



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΕΘΝΩΝ
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**



ΛΟΥΜΙΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπουσα: Χριστίνα Πλατή, Καθηγήτρια

Οκτώβρης 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως την κα. Χριστίνα Πλατή, καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την εργασία αυτή και κυρίως για την πολύτιμη καθοδήγηση της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Ιωάννα και Θοδωρή και την αδερφή μου Νικολέτα, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο, δείχνοντας υπομονή και στηρίζοντας την προσπάθειά μου με κάθε δυνατό τρόπο. Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου, Παντελή και Βασίλη, οι οποίοι ήταν πάντα δίπλα μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λειτουργική κατάσταση ενός οδοστρώματος, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας των οδών. Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων, είναι σημαντική και λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψιν από τις ελεγκτικές αρχές των έργων οδοστρωμάτων, διεθνώς.

Βάσει των μετρήσεων που αφορούν τα τρία (3) βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων, δηλαδή την ομαλότητα, την υφή του και την αντίσταση σε ολίσθηση, κάθε χώρα θεσπίζει τις δικές της εξειδικευμένες προδιαγραφές για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των οδοστρωμάτων. Υπό το πρίσμα των ανωτέρω, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να διερευνηθούν και να αναλυθούν οι διεθνείς προδιαγραφές για την αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων.

Για την επίτευξη του εν λόγω στόχου, διεξάγεται αρχικά μια σφαιρική παρουσίαση των κύριων λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων, η οποία περιλαμβάνει την εννοιολογική επεξήγηση και τους ορισμούς αυτών, τους παράγοντες που επιδρούν στο οδόστρωμα και τους τρόπους με τους οποίους πραγματοποιούνται οι μετρήσεις τους.

Εν συνεχεία παρατίθεται μια σχετική αναφορά στους δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη διεθνή κοινότητα για την αξιολόγηση του εκάστοτε χαρακτηριστικού όπως και μια παρουσίαση των προδιαγραφών που μετέρχονται οι αρμόδιες υπηρεσίες διαφόρων χωρών, ανά τον κόσμο. Τέλος, με βάση τα στοιχεία που συλλέγονται από τις ισχύουσες ανά τον κόσμο προδιαγραφές σχετικά με τα εν θέματι χρησιμοποιούμενα όρια και τους δείκτες των λειτουργικών χαρακτηριστικών, πραγματοποιείται μια συγκριτική ανάλυση διά της οποίας εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργική αξιολόγηση των οδοστρωμάτων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: *Λειτουργικά χαρακτηριστικά, ομαλότητα, επιφανειακή υφή, ολισθηρότητα, αντίσταση σε ολίσθηση.*

ABSTRACT

The operating condition of road surface is one of the most important parameters for ensuring the safe operation of roads. Therefore, the evaluation of the functional characteristics of road surfaces is of great importance and is taken very seriously by the controlling authorities of road construction projects, internationally.

Based on the measurements related to the three (3) basic functional characteristics of road surfaces, i.e. smoothness, road surface and skid resistance, each country establishes its own specialized specifications for the monitoring and control of these road surfaces. In light of the above, the aim of this thesis is to investigate and analyze the international specifications for the evaluation of the functional characteristics of road surfaces.

To achieve this goal, of course, a global presentation of the main functional characteristics of road surfaces is carried out, which includes the conceptual explanation and their definitions, the factors that affect the road surface as well as the techniques by which they are affected and the ways to which their measurements are carried out.

Then there is a reference to the indicators, which are used in the international community to evaluate each characteristic, as well as a presentation of the specifications adopted by the competent central services of various countries, around the world. Finally, based on the data collected from the standards in force around the world regarding the limits used in the subject and the indicators of the functional characteristics, a comparative analysis is obtained through which the final conclusions are drawn regarding the functional evaluation of the pavements.

KEYWORDS: *Functional characteristics, smoothness, surface texture, slipperiness, skid resistance.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αντικείμενο	1
1.2 Στόχος και μεθοδολογία	1
1.3 Δομή.....	2
2. ΟΜΑΛΟΤΗΤΑ	3
2.1 Γενικά στοιχεία.....	3
2.1.1 Ορισμός	3
2.1.2 Σημασία για τον χρήστη της οδού, το όχημα και το οδόστρωμα	3
2.2 Μέθοδοι μέτρησης ομαλότητας των οδοστρωμάτων	4
2.2.1 Γενική μεθοδολογία	4
2.2.2 Χειροκίνητες συσκευές	5
2.2.3 Προφίλογράφοι.....	7
2.2.4 Προφιλόμετρα	8
2.2.5 Συστήματα μηχανικής απόκρισης	9
2.3 Κριτήρια αξιολόγησης	9
2.3.1 Δείκτης IRI.....	9
2.3.2 Ελληνικά κριτήρια αξιολόγησης	10
2.3.3 Ευρωπαϊκά κριτήρια αξιολόγησης	11
2.3.4 Κριτήρια άλλων Χωρών.....	16
3. ΥΦΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	20
3.1 Γενικά	20
3.2 Παράγοντες επίδρασης.....	22
3.3 Επακόλουθα	22
3.4 Μέθοδοι μέτρησης της μακροϋφής.....	23
3.4.1 Γενικά	23
3.4.2 Στατικές μέθοδοι.....	24
3.4.3 Δυναμικές μέθοδοι.....	25
3.5 Δείκτες αξιολόγησης μακροϋφής.....	26
3.5.1 Δείκτης MTD.....	26
3.5.2 Δείκτης MPD	26
3.5.3 Συσχέτιση δεικτών	27
3.5.4 Ελληνικά κριτήρια αξιολόγησης	28
3.5.5 Ευρωπαϊκά κριτήρια αξιολόγησης	29

3.5.6 Κριτήρια αξιολόγησης ΗΠΑ	30
4. ΟΛΙΣΘΗΡΟΤΗΤΑ.....	31
4.1 Γενικά στοιχεία.....	31
4.2 Συνιστώσες.....	31
4.3 Παράγοντες επίδρασης.....	34
4.4 Μέθοδοι μέτρησης της αντίστασης σε ολίσθηση	37
4.4.1 Γενικά	37
4.4.3 Στατικές συσκευές μέτρησης	40
4.5 Μέθοδοι αξιολόγησης αντίστασης σε ολίσθηση.....	42
4.5.1 Γενικά	42
4.5.2 Μέθοδοι αξιολόγησης	43
5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	49
5.1 Εισαγωγή.....	49
5.2 Δείκτης IRI	49
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	57
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Απαιτήσεις μέτρησης ομαλότητας	11
Πίνακας 2.2 Μέγιστα όρια χωρών της Ευρώπης (Múčka, June 2016)	13
Πίνακας 2.3 Μέγιστα όρια IRI για υφιστάμενα οδοστρώματα (Múčka, 2016).....	15
Πίνακας 2.4 Μέγιστα όρια ομαλότητας για μη ευρωπαϊκές χώρες (Múčka, 2016)	17
Πίνακας 3.1 Όρια μακροϋφής (Antunes et al., 2008)	30
Πίνακας 3.2 Όρια μακροϋφής ευρωπαϊκών κρατών (Aavik, Kaal and Jentson, 2013, Rosta and Gáspár, 2023, Lakušić, 2018)	30
Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα COST 354 για την αντίσταση σε ολίσθηση	46
Πίνακας 4.2 Ελάχιστες τιμές δεικτών αντίστασης σε ολίσθηση Ευρωπαϊκών χωρών (Rosta and Gáspár, 2023, Rasol et al., 2021).....	47
Πίνακας 4.3 Ελάχιστες τιμές δεικτών αντίστασης σε ολίσθηση ΗΠΑ (Rasol et al., 2021)	48
Πίνακας 5.1 Ελάχιστες τιμές δείκτη MPD από δράση COST 354.....	56

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Διαμήκης και εγκάρσια κατανομή της επιφάνειας του οδοστρώματος	3
Εικόνα 2.2 Μέτρηση με πήχη	5
Εικόνα 2.3 Rolling straight edge	6
Εικόνα 2.4 Συσκευή Dipstick	6
Εικόνα 2.5 Walking profiler	7
Εικόνα 2.6 California profilograph.....	8
Εικόνα 2.7 Υψηλής ταχύτητας προφίλομετρο του ΕΜΠ	8
Εικόνα 2.8 Διάταξη bump integrator	9
Εικόνα 2.9 Μοντέλο του ενός τετάρτου του οχήματος (Hettiarachchi, et al., 2022) ..	10
Εικόνα 3.1 Κατηγορίες επιφανειακής υφής (Hall , et al., 2009)	20
Εικόνα 3.2 Μηχανισμός υφής (Hall , et al., 2009)	21
Εικόνα 3.3 Επίδραση της επιφανειακής υφής (Hall , et al., 2009)	23
Εικόνα 3.4 Διαδικασία υπολογισμού MPD (ASTM E1845).....	27
Εικόνα 4.1 Σχέση μεταξύ οδικών ατυχημάτων και συντελεστή ολίσθησης	31
Εικόνα 4.2 Δυνάμεις που δρουν σε περιστρεφόμενο τροχό (Hall et al., 2009).....	32
Εικόνα 4.3 Αντίσταση σε ολίσθηση και βροχόπτωση.....	36
Εικόνα 4.4 ASTM E274 skid trailer	38
Εικόνα 4.5 Grip Tester.....	38
Εικόνα 4.6 Γαλλικό IMAG	39
Εικόνα 4.7 Σύστημα SCRIM	40
Εικόνα 4.8 Βρετανικό εκκρεμές (BPT)	41
Εικόνα 4.9 Δυναμικός μετρητής τριβής (DFT-Dynamic Friction Tester)	41
Εικόνα 4.10 Ποσοστά ύπαρξης ορίων και προτύπων για την διαχείριση της αντιολισθητικής ικανότητας στην ΕΕ (Scharnigg, Schwalbe and Haider, 2011).	45
Εικόνα 5.1 Σύγκριση τιμών IRI για νέα οδοστρώματα.....	50
Εικόνα 5.2 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας για νέα οδοστρώματα.....	50
Εικόνα 5.3 Σύγκριση τιμών IRI για υφιστάμενα οδοστρώματα	51
Εικόνα 5.4 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας για υφιστάμενα οδοστρώματα	52
Εικόνα 5.5 Σύγκριση τιμών IRI για αυτοκινητόδρομους	52
Εικόνα 5.6 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ νέων και υφιστάμενων οδοστρωμάτων	53
αυτοκινητοδρόμων	53
Εικόνα 5.7 Σύγκριση μέγιστων τιμών IRI για οδούς ταχείας κυκλοφορίας.....	54
Εικόνα 5.8 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ νέων και υφιστάμενων οδοστρωμάτων οδών ταχείας κυκλοφορίας.....	54
Εικόνα 5.9 Σύγκριση τιμών MPD	55
Εικόνα 5.10 Ποσοστιαία διαφορά από COST 354	56

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Η αξιολόγηση ενός οδοστρώματος, ξεκινά από το στάδιο της συλλογής των υλικών και συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, στο πλαίσιο ενός συστήματος παρακολούθησης της ορθής λειτουργίας του. Η εν λόγω αξιολόγηση του έργου, αφορά δύο (2) βασικές συνιστώσες, τη δομική επάρκεια των διάφορων στρώσεων που αποτελούν το οδόστρωμα και τη λειτουργική κατάσταση αυτού. Όσον αφορά στους ελέγχους σχετικά με το δομικό χαρακτήρα του, διασφαλίζουν ότι το οδόστρωμα μπορεί να φέρει τα φορτία κυκλοφορίας για την προβλεπόμενη περίοδο σχεδιασμού. Από την άλλη πλευρά, η λειτουργική αξιολόγηση στοχεύει στην εξέταση των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος που γίνονται αντιληπτά από τον εκάστοτε χρήστη.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που ελέγχονται σε διεθνές επίπεδο είναι η ομαλότητα, η υψή και η ολισθηρότητα (αντιολισθητική ικανότητα). Σχετίζονται με την οδική ασφάλεια, την άνεση του χρήστη της οδού, την κατανάλωση καυσίμου και τη γενικότερη φθορά του αυτοκινήτου. Επίσης, σε αρκετές περιπτώσεις αποτελούν δείκτες για τη γενικότερη κατάσταση του οδοστρώματος.

Ως εκ τούτου, ιδιαίτερη φροντίδα δίνεται στη διασφάλιση της ποιότητας των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων. Οι διεθνείς προδιαγραφές, μεθοδολογίες ελέγχων και τα σχετικά πρότυπα χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, με σκοπό την αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων, ώστε να παρέχεται στον χρήστη η βέλτιστη κατάσταση λειτουργίας τους.

Οι προδιαγραφές αυτές διαφέρουν ανά τον κόσμο και τις εκάστοτε ελεγκτικές αρχές των έργων οδοστρωμάτων. Διαφορετικά πρότυπα, τρόποι μέτρησης και τελικά διαφορετικά όρια για το κάθε ένα λειτουργικό χαρακτηριστικό, αποτελούν τη σύγχρονη πραγματικότητα στον χώρο της λειτουργικής αξιολόγησης των οδοστρωμάτων. Όπως προκύπτει και από την διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει έλλειψη ενός ενιαίου πλαισίου με το οποίο θα μπορούσε να γίνεται ο έλεγχος της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων.

1.2 Στόχος και μεθοδολογία

Δεδομένων των ανωτέρω στόχος της εργασίας, είναι η διερεύνηση των μεθόδων μέσω των οποίων πραγματοποιείται η αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων στις μέρες μας και η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών με σκοπό την ανάλυση τους. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, αρχικά πραγματοποιείται μια ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας με απώτερο σκοπό να παρουσιαστούν οι έννοιες της ομαλότητας, της ολισθηρότητας της επιφάνειας των οδοστρωμάτων και της υψής. Βάσει αυτής, αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την κάθε έννοια και αντίστοιχα παρουσιάζονται τα βασικά συστήματα μετρήσεων για το κάθε λειτουργικό χαρακτηριστικό καθώς επίσης και οι δείκτες αξιολόγησης του.

Συγκεκριμένα, το ενδιαφέρον της βιβλιογραφικής έρευνας, επικεντρώνεται στη συλλογή και εν συνεχεία στην αναλυτική παρουσίαση των ελάχιστων ή μέγιστων ορίων που αφορούν καθένα από τα τρία (3) λειτουργικά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων σε διάφορα μέρη του κόσμου. Με σκοπό στην συνέχεια, να πραγματοποιηθεί μια συγκριτική ανάλυση δεδομένων, ούτως ώστε να εξαχθούν κατά το δυνατόν ασφαλή συμπεράσματα, σε σχέση με

τις προδιαγραφές που ακολουθεί κάθε χώρα στην αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων.

1.3 Δομή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά (7) κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου του παρόντος εισαγωγικού κεφαλαίου.

Στο **κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται η έννοια της ομαλότητας της επιφάνειας των οδοστρωμάτων και δίνεται έμφαση στη σημασία της για τον εκάστοτε χρήστη της οδού, παρουσιάζονται οι μέθοδοι και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις στο πεδίο, ενώ γίνεται εκτενής παρουσίαση των διεθνών ορίων που ισχύουν για την αξιολόγηση της.

Στο **κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται και αναλύεται η έννοια της υψής του οδοστρώματος, περιγράφεται ο μηχανισμός ανάπτυξης και λειτουργίας της υψής, παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνικές μετρήσεων της καθώς επίσης και τα όργανα που χρησιμοποιούνται, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου πραγματοποιείται μια ευρεία αναφορά στους δείκτες και τα κριτήρια αξιολόγησης της υψής σε διεθνές επίπεδο.

Στο **κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται και αναλύεται έννοια της αντίστασης σε ολίσθηση της επιφάνειας των οδοστρωμάτων. Δίνεται έμφαση στην επίδραση της στην οδική ασφάλεια, περιγράφεται ο πολύπλοκος τρόπος με τον οποίο προσεγγίζεται το φαινόμενο και αναλύονται όλες οι συνιστώσες του, ενώ ένα μεγάλο κομμάτι του κεφαλαίου αφιερώνεται στην ανάλυση των μεθόδων που έχουν επικρατήσει για την αξιολόγηση της ολισθηρότητας.

Στο **κεφάλαιο 5** πραγματοποιείται μια συγκριτική ανάλυση όλων των διεθνών ορίων αποδοχής των εκάστοτε μεγεθών που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο **κεφάλαιο 6** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και επισημαίνονται σημεία τα οποία παρουσιάζουν ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα.

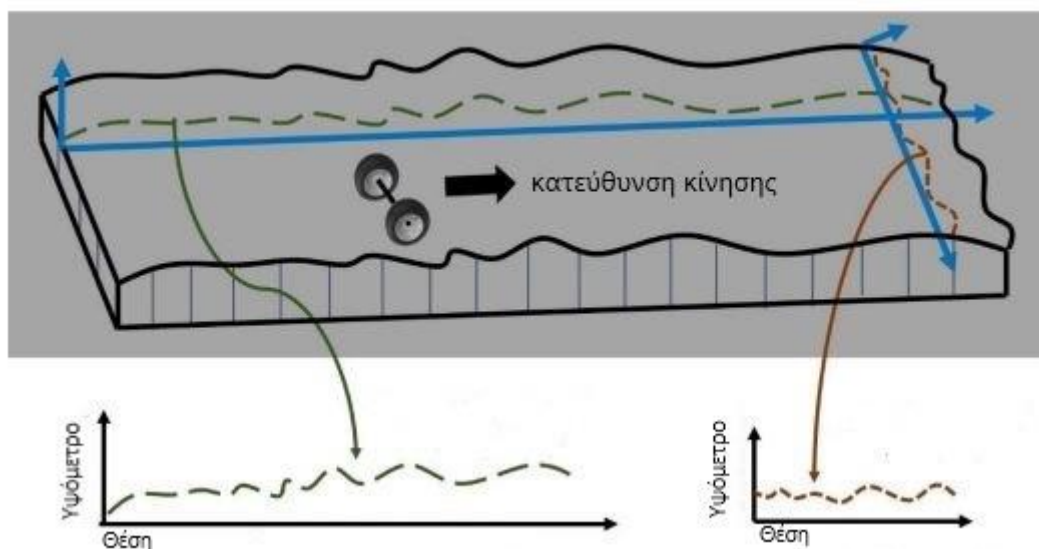
Στο **κεφάλαιο 7** παρατίθενται το σύνολο της βιβλιογραφίας που αξιοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

2. ΟΜΑΛΟΤΗΤΑ

2.1 Γενικά στοιχεία

2.1.1 Ορισμός

Με τον όρο ομαλότητα νοούνται οι αποκλίσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος από τη θεωρητική επίπεδη επιφάνεια της όπου ορίζεται σε δύο διευθύνσεις, κατά μήκος και εγκάρσια (Εικόνα 2.1). Η ομαλότητα κατά τη διαμήκη διεύθυνση, αποτελεί βασικό κριτήριο αξιολόγησης για τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος και τη προσφερόμενη ποιότητα κύλισης (Λοΐζος & Πλατή , 2021).



Εικόνα 2.1 Διαμήκης και εγκάρσια κατατομή της επιφάνειας του οδοστρώματος

Η διαμήκης ομαλότητα περιγράφεται από τους κυματισμούς στην επιφάνεια του οδοστρώματος, οι οποίοι έχουν μήκος, συνήθως από 0,5m έως 50m. Κυματισμοί μικρού μήκους (κάτω των 3m), είναι συνήθως αποτέλεσμα των επιφανειακών ατελειών της στρώσης κυκλοφορίας και δεν λαμβάνονται υπόψιν στις μετρήσεις για την αξιολόγηση της ομαλότητας. Κυματισμοί μεγαλύτερου μήκους, πάνω από 10m, δύνανται να υποδηλώνουν αστοχίες στις υποκείμενες στρώσεις (Gkyrtis, et al., 2021). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη σημασία της αξιολόγησης της ομαλότητας σαν δείκτη για τη συνολική ποιότητα του οδοστρώματος (AASHTO, 1993).

2.1.2 Σημασία για τον χρήστη της οδού, το όχημα και το οδόστρωμα

Η ομαλότητα αποτελεί το βασικότερο λειτουργικό χαρακτηριστικό που επιδρά στην αξιολόγηση του χρήστη για την οδό. Ένα ομαλό οδόστρωμα παρέχει υψηλή ποιότητα κύλισης, μετατρέποντας τη πορεία του οχήματος σε πιο άνετη, παρέχοντας ταυτόχρονα αίσθημα ασφάλειας στους οδηγούς.

Αντίθετα, ένα οδόστρωμα με υποβαθμισμένη ομαλότητα, προκαλεί αναταράξεις στο όχημα και δημιουργεί ανασφάλεια στον οδηγό. Από την άλλη μεριά επιδρά στη γενικότερη κυκλοφορία, καθώς ομαλά οδοστρώματα επιτρέπουν τις βέλτιστες ταχύτητες στα οδικά δίκτυα, με αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται μεγαλύτεροι κυκλοφοριακοί φόρτοι. Με δεδομένο ότι η ομαλότητα επηρεάζει γενικότερες σταθερές της οδικής ασφάλειας, μελέτες έχουν

καταδειξεί ότι οι αναταράξεις που προκαλούν οι επιφανειακοί κυματισμοί καταλήγουν συχνά σε απώλεια ελέγχου του οχήματος, αποτέλεσμα στο οποίο οδηγούν και οι ελιγμοί ή/και η απότομη πένδηση προς αποφυγή των ίδιων κυματισμών. Τα φαινόμενα αυτά είναι πιο συχνά σε οδούς υψηλών ταχυτήτων (Sikai Chen, 2019).

Το όχημα κατά την κίνηση του σε «ανώμαλο» οδόστρωμα, καλείται να «απορροφήσει», μέσω της ανάρτησής του, επιπλέον κατακόρυφες δυνάμεις οι οποίες οφείλονται στις αναταράξεις. Αυτό το γεγονός έχει ως συνέπεια την περαιτέρω φθορά των ελαστικών και της ανάρτησης του αυτοκινήτου, γεγονός που οδηγεί σε ανεπιθύμητη αύξηση του λειτουργικού κόστους του οχήματος. Εκτός των άλλων, η ομαλότητα επιδρά αρνητικά στην κατανάλωση καυσίμων, ειδικά στα βαρέα οχήματα, όπως καταδεικνύουν μελέτες σχετικά με κίνηση σε οδούς με υποβαθμισμένη ομαλότητα (Barnes & Langworthy, 2004).

Πέραν της σημασίας της ομαλότητας ως κριτήριο για την αξιολόγηση της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, φαίνεται να συνδέεται με τη δομική κατάσταση των υποκείμενων στρώσεων. Οδοστρώματα με έντονες επιφανειακές ανωμαλίες (κυματισμούς, τροχαυλακώσεις) είναι πιθανό να φέρουν προβλήματα δομικού χαρακτήρα στις υποκείμενες στρώσεις τους. Από συγκεκριμένα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει αποδειχθεί, ότι προβλήματα ομαλότητας συνδέονται με υποβαθμισμένες κατώτερες στρώσεις των οδοστρωμάτων (Gkyrtis, et al., 2021).

2.2 Μέθοδοι μέτρησης ομαλότητας των οδοστρωμάτων

2.2.1 Γενική μεθοδολογία

Για την καταγραφή και αξιολόγηση της ομαλότητας των οδοστρωμάτων, χρησιμοποιούνται συσκευές αποτύπωσης των ανωμαλιών της επιφάνειας. Η αξιολόγηση της ομαλότητας, δεν πραγματοποιείται μόνο επί των νέων οδοστρωμάτων, αλλά και σε υφιστάμενα, προκειμένου να αποτυπωθεί ασφαλέστερα η γενικότερη επίδοση και αντοχή τους στο χρόνο. Η μέτρηση της ομαλότητας, απαιτείται προκειμένου να διαπιστωθεί, εάν το οδόστρωμα χρήζει συντήρησης ή επιδιόρθωσης, τόσο σε επίπεδο επιφανειακών όσο και υποκείμενων στρώσεων (βάσης και υπόβασης).

Ιστορικά, η μέτρηση της ομαλότητας για την αξιολόγηση του οδοστρώματος, ξεκίνησε από τις ΗΠΑ την δεκαετία του 1950, όταν και εμφανίστηκαν οι πρώτες προδιαγραφές για τα αποδεκτά όρια (Hettiarachchi, et al., 2022). Ο πρώτος δείκτης μέτρησης ωστόσο, χρονολογείται τριάντα χρόνια αργότερα, εν έτει 1980, όταν με τη χρήση πιο προηγμένων μεθόδων και οργάνων, εισήχθη στον επιστημονικό τομέα ο πρώτος δείκτης μέτρησης ομαλότητας, γνωστός ως PI (Profile Index) ο οποίος εξακολουθεί ως έναν βαθμό να χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα.

Οι συσκευές με τις οποίες γίνεται η καταγραφή της ομαλότητας δύνανται να χωριστούν σε τέσσερις (4) βασικές κατηγορίες ως εξής (Λοΐζος & Πλατή , 2021):

1. Χειροκίνητες συσκευές (Manual devices)
2. Προφίλογράφοι (Profilographs)
3. Προφίλόμετρα (profilers)
4. Συστήματα καταγραφής της μηχανικής απόκρισης (Response Type Road Roughness Measuring Systems: RTRRMS)

2.2.2 Χειροκίνητες συσκευές

Οι χειροκίνητες συσκευές για την καταγραφή της ομαλότητας των οδοστρώματων, χρησιμοποιούνται κυρίως για ελέγχους τοπικού χαρακτήρα, καθώς δεν είναι εφικτό να παρέχουν μετρήσεις μεγάλου μήκους και εύρους.

Η πιο απλή χειροκίνητη συσκευή για την καταγραφή της ομαλότητας του οδοστρώματος, είναι ο πήχης. Πρόκειται για τρίμετρο ευθύγραμμο πήχη κατασκευασμένο συνήθως από αλουμίνιο (βλ. Εικόνα 2.2) ο οποίος τοποθετείται κάθετα ή παράλληλα στον άξονα της οδού. Ανάλογα το πώς τοποθετείται καταγράφει αποκλίσεις από το επίπεδο στην εγκάρσια ή τη διαμήκη διεύθυνση. Γίνεται σαφές ότι η μέθοδος του πήχη βρίσκει εφαρμογή σε έλεγχο τοπικών ατελειών στα οδοστρώματα (Λοΐζος & Πλατή , 2023).



Εικόνα 2.2 Μέτρηση με πήχη

Μία πιο εύχρηστη παραλλαγή του σταθερού πήχη, αποτελεί ο κυλιόμενος πήχης (Rolling straight edge). Πρόκειται για 3μέτρο πήχη ο οποίος φέρει ρόδες στα δύο άκρα του για ευκολότερη μεταφορά (Εικόνα 2.3). Στο μέσον του ανοίγματος διαθέτει αισθητήρα ο οποίος καταγράφει την κάθετη στον άξονα του πήχη μετακίνηση, μετρώντας έτσι την απόκλιση από το οριζόντιο επίπεδο. Η κατακόρυφη αυτή μετακίνηση προβάλλεται σε όργανο που είναι πάντα ορατό από το χρήστη (Hettiarachchi, et al., 2022). Όπως και στον απλό πήχη η χρήση του συγκεκριμένου οργάνου περιορίζεται σε τοπικού χαρακτήρα ελέγχους.



