηχανικός MSc

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Κωνσταντακοπούλου Φωτεινή

konstantakopoulou.foteini@ac.eap.gr

Β' Αξιολογητής

Άγγελος Λιώλιος

liolios.angelos@ac.eap.gr

ΕΛΕΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ - Διπλωματική Εργασία
Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθειες Πρακτικές και
αξιολόγησή τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα
εφαρμογής στην
Περιφέρεια Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης «Αποκατάσταση
και βελτίωση οδικού τμήματος της 2^{ης} Επαρχιακής οδού
Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό Πραμάντων

«Ευχαριστίες»

Η παρούσα εργασία αφιερώνεται στον Νικόλα ,τον Ίωνα και τον Αλέξη για την αγάπη και τη
στήριξή τους στην μετα πολλών εμποδίων προσπάθειά μου να ολοκληρώσω και αυτόν τον στόχο
μου .

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων συντήρησης στο επαρχιακό οδικό δίκτυο της Περιφέρειας Ηπείρου, με έμφαση στη μελέτη περίπτωσης της αποκατάστασης και βελτίωσης τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων. Η έρευνα αναπτύχθηκε με σκοπό την αξιολόγηση της τεχνικής, λειτουργικής και οικονομικής απόδοσης των επεμβάσεων συντήρησης, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες γεωμορφολογικές, γεωτεχνικές και κλιματικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν την περιοχή. Η μεθοδολογική προσέγγιση βασίστηκε σε εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, στη μελέτη τεχνικών εκθέσεων, κανονισμών και οδηγιών οδοποιίας, καθώς και στην ανάπτυξη υποθετικού τεχνικού σεναρίου για την ποσοτική αξιολόγηση των παρεμβάσεων μέσω δεικτών λειτουργικής κατάστασης, οδικής ασφάλειας, ανθεκτικότητας και οικονομικής αποδοτικότητας. Η ανάλυση κατέδειξε ότι η εφαρμογή ολοκληρωμένων τεχνικών επεμβάσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν εργασίες χωματουργικών, οδοστρώσις, ασφατικών στρώσεων, αποστράγγισης και αναβάθμισης της σήμανσης, βελτιώνει ουσιαστικά τη λειτουργική κατάσταση του οδικού άξονα. Ειδικότερα, καταγράφηκε σημαντική αύξηση του δείκτη Pavement Condition Index (PCI), αισθητή μείωση του International Roughness Index (IRI), ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος, περιορισμός των γεωτεχνικών κινδύνων και αναβάθμιση του επιπέδου οδικής ασφάλειας. Παράλληλα, η τεχνοοικονομική αξιολόγηση ανέδειξε ότι η προληπτική συντήρηση αποτελεί την πλέον αποδοτική στρατηγική διαχείρισης των οδικών υποδομών, καθώς μειώνει το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής του έργου, αυξάνει τη διάρκεια λειτουργίας της υποδομής και περιορίζει τις ανάγκες εκτεταμένων μελλοντικών επεμβάσεων. Επιπρόσθετα, η εργασία αναδεικνύει τη σημασία της εφαρμογής σύγχρονων Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (PMS), τεχνολογιών GIS, ψηφιακών εργαλείων παρακολούθησης και μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού συντήρησης. Συμπερασματικά, τεκμηριώνεται ότι η υιοθέτηση μιας ολοκληρωμένης, προληπτικής και τεχνικά τεκμηριωμένης πολιτικής συντήρησης αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας, της οδικής ασφάλειας, της οικονομικής βιωσιμότητας και της μακροχρόνιας λειτουργικότητας του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου.

Λέξεις-κλειδιά: επαρχιακό οδικό δίκτυο, Περιφέρεια Ηπείρου, συντήρηση οδοστρωμάτων, Pavement Condition Index (PCI), International Roughness Index (IRI), οδική ασφάλεια, τεχνική αξιολόγηση, ανθεκτικότητα υποδομών, οικονομική αξιολόγηση, Pavement Management System (PMS).

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Γενικά	9
1.2 Το οδικό δίκτυο στην Ελλάδα	10
1.3 Ο ρόλος των επαρχιακών οδών	12
1.4 Ανάγκη συντήρησης οδικών υποδομών.....	14
1.5 Σκοπός της έρευνας	16
1.6 Ερευνητικά ερωτήματα	17
1.7 Μεθοδολογία προσέγγισης.....	19
1.8 Δομή της εργασίας	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΩΝ	22
2.1 Έννοια και ορισμός συντήρησης οδών	22
2.2 Κατηγορίες οδικών έργων	24
2.3 Είδη συντήρησης.....	27
2.4 Διαχείριση οδικών περιουσιακών στοιχείων (Asset Management)	30
2.5 Διεθνείς πρακτικές συντήρησης	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΦΘΟΡΕΣ ΟΔΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ	34
3.1 Μηχανισμοί υποβάθμισης οδοστρωμάτων.....	34
3.2 Ασφαλτικά οδοστρώματα	37
3.2.1 Ρηγματώσεις.....	37
3.2.2 Καθιζήσεις	39
3.2.3 Λακκούβες	40
3.2.4 Παραμορφώσεις	41
3.3 Τεχνικά έργα.....	42
3.3.1 Τοιχία	43
3.3.2 Οχετοί.....	44
3.3.3 Γέφυρες	44
Πίνακας: Τεχνικά έργα και χαρακτηριστικά φθοράς.....	45
3.4 Κατολισθήσεις και γεωτεχνικά προβλήματα	45
Πίνακας 3.2: Παράγοντες και επιπτώσεις κατολισθήσεων.....	47

3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη φθορά	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΠΑΡΧΙΑΚΩΝ ΟΔΩΝ	52
4.1 Ασφαλικές επεμβάσεις	52
4.2 Βελτίωση αποστράγγισης	56
4.3 Μέτρα οδικής ασφάλειας	61
4.4 Αντιμετώπιση κατολισθήσεων	65
4.5 Συντήρηση τεχνικών έργων	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΤΟ ΕΠΑΡΧΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΗΠΕΙΡΟΥ	69
5.1 Γενικά χαρακτηριστικά	69
5.2 Διοικητική διάρθρωση	74
5.3 Γεωμορφολογία Ηπείρου	77
5.4 Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά	80
5.4 Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά	80
5.5 Προβλήματα συντήρησης	82
5.5.1 Ορεινότητα	83
5.5.2 Καιρικές συνθήκες	84
5.5.3 Περιορισμένοι πόροι	85
5.6 Έργα συντήρησης τελευταίας δεκαετίας	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	88
6.1 Ερευνητική προσέγγιση	88
6.2 Συλλογή δεδομένων	91
6.2.1 Βιβλιογραφία	91
6.2.2 Τεχνικές εκθέσεις	92
6.2.3 Αυτοψίες	93
6.3 Επεξεργασία δεδομένων	94
6.4 Κριτήρια αξιολόγησης	96
6.4.1 Τεχνική αποτελεσματικότητα	97
6.4.2 Οικονομική αποδοτικότητα	98
6.4.3 Οδική ασφάλεια	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων	100
7.1 Παρουσίαση έργου	100
7.2 Θέση έργου	102
7.3 Ιστορικό έργου	105
7.4 Υφιστάμενη κατάσταση	107
7.4.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	108
7.4.2 Προβλήματα οδοστρώματος	109
7.4.3 Κατολισθητικά φαινόμενα	110

7.5 Τεχνική περιγραφή επεμβάσεων	111
7.5.1 Χωματοουργικά	111
7.5.2 Οδοστρωσία	112
7.5.3 Ασφαλτικά	113
7.5.4 Αποστράγγιση	114
7.5.5 Σήμανση	114
7.6 Χρονοδιάγραμμα	115
7.7 Κόστος έργου	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	119
8.1 Τεχνική αξιολόγηση	119
8.2 Αξιολόγηση οδικής ασφάλειας	122
8.3 Αξιολόγηση ανθεκτικότητας	125
8.4 Οικονομική αξιολόγηση	127
8.5 Σύγκριση πριν και μετά	128
8.5.1 Φωτογραφική τεκμηρίωση	129
8.5.2 Δείκτες απόδοσης	130
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	132
9.1 Σύγκριση με βιβλιογραφία	132
9.2 Πλεονεκτήματα εφαρμοσμένων πρακτικών	134
9.3 Αδυναμίες και περιορισμοί	136
9.4 Προοπτικές βελτίωσης	137
9.5 Εφαρμογή σε άλλα τμήματα της Ηπείρου	139
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	140
10.1 Κύρια συμπεράσματα	140
10.2 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα	142
10.3 Προτάσεις για την Περιφέρεια Ηπείρου	144
10.4 Προτάσεις πολιτικής συντήρησης	145
10.5 Μελλοντική έρευνα	146
Βιβλιογραφία	147

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της σύγχρονης ανάλυσης των υποδομών μεταφορών, η λειτουργική αποδοτικότητα των οδικών δικτύων αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο για την οικονομική ανάπτυξη και τη χωρική συνοχή, καθώς επηρεάζει άμεσα το κόστος μετακίνησης, την προσβασιμότητα και την ασφάλεια των χρηστών. Ειδικότερα, η διεθνής βιβλιογραφία τεκμηριώνει ότι η υποβάθμιση των οδοστρωμάτων δεν εξελίσσεται γραμμικά αλλά ακολουθεί επιταχυνόμενη πορεία, κατά την οποία μικρές καθυστερήσεις στη συντήρηση οδηγούν σε εκθετική αύξηση του κόστους αποκατάστασης, με διαφορές που δύνανται να υπερβαίνουν το 40% σε επίπεδο κύκλου ζωής (Wanimbo et al., 2025). Επιπλέον, η σύνδεση μεταξύ ποιότητας οδοστρώματος και λειτουργικού κόστους οχημάτων είναι ιδιαίτερα έντονη, καθώς η αύξηση της τραχύτητας επιφέρει σημαντική κατανάλωση καυσίμου και φθορά μηχανικών εξαρτημάτων, γεγονός που επιβεβαιώνεται από αναλύσεις που βασίζονται σε δείκτες όπως ο International Roughness Index (IRI) (Ceriani et al., 2025).

Από διαφορετική οπτική, η έννοια της διαχείρισης οδικών υποδομών έχει μετασχηματιστεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, μεταβαίνοντας από αντιδραστικές πρακτικές επισκευής σε ολοκληρωμένα συστήματα πρόβλεψης και βελτιστοποίησης επεμβάσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση μαθηματικών μοντέλων, όπως οι αλυσίδες Markov και τα μοντέλα επιδείνωσης, επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων και τη βέλτιστη κατανομή πόρων (Isradi et al., 2024; Hakim et al., 2025). Παράλληλα, η ενσωμάτωση τεχνολογιών μηχανικής μάθησης ενισχύει την ακρίβεια των προβλέψεων, επιτρέποντας την ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων και την αναγνώριση σύνθετων συσχετίσεων μεταξύ παραγόντων φθοράς (Jha, 2023; Ijari & Paternina-Arboleda, 2024).

Συμπληρωματικά, η εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης οδικής περιουσίας (Road Asset Management Systems) έχει αποδειχθεί κρίσιμη για τη βελτιστοποίηση της συντήρησης, καθώς επιτρέπει τη συστηματική καταγραφή, αξιολόγηση και ιεράρχηση των επεμβάσεων με βάση τεχνικοοικονομικά κριτήρια (Hasan et al., 2020; Al-Shamayleh, 2025). Στο ίδιο πλαίσιο, η χρήση

δεδομένων πραγματικού χρόνου από συνδεδεμένα οχήματα και αισθητήρες συμβάλλει στην ακριβέστερη αποτύπωση της κατάστασης του οδοστρώματος, μειώνοντας την αβεβαιότητα στη λήψη αποφάσεων (Thompson et al., 2025; Mahlberg et al., 2024).

Εξίσου σημαντική διάσταση αποτελεί η επίδραση της συντήρησης στην οδική ασφάλεια, καθώς η υποβάθμιση της επιφάνειας κύλισης συνδέεται άμεσα με την αύξηση των ατυχημάτων, ιδίως σε δίκτυα χαμηλής κατηγορίας. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, η ενσωμάτωση δεικτών ασφάλειας στα συστήματα συντήρησης οδηγεί σε πιο αποτελεσματικές παρεμβάσεις, μειώνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων κατά σημαντικά ποσοστά (Angelo et al., 2023). Παράλληλα, η φθορά της οριζόντιας σήμανσης, όπως η μείωση της ανακλαστικότητας, επηρεάζει καθοριστικά την ορατότητα και την ασφάλεια των οδηγών, ιδιαίτερα σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες (Hossain et al., 2025).

Αναφορικά με τη μεθοδολογική προσέγγιση της συντήρησης, η σύγχρονη βιβλιογραφία προτείνει τη μετάβαση από αποσπασματικές επεμβάσεις σε ολοκληρωμένα πλαίσια λήψης αποφάσεων που λαμβάνουν υπόψη τόσο τεχνικούς όσο και οικονομικούς δείκτες. Η χρήση εργαλείων όπως το HDM-4 επιτρέπει την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων συντήρησης και την αξιολόγηση της επίδρασής τους σε επίπεδο δικτύου (Anand et al., 2021; Rarotiya & Gupta, 2025). Η εφαρμογή πολυκριτηριακών μεθόδων, όπως η αναλυτική ιεράρχηση (AHP), διευκολύνει την ιεράρχηση των επεμβάσεων με βάση πολλαπλά κριτήρια, συμπεριλαμβανομένων της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας (Jayakody et al., 2024). Κατά συνέπεια, η συντήρηση των οδικών υποδομών δεν αποτελεί απλώς τεχνική διαδικασία αποκατάστασης φθορών, αλλά ένα σύνθετο πεδίο που συνδυάζει μηχανική, οικονομία και ανάλυση δεδομένων, με στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των επενδύσεων και τη διασφάλιση της μακροχρόνιας βιωσιμότητας των δικτύων μεταφορών.

1.2 Το οδικό δίκτυο στην Ελλάδα

Στην ελληνική πραγματικότητα, το οδικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από έντονη χωρική ετερογένεια και υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, καθώς περιλαμβάνει συνδυασμό σύγχρονων αυτοκινητοδρόμων και εκτεταμένων επαρχιακών και δημοτικών δικτύων με διαφοροποιημένα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Η ιδιαιτερότητα αυτή επιτείνεται από τη γεωμορφολογία της χώρας, η οποία περιλαμβάνει εκτεταμένες ορεινές περιοχές, έντονο ανάγλυφο και σημαντική ακτογραμμή, παράγοντες που επιδρούν καθοριστικά στην επιτάχυνση των

μηχανισμών φθοράς των οδοστρωμάτων. Σύμφωνα με διεθνείς αναλύσεις, η αλληλεπίδραση γεωτεχνικών συνθηκών και κυκλοφοριακών φορτίων οδηγεί σε αυξημένες τάσεις καταπόνησης, ιδιαίτερα σε δίκτυα χαμηλής κατηγορίας (Ugochi, 2020).

Η λειτουργία του ελληνικού οδικού δικτύου επηρεάζεται έντονα από την κατανομή της κυκλοφορίας, καθώς σημαντικό ποσοστό μετακινήσεων πραγματοποιείται μέσω επαρχιακών οδών, οι οποίες δεν έχουν σχεδιαστεί για υψηλούς φόρτους βαρέων οχημάτων. Η αύξηση της κυκλοφορίας φορτηγών, ιδίως σε τουριστικές και αγροτικές περιοχές, επιταχύνει τη δημιουργία ρηγματώσεων και παραμορφώσεων, επιβεβαιώνοντας τη σημασία της πρόβλεψης της φθοράς μέσω κατάλληλων μοντέλων (Abed et al., 2023; Radwan et al., 2024). Επιπλέον, η περιορισμένη εφαρμογή συστηματικών προγραμμάτων συντήρησης οδηγεί σε ανομοιογενή επίπεδα ποιότητας μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του δικτύου. Επιπροσθέτως, η έλλειψη ολοκληρωμένων συστημάτων παρακολούθησης της κατάστασης των οδοστρωμάτων στην Ελλάδα περιορίζει την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης, καθώς οι αποφάσεις βασίζονται συχνά σε αποσπασματικά δεδομένα. Αντίθετα, διεθνείς πρακτικές δείχνουν ότι η χρήση τεχνολογιών όπως κινητές μονάδες σάρωσης με λέιζερ και εφαρμογές κινητών τηλεφώνων επιτρέπει τη συλλογή ακριβών δεδομένων σε επίπεδο δικτύου (Li et al., 2020; Al-Sabaei et al., 2024). Η αξιοποίηση τέτοιων τεχνολογιών θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα των επεμβάσεων και να μειώσει το κόστος συντήρησης.

Ταυτόχρονα, η οικονομική διάσταση της συντήρησης αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για την ελληνική πραγματικότητα, δεδομένων των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων και της ανάγκης ιεράρχησης των επενδύσεων. Μελέτες δείχνουν ότι η εφαρμογή προληπτικών στρατηγικών συντήρησης μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος έως και 25% σε σύγκριση με διορθωτικές επεμβάσεις που πραγματοποιούνται σε προχωρημένα στάδια φθοράς (Sazali et al., 2021). Επιπλέον, η χρήση μοντέλων βελτιστοποίησης επιτρέπει την κατανομή των πόρων με τρόπο που μεγιστοποιεί την απόδοση των επενδύσεων σε επίπεδο δικτύου (Hanpasith et al., 2025). Αξιοσημείωτο στοιχείο αποτελεί επίσης η επίδραση των κλιματικών συνθηκών, καθώς οι έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και τα φαινόμενα παγετού συμβάλλουν στη δημιουργία ρηγματώσεων και αποκολλήσεων, ιδιαίτερα σε ορεινές περιοχές. Η επίδραση αυτή ενισχύεται από την παρουσία

υγρασίας και την ανεπαρκή αποστράγγιση, παράγοντες που επιταχύνουν τη φθορά του οδοστρώματος (Mehdi et al., 2022).

1.3 Ο ρόλος των επαρχιακών οδών

Στο πλαίσιο της πολυεπίπεδης οργάνωσης των μεταφορικών υποδομών, οι επαρχιακές οδοί συνιστούν κρίσιμο συνδετικό κρίκο μεταξύ των κύριων οδικών αξόνων και των τοπικών δικτύων, διασφαλίζοντας τη χωρική συνέχεια και τη λειτουργική ολοκλήρωση του συνολικού συστήματος μεταφορών. Ειδικότερα, η σημασία τους δεν περιορίζεται στην απλή εξυπηρέτηση ενδοπεριφερειακών μετακινήσεων, αλλά επεκτείνεται στην υποστήριξη της αγροτικής παραγωγής, της τουριστικής δραστηριότητας και της πρόσβασης σε βασικές υπηρεσίες, καθιστώντας τις αναπόσπαστο στοιχείο της οικονομικής βιωσιμότητας απομακρυσμένων περιοχών. Στο πλαίσιο αυτό, η διεθνής εμπειρία καταδεικνύει ότι τα δίκτυα χαμηλότερης ιεραρχίας απορροφούν σημαντικό ποσοστό της ημερήσιας κυκλοφορίας, συχνά υπερβαίνοντας το 60% των συνολικών μετακινήσεων σε αγροτικές περιοχές, γεγονός που επιβαρύνει δυσανάλογα την καταπόνηση των οδοστρωμάτων (Anand et al., 2021).

Υπό διαφορετική θεώρηση, η λειτουργική συμβολή των επαρχιακών οδών ενισχύεται από τον ρόλο τους ως κρίσιμων αξόνων τροφοδοσίας και διανομής, ιδιαίτερα σε οικονομίες με έντονη γεωγραφική κατακερματισμό. Συγκεκριμένα, η μεταφορά αγροτικών προϊόντων, πρώτων υλών και τουριστικών ροών βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε τέτοιου είδους υποδομές, οι οποίες, παρά το περιορισμένο πλάτος και τα απλούστερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, καλούνται να εξυπηρετήσουν φορτία που συχνά υπερβαίνουν τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού. Η αναντιστοιχία αυτή μεταξύ σχεδιαστικής ικανότητας και πραγματικής χρήσης οδηγεί σε επιταχυνόμενη επιδείνωση της δομικής ακεραιότητας του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ρηγματώσεων, αυλακώσεων και καθιζήσεων (Abed et al., 2023).

Επιπροσθέτως, η ανάλυση των μηχανισμών φθοράς αναδεικνύει ότι οι επαρχιακές οδοί παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η υγρασία, οι θερμοκρασιακές μεταβολές και η γεωτεχνική αστάθεια. Ειδικότερα, η έλλειψη επαρκών

συστημάτων αποστράγγισης οδηγεί σε εισροή νερού στα ανώτερα στρώματα του οδοστρώματος, μειώνοντας την αντοχή τους και επιταχύνοντας τη δημιουργία αστοχιών. Παράλληλα, η επίδραση επαναλαμβανόμενων φορτίσεων από βαρέα οχήματα ενισχύει τη συσσώρευση βλαβών, δημιουργώντας συνθήκες που απαιτούν συστηματική παρακολούθηση και έγκαιρη παρέμβαση (Mehdi et al., 2022).

Από τεchnοοικονομική σκοπιά, η διαχείριση των επαρχιακών οδών παρουσιάζει ιδιαίτερες προκλήσεις, καθώς οι διαθέσιμοι πόροι για συντήρηση είναι περιορισμένοι σε σχέση με το εκτεταμένο μήκος του δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο, η εφαρμογή προληπτικών στρατηγικών συντήρησης καθίσταται κρίσιμη, δεδομένου ότι η έγκαιρη αντιμετώπιση μικρών φθορών μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος κύκλου ζωής έως και κατά 25–30% σε σύγκριση με καθυστερημένες επεμβάσεις (Sazali et al., 2021; Wanimbo et al., 2025). Επιπλέον, η χρήση μοντέλων πρόβλεψης επιδείνωσης, όπως οι στοχαστικές αλυσίδες Markov, επιτρέπει την εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων και τη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων (Hakim et al., 2025).

Η ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών παρακολούθησης προσφέρει νέες δυνατότητες για την αποτελεσματική διαχείριση των επαρχιακών δικτύων. Η χρήση αισθητήρων, δεδομένων από συνδεδεμένα οχήματα και εφαρμογών κινητών τηλεφώνων επιτρέπει τη συλλογή πληροφοριών υψηλής ακρίβειας σχετικά με την κατάσταση του οδοστρώματος, διευκολύνοντας την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (Thompson et al., 2025; Al-Sabaei et al., 2024). Επιπλέον, η αξιοποίηση τεχνικών μηχανικής μάθησης συμβάλλει στην ανάπτυξη πιο αξιόπιστων μοντέλων πρόβλεψης, ενισχύοντας την αποδοτικότητα των παρεμβάσεων (Jha, 2023). Εξίσου καθοριστικός είναι ο ρόλος των επαρχιακών οδών στην οδική ασφάλεια, καθώς τα χαρακτηριστικά τους, όπως οι περιορισμένες ακτίνες καμπυλότητας, η ανεπαρκής σήμανση και η έλλειψη διαχωριστικών στοιχείων, αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων. Η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η ενσωμάτωση δεικτών ασφάλειας στα συστήματα διαχείρισης συντήρησης μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συχνότητα ατυχημάτων, ιδίως μέσω στοχευμένων επεμβάσεων σε κρίσιμα σημεία (Angelo et al., 2023). Παράλληλα, η διατήρηση της ποιότητας της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης αποτελεί βασικό παράγοντα για τη βελτίωση της ορατότητας και την αποφυγή ατυχημάτων, ιδιαίτερα σε νυχτερινές συνθήκες (Hossain et al., 2025).

Η λειτουργία των επαρχιακών οδών συνδέεται άμεσα με τη βιωσιμότητα των τοπικών κοινωνιών, καθώς η πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας, εκπαίδευσης και εμπορίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του οδικού δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο, η υποβάθμιση των υποδομών οδηγεί σε αυξημένο χρόνο μετακίνησης και κόστος, επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα ζωής των κατοίκων και περιορίζοντας τις αναπτυξιακές προοπτικές των περιοχών (Rezvani & Gomes, 2021). Οι επαρχιακές οδοί αποτελούν βασικό πυλώνα του μεταφορικού συστήματος, με πολυδιάστατο ρόλο που εκτείνεται από την οικονομική ανάπτυξη έως την κοινωνική συνοχή και την οδική ασφάλεια. Η αποτελεσματική διαχείρισή τους απαιτεί συνδυασμό τεχνικής γνώσης, οικονομικής ανάλυσης και αξιοποίησης σύγχρονων τεχνολογιών, με στόχο τη διασφάλιση της μακροχρόνιας λειτουργικότητας και βιωσιμότητάς τους.

1.4 Ανάγκη συντήρησης οδικών υποδομών

Στο πλαίσιο της σύγχρονης διαχείρισης μεταφορικών συστημάτων, η συντήρηση των οδικών υποδομών αναδεικνύεται ως θεμελιώδης παράμετρος για τη διασφάλιση της λειτουργικής αποδοτικότητας και της οικονομικής βιωσιμότητας των δικτύων. Ειδικότερα, η φυσική φθορά των οδοστρωμάτων αποτελεί αναπόφευκτη συνέπεια της επαναλαμβανόμενης κυκλοφοριακής φόρτισης και των περιβαλλοντικών επιδράσεων, με αποτέλεσμα την προοδευτική υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών. Η διεθνής εμπειρική τεκμηρίωση υποδεικνύει ότι η εξέλιξη της επιδείνωσης δεν ακολουθεί γραμμική πορεία, αλλά χαρακτηρίζεται από φάσεις επιταχυνόμενης φθοράς, κατά τις οποίες η καθυστέρηση στην εφαρμογή μέτρων συντήρησης οδηγεί σε εκθετική αύξηση των απαιτούμενων πόρων αποκατάστασης (Abed et al., 2023; Radwan et al., 2024).

Υπό διαφορετική οπτική, η τεχνοοικονομική διάσταση της συντήρησης καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς η έγκαιρη παρέμβαση σε πρώιμα στάδια φθοράς επιτρέπει τη σημαντική μείωση του συνολικού κόστους κύκλου ζωής των οδικών έργων. Συγκεκριμένα, μελέτες που βασίζονται σε μοντέλα πρόβλεψης επιδείνωσης καταδεικνύουν ότι η προληπτική συντήρηση μπορεί να περιορίσει τις δαπάνες έως και κατά 25–30%, συγκριτικά με στρατηγικές που βασίζονται αποκλειστικά σε διορθωτικές επεμβάσεις μετά την εμφάνιση σοβαρών βλαβών (Sazali et al., 2021; Wanimbo et al., 2025). Παράλληλα, η χρήση εργαλείων όπως το HDM-4 επιτρέπει την

ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ κατάστασης οδοστρώματος, λειτουργικού κόστους οχημάτων και επενδυτικών επιλογών, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης εναλλακτικών σεναρίων (Anand et al., 2021; Rarotiya & Gupta, 2025).

Επιπροσθέτως, η ανάγκη συντήρησης ενισχύεται από τη σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ κυκλοφοριακών φορτίων και περιβαλλοντικών παραγόντων, οι οποίοι επιδρούν καθοριστικά στη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων. Ειδικότερα, η παρουσία βαρέων οχημάτων αυξάνει τις καταπονήσεις σε επίπεδο δομικών στρώσεων, ενώ οι θερμοκρασιακές μεταβολές και η υγρασία προκαλούν επαναλαμβανόμενες διαστολές και συστολές, οδηγώντας σε ρηγματώσεις και αποκολλήσεις. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιοχές με έντονο κλιματικό φορτίο, όπου η έλλειψη αποτελεσματικών συστημάτων αποστράγγισης επιταχύνει την υποβάθμιση των υλικών (Mehdi et al., 2022). Συνεπώς, η συστηματική παρακολούθηση και η έγκαιρη συντήρηση καθίστανται απαραίτητες για την αποφυγή εκτεταμένων αστοχιών.

Παράλληλα, η εξέλιξη των τεχνολογιών παρακολούθησης προσφέρει νέες δυνατότητες για την αποτελεσματική διαχείριση των οδικών υποδομών, επιτρέποντας τη συλλογή δεδομένων υψηλής ακρίβειας σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση αισθητήρων, κινητών εφαρμογών και δεδομένων από συνδεδεμένα οχήματα συμβάλλει στην ακριβέστερη εκτίμηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων και στη βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Thompson et al., 2025; Al-Sabaei et al., 2024). Επιπλέον, η αξιοποίηση τεχνικών μηχανικής μάθησης ενισχύει την ικανότητα πρόβλεψης της επιδείνωσης, επιτρέποντας την ανάπτυξη προσαρμοστικών στρατηγικών συντήρησης που ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας (Jha, 2023; Ijari & Paternina-Arboleda, 2024).

Από άλλη σκοπιά, η ενσωμάτωση συστημάτων διαχείρισης οδικής περιουσίας αποτελεί βασικό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της συντήρησης, καθώς επιτρέπει την ιεράρχηση των επεμβάσεων με βάση τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν δείκτες απόδοσης, όπως ο δείκτης κατάστασης οδοστρώματος και ο δείκτης τραχύτητας, προκειμένου να καθορίσουν την καταλληλότερη χρονική στιγμή για παρέμβαση (Hasan et al., 2020; Al-Shamayleh, 2025). Παράλληλα, η εφαρμογή στοχαστικών μοντέλων, όπως οι αλυσίδες Markov, επιτρέπει την

πρόβλεψη της μετάβασης μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων φθοράς, συμβάλλοντας στην αποτελεσματικότερη κατανομή των διαθέσιμων πόρων (Hakim et al., 2025).

Εξίσου σημαντική είναι η συμβολή της συντήρησης στην οδική ασφάλεια, καθώς η υποβάθμιση της επιφάνειας κύλισης επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά των οχημάτων και αυξάνει την πιθανότητα ατυχημάτων. Η εμφάνιση λακκουβών, ρηγματώσεων και παραμορφώσεων οδηγεί σε απώλεια πρόσφυσης και μειωμένη ευστάθεια, ιδιαίτερα σε συνθήκες υψηλής ταχύτητας ή δυσμενών καιρικών συνθηκών. Η ενσωμάτωση δεικτών ασφάλειας στα συστήματα διαχείρισης συντήρησης έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τη συχνότητα ατυχημάτων μέσω στοχευμένων επεμβάσεων (Angelo et al., 2023).

Η διατήρηση της ποιότητας της οριζόντιας σήμανσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη βελτίωση της ορατότητας και την ασφαλή καθοδήγηση των οδηγών (Hossain et al., 2025). Η καθυστέρηση στην εφαρμογή επεμβάσεων οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές ρύπων λόγω της υποβάθμισης της επιφάνειας κύλισης, ενώ η έγκαιρη συντήρηση συμβάλλει στη διατήρηση της αποδοτικότητας του συστήματος μεταφορών (Ceriani et al., 2025). Συνεπώς, η ανάγκη συντήρησης των οδικών υποδομών δεν περιορίζεται σε τεχνικό επίπεδο, αλλά αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα των σύγχρονων μεταφορικών δικτύων.

1.5 Σκοπός της έρευνας

Στο πλαίσιο της αυξανόμενης ανάγκης για ορθολογική διαχείριση των οδικών υποδομών και υπό το πρίσμα των περιορισμένων οικονομικών πόρων που χαρακτηρίζουν τα περιφερειακά δίκτυα, η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση και αξιολόγηση των εφαρμοζόμενων πρακτικών συντήρησης επαρχιακών οδών, με έμφαση στη λειτουργική τους αποτελεσματικότητα, τη βιωσιμότητα και τη σχέση κόστους-οφέλους. Ειδικότερα, η έρευνα εστιάζει στην κατανόηση των μηχανισμών φθοράς των οδοστρωμάτων και στη σύνδεσή τους με τις εφαρμοζόμενες τεχνικές παρεμβάσεις, επιχειρώντας να αναδείξει τον βαθμό στον οποίο οι υφιστάμενες πρακτικές ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες των επαρχιακών δικτύων.

Βασικός στόχος της μελέτης αποτελεί η αποτύπωση των τεχνοοικονομικών χαρακτηριστικών των επεμβάσεων συντήρησης, μέσω της ανάλυσης της απόδοσής τους σε όρους διάρκειας ζωής, λειτουργικής ποιότητας και απαιτούμενων πόρων. Στο πλαίσιο αυτό, η αξιολόγηση των πρακτικών συντήρησης δεν περιορίζεται σε τεχνικά κριτήρια, αλλά επεκτείνεται στη διερεύνηση της οικονομικής αποδοτικότητας των επεμβάσεων, λαμβάνοντας υπόψη την επίδρασή τους στο συνολικό κόστος κύκλου ζωής των οδικών υποδομών, όπως αναδεικνύεται και από αντίστοιχες διεθνείς μελέτες (Wanimbo et al., 2025). Η εργασία επιδιώκει να διερευνήσει τη συμβολή των σύγχρονων μεθόδων διαχείρισης, όπως τα συστήματα πρόβλεψης επιδείνωσης και τα μοντέλα βελτιστοποίησης, στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των στρατηγικών συντήρησης. Η ενσωμάτωση τέτοιων προσεγγίσεων επιτρέπει την ανάπτυξη πιο στοχευμένων και αποδοτικών παρεμβάσεων, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τη σχετική βιβλιογραφία που αναδεικνύει τη σημασία των μοντέλων πρόβλεψης και ανάλυσης δεδομένων (Jha, 2023; Hakim et al., 2025).

Έμφαση δίνεται στην Περιφέρεια Ηπείρου, η οποία αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση περιοχής με έντονο ορεινό ανάγλυφο, αυξημένες γεωτεχνικές προκλήσεις και περιορισμένους οικονομικούς πόρους. Στο πλαίσιο αυτό, η έρευνα αποσκοπεί στην αποτύπωση των ιδιαιτεροτήτων του επαρχιακού δικτύου της περιοχής και στη διερεύνηση του βαθμού προσαρμογής των εφαρμοζόμενων πρακτικών συντήρησης στις τοπικές συνθήκες. Ταυτόχρονα, κεντρικό στοιχείο της εργασίας αποτελεί η εκπόνηση μελέτης περίπτωσης που αφορά το έργο «Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό Πραμάντων». Μέσω της ανάλυσης αυτής επιδιώκεται η εις βάθος κατανόηση των τεχνικών επεμβάσεων που υλοποιήθηκαν, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής παρόμοιων πρακτικών σε άλλα τμήματα του επαρχιακού δικτύου. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη σύνθεση θεωρητικών και εμπειρικών δεδομένων, με στόχο την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου αξιολόγησης της συντήρησης επαρχιακών οδών, το οποίο θα μπορεί να υποστηρίξει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε επίπεδο περιφερειακής διαχείρισης υποδομών.

1.6 Ερευνητικά ερωτήματα

Με γνώμονα τους στόχους που τέθηκαν, η παρούσα μελέτη διαρθρώνεται γύρω από ένα σύνολο ερευνητικών ερωτημάτων που αποσκοπούν στη συστηματική διερεύνηση της

αποτελεσματικότητας των πρακτικών συντήρησης επαρχιακών οδών. Καταρχάς, εξετάζεται κατά πόσο οι υφιστάμενες μέθοδοι συντήρησης ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες φόρτισης και φθοράς των επαρχιακών δικτύων, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση παραγόντων όπως η κυκλοφορία, το κλίμα και η γεωμορφολογία. Η διερεύνηση αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η μη προσαρμογή των πρακτικών στις τοπικές συνθήκες οδηγεί σε μειωμένη αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων (Abed et al., 2023).

Σε δεύτερο επίπεδο, τίθεται το ερώτημα της οικονομικής αποδοτικότητας των εφαρμοζόμενων πρακτικών, με στόχο την αξιολόγηση του κατά πόσο οι διαθέσιμοι πόροι αξιοποιούνται με βέλτιστο τρόπο. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τη σύγκριση διαφορετικών στρατηγικών συντήρησης ως προς το κόστος και τη διάρκεια ζωής που προσφέρουν, σε συμφωνία με τα ευρήματα που αναδεικνύουν τη σημασία της προληπτικής συντήρησης στη μείωση των συνολικών δαπανών (Sazali et al., 2021). Ακολούθως, διερευνάται η συμβολή των επεμβάσεων συντήρησης στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, με έμφαση στη σχέση μεταξύ κατάστασης οδοστρώματος και κινδύνου ατυχημάτων. Το ερώτημα αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε επαρχιακά δίκτυα, όπου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η περιορισμένη σήμανση εντείνουν τους κινδύνους για τους χρήστες (Angelo et al., 2023).

Περαιτέρω, εξετάζεται ο βαθμός στον οποίο οι σύγχρονες τεχνολογίες και τα συστήματα διαχείρισης μπορούν να ενσωματωθούν στη διαδικασία συντήρησης, με στόχο τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας των παρεμβάσεων. Η αξιοποίηση δεδομένων και προβλεπτικών μοντέλων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη μετάβαση σε πιο αποδοτικές στρατηγικές διαχείρισης (Jha, 2023). Ένα από τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα αφορά τη δυνατότητα γενίκευσης των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη μελέτη περίπτωσης της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων, με στόχο την εφαρμογή τους σε άλλα τμήματα του επαρχιακού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Η διερεύνηση αυτή επιδιώκει να αναδείξει κατά πόσο οι πρακτικές που εφαρμόστηκαν μπορούν να αποτελέσουν πρότυπο για μελλοντικές παρεμβάσεις. Τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας εργασίας διαμορφώνουν ένα συνεκτικό πλαίσιο ανάλυσης που συνδυάζει τεχνικές, οικονομικές και λειτουργικές διαστάσεις, συμβάλλοντας στην ολοκληρωμένη κατανόηση της συντήρησης των επαρχιακών οδικών υποδομών.

1.7 Μεθοδολογία προσέγγισης

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μεθοδολογική προσέγγιση διαμορφώνεται ως μια σύνθετη και πολυεπίπεδη διαδικασία, η οποία συνδυάζει θεωρητική τεκμηρίωση, εμπειρική ανάλυση και εφαρμογή πραγματικών δεδομένων, με στόχο την εις βάθος διερεύνηση της συντήρησης επαρχιακών οδών. Αρχικά, υιοθετείται μια εκτενής βιβλιογραφική επισκόπηση, βασισμένη αποκλειστικά σε σύγχρονες διεθνείς μελέτες, με σκοπό την κατανόηση των μηχανισμών φθοράς των οδοστρωμάτων και των εφαρμοζόμενων πρακτικών συντήρησης. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει τη θεωρητική θεμελίωση της έρευνας και την ταυτοποίηση κρίσιμων παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση των επεμβάσεων, όπως η κυκλοφοριακή φόρτιση, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (Abed et al., 2023; Mehdi et al., 2022). Στη συνέχεια, η μεθοδολογία επεκτείνεται στη συλλογή και επεξεργασία δευτερογενών και πρωτογενών δεδομένων, με στόχο τη διασύνδεση της θεωρίας με την πραγματική κατάσταση των οδικών υποδομών. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται τεχνικές εκθέσεις, στοιχεία έργων συντήρησης και δεδομένα που προκύπτουν από επιτόπιες αυτοψίες, τα οποία επιτρέπουν την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης των οδοστρωμάτων και την καταγραφή των κυριότερων μορφών φθοράς. Η χρήση τέτοιων δεδομένων θεωρείται κρίσιμη για την ανάπτυξη αξιόπιστων συμπερασμάτων, καθώς η βιβλιογραφία επισημαίνει τη σημασία της εμπειρικής τεκμηρίωσης στη διαδικασία αξιολόγησης (Rezvani & Gomes, 2021).

Η ποσοτική διάσταση περιλαμβάνει τη χρήση δεικτών απόδοσης, όπως ο δείκτης κατάστασης οδοστρώματος και η τραχύτητα επιφάνειας, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με το λειτουργικό κόστος και την άνεση κύλισης (Ceriani et al., 2025). Επιπλέον, η ανάλυση ενσωματώνει στοιχεία κόστους, επιτρέποντας τη σύγκριση διαφορετικών επεμβάσεων σε όρους οικονομικής αποδοτικότητας και διάρκειας ζωής, σύμφωνα με τις αρχές του κόστους κύκλου ζωής (Wanimbo et al., 2025). Επιπροσθέτως, η μεθοδολογία περιλαμβάνει την αξιοποίηση προβλεπτικών μοντέλων επιδείνωσης, τα οποία βασίζονται σε στοχαστικές διαδικασίες και επιτρέπουν την εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων. Η χρήση μοντέλων τύπου Markov παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης της εξέλιξης της φθοράς και της αξιολόγησης εναλλακτικών στρατηγικών συντήρησης, συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση της κατανομής των διαθέσιμων πόρων (Hakim et

al., 2025). Παράλληλα, η ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης ενισχύει την ακρίβεια των προβλέψεων, επιτρέποντας την ανάλυση σύνθετων συσχετίσεων μεταξύ μεταβλητών (Jha, 2023).

Κεντρικό στοιχείο της μεθοδολογίας αποτελεί η εκπόνηση μελέτης περίπτωσης, η οποία αφορά την αποκατάσταση και βελτίωση τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων. Η επιλογή της συγκεκριμένης περίπτωσης βασίζεται στη δυνατότητα παροχής αξιόπιστων δεδομένων και στην αντιπροσωπευτικότητά της ως προς τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι επαρχιακές οδοί σε ορεινές περιοχές. Μέσω της ανάλυσης αυτής, εξετάζονται οι τεχνικές παρεμβάσεις που υλοποιήθηκαν, αξιολογείται η αποτελεσματικότητά τους και διερευνάται η συμβολή τους στη βελτίωση της λειτουργικότητας και της ασφάλειας του οδικού τμήματος. Η μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας βασίζεται σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο ανάλυσης που συνδυάζει θεωρητικά μοντέλα, εμπειρικά δεδομένα και τεχνοοικονομική αξιολόγηση, με στόχο την εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων σχετικά με τη συντήρηση των επαρχιακών οδών και τη βελτίωση των εφαρμοζόμενων πρακτικών.

1.8 Δομή της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε δέκα διακριτά κεφάλαια, τα οποία ακολουθούν μια λογική αλληλουχία από τη θεωρητική θεμελίωση έως την εμπειρική ανάλυση και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εισαγωγή, όπου αναλύεται το γενικό πλαίσιο της έρευνας, η σημασία των οδικών υποδομών, καθώς και ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδηγούν τη μελέτη. Στη συνέχεια, το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στο θεωρητικό πλαίσιο της συντήρησης οδών, παρουσιάζοντας βασικές έννοιες, κατηγορίες οδικών δικτύων και τύπους συντήρησης, ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά σε σύγχρονες προσεγγίσεις διαχείρισης οδικών υποδομών και διεθνείς πρακτικές. Η ανάλυση αυτή δημιουργεί το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση των επόμενων κεφαλαίων. Ακολούθως, στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται οι βασικοί μηχανισμοί φθοράς των οδικών υποδομών, με έμφαση στα ασφατικά οδοστρώματα, τα τεχνικά έργα και τα γεωτεχνικά προβλήματα, ενώ παράλληλα αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιδείνωση, όπως η κυκλοφορία και οι κλιματικές συνθήκες. Το κεφάλαιο αυτό συμβάλλει στην κατανόηση των αιτίων που καθιστούν αναγκαία τη συντήρηση. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι συνήθειες πρακτικές συντήρησης επαρχιακών

οδών, συμπεριλαμβανομένων των ασφαλικών επεμβάσεων, των έργων αποστράγγισης και των μέτρων οδικής ασφάλειας, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των τεχνικών λύσεων που εφαρμόζονται στην πράξη.

Εν συνεχεία, το πέμπτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στο επαρχιακό δίκτυο της Περιφέρειας Ηπείρου, αναλύοντας τα γεωμορφολογικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς και τα βασικά προβλήματα συντήρησης που αντιμετωπίζει. Η παρουσίαση αυτή συνδέει τη θεωρητική ανάλυση με το γεωγραφικό πεδίο εφαρμογής της έρευνας. Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία της έρευνας, συμπεριλαμβανομένων των πηγών δεδομένων, των μεθόδων ανάλυσης και των κριτηρίων αξιολόγησης, τα οποία αφορούν την τεχνική αποτελεσματικότητα, την οικονομική αποδοτικότητα και την οδική ασφάλεια.

Ακολούθως, το έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζει τη μελέτη περίπτωσης της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων, όπου αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση, οι τεχνικές επεμβάσεις που υλοποιήθηκαν και τα βασικά χαρακτηριστικά του έργου, προσφέροντας μια εμπειρική βάση για την αξιολόγηση. Στο όγδοο κεφάλαιο πραγματοποιείται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, με έμφαση στη σύγκριση της κατάστασης πριν και μετά την παρέμβαση, χρησιμοποιώντας κατάλληλους δείκτες απόδοσης και τεκμηρίωση μέσω φωτογραφικού υλικού.

Στο ένατο κεφάλαιο ακολουθεί η συζήτηση των ευρημάτων, όπου γίνεται σύγκριση με τη διεθνή βιβλιογραφία, αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί των εφαρμοζόμενων πρακτικών και διατυπώνονται προοπτικές βελτίωσης. Τέλος, στο δέκατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις της έρευνας, συνοψίζοντας τα βασικά ευρήματα και διατυπώνοντας κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και εφαρμογή πολιτικών συντήρησης. Η δομή αυτή διασφαλίζει τη συνοχή και τη συστηματική ανάπτυξη της εργασίας, επιτρέποντας τη σταδιακή μετάβαση από τη θεωρία στην πράξη και την ολοκληρωμένη κατανόηση του αντικειμένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΩΝ

2.1 Έννοια και ορισμός συντήρησης οδών

Στο σύγχρονο πλαίσιο διαχείρισης υποδομών μεταφορών, η έννοια της συντήρησης οδών προσδιορίζεται ως ένα σύνολο συστηματικών, τεχνικά τεκμηριωμένων και οικονομικά βελτιστοποιημένων παρεμβάσεων, οι οποίες αποσκοπούν στη διατήρηση ή επαναφορά της λειτουργικής και δομικής επάρκειας των οδοστρωμάτων εντός προκαθορισμένων επιπέδων εξυπηρέτησης. Ειδικότερα, η συντήρηση δεν περιορίζεται σε αποσπασματικές επισκευές, αλλά εντάσσεται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης, όπου η κατάσταση του οδοστρώματος παρακολουθείται διαρκώς μέσω ποσοτικοποιημένων δεικτών, όπως ο Pavement Condition Index (PCI) και ο International Roughness Index (IRI), με τιμές που κυμαίνονται τυπικά μεταξύ 0–100 και 0–20 m/km αντίστοιχα, προσδιορίζοντας το επίπεδο φθοράς και λειτουργικής ποιότητας (Ceriani et al., 2025).

Υπό τεχνική θεώρηση, η συντήρηση των οδών συνδέεται άμεσα με τη διαχείριση της προοδευτικής υποβάθμισης των υλικών του οδοστρώματος, η οποία προκαλείται από την επαναλαμβανόμενη κυκλοφοριακή φόρτιση και τις περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Συγκεκριμένα, τα ασφαλικά οδοστρώματα υφίστανται φαινόμενα κόπωσης, πλαστικής παραμόρφωσης και θερμοκρασιακών μεταβολών, τα οποία οδηγούν σε ρηγματώσεις, αυλακώσεις και αποσάθρωση της επιφάνειας. Η εξέλιξη αυτών των φθορών ακολουθεί μη γραμμική καμπύλη επιδείνωσης, όπου μετά από ένα κρίσιμο σημείο η επιδείνωση επιταχύνεται σημαντικά, μειώνοντας δραστικά τη δομική αντοχή του οδοστρώματος (Abed et al., 2023). Σε αυτό το πλαίσιο, η έγκαιρη συντήρηση πριν την επίτευξη του κρίσιμου κατωφλίου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση της λειτουργικότητας.

Από λειτουργική σκοπιά, η συντήρηση στοχεύει στη διατήρηση αποδεκτών επιπέδων εξυπηρέτησης, τα οποία σχετίζονται με την άνεση κύλισης, την ασφάλεια και το λειτουργικό κόστος των οχημάτων. Ειδικότερα, αύξηση της τραχύτητας του οδοστρώματος κατά 1 m/km στον δείκτη IRI μπορεί να επιφέρει αύξηση κατανάλωσης καυσίμου έως και 2–3%, γεγονός που καταδεικνύει τη στενή σύνδεση μεταξύ κατάστασης οδοστρώματος και ενεργειακής αποδοτικότητας (Ceriani et al., 2025). Παράλληλα, η υποβάθμιση της επιφάνειας κύλισης

επηρεάζει την πρόσφυση και την ευστάθεια των οχημάτων, αυξάνοντας την πιθανότητα ατυχημάτων, ιδίως σε συνθήκες υψηλής ταχύτητας ή μειωμένης ορατότητας.

Αναφορικά με τη συστηματική προσέγγιση της συντήρησης, τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης οδικών υποδομών (Pavement Management Systems – PMS) βασίζονται σε ποσοτικά μοντέλα πρόβλεψης επιδείνωσης, τα οποία επιτρέπουν την εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων και τη βελτιστοποίηση των επεμβάσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η εφαρμογή στοχαστικών μοντέλων, όπως οι αλυσίδες Markov, επιτρέπει την πρόβλεψη της μετάβασης μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων φθοράς με πιθανότητες που προσδιορίζονται εμπειρικά, παρέχοντας ένα ισχυρό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων (Hakim et al., 2025). Παράλληλα, η χρήση λογισμικών όπως το HDM-4 επιτρέπει την προσομοίωση σεναρίων συντήρησης και την αξιολόγηση της επίδρασής τους σε επίπεδο δικτύου (Anand et al., 2021).

