

**ΕΠΑνεΚ 2014-2020**  
**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ • ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ • ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ**

ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ:  
« ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ »

Έργο: Παραγωγή τροποποιημένης ασφάλτου και αύξηση ποσοστού ανακύκλωσης ασφαλτικού σκυροδέματος χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένο ελαστικό (RAP-ELT)

Κωδικός Έργου: Τ1ΕΔΚ-01656

**Π4.3 Παρακολούθηση του έργου, διεξαγωγή εργαστηριακών και επιτόπιων μετρήσεων**

Υπεύθυνος Δράσης:



**ECOELASTIKA ΑΕ**  
Οικολογική Διαχείριση Ελαστικών  
Σωρού 14, 151 25 Μαρούσι  
Τηλ: 2106128260 • 2106128370  
Fax: 2106128659

Υπεργολάβος:

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ**  
**ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



Υποκατάστημα: 4<sup>ο</sup> χλμ. Πτολεμαΐδας-Μποδοσασακείου Νοσοκομείου (περιοχή Κουρι) • 502 00 Πτολεμαΐδα

• Τηλ.: 24630-55300 • Fax: 24630-55301

Γραφείο Αθήνας: Αιγιάλειας 52 • 15125 Μαρούσι • Τηλ. 211-1069500 • Fax: 211-1069501

Κεντρικό: 6<sup>ο</sup> χλμ. οδού Χαριλάου-Θέρμης • Τ.Θ. 60361 • 570 01 Θέρμη, Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-498112 • Fax: 2310-498130

Web: <https://www.cperi.certh.gr/> • E-mail: [cperi@certh](mailto:cperi@certh)



**ΙΔΕΠ**  
Ινστιτούτο  
Χημικών  
Διεργασιών και  
Ενεργειακών  
Πόρων

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΑ & ΤΕ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑ-ΕΚ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Υπουργείο Παιδείας,  
Ερευνας και Θρησκευμάτων



ΓΓΕΤ  
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ  
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΠΑνεΚ 2014-2020  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



ΕΣΠΑ  
2014-2020  
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

## Περιεχόμενα

1.	ΣΚΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ .....	3
2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
3.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΙΛΟΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	4
4.	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	6
4.1	Spraying.....	6
4.1.1	Γενικά.....	6
4.1.2	Τροποποιημένη ασφάλτος και αποτελέσματα μελετών spraying.....	7
4.1.3	Μέθοδοι μέτρησης spraying.....	9
4.1.4	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	11
4.2	Μεταβολή θορύβου.....	14
4.2.1	Γενικά .....	14
4.2.1	Τροποποιημένη ασφάλτος και αποτελέσματα μελετών μεταβολής θορύβου..	17
4.2.3	Μέθοδοι μέτρησης θορύβου .....	18
4.2.4	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	19
4.3	Μεταβολή ολισθηρότητας .....	29
4.3.1	Γενικά .....	29
4.4.2	Χρήση Τροποποιημένης ασφάλτου και αποτελέσματα μελετών ολισθηρότητας .....	30
4.4.3	Μέθοδοι μέτρησης της ολισθηρότητας (Skid resistance).....	30
4.3.4	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	34
4.4	Τροχοαυλακώσεις – ρηγματώσεις (rutting).....	37
4.4.1	Γενικά .....	37
4.4.2	Τροποποιημένη ασφάλτος και αποτελέσματα μελετών τροχοαυλακώσεων .	40
4.4.3	Μέθοδοι μέτρησης των τροχοαυλακώσεων (rutting).....	42
4.4.4	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	44
5.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.....	49
6.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	50
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	53

## 1. ΣΚΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

Σκοπός του παραδοτέου 4.3 «Παρακολούθηση του έργου, διεξαγωγή εργαστηριακών και επιτόπιων μετρήσεων» είναι η μελέτη και η παρακολούθηση του έργου διάστρωσης δρόμου από την ΑΣΦΑΛΤΕΡ. Οι απαιτούμενες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν είτε εργαστηριακά είτε επιτόπου. Τα αποτελέσματα των μελετών θα δώσουν σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την αποδοτικότητα της χρήσης τρίμματος ελαστικού τέλους κύκλου ζωής και παλαιού ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) στα έργα οδοποιίας.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παραδοτέο 4.3 ακολουθεί την διάστρωση του πιλοτικού έργου (Δράση 4.2) στην περιοχή του Δήμου Ασπροπύργου. Κατά την διάρκεια του έργου πραγματοποιήθηκε διάστρωση δρόμου συνολικού μήκους 500μ. Το μήκος των 500 μέτρων ασφαλτοστρώθηκε με 4 διαφορετικά είδη ασφαλτομίγματος. Πιο συγκεκριμένα διαστρώθηκαν 100μ. με συμβατική άσφαλτο, 150μ. με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού (ELT), 100μ με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού (ELT) και χρήση 30% ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) στο ασφαλτόμιγμα και 150μ. με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού (ELT) και χρήση 50% ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) στο ασφαλτόμιγμα.



Με βάση το παραπάνω πιλοτικό έργο θα μελετηθούν κάποιες ενδιαφέρουσες παράμετροι που ευνοούν την αντικατάσταση του συμβατικού ασφαλτομίγματος με τροποποιημένη άσφαλτο (ELT) και ανακυκλωμένο οδοστρώμα (RAP). Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν αφορούν την μείωση του spraying, δηλαδή της εκτίναξης σωματιδίων νερού από τις ρόδες των οχημάτων προς τα ακολουθούμενα οχήματα, την μείωση του θορύβου από την κίνηση των οχημάτων, την μείωση των

τροχοαυλακώσεων κυρίως λόγω της κίνησης βαρέων οχημάτων καθώς και την βελτίωση της ολισθηρότητας του δρόμου.

Τέλος το έργο παρακολουθούνταν από κάμερες ασφαλείας οι οποίες ήταν τοποθετημένες σε κοντινή απόσταση από το έργο και οι οποίες δίνουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον κυκλοφοριακό φόρτο, το είδος των διερχόμενων οχημάτων και τις δυνάμεις που ασκούνται από αυτά.

Ακολουθεί μία περιληπτική περιγραφή της διαδικασίας υλοποίησης του πιλοτικού έργου.

### 3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΙΛΟΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η υλοποίηση του πιλοτικού έργου διάστρωσης δρόμου στον Ασπρόπυργο Αττικής πραγματοποιήθηκε σε 3 στάδια:

#### 1<sup>ο</sup> στάδιο: Τεμαχισμός ελαστικών (ELTs)

Σε αυτό το στάδιο ποσότητα ελαστικών μεταφέρθηκε στο εργοστάσιο RETIRE στην Δράμα, το οποίο παράγει τρίμμα και πούδρα ελαστικού. Το ελαστικό τεμαχίστηκε υπό τη μορφή τριμματος με κοκκομετρία 0,0-0,4 mm όπου και συσκευάστηκε σε ειδικούς σάκους για την μεταφορά του.

#### 2<sup>ο</sup> στάδιο: Τροποποίηση ασφάλτου

Στο δεύτερο στάδιο το τρίμμα ελαστικού μεταφέρθηκε από το εργοστάσιο της RETIRE στο εργοστάσιο παραγωγής τροποποιημένης ασφάλτου της NETOIL στην Τρίπολη Αρκαδίας. Ακολουθήθηκε η **υγρή μέθοδος** (που προκρίθηκε και περιγράφεται στην EEX) και συνεπώς το τρίμμα προστέθηκε σταδιακά στο μείγμα της ασφάλτου σε ποσοστό 5% w/w του τελικού μείγματος και αναδεύτηκε για τουλάχιστον 3 ώρες σε ειδικό θερμαινόμενο αναμίκτη στους 180°C μέχρι να ομογενοποιηθεί.

#### 3<sup>ο</sup> στάδιο: Διάστρωση οδοστρώματος

Στο 3<sup>ο</sup> και τελευταίο στάδιο, η τροποποιημένη ασφαλτος μεταφέρθηκε από την βιομηχανική μονάδα της NETOIL στην μονάδα παραγωγής Ασφαλτομίγματος της ΑΣΦΑΛΤΕΡ όπου και παράχθηκαν τα 4 διαφορετικά είδη ασφαλτομίγματος. Χρησιμοποιήθηκε συμβατική ασφαλτος οδοποιίας (ΑΣ 12,5), η τροποποιημένη

άσφαλτος από την NETOIL, πρωτογενή και δευτερογενή αδρανή (RAP) και η θερμοκρασία των ασφαλτομιγμάτων ήταν 170°C.

