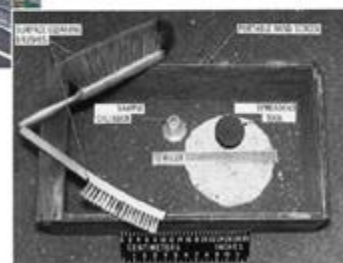
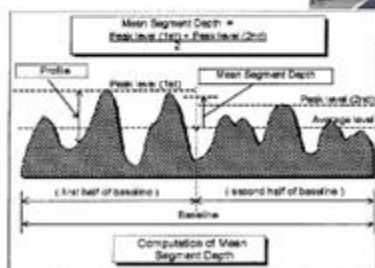
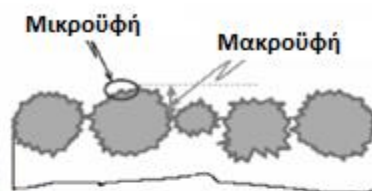




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΑΚΡΟΨΗΣ ΣΕ ΝΕΟ**  
**ΑΣΦΑΛΤΙΚΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ**

---



**ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΤΩΡΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ-ΔΗΜΗΤΡΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Α. ΛΟΪΖΟΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Διευθυντής Εργαστηρίου Οδοποιίας**

**(ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ)**

**ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2016**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Οδοποιίας ΕΜΠ, τον κ. Ανδρέα Λοΐζο.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Λοΐζο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία και για την καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκειά της.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην κα Πλατή για τις συμβουλές και υποδείξεις της κάθε φορά που χρειάστηκα τη βοήθεια της καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της Ερευνητικής Ομάδας του Εργαστηρίου Οδοποιίας και ιδιαίτερα τους κ. Στεργίου και Λεβέντη για την πολύτιμη συνεργασία τους κατά την πειραματική διαδικασία και λήψη των μετρήσεων, καθώς και την κα. Πομόνη για τις υποδείξεις της κατά τη συγγραφή της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για τη στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### **«Διερεύνηση μακροϋφής σε νέο ασφαλτικό οδόστρωμα»**

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιείται διερεύνηση της μακροϋφής σε νέο ασφαλτικό οδόστρωμα στο πλαίσιο παραλαβής του. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν επιτόπου μετρήσεις επιφανειακής υφής σε τρία τμήματα ενός νέου ασφαλτικού οδοστρώματος. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μακροϋφής με την μέθοδο Sand-Patch, αλλά και με τη μέθοδο προφίλομέτρησης με το σύστημα Laser-Profiler του Εργαστηρίου Οδοποιίας ΕΜΠ. Η πρώτη αποτελεί την μέθοδο αναφοράς για την παραλαβή των οδοστρωμάτων, όμως πρόκειται για μία στατική και χρονοβόρα μέθοδο, ενώ η δεύτερη αποτελεί μία δυναμική μέθοδο συνεχούς καταγραφής. Επιπλέον, για την πληρέστερη αξιολόγηση των επιπέδων μακροϋφής πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις μικροϋφής με τη μέθοδο British Pendulum, στα ίδια τμήματα. Τα στοιχεία συλλογής αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο συμβολής στην ανάπτυξη ενός ορίου μακροϋφής για την παραλαβή νέων οδοστρωμάτων με τη μέθοδο προφίλομέτρησης (Laser-Profiler). Τα σχετικά αποτελέσματα και συμπεράσματα παρατίθενται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

## ABSTRACT

### **‘Investigation of macrotexture of a new asphalt pavement’**

In the present Diploma Thesis macrotexture of a new asphalt pavement is investigated, under the framework of its acceptance for becoming open to traffic. For this purpose, appropriate measurements of surface texture were conducted along three sections of the asphalt pavement being investigated. More specifically, macrotexture measurements were performed using Sand-Patch method as well as the Laser-Profilometer system of the Laboratory of Pavement Engineering of NTUA. The first measuring method is the reference one for the acceptance of new pavements although it is a stationary and time consuming method; contrariwise, the second method is a dynamic one that provides continuous measurements. Furthermore, microtexture measurements were conducted using British Pendulum in order to perform a more thorough investigation of surface texture levels. The collected data were utilized with the aim of contributing in the development of a macrotexture level using the Laser-Profilometer system that can be potentially used for acceptance of new pavements. All relevant results and concluding remarks are presented in this Diploma Thesis.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>3</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Γενική Ανασκόπηση.....	8
1.2. Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	10
<b>2. ΚΥΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>12</b>
2.1. Ομαλότητα.....	12
2.2. Τροχοαυλάκωση .....	13
2.3. Υφή.....	14
2.4. Αντιολισθητική Ικανότητα .....	15
2.5. Θόρυβος .....	16
<b>3. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΥΦΗ.....</b>	<b>18</b>
3.1. Γενικά .....	18
3.2. Κατηγορίες Υφής .....	19
3.2.1. Μικροϋφή.....	19
3.2.2. Μακροϋφή.....	20
3.2.3. Μεγαϋφή .....	21
3.3. Μηχανισμός υφής .....	21
3.4. Παράγοντες επίδρασης της υφής.....	23
3.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την υφή.....	25
3.6. Μέθοδοι Μέτρησης και Δείκτες Αξιολόγησης της Μακροϋφής .....	27
3.6.1. Κηλίδα άμμου .....	27
3.6.1.1. Μέσο βάθος υφής.....	30
3.6.2. Καταγραφή της διαμήκου κατατομής .....	31
3.6.2.1. Μέσο βάθος κατατομής από μέτρηση προφιλόμετρου .....	32
3.6.3. Καταγραφή του χρόνου εκροής.....	35
3.6.3.1. Χρόνος εκροής.....	37
3.6.4. Καταγραφή της κυκλικής κατατομής.....	38
3.6.4.1. Μέσο βάθος κατατομής από μέτρηση CTM .....	39
<b>4. ΜΑΚΡΟΪΦΗ ΣΕ ΝΕΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ .....</b>	<b>41</b>
4.1. Προσδιορισμός Αρχικής Κατάστασης Οδοστρώματος.....	41

4.1.1. Καταγραφή αρχικής κατάστασης οδοστρώματος .....	42
4.1.2. Συσχέτιση MTD και MPD .....	44
<b>5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....</b>	<b>46</b>
5.1. Γενικά Στοιχεία .....	46
5.2. Πεδίο Μετρήσεων .....	46
5.3. Διεξαγωγή των Μετρήσεων .....	48
5.3.1. Μετρήσεις μακροϋφής-Μέθοδος κηλίδας της άμμου .....	48
5.3.2. Μετρήσεις μακροϋφής-Μέθοδος προφίλομέτρησης με το Laser Profiler.....	50
5.3.3. Μετρήσεις μικροϋφής- Μέθοδος Βρετανικού Εκκρεμούς.....	52
<b>6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....</b>	<b>54</b>
6.1. Επεξεργασία Στοιχείων Πειραματικής Διαδικασίας .....	54
6.1.1. Στοιχεία μακροϋφής .....	54
6.1.2. Στοιχεία μικροϋφής .....	58
6.2. Συσχέτιση Στοιχείων .....	60
6.2.1. Συσχετίσεις μακροϋφής.....	60
6.2.1.1. Αποκλίσεις των δύο μεθόδων .....	62
6.2.1.2. Έλεγχος εφαρμοσιμότητας σχέσης ASTM .....	62
6.2.2. Συσχετίσεις μικροϋφής-μακροϋφής.....	63
6.3. Συμβολή στην Ανάπτυξη Ορίων Μακροϋφής για την Παραλαβή Νέων Οδοστρωμάτων .....	69
6.3.1. Προσδιορισμός ορίων παραλαβής.....	71
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>73</b>
<b>8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>76</b>
<b>ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ .....</b>	<b>79</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενική Ανασκόπηση

Στο πλαίσιο κατασκευής μιας ασφαλούς οδικής υποδομής, η λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό. Ο χρήστης της οδού αντιλαμβάνεται κυρίως τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος, δηλαδή ότι συνδέεται με τη φθορά του οχήματος, το λειτουργικό κόστος μετακίνησης αλλά και το χρόνο μετακίνησης του. Για τον χρήστη, η άνεση και η καλή ποιότητα κύλισης κατά την οδήγηση ουσιαστικά ισοδυναμεί με την ασφάλειά του. Κατά συνέπεια, ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο αποτελεί η επίτευξη υψηλού επιπέδου επιφανειακών χαρακτηριστικών αμέσως μετά την κατασκευή του οδοστρώματος, κατά την παραλαβή του, τα οποία αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την οδική ασφάλεια στη φάση λειτουργίας του οδοστρώματος.

Η αρχική κατάσταση του οδοστρώματος σταδιακά, επιδέχεται πτώση εξαιτίας της κυκλοφορίας, των καιρικών συνθηκών, της γήρανσης των υλικών και άλλων φθορών. Για τη σωστή χρονικά αποκατάσταση ή συντήρηση του οδοστρώματος χρειάζονται στοιχεία από περιοδικές μετρήσεις καθώς και σωστή αξιολόγηση αυτών. Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος και επηρεάζουν την οδική ασφάλεια είναι η ομαλότητα, η τροχοαυλάκωση, η υφή και η αντιολισθητική ικανότητα.

Η επιφανειακή υφή αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό, καθώς συνδέεται με την ασφάλεια του χρήστη, το θόρυβο που παράγεται από τη διεπαφή του πέλματος του ελαστικού με την επιφάνεια του οδοστρώματος, την κατανάλωση καυσίμων και τη φθορά των ελαστικών. Συνεπώς, κατά την παραλαβή του οδοστρώματος θα πρέπει να καταγράφονται υψηλά επίπεδα επιφανειακής υφής, τα οποία στη συνέχεια θα μπορούν να αξιοποιηθούν και ως παράμετροι αξιολόγησης της εξέλιξης των επιπέδων υφής κατά τη διάρκεια λειτουργίας του οδοστρώματος. Η επιφανειακή υφή, ανάλογα με τα μήκη κύματος διακρίνεται στη μεγαϋφή, μακροϋφή και στη μικροϋφή.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιείται διερεύνηση της μακροϋφής σε νέο οδόστρωμα στο στάδιο παραλαβής του, καθώς η μακροϋφή, σε αντίθεση με τη μεγαϋφή και τη μικροϋφή, εντάσσεται στις προδιαγραφές για την παραλαβή ενός οδοστρώματος.

Το συγκεκριμένο επιφανειακό χαρακτηριστικό επηρεάζει την αντιολισθητική ικανότητα σε βρεγμένο οδόστρωμα, ειδικότερα για υψηλές ταχύτητες οχημάτων, αφού επαρκής μακροϋφή ελαχιστοποιεί το φαινόμενο της υδρολίσθησης, καθώς και το φαινόμενο



"splash & spray". Επίσης, η μακροϋφή επηρεάζει το θόρυβο που προκαλείται από τη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος, ο οποίος αυξάνεται σε μεγάλα μήκη κύματος της μακροϋφής για συμβατικούς τάπητες.

Έως τώρα, η μέθοδος αναφοράς για τη μέτρηση της μακροϋφής κατά την παραλαβή του οδοστρώματος είναι η στατική μέθοδος της κηλίδας της άμμου- Sand Patch μέσω της οποίας μετράται το μέσο βάθος υφής (Mean Texture Depth-MTD). Η εν λόγω μέθοδος παρουσιάζει όμως ορισμένα μειονεκτήματα. Όντας μία στατική μέθοδος δεν προσδιορίζεται το μέσο βάθος υφής σε όλο το μήκος της οδού, παρά μόνο παρέχονται μετρήσεις από έναν πεπερασμένο αριθμό σημείων, έτσι η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται χρονοβόρα αλλά και αρκετά επίπονη αφού η διαδικασία μέτρησής της είναι χειρωνακτική. Για τη μέτρηση των επιπέδων μακροϋφής χρησιμοποιείται και η μέθοδος προφίλομέτρησης με το σύστημα Laser Profiler, το οποίο όμως μετρά το μέσο βάθος κατατομής (Mean Profile Depth-MPD). Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να παρέχει μετρήσεις σε όλο το μήκος ενός οδικού τμήματος σε ελάχιστο χρόνο. Παραταύτα, η εν λόγω μέθοδος δε χρησιμοποιείται για την παραλαβή νέων οδοστρωμάτων. Λαμβάνοντας όμως υπόψη την περίπτωση μεγάλων οδικών αξόνων, η παραλαβή του οδοστρώματος μέσω της μεθόδου Sand Patch, όπως συγκεκριμένα υποδεικνύεται από τις Ελληνικές Προδιαγραφές (ΕΤΕΠ, 2009), καθιστά την όλη διαδικασία μη λειτουργική. Στο πλαίσιο αυτό, γίνεται αντιληπτή η λειτουργικότητα της δυναμικής μεθόδου-Laser Profiler για τον έλεγχο της μακροϋφής κατά την παραλαβή νέων οδοστρωμάτων, όπου η μέθοδος Sand Patch μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά για επιπρόσθετο έλεγχο συγκεκριμένων θέσεων στην περίπτωση που εντοπιστούν σημεία μη ικανοποιητικών επιπέδων μακροϋφής. Έτσι η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποσκοπεί στο να καταστήσει σαφή την ανάγκη ύπαρξης ορίου MPD μέσω σύνδεσης των δεικτών MTD-MPD. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν αναπτυχθεί σχέσεις σύνδεσης μεταξύ των δύο μεθόδων, με πιο διαδεδομένη αυτή της ASTM μέσω της οποίας παρέχεται μία εκτίμηση των επιπέδων MTD μέσω μετρήσεων με τη μέθοδο προφίλομέτρησης, Laser Profiler.

Συμπληρωματικά, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία γίνεται διερεύνηση των επιπέδων μικροϋφής με τη χρήση του British Pendulum, χωρίς όμως να εντάσσεται στα πλαίσια ελέγχου για την παραλαβή ενός οδοστρώματος. Συγκεκριμένα, οι ελληνικές προδιαγραφές δεν ορίζουν κάποιο όριο για τα επίπεδα μικροϋφής σε νέο, προς παραλαβή, οδόστρωμα. Συνεπώς, η εν λόγω διερεύνηση πραγματοποιείται για να υπάρξει μία πληρέστερη εικόνα των επιπέδων επιφανειακής υφής του υπό μελέτη οδοστρώματος.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η συμβολή στην ανάπτυξη ορίων στο πλαίσιο παραλαβής νέων οδοστρωμάτων ως προς τα επίπεδα μακροϋφής, μέσω μίας εναλλακτικής μεθόδου. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα προκαταρκτικό μεθοδολογικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό ενός προτεινόμενου ορίου παραλαβής νέου οδοστρώματος με τη μέθοδο προφίλομέτρησης, Laser Profiler.

Για την πραγματοποίηση του παραπάνω στόχου συλλέχθηκαν στοιχεία από νέο οδόστρωμα με τις μεθόδους Sand Patch και Laser Profiler από 3 διαφορετικά τμήματά του. Κατόπιν, ως προς τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία, γίνεται αντιστοίχιση των σημείων που προέκυψαν από τη στατική μέθοδο-Sand Patch με τα ανάλογα που προήλθαν από τη δυναμική μέθοδο-Laser Profiler και έγινε προσπάθεια δημιουργίας μίας σχέσης σύνδεσης μεταξύ του μέσου βάθους υφής (MTD) και του μέσου βάθους κατατομής (MPD). Εν συνεχεία, πραγματοποιείται έλεγχος εφαρμοσιμότητας της σχέσης της ASTM μεταξύ MTD και MPD. Επιπροσθέτως, για πληρέστερη διερεύνηση των επιπέδων μακροϋφής πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια συσχέτισης με τα επίπεδα μικροϋφής, όπως μετρήθηκαν στα ίδια οδικά τμήματα με τη μέθοδο British Pendulum. Τελικώς, προσδιορίζεται η συνιστώμενη τιμή του ορίου μακροϋφής σε όρους MPD για την παραλαβή νέου οδοστρώματος, όπως προκύπτει κατόπιν αντιστοίχισης με το MTD.

## 1.2. Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία συμπεριλαμβανομένου του παρόντος, αποτελείται από 8 κεφάλαια. Ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή τους.

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται τα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά του ασφαλτικού οδοστρώματος που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται εκτενώς η επιφανειακή υφή. Αναφέρονται οι κατηγορίες της, ο μηχανισμός της, οι παράγοντες που επηρεάζει και επηρεάζεται καθώς, και οι σημαντικότερες μέθοδοι μέτρησής της μακροϋφής και οι δείκτες αξιολόγησής της.

Στο κεφάλαιο 4 παρατίθεται η σημασία καταγραφής της αρχικής κατάστασης του οδοστρώματος, η ανάγκη ύπαρξης ορίων για την παραλαβή των οδοστρωμάτων και σύνδεσης των δύο μεθόδων μέτρησης της μακροϋφής.

Στο κεφάλαιο 5 αναφέρεται η πειραματική διαδικασία των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και γίνεται αναφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη οδικού τμήματος.

Στο κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από τις επιτόπου μετρήσεις και παραθέτεται η μεθοδολογία προσδιορισμού του ορίου μακροϋφής στο πλαίσιο παραλαβής του οδοστρώματος.

Στο κεφάλαιο 7 αναπτύσσονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής καθώς και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στο κεφάλαιο 8 δίνεται η διεθνής βιβλιογραφία στην οποία στηρίχθηκε η ανάπτυξη των επιμέρους εδαφίων.

## 2. ΚΥΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός οδοστρώματος συνδέονται άμεσα με την ασφάλεια των χρηστών. Επιπλέον, όταν η λειτουργική κατάσταση ενός οδοστρώματος βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα παρέχεται καλή ποιότητα κύλισης που συνεπάγεται άνεση κατά την οδήγηση. Ακόμα, η μείωση του θορύβου, η μακροβιότητα του οδοστρώματος και η υψηλή αισθητική είναι ορισμένα στοιχεία που επίσης επιζητούνται (Caltrans Division of Maintenance 2007, Flintsch 2003).

Υπό το πρίσμα των παραπάνω στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά των ασφαλτικών οδοστρωμάτων. Τα σημαντικότερα επιφανειακά χαρακτηριστικά είναι η ομαλότητα, η τροχοαυλάκωση, η επιφανειακή υφή, η αντιολισθητική ικανότητα και ο θόρυβος.

### 2.1. Ομαλότητα

Η ομαλότητα ορίζεται ως η απόκλιση από την κατά μήκος πραγματική επιπεδότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος. Η διαμήκης ομαλότητα του οδοστρώματος περιγράφεται από κυματισμούς της επιφάνειας, μήκους κυρίως μεταξύ 0.5m-50m (Caltrans Division of Maintenance, 2007).

Η ανομοιομορφία της επιφάνειας ενός οδοστρώματος επηρεάζει την ασφάλεια των χρηστών, την κατανάλωση των καυσίμων, την ποιότητα κύλισης, τη δυναμική του οχήματος, τη φθορά τους και την αποστραγγιστική ικανότητα της επιφάνειας. Επιπλέον, μακροπρόθεσμα τα παραπάνω επηρεάζουν τη μακροβιότητα του οδοστρώματος. Για την έλλειψη ομαλότητας μπορεί να ευθύνονται οι ανεπαρκείς κατασκευαστικές τεχνικές, η υγρασία, η θερμοκρασία και οι παραμορφώσεις που προκαλούνται από τη διέλευση των οχημάτων (Caltrans Division of Maintenance, 2007).

Η ομαλότητα των οδοστρωμάτων είναι ένα από τα σημαντικότερα επιφανειακά χαρακτηριστικά που ενδιαφέρει τους χρήστες του οδοστρώματος, επομένως η βελτίωση του συγκεκριμένου επιφανειακού χαρακτηριστικού συνεπάγεται άμεση ικανοποίηση των χρηστών, καθώς οι χρήστες των οδοστρωμάτων αντιλαμβάνονται την ομαλότητα μέσω της ποιότητας κύλισης. Επομένως, οι δύο βασικοί τύποι μέτρησης της ομαλότητας είναι η απευθείας μέτρησή της και ο προσδιορισμός της μέσω της παρεχόμενης ποιότητας κύλισης (Caltrans Division of Maintenance, 2007).

Ο πιο διαδεδομένος δείκτης για την έκφραση ομαλότητας είναι ο Διεθνής Δείκτης Ομαλότητας –International Roughness Index (IRI) εκφρασμένος σε μονάδες κλίσης,

όπως m/km. Ο Δείκτης IRI είναι ένας δείκτης αξιολόγησης της ποιότητας κύλισης και αντιπροσωπεύει τους κραδασμούς που προκαλούνται σε ένα τυπικό όχημα.

Η μέτρηση της ομαλότητας πραγματοποιείται με συστήματα μέτρησης, όπως το Bump Integrator, και τα εξελιγμένα προφιλόμετρα, όπως το σύστημα Road Surface Profiler (RSP) (The Transtec Group).

## 2.2. Τροχοαυλάκωση

Η τροχοαυλάκωση ορίζεται ως το αποτέλεσμα της παραμένουσας παραμόρφωσης στο οδόστρωμα. Εμφανίζεται ως επί το πλείστον κατά μήκος του ίχνους των τροχών όπου δημιουργείται βύθιση του ασφαλτοτάπητα ενώ εκατέρωθεν παρατηρείται ανύψωση. Η ύπαρξη τροχοαυλάκωσης στο οδόστρωμα επηρεάζει την ποιότητα κύλισης των οχημάτων και δυσχεραίνει την αποστράγγιση του νερού. Κατά συνέπεια, οι μεγάλοι μεγέθους τροχοαυλακώσεις συγκρατούν αρκετό νερό εντείνοντας το φαινόμενο της υδρολίσθησης (Rutting, Local Government & Municipal Knowledge Base).



Εικόνα 2.1.: Τροχοαυλάκωση στο οδόστρωμα (Google)

Η μέτρηση της τροχοαυλάκωσης πραγματοποιείται με τη δοκιμή του τετράμετρου πήχη, ο οποίος τοποθετείται εγκάρσια στο οδόστρωμα. Στα σημεία τροχοαυλάκωσης ή άλλων εγκάρσιων παραμορφώσεων το οδόστρωμα δεν είναι σε επαφή με τον πήχη. Στα σημεία αυτά με κατάλληλη μετρητική διάταξη μετράται η απόκλιση του οδοστρώματος από την επιφάνεια του πήχη και η μέτρηση που προκύπτει συνιστά το βάθος τροχοαυλάκωσης σε mm. Εκτός από το χειροκίνητο τρόπο μέτρησης της τροχοαυλάκωσης είναι δυνατόν να προσδιοριστεί μέσω εξελιγμένων συστημάτων

προφίλομέτρησης που παρέχουν τη δυνατότητα ταχείας, απρόσκοπτης και συνεχούς καταγραφής ενδεχόμενων τροχοαυλακώσεων στο οδόστρωμα (Λοΐζος 2013, Rutting, The Local Government & Municipal Knowledge Base).

### 2.3. Υφή

Η επιφανειακή υφή ενός οδοστρώματος αποτελεί μία σημαντική παράμετρο της λειτουργικής του κατάστασης. Σχετίζεται άμεσα με το ρυθμό απομάκρυνσης του νερού από τη στρώση κυκλοφορίας. Κατά συνέπεια, συνδέεται με την αντιολισθητική ικανότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος που παρέχεται στους χρήστες. Όσον αφορά στην ασφάλεια, η υφή επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά των ελαστικών των οχημάτων σε βρεγμένο οδόστρωμα, ενώ έμμεσα επηρεάζει την ολισθηρότητα. Επομένως, σκοπός της υφής είναι η μείωση των ατυχημάτων λόγω ολίσθησης στην περίπτωση ύπαρξης νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος (Λοΐζος 2013, Caltrans Division of Maintenance 2007).