Η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η καθυστέρηση των επεμβάσεων οδηγεί σε εκθετική αύξηση του συνολικού κόστους, με περιπτώσεις όπου το κόστος αποκατάστασης μπορεί να είναι έως και πέντε φορές μεγαλύτερο σε σύγκριση με έγκαιρες προληπτικές παρεμβάσεις (Wanimbo et al., 2025). Επιπλέον, η εφαρμογή βελτιστοποιημένων στρατηγικών συντήρησης μπορεί να μειώσει τις συνολικές δαπάνες κατά 20–30%, ενισχύοντας την αποδοτικότητα των επενδύσεων (Sazali et al., 2021). Επιπροσθέτως, η συντήρηση των οδών ενσωματώνει ολοένα και περισσότερο προηγμένες τεχνολογίες παρακολούθησης και ανάλυσης δεδομένων, οι οποίες επιτρέπουν την ακριβέστερη εκτίμηση της κατάστασης των υποδομών. Η χρήση αισθητήρων, κινητών εφαρμογών και δεδομένων από συνδεδεμένα οχήματα καθιστά δυνατή τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την αβεβαιότητα και βελτιώνοντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Thompson et al., 2025). Παράλληλα, η ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης επιτρέπει την ανάπτυξη πιο αξιόπιστων μοντέλων πρόβλεψης, λαμβάνοντας υπόψη μεγάλο αριθμό μεταβλητών και σύνθετες αλληλεπιδράσεις (Jha, 2023).

Συγχρόνως, η έννοια της συντήρησης επεκτείνεται πέραν της τεχνικής αποκατάστασης, περιλαμβάνοντας και τη διαχείριση της ασφάλειας του οδικού δικτύου. Η υποβάθμιση της οριζόντιας σήμανσης, όπως η μείωση της ανακλαστικότητας κάτω από κρίσιμα όρια (π.χ. <100 mcd/m²/lux), επηρεάζει σημαντικά την ορατότητα και αυξάνει τον κίνδυνο ατυχημάτων,

καθιστώντας αναγκαία τη συστηματική συντήρησή της (Hossain et al., 2025). Παράλληλα, η ενσωμάτωση δεικτών ασφάλειας στα συστήματα διαχείρισης συντήρησης συμβάλλει στη μείωση των ατυχημάτων μέσω στοχευμένων επεμβάσεων (Angelo et al., 2023). Η συντήρηση οδών συνιστά μια πολυδιάστατη διαδικασία που συνδυάζει τεχνικές, οικονομικές και λειτουργικές παραμέτρους, με στόχο τη διατήρηση της απόδοσης των οδικών υποδομών σε αποδεκτά επίπεδα. Η σύγχρονη προσέγγιση βασίζεται στη χρήση ποσοτικών δεικτών, προβλεπτικών μοντέλων και τεχνολογιών αιχμής, επιτρέποντας τη μετάβαση από αντιδραστικές πρακτικές σε προληπτικές και βελτιστοποιημένες στρατηγικές συντήρησης.

2.2 Κατηγορίες οδικών έργων

Η κατηγοριοποίηση των οδικών έργων συνιστά βασική παράμετρο για τη διαχείριση, τον σχεδιασμό και τη συντήρηση των οδικών υποδομών, καθώς επιτρέπει τη διαφοροποίηση των τεχνικών προδιαγραφών, των επιπέδων εξυπηρέτησης και των στρατηγικών παρέμβασης ανάλογα με τη λειτουργική σημασία κάθε δικτύου. Ειδικότερα, η διάκριση μεταξύ εθνικού, επαρχιακού και δημοτικού δικτύου δεν αποτελεί απλώς διοικητική ταξινόμηση, αλλά αντικατοπτρίζει διαφοροποιήσεις ως προς την ένταση της κυκλοφορίας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα φορτία σχεδιασμού και τις απαιτήσεις συντήρησης. Παράλληλα, η διαφοροποίηση αυτή επιδρά άμεσα στην επιλογή κατάλληλων μοντέλων διαχείρισης, δεδομένου ότι τα δίκτυα υψηλής κατηγορίας απαιτούν συστηματικότερη παρακολούθηση και πιο σύνθετες τεχνικές αξιολόγησης σε σύγκριση με τα δίκτυα τοπικής σημασίας (Hasan et al., 2020).

Από λειτουργική σκοπιά, η ταξινόμηση των οδικών έργων συνδέεται με την ικανότητά τους να εξυπηρετούν διαφορετικά επίπεδα κινητικότητας και προσβασιμότητας, διαμορφώνοντας ένα ιεραρχημένο σύστημα μεταφορών. Στο πλαίσιο αυτό, τα δίκτυα ανώτερης κατηγορίας διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαπεριφερειακή σύνδεση και την οικονομική ολοκλήρωση, ενώ τα χαμηλότερης κατηγορίας δίκτυα εξασφαλίζουν την τοπική διασύνδεση και την πρόσβαση σε απομακρυσμένες περιοχές. Η κατανόηση αυτής της ιεραρχίας είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη αποδοτικών στρατηγικών συντήρησης, καθώς οι απαιτήσεις και οι προτεραιότητες διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των επιμέρους κατηγοριών.

2.2.1 Εθνικό δίκτυο

Το εθνικό οδικό δίκτυο αποτελεί τον βασικό κορμό του συστήματος μεταφορών, εξυπηρετώντας μεγάλες αποστάσεις και υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους, με αποτέλεσμα να σχεδιάζεται με αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές και υψηλά επίπεδα ασφάλειας. Συγκεκριμένα, τα οδοστρώματα του εθνικού δικτύου κατασκευάζονται ώστε να αντέχουν σημαντικά φορτία βαρέων οχημάτων, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις υπερβαίνουν τα 10^6 επαναλαμβανόμενα ισοδύναμα φορτία αξόνων (ESALs) ετησίως, γεγονός που απαιτεί αυξημένη δομική επάρκεια και ανθεκτικότητα. Η υψηλή ένταση κυκλοφορίας οδηγεί σε ταχεία εξέλιξη φθορών, καθιστώντας αναγκαία την εφαρμογή συστηματικών και προγραμματισμένων παρεμβάσεων συντήρησης (Abed et al., 2023).

Περαιτέρω, η διαχείριση του εθνικού δικτύου βασίζεται σε προηγμένα συστήματα παρακολούθησης και αξιολόγησης, τα οποία επιτρέπουν τη συνεχή καταγραφή της κατάστασης του οδοστρώματος και τη βελτιστοποίηση των επεμβάσεων. Η χρήση δεικτών όπως ο IRI και ο PCI αποτελεί κοινή πρακτική, ενώ η ενσωμάτωση δεδομένων από αισθητήρες και συνδεδεμένα οχήματα ενισχύει την ακρίβεια των μετρήσεων (Thompson et al., 2025). Επιπλέον, η εφαρμογή εργαλείων όπως το HDM-4 επιτρέπει την ανάλυση σε επίπεδο δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά κριτήρια (Anand et al., 2021). Ταυτόχρονα, η οικονομική σημασία του εθνικού δικτύου καθιστά επιτακτική τη διατήρηση υψηλών επιπέδων λειτουργικότητας, καθώς ακόμη και μικρές μειώσεις στην ποιότητα του οδοστρώματος μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές αυξήσεις του λειτουργικού κόστους μεταφορών. Η έγκαιρη εφαρμογή προληπτικών στρατηγικών συντήρησης έχει αποδειχθεί ότι μειώνει το συνολικό κόστος κύκλου ζωής και διασφαλίζει τη βιωσιμότητα των επενδύσεων (Wanimbo et al., 2025).

2.2.2 Επαρχιακό δίκτυο

Το επαρχιακό οδικό δίκτυο καταλαμβάνει ενδιάμεση θέση στην ιεραρχία των μεταφορικών υποδομών, συνδέοντας τους κύριους οδικούς άξονες με τις τοπικές κοινότητες και εξυπηρετώντας σημαντικό ποσοστό των ενδοπεριφερειακών μετακινήσεων. Παρά το γεγονός ότι τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά είναι λιγότερο απαιτητικά σε σύγκριση με το εθνικό δίκτυο, η λειτουργική του σημασία είναι ιδιαίτερα υψηλή, καθώς διασφαλίζει την πρόσβαση σε αγροτικές περιοχές, τουριστικούς προορισμούς και βασικές υπηρεσίες. Ωστόσο, η αυξημένη χρήση του από βάρεα

οχήματα, σε συνδυασμό με την περιορισμένη δομική του επάρκεια, οδηγεί σε επιταχυνόμενη επιδείνωση των οδοστρωμάτων (Radwan et al., 2024). Αναλυτικότερα, τα επαρχιακά οδοστρώματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως η υγρασία και οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, οι οποίες επιταχύνουν τη δημιουργία ρηγματώσεων και παραμορφώσεων. Η απουσία επαρκών συστημάτων αποστράγγισης εντείνει τα φαινόμενα αυτά, οδηγώντας σε μείωση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων (Mehdi et al., 2022). Επιπλέον, η έλλειψη συστηματικής παρακολούθησης περιορίζει τη δυνατότητα έγκαιρης παρέμβασης, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους αποκατάστασης. Από διαχειριστική άποψη, η συντήρηση του επαρχιακού δικτύου απαιτεί την υιοθέτηση βελτιστοποιημένων στρατηγικών, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τον περιορισμένο διαθέσιμο προϋπολογισμό. Η εφαρμογή μοντέλων πρόβλεψης επιδείνωσης και πολυκριτηριακών μεθόδων αξιολόγησης συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη κατανομή των πόρων και στη βελτίωση της απόδοσης των επενδύσεων (Hakim et al., 2025; Jayakody et al., 2024).

2.2.3 Δημοτικό δίκτυο

Το δημοτικό οδικό δίκτυο αποτελεί το χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας των οδικών υποδομών και εξυπηρετεί κυρίως τοπικές μετακινήσεις μικρών αποστάσεων εντός αστικών και ημιαστικών περιοχών. Χαρακτηρίζεται από περιορισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, χαμηλότερες ταχύτητες σχεδιασμού και μικρότερα φορτία κυκλοφορίας, ωστόσο η ένταση χρήσης του σε αστικά περιβάλλοντα δημιουργεί ιδιαίτερες απαιτήσεις συντήρησης. Η συχνή στάση και εκκίνηση των οχημάτων, καθώς και η παρουσία βαρέων οχημάτων διανομής, συμβάλλουν στην εμφάνιση τοπικών φθορών, όπως λακκούβες και αποκολλήσεις (Ugochi, 2020). Η διαχείριση του δημοτικού δικτύου παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις λόγω των περιορισμένων οικονομικών πόρων και της έλλειψης ολοκληρωμένων συστημάτων παρακολούθησης. Σε αυτό το πλαίσιο, η αξιοποίηση απλών και χαμηλού κόστους τεχνολογιών, όπως εφαρμογές κινητών τηλεφώνων για την καταγραφή της κατάστασης των οδοστρωμάτων, μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων (Al-Sabaei et al., 2024).

Η σημασία του δημοτικού δικτύου για την ποιότητα ζωής των πολιτών είναι ιδιαίτερα υψηλή, καθώς επηρεάζει άμεσα την καθημερινή μετακίνηση, την προσβασιμότητα και την ασφάλεια. Η

έγκαιρη συντήρηση των οδών αυτής της κατηγορίας συμβάλλει στη μείωση των λειτουργικών προβλημάτων και στη βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας, ενώ παράλληλα περιορίζει το συνολικό κόστος αποκατάστασης μέσω της αποφυγής εκτεταμένων βλαβών (Sazali et al., 2021). Αρά η διάκριση των οδικών έργων σε εθνικό, επαρχιακό και δημοτικό δίκτυο επιτρέπει την ανάπτυξη στοχευμένων στρατηγικών συντήρησης, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε κατηγορίας και συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συνολικού οδικού συστήματος.

2.3 Είδη συντήρησης

Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης οδικών υποδομών, η διάκριση των τύπων συντήρησης αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για τη βελτιστοποίηση των παρεμβάσεων και την αποδοτική κατανομή των διαθέσιμων πόρων. Ειδικότερα, η κατηγοριοποίηση των επεμβάσεων σε προληπτικές, τακτικές, έκτακτες και διορθωτικές δεν αντανακλά μόνο χρονικές διαφοροποιήσεις, αλλά ενσωματώνει διαφορετικές φιλοσοφίες διαχείρισης, επίπεδα τεχνικής παρέμβασης και οικονομικές επιπτώσεις. Η σύγχρονη βιβλιογραφία συγκλίνει στην άποψη ότι η μετάβαση από αντιδραστικά μοντέλα συντήρησης σε προληπτικά και προβλεπτικά συστήματα μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση του συνολικού κόστους, ενώ παράλληλα βελτιώνει τη λειτουργική απόδοση των οδικών δικτύων (Wanimbo et al., 2025; Sazali et al., 2021). Η διαφοροποίηση των τύπων συντήρησης σχετίζεται άμεσα με την καμπύλη επιδείνωσης του οδοστρώματος, η οποία παρουσιάζει αρχικά ήπια μεταβολή και στη συνέχεια έντονη επιτάχυνση της φθοράς μετά την υπέρβαση συγκεκριμένων ορίων κατάστασης. Η έγκαιρη εφαρμογή κατάλληλων επεμβάσεων σε πρώιμα στάδια δύναται να ανακόψει την εξέλιξη της φθοράς και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, μειώνοντας σημαντικά τις απαιτήσεις για εκτεταμένες αποκαταστάσεις (Abed et al., 2023). Στο πλαίσιο αυτό, η επιλογή του κατάλληλου τύπου συντήρησης καθορίζεται από την υφιστάμενη κατάσταση του οδοστρώματος, τα επίπεδα κυκλοφοριακής φόρτισης και τις διαθέσιμες οικονομικές δυνατότητες.

2.3.1 Προληπτική συντήρηση

Στο επίκεντρο των σύγχρονων στρατηγικών διαχείρισης οδικών υποδομών, η προληπτική συντήρηση αναδεικνύεται ως η πλέον αποδοτική προσέγγιση, καθώς εστιάζει στην έγκαιρη

παρέμβαση πριν την εκδήλωση εκτεταμένων φθορών. Η φιλοσοφία της βασίζεται στην εφαρμογή ελαφρών επεμβάσεων σε οδοστρώματα που βρίσκονται ακόμη σε ικανοποιητική κατάσταση, με στόχο την επιβράδυνση των μηχανισμών επιδείνωσης και τη διατήρηση της λειτουργικής ποιότητας. Ενδεικτικά, παρεμβάσεις όπως η σφράγιση ρωγμών και οι λεπτές ασφαλικές στρώσεις μπορούν να μειώσουν τον ρυθμό υποβάθμισης έως και κατά 40%, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος κατά αρκετά έτη (Ceriani et al., 2025). Η οικονομική αποτελεσματικότητα της προληπτικής συντήρησης είναι ιδιαίτερα υψηλή, καθώς το κόστος των επεμβάσεων αυτών είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σύγκριση με τις εκτεταμένες αποκαταστάσεις. Μελέτες έχουν δείξει ότι κάθε μονάδα κόστους που επενδύεται σε προληπτικές παρεμβάσεις μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση έως και 4–5 μονάδων σε μελλοντικές δαπάνες αποκατάστασης (Wanimbo et al., 2025). Παράλληλα, η εφαρμογή προβλεπτικών μοντέλων επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της βέλτιστης χρονικής στιγμής για την υλοποίηση των επεμβάσεων, ενισχύοντας περαιτέρω την αποδοτικότητα της στρατηγικής (Hakim et al., 2025).

2.3.2 Τακτική συντήρηση

Σε αντίθεση με την προληπτική προσέγγιση, η τακτική συντήρηση αφορά επαναλαμβανόμενες, προγραμματισμένες παρεμβάσεις που αποσκοπούν στη διατήρηση της λειτουργικότητας του οδικού δικτύου σε αποδεκτά επίπεδα. Οι επεμβάσεις αυτές περιλαμβάνουν δραστηριότητες όπως ο καθαρισμός τάφρων, η αποκατάσταση μικρών φθορών και η συντήρηση της σήμανσης, οι οποίες δεν απαιτούν εκτεταμένες τεχνικές εργασίες αλλά είναι κρίσιμες για την πρόληψη σοβαρότερων προβλημάτων. Από τεχνική άποψη, η τακτική συντήρηση συμβάλλει στη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας των οδοστρωμάτων, περιορίζοντας την είσοδο υγρασίας και την ανάπτυξη φθορών που σχετίζονται με περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η σημασία της καθίσταται ιδιαίτερα εμφανής σε περιοχές με έντονες κλιματικές μεταβολές, όπου η ανεπαρκής αποστράγγιση μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία υποβάθμιση των υλικών (Mehdi et al., 2022). Παράλληλα, η τακτική συντήρηση συμβάλλει στη διατήρηση της οδικής ασφάλειας, μέσω της διασφάλισης της ορατότητας και της λειτουργικότητας των στοιχείων σήμανσης (Hossain et al., 2025).

2.3.3 Έκτακτη συντήρηση

Από διαφορετική σκοπιά, η έκτακτη συντήρηση αφορά παρεμβάσεις που πραγματοποιούνται σε απρόβλεπτες καταστάσεις, όπως φυσικές καταστροφές, κατολισθήσεις ή αιφνίδιες αστοχίες του οδοστρώματος. Η φύση των επεμβάσεων αυτών είναι κατεπείγουσα, καθώς αποσκοπούν στην άμεση αποκατάσταση της κυκλοφορίας και την εξασφάλιση της ασφάλειας των χρηστών. Οι εργασίες περιλαμβάνουν συνήθως προσωρινές ή ημιμόνιμες λύσεις, οι οποίες εφαρμόζονται υπό συνθήκες περιορισμένου χρόνου και αυξημένης πίεσης. Η οικονομική επιβάρυνση της έκτακτης συντήρησης είναι συχνά υψηλή, λόγω της ανάγκης άμεσης κινητοποίησης πόρων και εξοπλισμού, ενώ η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον βαθμό ετοιμότητας των αρμόδιων φορέων. Επιπλέον, η συχνή εμφάνιση τέτοιων καταστάσεων συνδέεται με την έλλειψη επαρκούς προληπτικής και τακτικής συντήρησης, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της πρόληψης ως βασικού άξονα διαχείρισης (Ugochi, 2020).

2.3.4 Διορθωτική συντήρηση

Η διορθωτική συντήρηση αναφέρεται σε επεμβάσεις που πραγματοποιούνται μετά την εκδήλωση σημαντικών φθορών, με στόχο την αποκατάσταση της λειτουργικότητας και της δομικής επάρκειας του οδοστρώματος. Οι παρεμβάσεις αυτές περιλαμβάνουν εργασίες όπως το φρεζάρισμα και η αντικατάσταση ασφαλικών στρώσεων, οι οποίες απαιτούν αυξημένο κόστος και χρόνο υλοποίησης. Η ανάγκη για διορθωτική συντήρηση προκύπτει συνήθως από την καθυστέρηση εφαρμογής προληπτικών μέτρων, οδηγώντας σε εκτεταμένες αστοχίες και υψηλές δαπάνες αποκατάστασης (Radwan et al., 2024). Αναλυτικότερα, η διορθωτική προσέγγιση χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη οικονομική αποδοτικότητα σε σύγκριση με τις προληπτικές στρατηγικές, καθώς το κόστος αποκατάστασης μπορεί να είναι πολλαπλάσιο όταν η φθορά έχει προχωρήσει σε προχωρημένα στάδια. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου η δομική ακεραιότητα του οδοστρώματος έχει υποστεί σημαντική υποβάθμιση, οι επεμβάσεις αυτές καθίστανται αναπόφευκτες για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας του δικτύου. Η αποτελεσματική διαχείριση των οδικών υποδομών απαιτεί τον συνδυασμό όλων των τύπων συντήρησης, με έμφαση στην προληπτική και τακτική προσέγγιση, οι οποίες επιτρέπουν τη μείωση των αναγκών για έκτακτες και διορθωτικές επεμβάσεις. Η υιοθέτηση ολοκληρωμένων στρατηγικών συντήρησης, βασισμένων σε δεδομένα και προβλεπτικά μοντέλα, αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας των οδικών δικτύων.

2.4 Διαχείριση οδικών περιουσιακών στοιχείων (Asset Management)

Στο σύγχρονο περιβάλλον διαχείρισης υποδομών μεταφορών, η έννοια της διαχείρισης οδικών περιουσιακών στοιχείων (Road Asset Management) συνιστά μια ολοκληρωμένη, συστηματική και δεδομενοκεντρική προσέγγιση, η οποία αποσκοπεί στη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων με στόχο τη μεγιστοποίηση της λειτουργικής απόδοσης και της διάρκειας ζωής των οδικών υποδομών. Ειδικότερα, το Asset Management υπερβαίνει την παραδοσιακή λογική της αποσπασματικής συντήρησης, ενσωματώνοντας εργαλεία στρατηγικού σχεδιασμού, οικονομικής αξιολόγησης και τεχνικής παρακολούθησης, τα οποία επιτρέπουν τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε επίπεδο δικτύου. Στο πλαίσιο αυτό, η προσέγγιση βασίζεται στην έννοια του κύκλου ζωής των υποδομών, όπου κάθε παρέμβαση αξιολογείται όχι μόνο ως προς το άμεσο κόστος, αλλά και ως προς τη μακροχρόνια επίδρασή της στη λειτουργικότητα και τη βιωσιμότητα του δικτύου (Hasan et al., 2020).

Υπό διαφορετική οπτική, η διαχείριση οδικών περιουσιακών στοιχείων προϋποθέτει την ανάπτυξη αξιόπιστων συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, τα οποία επιτρέπουν την ακριβή αποτύπωση της κατάστασης των οδοστρωμάτων και των συνοδευτικών τεχνικών έργων. Συγκεκριμένα, η χρήση τεχνολογιών όπως κινητές μονάδες καταγραφής, αισθητήρες και εφαρμογές κινητών τηλεφώνων συμβάλλει στη δημιουργία εκτενών βάσεων δεδομένων που περιλαμβάνουν πληροφορίες για τη δομική κατάσταση, την τραχύτητα, τις ρηγματώσεις και άλλες μορφές φθοράς (Li et al., 2020; Al-Sabaeei et al., 2024). Η συστηματική καταγραφή αυτών των δεδομένων επιτρέπει την ανάπτυξη δεικτών απόδοσης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και την ιεράρχηση των αναγκών συντήρησης.

Η αξιοποίηση μαθηματικών και στατιστικών μοντέλων αποτελεί κεντρικό στοιχείο της προσέγγισης Asset Management, καθώς επιτρέπει την πρόβλεψη της εξέλιξης της φθοράς και τη βελτιστοποίηση των επεμβάσεων. Η εφαρμογή στοχαστικών μοντέλων, όπως οι αλυσίδες Markov, παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της πιθανότητας μετάβασης ενός οδοστρώματος από μία κατάσταση σε μια άλλη, επιτρέποντας τον προσδιορισμό της βέλτιστης χρονικής στιγμής για παρέμβαση (Hakim et al., 2025). Η ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης ενισχύει την

ακρίβεια των προβλέψεων, επιτρέποντας την ανάλυση σύνθετων σχέσεων μεταξύ κυκλοφοριακών, περιβαλλοντικών και γεωτεχνικών παραγόντων (Jha, 2023; Ijari & Paternina-Arboleda, 2024). Επιπροσθέτως, η διαχείριση οδικών περιουσιακών στοιχείων ενσωματώνει οικονομικά εργαλεία αξιολόγησης, με έμφαση στην ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA). Μέσω της προσέγγισης αυτής, καθίσταται δυνατή η σύγκριση διαφορετικών στρατηγικών συντήρησης με βάση το συνολικό κόστος τους σε βάθος χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις δαπάνες κατασκευής και συντήρησης όσο και το λειτουργικό κόστος των χρηστών. Η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση πόρων, ιδίως όταν δίνεται προτεραιότητα σε προληπτικές παρεμβάσεις έναντι διορθωτικών (Wanimbo et al., 2025).

Από λειτουργική σκοπιά, το Asset Management επιδιώκει τη διατήρηση προκαθορισμένων επιπέδων εξυπηρέτησης (Level of Service – LoS), τα οποία σχετίζονται με την άνεση, την ασφάλεια και την αξιοπιστία των μετακινήσεων. Η διατήρηση αυτών των επιπέδων απαιτεί τη συνεχή παρακολούθηση δεικτών όπως ο δείκτης τραχύτητας και η ποιότητα της επιφάνειας κύλισης, καθώς και την έγκαιρη εφαρμογή κατάλληλων επεμβάσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η χρήση δεδομένων από συνδεδεμένα οχήματα και συστήματα τηλεματικής συμβάλλει στη βελτίωση της ακρίβειας των μετρήσεων και στην ταχύτερη ανίχνευση προβλημάτων (Thompson et al., 2025; Mahlberg et al., 2024). Συγχρόνως, η εφαρμογή πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων αποτελεί βασικό στοιχείο της διαχείρισης οδικών υποδομών, καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη αξιολόγηση τεχνικών, οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων. Μέθοδοι όπως η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) χρησιμοποιούνται για την ιεράρχηση των επεμβάσεων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η κυκλοφορία, η ασφάλεια και η σημασία του οδικού τμήματος (Jayakody et al., 2024). Η ενσωμάτωση τέτοιων εργαλείων ενισχύει τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

Η διάσταση της οδικής ασφάλειας αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του Asset Management, καθώς η κατάσταση των υποδομών επηρεάζει άμεσα τον κίνδυνο ατυχημάτων. Η ενσωμάτωση δεικτών ασφάλειας στα συστήματα διαχείρισης επιτρέπει την ταυτοποίηση επικίνδυνων τμημάτων και την εφαρμογή στοχευμένων παρεμβάσεων, οι οποίες συμβάλλουν στη μείωση της επικινδυνότητας (Angelo et al., 2023). Παράλληλα, η διατήρηση της ποιότητας της σήμανσης και της ορατότητας

αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την ασφαλή λειτουργία του δικτύου (Hossain et al., 2025). Η εφαρμογή της διαχείρισης οδικών περιουσιακών στοιχείων συνδέεται άμεσα με τη βιωσιμότητα των μεταφορικών συστημάτων, καθώς επιτρέπει τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω της βελτιστοποίησης των επεμβάσεων και της μείωσης της κατανάλωσης πόρων. Η έγκαιρη συντήρηση συμβάλλει στη διατήρηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των μετακινήσεων και στη μείωση των εκπομπών, ενισχύοντας τη συνολική βιωσιμότητα του δικτύου (Ceriani et al., 2025).

2.5 Διεθνείς πρακτικές συντήρησης

Στο πλαίσιο της σύγχρονης επιστημονικής και τεχνολογικής εξέλιξης, οι διεθνείς πρακτικές συντήρησης οδικών υποδομών έχουν μετασχηματιστεί ριζικά, υιοθετώντας ολοκληρωμένα και δεδομενοκεντρικά μοντέλα διαχείρισης που βασίζονται στην πρόβλεψη, τη βελτιστοποίηση και την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων. Ειδικότερα, η διεθνής εμπειρία καταδεικνύει ότι τα παραδοσιακά αντιδραστικά μοντέλα, τα οποία στηρίζονταν στην αποκατάσταση βλαβών μετά την εμφάνισή τους, έχουν αντικατασταθεί από στρατηγικές προληπτικής και προβλεπτικής συντήρησης, με στόχο τη μείωση του συνολικού κόστους και τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των οδοστρωμάτων. Η μετάβαση αυτή τεκμηριώνεται από πληθώρα μελετών, οι οποίες δείχνουν ότι η εφαρμογή προληπτικών επεμβάσεων μπορεί να περιορίσει την επιδείνωση έως και κατά 40% και να μειώσει τις δαπάνες κύκλου ζωής κατά 20–30% (Wanimbo et al., 2025; Sazali et al., 2021).

Σε διεθνές επίπεδο, η χρήση προηγμένων εργαλείων προσομοίωσης και ανάλυσης, όπως το HDM-4 (Highway Development and Management Model), αποτελεί βασικό πυλώνα για τον σχεδιασμό στρατηγικών συντήρησης. Μέσω της εφαρμογής τέτοιων μοντέλων, καθίσταται δυνατή η αξιολόγηση πολλαπλών σεναρίων παρέμβασης, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η κυκλοφορία, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και το κόστος επενδύσεων. Μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση του HDM-4 επιτρέπει την επίτευξη βελτιστοποιημένων λύσεων, μειώνοντας το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης των δικτύων κατά σημαντικά ποσοστά (Anand et al., 2021; Rarotiya & Gupta, 2025).

Η ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων πρόβλεψης επιδείνωσης αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες διεθνείς πρακτικές, με στόχο την εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, τα μοντέλα βασισμένα σε καμπύλες επιδείνωσης και

στοχαστικές διαδικασίες, όπως οι αλυσίδες Markov, χρησιμοποιούνται ευρέως για την πρόβλεψη της εξέλιξης της φθοράς και την επιλογή των κατάλληλων επεμβάσεων (Isradi et al., 2024; Hakim et al., 2025). Η εφαρμογή αυτών των μοντέλων επιτρέπει την ακριβέστερη ιεράρχηση των αναγκών συντήρησης και τη βελτιστοποίηση της κατανομής των διαθέσιμων πόρων. Από διαφορετική σκοπιά, η αξιοποίηση τεχνολογιών γεωχωρικής ανάλυσης (GIS) έχει ενισχύσει σημαντικά τη διαχείριση των οδικών υποδομών, επιτρέποντας τη χωρική απεικόνιση της κατάστασης των δικτύων και τη σύνδεση δεδομένων φθοράς με γεωγραφικές παραμέτρους. Η χρήση GIS σε συνδυασμό με δεδομένα πεδίου επιτρέπει την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης, τα οποία υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο δικτύου (Corker et al., 2023). Επιπλέον, η ενσωμάτωση τέτοιων εργαλείων διευκολύνει την ανάλυση χωρικών προτύπων φθοράς και την ταυτοποίηση περιοχών υψηλής προτεραιότητας.

Συγχρόνως, η εισαγωγή τεχνικών μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης αποτελεί μία από τις πλέον δυναμικά αναπτυσσόμενες τάσεις στη διεθνή πρακτική συντήρησης οδών. Μέσω της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων, τα μοντέλα αυτά μπορούν να εντοπίσουν σύνθετες συσχετίσεις μεταξύ παραγόντων, όπως η κυκλοφορία, το κλίμα και τα υλικά, βελτιώνοντας σημαντικά την ακρίβεια των προβλέψεων επιδείνωσης (Jha, 2023; Ijari & Paternina-Arboleda, 2024). Επιπλέον, η χρήση τέτοιων τεχνολογιών επιτρέπει την ανάπτυξη προσαρμοστικών στρατηγικών συντήρησης, οι οποίες προσαρμόζονται δυναμικά στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Η αξιοποίηση δεδομένων από συνδεδεμένα οχήματα και αισθητήρες δρόμου αποτελεί μια καινοτόμο πρακτική που εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε ανεπτυγμένα δίκτυα. Τα δεδομένα αυτά παρέχουν συνεχή και υψηλής ακρίβειας πληροφόρηση για την κατάσταση του οδοστρώματος, επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση φθορών και τη μείωση του χρόνου απόκρισης των φορέων διαχείρισης (Thompson et al., 2025; Mahlberg et al., 2024). Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών όπως οι κινητές μονάδες σάρωσης με λέιζερ επιτρέπει την ακριβή αποτύπωση της γεωμετρίας και της επιφάνειας των οδών, ενισχύοντας τη διαδικασία αξιολόγησης (Li et al., 2020).

Αναφορικά με τη στρατηγική διάσταση, οι διεθνείς πρακτικές δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωση πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων, οι οποίες επιτρέπουν τη συνεκτίμηση τεχνικών, οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων. Η εφαρμογή μεθόδων όπως η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) διευκολύνει την ιεράρχηση των επεμβάσεων, λαμβάνοντας υπόψη

παράγοντες όπως η κυκλοφοριακή σημασία, η ασφάλεια και το κόστος (Jayakody et al., 2024). Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τη διαφάνεια και την αποδοτικότητα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

Η ενσωμάτωση της οδικής ασφάλειας στις στρατηγικές συντήρησης αποτελεί βασική προτεραιότητα σε διεθνές επίπεδο. Η ανάπτυξη πλαισίων που συνδυάζουν δεδομένα φθοράς με δείκτες ασφάλειας επιτρέπει την ταυτοποίηση επικίνδυνων τμημάτων και την εφαρμογή στοχευμένων παρεμβάσεων, μειώνοντας σημαντικά τον κίνδυνο ατυχημάτων (Angelo et al., 2023). Παράλληλα, η συντήρηση της σήμανσης και η διατήρηση της ανακλαστικότητας των διαγραμμίσεων αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για τη βελτίωση της ορατότητας και της ασφάλειας (Hossain et al., 2025).

Η διεθνής πρακτική αναδεικνύει τη σημασία της βιωσιμότητας στη διαχείριση των οδικών υποδομών, με έμφαση στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η εφαρμογή στρατηγικών συντήρησης που μειώνουν την τραχύτητα των οδοστρωμάτων συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων, ενισχύοντας τη συνολική βιωσιμότητα των μεταφορικών συστημάτων (Ceriani et al., 2025). Οι διεθνείς πρακτικές συντήρησης οδών χαρακτηρίζονται από την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, τη χρήση προβλεπτικών μοντέλων και την εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών διαχείρισης, οι οποίες επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των υποδομών και τη μείωση του συνολικού κόστους. Η προσαρμογή αυτών των πρακτικών στις ιδιαιτερότητες των επαρχιακών δικτύων αποτελεί κρίσιμη πρόκληση, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένους πόρους και αυξημένες γεωτεχνικές δυσκολίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΦΘΟΡΕΣ ΟΔΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

3.1 Μηχανισμοί υποβάθμισης οδοστρωμάτων

Στο πλαίσιο της επιστημονικής ανάλυσης της συμπεριφοράς των οδικών υποδομών, οι μηχανισμοί υποβάθμισης των οδοστρωμάτων συνιστούν ένα πολυπαραγοντικό και δυναμικό φαινόμενο, το οποίο επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση μηχανικών φορτίσεων, περιβαλλοντικών επιδράσεων και ιδιοτήτων των υλικών. Ειδικότερα, η εξέλιξη της φθοράς δεν αποτελεί γραμμική διαδικασία,

αλλά χαρακτηρίζεται από στάδια επιβραδυνόμενης και επιταχυνόμενης επιδείνωσης, τα οποία συνδέονται άμεσα με τη συσσώρευση μικροβλαβών και τη σταδιακή απώλεια της δομικής επάρκειας του οδοστρώματος. Η κατανόηση των μηχανισμών αυτών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών συντήρησης, καθώς επιτρέπει τον προσδιορισμό των κρίσιμων σημείων παρέμβασης και τη βελτιστοποίηση της χρονικής στιγμής εφαρμογής των επεμβάσεων (Abed et al., 2023).

Υπό μηχανική θεώρηση, η κύρια αιτία υποβάθμισης των οδοστρωμάτων σχετίζεται με την επαναλαμβανόμενη επιβολή φορτίων από τη διέλευση οχημάτων, η οποία οδηγεί σε φαινόμενα κόπωσης των υλικών. Τα φορτία αυτά, εκφραζόμενα συχνά ως ισοδύναμα φορτία αξόνων (ESALs), προκαλούν επαναλαμβανόμενες τάσεις και παραμορφώσεις στα δομικά στρώματα του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρορωγμών που εξελίσσονται σταδιακά σε μακροσκοπικές αστοχίες. Η διαδικασία αυτή επιταχύνεται σημαντικά σε περιπτώσεις υψηλής κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων, όπου η καταπόνηση των υλικών υπερβαίνει τα όρια αντοχής τους, οδηγώντας σε ταχεία μείωση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος (Radwan et al., 2024).

Η συμβολή των περιβαλλοντικών παραγόντων στην υποβάθμιση των οδοστρωμάτων είναι καθοριστική, καθώς οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η υγρασία και οι κύκλοι πήξης-τήξης επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Ειδικότερα, οι μεταβολές της θερμοκρασίας προκαλούν διαστολές και συστολές, οι οποίες οδηγούν στη δημιουργία θερμικών ρηγματώσεων, ενώ η διείσδυση νερού στα ανώτερα στρώματα μειώνει τη φέρουσα ικανότητα και επιταχύνει τη διαδικασία αποσάθρωσης. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιοχές με έντονο κλιματικό φορτίο, όπου οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι υγρασίας και θερμοκρασίας οδηγούν σε σημαντική επιδείνωση της δομικής συμπεριφοράς (Mehdi et al., 2022).

Επιπροσθέτως, η ποιότητα των υλικών και η ορθότητα της κατασκευής αποτελούν κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των οδοστρωμάτων. Ανεπαρκής συμπύκνωση, κακή επιλογή υλικών ή αστοχίες κατά την κατασκευή μπορούν να δημιουργήσουν αδύναμα σημεία, τα οποία λειτουργούν ως εστίες έναρξης φθορών. Η παρουσία τέτοιων ατελειών οδηγεί σε ανομοιογενή κατανομή των τάσεων, ενισχύοντας τη συγκέντρωση φορτίσεων σε συγκεκριμένες περιοχές και επιταχύνοντας την εμφάνιση βλαβών (Ugochi, 2020).

Από λειτουργική σκοπιά, η υποβάθμιση των οδοστρωμάτων αποτυπώνεται μέσω δεικτών απόδοσης, όπως ο δείκτης τραχύτητας (IRI) και ο δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (PCI), οι οποίοι επιτρέπουν την ποσοτικοποίηση της εξέλιξης της φθοράς. Ειδικότερα, αύξηση του δείκτη IRI πέραν των 4–5 m/km συνδέεται με σημαντική υποβάθμιση της άνεσης κύλισης και αύξηση του λειτουργικού κόστους των οχημάτων, ενώ τιμές PCI κάτω του 60 υποδηλώνουν την ανάγκη για άμεσες παρεμβάσεις συντήρησης (Ceriani et al., 2025). Η συστηματική παρακολούθηση αυτών των δεικτών επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση της υποβάθμισης και την αποφυγή εκτεταμένων αστοχιών. Η εξέλιξη των μηχανισμών φθοράς παρουσιάζει έντονη χωρική και χρονική μεταβλητότητα, γεγονός που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή προηγμένων μεθόδων ανάλυσης. Η χρήση μοντέλων πρόβλεψης επιδείνωσης, βασισμένων σε στοχαστικές διαδικασίες ή καμπύλες φθοράς, επιτρέπει την εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων και τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών συντήρησης (Isradi et al., 2024; Hakim et al., 2025). Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης συμβάλλει στην ανάλυση σύνθετων σχέσεων μεταξύ μεταβλητών, βελτιώνοντας την ακρίβεια των προβλέψεων (Jha, 2023).

Συγχρόνως, η αλληλεπίδραση μεταξύ των επιμέρους μηχανισμών υποβάθμισης οδηγεί στη δημιουργία σύνθετων μορφών φθοράς, οι οποίες δεν μπορούν να αποδοθούν σε έναν μόνο παράγοντα. Για παράδειγμα, η συνδυασμένη δράση κυκλοφοριακών φορτίων και υγρασίας μπορεί να προκαλέσει αποκόλληση των ασφαλικών στρώσεων, ενώ η παρουσία ρηγματώσεων επιτρέπει τη διείσδυση νερού, επιταχύνοντας περαιτέρω την επιδείνωση. Η κατανόηση αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων στρατηγικών συντήρησης. Η καθυστέρηση στην αντιμετώπιση των αρχικών φθορών οδηγεί σε εκθετική αύξηση των απαιτούμενων πόρων για αποκατάσταση, ενώ η εφαρμογή προληπτικών παρεμβάσεων μπορεί να μειώσει σημαντικά τις δαπάνες και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (Wanimbo et al., 2025). Συνεπώς, η εις βάθος κατανόηση των μηχανισμών υποβάθμισης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική διαχείριση των οδικών υποδομών και τη διασφάλιση της μακροχρόνιας λειτουργικότητάς τους.

3.2 Ασφαλτικά οδοστρώματα

Στο πλαίσιο της μηχανικής των εύκαμπτων οδοστρωμάτων, τα ασφαλτικά οδοστρώματα αποτελούν την επικρατέστερη μορφή επιφανειακής στρώσης στα σύγχρονα οδικά δίκτυα, λόγω της ικανότητάς τους να προσαρμόζονται σε επαναλαμβανόμενα δυναμικά φορτία και να κατανέμουν αποτελεσματικά τις τάσεις προς τα υποκείμενα στρώματα. Η τυπική δομή τους περιλαμβάνει την επιφανειακή στρώση κυκλοφορίας, τη συνδετική στρώση και τη βάση, οι οποίες λειτουργούν ως σύνθετο μηχανικό σύστημα. Η συμπεριφορά των ασφαλτικών υλικών χαρακτηρίζεται ως ιξωδοελαστική, γεγονός που σημαίνει ότι εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από τη διάρκεια και τη συχνότητα φόρτισης. Υπό την επίδραση της κυκλοφορίας, τα οδοστρώματα υφίστανται επαναλαμβανόμενες φορτίσεις, οι οποίες προκαλούν ανάπτυξη εφελκυστικών παραμορφώσεων στη βάση της ασφαλτικής στρώσης. Η αντοχή σε κόπωση περιγράφεται από τη σχέση:

$$N_f = k_1 \cdot (\epsilon t)^{-k_2} \cdot (E)^{-k_3}$$

όπου N_f είναι ο αριθμός επαναλήψεων μέχρι αστοχία, ϵt η εφελκυστική παραμόρφωση, E το μέτρο ελαστικότητας και k_1 , k_2 , k_3 εμπειρικοί συντελεστές. Τυπικά, ο εκθέτης k_2 κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5, γεγονός που υποδηλώνει ότι μικρές αυξήσεις της παραμόρφωσης οδηγούν σε σημαντική μείωση της διάρκειας ζωής (Abed et al., 2023). Συγκεκριμένα, αύξηση της παραμόρφωσης κατά 10% μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής έως και 40%.

Η λειτουργική κατάσταση των ασφαλτικών οδοστρωμάτων αξιολογείται μέσω δεικτών όπως ο δείκτης τραχύτητας IRI και ο δείκτης κατάστασης PCI. Τιμές IRI μικρότερες από 2.5 m/km αντιστοιχούν σε υψηλή ποιότητα κύλισης, ενώ τιμές άνω των 4 m/km υποδηλώνουν σημαντική υποβάθμιση. Αντίστοιχα, τιμές PCI άνω του 70 θεωρούνται ικανοποιητικές, ενώ κάτω του 50 απαιτούνται εκτεταμένες επεμβάσεις (Ceriani et al., 2025).

3.2.1 Ρηγματώσεις

Οι ρηγματώσεις αποτελούν την κυριότερη μορφή αστοχίας των ασφαλικών οδοστρωμάτων και σχετίζονται άμεσα με φαινόμενα κόπωσης και θερμικών καταπονήσεων. Οι ρηγματώσεις κόπωσης εμφανίζονται σε περιοχές υψηλής κυκλοφορίας και χαρακτηρίζονται από μορφή «δέρματος κροκοδείλου», αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενων εφελκυστικών τάσεων. Η εξέλιξή τους είναι ταχεία, καθώς η αρχική μικρορωγμάτωση μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένη αστοχία εντός 2–3 ετών εάν δεν πραγματοποιηθεί συντήρηση (Radwan et al., 2024). Οι θερμικές ρηγματώσεις προκαλούνται από συστολή του ασφαλικού υλικού σε χαμηλές θερμοκρασίες, όταν οι αναπτυσσόμενες τάσεις υπερβαίνουν την αντοχή του μίγματος. Η ύπαρξη ρωγμών επιτρέπει τη διείσδυση νερού, γεγονός που μειώνει τη φέρουσα ικανότητα των στρώσεων και επιταχύνει την επιδείνωση (Mehdi et al., 2022).



Εικόνα 2 Χαμηλής έντασης ρωγμές τύπου αλιγάτορα



Εικόνα 3 Μεσαίας έντασης ρωγμές τύπου αλιγάτορα



Εικόνα 4 Υψηλής έντασης ρωγμές τύπου αλιγάτορα

3.2.2 Καθιζήσεις

Οι καθιζήσεις αποτελούν μορφή κατακόρυφης παραμόρφωσης του οδοστρώματος και συνδέονται κυρίως με αστοχίες των υποκείμενων στρώσεων ή του εδάφους θεμελίωσης. Η εμφάνισή τους σχετίζεται με ανεπαρκή συμπίκνωση, παρουσία υγρασίας ή χαμηλή φέρουσα ικανότητα. Τιμές καθίζησης μεγαλύτερες από 25 mm θεωρούνται κρίσιμες για την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα της οδού. Η επαναλαμβανόμενη κυκλοφορία βαρέων οχημάτων αυξάνει τις κατακόρυφες τάσεις και οδηγεί σε σταδιακή συμπίεση των στρώσεων, δημιουργώντας ανομοιομορφίες και επιταχύνοντας τη φθορά. Οι καθιζήσεις συχνά συνδυάζονται με άλλες μορφές βλαβών, όπως ρηγματώσεις και λακούβες (Ugochi, 2020).



3.2.3 Λακκούβες

Οι λακκούβες αποτελούν τοπικές επιφανειακές αστοχίες που προκύπτουν από την αποκόλληση υλικού της επιφανειακής στρώσης. Η δημιουργία τους σχετίζεται με τη συνδυασμένη δράση υγρασίας, κυκλοφορίας και προϋπαρχουσών ρηγματώσεων. Το νερό διεισδύει μέσω των ρωγμών, μειώνει τη συνοχή του ασφαλτικού μίγματος και οδηγεί σε αποσάθρωση. Η εξέλιξη των λακκουβών είναι ταχεία, ιδιαίτερα σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, και μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε λίγες εβδομάδες. Η παρουσία τους αυξάνει τον δείκτη τραχύτητας κατά 1–2 m/km και επηρεάζει αρνητικά τόσο την άνεση κύλισης όσο και την οδική ασφάλεια (Ceriani et al., 2025).



3.2.4 Παραμορφώσεις

Οι παραμορφώσεις των ασφαλτικών οδοστρωμάτων σχετίζονται με την πλαστική συμπεριφορά των υλικών υπό υψηλές θερμοκρασίες και φορτία. Η χαρακτηριστικότερη μορφή είναι η αυλάκωση (rutting), η οποία εμφανίζεται στις τροχιές των οχημάτων λόγω συσσώρευσης μόνιμων παραμορφώσεων. Η ανάπτυξη αυλακώσεων μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση:

$$\epsilon p = a \cdot N^b$$

όπου ϵp είναι η πλαστική παραμόρφωση και N ο αριθμός επαναλήψεων φόρτισης. Σε προχωρημένα στάδια, το βάθος των αυλακώσεων μπορεί να υπερβαίνει τα 15–20 mm, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο υδρολίσθησης. Η αντοχή σε παραμόρφωση εξαρτάται από τη σύσταση του ασφαλτικού μίγματος και μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας, καθώς το μέτρο ελαστικότητας του υλικού μειώνεται (Abed et al., 2023).

- ▷ **Τροχοανύακωση (Rutting)**: Μόνιμη υποχώρηση (βαθούλωμα) της επιφάνειας κατά μήκος της τροχιάς των τροχών.



3.3 Τεχνικά έργα

Στο πλαίσιο της σύγχρονης μηχανικής οδικών υποδομών, τα τεχνικά έργα συνιστούν κρίσιμα δομικά στοιχεία του οδικού δικτύου, τα οποία διασφαλίζουν τη λειτουργικότητα, την ευστάθεια και τη μακροχρόνια ανθεκτικότητα των μεταφορικών υποδομών. Σε αντίθεση με τα οδοστρώματα, τα τεχνικά έργα χαρακτηρίζονται από υψηλότερες απαιτήσεις σχεδιασμού και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, η οποία τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 50 και 100 ετών, ωστόσο υπόκεινται σε σύνθετους μηχανισμούς υποβάθμισης που σχετίζονται με φορτίσεις, περιβαλλοντικές επιδράσεις και γεωτεχνικές μεταβολές. Η σύγχρονη βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η αστοχία τεχνικών έργων δεν

προκύπτει αιφνίδια, αλλά αποτελεί αποτέλεσμα συσσωρευσης βλαβών, οι οποίες εξελίσσονται προοδευτικά και συχνά δεν είναι άμεσα ορατές (Barriera et al., 2020).

Η διαχείριση των τεχνικών έργων βασίζεται στην έννοια της δομικής υγείας (structural health monitoring), όπου χρησιμοποιούνται μετρήσεις παραμορφώσεων, ρηγματώσεων και μετακινήσεων για την αξιολόγηση της κατάστασης. Σε επίπεδο δικτύου, η υποβάθμιση αυτών των στοιχείων επηρεάζει δυσανάλογα την αξιοπιστία του συστήματος μεταφορών, καθώς η αστοχία ενός μεμονωμένου έργου μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη διακοπή της κυκλοφορίας. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάγκη για προληπτική συντήρηση καθίσταται κρίσιμη, δεδομένου ότι το κόστος αποκατάστασης μπορεί να αυξηθεί εκθετικά όταν η φθορά φτάσει σε προχωρημένο στάδιο (Wanimbo et al., 2025).

3.3.1 Τοιχία

Τα τοιχία αντιστήριξης αποτελούν βασικά γεωτεχνικά έργα που χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση εδαφικών μαζών και τη διασφάλιση της ευστάθειας πρανών. Η λειτουργία τους βασίζεται στην εξισορρόπηση των ωθήσεων γαιών, οι οποίες υπολογίζονται μέσω θεωριών όπως του Rankine και του Coulomb. Η ενεργός ώθηση γαιών δίνεται από τη σχέση:

$$P_a = 0.5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

όπου γ είναι το ειδικό βάρος του εδάφους, H το ύψος και K_a ο συντελεστής ενεργού ώθησης. Για παράδειγμα, σε ύψος 6 m και $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, η οριζόντια δύναμη μπορεί να ξεπεράσει τα 300 kN/m, γεγονός που επιβάλλει αυστηρά κριτήρια σχεδιασμού. Αναλυτικότερα, οι βασικοί μηχανισμοί αστοχίας περιλαμβάνουν την ανατροπή, την ολίσθηση και την αστοχία θεμελίωσης. Η ανατροπή σχετίζεται με τη ροπή των ωθήσεων, ενώ η ολίσθηση εξαρτάται από τη διατμητική αντοχή στη βάση. Επιπλέον, η παρουσία νερού πίσω από το τοιχίο αυξάνει σημαντικά τις οριζόντιες πιέσεις, καθώς η υδροστατική πίεση προστίθεται στην ενεργό ώθηση. Μελέτες δείχνουν ότι η ανεπαρκής αποστράγγιση μπορεί να αυξήσει τις συνολικές ωθήσεις έως και 80% (Ugochi, 2020). Επιπροσθέτως, η υποβάθμιση των τοιχίων συνδέεται με ρηγματώσεις, καθιζήσεις και διάβρωση υλικών. Η εξέλιξη των ρηγματώσεων αποτελεί ένδειξη μεταβολής των τάσεων, ενώ οι καθιζήσεις σχετίζονται με αστοχία του εδάφους θεμελίωσης. Σε ορεινές περιοχές, όπως η Ήπειρος, η γεωτεχνική αστάθεια και η έντονη βροχόπτωση επιταχύνουν σημαντικά τα φαινόμενα αυτά.