Η διάστρωση έγινε σε κοντινή οδό της μονάδας της Ασφαλτέρ στον βιομηχανικό τομέα του δήμου Ασπροπύργου και πιο συγκεκριμένα στην οδό που ενώνει το εργοστάσιο της Ασφαλτέρ και την Λεωφόρο Νάτο.

Πριν την διάστρωση πραγματοποιήθηκε φρεζάρισμα σε βάθος 50mm και απομάκρυνση του παλαιού οδοστρώματος και στην συνέχεια εφαρμογή ασφαλτικού γαλακτώματος, το οποίο χρησιμοποιείται ως συνδετική ύλη μεταξύ υποστρώματος και ασφαλτομίγματος. Μετά το πέρας του απαραίτητου χρόνου για την διάσπαση του ασφαλτικού γαλακτώματος πραγματοποιήθηκε η διάστρωση του ασφαλτικού τάπητα με πάχος 50mm. Η εργασία αυτή γίνεται με ειδικό μηχάνημα το οποίο ονομάζεται διαστρωτήρας ασφάλτου. Ο διαστρωτήρας είναι αυτοκινούμενος και φέρει στο οπίσθιο μέρος του πλάκα διάστρωσης, η οποία είναι υπεύθυνη για την ομοιόμορφη εναπόθεση του τάπητα, την προσυμπύκνωση αυτού μέσω κατάλληλου δονητικού συστήματος και την εξομάλυνση των επιφανειακών ανωμαλιών. Μετά τη διάστρωση, και την προσυμπύκνωση που έχει επιτευχθεί από το διαστρωτήρα, ακολουθεί το στάδιο της συμπύκνωσης με χρήση οδοστρωτήρα βάρους 8-12tn. Για να ολοκληρωθεί επιτυχώς η εργασία αυτή, γίνεται κυλίνδρωση του ασφαλτομίγματος σε 3 στάδια, το αρχικό με θερμοκρασιακό εύρος από 130 - 160°C, το ενδιάμεσο με θερμοκρασιακό εύρος από 120 - 140°C και το τελικό με ελάχιστη θερμοκρασία τους 90°C.

Μετά την ολοκλήρωση της διάστρωσης των νέων τμημάτων οδοστρώματος πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές μετρήσεων σε διάστημα 4 και 8 μηνών με στόχο την μελέτη συγκεκριμένων ιδιοτήτων του οδοστρώματος εξετάζοντας παράλληλα την επίδραση της γήρανσης του οδοστρώματος.

Στην συνέχεια του παραδοτέου παρουσιάζονται τα είδη των μετρήσεων, τα αποτελέσματα αυτών καθώς και συζήτηση σχετικά με αυτά.

## 4. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 4.1 Spraying

#### 4.1.1 Γενικά

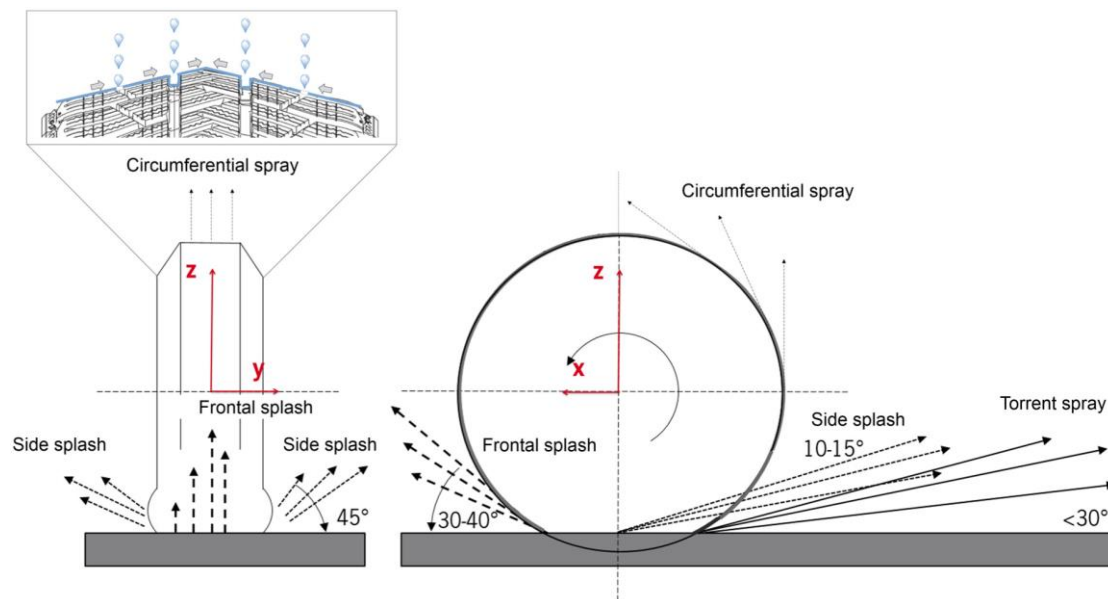
Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθεί το φαινόμενο του «splash & spray» ή αλλιώς «spraying» δηλαδή το φαινόμενο της εκτίναξης σωματιδίων νερού λόγω της κίνησης των ελαστικών των αυτοκινήτων πάνω στο οδόστρωμα.

Ειδικότερα, ο όρος **splash** αναφέρεται στις σταγόνες νερού με διάμετρο μεγαλύτερη από 1,0 mm, οι οποίες λόγω της δράσης του ελαστικού να αναγκάζει το νερό να απομακρύνεται από τα σημεία που διέρχεται, εκτοξεύονται μακριά από αυτό. Όταν χρησιμοποιείται ο όρος **spray** τότε νοούνται σταγονίδια νερού με διάμετρο μικρότερη από 0,5 mm που αιωρούνται στον αέρα, και τα οποία σχηματίζονται κατά την πρόσκρουση του νερού σε μια λεία επιφάνεια.

Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει αρνητικά την οδική ασφάλεια καθώς μειώνει την ορατότητα των οδηγών. Το spraying που δημιουργείται από τα οχήματα, κυρίως τα φορτηγά, παράγει σύννεφα νερού τα οποία εμποδίζουν την ορατότητα των οδηγών των παρακείμενων οχημάτων. Το φαινόμενο αυτό δημιουργείται συνήθως από νερό που έχει συσσωρευτεί στην επιφάνεια δρόμου. Πιο συγκεκριμένα, καθώς τα λάστιχα των οχημάτων περνούν πάνω από το βρεμένο οδόστρωμα μαζεύουν το νερό που βρίσκεται εκεί και το εκτοξεύουν με τη μορφή μικρών σταγονιδίων στον αέρα. Η κατάσταση επιδεινώνεται όταν το φαινόμενο του spraying προκαλείται από μεγάλα οχήματα με αποτέλεσμα τα μικρότερα που ακολουθούν να έχουν σχεδόν μηδενική ορατότητα. Επιπλέον και ο οδηγός του οχήματος που προκαλεί το spraying δεν έχει ορατότητα αυτών [1]. Το φαινόμενο του spraying προκαλεί προβληματισμό καθώς η μειωμένη ορατότητα μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ελέγχου του οχήματος και πιθανότητα ατυχήματος.

Πολλές καινοτομίες στον σχεδιασμό των οχημάτων, των ελαστικών τους αλλά και στα συστήματα φωτισμού έχουν αναπτυχθεί με στόχο στον περιορισμό της εκτόξευσης των σωματιδίων νερού και την βελτίωση της οδηγικής ασφάλειας. Εκτός όμως από τα παραπάνω, εκτενής μελέτη έχει γίνει και στα υλικά

ασφαλτόστρωσης που μελετώνται και στην παρούσα πρόταση καθώς συμμετέχουν και αυτά με την σειρά τους στο παραπάνω φαινόμενο.



Εικόνα 1 - Γραφική απεικόνιση του spraying

Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται η μπροστινή και η πλαϊνή όψη ενός ελαστικού οχήματος καθώς και οι κατευθύνσεις που εκτοξεύεται το νερό κατά την πρόσφυση του ελαστικού σε βρεμένο οδόστρωμα.

**Οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο του spraying εξαρτώνται τόσο από την ποσότητα του νερού που βρίσκεται πάνω στο οδόστρωμα, όσο και από το ίδιο το όχημα που το διασχίζει. Η ποσότητα του νερού εξαρτάται άμεσα από την γεωμετρία του οδοστρώματος, την σύνθεση και το πορώδες, καθώς και την ένταση της βροχής. Αντίστοιχα επηρεάζουν και η ταχύτητα του οχήματος, οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του ελαστικού, η αλληλεπίδραση ελαστικού-οδοστρώματος, το φορτίο του οχήματος και τέλος τα μέτρα μείωσης των ψεκασμών όπως είναι οι λασπωτήρες, οι πλαϊνές ποδιές και τα φτερά.**

#### 4.1.2 Τροποποιημένη ασφαλτος και αποτελέσματα μελετών spraying

Για το φαινόμενο του spraying έχουν γίνει εκτενείς μελέτες καθώς αποτελεί παράγοντα κινδύνου για την ασφάλεια των οδηγών.

Σημαντική εξέλιξη παρουσιάζει ο τομέας των υλικών ασφαλτόστρωσης. Ειδικότερα, δύο ειδικά σχεδιασμένα ασφαλτομίγματα, η μαστίχη ασφάλτου

(Mastic asphalt) και το ασφαλτόμιγμα πορώδους σύνθεσης (Porous Asphalt - PA) παρέχουν επιφανειακή αποστράγγιση και έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν την εκτόξευση και τον ψεκασμό σε υγρό καιρό.

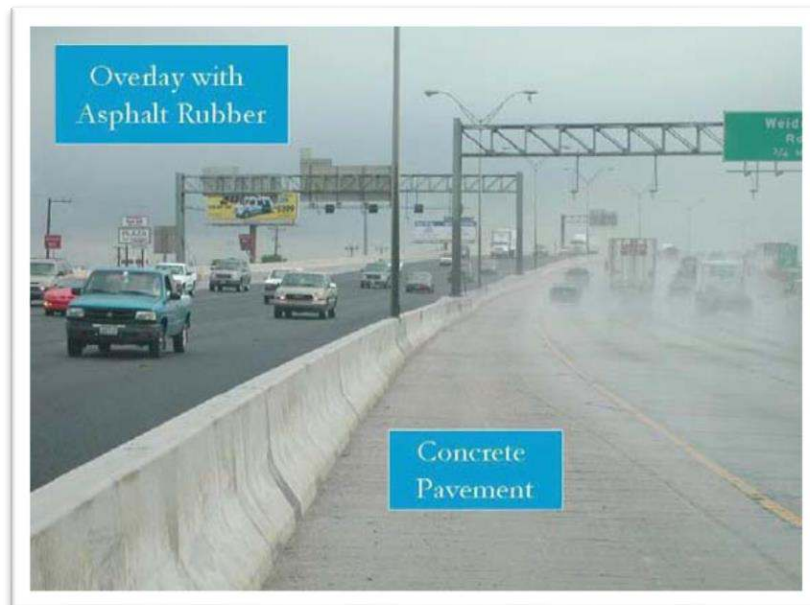
Πιο συγκεκριμένα πολλές ερευνητικές μελέτες έχουν δείξει την ικανότητα του PA να μειώνει σημαντικά το spraying σε ποσοστό πάνω από 95% σε σχέση με την συμβατική ασφαλτο. Το παρατηρούμενο αποτέλεσμα παραμένει για αρκετά χρόνια, ακόμη και αν και φαίνεται να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, αυξάνοντας την ορατότητα σε υγρό καιρό και μειώνοντας την πιθανότητα υδρολίσθησης [2], [3].

Το αυξημένο πορώδες και τα αυξημένα κενά αέρος βοηθούν συνεπώς στην αποστράγγιση του νερού. Με βάση την αύξηση του πορώδους αναμένεται και μείωση του φαινομένου στην παρούσα μελέτη, καθώς στις περιπτώσεις τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού και ανακυκλωμένου οδοστρώματος έχει αποδειχθεί ότι το πορώδες και τα ενδιάμεσα κενά αυξάνονται [4], [5].

Στην περίπτωση ασφαλτομιγμάτων τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού καθώς και με ανακυκλωμένο οδόστρωμα οι μελέτες είναι περιορισμένες. Ωστόσο στις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί ο επιτυχής περιορισμός του φαινομένου, όπως στην περίπτωση διάστρωσης δρόμου τροποποιημένης ασφάλτου με ελαστικό στην Αριζόνα των ΗΠΑ.

Στην Εικόνα 2, ο περιορισμός του φαινομένου του spraying στην αριστερή πλευρά του δρόμου σε σχέση με την δεξιά είναι εμφανής.





Εικόνα 2 - Δρόμος διαστρωμένος με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού και με συμβατική άσφαλτο

#### 4.1.3 Μέθοδοι μέτρησης spraying

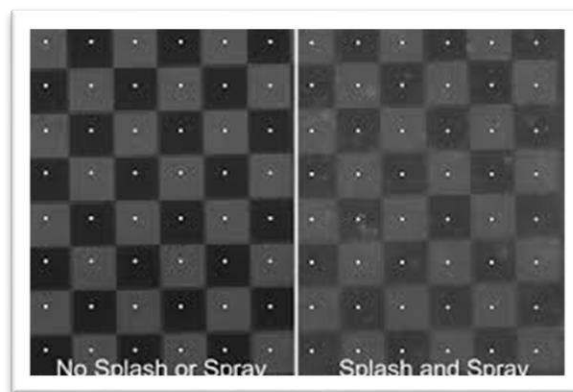
Για την αξιολόγηση του φαινομένου υπάρχουν διαφορά τεστ μέτρησης. Χωρίζονται κυρίως σε δυο κατηγορίες, τις μεθόδους συλλογής νερού και τις οπτικές μεθόδους. Οι περισσότερες ωστόσο είναι πολύπλοκες και ακριβές, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να θεωρηθούν εύκολες λύσεις μέτρησης της απόδοσης του οδοστρώματος. Οι κυριότερες με βάση προηγούμενες μελέτες περιγράφονται επιγραμματικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 - Μέθοδοι μέτρηση spraying με βάση προηγούμενες μελέτες [6]

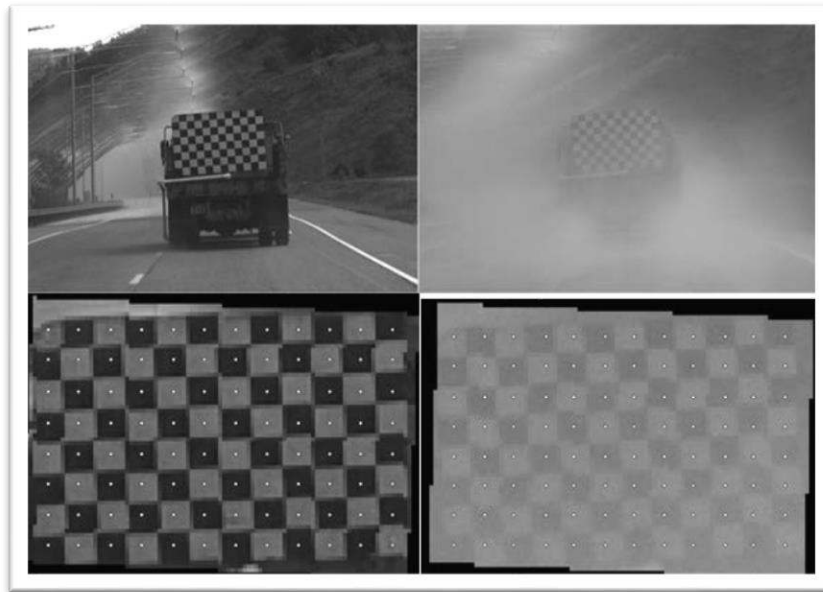
Μέθοδος	Περιγραφή	Αντικείμενο μέτρησης
<b>European Union method (Official Journal of the European)</b>	Η προσομοίωση του spraying γίνεται με ένα ακροφύσιο ψεκασμού υψηλής πίεσης και μετά μετρείται η ποσότητα του νερού που εκτινάσσεται μακριά από τα εξαρτήματα προστασίας του οχήματος από το spraying. Ένα δοχείο είναι τοποθετημένο κάτω από τα εξαρτήματα αυτά και μαζεύει το νερό που κυλάει.	Το νερό που περισυλλέγεται από το αρχικό νερό που εκτοξεύεται.
<b>SAE J2245 digitising method</b>	Χρησιμοποιείται ένας πίνακας βαμμένος με ασπρόμαυρα τετράγωνα και μια κάμερα υψηλής ανάλυσης για ασπρόμαυρες λήψεις. Το νέφος του ψεκασμού μετράται με βάση τον προσδιορισμό της αλλαγής της αντίθεσης μεταξύ των εικόνων χωρίς spraying και των εικόνων με επίδραση spraying.	Αλλαγή στην αντίθεση μεταξύ των εικόνων χωρίς την επίδραση spraying και των εικόνων με επίδραση spraying.