Εικόνα 2.3 Rolling straight edge

Οι τελευταίες δύο χειροκίνητες συσκευές που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της ομαλότητας είναι η συσκευή Dipstick (βλ. Εικόνα 2.4) και τα ελαφρά χειροκίνητα προφιλόμετρα των οποίων ο χειρισμός γίνεται με ταχύτητα βαδίσματος (Walking profiler) (βλ. Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.4 Συσκευή Dipstick

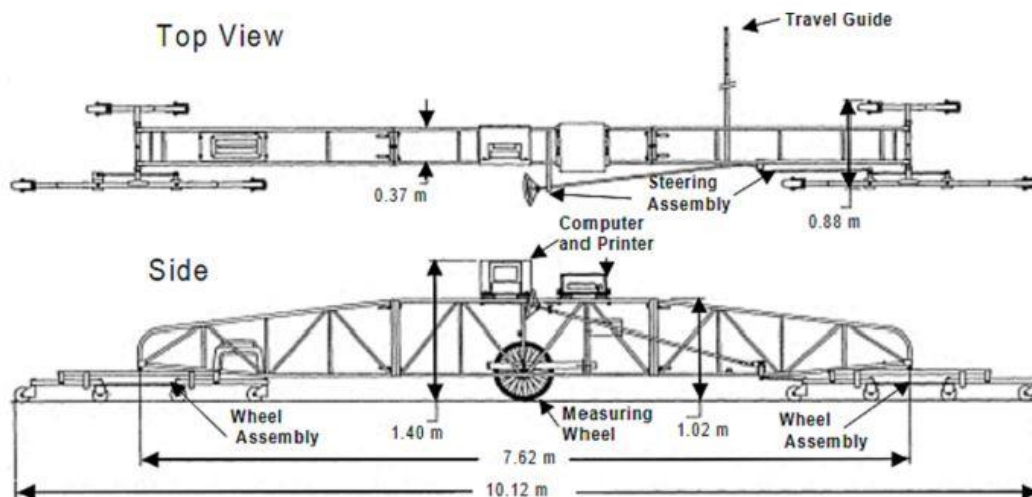


Εικόνα 2.5 Walking profiler

Συχνά επιλέγονται προς χρήση για τη μέτρηση της κατά μήκος κατατομής οδοστρωμάτων σε τμήματα που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για βαθμονόμηση. Συγκεκριμένα, μετρούνται υψομετρικές αποκλίσεις με μεγάλη ακρίβεια και στη συνέχεια συγκρίνονται με τις μετρήσεις άλλων οργάνων καταγραφής ομαλότητας (προφιλόμετρων κυρίως) τα οποία παίρνουν στοιχεία από πολύ μεγαλύτερο εύρος και μήκος οδοστρώματος.

2.2.3 Προφίλογράφοι

Οι προφίλογράφοι αποτελούν από τα πρώτα όργανα καταγραφής του προφίλ οδοστρωμάτων, καθώς η χρήση τους χρονολογείται ήδη από τη δεκαετία του 1960 (Hettiarachchi, et al., 2022). Πρόκειται για σχετικά οικονομικά όργανα που κινούνται με χαμηλές ταχύτητες (3-8 km/hr). Όσον αφορά στη διάταξη τους, συνήθως είναι χαλύβδινοι σκελετοί που φέρουν 4 με 12 τροχούς, ενώ ο τροχός που δρα σαν αισθητήρας και καταγράφει τους κυματισμούς βρίσκεται στο κέντρο της κατασκευής. Στα πρώιμα μοντέλα, τα αποτελέσματα του προφίλ του οδοστρώματος τυπώνονταν σε χαρτί κατά την κίνηση του προφίλογράφου. Στα πιο σύγχρονα όργανα (μετά το 1980) τα αποτελέσματα αποθηκεύονταν σε ηλεκτρονική μορφή. Διακρίνονται δυο τύποι προφίλογράφων California profilograph (Εικόνα 2.6) και Reinhart profilograph (Hettiarachchi, et al., 2022).



Εικόνα 2.6 California profilograph

Με τη χρήση των προφίλογράφων να γίνεται συχνότερη κατά τη δεκαετία του 1990, για τον έλεγχο της ομαλότητας στους αυτοκινητοδρόμους εισήχθη ο δείκτης PI (Profile Index) που περιέγραφε επακριβώς τα αποτελέσματα των οργάνων αυτών.

2.2.4 Προφιλόμετρα

Τα προφιλόμετρα αποτελούν τα πλέον τεχνολογικά εξελιγμένα συστήματα για την καταγραφή της ομαλότητας των οδοστρωμάτων. Τα όργανα αυτά λειτουργούν με τρεις διαφορετικούς αισθητήρες. Ο πρώτος αφορά ένα επιταχυνσιόμετρο που μετρά τη μετατόπιση του πλαισίου του οχήματος (σασί αυτοκινήτου), ο δεύτερος είναι ουσιαστικά μια σειρά αισθητήρων laser, οι οποίοι μετράνε τη σχετική μετατόπιση σκελετού -οχήματος- επιφάνεια οδοστρώματος και ο τρίτος μετρά την απόσταση που έχει διανύσει το όχημα. Ο πλέον συνήθης τύπος προφιλόμετρου, είναι αυτός υψηλής ταχύτητας που κατά τη λειτουργία του μπορεί να φτάσει ταχύτητες ακόμα και των 80 km/h, όπως είναι το προφιλόμετρο του εργαστηρίου οδοστρωμάτων του ΕΜΠ (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7 Υψηλής ταχύτητας προφιλόμετρο του ΕΜΠ

Τα σύγχρονα προφιλόμετρα τέτοιου τύπου, παρέχουν εξαιρετική ακρίβεια ενώ έχουν τη δυνατότητα να αποτυπώνουν την επιφάνεια του οδοστρώματος και σε βίντεο ώστε να γίνεται και οπτική επισκόπηση (Kurt Smith & Prashant Ram, 2016) (Hettiarachchi, et al., 2022).

2.2.5 Συστήματα μηχανικής απόκρισης

Ο τρόπος που λειτουργούν τα συστήματα καταγραφής της μηχανικής απόκρισης, αφορά στη μέτρηση της απόκρισης της επιφάνειας του οδοστρώματος προς το όχημα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή τους. Η πρώτη κατηγορία είναι τα αυτοκινούμενα οχήματα που φέρουν τους αισθητήρες στον πίσω άξονα τους και καταγράφουν τη σχετική κίνηση του πίσω τροχού με τον υπόλοιπο σκελετό του οχήματος. Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται στα συρόμενα τρέιλερ τα οποία καταγράφουν τη σχετική κίνηση των τροχών του τρέιλερ με τον σκελετό του οχήματος, το οποίο δίνει την κίνηση. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το Bump integrator (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8 Διάταξη bump integrator

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων μηχανικής απόκρισης είναι η μεγάλη ταχύτητα με την οποία πραγματοποιούν τις μετρήσεις (περί τα 80 km/h) και είναι αρκετά οικονομικά μέσα για την καταγραφή της ομαλότητας. Ωστόσο, το γεγονός ότι τα διάφορα συστήματα μηχανικής απόκρισης παρέχουν δεδομένα μη συγκρίσιμα μεταξύ τους, έχει οδηγήσει στην ευρύτερη εγκατάλειψή τους στα έργα οδοστρωμάτων.

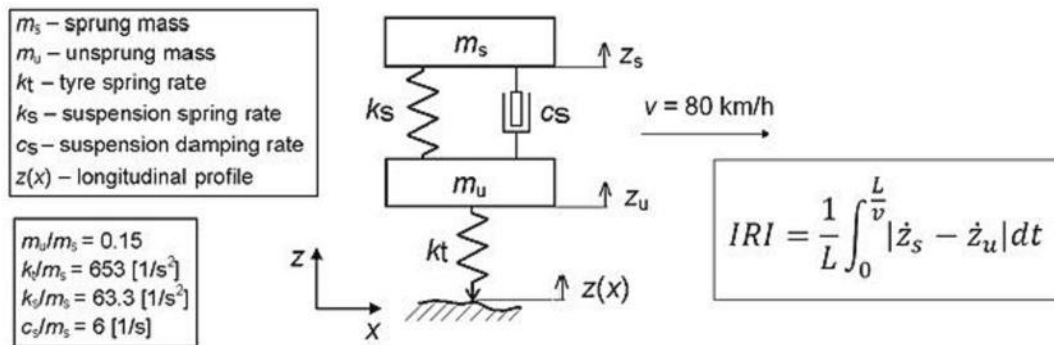
2.3 Κριτήρια αξιολόγησης

2.3.1 Δείκτης IRI

Αν και έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες για την αξιολόγηση της ομαλότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος (Profile Index, Ride Number κτλ.), ο δείκτης που έχει επικρατήσει στις διεθνείς προδιαγραφές για έργα οδοστρωμάτων είναι ο δείκτης IRI (International Roughness Index).

Ο δείκτης IRI υπολογίζεται, χρησιμοποιώντας ένα μαθηματικό μοντέλο που είναι γνωστό ως “τετάρτου του οχήματος” (βλ. Εικόνα 2.9), το οποίο αναπαριστά τον τρόπο με τον οποίο ένα μονό ελαστικό σύστημα (ένα τέταρτο του αυτοκινήτου) επηρεάζεται από το προφίλ του οδοστρώματος.

Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει ένα ελαστικό που αναπαρίσταται από ένα κάθετο ελατήριο, τη μάζα του άξονα που υποστηρίζεται από το ελαστικό, ένα αμορτισέρ ανάρτησης και τη μάζα του οχήματος που υποστηρίζεται από την ανάρτηση για το εν λόγω ελαστικό. Η αντίδραση αυτού του συστήματος προσομοιώνεται πάνω στο προφίλ του οδοστρώματος, και το άθροισμα των απόλυτων τιμών των κινήσεων της ανάρτησης που προκύπτουν από την προσομοίωση, διαιρεμένο με το μήκος της προσομοίωσης δίνει τη μέση κίνηση της ανάρτησης πάνω στο προσομοιωμένο μήκος, η οποία είναι ο IRI (Kurt Smith & Prashant Ram, 2016).



Εικόνα 2.9 Μοντέλο του ενός τετάρτου του οχήματος (Hettiarachchi, et al., 2022)

Όπως γίνεται εμφανές από το παραπάνω γράφημα, ο δείκτης IRI μετριέται σε μονάδες κλίσης (συνήθως m/km ή inches/mile). Για τη συλλογή των στοιχείων για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον προφιλόμετρα υψηλών ταχυτήτων και η συνηθέστερη ταχύτητα μέτρησης είναι τα 80 km/h. Η επικράτηση του IRI για την αξιολόγηση της ομαλότητας των οδοστρωμάτων συνδέεται άμεσα με τα πλεονεκτήματά του, τα οποία είναι τα εξής (Sayars & Karamihias, 1998).

- Σταθερή, αναπαραγώγιμη μαθηματική επεξεργασία ενός μετρημένου προφίλ οδοστρώματος.
- Συμβατός με τον εξοπλισμό μέτρησης προφίλ που είναι διαθέσιμος στις περισσότερες χώρες.
- Συμβατός με καθιερωμένα διεθνή πρότυπα και συσχετίζεται καλά με άλλες μετρήσεις που αφορούν τη λειτουργική κατάσταση των οδοστρωμάτων.
- Ανεξάρτητος από το μήκος του τμήματος που μετριέται και αντιπροσωπεύεται εύκολα από την απλή μέση τιμή.
- Αντιπροσωπευτικός των επιπτώσεων της έλλειψης ομαλότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος στην απόκριση του οχήματος και την αντίληψη του χρήστη για το οδόστρωμα.

2.3.2 Ελληνικά κριτήρια αξιολόγησης

Για τα έργα οδοποιίας που αφορούν οδοστρώματα, στην Ελλάδα υπεύθυνος για τη θέσπιση των κριτηρίων ομαλότητας, είναι ο ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης). Με το σχέδιο ΤΠ 1501-05-03-11-04 του 2017 που αφορά τις προδιαγραφές τεχνικών έργων με

ασφαλτικές στρώσεις κλειστού τύπου, ορίζονται οι τρόποι με τους οποίους αξιολογείται η ομαλότητα σε νέα οδοστρώματα καθώς και οι επιτρεπτές τιμές για το δείκτη IRI. Με το σχέδιο ΤΠ 1501-05-03-12-01 ελέγχονται τα έργα οδοποιίας τα οποία διαθέτουν αντιολισθηρές στρώσεις ασφαλτικού σκυροδέματος. Στο εδάφιο 6.3 β (ομαλότητα επιφανείας) της υπόψη προδιαγραφής ορίζεται ως ο τρόπος με τον οποίο αξιολογείται ένα νέο οδόστρωμα στις δύο διευθύνσεις του ως αναφέρεται ακολούθως.

Διαμήκης διεύθυνση

Ο έλεγχος θα γίνεται με προφίλομέτρηση προκειμένου να προσδιοριστεί ο δείκτης IRI ανά 100m, σύμφωνα με το πρότυπο prEN 13036-5. Για τις επιτρεπόμενες τιμές του δείκτη ορίζονται δύο σειρές ελέγχων που αφορούν τη συνδετική ασφαλτική στρώση και την τελική επιφανειακή στρώση. Για οδούς κατηγορίας AI, BI και BII η επιτρεπόμενη τιμή του IRI είναι 1.9 για τη συνδετική στρώση και 1,3 για την στρώση κυκλοφορίας ενώ για οδούς κατηγορίας AII, AIII και BIII (Αnon., 2001) τα όρια είναι 3 και 2.1 αντίστοιχα (πίνακας Νο.1)

Πίνακας 2.1 Απαιτήσεις μέτρησης ομαλότητας

Στρώσεις οδοστρώματος	IRI ανά 100m (m/km)	
	Κατηγορίες οδών AI, BI, BII	Κατηγορίες οδών AII, AIII, BIII
Συνδετική στρώση	1.9	3.0
Επιφανειακή στρώση	1.3	2.1

Εγκάρσια διεύθυνση

Ο έλεγχος κατά αυτήν τη διεύθυνση, αφορά κυρίως τοπικές ανωμαλίες και συνιστάται να γίνεται πριν την παραλαβή του οδοστρώματος, ώστε να γίνονται οι απαραίτητες επεμβάσεις πριν δοθεί στην κυκλοφορία το οδόστρωμα. Τοπικές ανωμαλίες και κυματισμοί προβλέπεται να ελέγχονται με τρίμετρο ευθύγραμμο πήχη (κεφάλαιο 2.2.2) του προτύπου ΕΛΟΤ EN 13036-7 7. Η μέγιστη αποδεκτή απόκλιση μεταξύ της επιφάνειας της οδού και της κάτω επιφάνειας του κανόνα είναι 4mm για την επιφανειακή ή συνδετική στρώση και 6mm για την ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας. Ο τρίμετρος ευθύγραμμος κανόνας θα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ομαλότητας όταν το συνολικό μήκος του οδοστρώματος είναι μικρότερο των 15 m. Πριν από κάθε μέτρηση ομαλότητας, η επιφάνεια που πρόκειται να μετρηθεί, εάν απαιτείται, θα καθαρίζεται με μηχανικό σάρωθρο, ώστε να μην υπάρχουν ξένα σώματα (ασύνδετα αδρανή, υλικά, φερτά υλικά κ.λπ.).

2.3.3 Ευρωπαϊκά κριτήρια αξιολόγησης

Στην Ευρώπη, η αξιολόγηση της ομαλότητας των οδοστρωμάτων γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με τον δείκτη IRI. Τα διάφορα κράτη ορίζουν διαφορετικά όρια για τις μέγιστες τιμές του δείκτη στα νέα οδοστρώματα, στα οδοστρώματα που βρίσκονται στο τέλος του κύκλου ζωής τους και σε αυτά που έχουν υποστεί ανακατασκευή. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα όρια ομαλότητας είναι οι παρακάτω (Můčka, 2016):

- Η επιφάνεια του οδοστρώματος (ασφαλτική επιφανειακή στρώση (AC) ή δύσκαμπτο οδόστρωμα με επιφάνεια από σκυροδέμα (PCC)).
- Το όριο ταχύτητας της οδού που εξετάζεται.

- Η κατηγορία της οδού (διάκριση ανάμεσα σε αυτοκινητοδρόμους, λεωφόρους και κύριες οδούς).
- Ο μέσος ημερήσιος φόρτος κυκλοφορίας (Average Annual Daily Traffic (AADT)).
- Το μήκος του οδοστρώματος στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις.

Κατά γενική ομολογία, οι περισσότερες χώρες στην Ευρώπη (με εξαίρεση την Ιταλία) χρησιμοποιούν τα ίδια κριτήρια για εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα, ενώ πολλές χώρες ορίζουν αποδεκτά όρια μόνο για τα πρώτα. Η θέσπιση των μέγιστων τιμών του δείκτη IRI, επηρεάζεται περισσότερο, όπως φαίνεται, από τη λειτουργία και το όριο ταχύτητας της εκάστοτε οδού. Οι αυτοκινητόδρομοι με υψηλά όρια ταχύτητας απαιτούν ομαλότερα οδοστρώματα σε σχέση με οδούς χαμηλότερων κυκλοφοριακών φόρτων και μικρότερων λειτουργικών ταχυτήτων. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τα όρια των χωρών αναλυτικά για νέα και ανακατασκευασμένα οδοστρώματα.

Πίνακας 2.2 Μέγιστα όρια χωρών της Ευρώπης (Μύčka, June 2016)

Χώρα	Κατηγορία οδοστρώματος	Κατηγορία Οδοού	Μήκος Αναφοράς (m)	IRI (mm/m)
Σουηδία	AC	Όλες οι κατηγορίες	20	≤ 2.4 (50km/h, AADT \leq 4000) ≤ 2.2 (50km/h, AADT $>$ 4000) ≤ 1.8 (80km/h, AADT \leq 4000) ≤ 1.7 (80km/h, AADT $>$ 4000) ≤ 1.5 (100km/h, AADT \leq 4000) ≤ 1.4 (100km/h, AADT $>$ 4000) ≤ 1.1 (120km/h)
			400	IRIs \leq 0.7, IRIavg \leq (1.8-0.4IRIavg), 50km/h IRIs \leq 0.6, IRIavg \leq (1.5-0.4IRIavg), 80km/h, ADDT \leq 4000 IRIs \leq 0.5, IRIavg \leq (1.4-0.4IRIavg), 80km/h, ADDT $>$ 4000 IRIs \leq 0.5, IRIavg \leq (1.5-0.4IRIavg), 100km/h, ADDT \leq 4000 IRIs \leq 0.4, IRIavg \leq (1.4-0.4IRIavg), 100km/h, ADDT $<$ 4000 IRIs \leq 0.3, IRIavg \leq (1.0-0.4IRIavg), 120km/h Σημείωση: IRIs= τυπική απόκλιση 20 μετρήσεων με μήκος αναφοράς μεγαλύτερο των 20m IRIavg= μέσος όρος 20 τιμών για μετρήσεις με μήκος αναφοράς μεγαλύτερο των 20m
Ισπανία	AC	Αυτοκινητόδρομοι Όχι αυτοκινητόδρομοι	100	1.5 (50%), 1.8 (80%), 2 (100%) 1.5 (50%), 2.0 (80%), 2.5 (100%)
		Αυτοκινητόδρομοι-μετά από αποκατάσταση (>10cm)	100	1.5 (50%), 1.8 (80%), 2 (100%)
		Αυτοκινητόδρομοι-μετά από αποκατάσταση (<10cm)	100	1.5 (50%), 2.0 (80%), 2.5 (100%)
		Όχι αυτοκινητόδρομοι-μετά από αποκατάσταση	100	1.5 (50%), 2.0 (80%), 2.5 (100%)
Σλοβενία	AC/PCC	Όλες οι οδοί	20	2.0 (AADT $>$ 2000, ESAL $>$ 80) 4.0 (AADT $<$ 2000, ESAL $<$ 80)
			100	1.2 (AADT $>$ 2000, ESAL $>$ 80) 3.8 (AADT $>$ 2000, ESAL $>$ 80)
Σλοβακία	AC/PCC	Αυτοκινητόδρομοι	20	1.9
		Κύριες/δευτερεύουσες οδοί	20	1.9
		Λοιπές οδοί	20	3.3
Ρωσία	AC/PCC	Όλες οι οδοί	100	2.2

Πορτογαλία	AC	Νέα οδοστρώματα	-	1.5 (50%), 2.5 (80%), 3.0 (90%)
		Ανακατασκευασμένα Οδοστρώματα	-	1.5 (50%), 2.5 (80%), 3.0 (90%)
Πολωνία	AC	Αυτοκινητόδρομοι και κύριες οδοί	50/1000	1.3*, 2.4*
		Δευτερεύουσες οδοί	50/1000	1.7*, 3.4*
				Σημείωση: * ο μέσος όρος ολόκληρου του μήκους <1000m ** μέγιστη τιμή στο μήκος των 50m
Νορβηγία	AC	Αυτοκινητόδρομοι και κύριες οδοί	600-1600	2.0 (AADT≥3000) 2.5 (AADT<3000)
		Λοιπές οδοί	600-1600	2.5 (AADT≥3000) 3.0 (AADT<3000)
Λιθουανία	AC/PCC	Κύριες αρτηρίες	50	1.5
		Εθνικό οδικό δίκτυο	50	2.5
		Τοπικές οδοί	50	3.5
Ιταλία	AC	Νέες οδοί ή ανακατασκευασμένες σε όλο το μήκος τους	10/συνολικό μήκος	1.8
		Ανακατασκευασμένες οδοί σε κάποιο μήκος τους	10/συνολικό μήκος	2
	PCC	ανακατασκευασμένες οδοί	10/συνολικό μήκος	2.5
Ουγγαρία	AC	Κεντρικές αρτηρίες	100	1.2
		Κύριες και δευτερεύουσες οδοί	100	1.8
		Τοπικές οδοί	100	2.2
Τσεχία	AC/PCC	Όλες οι οδοί	20	1.9 (95%), 2.5 (100%), >50km/h 3.0 (95%), 3.6 (100%), <50km/h

Συμπερασματικά, από το σύνολο των 12 χωρών που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2, παρατηρείται ότι 7 από αυτές χρησιμοποιούν τμήμα αναφοράς μέχρι και 100m (Τσεχία, Ουγγαρία, Λιθουανία, Ρωσία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία) ενώ οι υπόλοιπες 5 χρησιμοποιούν μεγαλύτερα μήκη. Με βάση τον διαχωρισμό που κάνει η εκάστοτε χώρα στη λειτουργία των οδών φαίνεται ότι αυτή καθορίζει τα όρια του IRI. Αυτοκινητόδρομοι και κύριες αρτηρίες έχουν σαφώς αυστηρότερα όρια ομαλότητας.

Ο φόρτος επίσης, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τα όρια ομαλότητας κάθε χώρας. Συγκεκριμένα, οι χώρες του ευρωπαϊκού βορρά (π.χ Σουηδία και Νορβηγία) πραγματοποιούν το διαχωρισμό των οδών με βάση κυρίως τον κυκλοφοριακό φόρτο.

Όσον αφορά στα οδοστρώματα των οδών που βρίσκονται σε λειτουργία και ελέγχονται για τυχόν επεμβάσεις, στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα όρια για την τιμή του δείκτη IRI.

Πίνακας 2.3 Μέγιστα όρια IRI για υφιστάμενα οδοστρώματα (Μύτσα, 2016)

Χώρα	Κατηγορία οδοστρώματος	Κατηγορία οδού	Μήκος αναφοράς (m)	IRI (mm/m)
Σουηδία	AC	Όλες οι οδοί	100	5.8 (500 < AADT < 1000, 50 km/h) 5.1 (500 < AADT < 1000, 80 km/h) 3.7 (500 < AADT < 1000, 110 km/h) 4.9 (AADT > 2000, 50 km/h) 3.6 (AADT > 2000, 80 km/h) 2.9 (AADT > 2000, 100 km/h) 2.4 (AADT > 2000, 120 km/h)
Ισπανία	AC	Επιφανειακή στρώση	100	2.5 (50%), 3.0 (80%), 3.5 (100%)
		Στρώση βάσης	100	3 (50%), 3.5 (80%), 4.0 (100%)
Σλοβακία	AC/PCC	Αυτοκινητόδρομοι	20	5*, 8**
		Κύριες και Δευτερεύουσες οδοί	20	5*, 10**
		Τοπικές οδοί	20	8*, 14** Σημείωση: * προγραμματισμένη ανακατασκευή ** ανακατασκευή
Ρωσία	AC/PCC	Κατηγορία I	-	4.2
		Κατηγορία II	-	4.6
		Κατηγορία III	-	5.8
Πολωνία	AC	Αυτοκινητόδρομοι	50/500-1500	4.4*, 5.7**
		Τοπικές οδοί	50/500-1500	5.1*, 6.6** Σημείωση: * προγραμματισμένη ανακατασκευή ** ανακατασκευή Σημείωση: μέσος όρος ανά 50m σε όλο το εξεταζόμενο μήκος

Νορβηγία	AC/PCC	Όλες οι οδοί	20/1000	5 (90%), AADT = (300, 1500) 4.5 (90%), AADT = (1501, 5001) 4 (90%), AADT = (5001, 10,001) 3.5 (90%), AADT > 10,001 Σημείωση: τα όρια αφορούν το 90% των επιμέρους Τμημάτων των 20m
Λιθουανία	AC/PCC	Κύριες οδοί	50	1.5, 2, 2.5
		Εθνικό οδικό δίκτυο	50	2.5, 3, 3.5
		Τοπικές οδοί	50	3.5, 4, 4.5 Σημείωση: οι τιμές αντιπροσωπεύουν εκτενή, μέση και ελάχιστη συντήρηση του οδοστρώματος
Ιταλία	AC/PCC	Αυτοκινητόδρομοι	10/συνολικό Μήκος	3.5
		Λοιπές οδοί	10/συνολικό μήκος	4 Σημείωση: : το συνολικό μήκος ελέγχεται ανά 10m και εξάγεται μέσος όρος
Τσεχία	AC/PCC	Όλες οι οδοί	20	3.1*, 4.3** (v > 50 km/h) 4.3*, 6.3** (v < 50 km/h) Σημείωση: * προγραμματισμένη ανακατασκευή ** ανακατασκευή

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τον πίνακα 2.3, αφορούν το συσχετισμό των ορίων για τον δείκτη IRI με την κατηγορία του οδοστρώματος (AC και PCC), τη λειτουργική κατηγορία της οδού, τα όρια ταχύτητας, τα μήκη αναφοράς που ορίζονται για τις μετρήσεις και τέλος τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων όπου αυτή προβλέπεται. Οι περισσότερες χώρες χρησιμοποιούν τα ίδια όρια για τις επιφάνειες AC και PCC (π.χ Τσεχία, Νορβηγία, Σλοβακία και Ρωσία). Τα διαφορετικά όρια είναι σπάνια για τις επιφάνειες AC και PCC (π.χ Ιταλία).

Οι επιτρεπόμενες μέγιστες τιμές σε ορισμένες χώρες ορίζονται ως συνάρτηση του ορίου ταχύτητας του οδοστρώματος. Στην Τσεχία, τα όρια αφορούν δύο ζώνες ταχύτητας (< 50 km/h, > 50 km/h). Η Σουηδία χρησιμοποιεί οκτώ επίπεδα ταχύτητας (50–120 km/h) και γενικό συμπέρασμα είναι η συσχέτιση της υψηλής επιτρεπόμενης ταχύτητας με αυστηρότερα όρια για τον δείκτη IRI.

Τέλος, για τα μήκη αναφοράς και το στατιστικό έλεγχο των τιμών ισχύουν ακριβώς τα ίδια με τα νέα οδοστρώματα. Τα μήκη κυμαίνονται από 20m μέχρι και τα 1500m ενώ χρησιμοποιούνται το ποσοστό ή τα ποσοστά παρατηρήσεων στην Ισπανία (50ό, 80ό και 100ό), στη Νορβηγία (90ό) για τον τελικό έλεγχο.

2.3.4 Κριτήρια άλλων Χωρών

Σε χώρες όπως ο Καναδάς, η Αυστραλία και οι ΗΠΑ, η αξιολόγηση της ομαλότητας γίνεται τόσο με τον δείκτη IRI, όσο και με δείκτες που έχουν σαν βάση τον δείκτη IRI.

Γενικά, ο δείκτης IRI αντανακλά ένα μόνο προφίλ που μετρήθηκε σε ένα από τα ίχνη τροχού (συνήθως του δεξιού τροχού) ενός οδοστρώματος. Ωστόσο, ορισμένοι φορείς συλλέγουν τιμές IRI και στα δύο ίχνη τροχών και στη συνέχεια καθορίζουν το μέσο ως δείκτη MRI (Mean Ride Index)

Επίσης, ο δείκτης Half-car Ride Index (HRI) είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει το μέσο όρο δύο προφίλ (αριστερό και δεξιό ίχνος τροχού). Η αντίδραση του μοντέλου ενός «ημι-αυτοκινήτου», υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις ίδιες βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο «τετάρτου οχήματος» (quarter-car). Τα μέσα προφίλ από τα δύο ίχνη τροχών χρησιμοποιούνται ως είσοδος για το μοντέλο «ημι-αυτοκινήτου» για να υπολογιστεί ο δείκτης HRI, σε αντίθεση με το προφίλ από κάθε ίχνος τροχών που χρησιμοποιεί ο δείκτης MRI.