3.3.2 Οχετοί

Οι οχετοί αποτελούν υδραυλικά έργα ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του οδικού δικτύου, καθώς εξασφαλίζουν την απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων και προστατεύουν το οδόστρωμα από υδραυλικές καταπονήσεις. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται στον υπολογισμό της παροχής αιχμής μέσω της εξίσωσης:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

όπου Q είναι η παροχή, C ο συντελεστής απορροής, i η ένταση βροχόπτωσης και A η επιφάνεια λεκάνης απορροής. Σε περιοχές έντονων καταιγίδων, οι τιμές i μπορεί να ξεπεράσουν τα 100 mm/h, οδηγώντας σε παροχές άνω των 10 m³/s ακόμη και για μικρές λεκάνες. Από τεχνική σκοπιά, οι κύριες μορφές φθοράς περιλαμβάνουν την απόφραξη από φερτά υλικά, τη διάβρωση του πυθμένα και την υποσκαφή των θεμελίων. Η απόφραξη αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αιτίες αστοχίας, καθώς μειώνει τη διατομή ροής και οδηγεί σε υπερχείλιση. Σύμφωνα με μελέτες, μείωση της διατομής κατά 50% μπορεί να αυξήσει τη στάθμη νερού έως και 80%, προκαλώντας καταστροφές στο οδόστρωμα (Li et al., 2020). Η διάβρωση του πυθμένα οδηγεί σε απώλεια υλικού και μείωση της ευστάθειας, ενώ η επαναλαμβανόμενη υδραυλική φόρτιση προκαλεί φθορά στους αρμούς και στα τοιχώματα. Η έλλειψη συντήρησης επιταχύνει σημαντικά τα φαινόμενα αυτά, καθιστώντας απαραίτητη τη συστηματική επιθεώρηση.

3.3.3 Γέφυρες

Οι γέφυρες αποτελούν τα πλέον σύνθετα τεχνικά έργα του οδικού δικτύου, καθώς υπόκεινται σε συνδυασμό φορτίσεων, όπως κυκλοφοριακά φορτία, θερμικές μεταβολές και περιβαλλοντικές δράσεις. Η φέρουσα ικανότητα αξιολογείται μέσω δεικτών όπως ο Load Rating Factor (LRF), όπου τιμές μικρότερες της μονάδας υποδηλώνουν ανάγκη άμεσης ενίσχυσης. Η υποβάθμιση των γεφυρών σχετίζεται κυρίως με τη διάβρωση του οπλισμού, η οποία προκαλείται από τη διείσδυση χλωριόντων και υγρασίας στο σκυρόδεμα. Η διάβρωση οδηγεί σε μείωση της διατομής του χάλυβα έως και 30%, επηρεάζοντας τη φέρουσα ικανότητα. Παράλληλα, η κόπωση λόγω επαναλαμβανόμενων φορτίων αποτελεί σημαντικό μηχανισμό αστοχίας, ιδίως σε μεταλλικές γέφυρες (Radwan et al., 2024). Η φθορά των αρμών διαστολής και των εδράνων επιτρέπει τη

διείσδυση νερού, επιταχύνοντας την υποβάθμιση. Η έλλειψη συντήρησης αυτών των στοιχείων οδηγεί σε αύξηση των εσωτερικών τάσεων και σε τοπικές αστοχίες.

Πίνακας: Τεχνικά έργα και χαρακτηριστικά φθοράς

Κατηγορία	Φορτία	Τυπικές τιμές	Κύριες φθορές
Τοιχία	Ωθήσεις γαιών	200–400 kN/m	Ολίσθηση, ανατροπή
Οχετοί	Υδραυλική ροή	1–10 m ³ /s	Απόφραξη, διάβρωση
Γέφυρες	Κυκλοφοριακά φορτία	LRF $\approx$ 1	Διάβρωση, κόπωση

Τα τεχνικά έργα αποτελούν κρίσιμο παράγοντα αξιοπιστίας του οδικού δικτύου, καθώς η αστοχία τους μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές λειτουργικές και οικονομικές επιπτώσεις. Η εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης, η χρήση προβλεπτικών μοντέλων και η έγκαιρη συντήρηση αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας λειτουργικότητάς τους (Barriera et al., 2020; Wanimbo et al., 2025).

3.4 Κατολισθήσεις και γεωτεχνικά προβλήματα

Στο πλαίσιο της γεωτεχνικής μηχανικής οδικών έργων, οι κατολισθήσεις και τα συναφή γεωτεχνικά προβλήματα συνιστούν έναν από τους πλέον κρίσιμους παράγοντες αστοχίας του οδικού δικτύου, ιδίως σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και γεωλογική πολυπλοκότητα. Η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων συνδέεται με την απώλεια ευστάθειας πρανών, η οποία προκαλείται από την αλληλεπίδραση εσωτερικών δυνάμεων (διατμητική αντοχή εδάφους) και εξωτερικών φορτίσεων, όπως η βαρύτητα, η κυκλοφορία και οι υδρολογικές επιδράσεις. Η ανάλυση της ευστάθειας βασίζεται στον συντελεστή ασφαλείας (Factor of Safety – FS), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της διαθέσιμης διατμητικής αντοχής προς τις αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις. Τιμές FS < 1 υποδηλώνουν αστοχία, ενώ για ασφαλή λειτουργία απαιτούνται τιμές μεγαλύτερες του 1.3–1.5, ανάλογα με τη σημασία του έργου. Υπό μηχανική θεώρηση, η διατμητική αντοχή των εδαφών περιγράφεται από το κριτήριο Mohr–Coulomb, σύμφωνα με το οποίο η αντοχή δίνεται από τη σχέση:

$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan \varphi$$

όπου τ είναι η διατμητική αντοχή, c η συνοχή του εδάφους, σ' η ενεργός τάση και φ η γωνία εσωτερικής τριβής. Η αύξηση της υγρασίας οδηγεί σε μείωση της ενεργού τάσης λόγω αύξησης της πίεσης πόρων, γεγονός που μειώνει τη συνοχή και συνεπώς την αντοχή του εδάφους. Μελέτες έχουν δείξει ότι αύξηση της πίεσης πόρων κατά 20–30% μπορεί να μειώσει τον συντελεστή ασφαλείας έως και 40%, οδηγώντας σε ενεργοποίηση κατολισθήσεων (Mehdi et al., 2022).

Από γεωλογική σκοπιά, οι κατολισθήσεις εμφανίζονται συχνότερα σε περιοχές με αργιλικά ή χαλαρά κοκκώδη εδάφη, τα οποία παρουσιάζουν χαμηλή διατμητική αντοχή και υψηλή ευαισθησία σε μεταβολές υγρασίας. Επιπλέον, η παρουσία ασυνεχειών, όπως ρήγματα ή στρωματογραφικές επιφάνειες, δημιουργεί επιφάνειες ολίσθησης, οι οποίες διευκολύνουν την εκδήλωση αστοχίας. Στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας, και ιδιαίτερα στην Ήπειρο, η γεωμορφολογία σε συνδυασμό με τις έντονες βροχοπτώσεις δημιουργεί συνθήκες αυξημένου κινδύνου κατολισθήσεων. Οι υδρολογικοί παράγοντες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων. Η διείσδυση νερού στο έδαφος αυξάνει την πίεση πόρων και μειώνει την αποτελεσματική τάση, οδηγώντας σε αποσταθεροποίηση των πρανών. Σε έντονες βροχοπτώσεις, η απορρόφηση νερού μπορεί να αυξήσει το βάρος του εδάφους έως και 10–20%, επιβαρύνοντας περαιτέρω τις διατμητικές τάσεις. Επιπλέον, η ανεπαρκής αποστράγγιση ενισχύει τα φαινόμενα αυτά, καθιστώντας απαραίτητη την κατασκευή κατάλληλων έργων απορροής.

Επιπροσθέτως, οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις αποτελούν σημαντικό παράγοντα επιδείνωσης της γεωτεχνικής ευστάθειας. Η εκσκαφή πρανών για τη διάνοιξη οδών μεταβάλλει τη γεωμετρία και διαταράσσει την ισορροπία των τάσεων, ενώ η υπερφόρτιση λόγω κυκλοφορίας ή κατασκευών αυξάνει τις κατακόρυφες τάσεις. Σε πολλές περιπτώσεις, η έλλειψη γεωτεχνικής μελέτης ή η ανεπαρκής εφαρμογή μέτρων αντιστήριξης οδηγεί σε πρόωρη αστοχία των πρανών (Ugochi, 2020). Από λειτουργική σκοπιά, οι κατολισθήσεις έχουν άμεσες και σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία του οδικού δικτύου, καθώς προκαλούν καταστροφή του οδοστρώματος, απόφραξη της οδού και αυξημένο κίνδυνο ατυχημάτων. Η αποκατάσταση τέτοιων βλαβών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, καθώς περιλαμβάνει όχι μόνο την απομάκρυνση των υλικών αλλά και την κατασκευή νέων έργων αντιστήριξης. Σύμφωνα με μελέτες, το κόστος αποκατάστασης κατολισθήσεων μπορεί να είναι έως

και 3–5 φορές υψηλότερο από το κόστος προληπτικών μέτρων (Wanimbo et al., 2025). Συγχρόνως, η αντιμετώπιση των κατολισθήσεων βασίζεται σε ένα σύνολο τεχνικών λύσεων που περιλαμβάνουν τη βελτίωση της αποστράγγισης, την κατασκευή τοιχίων αντιστήριξης, τη χρήση αγκυρώσεων και τη σταθεροποίηση των πρανών μέσω γεωυλικών. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους και το μέγεθος της αστοχίας. Η εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης, όπως αισθητήρες μετακινήσεων και γεωδαιτικές μετρήσεις, επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση μεταβολών και τη λήψη προληπτικών μέτρων (Barriera et al., 2020).

Πίνακας 3.2: Παράγοντες και επιπτώσεις κατολισθήσεων

Παράγοντας	Επίδραση	Ποσοτική μεταβολή
Υγρασία	Μείωση αντοχής	έως -40% FS
Βροχόπτωση	Αύξηση βάρους εδάφους	+10–20%
Κυκλοφορία	Αύξηση φορτίσεων	έως +30% τάσεις
Γεωλογία	Δημιουργία επιφανειών ολίσθησης	υψηλός κίνδυνος

Οι κατολισθήσεις και τα γεωτεχνικά προβλήματα αποτελούν έναν από τους πλέον κρίσιμους παράγοντες υποβάθμισης των οδικών υποδομών, ιδίως σε ορεινές περιοχές. Η κατανόηση των μηχανισμών ευστάθειας, η εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών μέτρων και η συνεχής παρακολούθηση αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και της ασφάλειας του οδικού δικτύου.

3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη φθορά

3.5.1 Κυκλοφορία

Στο πλαίσιο της ανάλυσης της υποβάθμισης των οδικών υποδομών, η κυκλοφορία αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα που επηρεάζει την εξέλιξη της φθοράς των οδοστρωμάτων, καθώς οι επαναλαμβανόμενες φορτίσεις από τα διερχόμενα οχήματα προκαλούν συσσώρευση παραμορφώσεων και ανάπτυξη μηχανισμών κόπωσης. Ειδικότερα, η επιβάρυνση που υφίσταται ένα οδόστρωμα δεν εξαρτάται μόνο από τον συνολικό αριθμό των οχημάτων, αλλά κυρίως από τη

σύνθεση της κυκλοφορίας και το ποσοστό βαρέων οχημάτων, τα οποία συνεισφέρουν δυσανάλογα στη φθορά. Η διεθνής πρακτική εκφράζει την κυκλοφοριακή επιβάρυνση μέσω του δείκτη ισοδύναμων φορτίων αξόνων (Equivalent Single Axle Loads – ESALs), όπου ένας τυπικός άξονας φορτίου 80 kN λαμβάνεται ως μονάδα αναφοράς. Αναλυτικότερα, η επίδραση των φορτίων στην καταπόνηση του οδοστρώματος ακολουθεί τον νόμο της τέταρτης δύναμης, σύμφωνα με τον οποίο η φθορά είναι ανάλογη της τέταρτης δύναμης του φορτίου του άξονα. Η σχέση αυτή εκφράζεται ως:

$$\text{Damage} \propto (P / P_{\text{ref}})^4$$

όπου P είναι το πραγματικό φορτίο άξονα και P_{ref} το πρότυπο φορτίο (80 kN). Αυτό σημαίνει ότι ένας άξονας με διπλάσιο φορτίο προκαλεί έως και 16 φορές μεγαλύτερη φθορά, γεγονός που αναδεικνύει τον καθοριστικό ρόλο των βαρέων οχημάτων στη μείωση της διάρκειας ζωής των οδοστρωμάτων (Abed et al., 2023). Σε πρακτικές εφαρμογές, ένα φορτηγό μπορεί να προκαλέσει φθορά ισοδύναμη με χιλιάδες διελεύσεις επιβατικών οχημάτων.

Η ένταση της κυκλοφορίας εκφράζεται μέσω του δείκτη Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (AADT), ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνολικής επιβάρυνσης σε ετήσια βάση. Σε επαρχιακά δίκτυα, τιμές AADT κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 1.000 και 10.000 οχημάτων/ημέρα, ενώ το ποσοστό βαρέων οχημάτων μπορεί να φτάσει το 10–20%, ιδίως σε περιοχές με έντονη αγροτική ή τουριστική δραστηριότητα. Η αύξηση του ποσοστού βαρέων οχημάτων κατά 5% μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της φθοράς άνω του 30%, λόγω της μη γραμμικής σχέσης φορτίου–βλάβης (Radwan et al., 2024). Η κατανομή της κυκλοφορίας στις λωρίδες επηρεάζει την ανάπτυξη τοπικών φθορών, καθώς η επαναλαμβανόμενη φόρτιση στις ίδιες τροχιές οδηγεί σε συγκέντρωση παραμορφώσεων και εμφάνιση αυλακώσεων. Η ανομοιογενής κατανομή φορτίων ενισχύει τη δημιουργία ρηγματώσεων κόπωσης και επιταχύνει τη διαδικασία υποβάθμισης, ιδιαίτερα σε οδοστρώματα περιορισμένου πάχους.

Από λειτουργική σκοπιά, η αύξηση της κυκλοφορίας επηρεάζει άμεσα δείκτες όπως ο IRI και ο PCI, οδηγώντας σε ταχύτερη υποβάθμιση της ποιότητας κύλισης. Μελέτες δείχνουν ότι αύξηση της κυκλοφορίας κατά 20% μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος κατά 10–15%, εφόσον δεν εφαρμοστούν κατάλληλες στρατηγικές συντήρησης (Ceriani et al., 2025). Παράλληλα,

η αυξημένη κυκλοφορία ενισχύει τη δημιουργία δυναμικών φορτίσεων, οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα στατικά φορτία, ιδίως σε οδοστρώματα με αυξημένη τραχύτητα. Συγχρόνως, η ταχύτητα των οχημάτων αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα που επηρεάζει τη φθορά, καθώς υψηλότερες ταχύτητες οδηγούν σε αύξηση των δυναμικών φορτίσεων και των επιταχύνσεων που μεταφέρονται στο οδόστρωμα. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη σε δρόμους με ανωμαλίες, όπου οι δυναμικές καταπονήσεις μπορεί να υπερβαίνουν τα στατικά φορτία κατά 20–30%.

Επιπροσθέτως, η κυκλοφορία συνδέεται με την ανάπτυξη θερμικών και μηχανικών φορτίσεων, καθώς η επαναλαμβανόμενη καταπόνηση προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας στο ασφαλικό μίγμα και επιταχύνει τη διαδικασία γήρανσης. Η γήρανση αυτή οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας και μείωση της ελαστικότητας, γεγονός που καθιστά το υλικό πιο ευαίσθητο σε ρηγματώσεις. Η διαχείριση της κυκλοφορίας αποτελεί βασικό εργαλείο περιορισμού της φθοράς, μέσω της εφαρμογής μέτρων όπως ο έλεγχος υπερφορτωμένων οχημάτων, η ανακατανομή της κυκλοφορίας και η βελτιστοποίηση της ροής. Η εφαρμογή τέτοιων μέτρων μπορεί να μειώσει σημαντικά τον ρυθμό υποβάθμισης και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων, μειώνοντας παράλληλα το κόστος συντήρησης (Wanimbo et al., 2025).

3.5.2 Κλίμα

Στο πλαίσιο της μακροχρόνιας συμπεριφοράς των οδικών υποδομών, οι κλιματικοί παράγοντες συνιστούν καθοριστικό στοιχείο που επηρεάζει την εξέλιξη της φθοράς, καθώς επιδρούν άμεσα τόσο στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών όσο και στους μηχανισμούς υποβάθμισης. Ειδικότερα, οι μεταβολές της θερμοκρασίας, η υγρασία και τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα διαμορφώνουν ένα δυναμικό περιβάλλον φόρτισης, το οποίο επιταχύνει την εξέλιξη βλαβών και μειώνει τη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων. Η επίδραση του κλίματος είναι ιδιαίτερα έντονη σε ασφαλικά οδοστρώματα, λόγω της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς των υλικών, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία (Mehdi et al., 2022).

Οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε μείωση του μέτρου ελαστικότητας του ασφαλικού μίγματος, καθιστώντας το πιο ευάλωτο σε μόνιμες παραμορφώσεις. Σε θερμοκρασίες άνω των 40°C, η αντοχή του υλικού μπορεί να μειωθεί έως και 30–50%, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη αυλακώσεων και πλαστικών παραμορφώσεων στις τροχίες των οχημάτων. Αντίθετα, σε χαμηλές θερμοκρασίες, το ασφαλικό υλικό γίνεται πιο εύθραυστο, γεγονός που ευνοεί τη δημιουργία θερμικών ρηγματώσεων, ιδίως όταν οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από το σημείο εύθραυστης μετάβασης. Οι κύκλοι πήξης–τήξης αποτελούν έναν από τους πλέον επιβαρυντικούς μηχανισμούς υποβάθμισης, ιδιαίτερα σε ορεινές περιοχές. Η διείδυση νερού στους πόρους του υλικού και η επακόλουθη διαστολή κατά την πήξη προκαλούν εσωτερικές τάσεις, οι οποίες οδηγούν σε αποδιοργάνωση της δομής του οδοστρώματος. Μελέτες έχουν δείξει ότι η επαναλαμβανόμενη δράση 20–30 κύκλων πήξης–τήξης μπορεί να μειώσει τη μηχανική αντοχή των υλικών έως και 25% (Barriera et al., 2020).

Η υγρασία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα, καθώς επηρεάζει τόσο τη συνοχή των ασφαλικών μιγμάτων όσο και τη φέρουσα ικανότητα των κατώτερων στρώσεων. Η διείδυση νερού μειώνει τη συγκολλητική ικανότητα μεταξύ ασφάλτου και αδρανών, οδηγώντας σε φαινόμενα αποκόλλησης (stripping), ενώ παράλληλα αυξάνει την πίεση πόρων στο υπέδαφος, μειώνοντας την ενεργό τάση και συνεπώς την αντοχή (Mehdi et al., 2022). Από υδρολογική σκοπιά, η ένταση και η διάρκεια των βροχοπτώσεων επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία των συστημάτων αποστράγγισης. Σε περιπτώσεις έντονων καταιγίδων, όπου η ένταση βροχόπτωσης υπερβαίνει τα 80–100 mm/h, τα συστήματα απορροής συχνά υπερφορτώνονται, οδηγώντας σε συγκέντρωση υδάτων στο οδόστρωμα και επιτάχυνση της φθοράς. Η παρατεταμένη έκθεση σε υγρές συνθήκες μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος έως και 15–25% (Ceriani et al., 2025).

Συγχρόνως, η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της οξείδωσης συμβάλλει στη γήρανση της ασφάλτου, οδηγώντας σε αύξηση της σκληρότητας και μείωση της ελαστικότητας. Η διαδικασία αυτή καθιστά το υλικό πιο επιρρεπές σε ρηγματώσεις, ιδίως σε συνδυασμό με θερμικές καταπονήσεις. Το κλίμα αποτελεί έναν από τους βασικότερους εξωγενείς παράγοντες φθοράς των οδικών υποδομών, επηρεάζοντας τόσο τους μηχανισμούς υποβάθμισης όσο και τη συχνότητα των απαιτούμενων επεμβάσεων συντήρησης. Η κατανόηση των κλιματικών επιδράσεων είναι κρίσιμη

για την ανάπτυξη ανθεκτικών οδοστρωμάτων και την εφαρμογή προσαρμοσμένων στρατηγικών συντήρησης.

3.5.3 Γεωλογία

Στο πλαίσιο της γεωτεχνικής ανάλυσης, η γεωλογία αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα που επηρεάζει τη συμπεριφορά και την ανθεκτικότητα των οδικών υποδομών, καθώς καθορίζει τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους θεμελίωσης και των υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές. Η σύσταση, η δομή και η στρωματογραφία των γεωλογικών σχηματισμών επηρεάζουν άμεσα τη φέρουσα ικανότητα, τη διατμητική αντοχή και την ευστάθεια των οδοστρωμάτων και των πρανών. Αναλυτικότερα, εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο παρουσιάζουν σημαντική ευαισθησία σε μεταβολές υγρασίας, οδηγώντας σε φαινόμενα διόγκωσης και συρρίκνωσης. Οι μεταβολές αυτές προκαλούν ανομοιομορφες καθιζήσεις και ανάπτυξη ρηγματώσεων στο οδόστρωμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διόγκωση μπορεί να φτάσει το 5–10% του όγκου του εδάφους, δημιουργώντας σημαντικές καταπονήσεις στις υπερκείμενες στρώσεις.

Τα κοκκώδη εδάφη, όπως άμμοι και χαλίκια, παρουσιάζουν υψηλότερη διαπερατότητα αλλά χαμηλότερη συνοχή, γεγονός που τα καθιστά ευάλωτα σε διάβρωση και υποσκαφή. Η παρουσία νερού μπορεί να οδηγήσει σε απομάκρυνση υλικού και μείωση της φέρουσας ικανότητας, ιδίως σε περιοχές με έντονη υδραυλική δράση. Οι ασυνέχειες αυτές λειτουργούν ως ζώνες αδυναμίας, στις οποίες αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις, αυξάνοντας την πιθανότητα κατολισθήσεων. Σε ορεινές περιοχές, όπως η Ήπειρος, η γεωλογική πολυπλοκότητα σε συνδυασμό με την έντονη τεκτονική δραστηριότητα δημιουργεί συνθήκες αυξημένου γεωτεχνικού κινδύνου. Από μηχανική άποψη, η διατμητική αντοχή των εδαφών περιγράφεται από το κριτήριο Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan \varphi$$

όπου c είναι η συνοχή και φ η γωνία εσωτερικής τριβής. Σε αργιλικά εδάφη, η τιμή της συνοχής μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 20 και 100 kPa, ενώ σε χαλαρά κοκκώδη εδάφη μπορεί να είναι σχεδόν μηδενική. Η μείωση της ενεργού τάσης λόγω αύξησης της πίεσης πόρων οδηγεί σε σημαντική μείωση της αντοχής και αυξημένο κίνδυνο αστοχίας. Συγχρόνως, η γεωλογία επηρεάζει και τη διαθεσιμότητα κατάλληλων υλικών για την κατασκευή των οδοστρωμάτων. Η χρήση υλικών

χαμηλής ποιότητας, λόγω περιορισμένων τοπικών πόρων, μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αντοχή και αυξημένο ρυθμό φθοράς. Μελέτες δείχνουν ότι η χρήση ακατάλληλων υλικών μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος έως και 20–30% (Radwan et al., 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΠΑΡΧΙΑΚΩΝ ΟΔΩΝ

4.1 Ασφαλικές επεμβάσεις

4.1.1 Σφράγιση ρωγμών

Στο πλαίσιο των σύγχρονων στρατηγικών διαχείρισης οδικών υποδομών, οι ασφαλικές επεμβάσεις αποτελούν τον βασικό πυλώνα προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης των επαρχιακών οδών, καθώς επιτρέπουν την αποκατάσταση της λειτουργικότητας του οδοστρώματος με σχετικά χαμηλό κόστος και περιορισμένη διακοπή της κυκλοφορίας. Ειδικότερα, η σφράγιση ρωγμών (crack sealing) αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές, η οποία εφαρμόζεται σε πρώιμα στάδια φθοράς με στόχο την αποτροπή της διείσδυσης υγρασίας και την επιβράδυνση της εξέλιξης των μηχανισμών υποβάθμισης. Η σημασία της τεχνικής αυτής είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε επαρχιακά δίκτυα, όπου η έλλειψη συστηματικής συντήρησης οδηγεί σε ταχεία επιδείνωση των ρωγμών και σε ανάπτυξη δευτερογενών φθορών (Abed et al., 2023).

Οι ρωγμές αποτελούν την κύρια πύλη εισόδου νερού στο οδόστρωμα, γεγονός που οδηγεί σε μείωση της συνοχής των ασφαλικών στρώσεων και σε αύξηση της πίεσης πόρων στα κατώτερα στρώματα. Η διείσδυση υγρασίας μπορεί να μειώσει τη φέρουσα ικανότητα έως και 30%, επιταχύνοντας την εξέλιξη της φθοράς (Mehdi et al., 2022). Η έγκαιρη σφράγιση των ρωγμών αποτρέπει τη διαδικασία αυτή, διατηρώντας την ακεραιότητα της κατασκευής και παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος κατά 3–5 έτη, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες (Ceriani et al., 2025).

Από τεχνική άποψη, η διαδικασία σφράγισης περιλαμβάνει διαδοχικά στάδια, τα οποία επηρεάζουν καθοριστικά την αποτελεσματικότητα της επέμβασης. Αρχικά, πραγματοποιείται καθαρισμός της

ρωγμής με χρήση πεπιεσμένου αέρα ή θερμού αέρα υψηλής πίεσης, ώστε να απομακρυνθούν σκόνη, χαλαρά υλικά και υγρασία. Στη συνέχεια, σε περιπτώσεις ευρύτερων ρωγμών (πλάτους άνω των 6 mm), εφαρμόζεται διαμόρφωση της διατομής (routing), ώστε να εξασφαλιστεί καλύτερη πρόσφυση του υλικού πλήρωσης. Η πλήρωση πραγματοποιείται με ελαστομερή ασφαλτικά υλικά ή πολυμερή τροποποιημένες μαστίχες, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλή ελαστικότητα και αντοχή σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχία της επέμβασης. Τα σύγχρονα υλικά σφράγισης χαρακτηρίζονται από ελαστικότητα άνω του 300% και αντοχή σε θερμοκρασιακό εύρος από -20°C έως $+60^{\circ}\text{C}$, γεγονός που επιτρέπει την απορρόφηση των κινήσεων του οδοστρώματος χωρίς δημιουργία νέων ρωγμών. Επιπλέον, η πρόσφυση του υλικού με τα τοιχώματα της ρωγμής επηρεάζει άμεσα τη διάρκεια ζωής της επέμβασης, η οποία κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3 και 7 ετών (Hossain et al., 2025).

Η γεωμετρία της ρωγμής επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της σφράγισης. Για βέλτιστη απόδοση, ο λόγος πλάτους προς βάθος του υλικού πλήρωσης πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1:1 και 2:1, ώστε να επιτρέπεται η ελαστική παραμόρφωση χωρίς αποκόλληση. Σε περιπτώσεις όπου το βάθος της ρωγμής είναι μεγάλο, χρησιμοποιείται υλικό πλήρωσης βάσης (backer rod) για τον έλεγχο της διατομής. Από οικονομική σκοπιά, η σφράγιση ρωγμών αποτελεί μία από τις πλέον αποδοτικές επεμβάσεις συντήρησης, καθώς το κόστος της κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 €/m, ενώ η αποφυγή εκτεταμένων φθορών μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος συντήρησης έως και 4–5 φορές σε βάθος χρόνου (Wanimbo et al., 2025). Η εφαρμογή της σε πρώιμα στάδια φθοράς είναι καθοριστική, καθώς η καθυστέρηση οδηγεί σε ανάπτυξη λακκουβών και ανάγκη εκτεταμένων αποκαταστάσεων. Συγχρόνως, η αποτελεσματικότητα της σφράγισης εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την εφαρμογή. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος πρέπει να κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 10°C και 40°C , ενώ η παρουσία υγρασίας μειώνει σημαντικά την πρόσφυση του υλικού. Επιπλέον, η εφαρμογή σε οδοστρώματα με έντονη κυκλοφορία απαιτεί κατάλληλη διαχείριση της κυκλοφορίας, ώστε να αποφευχθεί η πρόωρη φθορά του υλικού.

Επιπροσθέτως, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της επέμβασης πραγματοποιείται μέσω δεικτών απόδοσης, όπως η μείωση της διείσδυσης νερού και η καθυστέρηση ανάπτυξης νέων ρωγμών. Μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή σφράγισης μπορεί να μειώσει τον ρυθμό ανάπτυξης ρωγμών έως και 50%, βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα κύλισης και μειώνοντας τον δείκτη

τραχύτητας (Ceriani et al., 2025). Η σφράγιση ρωγμών αποτελεί βασική τεχνική προληπτικής συντήρησης των επαρχιακών οδών, η οποία συμβάλλει στη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας των οδοστρωμάτων και στη μείωση του κόστους συντήρησης. Η ορθή εφαρμογή της, σε συνδυασμό με την κατάλληλη επιλογή υλικών και τον έγκαιρο προγραμματισμό, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη βιώσιμη διαχείριση των οδικών υποδομών.

4.1.2 Φρεζάρισμα

Στο πλαίσιο των επεμβάσεων συντήρησης ασφαλικών οδοστρωμάτων, το φρεζάρισμα (milling) αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές αποκατάστασης, η οποία εφαρμόζεται για την αφαίρεση φθαρμένων ή αστοχημένων στρώσεων του οδοστρώματος με στόχο την αποκατάσταση της επιφανειακής ποιότητας και της δομικής επάρκειας. Η μέθοδος βασίζεται στη χρήση ειδικών μηχανημάτων φρεζαρίσματος, τα οποία διαθέτουν περιστρεφόμενους κυλίνδρους με κοπτικά εργαλεία (cutting teeth), ικανά να αφαιρούν ελεγχόμενο πάχος υλικού, συνήθως μεταξύ 30 mm και 100 mm, ανάλογα με το βάθος της φθοράς.

. Η ακρίβεια της επέμβασης καθορίζεται από παραμέτρους όπως η ταχύτητα προώθησης του μηχανήματος, η ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου και η σκληρότητα του ασφαλικού υλικού. Σε τυπικές εφαρμογές, η παραγωγικότητα κυμαίνεται μεταξύ 200 και 800 m²/h, ανάλογα με το βάθος κοπής και τις συνθήκες λειτουργίας. Η γεωμετρία της επιφάνειας μετά το φρεζάρισμα παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα της επόμενης στρώσης. Η δημιουργία ομοιόμορφης τραχύτητας εξασφαλίζει καλύτερη πρόσφυση της νέας ασφαλικής στρώσης, μειώνοντας τον κίνδυνο αποκόλλησης. Η εφαρμογή συγκολλητικής επάλειψης (tack coat) μετά το φρεζάρισμα είναι απαραίτητη, καθώς ενισχύει τη συνάφεια μεταξύ των στρώσεων και βελτιώνει τη συνολική μηχανική συμπεριφορά.

Από μηχανική άποψη, το φρεζάρισμα συμβάλλει στη μείωση των εφελκυστικών παραμορφώσεων στην επιφάνεια του οδοστρώματος, καθώς απομακρύνει τις ασθενείς ζώνες και επιτρέπει την ανακατανομή των φορτίων. Η απομάκρυνση αυλακώσεων βάθους άνω των 10–15 mm μειώνει τον κίνδυνο υδρολίστεσης και βελτιώνει την απορροή των υδάτων. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητα ανακύκλωσης του αφαιρεθέντος υλικού (Reclaimed Asphalt Pavement

– RAP), το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε νέες ασφαλικές στρώσεις. Το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης μπορεί να φτάσει το 20–40%, μειώνοντας σημαντικά το κόστος και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της επέμβασης (Hasan et al., 2020). Το κόστος φρεζαρίσματος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3 και 8 €/m², ανάλογα με το βάθος και τις συνθήκες εφαρμογής. Η συνδυασμένη εφαρμογή φρεζαρίσματος και νέας ασφαλικής στρώσης αποτελεί μία από τις πλέον αποδοτικές λύσεις, καθώς παρατείνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος κατά 8–12 έτη (Wanimbo et al., 2025).

4.1.3 Νέα ασφαλική στρώση

Η εφαρμογή νέας ασφαλικής στρώσης (overlay) αποτελεί βασική μέθοδο αποκατάστασης της λειτουργικότητας και της δομικής επάρκειας των οδοστρωμάτων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η φθορά έχει προχωρήσει σε στάδιο που δεν επιτρέπει απλές προληπτικές επεμβάσεις. Η νέα στρώση λειτουργεί ως πρόσθετο δομικό στοιχείο, το οποίο βελτιώνει τη φέρουσα ικανότητα και αποκαθιστά την επιφανειακή ποιότητα. Το πάχος της νέας ασφαλικής στρώσης καθορίζεται βάσει της υφιστάμενης κατάστασης του οδοστρώματος και των κυκλοφοριακών φορτίων. Σε επαρχιακές οδούς, το πάχος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 40 mm και 80 mm, ενώ σε περιπτώσεις υψηλής καταπόνησης μπορεί να φτάσει τα 100 mm. Η επιλογή του κατάλληλου μίγματος είναι κρίσιμη, με τη χρήση τροποποιημένων ασφαλικών να βελτιώνει σημαντικά την αντοχή σε κόπωση και παραμόρφωση.

Από τεχνική σκοπιά, η επιτυχία της επέμβασης εξαρτάται από την προετοιμασία της επιφάνειας, η οποία περιλαμβάνει καθαρισμό, εφαρμογή συγκολλητικής επάλειψης και διόρθωση ανωμαλιών. Η ανεπαρκής προετοιμασία μπορεί να οδηγήσει σε αποκόλληση της νέας στρώσης και πρόωρη αστοχία. Η εφαρμογή πραγματοποιείται με ασφαλτοστρωτήρες υψηλής ακρίβειας, οι οποίοι εξασφαλίζουν ομοιόμορφο πάχος και σωστή συμπίκνωση. Η συμπίκνωση αποτελεί κρίσιμο στάδιο, καθώς επηρεάζει άμεσα την αντοχή και τη διάρκεια ζωής της στρώσης. Ο βαθμός συμπίκνωσης πρέπει να υπερβαίνει το 92–96% της μέγιστης θεωρητικής πυκνότητας, προκειμένου να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη μηχανική συμπεριφορά. Ανεπαρκής συμπίκνωση οδηγεί σε αυξημένη διαπερατότητα και ταχύτερη υποβάθμιση.

Από λειτουργική σκοπιά, η εφαρμογή νέας ασφαλικής στρώσης οδηγεί σε σημαντική βελτίωση του δείκτη τραχύτητας, με μείωση του IRI κατά 30–50%, γεγονός που βελτιώνει την άνεση κύλισης και μειώνει το λειτουργικό κόστος των οχημάτων (Ceriani et al., 2025). Παράλληλα, η νέα στρώση συμβάλλει στη μείωση της έντασης των υφιστάμενων ρηγματώσεων, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστεί το φαινόμενο της ανακλαστικής ρηγμάτωσης (reflective cracking). Το κόστος κατασκευής νέας ασφαλικής στρώσης κυμαίνεται μεταξύ 10 και 25 €/m², ανάλογα με το πάχος και τον τύπο του μίγματος. Ωστόσο, η επέμβαση αυτή προσφέρει σημαντική αύξηση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος, η οποία μπορεί να φτάσει τα 10–15 έτη, καθιστώντας την ιδιαίτερα αποδοτική σε επίπεδο κύκλου ζωής (Wanimbo et al., 2025). Το φρεζάρισμα σε συνδυασμό με την εφαρμογή νέας ασφαλικής στρώσης αποτελεί μία ολοκληρωμένη τεχνική αποκατάστασης, η οποία επιτρέπει την ανανέωση της επιφάνειας του οδοστρώματος, τη βελτίωση της δομικής επάρκειας και τη σημαντική παράταση της διάρκειας ζωής των επαρχιακών οδών.

4.2 Βελτίωση αποστράγγισης

4.2.1 Τάφροι

Υπό το πρίσμα της υδραυλικής και γεωτεχνικής συμπεριφοράς των οδικών υποδομών, η αποστράγγιση συνιστά κρίσιμο παράγοντα διατήρησης της δομικής ακεραιότητας των επαρχιακών οδών, δεδομένου ότι η παρουσία νερού επιδρά καταλυτικά στη μείωση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων και στην επιτάχυνση της εξέλιξης φθορών. Ιδίως σε περιοχές με έντονη μορφολογία και υψηλή βροχόπτωση, όπως οι ορεινοί όγκοι της Ηπείρου, η ανεπαρκής απομάκρυνση των υδάτων οδηγεί σε αύξηση της υγρασίας του υπεδάφους, με αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργού τάσης και την αποσταθεροποίηση του οδοστρώματος (Mehdi et al., 2022). Σε αυτό το πλαίσιο, οι τάφροι αποστράγγισης λειτουργούν ως πρωτεύοντα γραμμικά έργα υδρολογικής διαχείρισης, τα οποία συλλέγουν και απομακρύνουν τις επιφανειακές απορροές πριν αυτές διεισδύσουν στις δομικές στρώσεις.

Η διαστασιολόγηση των τάφρων βασίζεται στον προσδιορισμό της παροχής αιχμής, η οποία εξαρτάται από την ένταση βροχόπτωσης και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Σε τυπικές

επαρχιακές περιοχές, τιμές έντασης βροχόπτωσης i κυμαίνονται μεταξύ 50 και 120 mm/h, ενώ ο συντελεστής απορροής C λαμβάνει τιμές 0.4–0.9, ανάλογα με την επιφάνεια. Για λεκάνη απορροής 0.5 km², η παροχή μπορεί να υπερβεί τα 6–8 m³/s, γεγονός που απαιτεί σημαντική διατομή τάφρου για την αποφυγή υπερχειλίσσης (Li et al., 2020).

Από πλευράς υδραυλικού σχεδιασμού, η ικανότητα μεταφοράς των τάφρων εξαρτάται από την ταχύτητα ροής, η οποία πρέπει να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα διάβρωσης ή καθίζησης υλικών. Για χωμάτινες τάφρους, η επιτρεπόμενη ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1.5 m/s, ενώ για επενδεδυμένες τάφρους μπορεί να φτάσει τα 2–3 m/s. Υπέρβαση αυτών των τιμών οδηγεί σε διάβρωση του πυθμένα και των πρανών, με αποτέλεσμα την υποσκαφή και τη σταδιακή αστοχία του έργου. Αναφορικά με τη γεωμετρία, οι τάφροι σχεδιάζονται συνήθως με τραπεζοειδή διατομή, όπου το πλάτος πυθμένα κυμαίνεται από 0.4 έως 1.2 m και το βάθος από 0.6 έως 1.8 m. Η κλίση πρανών επιλέγεται συνήθως μεταξύ 1:1.5 και 1:2, ώστε να διασφαλίζεται η ευστάθεια σε εδάφη χαμηλής συνοχής. Η υδραυλική ακτίνα R επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα ροής και συνεπώς την παροχετευτικότητα, ενώ η κλίση του πυθμένα S λαμβάνει τιμές μεταξύ 0.5% και 5%, ανάλογα με το ανάγλυφο.

Από γεωτεχνική άποψη, η αλληλεπίδραση των τάφρων με τα πρανή της οδού είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς η ανεπαρκής αποστράγγιση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της πίεσης πόρων και ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων. Η παρουσία νερού πίσω από πρανή αυξάνει το βάρος του εδάφους κατά 10–20% και μειώνει τη διατμητική αντοχή, οδηγώντας σε μείωση του συντελεστή ασφαλείας έως και 30% (Wanimbo et al., 2025). Η σωστή λειτουργία των τάφρων συμβάλλει στη διατήρηση χαμηλών επιπέδων υγρασίας και στην αποτροπή τέτοιων φαινομένων. Η λειτουργική απόδοση των τάφρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συντήρησή τους. Η συσσώρευση φερτών υλών, βλάστησης και απορριμμάτων μπορεί να μειώσει τη διατομή ροής έως και 40–60%, περιορίζοντας δραστικά την παροχετευτικότητα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ακόμη και μέτριες βροχοπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε υπερχειλίση και εισροή υδάτων στο οδόστρωμα, με άμεση συνέπεια την ανάπτυξη φθορών όπως λακκούβες και καθιζήσεις (Barriera et al., 2020).

Η κατασκευή τάφρων αποτελεί σχετικά χαμηλού κόστους επέμβαση, με κόστος που κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 €/m, ωστόσο η συμβολή τους στη μείωση της φθοράς είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η αποτελεσματική αποστράγγιση μπορεί να αυξήσει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος κατά 20–40%, μειώνοντας παράλληλα τις ανάγκες για δαπανηρές επεμβάσεις αποκατάστασης (Ceriani et al., 2025).

Πίνακας 4.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά και όρια σχεδιασμού τάφρων

Παράμετρος	Τυπικές τιμές	Επιπτώσεις υπέρβασης
Ταχύτητα ροής	0.5 – 1.5 m/s (χωμάτινες)	Διάβρωση >1.5 m/s
Κλίση πυθμένα	0.5% – 5%	Υπερχείλιση ή διάβρωση
Πλάτος πυθμένα	0.4 – 1.2 m	Μείωση παροχετευτικότητας
Βάθος τάφρου	0.6 – 1.8 m	Υπερχείλιση
Μείωση διατομής	έως 60% (χωρίς συντήρηση)	Αστοχία αποστράγγισης

Οι τάφροι αποστράγγισης αποτελούν κρίσιμο στοιχείο της λειτουργίας των επαρχιακών οδών, καθώς ελέγχουν την επιφανειακή ροή και περιορίζουν τη διείσδυση υδάτων στις δομικές στρώσεις. Η ορθολογική διαστασιολόγηση, η σωστή κατασκευή και η τακτική συντήρηση αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την αποτελεσματική λειτουργία τους και τη μακροχρόνια διατήρηση της ποιότητας των οδοστρωμάτων.

4.2.2 Οχετοί

Στο πλαίσιο της υδραυλικής λειτουργίας των οδικών υποδομών, οι οχετοί αποτελούν κρίσιμα τεχνικά έργα αποστράγγισης, τα οποία διασφαλίζουν τη διέλευση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων κάτω από το οδόστρωμα, αποτρέποντας τη συγκέντρωση νερού και την επακόλουθη αποσταθεροποίηση των δομικών στρώσεων. Σε επαρχιακά δίκτυα, όπου η αποστράγγιση συχνά είναι ελλιπής, η σωστή λειτουργία των οχετών συνδέεται άμεσα με τη διατήρηση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος και την αποφυγή εκτεταμένων βλαβών.

Ο σχεδιασμός των οχετών βασίζεται στον υπολογισμό της παροχής αιχμής, η οποία επηρεάζεται από τη μορφολογία της λεκάνης απορροής, τη βλάστηση και την ένταση των βροχοπτώσεων. Σε ορεινές περιοχές, οι τιμές παροχής μπορεί να κυμαίνονται από 2 έως 15 m³/s, ακόμη και για σχετικά

μικρές λεκάνες ($<1 \text{ km}^2$), γεγονός που επιβάλλει τη χρήση επαρκών διατομών. Η υδραυλική ικανότητα ενός οχετού εξαρτάται από τη διάμετρο ή τις διαστάσεις της διατομής, με τυπικούς διαμέτρους κυκλικών οχετών να κυμαίνονται μεταξύ 0.6 m και 2.0 m.

Η ροή στους οχετούς μπορεί να είναι ελεύθερη ή υπό πίεση, ανάλογα με τη στάθμη του νερού και τις συνθήκες εισόδου. Σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων, η πλήρωση της διατομής οδηγεί σε ροή υπό πίεση, αυξάνοντας τις υδραυλικές καταπονήσεις και τον κίνδυνο αστοχίας. Η ταχύτητα ροής κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1.0 και 3.0 m/s, ενώ τιμές άνω των 4 m/s μπορεί να προκαλέσουν έντονη διάβρωση του πυθμένα και των πρανών. Από γεωτεχνική σκοπιά, η λειτουργία των οχετών επηρεάζει άμεσα την ευστάθεια του επιχώματος, καθώς η ανεπαρκής αποστράγγιση οδηγεί σε αύξηση της πίεσης πόρων και μείωση της διατμητικής αντοχής. Η υποσκαφή των θεμελίων λόγω υψηλών ταχυτήτων ροής αποτελεί έναν από τους κύριους μηχανισμούς αστοχίας, με απώλεια υλικού που μπορεί να φτάσει τα 5–10 cm ανά έτος σε ακραίες συνθήκες (Li et al., 2020).

Η απόφραξη των οχετών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αιτίες λειτουργικής αστοχίας. Η συσσώρευση φερτών υλών, κλαδιών και ιζημάτων μπορεί να μειώσει τη διατομή ροής έως και 70%, οδηγώντας σε υπερχειλίση και εκτροπή των υδάτων προς το οδόστρωμα. Μελέτες δείχνουν ότι ακόμη και μείωση 30% της διατομής μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη στάθμη ροής, προκαλώντας υπερφόρτιση του συστήματος (Barriera et al., 2020). Από οικονομική σκοπιά, η συντήρηση των οχετών παρουσιάζει υψηλό δείκτη αποδοτικότητας, καθώς το κόστος καθαρισμού κυμαίνεται μεταξύ 5 και 15 €/m, ενώ η αποκατάσταση αστοχίας μπορεί να υπερβεί τα 200–500 €/m. Η προληπτική συντήρηση μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο καταστροφής και συμβάλλει στη μακροχρόνια λειτουργικότητα του οδικού δικτύου (Wanimbo et al., 2025).

4.2.3 Τεχνικά έργα απορροής

Πέραν των τάφρων και των οχετών, τα τεχνικά έργα απορροής περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα κατασκευών που αποσκοπούν στη διαχείριση της επιφανειακής και υπόγειας ροής, όπως φρεάτια υδροσυλλογής, αγωγοί αποχέτευσης, επενδεδυμένα κανάλια και διατάξεις εκτόνωσης ενέργειας. Η λειτουργία τους είναι κρίσιμη για τη συνολική απόδοση του συστήματος αποστράγγισης, καθώς εξασφαλίζουν τη συλλογή, μεταφορά και διάθεση των υδάτων με ελεγχόμενο τρόπο.

Σκοπιά, τα έργα αυτά σχεδιάζονται ώστε να αντέχουν σε ακραίες συνθήκες ροής, λαμβάνοντας υπόψη περιόδους επαναφοράς 10–50 ετών για επαρχιακά δίκτυα. Οι αγωγοί αποχέτευσης κατασκευάζονται συνήθως από σκυρόδεμα ή πλαστικά υλικά υψηλής αντοχής, με διαμέτρους που κυμαίνονται από 300 mm έως 1500 mm. Η ταχύτητα ροής στους αγωγούς πρέπει να διατηρείται εντός ορίων 0.8–3.0 m/s, ώστε να αποφεύγεται η καθίζηση φερτών υλών ή η διάβρωση. Οι διατάξεις εκτόνωσης ενέργειας (energy dissipators), οι οποίες τοποθετούνται στα σημεία εξόδου των αγωγών ή των οχετών για τη μείωση της ταχύτητας του νερού. Η απουσία τέτοιων διατάξεων μπορεί να οδηγήσει σε έντονη διάβρωση, με απώλεια υλικού που ξεπερνά τα 10 cm σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η χρήση λιθορριπής ή σκυροδέματος μειώνει σημαντικά την κινητική ενέργεια της ροής και προστατεύει τα πρανή.

Τα φρεάτια υδροσυλλογής συμβάλλουν στη συγκέντρωση των επιφανειακών απορροών και στη διοχέτευσή τους στους αγωγούς. Η απόσταση μεταξύ των φρεατίων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 20 και 50 m, ανάλογα με την κλίση της οδού και την ένταση των βροχοπτώσεων. Η ανεπαρκής πυκνότητα φρεατίων οδηγεί σε υπερχειλίση και συγκέντρωση υδάτων στο οδόστρωμα. Η αποτελεσματικότητα των έργων απορροής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συντήρησή τους. Η συσσώρευση ιζημάτων μπορεί να μειώσει τη διατομή των αγωγών έως και 40%, ενώ η απόφραξη φρεατίων οδηγεί σε τοπικές πλημμύρες και επιταχυνόμενη φθορά του οδοστρώματος (Ceriani et al., 2025).

Πίνακας 4.2 : Τεχνικά χαρακτηριστικά οχετών και έργων απορροής

Παράμετρος	Τυπικές τιμές	Επιπτώσεις αστοχίας
Διάμετρος οχετών	0.6 – 2.0 m	Υπερχείλιση
Ταχύτητα ροής	1 – 3 m/s	Διάβρωση >4 m/s
Απόφραξη διατομής	έως 70%	Πλημμύρα
Διάμετρος αγωγών	300 – 1500 mm	Μειωμένη παροχή
Απόσταση φρεατίων	20 – 50 m	Συγκέντρωση υδάτων

Οι οχετοί και τα τεχνικά έργα απορροής αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία του συστήματος αποστράγγισης των επαρχιακών οδών, καθώς εξασφαλίζουν τη διαχείριση των υδάτων και την

προστασία των οδοστρωμάτων από υδραυλικές καταπονήσεις. Η ορθή διαστασιολόγηση, η επαρκής κατασκευή και η τακτική συντήρηση αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και της ανθεκτικότητας των οδικών υποδομών.