Εικόνα 2.2.: Υφή οδοστρώματος

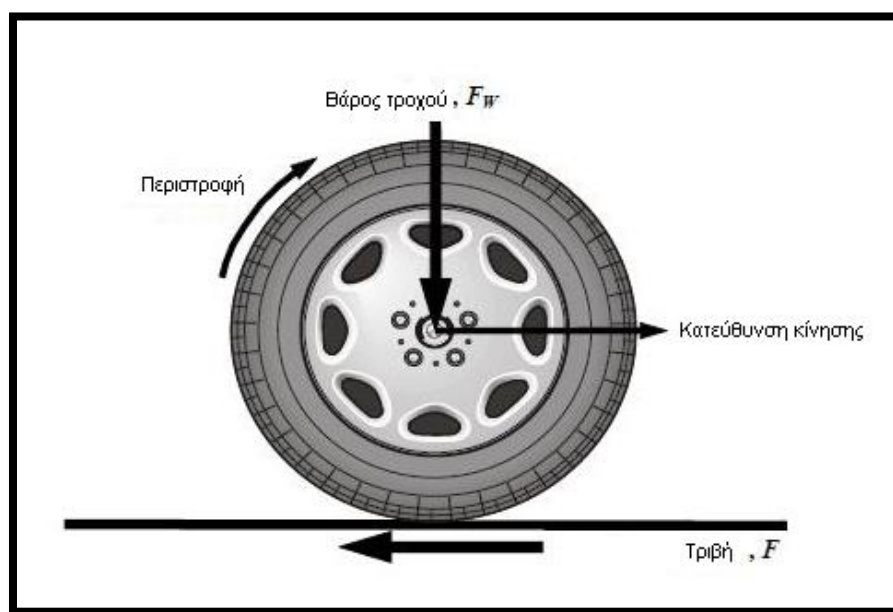
Η επίτευξη ενός ικανοποιητικού επιπέδου επιφανειακής υφής ενός οδοστρώματος και η διάκρισή της εξαρτάται από τη συμβολή πολλών χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα, αυτά τα χαρακτηριστικά αφορούν στην επιλογή των αδρανών και την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, τις κατασκευαστικές τεχνικές που θα εφαρμοστούν για την επίτευξη της υφής αλλά και τη λειτουργία του οδοστρώματος. Επίσης, μπορεί να γίνει διάκριση της υφής μέσω διαφορετικών συνδυασμών βάθους (εύρους) υφής και μήκους κύματος. Εναλλακτικοί συνδυασμοί βάθους υφής και μήκους κύματος προκαλούν διαφορετικές



αλληλεπιδράσεις μεταξύ της επαφής ελαστικού και οδοστρώματος. Συνεπώς, η κατηγοριοποίηση της υφής γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτό να ερμηνευθεί η επίδρασή της στα εξωτερικά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος. Με βάση τα παραπάνω η υφή διακρίνεται σε μικροϋφή, μακροϋφή και μεγαϋφή (Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007).

## 2.4. Αντιολισθητική Ικανότητα

Με τον όρο αντίσταση σε ολίσθηση ή ολισθηρότητα εκφράζεται το φαινόμενο της τριβής που αναπτύσσεται στην επιφάνεια διεπαφής του κινούμενου ελαστικού με την επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος. Η δύναμη τριβής αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια πέδησης του οχήματος και αναφέρεται στην παρεμπόδιση της πέδησης και την ολίσθηση του οχήματος στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Ως εκ τούτου, η αντιολισθητική ικανότητα μίας επιφάνειας ενός οδοστρώματος αναφέρεται κυρίως στα βρεγμένα οδοστρώματα, όπου δημιουργείται ένα φιλμ νερού που λειτουργεί ως λιπαντικό, μειώνοντας έτσι την άμεση επαφή του οδοστρώματος με τα ελαστικά. Εάν το φιλμ του νερού είναι αρκετά παχύ ή η ταχύτητα των οχημάτων είναι υψηλή, μειώνεται η επιφάνεια επαφής μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος με αποτέλεσμα να δημιουργείται το φαινόμενο της υδρολίσθησης, που συνεπάγεται την απώλεια πρόσφυσης, μειώνοντας, έτσι, τη δυνατότητα πέδησης του οχήματος (Λοΐζος 2013, Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007, Hall 2007, Pavement Interactive).



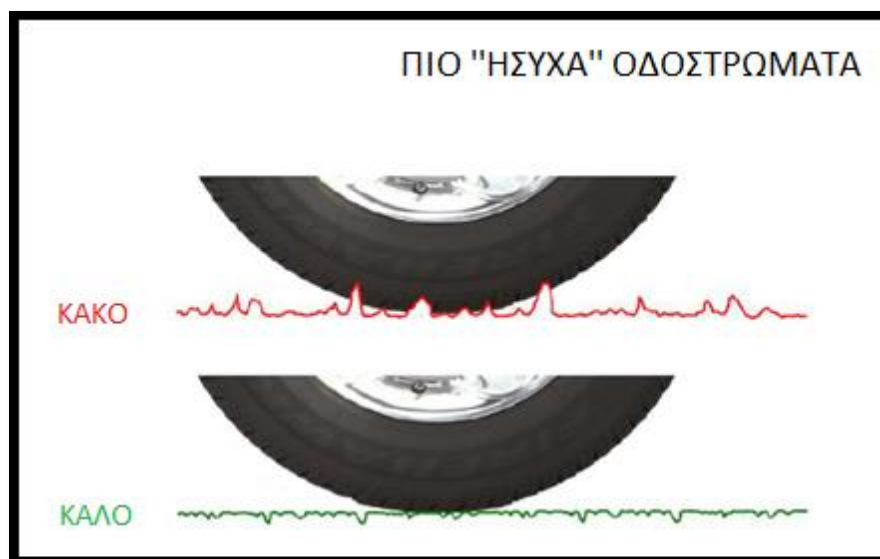
Εικόνα 2.3.: Τριβή μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος (Hall, 2007)

Η αντιολισθητική ικανότητα είναι υψηλή αμέσως μετά την κατασκευή της αντιολισθητής στρώσης ενός οδοστρώματος, και πριν αυτό δοθεί στην κυκλοφορία. Στη συνέχεια, όταν το οδόστρωμα δοθεί στην κυκλοφορία η αντιολισθητική ικανότητα αυξάνεται καθώς τα ελαστικά των οχημάτων απομακρύνουν την άσφαλτο που καλύπτει τα επιφανειακά αδρανή. Έτσι, η επιφάνεια γίνεται πιο αδρή λόγω του γωνιώδους σχήματος των αδρανών. Έπειτα, κατά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, η αντιολισθητική ικανότητα φθίνει καθώς τα αδρανή λειαινούνται λόγω της συνεχούς διέλευσης οχημάτων. Σημειώνεται πως υψηλότερη αντίσταση σε ολίσθηση απαιτείται κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου όταν τα οδοστρώματα είναι βρεγμένα, οπότε είναι πιθανότερη η δημιουργία του φαινομένου υδρολίσθησης (Pavement Interactive).

Η αντιολισθητική ικανότητα είναι μία σημαντική παράμετρος αξιολόγησης του οδοστρώματος καθώς η ανεπαρκής αντίσταση σε ολίσθηση έχει συνδεθεί μεταξύ άλλων με αύξηση του ποσοστού ατυχημάτων. Τέλος, οι μετρήσεις αντίστασης σε ολίσθηση χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση ποικίλων τύπων υλικών και πρακτικών κατασκευής (Izepi 2010, Pavement Interactive).

## 2.5. Θόρυβος

Ο ήχος είναι η ακουστική ενέργεια που δημιουργείται από εναλλαγές στην ατμοσφαιρική πίεση και την πυκνότητα. Ο ανεπιθύμητος ήχος εξ ορισμού είναι ο θόρυβος. Ο θόρυβος που εκπέμπεται από τα οχήματα και την αλληλεπίδρασή τους με το οδόστρωμα (επαφή ελαστικών-δρόμου) οφείλεται στον τύπο του οδοστρώματος και την υφή, ενώ είναι ο κύριος παράγοντας που ξεπερνά τα όρια ήχου (Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007).



Εικόνα 2.4.: Σχέση υφής οδοστρώματος-θορύβου (Kim et al., 2013)



Η υφή του οδοστρώματος δεν παραμένει ίδια συνεχώς, επηρεάζοντας κατ' επέκταση τα επίπεδα θορύβου. Ωστόσο, τεχνικές συντήρησης μπορούν να περιορίσουν τις αλλοιώσεις του οδοστρώματος με αποτέλεσμα πιο "ήσυχα" οδοστρώματα (Caltrans Division of Maintenance, 2007).

Ο θόρυβος που παράγεται από την κυκλοφορία των οχημάτων αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα της εποχής, ιδιαίτερα στα τμήματα των αυτοκινητοδρόμων που διασχίζουν οικισμούς και πόλεις. Υπολογίζεται ότι κατά το διπλασιασμό της ταχύτητας ενός οχήματος η αύξηση της στάθμης του παραγόμενου από το οδόστρωμα θορύβου είναι της τάξης των 12db, ενώ θόρυβος παράγεται και από την επαφή των ελαστικών με το οδόστρωμα με αποτέλεσμα να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του ασφαλτοτάπητα κυκλοφορίας. Επίσης, όταν το όχημα υπερβεί μία συγκεκριμένη ταχύτητα η υφή του οδοστρώματος επηρεάζει αρκετά τη στάθμη του θορύβου. Επομένως, για πιο "ήσυχα" οδοστρώματα κρίνεται αναγκαία η εισαγωγή της τεχνικής των αντιθορυβικών ταπήτων, δηλαδή οδοστρωμάτων που έχουν την ιδιότητα να απορροφούν το θόρυβο. Με τη χρήση των αντιθορυβικών ταπήτων ο θόρυβος απορροφάται από μικρά κενά στο μείγμα της ασφάλτου, που δημιουργούνται και διατηρούνται με τη χρήση χημικών προσμείκτων (Ηχομονωτικοί τάπητες στους δρόμους, 2008).

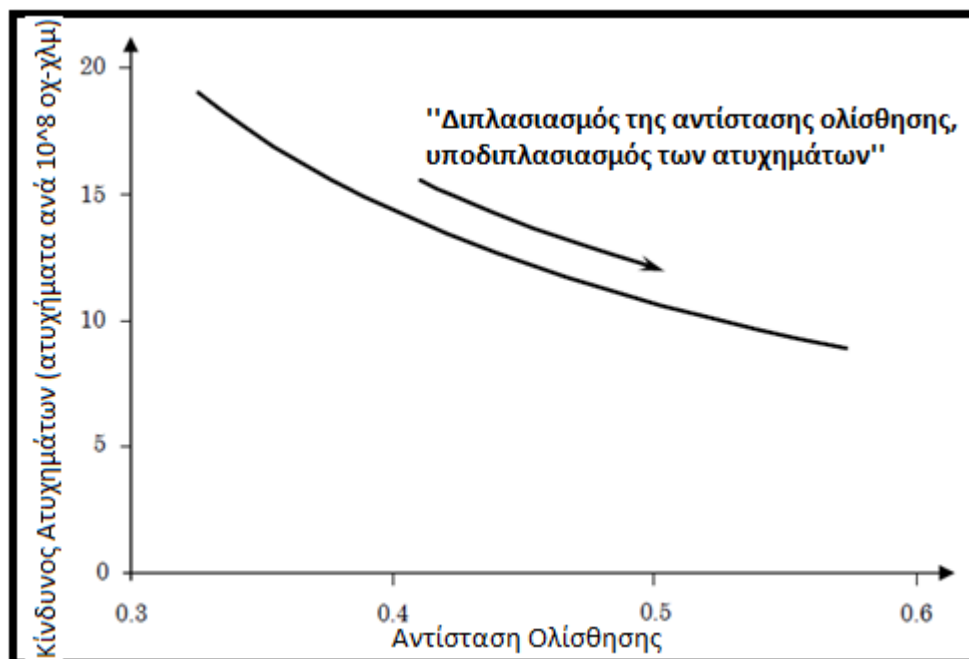
Συνεπώς, πιο "ήσυχα" οδοστρώματα είναι αναγκαία, ειδικότερα, σε αστικές περιοχές αφού ο μειωμένος θόρυβος έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερη ανάγκη για ηχοπετάσματα (Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007).

### 3. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΥΦΗ

#### 3.1. Γενικά

Η υφή της επιφάνειας ενός οδοστρώματος είναι μια ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης του οδοστρώματος, αφού συνδέεται άμεσα με την ασφάλεια και την άνεση των χρηστών. Επίσης, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο εδάφιο, η επιφανειακή υφή ενός οδοστρώματος αποτελεί βασικό παράγοντα για την αποστραγγιστική ικανότητα του οδοστρώματος. Ακόμα, η επιφανειακή υφή συνδέεται με το κόστος των οχημάτων αναφορικά με την κατανάλωση καυσίμου και τις φθορές του μέσου (αμορτισέρ κ.α.), καθώς και με την κατασκευαστική ποιότητα του οδοστρώματος (διαβάθμιση υλικών κατασκευής κ.α.) (Λοΐζος 2013, Caltrans Division of Maintenance 2007).

Σχετικά με την οδική ασφάλεια, το υφιστάμενο επίπεδο υφής σε ένα οδόστρωμα επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά των ελαστικών των οχημάτων όταν αυτό είναι βρεγμένο, ενώ έμμεσα επηρεάζει την παρεχόμενη αντιολισθητική ικανότητα. Συνεπώς, η σημαντικότητα της επαρκούς υφής απαντάται στη μείωση των ατυχημάτων σε βρεγμένα οδοστρώματα που προκαλούνται από ολίσθηση και υδρολίσθηση (Aavik et al., 2011).



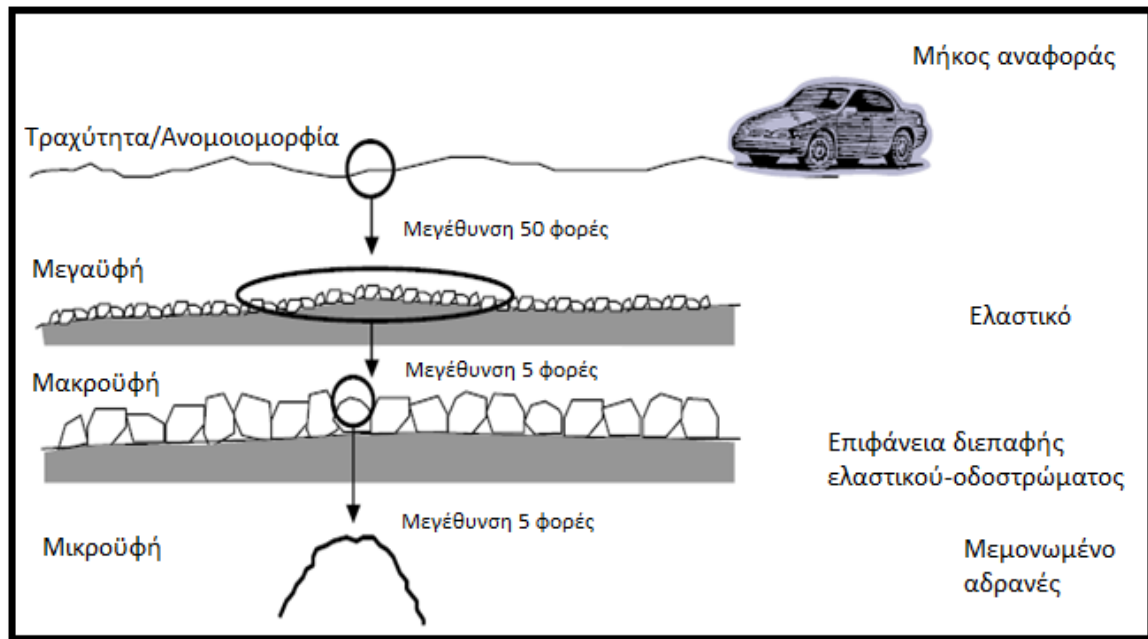
Διάγραμμα 3.1.: Διαγραμματική απεικόνιση των ατυχημάτων συγκριτικά με την αντιολισθητική ικανότητα του οδοστρώματος (Hall et al., 2009)

Στο διάγραμμα 3.1. παρατηρείται η σχέση των ατυχημάτων αναφορικά με την αντιολισθητική ικανότητα του οδοστρώματος. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι διπλασιάζοντας την αντιολισθητική ικανότητα υποδιπλασιάζεται ο αριθμός των ατυχημάτων (Hall et al., 2009).

### 3.2. Κατηγορίες Υφής

Η επιφανειακή υφή σύμφωνα με το βάθος της και το χαρακτηριστικό μήκος κύματός της διακρίνεται σε (Λοΐζος 2013, Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007):

- Μικροϋφή
- Μακροϋφή
- Μεγαϋφή



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

#### 3.2.1. Μικροϋφή

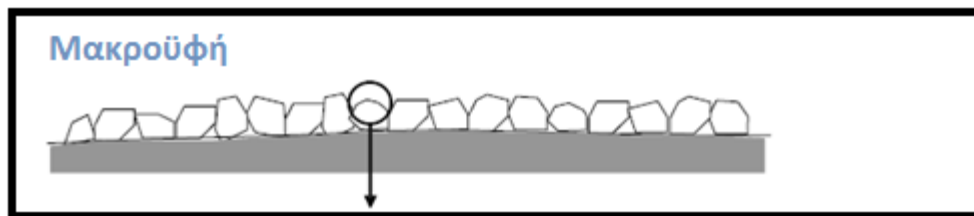
Η μικροϋφή ορίζεται ως η απόκλιση της επιφάνειας ενός οδοστρώματος από μία επίπεδη επιφάνεια με χαρακτηριστικές διαστάσεις κατά μήκος της επιφάνειας από 1μm έως 0.5mm και κάθετο εύρος μικρότερο του 0.2mm. Η μικροϋφή σχετίζεται με την αδρότητα της επιφάνειας των αδρανών.

Η μικροϋφή είναι απαραίτητη για να παρέχεται επαρκής τριβή σε στεγνά οδοστρώματα για ένα τυπικό όχημα που κινείται με τη λειτουργική ταχύτητα και για την περίπτωση βρεγμένου οδοστρώματος όταν το όχημα κινείται με ταχύτητα μικρότερη των 50

miles/hr. Μέσω της μικροϋφής ελέγχεται η επαφή μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος. Όταν αναμένονται μεγαλύτερες ταχύτητες απαιτείται ικανοποιητική μακροϋφή και μικροϋφή ώστε να παρέχεται επαρκής τριβή σε βρεγμένα οδοστρώματα (wet pavement friction) (Λοΐζος 2013, Aavik et al. 2011, Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007, Flintsch 2003, McGhee & Flintsch 2003). Ο προσδιορισμός της μικροϋφής μπορεί να πραγματοποιηθεί με το σύστημα του Βρετανικού Εκκρεμούς (British Pendulum).

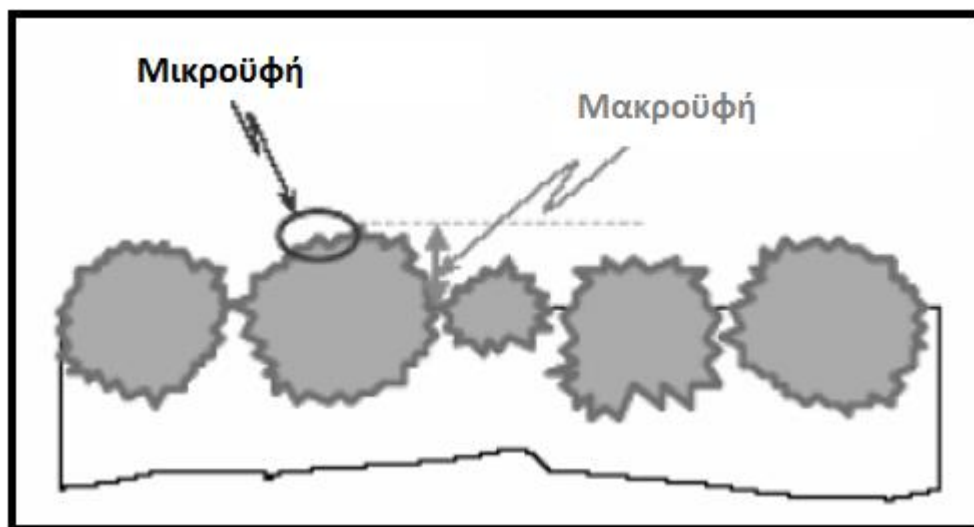
### 3.2.2. Μακροϋφή

Η μακροϋφή ορίζεται ως η απόκλιση της επιφάνειας ενός οδοστρώματος από μία επίπεδη επιφάνεια με χαρακτηριστικές διαστάσεις μήκους κύματος από 0.5mm έως 50mm και κάθετο εύρος από 0.1mm έως 20mm.



Εικόνα 3.2.: Μακροϋφή οδοστρώματος (Hall, 2007)

Η μακροϋφή σχετίζεται με την τραχύτητα της επιφάνειας του οδοστρώματος λόγω προεξοχής των αδρανών από την επιφάνεια και συνιστά καθοριστικό παράγοντα στην αντιολισθητική ικανότητα σε βρεγμένο οδόστρωμα, ειδικότερα για τα οχήματα που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες.

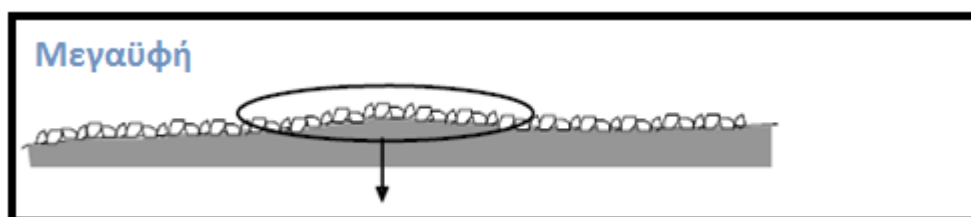


Εικόνα 3.3.: Σύγκριση μικροϋφής με μακροϋφή (Flintsch, 2003)

Αναλυτικότερα, η μακροϋφή εξασφαλίζει την απομάκρυνση του νερού κάτω από το ελαστικό και κατ' επέκταση ελαχιστοποιεί το φαινόμενο της υδρολίσθησης και το "splash and spray". Ταυτόχρονα όμως, αυξάνει το θόρυβο μεταξύ της διεπαφής ελαστικού και επιφάνειας οδοστρώματος (Λοΐζος 2013, Aavik et al. 2011, Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007, McGhee & Flintsch 2003).

### 3.2.3. Μεγαϋφή

Η μεγαϋφή ορίζεται ως η απόκλιση της επιφάνειας ενός οδοστρώματος από μία επίπεδη επιφάνεια με χαρακτηριστικές διαστάσεις μήκους κύματος από 50mm έως 500mm και κάθετο εύρος από 0.1mm έως 50mm.



Εικόνα 3.4.: Μεγαϋφή οδοστρώματος (Hall, 2007)

Η μεγαϋφή προκύπτει εξαιτίας ανεπαρκών τεχνικών κατασκευής, αλλοιώσεων της επιφάνειας και συναντάται σε τοπικούς οικισμούς. Η ύπαρξη μεγαϋφής προκαλεί κραδασμούς στα τοιχώματα των ελαστικών με αποτέλεσμα την παραγωγή θορύβου τόσο μέσα στο όχημα όσο και έξω από αυτό. Η μεγαϋφή επηρεάζει δυσμενώς την ποιότητα κύλισης και δημιουργεί πρόωρες φθορές στις αναρτήσεις του οχήματος (λάστιχα, αμορτισέρ κ.α.). Δε μπορεί να μετρηθεί απευθείας αλλά ορίζεται πρωτίστως ως το μεταβατικό στάδιο μεταξύ της μακροϋφής και της ομαλότητας (Aavik et al. 2011, Hall et al. 2008, Caltrans Division of Maintenance 2007).

### 3.3. Μηχανισμός υφής

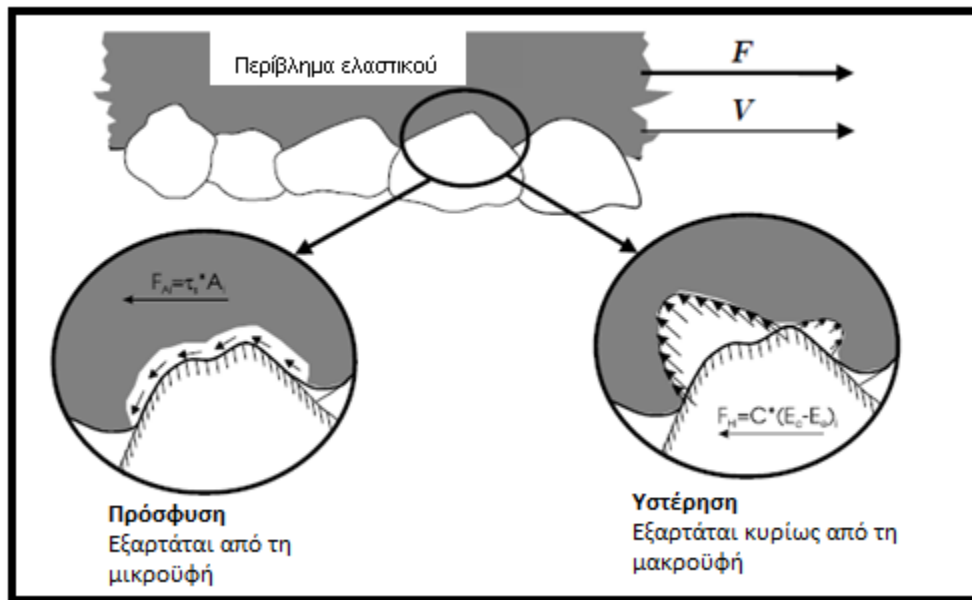
Η επιφανειακή τριβή αποτελείται από δύο συνιστώσες, την πρόσφυση και την υστέρηση.