Το κύριο μειονέκτημα του μοντέλου «ημι-αυτοκινήτου» είναι ότι οι μετρήσεις προφίλ από τα αριστερά και δεξιά ίχνη τροχού, πρέπει να είναι τέλεια συγχρονισμένες για να προκύψουν ακριβή αποτελέσματα. Ωστόσο, για τα προφίλομετρα που μετρούν τα προφίλ ταυτόχρονα και στα δύο ίχνη τροχού, αυτό συνήθως δεν είναι πρόβλημα (Sayers & Karamihas, 1998). Συνήθως, ο δείκτης HRI οδηγεί σε τιμές που είναι χαμηλότερες από αυτές που αναφέρονται στον IRI ή στον MRI (Kurt Smith & Prashant Ram, 2016). Για τον Καναδά και την Αυστραλία αντίστοιχα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4, οι μέγιστες τιμές των ορίων για την ομαλότητα, τόσο σε νέα οδοστρώματα κατά την παραλαβή τους, όσο και για οδοστρώματα που βρίσκονται σε λειτουργία.

Πίνακας 2.4 Μέγιστα όρια ομαλότητας για μη ευρωπαϊκές χώρες (Μύζκα, 2016)

Χώρα	Κατηγορία οδού και οδοστρώματος	Μήκος (m) αναφοράς	IRI (mm/m) Νέα οδοστρώματα	IRI (mm/m) Υφιστάμενα οδοστρώματα
Αυστραλία	AC/PCC- Αυτοκινητόδρομοι	500	1.6	4.2*, 3.5**
	AC/PCC- λεωφόροι και κύριες οδοί (< 80 km/h)	500	1.9	6.1*, 5.3**
	AC/PCC- λεωφόροι και κύριες οδοί (100 km/h)	500	1.9 Σημείωση: οι τιμές αφορούν τον δείκτη MRI	5.3*, 3.5** Σημείωση: οι τιμές αφορούν τον δείκτη MRI *μεμονωμένα τμήματα **τμήματα με μήκος >500m
Καναδάς-Αλμπέρτα	AC – Schedules I,	100	0.71–1.04, 0.81–1.20 and	
	II and III, acceptance (full pay) AC – Schedules I,	100	0.81–1.54	1.55, 1.55 and 1.85
	II and III, corrective work AC – localized roughness	7.62	2.8 Σημείωση: οι τιμές αφορούν τον δείκτη MRI	

Καναδάς- Βρετανική Κολούμπια	AC – acceptance (full pay)	100	1.1-1.2	
	AC – corrective work	100		1.8
Καναδάς-Οντάριο	AC – acceptance (full pay)	100	0.65–1	
	AC – rejection (corrective work)	100	1.25	
	AC – localized roughness	7.62	3.4	
	AC/PCC – freeway	161		1.9 (AC)/2.4 (PCC)
	AC/PCC – arterial	161		2.3 (AC)/2.7 (PCC)
	Collector	161		2.7
	Local	161		3.3

Όσον αφορά στις ΗΠΑ, η αξιολόγηση της ομαλότητας του οδοστρώματος στις διάφορες πολιτείες, διεξάγεται ως επί το πλείστον με τον δείκτη IRI. Με βάση έρευνα του 2014 (Merritt & Chang, 2015) το 78% (39 από τις 50) των πολιτειών των ΗΠΑ χρησιμοποιούν τον δείκτη IRI, 9 πολιτείες τον δείκτη PI και 2 πολιτείες τον δείκτη RN. Από τις 39 αυτές πολιτείες που χρησιμοποιούν τον IRI, οι 23 υπολογίζουν τον MRI για να πραγματοποιηθούν τους ελέγχους, οι 3 τον HRI και οι υπόλοιπες δέχονται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία τον IRI. Οι ΗΠΑ εφαρμόζουν όρια για τον IRI τόσο στα νέα οδοστρώματα όσο και στα οδοστρώματα που πρόκειται να ανακατασκευαστούν. Με βάση την έρευνα που διεξήχθη (Μύτκα, 2016) σε 35 πολιτείες, σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν τα όρια του δείκτη IRI για τα νέα οδοστρώματα, συμπεραίνεται ότι οι τιμές τελούν σε συνάρτηση των παρακάτω:

- **Τον τύπο του οδοστρώματος:** Το 34% των πολιτειών στις ΗΠΑ, χρησιμοποιούν τα ίδια όρια για τα εύκαμπτα και τα δύσκαμπτα οδοστρώματα και το 20% χρησιμοποιούν διαφορετικούς περιορισμούς, όπου το 37% των πολιτειών ορίζουν περιορισμούς μόνο για τα εύκαμπτα οδοστρώματα και μόλις το 6% ορίζει περιορισμούς μόνο για τα δύσκαμπτα.
- **Την κατηγορία της οδού:** Το 17% των πολιτειών έχουν όρια ταχύτητας, σχετιζόμενα με την κατηγορία στην οποία ανήκει η οδός. Επίσης, 10 πολιτείες των ΗΠΑ, έχουν ορίσει αυστηρά τα όρια για την ομαλότητα με βάση το αν η οδός ανήκει στο δίκτυο που ενώνει τις πολιτείες (αντίστοιχο οδικό δίκτυο με τους διεθνείς δρόμους της Ευρώπης) ή αποτελεί κομμάτι μεμονωμένου αυτοκινητόδρομου.
- **Το όριο ταχύτητας:** Το 29% των πολιτειών λαμβάνουν υπόψη τα όρια ταχύτητας για τον καθορισμό των επιτρεπτών τιμών IRI.

Για τα μήκη αναφοράς, οι διάφορες πολιτείες των ΗΠΑ, χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο υποδιαίρεσεις του μιλίου (1609m). Η συνηθέστερη προσέγγιση είναι το δέκατο του μιλίου (161m) το οποίο χρησιμοποιούν 28 πολιτείες. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα εν χρήσει μήκη όπως το ολόκληρο μίλι, τα 500 ft (152.4m) και τα 3000 ft (914m). Για το εύρος των επιτρεπόμενων τιμών του δείκτη IRI, η έρευνα έδειξε ένα εύρος από 0.55 mm/m (Wisconsin) έως 1.97 mm/m (Washington) για τα εύκαμπτα οδοστρώματα αμέσως μετά την παράδοσή τους. Για οδοστρώματα που έχουν συντηρηθεί το εύρος τιμών είναι 0.825 mm/m (Georgia)

έως ο 2.68 mm/m (New Jersey). Ιδιαίτερη μέριμνα γίνεται για την αξιολόγηση των τοπικών ανωμαλιών.

Πάνω από το 50% των προδιαγραφών που περιλαμβάνουν τον δείκτη IRI ως βασικό κριτήριο αξιολόγησης για την ομαλότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος, έχουν λάβει υπόψιν τους τις συνθήκες που επικρατούν τοπικά στην εν λόγω περίπτωση. Συνολικά, το 31% (11/35) των πολιτειών, καθορίζουν κριτήρια για την τοπική ανωμαλία ξεχωριστά από τα κριτήρια γενικής ομαλότητας, έτσι ώστε αυτές οι περιοχές να μπορούν να εντοπιστούν και να διορθωθούν ξεχωριστά. Ο κύριος λόγος που οδηγεί στον έλεγχο αυτόν είναι ότι οι τοπικές ανωμαλίες είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για την οδική ασφάλεια, ειδικά σε οδούς με υψηλές ταχύτητες. Το τυπικό μήκος ελέγχου είναι 7.6 μέτρα (25 πόδια) και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται, είναι μια συνάρτηση των ορίων ταχύτητας.

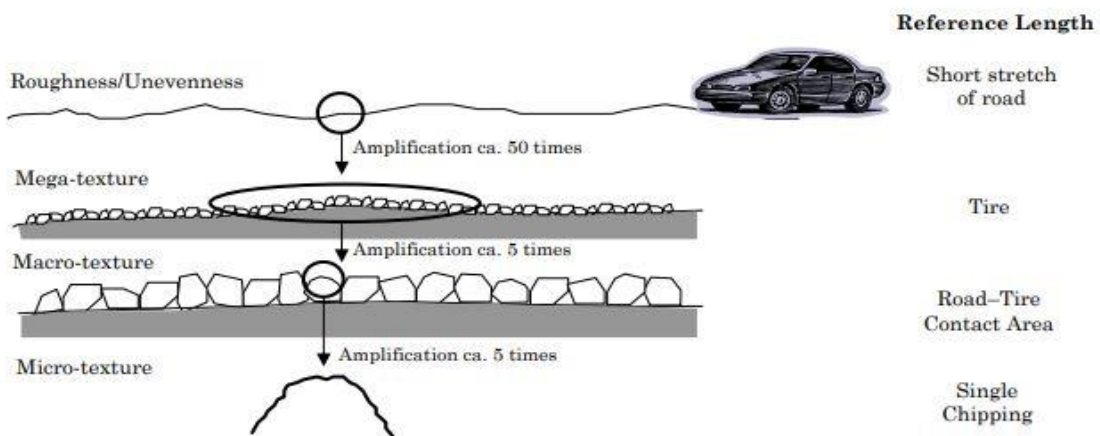
Σε 11 πολιτείες ωστόσο, για την αξιολόγηση της τοπικής ομαλότητας, χρησιμοποιούνται μετρήσεις IRI στο προαναφερθέν μήκος με επιτρεπόμενα όρια, ανάλογα την εκάστοτε πολιτεία, από 1.26 mm/m έως 3.16 mm/m. Πολλές πολιτείες ωστόσο, χρησιμοποιούν για τον έλεγχο τον απλό σταθερό πήχη και δεν λαμβάνουν καθόλου μετρήσεις IRI για τον έλεγχο μεμονωμένων τμημάτων που έχουν τοπικές ανωμαλίες. Αυτό συμβαίνει διότι το νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο στις ΗΠΑ διευθετήθηκε εν μέρει μόλις το 2021 και διαφέρει ανά πολιτεία, επισύροντας μια ελαστικότητα στις ρήτρες υποχρεωτικότητας συγκεκριμένων μεθόδων μετρήσεων.

3. ΥΦΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

3.1 Γενικά

Η υφή ενός οδοστρώματος, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αξιολόγηση της λειτουργικής του κατάστασης, καθότι σχετίζεται, τόσο με την ασφάλεια όσο και με την άνεση των χρηστών της οδού. Η υφή ενός οδοστρώματος επηρεάζει άμεσα την αποστραγγιστική ικανότητα της κυκλοφορίας ενώ αποτελεί καθοριστικό για την συμπεριφορά των ελαστικών των οχημάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί η υφή σχετίζεται με την αντιολισθητική ικανότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος, τόσο σε στεγνές όσο και σε υγρές συνθήκες. Ακόμα συνδέεται με το κόστος των οχημάτων καθώς επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου και τον ρυθμό φθοράς των ελαστικών των οχημάτων.

Η υφή ενός οδοστρώματος διαρθρώνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα την κλίμακα με την οποία εξετάζεται. Όπως ορίστηκε το 1987 από το PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) οι τρεις αυτές κατηγορίες είναι η μικροϋφή, η μακροϋφή και η μεγαϋφή. Για να κατηγοριοποιηθεί η υφή, ορίζονται τα μεγέθη του μήκους κύματος (λ), το οποίο αναφέρεται στις κατά μήκος αποκλίσεις και του βάθους υφής (A). Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζονται γραφικά οι παραπάνω κατηγορίες.



Εικόνα 3.1 Κατηγορίες υφής (Hall , et al., 2009)

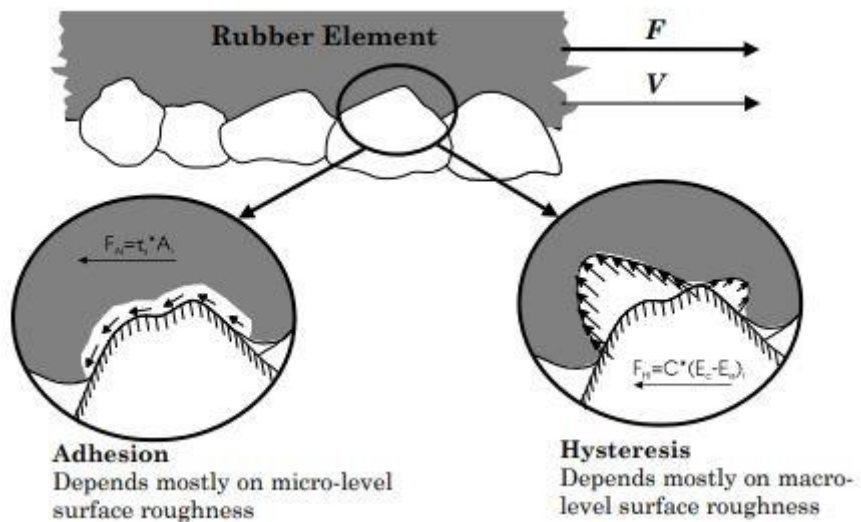
- **Μικροϋφή:** Σχετίζεται με την αδρότητα των αδρανών που περιέχονται μέσα στο ασφαλτόμιγμα. Η αδρότητα αυτή έχει μήκος κύματος $\lambda < 0.5\text{mm}$ και κάθετη απόκλιση από την επίπεδη επιφάνεια την επίπεδη επιφάνεια $A < 0.2\text{mm}$ (Hall , et al., 2009). Η μικροϋφή παρέχει την απαραίτητη τριβή μεταξύ ελαστικού και επιφάνειας οδοστρώματος, όταν το οδόστρωμα είναι στεγνό.

- **Μακροϋφή:** Σχετίζεται με την τραχύτητα της επιφάνειας του οδοστρώματος, λόγω προεξοχής των αδρανών του ασφαλτομίγματος. Η μακροϋφή είναι υπεύθυνη για την απομάκρυνση του νερού από την επιφάνεια του οδοστρώματος και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αντιολισθητική ικανότητα όταν αυτό είναι βρεγμένο. Έχει μήκος κύματος $0.5 < \lambda < 50\text{mm}$ και κάθετη απόκλιση $0.1 < A < 20\text{mm}$. Τέλος, η μακροϋφή σχετίζεται με το

θόρυβο που παράγεται κατά την κύλιση των ελαστικών και με το φαινόμενο splash/spray (Hall, et al., 2008).

- **Μεγαύφη:** Έχει μήκος κύματος $50 < \lambda < 500 \text{mm}$, κάθετη απόκλιση $0.1 < A < 50 \text{mm}$ και σχετίζεται με ανωμαλίες στην επιφάνεια του οδοστρώματος, οι οποίες είναι αποτέλεσμα είτε προβληματικής διάστρωσης της τελικής στρώσης κυκλοφορίας είτε αλλοιώσεων που προέκυψαν κατά τη λειτουργία του οδοστρώματος. Η μεγαύφη σχετίζεται με το αίσθημα ασφάλειας που νιώθει ο χρήστης της οδού καθώς προκαλεί αναταράξεις κατά την κύλιση ενώ παράλληλα δημιουργεί πρόωρες φθορές στα ελαστικά και τις αναρτήσεις των οχημάτων.

Η υφή ενός οδοστρώματος, επηρεάζει δυο ιδιαίτερα σημαντικούς παράγοντες που αφορούν την τριβή. Η πρόσφυση (Adhesion) και η υστέρηση (Hysteresis) αποτελούν τις συνιστώσες της τριβής. Η πρόσφυση έχει να κάνει με τη διεπαφή του ελαστικού του οχήματος με την επιφάνεια του οδοστρώματος και τη δημιουργία διατμητικών δυνάμεων επαφής (βλ. Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 Μηχανισμός υφής (Hall , et al., 2009)

Όπως γίνεται αντιληπτό, η πρόσφυση σχετίζεται με την αδρότητα της επιφάνειας των αδρανών άρα κατ' επέκταση με τη μικροϋφή. Το ελαστικό και η επιφάνεια των αδρανών έρχονται σε επαφή και δημιουργείται η πρόσφυση. Ως υστέρηση ορίζεται η απώλεια ενέργειας κατά την παραμόρφωση του ελαστικού του οχήματος. Όταν το ελαστικό συμπιέζεται μέσα στα κενά που δημιουργεί η υφή του οδοστρώματος η κατανομή των τάσεων έχει σαν αποτέλεσμα την αποθήκευση ενέργειας παραμόρφωσης. Όταν το ελαστικό πάψει να είναι παραμορφωμένο, η ενέργεια αυτή ανακτάται αλλά όχι πλήρως. Μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα και χάνεται με αποτέλεσμα να απελευθερώνεται μια δύναμη τριβής, η οποία επιβραδύνει την κίνηση του οχήματος. Όπως γίνεται αντιληπτό, προκειμένου το ελαστικό να παραμορφωθεί επαρκώς για να αναπυχθεί η υστέρηση, χρειάζονται τα απαραίτητα κενά στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Τα κενά αυτά παρέχει η μακροϋφή (Hall , et al., 2009). Με βάση τα παραπάνω, η πρόσφυση έχει κυρίαρχο ρόλο στα στεγνά και ομαλά οδοστρώματα ενώ η υστέρηση στα βρεγμένα και λιγότερο ομαλά. Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται γραφικά πως δημιουργούνται οι δυνάμεις μεταξύ ελαστικού και επιφάνειας οδοστρώματος.

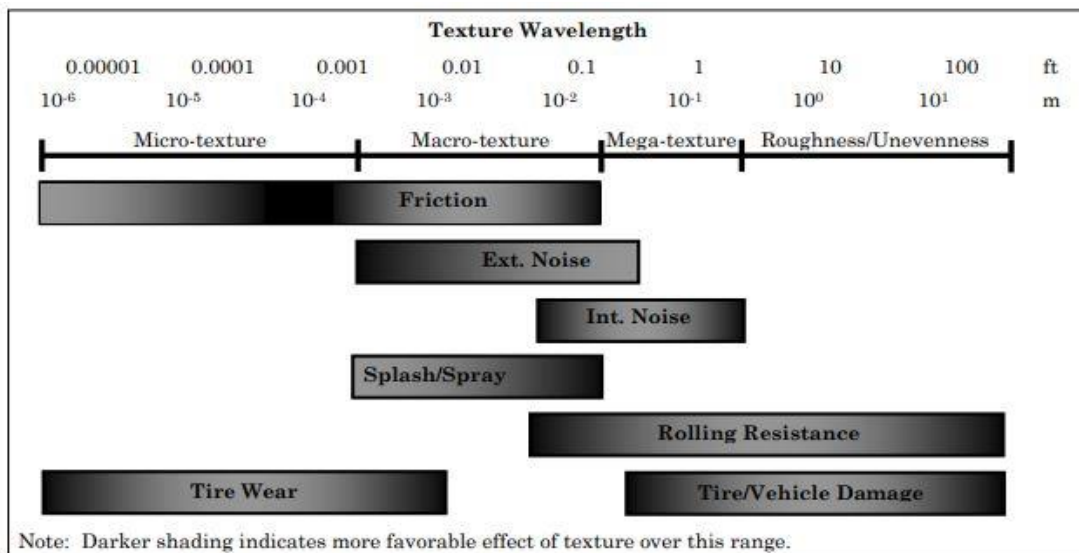
3.2 Παράγοντες επίδρασης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υφή ενός οδοστρώματος, σχετίζονται με την επιλογή των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν στο ασφαλτόμιγμα της στρώσης σε δρόμους κυκλοφορίας, με το συνδετικό υλικό αυτού (άσφαλτος) και με οποιαδήποτε διαδικασία γίνει κατά την διάστρωση, η οποία αποσκοπεί στην αύξηση αδρότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται παρακάτω οι βασικότεροι παράγοντες (Hall , et al., 2009):

- **Η διάσταση του κόκκου των αδρανών:** Ο μέγιστος κόκκος στο ασφαλτόμιγμα της στρώσης κυκλοφορίας, είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία της μακροϋφής στο κατάλληλο μήκος κύματος.
- **Η ποιότητα των χονδρόκοκκων αδρανών:** Η επιλογή των κατάλληλων χονδρόκοκκων αδρανών είναι σημαντική, καθώς πρέπει να εξασφαλίζεται το σχήμα και η αντοχή στη στίλβωση.
- **Η ποιότητα των λεπτόκοκκων αδρανών:** Το γωνιώδες και η αντοχή στο θρυμματισμό επηρεάζουν τόσο την μικροϋφή όσο και την μακροϋφή.
- **Το ιξώδες και της ασφάλτου:** Ασφαλτομίγματα με χαμηλού ιξώδους άσφαλτο τείνουν να είναι πιο ευαίσθητα σε φαινόμενα ανάδυσης. Επιφάνειας οδοστρωμάτων, των οποίων η άσφαλτος έχει αναδυθεί, έχουν χάσει το μεγαλύτερο μέρος της υφής τους καθώς τα κενά ανάμεσα στα αδρανή έχουν καλυφθεί με άσφαλτο.
- **Περιεκτικότητα σε άσφαλτο:** Ασφαλτομίγματα με μεγάλη ποσότητα σε άσφαλτο είναι επιρρεπή σε φαινόμενα ανάδυσης.
- **Η κοκκομετρική διαβάθμιση του ασφαλτομίγματος:** Η κοκκομετρία του μίγματος της στρώσης κυκλοφορίας επηρεάζει την δημιουργία μακροϋφής. Καλά διαβαθμισμένα μίγματα παρέχουν τα απαραίτητα κενά για την μακροϋφή.

3.3 Επακόλουθα

Η υφή ενός οδοστρώματος, επηρεάζει όλη τη διαδικασία της διεπαφής ελαστικού-επιφάνειας οδοστρώματος και τα φαινόμενα που αναπτύσσονται κατά την επαφή αυτή (Hall , et al., 2009). Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζονται τα φαινόμενα που επηρεάζουν την επιφανειακή υφή ενός οδοστρώματος ανάλογα το μήκος κύματος.



Εικόνα 3.3 Επίδραση της υφής (Hall , et al., 2009)

- **Φαινόμενο splash/spray:** Αναφέρεται στη διασκόρπιση του νερού της επιφάνειας του οδοστρώματος από τους τροχούς των οχημάτων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνθήκες μειωμένης ορατότητας για τους οδηγούς. Το φαινόμενο αυτό αφορά κυρίως τη μακροϋφή, η οποία είναι υπεύθυνη για την απομάκρυνση του νερού από την επιφάνεια του οδοστρώματος.
- **Επαρκής τριβή:** Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η μακροϋφή και η μικροϋφή στην τριβή που δημιουργείται μεταξύ ελαστικού και επιφάνειας οδοστρώματος. Σε στεγνά οδοστρώματα, η αδρότητα των αδρανών στη στρώση κυκλοφορίας του οδοστρώματος, παρέχει την απαιτούμενη τριβή. Όταν οι συνθήκες του οδοστρώματος γίνονται υγρές, εμπλέκεται η μακροϋφή. Καθώς σε βρεγμένα οδοστρώματα υπάρχει ένα στρώμα νερού που καλύπτει τα κενά στην επιφάνεια των αδρανών, τα μεγαλύτερα κενά της μακροϋφής καλούνται να απομακρύνουν το νερό. Να επιτρέψουν δηλαδή στα ελαστικά να παραμορφωθούν δημιουργώντας το φαινόμενο της υστέρησης και να αποτραπεί η υδρολίσθηση.
- **Θόρυβος:** Για μεγάλα μήκη κύματος της μακροϋφής, δηλαδή για επιφάνειες οδοστρωμάτων με ανωμαλίες αισθητές από τους χρήστες, ο θόρυβος που παράγουν τα ελαστικά κατά την κύλιση τους αυξάνεται.
- **Φθορά των ελαστικών:** Η φθορά των ελαστικών σχετίζεται κυρίως με τη μικροϋφή. Κατά την κύλιση των ελαστικών παράγεται τριβή (όπως αναλύθηκε παραπάνω) η οποία σταδιακά φθείρει το πέλμα τους.

3.4 Μέθοδοι μέτρησης της μακροϋφής

3.4.1 Γενικά

Η μέτρηση της υφής ενός οδοστρώματος, έχει αποκτήσει πρωταρχική σημασία τα τελευταία 70 χρόνια. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές μέτρησης στην υφή ενός οδοστρώματος, με σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, τόσο σε επίπεδο διαδικασίας μέτρησης όσο και σε επίπεδο επεξεργασίας των δεδομένων.

Για τη μέτρηση της υψής του οδοστρώματος, είτε πρόκειται για μικροϋφή, είτε για μακροϋφή, είτε για μεγαϋφή, οι βασικότεροι τρόποι μέτρησης είναι οι εξής: ογκομετρικές μέθοδοι, καταγραφή της διαμήκου κατατομής και καταγραφή του χρόνου εκροής. Οι διαφορετικές αυτές τεχνικές χρησιμοποιούν μια κοινή προσέγγιση για τον προσδιορισμό της υψής. Καταγράφουν τα κενά της επιφάνειας του οδοστρώματος και τον τρόπο με τον οποίο είναι κατανεμημένα (Hall , et al., 2009).

Οι παραπάνω τεχνικές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, οι οποίες είναι οι στατικές μέθοδοι για τη μέτρηση της υψής των οδοστρωμάτων και οι δυναμικές μέθοδοι. Οι στατικές μέθοδοι (κηλίδα άμμου και μέθοδος καταγραφής του χρόνου εκροής) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πεπερασμένο αριθμό σημείων και όχι σε ολόκληρο το μήκος του οδοστρώματος ενώ για την πραγματοποίηση των μετρήσεων απαιτείται η διακοπή της κυκλοφορίας. Τα πλεονεκτήματα των μεθόδων αυτών είναι η μεγάλη αξιοπιστία που παρέχουν και η χρήση απλών και οικονομικών μέσων που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις (McGhee & Flintsch, 2003). Από την άλλη μεριά, οι δυναμικές μέθοδοι παρέχουν πληροφορίες για όλο το εξεταζόμενο μήκος, καθότι η μέτρηση γίνεται εν κινήσει σε συνήθεις ταχύτητες κυκλοφορίας. Επίσης, η διαδικασία μέτρησης δεν απαιτεί την διακοπή της κυκλοφορίας. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος δυναμικής μέτρησης είναι η καταγραφή της διαμήκου κατατομής, η οποία γίνεται με τη χρήση προφιλόμετρου.

3.4.2 Στατικές μέθοδοι

Η στατική μέθοδος που έχει επικρατήσει στις μετρήσεις για την υφή ενός οδοστρώματος, είναι η μέθοδος μέτρησης της κηλίδας άμμου. Πρόκειται για μια ογκομετρική μέθοδο, η οποία χρησιμοποιείται ως μέθοδος αναφοράς για τη μακροϋφή, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, και μετρά το μέσο βάθος υψής. Βασίζεται στην εκτίμηση του όγκου που καταλαμβάνουν τα κενά μεταξύ των αδρανών στην επιφάνεια του οδοστρώματος, όταν ορισμένος όγκος λεπτόκοκκου υλικού καλύψει τα κενά αυτά αφού διαστρωθεί με κατάλληλο τρόπο.

Η τεχνική αυτή βρίσκει εφαρμογή σε επιφάνειες οδοστρωμάτων με κενά μικρότερα των 25mm όπως ορίζεται από το αντίστοιχο πρότυπο ASTM E965. Με βάση αυτό, καθορίζεται ο απαραίτητος εξοπλισμός ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί στο πεδίο. Ο εξοπλισμός αυτός είναι ο εξής:

- **Υλικό για τη μέτρηση:** Γυάλινα σφαιρίδια με 90% σφαιρικότητα ή πολύ καλά διαβαθμισμένη άμμο. Τα δύο υλικά θα πρέπει στο 90% του βάρους τους να περνάνε από το κόσκινο No. 60 και να συγκρατούνται από το κόσκινο No. 80.
- **Δοχείο συλλογής:** Ένας ογκομετρικός σωλήνας από πλαστικό ή μέταλλο με προκαθορισμένο όγκο τουλάχιστον 25000mm³ για τη μέτρηση του όγκου του υλικού το οποίο θα διαστρωθεί.
- **Εργαλείο για την διάστρωση:** Ένας κύλινδρος από ελαστικό υλικό με πάχος 25mm και διάμετρο από 60 έως 75mm χρησιμοποιείται για τη διάστρωση του υλικού.
- **Βούρτσες:** Μία βούρτσα με σκληρό υλικό και μία με μαλακό για τον καθαρισμό της περιοχής από κατάλοιπα ελαστικών.
- **Προστασία από τον άνεμο:** Ένα παραπέτασμα μικρού μεγέθους για την προστασία της περιοχής μέτρησης από τον άνεμο.
- **Χάρακας:** Ένας χάρακας μεγέθους τουλάχιστον 305mm με διαβαθμίσεις του 1mm.