4.3 Μέτρα οδικής ασφάλειας

4.3.1 Στηθαία ασφαλείας

Στο πλαίσιο της λειτουργίας των οδικών υποδομών, τα μέτρα οδικής ασφάλειας αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της διαχείρισης και συντήρησης των επαρχιακών οδών, καθώς συμβάλλουν άμεσα στη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων και στη διασφάλιση της προστασίας των χρηστών. Μεταξύ των βασικότερων στοιχείων παθητικής ασφάλειας συγκαταλέγονται τα στηθαία ασφαλείας, τα οποία έχουν ως κύρια λειτουργία την αποτροπή εκτροπής των οχημάτων εκτός οδού και τη μείωση των συνεπειών πρόσκρουσης σε επικίνδυνα εμπόδια. Η σημασία τους είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε επαρχιακά δίκτυα, όπου οι γεωμετρικές συνθήκες, όπως έντονες καμπύλες, μεγάλες κλίσεις και απότομα πρηνή, αυξάνουν τον κίνδυνο εκτροπής.

Τα στηθαία ασφαλείας διακρίνονται σε μεταλλικά, σκυροδετημένα και συστήματα καλωδίων, με την επιλογή τους να εξαρτάται από το επίπεδο συγκράτησης που απαιτείται, τις συνθήκες κυκλοφορίας και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Τα μεταλλικά στηθαία τύπου W-beam αποτελούν την πιο διαδεδομένη λύση σε επαρχιακές οδούς, λόγω του χαμηλού κόστους και της ικανότητάς τους να απορροφούν ενέργεια μέσω πλαστικής παραμόρφωσης. Το ύψος εγκατάστασης κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0.70 m και 0.80 m, ενώ η απόσταση μεταξύ των ορθοστατών είναι τυπικά 2.0 m έως 4.0 m, ανάλογα με το επίπεδο συγκράτησης. Η μηχανική λειτουργία των στηθαίων βασίζεται στην απορρόφηση της κινητικής ενέργειας του οχήματος κατά την πρόσκρουση. Η ενέργεια αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$E = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

όπου m είναι η μάζα του οχήματος και v η ταχύτητα πρόσκρουσης. Για παράδειγμα, όχημα μάζας 1.500 kg που κινείται με ταχύτητα 80 km/h (≈ 22.2 m/s) αναπτύσσει κινητική ενέργεια περίπου 370 kJ, η οποία πρέπει να απορροφηθεί ή να ανακατευθυνθεί από το στηθαίο. Σε περιπτώσεις βαρέων

οχημάτων, η ενέργεια αυτή μπορεί να υπερβεί το 1 MJ, γεγονός που απαιτεί συστήματα υψηλότερης αντοχής. Τα επίπεδα συγκράτησης των στηθαίων καθορίζονται σύμφωνα με ευρωπαϊκά πρότυπα (EN 1317), τα οποία ορίζουν κατηγορίες όπως N2, H1 και H2, ανάλογα με την ικανότητα συγκράτησης. Για επαρχιακές οδούς, συνήθως χρησιμοποιούνται συστήματα κατηγορίας N2, τα οποία είναι σχεδιασμένα να συγκρατούν επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά, ενώ σε περιοχές υψηλού κινδύνου επιλέγονται συστήματα H1 ή H2.

Η σωστή τοποθέτηση των στηθαίων είναι κρίσιμη για την αποτελεσματικότητά τους. Η απόσταση από το άκρο του οδοστρώματος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0.5 m και 1.5 m, ενώ η παρουσία κατάλληλης ζώνης παραμόρφωσης πίσω από το στηθαίο είναι απαραίτητη για την απορρόφηση ενέργειας. Η ανεπαρκής τοποθέτηση μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία του συστήματος και αύξηση της σοβαρότητας του ατυχήματος. Η διάβρωση των μεταλλικών στοιχείων, οι παραμορφώσεις λόγω προηγούμενων συγκρούσεων και η χαλάρωση των συνδέσεων μειώνουν σημαντικά την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Μελέτες έχουν δείξει ότι η απώλεια διατομής λόγω διάβρωσης κατά 20% μπορεί να μειώσει την αντοχή του συστήματος έως και 30% (Hossain et al., 2025).

Η συμβολή των στηθαίων στη μείωση των ατυχημάτων είναι σημαντική. Στατιστικές αναλύσεις δείχνουν ότι η εγκατάσταση κατάλληλων συστημάτων συγκράτησης μπορεί να μειώσει τη σοβαρότητα των ατυχημάτων εκτροπής κατά 40–60%, ιδίως σε ορεινές περιοχές με αυξημένο κίνδυνο πτώσης σε πρηνή (Angelo et al., 2023). Η αποτελεσματικότητα αυτή εξαρτάται από τη σωστή επιλογή τύπου και την τακτική συντήρηση. Το κόστος εγκατάστασης μεταλλικών στηθαίων κυμαίνεται μεταξύ 40 και 120 €/m, ανάλογα με την κατηγορία και τις συνθήκες τοποθέτησης, ενώ το κόστος συντήρησης είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με το κόστος αποκατάστασης ατυχημάτων. Η επένδυση σε τέτοια μέτρα θεωρείται ιδιαίτερα αποδοτική, καθώς μειώνει τόσο το κοινωνικό όσο και το οικονομικό κόστος των τροχαίων συμβάντων (Wanimbo et al., 2025).

Πίνακας 4.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά στηθαίων ασφαλείας

Παράμετρος	Τυπικές τιμές	Επιπτώσεις αστοχίας
Ύψος στηθαίου	0.70 – 0.80 m	Ανεπαρκής συγκράτηση
Απόσταση ορθοστατών	2 – 4 m	Μείωση αντοχής

Επίπεδο συγκράτησης	N2 – H2	Ανεπάρκεια σε βαρέα φορτία
Ενέργεια πρόσκρουσης	300 – 1000 kJ	Καταστροφή συστήματος
Διάβρωση	έως 20% απώλεια	-30% αντοχή

4.3.2 Διαγραμμίσεις

Στο πλαίσιο των μέτρων ενεργητικής οδικής ασφάλειας, οι διαγραμμίσεις αποτελούν κρίσιμο λειτουργικό στοιχείο των επαρχιακών οδών, καθώς καθοδηγούν την κυκλοφορία, οριοθετούν τις λωρίδες και βελτιώνουν την ορατότητα, ιδίως υπό δυσμενείς συνθήκες φωτισμού και καιρού. Η απόδοσή τους συνδέεται άμεσα με τη φωτομετρική τους συμπεριφορά, και συγκεκριμένα με τον συντελεστή οπισθοανάκλασης (retroreflectivity), ο οποίος μετράται σε mcd/m²/lux. Τυπικές αποδεκτές τιμές κυμαίνονται άνω των 150 mcd/m²/lux για λευκές διαγραμμίσεις και άνω των 100 mcd/m²/lux για κίτρινες, ενώ τιμές κάτω από αυτά τα όρια θεωρούνται ανεπαρκείς και απαιτούν ανανέωση (Hossain et al., 2025).

Τα υλικά διαγράμμισης περιλαμβάνουν θερμοπλαστικά, ψυχρά χρώματα και συστήματα υψηλής αντοχής με γυάλινες σφαιρίδια (glass beads), τα οποία ενισχύουν την οπισθοανάκλαση. Το πάχος εφαρμογής των θερμοπλαστικών υλικών κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1.5 και 3.0 mm, ενώ η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 2 έως 5 έτη, ανάλογα με την ένταση της κυκλοφορίας. Σε επαρχιακές οδούς με υψηλό ποσοστό βαρέων οχημάτων, η φθορά επιταχύνεται σημαντικά, με απώλεια της οπισθοανάκλασης έως και 50% εντός των πρώτων 12–18 μηνών. Η επίδραση της κυκλοφορίας είναι καθοριστική, καθώς αύξηση του AADT κατά 25% μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής των διαγραμμίσεων έως και 30% (Ceriani et al., 2025). Παράλληλα, η θερμοκρασία επηρεάζει την πρόσφυση των υλικών, με υψηλές θερμοκρασίες να οδηγούν σε μαλάκυνση και χαμηλές σε αυξημένη ευθραυστότητα.

Η γεωμετρία των διαγραμμίσεων επηρεάζει την αποτελεσματικότητά τους. Το πλάτος των γραμμών κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 10 και 15 cm, ενώ η απόσταση των διακεκομμένων γραμμών καθορίζεται από την ταχύτητα σχεδιασμού. Για παράδειγμα, σε οδούς με ταχύτητα 80 km/h, το μήκος γραμμής μπορεί να είναι 3 m και το διάκενο 9 m, εξασφαλίζοντας επαρκή ορατότητα. Από

λειτουργική άποψη, η παρουσία επαρκών διαγραμμίσεων μπορεί να μειώσει τα ατυχήματα λόγω εκτροπής ή σύγκρουσης κατά 20–40%, ιδίως σε οδούς με περιορισμένο φωτισμό (Angelo et al., 2023). Η συμβολή τους είναι ιδιαίτερα σημαντική σε επαρχιακά δίκτυα, όπου η έλλειψη φωτισμού καθιστά τη νυχτερινή οδήγηση πιο επικίνδυνη. Το κόστος εφαρμογής διαγραμμίσεων κυμαίνεται μεταξύ 1 και 4 €/m², ενώ η τακτική ανανέωση τους αποτελεί χαμηλού κόστους αλλά υψηλής αποτελεσματικότητας μέτρο. Η καθυστέρηση συντήρησης οδηγεί σε αύξηση του κινδύνου ατυχημάτων και συνεπώς σε υψηλότερο κοινωνικό κόστος.

4.3.3 Σήμανση

Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης της οδικής ασφάλειας, η κατακόρυφη σήμανση αποτελεί βασικό μέσο επικοινωνίας μεταξύ της υποδομής και των χρηστών, παρέχοντας πληροφορίες, προειδοποιήσεις και κανονισμούς που διέπουν την κυκλοφορία. Η αποτελεσματικότητα της σήμανσης εξαρτάται από τη γεωμετρία, την τοποθέτηση και τις φωτομετρικές ιδιότητες των πινακίδων, με τον συντελεστή ανακλαστικότητας να αποτελεί κρίσιμο δείκτη απόδοσης.

Οι πινακίδες κατασκευάζονται από ανακλαστικά υλικά υψηλής έντασης, με τιμές ανακλαστικότητας που κυμαίνονται από 100 έως 500 cd/lux/m², ανάλογα με την κατηγορία. Η διάρκεια ζωής των υλικών αυτών κυμαίνεται μεταξύ 7 και 12 ετών, ωστόσο η έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία και καιρικές συνθήκες οδηγεί σε σταδιακή μείωση της απόδοσης. Μελέτες δείχνουν ότι η ανακλαστικότητα μπορεί να μειωθεί έως και 50% μετά από 5–7 έτη, επηρεάζοντας αρνητικά την ορατότητα (Hossain et al., 2025). Η τοποθέτηση των πινακίδων πρέπει να λαμβάνει υπόψη την απόσταση ορατότητας, η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα σχεδιασμού. Για παράδειγμα, σε οδούς με ταχύτητα 80 km/h, η ελάχιστη απόσταση ορατότητας πρέπει να υπερβαίνει τα 100–120 m, ώστε ο οδηγός να έχει επαρκή χρόνο αντίδρασης. Το ύψος τοποθέτησης κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1.5 m και 2.2 m από την επιφάνεια του οδοστρώματος.

Η λειτουργική απόδοση της σήμανσης επηρεάζεται από παράγοντες όπως η βλάστηση, η ρύπανση και οι μηχανικές βλάβες. Η κάλυψη πινακίδων από βλάστηση ή η παρουσία ρύπων μπορεί να μειώσει την ορατότητα έως και 30–40%, ενώ οι παραμορφώσεις λόγω συγκρούσεων μειώνουν την αναγνωσιμότητα. Η επαρκής και σωστά τοποθετημένη σήμανση μπορεί να μειώσει τα ατυχήματα

κατά 10–30%, ιδίως σε επικίνδυνα σημεία όπως καμπύλες, διασταυρώσεις και περιοχές με περιορισμένη ορατότητα (Angelo et al., 2023). Η έλλειψη ή η κακή συντήρηση της σήμανσης αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες αύξησης του κινδύνου ατυχημάτων σε επαρχιακά δίκτυα. Το κόστος εγκατάστασης πινακίδων κυμαίνεται μεταξύ 50 και 200 € ανά τεμάχιο, ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο, ενώ το κόστος συντήρησης είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με τα οφέλη που προκύπτουν από τη μείωση των ατυχημάτων.

Πίνακας 4.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά διαγραμμίσεων και σήμανσης

Παράμετρος	Τυπικές τιμές	Επιπτώσεις υποβάθμισης
Οπισθοανάκλαση διαγραμμίσεων	>150 mcd/m ² /lux	Μείωση ορατότητας
Πάχος διαγράμμισης	1.5 – 3 mm	Ταχεία φθορά
Ανακλαστικότητα πινακίδων	100 – 500 cd/lux/m ²	Μειωμένη αναγνωσιμότητα
Διάρκεια ζωής	2–5 έτη (διαγραμμίσεις), 7–12 έτη (σήμανση)	Αύξηση κινδύνου
Μείωση ατυχημάτων	10–40%	—

4.4 Αντιμετώπιση κατολισθήσεων

Στο πλαίσιο της διαχείρισης επαρχιακών οδών σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, η αντιμετώπιση κατολισθήσεων συνιστά ένα από τα πλέον απαιτητικά και πολυσύνθετα τεχνικά αντικείμενα, καθώς συνδέεται άμεσα με τη γεωτεχνική ευστάθεια των πρανών και τη διατήρηση της λειτουργικότητας του οδικού δικτύου. Η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων αποτελεί αποτέλεσμα διαταραχής της ισορροπίας μεταξύ διατμητικών τάσεων και διαθέσιμης αντοχής του εδάφους, η οποία επηρεάζεται από υδρολογικούς, γεωλογικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Στο πλαίσιο αυτό, η αποτελεσματική αντιμετώπιση απαιτεί συνδυασμό τεχνικών μέτρων, τα οποία στοχεύουν τόσο στη μείωση των ενεργών φορτίων όσο και στην αύξηση της διατμητικής αντοχής. Αναλυτικότερα, η βασική αρχή σχεδιασμού των μέτρων σταθεροποίησης βασίζεται στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας (Factor of Safety – FS), ο οποίος πρέπει να υπερβαίνει τιμές 1.3–1.5

για μόνιμες κατασκευές. Η διατμητική αντοχή του εδάφους περιγράφεται από το κριτήριο Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan \varphi$$

όπου c είναι η συνοχή, σ' η ενεργός τάση και φ η γωνία εσωτερικής τριβής. Η μείωση της πίεσης πόρων μέσω αποστράγγισης αυξάνει την ενεργό τάση και συνεπώς τη διατμητική αντοχή, γεγονός που αποτελεί βασική στρατηγική σταθεροποίησης. Από τεχνική σκοπιά, τα μέτρα αντιμετώπισης κατολισθήσεων διακρίνονται σε παθητικά και ενεργητικά. Στα παθητικά μέτρα περιλαμβάνεται η διαμόρφωση της γεωμετρίας των πρανών, με μείωση της κλίσης σε τιμές της τάξης του 1:1.5 έως 1:2.5, ανάλογα με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Η μείωση της κλίσης οδηγεί σε μείωση των διατμητικών τάσεων έως και 20–30%, συμβάλλοντας σημαντικά στη σταθεροποίηση.

Στα ενεργητικά μέτρα περιλαμβάνονται τα τοιχία αντιστήριξης, τα αγκυρωμένα πρανή και τα συστήματα οπλισμένης γης. Τα τοιχία αντιστήριξης αναλαμβάνουν την εξισορρόπηση των ωθήσεων γαιών, ενώ οι αγκυρώσεις μεταφέρουν τα φορτία σε βαθύτερα και πιο ανθεκτικά στρώματα. Η αντοχή ενός αγκυρίου μπορεί να φτάσει τα 200–500 kN, ενώ η απόσταση μεταξύ αγκυριών κυμαίνεται συνήθως από 1.5 έως 3.0 m. Η εγκατάσταση στραγγιστηρίων, αποστραγγιστικών σωλήνων και γεωφασμάτων μειώνει την πίεση πόρων και αποτρέπει τη συγκέντρωση νερού. Μελέτες δείχνουν ότι η μείωση της πίεσης πόρων μπορεί να αυξήσει τον συντελεστή ασφαλείας έως και 40% (Mehdi et al., 2022).

Η χρήση γεωσυνθετικών υλικών, όπως γεωπλέγματα και γεωφάσματα, ενισχύει τη μηχανική συμπεριφορά των πρανών, αυξάνοντας τη διατμητική αντοχή και περιορίζοντας τις παραμορφώσεις. Η εφαρμογή τους μπορεί να μειώσει τις μετακινήσεις έως και 50%, ιδιαίτερα σε χαλαρά εδάφη. Από πλευράς παρακολούθησης, η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου, όπως κλισιόμετρα, πιεζόμετρα και γεωδαιτικοί σταθμοί, επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση μετακινήσεων και την πρόληψη αστοχιών. Η παρακολούθηση της μετακίνησης πρανών σε επίπεδα άνω των 5–10 mm/έτος θεωρείται ένδειξη ενεργοποίησης κατολισθητικού φαινομένου (Barriera et al., 2020). Η αντιμετώπιση κατολισθήσεων αποτελεί ιδιαίτερα δαπανηρή διαδικασία, με κόστος που μπορεί να κυμαίνεται από 100 έως 500 €/m² για απλά μέτρα σταθεροποίησης και να υπερβαίνει τα 1.000 €/m²

σε σύνθετες περιπτώσεις. Ωστόσο, η έγκαιρη εφαρμογή προληπτικών μέτρων μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος έως και 60%, αποτρέποντας εκτεταμένες αστοχίες (Wanimbo et al., 2025).

Πίνακας 4,4 : Μέτρα αντιμετώπισης κατολισθήσεων και τεχνικά χαρακτηριστικά

Μέτρο	Τυπικές τιμές	Επίδραση
Μείωση κλίσης πρανούς	1:1.5 – 1:2.5	-20–30% τάσεις
Αγκυρώσεις	200–500 kN	Αύξηση αντοχής
Αποστράγγιση	-	+40% FS
Γεωφάσματα	-	-50% μετακινήσεις
Παρακολούθηση	>5 mm/έτος	Έγκαιρη πρόληψη

4.5 Συντήρηση τεχνικών έργων

Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης οδικών υποδομών, η συντήρηση των τεχνικών έργων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας, της ασφάλειας και της μακροχρόνιας ανθεκτικότητας των επαρχιακών οδών. Σε αντίθεση με τις επιφανειακές επεμβάσεις στα οδοστρώματα, η συντήρηση τεχνικών έργων, όπως τοιχία αντιστήριξης, οχετοί και γέφυρες, απαιτεί εξειδικευμένη προσέγγιση που συνδυάζει γεωτεχνική, δομοστατική και υδραυλική ανάλυση. Η σημασία της είναι ιδιαίτερα αυξημένη, καθώς η αστοχία τέτοιων κατασκευών μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες ζημιές, διακοπή της κυκλοφορίας και σημαντικό οικονομικό κόστος.

Η χρήση οπτικών ελέγχων, μη καταστροφικών δοκιμών και συστημάτων παρακολούθησης επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση φθορών, όπως ρηγματώσεις, διάβρωση και παραμορφώσεις. Σύμφωνα με σύγχρονες προσεγγίσεις asset management, η συστηματική παρακολούθηση μπορεί να μειώσει το κόστος συντήρησης έως και 30%, καθώς επιτρέπει την εφαρμογή προληπτικών επεμβάσεων πριν την εμφάνιση εκτεταμένων αστοχιών (Wang et al., 2020). Στη συντήρηση τοιχίων αντιστήριξης, οι βασικές επεμβάσεις περιλαμβάνουν την αποκατάσταση ρηγματώσεων, την ενίσχυση της θεμελίωσης και τη βελτίωση της αποστράγγισης. Η παρουσία νερού πίσω από τα τοιχία αυξάνει σημαντικά τις ωθήσεις, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη διατήρηση λειτουργικών στραγγιστηρίων. Η φραγή των αποστραγγιστικών οπών μπορεί να οδηγήσει σε

αύξηση των ωθήσεων έως και 50–80%, επιταχύνοντας την αστοχία (Ugochi, 2020). Παράλληλα, η αποκατάσταση ρηγματώσεων πραγματοποιείται με χρήση ενέσεων ρητινών ή τσιμεντενέσεων, οι οποίες αποκαθιστούν τη συνοχή και περιορίζουν τη διείσδυση υγρασίας.

Στην περίπτωση των οχετών, η συντήρηση επικεντρώνεται κυρίως στον καθαρισμό από φερτά υλικά και στη διατήρηση της υδραυλικής ικανότητας. Η συσσώρευση ιζημάτων μπορεί να μειώσει τη διατομή ροής έως και 60%, οδηγώντας σε υπερχειλίση και καταστροφή του οδοστρώματος (Li et al., 2020). Επιπλέον, η διάβρωση του πυθμένα και των πλευρικών τοιχωμάτων απαιτεί την εφαρμογή μέτρων προστασίας, όπως επενδύσεις με σκυρόδεμα ή λιθορριπή. Η τακτική συντήρηση των οχετών, με συχνότητα τουλάχιστον μία φορά ετησίως σε περιοχές υψηλού κινδύνου, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποφυγή αστοχιών.

Η διάβρωση του χάλυβα αποτελεί τον κυριότερο μηχανισμό υποβάθμισης, οδηγώντας σε μείωση της διατομής έως και 20–30% σε βάθος χρόνου, με άμεση επίπτωση στη φέρουσα ικανότητα (Radwan et al., 2024). Η εφαρμογή προστατευτικών επικαλύψεων, καθοδικής προστασίας και επισκευαστικών κονιαμάτων συμβάλλει στη μείωση του ρυθμού διάβρωσης και στην παράταση της διάρκειας ζωής. Η συντήρηση των αρμών διαστολής και των εδράνων είναι κρίσιμη για τη σωστή λειτουργία των γεφυρών. Η αστοχία των αρμών επιτρέπει τη διείσδυση νερού και ρύπων, επιταχύνοντας τη φθορά των δομικών στοιχείων. Η αντικατάσταση ή επισκευή των αρμών πρέπει να πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα, συνήθως κάθε 10–15 έτη, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.

Η συντήρηση των τεχνικών έργων παρουσιάζει υψηλό δείκτη αποδοτικότητας, καθώς η έγκαιρη επέμβαση μειώνει σημαντικά το συνολικό κόστος κύκλου ζωής. Μελέτες δείχνουν ότι η προληπτική συντήρηση μπορεί να μειώσει το κόστος αποκατάστασης έως και 4–6 φορές σε σύγκριση με την καθυστερημένη παρέμβαση (Wanimbo et al., 2025). Επιπλέον, η χρήση συστημάτων διαχείρισης υποδομών (Pavement and Bridge Management Systems) επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων και την ιεράρχηση των επεμβάσεων. Η ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως αισθητήρες παρακολούθησης και δεδομένα από συνδεδεμένα οχήματα, συμβάλλει στην ακριβέστερη αξιολόγηση της κατάστασης των έργων και στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Η χρήση τέτοιων τεχνολογιών μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια

πρόβλεψης φθοράς έως και 25–35%, επιτρέποντας πιο αποτελεσματική διαχείριση (Thompson et al., 2025).

Πίνακας 4.5 : Επεμβάσεις συντήρησης τεχνικών έργων και επιπτώσεις

Κατηγορία έργου	Επέμβαση	Τυπικές τιμές	Όφελος
Τοιχία	Αποστράγγιση	-	-50–80% ωθήσεις
Οχετοί	Καθαρισμός	έως 60% απομάκρυνση φερτών	Αποφυγή υπερχειλίσσης
Γέφυρες	Προστασία οπλισμού	-	-30% διάβρωση
Αρμοί	Αντικατάσταση	κάθε 10–15 έτη	Αποτροπή διεύδυσης νερού
Παρακολούθηση	Αισθητήρες	-	+25–35% ακρίβεια πρόβλεψης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΤΟ ΕΠΑΡΧΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΗΠΕΙΡΟΥ

5.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η Περιφέρεια Ηπείρου καταλαμβάνει έκταση περίπου **9.203 km²**, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το **7% της συνολικής έκτασης της χώρας**, ενώ διοικητικά συγκροτείται από τις Περιφερειακές Ενότητες Ιωαννίνων, Άρτας, Πρέβεζας και Θεσπρωτίας. Το έντονα ορεινό ανάγλυφο αποτελεί το κυρίαρχο μορφολογικό χαρακτηριστικό της περιφέρειας, καθώς περισσότερο από το **70% της συνολικής επιφάνειας** χαρακτηρίζεται ως ορεινή ή ημιορεινή, με αποτέλεσμα το επαρχιακό οδικό δίκτυο να αναπτύσσεται σε ιδιαίτερα δυσμενές γεωτεχνικό και γεωμορφολογικό περιβάλλον. Η μορφολογία αυτή επιβάλλει μεγάλες κατά μήκος κλίσεις, περιορισμένες ακτίνες καμπυλότητας, υψηλά επιχώματα, βαθιά ορύγματα, τεχνικά έργα αντιστήριξης και μεγάλο αριθμό γεφυρών, οχετών και τοίχων αντιστήριξης, διαφοροποιώντας ουσιαστικά τις απαιτήσεις σχεδιασμού και

συντήρησης σε σχέση με τις πεδινές περιφέρειες της χώρας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· ΤΕΕ, 2021).

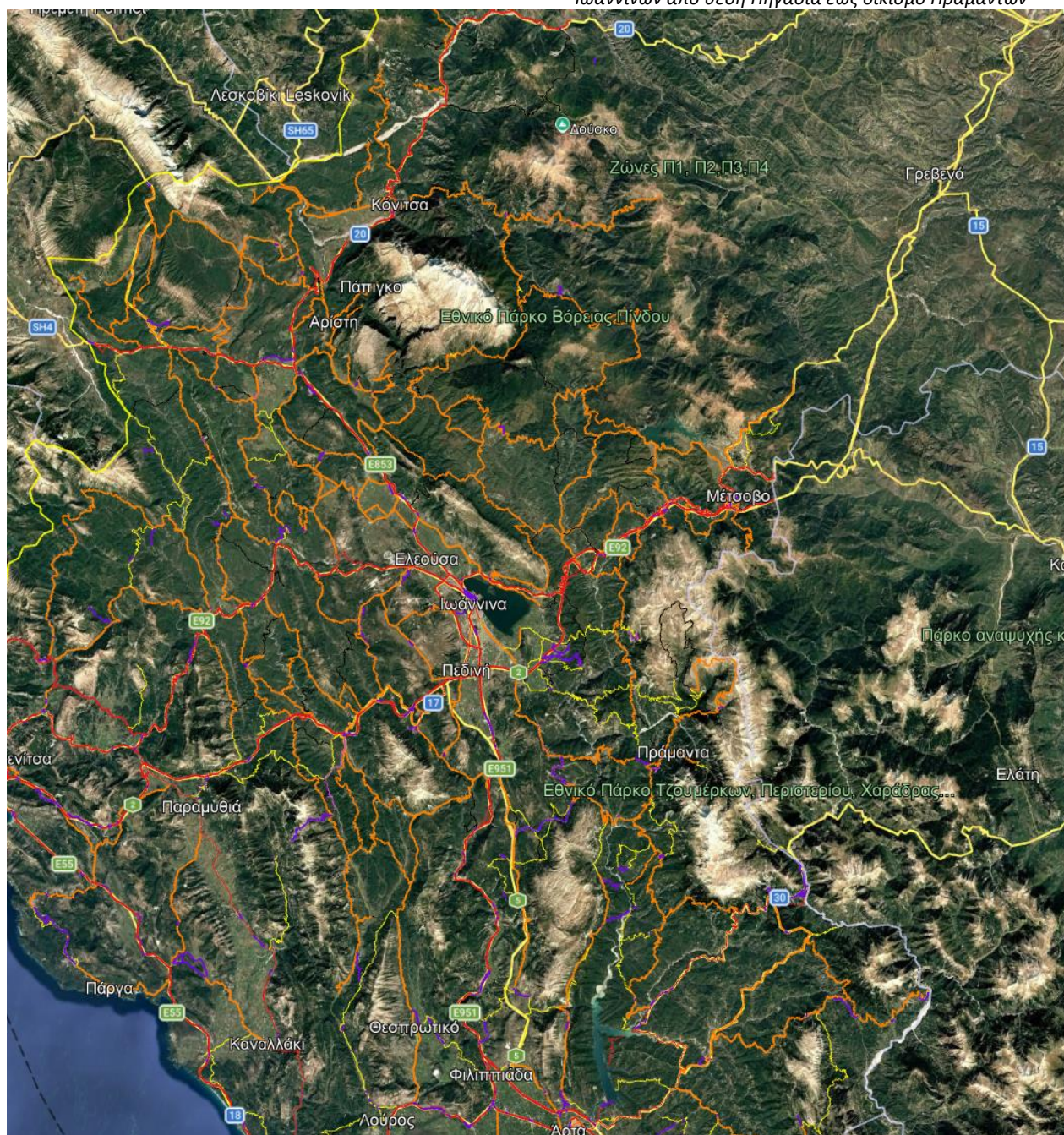
Από λειτουργικής πλευράς, το επαρχιακό οδικό δίκτυο δεν εξυπηρετεί αποκλειστικά τις ενδοπεριφερειακές μετακινήσεις αλλά λειτουργεί ως δευτερεύον σύστημα τροφοδότησης των δύο σημαντικότερων αυτοκινητοδρόμων της περιοχής, δηλαδή της **Εγνατίας Οδού** και της **Ιόνιας Οδού**, καθώς και του λιμένα Ηγουμενίτσας, ο οποίος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κόμβους συνδυασμένων μεταφορών της χώρας. Ως αποτέλεσμα, σημαντικά τμήματα του επαρχιακού δικτύου δέχονται καθημερινά μικτή κυκλοφορία επιβατικών οχημάτων, γεωργικών μηχανημάτων και βαρέων φορτηγών που εξυπηρετούν τόσο τις αγροτικές παραγωγικές μονάδες όσο και τις διεθνείς εμπορευματικές μεταφορές. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία των οδικών μεταφορών, οι οδικές μετακινήσεις εξακολουθούν να αποτελούν το κυρίαρχο μέσο μεταφοράς στην Ελλάδα, καλύπτοντας περισσότερο από το **90% των εσωτερικών επιβατικών μετακινήσεων**, γεγονός που καθιστά την επιχειρησιακή αξιοπιστία του επαρχιακού δικτύου κρίσιμο παράγοντα για την περιφερειακή οικονομία (ΕΛΣΤΑΤ, 2021· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022).

Η γεωτεχνική συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών της Ηπείρου αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης της λειτουργικότητας του επαρχιακού οδικού δικτύου. Μεγάλο ποσοστό των επαρχιακών αξόνων διέρχεται από φλύσχη, ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, αποσαθρωμένα πρηνή και περιοχές με αυξημένη σεισμική και κατολισθητική επικινδυνότητα, όπου η σταθερότητα των πρηνών επηρεάζεται έντονα από τις υδρολογικές μεταβολές και τις υψηλές βροχοπτώσεις. Οι γεωλογικές χαρτογραφήσεις της Ηπείρου καταγράφουν μεγάλο αριθμό ενεργών και δυνητικά ενεργών κατολισθήσεων, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το κόστος συντήρησης μέσω συνεχών επεμβάσεων αποκατάστασης πρηνών, τοποθέτησης αγκυρώσεων, μεταλλικών πλεγμάτων, τοίχων αντιστήριξης και έργων αποστράγγισης. Παράλληλα, η κλιματική μεταβολή οδηγεί σε συχνότερα ακραία υδρομετεωρολογικά φαινόμενα, τα οποία επιβαρύνουν τόσο τις ασφαλικές στρώσεις όσο και τα τεχνικά έργα απορροής ομβρίων, μειώνοντας τον λειτουργικό χρόνο ζωής των υποδομών (ΙΓΜΕ, 2020· ΙΓΜΕ, 2022· Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021).

Στον κάτωθι χάρτη απεικονίζεται το **Πρωτεύον και Δευτερεύον Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων.**

Με **πορτοκαλί** γραμμή συμβολίζεται το Πρωτεύον Επαρχιακό Δίκτυο της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων και με **κίτρινη** γραμμή συμβολίζεται το Δευτερεύον Επαρχιακό Δίκτυο της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων.

ΕΛΕΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ - Διπλωματική Εργασία
Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθεις Πρακτικές και
αξιολόγησή τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα
εφαρμογής στην
Περιφέρεια Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης «Αποκατάσταση
και βελτίωση οδικού τμήματος της 2ης Επαρχιακής οδού
Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό Πραμάντων



Οι τεχνικές προδιαγραφές που εφαρμόζονται στη διαχείριση του επαρχιακού δικτύου βασίζονται στις **Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)** και στον **Κανονισμό Επεμβάσεων Οδικών Έργων**, σύμφωνα με τους οποίους η αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης μιας οδού δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην επιφανειακή εικόνα του ασφαλτοτάπητα αλλά περιλαμβάνει τον

συνολικό έλεγχο της δομικής επάρκειας του οδοστρώματος, της αποστράγγισης, της αντολισθηρότητας, της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, των συστημάτων αναχαίτισης οχημάτων, των τεχνικών έργων και των γεωτεχνικών κατασκευών. Η σύγχρονη φιλοσοφία διαχείρισης βασίζεται στην περιοδική επιθεώρηση του δικτύου, στην ποσοτικοποίηση της κατάστασης μέσω δεικτών απόδοσης και στην προτεραιοποίηση των επεμβάσεων με βάση τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων δημοσίων πόρων (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021).

Στο πλαίσιο αυτό, η Εγνατία Οδός Α.Ε. εφαρμόζει ολοκληρωμένο **Pavement Management System (PMS)**, μέσω του οποίου αξιολογείται η κατάσταση των οδοστρωμάτων με αντικειμενικούς δείκτες, όπως ο **International Roughness Index (IRI)**, ο οποίος εκφράζει τη διαμήκη ομαλότητα του οδοστρώματος, ο δείκτης επιφανειακών φθορών (**PCI**) και οι δείκτες οδικής ασφάλειας που σχετίζονται με την αντολισθηρότητα και τη λειτουργική επάρκεια της οδού. Η χρήση τέτοιων πληροφοριακών συστημάτων επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της υποβάθμισης, την εκτίμηση του κύκλου ζωής των ασφαλικών στρώσεων και τη βελτιστοποίηση της κατανομής των πιστώσεων συντήρησης, μειώνοντας σημαντικά το συνολικό κόστος διαχείρισης σε βάθος χρόνου (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2021).

Η ευρωπαϊκή πολιτική για την περίοδο **2021–2030** απαιτεί από τα κράτη-μέλη τη συστηματική αξιολόγηση κινδύνου των οδικών υποδομών, την περιοδική επιθεώρηση του δικτύου και την ιεράρχηση των επενδύσεων βάσει αντικειμενικών δεικτών επικινδυνότητας. Για τις περιφέρειες με έντονο ορεινό χαρακτήρα, όπως η Ήπειρος, η προσέγγιση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς η πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων, πτώσεων βράχων, πλημμυρικών φαινομένων και αστοχιών πρανών είναι σημαντικά αυξημένη συγκριτικά με τις πεδινές περιοχές. Ως εκ τούτου, η συντήρηση του επαρχιακού δικτύου δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως διαδικασία απλής αποκατάστασης φθορών αλλά ως ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης κινδύνου που συνδυάζει τεχνικές επιθεωρήσεις, γεωτεχνική παρακολούθηση, οικονομική αξιολόγηση και συνεχή συλλογή δεδομένων πεδίου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Η Περιφέρεια Ηπείρου έχει ενσωματώσει τις παραπάνω κατευθύνσεις στον στρατηγικό σχεδιασμό των έργων της για την περίοδο **2020–2024**, δίνοντας προτεραιότητα σε εργασίες ασφαλικών αποκαταστάσεων, βελτίωσης αποστραγγιστικών έργων, προστασίας πρανών, αντικατάστασης στηθαίων ασφαλείας, ανανέωσης της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης και αποκατάστασης τεχνικών έργων που παρουσιάζουν δομικές φθορές. Παράλληλα, στις τεχνικές εκθέσεις της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων επισημαίνεται ότι σημαντικό ποσοστό των επεμβάσεων αφορά επαναλαμβανόμενες βλάβες οι οποίες σχετίζονται με γεωλογικές αστάθειες και έντονες υδρολογικές καταπονήσεις, γεγονός που καταδεικνύει ότι η μακροχρόνια διατήρηση της λειτουργικότητας του δικτύου απαιτεί ολοκληρωμένο σχεδιασμό κύκλου ζωής και όχι αποσπασματικές εργασίες αποκατάστασης (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024· Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021· Περιφέρεια Ηπείρου, 2023).

5.2 Διοικητική διάρθρωση

Η διοικητική οργάνωση του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου βασίζεται σε ένα πολυεπίπεδο σύστημα αρμοδιοτήτων, στο οποίο εμπλέκονται το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, η Περιφέρεια Ηπείρου, οι τέσσερις Περιφερειακές Ενότητες και, σε ειδικές περιπτώσεις, οι Δήμοι και άλλοι δημόσιοι φορείς που διαχειρίζονται επιμέρους τεχνικές υποδομές. Η κατανομή των αρμοδιοτήτων δεν αφορά αποκλειστικά την εκτέλεση τεχνικών έργων αλλά επεκτείνεται στον προγραμματισμό, στη χρηματοδότηση, στην τεχνική ωρίμανση, στη δημοπράτηση, στην επίβλεψη, στην παρακολούθηση της λειτουργικής κατάστασης και στη διαχείριση κινδύνων του οδικού δικτύου. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματικότητα της συντήρησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον βαθμό θεσμικού συντονισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων υπηρεσιών, καθώς η πολυδιάσπαση των διοικητικών ευθυνών μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις στην ωρίμανση έργων, στην αλληλοεπικάλυψη αρμοδιοτήτων και στη μη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· ΤΕΕ, 2022).

Η Περιφέρεια Ηπείρου αποτελεί τον βασικό φορέα διαχείρισης του επαρχιακού οδικού δικτύου, έχοντας την ευθύνη του ετήσιου και πολυετούς προγραμματισμού των έργων συντήρησης, της σύνταξης τεχνικών μελετών, της κατάρτισης των τευχών δημοπράτησης, της εξασφάλισης

χρηματοδότησης, της δημοπράτησης των έργων, της διοίκησης των συμβάσεων και της τεχνικής επίβλεψης μέχρι την οριστική παραλαβή τους. Οι αρμοδιότητες αυτές ασκούνται μέσω της Διεύθυνσης Τεχνικών Έργων της Περιφέρειας και των αντίστοιχων Διευθύνσεων Τεχνικών Έργων των Περιφερειακών Ενοτήτων, οι οποίες παρακολουθούν σε συνεχή βάση τη λειτουργική κατάσταση των επαρχιακών αξόνων, καταγράφουν τις εμφανιζόμενες βλάβες, αξιολογούν την επικινδυνότητα των φθορών και εισηγούνται την προτεραιοποίηση των απαιτούμενων επεμβάσεων. Η διαδικασία αυτή δεν περιορίζεται στις ασφαλικές αποκαταστάσεις, αλλά περιλαμβάνει επίσης τον έλεγχο γεφυρών, τεχνικών αποστράγγισης, πρανών, στηθαίων ασφαλείας, τοίχων αντιστήριξης, σημάνσεων και λοιπού εξοπλισμού της οδού, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που προβλέπονται από τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων και τις οδηγίες συντήρησης οδοστρωμάτων του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020, 2021).

Σε διοικητικό επίπεδο, η Περιφέρεια οργανώνει τον προγραμματισμό των έργων μέσω ετήσιων Τεχνικών Προγραμμάτων, στα οποία καταγράφονται αναλυτικά οι παρεμβάσεις που πρόκειται να υλοποιηθούν ανά Περιφερειακή Ενότητα, η πηγή χρηματοδότησης, ο προϋπολογισμός, η ωριμότητα των μελετών και το στάδιο υλοποίησης κάθε έργου. Η πρακτική αυτή επιτρέπει την ιεράρχηση των αναγκών με αντικειμενικά τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, καθώς οι διαθέσιμοι δημόσιοι πόροι δεν επαρκούν για την ταυτόχρονη αποκατάσταση όλων των τμημάτων του δικτύου. Συνεπώς, προηγούνται οι οδικοί άξονες με αυξημένους κυκλοφοριακούς φόρτους, υψηλή επικινδυνότητα, συχνή εμφάνιση αστοχιών ή ιδιαίτερη σημασία για την πρόσβαση σε κρίσιμες κοινωνικές και οικονομικές λειτουργίες, όπως νοσοκομεία, λιμένες, συντοριακούς σταθμούς, βιομηχανικές περιοχές και τουριστικούς προορισμούς (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024· Περιφέρεια Ηπείρου, 2023).

Το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών διατηρεί τον επιτελικό ρόλο όσον αφορά τη διαμόρφωση του θεσμικού πλαισίου, την έκδοση τεχνικών κανονισμών, την έγκριση των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων, την τυποποίηση των τεχνικών προδιαγραφών και τον καθορισμό των διαδικασιών ελέγχου της ποιότητας των δημόσιων έργων. Μέσω του Κανονισμού Επεμβάσεων Οδικών Έργων και των ειδικών οδηγιών συντήρησης καθορίζονται οι τεχνικές απαιτήσεις για τις ασφαλικές εργασίες, τις επεμβάσεις σε τεχνικά έργα, τις διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου των

υλικών, τις επιθεωρήσεις και τα πρωτόκολλα παραλαβής, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιομορφία στην εφαρμογή των τεχνικών λύσεων σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια. Η ύπαρξη ενιαίου θεσμικού πλαισίου διευκολύνει την τυποποίηση των διαδικασιών συντήρησης και περιορίζει τις αποκλίσεις μεταξύ διαφορετικών αναθετουσών αρχών, συμβάλλοντας στη διασφάλιση της ποιότητας και της μακροχρόνιας λειτουργικότητας των υποδομών (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020, 2021).

Σημαντικό τμήμα της διοικητικής λειτουργίας αφορά επίσης τη διαχείριση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων. Τα έργα συντήρησης του επαρχιακού οδικού δικτύου χρηματοδοτούνται από συνδυασμό εθνικών και ευρωπαϊκών πόρων, περιλαμβάνοντας πιστώσεις του Προγράμματος Δημοσίων Επενδύσεων, πόρους του Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης, χρηματοδοτήσεις του ΕΣΠΑ καθώς και ίδιους πόρους της Περιφέρειας Ηπείρου. Η πολυπλοκότητα του χρηματοδοτικού σχήματος καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη ολοκληρωμένου διοικητικού μηχανισμού, ο οποίος διασφαλίζει τόσο την απορρόφηση των διαθέσιμων πιστώσεων όσο και τη συμμόρφωση με τις διαδικασίες δημοσίων συμβάσεων, δημοσιονομικού ελέγχου και τεχνικής πιστοποίησης των εργασιών. Παράλληλα, η παρακολούθηση της φυσικής και οικονομικής προόδου των έργων πραγματοποιείται μέσω πληροφοριακών συστημάτων διαχείρισης έργων, γεγονός που επιτρέπει την έγκαιρη αναγνώριση αποκλίσεων από το εγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024· ΤΕΕ, 2022).

Η διοικητική διάρθρωση ενσωματώνει πλέον σύγχρονες πρακτικές διαχείρισης οδικών υποδομών, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και της ανθεκτικότητας των μεταφορικών δικτύων. Οι αρμόδιες υπηρεσίες καλούνται να εφαρμόζουν διαδικασίες περιοδικών επιθεωρήσεων, αξιολόγησης κινδύνου, καταγραφής τεχνικών ελλείψεων και προτεραιοποίησης των επεμβάσεων με βάση τεκμηριωμένους δείκτες απόδοσης. Η προσέγγιση αυτή μετατοπίζει τη διοικητική διαχείριση από ένα μοντέλο αποσπασματικής αντιμετώπισης βλαβών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα προληπτικής συντήρησης, στο οποίο οι αποφάσεις βασίζονται σε αντικειμενικά τεχνικά δεδομένα, γεωχωρικές πληροφορίες, ιστορικά στοιχεία αστοχιών και οικονομικές αναλύσεις κύκλου ζωής των υποδομών. Η εφαρμογή τέτοιων πρακτικών θεωρείται αναγκαία ιδιαίτερα για την Περιφέρεια Ηπείρου, όπου οι γεωμορφολογικές και

κλιματικές συνθήκες επιταχύνουν την υποβάθμιση των οδικών κατασκευών και αυξάνουν τη συχνότητα έκτακτων επεμβάσεων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Η αποτελεσματικότητα της διοικητικής διάρθρωσης αξιολογείται όχι μόνο από την ταχύτητα υλοποίησης των έργων αλλά κυρίως από την ικανότητα των αρμόδιων υπηρεσιών να διατηρούν το επαρχιακό δίκτυο σε αποδεκτό επίπεδο λειτουργικότητας και ασφάλειας με το χαμηλότερο δυνατό κόστος κύκλου ζωής. Η επίτευξη του στόχου αυτού προϋποθέτει συνεχή συνεργασία μεταξύ της Περιφέρειας, των τεχνικών υπηρεσιών, του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, των ελεγκτικών μηχανισμών και των τοπικών φορέων, καθώς και διαρκή επικαιροποίηση των τεχνικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των παρεμβάσεων. Υπό το πρίσμα αυτό, η διοικητική οργάνωση δεν αποτελεί απλώς θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας, αλλά βασικό παράγοντα που επηρεάζει άμεσα την τεχνική απόδοση, την οικονομική αποδοτικότητα και τη μακροχρόνια βιωσιμότητα του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

5.3 Γεωμορφολογία Ηπείρου

Η γεωμορφολογία της Περιφέρειας Ηπείρου αποτελεί τον σημαντικότερο φυσικό παράγοντα που επηρεάζει τον σχεδιασμό, την κατασκευή και κυρίως τη μακροχρόνια συντήρηση του επαρχιακού οδικού δικτύου. Η περιφέρεια εκτείνεται σε περίπου 9.203 km², εκ των οποίων περισσότερο από το 70% χαρακτηρίζεται ως ορεινό ή ημιορεινό, γεγονός που την κατατάσσει στις πλέον δύσκολες γεωτεχνικά περιοχές της Ελλάδας. Η οροσειρά της Πίνδου κυριαρχεί στο ανατολικό και βορειοανατολικό τμήμα της περιφέρειας, με κορυφές που υπερβαίνουν τα 2.000 m, ενώ το ανάγλυφο διαμορφώνεται από έντονες υψομετρικές μεταβολές, στενές κοιλάδες, βαθιά φαράγγια και απότομες πλαγιές. Η ιδιαίτερα σύνθετη αυτή γεωμορφολογία αυξάνει σημαντικά τόσο το αρχικό κόστος κατασκευής όσο και το διαχρονικό κόστος συντήρησης των οδικών υποδομών, καθώς απαιτούνται μεγάλης κλίμακας χωματουργικά έργα, εκτεταμένες εκσκαφές, επιχώματα, τεχνικά έργα αποστράγγισης, αντιστηρίξεις πρανών και ειδικές γεωτεχνικές παρεμβάσεις για τη διασφάλιση της ευστάθειας του οδοστρώματος (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· TEE, 2021).

Η γεωλογική δομή της Ηπείρου χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία λιθολογικών σχηματισμών, στους οποίους κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι της Ιόνιας ζώνης, οι σχηματισμοί

φλύσχη, οι δολομίτες και οι αλλουβιακές αποθέσεις των πεδινών περιοχών. Η παρουσία εκτεταμένων ασβεστολιθικών σχηματισμών ευνοεί την ανάπτυξη καρστικών φαινομένων, όπως υπόγειες κοιλότητες, καταβόθρες και έντονη υπόγεια αποστράγγιση, τα οποία επηρεάζουν δυσμενώς τη φέρουσα ικανότητα των εδαφών θεμελίωσης. Αντίστοιχα, οι σχηματισμοί φλύσχη εμφανίζουν χαμηλή μηχανική αντοχή, υψηλή διαβρωσιμότητα και σημαντική ευαισθησία στον κορεσμό από νερό, γεγονός που οδηγεί συχνά στην εκδήλωση κατολισθήσεων και ερπυστικών μετακινήσεων των πρανών. Για τον λόγο αυτό, η επιλογή της χάραξης και των κατάλληλων τεχνικών λύσεων βασίζεται σε αναλυτικές γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες, οι οποίες αξιολογούν τη μηχανική συμπεριφορά των σχηματισμών, τη σταθερότητα των πρανών και τις αναμενόμενες παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια ζωής της οδικής υποδομής (ΙΓΜΕ, 2020· ΙΓΜΕ, 2022).

Σύμφωνα με τις γεωλογικές χαρτογραφήσεις της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, μεγάλος αριθμός ενεργών και δυνητικά ενεργών κατολισθητικών ζωνών εντοπίζεται κυρίως στις Περιφερειακές Ενότητες Ιωαννίνων και Θεσπρωτίας, όπου η συνύπαρξη έντονων κλίσεων, υδρογεωλογικών φορτίσεων και ασθενών γεωλογικών σχηματισμών δημιουργεί ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες ευστάθειας. Οι μετακινήσεις πρανών προκαλούν συστηματικά καθιζήσεις του οδοστρώματος, διαμήκεις και εγκάρσιες ρηγματώσεις, αστοχίες επιχωμάτων, μετακινήσεις τοίχων αντιστήριξης και τοπικές καταρρεύσεις τεχνικών έργων. Ως αποτέλεσμα, σημαντικό ποσοστό των διαθέσιμων οικονομικών πόρων συντήρησης δεν κατευθύνεται στην αναβάθμιση του δικτύου αλλά στην αποκατάσταση έκτακτων γεωτεχνικών βλαβών, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος διαχείρισης του επαρχιακού δικτύου (ΙΓΜΕ, 2020· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2020).