Η πρόσφυση είναι η συνιστώσα της τριβής που προκύπτει από την μικρής κλίμακας διεπαφή του περιβλήματος του ελαστικού ενός οχήματος και της επιφάνειας του οδοστρώματος. Έτσι, συνίσταται μία λειτουργία διεπαφής της διατμητικής αντοχής του ελαστικού και της επιφάνειας επαφής.

Η υστέρηση προκύπτει από την απώλεια ενέργειας εξαιτίας της μεγάλης παραμόρφωσης των ελαστικών του οχήματος. Η παραμόρφωση αυτή, κοινώς, αναφέρεται στην «κάλυψη» της υφής από το παραμορφωμένο ελαστικό. Πιο συγκεκριμένα, όταν τα ελαστικά συμπιέζονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος, η

κατανομή των τάσεων έχει σαν αποτέλεσμα την αποθήκευση της ενέργειας παραμόρφωσης στο ελαστικό. Όταν το ελαστικό πάψει να είναι παραμορφωμένο, μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας επανακτάται, ενώ η υπόλοιπη χάνεται με τη μορφή θερμότητας, η οποία είναι μη αναστρέψιμη. Αυτή η απώλεια θερμότητας απελευθερώνει μία καθαρή δύναμη τριβής η οποία συνδράμει στην παρεμπόδιση της εμπρόσθιας κίνησης (Hall et al., 2009).

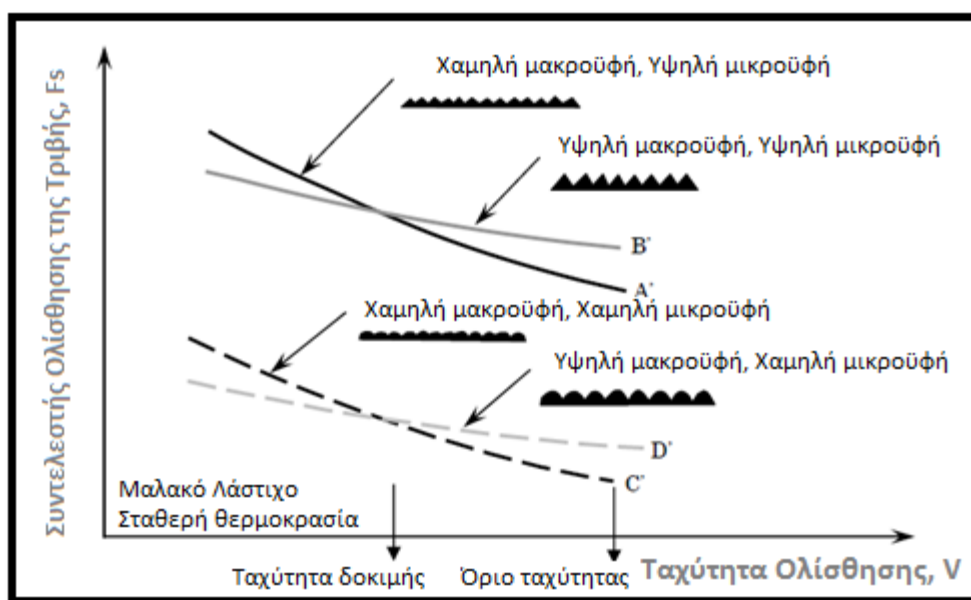
Καθώς η πρόσφυση που αναπτύσσεται στη διεπαφή οδοστρώματος και ελαστικού συνδέεται με την αδρότητα της επιφάνειας των αδρανών της επιφάνειας οδοστρώματος, σχετίζεται με τη μικροϋφή. Εν αντιθέσει, η υστέρηση που αναπτύσσεται εντός του ελαστικού αφορά το μακρο-επίπεδο της τραχύτητας που σχηματίζεται στην επιφάνεια και επιτυγχάνεται μέσω συγκεκριμένων ασφαλτικών μειγμάτων και κατασκευαστικών τεχνικών, δηλαδή συνδέεται με τη μακροϋφή.



Εικόνα 3.5.: Μηχανισμοί τριβής ελαστικού-οδοστρώματος (Hall et al., 2009)

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η πρόσφυση είναι κυρίαρχη κατά την επίδραση της τριβής σε ομαλά και στεγνά οδοστρώματα, ενώ η υστέρηση είναι η κυρίαρχη συνιστώσα της τριβής σε βρεγμένα και τραχιά οδοστρώματα. Επιπροσθέτως, η μικροϋφή επιδρά στην τριβή κυρίως στην περίπτωση που τα οχήματα κινούνται με χαμηλές ταχύτητες, ενώ η μακροϋφή επιδρά κυρίως στην περίπτωση που τα οχήματα κινούνται με υψηλές ταχύτητες. Αναφορικά, η συνιστώσα της υστέρησης, η οποία, όπως αναφέρθηκε, συνδέει την τριβή με τη μακροϋφή, αυξάνεται με την ταχύτητα εκθετικά και για ταχύτητες πάνω από 105km/hr συνιστά τουλάχιστον το 95% της τριβής (Hall et al., 2009).

Στο διάγραμμα 3.2. παρουσιάζεται η σχετική επιρροή της μικροϋφής και της μακροϋφής με την ταχύτητα ολίσθησης και το συντελεστή ολίσθησης της τριβής.



Διάγραμμα 3.2.: Επίδραση της μικροϋφής και της μακροϋφής σε σχέση με την τριβή ελαστικού-οδοστρώματος και διαφορετικές ταχύτητες ολίσθησης (Hall et al., 2009)

Όπως φαίνεται παραπάνω, η μικροϋφή επηρεάζει την τάξη μεγέθους του συντελεστή τριβής, ενώ η μακροϋφή επηρεάζει τη σχέση μεταξύ τριβής- ταχύτητας. Επίσης, όπως παρατηρείται, για χαμηλές ταχύτητες η μικροϋφή επηρεάζει την τριβή σε στεγνό και βρεγμένο οδόστρωμα. Για υψηλότερες ταχύτητες, η παρουσία της μακροϋφής διευκολύνει την αποστράγγιση του νερού με αποτέλεσμα να αποκαθίσταται η συνιστώσα της πρόσφυσης και να επανεμφανίζεται επάνω από το στρώμα νερού. Τέλος, η υστέρηση αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της ταχύτητας (Hall et al., 2009).

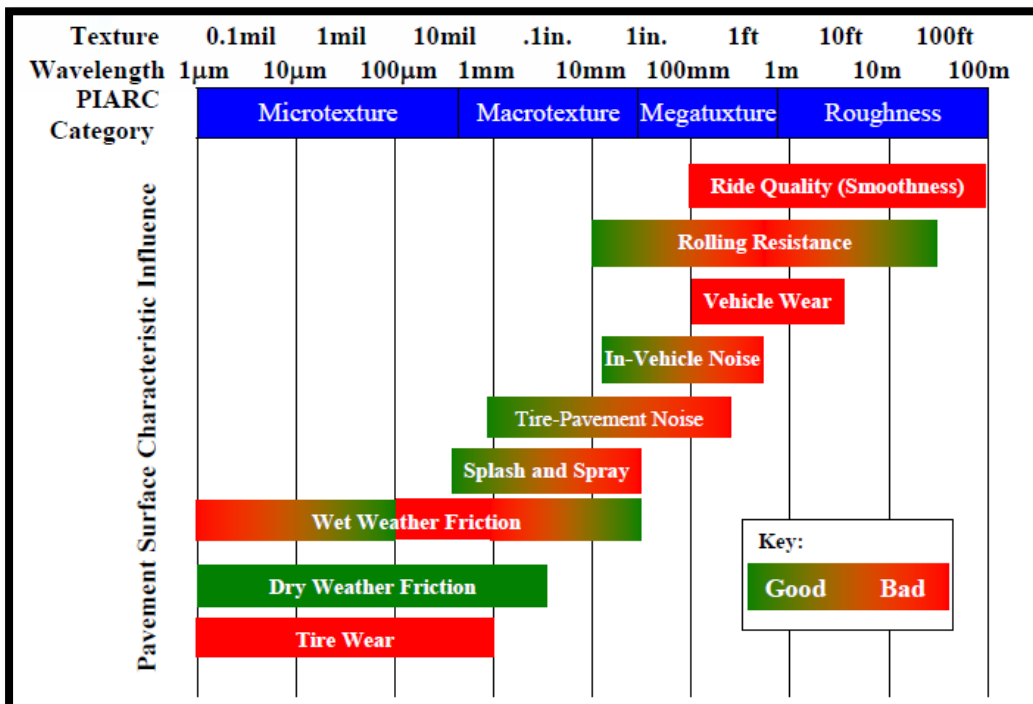
### 3.4. Παράγοντες επίδρασης της υφής

Η επιφανειακή υφή του οδοστρώματος επηρεάζει αρκετές αλληλεπιδράσεις που αφορούν στη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος, όπως είναι (Caltrans Division Of Maintenance 2007, Flintsch 2003):

- Η τριβή που αναπτύσσεται σε βρεγμένο οδόστρωμα (wet weather friction). Το φιλμ νερού που δημιουργείται στη διεπιφάνεια οδοστρώματος ελαστικών, μειώνει την άμεση επαφή τους εμποδίζοντας έτσι την πρόσφυση του οχήματος. Συνεπώς, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για επαρκή μακροϋφή, η οποία να εξασφαλίζει την απομάκρυνση του νερού κάτω από το ελαστικό, ελαχιστοποιώντας το φαινόμενο της υδρολίσθησης.

- Ο θόρυβος που προκαλείται μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος, ο οποίος αυξάνεται σε μεγάλα μήκη κύματος της μακροϋφής για συμβατικούς τάπητες.
- Το φαινόμενο splash and spray, που εμφανίζεται όταν το στάσιμο νερό στην επιφάνεια του οδοστρώματος "ανασηκώνεται" από τους τροχούς του οχήματος και διασκορπίζεται στον αέρα με αποτέλεσμα να προκαλεί μείωση της ορατότητας στους παράπλευρους ή πίσω οδηγούς των οχημάτων. Για την αντιμετώπιση του είναι αναγκαία η παρουσία επαρκούς μακροϋφής, για να εξασφαλίζεται η επαρκής απομάκρυνση του νερού από την επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Η αντίσταση κύλισης, η οποία συνδέεται με την υφή και είναι επαρκής για μήκη κύματος από 10mm -100mm, ενώ παρουσιάζεται ανεπαρκής από 100mm -5 m.
- Η φθορά των ελαστικών, δηλαδή η σταδιακή φθορά τους λόγω της μικροϋφής.

Στην εικόνα 3.6. περιγράφεται η σχέση μεταξύ της επιφανειακής υφής του οδοστρώματος και των αλληλεπιδράσεων του ελαστικού με το οδόστρωμα αλλά και ο βαθμός στον οποίο συμμετέχουν οι κατηγορίες της υφής σε αυτό, διακρίνοντας το ρόλο τους σε καλό και κακό.



Εικόνα 3.6.: Ταξινόμηση υφής κατά PIARC (Hall, 2007)

Αναλυτικότερα, απεικονίζονται τα εύρη των μηκών κύματος της υφής και η σημασία του καθενός στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχήματος και οδοστρώματος.



Όπως αναφέρθηκε, η τριβή χωρίζεται σε δύο συνιστώσες, την πρόσφυση και την υστέρηση, που επηρεάζονται από τη μικροϋφή και τη μακροϋφή αντίστοιχα. Η μικροϋφή αφορά κυρίως την τριβή σε στεγνό οδόστρωμα, όπου είναι πολύ καλή, ενώ για χαμηλές ταχύτητες των οχημάτων επηρεάζει την τριβή και σε βρεγμένο οδόστρωμα, όπου η επίδραση της είναι εξίσου καλή. Επίσης, η μικροϋφή συνδέεται άμεσα με τη φθορά του ελαστικού, όπου συμμετέχει αρνητικά. Όσον αφορά τη μακροϋφή συνιστά την κύρια παράμετρο που επηρεάζει την τριβή σε βρεγμένο οδόστρωμα, αφού για υψηλές ταχύτητες οχημάτων διευκολύνει την αποστράγγιση του νερού από το οδόστρωμα αποκαθιστώντας ξανά τη συνιστώσα πρόσφυσης της τριβής πάνω στο νερό, καθιστώντας την ως καλή. Επιπλέον, η μακροϋφή σχετίζεται με το φαινόμενο "splash and spray" λόγω της αποστραγγιστικής της ικανότητας και με τα επίπεδα θορύβου μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος, όπου όσο η μακροϋφή πλησιάζει τα μήκη κύματος της μεγαϋφής τόσο πιο κακή είναι η συνεισφορά της. Η αντίσταση κύλισης και ο εσωτερικός θόρυβος του οχήματος είναι καλός πριν από την εισαγωγή των μηκών κύματος από τη μακροϋφή στη μεγαϋφή ενώ μετατρέπεται σε κακός όταν εισέρχεται στα μήκη κύματος της μεγαϋφής. Τέλος, αναφορικά με την ομαλότητα και τη φθορά του οχήματος είναι κακή στα μήκη κύματος της μεγαϋφής.

### 3.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την υφή

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή υφή του οδοστρώματος σχετίζονται κυρίως με τα αδρανή, το συνδετικό υλικό, τις ιδιότητες των υλικών της επιφάνειας του οδοστρώματος και από άλλες διεργασίες αδροποίησης του ασφαλτικού υλικού που πραγματοποιούνται μετά την διάστρωσή του. Ορισμένες από αυτές τις διεργασίες αφορούν (Hall et al., 2009):

- Τις μέγιστες διαστάσεις των αδρανών. Τα μεγέθη των μεγαλύτερων αδρανών σε ένα ασφαλτικό οδόστρωμα, AC (asphalt concrete), παρέχουν το κυρίαρχο μήκος κύματος της μακροϋφής.
- Τον τύπο των χονδρόκοκκων αδρανών. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου χονδρόκοκκων αδρανών αποτελεί βασικό παράγοντα για το ασφαλτόμιγμα καθώς έτσι ελέγχεται η ποιότητα των αδρανών, η αδρότητα, το σχήμα και η αντοχή τους.
- Τον τύπο των λεπτόκοκκων αδρανών. Το γωνιώδες και η ανθεκτικότητα των λεπτόκοκκων αδρανών ελέγχεται από τα επιλεγθέντα υλικά και την πιθανότητα θρυμματισμού τους.
- Το ιξώδες και την περιεκτικότητα της ασφάλτου στο μίγμα. Η άσφαλτος με χαμηλό ιξώδες τείνει να αναδυθεί (asphalt bleeding) πιο εύκολα από τις σκληρότερες διαβαθμίσεις. Επιπλέον, η υπερβολική ποσότητα ασφάλτου

οποιοδήποτε τύπου μπορεί να οδηγήσει στην ανάδυσή της στην επιφάνεια του οδοστρώματος (asphalt bleeding). Σε τέτοιες περιπτώσεις προκαλείται μείωση ή ολική απώλεια της μικροϋφής και της μακροϋφής της επιφάνειας του οδοστρώματος. Όμως, επειδή η ασφαλτος συγκρατεί τα αδρανή στη θέση τους εντός του ασφαλτομίγματος, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διατηρεί αυτή την ιδιότητα σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

- Την κοκκομετρική διαβάθμιση του μείγματος. Ιδιαίτερα, για τα πορώδη οδοστρώματα, επηρεάζει τη σταθερότητα και το ποσοστό κενών αέρα του οδοστρώματος.
- Το ποσοστό των κενών αέρα στο ασφαλτόμιγμα. Αυξημένα ποσοστά κενών αέρα παρέχουν αυξημένη αποστραγγιστική ικανότητα με αποτέλεσμα τη βελτίωση της τριβής και την αύξηση της διαφυγής του αέρα έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση του θορύβου.
- Το πάχος της ασφαλτικής στρώσης. Μεγάλο πάχος ασφαλτικής στρώσης παρέχει μεγαλύτερο όγκο υλικού για την αποστράγγιση του νερού. Αντίθετα, δυσχεραίνει τη διαφυγή του θορύβου καθώς, αυτή η αύξηση του πάχους της ασφαλτικής στρώσης ελαττώνει τη συχνότητα της μέγιστης απορρόφησης ήχου.
- Την ισοτροπία ή την ανισοτροπία της επιφανειακή υφής. Η ισοτροπία της επιφανειακής υφής (ομοιομορφία προς όλες τις κατευθύνσεις) ελαχιστοποιεί τα μεγάλα μήκη κύματος, μειώνοντας έτσι τον θόρυβο.
- Την κυρτότητα της μακροϋφής. Η θετική μακροϋφή επηρεάζεται από τον αριθμό των κορυφών πάνω από τη νοητή μηδενική επιφάνεια, δηλαδή από τις προεξοχές των αδρανών. Η αρνητική μακροϋφή επηρεάζεται από την επιφάνεια των αδρανών που βρίσκονται κάτω από αυτή τη νοητή γραμμή, δηλαδή τις εσοχές των αδρανών.

Τύπος Οδοστρ/τος	Παράγοντας	Μικροϋφή	Μακροϋφή
Άσφαλτος	Μέγιστες διαστάσεις αδρανών		X
	Τύπος χονδρόκοκκων αδρανών	X	X
	Τύπος λεπτόκοκκων αδρανών		X
	Κοκκομετρική διαβάθμιση μ/τος		X
	Ποσοστό κενών αέρος		X
	Ιξώδες μείγματος		X

Εικόνα 3.7.: Παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροϋφή και τη μακροϋφή (Hall et al., 2009)

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται μία σύνοψη των παραγόντων που επηρεάζουν τη μικροϋφή και τη μακροϋφή. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να βελτιστοποιηθούν προκειμένου να δημιουργηθούν τα επιθυμητά επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος για μία δεδομένη σύνθεση ασφαλτομίγματος. Ωστόσο, διαφαίνεται ότι όλοι οι παράγοντες επηρεάζουν τη μακροϋφή. Έτσι, γίνεται αντιληπτή η σημασία κατασκευής ενός οδοστρώματος με ικανοποιητικά επίπεδα μακροϋφής αλλά και η διατήρηση αυτών κατά τη λειτουργία του οδοστρώματος.

### 3.6. Μέθοδοι Μέτρησης και Δείκτες Αξιολόγησης της Μακροϋφής

Οι μέθοδοι μέτρησης της μακροϋφής διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις στατικές και τις δυναμικές μεθόδους. Οι πιο κοινές στατικές μέθοδοι μέτρησης είναι η κηλίδα άμμου, η καταγραφή του χρόνου εκροής και η καταγραφή της κυκλικής κατατομής ενώ η πιο διαδεδομένη δυναμική μέθοδος είναι η καταγραφή της διαμήκους κατατομής.

Αν και ο προσδιορισμός της μακροϋφής με την προαναφερθείσα στατική μέθοδο της κηλίδας άμμου θεωρείται αρκετά πιο αξιόπιστος, αποτελεί μία ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία και επιπλέον, είναι αναγκαίο να διακόπτεται η κυκλοφορία στο τμήμα που θα διενεργούνται οι μετρήσεις, σε περίπτωση που το οδόστρωμα λειτουργεί (Kim et al. 2013, Caltrans Division of Maintenance 2007, Flintsch et al. 2003, McGhee & Flintsch 2003). Επίσης, όπως συμβαίνει και με τις υπόλοιπες στατικές μεθόδους δεν είναι εφικτό να πραγματοποιούνται μετρήσεις σε όλο το μήκος ενός οδικού τμήματος παρά μόνο σε έναν πεπερασμένο αριθμό σημείων, που λειτουργεί ως δείγμα για τον προσδιορισμό της μακροϋφής σε όλο το εύρος του οδικού τμήματος (ASTM E965 2006, Flintsch et al. 2003).

Με τη χρήση δυναμικών μεθόδων, όπως είναι τα προφιλόμετρα, είναι δυνατό να σαρωθεί όλο το μήκος μίας λωρίδας οδικού τμήματος σε ελάχιστο χρόνο.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη δημιουργίας μίας αξιόπιστης σχέσης που να συνδέει τη διδιάστατη κατατομή που προκύπτει από το προφιλόμετρο με το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης επιφάνειας που προκύπτει από την κηλίδα της άμμου, προκειμένου να παραχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα στον ελάχιστο χρόνο (ASTM E1845 2009, Flintsch et al. 2003).

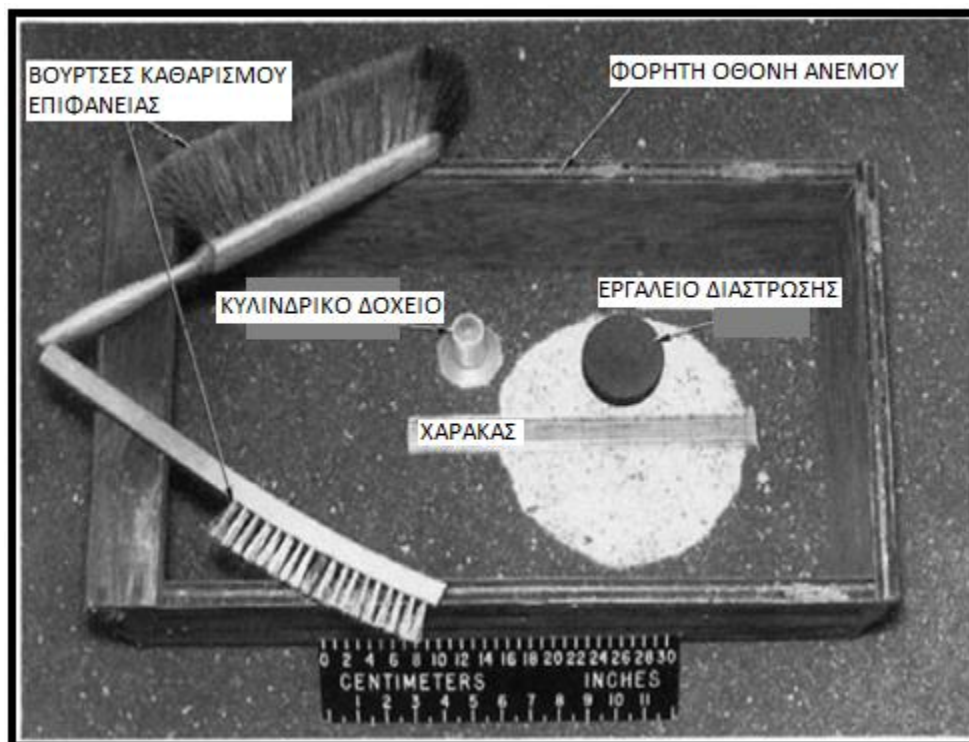
#### 3.6.1. Κηλίδα άμμου

Όπως αναφέρθηκε, η κηλίδα άμμου είναι μία στατική μέθοδος μέτρησης της μακροϋφής, η οποία προσδιορίζει το μέσο βάθος υφής και θεωρείται από τις προδιαγραφές ως η μέθοδος αναφοράς για τη μέτρησή της. Πρόκειται για μία

ογκομετρική μέθοδο που βασίζεται στην εκτίμηση του όγκου των κενών της επιφάνειας του οδοστρώματος, όταν συγκεκριμένος όγκος διαβαθμισμένης άμμου διαστρώνεται και γεμίζει τα κενά έως τις κορυφές των κόκκων των αδρανών. Η τεχνική αυτή παρέχει μία τιμή μέσου βάθους μόνο για την μακροϋφή ενώ θεωρείται ανεπαρκής για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της μικροϋφής.

Τα απαραίτητα στοιχεία για τη διεξαγωγή των μετρήσεων με τη μέθοδο της κηλίδας άμμου αποτελούνται από (Caltrans Division of Maintenance 2007, ASTM E965 2006):

- Συμπαγή γυάλινα σφαιρίδια με 90% στρογγυλότητα ή κατάλληλη άμμο, τα /η οποία κατ' ελάχιστο το 90% του βάρους τους/της να περνάει από κόσκινο κοκκομετρικής διαβάθμισης No.60 και να παραμένει σε κόσκινο κοκκομετρικής διαβάθμισης No.80.
- Ένα κυλινδρικό πλαστικό ή μεταλλικό δοχείο με προκαθορισμένο εσωτερικό όγκο τουλάχιστον 25000mm<sup>3</sup>, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του όγκου του υλικού-άμμου που θα διαστρωθεί.
- Έναν επίπεδο, σκληρό δίσκο διάστρωσης πάχους περίπου 25mm και με διάμετρο που να κυμαίνεται από 60 έως 75 mm.
- Μία σκληρή και μία μαλακή βούρτσα ώστε να καθαριστεί η επιφάνεια του οδοστρώματος πριν την εφαρμογή του υλικού διάστρωσης.
- Μία οθόνη προστασίας της άμμου από τον άνεμο και τις αναταράξεις που δημιουργούνται από την κίνηση των οχημάτων,
- Ένας χάρακας μήκους τουλάχιστον 305 mm με διαβαθμίσεις ανά 1mm ή ανά 2,5 mm.