- **Ζυγαριά:** Μία ζυγαριά με ευαισθησία 0.1 του γραμμαρίου, ώστε πέρα από τον όγκο του υλικού να μετρείται και η μάζα.

Επί της μέτρησης, η διαδικασία ξεκινά με την επιλογή της κατάλληλης περιοχής στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Με βάση το πρότυπο ASTM E965, η περιοχή που θα γίνει η μέτρηση πρέπει να είναι ενδεικτική για το εξεταζόμενο τμήμα της οδού, να είναι ομοιόμορφη χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και να μην παρουσιάζει ρωγμές και στάσιμα νερά την ώρα της δοκιμής.

Στη συνέχεια, η περιοχή καθαρίζεται πρώτα με χρήση της σκληρής βούρτσας και σε δεύτερη φάση με τη μαλακή και έπειτα τοποθετείται το παραπέτασμα για την προστασία από τον άνεμο. Η χρήση του παραπετάσματος είναι απαραίτητη ώστε το υλικό της δοκιμής να παραμείνει εντός των κενών και να μην παρασυρθεί από τυχόν ριπές ανέμου. Σειρά έχει το υλικό της μέτρησης, τοποθετείται εντός του ογκομετρικού σωλήνα σε μικρές δόσεις και με διαδοχικά χτυπήματα της βάσης αυτού το υλικό συμπυκνώνεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι ο κύλινδρος να γεμίσει.

Σημειώνεται ότι, η επιπεδότητα του υλικού στο ανοικτό άκρο του ογκομετρικού σωλήνα, επιτυγχάνεται με τη χρήση του χάρακα. Σε περίπτωση που υπάρχει ζυγαριά, το υλικό μετριέται με σχετικό τρόπο. Το τελικό στάδιο της διαδικασίας, είναι η διάστρωση του υλικού. Αφού τοποθετηθεί στην επιφάνεια της περιοχής, διαστρώνεται σε κυκλικό δίσκο με την βοήθεια ενός λαστιχένιου κυλίνδρου μέχρι τα κενά των αδρανών να καλυφθούν πλήρως. Η διάμετρος της κυκλικής επιφάνειας που έχει δημιουργηθεί μετρείται σε 4 διαφορετικές διευθύνσεις κρατώντας ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Για να θεωρηθεί ότι η μέτρηση έχει ολοκληρωθεί, θα πρέπει ο ίδιος χειριστής να επαναλάβει την διαδικασία σε 4 τυχαία σημεία στο τμήμα ελέγχου και να υπολογίσει τον αριθμητικό μέσο όρο. Η τιμή αυτή αποτελεί το τελικό δεδομένο για την ανάλυση.

Όπως γίνεται κατανοητό, οι μετρήσεις βάθους υφής που παράγονται χρησιμοποιώντας αυτήν τη μέθοδο διαμορφώνονται από τα χαρακτηριστικά μακροϋφής του οδοστρώματος και δεν επηρεάζονται σημαντικά από τη μικροϋφή. Η μορφή, το μέγεθος και η διανομή των αδρανών της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι χαρακτηριστικά υφής που δεν προσεγγίζονται με αυτήν τη διαδικασία.

3.4.3 Δυναμικές μέθοδοι

Η πλέον διαδεδομένη δυναμική μέθοδος για την καταγραφή της μακροϋφής, είναι η καταγραφή της διαμήκου κατατομής. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία μετρά, μέσω της προφίλομέτρησης, το μέσο βάθος κατατομής της επιφάνειας του οδοστρώματος. Για τη μέτρηση χρησιμοποιούνται συνήθως προφίλομετρα με οπτικούς αισθητήρες laser, τα οποία δημιουργούν έναν ψηφιακό χάρτη της επιφάνειας του οδοστρώματος μετρώντας το μέσο βάθος των κενών που δημιουργούν τα αδρανή στη στρώση κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (κυρίως το ASTM E1845), είναι επιθυμητό η προφίλομέτρηση να γίνεται σε ολόκληρο το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας που εξετάζεται. Όταν αυτό δεν είναι εφικτό, είναι απαραίτητο να μετρούνται το λιγότερο 10 τμήματα πλάτους 100mm για κάθε 100m εξεταζόμενου τμήματος.

Στις συνήθεις μελέτες είναι επαρκείς 16 ομοιόμορφα κατανεμημένες κατατομές ανεξάρτητα από το μήκος του εξεταζόμενου τμήματος της οδού. Για κάθε μέτρηση θα πρέπει να καταγράφεται η ημερομηνία της μέτρησης, η υγρασία κατά την διαδικασία, η τοποθεσία και φυσικά το είδος της επιφάνειας του οδοστρώματος. Επιπρόσθετα, είναι αναγκαίο να καταγράφονται οι τοπικές ανωμαλίες στα σημεία των μετρήσεων (ρωγμές και καθιζήσεις) ώστε στα σημεία αυτά τα δεδομένα να απορρίπτονται από την ανάλυση. Τέλος, είναι σημαντική η καταγραφή της ταχύτητας μέτρησης και το συνολικό μήκος των μετρήσεων. Για

τη μετέπειτα ανάλυση είναι απαραίτητα τα ποσοστά των άκυρων μετρήσεων όπως επίσης και η τυπική απόκλιση του μέσου βάθους των τμημάτων που μετρήθηκαν.

3.5 Δείκτες αξιολόγησης μακροϋφής

3.5.1 Δείκτης MTD

Ο δείκτης MTD (Mean Texture Depth), ο οποίος προκύπτει από τη δοκιμή της κηλίδας άμμου, αποτελεί τον δείκτη προσδιορισμού της μακροϋφής για την επιφάνεια των οδοστρωμάτων. Έχει καθιερωθεί σε αρκετές χώρες διεθνώς ως δείκτης αναφοράς για την εκτίμηση της κατάστασης της επιφάνειας του οδοστρώματος (Aavik, et al., 2011). Με βάση αυτόν έχουν διαμορφωθεί οι προδιαγραφές για την ποιότητα των οδοστρωμάτων στο στάδιο αμέσως μετά την κατασκευή αλλά και στο πλαίσιο ελέγχου υφιστάμενων οδοστρωμάτων. Συγκεκριμένα, ο υπολογισμός του δείκτη MTD γίνεται μέσω της εξίσωσης, όπου το μέσο βάθος υφής υπολογίζεται ως το πηλίκο του όγκου του υλικού διάστρωσης προς το εμβαδόν της επιφάνειας διάστρωσης, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E965. Ο τύπος υπολογισμού αυτός δίνεται παρακάτω:

$$MTD = \frac{4V}{D^2} \quad (3.1)$$

όπου:

V : ο όγκος του υλικού διάστρωσης σε mm³.

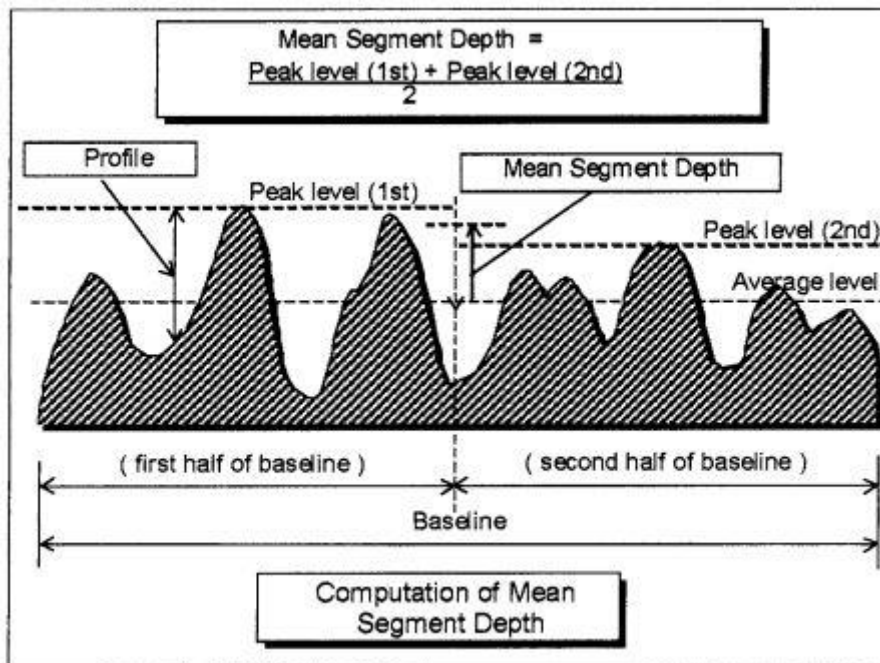
D : ο μέσος όρος διαμέτρου της περιοχής που καλύφθηκε από το υλικό σε mm.

Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E965 η διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη MTD με τη μέθοδο της κηλίδας άμμου επέδειξε τα παρακάτω αποτελέσματα όσον αφορά την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα. Η ανάλυση των δεδομένων για το βάθος υφής που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια εκτενών ελεγχόμενων δοκιμών στο εργαστήριο, παρήγαγε εκτιμήσεις της επαναληψιμότητας (μεθοδικής ακρίβειας) και της αναπαραγωγιμότητας (εφαρμοσμένης ακρίβειας) της μεθόδου, καθώς και για σφάλματα δειγματοληψίας που αναμένονται κατά τη μέτρηση. Οι ελεγχόμενες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακά δείγματα με εύρος βάθους υφής από 0,508mm - 1,2mm. Οι εκτιμήσεις ακρίβειας του βάθους υφής εκφράστηκαν ως ποσοστό, δηλαδή ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης των μετρήσεων υφής προς το μέσο βάθος υφής πολλαπλασιασμένος με 100. Η τυπική απόκλιση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων από τον ίδιο χειριστή στην ίδια επιφάνεια ήταν τόσο χαμηλή όσο το 1% του μέσου βάθους υφής, ενώ αν ο χειριστής ήταν διαφορετικός το ποσοστό άγγιζε το 2%. Η τυπική απόκλιση των μετρήσεων από σημείο σε σημείο ήταν μέχρι και 27% του μέσου βάθους υφής. Εδώ, με τον όρο σημείο νοείται μια τυχαία επιλεγμένη τοποθεσία εντός μιας επιφάνειας οδοστρώματος που είναι επιφανειακά ομοιογενής. Αυτό σημαίνει ότι στις μετρήσεις στο πεδίο απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός μετρήσεων για να εκτιμηθεί με αξιοπιστία το μέσο βάθος υφής για συγκεκριμένους τύπους οδοστρωμάτων με μεγάλες διακυμάνσεις στην επιφάνεια τους.

3.5.2 Δείκτης MPD

Ο δείκτης MPD (Mean Profile Depth) προκύπτει από τη δυναμική μέθοδο καταγραφής της κατά μήκος κατατομής και περιγράφει τη μακροϋφή. Για τον συγκεκριμένο δείκτη το πρότυπο που ακολουθείται διεθνώς είναι το ASTM E1845. Ο δείκτης MPD προκύπτει με την ακόλουθη διαδικασία: το προφίλ που πρόκειται να αξιολογηθεί χωρίζεται σε επιμέρους

τμήματα μήκους 100mm. Στη συνέχεια, το κάθε επιμέρους τμήμα χωρίζεται στη μέση και υπολογίζεται το ύψος του μεγαλύτερου μέγιστου, σε κάθε μισό του επιμέρους τμήματος. Τα μέγιστα υπολογίζονται σε σχέση με ένα προκαθορισμένο μηδενικό μέσο προφίλ. Για την πληρέστερη παρουσίαση του τρόπου υπολογισμού παρατίθεται η Εικόνα 3.4 και ο τύπος για τον υπολογισμό.



Εικόνα 3.4 Διαδικασία υπολογισμού MPD (ASTM E1845)

$$MPD = \frac{\text{Peak level (1st)} + \text{Peak level (2nd)}}{2} - \text{Average level} \quad (3.2)$$

Όπου:

MPD: Το μέσο βάθος κατανομής σε mm.

Peak level: Η τιμή του ύψους της κορυφής για κάθε μισό του μήκους ανάλυσης των 100mm.

Average level: Ο μέσος όρος του βάθους κατανομής της μακροϋφής που υπολογίζεται από το βάθος κατανομής για κάθε 1mm από την συνολική απόσταση των 100mm.

Όπως προκύπτει από την Εικόνα 3.4 και τον παραπάνω τύπο, ο δείκτης MPD υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των μέσων όρων των μεγίστων του κάθε επιμέρους τμήματος. Ουσιαστικά, το σύστημα μετρά τη μέση υψομετρική διαφορά του βάθους υφής, παρέχοντας συνεχείς μετρήσεις-καταγραφές μακροϋφής για όλο το μήκος μίας οδού.

3.5.3 Συσχέτιση δεικτών

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, η μέθοδος της κηλίδας άμμου, δεν θεωρείται ιδιαίτερως πρακτική για την αξιολόγηση τμημάτων οδών, μεγάλου μήκους. Ο αριθμός των

μετρήσεων που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι μεγάλος και δε θα καλυφθεί ολόκληρο το προφίλ του τμήματος, γεγονός που θα αφήσει μεγάλη αβεβαιότητα για την ποιότητα της συνολικής επιφάνειας του οδοστρώματος.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων η μέθοδος της κηλίδας άμμου, πραγματοποιείται για την δημιουργία ενός προφίλ αναφοράς για το εκάστοτε τμήμα, ενώ στη συνέχεια για την κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας αξιολόγησης χρησιμοποιείται μια δυναμική μέθοδος και εξάγεται ο δείκτης MPD. Γίνεται σαφές ότι χρειάζεται μια σχέση συσχέτισης των δύο δεικτών (MPD και MTD). Οι τιμές του MPD και του MTD διαφέρουν πρώτον λόγω του πεπερασμένου μεγέθους των γυάλινων σφαιρών που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο της κηλίδας άμμου και δεύτερον επειδή το MPD προέρχεται από ένα διδιάστατο προφίλ αντί μιας τρισδιάστατης επιφάνειας. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια εξίσωση μετασχηματισμού (ASTM E965). Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E1845 του 2005 η σχέση που συνδέει τους προαναφερόμενους δείκτες είναι η εξής :

$$ETD = 0.8 \times MPD + 0.2 \quad (3.3)$$

Όπου,

ETD (Estimated texture Depth): εκτίμηση του βάθους υφής σε χιλιοστά

MPD (Mean Profile Depth): μέσο βάθος κατανομής σε χιλιοστά

Με τη χρήση της σχέσης αυτής καθίσταται δυνατή η εκτίμηση του μέσου βάθους υφής μέσω του μέσου βάθους κατατομής, χωρίς να είναι απαραίτητη η μέτρηση με τη μέθοδο της κηλίδας άμμου σε όλο το μήκος της οδού. Τα εκτιμώμενα βάθη μακροϋφής τα οποία προκύπτουν από τη σχέση (3.3) μπορούν απευθείας να συγκριθούν με τα αντίστοιχα βάθη σε χιλιοστά που προκύπτουν από τη χρήση της κηλίδας άμμου. Ωστόσο, με έρευνες που έχουν γίνει (McGhee, Flintsch and de León Izepri) σε σχέση με την αξιοπιστία της παραπάνω σχέσης, έχει αποδειχθεί ότι η ακρίβεια που παρέχει εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες και δεν είναι πάντα ικανοποιητική.

3.5.4 Ελληνικά κριτήρια αξιολόγησης

Για τα τεχνικά έργα στην ελληνική οδοποιία που αφορούν κατασκευή οδοστρωμάτων, βρίσκονται σε ισχύ τεχνικές προδιαγραφές (ΕΤΕΠ) που τα όρια των δεικτών για την αξιολόγηση της υφής των οδοστρωμάτων. Ο ΕΛΟΤ ανέλαβε την υποχρέωση να επεξεργασθεί και να επικαιροποιήσει σύμφωνα με τα ισχύοντα Ευρωπαϊκά πρότυπα και κανονισμούς τις προδιαγραφές για την ελληνική πραγματικότητα.

Για την αξιολόγηση της υφής ισχύουν δύο διατάξεις οι οποίες αφορούν τον έλεγχο της μακροϋφής αμέσως μετά την παραλαβή του οδοστρώματος. Γίνεται η διάκριση ανάμεσα σε επιφάνεια οδοστρώματος με αντιολισθηρή στρώση σκυροδέματος ασφάλτου και σε επιφάνεια οδοστρώματος που έχει κατασκευασθεί με ασφαλική στρώση κλειστού τύπου.

Για τα οδοστρώματα που διαθέτουν επιφάνεια με αντιολισθηρή στρώση, το πρότυπο που ορίζει τις επιτρεπτές τιμές του δείκτη αξιολόγησης για την μακροϋφή είναι το σχέδιο ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-12-01. Το ασφαλικό σκυροδέμα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αντιολισθητικής στρώσης, είναι ασφαλτόμιγμα παραγόμενο και διαστρωνόμενο "εν θερμώ", αυστηρά ελεγχμένης σύνθεσης, από καθαρή ή τροποποιημένη με βελτιωτικά άσφαλο και σκληρά αδρανή υλικά.

Επίσης, το πρότυπο προβλέπει δύο τύπους ασφαλικού σκυροδέματος, τον Τύπο 1 που αποτελεί ασφαλικό σκυροδέμα πυκνής σύνθεσης και τον τύπο 2 που αποτελεί ασφαλικό

σκυρόδεμα ανοικτής σύνθεσης. Η αντιολισθηρή στρώση βρίσκει εφαρμογή σε οδοστρώματα οδών με υψηλά όρια ταχύτητας καθώς παρέχει ικανοποιητικά επιφανειακά χαρακτηριστικά ομαλότητας, ομοιομορφίας, αντίστασης σε ολίσθηση και επιφανειακής τραχύτητας.

Για την αξιολόγηση της μακροϋφής, ορίζεται ως μέθοδος μέτρησης η κηλίδα άμμου και ο αντίστοιχος δείκτης είναι το μέσο βάθος υφής (MTD). Η διαδικασία της μέτρησης γίνεται με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13036-1 το αργότερο 7 ημέρες μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και πριν το οδόστρωμα δοθεί στην κυκλοφορία. Οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται σε κάθε λωρίδα ανά 50m και να απέχουν από την αρχή του ερείσματος 50cm. Τα ελάχιστα όρια του δείκτη MTD είναι 1mm για στρώση κυκλοφορίας από ασφαλτικό σκυρόδεμα τύπου 1 και 1,5mm για στρώση κυκλοφορίας από ασφαλτικό σκυρόδεμα τύπου 2. Συνιστάται επίσης έλεγχος με προφιλόμετρο για τον προσδιορισμό του δείκτη MPD στο συνολικό μήκος του έργου και για όλες τις λωρίδες κυκλοφορίας, σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13473-1.

Για τα οδοστρώματα που η στρώση κυκλοφορίας έχει κατασκευαστεί από ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου ισχύει το σχέδιο ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-11-04. Οι ασφαλικές στρώσεις κλειστού τύπου συναντώνται συχνά στα ελληνικά έργα οδοστρωμάτων σε οδούς με χαμηλότερες λειτουργικές ταχύτητες και ως εκ τούτου τα όρια για την μακροϋφή είναι σαφώς πιο ελαστικά.

Όπως και στα οδοστρώματα με αντιολισθηρή στρώση έτσι και εδώ, η επιφανειακή τραχύτητα ελέγχεται με τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13036-1 το αργότερο 7 ημέρες μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής. Ανά 1000 μέτρα μήκους λωρίδας κυκλοφορίας (ή ανά λωρίδα κυκλοφορίας του δοκιμαστικού τμήματος) γίνονται δέκα μεμονωμένες μετρήσεις σύμφωνα με το ανωτέρω πρότυπο, πριν την απόδοση της οδού στην κυκλοφορία. Η μακροτραχύτητα σε κάθε σημείο μέτρησης με τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.6mm. Συνιστάται, τέλος, έλεγχος με προφιλόμετρο για τον προσδιορισμό του δείκτη MPD στο συνολικό μήκος του έργου και για όλες τις λωρίδες κυκλοφορίας, σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13473-1.

3.5.5 Ευρωπαϊκά κριτήρια αξιολόγησης

Στην Ευρώπη, η θέσπιση ορίων για τη μακροϋφή της επιφάνειας των οδοστρωμάτων δεν αποτελεί πρακτική της πλειονότητας των κρατών. Σε αντίθεση με την ομαλότητα, η οποία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, η υφή φαίνεται να αποτελεί παράγοντα δευτερευούσης σημασίας και τα όρια δεν είναι δεσμευτικά.

Το 2008, πραγματοποιήθηκε η δράση COST 354, με τη συμμετοχή 23 ευρωπαϊκών χωρών, η οποία είχε στόχο τη δημιουργία ενιαίων ορίων για την αξιολόγηση των οδοστρωμάτων. Στην έρευνα αυτή, λήφθηκαν υπόψιν τόσο οι ανάγκες των χρηστών των οδών, όσο και οι ανάγκες των οργανισμών που κατασκευάζουν και λειτουργούν τα έργα οδοποιίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία των ορίων στις τιμές της μακροϋφής για τα ευρωπαϊκά κράτη. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, δεν είναι πάγια τακτική όλων των χωρών της Ευρώπης η θέσπιση ορίων για την υφή των οδοστρωμάτων. Υπάρχουν κράτη που ορίζουν όρια βάσει νόμου (όπως λόγου χάρη η Τσεχία και η Κροατία) και υπάρχουν άλλα κράτη που χρησιμοποιούν τη μακροϋφή σαν δείκτη για την ποιότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος χωρίς να υπάρχει δέσμευση για ελάχιστο όριο.

Η έρευνα θέσπισε σαν δείκτη για αξιολόγηση της μακροϋφής τον δείκτη MPD, μετρημένο σε χιλιοστά. Στα τελικά αποτελέσματα υπάρχει ο συγκεντρωτικός πίνακας στον οποίο γίνεται η διάκριση ανάμεσα σε όρια για αυτοκινητοδρόμους και δευτερεύουσες οδούς, με βάση τα

οποία η κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος (σε επίπεδο μακροϋφής) χωρίζεται σε 5 επίπεδα. Ο πίνακας 3.1 αποτυπώνει τις τιμές των ορίων.

Πίνακας 3.1 Όρια μακροϋφής (Antunes et al., 2008)

Επίπεδα (καλό προς κακό)	MPD (mm)				
	1	2	3	4	5
Αυτοκινητόδρομοι και κύριες οδοί	1.25-1.06	1.06-0.87	0.87-0.68	0.68-0.49	0.49-0.30
Δευτερεύουσες και τοπικές οδοί	1.01-0.87	0.87-0.72	0.72-0.58	0.58-0.43	0.43-0.29

Όπως γίνεται κατανοητό από τον πίνακα 3.1, τα όρια στα οποία κατέληξε η παραπάνω έρευνα δεν αποτελούν θεσμικά όρια αλλά προτάσεις για την αξιολόγηση της υφής των οδοστρωμάτων. Στην Ευρώπη ωστόσο, υπάρχουν κράτη που θεσπίζουν ελάχιστα όρια για τα δημόσια έργα οδοστρωμάτων, βάσει νόμου, τα οποία αφορούν την μακροϋφή. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια από τα κράτη αυτά.

Πίνακας 3.2 Όρια μακροϋφής ευρωπαϊκών κρατών (Aavik, Kaal and Jentson, 2013, Rosta and Gáspár, 2023, Lakušić, 2018)

Χώρες	MPD (mm)	
	Αυτοκινητόδρομοι	Δευτερεύουσες οδοί
Εσθονία	0.40	0.30
Τσεχία	0.64	0.54

Με βάση τον πίνακα 3.2 διαφαίνεται ότι τα όρια που έχουν θεσπίσει οι χώρες αυτές είναι τα ελάχιστα που προέκυψαν από την έρευνα COST 354. Στην Εσθονία με έρευνα που ξεκίνησε το 2011 (Aavik, Kaal, Jentson, 2013) προτάθηκαν τα παραπάνω όρια για τη μακροϋφή και αργότερα εφαρμόστηκαν σαν εθνική προδιαγραφή. Οι τιμές για τον δείκτη MPD εξαρτώνται από το όριο ταχύτητας, συγκεκριμένα η τιμή 0.40 προκύπτει για όριο ταχύτητας 110 km/h ενώ η τιμή 0.30 για 70 km/h. Η Τσεχία καθορίζει και αυτή ελάχιστα όρια για την αξιολόγηση της υφής με την μορφή δεικτών κατάστασης. Για τον πίνακα 3.2 επιλέχθηκαν οι τιμές για την κατάσταση «αποδεκτή» (Rosta and Gáspár, 2023).

3.5.6 Κριτήρια αξιολόγησης ΗΠΑ

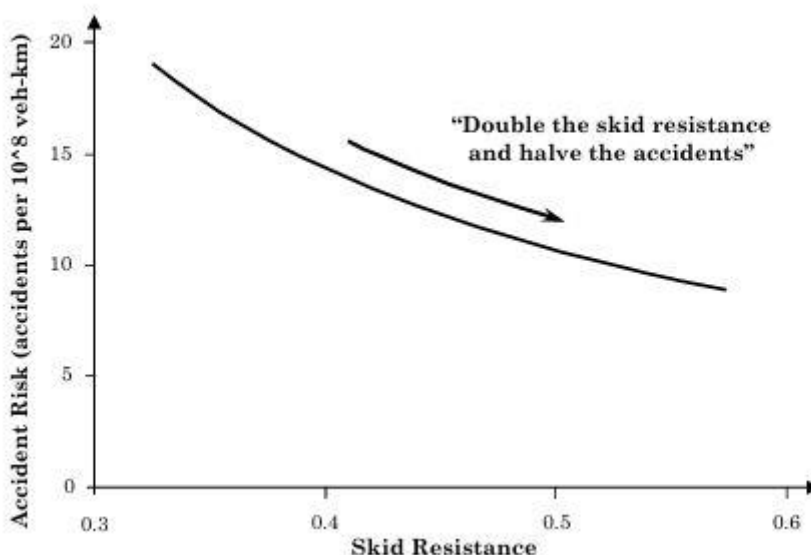
Μέχρι το 2021 δεν υπήρχε συγκεκριμένο θεσμικό πλαίσιο στις ΗΠΑ το οποίο να ορίζει όρια για τις μετρήσεις μακροϋφής. Το 2021 με πρωτοβουλία του National Cooperative Highways Research Project (NCHRP) ορίστηκαν προδιαγραφές για την αξιολόγηση της επιφανειακής υφής των οδοστρωμάτων. Τα όρια που προέκυψαν αναγνωρίστηκαν από τον AASHTO (AASHTO MP 48, PP 115, PP116). Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τη θέσπιση των ορίων αναγνώρισε τον δείκτη MPD ως τον πλέον διαδεδομένο, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί για τις μετρήσεις. Το οδικό δίκτυο διαχωρίστηκε με βάση το όριο ταχύτητας και ελέγχεται ξεχωριστά. Για οδούς με όριο ταχύτητας 50 mph (80 km/h) η τιμή του δείκτη MPD θα πρέπει να ξεπερνά τα 0.80 mm ενώ για οδούς με όριο ταχύτητας 70 mph (112 km/h) η τιμή του δείκτη MPD θα πρέπει να ξεπερνά το 1.0 mm (Tobias et al., 2023).

4. ΟΛΙΣΘΗΡΟΤΗΤΑ

4.1 Γενικά στοιχεία

Η ολισθηρότητα, ή αλλιώς η αντίσταση σε ολίσθηση (skid resistance), είναι ένα χαρακτηριστικό της επιφάνειας των οδοστρωμάτων το οποίο σχετίζεται με το συνολικό επίπεδο τριβής που είναι διαθέσιμο στο σημείο επαφής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Η αναπτυσσόμενη αυτή τριβή συναντάται σε όλες τις πιθανές κινήσεις ενός αυτοκινήτου, δηλαδή στην οδήγηση σε ευθεία πορεία, κατά την πέδηση και τους ελιγμούς που πιθανώς θα πραγματοποιήσει ο οδηγός (Yu et al., 2021).