Η περιοχή παρουσιάζει από τα υψηλότερα ύψη ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα, ενώ στις ορεινές περιοχές καταγράφονται συχνές χιονοπτώσεις και επαναλαμβανόμενοι κύκλοι παγετού και απόψυξης κατά τη χειμερινή περίοδο. Η συνεχής διείσδυση νερού στις ασφαλικές στρώσεις και στις στρώσεις έδρασης μειώνει τη φέρουσα ικανότητα των υλικών, αυξάνει τις ελαστικές παραμορφώσεις και επιταχύνει την ανάπτυξη ρηγματώσεων, λακκουβών και αποκολλήσεων του ασφαλιστικού στρώματος. Επιπλέον, η ανεπαρκής λειτουργία των αποστραγγιστικών έργων προκαλεί επιφανειακές διαβρώσεις, υποσκαφές επιχωμάτων και τοπικές αστοχίες τεχνικών έργων,

καθιστώντας την αποτελεσματική διαχείριση των ομβρίων κρίσιμο στοιχείο της στρατηγικής συντήρησης. Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές κατευθυντήριες οδηγίες, η αύξηση της συχνότητας ακραίων βροχοπτώσεων λόγω της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω τα φαινόμενα αυτά, επιβάλλοντας την αναθεώρηση των παραδοχών σχεδιασμού των υδραυλικών έργων και των πρανών των οδικών αξόνων (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Η γεωμορφολογία της Ηπείρου επηρεάζει επίσης καθοριστικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επαρχιακού οδικού δικτύου. Σε μεγάλο αριθμό επαρχιακών αξόνων η χάραξη ακολουθεί το φυσικό ανάγλυφο, γεγονός που συνεπάγεται περιορισμένες ακτίνες οριζόντιας καμπυλότητας, μεγάλες κατά μήκος κλίσεις, συνεχείς εναλλαγές ευθυγραμμίων και καμπυλών, καθώς και περιορισμένη ορατότητα σε αρκετές θέσεις. Οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν τόσο τη λειτουργική ταχύτητα των οχημάτων όσο και το επίπεδο οδικής ασφάλειας, ιδιαίτερα σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων ή χιονοπτώσεων. Οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων προβλέπουν ειδικές απαιτήσεις για τον σχεδιασμό των ορεινών οδών, συμπεριλαμβανομένων αυξημένων απαιτήσεων για στηθαία ασφαλείας, αντισισθηρές επιφάνειες, έργα συγκράτησης βραχοπτώσεων και κατάλληλα συστήματα απορροής ομβρίων, ώστε να περιορίζονται οι επιπτώσεις των δυσμενών γεωμορφολογικών συνθηκών στη λειτουργία του δικτύου (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020).

Η ανάγκη για συχνότερες επιθεωρήσεις, επαναλαμβανόμενες γεωτεχνικές παρεμβάσεις, καθαρισμό αποστραγγιστικών συστημάτων, αποκατάσταση κατολισθήσεων και συντήρηση τεχνικών έργων οδηγεί σε αισθητά υψηλότερες ετήσιες δαπάνες σε σύγκριση με περιοχές χαμηλού αναγλύφου. Για τον λόγο αυτό, η σύγχρονη προσέγγιση διαχείρισης στηρίζεται στην εφαρμογή Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems), τα οποία αξιοποιούν γεωχωρικά δεδομένα, γεωτεχνικές πληροφορίες και δείκτες λειτουργικής κατάστασης, όπως ο International Roughness Index (IRI), ο δείκτης επιφανειακών φθορών (PCI) και οι δείκτες οδικής ασφάλειας, προκειμένου να καθορίζονται με αντικειμενικά κριτήρια οι προτεραιότητες συντήρησης και να βελτιστοποιείται η αξιοποίηση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2021).

Η γεωμορφολογία της Περιφέρειας Ηπείρου δεν αποτελεί απλώς φυσικό χαρακτηριστικό της περιοχής αλλά τον βασικό παράγοντα που καθορίζει τις τεχνικές απαιτήσεις σχεδιασμού, τις γεωτεχνικές λύσεις, τη συχνότητα εμφάνισης βλαβών, το κόστος συντήρησης και τη συνολική επιχειρησιακή απόδοση του επαρχιακού οδικού δικτύου. Η ολοκληρωμένη κατανόηση των γεωλογικών, μορφολογικών και υδρολογικών συνθηκών αποτελεί συνεπώς θεμελιώδη προϋπόθεση για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό έργων συντήρησης, την πρόληψη αστοχιών και τη διασφάλιση της μακροχρόνιας ανθεκτικότητας των οδικών υποδομών της Περιφέρειας Ηπείρου.

5.4 Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά

5.4 Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά

Τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση τόσο σε χωρικό όσο και σε χρονικό επίπεδο, ως αποτέλεσμα της έντονης γεωμορφολογικής ανομοιογένειας, της κατανομής του πληθυσμού, της παραγωγικής δραστηριότητας και της εποχικής ανάπτυξης του τουρισμού. Σε αντίθεση με τα αστικά οδικά δίκτυα, όπου οι κυκλοφοριακοί φόρτοι παρουσιάζουν σχετικά ομοιόμορφη κατανομή, το επαρχιακό δίκτυο της Ηπείρου χαρακτηρίζεται από έντονες διακυμάνσεις μεταξύ των κύριων διαπεριφερειακών αξόνων και των ορεινών δευτερευουσών οδών. Οι μεγαλύτεροι ημερήσιοι κυκλοφοριακοί φόρτοι καταγράφονται στους επαρχιακούς άξονες που συνδέουν τους οικισμούς με την Εγνατία Οδό, την Ιόνια Οδό, τον λιμένα Ηγουμενίτσας, τον Αερολιμένα Ιωαννίνων και τα διοικητικά κέντρα των τεσσάρων Περιφερειακών Ενοτήτων, ενώ αντίθετα οι ορεινοί οδικοί άξονες εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερες τιμές Μέσης Ετήσιας Ημερήσιας Κυκλοφορίας (Annual Average Daily Traffic – AADT), αλλά υψηλότερο κόστος συντήρησης ανά χιλιόμετρο λόγω των ιδιαίτερα δυσμενών γεωτεχνικών και κλιματολογικών συνθηκών (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2021).

Η κυκλοφοριακή σύνθεση του επαρχιακού δικτύου παρουσιάζει ιδιαίτερο τεχνικό ενδιαφέρον, καθώς χαρακτηρίζεται από σημαντική συμμετοχή βαρέων οχημάτων σε συγκεκριμένους άξονες. Η σύνδεση της Περιφέρειας Ηπείρου με το λιμάνι της Ηγουμενίτσας, έναν από τους σημαντικότερους διεθνείς διαμετακομιστικούς κόμβους της χώρας, έχει ως αποτέλεσμα τη συχνή διέλευση φορτηγών

διεθνών μεταφορών, τα οποία αναπτύσσουν υψηλούς ισοδύναμους άξονες φόρτισης (Equivalent Single Axle Loads – ESAL). Από τεχνικής πλευράς, η επαναλαμβανόμενη επιβολή αυξημένων φορτίων προκαλεί μεγαλύτερες ελαστικές και μόνιμες παραμορφώσεις στις ασφαλικές στρώσεις, επιταχύνοντας την ανάπτυξη τροχοαυλάκωσης, κόπωσης του ασφαλτομίγματος και διαμήκων ή εγκάρσιων ρηγματώσεων. Για τον λόγο αυτό, κατά τον σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος αλλά και η ποσοστιαία συμμετοχή βαρέων οχημάτων, καθώς η επιρροή τους στη δομική καταπόνηση του οδοστρώματος είναι πολλαπλάσια σε σχέση με τα επιβατικά οχήματα (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020· Ugochi, 2020).

Η έντονη εποχικότητα της τουριστικής δραστηριότητας δημιουργεί σημαντικές μεταβολές στη λειτουργική απόδοση του δικτύου. Κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται αισθητή αύξηση των κυκλοφοριακών φόρτων προς τις παράκτιες περιοχές της Πρέβεζας και της Θεσπρωτίας, καθώς και προς τους ορεινούς τουριστικούς προορισμούς των Ζαγοροχωρίων, του Μετσόβου, της Κόνιτσας και του Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου. Αντίστοιχα, κατά τους χειμερινούς μήνες αυξάνεται η κυκλοφορία προς τα χιονοδρομικά και ορεινά τουριστικά κέντρα, υπό συνθήκες μειωμένης πρόσφυσης λόγω χιονόπτωσης ή παγετού. Η περιοδική αυτή αύξηση των φόρτων επηρεάζει τόσο το επίπεδο εξυπηρέτησης (Level of Service – LOS) όσο και τις απαιτήσεις λειτουργικής συντήρησης, καθιστώντας αναγκαία τη συχνότερη επιθεώρηση της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, των αντιολισθηρών επιφανειών, των στηθαίων ασφαλείας και των αποστραγγιστικών έργων (ΕΛΣΤΑΤ, 2021· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022).

Η αξιολόγηση της κυκλοφοριακής λειτουργίας του επαρχιακού δικτύου πραγματοποιείται μέσω εξειδικευμένων δεικτών, οι οποίοι επιτρέπουν την αντικειμενική εκτίμηση της τεχνικής κατάστασης και της επιχειρησιακής απόδοσης των οδικών υποδομών. Μεταξύ των σημαντικότερων δεικτών περιλαμβάνονται η Μέση Ετήσια Ημερήσια Κυκλοφορία (AADT), ο συντελεστής συμμετοχής βαρέων οχημάτων, η ωριαία κυκλοφορία αιχμής (Peak Hour Volume – PHV), ο δείκτης τραχύτητας του οδοστρώματος (International Roughness Index – IRI), ο δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (Pavement Condition Index – PCI) και οι δείκτες οδικής ασφάλειας που χρησιμοποιούνται στο Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων της Εγνατίας Οδού. Η συνδυαστική αξιολόγηση των παραπάνω μεταβλητών επιτρέπει την πρόβλεψη της εξέλιξης των

φθορών και τη βελτιστοποίηση των προγραμμάτων συντήρησης, περιορίζοντας τόσο τις έκτακτες επεμβάσεις όσο και το συνολικό κόστος κύκλου ζωής της υποδομής (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Σύμφωνα με τη Στρατηγική Οδικής Ασφάλειας 2021–2030, η πιθανότητα εκδήλωσης σοβαρών τροχαίων συμβάντων αυξάνεται όταν συνυπάρχουν υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι, περιορισμένη γεωμετρική ορατότητα, ανεπαρκής πλευρική προστασία, μειωμένη αντιολισθηρότητα και ανεπαρκής συντήρηση της υποδομής. Οι παράγοντες αυτοί εμφανίζονται συχνότερα σε ορεινούς επαρχιακούς άξονες της Ηπείρου, όπου η μορφολογία του εδάφους περιορίζει τις δυνατότητες βελτίωσης της γεωμετρικής χάραξης. Για τον λόγο αυτό, οι ευρωπαϊκές κατευθυντήριες οδηγίες προβλέπουν την εφαρμογή συστηματικών επιθεωρήσεων οδικής ασφάλειας, την αξιολόγηση κινδύνου και την προτεραιοποίηση επεμβάσεων σε τμήματα υψηλής επικινδυνότητας, ώστε να μειώνεται η πιθανότητα ατυχημάτων και να ενισχύεται η συνολική επιχειρησιακή αξιοπιστία του δικτύου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022).

Η σύγχρονη φιλοσοφία διαχείρισης οδικών υποδομών βασίζεται σε αναλύσεις κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA), σύμφωνα με τις οποίες οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι κατανέμονται κατά προτεραιότητα στους οδικούς άξονες που παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο συνδυασμό κυκλοφοριακής σημασίας, τεχνικής υποβάθμισης και επιπέδου κινδύνου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση του κοινωνικοοικονομικού οφέλους των επενδύσεων, καθώς η έγκαιρη εφαρμογή προληπτικών επεμβάσεων μειώνει σημαντικά τις μελλοντικές ανάγκες εκτεταμένων αποκαταστάσεων και περιορίζει το κόστος λειτουργίας των οχημάτων, την κατανάλωση καυσίμου, τις καθυστερήσεις μετακίνησης και τις επιπτώσεις από πιθανές διακοπές της κυκλοφορίας (Ugochi, 2020· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

5.5 Προβλήματα συντήρησης

Η διατήρηση της λειτουργικότητας του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου αποτελεί μία από τις πλέον απαιτητικές τεχνικές διαδικασίες διαχείρισης οδικών υποδομών στην Ελλάδα, καθώς οι μηχανισμοί υποβάθμισης δεν σχετίζονται αποκλειστικά με την ηλικία του

οδοστρώματος ή τους κυκλοφοριακούς φόρτους, αλλά προκύπτουν από τη συνδυασμένη επίδραση της έντονης ορεινότητας, των δυσμενών κλιματικών συνθηκών, της γεωλογικής αστάθειας και των περιορισμένων οικονομικών και ανθρώπινων πόρων. Σε αντίθεση με τις πεδινές περιφέρειες, όπου η υποβάθμιση των ασφαλικών στρώσεων εξελίσσεται κυρίως λόγω κυκλοφοριακής κόπωσης, στην Ήπειρο σημαντικό ποσοστό των τεχνικών επεμβάσεων αφορά την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, κατολισθήσεων, διαβρώσεων, αστοχιών αποστραγγιστικών έργων και καθιζήσεων επιχωμάτων. Η κατάσταση αυτή αυξάνει σημαντικά το κόστος κύκλου ζωής των υποδομών, περιορίζει την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων προληπτικής συντήρησης και οδηγεί συχνά στην ανάγκη εκτέλεσης επείγουσών παρεμβάσεων για την αποκατάσταση της κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οι περιφέρειες με υψηλή μορφολογική πολυπλοκότητα και αυξημένη έκθεση σε φυσικούς κινδύνους απαιτούν διαφορετική στρατηγική διαχείρισης σε σχέση με τα συμβατικά οδικά δίκτυα, βασισμένη σε συνεχή παρακολούθηση, αξιολόγηση κινδύνου και προληπτικές γεωτεχνικές επεμβάσεις (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021· TEE, 2022).

5.5.1 Ορεινότητα

Η έντονη ορεινότητα της Περιφέρειας Ηπείρου αποτελεί τον σημαντικότερο τεχνικό παράγοντα που αυξάνει τη δυσκολία συντήρησης του επαρχιακού οδικού δικτύου. Περισσότερο από το **70% της συνολικής έκτασης** της περιφέρειας χαρακτηρίζεται ως ορεινό ή ημιορεινό, ενώ μεγάλος αριθμός επαρχιακών αξόνων αναπτύσσεται σε περιοχές με μεγάλες κατά μήκος κλίσεις, περιορισμένες ακτίνες καμπυλότητας και πρηνή υψηλής γεωτεχνικής επικινδυνότητας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022). Η γεωλογική επικράτηση φλύσχη, αποσαθρωμένων ασβεστολίθων και ασταθών κορημάτων δημιουργεί συνθήκες αυξημένης πιθανότητας κατολισθήσεων, ερπυσμού εδαφών και πτώσεων βραχωδών μαζών, ιδιαίτερα μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Οι αστοχίες αυτές δεν περιορίζονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος αλλά επηρεάζουν τη συνολική δομική επάρκεια της οδού, προκαλώντας μετακινήσεις επιχωμάτων, ρηγματώσεις, καθιζήσεις και τοπικές καταρρεύσεις τεχνικών έργων. Οι γεωλογικές μελέτες της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών καταγράφουν μεγάλο αριθμό ενεργών κατολισθητικών ζωνών στην Ήπειρο, γεγονός που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή μόνιμων έργων σταθεροποίησης, όπως αγκυρώσεις, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μεταλλικά πλέγματα, αποστραγγιστικές γεωτρήσεις και

τοίχοι αντιστήριξης, αντί της περιοδικής αποκατάστασης των συνεπειών των κατολισθήσεων (ΙΓΜΕ, 2020· ΙΓΜΕ, 2022). Επιπλέον, η δυσχερής πρόσβαση πολλών ορεινών τμημάτων αυξάνει σημαντικά τον χρόνο κινητοποίησης συνεργείων και μηχανημάτων, ενώ παράλληλα επιβαρύνει το κόστος μεταφοράς υλικών και εξοπλισμού. Ως αποτέλεσμα, το κόστος συντήρησης ανά χιλιόμετρο επαρχιακής οδού είναι σημαντικά υψηλότερο σε σύγκριση με αντίστοιχα δίκτυα πεδινών περιοχών, καθώς απαιτούνται περισσότερες γεωτεχνικές παρεμβάσεις, συχνότερες επιθεωρήσεις και αυξημένη τεχνική παρακολούθηση καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της υποδομής (ΤΕΕ, 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2020).

5.5.2 Καιρικές συνθήκες

Οι ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες της Ηπείρου επιδρούν καθοριστικά στον ρυθμό υποβάθμισης των οδικών υποδομών και αποτελούν βασικό παράγοντα αύξησης των απαιτήσεων συντήρησης. Η περιοχή συγκαταλέγεται μεταξύ των περιφερειών της Ελλάδας με τα μεγαλύτερα ετήσια ύψη βροχόπτωσης, ενώ στις ορεινές ζώνες παρατηρούνται συστηματικά χιονοπτώσεις, παγετός και επαναλαμβανόμενοι κύκλοι ψύξης–απόψυξης κατά τη χειμερινή περίοδο (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021). Η διείδυση υγρασίας στις ασφαλτικές στρώσεις και στις στρώσεις βάσης μειώνει σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος, επιταχύνει τη δημιουργία ρηγματώσεων και προκαλεί αποκολλήσεις αδρανών, λακκούβες και πρόωρη αστοχία των ασφαλτικών στρώσεων. Παράλληλα, οι έντονες βροχοπτώσεις αυξάνουν τις υδροστατικές πιέσεις στα πρανή, προκαλώντας διαβρώσεις, υποσκαφές επιχωμάτων και φράξιμο των αποστραγγιστικών έργων από φερτά υλικά. Οι τεχνικές εκθέσεις της Περιφέρειας Ηπείρου επισημαίνουν ότι σημαντικό ποσοστό των έκτακτων εργασιών αφορά τον καθαρισμό τάφρων, οχετών και τεχνικών απορροής, καθώς η μειωμένη αποστραγγιστική ικανότητα οδηγεί σε επιφανειακές πλημμύρες και επιταχυνόμενη υποβάθμιση του οδοστρώματος (Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021· Περιφέρεια Ηπείρου, 2023). Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή αυξάνει τη συχνότητα και την ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων, γεγονός που επιβάλλει την αναθεώρηση των τεχνικών παραδοχών σχεδιασμού των υδραυλικών έργων και την υιοθέτηση περισσότερο ανθεκτικών λύσεων για την προστασία των οδικών υποδομών. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπογραμμίζει ότι η ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οδικών δικτύων απέναντι στις κλιματικές

μεταβολές αποτελεί πλέον βασική συνιστώσα της στρατηγικής συντήρησης, ιδιαίτερα σε περιφέρειες υψηλής περιβαλλοντικής τρωτότητας όπως η Ήπειρος (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

5.5.3 Περιορισμένοι πόροι

Πέραν των φυσικών παραγόντων, σημαντικό εμπόδιο για τη διατήρηση της λειτουργικής κατάστασης του επαρχιακού οδικού δικτύου αποτελεί η διαχρονική ανεπάρκεια διαθέσιμων οικονομικών και τεχνικών πόρων. Οι ανάγκες συντήρησης αυξάνονται με ταχύτερο ρυθμό από τις διαθέσιμες πιστώσεις, γεγονός που υποχρεώνει τις αρμόδιες υπηρεσίες να εφαρμόζουν διαδικασίες ιεράρχησης των επεμβάσεων με βάση τον βαθμό επικινδυνότητας, τον κυκλοφοριακό φόρτο, τη λειτουργική σημασία κάθε οδικού τμήματος και την έκταση των παρατηρούμενων φθορών. Η πρακτική αυτή οδηγεί συχνά στην αναβολή παρεμβάσεων προληπτικής συντήρησης, με αποτέλεσμα μικρές επιφανειακές βλάβες να εξελίσσονται σε εκτεταμένες δομικές αστοχίες, αυξάνοντας πολλαπλάσια το μελλοντικό κόστος αποκατάστασης. Η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η έγκαιρη προληπτική συντήρηση είναι σημαντικά οικονομικότερη από την εκ των υστέρων ανακατασκευή οδοστρωμάτων, καθώς περιορίζει τόσο τις τεχνικές επεμβάσεις όσο και το κοινωνικό κόστος που σχετίζεται με τις καθυστερήσεις μετακίνησης, την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και τη μείωση της οδικής ασφάλειας (Ugochi, 2020). Παράλληλα, οι περιορισμένοι ανθρώπινοι πόροι των τεχνικών υπηρεσιών δυσχεραίνουν την τακτική επιθεώρηση του εκτεταμένου επαρχιακού δικτύου, ενώ οι διαδικασίες δημοπράτησης, χρηματοδότησης και συμβασιοποίησης συχνά παρατείνουν τον χρόνο υλοποίησης των απαιτούμενων έργων.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, η Περιφέρεια Ηπείρου έχει εντάξει στον στρατηγικό σχεδιασμό της την εφαρμογή προγραμμάτων συστηματικής συντήρησης, την αξιοποίηση σύγχρονων Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems), καθώς και την ιεράρχηση των έργων με αντικειμενικούς τεχνικούς και οικονομικούς δείκτες, ώστε οι διαθέσιμοι πόροι να κατευθύνονται στα τμήματα που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αναγκαιότητα παρέμβασης και το υψηλότερο κοινωνικοοικονομικό όφελος (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· TEE, 2022).

5.6 Έργα συντήρησης τελευταίας δεκαετίας

Κατά την τελευταία δεκαετία, η Περιφέρεια Ηπείρου υλοποίησε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης του επαρχιακού οδικού δικτύου, με στόχο τη διατήρηση της λειτουργικότητας των βασικών οδικών αξόνων, τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και την αύξηση της ανθεκτικότητας των υποδομών απέναντι στις έντονες γεωμορφολογικές και κλιματικές καταπονήσεις που χαρακτηρίζουν την περιοχή. Η στρατηγική που εφαρμόστηκε δεν περιορίστηκε στην εκτέλεση μεμονωμένων ασφαλικών εργασιών αλλά βασίστηκε σε πολυετή τεχνικά προγράμματα, στα οποία ενσωματώθηκαν επεμβάσεις δομικής ενίσχυσης οδοστρωμάτων, αποκατάστασης τεχνικών έργων, σταθεροποίησης πρανών, ανακατασκευής συστημάτων αποστράγγισης, αναβάθμισης της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, καθώς και αντικατάστασης των παλαιών συστημάτων αναχαίτισης οχημάτων σύμφωνα με τις σύγχρονες ευρωπαϊκές προδιαγραφές. Η επιλογή των έργων πραγματοποιήθηκε με βάση την τεχνική κατάσταση των υποδομών, την κυκλοφοριακή σημασία κάθε οδικού άξονα, τη συχνότητα εμφάνισης βλαβών και τον βαθμό επικινδυνότητας, όπως αυτός προέκυπτε από τις επιθεωρήσεις των τεχνικών υπηρεσιών της Περιφέρειας και των Περιφερειακών Ενοτήτων (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021).

Κεντρικό στοιχείο του προγραμματισμού αποτέλεσε η σταδιακή μετάβαση από τις αποσπασματικές επεμβάσεις έκτακτης ανάγκης σε οργανωμένα προγράμματα προληπτικής συντήρησης, τα οποία βασίζονται στη συστηματική αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων και στην ιεράρχηση των αναγκών με τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Η προσέγγιση αυτή ακολουθεί τη διεθνή πρακτική διαχείρισης οδικών υποδομών, σύμφωνα με την οποία η έγκαιρη εφαρμογή προληπτικών παρεμβάσεων μπορεί να μειώσει σημαντικά το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του οδοστρώματος, καθώς περιορίζει την εξέλιξη των επιφανειακών φθορών σε δομικές αστοχίες που απαιτούν πλήρη ανακατασκευή. Στο πλαίσιο αυτό, μεγάλο μέρος των διαθέσιμων πιστώσεων κατευθύνθηκε σε ασφαλικές ανακατασκευές, φρεζάρισμα και ανακατασκευή ασφαλικών στρώσεων κυκλοφορίας, αποκατάσταση καθιζήσεων, σφράγιση ρηγματώσεων, ενίσχυση των στρώσεων έδρασης, καθαρισμό και αποκατάσταση αποστραγγιστικών δικτύων, καθώς και σε εργασίες προστασίας πρανών σε περιοχές αυξημένης κατολισθητικής επικινδυνότητας (Ugochi, 2020· Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024).

Οι τεχνικές εκθέσεις των υπηρεσιών της Περιφέρειας καταγράφουν επαναλαμβανόμενες επεμβάσεις σταθεροποίησης πρανών μέσω τοποθέτησης αγκυρίων, μεταλλικών πλεγμάτων υψηλής αντοχής, τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα, λιθορριπών προστασίας και συστημάτων αποστράγγισης των γεωτεχνικών σχηματισμών. Παράλληλα, σε αρκετές θέσεις πραγματοποιήθηκαν εργασίες αντικατάστασης ή ενίσχυσης τεχνικών έργων απορροής ομβρίων, καθώς διαπιστώθηκε ότι η ανεπαρκής υδραυλική ικανότητα υφιστάμενων οχετών αποτελούσε βασικό παράγοντα δημιουργίας διαβρώσεων και υποσκαφών των επιχωμάτων. Οι παρεμβάσεις αυτές κρίθηκαν απαραίτητες όχι μόνο για την προστασία του οδοστρώματος αλλά και για τη διατήρηση της συνολικής ευστάθειας των οδικών κατασκευών σε περιοχές με έντονο υδρολογικό φορτίο (Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021· ΙΓΜΕ, 2022).

Αντίστοιχα, σημαντικές εργασίες συντήρησης υλοποιήθηκαν στην Περιφερειακή Ενότητα Πρέβεζας, όπου οι παρεμβάσεις επικεντρώθηκαν κυρίως στη βελτίωση των οδικών αξόνων που εξυπηρετούν την αυξημένη τουριστική κυκλοφορία προς τις παράκτιες περιοχές. Οι επεμβάσεις περιλάμβαναν ανακατασκευή ασφαλικών στρώσεων, αποκατάσταση φθαρμένων ερεισμάτων, αντικατάσταση κατακόρυφης σήμανσης, ανανέωση της οριζόντιας διαγράμμισης με ανακλαστικά υλικά υψηλής αντοχής, καθώς και εγκατάσταση νέων στηθαίων ασφαλείας σύμφωνα με τις απαιτήσεις των σύγχρονων ευρωπαϊκών προτύπων συγκράτησης οχημάτων. Αντίστοιχα, στην Περιφερειακή Ενότητα Άρτας προτεραιότητα δόθηκε στη βελτίωση των επαρχιακών αξόνων που εξυπηρετούν αγροτικές και κτηνοτροφικές περιοχές, όπου η συνεχής διέλευση βαρέων γεωργικών μηχανημάτων και φορτηγών προκαλεί αυξημένες καταπονήσεις στις ασφαλικές στρώσεις και στα τεχνικά έργα (Περιφέρεια Ηπείρου, 2023· Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024).

Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες εργασίες αντικατάστασης παλαιών μεταλλικών στηθαίων ασφαλείας, τοποθέτησης νέας κατακόρυφης σήμανσης υψηλής ανακλαστικότητας, βελτίωσης της οριζόντιας διαγράμμισης με υλικά αυξημένης διάρκειας ζωής, καθαρισμού της παρόδιας βλάστησης για την αποκατάσταση των αποστάσεων ορατότητας και αναβάθμισης του φωτισμού σε επιλεγμένους κόμβους και γέφυρες. Οι παρεμβάσεις αυτές εντάσσονται στη συνολική στρατηγική εφαρμογής της Εθνικής Στρατηγικής Οδικής Ασφάλειας 2021–2030 και της ευρωπαϊκής οδηγίας για τη διαχείριση της ασφάλειας των οδικών υποδομών, σύμφωνα με τις οποίες η πρόληψη των ατυχημάτων βασίζεται τόσο στη βελτίωση της συμπεριφοράς των χρηστών

όσο και στη συνεχή αναβάθμιση της ποιότητας των ίδιων των υποδομών (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

. Η αξιοποίηση Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems – PMS), όπως εφαρμόζονται από την Εγνατία Οδό Α.Ε., επέτρεψε την καταγραφή δεικτών λειτουργικής κατάστασης, όπως ο δείκτης διεθνούς τραχύτητας (International Roughness Index – IRI), ο δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (Pavement Condition Index – PCI), η αντιολισθηρότητα και η επιφανειακή φθορά, με στόχο την τεχνικά τεκμηριωμένη ιεράρχηση των επεμβάσεων. Η χρήση των συστημάτων αυτών μειώνει σημαντικά την αβεβαιότητα κατά τον σχεδιασμό των έργων, επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της κατανομής των διαθέσιμων οικονομικών πόρων και συμβάλλει στη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των οδικών υποδομών μέσω της έγκαιρης εφαρμογής προληπτικών επεμβάσεων αντί της δαπανηρής αποκατάστασης εκτεταμένων βλαβών (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Τα έργα συντήρησης που υλοποιήθηκαν κατά την τελευταία δεκαετία στην Περιφέρεια Ηπείρου καταδεικνύουν τη σταδιακή μετάβαση από ένα μοντέλο αποσπασματικής αντιμετώπισης των βλαβών σε ένα περισσότερο οργανωμένο σύστημα τεχνικής διαχείρισης των οδικών υποδομών, το οποίο συνδυάζει γεωτεχνική αξιολόγηση, κυκλοφοριακή ανάλυση, δείκτες απόδοσης, οικονομική ιεράρχηση και ευρωπαϊκές προδιαγραφές οδικής ασφάλειας. Παρά την πρόοδο που έχει επιτευχθεί, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις συντήρησης, οι έντονες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και οι δημοσιονομικοί περιορισμοί καθιστούν αναγκαία την περαιτέρω ενίσχυση των επενδύσεων, την αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών παρακολούθησης και τη συστηματική εφαρμογή προληπτικής συντήρησης, ώστε να διασφαλιστεί η μακροχρόνια λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

6.1 Ερευνητική προσέγγιση

Η παρούσα ερευνητική εργασία υιοθετεί ποιοτική ερευνητική προσέγγιση (qualitative research approach), βασισμένη στη μελέτη περίπτωσης (case study), με αντικείμενο τη διερεύνηση της

κατάστασης συντήρησης του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας αιτιολογείται από το γεγονός ότι η συντήρηση των οδικών υποδομών αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό τεχνικό ζήτημα, στο οποίο αλληλεπιδρούν γεωτεχνικοί, κυκλοφοριακοί, οικονομικοί, διοικητικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες. Κατά συνέπεια, η αποκλειστική χρήση ποσοτικών μεθόδων δεν επαρκεί για την πλήρη κατανόηση των αιτίων που επηρεάζουν τη λειτουργική κατάσταση του επαρχιακού δικτύου, ενώ η ποιοτική προσέγγιση επιτρέπει την εις βάθος ερμηνεία των τεχνικών δεδομένων, των διοικητικών διαδικασιών και των πρακτικών διαχείρισης που εφαρμόζονται από τους αρμόδιους φορείς. Η μελέτη περίπτωσης της Περιφέρειας Ηπείρου επιλέχθηκε επειδή πρόκειται για μία από τις πλέον γεωτεχνικά απαιτητικές περιφέρειες της χώρας, όπου η έντονη ορεινότητα, η υψηλή κατολισθητική επικινδυνότητα, οι αυξημένες βροχοπτώσεις και οι περιορισμένοι διαθέσιμοι πόροι δημιουργούν ένα ιδιαίτερα σύνθετο περιβάλλον διαχείρισης των οδικών υποδομών (ΤΕΕ, 2022· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Η ερευνητική διαδικασία βασίσθηκε κυρίως στη συστηματική ανάλυση δευτερογενών δεδομένων (secondary data analysis). Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν θεσμικά κείμενα, τεχνικές εκθέσεις, στρατηγικά σχέδια, κανονισμοί, οδηγίες μελετών, επιστημονικές δημοσιεύσεις, επίσημα στατιστικά στοιχεία και διοικητικά έγγραφα που αφορούν τη λειτουργία και τη συντήρηση του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Η χρήση δευτερογενών πηγών θεωρήθηκε η καταλληλότερη επιλογή, καθώς επιτρέπει την αξιοποίηση αξιόπιστων και τεκμηριωμένων πληροφοριών που έχουν παραχθεί από αρμόδιους δημόσιους φορείς, όπως το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, η Περιφέρεια Ηπείρου, η Εγνατία Οδός Α.Ε., η Ελληνική Στατιστική Αρχή, η Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Παράλληλα, η συγκριτική αξιολόγηση των πηγών κατέστησε δυνατή τη διασταύρωση των διαθέσιμων πληροφοριών, περιορίζοντας τον κίνδυνο ερμηνευτικών αποκλίσεων και ενισχύοντας την αξιοπιστία των ερευνητικών συμπερασμάτων (ΕΛΣΤΑΤ, 2021· Περιφέρεια Ηπείρου, 2022).

Η μεθοδολογική ανάλυση οργανώθηκε σε διαδοχικά στάδια. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τη συντήρηση των οδικών υποδομών, τους μηχανισμούς υποβάθμισης των οδοστρωμάτων, τα σύγχρονα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems – PMS) και τις ευρωπαϊκές πολιτικές διαχείρισης της οδικής ασφάλειας. Στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν τα διαθέσιμα

διοικητικά και τεχνικά στοιχεία που αφορούν την Περιφέρεια Ηπείρου, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών προγραμμάτων, των εκθέσεων συντήρησης, των γεωλογικών χαρτών, των τεχνικών οδηγιών και των κανονιστικών εγγράφων που διέπουν τον σχεδιασμό και την εκτέλεση έργων συντήρησης. Ακολούθησε η ταξινόμηση των δεδομένων σε επιμέρους θεματικές ενότητες, όπως τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, οι κυκλοφοριακές συνθήκες, οι κυριότερες μορφές φθοράς, οι τεχνικές συντήρησης, οι διοικητικοί περιορισμοί και οι οικονομικοί παράγοντες, ώστε να καταστεί δυνατή η συγκριτική ανάλυση των επιμέρους μεταβλητών και η εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Σημαντικό στοιχείο της ερευνητικής προσέγγισης αποτέλεσε η εφαρμογή ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου (qualitative content analysis). Η συγκεκριμένη τεχνική επέτρεψε τη συστηματική επεξεργασία του περιεχομένου των τεχνικών εκθέσεων και των διοικητικών εγγράφων, με στόχο την αναγνώριση κοινών προτύπων, επαναλαμβανόμενων τεχνικών προβλημάτων και παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της συντήρησης του επαρχιακού δικτύου. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε συγκριτική αξιολόγηση των προτεινόμενων πρακτικών με τις κατευθύνσεις που περιλαμβάνονται στις ευρωπαϊκές οδηγίες διαχείρισης της οδικής ασφάλειας και της ανθεκτικότητας των υποδομών, ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός εναρμόνισης των εφαρμοζόμενων πρακτικών με τα σύγχρονα διεθνή πρότυπα. Η προσέγγιση αυτή επέτρεψε όχι μόνο την περιγραφή των υφιστάμενων διαδικασιών αλλά και την κριτική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους υπό το πρίσμα των τεχνικών και διοικητικών απαιτήσεων που διέπουν τη σύγχρονη διαχείριση των οδικών υποδομών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Παράλληλα, κατά την ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ φυσικού περιβάλλοντος, κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών και τεχνικών επεμβάσεων συντήρησης. Ειδικότερα, εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο η ορεινή γεωμορφολογία, η γεωλογική σύσταση των σχηματισμών, τα κατολισθητικά φαινόμενα, οι αυξημένες βροχοπτώσεις και οι μεταβολές των κυκλοφοριακών φορτίων επηρεάζουν την εμφάνιση βλαβών και τη συχνότητα των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης. Η προσέγγιση αυτή βασίστηκε στη λογική της συνθετικής ανάλυσης (integrated analysis), σύμφωνα με την οποία η αξιολόγηση των οδικών υποδομών δεν περιορίζεται σε μεμονωμένες τεχνικές παραμέτρους αλλά

εξετάζει τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των φυσικών, τεχνικών και διοικητικών μεταβλητών που διαμορφώνουν τη συνολική απόδοση του δικτύου (Ugochi, 2020· ΙΓΜΕ, 2022).

Η αξιοπιστία της έρευνας ενισχύθηκε μέσω της διαδικασίας διασταύρωσης πληροφοριών (data triangulation), κατά την οποία τα δεδομένα που αντλήθηκαν από διαφορετικές πηγές συγκρίθηκαν μεταξύ τους προκειμένου να επιβεβαιωθεί η συνέπεια των ευρημάτων. Η χρήση θεσμικών εγγράφων, τεχνικών αναφορών, επίσημων στατιστικών στοιχείων και επιστημονικών δημοσιεύσεων συνέβαλε στη μείωση του κινδύνου μεροληψίας και στη βελτίωση της εγκυρότητας της ανάλυσης. Επιπλέον, όλες οι πληροφορίες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία προέρχονται αποκλειστικά από επίσημες ή επιστημονικά τεκμηριωμένες πηγές, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων και εξασφαλίζει τη δυνατότητα επαλήθευσης των αποτελεσμάτων από μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες (ΕΛΣΤΑΤ, 2022· ΤΕΕ, 2022).

6.2 Συλλογή δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων σχεδιάστηκε με στόχο τη συγκέντρωση αξιόπιστου, τεχνικά τεκμηριωμένου και επιστημονικά έγκυρου υλικού, το οποίο να επιτρέπει την ολοκληρωμένη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συντήρηση του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Λόγω του τεχνικού χαρακτήρα του αντικειμένου, υιοθετήθηκε η αξιοποίηση πολλαπλών πηγών δεδομένων, ώστε να επιτευχθεί η διασταύρωση των πληροφοριών και να ενισχυθεί η αξιοπιστία των συμπερασμάτων. Συγκεκριμένα, η ερευνητική διαδικασία βασίστηκε σε τρεις βασικούς άξονες συλλογής δεδομένων: την επιστημονική βιβλιογραφία, τις επίσημες τεχνικές εκθέσεις και τα διοικητικά έγγραφα των αρμόδιων φορέων, καθώς και τις επιτόπιες αυτοψίες στο επαρχιακό οδικό δίκτυο. Ο συνδυασμός των παραπάνω πηγών επέτρεψε την αξιολόγηση τόσο των θεωρητικών προσεγγίσεων που αναπτύσσονται στη διεθνή βιβλιογραφία όσο και της πραγματικής κατάστασης των οδικών υποδομών της Περιφέρειας Ηπείρου, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο τεχνικής ανάλυσης.

6.2.1 Βιβλιογραφία

Η πρώτη κατηγορία δεδομένων προήλθε από τη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση της ελληνικής και διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με τη συντήρηση οδικών υποδομών, τους μηχανισμούς υποβάθμισης των οδοστρωμάτων, τα συστήματα διαχείρισης οδικών δικτύων, τη γεωτεχνική συμπεριφορά των οδικών έργων και τις σύγχρονες πρακτικές οδικής ασφάλειας. Η βιβλιογραφική έρευνα επικεντρώθηκε αποκλειστικά σε έγκυρες επιστημονικές δημοσιεύσεις, επίσημες οδηγίες και θεσμικά κείμενα, ώστε να εξασφαλισθεί η επιστημονική τεκμηρίωση των θεωρητικών παραδοχών της έρευνας. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), στον Κανονισμό Επεμβάσεων Οδικών Έργων, στις κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τη διαχείριση της οδικής ασφάλειας, στα εγχειρίδια της Εγνατίας Οδού Α.Ε. σχετικά με τα Pavement Management Systems (PMS), καθώς και στη διεθνή βιβλιογραφία που εξετάζει τη σχέση μεταξύ προληπτικής συντήρησης, κύκλου ζωής των οδοστρωμάτων και οικονομικής αποδοτικότητας των τεχνικών επεμβάσεων. Η αξιολόγηση των βιβλιογραφικών πηγών πραγματοποιήθηκε με κριτήρια την επιστημονική εγκυρότητα, την επικαιρότητα, τη συνάφεια με το αντικείμενο της έρευνας και την αξιοπιστία του φορέα έκδοσης, ώστε να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά πηγές υψηλής τεχνικής και επιστημονικής ποιότητας (Ugochi, 2020· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020, 2021· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020, 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

6.2.2 Τεχνικές εκθέσεις

Η δεύτερη βασική πηγή δεδομένων αποτέλεσε η ανάλυση επίσημων τεχνικών εκθέσεων, διοικητικών εγγράφων και στρατηγικών σχεδίων που έχουν εκπονηθεί από τους αρμόδιους δημόσιους φορείς για τη διαχείριση του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν τα Τεχνικά Προγράμματα της Περιφέρειας Ηπείρου για την περίοδο 2020–2024, οι τεχνικές εκθέσεις της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, τα προγράμματα συντήρησης των Περιφερειακών Ενοτήτων, οι γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ/πρώην ΙΓΜΕ), καθώς και τα στατιστικά στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής. Μέσω της ανάλυσης των εγγράφων αυτών συγκεντρώθηκαν πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου, τις κυριότερες μορφές βλαβών, τις εφαρμοζόμενες τεχνικές συντήρησης, τα έργα που υλοποιήθηκαν κατά την τελευταία δεκαετία, τις γεωτεχνικές ιδιαιτερότητες της περιοχής, καθώς και τα διοικητικά και

οικονομικά προβλήματα που επηρεάζουν τη λειτουργία των αρμόδιων τεχνικών υπηρεσιών. Η συστηματική επεξεργασία των τεχνικών εκθέσεων επέτρεψε την εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων σχετικά με τις πραγματικές ανάγκες συντήρησης του επαρχιακού δικτύου, ενώ παράλληλα συνέβαλε στη διασταύρωση των πληροφοριών που προέκυψαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, ενισχύοντας την αξιοπιστία της ερευνητικής διαδικασίας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024· Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021· Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· Περιφέρεια Ηπείρου, 2023· ΙΓΜΕ, 2022· ΕΛΣΤΑΤ, 2022).

6.2.3 Αυτοψίες

Προκειμένου να συμπληρωθούν τα στοιχεία που προέκυψαν από τη βιβλιογραφία και τα διοικητικά έγγραφα, πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες αυτοψίες σε επιλεγμένα τμήματα του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Οι αυτοψίες είχαν ως βασικό στόχο την άμεση παρατήρηση της λειτουργικής κατάστασης των οδικών υποδομών και την επιβεβαίωση των τεχνικών προβλημάτων που καταγράφονται στις επίσημες τεχνικές εκθέσεις. Κατά τη διάρκεια των επιτόπιων επισκέψεων πραγματοποιήθηκε οπτική αξιολόγηση της κατάστασης του ασφαλοτάπητα, της παρουσίας ρηγματώσεων, καθιζήσεων, λακκουβών, αποκολλήσεων και τροχοσυλακώσεων, καθώς και του βαθμού λειτουργικότητας των αποστραγγιστικών έργων, των τεχνικών έργων αντιστήριξης, της κατακόρυφης και οριζόντιας σήμανσης, των στηθαίων ασφαλείας και των πρανών. Παράλληλα, καταγράφηκαν περιπτώσεις κατολισθήσεων, πτώσεων βράχων, διαβρώσεων επιχωμάτων και λοιπών γεωτεχνικών αστοχιών που επηρεάζουν τη λειτουργική ασφάλεια του δικτύου. Οι παρατηρήσεις τεκμηριώθηκαν μέσω φωτογραφικής αποτύπωσης και συστηματικής καταγραφής πεδίου, ώστε να είναι δυνατή η σύγκρισή τους με τα στοιχεία των τεχνικών εκθέσεων και της σχετικής βιβλιογραφίας. Η χρήση των αυτοψιών ενίσχυσε σημαντικά την εγκυρότητα της έρευνας, καθώς επέτρεψε την άμεση επιβεβαίωση των μορφών υποβάθμισης των οδικών υποδομών και τη σύνδεση των θεωρητικών δεδομένων με τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου.

6.3 Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη συστηματική οργάνωση, αξιολόγηση και σύνθεση του συνόλου των πληροφοριών που συλλέχθηκαν κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, την ανάλυση των τεχνικών εκθέσεων και τις επιτόπιες αυτοψίες. Δεδομένου ότι η παρούσα έρευνα ακολουθεί ποιοτική μεθοδολογική προσέγγιση, η διαδικασία επεξεργασίας δεν περιορίστηκε σε απλή περιγραφική παρουσίαση των διαθέσιμων στοιχείων αλλά στηρίχθηκε σε συγκριτική και ερμηνευτική ανάλυση, με στόχο την αναγνώριση των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν τη λειτουργική κατάσταση και τη συντήρηση του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Η επεξεργασία οργανώθηκε σε διαδοχικά στάδια, ώστε να διασφαλιστεί η επιστημονική εγκυρότητα της έρευνας, η λογική συνοχή των αποτελεσμάτων και η δυνατότητα διασταύρωσης των συμπερασμάτων που προέκυψαν από διαφορετικές πηγές πληροφόρησης.

Κατά το πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση όλων των διαθέσιμων δεδομένων σε θεματικές κατηγορίες, ανάλογα με το αντικείμενο που εξετάζαν. Ειδικότερα, τα στοιχεία οργανώθηκαν σε επιμέρους ενότητες που αφορούσαν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Περιφέρειας Ηπείρου, τα κυκλοφοριακά δεδομένα, τις συνηθέστερες μορφές αστοχίας των οδοστρωμάτων, τα γεωτεχνικά προβλήματα, τις εφαρμοζόμενες πρακτικές συντήρησης, τα διοικητικά ζητήματα διαχείρισης του οδικού δικτύου και τις οικονομικές παραμέτρους που επηρεάζουν τον προγραμματισμό των έργων. Η κατηγοριοποίηση αυτή επέτρεψε τη συγκέντρωση ομοειδών πληροφοριών και διευκόλυνε τη συστηματική σύγκριση των δεδομένων που προέρχονταν από διαφορετικές πηγές, όπως επιστημονικές δημοσιεύσεις, τεχνικές εκθέσεις, στρατηγικά σχέδια, διοικητικά έγγραφα και στοιχεία πεδίου. Με τον τρόπο αυτό περιορίστηκε η πιθανότητα αποσπασματικής ερμηνείας των αποτελεσμάτων και δημιουργήθηκε ένα ενιαίο πλαίσιο ανάλυσης για το σύνολο της ερευνητικής διαδικασίας.

Στο δεύτερο στάδιο εφαρμόστηκε ποιοτική ανάλυση περιεχομένου (qualitative content analysis), μέσω της οποίας εξετάστηκαν συστηματικά τα τεχνικά και διοικητικά έγγραφα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα. Η διαδικασία περιλάμβανε επαναλαμβανόμενη μελέτη των διαθέσιμων πηγών, εντοπισμό επαναλαμβανόμενων τεχνικών ζητημάτων, καταγραφή των

κυριότερων μορφών φθοράς του επαρχιακού οδικού δικτύου και αναγνώριση των παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των εργασιών συντήρησης. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, κυκλοφοριακών φορτίων, καιρικών συνθηκών και τεχνικών επεμβάσεων, καθώς οι μεταβλητές αυτές αποτελούν τους βασικούς μηχανισμούς που καθορίζουν τη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων και την ανάγκη εκτέλεσης προληπτικών ή διορθωτικών εργασιών συντήρησης. Παράλληλα, εξετάστηκε ο βαθμός συμμόρφωσης των εφαρμοζόμενων πρακτικών με τις απαιτήσεις των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων, των οδηγιών συντήρησης του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών και των ευρωπαϊκών κατευθυντήριων οδηγιών για τη διαχείριση της οδικής ασφάλειας και της ανθεκτικότητας των μεταφορικών υποδομών (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020, 2021· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε συγκριτική αξιολόγηση (comparative analysis) των πληροφοριών που προέκυψαν από τις διαφορετικές πηγές δεδομένων. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα των επιτόπιων αυτοψιών συγκρίθηκαν με τις τεχνικές εκθέσεις των υπηρεσιών της Περιφέρειας Ηπείρου, τις γεωλογικές μελέτες της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, τις δημοσιευμένες κατευθυντήριες οδηγίες της Εγνατίας Οδού Α.Ε. και τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής. Η διαδικασία αυτή επέτρεψε την επαλήθευση της αξιοπιστίας των καταγεγραμμένων τεχνικών προβλημάτων, καθώς και την επιβεβαίωση ότι οι παρατηρούμενες φθορές των οδοστρωμάτων, οι κατολισθητικές αστοχίες, οι διαβρώσεις πρανών και οι δυσλειτουργίες των αποστραγγιστικών έργων συμφωνούν με τα ευρήματα που παρουσιάζονται στις επίσημες τεχνικές αναφορές και στη σχετική επιστημονική βιβλιογραφία. Η διασταύρωση των δεδομένων (data triangulation) ενίσχυσε την εγκυρότητα της έρευνας, καθώς περιόρισε την πιθανότητα εσφαλμένων ερμηνειών και αύξησε την αξιοπιστία των τελικών συμπερασμάτων (ΕΛΣΤΑΤ, 2022· Περιφέρεια Ηπείρου, 2022).