<b>Mercedes Benz scattered light method</b>	Χρησιμοποιείται μια πηγή φωτός που τοποθετείται πάνω και στο πλάι του οχήματος, παράγοντας μια ελαφριά κουρτίνα φωτός που κατευθύνεται προς το έδαφος. Ένας ανιχνευτής φωτός τοποθετείται σε κοντινή απόσταση, στο κάτω μέρος και στην ίδια πλευρά του οχήματος με την πηγή φωτός, ανιχνεύοντας την αντανάκλαση του φωτός.	Η ποσότητα του φωτός που αντανακλάται και καταγράφεται από έναν ανιχνευτή φωτός.
<b>PLM 16</b>	Χρησιμοποιείται μια οριζόντια δέσμη σάρωσης λέιζερ που προβάλλεται σε έναν ταλαντευόμενο καθρέφτη. Ο ταλαντευόμενος καθρέφτης ανακατευθύνει την ακτίνα λέιζερ πάνω σε ένα επίπεδο και καθώς η ακτίνα κινείται πάνω στο επίπεδο διέρχεται από τις 16 φωτοδιόδους με τα συγκροτήματα ανιχνευτών.	Το μειωμένο επίπεδο φωτός που περνά μεταξύ της οριζόντιας δέσμης σάρωσης λέιζερ και των ανιχνευτών της φωτοδιόδου (δείκτης αδιαφάνειας)
<b>Video-based method</b>	Παρόμοια με τη μέθοδο SAE J2245. Η διαφορά είναι ο αριθμός των καρέ βίντεο και η ταχύτητα με την οποία συλλέχθηκαν (100 καρέ βίντεο συλλέχθηκαν στα 2,5 καρέ ανά δευτερόλεπτο)	Αλλαγή στην αντίθεση μεταξύ των εικόνων χωρίς την επίδραση spraying και των εικόνων με επίδραση spraying.
<b>SAE J2245 laser method</b>	Χρησιμοποιούνται δύο πομποί λέιζερ που στέλνουν μια δέσμη φωτός σε έναν δέκτη λέιζερ. Το spraying στη συνέχεια μετράται από το σύστημα λέιζερ ως το μειωμένο επίπεδο φωτός που διέρχεται μεταξύ των πομπών και του δέκτη λέιζερ.	Το μειωμένο επίπεδο φωτός που περνά από τους πομπούς στον δέκτη λέιζερ.

Πίνακας 1: Μέθοδοι μέτρησης spraying με βάση προηγούμενες μελέτες [6]



Εικόνα 3 - SAE J2245 digitising method



Εικόνα 4 - SAE J2245 digitising method

Λόγω της πολυπλοκότητας και του υψηλού κόστους των παραπάνω μεθόδων έχουν αναπτυχθεί άλλες οι οποίες βασίζονται στις υπάρχουσες μεθόδους και οι οποίες είναι πιο εύκολα εφαρμόσιμες. Τέτοιες είναι η Μέθοδος μείωσης του φωτός (Light reduction method-LRM), η Μέθοδος αλλαγής χρώματος (colour changing method-CCM) καθώς επίσης και η οπτική παρατήρηση.

#### 4.1.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

Στα πλαίσια του έργου έγινε έρευνα για τον εντοπισμό εργαστηρίου το οποίο θα μπορούσε να εκτελέσει μετρήσεις splash & spray. **Με βάση την αναζήτηση και την απουσία αντίστοιχης βιβλιογραφίας σε έργα που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα δεν βρέθηκε σχετικό εργαστήριο για να εκτελέσει τις απαιτούμενες μετρήσεις.** Τέτοιες μετρήσεις βρέθηκε να γίνονται σε μεγαλύτερη έκταση στις ΗΠΑ ενώ τις περισσότερες φορές ο εξοπλισμός είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένος.

Παρόλα αυτά, στα πλαίσια του έργου και της μελέτης του φαινομένου **παρουσιάζονται φωτογραφίες**, η οποίες πάρθηκαν σε 2 από τα 4 οδοστρώματα (συμβατική ασφαλτο, τροποποιημένη ασφαλτο με 30% RAP) αφού πρώτα είχε περάσει βυτίο και είχε αδειάσει ίση ποσότητα νερού στην επιφάνεια και των δύο οδοστρωμάτων. Στα υπόλοιπα δύο είδη οδοστρώματος δεν κατέστη δυνατό να

ληφθούν καρέ φωτογραφιών λόγω της γεωμετρίας του χώρου καθώς η απόσταση μεταξύ της κάμερας και του διερχόμενου οχήματος ήταν ανεπαρκής.

Παρουσιάζονται φωτογραφίες από την διέλευση οχήματος Ι.Χ. και φορτηγού τα οποία κινούνταν με ίση και σταθερή ταχύτητα 40km/h.



*Εικόνα 4 - Φορτηγό κινούμενο σε συμβατική άσφαλτο*



*Εικόνα 5 - Φορτηγό κινούμενο σε τροποποιημένη άσφαλτο με χρήση 30% RAP*





*Εικόνα 6 – I.X. κινούμενο σε συμβατική ασφαλτος*



*Εικόνα 7 – I.X. κινούμενο σε τροποποιημένη ασφαλτο με χρήση 30% RAP*

Με βάση την οπτική παρατήρηση είναι αντιληπτό ότι στην περίπτωση της χρήσης τροποποιημένης ασφάλτου με τρίμμα ελαστικού και διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες συνθήκες όπως η ποσότητα νερού του οδοστρώματος και η ταχύτητα των οχημάτων, το φαινόμενο εκτίναξης σωματιδίων νερού μειώνεται αισθητά. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψη την οπτική παρατήρηση, επιβεβαιώνονται οι ήδη υπάρχουσες μελέτες που εφάρμοσαν πιστοποιημένες μεθόδους υπολογισμού του παραπάνω φαινομένου και οι οποίες προτείνουν τη χρήση τροποποιημένης με ελαστικό ασφάλτου για αύξηση της ορατότητας και της ασφάλειας σε βρεγμένα οδοστρώματα.

## 4.2 Μεταβολή θορύβου

### 4.2.1 Γενικά

Ο θόρυβος, ο οποίος ορίζεται ως ένας ανεπιθύμητος ήχος, αν και υπάρχει παντού γύρω μας, όταν φτάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο και πάνω, γίνεται ενοχλητικός στο ανθρώπινο αυτί. Ο περιβαλλοντικός θόρυβος είναι ένα από τα κύρια προβλήματα των αστικών πόλεων και σχετίζεται με σοβαρά προβλήματα υγείας όπως διαταραχές του ύπνου, ενόχληση-άγχος ακόμα και καρδιαγγειακές παθήσεις. Συνεπώς, το φαινόμενο αυτό προβληματίζει έντονα την πολιτεία σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με αυτό.

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος προέρχεται κυρίως από τρεις κύριες πηγές, με κυριότερη την αλληλεπίδραση των ελαστικών και του οδοστρώματος, στην συνέχεια τον θορύβου του κινητήρα και της εξάτμισης και τέλος λόγω της αεροδυναμικής του οχήματος. Για να ελαχιστοποιήσουν τον θόρυβο, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν αναπτύξει πιο αθόρυβα συστήματα εξάτμισης και κινητήρων, πιο αποτελεσματικά από άποψη αεροδυναμικής σχέδια οχημάτων, πιο αθόρυβα υλικά και ελαστικά με πέλματα ειδικά σχεδιασμένα για να μειώνουν το θόρυβο που παράγεται από την επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα.[7] Τέλος ιδιαίτερη έρευνα πραγματοποιείται σχετικά με τα υλικά του οδοστρώματος. Όσον αφορά τους αυτοκινητόδρομους όπου η ταχύτητες είναι υψηλές και το φαινόμενο ακόμα πιο έντονο έχουν παρθεί διάφορα μέτρα. Ένα από αυτά είναι η

δημιουργία ενδιάμεσων ζωνών δίπλα στον αυτοκινητόδρομο ούτως ώστε η περιοχή κοντά από αυτούς να μην επηρεάζεται από τον θόρυβο. Αυτό το μέτρο δεν είναι ιδιαίτερα οικονομικό και υλοποιήσιμο καθώς απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης ειδικά σε μεγάλους αυτοκινητοδρόμους.