Εικόνα 3.8.: Μέθοδος κηλίδας της άμμου (ASTM E965, 2006)

Για την πραγματοποίηση της μεθόδου επιλέγεται μία στεγνή και ομογενοποιημένη περιοχή της επιφάνειας του οδοστρώματος χωρίς ρηγματώσεις. Ακολούθως, η επιφάνεια καθαρίζεται με τη σκληρή και έπειτα με τη μαλακή βούρτσα ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα ή αποκολλημένα αδρανή και τοποθετείται η φορητή οθόνη προστασίας από τον άνεμο γύρω από την περιοχή διεξαγωγής της μέτρησης. Εν συνεχεία, ο ογκομετρικός κύλινδρος γεμίζεται με υλικό και χτυπώντας τον πάτο του απαλά σε μία στέρεη επιφάνεια, με σκοπό την ευθυγράμμιση του υλικού, καταγράφεται ο όγκος που θα χρησιμοποιηθεί. Ρίχνοντας το υλικό, μετρημένου όγκου, μέσα στην καθαρισμένη επιφάνεια της οθόνης και διαστρώνοντας το με τον επίπεδο σκληρό δίσκο σε μία κυκλική κηλίδα (patch) γεμίζουν τα κενά της επιφάνειας με την άμμο. Έπειτα, πραγματοποιείται μέτρηση και καταγραφή της διαμέτρου της κυκλικής περιοχής που καλύφθηκε από το υλικό τουλάχιστον τέσσερις φορές ανά ίσα περίπου διαστήματα γύρω από το δείγμα και καταγράφεται η μέση διάμετρος. Η δοκιμή πρέπει να εκτελεστεί από τον ίδιο χειριστή σε τουλάχιστον τέσσερις τυχαία κατανεμημένες θέσεις στο χώρο, για τον προσδιορισμό του μέσου βάθους μακροϋφής στην υπό εξέταση επιφάνεια. Ο αριθμητικός μέσος όρος των μεμονωμένων τιμών του βάθους μακροϋφής θα θεωρηθεί ο μέσος όρος του βάθους μακροϋφής της επιφάνειας του υπό μελέτη οδοστρώματος (ASTM E965, 2006).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των δοκιμών η αναφορά για κάθε επιφάνεια οδοστρώματος πρέπει να περιέχει την τοποθεσία και τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος (τύπος οδοστρώματος, τύπος στρώσης κυκλοφορίας), την ημερομηνία διεξαγωγής, τον όγκο του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για κάθε δοκιμή σε mm<sup>3</sup>, τον αριθμό των δοκιμών, τη μέση διάμετρο της περιοχής που καλύφθηκε από το υλικό για κάθε δοκιμή, το μέσο βάθος υφής για κάθε δοκιμή και το μέσο βάθος υφής για το σύνολο της επιφάνειας δοκιμών του οδοστρώματος.

Η προαναφερθείσα μέθοδος είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό του μέσου βάθους μακροϋφής μίας επιφάνειας οδοστρώματος με μετρήσεις πεδίου, που σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της αντιολισθητικής ικανότητας ενός οδοστρώματος. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν γίνεται χρήση της μεθόδου σε συνδυασμό με άλλες, καθώς η εφαρμογή όλων των μεθόδων είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί στην ίδια τοποθεσία (ASTM E965, 2006).

#### 3.6.1.1. Μέσο βάθος υφής

Το μέσο βάθος υφής ή όπως αναφέρεται με τη διεθνή ορολογία MTD (Mean Texture Depth) αποτελεί το δείκτη προσδιορισμού της μακροϋφής που εξάγεται από τη μέθοδο μέτρησης της κηλίδας της άμμου. Το μέσο βάθος υφής υπολογίζεται ως το πηλίκο του όγκου του υλικού διάστρωσης προς το εμβαδόν της επιφάνειας διάστρωσης.

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

Όπου (Kim et al. 2013, Fisco 2009, ASTM E965 2006):

- V ο όγκος του υλικού διάστρωσης σε mm<sup>3</sup> και
- D ο μέσος όρος της διαμέτρου της περιοχής που καλύφθηκε από το υλικό σε mm.

Η ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων του βάθους μακροϋφής κατά τη διάρκεια ελεγχόμενων δοκιμών παράγει εκτιμήσεις της ακρίβειας της ογκομετρικής μεθόδου καθώς λανθασμένες μετρήσεις του μέσου βάθους υφής είναι αναμενόμενες. Οι ελεγχόμενες δοκιμές που διεξάγονται στα εργαστήρια παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών βάθους μακροϋφής μεταξύ 0.51-1.2mm. Οι εκτιμήσεις της ακρίβειας του βάθους μακροϋφής εκφράζονται ως ο ποσοστιαίος λόγος της τυπικής απόκλισης των μετρήσεων υφής προς το μέσο βάθος υφής. Η τυπική απόκλιση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων από τον ίδιο χειριστή στην ίδια επιφάνεια μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο το 1% του μέσου βάθους υφής, ενώ η τυπική απόκλιση επαναλαμβανόμενων



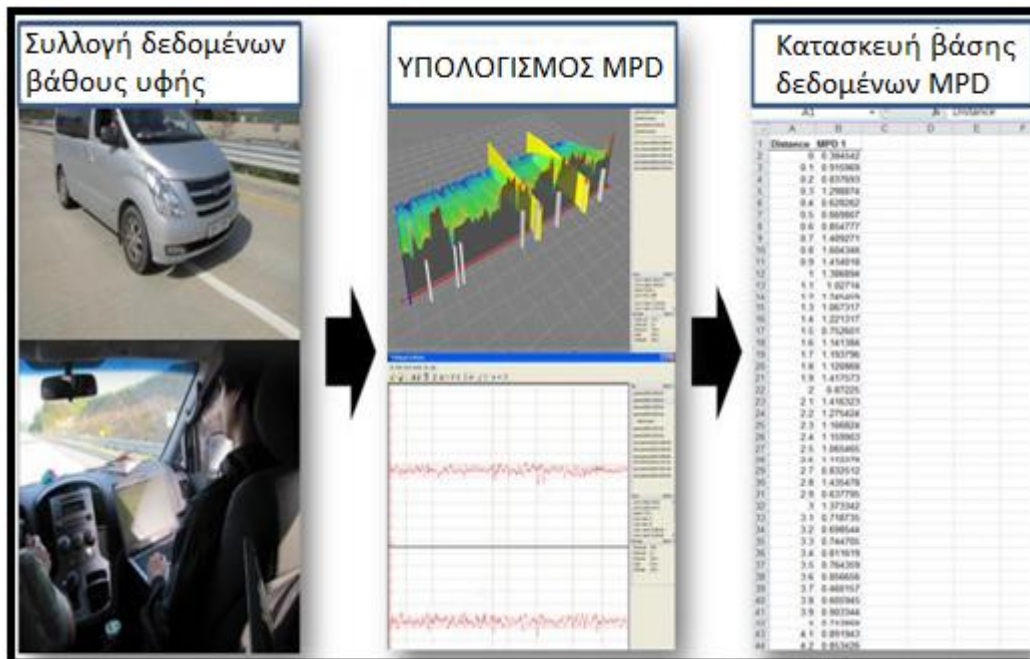
μετρήσεων από διαφορετικούς χειριστές στην επιφάνεια μπορεί να είναι όσο το 2% του μέσου βάθους υφής.

Επισημαίνεται ότι η τυπική απόκλιση από επιφάνεια σε επιφάνεια μπορεί να είναι τόσο μεγάλη όσο το 27% του μέσου βάθους υφής. Συνεπώς, θεωρείται αναγκαίο να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παρατηρήσεων για την αξιόπιστη εκτίμηση του μέσου βάθους υφής για τύπους οδοστρωμάτων με μεγάλες διακυμάνσεις στην υφή (ASTM E965, 2006).

### 3.6.2. Καταγραφή της διαμήκου κατατομής

Η καταγραφή της διαμήκου κατατομής συνιστά μία δυναμική μέθοδο μέτρησης του μέσου βάθους κατατομής ενός οδοστρώματος από δεδομένα κατατομής. Για τη λήψη των μετρημένων κατατομών χρησιμοποιούνται συστήματα laser ή άλλες οπτικές μέθοδοι με χρήση της γραφίδας, με τις οποίες είτε υπάρχει είτε δεν υπάρχει επαφή με την υπό εξέταση επιφάνεια.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατά ASTM E1845, ιδανικά, θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί μία συνεχής κατατομή κατά μήκος ολόκληρου του τμήματος μελέτης, ενώ η ελάχιστη απαίτηση είναι 10 ομοιόμορφα κατανεμημένες κατατομές μήκους 100mm για κάθε 100m του τμήματος μελέτης. Ωστόσο, για ένα ομοιόμορφο τμήμα μελέτης 16 ομοιόμορφα κατανεμημένες κατατομές ανεξαρτήτως του μήκους του δρόμου είναι επαρκείς για τον προσδιορισμό του μέσου βάθους κατατομής.



Εικόνα 3.9.: Διαδικασία συλλογής και υπολογισμού του μέσου βάθους κατατομής (Kim et al., 2013)

Η κάθετη ανάλυση απαιτείται να είναι τουλάχιστον 0.05mm, το κάθετο εύρος τουλάχιστον 20mm και η κάθετη μη γραμμικότητα το πολύ 2% του εύρους. Το μέγιστο μέγεθος σημείου για λέιζερ ή οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρο-οπτική συσκευή δε μπορεί να υπερβαίνει το 1mm. Το διάστημα δειγματοληψίας μπορεί να είναι μέχρι 1mm ενώ οι αποκλίσεις του δε μπορούν να ξεπερνάνε το  $\pm 10\%$ . Αυτό συνεπάγεται ότι ο αισθητήρας ταχύτητας πρέπει να διατηρείται εντός του  $\pm 10\%$  είτε η συσκευή είναι στατική είτε η συσκευή είναι τοποθετημένη σε ένα κινούμενο όχημα. Οι γωνίες μεταξύ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας της συσκευής με την επιφάνεια και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια στη συσκευή δε μπορούν να υπερβαίνουν τις 30°, διότι μεγαλύτερες γωνίες θα υποεκτιμούν μετρήσεις με μεγαλύτερο βάθος υφής (ASTM E1845, 2009).

Για κάθε επιφάνεια δοκιμής θα πρέπει να παρέχεται η ημερομηνία των μετρήσεων κατατομής, η τοποθεσία διεξαγωγής της δοκιμής, η περιγραφή του τύπου της επιφάνειας και η υγρασία. Ακόμα, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στα παραπάνω πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του οδοστρώματος, όπως η πιθανή ύπαρξη ρηγματώσεων και λακκουβών, η θέση της κατατομής πάνω στην επιφάνεια σε σχέση, δηλαδή, με το ίχνος του τροχού, η ταχύτητα μέτρησης, το ποσοστό των άκυρων μετρήσεων, το συνολικό μήκος κατατομής και ο αριθμός των τμημάτων ανάλυσης. Τέλος, σε συνδυασμό με την πληροφορία για το μέσο βάθος κατατομής θα πρέπει να προσδιορίζεται και η τυπική απόκλιση του μέσου βάθους των τμημάτων από των οποίων το μέσο όρο εξάχθηκε το μέσο βάθος κατατομής και προαιρετικά το εκτιμημένο βάθος υφής (ASTM E1845, 2009).

#### 3.6.2.1. Μέσο βάθος κατατομής από μέτρηση προφιλόμετρου

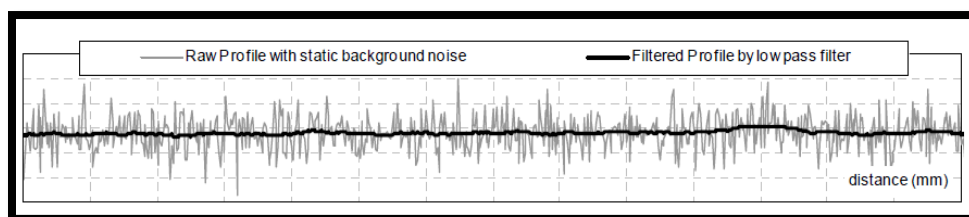
Το μέσο βάθος κατατομής ή όπως αναφέρεται με τη διεθνή ορολογία MPD (Mean Profile Depth) αποτελεί το δείκτη προσδιορισμού της μακροϋφής που εξάγεται από τις μεθόδους καταγραφής των κατατομών (ASTM E1845, 2009).

Για τον υπολογισμό του δείκτη με τη μέθοδο καταγραφής της διαμήκου κατατομής οι μετρημένες κατατομές διαιρούνται σε τμήματα το καθένα με βασικό μήκος 100mm, ενώ αν υπάρχει κλίση σε κάποιο τμήμα απαλείφεται με γραμμική παλινδρόμηση. Το κάθε τμήμα χωρίζεται στη μέση και προσδιορίζεται η τιμή του ύψους της υψηλότερης κορυφής του κάθε μισού τμήματος. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η διαφορά της υψηλότερης τιμής του τμήματος από τη μέση τιμή του. Ο μέσος όρος αυτών των διαφορών για όλα τα τμήματα αποτελεί το δείκτη μέσου βάθους κατατομής.

Αναλυτικότερα, κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων οι ακραίες μετρήσεις που οφείλονται σε αυλακώσεις της επιφάνειας ή τοπικές φωτομετρικές ιδιότητές της,

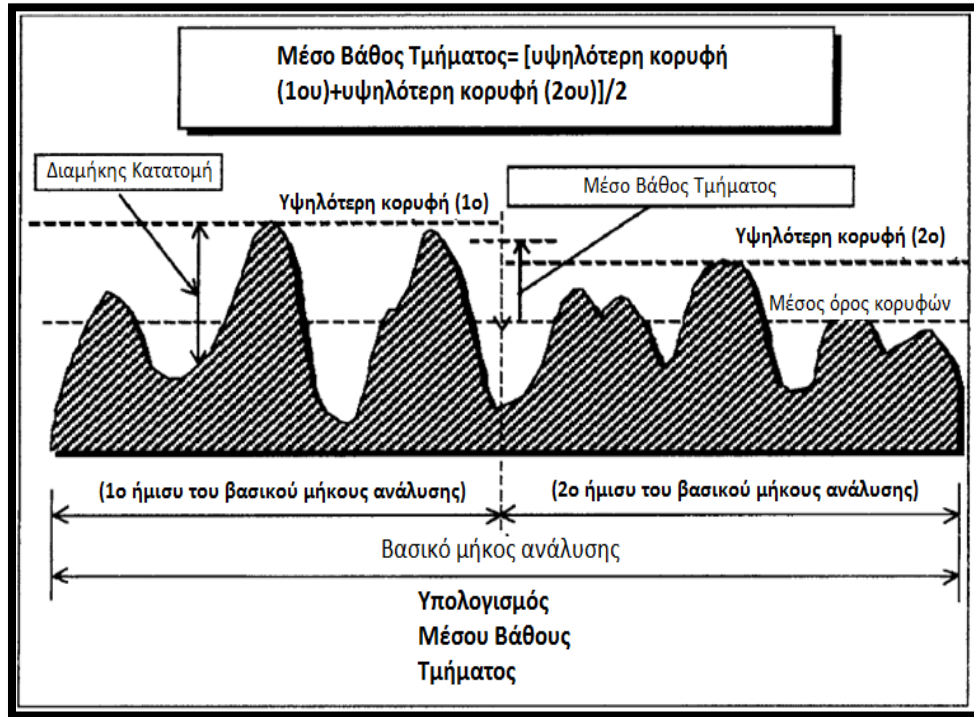


εξαλείφονται όταν οι τιμές τους είναι διαφορετικές από το εύρος κατατομής των γύρω μετρήσεων. Οι ακραίες τιμές αντικαθίστανται μέσω παρεμβολής μεταξύ της προηγούμενης και της επόμενης μέτρησης. Η μέγιστη αναλογία των ακραίων τιμών είναι έως 20%, ενώ όταν το ποσοστό υπερβαίνει το 10% πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ερμηνεία των δεδομένων και να αναφέρεται. Όσον αφορά τη μείωση του θορύβου και τη σχετικά ομοιόμορφη επίδραση των κορυφών κατατομής, χρησιμοποιείται φίλτρο μείωσης των υψηλών συχνοτήτων της κατατομής. Πιο συγκεκριμένα, χωρικές συχνότητες πάνω από 400 κύκλους ανά μέτρο, οι οποίες αφορούν μήκη κύματος υφής των 2.5mm, αφαιρούνται. Χωρικές συχνότητες κάτω από 200 κύκλους ανά μέτρο, οι οποίες αφορούν μήκη κύματος υφής των 5mm, δεν επηρεάζονται από το φίλτρο. Η απόσβεση πρέπει να είναι τουλάχιστον - 3decibel (db) στα 2.5mm και το πολύ - 1decibel (db) στα 5mm με μία κλίση τουλάχιστον - 6db ανά οκτάβα. Το φιλτράρισμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με ψηφιακό ή ηλεκτρονικό φίλτρο (ASTM E1845, 2009).



Εικόνα 3.10.: Εφαρμογή φίλτρου χαμηλής συχνότητας για τη μείωση του θορύβου (Losa et al., 2007)

Η μετρημένη κατατομή, όπως αναφέρθηκε, χωρίζεται σε τμήματα των 100mm με περιθώριο λάθους τα 2mm. Για τις τιμές των κατατομών για κάθε τμήμα πραγματοποιείται μία γραμμική παλινδρόμηση, η οποία για κάθε τμήμα δημιουργεί ένα μηδενικό μέσο και εξαλείφει τυχούσες κλίσεις. Κάθε τμήμα χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη των 50mm και προσδιορίζεται η μέγιστη τιμή του κάθε μέρους. Από το μέσο όρο των μέγιστων τιμών (Peak level) του κάθε μέρους προσδιορίζεται το μέσο βάθος κατατομής του τμήματος (ASTM E1845, 2009).



Εικόνα 3.11.: Διαδικασία υπολογισμού του μέσου βάθους κατατομής τμήματος (ASTM E1845, 2009)

Το μέσο βάθος κατατομής υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ του μέσου βάθους κατατομής της μακροϋφής μετρημένο για διάστημα 1mm στο σύνολο των 100mm απόστασης και του μέσου όρου των τιμών των υψηλότερων κορυφών για κάθε μισό του μήκους ανάλυσης των 100mm. Το μέσο βάθος κατατομής παρουσιάζεται στον παρακάτω τύπο:

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

Όπου (Kim et al. 2013, Freitas 2008):

- MPD το μέσο βάθος κατατομής σε mm
- Peak level η τιμή του ύψους της κορυφής για κάθε μισό του μήκους ανάλυσης των 100mm και
- Average level ο μέσος όρος του βάθους κατατομής της μακροϋφής που υπολογίζεται από το βάθος κατατομής για κάθε 1mm από τη συνολική απόσταση των 100mm.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές η εκτίμηση της ακρίβειας χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά συστήματα και πληρώματα για το ίδιο πείραμα απαντάται στα 0.15mm

που αντιστοιχεί στο 10% του μέσου όρου του μέσου βάθους κατατομής του πειράματος (ASTM E1845, 2009).

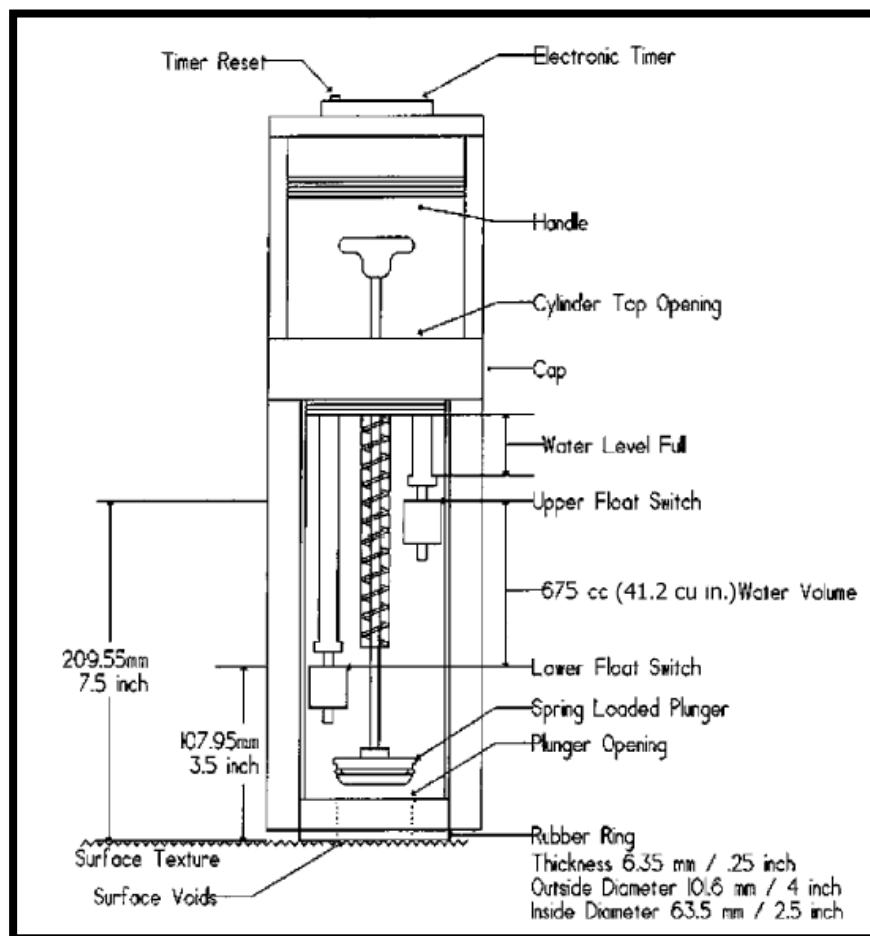
### 3.6.3. Καταγραφή του χρόνου εκροής

Η μέθοδος καταγραφής του χρόνου εκροής μέσω του Κυλίνδρου Καταγραφής (Outflow Meter Test) συσχετίζει την υφή με την αποστραγγιστική ικανότητα του οδοστρώματος διαμέσου της επιφάνειας και των κενών της.

Πρόκειται για μία στατική μέθοδο στην οποία χρησιμοποιείται μία συσκευή που μετράει το χρόνο που χρειάζεται γνωστή ποσότητα νερού για να διαφύγει υπό την βαρυτική έλξη διαμέσου του υπό εξέταση οδοστρώματος. Η τεχνική αυτή αποσκοπεί στο να παρέχει μία εκτίμηση της ικανότητας του οδοστρώματος να απελευθερώσει την πίεση του πέλματος των ελαστικών των οχημάτων δίνοντας, έτσι, μία εκτίμηση για την πιθανότητα υδρολίσθησης σε περίπτωση που το οδόστρωμα είναι βρεγμένο. Όσο πιο γρήγορος είναι ο χρόνος απόδρασης του νερού τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα ύπαρξης ποσότητας νερού μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος. Συνεπώς, η μακροϋφή μπορεί να λειτουργήσει, αναπτύσσοντας μεγαλύτερη τριβή μεταξύ ελαστικού και επιφάνειας. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι κατάλληλη για την αξιολόγηση της επιφανειακής αποστράγγισης και σε ορισμένες περιπτώσεις της εσωτερικής αποστράγγισης της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ωστόσο, ο χρόνος εκροής που μετράται συνιστά μόνο μία ένδειξη, η οποία δε μπορεί να παρέχει μία πλήρη εκτίμηση της επιφανειακής τριβής ή άλλων χαρακτηριστικών που συνδέονται με την παρεχόμενη ασφάλεια της επιφάνειας του οδοστρώματος σε περίπτωση που η επιφάνεια είναι βρεγμένη (ASTM E2380 2009, Caltrans Division of Maintenance 2007).

Για την καταγραφή του χρόνου εκροής χρησιμοποιείται ένας κατακόρυφος κύλινδρος που περιέχει νερό. Ο κύλινδρος απαρτίζεται από ένα ελαστικό δακτύλιο τοποθετημένο κεντρικά γύρω από ένα στόμιο ή ένα άνοιγμα στη βάση της συσκευής, το οποίο σχηματίζει ένα σφράγισμα με την επιφάνεια του οδοστρώματος, και είναι ανοιχτός στην κορυφή. Το νερό απελευθερώνεται διαμέσου του ανοίγματος στο κέντρο του σφραγίσματος και ελέγχεται από ένα έμβολο με ελατήριο το οποίο είναι συνδεδεμένο με ένα καπάκι στο πάνω μέρος του κυλίνδρου. Δύο διακόπτες φλοτέρ είναι αναρτημένοι πάνω στο καπάκι μέσα στον κύλινδρο, τοποθετημένοι κατακόρυφα, ο ένας υψηλότερα και ο άλλος χαμηλότερα, ενώ ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο είναι συνδεδεμένο με τους διακόπτες φλοτέρ (ASTM E2380 2009, Caltrans Division of Maintenance 2007).

Στην εικόνα 3.12. παρουσιάζεται μία σκαριφηματική απεικόνιση του κυλίνδρου καταγραφής του χρόνου εκροής.