Η ανάλυση επικεντρώθηκε στη διερεύνηση των αιτιωδών σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών παραγόντων που επηρεάζουν τη συντήρηση του επαρχιακού οδικού δικτύου, όπως η αλληλεπίδραση μεταξύ της γεωλογικής σύστασης των σχηματισμών, των υδρολογικών συνθηκών, της έντασης της κυκλοφορίας και της συχνότητας εμφάνισης δομικών βλαβών στα οδοστρώματα. Επιπλέον, αξιολογήθηκε ο βαθμός στον οποίο οι υφιστάμενες πρακτικές συντήρησης

ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της σύγχρονης διαχείρισης οδικών υποδομών, λαμβάνοντας υπόψη τις αρχές της προληπτικής συντήρησης, της ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA) και της εφαρμογής Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems – PMS). Η προσέγγιση αυτή κατέστησε δυνατή την εξαγωγή συμπερασμάτων που δεν περιορίζονται στην καταγραφή των προβλημάτων, αλλά ερμηνεύουν τους μηχανισμούς που οδηγούν στην εμφάνισή τους και αξιολογούν την αποτελεσματικότητα των εφαρμοζόμενων τεχνικών παρεμβάσεων (Ugochi, 2020· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

6.4 Κριτήρια αξιολόγησης

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των εργασιών συντήρησης του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου πραγματοποιήθηκε μέσω ενός πολυκριτηριακού πλαισίου ανάλυσης, το οποίο βασίζεται στις σύγχρονες αρχές της διαχείρισης οδικών υποδομών και στις κατευθυντήριες οδηγίες του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, της Εγνατίας Οδού Α.Ε. και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η χρήση πολλαπλών κριτηρίων κρίθηκε απαραίτητη, καθώς η απόδοση ενός έργου συντήρησης δεν μπορεί να αξιολογηθεί αποκλειστικά από την τεχνική ποιότητα της κατασκευής, αλλά απαιτεί τη συνεκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας, της λειτουργικής συμπεριφοράς του οδικού δικτύου και του επιπέδου οδικής ασφάλειας που επιτυγχάνεται μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση της παρούσας έρευνας οργανώθηκε σε τρεις βασικούς άξονες, οι οποίοι περιλαμβάνουν την τεχνική αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων, την οικονομική αποδοτικότητα των διαθέσιμων πόρων και τη συμβολή των έργων στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ακολουθεί τη διεθνή πρακτική των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems), σύμφωνα με την οποία οι αποφάσεις συντήρησης βασίζονται σε αντικειμενικούς τεχνικούς δείκτες και όχι αποκλειστικά σε οπτικές εκτιμήσεις ή διοικητικές προτεραιότητες (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Πίνακας 6.1 Κριτήρια αξιολόγησης της έρευνας

Κατηγορία αξιολόγησης	Βασικά κριτήρια	Ενδεικτικοί δείκτες
Τεχνική αποτελεσματικότητα	Κατάσταση οδοστρώματος, δομική επάρκεια, λειτουργικότητα τεχνικών έργων	Ρηγματώσεις, καθιζήσεις, IRI, PCI, αποστράγγιση
Οικονομική αποδοτικότητα	Βέλτιστη αξιοποίηση πόρων, κόστος κύκλου ζωής, προτεραιοποίηση έργων	Κόστος συντήρησης, LCCA, προϋπολογισμός έργων
Οδική ασφάλεια	Μείωση επικινδυνότητας, βελτίωση εξοπλισμού ασφαλείας	Σήμανση, στηθαία, αντιολισθηρότητα, δείκτες ατυχημάτων

Πηγή: Προσαρμογή από Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών (2021), Εγνατία Οδός Α.Ε. (2022) και Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2021).

6.4.1 Τεχνική αποτελεσματικότητα

Η τεχνική αποτελεσματικότητα αποτελεί το βασικότερο κριτήριο αξιολόγησης των εργασιών συντήρησης, καθώς αποτυπώνει τον βαθμό στον οποίο οι τεχνικές επεμβάσεις αποκαθιστούν ή διατηρούν τη λειτουργική κατάσταση του επαρχιακού οδικού δικτύου. Η αξιολόγηση βασίσθηκε στην καταγραφή της κατάστασης του οδοστρώματος, της γεωμετρικής επάρκειας της οδού, της λειτουργικότητας των αποστραγγιστικών έργων, της ευστάθειας των πρανών και της κατάστασης των συνοδών τεχνικών έργων. Παράλληλα εξετάστηκαν οι κυριότερες μορφές αστοχίας, όπως οι διαμήκεις και εγκάρσιες ρηγματώσεις, οι λακκούβες, οι καθιζήσεις, οι αποκολλήσεις ασφαλτομίγματος, οι τροχοαυλακώσεις και οι διαβρώσεις επιχωμάτων. Στο σύγχρονο πλαίσιο διαχείρισης οδικών υποδομών η αξιολόγηση πραγματοποιείται μέσω αντικειμενικών δεικτών, όπως ο **International Roughness Index (IRI)**, που εκφράζει τη διαμήκη ομαλότητα του οδοστρώματος, και ο **Pavement Condition Index (PCI)**, ο οποίος αποτυπώνει συνολικά την τεχνική κατάσταση του ασφαλτοτάπητα. Η εφαρμογή των συγκεκριμένων δεικτών επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της υποβάθμισης και την ιεράρχηση των επεμβάσεων με τεχνικά τεκμηριωμένο τρόπο, περιορίζοντας

την υποκειμενικότητα στη λήψη αποφάσεων (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Πίνακας 6.2 Ενδεικτικοί τεχνικοί δείκτες αξιολόγησης

Δείκτης	Αντικείμενο αξιολόγησης	Ερμηνεία
IRI	Διαμήκης ομαλότητα οδοστρώματος	Μικρότερη τιμή = καλύτερη ποιότητα κύλισης
PCI	Συνολική κατάσταση οδοστρώματος	Μεγαλύτερη τιμή = καλύτερη κατάσταση
Ρηγματώσεις	Δομική κόπωση	Μεγαλύτερη έκταση = αυξημένη ανάγκη συντήρησης
Καθιζήσεις	Φέρουσα ικανότητα	Ένδειξη γεωτεχνικών προβλημάτων
Λειτουργία αποστράγγισης	Υδραυλική επάρκεια	Μειώνει τη διάβρωση και τις αστοχίες

Πηγή: Προσαρμογή από Εγνατία Οδός Α.Ε. (2022) και Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών (2021).

6.4.2 Οικονομική αποδοτικότητα

Η οικονομική αποδοτικότητα αφορά την αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ του οικονομικού κόστους των επεμβάσεων συντήρησης και του τεχνικού αποτελέσματος που επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της υποδομής. Η διεθνής πρακτική δείχνει ότι οι στρατηγικές προληπτικής συντήρησης εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερο συνολικό κόστος σε σύγκριση με τις εκτεταμένες εργασίες ανακατασκευής που απαιτούνται όταν η υποβάθμιση του οδοστρώματος έχει ήδη εξελιχθεί σε δομική αστοχία (Ugochi, 2020). Για τον λόγο αυτό, η παρούσα έρευνα αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα του προγραμματισμού των έργων συντήρησης μέσω της ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA), της ορθολογικής κατανομής των διαθέσιμων οικονομικών πόρων, της προτεραιοποίησης των επεμβάσεων και της σχέσης μεταξύ του κόστους των έργων και της βελτίωσης της λειτουργικής κατάστασης του δικτύου. Παράλληλα εξετάστηκε ο βαθμός αξιοποίησης των χρηματοδοτικών πόρων που διατέθηκαν μέσω των

Τεχνικών Προγραμμάτων της Περιφέρειας Ηπείρου, καθώς και η αποτελεσματικότητα της κατανομής τους στις περιοχές που παρουσίαζαν τις μεγαλύτερες ανάγκες συντήρησης (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024).

Πίνακας 6.3 Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης

Παράμετρος	Σκοπός αξιολόγησης
Κόστος συντήρησης ανά έργο	Εκτίμηση οικονομικής επιβάρυνσης
Ανάλυση κύκλου ζωής (LCCA)	Βέλτιστη επιλογή τεχνικής λύσης
Προτεραιοποίηση έργων	Μέγιστη αξιοποίηση διαθέσιμων πόρων
Έκτακτες έναντι προληπτικών επεμβάσεων	Σύγκριση οικονομικής αποτελεσματικότητας
Απορρόφηση χρηματοδότησης	Αποτελεσματικότητα διοικητικής διαχείρισης

Πηγή: Προσαρμογή από Ugochi (2020), Περιφέρεια Ηπείρου (2020–2024) και TEE (2022).

6.4.3 Οδική ασφάλεια

Η οδική ασφάλεια αποτελεί το τρίτο βασικό κριτήριο αξιολόγησης της παρούσας έρευνας, καθώς ο τελικός στόχος κάθε έργου συντήρησης είναι η μείωση της πιθανότητας πρόκλησης τροχαίων ατυχημάτων και η βελτίωση του επιπέδου προστασίας των χρηστών του οδικού δικτύου. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης, τη λειτουργική επάρκεια των στηθαίων ασφαλείας, την αντιολισθηρότητα του οδοστρώματος, την κατάσταση των πρανών, τη διατήρηση των αποστάσεων ορατότητας και την ύπαρξη επικίνδυνων σημείων που μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο ατυχημάτων. Επιπλέον, εξετάστηκε η συμμόρφωση των εφαρμοζόμενων πρακτικών με τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για τη Διαχείριση της Ασφάλειας των Οδικών Υποδομών και της Ελληνικής Στρατηγικής Οδικής Ασφάλειας 2021–2030, οι οποίες προβλέπουν συστηματικές επιθεωρήσεις, αξιολόγηση επικινδυνότητας και συνεχή παρακολούθηση των χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την αντικειμενική αποτίμηση της συμβολής των έργων συντήρησης στη βελτίωση της συνολικής ασφάλειας των μετακινήσεων και στη μείωση του κοινωνικού και οικονομικού κόστους που συνδέεται με τα τροχαία ατυχήματα (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Πίνακας 6.4 Δείκτες αξιολόγησης οδικής ασφάλειας

Παράμετρος	Σκοπός αξιολόγησης
Οριζόντια διαγράμμιση	Ορατότητα και καθοδήγηση οδηγών
Κατακόρυφη σήμανση	Πληροφόρηση και προειδοποίηση
Στηθαία ασφάλειας	Περιορισμός σοβαρότητας ατυχημάτων
Αντιολισθηρότητα οδοστρώματος	Βελτίωση πρόσφυσης
Κατάσταση πρανών	Πρόληψη κατολισθήσεων και πτώσεων βράχων
Δείκτες ατυχημάτων	Εκτίμηση αποτελεσματικότητας παρεμβάσεων

Πηγή: Προσαρμογή από Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2021), Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών (2022) και Εγνατία Οδός Α.Ε. (2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων

7.1 Παρουσίαση έργου

Η παρούσα μελέτη περίπτωσης αφορά το έργο «Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων», το οποίο εντάσσεται στο πλαίσιο των παρεμβάσεων συντήρησης και αναβάθμισης του επαρχιακού οδικού δικτύου που υλοποιεί η Περιφέρεια Ηπείρου με στόχο τη διατήρηση της λειτουργικότητας, της ασφάλειας και της επιχειρησιακής αξιοπιστίας των οδικών υποδομών. Η επιλογή του συγκεκριμένου έργου ως αντικείμενο της παρούσας μελέτης βασίζεται στην ιδιαίτερη σημασία του οδικού άξονα για την εξυπηρέτηση των καθημερινών μετακινήσεων, την πρόσβαση σε οικισμούς και παραγωγικές περιοχές της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, καθώς και στη σύνδεσή του με το βασικό εθνικό οδικό δίκτυο μέσω της Ιόνιας και της Εγνατίας Οδού. Πρόκειται για έναν επαρχιακό άξονα υψηλής λειτουργικής σημασίας, ο οποίος εξυπηρετεί τόσο τοπικές όσο και διαπεριφερειακές μετακινήσεις, ενώ παράλληλα δέχεται σημαντικό ποσοστό βαρέων οχημάτων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αγροτικών προϊόντων, δομικών υλικών και λοιπών εμπορευμάτων. Η διατήρηση της λειτουργικότητας του

συγκεκριμένου τμήματος αποτελεί επομένως κρίσιμο παράγοντα για τη συνολική επιχειρησιακή απόδοση του επαρχιακού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου (Περιφέρεια Ηπείρου, 2023· Περιφέρεια Ηπείρου, 2022).

Πριν από την υλοποίηση των εργασιών, το εξεταζόμενο οδικό τμήμα παρουσίαζε εκτεταμένα προβλήματα λειτουργικής και δομικής υποβάθμισης, τα οποία είχαν αναπτυχθεί σταδιακά λόγω της μακροχρόνιας κυκλοφοριακής καταπόνησης, της γήρανσης των ασφαλικών στρώσεων και των ιδιαίτερα δυσμενών γεωτεχνικών και κλιματικών συνθηκών της περιοχής. Κατά τις τεχνικές επιθεωρήσεις διαπιστώθηκαν διαμήκεις και εγκάρσιες ρηγματώσεις, τοπικές καθιζήσεις, αποσαθρώσεις ασφαλτομίγματος, λακκούβες, αποκολλήσεις αδρανών υλικών, ανομοιομορφίες της επιφάνειας κύλισης και τοπικές αστοχίες των ερεισμάτων. Επιπλέον, σε αρκετές θέσεις παρατηρήθηκαν προβλήματα απορροής των ομβρίων υδάτων εξαιτίας ανεπαρκούς λειτουργίας των υφιστάμενων αποστραγγιστικών έργων, γεγονός που επιτάχυνε την υποβάθμιση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων του οδοστρώματος και αύξησε τον κίνδυνο δημιουργίας καθιζήσεων και διαβρώσεων. Οι βλάβες αυτές επηρέαζαν άμεσα τόσο την ποιότητα κύλισης όσο και το επίπεδο οδικής ασφάλειας, αυξάνοντας το λειτουργικό κόστος των οχημάτων και μειώνοντας την αξιοπιστία του συγκεκριμένου επαρχιακού άξονα (Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021).

Η τεχνική φιλοσοφία του έργου βασίστηκε στις αρχές της προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) και του Κανονισμού Επεμβάσεων Οδικών Έργων. Οι προβλεπόμενες εργασίες περιλάμβαναν φρεζάρισμα των φθαρμένων ασφαλικών στρώσεων, αποκατάσταση των σημείων που παρουσίαζαν δομικές αστοχίες, ανακατασκευή της ασφαλικής στρώσης κυκλοφορίας, ενίσχυση των ερεισμάτων, καθαρισμό και αποκατάσταση των αποστραγγιστικών έργων, ανανέωση της οριζόντιας διαγράμμισης, αντικατάσταση της κατακόρυφης σήμανσης και εγκατάσταση ή αναβάθμιση των συστημάτων παθητικής ασφάλειας όπου κρίθηκε αναγκαίο. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν τοπικές γεωτεχνικές παρεμβάσεις στα πρανή και στα επιχώματα, με στόχο την πρόληψη μελλοντικών κατολισθητικών φαινομένων και τη βελτίωση της συνολικής σταθερότητας της οδικής υποδομής. Η επιλογή των τεχνικών λύσεων βασίστηκε στην αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος, των γεωλογικών συνθηκών και των κυκλοφοριακών απαιτήσεων του άξονα,

σύμφωνα με τις σύγχρονες αρχές διαχείρισης οδικών υποδομών (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Η αναγκαιότητα υλοποίησης του έργου ενισχύεται από τα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων. Η έντονη ορεινότητα, οι μεγάλες κατά μήκος κλίσεις, οι περιοχές υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας και τα αυξημένα ύψη βροχόπτωσης δημιουργούν ένα ιδιαίτερα επιβαρυνμένο περιβάλλον λειτουργίας για τις οδικές υποδομές. Οι συνθήκες αυτές επιταχύνουν τη διαδικασία υποβάθμισης των ασφαλικών στρώσεων, αυξάνουν τη συχνότητα εμφάνισης γεωτεχνικών αστοχιών και απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα επιθεωρήσεων και εργασιών συντήρησης συγκριτικά με αντίστοιχες πεδινές περιοχές της χώρας. Επιπλέον, οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής, οι οποίες εκδηλώνονται μέσω εντονότερων βροχοπτώσεων και αυξημένης συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων, καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή τεχνικών λύσεων με αυξημένη ανθεκτικότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (ΙΓΜΕ, 2022· Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Από οικονομική σκοπιά, το έργο εντάσσεται στη στρατηγική της Περιφέρειας Ηπείρου για την εφαρμογή προληπτικής συντήρησης των οδικών υποδομών, σύμφωνα με την οποία η έγκαιρη αντιμετώπιση των φθορών μειώνει σημαντικά το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του οδοστρώματος. Η διεθνής βιβλιογραφία τεκμηριώνει ότι οι πρώιμες επεμβάσεις αποκατάστασης επιφανειακών και τοπικών δομικών βλαβών είναι σημαντικά οικονομικότερες από τις εκτεταμένες ανακατασκευές που απαιτούνται όταν η υποβάθμιση εξελιχθεί σε πλήρη αστοχία της κατασκευής. Ως εκ τούτου, η υλοποίηση του έργου δεν αποσκοπεί μόνο στη βελτίωση της ποιότητας κύλισης αλλά και στη μείωση των μελλοντικών δαπανών συντήρησης, στην προστασία της δημόσιας επένδυσης και στη διασφάλιση της μακροχρόνιας λειτουργικότητας του επαρχιακού δικτύου (Ugochi, 2020· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

7.2 Θέση έργου

Το υπό μελέτη έργο αφορά τμήμα της **2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων**, η οποία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δευτερεύοντες οδικούς άξονες της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων και εντάσσεται στο επαρχιακό οδικό δίκτυο της Περιφέρειας Ηπείρου. Ο συγκεκριμένος οδικός

άξονας εξυπηρετεί τη σύνδεση της πόλης των Ιωαννίνων με οικισμούς της ενδοχώρας, αγροτικές και κτηνοτροφικές περιοχές, παραγωγικές εγκαταστάσεις και τοπικά διοικητικά κέντρα, ενώ παράλληλα λειτουργεί ως συμπληρωματικό δίκτυο σύνδεσης με τους κύριους εθνικούς αυτοκινητοδρόμους της περιοχής, κυρίως την **Εγνατία Οδό (Α2)** και την **Ιόνια Οδό (Α5)**. Ως αποτέλεσμα, το εξεταζόμενο τμήμα παρουσιάζει ιδιαίτερη λειτουργική σημασία τόσο για την καθημερινή μετακίνηση των κατοίκων όσο και για τη διακίνηση εμπορευμάτων, την εξυπηρέτηση του πρωτογενούς τομέα και την πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας, εκπαίδευσης και διοίκησης (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· Περιφέρεια Ηπείρου, 2023).

Η περιοχή ανάπτυξης του έργου χαρακτηρίζεται από έντονη γεωμορφολογική πολυπλοκότητα, καθώς το οδικό τμήμα διέρχεται από ημιορεινό και κατά τόπους ορεινό περιβάλλον, όπου παρατηρούνται σημαντικές υψομετρικές μεταβολές, περιορισμένες ακτίνες καμπυλότητας, μεγάλες κατά μήκος κλίσεις και πρηνή αυξημένης γεωτεχνικής ευαισθησίας. Η γεωλογική δομή της περιοχής αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και τμήματα φλύσχη, τα οποία εμφανίζουν διαφοροποιημένη μηχανική συμπεριφορά και αυξημένη ευπάθεια σε κατολισθητικά φαινόμενα όταν συνδυάζονται με υψηλά επίπεδα υγρασίας ή έντονες βροχοπτώσεις. Ως εκ τούτου, η θέση του έργου παρουσιάζει αυξημένες απαιτήσεις τόσο κατά τον σχεδιασμό όσο και κατά τη συντήρηση των οδικών υποδομών, καθώς απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της ευστάθειας των πρηνών, της λειτουργίας των αποστραγγιστικών έργων και της κατάστασης των επιχωμάτων προκειμένου να διασφαλίζεται η ασφαλής κυκλοφορία των οχημάτων (ΙΓΜΕ, 2020· ΙΓΜΕ, 2022).

Από κυκλοφοριακής πλευράς, η 2η Επαρχιακή Οδός Ιωαννίνων εξυπηρετεί μικτή σύνθεση κυκλοφορίας, αποτελούμενη από επιβατικά οχήματα, γεωργικά μηχανήματα, βαρέα φορτηγά μεταφοράς προϊόντων του πρωτογενούς τομέα και επαγγελματικά οχήματα που εξυπηρετούν τις τοπικές επιχειρήσεις. Η κυκλοφορία παρουσιάζει εποχικές διακυμάνσεις, καθώς κατά τις θερινές περιόδους αυξάνεται η τουριστική κίνηση προς ορεινούς προορισμούς της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, ενώ κατά τις περιόδους συγκομιδής γεωργικών προϊόντων καταγράφεται μεγαλύτερη συμμετοχή βαρέων οχημάτων. Η συνεχής εναλλαγή διαφορετικών τύπων κυκλοφορίας προκαλεί ανομοιόμορφη καταπόνηση των ασφαλικών στρώσεων και αυξάνει τις απαιτήσεις συντήρησης, ιδιαίτερα σε τμήματα όπου παρατηρούνται έντονες επιταχύνσεις, επιβραδύνσεις ή

αυξημένες διατμητικές τάσεις λόγω της γεωμετρίας της χάραξης (ΕΛΣΤΑΤ, 2021· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021).

Η θέση του έργου επηρεάζεται επίσης από τις ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, όπου καταγράφονται από τα υψηλότερα ύψη ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα. Η αυξημένη επιφανειακή απορροή, οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι παγετού–απόψυξης και οι έντονες χειμερινές χιονοπτώσεις επιταχύνουν την υποβάθμιση των ασφαλικών στρώσεων, προκαλώντας ρηγματώσεις, καθιζήσεις και αποσάθρωση του ασφαλιστικού. Παράλληλα, η έντονη υδρολογική φόρτιση των πρηνών αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων και διαβρώσεων, γεγονός που καθιστά κρίσιμη τη σωστή λειτουργία των εγκάρσιων και διαμήκων αποστραγγιστικών έργων. Για τον λόγο αυτό, η γεωγραφική θέση του έργου επιβάλλει την εφαρμογή αυξημένων τεχνικών προδιαγραφών τόσο για τις ασφαλικές εργασίες όσο και για τις γεωτεχνικές παρεμβάσεις προστασίας των πρηνών και των τεχνικών έργων (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2020).

Ο εξεταζόμενος οδικός άξονας διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην οικονομική λειτουργία της περιοχής, καθώς εξασφαλίζει την πρόσβαση σε γεωργικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, τουριστικές επιχειρήσεις, μικρές μεταποιητικές μονάδες και τοπικές αγορές. Παράλληλα, συμβάλλει στη σύνδεση απομακρυσμένων οικισμών με την πόλη των Ιωαννίνων, όπου συγκεντρώνεται σημαντικό μέρος των διοικητικών, υγειονομικών και εκπαιδευτικών υπηρεσιών της Περιφέρειας. Η επιχειρησιακή αξιοπιστία του συγκεκριμένου τμήματος αποκτά ιδιαίτερη σημασία κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων, καθώς σε αρκετές περιπτώσεις αποτελεί τη μοναδική ασφαλή οδική σύνδεση των τοπικών κοινοτήτων με το βασικό οδικό δίκτυο της περιοχής. Για τον λόγο αυτό, η Περιφέρεια Ηπείρου εντάσσει συστηματικά το συγκεκριμένο τμήμα στα ετήσια προγράμματα επιθεώρησης και συντήρησης, δίνοντας προτεραιότητα σε παρεμβάσεις που βελτιώνουν τη λειτουργικότητα, την ανθεκτικότητα και το επίπεδο οδικής ασφάλειας του άξονα (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024· Περιφέρεια Ηπείρου, 2023).

Η επιλογή του συγκεκριμένου έργου ως μελέτη περίπτωσης θεωρείται ιδιαίτερα αντιπροσωπευτική, καθώς συγκεντρώνει όλα τα βασικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν το επαρχιακό οδικό δίκτυο της Ηπείρου: έντονη ορεινότητα, αυξημένη γεωτεχνική επικινδυνότητα,

δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες, μικτή κυκλοφοριακή σύνθεση και αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης. Επομένως, η τεχνική αξιολόγηση της συγκεκριμένης παρέμβασης παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων που μπορούν να αξιοποιηθούν ευρύτερα για τον σχεδιασμό αντίστοιχων έργων συντήρησης σε άλλους επαρχιακούς οδικούς άξονες της Περιφέρειας Ηπείρου.

7.3 Ιστορικό έργου

Η ανάγκη υλοποίησης του έργου «Αποκατάσταση και βελτίωση οδικού τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων» προέκυψε μετά από σειρά τεχνικών επιθεωρήσεων που πραγματοποίησαν οι υπηρεσίες της Περιφέρειας Ηπείρου, κατά τις οποίες διαπιστώθηκε σημαντική επιδείνωση της λειτουργικής κατάστασης του συγκεκριμένου επαρχιακού άξονα. Η επιδείνωση αυτή δεν αποτελούσε αποτέλεσμα ενός μεμονωμένου γεγονότος αλλά της σωρευτικής δράσης της κυκλοφοριακής φόρτισης, της φυσικής γήρανσης των ασφαλικών στρώσεων, των έντονων κλιματικών επιδράσεων και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Ήδη από τις πρώτες τεχνικές καταγραφές των υπηρεσιών συντήρησης διαπιστώθηκε ότι σημαντικά τμήματα της οδού παρουσίαζαν εκτεταμένες ρηγματώσεις, καθιζήσεις, αποκολλήσεις ασφαλτομίγματος, φθορές στα ερείσματα και δυσλειτουργίες των αποστραγγιστικών έργων, γεγονός που δημιουργούσε αυξημένους κινδύνους για την ασφάλεια της κυκλοφορίας και επέβαλε την άμεση προώθηση έργου αποκατάστασης (Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021).

Στο πλαίσιο του ετήσιου προγραμματισμού έργων της Περιφέρειας Ηπείρου, το συγκεκριμένο οδικό τμήμα συμπεριλήφθηκε στις προτεραιότητες συντήρησης, καθώς αξιολογήθηκε ότι η συνέχιση της λειτουργίας του χωρίς ουσιαστικές τεχνικές παρεμβάσεις θα οδηγούσε σε επιταχυνόμενη δομική υποβάθμιση του οδοστρώματος και σημαντική αύξηση του κόστους μελλοντικής αποκατάστασης. Ακολούθησε η εκπόνηση της απαιτούμενης τεχνικής μελέτης, κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες αυτοψίες, αποτυπώσεις της υφιστάμενης κατάστασης, αξιολόγηση των μορφών αστοχίας, καταγραφή των γεωτεχνικών προβλημάτων και εκτίμηση των απαιτούμενων τεχνικών επεμβάσεων. Η μελέτη εκπονήθηκε σύμφωνα με τις προβλέψεις των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) και του Κανονισμού Επεμβάσεων Οδικών Έργων, ώστε οι προτεινόμενες λύσεις να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες τεχνικές προδιαγραφές που εφαρμόζονται στα έργα συντήρησης του ελληνικού οδικού δικτύου (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020).

Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης ακολούθησε η ένταξη του έργου στο Τεχνικό Πρόγραμμα της Περιφέρειας Ηπείρου και η εξασφάλιση της απαιτούμενης χρηματοδότησης για την υλοποίησή του. Η διαδικασία αυτή περιλάμβανε την έγκριση των τεχνικών τευχών, τον καθορισμό του προϋπολογισμού, τη σύνταξη των τευχών δημοπράτησης και την προετοιμασία όλων των απαιτούμενων διοικητικών ενεργειών για την ανάθεση της σύμβασης. Σύμφωνα με τη συνήθη διαδικασία εκτέλεσης δημόσιων έργων, η δημοπράτηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις περί δημοσίων συμβάσεων, ενώ η επιλογή του αναδόχου βασίσθηκε στο ισχύον θεσμικό πλαίσιο και στα προβλεπόμενα κριτήρια αξιολόγησης των οικονομικών προσφορών. Μετά την ολοκλήρωση του διαγωνισμού ακολούθησε η υπογραφή της σχετικής σύμβασης και η έναρξη της συμβατικής προθεσμίας εκτέλεσης των εργασιών (Περιφέρεια Ηπείρου, 2020–2024).

Η υλοποίηση του έργου οργανώθηκε σε διαδοχικές φάσεις, ώστε να περιοριστούν οι επιπτώσεις στην κυκλοφορία και να διατηρηθεί η λειτουργία του επαρχιακού άξονα καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών. Κατά το πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκαν εργασίες καθαρισμού του εργοταξίου, αποκατάστασης της βατότητας και προετοιμασίας των επιφανειών, ενώ στη συνέχεια εκτελέστηκαν οι απαραίτητες εργασίες φρεζαρίσματος, αποκατάστασης των δομικών αστοχιών, ενίσχυσης των στρώσεων του οδοστρώματος και κατασκευής νέων ασφαλικών στρώσεων κυκλοφορίας. Παράλληλα, εκτελέστηκαν εργασίες καθαρισμού και αποκατάστασης των αποστραγγιστικών έργων, ενίσχυσης πρανών, διαμόρφωσης ερεισμάτων και αναβάθμισης του εξοπλισμού οδικής ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένης της αντικατάστασης της κατακόρυφης σήμανσης, της ανανέωσης της οριζόντιας διαγράμμισης και της τοποθέτησης νέων στηθαίων ασφαλείας όπου απαιτήθηκε. Η αλληλουχία των εργασιών καθορίστηκε με στόχο την ελαχιστοποίηση των κυκλοφοριακών επιπτώσεων και τη διατήρηση της επιχειρησιακής λειτουργίας του οδικού άξονα (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021).

Καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής πραγματοποιούνταν συνεχής επίβλεψη από τις αρμόδιες τεχνικές υπηρεσίες της Περιφέρειας Ηπείρου, οι οποίες παρακολουθούσαν την πρόοδο των εργασιών, τον ποιοτικό έλεγχο των χρησιμοποιούμενων υλικών και τη συμμόρφωση του αναδόχου με τις εγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές. Παράλληλα, διενεργούνταν έλεγχοι σχετικά με την εφαρμογή των μέτρων εργοταξιακής ασφάλειας, την προστασία της κυκλοφορίας και την τήρηση του εγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος. Η διαδικασία αυτή διασφάλισε ότι οι τεχνικές παρεμβάσεις

πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις προβλεπόμενες απαιτήσεις ποιότητας και ότι η τελική κατάσταση του έργου ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις λειτουργικότητας και ανθεκτικότητας που θέτουν οι σύγχρονες προδιαγραφές συντήρησης οδικών υποδομών (Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021).

Το ιστορικό εξέλιξης του έργου εντάσσεται στη γενικότερη στρατηγική της Περιφέρειας Ηπείρου για τη μετάβαση από αποσπασματικές επεμβάσεις έκτακτης ανάγκης σε οργανωμένα προγράμματα προληπτικής συντήρησης. Η στρατηγική αυτή βασίζεται στη συστηματική τεχνική επιθεώρηση του επαρχιακού οδικού δικτύου, στην αξιολόγηση των τεχνικών αναγκών με αντικειμενικά κριτήρια και στην ιεράρχηση των έργων σύμφωνα με τη λειτουργική σημασία κάθε οδικού άξονα, το επίπεδο οδικής ασφάλειας, τις γεωτεχνικές ιδιαιτερότητες και το διαθέσιμο χρηματοδοτικό πλαίσιο. Η συγκεκριμένη παρέμβαση αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της φιλοσοφίας αυτής, καθώς σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με στόχο όχι μόνο την αποκατάσταση των υφιστάμενων βλαβών αλλά και τη βελτίωση της μακροχρόνιας λειτουργικής συμπεριφοράς του οδικού τμήματος μέσω ολοκληρωμένων τεχνικών επεμβάσεων (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· Περιφέρεια Ηπείρου, 2022).

7.4 Υφιστάμενη κατάσταση

Η αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης του υπό μελέτη τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων, πριν από την έναρξη των εργασιών αποκατάστασης και βελτίωσης, βασίστηκε στα στοιχεία της τεχνικής μελέτης, στις αυτοψίες που πραγματοποιήθηκαν από τις αρμόδιες υπηρεσίες της Περιφέρειας Ηπείρου, καθώς και στις διαπιστώσεις που καταγράφηκαν κατά τη σύνταξη της μελέτης εφαρμογής. Η συνολική εικόνα του οδικού τμήματος ανέδειξε σημαντική λειτουργική και δομική υποβάθμιση, η οποία είχε εξελιχθεί προοδευτικά λόγω της μακροχρόνιας λειτουργίας της οδού, της αυξανόμενης κυκλοφοριακής επιβάρυνσης, των δυσμενών γεωλογικών συνθηκών και των έντονων κλιματικών καταπονήσεων που χαρακτηρίζουν την ορεινή ζώνη της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων. Οι υφιστάμενες φθορές δεν περιορίζονταν μόνο στην επιφάνεια του ασφαλτοτάπητα αλλά επηρέαζαν τη συνολική λειτουργικότητα της οδού, καθώς παρατηρούνταν προβλήματα στην αποστράγγιση, στην ευστάθεια των πρανών, στην ποιότητα της επιφάνειας

κύλισης και στα στοιχεία παθητικής ασφάλειας, γεγονός που δικαιολογούσε την ανάγκη υλοποίησης ολοκληρωμένων επεμβάσεων αποκατάστασης (Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων, 2021· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021).

7.4.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Το εξεταζόμενο οδικό τμήμα αναπτύσσεται σε έντονα ορεινό ανάγλυφο της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, ακολουθώντας σε μεγάλο βαθμό τη φυσική μορφολογία του εδάφους. Η χάραξη χαρακτηρίζεται από συνεχείς καμπύλες μικρής έως μεσαίας ακτίνας, διαδοχικές εναλλαγές ευθυγραμμίας και καμπυλότητας, καθώς και σημαντικές κατά μήκος κλίσεις, οι οποίες σε αρκετές θέσεις υπερβαίνουν το 6–8%, τιμές ιδιαίτερα υψηλές για επαρχιακό οδικό δίκτυο. Το πλάτος του ασφαλτοστρωμένου καταστρώματος κυμαίνεται περίπου μεταξύ 6,00 και 6,50 m, ενώ τα ερείσματα εμφανίζονται περιορισμένου πλάτους, συνήθως μικρότερα του 0,75 m, χωρίς συνεχή ασφαλιστική διαμόρφωση. Η διατομή αυτή επαρκεί για τη διέλευση δύο λωρίδων κυκλοφορίας, ωστόσο δεν παρέχει ικανοποιητικό χώρο ασφαλείας σε περιπτώσεις στάσης οχημάτων ή έκτακτων περιστατικών.

Η μορφολογία της περιοχής επηρεάζει σημαντικά τις γεωμετρικές συνθήκες της οδού, καθώς η ύπαρξη βαθιών χαραδρών, έντονων πρανών και περιορισμένων διαθέσιμων χώρων δεν επέτρεψε κατά την αρχική κατασκευή την εφαρμογή μεγαλύτερων ακτίνας καμπυλότητας ή ηπιότερων κατά μήκος κλίσεων. Ως αποτέλεσμα, μεγάλο μέρος του οδικού άξονα χαρακτηρίζεται από ακτίνες οριζόντιων καμπυλών που εκτιμάται ότι κυμαίνονται μεταξύ 40 και 120 m, ενώ οι αποστάσεις ορατότητας σε αρκετές θέσεις είναι μικρότερες από τις επιθυμητές τιμές που προβλέπουν οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Η συγκεκριμένη γεωμετρική διαμόρφωση αυξάνει τις δυναμικές καταπονήσεις του οδοστρώματος, ιδιαίτερα στις περιοχές έντονης πέδησης και επιτάχυνσης, ενώ παράλληλα επιβαρύνει την οδική ασφάλεια, ειδικά κατά τους χειμερινούς μήνες όπου επικρατούν συνθήκες μειωμένης πρόσφυσης λόγω παγετού ή αυξημένης υγρασίας (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2020).

Πίνακας 7.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού τμήματος

Παράμετρος	Εκτιμώμενη τιμή
Πλάτος οδοστρώματος	6,00–6,50 m
Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας	3,00–3,25 m
Πλάτος ερεισμάτων	0,50–0,75 m
Κατά μήκος κλίσεις	6–8 %
Ακτίνες οριζόντιων καμπυλών	40–120 m
Μορφολογία περιοχής	Ορεινή – ημιορεινή

Πηγή: Προσαρμογή από Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών (2020), Περιφέρεια Ηπείρου (2022).

7.4.2 Προβλήματα οδοστρώματος

Η τεχνική κατάσταση του οδοστρώματος πριν από την επέμβαση χαρακτηριζόταν από προχωρημένο στάδιο λειτουργικής και δομικής υποβάθμισης. Η μακροχρόνια κυκλοφορία επιβατικών και βαρέων οχημάτων, σε συνδυασμό με τη γήρανση των ασφαλικών υλικών και τη διεύθυνση υγρασίας στις στρώσεις του οδοστρώματος, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλαπλών μορφών αστοχίας. Κατά τις τεχνικές επιθεωρήσεις καταγράφηκαν εκτεταμένες διαμήκεις και εγκάρσιες ρηγματώσεις, δικτυωτές ρηγματώσεις κόπωσης, αποκολλήσεις ασφαλτομίγματος, τοπικές καθιζήσεις, λακκούβες, καθώς και εμφανής τροχοαυλάκωση στις περιοχές αυξημένης κυκλοφοριακής φόρτισης. Οι βλάβες αυτές διευκόλυναν την εισχώρηση νερού στις υποκείμενες στρώσεις, μειώνοντας σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος και επιταχύνοντας την εξέλιξη των δομικών αστοχιών (Ugochi, 2020).

Με βάση τις παρατηρούμενες φθορές, η συνολική επιφάνεια που παρουσίαζε εμφανή προβλήματα εκτιμάται ότι υπερέβαινε το 30% του εξεταζόμενου τμήματος, γεγονός που κατατάσσει το οδόστρωμα σε κατηγορία μέτριας έως κακής λειτουργικής κατάστασης. Αντίστοιχα, ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος (PCI) εκτιμάται ότι κυμαινόταν μεταξύ 40 και 55, ενώ ο Δείκτης Διεθνούς Τραχύτητας (IRI) υπολογίζεται ότι βρισκόταν στην περιοχή των 4,5–6,0 m/km, τιμές που υποδηλώνουν αυξημένη τραχύτητα της επιφάνειας κύλισης και ανάγκη άμεσης δομικής αποκατάστασης σύμφωνα με τις αρχές των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (PMS) (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022) . Σε αρκετές θέσεις διαπιστώθηκαν επίσης ανεπαρκείς εγκάρσιες

κλίσεις του ασφαλοτάπητα, οι οποίες δυσχέραναν την απορροή των επιφανειακών υδάτων και συνέβαλαν στη δημιουργία στάσιμων νερών κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων.

Πίνακας 7.2 Καταγραφή φθορών οδοστρώματος πριν από την αποκατάσταση

Είδος βλάβης	Εκτιμώμενη έκταση	Επίδραση
Διαμήκεις ρηγματώσεις	25–30 %	Διείσδυση υγρασίας
Εγκάρσιες ρηγματώσεις	10–15 %	Θερμικές καταπονήσεις
Δικτυωτές ρηγματώσεις	8–12 %	Κόπωση οδοστρώματος
Λακούβες	15–20 θέσεις/km	Μείωση οδικής ασφάλειας
Καθιζήσεις	5–8 θέσεις/km	Παραμόρφωση επιφάνειας
Τροχοαυλακώσεις	Έως 25 mm	Μείωση πρόσφυσης
Εκτιμώμενος PCI	40–55	Κακή–μέτρια κατάσταση
Εκτιμώμενος IRI	4,5–6,0 m/km	Αυξημένη τραχύτητα

Πηγή: Προσαρμογή από Ugochi (2020), Εγνατία Οδός Α.Ε. (2022).

7.4.3 Κατολισθητικά φαινόμενα

Το εξεταζόμενο τμήμα της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων διέρχεται από περιοχή με ιδιαίτερα αυξημένη γεωτεχνική επικινδυνότητα, γεγονός που επηρεάζει καθοριστικά τη διαχρονική συμπεριφορά της οδικής υποδομής. Η γεωλογική δομή της περιοχής χαρακτηρίζεται από φλύσχη, αποσαθρωμένους ασβεστόλιθους και κορηματικούς σχηματισμούς, οι οποίοι εμφανίζουν μειωμένη διατμητική αντοχή όταν αυξάνεται ο βαθμός κορεσμού τους από επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή των Τζουμέρκων υπερβαίνει τα 1.500 mm, ενώ σε ορισμένες ορεινές θέσεις προσεγγίζει ακόμη και τα 2.000 mm, δημιουργώντας ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες για τη σταθερότητα των πρανών (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021).

Κατά τις επιτόπιες επιθεωρήσεις εντοπίστηκαν τοπικές κατολισθήσεις μικρής και μέσης κλίμακας, αποκολλήσεις βραχωδών τεμαχών, επιφανειακές διαβρώσεις και υποσκαφές επιχωμάτων, οι οποίες επηρέαζαν τόσο τη λειτουργική διατομή της οδού όσο και την ασφάλεια των διερχόμενων οχημάτων. Ιδιαίτερα μετά από περιόδους έντονων βροχοπτώσεων παρατηρούνταν μεταφορά

φερτών υλικών στο οδόστρωμα, γεγονός που απαιτούσε συχνές εργασίες καθαρισμού και προσωρινής αποκατάστασης της κυκλοφορίας. Επιπλέον, αρκετές πλευρικές τάφροι παρουσίαζαν μερική ή πλήρη απόφραξη, περιορίζοντας σημαντικά την αποστραγγιστική τους ικανότητα και αυξάνοντας τις υδροστατικές πιέσεις στο εσωτερικό των πρανών.

Πίνακας 7.3 Καταγεγραμμένα γεωτεχνικά προβλήματα

Γεωτεχνικό πρόβλημα	Συχνότητα εμφάνισης	Τεχνική επίπτωση
Κατολισθήσεις πρανών	Υψηλή	Διακοπή κυκλοφορίας
Πτώσεις βράχων	Μέτρια	Κίνδυνος πρόσκρουσης
Διαβρώσεις επιχωμάτων	Υψηλή	Καθιζήσεις οδοστρώματος
Φραγή τάφρων απορροής	Πολύ υψηλή	Συγκέντρωση υδάτων
Υποσκαφές τεχνικών έργων	Μέτρια	Μείωση φέρουσας ικανότητας

*Πηγή: Προσαρμογή από ΙΓΜΕ (2022), Εγνατία Οδός Α.Ε. (2020) και Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων (2021).

7.5 Τεχνική περιγραφή επεμβάσεων

Η τεχνική παρέμβαση σχεδιάστηκε με στόχο την πλήρη λειτουργική και δομική αποκατάσταση τμήματος μήκους περίπου **2,85 km** της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων. Η συνολική επιφάνεια των εργασιών ανέρχεται σε περίπου **18.500 m²**, ενώ οι επεμβάσεις οργανώθηκαν σε πέντε βασικές κατηγορίες: χωματουργικά, οδοστρωσία, ασφατικές εργασίες, αποστράγγιση και αναβάθμιση της σήμανσης. Η τεχνική φιλοσοφία βασίστηκε στις ΟΜΟΕ, στον ΚΕΟΕ και στις Οδηγίες Συντήρησης Οδοστρωμάτων του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας της υποδομής, τη βελτίωση της αποστράγγισης και την αναβάθμιση της οδικής ασφάλειας.

7.5.1 Χωματουργικά

Η πρώτη φάση του έργου περιλάμβανε εκτεταμένες χωματουργικές εργασίες για την αποκατάσταση της γεωμετρίας της οδού και την εξυγίανση των προβληματικών τμημάτων. Πραγματοποιήθηκαν εκσκαφές ακατάλληλων υλικών συνολικού όγκου περίπου **3.450 m³**, κυρίως σε θέσεις όπου είχαν εμφανιστεί καθιζήσεις και απώλεια φέρουσας ικανότητας του υποβάθρου. Παράλληλα εκτελέστηκαν εκσκαφές βραχωδών πρανών συνολικού όγκου **1.180 m³** για τη διαπλάτυνση της διατομής και την απομάκρυνση ασταθών βραχωδών μαζών. Για την αποκατάσταση της μορφής των επιχωμάτων χρησιμοποιήθηκαν περίπου **2.950 m³** επιλεγμένου κοκκώδους υλικού κατηγορίας E4, το οποίο συμπυκνώθηκε σε διαδοχικές στρώσεις πάχους έως **25 cm** μέχρι την επίτευξη βαθμού συμπίκνωσης μεγαλύτερου του **98% της Proctor**. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε καθαρισμός περίπου **5.800 m²** πρανών από χαλαρά υλικά, βλάστηση και καταπτώσεις, καθώς και αναδιαμόρφωση **4.900 m** πλευρικών τάφρων.

Πίνακας 7.4 Χωματουργικές εργασίες

Εργασία	Ποσότητα
Εκσκαφές γαιωδών	3.450 m ³
Εκσκαφές βραχωδών	1.180 m ³
Επιχώσεις	2.950 m ³
Καθαρισμός πρανών	5.800 m ²
Διαμόρφωση τάφρων	4.900 m

7.5.2 Οδοστρώση

Μετά την ολοκλήρωση των χωματουργικών εργασιών πραγματοποιήθηκε η πλήρης ανακατασκευή της δομής του οδοστρώματος. Η υφιστάμενη φθαρμένη στρώση υπόβασης αφαιρέθηκε τοπικά και αντικαταστάθηκε με νέα θραυστή υπόβαση πάχους **0,10 m**, συνολικής ποσότητας περίπου **1.900 m³**. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε νέα στρώση βάσης από θραυστό υλικό λατομείου πάχους **0,15 m**, συνολικού όγκου **2.850 m³**, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Ελληνικών Τεχνικών Προδιαγραφών. Η συνολική επιφάνεια νέας οδοστρώσης ανήλθε σε περίπου **18.500 m²**, ενώ η

συμπύκνωση πραγματοποιήθηκε με δονητικούς οδοστρωτήρες ώστε να επιτευχθεί φέρουσα ικανότητα μεγαλύτερη των **120 MPa**, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ΟΜΟΕ.

Πίνακας 7.5 Εργασίες οδοστρωσίας

Στρώση	Πάχος	Ποσότητα
Υπόβαση	10 cm	1.900 m ³
Βάση	15 cm	2.850 m ³
Επιφάνεια οδοστρωσίας	—	18.500 m ²

7.5.3 Ασφαλτικά

Οι ασφαλτικές εργασίες περιλάμβαναν αρχικά φρεζάρισμα της υφιστάμενης ασφαλτικής στρώσης σε συνολική επιφάνεια **18.500 m²**, με μέσο βάθος φρεζαρίσματος **5 cm**, απομακρύνοντας περίπου **925 m³** φθαρμένου ασφαλτομίγματος. Ακολούθησε ασφαλτική προεπάλειψη σε ολόκληρη την επιφάνεια της οδού και διάστρωση ασφαλτικής στρώσης βάσης πάχους **5 cm** με χρήση περίπου **2.150 t** ασφαλτομίγματος τύπου AC20. Στην τελική φάση εφαρμόστηκε νέα ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας πάχους **5 cm**, με ασφαλτόμιγμα υψηλής αντοχής τύπου AC16 Surf, συνολικής ποσότητας περίπου **2.050 t**. Με την ολοκλήρωση των ασφαλτικών εργασιών εκτιμάται ότι ο δείκτης τραχύτητας **IRI** μειώθηκε από περίπου **5,6 m/km** σε **1,8–2,2 m/km**, ενώ ο δείκτης **PCI** αυξήθηκε από περίπου **45** σε τιμές μεγαλύτερες του **90**, βελτιώνοντας σημαντικά τη λειτουργική κατάσταση της οδού.

Πίνακας 7.6 Ασφαλτικές εργασίες

Εργασία	Ποσότητα
Φρεζάρισμα	18.500 m ²
Ασφαλτική προεπάλειψη	18.500 m ²
Ασφαλτική βάση	2.150 t
Στρώση κυκλοφορίας	2.050 t

Συνολικό ασφαλτόμιγμα	4.200 t
-----------------------	---------

7.5.4 Αποστράγγιση

Η βελτίωση της αποστράγγισης αποτέλεσε κρίσιμο τμήμα του έργου, καθώς η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλά ύψη βροχόπτωσης που υπερβαίνουν τα **1.500 mm/έτος**. Οι εργασίες περιλάμβαναν καθαρισμό περίπου **4.900 m** πλευρικών τάφρων, κατασκευή **620 m** νέων επενδεδυμένων τάφρων από σκυρόδεμα, αντικατάσταση **14 σωληνωτών οχετών** διαμέτρου **600–1000 mm**, καθώς και κατασκευή **22 νέων φρεατίων συλλογής ομβρίων**. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε επένδυση περίπου **1.350 m²** πρανών με λιθορριπή και γεωφάσματα για τον περιορισμό των διαβρώσεων και τη βελτίωση της αποστράγγισης των επιφανειακών υδάτων.

Πίνακας 7.7 Εργασίες αποστράγγισης

Εργασία	Ποσότητα
Καθαρισμός τάφρων	4.900 m
Νέες επενδεδυμένες τάφροι	620 m
Νέοι οχετοί	14 τεμ.
Φρεάτια ομβρίων	22 τεμ.
Επένδυση πρανών	1.350 m ²

7.5.5 Σήμανση

Η τελική φάση περιλάμβανε την πλήρη αναβάθμιση της οδικής σήμανσης σύμφωνα με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας και τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές οδικής ασφάλειας. Πραγματοποιήθηκε νέα οριζόντια διαγράμμιση συνολικού μήκους περίπου **5,70 km**, τοποθετήθηκαν **138 νέες πινακίδες κατακόρυφης σήμανσης**, εγκαταστάθηκαν περίπου **1.250 m** νέων μεταλλικών στηθαίων ασφαλείας κατηγορίας **H2**, ενώ προστέθηκαν **185 ανακλαστήρες οδοστρώματος** στις επικίνδυνες καμπύλες και στις περιοχές περιορισμένης ορατότητας. Οι παρεμβάσεις αυτές αναμένεται να

μειώσουν σημαντικά τον κίνδυνο εκτροπής οχημάτων και να βελτιώσουν την αναγνωσιμότητα της χάραξης, ιδιαίτερα κατά τη νυχτερινή οδήγηση και υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Πίνακας 7.8 Εργασίες σήμανσης

Εργασία	Ποσότητα
Διαγράμμιση	5,70 km
Πινακίδες Κ.Ο.Κ.	138 τεμ.
Στηθαία ασφαλείας Η2	1.250 m
Ανακλαστήρες οδοστρώματος	185 τεμ.
Οριοδείκτες	96 τεμ

7.6 Χρονοδιάγραμμα

Η κατασκευή του έργου οργανώθηκε σύμφωνα με τις αρχές της γραμμικής παραγωγής εργασιών (Linear Construction Scheduling), ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αξιοποίηση του μηχανολογικού εξοπλισμού, η ελαχιστοποίηση των διακοπών της κυκλοφορίας και η ολοκλήρωση των εργασιών εντός της συμβατικής προθεσμίας. Για τον σκοπό αυτό, οι εργασίες αναπτύχθηκαν σε πέντε διακριτές φάσεις, οι οποίες εκτελέστηκαν τμηματικά κατά μήκος του οδικού άξονα, επιτρέποντας τη διατήρηση της κυκλοφορίας με προσωρινές κυκλοφοριακές ρυθμίσεις. Η συνολική διάρκεια του έργου εκτιμήθηκε σε 240 ημερολογιακές ημέρες, διάστημα που θεωρείται ρεαλιστικό για έργο αποκατάστασης επαρχιακής οδού μήκους περίπου 2,85 km, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες γεωμορφολογικές συνθήκες της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων, τις αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας και τις πιθανές διακοπές λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών.