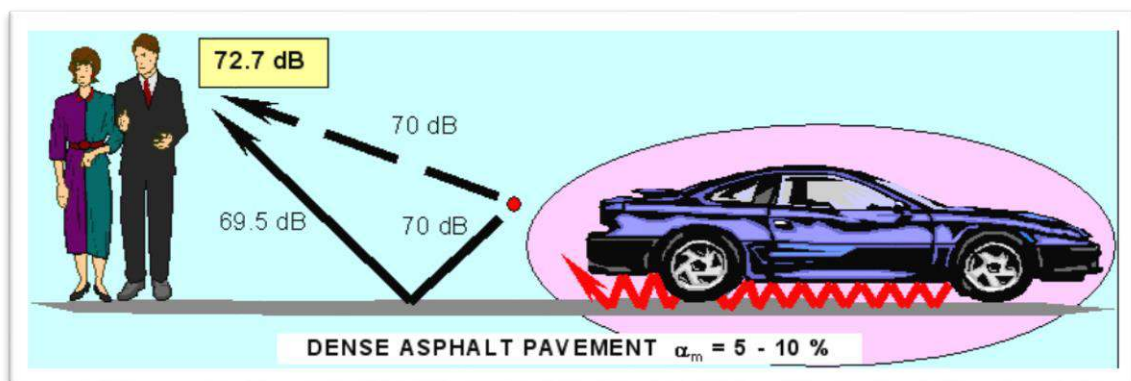
Ένα άλλο μέτρο που εφαρμόζεται είναι η χρήση φραγμάτων ήχου που εμποδίζουν την διάδοση του θορύβου μεταξύ του αυτοκινητοδρόμου και των σπιτιών που βρίσκονται κατά μήκος αυτού. Αυτά τα εμπόδια μπορεί να είναι είτε χωμάτινα αναχώματα κατά μήκος του δρόμου (συνήθως γίνεται φυτοκάλυψη) ή ψηλά, κάθετα τοιχώματα (ηχοπετάσματα). Τα χωμάτινα αναχώματα είναι πιο ελκυστικά στο μάτι αλλά θέλουν μεγάλη ποσότητα αναχωμάτων ειδικά αν είναι ψηλά. Αντίθετα τα ηχοπετάσματα καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο, το ύψος τους φθάνει μέχρι τα 8m και μπορούν να κατασκευαστούν από πολλά υλικά όπως ξύλο, σκυρόδεμα, τοιχοποιία, μέταλλο, πολυμερή και άλλα υλικά.

Τέλος και ίσως το πιο σημαντικό μέτρο αποτροπής του αυξημένου θορύβου είναι η **χρήση ασφάλτου τροποποιημένη με τρίμμα ελαστικού** καθώς με αυτόν τον τρόπο μετριάζεται η κύρια πηγή θορύβου που είναι όπως προαναφέρθηκε η επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα.

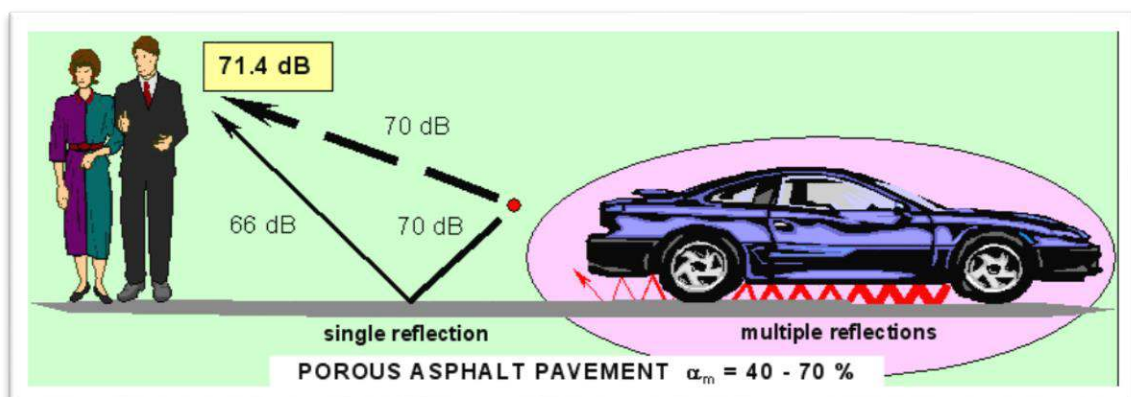
Ο θόρυβος λόγω της κίνησης του ελαστικού πάνω στο οδόστρωμα δημιουργείται από την κίνηση των σωματιδίων που δημιουργούνται στα κενά του πέλματος και της δόνησης του ελαστικού [8]. Μεταξύ του πέλματος του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος, υπάρχει ένας χώρος που σχηματίζει ένα ακουστικό κέρατο, το οποίο αυξάνει την απόδοση της ακτινοβολίας προς τα πίσω και προς τα εμπρός.

Για τον θόρυβο που σχετίζεται με την επαφή ελαστικού/οδοστρώματος πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν. Παράγοντες όπως **το μέγεθος και το είδος των αδρανών, η ταχύτητα του οχήματος, η θερμοκρασία, το είδος του ασφαλτομίγματος, η γήρανση, το πάχος αλλά και η υφή της επιφάνειας του οδοστρώματος** παίζουν ρόλο στα επίπεδα του θορύβου. Ο σημαντικότερος όμως παράγοντας είναι **το πορώδες του οδοστρώματος**. Ο κυκλοφοριακός θόρυβος απορροφάται από το πεζοδρόμιο καθώς η ενέργεια του θορύβου μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια στους πόρους του πεζοδρομίου. Η υψηλότερη απορρόφηση

θορύβου αντιστοιχεί σε χαμηλότερα επίπεδα θορύβου κυκλοφορίας. Συνεπώς μια πυκνή επιφάνεια αντανακλά κυρίως την ηχητική ενέργεια, ενώ μια πορώδης επιφάνεια την απορροφά. Για ένα τυπικό πυκνό οδόστρωμα, αναμένεται συντελεστής απορρόφησης που κυμαίνεται από 0,05 έως 0,2, ενώ για πορώδη οδοστρώματα ο συντελεστής απορρόφησης κυμαίνεται από 0,4 έως 0,7.[9]. Η ύπαρξη πορώδους υλικού παίζει ρόλο στην παραγωγή θορύβου και στην ενίσχυση, καθώς λόγω της απορρόφησης μειώνεται τη συμπίεση του αέρα που παγιδεύεται μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος. Το αποτέλεσμα του θορύβου βασίζεται στη μελέτη της αντανάκλασης και της διάδοσης του θορύβου καθώς εκτός από την αλληλεπίδραση ελαστικού/οδοστρώματος, ο ήχος αντανακλάται και στις επιφάνειες του οχήματος.



Εικόνα 8 - Αντανάκλασεις ήχου σε πυκνό οδόστρωμα



Εικόνα 9 - Αντανάκλασεις θορύβου σε πορώδες οδόστρωμα



#### 4.2.1 Τροποποιημένη άσφαλτος και αποτελέσματα μελετών μεταβολής θορύβου

Με βάση όλα τα παραπάνω εδώ και πολλά χρόνια υπάρχουν εκτενείς μελέτες σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιούνται και που δύναται να χρησιμοποιηθούν στην οδοποιία με στόχο την μείωση των επιπέδων θορύβου αλλά και γενικότερα την βελτίωση συνολικά των ιδιοτήτων του οδοστρώματος. Ένα από αυτά τα υλικά, με πολύ θετικά αποτελέσματα τόσο εργαστηριακά όσο και σε έργα που πραγματοποιήθηκαν είναι το τρίμμα ελαστικού.

Η προσθήκη του τριμματος ελαστικού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του πορώδους του ασφαλτομίγματος καθώς αυξάνει τα κενά αέρα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απορρόφηση του θορύβου. Με την σειρά του το ίδιο το ελαστικό λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του καουτσούκ προσφέρει επιπλέον απορρόφηση. Τα παραπάνω φαίνονται και από μετρήσεις θορύβου που δείχνουν ότι η τροποποιημένη άσφαλτός με τρίμμα ελαστικού μειώνει γενικά τα επίπεδα θορύβου κατά περίπου 2-3 ντεσιμπέλ και σε ορισμένες περιπτώσεις έως και 10 ντεσιμπέλ. Μάλιστα η τροποποιημένη άσφαλτός με τρίμμα ελαστικού μπορεί να παρέχει ακόμα μεγαλύτερη απορρόφηση θορύβου από ό, τι τα ασφαλτομίγματα πορώδους σύνθεσης λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του καουτσούκ.