Εικόνα 3.12.: Κύλινδρος καταγραφής του χρόνου εκροής (ASTM E2380, 2009)

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής επιλέγεται μία ομογενοποιημένη περιοχή της επιφάνειας του οδοστρώματος στην οποία να μην εμφανίζονται λακούβες, ρηγματώσεις, τρύπες ή αυλακώσεις. Στην περίπτωση που υπάρχουν αποκολλημένα αδρανή στην επιφάνεια καθαρίζονται με μία σκληρή βούρτσα. Ωστόσο, αν το οδόστρωμα έχει παραδοθεί ήδη στην κυκλοφορία είναι προτιμότερο να διεξαχθεί μέτρηση χωρίς να πραγματοποιηθεί καθαρισμός ώστε να υπολογιστεί η πραγματική αποστραγγιστική ικανότητα του οδοστρώματος. Αφού καθαριστεί το οδόστρωμα, τοποθετείται ο κύλινδρος καταγραφής του χρόνου εκροής σταθερά και με ομοιόμορφη επαφή του ελαστικού δακτυλίου στεγανότητας στο οδόστρωμα. Για την πρώτη δοκιμή κρατώντας κλειστό το ελαστικό δακτύλιο στεγανότητας πιέζοντας τη χειρολαβή προς τα κάτω, το νερό γεμίζει τον κύλινδρο επαρκώς μέχρι πάνω από τον υψηλότερο διακόπτη φλωτέρ, επιτρέποντας σε παγιδευμένες φυσαλίδες αέρα, μεταξύ της επιφάνειας του οδοστρώματος και του εμβόλου, να διαφύγουν. Εξασφαλίζοντας ότι το χρονόμετρο είναι τοποθετημένο στο μηδέν, το έμβολο τραβιέται προς τα πάνω μέχρι να απασφαλιστεί από τη θέση του. Όταν απομακρυνθεί από τη θέση του η διαδικασία αυτοματοποιείται. Το ελατήριο θα

ανεβάσει το έμβολο στην πάνω θέση του και η καταγραφή του χρόνου εκροής θα ξεκινήσει. Όταν ο διακόπτης του χαμηλότερου φλοτέρ ενεργοποιηθεί, το χρονόμετρο θα σταματήσει, το περισσευούμενο νερό θα κρατηθεί για την επόμενη δοκιμή και ο χρόνος, καθώς, και η τοποθεσία της δοκιμής θα καταγραφούν (ASTM E2380, 2009).



Εικόνα 3.13.: Μέθοδος καταγραφής του χρόνου εκροής (Hall, 2007)

Όσον αφορά τον αριθμό των μετρήσεων, όσες περισσότερες δοκιμές πραγματοποιηθούν τόσο καλύτερη πληροφορία για το μέσο όρο αποστράγγισης του οδοστρώματος θα εξαχθεί. Σε κάθε περίπτωση απαιτούνται κατ' ελάχιστο τέσσερις τυχαία κατανεμημένες δοκιμές ώστε να υπολογιστεί ο μέσος όρος του χρόνου εκροής για το υπό αξιολόγηση οδόστρωμα (ASTM E2380, 2009).

Θα πρέπει, επιπλέον, να σημειωθεί ότι εκτός από τους καταγεγραμμένους χρόνους εκροής η αναφορά για κάθε επιφάνεια δοκιμής περιέχει την τοποθεσία και την αναγνώριση της επιφάνειας του οδοστρώματος, την ημερομηνία, τη θερμοκρασία αέρα κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής, προαιρετικά, τις θερμοκρασίες της επιφάνειας του οδοστρώματος και τον αριθμό των μετρήσεων (ASTM E2380, 2009).

#### 3.6.3.1. Χρόνος εκροής

Ο χρόνος εκροής ή όπως αναφέρεται στη διεθνή ορολογία Out Flow Time (OFT), αποτελεί το δείκτη εκτίμησης της αποστραγγιστικής ικανότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος που εξάγεται από τη μέθοδο καταγραφής του χρόνου εκροής και ο οποίος συσχετίζεται με το δείκτη του μέσου βάθους υφής με τον τύπο:

$$MTD = \frac{3.114}{OFT} + 0.636 \quad (3.3)$$

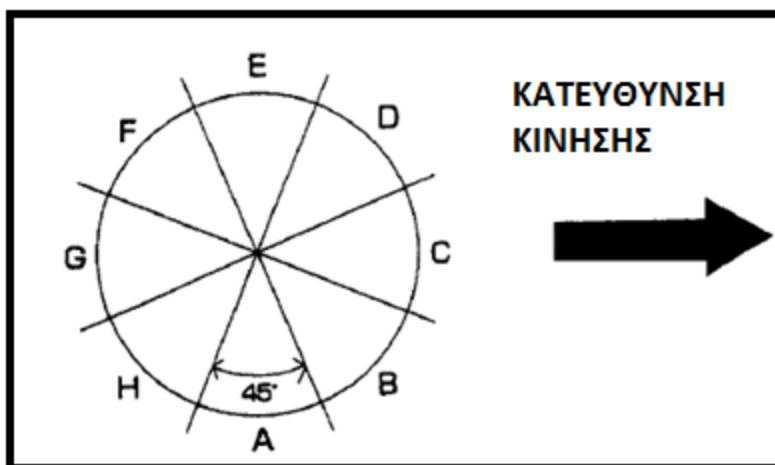
Όπου (ASTM E2380, 2009):

- MTD είναι το μέσο βάθος υφής σε χιλιοστά (mm) και
- OFT ο χρόνος εκροής σε δευτερόλεπτα (sec).

#### 3.6.4. Καταγραφή της κυκλικής κατατομής

Η καταγραφή της κυκλικής κατατομής (Circular Texture Meter) συνιστά μία στατική μέθοδο μέτρησης της μακροϋφής από δεδομένα κατατομών. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα μετακινούμενο αισθητήρα, τοποθετημένο σε ένα βραχίονα που απέχει σταθερή απόσταση 80mm από την επιφάνεια. Ο αισθητήρας είναι συνδεδεμένος σε βραχίονα σε μία απόσταση ακτίνας 142mm και κινείται από κινητήρα δεξιόστροφα με εφαπτομενική ταχύτητα 6m/min. Η συσκευή ελέγχεται από έναν υπολογιστή ο οποίος διατηρεί και επεξεργάζεται τα δεδομένα.

Αναλυτικότερα για την καταγραφή της κυκλικής κατατομής η συσκευή τοποθετείται σε καθαρισμένη επιφάνεια και προσανατολίζεται ώστε τα σημεία C και G να είναι κάθετα ως προς τη διεύθυνση κίνησης, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.14.



Εικόνα 3.14.: Διαίρεση σε τμήματα στην κυκλική κατατομή (ASTM E2157, 2009)

Μέσω του υπολογιστή επιλέγεται να προσδιοριστούν το μέσο βάθος κατατομής ή/και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Αφού αρχικοποιηθεί η πρώτη μέτρηση στον υπολογιστή, ένας μηχανισμός κινεί τον βραχίονα σε μία πλήρη περιστροφή. Η συσκευή καταγράφει 1024 τιμές ανά περιστροφή παρέχοντας ένα δείγμα της τάξης του 0.87mm. Η κατατομή της κυκλικής τροχιάς καταγράφεται στη μνήμη του υπολογιστή και διαιρείται σε 8 ίσα

τμήματα των 111.5mm για ανάλυση. Μέσω του υπολογιστή επεξεργάζονται τα δεδομένα και υπολογίζει τα ζητούμενα μεγέθη (ASTM E2157 2009, Abe et al. 2001).



Εικόνα 3.15.: Μέθοδος καταγραφής της κυκλικής κατατομής (Hanson & Prowell, 2004)

Η αναφορά για κάθε επιφάνεια δοκιμής περιέχει την ημερομηνία και την ώρα της ημέρας, μεμονωμένες τιμές του μέσου βάθους κατατομής και/ή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, τη θερμοκρασία, τον τύπο, την ηλικία και την τοποθεσία της υπό εξέταση επιφάνειας, την επιφάνεια της κατατομής, τον τύπο και την ημερομηνία της πιο πρόσφατης βαθμονόμησης της συσκευής (ASTM E2157, 2009).

#### 3.6.4.1. Μέσο βάθος κατατομής από μέτρηση CTM

Σύμφωνα με το διεθνές πείραμα κατά PIARC έχει αποδειχθεί ότι ο μέσος όρος του μέσου βάθους κατατομής για τα 8 τμήματα στη μέθοδο καταγραφής κυκλικής κατατομής είναι υψηλά συσχετισμένος με το μέσο βάθος υφής και συνδέεται με τη σχέση (ASTM E2157, 2009):

$$MTD = 0.947 * MPD + 0.069 \quad (3.4)$$

Όπου:

- MTD το μέσο βάθος υφής σε (mm)
- MPD το μέσο βάθος κατατομής σε (mm).

Επιπλέον, κατά Abe et al [5] έχει διατυπωθεί η σχέση:

$$MTD = 1.0094 * MPD - 0.0056 \text{ (3.5)}$$

Η μεμονωμένη ανάλυση του κάθε τμήματος χρησιμεύει στην εξέταση των παράλληλων κατατομών ως προς τη διεύθυνση κίνησης (τμήματα Α και Ε στην εικόνα 3.14) και των κάθετων κατατομών ως προς τη διεύθυνση κίνησης (τμήματα C και G στην εικόνα 3.14) παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τη μελέτη των οδοστρωμάτων που έχουν υφή με σημαντικά χαρακτηριστικά σε κάθε κατεύθυνση (ASTM E2157, 2009).

Η τυπική απόκλιση για τις μετρήσεις των 8 τμημάτων για την ίδια επιφάνεια δοκιμής είναι 0.03mm (ASTM E2157, 2009).

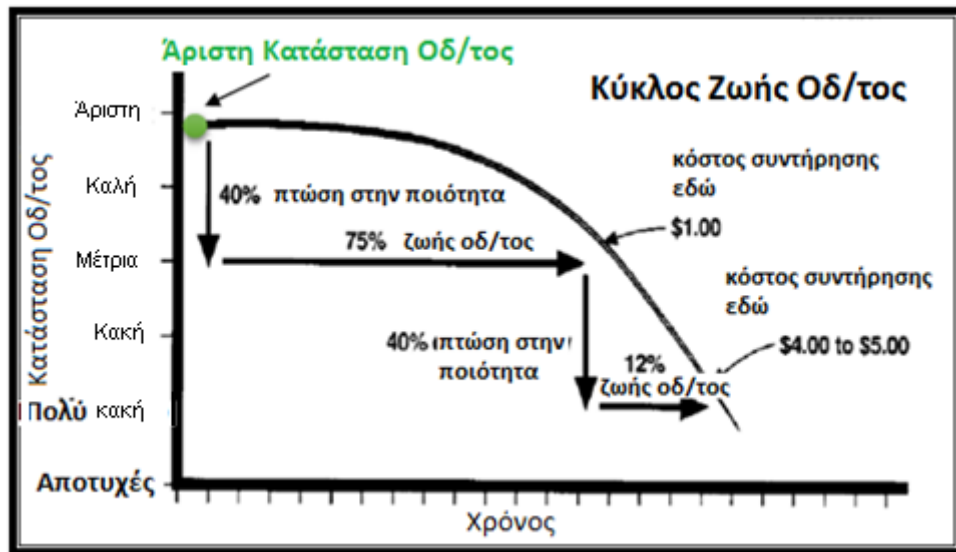


## 4. ΜΑΚΡΟΪΦΗ ΣΕ ΝΕΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

### 4.1. Προσδιορισμός Αρχικής Κατάστασης Οδοστρώματος

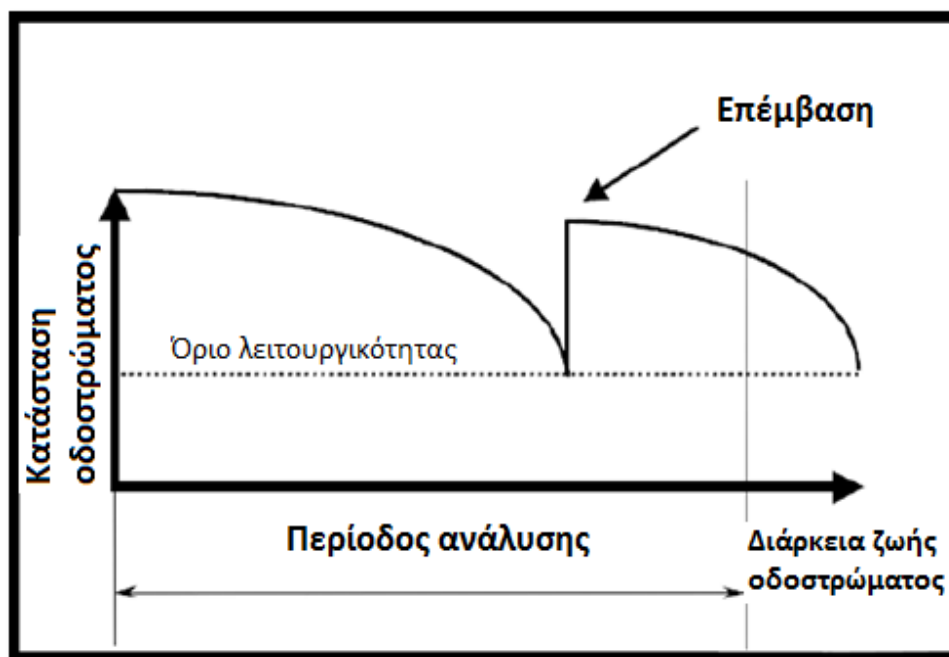
Η αρχική κατάσταση του οδοστρώματος στο στάδιο παραλαβής, αφορά την κατάσταση του οδοστρώματος αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του και πριν δοθεί στην κυκλοφορία. Όταν το οδόστρωμα δοθεί στην κυκλοφορία ξεκινάει το στάδιο λειτουργίας του.

Τα οδοστρώματα, όπως συμβαίνει με όλες τις κατασκευές, περιγράφονται από την περίοδο λειτουργίας τους/τον κύκλο ζωής τους. Στην περίπτωση που δεν υπάρξει κάποιου είδους παρέμβαση αποκατάστασης, ο κύκλος ζωής ενός οδοστρώματος είναι της μορφής που φαίνεται στην εικόνα 4.1. Στην εικόνα παρατηρείται η συνεχώς αυξανόμενη υποβάθμιση της κατάστασης του οδοστρώματος με την πάροδο των ετών.



Εικόνα 4.1.: Χρόνος επέμβασης και ποιοτικό κόστος αποκατάστασης (Purdue University, 2012)

Στην περίπτωση όμως, που υπάρξει επέμβαση για αποκατάσταση ή συντήρηση του οδοστρώματος ο κύκλος ζωής του μεταβάλλεται όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2.: Κατάσταση οδοστρώματος και επεμβάσεις συντήρησης (Walls & Smith, 1998)

Η συμπεριφορά του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κατάσταση του οδοστρώματος αμέσως μετά την κατασκευή, δηλαδή από την αρχική του κατάσταση. Συγκεκριμένα, τόσο η λειτουργική όσο και η δομική επάρκεια ενός νέου οδοστρώματος που παραλαμβάνεται θα πρέπει να είναι ικανοποιητική.

Ως εκ τούτου, τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος κατά την παραλαβή του θα πρέπει να είναι σε υψηλά επίπεδα για να εξασφαλίζεται καλή ποιότητα κύλισης και ασφάλεια προς τους χρήστες. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη ύπαρξης ορίων για την παραλαβή του οδοστρώματος, τα οποία θα εκφράζουν την άριστη κατάσταση του οδοστρώματος (excellent condition) και θα αποτελούν το σημείο 0 (ground zero point) του κύκλου ζωής του.

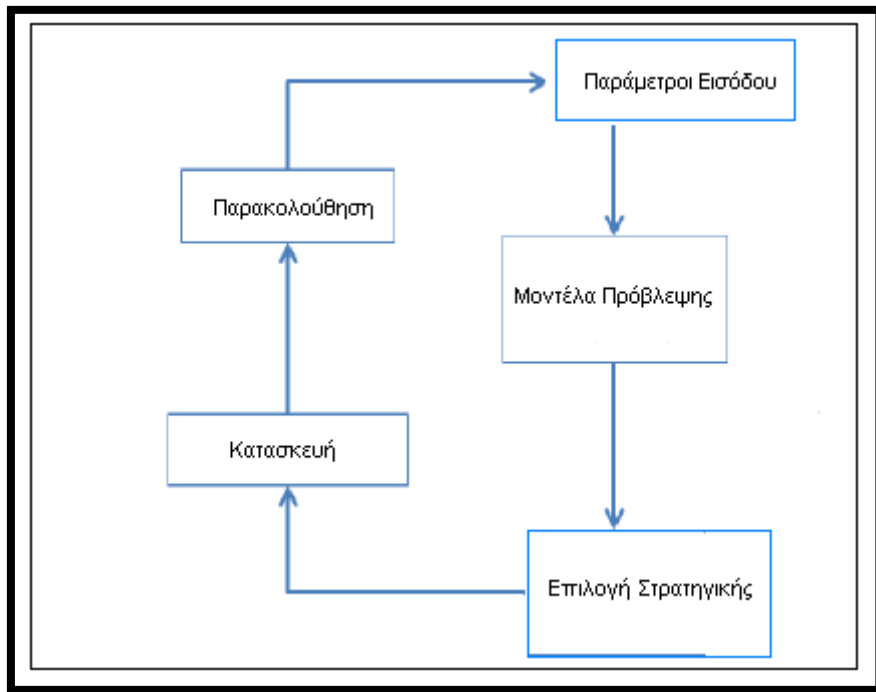
#### 4.1.1. Καταγραφή αρχικής κατάστασης οδοστρώματος

Αμέσως μετά την κατασκευή του οδοστρώματος είναι επιτακτική η ανάγκη προσδιορισμού και καταγραφής της αρχικής του κατάστασης. Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο είναι οι παραπάνω ενέργειες να πραγματοποιηθούν πριν το οδόστρωμα δοθεί στην κυκλοφορία, δηλαδή κατά την παραλαβή.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στη μακροϋφή, που συνιστά αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ο έλεγχος διεξάγεται με τη στατική μέθοδο της κηλίδας της άμμου (Sand patch-test), όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο δείκτης

MTD που προκύπτει αποτελεί την αρχική τιμή  $MTD_{initial}$  που αξιοποιείται ως σημείο αναφοράς-σημείο 0 της κατάστασης του οδοστρώματος για το συγκεκριμένο επιφανειακό χαρακτηριστικό.

Επιπλέον, ο αρχικός δείκτης που αφορά τη μακροϋφή συμπεριλαμβανομένων και άλλων στοιχείων μπορεί να λειτουργήσει ως παράμετρος εισόδου (input parameter), κατά τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης (expectancy models) της συμπεριφοράς του οδοστρώματος και κατάλληλων στρατηγικών συντήρησης (strategy selection) κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου. Σημειώνεται δε, πως οι υπόλοιπες κατηγορίες της επιφανειακής υφής, η μεγαϋφή και η μικροϋφή, δεν εντάσσονται στους ελέγχους για την παραλαβή του οδοστρώματος. Ωστόσο, η σημασία προσδιορισμού των επιπέδων τους στο σημείο 0 του οδοστρώματος δεν παύει να είναι ιδιαίτερα σημαντική.



Εικόνα 4.3.: Διάγραμμα ροής. Παρακολούθηση και σχεδιασμός αποκατάστασης οδοστρώματος (Elkins et al., 2013)

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, η ανάγκη για καταγραφή της αρχικής κατάστασης του οδοστρώματος επιτάσσει τη δημιουργία ενός άλλου δείκτη προσδιορισμού της μακροϋφής, που να προσδιορίζεται μέσω συστημάτων συνεχούς καταγραφής. Ο πιο διαδεδομένος είναι ο δείκτης MPD που προέρχεται από το σύστημα προφίλομέτρησης Laser-Profiler. Με το συγκεκριμένο σύστημα γίνεται καταγραφή τόσο του αρχικού επιπέδου μακροϋφής σε όλο το μήκος του δρόμου όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του στο πλαίσιο του Προγράμματος Παρακολούθησης του Οδοστρώματος.

#### 4.1.2. Συσχέτιση MTD και MPD

Παρά τα πλεονεκτήματα του συστήματος Laser Profiler, η στατική μέθοδος της κηλίδας της άμμου αποτελεί τη βασική μέθοδο μέτρησης της μακροϋφής (Flintsch et al., 2003). Ιδιαίτερα, για την παραλαβή του οδοστρώματος αποτελεί τη μέθοδο αναφοράς.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΕΤΕΠ, 2009), για την παραλαβή οδοστρώματος με αντιολισθηρή στρώση Τύπου I ή Τύπου II, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου σε καθεμία από τις λωρίδες κυκλοφορίας, το αργότερο 7 ημέρες μετά την κατασκευή της στρώσης, σε σημεία απέχοντα μεταξύ τους τουλάχιστον 50m και 50cm από το άκρο του καταστρώματος της οδού. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό το πόσο χρονοβόρα, επίπονη και κοστοβόρα μπορεί να γίνει η διαδικασία παραλαβής στην περίπτωση ελέγχου μεγάλων οδικών αξόνων.

Ως εκ τούτου, η χρήση του συστήματος Laser Profiler στη διαδικασία παραλαβής ενός οδικού άξονα μπορεί να επιταχύνει την απαιτούμενη εργασία. Ενώ, στην περίπτωση εντοπισμού σημείων στα οποία τα επίπεδα μακροϋφής καταγράφηκαν μη ικανοποιητικά μπορεί να πραγματοποιηθεί επιπρόσθετος έλεγχος για τις συγκεκριμένες θέσεις με τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου.

Συνεπώς, ανακύπτει η ανάγκη σύνδεσης των δύο μεθόδων για τη διαμόρφωση ενός ορίου με τη μέθοδο Laser Profiler ώστε να καταστεί εφικτή η απευθείας σύγκριση των δεικτών MTD και MPD που όμως προέρχονται από δύο διαφορετικές μεθόδους, όπως άλλωστε παρουσιάστηκε αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Προς αυτή την κατεύθυνση οι προδιαγραφές κατά ASTM E1845 υποδεικνύουν την παρακάτω σχέση που συνδέει τους προαναφερόμενους δείκτες.

$$ETD = 0.8 * MPD + 0.2 \quad (4.1.)$$

Όπου:

- ETD (Estimated Texture Depth), μία εκτίμηση του βάθους υφής σε mm και
- MPD (Mean Profile Depth), το μέσο βάθος κατατομής σε mm.

Μέσω αυτής της σχέσης καθίσταται δυνατή η σύνδεση του επιπέδου μακροϋφής μέσω της συνεχούς μέτρησης από το σύστημα Laser-Profiler με τη στατική μέθοδο της κηλίδας της άμμου. Πιο αναλυτικά, με τη χρήση της παραπάνω σχέσης μπορεί να υπάρξει εκτίμηση του μέσου βάθους υφής μέσω του μέσου βάθους κατατομής, χωρίς να είναι επιτακτική η μέτρηση με τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου σε όλο το μήκος του δρόμου. Έτσι, τα εκτιμώμενα επίπεδα μακροϋφής (ETD)

μπορούν να συγκριθούν απευθείας με τα αντίστοιχα που παρέχονται από τη χρήση της κηλίδας της άμμου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η συμβολή στην ανάπτυξη ορίων στο πλαίσιο παραλαβής νέων οδοστρωμάτων ως προς τα επίπεδα μακροϋφής με το σύστημα Laser Profiler. Έτσι γίνεται προσπάθεια δημιουργίας μίας προκαταρκτικής μεθοδολογίας προσδιορισμού μίας αρχικής τιμής (initial value) ως όριο μακροϋφής για την παραλαβή του συγκεκριμένου οδοστρώματος με τη μέθοδο προφίλομέτρησης. Στο πλαίσιο αυτό, γίνεται σύνδεση των δεικτών MPD και MTD και έλεγχος της σχέσης 4.1. για το συγκεκριμένο οδικό δίκτυο με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Επιπλέον, γίνεται αξιοποίηση στοιχείων μικροϋφής για την πληρέστερη αξιολόγηση των επιπέδων μακροϋφής. Τέλος, γίνεται μία προκαταρκτική προσέγγιση ενός ορίου για την παραλαβή του οδοστρώματος μελέτης με τη μέθοδο προφίλομέτρησης με τη χρήση του συστήματος Laser Profiler.

## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 5.1. Γενικά Στοιχεία

Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από μετρήσεις που πραγματοποίησε το Εργαστήριο Οδοποιίας ΕΜΠ στο υπό μελέτη οδόστρωμα. Στο παρόν εδάφιο αναφέρονται τα στάδια της ερευνητικής διαδικασίας όπως ακολουθήθηκε επιτόπου. Συγκεκριμένα, περιγράφεται η επιτόπου διαδικασία μέτρησης της μακροϋφής με τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου για τον προσδιορισμό του μέσου βάθους υφής. Επίσης, πραγματοποιείται περιγραφή της διαδικασίας καταγραφής του μέσου βάθους κατατομής μέσω του προφιλόμετρου του Εργαστηρίου Οδοποιίας ΕΜΠ. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία μέτρησης της μικροϋφής με το σύστημα του Βρετανικού Εκκρεμούς.

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας οι προαναφερθείσες δοκιμές διεξήχθησαν σε νεοκατασκευασθέν οδόστρωμα που δεν έχει δοθεί στην κυκλοφορία.

### 5.2. Πεδίο Μετρήσεων

Για τις ανάγκες της παρούσας διερεύνησης διεξήχθησαν μετρήσεις σε αυτοκινητόδρομο ταχείας κυκλοφορίας, με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας και λωρίδα έκτακτης ανάγκης.

Πρόκειται για μία συνδετήρια οδό, του κύριου οδικού άξονα κατασκευής του έργου, με εύκαμπτο οδόστρωμα και αντιολισθηρή στρώση κυκλοφορίας τύπου II. Το υπό μελέτη τμήμα του συγκεκριμένου αυτοκινητοδρόμου δεν έχει δοθεί στην κυκλοφορία. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της αντιολισθηρής στρώσης κυκλοφορίας είναι ημιανοικτού τύπου (ΤΣΥ), με ασφαλτο διεισδυτικότητας 80/100 Pen και τροποποιητικό SBS που χρησιμοποιήθηκε σε ποσοστό 4% κατά βάρος ασφαλτομίγματος.



Εικόνα 5.1.: Ο υπό μελέτη αυτοκινητόδρομος

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων μακροϋφής και μικροϋφής χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά τμήματα του αυτοκινητόδρομου για τα οποία ισχύουν τα εξής:

- Τμήμα Α: Ευθυγραμμία
- Τμήμα Β: Καμπύλη

Για τα συγκεκριμένα τμήματα, η διάστρωση της αντιολισθηρής στρώσης έγινε την ίδια χρονική περίοδο. Επιπλέον, για το τρίτο τμήμα ισχύει:

- Τμήμα Γ: Ευθυγραμμία

Το συγκεκριμένο τμήμα διαστρώθηκε αργότερα από τα Α και Β. Στην εικόνα 5.2. απεικονίζονται τα προαναφερθέντα τμήματα.



Τμήμα (Α)

Τμήμα (Β)

Τμήμα(Γ)

Εικόνα 5.2.: Τμήματα διεξαγωγής μετρήσεων Α,Β και Γ



Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας της κατεύθυνσης μελέτης, δηλαδή με φορά από τον κύριο οδικό άξονα προς το δευτερεύοντα και αφορούν όπως αναφέρθηκε, μετρήσεις μακροϋφής με τη στατική μέθοδο της κηλίδας της άμμου και με τη δυναμική μέθοδο προφίλομέτρησης με το σύστημα Laser Profiler, καθώς και μετρήσεις της μικροϋφής με τη στατική μέθοδο του βρετανικού εκκρεμούς προκειμένου να υπάρξει μία πληρέστερη αξιολόγηση των επιπέδων μακροϋφής και μία ενιαία εικόνα για την επιφανειακή υφή του οδοστρώματος.

### 5.3. Διεξαγωγή των Μετρήσεων

#### 5.3.1. Μετρήσεις μακροϋφής-Μέθοδος κηλίδας της άμμου

Για καθένα από τα τρία τμήματα εφαρμόστηκαν μετρήσεις κηλίδας της άμμου σε 21 σημεία, τα οποία απείχαν μεταξύ τους απόσταση 10m.

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε άμμος όγκου 40ml κοκκομετρικής διαβάθμισης 60-80, δηλαδή το 90% του βάρους του υλικού να διέρχεται από κόσκινο κοκκομέτρησης No. 60 και να παραμένει σε κόσκινο κοκκομέτρησης No. 80, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ASTM E965.

Για τη μέτρηση κάθε σημείου επιλέχθηκε στεγνή και ομογενοποιημένη περιοχή, η οποία καθαρίστηκε με βούρτσα προκειμένου να μην υπάρχουν κομμάτια ή αποκολλημένα αδρανή που θα επηρέαζαν το αποτέλεσμα των μετρήσεων, και τοποθετήθηκε φορητή οθόνη προστασίας ανέμου γύρω από την περιοχή μέτρησης. Στη συνέχεια, στην καθαρή επιφάνεια μελέτης αδειάστηκε το στεγνό υλικό όγκου 40ml και διαστρώθηκε σε μορφή κυκλικής κηλίδας (patch) (Εικόνα 5.3-5.5).





Εικόνα 5.3.: Εφαρμογή της κηλίδας της άμμου στο τμήμα Α



Εικόνα 5.4.: Εφαρμογή της κηλίδας της άμμου στο τμήμα Β



Εικόνα 5.5.: Εφαρμογή της κηλίδας της άμμου στο τμήμα Γ

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε 4 τυχαίες διαμέτρους της κηλίδας που απείχαν ίσες περίπου αποστάσεις μεταξύ τους και από αυτές υπολογίστηκε η μέση διάμετρος. Έτσι, γνωρίζοντας και τον όγκο του υλικού της κηλίδας υπολογίστηκε το μέσο βάθος υφής (MTD) σε mm από τον τύπο 3.1. για κάθε μία από τις 21 θέσεις ελέγχου.

### 5.3.2. Μετρήσεις μακροϋφής-Μέθοδος προφίλομέτρησης με το Laser Profiler

Για την καταγραφή της διαμήκου κατατομής στα τρία τμήματα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της προφίλομέτρησης με το σύστημα του Laser Profiler του Εργαστηρίου Οδοποιίας ΕΜΠ. Οι μετρήσεις των κατατομών διεξήχθησαν στο δεξί ίχνος του τροχού του οχήματος στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας. Για την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Mark III. Αυτό το καινοτόμο σύστημα βασίζεται σε έναν πίνακα συστήματος κατατομών που συλλέγει και επεξεργάζεται δεδομένα από μία ποικιλία συνδυασμών αισθητήρων.

Οι αισθητήρες laser και τα επιταχυνσιόμετρα καταγραφής τοποθετούνται σε μία συμπαγή αλουμινένια μπάρα στο μπροστινό μέρος του οχήματος. Το μήκος μίας τυπικής μπάρας είναι 1.83m, ενώ μπορεί να επεκταθεί και στις δύο πλευρές του οχήματος συμπεριλαμβάνοντας μέχρι και τέσσερις ακόμη αισθητήρες σε κάθε πλευρά, φτάνοντας περίπου το μήκος των 2.4m συνολικώς, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα μέτρησης της μπάρας περίπου 0.3-0.4m και για τις δύο πλευρές. Το συνολικό εύρος που μπορεί να μετρήσει η μπάρα ανέρχεται στα 2.9 έως 3.2m.



Για τη συλλογή και την καταγραφή όλων των δεδομένων μέτρησης χρησιμοποιήθηκε ένας συμβατός φορητός υπολογιστής για να συλλέγει και αποθηκεύει όλα τα μετρημένα δεδομένα. Το σύστημα ήταν διαχειρίσιμο από ένα άτομο, τον οδηγό του οχήματος, ο οποίος συνέλεξε τα δεδομένα με μία μέση ταχύτητα 50km/h. Αξιοσημείωτο είναι ότι το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να συλλέγει δεδομένα σε ταχύτητες μέχρι 110km/h. Οι παράμετροι των μετρήσεων υπολογίστηκαν σε πραγματικό χρόνο και αναφέρονται ως οι μέσοι όροι που συλλέχθηκαν από τον χειριστή σε ένα εύρος διαστημάτων από 25mm μέχρι 1.6km, ενώ εξαίρεση αποτελούν οι ακραίες μετρήσεις, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως "ιδιαίτερα σημεία".

Οι διαμήκεις κατατομές αποκτήθηκαν με τη χρήση ενός επιταχυνσιόμετρου, το οποίο ανίχνευε την κατακόρυφη κίνηση του σώματος του οχήματος, και ενός αισθητήρα laser που μετρούσε τη μετατόπιση μεταξύ του σώματος του οχήματος και του οδοστρώματος. Οι μετρήσεις των κατατομών προέκυψαν από το άθροισμα των κινήσεων του σώματος του οχήματος με τη μετατόπιση τους από το οδόστρωμα.



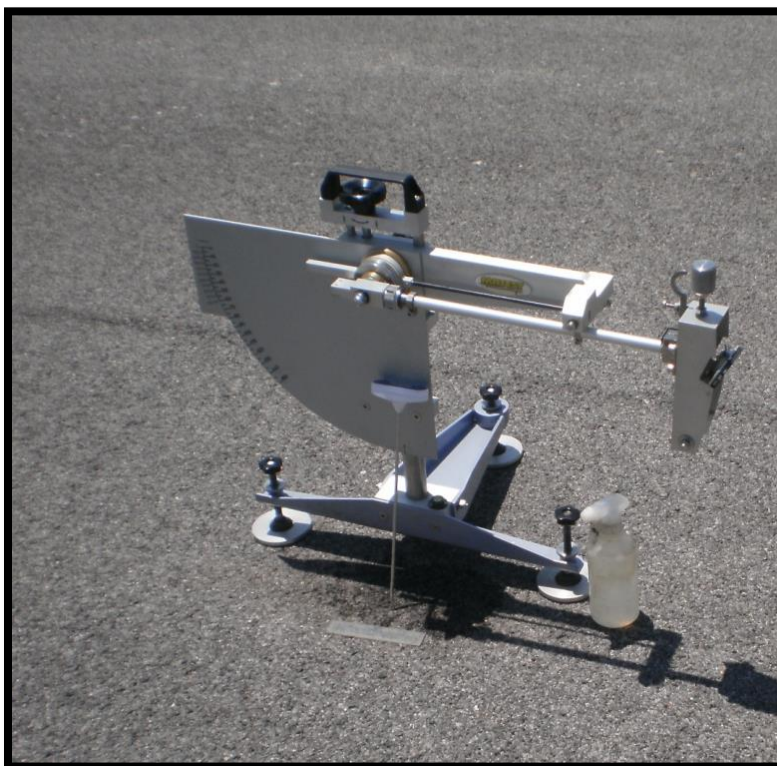
Εικόνα 5.6.: Εφαρμογή της μεθόδου καταγραφής της διαμήκους κατατομής

Για το τμήμα Α μετρήθηκε μία συνεχής κατατομή 318m και υπολογίστηκε το μέσο βάθος κατατομής (MPD) και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) ανά ένα μέτρο. Αντίστοιχα για το τμήμα Β μετρήθηκε μία συνεχής κατατομή 310m και τέλος, για το

τμήμα Γ μία συνεχής κατατομή 377m και υπολογίστηκαν αντίστοιχα το μέσο βάθος κατατομής (MPD) και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) ανά ένα μέτρο.

### 5.3.3. Μετρήσεις μικροϋφής- Μέθοδος Βρετανικού Εκκρεμούς

Για τον προσδιορισμό της ολισθηρότητας προκειμένου να υπάρξει μία ενιαία εικόνα της επιφανειακής υφής του οδοστρώματος για την πληρέστερη αξιολόγησή της χρησιμοποιήθηκε το σύστημα του βρετανικού εκκρεμούς (British Pendulum). Πρόκειται για μία στατική μέθοδο μέτρησης της μικροϋφής. Αυτή η μέθοδος αποτελείται από ένα εκκρεμές με μία γόμα ολίσθησης στο άκρο του που έρχεται σε επαφή με την υπό εξέταση επιφάνεια.



Εικόνα 5.7.: Εφαρμογή μεθόδου μέτρησης της μικροϋφής με εκκρεμές

Για κάθε τμήμα εφαρμόστηκαν μετρήσεις της μικροϋφής με το σύστημα British Pendulum για 11 σημεία τα οποία διέφεραν μεταξύ τους κατά 20m. Τα σημεία αυτά ταυτίζονταν με τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν και για τις μετρήσεις με τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου με τη μόνη διαφορά ότι σε αυτή τη μέθοδο δε χρησιμοποιήθηκαν όλα τα σημεία όπως με την κηλίδα της άμμου, παρά μόνο αυτά που απείχαν μεταξύ τους ανά 20m. Αναλυτικότερα, από τα 21 σημεία, για τις μετρήσεις της ολισθηρότητας χρησιμοποιήθηκαν όσα ήταν σε θέση περιττού αριθμού. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας κατά μήκος της κίνησης των οχημάτων στο δεξί ίχνος του τροχού.

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM E303, κάθε σημείο της περιοχής μελέτης καθαρίστηκε με βούρτσα και ψεκάστηκε με νερό καθώς για τον υπολογισμό της μικροϋφής απαιτείται καθαρό και βρεγμένο οδόστρωμα. Στη συνέχεια, η γόμα του εκκρεμούς τοποθετήθηκε σε τέτοιο ύψος ώστε να εφάπτεται με την επιφάνεια δοκιμής. Το εκκρεμές υψώθηκε σε μία κλειδωμένη θέση και απελευθερώθηκε επιτρέποντας στη γόμα να έρθει σε επαφή με την επιφάνεια μέτρησης. Ένας δείκτης προσδιόρισε τον αριθμό BPN (British Pendulum Number) που θεωρείται ο δείκτης προσδιορισμού της ολισθηρότητας με τη χρήση του εκκρεμούς. Παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η τριβή μεταξύ της γόμας και της επιφάνειας, τόσο ο αριθμός αυξανόταν. Για κάθε σημείο δοκιμής, λοιπόν, έγινε λήψη 4 μετρήσεων του δείκτη του εκκρεμούς, δηλαδή έγινε προσδιορισμός 4 τιμών BPN από τους οποίους εξάχθηκε ένας μέσος όρος, και επιπλέον προσδιορίστηκε η θερμοκρασία της επιφάνειας τη στιγμή της δοκιμής. Συνεπώς, ο μέσος όρος των καταγεγραμμένων τιμών του δείκτη BPN και της θερμοκρασίας στην επιφάνεια δοκιμής για κάθε σημείο μπορούν να οδηγήσουν στην εκτίμηση της μικροϋφής σύμφωνα με τη μέθοδο του Βρετανικού Εκκρεμούς.

Για τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις πεδίου γίνεται κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυση στο επόμενο κεφάλαιο.

## 6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία και η ανάλυση των στοιχείων που προέκυψαν από τις δοκιμές που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στο πλαίσιο επίτευξης του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας για τη συμβολή στην ανάπτυξη ορίων στο πλαίσιο παραλαβής νέων οδοστρωμάτων ως προς τα επίπεδα μακροϋφής, μέσω μίας εναλλακτικής μεθόδου, έγινε προσπάθεια δημιουργίας μίας εμπειρικής σχέσης για τη συσχέτιση του μέσου βάθους υφής (δείκτης MTD) και του μέσου βάθους κατατομής (δείκτης MPD). Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό προτεινόμενων ορίων παραλαβής νέου οδοστρώματος με τη μέθοδο προφίλομετρησης, Laser Profiler. Ακόμα, ελέγχθηκε η εφαρμοσιμότητα της σχέσης σύνδεσης που προτείνεται από την ASTM, για τα δεδομένα του συγκεκριμένου οδικού τμήματος, και αφορά μία εκτίμηση των επιπέδων MTD μέσω μετρήσεων με τη μέθοδο προφίλομετρησης από τον δείκτη MPD. Επιπλέον, έγινε αξιοποίηση στοιχείων μικροϋφής για την πληρέστερη αξιολόγηση των επιπέδων μακροϋφής αλλά και για την ύπαρξη μίας ενιαίας εικόνας της επιφανειακής υφής του οδοστρώματος.

### 6.1. Επεξεργασία Στοιχείων Πειραματικής Διαδικασίας

#### 6.1.1. Στοιχεία μακροϋφής

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η μέθοδος της κηλίδας της άμμου αφορά μία στατική μέθοδο μέτρησης που συλλέγει δεδομένα για πεπερασμένο αριθμό σημείων. Εν αντιθέσει, η μέθοδος καταγραφής της διαμήκου κατατομής αφορά μία δυναμική μέθοδο μέτρησης που συλλέγει δεδομένα από όλο το μήκος ενός δρόμου.

Σε μια προσπάθεια συσχέτισης, των στοιχείων της μακροϋφής από τα συλλεχθέντα δεδομένα των δύο μεθόδων καθίσταται αναγκαίος ο εντοπισμός των μετρήσεων που αφορούν στην ίδια χιλιομετρική θέση. Επομένως, έγινε διαχωρισμός των μετρήσεων της δυναμικής μεθόδου που ταυτίζονται σε χιλιομετρική θέση με τις μετρήσεις των σημείων που προέκυψαν από τη μέθοδο της κηλίδας της άμμου προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τη διαδικασία της συσχέτισης. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για καθένα από τα τμήματα Α,Β,Γ ξεχωριστά.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα στοιχεία μακροϋφής MPD και MTD για τα τμήματα Α (Πίνακας 6.1.), Β (Πίνακας 6.2.), Γ (Πίνακας 6.3.) αντίστοιχα. Επιπλέον, για τα στοιχεία που ακολουθούν υπολογίστηκε ο μέσος όρος (Μ.Ο.), ο συντελεστής διακύμανσης (CV %), η διάμεσος, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του δείγματος.

Πίνακας 6.1.: Στοιχεία Μακροϋφής για το τμήμα Α

Θέση Δοκιμής	MPD (mm)	MTD (mm)
0.00	0.99	1.28
0.01	1.2	1.34
0.02	1.55	1.49
0.03	1.28	1.47
0.04	1.25	1.28
0.05	1.1	1.45
0.06	1.03	1.33
0.07	1.13	1.30
0.08	1.17	1.21
0.09	1.18	1.52
0.10	1.16	1.46
0.11	1.15	1.27
0.12	1.31	1.46
0.13	1.16	1.28
0.14	0.99	1.39
0.15	1.07	1.33
0.16	1.52	1.31
0.17	1.35	1.53
0.18	0.94	1.63
0.19	0.98	1.42
0.20	1.05	1.15
Μ.Ο.	1.17	1.38
CV %	14	9
Διάμεσος	1.16	1.34
Μέγιστη τιμή	1.55	1.63
Ελάχιστη τιμή	0.94	1.15

Πίνακας 6.2.: Στοιχεία Μακροϋφής για το τμήμα Β

Θέση Δοκιμής	MPD (mm)	MTD (mm)
0.00	1.64	1.01
0.01	1.38	1.01
0.02	1.03	1.08
0.03	1.30	1.15
0.04	1.21	1.15
0.05	1.38	1.32
0.06	1.26	1.62
0.07	0.98	1.08
0.08	0.77	1.05
0.09	0.92	1.09
0.10	1.19	0.94
0.11	1.04	1.14
0.12	1.48	1.18
0.13	1.39	1.30
0.14	1.06	1.08
0.15	1.09	1.15
0.16	1.02	1.05
0.17	1.17	1.00
0.18	1.26	0.98
0.19	1.33	1.15
0.20	1.75	1.18
Μ.Ο.	1.22	1.13
CV %	23	13
Διάμεσος	1.21	1.09
Μέγιστο	1.75	1.62
Ελάχιστο	0.77	0.94



Πίνακας 6.3.: Στοιχεία Μακροϋφής για το τμήμα Γ

Θέση Δοκιμής	MPD (mm)	MTD (mm)
0.00	1.38	1.30
0.01	1.32	1.64
0.02	1.41	1.65
0.03	1.25	2.03
0.04	1.62	1.67
0.05	1.49	1.71
0.06	1.18	2.05
0.07	1.20	1.90
0.08	1.56	1.66
0.09	1.34	1.78
0.10	1.30	1.78
0.11	1.16	1.78
0.12	1.15	1.97
0.13	1.15	1.50
0.14	1.36	1.41
0.15	1.16	1.46
0.16	1.26	1.55
0.17	1.48	1.53
0.18	1.30	1.52
0.19	1.29	1.50
0.20	1.33	1.73
Μ.Ο.	1.32	1.67
CV %	10	12
Διάμεσος	1.30	1.66
Μέγιστο	1.62	2.05
Ελάχιστο	1.15	1.30

Όπως φαίνεται στον πίνακα 6.1. ο δείκτης MTD για το τμήμα Α κυμαίνεται στα 1.38 mm και ο CV στο 9%, ενώ αντίστοιχα ο δείκτης MPD για το τμήμα Α είναι 1.17mm και ο CV=14%. Αντιστοίχως, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 6.2., για το τμήμα Β, το MTD ανέρχεται στα 1.13mm και ο CV=13%, ενώ το MPD ισούται με 1.22mm και ο CV=23%. Από τον πίνακα 6.3. για το τμήμα Γ ισχύει ότι το MTD είναι 1.67mm και ο CV=12%, ενώ το MPD προκύπτει 1.32mm και ο CV=10%.

Γενικά ισχύει ότι αν ο συντελεστής μεταβλητότητας ενός δείγματος είναι μικρότερος του 10% (CV<10%), τότε το δείγμα θεωρείται ομοιογενές. Όμως για τα οδοστρώματα τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας έως 20% μπορούν να θεωρηθούν οριακά αποδεκτές και το δείγμα ομοιογενές αφού οι μετρήσεις αφορούν φυσικές

παρατηρήσεις. Συνεπώς, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα δείγματα των μετρήσεων και με τις δύο μεθόδους θεωρούνται ομοιογενή με μόνη εξαίρεση το CV του MPD για το τμήμα Β, που είναι οριακά αποδεκτό (CV=23%). Έτσι, οι μέσοι όροι μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικοί για το εκάστοτε δείγμα.

### 6.1.2. Στοιχεία μικροϋφής

Αναφορικά με τη συλλογή στοιχείων μικροϋφής, η μέθοδος του Βρετανικού Εκκρεμούς αφορά μία στατική μέθοδο μέτρησης που συλλέγει δεδομένα για πεπερασμένο αριθμό σημείων.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα στοιχεία μικροϋφής BPN για τα τμήματα Α (Πίνακας 6.4.), Β (Πίνακας 6.5.), Γ (Πίνακας 6.6.) αντίστοιχα. Επιπλέον, για τα στοιχεία που ακολουθούν υπολογίστηκε ο μέσος όρος (Μ.Ο.), ο συντελεστής διακύμανσης (CV %), η διάμεσος, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του δείγματος.

Πίνακας 6.4.: Στοιχεία Μικροϋφής για το τμήμα Α

Θέση Δοκιμής	BPN
0.00	62.75
0.02	66.25
0.04	61.75
0.06	64.75
0.08	61.75
0.10	61.75
0.12	58.25
0.14	60.75
0.16	63.25
0.18	61.25
0.20	60
Μ.Ο	62.05
CV (%)	3.5
Διάμεσος	61.75
Μέγιστο	66.25
Ελάχιστο	58.25

Πίνακας 6.5.: Στοιχεία Μικροϋφής για το τμήμα Β

Θέση δοκιμής	BPN
0.00	62
0.02	65.5
0.04	65.75
0.06	63.75
0.08	59.5
0.10	58.75
0.12	62.75
0.14	63
0.16	62.25
0.18	56.75
0.20	63.5
Μ.Ο.	62.14
CV (%)	4.5
Διάμεσος	62.75
Μέγιστο	65.75
Ελάχιστο	56.75

Πίνακας 6.6.: Στοιχεία Μικροϋφής για το τμήμα Γ

Θέση δοκιμής	BPN
0.00	71.25
0.02	68.75
0.04	70
0.06	67.25
0.08	70
0.10	74.25
0.12	76
0.14	69
0.16	73.25
0.18	68.5
0.20	70
Μ.Ο	70.75
CV (%)	3.8
Διάμεσος	70
Μέγιστο	76
Ελάχιστο	67.25

Όπως παρατηρείται στους πίνακες 6.4-6.6 ο συντελεστής μεταβλητότητας (CV) για τα στοιχεία της μικροϋφής (BPN) είναι χαμηλός (<10%), οπότε τα στοιχεία παρουσιάζουν μικρή διασπορά γύρω από το μέσο όρο και το δείγμα θεωρείται ομοιογενές. Συνεπώς και οι μέσοι όροι θεωρούνται αντιπροσωπευτικοί.