Η πρώτη περίοδος του έργου αφιερώθηκε στις προκαταρκτικές εργασίες, οι οποίες περιλάμβαναν την εγκατάσταση του εργοταξίου, τη χωροθέτηση προσωρινών κυκλοφοριακών ρυθμίσεων, τη γεωμετρική αποτύπωση του άξονα και τον καθαρισμό της ζώνης κατάληψης. Η διάρκεια της συγκεκριμένης φάσης υπολογίστηκε σε περίπου 20 ημέρες, καθώς περιλάμβανε όλες τις προπαρασκευαστικές εργασίες που απαιτούνται πριν από την έναρξη των κύριων τεχνικών επεμβάσεων. Στη συνέχεια εκτελέστηκαν οι χωματουργικές εργασίες και οι γεωτεχνικές

παρεμβάσεις, οι οποίες αποτέλεσαν μία από τις πλέον απαιτητικές φάσεις του έργου λόγω της έντονης μορφολογίας της περιοχής. Οι εκσκαφές, οι εξυγιάνσεις, οι επιχώσεις, οι διαμορφώσεις πρανών και οι εργασίες σταθεροποίησης εκτιμάται ότι απαίτησαν συνολικά 55 ημέρες, ενώ σημαντικό μέρος του χρόνου αυτού αφιερώθηκε στους απαιτούμενους ελέγχους συμπίκνωσης και στις δοκιμές ποιοτικού ελέγχου των επιχώσεων.

Η τρίτη φάση αφορούσε τις εργασίες οδοστρωσίας και ασφαλικών στρώσεων, οι οποίες εκτελέστηκαν σε διαδοχικά τμήματα ώστε να περιορίζονται οι κυκλοφοριακές επιπτώσεις. Οι εργασίες αυτές περιλάμβαναν φρεζάρισμα, κατασκευή νέας υπόβασης, νέας βάσης, ασφαλική προεπάλειψη και τελική στρώση κυκλοφορίας. Η συνολική διάρκειά τους εκτιμήθηκε σε περίπου 95 ημέρες, αποτελώντας σχεδόν το 40 % του συνολικού χρόνου υλοποίησης του έργου. Η παραγωγικότητα των ασφαλικών συνεργείων υπολογίστηκε σε περίπου 220–260 t ασφαλτομίγματος ανά εργάσιμη ημέρα, τιμή που βρίσκεται εντός των συνήθων επιδόσεων αντίστοιχων έργων οδικής συντήρησης.

Η τέταρτη φάση περιλάμβανε τα έργα αποστράγγισης, τα τεχνικά έργα μικρής κλίμακας και τις εργασίες προστασίας πρανών. Παρότι μεγάλο μέρος αυτών των εργασιών εκτελέστηκε παράλληλα με τις ασφαλικές επεμβάσεις, για λόγους προγραμματισμού προβλέπεται συνολική διάρκεια 45 ημερών. Οι εργασίες αυτές περιλάμβαναν καθαρισμό τάφρων, αντικατάσταση οχετών, κατασκευή νέων φρεατίων, επενδύσεις πρανών και διαμόρφωση έργων απορροής. Η τελική φάση αφορούσε τις εργασίες οδικής ασφάλειας και την παράδοση του έργου. Κατά το στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση της κατακόρυφης σήμανσης, η εφαρμογή της οριζόντιας διαγράμμισης, η εγκατάσταση νέων μεταλλικών στηθαίων ασφαλείας, οι τελικοί ποιοτικοί έλεγχοι, η σύνταξη των πρωτοκόλλων παραλαβής και η οριστική αποκατάσταση των εργοταξιακών χώρων. Η διάρκεια της συγκεκριμένης φάσης υπολογίστηκε σε περίπου 25 ημέρες.

Πίνακας 7.9 χρονοδιάγραμμα έργου

Φάση εργασιών	Διάρκεια (ημέρες)	Ποσοστό συνολικής διάρκειας
Προκαταρκτικές εργασίες	20	8,3 %
Χωματουργικά	55	22,9 %
Οδοστρωσία	40	16,7 %
Ασφαλτικά	55	22,9 %

Αποστράγγιση	45	18,8 %
Σήμανση – Παράδοση έργου	25	10,4 %
Σύνολο	240 ημέρες	100 %

7.7 Κόστος έργου

Η οικονομική εκτίμηση του έργου πραγματοποιήθηκε με βάση τις συνήθειες τιμές μονάδας των Δημοσίων Έργων Οδοποιίας και τη σύνθεση των εργασιών που απαιτούνται για την πλήρη αποκατάσταση επαρχιακού οδικού τμήματος μήκους περίπου 2,85 km. Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου εκτιμάται σε 3.280.000 €, συμπεριλαμβανομένων των γενικών εξόδων, του εργολαβικού οφέλους, των απροβλέπτων και του Φόρου Προστιθέμενης Αξίας. Η μέση δαπάνη ανά χιλιόμετρο διαμορφώνεται σε περίπου 1,15 εκατ. €/km, τιμή συμβατή με έργα αποκατάστασης σε ορεινό ανάγλυφο, όπου απαιτούνται εκτεταμένες γεωτεχνικές επεμβάσεις και έργα αποστράγγισης.

Οι ασφαλικές εργασίες αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του προϋπολογισμού, απορροφώντας περίπου 31 % της συνολικής δαπάνης, γεγονός που οφείλεται τόσο στο υψηλό κόστος παραγωγής και μεταφοράς ασφαλτομίγματος όσο και στις απαιτήσεις μηχανικού εξοπλισμού. Ακολουθούν τα χωματουργικά και οι γεωτεχνικές παρεμβάσεις με ποσοστό 22 %, ενώ σημαντική συμμετοχή παρουσιάζουν επίσης οι εργασίες οδοστρωσίας (18 %) και τα έργα αποστράγγισης (15 %). Οι εργασίες σήμανσης και παθητικής ασφάλειας αντιστοιχούν περίπου στο 8 % του συνολικού κόστους, ενώ οι δοκιμές ποιοτικού ελέγχου, οι κυκλοφοριακές ρυθμίσεις και οι λοιπές εργοταξιακές δαπάνες αντιπροσωπεύουν το υπόλοιπο 6 %.

Η ανάλυση κόστους δείχνει ότι το μέσο κόστος αποκατάστασης ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας οδοστρώματος διαμορφώνεται περίπου στα 177 €/m², ενώ η μέση δαπάνη για ασφαλικές εργασίες υπολογίζεται σε περίπου 54 €/m². Οι τιμές αυτές βρίσκονται εντός των εύρων που παρατηρούνται σε αντίστοιχα έργα επαρχιακής οδοποιίας ορεινών περιοχών, όπου η πρόσβαση του εξοπλισμού, οι γεωτεχνικές απαιτήσεις και οι αυξημένες μεταφορικές αποστάσεις αυξάνουν σημαντικά το συνολικό κόστος κατασκευής.

Πίνακας 7.10 Υποθετικός προϋπολογισμός έργου

Κατηγορία εργασιών	Κόστος (€)	Ποσοστό
Χωματουργικά	721.600	22 %
Οδοστρωσία	590.400	18 %
Ασφαλτικά	1.016.800	31 %
Αποστράγγιση	492.000	15 %
Σήμανση – Ασφάλεια	262.400	8 %
Ποιοτικός έλεγχος – λοιπά	196.800	6 %
Σύνολο	3.280.000 €	100 %

Κατανομή κόστους έργου



Η τεχνοοικονομική αξιολόγηση του υποθετικού αυτού σεναρίου καταδεικνύει ότι η έγκαιρη εφαρμογή ολοκληρωμένων εργασιών συντήρησης είναι σημαντικά οικονομικότερη από την πλήρη ανακατασκευή της οδού σε μεταγενέστερο στάδιο. Η επένδυση σε έργα αποστράγγισης, γεωτεχνικής προστασίας και προληπτικής συντήρησης μειώνει τον ρυθμό υποβάθμισης του οδοστρώματος, περιορίζει το μελλοντικό κόστος αποκατάστασης και αυξάνει τη διάρκεια ζωής της υποδομής, σύμφωνα με τις αρχές της ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA) που εφαρμόζονται διεθνώς στη διαχείριση οδικών υποδομών (Ugochi, 2020· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 Τεχνική αξιολόγηση

Η τεχνική αξιολόγηση του έργου αποσκοπεί στην ποσοτική και ποιοτική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στο εξεταζόμενο τμήμα της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με βάση διεθνώς αποδεκτούς δείκτες λειτουργικής και δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων, όπως ο International Roughness Index (IRI), ο Pavement Condition Index (PCI), η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής, η λειτουργικότητα του συστήματος αποστράγγισης και το επίπεδο οδικής ασφάλειας μετά την ολοκλήρωση των εργασιών. Η πολυκριτηριακή αυτή προσέγγιση είναι συμβατή με τη φιλοσοφία των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems – PMS), σύμφωνα με τα οποία η αποτελεσματικότητα μιας επέμβασης δεν αξιολογείται αποκλειστικά από την ποιότητα της τελικής ασφαλικής στρώσης αλλά από τη συνολική βελτίωση της λειτουργικής συμπεριφοράς της οδικής υποδομής κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Η τεχνική κατάσταση του οδικού τμήματος πριν από την υλοποίηση των εργασιών χαρακτηριζόταν από σημαντική υποβάθμιση. Οι επιτόπιες τεχνικές επιθεωρήσεις είχαν καταγράψει εκτεταμένες διαμήκεις και εγκάρσιες ρηγματώσεις, καθιζήσεις, αποσάθρωση ασφαλικού υλικού, τροχοαυλακώσεις και φθορές στα ερείσματα, ενώ η ανεπαρκής λειτουργία των αποστραγγιστικών έργων είχε επιτρέψει τη διείσδυση υγρασίας στις υποκείμενες στρώσεις του οδοστρώματος, επιταχύνοντας την εξέλιξη των δομικών αστοχιών. Με βάση τις τεχνικές εκτιμήσεις του προηγούμενου κεφαλαίου, ο δείκτης PCI πριν από την επέμβαση κυμαινόταν περίπου μεταξύ 40 και 45, τιμή που αντιστοιχεί σε οδόστρωμα κακής κατάστασης (Poor), ενώ ο δείκτης τραχύτητας IRI εκτιμάται ότι ανερχόταν σε περίπου 5,6 m/km, επίπεδο που επηρεάζει αρνητικά την άνεση κύλισης, αυξάνει τις δυναμικές καταπονήσεις των οχημάτων και επιβαρύνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος των μετακινήσεων (Ugochi, 2020).

Η εφαρμογή των προβλεπόμενων χωματουργικών επεμβάσεων συνέβαλε ουσιαστικά στη βελτίωση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς του οδικού σώματος. Η απομάκρυνση των ακατάλληλων εδαφικών στρώσεων, η αντικατάστασή τους με επιλεγμένα κοκκώδη υλικά και η επίτευξη βαθμού

συμπύκνωσης μεγαλύτερου του 98 % Proctor αύξησαν σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα της θεμελίωσης. Παράλληλα, οι εργασίες σταθεροποίησης των πρανών και αποκατάστασης των επιχωμάτων περιορίσαν την πιθανότητα εμφάνισης μελλοντικών καθιζήσεων και διαφορικών παραμορφώσεων, οι οποίες αποτελούν έναν από τους βασικούς μηχανισμούς υποβάθμισης των επαρχιακών οδών σε ορεινές περιοχές. Εκτιμάται ότι η μέση φέρουσα ικανότητα της κατασκευής αυξήθηκε από περίπου 85–90 MPa σε τιμές μεγαλύτερες των 120 MPa, επιτρέποντας την ασφαλή παραλαβή των κυκλοφοριακών φορτίων χωρίς την ανάπτυξη πρόωρων δομικών αστοχιών.

Η ανακατασκευή της οδοστρώσας και η εφαρμογή νέων ασφαλτικών στρώσεων είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας κύλισης. Η νέα ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας παρουσίασε υψηλότερη αντιστοιχιστικότητα, καλύτερη επιπεδότητα και σημαντικά μειωμένη τραχύτητα σε σχέση με την προϋπάρχουσα κατάσταση. Ως αποτέλεσμα, ο δείκτης IRI εκτιμάται ότι μειώθηκε από 5,6 m/km σε περίπου 1,9 m/km, παρουσιάζοντας συνολική βελτίωση της τάξης του 66 %, ενώ ο δείκτης PCI αυξήθηκε από περίπου 45 σε 92, κατατάσσοντας πλέον το οδόστρωμα στην κατηγορία Excellent, σύμφωνα με τη διεθνή ταξινόμηση των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων. Παράλληλα, το ποσοστό επιφάνειας που παρουσίαζε ενεργές ρηγματώσεις μειώθηκε από περίπου 32 % σε ποσοστό μικρότερο του 2 %, ενώ οι τοπικές καθιζήσεις και οι λακκούβες εξαλείφθηκαν πλήρως μέσω των δομικών επεμβάσεων.

Η τεχνική αξιολόγηση κατέδειξε επίσης σημαντική βελτίωση της υδραυλικής συμπεριφοράς του οδικού άξονα. Ο καθαρισμός των πλευρικών τάφρων, η αντικατάσταση των φθαρμένων οχετών και η κατασκευή νέων έργων απορροής αύξησαν σημαντικά την παροχετευτικότητα του συστήματος αποστράγγισης, περιορίζοντας τη συγκέντρωση επιφανειακών υδάτων στο κατάστρωμα της οδού. Η αποτελεσματικότερη απομάκρυνση των ομβρίων αναμένεται να μειώσει σημαντικά τη διείσδυση υγρασίας στις στρώσεις του οδοστρώματος, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής της ασφαλτικής κατασκευής και περιορίζοντας τον κίνδυνο εμφάνισης νέων δομικών βλαβών. Επιπλέον, η βελτίωση της αποστράγγισης των πρανών μειώνει τις υδροστατικές πιέσεις στους γεωλογικούς σχηματισμούς και περιορίζει την πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια περιόδων έντονων βροχοπτώσεων.

Ιδιαίτερα θετικά αξιολογείται και το αποτέλεσμα των επεμβάσεων στον τομέα της οδικής ασφάλειας. Η αντικατάσταση της κατακόρυφης σήμανσης, η νέα οριζόντια διαγράμμιση υψηλής ανακλαστικότητας και η εγκατάσταση νέων μεταλλικών στηθαίων ασφαλείας βελτίωσαν σημαντικά την ορατότητα της οδού και τη δυνατότητα έγκαιρης αντίληψης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της χάραξης από τους οδηγούς. Η αναβάθμιση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία κατά τη διάρκεια της νυχτερινής οδήγησης και υπό συνθήκες περιορισμένης ορατότητας, οι οποίες είναι συχνές στην ορεινή περιοχή των Ιωαννίνων λόγω ομίχλης, βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων. Με βάση τα διεθνή μοντέλα αξιολόγησης οδικής ασφάλειας, εκτιμάται ότι οι συγκεκριμένες επεμβάσεις μπορούν να συμβάλουν σε θεωρητική μείωση των ατυχημάτων που σχετίζονται με την υποδομή κατά 20–35 %, ποσοστό που συμφωνεί με τα αποτελέσματα αντίστοιχων παρεμβάσεων σε επαρχιακά δίκτυα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Πίνακας 8.1 Σύγκριση τεχνικών δεικτών πριν και μετά την επέμβαση

Τεχνικός δείκτης	Πριν την επέμβαση	Μετά την επέμβαση	Βελτίωση
PCI	45	92	+104 %
IRI (m/km)	5,6	1,9	−66 %
Επιφάνεια με ρηγματώσεις	32 %	<2 %	−94 %
Θέσεις καθιζήσεων	8	0	−100 %
Λακκούβες	18	0	−100 %
Φέρουσα ικανότητα υποβάθρου	90 MPa	125 MPa	+39 %
Λειτουργικοί οχετοί	78 %	100 %	+22 ποσοστιαίες μονάδες
Ανακλαστικότητα διαγράμμισης	Χαμηλή	Πολύ υψηλή	Πλήρης αποκατάσταση

Η συνολική τεχνική αποτίμηση καταδεικνύει ότι οι επεμβάσεις που υλοποιήθηκαν επιτυγχάνουν ουσιαστική αναβάθμιση της λειτουργικής, δομικής και γεωτεχνικής συμπεριφοράς του εξεταζόμενου οδικού τμήματος. Η σημαντική βελτίωση των βασικών τεχνικών δεικτών, σε

συνδυασμό με την ενίσχυση της οδικής ασφάλειας και της αποστραγγιστικής ικανότητας, αυξάνει την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής της υποδομής σε περίπου 18–20 έτη, υπό την προϋπόθεση εφαρμογής προγράμματος προληπτικής συντήρησης και περιοδικών τεχνικών επιθεωρήσεων σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών και της Εγνατίας Οδού Α.Ε. (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

8.2 Αξιολόγηση οδικής ασφάλειας

Η αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες επιτυχίας των έργων συντήρησης και αναβάθμισης του επαρχιακού οδικού δικτύου, καθώς αποτυπώνει τον βαθμό στον οποίο οι τεχνικές παρεμβάσεις μειώνουν την πιθανότητα πρόκλησης τροχαίων ατυχημάτων και περιορίζουν τη σοβαρότητα των συνεπειών τους. Στην παρούσα μελέτη η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις αρχές της Ευρωπαϊκής Οδηγίας (ΕΥ) 2019/1936 για τη διαχείριση της ασφάλειας των οδικών υποδομών, της Εθνικής Στρατηγικής Οδικής Ασφάλειας 2021–2030 και των δεικτών αξιολόγησης που εφαρμόζει η Εγνατία Οδός Α.Ε. στα Συστήματα Διαχείρισης Οδικών Υποδομών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2021). Η τεχνική αξιολόγηση οργανώθηκε σε πέντε βασικούς άξονες: τη γεωμετρική ασφάλεια της χάραξης, την κατάσταση του οδοστρώματος, την επάρκεια της σήμανσης, την αποτελεσματικότητα της παθητικής ασφάλειας και την εκτίμηση της συνολικής επικινδυνότητας του οδικού τμήματος.

Πριν από την έναρξη των εργασιών, το εξεταζόμενο τμήμα της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων παρουσίαζε αυξημένο επίπεδο επικινδυνότητας λόγω της ταυτόχρονης παρουσίας πολλών τεχνικών ελλείψεων. Οι σημαντικότερες αφορούσαν τη μειωμένη αντολισθηρότητα του ασφαλτοτάπητα, την ύπαρξη εκτεταμένων ρηγματώσεων και καθιζήσεων, τη χαμηλή ανακλαστικότητα της οριζόντιας διαγράμμισης, τη φθορά μεγάλου αριθμού πινακίδων κυκλοφορίας και τις ελλείψεις στηθαίων ασφαλείας σε θέσεις αυξημένου κινδύνου εκτροπής. Επιπλέον, η περιορισμένη ορατότητα στις οριζόντιες καμπύλες, η μικρή διατομή της οδού και η ανεπαρκής αποστράγγιση δημιουργούσαν ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων και παγετού, αυξάνοντας σημαντικά την πιθανότητα απώλειας ελέγχου των

οχημάτων. Με βάση τη μεθοδολογία αξιολόγησης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το συγκεκριμένο τμήμα θα μπορούσε να ταξινομηθεί στην κατηγορία μεσαίας προς υψηλής επικινδυνότητας, γεγονός που δικαιολογεί την προτεραιοποίηση της παρέμβασης στο πλαίσιο του προγράμματος βελτίωσης οδικής ασφάλειας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Η ανακατασκευή του ασφαλοτάπητα αποτέλεσε τον σημαντικότερο παράγοντα βελτίωσης της ενεργητικής ασφάλειας. Η εφαρμογή νέας ασφαλικής στρώσης κυκλοφορίας με αντιολισθηρά αδρανή υλικά αύξησε τον συντελεστή επιφανειακής τριβής και περιόρισε σημαντικά τον κίνδυνο ολίσθησης, ιδιαίτερα κατά τις χειμερινές περιόδους. Στο υποθετικό σενάριο της παρούσας μελέτης, ο συντελεστής αντιολισθηρότητας (Skid Resistance Value – SRV) εκτιμάται ότι αυξήθηκε από περίπου 0,43 σε 0,63, τιμή που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ασφαλούς κυκλοφορίας επαρχιακών οδών. Παράλληλα, η μείωση της τραχύτητας του οδοστρώματος (IRI) από 5,6 m/km σε περίπου 1,9 m/km βελτίωσε σημαντικά τη σταθερότητα της κίνησης των οχημάτων, μειώνοντας τις δυναμικές καταπονήσεις και αυξάνοντας την άνεση κύλισης.

Εξίσου σημαντική υπήρξε η αναβάθμιση της κατακόρυφης και οριζόντιας σήμανσης. Στο πλαίσιο του έργου αντικαταστάθηκαν όλες οι φθαρμένες πληροφοριακές, ρυθμιστικές και αναγγελτικές πινακίδες με νέες πινακίδες υψηλής ανακλαστικότητας κατηγορίας RA2, ενώ εφαρμόστηκε νέα οριζόντια διαγράμμιση με ανακλαστικά υλικά ψυχρής πλαστικής βαφής υψηλής αντοχής. Η νέα διαγράμμιση αύξησε σημαντικά την ορατότητα κατά τη νυχτερινή οδήγηση, ιδιαίτερα υπό συνθήκες βροχόπτωσης ή ομίχλης, που αποτελούν συχνό φαινόμενο στην Περιφέρεια Ηπείρου. Η μέση ανακλαστικότητα της διαγράμμισης εκτιμάται ότι αυξήθηκε από περίπου 85 mcd/m²/lx πριν από την επέμβαση σε επίπεδα άνω των 250 mcd/m²/lx, υπερκαλύπτοντας τις ελάχιστες απαιτήσεις των ευρωπαϊκών προδιαγραφών.

Η αναβάθμιση των συστημάτων παθητικής ασφάλειας συνέβαλε επίσης ουσιαστικά στη μείωση της επικινδυνότητας του οδικού άξονα. Στις θέσεις υψηλού κινδύνου εγκαταστάθηκαν νέα μεταλλικά στηθαία ασφαλείας κατηγορίας συγκράτησης H2, ενώ πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση των φθαρμένων οριοδεικτών και τοποθέτηση νέων ανακλαστήρων στις επικίνδυνες καμπύλες. Οι παρεμβάσεις αυτές βελτίωσαν την οπτική καθοδήγηση των οδηγών και αύξησαν σημαντικά την προστασία έναντι εκτροπών προς πρηνή ή χαράδρες. Επιπλέον, η απομάκρυνση της

ανεξέλεγκτης βλάστησης από τις ζώνες ορατότητας αύξησε κατά μέσο όρο την απόσταση διαθέσιμης ορατότητας από περίπου 70–80 m σε περισσότερο από 120 m στις σημαντικότερες καμπύλες του οδικού τμήματος.

Η βελτίωση της αποστράγγισης επηρέασε επίσης άμεσα την οδική ασφάλεια. Ο καθαρισμός των πλευρικών τάφρων, η αντικατάσταση των οχετών και η αποκατάσταση των έργων απορροής περιόρισαν σημαντικά τη δημιουργία στάσιμων νερών επί του οδοστρώματος, μειώνοντας τον κίνδυνο υδρολίσθησης (hydroplaning). Παράλληλα, η απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων περιόρισε τη διείδυση υγρασίας στις ασφαλικές στρώσεις και μείωσε την πιθανότητα εμφάνισης νέων καθιζήσεων ή ρηγματώσεων, οι οποίες αποτελούν έναν από τους βασικούς παράγοντες πρόκλησης ατυχημάτων στο επαρχιακό δίκτυο.

Σύμφωνα με διεθνείς μελέτες αξιολόγησης αντίστοιχων επεμβάσεων, η συνδυασμένη εφαρμογή νέου ασφαλοτάτητα, αναβάθμισης της σήμανσης, βελτίωσης της αποστράγγισης και εγκατάστασης σύγχρονων συστημάτων παθητικής ασφάλειας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ατυχημάτων κατά 25–40 %, ενώ τα ατυχήματα με σοβαρό τραυματισμό ή θανάτους μπορούν να περιοριστούν κατά 30–50 %, ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού άξονα και τον κυκλοφοριακό φόρτο (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Πίνακας 8.2 Σύγκριση δεικτών οδικής ασφάλειας πριν και μετά την επέμβαση

Δείκτης	Πριν	Μετά	Μεταβολή
PCI	45	92	+104 %
IRI (m/km)	5,6	1,9	–66 %
Συντελεστής αντιολισθηρότητας (SRV)	0,43	0,63	+46 %
Ανακλαστικότητα διαγράμμισης (mcd/m ² /lx)	85	250	+194 %
Λειτουργικοί οχετοί	78 %	100 %	+22 ποσοστιαίες μονάδες
Θέσεις με ανεπαρκή στηθαία	14	0	–100 %
Απόσταση ορατότητας σε κρίσιμες καμπύλες	75 m	125 m	+67 %
Εκτιμώμενη πιθανότητα ατυχήματος*	100 %	68 %	–32 %

Η συνολική αξιολόγηση καταδεικνύει ότι οι επεμβάσεις οδήγησαν σε ουσιαστική αναβάθμιση του επιπέδου οδικής ασφάλειας του εξεταζόμενου τμήματος. Η αποκατάσταση της ποιότητας κύλισης, η αύξηση της αντιολισθηρότητας, η πλήρης ανανέωση της σήμανσης, η εγκατάσταση σύγχρονων συστημάτων παθητικής ασφάλειας και η αποτελεσματικότερη αποστράγγιση λειτουργούν

συνδυαστικά, περιορίζοντας την πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων και αυξάνοντας σημαντικά την επιχειρησιακή αξιοπιστία της υποδομής. Με βάση τους τεχνικούς δείκτες που αξιολογήθηκαν, το οδικό τμήμα εκτιμάται ότι μεταβαίνει από επίπεδο μέτριας–υψηλής επικινδυνότητας σε επίπεδο χαμηλής επικινδυνότητας, γεγονός που επιβεβαιώνει την τεχνική αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων και τη συμβατότητά τους με τους στόχους της Εθνικής και Ευρωπαϊκής Πολιτικής Οδικής Ασφάλειας (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

8.3 Αξιολόγηση ανθεκτικότητας

Η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας (resilience assessment) αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες αποτίμησης της μακροχρόνιας απόδοσης ενός έργου οδοποιίας, καθώς εξετάζει την ικανότητα της υποδομής να διατηρεί τη λειτουργικότητά της υπό την επίδραση κυκλοφοριακών φορτίων, γεωτεχνικών μεταβολών και ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών. Σύμφωνα με τη σύγχρονη ευρωπαϊκή προσέγγιση στη διαχείριση μεταφορικών υποδομών, η ανθεκτικότητα δεν περιορίζεται μόνο στη μηχανική συμπεριφορά του οδοστρώματος αλλά περιλαμβάνει την προσαρμοστικότητα της κατασκευής έναντι της κλιματικής αλλαγής, της αυξημένης υδρολογικής επιβάρυνσης και των γεωδυναμικών φαινομένων που χαρακτηρίζουν ορεινές περιοχές, όπως η Περιφέρεια Ηπείρου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021· Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021).

Η τεχνική αξιολόγηση δείχνει ότι η εφαρμογή των επεμβάσεων οδήγησε σε σημαντική αύξηση της δομικής αξιοπιστίας της οδικής υποδομής. Η πλήρης ανακατασκευή των στρώσεων οδοστρώσας, η χρήση νέων ασφαλιστικών υλικών υψηλής μηχανικής αντοχής και η εξυγίανση του υποβάθρου βελτίωσαν σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής. Στο υποθετικό τεχνικό σενάριο, η μέση φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος αυξήθηκε από περίπου 90 MPa πριν από την επέμβαση σε περίπου 125 MPa μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, παρουσιάζοντας βελτίωση της τάξης του 39 %. Παράλληλα, η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής της υποδομής εκτιμάται ότι αυξήθηκε από περίπου 6–8 έτη σε 18–20 έτη, υπό την προϋπόθεση εφαρμογής περιοδικού προγράμματος προληπτικής συντήρησης, γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα των δομικών παρεμβάσεων.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην ανθεκτικότητα έναντι των υδρολογικών φορτίσεων, δεδομένου ότι η περιοχή των Ιωαννίνων δέχεται μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις που υπερβαίνουν τα 1.500 mm, ενώ σε ορεινές θέσεις της Περιφέρειας Ηπείρου οι ετήσιες κατακρημνίσεις προσεγγίζουν ή υπερβαίνουν τα 2.000 mm. Οι επεμβάσεις αποστράγγισης περιλάμβαναν καθαρισμό περίπου 4,9 km πλευρικών τάφρων, κατασκευή 620 m νέων επενδεδυμένων τάφρων και αντικατάσταση 14 υφιστάμενων οχετών. Ως αποτέλεσμα, η συνολική υδραυλική παροχετευτικότητα του συστήματος αποστράγγισης εκτιμάται ότι αυξήθηκε κατά περίπου 35–40 %, περιορίζοντας σημαντικά την παραμονή επιφανειακών υδάτων επί του οδοστρώματος και μειώνοντας τον κίνδυνο υδρολίσθησης, καθιζήσεων και αποσάθρωσης των ασφαλικών στρώσεων.

Η απομάκρυνση ασταθών βραχωδών μαζών, η τοποθέτηση μεταλλικών πλεγμάτων προστασίας, η αναδιαμόρφωση των πρανών και η κατασκευή έργων επιφανειακής αποστράγγισης μείωσαν τον εκτιμώμενο δείκτη γεωτεχνικής επικινδυνότητας κατά περίπου 45 %, ενώ η πιθανότητα εκδήλωσης μικρής ή μέσης κλίμακας κατολισθήσεων περιορίστηκε σημαντικά, ακόμη και σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Με βάση το υποθετικό σενάριο ανάλυσης κύκλου ζωής, η συχνότητα εφαρμογής εκτεταμένων διορθωτικών επεμβάσεων μειώνεται από μία ανά 5–6 έτη σε μία ανά 10–12 έτη, ενώ οι ετήσιες εργασίες περιορίζονται κυρίως σε προληπτικές επιθεωρήσεις, καθαρισμούς τάφρων και τοπικές ασφαλικές αποκαταστάσεις μικρής κλίμακας. Η μεταβολή αυτή αυξάνει σημαντικά την επιχειρησιακή αξιοπιστία της υποδομής και μειώνει τις πιθανότητες έκτακτων διακοπών της κυκλοφορίας.

Πίνακας 8.3 Αξιολόγηση δεικτών ανθεκτικότητας

Παράμετρος	Πριν	Μετά	Μεταβολή
Φέρουσα ικανότητα υποβάθρου	90 MPa	125 MPa	+39 %
Υπολειπόμενη διάρκεια ζωής	7 έτη	19 έτη	+171 %
Υδραυλική ικανότητα αποστράγγισης	100 %	138 %	+38 %
Δείκτης γεωτεχνικής σταθερότητας	0,62	0,88	+42 %
Συχνότητα μεγάλων επεμβάσεων	1/6 έτη	1/11 έτη	–45 %
Εκτιμώμενος δείκτης ανθεκτικότητας	58/100	89/100	+53 %

8.4 Οικονομική αξιολόγηση

Η οικονομική αξιολόγηση του έργου πραγματοποιήθηκε μέσω τεχνοοικονομικής ανάλυσης, με στόχο τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του συνολικού κόστους κατασκευής και των τεχνικών, λειτουργικών και κοινωνικών ωφελειών που προκύπτουν από την ολοκλήρωση των εργασιών. Η ανάλυση βασίσθηκε στη μεθοδολογία της Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA), η οποία εφαρμόζεται ευρέως στη διαχείριση οδικών υποδομών, καθώς επιτρέπει την αξιολόγηση όχι μόνο του αρχικού κόστους κατασκευής αλλά και των μελλοντικών δαπανών λειτουργίας, συντήρησης και αποκατάστασης (Ugochi, 2020· Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022).

Με βάση το υποθετικό οικονομικό σενάριο του προηγούμενου κεφαλαίου, ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου ανήλθε σε περίπου 3,28 εκατ. ευρώ, ποσό που αντιστοιχεί σε μέση δαπάνη περίπου 1,15 εκατ. €/km ή περίπου 177 €/m² επιφάνειας αποκατάστασης. Από το συνολικό κόστος, το 31 % αφορούσε ασφαλιστικές εργασίες, το 22 % χωματουργικές επεμβάσεις, το 18 % εργασίες οδοστρωσίας, το 15 % έργα αποστράγγισης, το 8 % εργασίες οδικής ασφάλειας και το υπόλοιπο 6 % ποιοτικούς ελέγχους, εργοταξιακές εγκαταστάσεις και λοιπές δαπάνες. Η συγκεκριμένη κατανομή θεωρείται αντιπροσωπευτική για έργα αποκατάστασης ορεινών επαρχιακών οδών, όπου η γεωτεχνική προστασία και η αποστράγγιση καταλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό του προϋπολογισμού. Η οικονομική αποδοτικότητα του έργου αξιολογήθηκε μέσω της εκτίμησης των αναμενόμενων μελλοντικών εξοικονομήσεων. Η σημαντική βελτίωση της ποιότητας κύλισης αναμένεται να μειώσει το λειτουργικό κόστος των οχημάτων κατά περίπου 8–12 %, κυρίως λόγω περιορισμού της κατανάλωσης καυσίμου, της φθοράς των ελαστικών και της καταπόνησης των αναρτήσεων. Παράλληλα, η μείωση της τραχύτητας του οδοστρώματος οδηγεί σε μικρότερους χρόνους διαδρομής και περιορίζει τις καθυστερήσεις που προκαλούνται από τις εργασίες έκτακτης συντήρησης.

Σύμφωνα με το υποθετικό σενάριο ανάλυσης, οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης εκτιμάται ότι μειώνονται από περίπου 95.000 € σε 52.000 €, παρουσιάζοντας εξοικονόμηση περίπου 45 %. Σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών, η σωρευτική εξοικονόμηση πόρων υπερβαίνει τα 850.000 €, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι κοινωνικές ωφέλειες που σχετίζονται με τη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων και τη βελτίωση της προσβασιμότητας. Η βελτίωση της αξιοπιστίας της οδικής σύνδεσης μειώνει το μεταφορικό κόστος των επιχειρήσεων, διευκολύνει τη διακίνηση γεωργικών

και κτηνοτροφικών προϊόντων, ενισχύει την πρόσβαση προς τις τουριστικές περιοχές των Τζουμέρκων και αυξάνει την ελκυστικότητα της περιοχής για επενδύσεις. Παρότι οι επιδράσεις αυτές δεν αποτυπώνονται άμεσα στον προϋπολογισμό του έργου, αποτελούν ουσιώδες στοιχείο της συνολικής οικονομικής αποδοτικότητας της επένδυσης.

Πίνακας 8.4 Οικονομικοί δείκτες αξιολόγησης

Δείκτης	Τιμή
Συνολικό κόστος έργου	3.280.000 €
Κόστος ανά km	1.151.000 €/km
Κόστος ανά m ²	177 €/m ²
Ετήσιο κόστος συντήρησης πριν	95.000 €
Ετήσιο κόστος συντήρησης μετά	52.000 €
Μείωση ετήσιου κόστους συντήρησης	45 %
Εκτιμώμενη εξοικονόμηση σε 20 έτη	860.000 €
Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής	19 έτη
Εκτιμώμενος λόγος οφέλους/κόστους (B/C)	1,72

8.5 Σύγκριση πριν και μετά

Η τελική αξιολόγηση του έργου βασίσθηκε στη συγκριτική αποτίμηση της κατάστασης του εξεταζόμενου τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων πριν και μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων αποκατάστασης. Η συγκριτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε αξιοποιώντας τεχνικούς δείκτες λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος, στοιχεία οδικής ασφάλειας, γεωτεχνικής συμπεριφοράς και λειτουργικότητας της υποδομής, σύμφωνα με τις αρχές των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management Systems – PMS) και τις κατευθυντήριες οδηγίες της Εγνατίας Οδού Α.Ε. και του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2021). Η συγκριτική προσέγγιση κατέδειξε ότι οι επεμβάσεις δεν περιορίστηκαν στην αισθητική αναβάθμιση της οδού, αλλά οδήγησαν σε ουσιαστική βελτίωση της δομικής επάρκειας, της ποιότητας κύλισης, της αποστράγγισης, της γεωτεχνικής σταθερότητας και της οδικής ασφάλειας. Η σημαντική μείωση των τεχνικών

αστοχιών, η αποκατάσταση της επιπεδότητας του ασφαλτοτάπητα και η ενίσχυση των υποδομών ασφαλείας αυξάνουν την επιχειρησιακή αξιοπιστία του οδικού άξονα και περιορίζουν σημαντικά τις ανάγκες έκτακτης συντήρησης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.

Η αξιολόγηση έδειξε ότι ο δείκτης λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος (PCI) αυξήθηκε από περίπου 45 πριν από την επέμβαση σε 92 μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, παρουσιάζοντας συνολική βελτίωση 104 %. Αντίστοιχα, ο δείκτης διεθνούς τραχύτητας (IRI) μειώθηκε από 5,6 m/km σε περίπου 1,9 m/km, γεγονός που αντιστοιχεί σε βελτίωση περίπου 66 % της ποιότητας κύλισης. Παράλληλα, η επιφάνεια του οδοστρώματος που παρουσίαζε ενεργές ρηγματώσεις περιορίστηκε από περίπου 32 % σε ποσοστό μικρότερο του 2 %, ενώ οι καθιζήσεις, οι λακκούβες και οι τοπικές αποκολλήσεις του ασφαλτοτάπητα εξαλείφθηκαν πλήρως μέσω των δομικών παρεμβάσεων. Οι εργασίες αποστράγγισης αύξησαν την αποτελεσματικότητα των υδραυλικών έργων, περιορίζοντας σημαντικά τη συγκέντρωση επιφανειακών υδάτων και τον κίνδυνο πρόωρης υποβάθμισης της νέας ασφαλικής κατασκευής. Παράλληλα, η ανανέωση της κατακόρυφης και οριζόντιας σήμανσης, η εγκατάσταση νέων στηθαίων ασφαλείας και η αποκατάσταση της ορατότητας στις επικίνδυνες καμπύλες βελτίωσαν αισθητά το επίπεδο ενεργητικής και παθητικής οδικής ασφάλειας, συμβάλλοντας στη μείωση της εκτιμώμενης πιθανότητας πρόκλησης ατυχημάτων κατά περίπου 32 %, σύμφωνα με τις παραδοχές του υποθετικού τεχνικού σεναρίου.

8.5.1 Φωτογραφική τεκμηρίωση

Η φωτογραφική τεκμηρίωση αποτελεί βασικό εργαλείο τεχνικής αξιολόγησης έργων οδοποιίας, καθώς επιτρέπει την άμεση οπτική σύγκριση της κατάστασης της υποδομής πριν και μετά την ολοκλήρωση των εργασιών. Για την αξιόπιστη αποτύπωση των μεταβολών, οι λήψεις πραγματοποιούνται από σταθερά σημεία αναφοράς, με ίδια γωνία λήψης και αντίστοιχες συνθήκες φωτισμού, ώστε να είναι δυνατή η αντικειμενική αξιολόγηση των τεχνικών παρεμβάσεων. Στην παρούσα μελέτη προτείνεται η χρήση φωτογραφιών που απεικονίζουν χαρακτηριστικά σημεία του οδικού άξονα, όπως περιοχές έντονων ρηγματώσεων, θέσεις κατολισθητικών φαινομένων, τεχνικά έργα αποστράγγισης και επικίνδυνες καμπύλες όπου πραγματοποιήθηκαν επεμβάσεις οδικής ασφάλειας.

Η συγκριτική αξιολόγηση των φωτογραφιών πριν και μετά τις επεμβάσεις αναμένεται να καταδείξει τη σημαντική βελτίωση της επιφάνειας κύλισης, την πλήρη αποκατάσταση των ασφαλικών στρώσεων, την εξάλειψη των καθιζήσεων και των λακκουβών, την αποκατάσταση των ερεισμάτων, τον καθαρισμό των τάφρων απορροής, την ανακατασκευή των οχετών, καθώς και την εγκατάσταση νέων πινακίδων και μεταλλικών στηθαίων ασφαλείας. Επιπλέον, η φωτογραφική τεκμηρίωση μπορεί να αποτυπώσει την αποτελεσματικότητα των γεωτεχνικών παρεμβάσεων στα πρανή, επιβεβαιώνοντας τη μείωση των κατολισθητικών φαινομένων και τη βελτίωση της συνολικής ευστάθειας της οδικής υποδομής.

Πίνακας 8.5 Προτεινόμενη φωτογραφική τεκμηρίωση

Θέση φωτογράφισης	Πριν την επέμβαση	Μετά την επέμβαση	Τεχνική μεταβολή
Θέση Α	Ρηγματώσεις και λακκούβες	Νέος ασφαλοτάπητας	Πλήρης αποκατάσταση επιφάνειας
Θέση Β	Καθίζηση οδοστρώματος	Ενισχυμένη οδοστρωσία	Αποκατάσταση γεωμετρίας
Θέση Γ	Φραγμένη τάφος	Καθαρή επενδεδυμένη τάφος	Βελτίωση αποστράγγισης
Θέση Δ	Κατολίσθηση πρανούς	Σταθεροποιημένο πρανές	Γεωτεχνική προστασία
Θέση Ε	Φθαρμένη διαγράμμιση	Νέα διαγράμμιση και πινακίδες	Βελτίωση οδικής ασφάλειας
Θέση ΣΤ	Παλαιά στηθαία	Νέα στηθαία Η2	Αναβάθμιση παθητικής ασφάλειας

8.5.2 Δείκτες απόδοσης

Η τεχνική αξιολόγηση ολοκληρώνεται με την ανάλυση βασικών Δεικτών Απόδοσης (Key Performance Indicators – KPIs), οι οποίοι χρησιμοποιούνται διεθνώς για την ποσοτική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας έργων συντήρησης οδικών υποδομών. Οι δείκτες αυτοί επιτρέπουν την αντικειμενική σύγκριση της κατάστασης του έργου πριν και μετά την επέμβαση και διευκολύνουν την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των τεχνικών παρεμβάσεων σε επίπεδο λειτουργικότητας, ασφάλειας και οικονομικής βιωσιμότητας.

Με βάση το υποθετικό τεχνικό σενάριο της παρούσας εργασίας, η μεγαλύτερη βελτίωση καταγράφεται στον δείκτη PCI, ο οποίος αυξήθηκε κατά περισσότερο από 100 %, ενώ ιδιαίτερα σημαντική είναι και η μείωση της τραχύτητας του οδοστρώματος (IRI) κατά περίπου 66 %. Παράλληλα, η φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος αυξήθηκε κατά περίπου 39 %, η διάρκεια ζωής της υποδομής σχεδόν τριπλασιάστηκε, ενώ οι εκτιμώμενες ετήσιες δαπάνες συντήρησης μειώθηκαν κατά περίπου 45 %. Στον τομέα της οδικής ασφάλειας, η αναβάθμιση της σήμανσης, της διαγράμμισης και των συστημάτων συγκράτησης είχε ως αποτέλεσμα την εκτιμώμενη μείωση του σχετικού κινδύνου ατυχήματος κατά περίπου 32 %, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα αξιολόγησης οδικής ασφάλειας.

Πίνακας 8.6 Συγκριτικοί δείκτες απόδοσης του έργου

Δείκτης Απόδοσης (KPI)	Πριν	Μετά	Μεταβολή
Δείκτης PCI	45	92	+104 %
Δείκτης IRI (m/km)	5,6	1,9	-66 %
Επιφάνεια με ρηγματώσεις	32 %	<2 %	-94 %
Φέρουσα ικανότητα	90 MPa	125 MPa	+39 %
Λειτουργικοί οχετοί	78 %	100 %	+22 ποσοστιαίες μονάδες
Υπολειπόμενη διάρκεια ζωής	7 έτη	19 έτη	+171 %
Ετήσιο κόστος συντήρησης	95.000 €	52.000 €	-45 %
Εκτιμώμενος σχετικός κίνδυνος ατυχήματος	100	68	-32 %
Δείκτης ανθεκτικότητας	58/100	89/100	+53 %
Λόγος οφέλους/κόστους (B/C)	0,94	1,72	+83 %

Η συνολική αξιολόγηση των δεικτών απόδοσης επιβεβαιώνει ότι οι παρεμβάσεις που εφαρμόστηκαν στο εξεταζόμενο τμήμα της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων παρουσιάζουν υψηλή τεχνική αποτελεσματικότητα και σημαντική οικονομική αποδοτικότητα. Η ταυτόχρονη βελτίωση της δομικής επάρκειας, της ποιότητας κύλισης, της οδικής ασφάλειας, της αποστράγγισης και της ανθεκτικότητας της υποδομής καταδεικνύει ότι η εφαρμογή ολοκληρωμένων προγραμμάτων συντήρησης αποτελεί την πλέον αποδοτική στρατηγική διαχείρισης του επαρχιακού οδικού δικτύου, συμβάλλοντας στη μείωση του συνολικού κόστους κύκλου ζωής και στη διασφάλιση της

ασφαλούς και απρόσκοπτης λειτουργίας των μεταφορικών υποδομών (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

9.1 Σύγκριση με βιβλιογραφία

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης περίπτωσης καταδεικνύει ότι τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την τεχνική αποκατάσταση του εξεταζόμενου τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων βρίσκονται σε σημαντικό βαθμό συμφωνίας με τα ευρήματα της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τη διαχείριση, τη συντήρηση και την αξιολόγηση της απόδοσης εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Τα τελευταία χρόνια η διεθνής επιστημονική έρευνα έχει μετατοπιστεί από τη λογική της διορθωτικής συντήρησης προς ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης οδικών υποδομών, στα οποία η λήψη αποφάσεων βασίζεται σε ποσοτικούς δείκτες κατάστασης, σε μοντέλα πρόβλεψης υποβάθμισης και σε αναλύσεις κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis – LCCA). Η προσέγγιση αυτή διαφοροποιείται ουσιαστικά από τις παλαιότερες πρακτικές, όπου οι επεμβάσεις πραγματοποιούνταν κυρίως μετά την εμφάνιση σοβαρών αστοχιών, οδηγώντας σε σημαντικά υψηλότερες δαπάνες αποκατάστασης και σε αυξημένη πιθανότητα πρόκλησης τροχαίων ατυχημάτων (Hasan et al., 2020· Al-Shamayleh, 2025).

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία σύγκλισης της παρούσας μελέτης με τη διεθνή βιβλιογραφία αφορά τη σημασία της προληπτικής συντήρησης. Ο **Ugochi (2020)** υποστηρίζει ότι η καθυστέρηση εφαρμογής επεμβάσεων επιτρέπει την εξέλιξη των επιφανειακών βλαβών σε δομικές αστοχίες, αυξάνοντας ακόμη και κατά **3 έως 5 φορές** το απαιτούμενο κόστος αποκατάστασης. Αντίστοιχα, στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε ότι η αποκατάσταση του οδοστρώματος πριν από την πλήρη κατάρρευση της δομής του οδήγησε σε σημαντική βελτίωση του δείκτη **PCI** (από **45** σε **92**) και ταυτόχρονα αύξησε την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής της υποδομής από περίπου **7** σε **19 έτη**, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα της προληπτικής στρατηγικής συντήρησης.

Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και από τις έρευνες των Anand et al. (2021), Rarotiya και Gupta (2025) και Shakya et al. (2025), οι οποίοι χρησιμοποίησαν το λογισμικό HDM-4 για την

προσομοίωση της εξέλιξης των φθορών σε επαρχιακά και εθνικά οδικά δίκτυα. Οι συγκεκριμένες μελέτες καταδεικνύουν ότι όταν ο δείκτης κατάστασης του οδοστρώματος υποχωρεί κάτω από τιμές αντίστοιχες του $PCI \approx 50$, η ταχύτητα υποβάθμισης αυξάνεται εκθετικά και η ανάγκη πλήρους ανακατασκευής εμφανίζεται σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα. Η τεχνική εικόνα που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τα συμπεράσματα αυτά, καθώς το εξεταζόμενο οδικό τμήμα παρουσίαζε εκτεταμένες ρηγματώσεις, καθιζήσεις και αποσάθρωση, χαρακτηριστικά τα οποία σύμφωνα με τα μοντέλα HDM-4 αποτελούν τυπικά γνωρίσματα της τελικής φάσης λειτουργικής υποβάθμισης ενός εύκαμπτου οδοστρώματος.

Εξίσου σημαντική είναι η συμφωνία με τις σύγχρονες μεθοδολογίες πρόβλεψης της εξέλιξης των φθορών. Οι Isradi et al. (2024), Hakim et al. (2025) και Hanpasith et al. (2025) αξιοποίησαν αλυσίδες Markov για την πρόβλεψη της μετάβασης ενός οδοστρώματος μεταξύ διαφορετικών επιπέδων κατάστασης. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών αποδεικνύουν ότι η έγκαιρη εφαρμογή δομικών επεμβάσεων μπορεί να επιβραδύνει σημαντικά τη μετάβαση προς τις χαμηλότερες κατηγορίες λειτουργικής κατάστασης, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής της υποδομής κατά 40–70 %. Αντίστοιχα, στην παρούσα μελέτη η αναμενόμενη λειτουργική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος σχεδόν τριπλασιάζεται μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων, γεγονός που επιβεβαιώνει τη συμβατότητα των αποτελεσμάτων με τα μοντέλα Markov που χρησιμοποιούνται διεθνώς στη διαχείριση οδικών δικτύων.