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως η αξιολόγηση της ολισθηρότητας στο πλαίσιο της λειτουργίας του οδοστρώματος είναι ιδιαίτερα σημαντική, κυρίως για την οδική ασφάλεια. Η αντιολισθητική ικανότητα των οδοστρωμάτων έχει συνδεθεί με την πρόκληση οδικών ατυχημάτων, ενώ σχετίζεται και με τη σοβαρότητα αυτών (Yager et al., 2009) (βλ. Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1 Σχέση μεταξύ οδικών ατυχημάτων και συντελεστή ολίσθησης

Η ολισθηρότητα αναφέρεται συνήθως σε συνθήκες υγρού οδοστρώματος καθώς σε στεγνή επιφάνεια παρέχεται κατά κανόνα ένα ικανοποιητικό επίπεδο αντιολισθηρότητας (Λοΐζος & Πλατή 2021). Σε υγρή επιφάνεια οδοστρώματος, το στρώμα νερού που δημιουργείται ανάμεσα στο πέλμα του ελαστικού και την επιφάνεια του οδοστρώματος λειτουργεί σαν παράγοντας που μειώνει την τριβή. Σε μεγάλες ταχύτητες (ταχύτητες αυτοκινητοδρόμων) και με αυξημένο πάχος στρώματος νερού παρατηρείται αδυναμία στο χειρισμό του αυτοκινήτου λόγω απώλειας πρόσφυσης των τροχών.

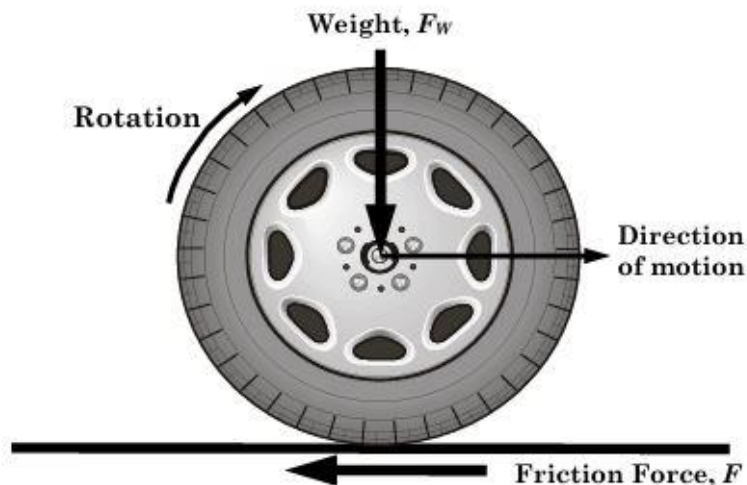
4.2 Συνιστώσες

Ο τρόπος με το οποίον εκφράζεται η αντίσταση σε ολίσθηση της επιφάνειας ενός οδοστρώματος, είναι η τριβή που δημιουργείται μεταξύ του πέλματος του ελαστικού και του οδοστρώματος. Η τριβή αυτή, ορίζεται ως η δύναμη που αντιστέκεται σε οποιαδήποτε κίνηση πραγματοποιείται μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος (Hall et al.,

2009). Προκύπτει τόσο από την απλή κύλιση των τροχών όσο και σε περιπτώσεις που οι τροχοί ολισθαίνουν.

Η δύναμη αντίστασης, όπως ονομάζεται, χαρακτηρίζεται από έναν αδιάστατο συντελεστή (μ), ο οποίος ονομάζεται συντελεστής τριβής. Υπολογίζεται από τις δυνάμεις που ασκούνται στον τροχό του αυτοκινήτου όταν αυτός περιστρέφεται και έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του οδοστρώματος. Σε ένα απλουστευμένο μοντέλο, όπως αυτό που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2, διαφαίνονται όλες οι δυνάμεις που δρουν στο ελαστικό την ώρα της κύλισης. Ο λόγος της δύναμης που δρα επαπτομενικά (F) προς την κάθετη δύναμη (F_w) δίνει την τιμή του συντελεστή τριβής σύμφωνα με την σχέση :

$$\mu = \frac{F}{F_w} \quad (4.1)$$



Εικόνα 4.2 Δυνάμεις που δρουν σε περιστρεφόμενο τροχό (Hall et al., 2009)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με βάση πολυάριθμες έρευνες που έχουν διεξαχθεί, ο συντελεστής τριβής επιδρά στην οδική ασφάλεια (Teekman, 2012). Βασικό συμπέρασμα όλων των ερευνών, είναι ότι με την αύξηση του συντελεστή τριβής παρατηρείται μείωση των οδικών ατυχημάτων και κυρίως μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων. Χαρακτηριστικό είναι το γράφημα της εικόνας 4.1.

Προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο της κύλισης και της ολίσθησης του ελαστικού επί της επιφάνειας του οδοστρώματος, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν οι ιδιότητες τόσο του ελαστικού όσο και του ασφαλτοτάπητα. Τέσσερις (4) βασικοί μηχανισμοί ενεργοποιούνται και συνεισφέρουν στο φαινόμενο της κύλισης του ελαστικού, λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιότητες των υλικών (Fwa, 2021) :

- Απώλεια πρόσφυσης
- Απώλεια υστέρησης
- Απώλεια συνοχής
- Απώλεια φθοράς

Για την απώλεια πρόσφυσης και υστέρησης, έχει γίνει αναφορά στο κεφάλαιο 3.1 της παρούσας εργασίας. Όσον αφορά την απώλεια συνοχής, σχετίζεται με τους ρύπους από την κυκλοφορία και το περιβάλλον, οι οποίοι επικάθονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος και δημιουργούν συνθήκες μειωμένης τριβής μεταξύ πέλματος ελαστικού και οδοστρώματος. Η απώλεια φθοράς έχει να κάνει με την επίδραση της κυκλοφορίας και την λείανση που

προκαλεί στα αδρανή του ασφαλοτάτητα κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η κατάλληλη αδρότητα άρα και επαρκής τριβή (Fwa, 2021).

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, προκύπτει ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται ο τελικός αριθμός ολίσθησης (Skid Number), ο οποίος είναι αντίστοιχος του (μ). Με την ακόλουθη σχέση :

$$SN_v = \frac{F}{F_w} = \frac{F_a + F_c + F_h + F_d}{F_w} \times 100 \quad (4.2)$$

Όπου :

SN_v: ο αριθμός ολίσθησης για όχημα που κινείται με ταχύτητα V

F_w: το φορτίου του τροχού κάθετα στην επιφάνεια του οδοστρώματος

F: η συνολική δύναμη αντίστασης στην κατεύθυνση κίνησης

F_a: δύναμη πρόσφυσης

F_c: δύναμη συνοχής

F_h: δύναμη υστέρησης

F_d: δύναμη αέρα και αντίστασης ρευστού

Η παραπάνω σχέση χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό της διαθέσιμης αντίστασης σε ολίσθηση σε διάφορες συνθήκες της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι συνθήκες αυτές αφορούν την ύπαρξη ή όχι νερού στη διεπιφάνεια μεταξύ ελαστικού και επιφάνειας του οδοστρώματος και διακρίνονται σε ξηρές συνθήκες, υγρές και συνθήκες πλημμυρισμένου οδοστρώματος. Ανάλογα την περίπτωση, ο μηχανισμός τριβής λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο και τα αποτελέσματα αλλάζουν δραματικά το ποσοστό της διαθέσιμης τριβής.

Σε στεγνό οδόστρωμα απαλλαγμένο από ρύπους (συνήθως σε περιπτώσεις που έχει προηγηθεί βροχόπτωση η οποία έχει απομακρύνει τα κατάλοιπα από την στρώση κυκλοφορίας), η αντίσταση σε ολίσθηση εξαρτάται κυρίως από την πρόσφυση και την υστέρηση των ελαστικών. Σε περιπτώσεις βρεγμένης επιφάνειας οδοστρώματος ισχύει το ίδιο με τη διαφορά ότι λόγω της ύπαρξης νερού στα κενά των αδρανών της στρώσης κυκλοφορίας η δύναμεις πρόσφυσης και υστέρησης είναι σαφώς μικρότερες.

Τέλος, όταν το οδόστρωμα φέρει στην επιφάνεια στρώμα νερού, δημιουργείται ένας επιπλέον υδροδυναμικός μηχανισμός ο οποίος μειώνει την τριβή. Πιο συγκεκριμένα, η επαφή του ελαστικού με το στρώμα νερού της επιφάνειας του οδοστρώματος έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πιέσεων, που με τη σειρά τους μειώνουν τις δυνάμεις πρόσφυσης και υστέρησης (Fwa, 2021).

Σαν γενικό συμπέρασμα, για το μηχανισμό της αντίστασης σε ολίσθηση, είναι βάσιμο να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία πολλών συνιστωσών. Οι δύο βασικότερες συνιστώσες που επιδρούν στην τριβή είναι οι δυνάμεις της πρόσφυσης και της υστέρησης, καθώς οι υπόλοιπες δυνάμεις θεωρούνται ασήμαντες και δεν υπολογίζονται (Hall et al., 2009).

4.3 Παράγοντες επίδρασης

Οι παράγοντες που επιδρούν στη δύναμη τριβής που αναπτύσσεται και κατ' επέκταση στην αντίσταση σε ολίσθηση της επιφάνειας του οδοστρώματος, σχετίζονται τόσο με τα χαρακτηριστικά της ασφαλικής στρώσης κυκλοφορίας όσο και με τα χαρακτηριστικά του οχήματος. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ομαδοποιηθούν στις εξής κατηγορίες ():

- Στα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος, τα οποία σχετίζονται με τις ιδιότητες του ασφαλτομίγματος και συγκεκριμένα με την υφή.
- Στις λειτουργικές παραμέτρους του εκάστοτε οχήματος, δηλαδή στην ταχύτητα ολίσθησης και κυρίως στην δύναμη πέδησης που μπορεί να προσφέρει.
- Στις ιδιότητες των ελαστικών, οι οποίες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την παρεχόμενη τριβή.
- Στις καιρικές συνθήκες λαμβάνοντας υπόψιν και τις εποχιακές διακυμάνσεις.
- Στα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας, τα οποία δύνανται να επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος σε βάθος χρόνου.

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό πως η διαδικασία αξιολόγησης της αντιολισθητικής ικανότητας ενός οδοστρώματος, είναι ένα πολυπαραγοντικό πρόβλημα. Απαιτείται, ιδανικά, ο πλήρης προσδιορισμός όλων των παραπάνω συνιστωσών για να καθοριστεί πλήρως και με ακρίβεια η αντίσταση σε ολίσθηση που προσφέρει ένα οδόστρωμα (Hall et al., 2009).

Αναλυτικότερα, για τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος και το πως επηρεάζουν την αντίσταση σε ολίσθηση, η ανάλυση αφορά κυρίως την υφή. Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, η υφή των οδοστρωμάτων χωρίζεται στην μικροϋφή, τη μακροϋφή και τη μεγαϋφή. Κάθε μια από αυτές, διαδραματίζει διαφορετικό ρόλο στο μηχανισμό της τριβής.

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, τις σημαντικότερες συνιστώσες για την τριβή, αποτελούν κυρίως η μικροϋφή και η μακροϋφή. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση μη ικανοποιητικής μακροϋφής και μικροϋφής η επιφάνεια του ελαστικού δεν έρχεται σε πλήρη επαφή με τα αδρανή του οδοστρώματος, ώστε να αναπτυχθούν οι συνιστώσες της πρόσφυσης και της υστέρησης και συνεπώς, η αντιολισθητική ικανότητα του οδοστρώματος είναι μειωμένη ή/και ανεπαρκής (Hall et al., 2009).

Σημαντικός είναι και ο ρόλος των αδρανών της επιφανειακής στρώσης κυκλοφορίας του οδοστρώματος. το σχήμα, το γωνιώδες και η σκληρότητα των αδρανών είναι παράγοντες που επηρεάζουν την παρεχόμενη τριβή μέσω της μακροϋφής και της μικροϋφής, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Ιδιαίτερη μέριμνα δίνεται στον έλεγχο των αδρανών πριν επιλεγούν για το τελικό ασφαλτόμιγμα, μέσω δύο βασικών ελέγχων:

- **Δοκιμή PSV (Polished Stone Value):** Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται στα χονδρόκοκκα αδρανή και ελέγχεται, μέσω αυτής, η αντοχή τους σε στίλβωση. Η αντίσταση στην στίλβωση αναφέρεται στην ικανότητα της επιφάνειας των αδρανών να μην λειώνονται από τη δράση των ελαστικών των οχημάτων (Λοΐζος & Πλατή, 2021). Η στίλβωση των αδρανών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο της αντίστασης σε ολίσθηση καθώς μειώνει την μικροϋφή (Rasol et al., 2021).

- **Δοκιμή απότριψης (Aggregate Abrasion Value - AAV):** Το μέγεθος των αδρανών, μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου εξαιτίας της κυκλοφορίας και η αρχική επιφανειακή στρώση χάνει τα αρχικά της χαρακτηριστικά (υφή). Η απώλεια αυτή λόγω τριβής εξαρτάται από την σκληρότητα των αδρανών, δηλαδή από την σκληρότητα του πετρώματος από το οποίο προέρχονται. Η αντίσταση των πετρωμάτων σε απότριψη υπό την επίδραση των ελαστικών των οχημάτων προσδιορίζεται με τη δοκιμή απότριψης (Λοΐζος & Πλατή, 2021).

Συμπερασματικά, λόγω της σταδιακής υποβάθμισης της υφής του οδοστρώματος, εξαιτίας της στίλβωσης και της απότριψης των αδρανών της στρώσης κυκλοφορίας, το συνολικό επίπεδο αντίστασης σε ολίσθηση μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.

Οι λειτουργικές παράμετροι των οχημάτων, διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην αντίσταση σε ολίσθηση. Ο βασικότερος παράγοντας είναι το σύστημα πέδησης που φέρει το αυτοκίνητο. Στα σύγχρονα οχήματα χρησιμοποιούνται πολλαπλά ηλεκτρονικά συστήματα πέδησης τα οποία έχουν σκοπό να διατηρούν στους τροχούς έναν ικανοποιητικό λόγο ολίσθησης, κοινώς να αποτρέπουν τους τροχούς από το να μπλοκάρουν. Αναλυτικά για τον λόγο ολίσθησης (μ), η κατάσταση ακινητοποιημένου τροχού (μπλοκαρισμένου) αντιστοιχεί σε $\mu=100\%$ και η κατάσταση ελεύθερης κύλισης σε $\mu=0$ (Hall et al., 2009). Συστήματα όπως το ABS (Anti-lock Braking System), το ESP (Electronic Stability Program) και το TCS (Traction Control System) ελέγχουν με αισθητήρες τυχόν απώλεια στην τριβή κάποιου τροχού και επεμβαίνουν με διαφορετικό τρόπο το καθένα.

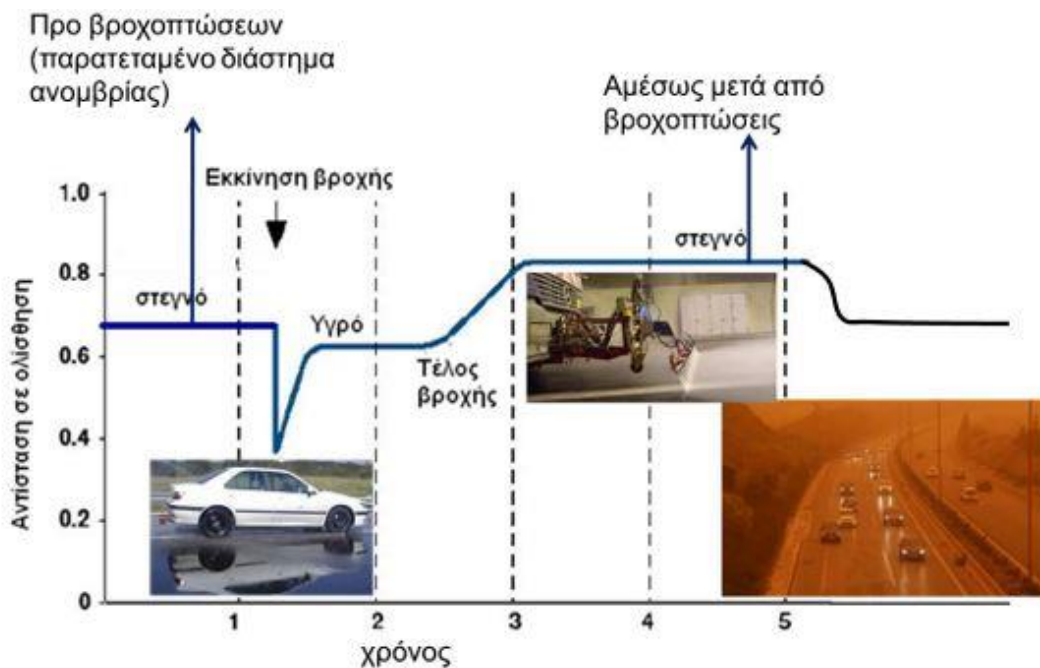
Ένας ακόμα παράγοντας που επιδρά στη συνολική αντίσταση στην τριβή, είναι οι ιδιότητες των ελαστικών των οχημάτων. Το υλικό του πέλματος, η σκληρότητα, η θερμοκρασία, οι διαστάσεις, η πίεση πλήρωσης και κυρίως οι αυλακώσεις που φέρει το ελαστικό διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο επίπεδο αντίστασης σε ολίσθηση. Ο σχεδιασμός του πέλματος του ελαστικού σε συνδυασμό με την ύπαρξη των αυλακώσεων είναι τα δύο χαρακτηριστικά που εξασφαλίζουν την απομάκρυνση του νερού σε συνθήκες βρεγμένου οδοστρώματος. Το νερό παγιδεύεται στις αυλακώσεις και απομακρύνεται από την επιφάνεια του ελαστικού, γεγονός που αυξάνει την τριβή και βοηθάει στην μείωση της ολίσθησης. Η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το ελαστικό, εναλλάσσεται ανάλογα την εποχή με αποτέλεσμα οι ιδιότητες του υλικού να διαφέρουν. Αλλάζει εν τέλει η σκληρότητα εξαιτίας της θερμοκρασιακής διακύμανσης και με τη σειρά της η τριβή πέδησης δεν είναι πάντα η ίδια (Hall et al., 2009).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν επίσης να επηρεάσουν την αντιολισθητική ικανότητα των οδοστρωμάτων. Η θερμοκρασία του αέρα, η βροχή και ο παγετός είναι οι βασικότεροι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στο ποσοστό της παρεχόμενης τριβής μεταξύ πέλματος ελαστικού και επιφάνειας οδοστρώματος. Πιο αναλυτικά, αναφέρονται τα εξής στοιχεία:

- **Θερμοκρασία περιβάλλοντος:** Με βάση σχετικές έρευνες που έχουν διεξαχθεί (Rasol et al., 2021, Hall et al., 2009) η διακύμανση της θερμοκρασίας, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αντιολισθητική ικανότητα των οδοστρωμάτων. Η ασφαλτος του ασφαλτομίγματος και τα ελαστικά των οχημάτων αποτελούν ιξωδοελαστικά υλικά, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται άμεσα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Συμπερασματικά, η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει την αντίσταση σε ολίσθηση καθώς μειώνεται το ιξώδες, αυτός είναι και ο λόγος που οι περισσότερες μετρήσεις προσδιορισμού της αντίστασης σε ολίσθηση γίνονται καλοκαίρι προκειμένου να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα με τον μικρότερο δυνατό δείκτη για την τριβή.

- **Βροχή:** Κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης, η επιφάνεια του οδοστρώματος συσσωρεύει νερό με τη μορφή στρώματος. Το στρώμα αυτό δρα σαν λιπαντικός παράγοντας μεταξύ του πέλματος του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα να

μειώνεται η παρεχόμενη τριβή. Το φαινόμενο αυτό είναι πρακτικά αμελητέο για ταχύτητες μικρότερες των 30 km/h, ενώ γίνεται ιδιαίτερα σημαντικό όταν οι ταχύτητες ξεπεράσουν τα 60 km/h. Όταν το στρώμα νερού γίνει αρκετά παχύ, είναι πιθανό να παρατηρηθεί το φαινόμενο της υδρολίστεσης. Η υδρολίστεση περιγράφεται ως η ολίσθηση του τροχού πάνω σε στρώμα νερού το οποίο δημιουργείται από τις πιέσεις στο νερό εξαιτίας της πίεσης του ελαστικού του οχήματος. Η ολίσθηση του ελαστικού στερεί την δυνατότητα για πέδηση και την πραγματοποίηση ελιγμών. Επίσης, το φαινόμενο της βροχοπτώσεως έχει και μακροπρόθεσμη επίδραση στην αντίσταση σε ολίσθηση. Μετά από βροχοπτώσεις έχει παρατηρηθεί αύξηση της αντιολισθητικής ικανότητας των οδοστρωμάτων, καθώς το νερό παρασύρει τα κατάλοιπα της κυκλοφορίας και τους ρύπους από τα κενά των αδρανών, γεγονός το οποίο επαναφέρει την μακροϋφή και τη μικροϋφή της επιφάνειας του οδοστρώματος (Λοΐζος & Πλατή, 2021). Η διακύμανση εξαιτίας της βροχής, φαίνεται στην εικόνα 4.3.



Εικόνα 4.3 Αντίσταση σε ολίσθηση και βροχοπτώση

- **Παγετός** : Αποτελεί την πιο επικίνδυνη κατάσταση για την πραγματοποίηση ελιγμών και για πέδηση των τροχών, καθώς η ύπαρξη χιονιού ή πάγου στην επιφάνεια του οδοστρώματος, μειώνει στο ελάχιστο την αντιολισθητική ικανότητα (Hall *et al.*, 2009). Ο πλήρης προσδιορισμός του μηχανισμού επίδρασης του παγετού στην μείωση της αντιολισθητικής ικανότητας δεν έχει προσδιοριστεί επακριβώς, ωστόσο πειραματικές έρευνες έχουν δείξει ότι η εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία της ασφάλτου σε συνδυασμό με τον υμένα νερού που δημιουργείται όταν ο πάγος φτάνει κοντά στο σημείο τήξης, είναι οι δύο βασικότεροι παράγοντες.

Τέλος, οι κυκλοφοριακές συνθήκες δύνανται να επηρεάσουν την αντίσταση σε ολίσθηση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Όταν το οδόστρωμα παραδίδεται στην κυκλοφορία, παρατηρείται σχετικά μικρή αντίσταση σε ολίσθηση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ασφάλτο που καλύπτει τα κενά των αδρανών και μειώνει την παρεχόμενη μικροϋφή και μακροϋφή (Λοΐζος & Πλατή, 2021). Με την πάροδο του χρόνου και την επίδραση της κυκλοφορίας, επέρχεται η αποκόλληση της περίσσειας ασφάλτου από τα κενά των αδρανών και η επιφάνεια αποκτά σταδιακά επαρκή αντίσταση σε ολίσθηση. Έχει παρατηρηθεί ότι το οδόστρωμα αποκτά τη μέγιστη αντίσταση σε ολίσθηση στα πρώτα δύο χρόνια λειτουργίας του. Από εκεί και μετά, λόγω των φαινομένων της απότριψης και της στίλβωσης των αδρανών η αντίσταση σε ολίσθηση σταδιακά μειώνεται.

4.4 Μέθοδοι μέτρησης της αντίστασης σε ολίσθηση

4.4.1 Γενικά

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της αντίστασης σε ολίσθηση μιας επιφάνειας ενός οδοστρώματος, είναι ποικίλες, ενώ κάθε μια από αυτές μετρά διαφορετικούς παράγοντες, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να μην είναι άμεσα συγκρίσιμες. Το βασικό χαρακτηριστικό όλων των μεθόδων, είναι ότι βασίζονται ουσιαστικά στην ίδια αρχή μέτρησης, δηλαδή, τη μέτρηση της αντίστασης που αναπτύσσει το ελαστικό όταν αφήνεται να ολισθήσει σε μια υγρή επιφάνεια οδοστρώματος, υπό την επιβολή συγκεκριμένου κάθετου φορτίου. Η προκύπτουσα τριβή μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος καταγράφεται όσο το κάθετο επιβαλλόμενο φορτίο παραμένει σταθερό.

Για την κατηγοριοποίηση των συστημάτων μέτρησης της αντίστασης σε ολίσθηση, λαμβάνεται υπόψιν η τοποθεσία στην οποία θα γίνει η μέτρηση. Έτσι, τα συστήματα χωρίζονται σε αυτά που χρησιμοποιούνται στο πεδίο και σε αυτά που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.3, οι παράγοντες που δύνανται να επηρεάσουν την αντίσταση σε ολίσθηση, είναι πολυάριθμοι. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί επίσης πολυάριθμα συστήματα και τεχνικές για τις μετρήσεις. Συνολικά υπάρχουν περισσότερα από 15 διαφορετικά συστήματα μέτρησης της αντίστασης σε ολίσθηση (Andriejauskas, Vorobjovas, Mielonas, 2014) με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Διαφορετικά είναι και τα αποτελέσματα τα οποία παράγουν, κάνοντας την άμεση σύγκριση των διαφορετικών μετρήσεων ιδιαίτερα δύσκολη.

4.4.2 Συσκευές συνεχούς μέτρησης στο πεδίο

Οι συσκευές συνεχούς μέτρησης στο πεδίο, μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω σε δύο υποκατηγορίες, την μέθοδο μπλοκαρισμένου τροχού και μέθοδο γωνιακού δοκιμαστικού τροχού (Λοΐζος & Πλατή, 2021). Όσον αφορά την πρώτη από αυτές, περιλαμβάνει τρεις μεθόδους μέτρησης όπως αναλύεται παρακάτω :

- **Μέθοδος ακινητοποιημένου τροχού** : Τα συστήματα που ανήκουν στην κατηγορία αυτή, φέρουν ειδικό τροχό, λείο ή με ραβδώσεις, ο οποίος κινείται κατά την διεύθυνση κίνησης του οχήματος και ανά χρονικά διαστήματα παρεμποδίζεται πλήρως. Τα συστήματα αυτά προσομοιώνουν την απότομη πέδηση χωρίς το σύστημα ABS. Μετρούν τη δύναμη αντίστασης και το φορτίο το οποίο εφαρμόζεται στον τροχό και τα χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής μ . Η αντιολισθητική ικανότητα εκφράζεται με τη δύναμη τριβής (FN- friction number) ή με τον αριθμό αντιολισθητικής ικανότητας (SN- Slip Number). Το βασικό πρότυπο με το οποίο γίνονται οι μετρήσεις είναι το ASTM E274 και τα συνήθη μέσα είναι το skid trailer (Εικόνα 4.4) και το Γαλλικό ADHERA.



Εικόνα 4.4 ASTM E274 skid trailer

• **Μέθοδος σταθερής ολίσθησης:** Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν τα συστήματα τα οποία ως αρχή λειτουργίας έχουν την σταθερή ολίσθηση, σε μια τάξη του 10% με 20%. Αυτό σημαίνει ότι ο τροχός που φέρουν διαθέτει συνήθως υδραυλικό σύστημα πέδησης, με αποτέλεσμα να έχει γωνιακή ταχύτητα μικρότερη της ελεύθερης περιστροφής. Ο τροχός ολισθαίνει και κινείται με μια ταχύτητα που αποτελεί ποσοστό της ταχύτητας του οχήματος που το ρυμουλκεί. Η μέθοδος αυτή προσομοιάζει σε έναν βαθμό τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS). Όπως και στην προηγούμενη κατηγορία, η αντιολισθητική ικανότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος αναφέρεται δύναμη τριβής (FN-Friction Number) ή αριθμός αντιολισθητικής ικανότητας (SN-Slip Number). Δημοφιλή συστήματα που χρησιμοποιούν την μέθοδο της σταθερής ολίσθησης είναι το Grip Tester (Εικόνα 4.5), το ROAR, το Airport Surface Friction Tester (ASFT).



Εικόνα 4.5 Grip Tester

- **Μέθοδος κυμαινόμενης ολίσθησης:** Με τα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται καλύτερη προσομοίωση του συστήματος ABS, καθώς το ποσοστό της ολίσθησης του τροχού, μεταβάλλεται κατά της διάρκεια της μέτρησης. Το βασικό πρότυπο με το οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις είναι το ASTM E1859, ενώ στην κατηγορία ανήκουν το Γαλλικό IMAG (Εικόνα 4.6) , το νορβηγικό Norsemeter RUNAR και τα συστήματα ROAR και SALTAR. Οι τιμές που παρέχονται είναι FN.