Ως αποτέλεσμα, χώρες σε όλο τον κόσμο ξεκίνησαν μελέτες για τα επίπεδα θορύβου προκειμένου να αξιολογήσουν την σκοπιμότητα χρήσης προϊόντων ανακυκλωμένου ελαστικού στο οδόστρωμα. Πολλές κρατικές υπηρεσίες έχουν πραγματοποιήσει μελέτες στις ΗΠΑ (Καλιφόρνια, Τέξας, Φλόριντα) και έχουν δείξει μείωση του θορύβου σε σύγκριση με τα συμβατικά ασφαλτομίγματα χωρίς τρίμμα ελαστικού. Σε πολλές περιπτώσεις, η μείωση του θορύβου σε αυτοκινητόδρομους ήταν εμφανής ακόμη και μετά τη διεύρυνση του οδοστρώματος, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερο κυκλοφοριακό όγκο και μεγαλύτερες ταχύτητες [10].

Στην Αριζόνα, οι εξαιρετικές ιδιότητες μείωσης του θορύβου αποτέλεσαν βασικό κίνητρο για την αντικατάσταση των παλιών οδοστρωμάτων.

Η χρήση ελαστικού στο ασφαλτόμιγμα έχει κερδίσει επίσης ενδιαφέρον και στις ευρωπαϊκές χώρες. Η Πορτογαλία διαθέτει εκτεταμένη εμπειρία σε αυτήν τη μεθοδολογία [11]. Στη Σουηδία, στα τέλη του 2009, είχαν κατασκευαστεί περίπου

15 τμήματα δοκιμών με χρήση περίπου 57.000 τόνων καουτσούκ ασφάλτου / ασφάλτου που κάλυπτε περίπου 100 λωρίδες χιλιομέτρων ενώ και στην Ελλάδα στον Δήμο Λαμίας έχει πραγματοποιηθεί σχετικό πιλοτικό έργο [14].

Πίνακας 2 - Μείωση θορύβου μετά από χρήση τρίμματος ελαστικού στο ασφαλτόμιγμα [12]

Χώρα	Έτος	Επίπεδο μείωσης θορύβου
Βέλγιο	1981	8 - 10 dB
Γαλλία	1984	2 - 3 dB/3 - 5 dB
Γερμανία	1980	3 dB (50%)
Αυστρία	1988	3+ dB
Ολλανδία	1988	2.5 dB
Καναδάς	1991	Υπήρχε μείωση
Αριζόνα, ΗΠΑ	1990	10 dB (88%)
Καλιφόρνια, ΗΠΑ	1991-1993	3 - 7 dB

#### 4.2.3 Μέθοδοι μέτρησης θορύβου

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τη μέτρηση και την αξιολόγηση του κυκλοφοριακού θορύβου στον αυτοκινητόδρομο, οι περισσότερες από αυτές πραγματοποιούνται με την χρήση συσκευών που είτε τοποθετούνται σε κινητό μέρος που ακολουθεί την πορεία της πηγής του ήχου είτε τοποθετείται κάπου σταθερά στο επίπεδο του δρόμου. Παρακάτω παρουσιάζονται εν συντομία οι πιο δημοφιλείς μέθοδοι.

##### **Statistical Passby (SPB)**

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση του μέγιστου ηχητικού επιπέδου τυχαίων οχημάτων που περνούν, χρησιμοποιώντας μικρόφωνα τοποθετημένα σε καθορισμένη απόσταση από το κέντρο του δρόμου. Τα μικρόφωνα τοποθετούνται 7,5 m από το κέντρο της λωρίδας και 1,2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (ISO1819-1). Παρόλο που αυτή η μέθοδος παρέχει τα καλύτερα αποτελέσματα, είναι χρονοβόρα και έχει πολλούς περιορισμούς, ενώ δεν ισχύει για όλες τις επιφάνειες οδοστρώματος.

##### **Controlled Passby (CPB)**

Η ιδέα αυτής της μεθόδου είναι παρόμοια με τη μέθοδο SPB, η κύρια διαφορά είναι ότι δεν επιτρέπει τη μέτρηση τυχαίων οχημάτων. Αυτή η μέθοδος μετρά τα επίπεδα θορύβου που παράγονται από επιλεγμένα οχήματα ή ένα μόνο όχημα με καθορισμένη ταχύτητα. Οι ίδιοι περιορισμοί του SPB ισχύουν για αυτήν τη μέθοδο και δεν είναι εφαρμόσιμη σε όλα τα οδοστρώματα.

#### **Close Proximity (CPX)**

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση του θορύβου αλληλεπίδρασης ελαστικού/οδοστρώματος. Επιτυγχάνεται με τη χρήση ρυμουλκού που είναι εξοπλισμένο με τον πρότυπο εξοπλισμό για τη μέτρηση του επιπέδου θορύβου και δύο μικρόφωνα που τοποθετούνται κοντά στο κέντρο του ελαστικού (ISO1819-2). Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου είναι σχετικά γρήγορα.

#### **Σωλήνας σύνθετης αντίστασης**

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στο εργαστήριο και βασίζεται στη μέτρηση των ακουστικών ιδιοτήτων των πυρήνων ή των εργαστηριακών δειγμάτων υπό ελεγχόμενες συνθήκες, μειώνοντας έτσι τους παράγοντες που θα μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις θορύβου. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί έναν σωλήνα σύνθετης αντίστασης για να μεταφέρει το ηχητικό κύμα στο δείγμα. Ο θόρυβος που ανακλάται ανιχνεύεται από δύο μικρόφωνα που είναι τοποθετημένα στο ίδιο επίπεδο στον σωλήνα σύνθετης αντίστασης. Υπάρχουν ευρωπαϊκά και αμερικανικά πρότυπα για τον έλεγχο του σχεδιασμού αυτής της μεθόδου. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με τη μέθοδο αυτή είναι οι συντελεστές απορρόφησης θορύβου.

#### **4.2.4 Αποτελέσματα μετρήσεων**

Οι μετρήσεις θορύβου των οδοστρωμάτων πραγματοποιήθηκαν με την χρήση ηχομέτρου NTi XL2 (τύπου 1) και Brüel & Kjær 2250 (τύπου 1) - τα ηχώμετρα τύπου 1 είναι τα πιο ακριβή για την μέτρηση της στάθμης της ηχητικής πίεσης - καθώς και βαθμονομητή τύπου Brüel & Kjær, Type 4230 (Calibrator). Οι μετρήσεις έγιναν σε 2 φάσεις – 1<sup>η</sup> φάση / 4 μήνες μετά την ασφαλτόστρωση, 2<sup>η</sup> /φάση 8 μήνες μετά την ασφαλτόστρωση.



Εικόνα 10 – (από αριστερά) Ηχόμετρο NTi XL2, Ηχόμετρο Brüel & Kjær 2250, Βαθμονομητής Brüel & Kjær, Type 4230

Αρχικά, διερευνήθηκε ο θόρυβος βάθους αποκλείοντας την τροχαία κίνηση άλλων οχημάτων για όλο το διάστημα των ηχομετρήσεων.

Οι ηχομετρήσεις έγιναν σύμφωνα με τις βασικές αρχές του EN ISO 11819:1 2001 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic Noise Part 1: Statistical Pass by Method.

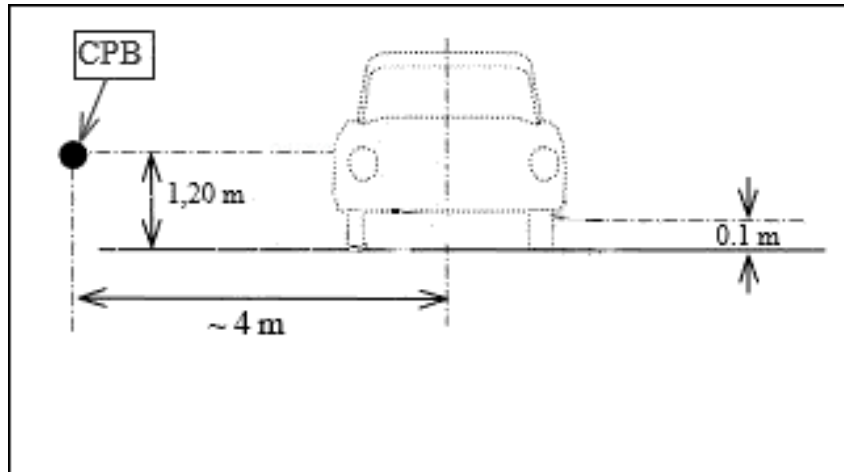


Εικόνα 11 - Ηχομέτρηση Ι.Χ.