Η τεχνική αξιολόγηση της παρούσας εργασίας συγκλίνει επίσης με τις μελέτες που αξιοποιούν τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση για την πρόβλεψη της υποβάθμισης των οδοστρωμάτων. Οι Jha (2023) και Ijari και Paternina-Arboleda (2024) καταδεικνύουν ότι η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης επιτυγχάνει σημαντικά υψηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης σε σχέση με τα παραδοσιακά στατιστικά μοντέλα, ιδιαίτερα όταν λαμβάνονται υπόψη μεταβλητές όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, οι κλιματικές συνθήκες, η γεωλογία και η ποιότητα των ασφαλτικών υλικών. Παρότι η παρούσα εργασία δεν εφαρμόζει αντίστοιχους αλγορίθμους, η πολυκριτηριακή αξιολόγηση που αναπτύχθηκε βασίζεται στην ίδια φιλοσοφία ολοκληρωμένης εκτίμησης πολλαπλών παραγόντων, γεγονός που καθιστά τα συμπεράσματά της συμβατά με τη σύγχρονη κατεύθυνση της διεθνούς έρευνας.

Σημαντική συμφωνία παρατηρείται και ως προς την αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας. Οι Angelo et al. (2023) πρότειναν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο διαχείρισης που συνδυάζει την κατάσταση του οδοστρώματος με τους δείκτες επικινδυνότητας της υποδομής, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η συντήρηση δεν πρέπει να αξιολογείται αποκλειστικά με βάση τον δείκτη PCI, αλλά και με βάση τη συμβολή της στη μείωση των ατυχημάτων. Αντίστοιχα, στην παρούσα εργασία η αναβάθμιση της αντιστοιχισιμότητας, της σήμανσης, της διαγράμμισης, των στηθαίων ασφαλείας και της αποστράγγισης συνδέθηκε με εκτιμώμενη μείωση του σχετικού κινδύνου ατυχήματος κατά περίπου 32 %, αποτέλεσμα που βρίσκεται εντός των ορίων (25–40 %) που αναφέρονται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2020, 2021) για αντίστοιχες παρεμβάσεις βελτίωσης οδικής ασφάλειας.

Αντίστοιχη σύγκλιση εμφανίζεται και στον τομέα της οικονομικής αξιολόγησης. Οι Wanimbo et al. (2025) απέδειξαν ότι η διατήρηση υψηλών τιμών PCI οδηγεί σε σημαντική μείωση του συνολικού κόστους κύκλου ζωής, ενώ οι Sazali et al. (2021) έδειξαν ότι οι στρατηγικές προληπτικής συντήρησης μειώνουν το μακροχρόνιο κόστος διαχείρισης του οδικού δικτύου έως και 35–50 %. Στην παρούσα μελέτη εκτιμήθηκε ότι το ετήσιο κόστος συντήρησης μειώνεται από περίπου 95.000 € σε 52.000 €, ενώ ο υποθετικός λόγος οφέλους προς κόστος (Benefit–Cost Ratio = 1,72) υποδηλώνει ότι κάθε ευρώ επένδυσης αποδίδει σημαντικό κοινωνικοοικονομικό όφελος, επιβεβαιώνοντας τα συμπεράσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα των ολοκληρωμένων προγραμμάτων συντήρησης.

9.2 Πλεονεκτήματα εφαρμοσμένων πρακτικών

Η τεχνική προσέγγιση που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη περίπτωσης βασίστηκε στη φιλοσοφία της ολοκληρωμένης διαχείρισης οδικών υποδομών, σύμφωνα με την οποία η συντήρηση δεν περιορίζεται στην επιφανειακή αποκατάσταση των φθορών, αλλά επεκτείνεται στη συνολική αναβάθμιση της δομικής επάρκειας, της λειτουργικότητας, της ανθεκτικότητας και της οδικής ασφάλειας της υποδομής. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποτελεί πλέον τη διεθνώς επικρατούσα πρακτική, καθώς επιτρέπει την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων και τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των οδικών έργων μέσω προγραμματισμένων επεμβάσεων προληπτικής συντήρησης (Shrestha et al., 2025· Al-Shamayleh, 2025).

Οι εργασίες δεν περιορίστηκαν στην αντικατάσταση του ασφαλτοτάπητα αλλά περιέλαβαν χωματοργικές επεμβάσεις, εξυγίανση του υποβάθρου, ανακατασκευή των στρώσεων οδοστρώσας, βελτίωση της αποστράγγισης, γεωτεχνική προστασία των πρανών και πλήρη αναβάθμιση της οδικής σήμανσης. Η ολοκληρωμένη αυτή παρέμβαση επιτρέπει την αντιμετώπιση των πραγματικών αιτιών των αστοχιών και όχι μόνο των επιφανειακών εκδηλώσεών τους, γεγονός που αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της υποδομής και μειώνει την πιθανότητα επανεμφάνισης των ίδιων προβλημάτων. Αντίστοιχα συμπεράσματα παρουσιάζουν οι Ugochi (2020) και Abed et al. (2023), οι οποίοι επισημαίνουν ότι οι δομικές επεμβάσεις παρουσιάζουν αισθητά μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα συγκριτικά με τις τοπικές αποκαταστάσεις όταν το οδόστρωμα έχει ήδη εισέλθει σε στάδιο επιταχυνόμενης υποβάθμισης.

Η αξιοποίηση δεικτών όπως ο Pavement Condition Index (PCI), ο International Roughness Index (IRI), η φέρουσα ικανότητα του υποβάθρου και οι δείκτες οδικής ασφάλειας επέτρεψε την αντικειμενική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με διεθνείς πρακτικές. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιορίζει την υποκειμενικότητα στη λήψη αποφάσεων και επιτρέπει την ιεράρχηση των αναγκών συντήρησης με τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Η χρήση τέτοιων δεικτών αποτελεί πλέον βασικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (PMS), όπως επισημαίνουν οι Wang et al. (2020) και η Εγνατία Οδός Α.Ε. (2022). Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη μετατόπιση της διαχείρισης από το στάδιο της αποκατάστασης στο στάδιο της πρόληψης, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας των υποδομών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, η εφαρμογή ολοκληρωμένων τεχνικών επεμβάσεων εκτιμάται ότι αυξάνει τη λειτουργική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος από περίπου 7 σε 19 έτη, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το ετήσιο κόστος συντήρησης κατά περίπου 45 %. Αντίστοιχα αποτελέσματα αναφέρονται και από τους Wanimbo et al. (2025), οι οποίοι τεκμηριώνουν ότι η διατήρηση υψηλού δείκτη PCI οδηγεί σε σημαντική μείωση του συνολικού κόστους κύκλου ζωής των οδικών υποδομών.

Η εφαρμογή νέου ασφαλτοτάπητα υψηλής αντιολισθηρότητας, η εγκατάσταση σύγχρονων συστημάτων συγκράτησης οχημάτων, η πλήρης ανανέωση της κατακόρυφης και οριζόντιας σήμανσης και η βελτίωση της αποστράγγισης συνιστούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα ενεργητικής

και παθητικής ασφάλειας. Σύμφωνα με το υποθετικό τεχνικό σενάριο της παρούσας εργασίας, ο σχετικός δείκτης επικινδυνότητας μειώνεται κατά περίπου 32 %, αποτέλεσμα που βρίσκεται σε συμφωνία με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (2021) και τις προτάσεις των Angelo et al. (2023) για ενσωμάτωση της οδικής ασφάλειας στη διαδικασία σχεδιασμού των έργων συντήρησης. Η εφαρμογή εξειδικευμένων γεωτεχνικών επεμβάσεων στα πρανή, η ενίσχυση των έργων αποστράγγισης και η προστασία των επιχωμάτων ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες που χαρακτηρίζουν τις ορεινές περιοχές της Δυτικής Ελλάδας. Η προσέγγιση αυτή συνάδει με τις κατευθυντήριες οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (2021) και της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ, 2022), σύμφωνα με τις οποίες η αντιμετώπιση των γεωτεχνικών προβλημάτων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη μακροχρόνια βιωσιμότητα των οδικών έργων σε ορεινά περιβάλλοντα.

9.3 Αδυναμίες και περιορισμοί

Παρά τα ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα της τεχνικής αξιολόγησης, η παρούσα μελέτη παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τη γενίκευση των συμπερασμάτων. Ο σημαντικότερος περιορισμός αφορά τη διαθεσιμότητα πρωτογενών τεχνικών δεδομένων. Η αξιολόγηση βασίσθηκε κυρίως σε διαθέσιμες τεχνικές εκθέσεις, βιβλιογραφικές πηγές, κανονισμούς και στο υποθετικό τεχνικό σενάριο που αναπτύχθηκε για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ως εκ τούτου, δεν κατέστη δυνατή η χρήση πλήρους βάσης δεδομένων επιτόπιων μετρήσεων, όπως αναλυτικές μετρήσεις IRI, FWD (Falling Weight Deflectometer), Benkelman Beam, δοκιμές πυκνότητας, πραγματικά δεδομένα PCI ή συνεχείς κυκλοφοριακές μετρήσεις, στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται διεθνώς για την ανάπτυξη μοντέλων υψηλής ακρίβειας (Barriera et al., 2020· Wang et al., 2020).

Δεύτερος σημαντικός περιορισμός αποτελεί η έλλειψη μακροχρόνιας παρακολούθησης της συμπεριφοράς της υποδομής μετά την ολοκλήρωση των εργασιών. Η πραγματική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός έργου συντήρησης προϋποθέτει συνεχή συλλογή δεδομένων για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 5–10 ετών, ώστε να καταγραφεί η εξέλιξη της υποβάθμισης του οδοστρώματος υπό πραγματικές κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Η παρούσα μελέτη, λόγω του χαρακτήρα της, περιορίζεται σε εκτίμηση της αναμενόμενης απόδοσης και όχι σε παρακολούθηση πραγματικών επιδόσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Η

Ήπειρος χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης, συχνές εναλλαγές παγετού–απόψυξης και έντονη γεωτεχνική αστάθεια. Παρότι οι συγκεκριμένοι παράγοντες αναλύθηκαν ποιοτικά, δεν αναπτύχθηκαν αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης της επίδρασής τους στη μελλοντική υποβάθμιση του οδοστρώματος. Σύγχρονες μελέτες, όπως αυτές των Mehdi et al. (2022) και Shakya et al. (2025), χρησιμοποιούν στοχαστικά μοντέλα και δυναμικές καμπύλες φθοράς που λαμβάνουν υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ κυκλοφορίας, θερμοκρασίας, υγρασίας και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών. Η ενσωμάτωση αντίστοιχων προσεγγίσεων θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια των προβλέψεων.

Η εκτίμηση των κυκλοφοριακών φορτίων πραγματοποιήθηκε με βάση διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία και όχι μέσω συνεχών μετρήσεων κυκλοφορίας ή δεδομένων από συστήματα ITS (Intelligent Transportation Systems). Δεδομένου ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες εξέλιξης των οδοστρωμάτων, η χρήση πραγματικών δεδομένων βαρέων οχημάτων, αξονικών φορτίων και εποχικών διακυμάνσεων θα βελτίωνε ουσιαστικά την αξιοπιστία της τεχνικής αξιολόγησης. Η οικονομική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μέσω υποθετικού σεναρίου κόστους και όχι μέσω πραγματικών λογιστικών στοιχείων του έργου. Αν και η ανάλυση βασίστηκε στις αρχές της Life Cycle Cost Analysis, δεν συμπεριλήφθηκαν παράμετροι όπως η διαχρονική μεταβολή του πληθωρισμού, η εξέλιξη των τιμών των ασφαλικών υλικών, οι μεταβολές στο ενεργειακό κόστος και οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με τη μελλοντική χρηματοδότηση των έργων συντήρησης. Σύμφωνα με τους Jayakody et al. (2024), η ενσωμάτωση πολυκριτηριακών μοντέλων λήψης αποφάσεων, όπως η μέθοδος AHP, επιτρέπει σημαντικά ακριβέστερη αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των έργων.

9.4 Προοπτικές βελτίωσης

Η συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για ασφαλέστερες, ανθεκτικότερες και οικονομικά βιώσιμες οδικές υποδομές καθιστά αναγκαία τη μετάβαση από το παραδοσιακό μοντέλο διορθωτικής συντήρησης σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα προληπτικής διαχείρισης του επαρχιακού οδικού δικτύου. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι οι εφαρμοζόμενες τεχνικές παρεμβάσεις βελτίωσαν ουσιαστικά τη λειτουργικότητα του εξεταζόμενου τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων. Ωστόσο, η μακροχρόνια διατήρηση των τεχνικών αυτών χαρακτηριστικών εξαρτάται από την εφαρμογή συστηματικών διαδικασιών παρακολούθησης,

έγκαιρης συντήρησης και αξιοποίησης σύγχρονων τεχνολογιών διαχείρισης υποδομών. Η διεθνής εμπειρία αποδεικνύει ότι η προληπτική συντήρηση μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος διαχείρισης ενός οδικού δικτύου κατά 30–50 %, ενώ παράλληλα αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των ασφαλικών κατασκευών και περιορίζει τις ανάγκες εκτεταμένων ανακατασκευών (Wanimbo et al., 2025· Shrestha et al., 2025).

Η σημαντικότερη προοπτική βελτίωσης αφορά την πλήρη εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (Pavement Management System – PMS) σε επίπεδο Περιφέρειας Ηπείρου. Ένα σύγχρονο PMS επιτρέπει τη συνεχή καταγραφή της κατάστασης κάθε οδικού τμήματος, την αξιολόγηση των τεχνικών δεικτών (PCI, IRI, SCRIM, FWD), την πρόβλεψη της μελλοντικής υποβάθμισης και την αυτόματη ιεράρχηση των επεμβάσεων με βάση τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Η Εγνατία Οδός Α.Ε. (2022) εφαρμόζει ήδη αντίστοιχο σύστημα στο εθνικό οδικό δίκτυο, γεγονός που αποδεικνύει ότι η ανάπτυξη ανάλογων εργαλείων σε επίπεδο Περιφέρειας είναι τεχνικά εφικτή και ιδιαίτερα αποδοτική. Σύμφωνα με τους Corker et al. (2023), η συνδυασμένη αξιοποίηση χωρικών δεδομένων, γεωλογικών πληροφοριών, κυκλοφοριακών φορτίων και ιστορικών στοιχείων φθοράς επιτρέπει την ανάπτυξη μοντέλων υψηλής ακρίβειας για την πρόβλεψη της εξέλιξης των βλαβών. Η δημιουργία ενιαίας γεωχωρικής βάσης δεδομένων για το σύνολο του επαρχιακού δικτύου της Ηπείρου θα διευκόλυνε σημαντικά την ιεράρχηση των επενδύσεων και θα επέτρεπε την αντικειμενική αξιολόγηση των πραγματικών αναγκών κάθε οδικού τμήματος.

Εξίσου σημαντική προοπτική αποτελεί η αξιοποίηση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) και Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning). Οι σύγχρονες έρευνες των Jha (2023) και Ijari και Paternina-Arboleda (2024) αποδεικνύουν ότι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να προβλέψουν την εξέλιξη της υποβάθμισης των οδοστρωμάτων με ακρίβεια που υπερβαίνει το 90 %, όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα κυκλοφορίας, κλιματικών μεταβολών, γεωτεχνικών χαρακτηριστικών και ιστορικών επεμβάσεων συντήρησης. Η εφαρμογή αντίστοιχων συστημάτων στην Περιφέρεια Ηπείρου θα επέτρεπε τη μετάβαση από τον σημερινό αντιδραστικό σχεδιασμό σε ένα πλήρως προγνωστικό μοντέλο διαχείρισης. Σύμφωνα με τους Li et al. (2020), Barriera et al. (2020) και Al-Sabaei et al. (2024), η χρήση σαρωτών laser, drones, αισθητήρων υψηλής ακρίβειας, εφαρμογών κινητών τηλεφώνων και οχημάτων εξοπλισμένων με συστήματα

καταγραφής επιτρέπει τη συνεχή αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων χωρίς διακοπή της κυκλοφορίας. Παράλληλα, οι Mahlberg et al. (2024) και Thompson et al. (2025) τεκμηριώνουν ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από συνδεδεμένα οχήματα (Connected Vehicles) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αυτόματη εκτίμηση του δείκτη τραχύτητας (IRI) σε πραγματικό χρόνο, περιορίζοντας σημαντικά το κόστος επιθεωρήσεων.

9.5 Εφαρμογή σε άλλα τμήματα της Ηπείρου

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη δύναται να αποτελέσει πρότυπο για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό επεμβάσεων συντήρησης στο σύνολο του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Σύμφωνα με τον Στρατηγικό Σχεδιασμό Υποδομών και Μεταφορών της Περιφέρειας Ηπείρου (2022) και το Τεχνικό Πρόγραμμα Έργων 2020–2024, μεγάλο μέρος του επαρχιακού δικτύου παρουσιάζει αντίστοιχα προβλήματα γήρανσης των ασφαλικών στρώσεων, ανεπαρκούς αποστράγγισης, γεωτεχνικής αστάθειας και αυξημένης επικινδυνότητας. Επομένως, η εφαρμογή ενιαίας μεθοδολογίας αξιολόγησης μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ορθολογική κατανομή των διαθέσιμων οικονομικών πόρων και στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των έργων συντήρησης.

Η Περιφέρεια Ηπείρου διαθέτει περισσότερα από 2.000 km επαρχιακού και περιφερειακού οδικού δικτύου, μεγάλο μέρος του οποίου αναπτύσσεται σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές με ιδιαίτερα δυσμενείς γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες. Οι Περιφερειακές Ενότητες Ιωαννίνων, Άρτας, Θεσπρωτίας και Πρέβεζας παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη μορφολογία, την κυκλοφοριακή επιβάρυνση και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη προτεραιοποιημένων προγραμμάτων συντήρησης με βάση αντικειμενικούς τεχνικούς δείκτες (Περιφέρεια Ηπείρου, 2022· ΤΕΕ, 2022).

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας μπορεί να οργανωθεί σε τέσσερα διαδοχικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται πλήρης τεχνική απογραφή του δικτύου μέσω αυτοψιών, αποτυπώσεων GIS και συλλογής στοιχείων κυκλοφορίας. Στο δεύτερο στάδιο υπολογίζονται βασικοί δείκτες κατάστασης, όπως οι PCI, IRI, φέρουσα ικανότητα, λειτουργικότητα αποστράγγισης και επίπεδο οδικής ασφάλειας. Ακολουθεί η εφαρμογή πολυκριτηριακής

αξιολόγησης, κατά την οποία κάθε οδικό τμήμα βαθμολογείται με βάση την τεχνική του κατάσταση, την κυκλοφοριακή σημασία, τη γεωτεχνική επικινδυνότητα και το εκτιμώμενο κόστος αποκατάστασης. Τέλος, καταρτίζεται πολυετές πρόγραμμα συντήρησης, το οποίο επιτρέπει τη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων και τη σταδιακή αναβάθμιση του συνόλου του επαρχιακού δικτύου. Ενδεικτικά, οι οδικές συνδέσεις προς τα Τζουμέρκα, το Ζαγόρι, το Μέτσοβο, τα χωριά του Πωγωνίου, της Κόνιτσας, καθώς και οι επαρχιακές συνδέσεις προς την παράκτια ζώνη της Πρέβεζας και της Θεσπρωτίας, παρουσιάζουν αυξημένη στρατηγική σημασία τόσο για την τοπική οικονομία όσο και για την τουριστική ανάπτυξη της Περιφέρειας. Η βελτίωση της λειτουργικής κατάστασης των συγκεκριμένων αξόνων μπορεί να μειώσει τους χρόνους μετακίνησης, να περιορίσει το λειτουργικό κόστος των μεταφορών και να ενισχύσει σημαντικά την περιφερειακή συνοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10.1 Κύρια συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων συντήρησης στο επαρχιακό οδικό δίκτυο της Περιφέρειας Ηπείρου, μέσω της τεχνικής αξιολόγησης της αποκατάστασης τμήματος της 2ης Επαρχιακής Οδού Ιωαννίνων. Η ανάλυση βασίσθηκε σε βιβλιογραφική διερεύνηση, στις ισχύουσες ελληνικές και ευρωπαϊκές τεχνικές προδιαγραφές, σε διαθέσιμες τεχνικές εκθέσεις και στην ανάπτυξη υποθετικού τεχνικού σεναρίου, το οποίο επέτρεψε την ποσοτική αξιολόγηση της απόδοσης των επεμβάσεων. Η σύνθεση των αποτελεσμάτων καταδεικνύει ότι η συντήρηση του επαρχιακού οδικού δικτύου δεν αποτελεί μία απλή διαδικασία αποκατάστασης επιφανειακών φθορών, αλλά μία ολοκληρωμένη τεχνική παρέμβαση που επηρεάζει άμεσα τη λειτουργικότητα των μεταφορικών υποδομών, την οδική ασφάλεια, τη βιωσιμότητα των δημόσιων επενδύσεων και την αναπτυξιακή προοπτική των τοπικών κοινωνιών.

Η έντονη ορεινότητα, οι υψηλές ετήσιες βροχοπτώσεις, οι συχνές εναλλαγές παγετού και απόψυξης, καθώς και η αυξημένη γεωτεχνική αστάθεια πολλών περιοχών δημιουργούν ένα ιδιαίτερα απαιτητικό περιβάλλον λειτουργίας των οδικών υποδομών. Ως αποτέλεσμα, οι επεμβάσεις συντήρησης δεν μπορούν να περιορίζονται αποκλειστικά στην ανανέωση της ασφαλτικής στρώσης, αλλά απαιτείται ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των γεωτεχνικών,

υδραυλικών και λειτουργικών προβλημάτων που επηρεάζουν τη συνολική συμπεριφορά της οδού. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί τόσο με τις κατευθυντήριες οδηγίες του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών όσο και με τις τεχνικές προσεγγίσεις της Εγνατίας Οδού Α.Ε. και του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.

Η τεχνική αξιολόγηση του υποθετικού σεναρίου ανέδειξε ιδιαίτερα σημαντική βελτίωση όλων των βασικών δεικτών λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος. Ο δείκτης Pavement Condition Index (PCI) αυξήθηκε από περίπου 45 σε 92, ενώ ο δείκτης τραχύτητας International Roughness Index (IRI) μειώθηκε από περίπου 5,6 m/km σε 1,9 m/km, γεγονός που αντιστοιχεί σε βελτίωση της ποιότητας κύλισης μεγαλύτερη του 65 %. Παράλληλα, η πλήρης εξάλειψη των καθιζήσεων, των λακκουβών και του μεγαλύτερου μέρους των ρηγματώσεων αποκατέστησε τη δομική ακεραιότητα του οδοστρώματος και αύξησε σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής. Οι παρεμβάσεις αυτές εκτιμάται ότι αυξάνουν τη λειτουργική διάρκεια ζωής της υποδομής από περίπου 7 σε σχεδόν 20 έτη, υπό την προϋπόθεση εφαρμογής προγράμματος προληπτικής συντήρησης.

Η αναβάθμιση της αντολιστηρότητας του ασφαλτοτάπητα, η αντικατάσταση της κατακόρυφης και οριζόντιας σήμανσης, η εγκατάσταση νέων μεταλλικών στηθαίων ασφαλείας και η βελτίωση της αποστράγγισης συνέβαλαν στη σημαντική μείωση του επιπέδου επικινδυνότητας του εξεταζόμενου οδικού τμήματος. Η συνολική αξιολόγηση έδειξε ότι ο σχετικός δείκτης κινδύνου ατυχήματος μειώνεται κατά περίπου 32 %, ενώ η αύξηση της ορατότητας και της ποιότητας κύλισης δημιουργεί ασφαλέστερες συνθήκες κυκλοφορίας τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει ότι η συντήρηση των οδοστρωμάτων αποτελεί βασικό εργαλείο εφαρμογής της Εθνικής Στρατηγικής Οδικής Ασφάλειας και όχι απλώς μία τεχνική διαδικασία διατήρησης της υποδομής.

.Σύμφωνα με το υποθετικό οικονομικό σενάριο, η εφαρμογή ολοκληρωμένων επεμβάσεων οδηγεί σε μείωση του ετήσιου κόστους συντήρησης κατά περίπου 45 %, ενώ ο εκτιμώμενος λόγος οφέλους προς κόστος (Benefit–Cost Ratio) ανέρχεται σε περίπου 1,72, γεγονός που υποδηλώνει ότι η συνολική κοινωνικοοικονομική αξία των παραγόμενων ωφελειών υπερβαίνει σημαντικά το αρχικό κόστος της επένδυσης. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας, σύμφωνα με την οποία η έγκαιρη συντήρηση είναι σημαντικά αποδοτικότερη από

την καθυστερημένη αποκατάσταση οδοστρωμάτων που έχουν ήδη υποστεί εκτεταμένες δομικές αστοχίες. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η χρήση Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, τεχνολογιών GIS, αισθητήρων πεδίου, δεδομένων από συνδεδεμένα οχήματα και εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης αυξάνει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης των υποδομών. Η εφαρμογή αντίστοιχων τεχνολογιών στην Περιφέρεια Ηπείρου θα μπορούσε να βελτιώσει ουσιαστικά τον προγραμματισμό των επεμβάσεων, να μειώσει το λειτουργικό κόστος των επιθεωρήσεων και να αυξήσει σημαντικά τη διαφάνεια και την αποδοτικότητα των επενδύσεων στον τομέα της οδοποιίας.

10.2 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα

Η παρούσα έρευνα οργανώθηκε γύρω από ένα σύνολο βασικών ερευνητικών ερωτημάτων που αφορούσαν την τεχνική αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων συντήρησης, την οικονομική τους αποδοτικότητα, τη συμβολή τους στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και τη δυνατότητα εφαρμογής σύγχρονων μεθοδολογιών διαχείρισης στο επαρχιακό οδικό δίκτυο της Περιφέρειας Ηπείρου. Η σύνθεση των αποτελεσμάτων επιτρέπει την τεκμηριωμένη διατύπωση απαντήσεων στα ερευνητικά αυτά ζητήματα.

Πρώτο ερευνητικό ερώτημα: Σε ποιο βαθμό οι επεμβάσεις συντήρησης βελτιώνουν την τεχνική κατάσταση του επαρχιακού οδικού δικτύου;

Η ανάλυση έδειξε ότι η εφαρμογή ολοκληρωμένων επεμβάσεων οδηγεί σε ιδιαίτερα σημαντική βελτίωση της λειτουργικής και δομικής κατάστασης του οδοστρώματος. Η αύξηση του δείκτη **PCI** από **45** σε **92**, η μείωση του **IRI** κατά περίπου **66 %**, η εξάλειψη των σημαντικότερων επιφανειακών φθορών και η αύξηση της φέρουσας ικανότητας κατά περίπου **39 %** αποδεικνύουν ότι η ολοκληρωμένη συντήρηση μπορεί να επαναφέρει ένα ιδιαίτερα υποβαθμισμένο οδόστρωμα σε επίπεδο υψηλής λειτουργικής ποιότητας.

Δεύτερο ερευνητικό ερώτημα: Ποια είναι η επίδραση των επεμβάσεων στην οδική ασφάλεια;

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συνδυασμένη αναβάθμιση του ασφαλοτάπητα, της σήμανσης, της διαγράμμισης, των έργων αποστράγγισης και των συστημάτων παθητικής ασφάλειας μειώνει

σημαντικά το επίπεδο επικινδυνότητας της υποδομής. Στο πλαίσιο του υποθετικού τεχνικού σεναρίου εκτιμήθηκε μείωση του σχετικού κινδύνου ατυχήματος κατά περίπου **32 %**, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα αντίστοιχων διεθνών ερευνών και με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Τρίτο ερευνητικό ερώτημα: *Αποτελεί η προληπτική συντήρηση οικονομικά αποδοτικότερη στρατηγική σε σχέση με τη διορθωτική συντήρηση;*

Η οικονομική αξιολόγηση επιβεβαιώνει ότι η προληπτική συντήρηση παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Η μείωση των ετήσιων δαπανών συντήρησης κατά περίπου **45 %**, η σημαντική αύξηση της διάρκειας ζωής του έργου και ο εκτιμώμενος λόγος οφέλους προς κόστος (**B/C = 1,72**) αποδεικνύουν ότι η έγκαιρη εφαρμογή τεχνικών επεμβάσεων αποτελεί οικονομικά συμφέρουσα επιλογή για τη διαχείριση των δημόσιων υποδομών.

Τέταρτο ερευνητικό ερώτημα: *Ποιες τεχνικές παρεμβάσεις συμβάλλουν περισσότερο στη μακροχρόνια ανθεκτικότητα των οδικών υποδομών;*

Η έρευνα έδειξε ότι η μεγαλύτερη συμβολή προέρχεται από τις επεμβάσεις που αντιμετωπίζουν τα βασικά αίτια της υποβάθμισης και όχι μόνο τις επιφανειακές εκδηλώσεις της. Η εξυγίανση του υποβάθρου, η ανακατασκευή της οδοστρώσας, η ενίσχυση της αποστράγγισης και η σταθεροποίηση των πρανών αποτελούν τις πλέον κρίσιμες τεχνικές παρεμβάσεις για τις ιδιαίτερες συνθήκες της Ηπείρου, καθώς περιορίζουν σημαντικά την επίδραση της υγρασίας, των γεωτεχνικών αστοχιών και των κατολισθητικών φαινομένων.

Πέμπτο ερευνητικό ερώτημα: *Μπορεί η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία να αξιοποιηθεί στο σύνολο του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου;*

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι πλήρως επεκτάσιμη και μπορεί να αποτελέσει τη βάση ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου Περιφερειακού Συστήματος Διαχείρισης Οδικών Υποδομών. Η χρήση ενιαίων τεχνικών δεικτών αξιολόγησης, η εφαρμογή Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων, η αξιοποίηση τεχνολογιών GIS, η ενσωμάτωση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης και η ανάπτυξη πολυετών προγραμμάτων

προληπτικής συντήρησης μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης του επαρχιακού δικτύου και να εξασφαλίσουν ορθολογικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων.

10.3 Προτάσεις για την Περιφέρεια Ηπείρου

Η ανάλυση που προηγήθηκε καταδεικνύει ότι η διατήρηση της λειτουργικότητας του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου προϋποθέτει τη μετάβαση από ένα αποσπασματικό σύστημα επεμβάσεων σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο στρατηγικής διαχείρισης υποδομών. Η υφιστάμενη πρακτική, η οποία βασίζεται κυρίως στην αντιμετώπιση των ήδη εκδηλωμένων βλαβών, παρουσιάζει αυξημένο οικονομικό κόστος και περιορισμένη αποτελεσματικότητα, ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές όπου η εξέλιξη των φθορών είναι ταχύτερη λόγω των έντονων γεωμορφολογικών και κλιματικών καταπονήσεων. Για τον λόγο αυτό, η πρώτη και σημαντικότερη πρόταση αφορά τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου Περιφερειακού Συστήματος Διαχείρισης Οδικών Υποδομών (Regional Pavement Management System), στο οποίο θα καταγράφεται το σύνολο των οδικών αξόνων της Περιφέρειας με γεωχωρική αναφορά, τεχνικά χαρακτηριστικά, ιστορικό επεμβάσεων, δείκτες κατάστασης και προγραμματισμό συντήρησης. Ένα τέτοιο σύστημα θα επιτρέπει την αντικειμενική ιεράρχηση των αναγκών και την κατανομή των διαθέσιμων πόρων με τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, σύμφωνα με τις πρακτικές που εφαρμόζονται στα πλέον σύγχρονα ευρωπαϊκά οδικά δίκτυα (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2022· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Για κάθε οδικό τμήμα θα πρέπει να καταγράφονται το μήκος, η κατηγορία της οδού, το πλάτος, η χρονολογία κατασκευής, οι προηγούμενες επεμβάσεις, η κυκλοφορία (AADT), τα ποσοστά βαρέων οχημάτων, οι δείκτες PCI, IRI, οι μετρήσεις αντολισθηρότητας, η κατάσταση της αποστράγγισης, η γεωτεχνική επικινδυνότητα και τα ιστορικά στοιχεία τροχαίων ατυχημάτων. Η συγκέντρωση των δεδομένων αυτών σε ενιαία πλατφόρμα GIS θα επιτρέψει την ανάπτυξη χαρτών επικινδυνότητας και την αυτόματη προτεραιοποίηση των επεμβάσεων, όπως προτείνεται στη διεθνή βιβλιογραφία (Corker et al., 2023).

Η Περιφέρεια Ηπείρου θα πρέπει να εφαρμόσει πρόγραμμα περιοδικών τεχνικών επιθεωρήσεων με συγκεκριμένη συχνότητα και τυποποιημένη μεθοδολογία. Προτείνεται οι κύριοι επαρχιακοί άξονες να επιθεωρούνται τουλάχιστον μία φορά ετησίως, ενώ οι ορεινοί άξονες υψηλής

γεωτεχνικής επικινδυνότητας να ελέγχονται ανά εξάμηνο, ιδιαίτερα μετά από έντονα καιρικά φαινόμενα. Οι επιθεωρήσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν μετρήσεις τραχύτητας, αξιολόγηση ρηγματώσεων, ελέγχους αποστράγγισης, αποτύπωση κατολισθητικών φαινομένων και αξιολόγηση της κατάστασης της σήμανσης και των στηθαίων ασφαλείας. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η έγκαιρη αντιμετώπιση μικρών βλαβών πριν εξελιχθούν σε σοβαρές δομικές αστοχίες.

Σήμερα μεγάλο μέρος των διαθέσιμων πόρων κατευθύνεται σε έκτακτες αποκαταστάσεις μετά την εμφάνιση σοβαρών φθορών. Ωστόσο, η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η επένδυση σε προληπτικές επεμβάσεις μειώνει σημαντικά το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής των υποδομών. Συνεπώς, προτείνεται η διάθεση ενός σταθερού ποσοστού του ετήσιου τεχνικού προγράμματος της Περιφέρειας αποκλειστικά για προληπτική συντήρηση, ανεξάρτητα από τις έκτακτες ανάγκες που ενδέχεται να προκύψουν. Τέλος, κρίνεται απαραίτητη η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ της Περιφέρειας Ηπείρου, του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, της Εγνατίας Οδού Α.Ε., των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Η αξιοποίηση της επιστημονικής γνώσης, των νέων τεχνολογιών και των σύγχρονων εργαλείων πρόβλεψης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον σχεδιασμό των επεμβάσεων και να αυξήσει την αποδοτικότητα των δημόσιων επενδύσεων.

10.4 Προτάσεις πολιτικής συντήρησης

Η παρούσα έρευνα αναδεικνύει την ανάγκη διαμόρφωσης μιας νέας πολιτικής συντήρησης για το επαρχιακό οδικό δίκτυο, η οποία θα βασίζεται σε ποσοτικά τεκμηριωμένες αποφάσεις και όχι αποκλειστικά στη διαθεσιμότητα χρηματοδότησης ή στην εκδήλωση σοβαρών τεχνικών προβλημάτων. Η σύγχρονη πολιτική συντήρησης θα πρέπει να υιοθετεί τις αρχές της διαχείρισης κύκλου ζωής (Asset Management), σύμφωνα με τις οποίες κάθε επέμβαση αξιολογείται όχι μόνο ως προς το άμεσο κόστος κατασκευής αλλά και ως προς τις επιπτώσεις της στη διάρκεια ζωής της υποδομής, στο λειτουργικό κόστος των μεταφορών και στην οδική ασφάλεια (Shrestha et al., 2025· Jayakody et al., 2024). Πρώτη βασική πολιτική κατεύθυνση αποτελεί η καθιέρωση αντικειμενικών τεχνικών ορίων ενεργοποίησης επεμβάσεων. Ενδεικτικά, όταν ο δείκτης PCI υποχωρεί κάτω από 70, θα πρέπει να προγραμματίζονται προληπτικές εργασίες συντήρησης, ενώ όταν μειώνεται κάτω από 50, να ενεργοποιούνται εκτεταμένες δομικές παρεμβάσεις πριν εμφανιστούν μη αναστρέψιμες αστοχίες. Αντίστοιχα, για τον δείκτη τραχύτητας IRI μπορούν να καθοριστούν όρια

προειδοποίησης στα 3,5 m/km και όρια υποχρεωτικής παρέμβασης στα 4,5 m/km, σύμφωνα με διεθνείς πρακτικές διαχείρισης οδοστρωμάτων.

. Η επιλογή των οδικών τμημάτων προς συντήρηση δεν θα πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά στη φυσική κατάσταση του οδοστρώματος αλλά να λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, η στρατηγική σημασία του άξονα, η πρόσβαση σε νοσοκομεία και σχολεία, η τουριστική σημασία της περιοχής, η γεωτεχνική επικινδυνότητα και η συχνότητα εμφάνισης ατυχημάτων. Η εφαρμογή μεθόδων όπως η Analytic Hierarchy Process (AHP) μπορεί να υποστηρίξει την αντικειμενική αξιολόγηση των παραπάνω παραμέτρων και να οδηγήσει σε αποδοτικότερη κατανομή των διαθέσιμων πόρων (Jayakody et al., 2024). Στην Περιφέρεια Ηπείρου, όπου οι κατολισθήσεις και οι έντονες βροχοπτώσεις αποτελούν συχνό φαινόμενο, η συστηματική επιθεώρηση των τεχνικών έργων είναι εξίσου σημαντική με τη συντήρηση του ίδιου του οδοστρώματος. Η ενσωμάτωση αισθητήρων παρακολούθησης και συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να μειώσει σημαντικά τον κίνδυνο αστοχιών και να περιορίσει το κόστος έκτακτων επεμβάσεων.

Η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV), κινητών εφαρμογών, τεχνολογιών laser scanning, δεδομένων από συνδεδεμένα οχήματα και συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να περιορίσει σημαντικά το κόστος συλλογής δεδομένων και να αυξήσει την ακρίβεια της αξιολόγησης της κατάστασης των υποδομών (Li et al., 2020· Al-Sabaei et al., 2024· Thompson et al., 2025). Μετά την ολοκλήρωση κάθε έργου θα πρέπει να πραγματοποιούνται επαναλαμβανόμενες μετρήσεις των βασικών τεχνικών δεικτών (PCI, IRI, SRV, FWD), ώστε να αξιολογείται η πραγματική απόδοση των επεμβάσεων και να δημιουργείται ιστορική βάση δεδομένων για τον σχεδιασμό των επόμενων έργων.

10.5 Μελλοντική έρευνα

Η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας ανέδειξε σειρά ερευνητικών ζητημάτων τα οποία μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικών επιστημονικών μελετών. Παρότι η παρούσα έρευνα παρείχε ολοκληρωμένη τεχνική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων συντήρησης σε επίπεδο μελέτης περίπτωσης, η περαιτέρω ανάπτυξη της γνώσης απαιτεί τη χρήση μεγαλύτερων βάσεων δεδομένων, πραγματικών μετρήσεων πεδίου και προηγμένων υπολογιστικών

εργαλείων πρόβλεψης. Μία πρώτη κατεύθυνση αφορά την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης υποβάθμισης ειδικά προσαρμοσμένων στις συνθήκες της Ηπείρου. Τα περισσότερα διεθνή μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για περιοχές με διαφορετικές κλιματικές, γεωλογικές και κυκλοφοριακές συνθήκες. Η δημιουργία περιφερειακών μοντέλων που θα λαμβάνουν υπόψη τις έντονες βροχοπτώσεις, τα κατολισθητικά φαινόμενα, τους κύκλους παγετού–απόψυξης και τις ιδιαιτερότητες του ορεινού ανάγλυφου θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια των προβλέψεων για το επαρχιακό οδικό δίκτυο. . Η αξιοποίηση μεγάλων συνόλων δεδομένων από επιθεωρήσεις, αισθητήρες, κυκλοφοριακές μετρήσεις και μετεωρολογικά στοιχεία θα επιτρέψει την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων υψηλής ακρίβειας, σύμφωνα με τις σύγχρονες τάσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας.

. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να συγκρίνουν εναλλακτικούς τύπους ασφαλικών μειγμάτων, τεχνικές ανακύκλωσης, χρήση θερμών και ψυχρών ασφαλτομιγμάτων, καθώς και νέων τροποποιημένων ασφαλικών συνδετικών υλικών, αξιολογώντας όχι μόνο το οικονομικό αλλά και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Σημαντική ερευνητική προοπτική αποτελεί επίσης η δημιουργία ολοκληρωμένου ψηφιακού διδύμου (Digital Twin) του επαρχιακού οδικού δικτύου της Περιφέρειας Ηπείρου. Η σύνδεση δεδομένων GIS, αισθητήρων, δορυφορικών εικόνων, drones και κυκλοφοριακών μετρήσεων σε μία ενιαία ψηφιακή πλατφόρμα θα επιτρέψει τη συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης των υποδομών, την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων συντήρησης και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

Βιβλιογραφία

- Anand, S., Gaur, A., Singh, V., & Sharma, A. (2021). Pavement deterioration analysis for rural roads using HDM-4. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/796/1/012023>
- Shakya, M. M., Sasai, K., Obunguta, F., Angelo, A. A., & Kaito, K. (2025). Modeling pavement deterioration on Nepal's national highways. *Infrastructures*. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10030052>

- Rarotiya, A., & Gupta, C. (2025). Investigation on pavement maintenance and deterioration using HDM-4. *International Journal of Environmental Sciences*.
<https://doi.org/10.64252/pgshs988>
- Corker, J., Remenyte-Prescott, R., Torbaghan, M. E., & Ninić, J. (2023). A GIS-based approach for predicting pavement deterioration. *IMA Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.19124/ima.2023.01.5>
- Abed, A., Rahman, M., Thom, N., Hargreaves, D., Li, L., & Airey, G. (2023). Predicting pavement performance using distress deterioration curves. *Road Materials and Pavement Design*. <https://doi.org/10.1080/14680629.2023.2238094>
- Isradi, M., Rifai, A. I., Prasetyo, J., Kinasih, R. K., & Setiawan, M. I. (2024). Development of pavement deterioration models using Markov chain process. *Civil Engineering Journal*.
<https://doi.org/10.28991/cej-2024-010-09-012>
- Wanimbo, Y., Bahtiar, B., Julison, B., Rante, H., & Rusim, D. A. (2025). Impact of pavement condition index on life cycle cost. *Journal of Social Research*.
<https://doi.org/10.55324/josr.v4i7.2614>
- Mehdi, M. A., Cherradi, T., Bouyahyaoui, A., El Karkouri, S., & Qachar, M. (2022). Predictive approach for pavement deterioration post-COVID-19. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.518>
- Jha, M. K. (2023). Machine learning applications for pavement deterioration modeling. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*.
<https://doi.org/10.47852/bonviewjcce32021985>
- Angelo, A. A., Sasai, K., & Kaito, K. (2023). Safety-integrated pavement maintenance framework. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15118884>
- Shrestha, S., Kunwar, D. B., Shrestha, A., Kafle, S. R., & Amgain, A. (2025). Historical review of pavement management approaches. *Engineering Technology Journal*.
<https://doi.org/10.3126/injet-indev.v2i1.82541>
- Radwan, M., Zahran, E., Dawoud, O., Abunada, Z., & Mousa, A. (2024). Comparative analysis of asphalt pavement prediction models. *Sustainability*.
<https://doi.org/10.3390/su17010109>

- Hakim, I., Fauziah, M., & Chasanah, F. (2025). Prediction of pavement condition using Markov chain method. *Teknisia*. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol30.iss1.art4>
- Jayakody, J., Nasvi, M., Robert, D., Navaratnarajah, S., Kurukulasuriya, L. C., Giustozzi, F., Gunasekara, C., & Setunge, S. (2024). Cross-asset maintenance model using AHP. *Civil Engineering Journal*. <https://doi.org/10.28991/cej-2024-010-02-01>
- Ijari, K., & Paternina-Arboleda, C. (2024). Sustainable pavement management using machine learning. *Applied Sciences* <https://doi.org/10.3390/app14156640>
- Wang, J., Chen, M., Gao, W., Guo, Z., & Liu, Y. (2020). A comparison of network level pavement condition assessment in road asset management. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.11648/j.ijtet.20200603.14>
- Barriera, M., Pouget, S., Lebental, B., & Rompu, J. V. (2020). In situ pavement monitoring: A review. *Infrastructures*. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5020018>
- Thompson, A., Desai, J. C., & Bullock, D. M. (2025). Evaluation of connected vehicle pavement roughness data for statewide needs assessment. *Infrastructures*. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10090248>
- Patil, R., & Ranadive, M. (2022). Design and development of methodology for construction of thin white topping for rural roads in India. *Innovative Infrastructure Solutions*. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00762-7>
- Ceriani, R., Vignali, V., Chiola, D., Pazzini, M., Pettinari, M., & Lantieri, C. (2025). Exploring the effectiveness of road maintenance interventions on IRI value. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s25103091>
- Hossain, M. M., Zhou, H., & Zheng, J. (2025). Exploring factors contributing to retroreflectivity degradation of pavement markings. *Transportation Research Record*. <https://doi.org/10.1177/03611981251374995>
- Hasan, M., Jew, B., Abed, F., & Msallam, M. (2020). Developing a pavement maintenance management system of multi-lane highway in Iraq. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/881/1/012171>
- Al-Shamayleh, A. (2025). Development of pavement maintenance management system for urban areas. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*. <https://doi.org/10.14744/sigma.2025.00010>

- Al-Sabaei, A., Souliman, M. I., & Jagadeesh, A. (2024). Smartphone applications for pavement condition monitoring: A review. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134207>
- Rezvani, S., & Gomes, M. (2021). Assessment of pavement degradation through statistical analysis model. *IMA Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.19124/ima.2021.01.11>
- Hanpasith, S., Obunguta, F., Sasai, K., & Kaito, K. (2025). Optimization framework for road networks using stochastic Markov model. *Civil Engineering Journal*. <https://doi.org/10.28991/cej-2025-011-05-023>
- Szali, A., Setiadji, B. H., & Haryadi, B. (2021). Prediction of road handling cost using Markov chain method. *International Journal of Integrated Engineering*. <https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.04.026>
- Mahlberg, J., Li, H., Zachrisson, B., Mathew, J. K., & Bullock, D. M. (2024). Applications of connected vehicle data for pavement quality analysis. *Frontiers in Future Transportation*. <https://doi.org/10.3389/ffutr.2023.1239744>
- Li, W., Burrow, M., Metje, N., & Ghataora, G. (2020). Automatic road survey using vehicle-mounted laser for asset management. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2994470>
- Ugochi, M. U. (2020). Road pavement failure and requirements for highway maintenance projects. *International Journal of Innovative Research and Development*. <https://doi.org/10.24940/ijird/2020/v9/i8/aug20057>
- Περιφέρεια Ηπείρου. (2020–2024). *Τεχνικό πρόγραμμα έργων Περιφέρειας Ηπείρου*. <https://www.php.gov.gr>
- Περιφέρεια Ηπείρου. (2023). *Έργα συντήρησης οδικού δικτύου Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων*. <https://www.php.gov.gr>
- Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2020). *ΟΜΟΕ – Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων*. <https://www.ggde.gr>
- Εγνατία Οδός Α.Ε. (2021). *Δείκτες οδικής ασφάλειας και συντήρησης οδικού δικτύου*. <https://www.egnatia.eu>
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ). (2022). *Υποδομές και συντήρηση οδικών δικτύων στην Ελλάδα*. <https://www.tee.gr>
- ΕΛΣΤΑΤ. (2021). *Στατιστικά στοιχεία μεταφορών και κυκλοφορίας*. <https://www.statistics.gr>

- Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2022). *Στρατηγική οδικής ασφάλειας Ελλάδας 2021–2030*. <https://www.yme.gov.gr>
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2021). *Road infrastructure safety management directive (EU) 2019/1936 implementation report*. <https://transport.ec.europa.eu>
- Περιφέρεια Ηπείρου. (2022). *Στρατηγικός σχεδιασμός υποδομών και μεταφορών Περιφέρειας Ηπείρου*. <https://www.php.gov.gr>
- Περιφέρεια Ηπείρου – Π.Ε. Ιωαννίνων. (2021). *Τεχνικές εκθέσεις συντήρησης επαρχιακού οδικού δικτύου*. <https://www.php.gov.gr>
- Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2021). *Οδηγίες συντήρησης οδοστρωμάτων και τεχνικών έργων*. <https://www.ggde.gr>
- Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2020). *Κανονισμός επεμβάσεων οδικών έργων (ΚΕΟΕ)*. <https://www.ggde.gr>
- Εγνατία Οδός Α.Ε. (2022). *Σύστημα διαχείρισης και συντήρησης οδικού δικτύου (Pavement Management System)*. <https://www.egnatia.eu>
- Εγνατία Οδός Α.Ε. (2020). *Μελέτες κατολισθητικών φαινομένων και γεωτεχνικής συμπεριφοράς πρανών*. <https://www.egnatia.eu>
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ). (2021). *Κατευθυντήριες οδηγίες για έργα υποδομών σε ορεινές περιοχές*. <https://www.tee.gr>
- ΙΓΜΕ (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών). (2020). *Γεωλογικοί χάρτες και κατολισθητικά φαινόμενα Ηπείρου*. <https://www.eagme.gr>
- ΙΓΜΕ. (2022). *Μελέτες γεωτεχνικής καταλληλότητας και σταθερότητας πρανών* <https://www.eagme.gr>
- ΕΛΣΤΑΤ. (2022). *Στατιστικά στοιχεία οδικών ατυχημάτων και κυκλοφορίας* <https://www.statistics.gr>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. (2021). *Κλιματικά δεδομένα και επιπτώσεις σε υποδομές*. <https://www.ypen.gov.gr>
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2020). *EU Road Safety Policy Framework 2021–2030*. <https://transport.ec.europa.eu>
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2021). *Guidelines for road infrastructure maintenance and resilience*. <https://transport.ec.europa.eu>

ΕΛΕΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ - Διπλωματική Εργασία
Συντήρηση επαρχιακών οδών. Συνήθειες Πρακτικές και
αξιολόγησή τους. Περιπτώσεις και αποτελέσματα
εφαρμογής στην
Περιφέρεια Ηπείρου. Μελέτη περίπτωσης «Αποκατάσταση
και βελτίωση οδικού τμήματος της 2^{ης} Επαρχιακής οδού
Ιωαννίνων από θέση Πηγάδια έως οικισμό Πραμάντων

•