Εικόνα 4.6 Γαλλικό IMAG

Η μέθοδος κύλισης των τροχών υπό γωνία (μέθοδος γωνιακού δοκιμαστικού τροχού) μετρά την ικανότητα ενός οχήματος να διατηρεί τον έλεγχο σε καμπύλες. Κατά την διάρκεια της μέτρησης, μετράται η πλευρική δύναμη που δέχεται ο τροχός και η οποία ασκείται κάθετα στο επίπεδο περιστροφής του. Αυτό που υπολογίζει η συσκευή είναι ο αριθμός Mu-Meter (MuN) ή συνηθέστερα τον συντελεστή πλευρικής δύναμης SFC.

Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις τόσο σε ευθεία τμήματα όσο και σε καμπύλα, χωρίς να διακοπεί η διαδικασία των μετρήσεων. Ωστόσο, μειονεκτούν σημαντικά στο κομμάτι των ανωμαλιών του οδοστρώματος (λακκούβες και ρωγμές) καθώς είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα. Στην κατηγορία αυτή ανήκει το σύστημα SCRIM (Εικόνα 4.7) και το βρετανικό Mu Meter τα οποία πραγματοποιούν μετρήσεις με βάση το πρότυπο ASTM E670.



Εικόνα 4.7 Σύστημα SCRIM

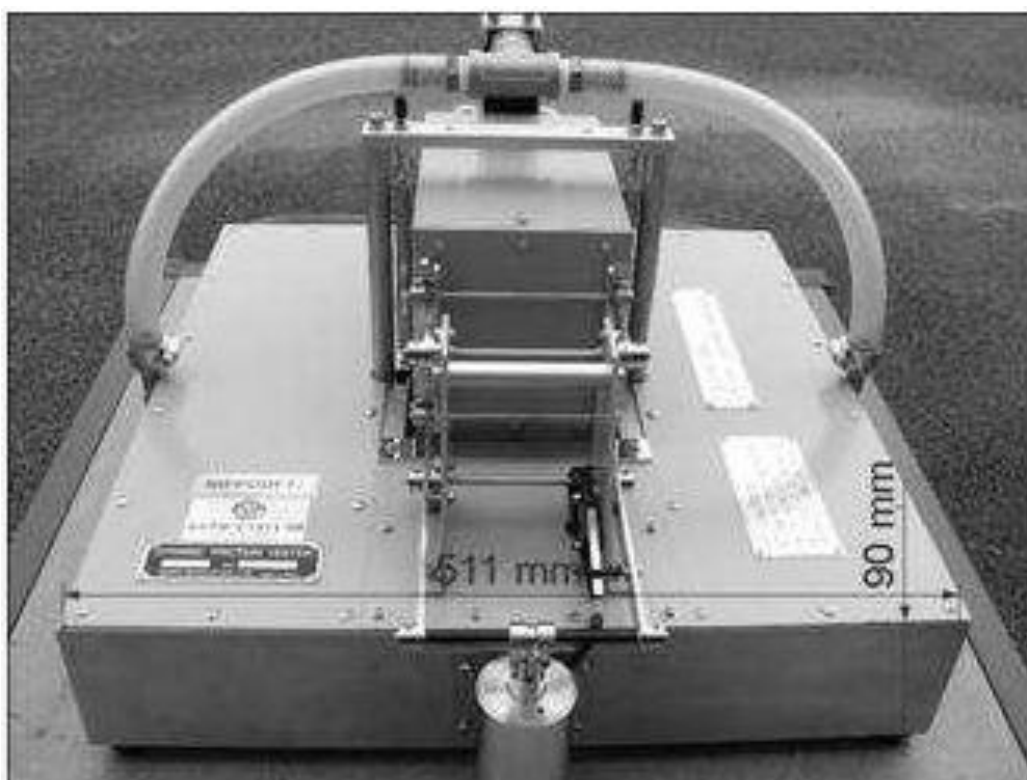
4.4.3 Στατικές συσκευές μέτρησης

Οι στατικές συσκευές μέτρησης, χρησιμοποιούνται συνήθως στο εργαστήριο, με δοκίμια που έχουν συλλεχθεί από το πεδίο. Η χρήση τους μπορεί να γίνει και στο πεδίο, ωστόσο είναι απαραίτητο να διακοπεί προσωρινά η κυκλοφορία, για αυτό το λόγο δεν είναι συνηθισμένη πρακτική. Οι πλέον διαδεδομένες στατικές συσκευές μέτρησης είναι το βρετανικό εκκρεμές (BPT) το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.8 και η συσκευή δυναμικής τριβής (Dynamic Friction Tester-DFT) η οποία παρουσιάζεται στην εικόνα 4.9. Αναλυτικότερα για κάθε συσκευή αναφέρονται τα εξής:

- **ΒΡΤ εκκρεμές:** Η φορητή συσκευή ΒΡΤ χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό δεικτών αντολισθητικής ικανότητας και έχει συνδεθεί με τη μικροϋφή των αδρανών στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Βρίσκει εφαρμογή σε μετρήσεις τόσο της διαμήκουσ όσο και της πλευρικής τριβής, ενώ παρέχει τον αριθμό βρετανικού εκκρεμούς (BPN). Για τη διαδικασία των μετρήσεων ακολουθούνται το πρότυπο ASTM E303.



Εικόνα 4.8 Βρετανικό εκκρεμές (BPT)



Εικόνα 4.9 Δυναμικός μετρητής τριβής (DFT-Dynamic Friction Tester)

- **Δοκιμή Δυναμικής Τριβής DFT:** Μετρά τη δύναμη τριβής (με τη μορφή μέτρησης ροπής) μεταξύ επιφάνειας οδοστρώματος και τριών ελαστικών επιφανειών που είναι τοποθετημένες επί του οργάνου. Οι επιφάνειες αυτές περιστρέφονται με ταχύτητα από 5 έως 89 km/h, ενώ η παροχή νερού κατά τη διάρκεια της δοκιμής είναι 3.6 l/min. Η ταχύτητα περιστροφής και

το κατακόρυφο φορτίο μετρούνται ηλεκτρονικά. Το πρότυπο που χρησιμοποιείται για τις δοκιμές είναι το ASTM E1911.

4.5 Μέθοδοι αξιολόγησης αντίστασης σε ολίσθηση

4.5.1 Γενικά

Από την εποχή που τέθηκε για πρώτη φορά ζήτημα ασφάλειας, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος, η αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση, θεωρήθηκε σημαντικός παράγοντας. Η γέννηση της αυτοκινητοβιομηχανίας μαζικής παραγωγής τη δεκαετία του 1910 προκάλεσε την ραγδαία αύξηση εμπορικών και επιβατικών οχημάτων στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη, μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο. Η ζήτηση για πιο ομαλές και ανθεκτικές ασφαλτοστρωμένες οδούς για να υποστηρίξουν ταξίδια με μεγαλύτερες ταχύτητες οδήγησε στην αύξηση του μεγέθους των οδικών δικτύων, με αποτέλεσμα οι επαγγελματίες των μεταφορών να μάθουν πολύ γρήγορα ότι η οδική ασφάλεια ήταν ένα κρίσιμο ζήτημα που δεν μπορούσαν να αγνοήσουν (Fwa, 2021).

Η ανάπτυξη συστημάτων για τη μέτρηση της αντίστασης σε ολίσθηση, ξεκίνησε ήδη από τη δεκαετία του 1920 στην Αγγλία, η οποία αποτέλεσε και την πρώτη Ευρωπαϊκή χώρα που έθεσε όρια για την αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση με κρατική πρωτοβουλία (Halton Borough Council Environment Department Highways Division, 2006). Η σημαντικότερη πρόοδος στις μεθόδους αξιολόγησης της παρεχόμενης τριβής στην επιφάνεια του οδοστρώματος, ήρθε μετά τις εκτενείς πειραματικές δοκιμές πλήρους κλίμακας που πραγματοποιήθηκαν στις ΗΠΑ τη δεκαετία του 1960 από τη NASA (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος) και την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας (FAA). Σημαντικές γνώσεις για τους μηχανισμούς της ολίσθησης και της υδρολίσθησης των οχημάτων αποκτήθηκαν μέσω πειραματικών μετρήσεων που περιλάμβαναν διαφορετικά ελαστικά, πάχη υδάτινου φιλμ και τύπους οδοστρώματος.

Οι επιδράσεις των χαρακτηριστικών των ελαστικών, της επιφάνειας του οδοστρώματος και του πάχους του υδάτινου πλαισίου αναγνωρίστηκαν επαρκώς. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970 είχαν περιγραφεί σε ικανοποιητικό βαθμό οι επιδράσεις των τριών αυτών παραγόντων.

Η προαναφερθείσα κατανόηση των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς αντίστασης σε ολίσθηση του οδοστρώματος, προήλθε ουσιαστικά από πειραματικές μελέτες και επιτόπιες μετρήσεις. Λόγω της έλλειψης θεωρητικών και υπολογιστικών εργαλείων για την επίλυση της δυναμικής αλληλεπίδρασης ελαστικού-οδοστρώματος, η έρευνα και οι μελέτες που διεξήχθησαν έως τις αρχές της δεκαετίας του 2000 περιορίστηκαν σε μεγάλο βαθμό σε εργαστηριακές και επιτόπιες πειραματικές εργασίες.

Πολλές εμπειρικές σχέσεις έχουν προκύψει βασισμένες στα πειραματικά δεδομένα. Η εγγενής ανεπάρκεια των εμπειρικών σχέσεων έχει σε μεγάλο βαθμό περιορίσει την ικανότητα της κοινότητας των μηχανικών οδοστρωμάτων να προβλέπει την αντίσταση ολίσθησης του οδοστρώματος υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας των οχημάτων. Οι προαναφερθέντες περιορισμοί μπορούν σε μεγάλο βαθμό να αντιμετωπιστούν με την επίλυση του προβλήματος της αντίστασης σε ολίσθηση του οδοστρώματος με μηχανιστικό τρόπο. Αυτό κατέστη δυνατό στις αρχές της δεκαετίας του 2000 με την εμφάνιση υψηλής ταχύτητας και υψηλής χωρητικότητας υπολογιστικών συστημάτων (Fwa, 2021) με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των πολυάριθμων συστημάτων που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα.

Σε αντίθεση με την ομαλότητα και την επιφανειακή υφή, η αντίσταση σε ολίσθηση της επιφάνειας των οδοστρωμάτων αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο, όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Το γεγονός ότι δεν εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος αλλά και από τις ιδιότητες των ελαστικών και τις περιβαλλοντικές και κυκλοφοριακές συνθήκες (Λοΐζος & Πλατή, 2021) καθιστά την αξιολόγηση της ιδιαίτερα δύσκολη. Τα διάφορα συστήματα που υπάρχουν για την πραγματοποίηση των μετρήσεων και τη συλλογή δεδομένων παράγουν διαφορετικούς δείκτες με βάση τις διαφορετικές παραμέτρους που ελέγχουν στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

Οι δείκτες αυτοί δεν είναι άμεσα συγκρίσιμοι μεταξύ τους, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα στην δημιουργία ορίων και επιτρεπτών τιμών για την αντίσταση στην ολίσθηση. Σαν συμπέρασμα γίνεται σαφές ότι στην περίπτωση της αντίστασης σε ολίσθηση της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, η αξιολόγηση δεν μπορεί να περιλαμβάνει, εκ των πραγμάτων, θέσπιση μιας μόνο μεθόδου όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τη χρήση του δείκτη IRI στην αξιολόγηση της ομαλότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος. όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις και τακτικές για τον τρόπο με τον οποίο αξιολογείται η αντίσταση σε ολίσθηση.

Κατά καιρούς έχουν γίνει προσπάθειες εναρμόνισης των συστημάτων μέτρησης του συντελεστή τριβής ώστε τα αποτελέσματά τους να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Η πιο σημαντική προσπάθεια έγινε από την PIARC το 1992 με μια εκτενή έρευνα που αποσκοπούσε στην εναρμόνιση των τότε διαθέσιμων συστημάτων μέτρησης της αντιολισθητικής ικανότητας ώστε να γίνουν δυνατές οι συγκρίσεις και να ανοίξει ο δρόμος για την εφαρμογή ενός ενιαίου πλαισίου για την αξιολόγηση.

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε έλαβαν μέρος 16 χώρες και τα πειράματα έγιναν σε διάφορες τοποθεσίες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη με περισσότερα από 51 διαφορετικά συστήματα μέτρησης. Το βασικό αποτέλεσμα της έρευνας ήταν η ανάπτυξη του διεθνούς δείκτη τριβής IFI (International Friction Index) ο οποίος τυποποίησε την εξάρτηση της αντιολισθητικής ικανότητας και της ταχύτητας ολίσθησης του ελαστικού έτσι ώστε όλα τα αποτελέσματα από οποιαδήποτε συσκευή να μπορούν να συγκριθούν με αυτόν. Ο δείκτης αυτός περιγράφεται και υπολογίζεται από δύο συνιστώσες:

- Την τιμή $F(60)$: Δείκτης τριβής IFI
- S_p : Η ταχύτητα της δοκιμής

Σε αντίθεση με τον δείκτη IRI για την ομαλότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο δείκτης IFI δεν χρησιμοποιείται κατά κανόνα στα διάφορα πρότυπα, όπως θα δειχθεί παρακάτω.

4.5.2 Μέθοδοι αξιολόγησης

Για τη διαχείριση της οδικής ασφάλειας, έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς και σε πολλές χώρες διεθνώς πλαίσια με στρατηγικές και οδηγίες για την επιτόπου καταγραφή δεδομένων αντιολισθητικής ικανότητας με σκοπό την αξιολόγηση της. Η σωστή και έγκαιρη αξιολόγηση είναι απαραίτητη για την πρόληψη των οδικών ατυχημάτων που οφείλονται στη μη επαρκή αντιολισθητική ικανότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η θέσπιση των διεθνών και ενιαίων ορίων είναι, εκτός από ιδιαίτερα δύσκολη, πρακτικά ανούσια καθώς οι παράγοντες που συντελούν στην αντίσταση σε ολίσθηση δεν αφορούν αποκλειστικά το οδόστρωμα το οποίο αξιολογείται. Η αξιολόγηση γίνεται με διαφορετικό τρόπο διεθνώς και περιλαμβάνει πολυάριθμες και μεταξύ τους

διαφορετικές διαδικασίες. Σαν κοινή βάση, σε όλες σχεδόν τις χώρες που προβλέπεται η αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση, τα στοιχεία προέρχονται από μετρήσεις σε υγρά οδοστρώματα και τα συμπεράσματα για τις οριακές επιτρεπτές τιμές προκύπτουν από την ανάλυση στατιστικών στοιχείων που αφορούν οδικά ατυχήματα (Rasol et al., 2021).

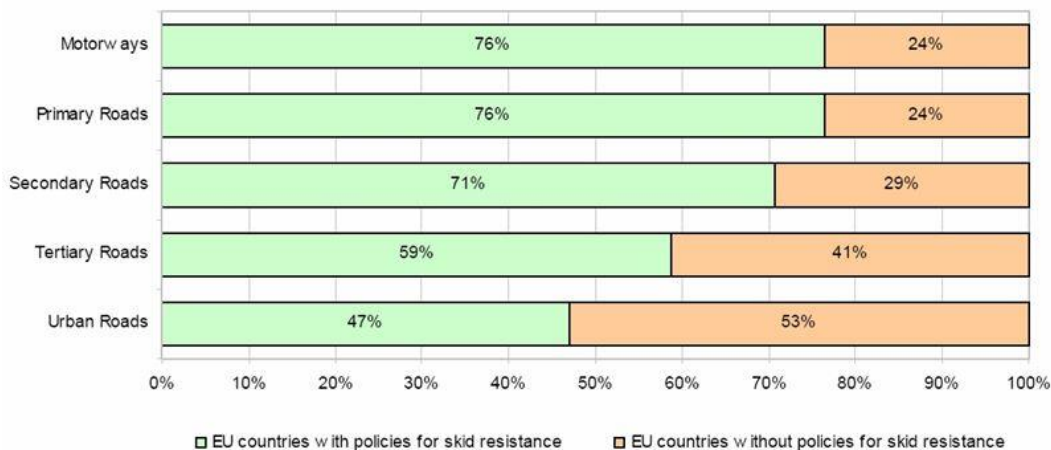
Η πιο διαδεδομένη διαδικασία για την αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση είναι η εφαρμογή δύο οριακών τιμών που αφορούν διαφορετικά επίπεδα απώλειας της αντιολισθητικής ικανότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι οριακές επιτρεπτές τιμές προκύπτουν από την μελέτη των στατιστικών δεικτών για τα οδικά ατυχήματα που συνδέονται με την αντίσταση σε ολίσθηση (Andriėjauskas, Vorobjovas and Mielonas, 2014). Τα δύο αυτά επίπεδα αξιολόγησης, είναι τα εξής:

- **Επίπεδο διερεύνησης (Investigatory level):** Είναι το επίπεδο του ορίου αντίστασης σε ολίσθηση, σύμφωνα με το οποίο οι αρχές και οι διαχειριστές των οδικών δικτύων, πρέπει να λάβουν μέτρα παρακολούθησης της αντιολισθητικής ικανότητας και των ποσοστών ατυχημάτων στους αυτοκινητόδρομους με σκοπό τον σχεδιασμό πλάνων για μελλοντικές επεμβάσεις με χαρακτήρα αποκατάστασης ή συντήρησης.

- **Επίπεδο επέμβασης (intervention level) :** Είναι το επίπεδο στο οποίο η αντίσταση σε ολίσθηση είναι ήδη αρκετά χαμηλή. Σε αυτό το επίπεδο, η άμεση δράση (π.χ., διαδικασίες συντήρησης και αποκατάστασης) συνιστάται έντονα να ληφθεί από τις οδικές αρχές για να παρέχουν ασφαλείς συνθήκες οδήγησης στους χρήστες των οδών (Rasol et al., 2021).

Αρχίζοντας με τα έργα οδοποιίας στην Ελλάδα, οι δημόσιες αρχές που ασχολούνται με την διαχείριση των οδικών δικτύων δεν έχουν θεσπίσει κάποιο ενιαίο και επίσημο πλαίσιο με το οποίο γίνεται η αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, το εργαστήριο οδοστρωμάτων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) με τις έρευνες που έχει πραγματοποιήσει, παρέχει ορισμένα προτεινόμενα όρια με βάση τις μετρήσεις με το σύστημα Grip Tester.

Τα όρια αυτά δίνονται με τη μορφή του GN (Grip Number) που αποτελεί μια ποσοτική έκφραση της ολισθηρότητας. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός του GN, τόσο καλύτερη είναι η αντιολισθητική ικανότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος. Στην Ευρώπη, το μεγαλύτερο ποσοστό των χωρών που ανήκουν στην Ευρωπαϊκή ένωση έχουν θεσπίσει μεθόδους με τις οποίες ελέγχουν την αντίσταση σε ολίσθηση στα οδικά δίκτυα. Περίπου το 75% των χωρών αυτών έχουν ορίσει ελάχιστα όρια επιτρεπτών τιμών για τους δείκτες οι οποίοι περιγράφουν την αντίσταση σε ολίσθηση όσον αφορά τους αυτοκινητόδρομους, ενώ το περίπου το 70% έχει όρια και για δευτερεύουσες οδούς. Στην Εικόνα 4.10 φαίνονται τα αντίστοιχα στατιστικά (Scharnigg, et all, 2011).



Εικόνα 4.10 Ποσοστά ύπαρξης ορίων και προτύπων για την διαχείριση της αντιολισθητικής ικανότητας στην ΕΕ (Scharnigg, et all, 2011).

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των μεθόδων, είναι ότι τα όρια των ελάχιστων τιμών καθορίζονται με βάση στατιστικά στοιχεία που αφορούν τα ατυχήματα τα οποία σχετίζονται με την ολισθηρότητα και με βάση μελέτες ρίσκου για επικίνδυνες θέσεις (Andriejauskas, et all, 2014). Οι μετρήσεις για τη συλλογή δεδομένων γίνονται κατά κανόνα κατά την περίοδο μεταξύ άνοιξης και φθινοπώρου για τους λόγους που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 4.1. Σημαντικό παράγοντα για την αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση αποτελεί ο σκοπός για τον οποίο πραγματοποιείται. Δύο είναι οι περιπτώσεις στις οποίες οι χώρες πραγματοποιούν τους ελέγχους:

- **Παραλαβή έργου οδοστρωμάτων(acceptance tests):** Κατά την παραλαβή ενός νέου οδοστρώματος, ελέγχεται η επάρκεια της αντιολισθητικής ικανότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται λίγους μήνες μετά την παράδοση του έργου στην κυκλοφορία προκειμένου η περίσσεια ασφάλτου να έχει απομακρυνθεί από τα κενά των αδρανών και οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές.
- **Έλεγχος κατά τη λειτουργία:** Η πραγματοποίηση ελέγχων για τον καθορισμό της αντιολισθητικής ικανότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος, όσο λειτουργεί το έργο οδοποιίας, είναι συνηθισμένη τακτική αρκετών Ευρωπαϊκών χωρών. Σκοπό έχει τη διαχείριση των κινδύνων που προκαλεί η ολισθηρότητα και τον σχεδιασμό σχεδίων αποκατάστασης αν κριθεί απαραίτητο. Επιπρόσθετα, οι μετρήσεις κατά τη λειτουργία των οδικών δικτύων αποσκοπούν και στη συλλογή δεδομένων για την εξέλιξη των μεθόδων αξιολόγησης της αντίστασης σε ολίσθηση. Η συχνότητα με την οποία γίνονται οι έλεγχοι κυμαίνεται από μία φορά το χρόνο έως μία κάθε τέσσερα ή και πέντε χρόνια, ανάλογα την κατηγορία της οδού (Andriejauskas, Vorobjovas, Mielonas, 2014).

Όσον αφορά τις προδιαγραφές, τις τιμές των ορίων και τα συστήματα που χρησιμοποιούν τα Ευρωπαϊκά κράτη παρατηρείται μια ανομοιογένεια. Υπάρχουν παραπάνω από 15 διαφορετικά ενεργά συστήματα μέτρησης, με τους αντίστοιχους δείκτες που εξάγουν, τα οποία επιλέγονται για την αξιολόγηση. Τα δημοφιλέστερα από αυτά είναι το σύστημα SCRIM, το pendulum SRT και το Grip Tester. Οι τιμές των ορίων για τα δύο επίπεδα ελέγχου που περιεγράφηκαν παραπάνω (Investigatory level, intervantion level) δίνονται με πολυάριθμους δείκτες ανάλογα την πολιτική κάθε χώρας.

Όπως και στην περίπτωση της μακροϋφής, έτσι και στην ολισθηρότητα, μια προσπάθεια δημιουργίας ενιαίων τιμών και μεθόδων για την αξιολόγηση της αντιολισθητικής ικανότητας αποτέλεσε η δράση COST 354 το 2008. Με βάση τα όρια και τους τρόπους μέτρησης που όρισε η έρευνα, πολλές χώρες διαμόρφωσαν τα εθνικά τους πρότυπα, όσον αφορά την

αντίσταση σε ολίσθηση. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας τα οποία αφορούν αυτοκινητόδρομους και κύριες οδούς.

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα COST 354 για την αντίσταση σε ολίσθηση

Επίπεδα (καλό προς κακό)	1	2	3	4	5
SFC (60 km/h)	0.64-0.58	0.58-0.52	0.52-0.47	0.47-0.41	0.41-0.35
LFC (50 km/h)	0.67-0.60	0.60-0.53	0.53-0.46	0.46-0.38	0.38-0.31

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.1, χρησιμοποιούνται δύο δείκτες για την αξιολόγηση της αντιολισθητικής ικανότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος. ο δείκτης SFC (Sideway friction coefficient) αφορά συνήθως το αποτέλεσμα της μέτρησης από σύστημα SCRIM που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο στην Ευρώπη. Ο δείκτης LFC (Longitudinal friction coefficient) προκύπτει από συστήματα μέτρησης ακινητοποιημένου τροχού ή τροχού που ολισθαίνει και για την Ευρώπη χρησιμοποιείται αρκετά το σύστημα Grip Tester.

Μερικές χώρες που αποτελούν παραδείγματα πλήρους εφαρμογής πλαισίου για την αξιολόγηση και παρακολούθηση της αντίστασης σε ολίσθηση που προσφέρουν οι επιφάνειες των οδοστρωμάτων, είναι το Ηνωμένο βασίλειο και η Ουγγαρία.

Συγκεκριμένα, στο Ηνωμένο βασίλειο, η υπεύθυνη αρχή για τη διαχείριση του οδικού δικτύου έχει ορίσει την διαδικασία για την αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση (Halton Borough Council Environment Department Highways Division, 2006). Με βάση το πλαίσιο που ορίζουν οι Αγγλικές προδιαγραφές οι μετρήσεις για την αξιολόγηση της αντιολισθητικής ικανότητας πραγματοποιούνται κάθε χρόνο στο υπάρχων οδικό δίκτυο. Το σύστημα που χρησιμοποιείται, είναι το SCRIM με ταχύτητα 50 km/hr και εξάγεται ο δείκτης CSC, ο οποίος είναι ένας συντελεστής ολίσθησης που με την διαδικασία που παράγεται εμπεριέχει διορθώσεις για την εποχιακή διακύμανση της αντίστασης σε ολίσθηση (Rasol et al., 2021). Ο έλεγχος γίνεται στην κατηγορία οδών που περιέχει τους αυτοκινητόδρομους και τις κύριες οδούς.

Στην Ουγγαρία η αξιολόγηση της αντίστασης σε ολίσθηση πραγματοποιείται για τη συλλογή δεδομένων και όχι σαν μέτρο για τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος. Οι μετρήσεις γίνονται σε αυτοκινητόδρομους και κύριες οδούς στις περιπτώσεις που το δίκτυο είναι νέο ή ανακατασκευασμένο και σε χρονική απόσταση τριών μηνών από την παράδοση στην κυκλοφορία. Το σύστημα που εφαρμόζεται για τις μετρήσεις στο πεδίο είναι το SCRIM με ταχύτητα 50 km/hr και τα δεδομένα λαμβάνονται από όλες τις λωρίδες σε απόσταση 0.8m-1.2m από την δεξιά άκρη της κάθε λωρίδας (Rosta & Gáspár, 2023). Συγκεντρωτικά, τα όρια των ελάχιστων τιμών για τους δείκτες των συντελεστών τριβής των τριών χωρών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

**Πίνακας 4.2 Ελάχιστες τιμές δεικτών αντίστασης σε ολίσθηση Ευρωπαϊκών χωρών
(Rosta and Gáspár, 2023, Rasol et al., 2021)**

Χώρα	Δείκτης	Όριο	Κατηγορία οδού
Ηνωμένο Βασίλειο	CSC	35	Αυτοκινητόδρομοι υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων
		30	Αυτοκινητόδρομοι χαμηλών κυκλοφοριακών φόρτων
Ουγγαρία	SFC	0.80	Αυτοκινητόδρομοι με >3000 οχήματα/ημέρα (hot rolled)
		0.80	Αυτοκινητόδρομοι με διασταυρώσεις και κλίσεις >5% (hot rolled)
		0.75	Αυτοκινητόδρομοι με >3000 οχήματα/ημέρα (Asphalt concrete)
		0.70	Κύριες οδοί (hot rolled)
		0.70	Αυτοκινητόδρομοι με διασταυρώσεις και κλίσεις > 5% (Asphalt concrete)
		0.64	Κύριες οδοί (Asphalt concrete)
		0.50	Αυτοκινητόδρομοι με >3000 οχήματα/ημέρα (hot rolled)- υφιστάμενο οδόστρωμα
		0.50	Αυτοκινητόδρομοι με >3000 οχήματα/ημέρα (Asphalt concrete)- υφιστάμενο οδόστρωμα
		0.45	Αυτοκινητόδρομοι με διασταυρώσεις και κλίσεις >5% (hot rolled)- υφιστάμενο οδόστρωμα
		0.45	Αυτοκινητόδρομοι με διασταυρώσεις και κλίσεις > 5% (Asphalt concrete)- υφιστάμενο οδόστρωμα
		0.40	Κύριες οδοί (hot rolled)- υφιστάμενο οδόστρωμα
		0.40	Κύριες οδοί (Asphalt concrete)-υφιστάμενο οδόστρωμα

Τέλος, στις ΗΠΑ η διαδικασία της αξιολόγησης της αντίστασης σε ολίσθηση είναι διαφορετική σε κάθε μια από τις πολιτείες. Στις περισσότερες από αυτές χρησιμοποιούνται συστήματα μπλοκαρισμένου τροχού όπως το ASTM E274 trailer, το οποίο πραγματοποιεί τις μετρήσεις με ταχύτητα 64 km/hr (40 mph) και αποδίδει τον αριθμό Skid Number (SN). Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια όρια πολιτειών.