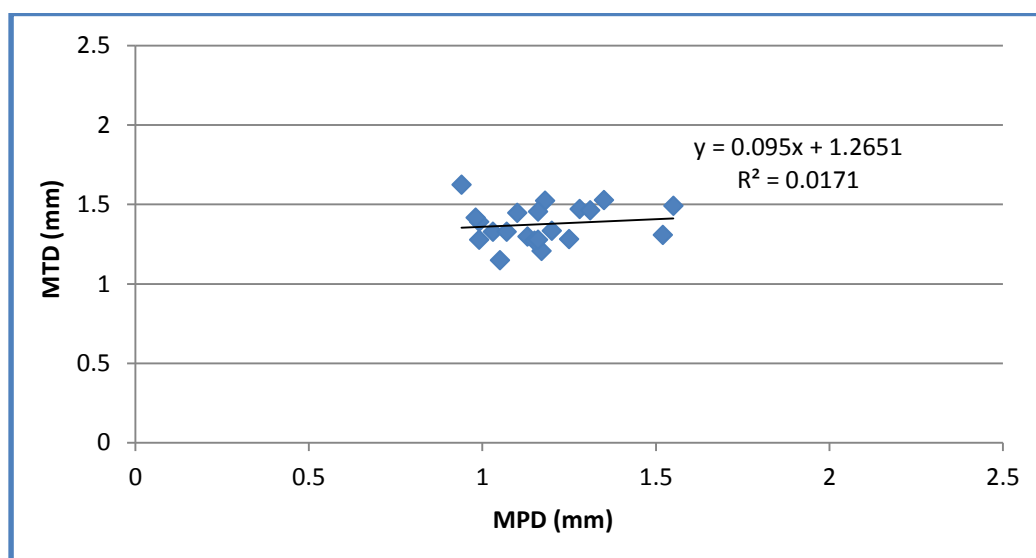
## 6.2. Συσχέτιση Στοιχείων

### 6.2.1. Συσχετίσεις μακροϋφής

Για καθένα από τα τμήματα Α,Β,Γ γίνεται προσπάθεια συσχέτισης των τιμών που προκύπτουν από τα δύο είδη μετρήσεων. Στόχος είναι η δημιουργία μίας σχέσης εκτίμησης της μακροϋφής MTD μέσω του δείκτη MPD. Η ενδεχόμενη επίτευξη μίας τέτοιας σχέσης θα αποτελέσει βασικό στοιχείο στο πλαίσιο παρακολούθησης των οδοστρωμάτων. Συγκεκριμένα, θα συντελέσει στην εκτίμηση του μέσου βάθους υφής έχοντας μετρήσεις μόνο από το σύστημα Laser Profiler.

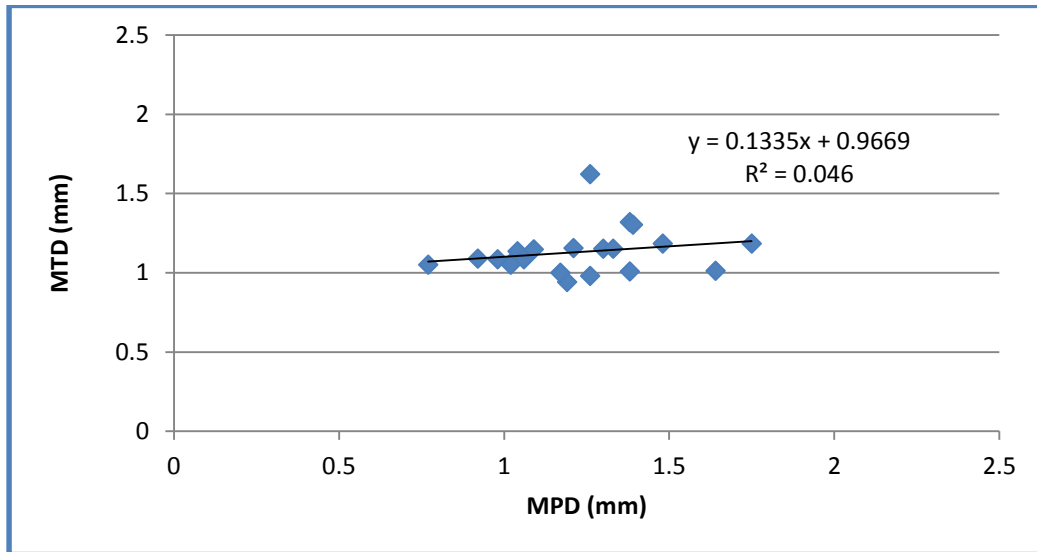
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι συσχετίσεις του δείκτη MTD, με το δείκτη MPD, για καθένα από τα τρία τμήματα.

➤ Τμήμα Α:



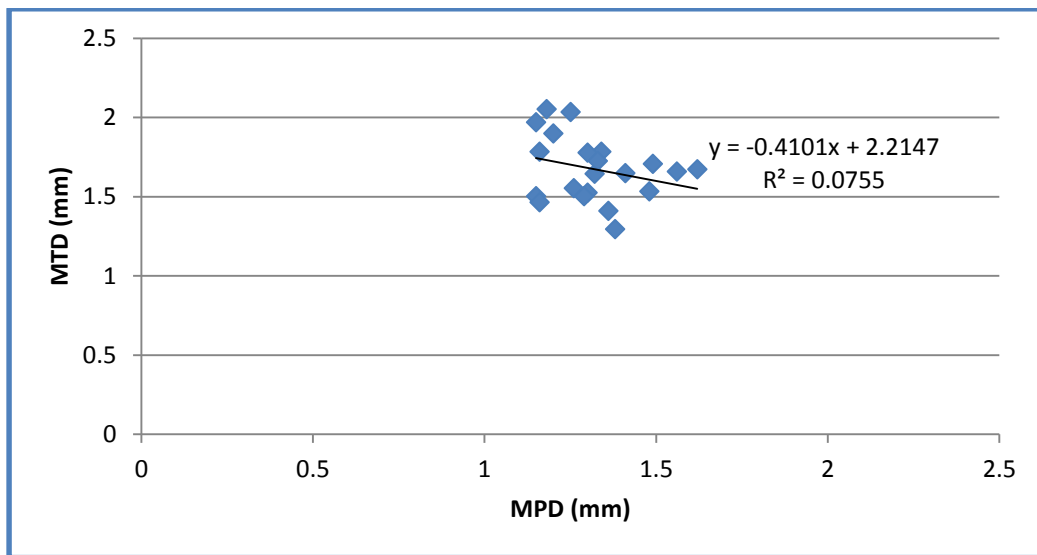
Διάγραμμα 6.1.: Γραμμική συσχέτιση των στοιχείων της μακροϋφής για το τμήμα Α

➤ Τμήμα Β:



Διάγραμμα 6.2.: Γραμμική συσχέτιση των στοιχείων της μακροϋφής για το τμήμα Β

➤ Τμήμα Γ:



Διάγραμμα 6.3.: Γραμμική συσχέτιση στοιχείων της μακροϋφής για το τμήμα Γ

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα ο συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) είναι πολύ χαμηλός για όλα τα τμήματα που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο δεικτών με αποτέλεσμα να μη μπορεί να εξαχθεί μία σχέση σύνδεσης μεταξύ τους.

Για τον προσδιορισμό μίας γενικής σχέσης προς χρήση, στην παραλαβή των νέων οδοστρωμάτων, θα ήταν πιθανότατα αναγκαίος ο εμπλουτισμός του δείγματος μέσω διεξαγωγής δειγματοληψίας σε περισσότερα τμήματα νέων οδοστρωμάτων με διαφορετικές συνθήκες συμπίκνωσης και διάστρωσης του ασφαλτομίγματος για το καθένα και διαφορετικών εξωτερικών συνθηκών (καιρικές συνθήκες, θερμοκρασία).

#### 6.2.1.1. Αποκλίσεις των δύο μεθόδων

Η κηλίδα της άμμου αφορά μία ογκομετρική μέθοδο μέτρησης κατά την οποία το υλικό διαβαθμισμένης άμμου καλύπτει τα κενά της επιφάνειας του οδοστρώματος, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, και εξάγεται επιτόπου ο δείκτης MTD, από έναν πεπερασμένο αριθμό δοκιμών, ο οποίος αφορά τις τρεις διαστάσεις του χώρου.

Η καταγραφή της διαμήκου κατατομής αφορά μία δυναμική μέθοδο μέτρησης της μακροϋφής που για την εξαγωγή του δείκτη MPD χρησιμοποιούνται ειδικό λογισμικό και δεδομένα από κατατομές που αφορούν στις δύο διαστάσεις του χώρου, ενώ παρέχεται συνεχής καταγραφή δεδομένων. Σε αυτή τη μέθοδο καταγράφεται η κατακόρυφη μετατόπιση του σώματος του οχήματος από το οδόστρωμα και από το άθροισμα αυτών των μετατοπίσεων δημιουργούνται οι κατατομές, οι οποίες κατόπιν επεξεργασίας που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, προσδίδουν το MPD το οποίο μέσω ενός γραμμικού μετασχηματισμού δίνει μία εκτίμηση του βάθους υφής (ETD).

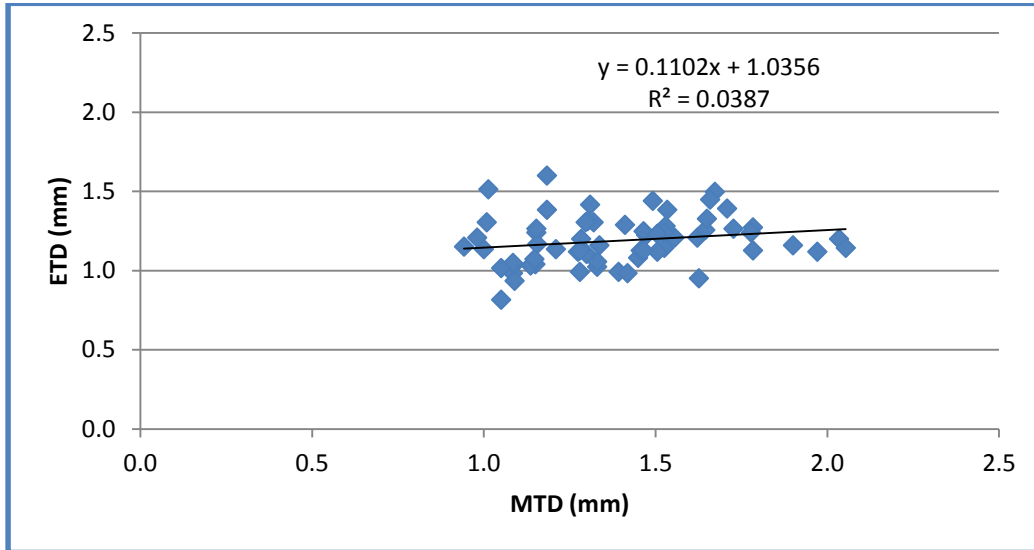
Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι οι δύο μέθοδοι μέτρησης της μακροϋφής είναι εντελώς διαφορετικές τόσο ως προς τον τρόπο μέτρησης και συλλογής δεδομένων, όσο και ως προς την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

#### 6.2.1.2. Έλεγχος εφαρμοσιμότητας σχέσης ASTM

Επιπλέον, αξιοποιώντας τα συνολικά δεδομένα και από τα 3 τμήματα του οδοστρώματος μελέτης ελέγχθηκε η εφαρμογή της σχέσης που αναφέρεται στις προδιαγραφές της ASTM όπου:

$$ETD = 0.8 * MPD + 0.2 \quad (6.1.)$$

Πιο αναλυτικά, από τις μετρήσεις του δείκτη MPD υπολογίστηκαν από την σχέση (6.1.) οι εκτιμήσεις του βάθους υφής (ETD σε mm) και έπειτα συσχετίστηκαν με τις μετρήσεις του δείκτη MTD.



Διάγραμμα 6.4.: Γραμμική συσχέτιση στοιχείων ETD και MTD

Από το διάγραμμα 6.4. παρατηρείται ότι ο συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) είναι πολύ χαμηλός, της τάξης του 3.8%, οπότε δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ των συγκρινόμενων μεγεθών. Πιθανότατα, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο εδάφιο η χαμηλή συσχέτιση οφείλεται στο περιορισμένο δείγμα μετρήσεων το οποίο προέρχεται από ένα μόνο οδόστρωμα.

#### 6.2.2. Συσχετίσεις μικροϋφής-μακροϋφής

Για καθένα από τα τμήματα Α,Β,Γ πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της μικροϋφής με τη χρήση του Βρετανικού Εκκρεμούς προκειμένου να συνδεθούν με τα στοιχεία της μακροϋφής. Για το συσχέτισμό των στοιχείων μακροϋφής-μικροϋφής διακρίθηκαν από τους πίνακες 6.1-6.3 τα MPD και MTD που βρίσκονται σε άρτιο αριθμό θέσης δοκιμής (0.0, 0.02,...0.20) προκειμένου να ταυτίζονται με τα σημεία στα οποία έχουν συλλεχθεί και οι μετρήσεις British Pendulum Number – BPN.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα στοιχεία της μακροϋφής (MPD, MTD) και τα στοιχεία της μικροϋφής (BPN) για τα τμήματα Α (Πίνακας 6.7.), Β (Πίνακας 6.8.), Γ (Πίνακας 6.9.), καθώς και ο μέσος όρος (Μ.Ο.), ο συντελεστής διακύμανσης (CV %), η διάμεσος, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή τους.

Πίνακας 6.7.: Στοιχεία μακροϋφής-μικροϋφής για το τμήμα Α

Θέση Δοκιμής	BPN	MPD (mm)	MTD (mm)
0.00	62.75	0.99	1.28
0.02	66.25	1.55	1.49
0.04	61.75	1.25	1.28
0.06	64.75	1.03	1.33
0.08	61.75	1.17	1.21
0.10	61.75	1.16	1.46
0.12	58.25	1.31	1.46
0.14	60.75	0.99	1.39
0.16	63.25	1.52	1.31
0.18	61.25	0.94	1.63
0.20	60	1.05	1.15
Μ.Ο	62.05	1.18	1.36
CV (%)	3.5	17.9	10.2
Διάμεσος	61.75	1.16	1.33
Μέγιστο	66.25	1.50	1.63
Ελάχιστο	58.25	0.94	1.15

Πίνακας 6.8.: Στοιχεία συσχέτισης μικροϋφής-μακροϋφής για το τμήμα Β

Θέση δοκιμής	BPN	MPD (mm)	MTD (mm)
0.00	62	1.64	1.01
0.02	65.5	1.03	1.08
0.04	65.75	1.21	1.15
0.06	63.75	1.26	1.62
0.08	59.5	0.77	1.05
0.10	58.75	1.19	0.94
0.12	62.75	1.48	1.18
0.14	63	1.06	1.08
0.16	62.25	1.02	1.05
0.18	56.75	1.26	0.98
0.20	63.5	1.75	1.18
Μ.Ο.	62.14	1.24	1.12
CV (%)	4.5	23.1	16.3
Διάμεσος	62.75	1.21	1.08
Μέγιστο	65.75	1.75	1.62
Ελάχιστο	56.75	0.77	0.94



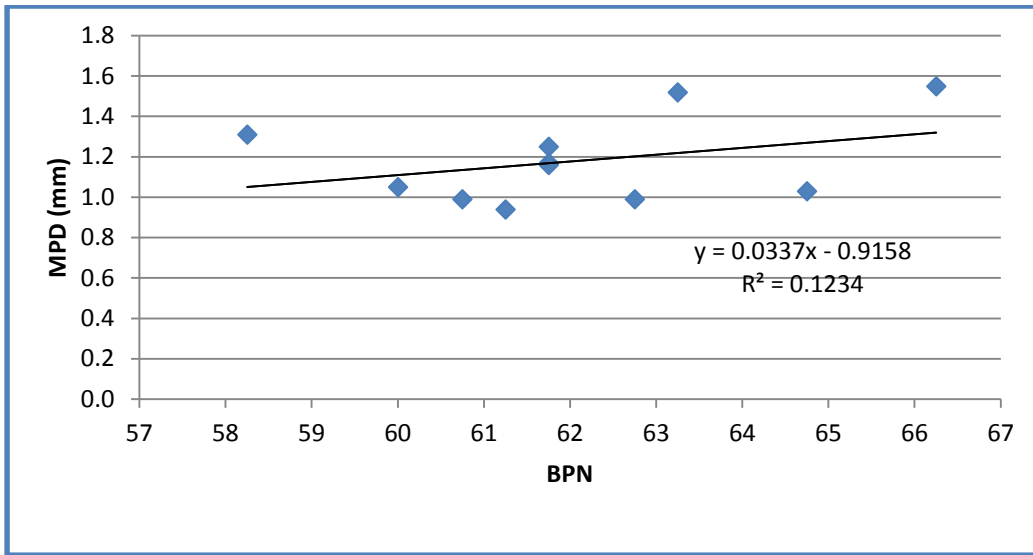
Πίνακας 6.9.: Στοιχεία συσχέτισης μακροϋφής-μικροϋφής για το τμήμα Γ

Θέση δοκιμής	BPN	MPD (mm)	MTD (mm)
0.00	71.25	1.38	1.30
0.02	68.75	1.41	1.65
0.04	70	1.62	1.67
0.06	67.25	1.18	2.05
0.08	70	1.56	1.66
0.10	74.25	1.3	1.78
0.12	76	1.15	1.97
0.14	69	1.36	1.41
0.16	73.25	1.26	1.55
0.18	68.5	1.3	1.52
0.20	70	1.33	1.73
Μ.Ο	70.75	1.35	1.66
CV (%)	3.8	10.6	13.4
Διάμεσος	70	1.33	1.66
Μέγιστο	76	1.62	2.05
Ελάχιστο	67.25	1.15	1.30

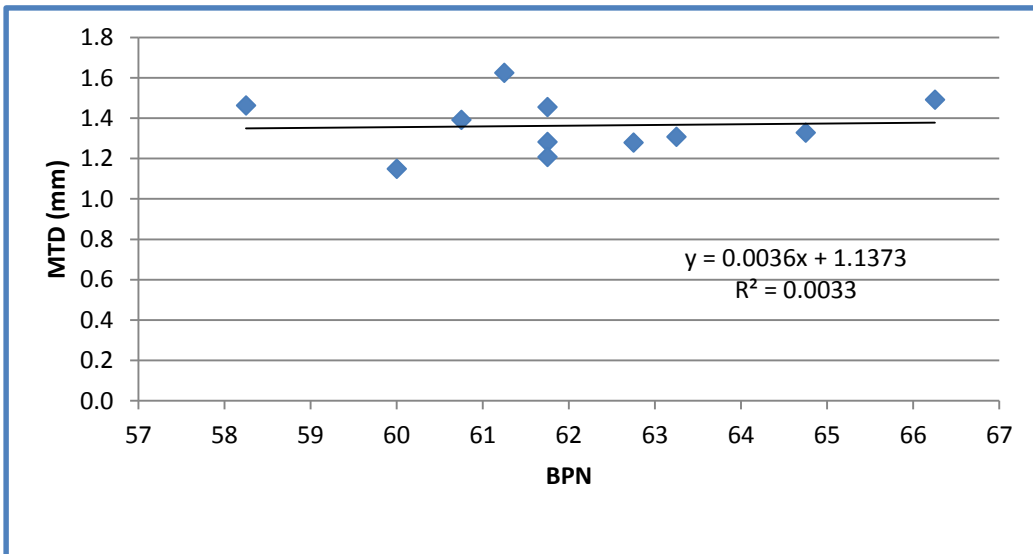
Συγκρίνοντας τους συντελεστές μεταβλητότητας των στοιχείων της μικροϋφής και της μακροϋφής διακρίνονται ορισμένες αποκλίσεις ως προς την ομοιογένεια των δειγμάτων ανάλογα με την κάθε μέθοδο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, με τη μέθοδο του Βρετανικού Εκκρεμούς το δείγμα παρουσιάζει υψηλή ομοιογένεια και ειδικότερα συγκριτικά με τις δύο μεθόδους μέτρησης της μακροϋφής. Για το συγκεκριμένο οδόστρωμα ο δείκτης της μικροϋφής κυμαίνεται στο 64.98 BPN κατά μέσο όρο, με τυπική απόκλιση της τάξης του  $\pm 4.83$ BPN, οπότε είναι αποδεκτός.

Για καθένα από τα τμήματα Α,Β,Γ έγινε προσπάθεια συσχέτισης των μετρήσεων της μακροϋφής (MTD και MPD) με τις μετρήσεις της μικροϋφής (BPN), προκειμένου να υπάρξει ευρύτερη εικόνα της επιφανειακής υφής του οδοστρώματος και πληρέστερη αξιολόγηση των επιπέδων μακροϋφής. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι συσχετίσεις του μέσου βάθους υφής (MTD) με τον αριθμό του Βρετανικού Εκκρεμούς (BPN), και του μέσου βάθους κατατομής (MPD) με τον αριθμό του Βρετανικού Εκκρεμούς (BPN) αντίστοιχα, για καθένα από τα τρία τμήματα μελέτης.

➤ Τμήμα Α:

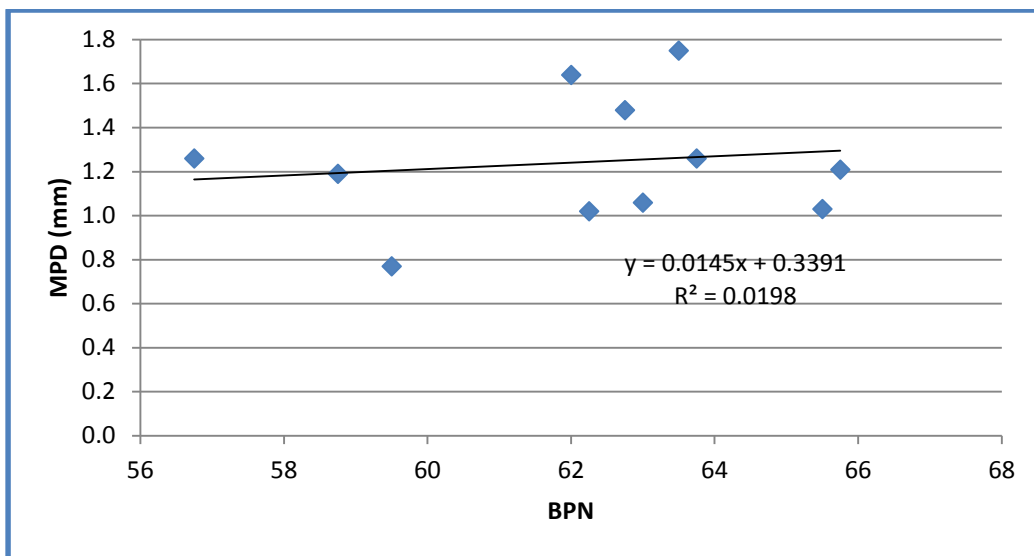


Διάγραμμα 6.5.: Γραμμική συσχέτιση του MPD με το BPN για το τμήμα Α

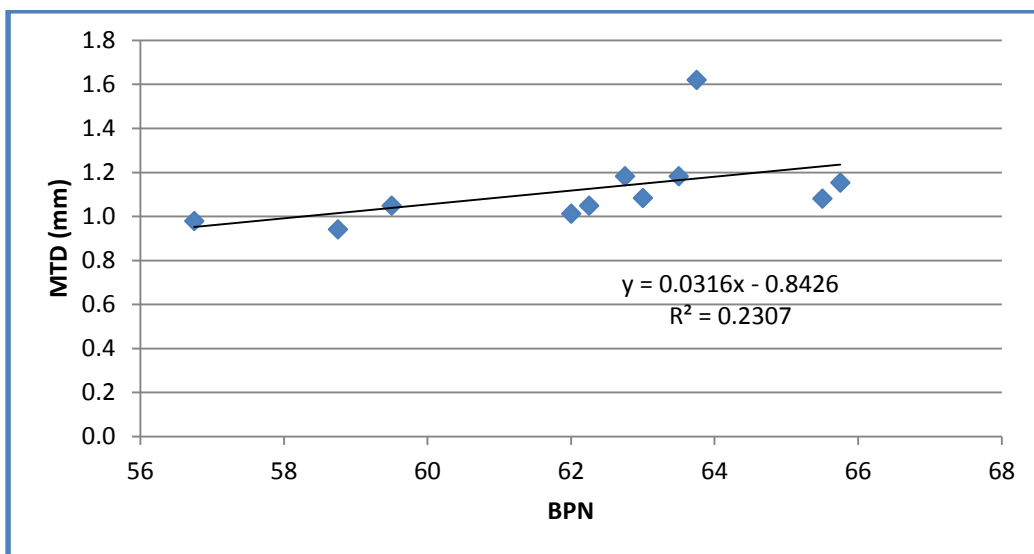


Διάγραμμα 6.6.: Γραμμική συσχέτιση του MTD με το BPN για το τμήμα Α

➤ Τμήμα Β:

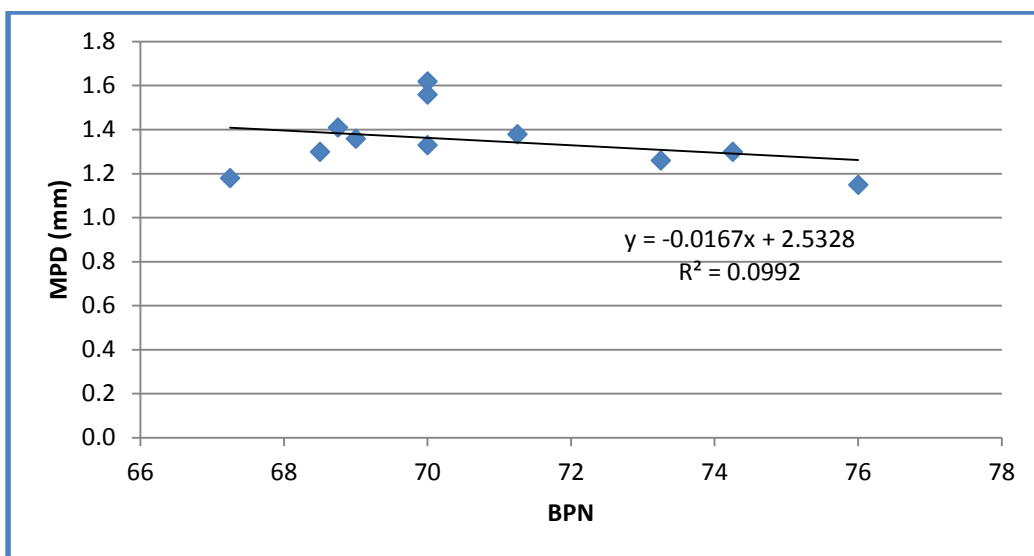


Διάγραμμα 6.7.: Γραμμική συσχέτιση του MPD με το BPN για το τμήμα Β

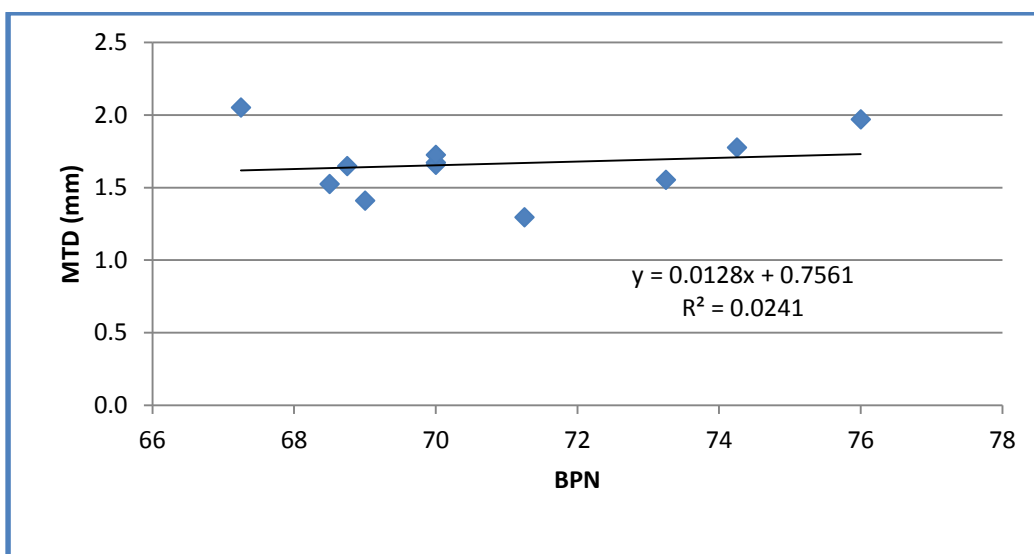


Διάγραμμα 6.8.: Γραμμική συσχέτιση του MTD με το BPN για το τμήμα Β

➤ Τμήμα Γ:



Διάγραμμα 6.9.: Γραμμική συσχέτιση του MPD με το BPN για το τμήμα Γ



Διάγραμμα 6.10.: Γραμμική συσχέτιση του MTD με το BPN για το τμήμα Γ

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται χαμηλός συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των στοιχείων της μακροϋφής με τα στοιχεία της μικροϋφής. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ MPD-BPN ανέρχεται στο 12.3% για το τμήμα Α και για τα τμήματα Β, Γ στο 1.9% και 9.9% αντίστοιχα. Επίσης, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των MTD-BPN κυμαίνεται στο 0.3% για το τμήμα Α και για τα τμήματα Β, Γ στο 23% και 2.4% αντίστοιχα. Συνεπώς, όπως ήταν αναμενόμενο δεν υπήρξε κάποια συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων μικροϋφής-μακροϋφής αφού πρόκειται για δύο

διαφορετικά μεγέθη. Επίσης, η επιτελεστικότητα της μικροϋφής προκύπτει κατά τη λειτουργία του οδοστρώματος και όχι κατά την παραλαβή που αφορούν οι παρούσες μετρήσεις.

### 6.3. Συμβολή στην Ανάπτυξη Ορίων Μακροϋφής για την Παραλαβή Νέων Οδοστρωμάτων

Στόχος της παρούσας διερεύνησης είναι η συμβολή στην ανάπτυξη ορίων μακροϋφής για την παραλαβή νέων οδοστρωμάτων με τη μέθοδο προφίλομετρησης από το σύστημα Laser Profiler. Ο δείκτης MPD που θα οριστεί, θα αποτελέσει την αρχική τιμή του μέσου βάθους κατατομής MPD-initial (mm) και θα μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο στο πλαίσιο παραλαβής του νέου οδοστρώματος όσο και στο πλαίσιο παρακολούθησής του (Pavement Monitoring System). Επιπλέον, δίνεται χαρακτηριστική τιμή και για το μέσο βάθος υφής (MTD), για το χαρακτηρισμό της αρχικής κατάστασης MTD-initial (mm) με την κλασική έως τώρα μέθοδο μέτρησης του βάθους υφής.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, γίνεται αξιοποίηση των στοιχείων μακροϋφής των δύο μεθόδων και από τα τρία επιμέρους υπό εξέταση τμήματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ο δείκτης MTD και ο δείκτης MPD για το σύνολο των μετρήσεων, και για τα τρία δείγματα.

Πίνακας 6.7: Συγκεντρωτικά στοιχεία μακροϋφής με τις 2 μεθόδους

Τμήμα	MPD (mm)	MTD (mm)
Τμήμα Α	0.99	1.28
	1.2	1.34
	1.55	1.49
	1.28	1.47
	1.25	1.28
	1.1	1.45
	1.03	1.33
	1.13	1.3
	1.17	1.21
	1.18	1.52
	1.16	1.46
	1.15	1.27
	1.31	1.46
	1.16	1.28
	0.99	1.39
	1.07	1.33
	1.52	1.31
	1.35	1.53

Διερεύνηση μακροϋφής σε νέο ασφαλτικό οδόστρωμα

Τμήμα Α	MPD (mm)	MTD (mm)
	0.94	1.63
	0.98	1.42
	1.05	1.15
Τμήμα Β	1.64	1.01
	1.38	1.01
	1.03	1.08
	1.3	1.15
	1.21	1.15
	1.38	1.32
	1.26	1.62
	0.98	1.08
	0.77	1.05
	0.92	1.09
	1.19	0.94
	1.04	1.14
	1.48	1.18
	1.39	1.3
	1.06	1.08
	1.09	1.15
	1.02	1.05
	1.17	1
	1.26	0.98
	1.33	1.15
	1.75	1.18
Τμήμα Γ	1.38	1.3
	1.32	1.64
	1.41	1.65
	1.25	2.03
	1.62	1.67
	1.49	1.71
	1.18	2.05
	1.2	1.9
	1.56	1.66
	1.34	1.78
	1.3	1.78
	1.16	1.78
	1.15	1.97
	1.15	1.5
	1.36	1.41
	1.16	1.46

Τμήμα Γ	MPD (mm)	MTD (mm)
	1.26	1.55
	1.48	1.53
	1.3	1.52
	1.29	1.5
	1.33	1.73
M.O.	1.24	1.39
CV (%)	15.5	19.7

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.7. ο συντελεστής μεταβλητότητας – CV % για τα στοιχεία του δείκτη MPD είναι 15.5% άρα το δείγμα μπορεί να θεωρηθεί ομοιογενές και ο μέσος όρος ως αντιπροσωπευτική τιμή του συνόλου. Αντιστοίχως, για το σύνολο των στοιχείων του δείκτη MTD, όπου ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι 19,7%, το δείγμα μπορεί να χαρακτηριστεί ομοιογενές και ο μέσος όρος να θεωρηθεί ως αντιπροσωπευτική τιμή.

Έτσι, τίθεται ως χαρακτηριστική τιμή του μέσου βάθους κατατομής (MPD) ο μέσος όρος του μέσου βάθους κατατομής των συγκεντρωτικών μετρήσεων – MPD=1.24mm και ως χαρακτηριστική τιμή του μέσου βάθους υφής (MTD) ο μέσος όρος του μέσου βάθους υφής των συγκεντρωτικών μετρήσεων – MTD=1.39mm.

### 6.3.1. Προσδιορισμός ορίων παραλαβής

Ως προς την παραλαβή του συγκεκριμένου οδικού τμήματος, σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΕΤΕΠ, 2009) για την αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα τύπου II, το συνιστώμενο και επιδιωκόμενο από τη μελέτη ελάχιστο μέσο βάθος υφής MTD είναι 1.5mm και ο έλεγχος να πραγματοποιείται εντός 7 ημερών από τη διάστρωσή της. Ο καθορισμός οριστικών απαιτήσεων για την επιφανειακή υφή του παραπάνω τύπου ασφαλτομίγματος, ωστόσο, πραγματοποιείται κατόπιν συστηματικών μετρήσεων κατά το πρώτο στάδιο εφαρμογής.

Προκειμένου η παραλαβή του οδοστρώματος να πραγματοποιηθεί όχι μόνο με την κλασική χρήση της μεθόδου της κηλίδας της άμμου, για τον προσδιορισμό της μακροϋφής, αλλά εισάγοντας και τη μέθοδο της διαμήκου καταγραφής κατατομών ως νέα τεχνική παραλαβής οδοστρωμάτων, πραγματοποιήθηκε με την απλή μέθοδο των τριών η παρακάτω αντιστοιχία. Από αυτή την αντιστοιχία προσδιορίστηκε η συνιστώμενη, με βάση το πείραμα (Οδόστρωμα Μελέτης), τιμή του δείκτη MPD για αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα τύπου II.

Πίνακας 6.8.: Αντιστοιχία των συνιστώμενων τιμών για το MTD και το MPD

	MTD(mm)	MPD(mm)
Οδόστρωμα Μελέτης	1.39	1.24
Οδόστρωμα προδιαγραφών	1.5	1.33

Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 6.8. για το Οδόστρωμα Μελέτης το μέσο βάθος υφής - MTD είναι 1.39mm και το μέσο βάθος κατατομής MPD 1.24mm. Οπότε εφόσον το Οδόστρωμα προδιαγραφών θα πρέπει να έχει μέσο βάθος υφής για αντιολισθηρή στρώση τύπου II - 1.5 mm τότε το μέσο βάθος κατατομής MPD προκύπτει 1.33mm.

Άρα:

$$MTD_{initial} = 1.39mm$$

$$MPD_{initial} = 1.24mm$$

Συνεπώς, για το Οδόστρωμα Μελέτης το αρχικό μέσο βάθος υφής MTD-initial μαζί με το αρχικό μέσο βάθος κατατομής MPD-initial μπορούν να αποτελέσουν τις εναρκτήριοι τιμές για την παρακολούθηση της υφής του συγκεκριμένου οδοστρώματος μετά την παραλαβή και τη διάθεσή του στην κυκλοφορία.



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η συμβολή στην ανάπτυξη ορίων στο πλαίσιο παραλαβής νέων οδοστρωμάτων ως προς τα επίπεδα μακροϋφής, μέσω μίας εναλλακτικής μεθόδου. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα προκαταρκτικό μεθοδολογικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό ενός προτεινόμενου ορίου παραλαβής νέου οδοστρώματος με τη μέθοδο προφίλομέτρησης μέσω του συστήματος Laser Profiler. Έως τώρα η μέθοδος αναφοράς για την παραλαβή ενός οδοστρώματος, ως προς τα επίπεδα μακροϋφής, είναι η στατική μέθοδος της κηλίδας της άμμου, η οποία όμως είναι χρονοβόρα και παρέχει σημειακή πληροφόρηση. Συνεπώς, στο πλαίσιο παραλαβής ενός οδοστρώματος μεγάλου μήκους, η χρήση της μεθόδου της κηλίδας άμμου, όπως υποδεικνύεται (ΕΤΕΠ, 2009), καθιστά την όλη διαδικασία μη λειτουργική. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η σύνδεση των δύο μεθόδων για τη διαμόρφωση ενός ορίου παραλαβής με τη μέθοδο προφίλομέτρησης μέσω του συστήματος Laser Profiler.

Για τους σκοπούς της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μακροϋφής και μικροϋφής σε τρία τμήματα ενός ασφαλτικού οδοστρώματος, με αντιολισθηρή στρώση τύπου II, που δεν έχει παραδοθεί στην κυκλοφορία. Από την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων, στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- **Ως προς τη συσχέτιση των δύο μεθόδων μακροϋφής** δεν υπήρξε δυνατότητα σύνδεσης μεταξύ των δεικτών MTD-MPD. Για την εξαγωγή μίας γενικής σχέσης που θα είναι εφαρμόσιμη για την παραλαβή όλων των νέων ασφαλτικών οδοστρωμάτων κρίνεται σημαντική η ανάγκη συλλογής ενός μεγαλύτερου δείγματος δεδομένων, που θα προέρχεται από επαρκή αριθμό ασφαλτικών οδοστρωμάτων με διαφορετικές συνθήκες διάστρωσης, διαφορετικό ποσοστό ασφάλτου, αδρανών και κενών, άλλο χρονικό διάστημα διάστρωσης και διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό και να καλύπτει όλο το φάσμα των περιπτώσεων.
- **Ως προς τον έλεγχο εφαρμοσιμότητας της σχέσης σύνδεσης των δεικτών MTD-MPD με βάση τη σχέση της ASTM (4.1):** για το παρόν οδόστρωμα και αξιοποιώντας μόνο τα στοιχεία συλλογής για τους σκοπούς της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας δεν επαληθεύτηκε η σύνδεσή τους μέσω της συγκεκριμένης σχέσης.
- **Ως προς τη διαμόρφωση του τελικού ορίου MPD (MPDinitial) για την παραλαβή:**

- ✓ Για το παρόν οδόστρωμα έχουν προσδιοριστεί οι δείκτες MTD και MPD που είναι διαφορετικοί και συνεπώς όχι άμεσα συγκρίσιμοι. Οπότε για την αξιολόγηση των στοιχείων αξιοποιήθηκαν συντελεστές μεταβλητότητας του κάθε δείγματος μετρήσεων. Από τους συντελεστές μεταβλητότητας παρατηρείται ότι οι μετρήσεις είναι ομοιογενείς (<20%). Επίσης, αφού ο συντελεστής μεταβλητότητας των μετρήσεων από το Laser Profiler είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο της μεθόδου Sand Patch, η οποία είναι η μέθοδος αναφοράς, συμπεραίνουμε ότι τα στοιχεία που προέκυψαν από τη μέθοδο προφίλομετρησης του συστήματος Laser Profiler είναι αρκετά αξιόπιστα.
- ✓ Αφού τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων είναι αποδεκτά είναι δυνατόν να γίνει συμβολή στην προσπάθεια διαμόρφωσης μίας τιμής αναφοράς για το MPD που να λειτουργήσει ως όριο για την παραλαβή. Έτσι, γνωρίζοντας την τιμή του MTD, για αντιολισθηρή στρώση τύπου II για την παραλαβή ενός οδοστρώματος (ΕΤΕΠ, 2009) και τις τιμές του MTD και MPD για το παρόν οδόστρωμα μελέτης, γίνεται ενδεικτικά με απλή αναλογία ο προσδιορισμός του ορίου MPD για το οδόστρωμα μελέτης.
- ✓ Έτσι, το ζητούμενο όριο προκύπτει: **MPDinitial=1.24mm κατά αντιστοιχία με το όριο MTDinitial=1.39mm**

Στο πλαίσιο της παρούσας Δ.Ε. έγινε προσπάθεια να καταστεί σαφής η σημασία χρήσης μίας λειτουργικής μεθόδου προσδιορισμού των επιπέδων μακροϋφής, της μεθόδου προφίλομετρησης με το σύστημα Laser Profiler. Μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου μπορεί να γίνει γρήγορη καταγραφή των επιπέδων μακροϋφής σε όλο το μήκος ενός μεγάλου οδικού άξονα, κάτι που θεωρείται μη εφικτό με τη χρήση της μεθόδου Sand-Patch. Έτσι, η δημιουργία ορίου με τη μέθοδο προφίλομετρησης του συστήματος Laser Profiler μπορεί να αποτυπώσει τα επίπεδα μακροϋφής, ενώ στην περίπτωση καταγραφής μη ικανοποιητικών επιπέδων να γίνει επιπρόσθετος έλεγχος συγκεκριμένων θέσεων με τη μέθοδο Sand-Patch.

Ευρύτερα, η σημασία προσδιορισμού ορίων για την παραλαβή των οδοστρωμάτων είναι ύψιστης σημαντικότητας για να μπορεί να διασφαλίζεται η υψηλή ποιότητα κατασκευής του οδοστρώματος που θα δοθεί στην κυκλοφορία ώστε να είναι ασφαλές για τους χρήστες. Συμπληρωματικά, τα αρχικά επίπεδα των παραμέτρων των οδοστρωμάτων που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια και καταγράφονται για την

παραλαβή του οδοστρώματος, μπορούν να αποτελέσουν τις εναρκτήριες τιμές του κύκλου ζωής του και να αξιοποιηθούν κατάλληλα στα στάδια επίβλεψης, αξιολόγησης και συντήρησης του όταν αυτό δοθεί στην κυκλοφορία.

**Πιθανές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα** μπορούν να αποτελέσουν ο εμπλουτισμός του δείγματος των οδοστρωμάτων μελέτης πριν πραγματοποιηθεί η παραλαβή τους και η νέα συλλογή μετρήσεων σε μεγαλύτερο δείγμα που ενδεχομένως να οδηγήσει σε συσχέτιση των δεικτών MTD-MPD. Επίσης, η αξιολόγηση και επεξεργασία των δεδομένων να πραγματοποιηθεί με σύνθετες στατιστικές μεθόδους και σε περίπτωση επίτευξης κάποιας σχέσης σύνδεσης να ελεγχθεί και να αξιολογηθεί η εγκυρότητά της και κατά τη λειτουργία του οδοστρώματος.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ. ΤΟΜΕΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ. "Οδηγίες Συντήρησης Αυτοκινητοδρόμων", 2004
- [2] ΕΤΕΠ. Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή, "Αντιολισθηρή στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος", ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-12-01:2009, 2009
- [3] ΕΥΔΕ/ΟΑΠ-Αύγουστος 2013 ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΓΓΡΑΦΗ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΩΝ. Άρθρο 43: "Αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση από ασφαλτικό σκυρόδεμα", 1996
- [4] Λοΐζος, Α. και Πλατή, Χ. "Οδοστρώματα Οδών και Αεροδρομίων", Σημειώσεις Μαθημάτων, ΕΜΠ, 2013
- [5] Νικολαΐδης, "Σύγχρονη Προσέγγιση Ασφαλτικών Μιγμάτων για Αντιολισθηρές Στρώσεις-Εφαρμογές Ασφαλτικού Σκυροδέματος για πολύ Λεπτές Επιφανειακές Στρώσεις", 2012
- [6] Abe, H., T. Tamai, J.J Henry, and J. Wambold, "Measurement of Pavement Macrottexture with Circular Texture Meter", 2001
- [7] Andrus Aavik, & Tiit Kaal, & Maret Jentson, "Use of pavement surface texture characteristics measurement results in Estonia", 2011
- [8] ASTM E303, "Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester", 2013
- [9] ASTM E965, "Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique", 2006
- [10] ASTM E1845, "Standard Practice for Calculating Pavement Macrottexture Mean Profile Depth", 2009
- [11] ASTM E2157, "Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Properties Using the Circular Track Meter", 2009
- [12] ASTM E2380, "Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter", 2009
- [13] Caltrans Division of Maintenance, "MTAG Volume II-Rigid Pavement Preservation 2nd Edition", 2007
- [14] Douglas I. Hanson, & Brian D. Prowell, "Evaluation of circular texture meter for measuring surface texture of pavements", 2004

- [15] Dynatest. Pavement engineering specialists and equipment. RSP Manual 5051 Mark III and IV
- [16] Edgar de Leon Izeppi, & Gerardo W. Flintsch, & Kevin McGhee, "*Field performance of high friction surfaces*", 2010
- [17] Elkins, G., & Thompson, T., & Groeger, J., & Visintine, B., & Rada, G. "*Reformulated Pavement Remaining Service Life Framework*", Federal Highway Administration, 2013
- [18] Freitas E., & Pereira P., & Antunes M.L., & Domingos P, "*Analysis of test methods for texture depth evaluation applied in Portugal*", C-TAC-Communications to National Conferences, 2008
- [19] Gerardo, W., Flintsch, & Edgar, de Leon, & Kevin, K., McGhee, & Imad, L., Al-Qadi, "*Pavement Surface Macrotecture Measurement and Application*", 2003
- [20] Hall J.W., "*Pavement texture and friction*", 2007
- [21] Hall J.W., & Smith K.L., & Littleton P., "*Texturing of concrete pavements*", 2008
- [22] Hall J.W., & K.L. Smith, & L. Titus-Glover, & J.C. Wambold, & T.J. Yager, Z. Rado, "*Guide for Pavement Friction*", National Cooperative Highway Research Program, 2009
- [23] Henault John W. , & Bliven Jessica, "*Characterizing the macrotecture of asphalt pavement designs in Connecticut*", 2011
- [24] Hyung Bae KIM, & Seung Woo LEE, & Tak-Jib Hyun, & Kwang Ho Lee, "*Measurement of texture depth of pavement using portable laser profiler*", 2013
- [25] James Walls III & Michael R. Smith, "*Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design — Interim Technical Bulletin*", Federal Highway Administration, 1998
- [26] Kevin McGhee, "*Comfort and safety of traveled surfaces*", 2008
- [27] Kevin K. McGhee, & Gerardo W. Flintsch, "*High-speed texture measurement of pavements*", 2003
- [28] Kevin K. McGhee, & Gerardo W. Flintsch, & Edgar de Leon Izeppi, "*Using high-speed texture measurements to improve the uniformity of hot-mix asphalt*", 2003
- [29] Losa, M., & Leandri, P., & Bacci, R., "*Measurements of pavement macrotecture with stationary and mobile profilometers*", Fifth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIREPAV5), 2007

[30] Marcio Muniz de Farias, & Charles Silva de Aguiar, & Paulo Roberto Farias Falcao, & Li Chong Lee Bacelar de Castro, "*Sand patch and British pendulum tests of the recently built L3*"

[31] Nicholas R. Fisco, "*Comparison of macrotexture measurement methods*", 2009

[32] Pedro A. Serigos, "*The contribution of micro- and macro-texture to the skid resistance of pavements*", 2013

[33] Peter Cairney, "*Macrotexture and crash risk- Some recent findings from Australia and their implications*", 2006

[34] Suleiman Arafat Yero, & Mohd. Rosli Hainin, & Haryati Yacoob, "*The correlation between texture depth, pendulum test value and roughness index of various asphalt surfaces in Malaysia*", 2012

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[1] Ηχομονωτικοί τάπητες στους δρόμους. Available from:  
<http://ixoripansi.gr/blog/category/%CE%B7%CF%87%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7/#>

[2] Χρόνος Επέμβασης και Ποιοτικό Κόστος Αποκατάστασης. Available from:  
[https://engineering.purdue.edu/~ce361/LECTURE/Lrigid\\_pms.html](https://engineering.purdue.edu/~ce361/LECTURE/Lrigid_pms.html)

[3] Google Images Available from:  
[https://www.google.gr/search?q=eikones+google&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjKgu3mzOXJAhXIDywKHY0qCL8Q\\_AUIBygB&biw=1821&bih=889&dpr=0.75#tbm=isch&q=rutting&imgsrc=d3bbCm0U560nxM%3A](https://www.google.gr/search?q=eikones+google&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjKgu3mzOXJAhXIDywKHY0qCL8Q_AUIBygB&biw=1821&bih=889&dpr=0.75#tbm=isch&q=rutting&imgsrc=d3bbCm0U560nxM%3A)

[4] Pavement Interactive. Available from:  
<http://www.pavementinteractive.org/article/skid-resistance/>

[5] Rutting. Available from: <http://www.pavetest.gr/el/odostrwmata/idiohtew-kai-leitoyrgika-xarakthristika-odostrwmatwn/dokimh-me-tetrametro-phxh-troxoylakwsh.html>

[6] The Local Government & Municipal Knowledge Base. Available from:  
<http://www.lgam.info/rutting>

[7] The Transtec Group. Available from: <http://www.smoothpavements.com>

[8] Wikipedia. Available from:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/Αυτοκινητόδρομος\\_71\\_\(Ελλάδα\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Αυτοκινητόδρομος_71_(Ελλάδα))