Το ύψος του Ηχομέτρου ορίστηκε στο 1.2 μέτρο από το επίπεδο του εδάφους και τουλάχιστον 2 μέτρα από οποιαδήποτε άλλη ηχο-ανακλαστική επιφάνεια. Η απόσταση μεταξύ του εκάστοτε οχήματος και του σημείου μετρήσεων έγινε προσπάθεια να παραμείνει σταθερή ~ 4 m. Η ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων έγινε προσπάθεια να διατηρηθεί σταθερή στα 40 km/h στο μέτρο του δυνατού, καθώς η μορφολογία του δρόμου δεν επέτρεπε μεγαλύτερες ταχύτητες. Οι στροφές λειτουργίας των οχημάτων διατηρήθηκαν στο ελάχιστο (ρελαντί) ώστε η καταγραφή να αφορά τον θόρυβο που προέρχεται από την κύλιση των ελαστικών στον εκάστοτε τύπο οδοστρώματος και όχι τον θόρυβο της μηχανής του οχήματος. Η απόσταση από διαφορετικό τύπο οδοστρώματος διατηρήθηκε στα ~20 μέτρα ανά πλευρά. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων οι ηχομέτρησεις έγιναν και από τις δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 12 - Ηχομέτρηση διερχόμενου φορτηγού

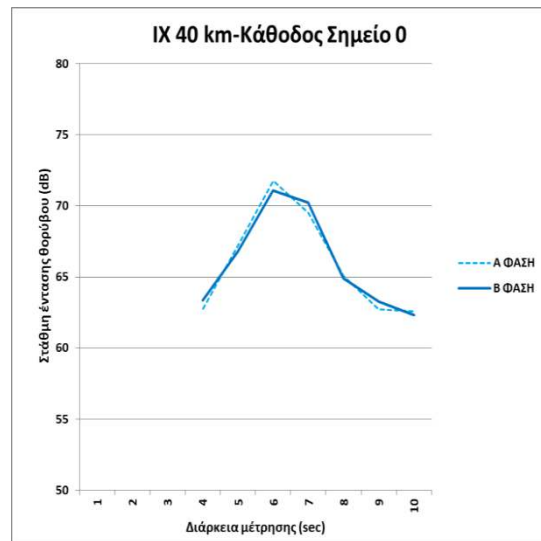
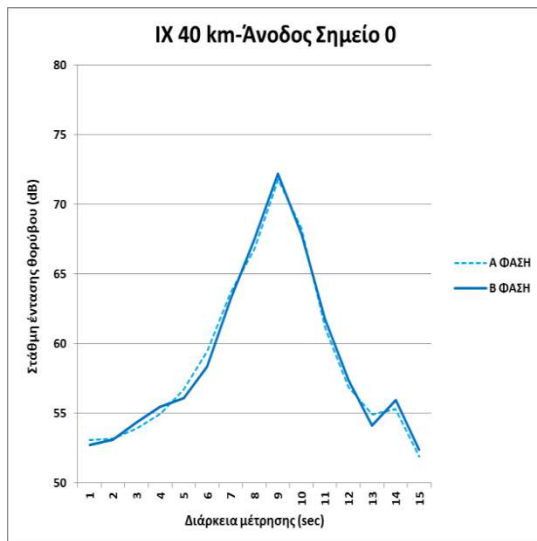
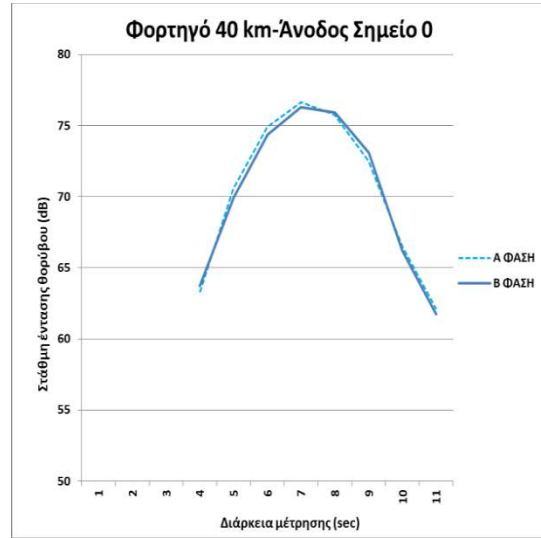
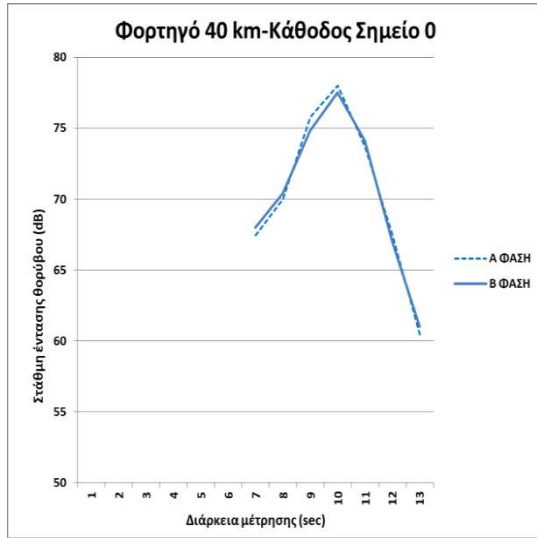


Εικόνα 13 -Σκαρίφημα με θεωρητική θέση ηχομέτρησης

Πίνακας 3 - Περιγραφή θέσεων ηχομέτρησης και είδους οδοστρώματος

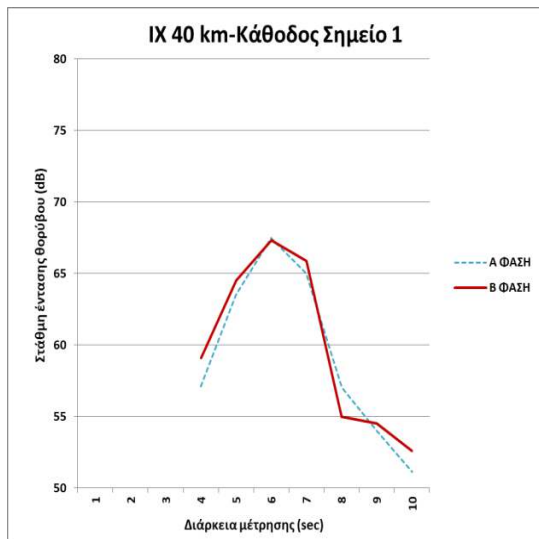
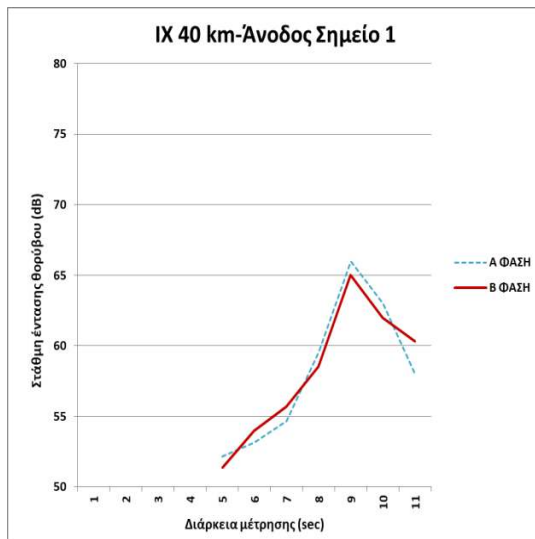
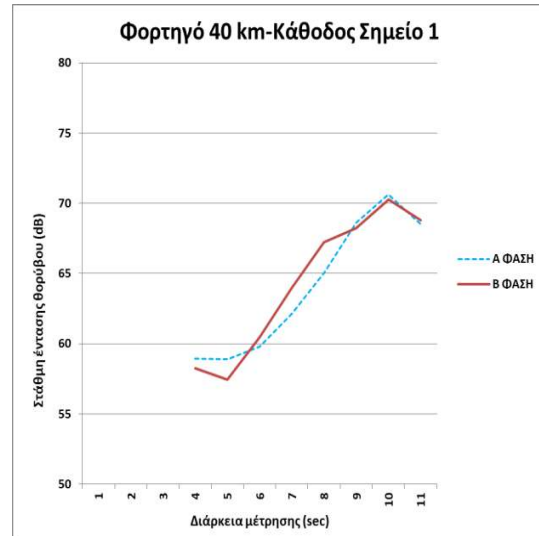
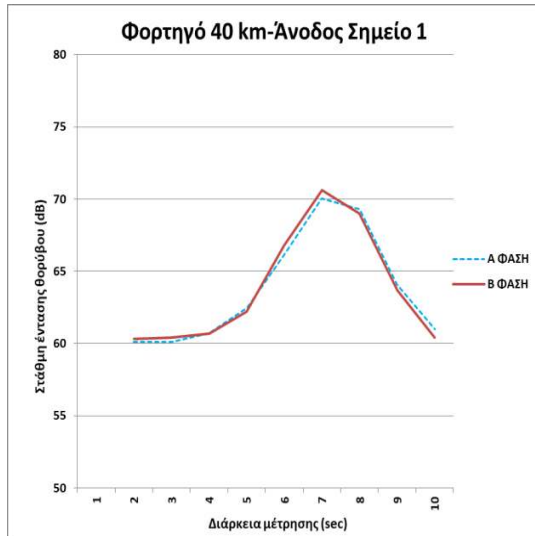
Θέση/Σημείο ηχομέτρησης	Σύντομη Περιγραφή οδοστρώματος
0	Παλιός Τύπος οδοστρώματος
1	ΑΣ12.5 Με Κοινή άσφαλτο
2	ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Άσφαλτο και με 50% RAP
3	ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Άσφαλτο και με 30% RAP
4	ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Άσφαλτο