Πίνακας 4.3 Ελάχιστες τιμές δεικτών αντίστασης σε ολίσθηση ΗΠΑ (Rasol et al., 2021)

Πολιτεία	Οργανισμός Εποπτείας	Κατηγορία οδού	Δείκτης	Τιμή
Αϊντάχο	Idaho Dot	Αυτοκινητόδρομοι	SN40S	30
Ιλινόι	Illinois Dot	Αυτοκινητόδρομοι	SN40R	30
Κεντάκι	Kentucky Dot	Αυτοκινητόδρομοι	SN40R	28
Νέα Υόρκη	New York Dot	Αυτοκινητόδρομοι	SN40R	32
Τέξας	Texas Dot	Αυτοκινητόδρομοι	SN40R	30
Οχάιο	Ohio Dot	Αυτοκινητόδρομοι	SN40R	32
			SN40S	23
Μέριλαντ	Maryland State Highway Agency	Διαχωρισμένες οδοί	SN40R	30
		Μη διαχωρισμένες οδοί	SN40R	25

5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

5.1 Εισαγωγή

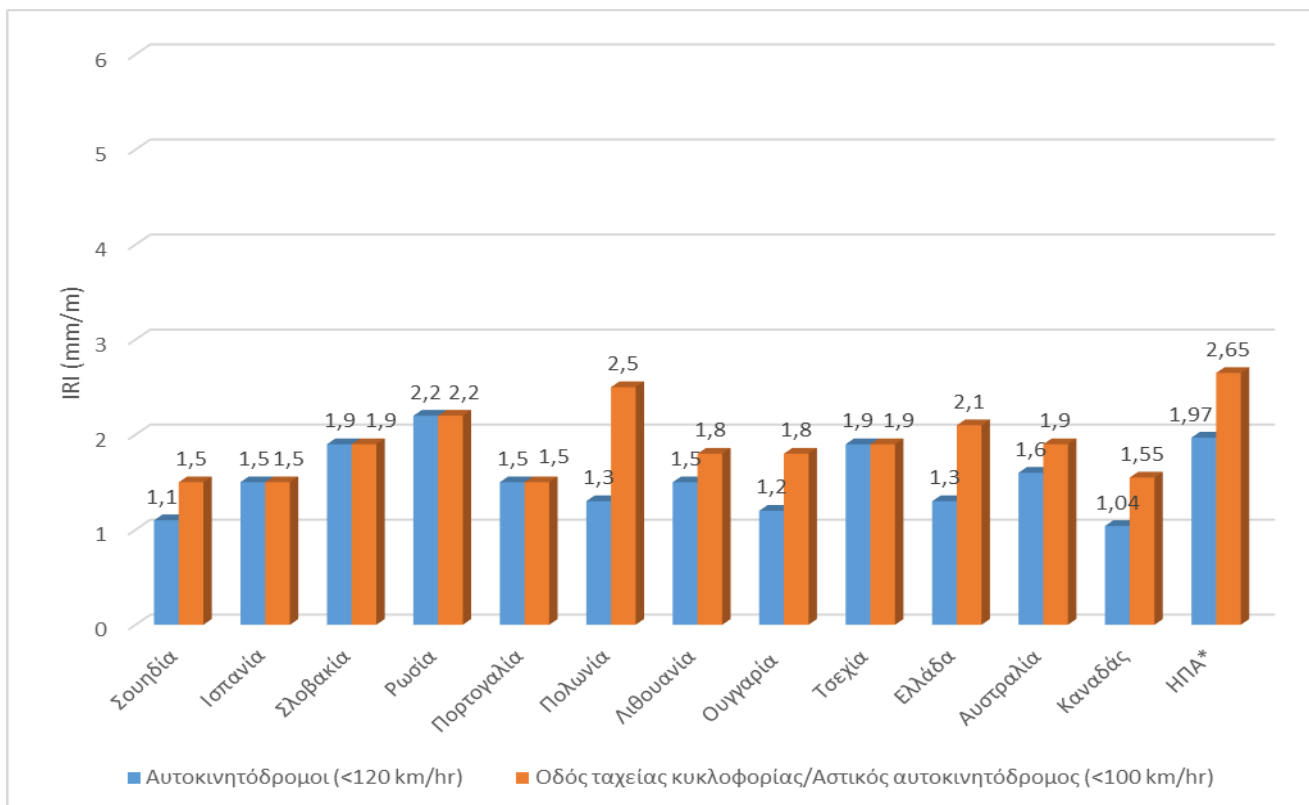
Η τυποποίηση των μεθόδων αξιολόγησης της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, έχει οδηγήσει τις υπεύθυνες αρχές των έργων οδοστρωμάτων σε όλον τον κόσμο, να θεσπίσουν διαφορετικές προσεγγίσεις όσον αφορά τον τρόπο ελέγχου. Με τη δημιουργία των διεθνών δεικτών για την αξιολόγηση της ομαλότητας, της υψής και εν μέρει της ολισθηρότητας, τα διάφορα κράτη στον κόσμο έχουν θεσπίσει ελάχιστες και μέγιστες τιμές με βάση τα όσα αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Όμως μια συγκριτική ανάλυση με σκοπό την ανάδειξη των διαφορετικών ορίων για καθένα από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, θα είχε νόημα μόνο αν η διαδικασία αξιολόγησης, άρα και ο αντίστοιχος δείκτης, αποτελούσαν κοινή τακτική για όλες τις εξεταζόμενες χώρες.

Στην περίπτωση της ομαλότητας, η χρήση του δείκτη IRI, είναι η επικρατέστερη μέθοδος αξιολόγησης σε παγκόσμιο επίπεδο. Ως εκ τούτου, η σύγκριση των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών που χρησιμοποιούν οι διάφορες αρχές των έργων οδοστρωμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο είναι εφικτή. Επιπρόσθετα, οι έλεγχοι επάρκειας της υψής γίνονται σχεδόν αποκλειστικά με τη διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη MPD, επίσης σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η σύγκριση λοιπόν και στην περίπτωση αυτή, αποκτά νόημα και καθίσταται δυνατή. Αντίθετα, όσον αφορά την αντιολισθητική ικανότητα της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, μια τέτοια συγκριτική ανάλυση παρουσιάζει αρκετές τεχνικές δυσκολίες. Όπως έγινε σαφές στο κεφάλαιο 4, η ολισθηρότητα αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό φαινόμενο το οποίο αξιολογείται δύσκολα και οι τρόποι με τους οποίους πραγματοποιούνται οι έλεγχοι είναι πολυάριθμοι. Το ίδιο ισχύει και για τους δείκτες αξιολόγησης, με τις διάφορες ελεγκτικές αρχές ανά τον κόσμο να έχουν θεσπίσει ποικίλα διαφορετικά πρότυπα και πρωτόκολλα χρησιμοποιώντας εντελώς διαφορετικά συστήματα μετρήσεων. Γίνεται αντιληπτό πως μια διαδικασία σύγκρισης των ελάχιστων τιμών για τους δείκτες της αντιολισθητικής ικανότητας δεν παρουσιάζει ουσιαστικό αποτέλεσμα όταν οι δείκτες αυτοί είναι μεταξύ τους διαφορετικοί.

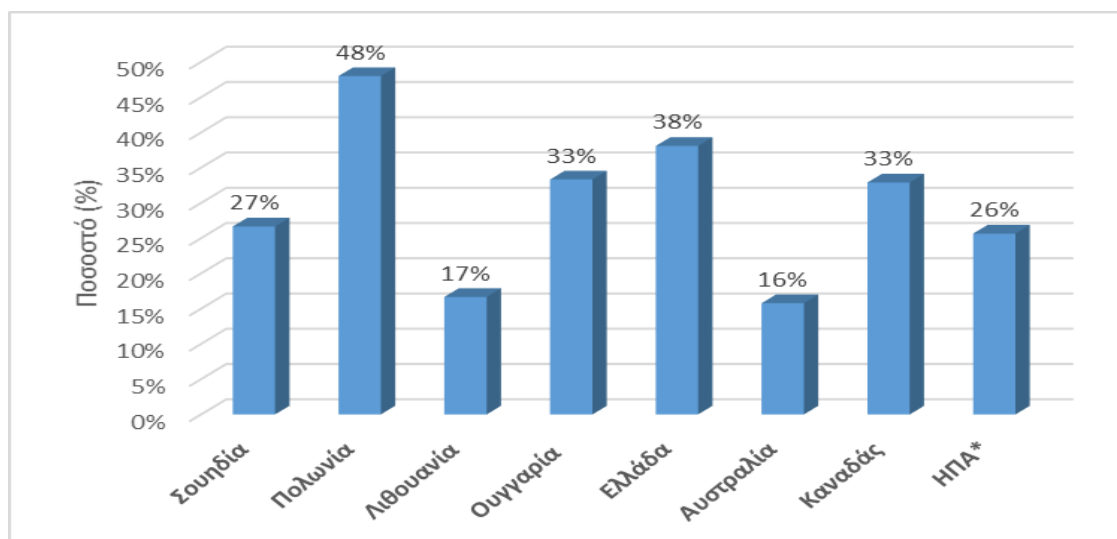
5.2 Δείκτης IRI

Με βάση τα στοιχεία των πινάκων 2.1 έως 2.4, παρουσιάζονται στις Εικόνες 5.1 και 5.3 συγκεντρωτικά οι μέγιστες επιτρεπτές τιμές για τον δείκτη IRI στις χώρες που εξετάστηκαν στο κεφάλαιο 2. Οι προαναφερθείσες χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, δεν έχουν τα ίδια κριτήρια βάσει των οποίων κατηγοριοποιούν τις οδούς και επιλέγουν τη μέγιστη τιμή για τον δείκτη IRI. Στην προκειμένη περίπτωση, για την κατηγοριοποίηση των οδών και τις περαιτέρω συγκριτικές αναλύσεις λαμβάνεται υπόψιν ο ΟΜΟΕ Χ, όπου διακρίνονται οι κατηγορίες: Αυτοκινητόδρομοι και οδοί ταχείας κυκλοφορίας. Η θεώρηση αυτή αποτελεί εύλογη παραδοχή καθώς η συντριπτική πλειοψηφία των εξεταζόμενων χωρών χρησιμοποιεί το όριο ταχύτητας ως βασικό κριτήριο για την επιλογή των επιτρεπτών ορίων ομαλότητας. Έτσι, κατά ΟΜΟΕ Χ εξετάζονται οι αυτοκινητόδρομοι με όριο ταχύτητας έως 120 km/h και οι οδοί ταχείας κυκλοφορίας με όριο ταχύτητας 100 km/h. Βασική διαφοροποίηση επίσης αποτελεί ο τύπος του οδοστρώματος που εξετάζεται. Η Εικόνα 5.1 αφορά νέα εύκαμπτα οδοστρώματα τα οποία ελέγχονται κατά την παραλαβή τους.



Εικόνα 5.1 Σύγκριση μέγιστων τιμών IRI για νέα οδοστρώματα
 *Επιλέχθηκαν οι λιγότερο αυστηρές μέγιστες τιμές από όλες τις πολιτείες.

Στη συνέχεια, στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζονται οι διαφορές στις μέγιστες τιμές του δείκτη IRI μεταξύ αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας για νέα οδοστρώματα (για όσες χώρες υπάρχει διαφοροποίηση των ορίων στις δύο κατηγορίες οδών), εκφρασμένες σε ποσοστό επί τοις εκατό.

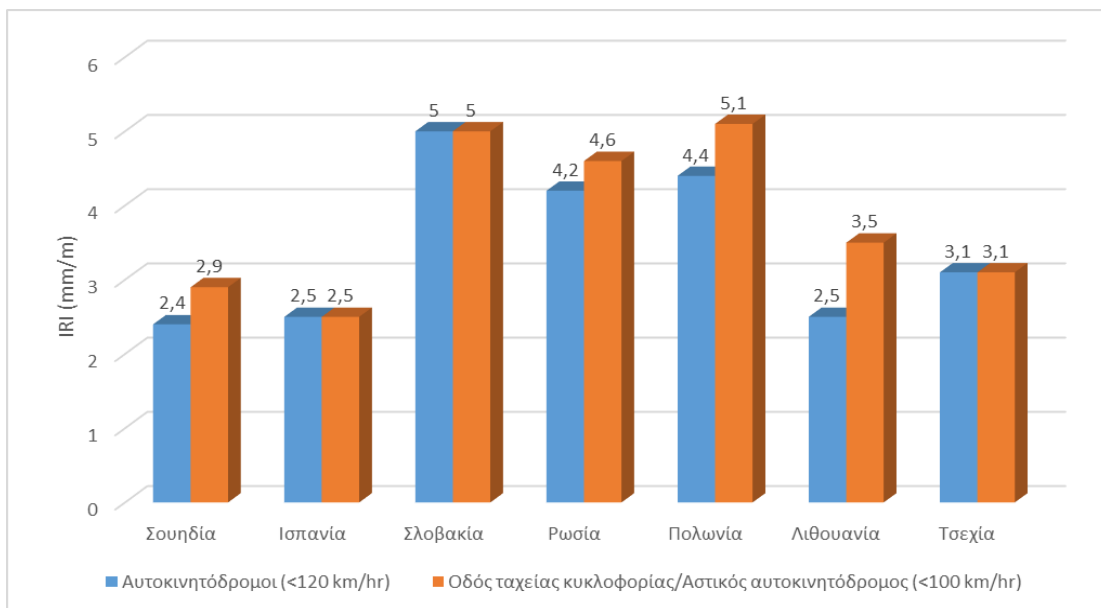


Εικόνα 5.2 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας για νέα οδοστρώματα

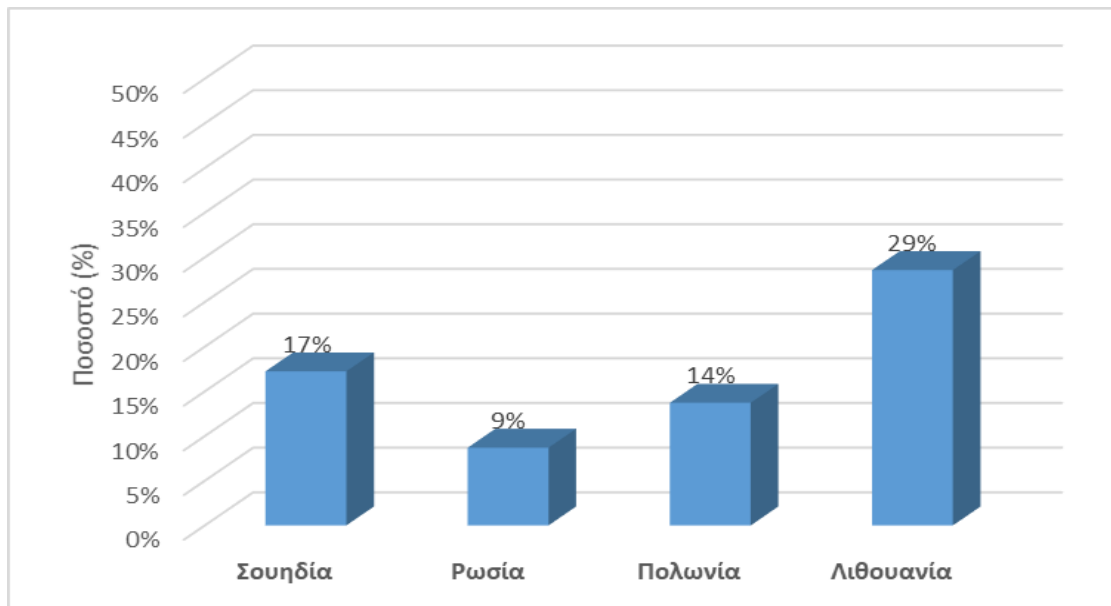
Από την Εικόνα 5.1 παρατηρείται ότι τα πιο αυστηρά όρια για τον δείκτη IRI υιοθετεί ο Καναδάς και η Σουηδία, όσον αφορά τους αυτοκινητόδρομους. Μάλιστα η Σουηδία χρησιμοποιεί και από τα μικρότερα μήκη αναφοράς (μόλις 20m) με βάση τον πίνακα 2.2, γεγονός που καθιστά τους ελέγχους ιδιαίτερα ακριβείς. Μια ακόμα παρατήρηση αποτελεί το

γεγονός ότι σε 5 από τις 13 υπό εξέταση χώρες (Ισπανία, Σλοβακία, Ρωσία, Πορτογαλία, Τσεχία,) οι τιμές παραμένουν ίδιες τόσο για τους αυτοκινητόδρομους όσο και για τις οδούς ταχείας κυκλοφορίας γεγονός που πιθανώς οφείλεται στη μικρή διαφορά στα όρια ταχύτητας μεταξύ των δύο κατηγοριών των οδών. Όσον αφορά την Εικόνα 5.2, φαίνεται πως η Πολωνία δίνει ιδιαίτερη έμφαση στους αυτοκινητόδρομους σε σχέση με τις οδούς ταχείας κυκλοφορίας, εφαρμόζοντας αρκετά πιο αυστηρά όρια για τον δείκτη IRI. Η Πολωνία σαν χώρα φαίνεται πως διαθέτει σχετικά νέο οδικό δίκτυο ενώ δίνει ιδιαίτερη φροντίδα στην οδική ασφάλεια (κατέκτησε το διεθνές βραβείο οδικής ασφάλειας για το έτος 2023). Αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει και τις αυστηρότερες διατάξεις για την ομαλότητα στους αυτοκινητοδρόμους σε σχέση τις οδούς ταχείας κυκλοφορίας, καθώς σε οδούς με μεγάλο όριο ταχύτητας τα ατυχήματα έχουν σοβαρότερες συνέπειες. Έτσι με πιο αυστηρά όρια για τον δείκτη IRI η οδική ασφάλεια ενισχύεται.

Στην Εικόνα 5.3 αποτυπώθηκαν οι μέγιστες επιτρεπτές τιμές για τον δείκτη IRI που αφορούν υφιστάμενα οδοστρώματα ενώ στην Εικόνα 5.4 φαίνονται οι διαφορές στα όρια μεταξύ αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας, επίσης για υφιστάμενα οδοστρώματα. Όπως και στην περίπτωση των νέων οδοστρωμάτων, από το διάγραμμα παραλείφθηκαν οι χώρες οι οποίες χρησιμοποιούν κοινά όρια για αυτοκινητόδρομους και οδούς ταχείας κυκλοφορίας (Ισπανία, Σλοβακία και Τσεχία).



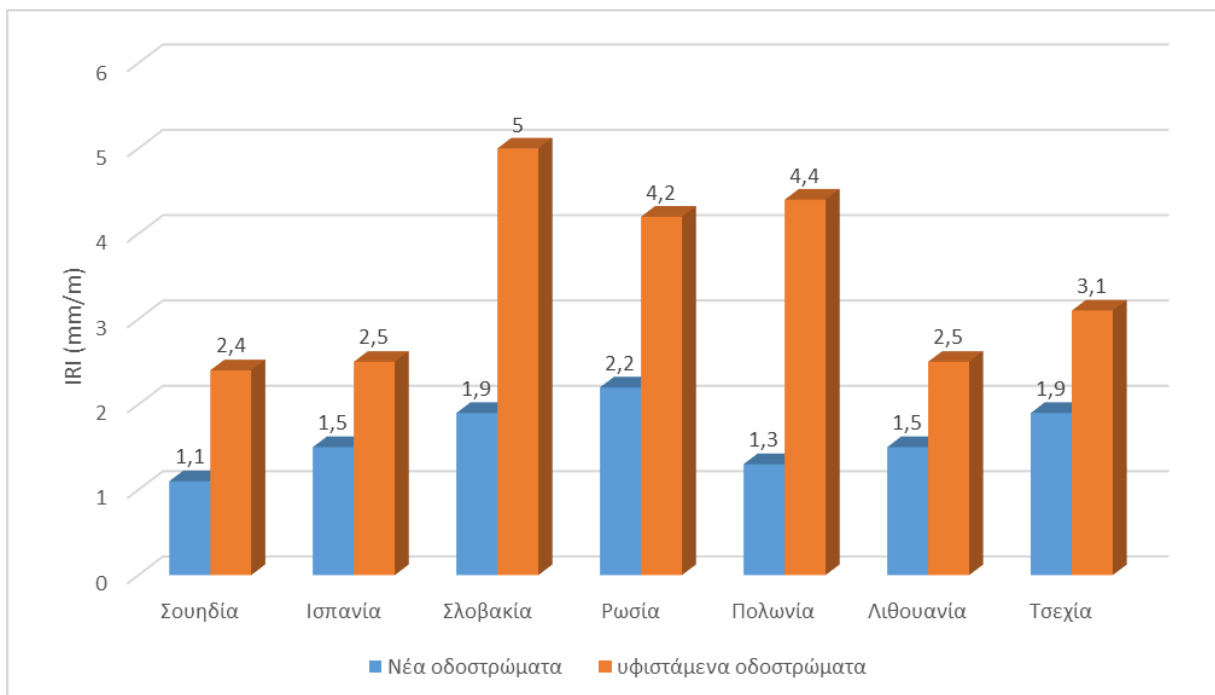
Εικόνα 5.3 Σύγκριση τιμών IRI για υφιστάμενα οδοστρώματα



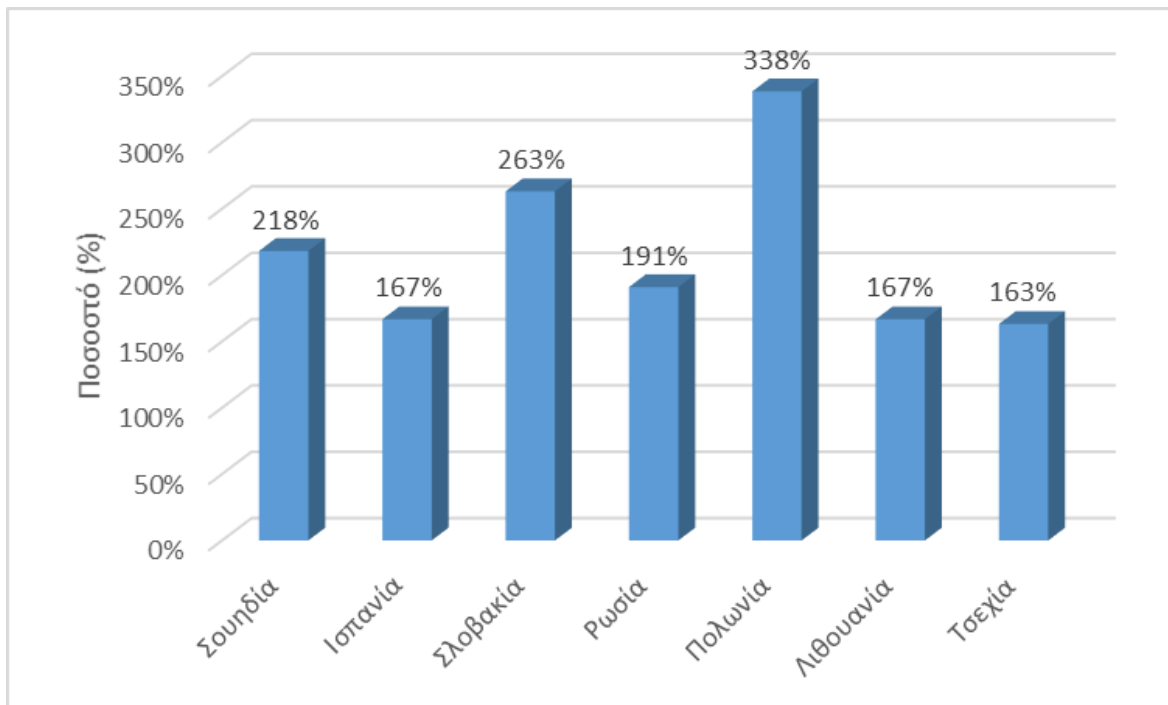
Εικόνα 5.4 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας για υφιστάμενα οδοστρώματα

Με βάση την Εικόνα 5.3, η Σουηδία χρησιμοποιεί και για τα υφιστάμενα οδοστρώματα αυστηρά όρια σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες που εξετάζονται. Από την Εικόνα 5.4 παρατηρείται ένα εύρος διαφορών στις μέγιστες του IRI 9%-29%.

Μια άλλη προσέγγιση στις συγκρίσεις για τα όρια του δείκτη IRI που ισχύουν σε κάθε χώρα θα ήταν να εξεταστούν οι μέγιστες τιμές με κοινό γνώμονα τον τύπο της οδού αυτή τη φορά. Ανάλογα την κατάσταση του οδοστρώματος (νέου ή υφιστάμενου), στην Εικόνα 5.5 παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές που αφορούν τους αυτοκινητοδρόμους, ενώ στην εικόνα 5.6, επίσης για τους αυτοκινητόδρομους, παρουσιάζονται οι διαφορές στις μέγιστες τιμές του δείκτη IRI.



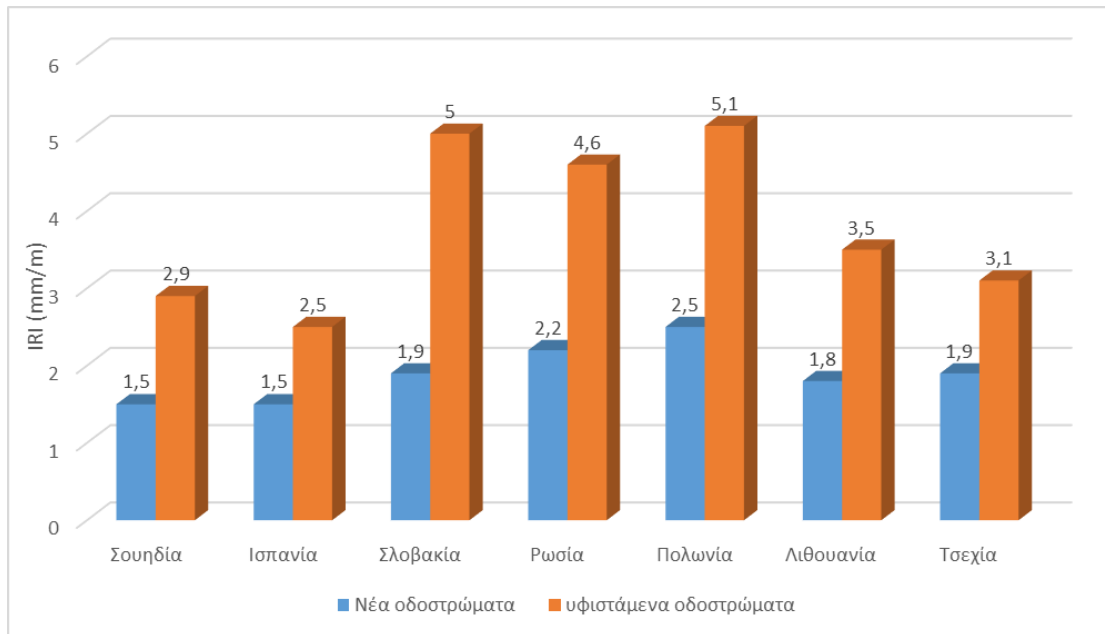
Εικόνα 5.5 Σύγκριση τιμών IRI για αυτοκινητόδρομους



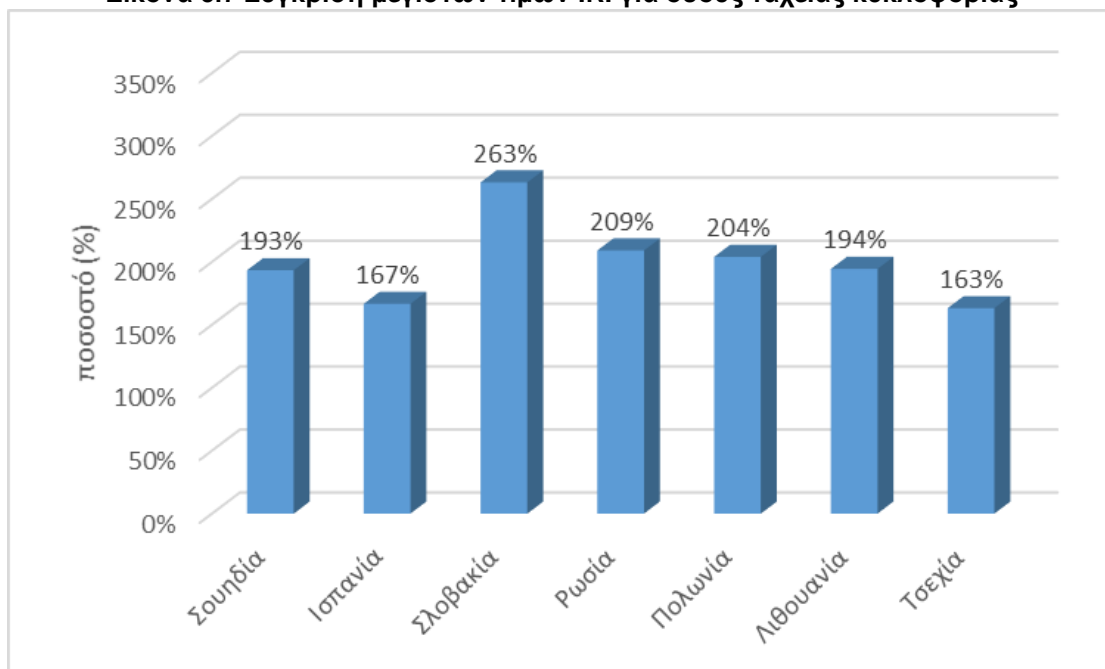
Εικόνα 5.6 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ νέων και υφιστάμενων οδοστρωμάτων αυτοκινητοδρόμων

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα επιβεβαιώνεται ακόμα μια φορά η αυστηρότερη πολιτική των χωρών όσον αφορά τα νέα οδοστρώματα. Οι μέγιστες τιμές για τα υφιστάμενα οδοστρώματα είναι έως και σχεδόν τριπλάσιες σε αρκετές χώρες με βάση την Εικόνα 5.6. Μία ακόμα παρατήρηση αποτελεί ότι το μεγάλο εύρος στις διαφορές ανάμεσα στις μέγιστες τιμές για τον δείκτη IRI. Οι διαφορές αυτές κυμαίνονται από 163%-338%, δηλαδή για παράδειγμα στην περίπτωση της Πολωνίας η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του δείκτη IRI για νέο οδόστρωμα αυτοκινητοδρόμου είναι 3.38 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη επιτρεπτή τιμή για υφιστάμενο οδόστρωμα επίσης αυτοκινητόδρομου.

Στις Εικόνες 5.7 και 5.8 πραγματοποιούνται οι ίδιες συγκρίσεις, αυτή τη φορά για οδούς ταχείας κυκλοφορίας.



Εικόνα 5.7 Σύγκριση μέγιστων τιμών IRI για οδούς ταχείας κυκλοφορίας



Εικόνα 5.8 Διαφορές στις μέγιστες τιμές IRI μεταξύ νέων και υφιστάμενων οδοστρωμάτων οδών ταχείας κυκλοφορίας

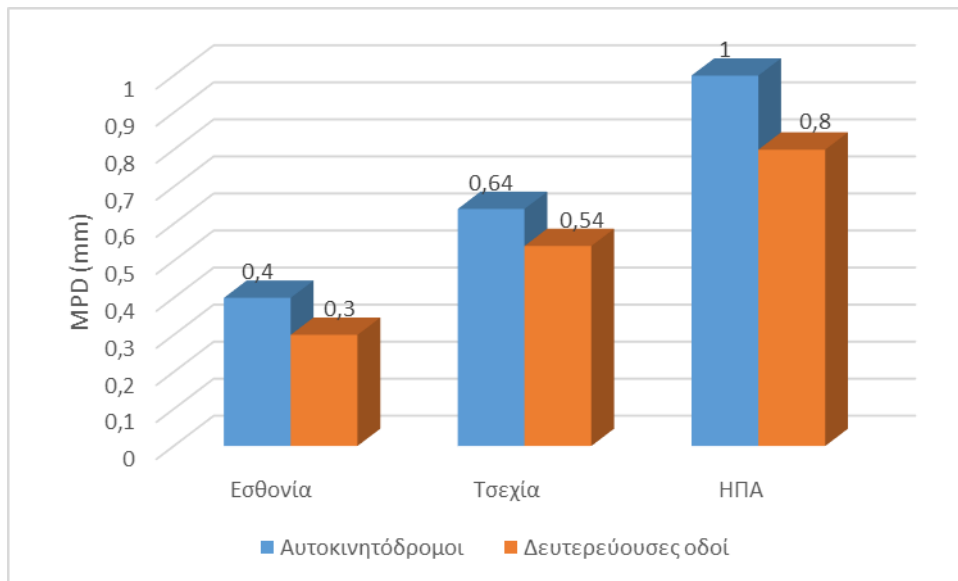
Η ομοιότητα στη μορφή των διαγραμμάτων που αφορούν τις οδούς ταχείας κυκλοφορίας σε σχέση με αυτά των αυτοκινητοδρόμων είναι εμφανής. Το εύρος των διαφορών στις μέγιστες τιμές του IRI μεταξύ νέων και υφιστάμενων οδοστρωμάτων οδών ταχείας κυκλοφορίας είναι 167%-263%, με τη Σλοβακία να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφορά.

5.3 Δείκτης MPD

Η διεθνής κοινότητα διαχειριστών των έργων οδοστρωμάτων στρέφεται στην χρήση του δείκτη MPD, μετρημένο σε χιλιοστά, για την αξιολόγηση της υφής των οδοστρωμάτων. Όπως έγινε σαφές στο κεφάλαιο 3, η μέτρηση του μέσου βάρους υφής κατά μήκος του άξονα της οδού δίνει μια σαφή εικόνα για την κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος όσον αφορά την υφή.

Όσον αφορά τις διεθνείς προδιαγραφές για τις ελάχιστες επιτρεπτές τιμές του δείκτη MPD και την γενικότερη αξιολόγηση της υφής, δεν υπάρχουν σε όλες τις χώρες τα απαραίτητα νομικά πλαίσια. Παρά το γεγονός δηλαδή ότι ο δείκτης MPD αποτελεί το βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση της υφής, δεν αποτελεί συνήθως θεσμική υποχρέωση ο έλεγχος του.

Ωστόσο στις χώρες που η υφή ελέγχεται με βάση συγκεκριμένα όρια για τον δείκτη MPD, η σύγκριση των ορίων αυτών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Όπως και στην περίπτωση της ομαλότητας έτσι και στην υφή, οι οδοί χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες με σκοπό τον έλεγχο τους. Βασικό κριτήριο είναι και εδώ το όριο ταχύτητας. Έτσι, οι οδοί χωρίζονται σε αυτοκινητοδρόμους και δευτερεύουσες οδούς. Στο σημείο αυτό γίνεται η παρατήρηση ότι ο διαχωρισμός αυτός γίνεται από τις διάφορες χώρες με λιγότερο αυστηρά κριτήρια ταχύτητας από την περίπτωση της ομαλότητας (στην οποία υπήρχαν συγκεκριμένες τιμές για τα όρια ταχύτητας). Στην Εικόνα 5.9 παρουσιάζονται οι ελάχιστες τιμές για τον δείκτη MPD σε αυτοκινητοδρόμους και δευτερεύουσες οδούς με βάση τον πίνακα 3.2 και το κεφάλαιο 3.5.6.

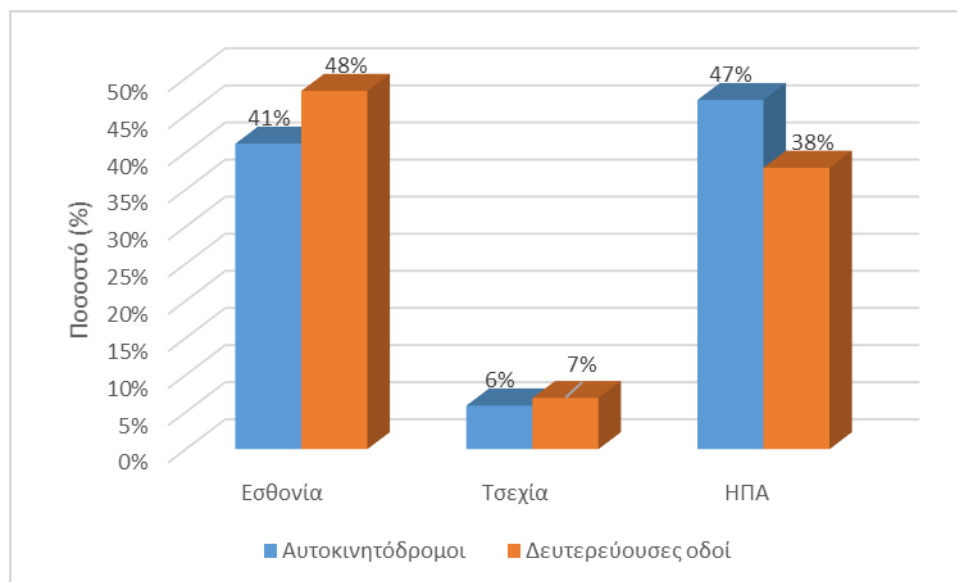


Εικόνα 5.9 Σύγκριση τιμών MPD

Πέραν των ορίων που θεσπίζουν οι παραπάνω χώρες, υπάρχει και η προσπάθεια COST 354, η οποία αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3. Στην εικόνα 5.10 έχει πραγματοποιηθεί μια σύγκριση μεταξύ των ελάχιστων ορίων των χωρών υπό εξέταση και των τιμών στις οποίες κατέληξε η έρευνα. Ως ενδεικτικές τιμές από την έρευνα COST 354 επιλέχθηκαν αυτές του μεσαίου σταδίου 3 (Πίνακας 5.1) και μάλιστα επιλέχθηκε το κατώτατο όριο, δηλαδή η μικρότερη τιμή. Πιο συγκεκριμένα, για τους αυτοκινητοδρόμους η τιμή που επιλέχθηκε είναι τα 0,68mm και για τις δευτερεύουσες οδούς τα 0,58mm.

Πίνακας 5.1 Ελάχιστες τιμές δείκτη MPD από δράση COST 354

	MPD (mm)
Αυτοκινητόδρομοι	0.68
Δευτερεύουσες οδοί	0.58



Εικόνα 5.10 Ποσοστιαία διαφορά από COST 354

Παρατηρώντας το διάγραμμα της Εικόνας 5.10 γίνεται σαφές ότι η απόκλιση των τιμών που ορίζουν οι διάφορες χώρες από αυτές που προτείνει η δράση COST 354 είναι αρκετά μεγάλη, παρόλο που επιλέχθηκε το στάδιο 3 (Βλ. πίνακα 3.2) το οποίο είναι θεωρητικά το οριακά αποδεκτό.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η ασφάλεια και η άνεση των οδηγών, εξαρτώνται άμεσα από τη λειτουργικότητα των οδοστρωμάτων των οδών. Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκαν οι τρεις βασικές συνιστώσες που την χαρακτηρίζουν, η ομαλότητα, η υφή και η ολισθηρότητα ή αντιολισθητική ικανότητα. Οι τρεις αυτές συνιστώσες διερευνήθηκαν ενδελεχώς μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε.

Συγκεκριμένα διάφορες έρευνες καταδεικνύουν πως το βασικότερο χαρακτηριστικό του οδοστρώματος το οποίο επηρεάζει τον χρήστη της οδού και παράλληλα αποτελεί δείκτη και της γενικότερης κατάστασης του οδοστρώματος ακόμα και σε επίπεδο δομικής επάρκειας, είναι η ομαλότητα. Ο δείκτης που έχει επικρατήσει διεθνώς για την αξιολόγηση της ομαλότητας είναι ο δείκτης IRI. Τα βασικά πλεονεκτήματα που διαπιστώθηκε ότι συγκεντρώνει ο εν λόγω δείκτης, συνοψίζονται στη σταθερότητα και στην επαναληψιμότητα της μαθηματικής επεξεργασίας των μετρήσεων και στο γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικός, όσον αφορά στις επιπτώσεις των ανωμαλιών στην απόκριση του οχήματος και στην αντίληψη του χρήστη για το οδόστρωμα.

Όσον αφορά στη διαδικασία των μετρήσεων, διαπιστώθηκε πως τα βασικά όργανα που χρησιμοποιείται είναι το προφίλομετρο υψηλής ταχύτητας καθώς καθιστά δυνατό τον έλεγχο μεγάλων τμημάτων επιφάνειας οδοστρώματος με εξαιρετική ακρίβεια χωρίς να είναι απαραίτητη η διακοπή της κυκλοφορίας. Τα πρότυπα τα οποία καθορίζουν τις μέγιστες τιμές του δείκτη IRI λαμβάνουν υπόψιν τον τύπο του οδοστρώματος, τα όρια ταχύτητας καθώς επίσης και τον κυκλοφοριακό φόρτο. Επίσης οι μετρήσεις για την ομαλότητα της επιφάνειας των οδοστρωμάτων είναι περισσότερο επιτακτικές στις βασικές αρτηρίες και στους αυτοκινητοδρόμους ενώ αντίθετα σε αρκετές χώρες ο έλεγχος της ομαλότητας παραλείπεται στις οδούς δευτερευούσης σημασίας.

Εν συνεχεία, μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση αναδείχθηκε ότι η υφή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργική αξιολόγηση των οδοστρωμάτων. Σχετίζεται με ζητήματα ασφάλειας και άνεσης των χρηστών, όπως αυτά της πρόσφυσης και της υστέρησης που επηρεάζουν την ολισθηρότητα του οδοστρώματος, το φαινόμενο splash/spray και τη δημιουργία θορύβου κατά την κύλιση των ελαστικών του οχήματος.

Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την υφή του οδοστρώματος, όπως η επιλογή των υλικών και η διαδικασία διάστρωσης, είναι καθοριστικοί για τη διατήρηση της επιθυμητής λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος. Σχετικά με τις διαδικασίες μέτρησης της υφής, η βιβλιογραφική έρευνα κατέδειξε πως για τοπικού χαρακτήρα μετρήσεις, οι στατικές μέθοδοι και κατ' επέκταση ο δείκτης MTD (μέθοδος κηλίδας άμμου) αποτελούν τη συνήθη τακτική, ενώ για τη διαμόρφωση της συνολικής εικόνας σε ένα τμήμα οδού, οι δυναμικές μετρήσεις και ο δείκτης MPD (προφίλομέτρηση) παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα. Επισημαίνεται ότι στην πλειονότητα των χωρών που εξετάστηκαν, χρησιμοποιείται ο δείκτης MPD ο οποίος προκύπτει από προφίλομέτρηση και τα όρια είναι σχετικά παρεμφερή, σαφώς επηρεασμένα από την πρωτοβουλία της δράσης COST 354, η οποία αποτέλεσε μια βάση για την καθιέρωση των ορίων που αφορούν την υφή.

Τα σχετικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα επιλέγουν τη στατική μέθοδο της κηλίδας άμμου για τον έλεγχο της υφής, ωστόσο διαφαίνεται η πρόθεση να γίνει σταδιακή μετάβαση σε έλεγχο με δυναμική μέθοδο και χρήση του δείκτη MPD. Η εμπειρία που αποκομίστηκε από τη βιβλιογραφία ανέδειξε και τη σημασία της αντίστασης σε ολίσθηση στη λειτουργική αξιολόγηση των οδοστρωμάτων. Η αντίσταση σε ολίσθηση αναφέρεται κυρίως σε συνθήκες βρεγμένου οδοστρώματος και εκφράζεται μέσω του συντελεστή τριβής μ .

Με βάση τις έρευνες, γίνεται σαφές ότι πρόκειται για ένα πολυπαραγοντικό φαινόμενο που απαρτίζεται από πολλές συνιστώσες. Χαρακτηριστικά οχήματος, συνθήκες και τρόποι μέτρησης, περιβαλλοντικοί παράγοντες και περίπλοκοι μηχανισμοί λειτουργίας της τριβής συνθέτουν ένα πολυδιάστατο φαινόμενο δύσκολο να περιγραφεί, διότι οι τρόποι με τους οποίους μετριέται η αντίσταση σε ολίσθηση διαπιστώθηκε ότι είναι πολυάριθμοι και παρόλο που διέπονται από κοινές αρχές, παράγοντας αποτελέσματα τα οποία δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα μεταξύ τους.

Το γεγονός αυτό οδηγεί στην ύπαρξη πολλών και διαφορετικών προτύπων για την αξιολόγηση της ολισθηρότητας της επιφάνειας των οδοστρωμάτων ανά τον κόσμο. Ως γενικό συμπέρασμα, μπορεί να τονιστεί η παρατήρηση ότι εκ των τριών χαρακτηριστικών που λαμβάνονται υπόψη για τη λειτουργική αξιολόγηση των οδοστρωμάτων, η αντίσταση σε ολίσθηση δεν περιλαμβάνεται πάντα στα πρότυπα ελέγχου των διάφορων κρατών. Στις περιπτώσεις που υπάρχουν πρότυπα για την αντίσταση σε ολίσθηση, αυτά ποικίλλουν και λαμβάνονται υπόψη διάφοροι δείκτες με κυριότερους τους GN, SFC και SN.

Με γνώμονα τα ευρήματα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική ανάλυση με σκοπό την ανάδειξη των διαφοροποιήσεων που προκύπτουν όσον αφορά στην αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων, λόγω της χρήσης διαφορετικών οριακών τιμών των μεγεθών αξιολόγησης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στα εξής:

- Οι χώρες που διερευνήθηκαν χρησιμοποιούν διαφορετικές μεταξύ τους μέγιστες τιμές για τον δείκτη IRI όσον αφορά στην ομαλότητα, τόσο για τα νέα όσο και για τα υφιστάμενα οδοστρώματα, γεγονός που επιβεβαιώνει τον διαφορετικό τρόπο με τον οποίον πραγματοποιούν τη λειτουργική αξιολόγηση των οδοστρωμάτων.
- Οι μέγιστες τιμές για τον δείκτη IRI είναι πιο αυστηρές για τα νέα οδοστρώματα σε σχέση με τα υφιστάμενα, όπως ήταν αναμενόμενο.
- Οι ΗΠΑ σε σχέση με τις χώρες της Ευρώπης έχουν υιοθετήσει λιγότερο αυστηρά όρια για την τιμή του δείκτη IRI σε νέα οδοστρώματα ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τον δείκτη MPD όπου χρησιμοποιεί συγκριτικά πιο αυστηρή προσέγγιση.
- Η διαφορά ανάμεσα στα όρια οδοστρωμάτων αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας είναι σημαντική στην περίπτωση του δείκτη IRI και αγγίζει την τάξη του 48%, στην περίπτωση της Πολωνίας για νέο οδόστρωμα.
- Στην περίπτωση της επιφανειακής υψής και του δείκτη MPD, όπως και στον δείκτη IRI, τα όρια είναι πιο αυστηρά για τους αυτοκινητοδρόμους σε σχέση με τις οδούς ταχείας κυκλοφορίας.
- Όσον αφορά τη δράση COST 354 και το πόσο επηρέασε τις διεθνείς ελεγκτικές αρχές, φαίνεται πως υπάρχει μια ανομοιομορφία. Χώρες όπως η Εσθονία φαίνεται να υιοθετούν ελάχιστες τιμές λιγότερο αυστηρές από αυτές που υπέδειξε η έρευνα COST 354. Από την άλλη μεριά, χώρες όπως οι ΗΠΑ έχουν θεσπίσει πιο αυστηρά όρια σε σχέση με τα αποτελέσματα της έρευνας. Τέλος, χώρες όπως η Τσεχία έχουν επηρεαστεί περισσότερο και έχουν επιλέξει ελάχιστες τιμές παρόμοιες με αυτές που υπέδειξε η δράση COST 354.

Ανασυνθέτοντας τα ως άνω στοιχεία, καθίσταται σαφές ότι η αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αποτελεί τομέα με περιθώρια για περαιτέρω έρευνες σε πολλά επιστημονικά επίπεδα. Συγκεκριμένα, ο

εναρμονισμός των μεθόδων και δεικτών αξιολόγησης των επιμέρους χαρακτηριστικών αποτελεί ένα ευρύ και ανοικτό πεδίο έρευνας. Επίσης, η συσχέτιση των διαφόρων δεικτών, για παράδειγμα των δεικτών MTD και MPD θα μπορούσε να δώσει ένα εργαλείο για την μετάβαση από τον έναν δείκτη στον άλλον. Η μετάβαση αυτή θα βοηθούσε σε περίπτωση αξιοποίησης στοιχείων παραλαβής των οδοστρωμάτων και στοιχείων αναφοράς κατά την παρακολούθηση των οδοστρωμάτων σε βάθος χρόνο, όπου η αξιολόγηση της υφής γίνεται με τον δείκτη MPD.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aavik, A., Kaal, T. and Jentson, M. (2013) 'Use of pavement surface texture characteristics measurement results in Estonia', in. *The XXVIII International Baltic Road Conference. Vilnius, Lithuania.*

Andriejauskas, T., Vorobjovas, V. and Mielonas, V. (2014) 'Evaluation of skid resistance characteristics and measurement methods', in. *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE*, Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics. P. 14

Antunes, M. *et al.* (2008) 'The way forward for pavement performance indicators across Europe COST Action 354 Performance Indicators for Road Pavements Final Report'.

AASHTO, H. (1962) 'The AASHTO, O Road Test'. Report 7, Summary Report.

AASHTO 1993. AASHTO guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C.

AASHTO, L. (1998) 'Bridge design specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC.

AASHTO, 2008. Guide for pavement friction. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC.

ASTM E1845-15 (2015) 'Standard practice for calculating pavement macrotexture mean profile depth'.

ASTM E274, (2011). Standard Test Method for Measuring Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire, West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.

ASTM (2006) 'Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique', *Designation: E 965-96* [Preprint].

Barnes, G. and Langworthy, P. (2004) 'Per mile costs of operating automobiles and trucks', *Transportation Research Record*, Journal of transportation Research Board. 1864(1), pp. 71–77.

Chen, S. *et al.* (2019) 'Safety impacts of pavement surface roughness at two-lane and multi-lane highways: accounting for heterogeneity and seemingly unrelated correlation across crash severities', *Transportmetrica A: Transport science*, 15(1), pp. 18–33.

Clarke, M., Dravitzki, V. and Cenek, P. (2002) 'Development of the safe application and usage of calcium magnesium acetate as an anti-icing agent under New Zealand conditions', in. *XIth International Winter Road Congress*, pp. 28–31.

C-SHRP (1999). *Summary of pavement smoothness specifications in Canada and around the world*. Technical Brief #16. Ottawa: Canadian Strategic Highway Research Program (C-SHRP).

Fernandes, A. and Neves, J. (2014) 'Threshold values of pavement surface properties for maintenance purposes based on accidents modelling', *International Journal of Pavement Engineering*, 15(10), pp. 917–924.

FWA, T. (2021) 'Determination and prediction of pavement skid resistance—connecting research and practice', *Journal of Road Engineering*, 1, pp. 43–62.

Gkyrtis, K., Loizos, A. and Plati, C. (2021) 'Integrating pavement sensing data for pavement condition evaluation', *Sensors*, volume (21), issue (9).

Hall, J. *et al.* (2009) 'Guide for pavement friction. National Cooperative Highway Research Program'.

Hall, J., Smith, K. and Littleton, P. (2008) 'Texturing of Concrete Pavements Final Report Appendixes AF'.

Hettiarachchi, C. *et al.* (2023) 'Measurement of pavement unevenness and evaluation through the IRI parameter—An overview', *Measurement*, 206, p. 112284.

International Conference on Road and Rail Infrastructures, (2018: and Lakušić, S. (2018) *Road and rail infrastructure V : proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructures - CETRA 2018, 17-19 May 2018, Zadar, Croatia*. Zagreb: University of Zagreb, Faculty of civil engineering, Department of Transportation (Road and rail infrastructure (CD-ROM)).

R. Lamm, B. Ψαριανός, Δ. Μαράτου, Δ. Κάτσιος, Γ. Σοϊλεμέζογλου, Δ. Δρυμαλίτου . (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 1 : Λειτουργική Κατάταξη Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ).

Liddle, W. (1962) 'Application of AASHO road test results to the design of flexible pavement structures', in. *International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. Supplement University of Michigan, Ann Arbor*.

Mataei Behrouz, Hamzeh Zakeri, Mohsen Zahedi, Fereidoon Moghadas Nejad (2016) 'Pavement friction and skid resistance measurement methods: A literature review', *Open Journal of Civil Engineering*, Volume (6), issue (04).

McGhee, K.K. and Flintsch, G.W. (2003) *High-speed texture measurement of pavements*. Virginia Center for Transportation Innovation and Research. Charlottesville, Virginia.

McGhee, K.K., Flintsch, G.W. and de León Izeppi, E. (2003) *Using high-speed texture measurements to improve the uniformity of hot-mix asphalt*. Virginia Center for Transportation Innovation and Research. Charlottesville, Virginia.

Merritt, D.K., Chang, G.K. and Rutledge, J.L. (2015) *Best practices for achieving and measuring pavement smoothness, a synthesis of state-of-practice*. Louisiana Transportation Research Center.

Michael W Sayers and Steven M. Karamihas (1998) *The little book of profiling: basic information about measuring and interpreting road profiles*. University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute.

Můčka, P. (2017) 'International Roughness Index specifications around the world', *Road materials and pavement design*, 18(4), pp. 929–965.

Perera, R.W., Kohn, S.D. and Tayabji, S.D. (2005) *Achieving a high level of smoothness in concrete pavements without sacrificing long-term performance*. United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure.

Mezgeen Rasol, Franziska Schmidt, Silvia Ientile, Lucas Adelaide, Boumediene Nedjar, Malal Kane and Christophe Chevalier, (2021) 'Progress and monitoring opportunities of skid resistance in road transport: a critical review and road sensors', *Remote Sensing*, 13(18), p. 3729.

Rosta, S. and Gáspár, L. (2023) 'Skid Resistance of Asphalt Pavements', *Eng*, 4(2), pp. 1597–1615.

Sayers, M.W., Gillespie, T.D. and Queiroz, C.A. (1986) *The international road roughness experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurements*. University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute.

Scharnigg, K., Schwalbe, G. and Haider, M. (2011) 'Tyrosafe (tyre and road surface optimisation for skid resistance and further effects)', in. *International Surface Friction Conference*.

Smith, K.D. and Ram, P. (2016) *Measuring and Specifying Pavement Smoothness: [techbrief]*. United States. Federal Highway Administration.

Teekman, E. (2012) 'The determination of the relationship between friction and traffic accidents', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114461349>.

M.W. Sayers, S. M. Karamihas (1998). *The little book of profiling: basic information about measuring and interpreting road profiles*. University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute.

Tobias Priscilla, Edgar de León Izeppi, Gerardo Flintsch, Samer Katicha, and Ross McCarthy. (2023) *Pavement Friction for Road Safety: Primer on Friction Measurement and Management Methods*. FHWA-SA-23-007.

Wilson, D.J. (2006) 'An analysis of the seasonal and short-term variation of road pavement skid resistance'. PhD thesis.

Yu, J. *et al.* (2021) 'Optimizing the texturing parameters of concrete pavement by balancing skid-resistance performance and driving stability', *Materials*, 14(20), p. 6137.

Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή / ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-11-04. Ασφαλικές στρώσεις κλειστού τύπου

Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή / ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-12-01. Αντιολισθηρή στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος

Πομόνη, Μ. (2022) 'Διερεύνηση της αντιολισθητικής ικανότητας των οδοστρωμάτων στο πλαίσιο της βιωσιμότητας των έργων οδικής υποδομής'.

Λοΐζος, Α. & Πλατή, Χ., (2021). Αξιολόγηση και Συντήρηση Οδοστρωμάτων. Σημειώσεις μαθήματος. Αθήνα: ΕΜΠ,

Λοΐζος, Α. & Πλατή, Χ., (2021). Ειδικά Θέματα Οδοστρωμάτων. Σημειώσεις μαθήματος. Αθήνα: ΕΜΠ,

Λοΐζος, Α. & Πλατή, Χ., (2021). Σχεδιασμός Οδοστρωμάτων Οδών και Αεροδρομίων. Σημειώσεις μαθήματος. Αθήνα: ΕΜΠ,