## ΘΕΣΗ ο(Παλιός Τύπος οδοστρώματος)



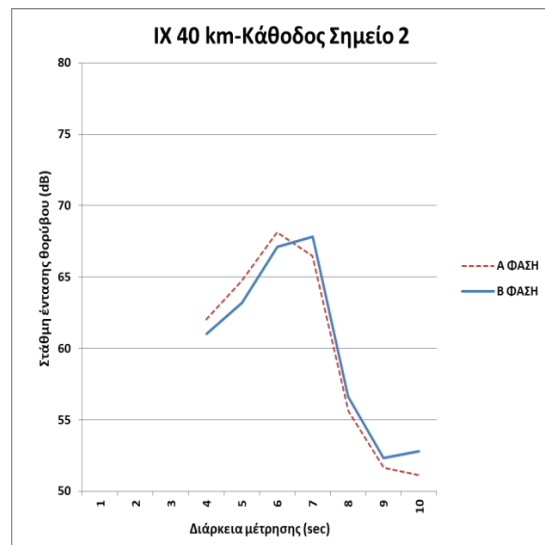
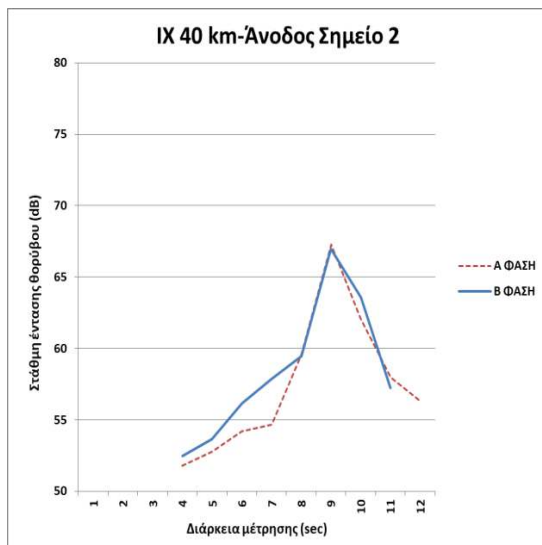
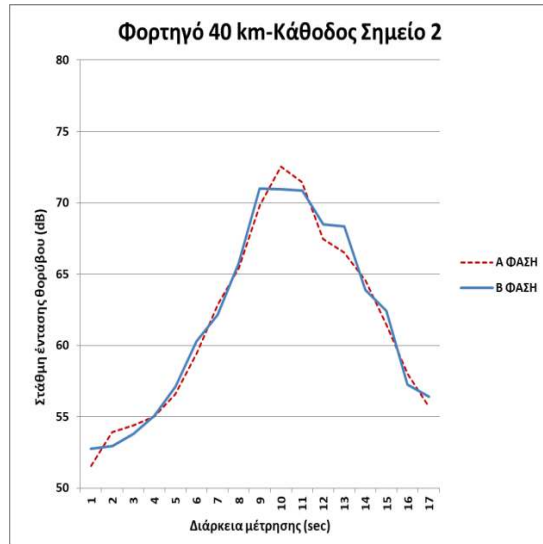
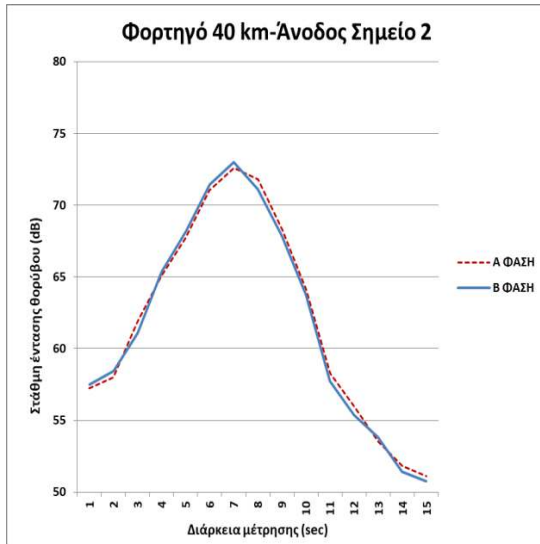


### ΘΕΣΗ 1 (Με κοινή άσφαλτο)

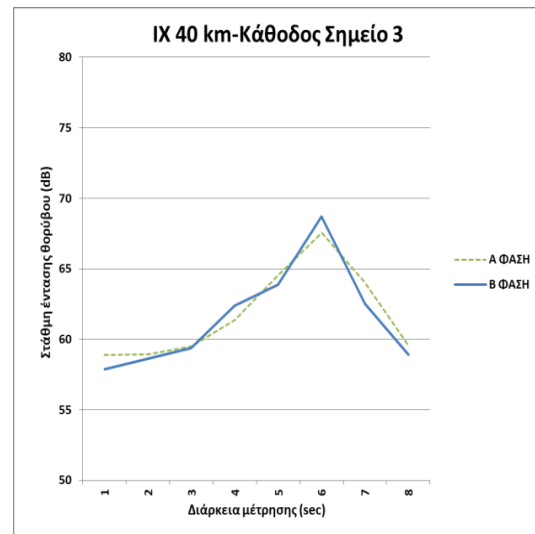
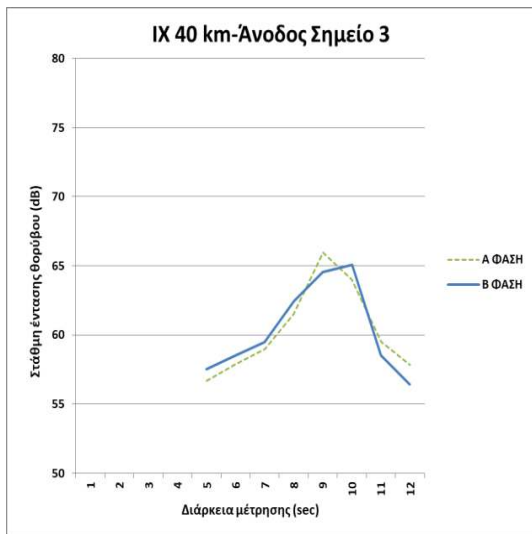
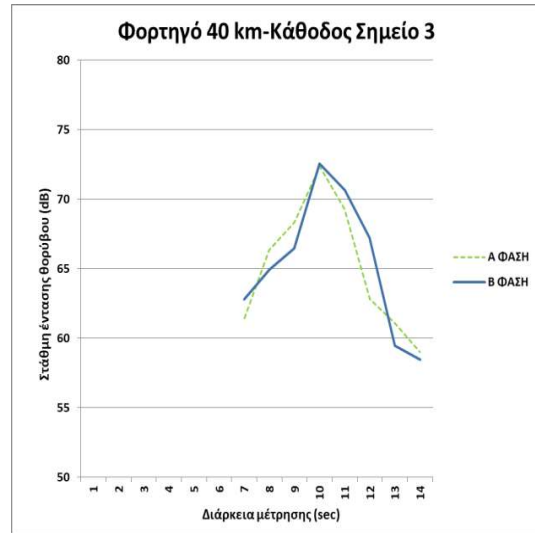
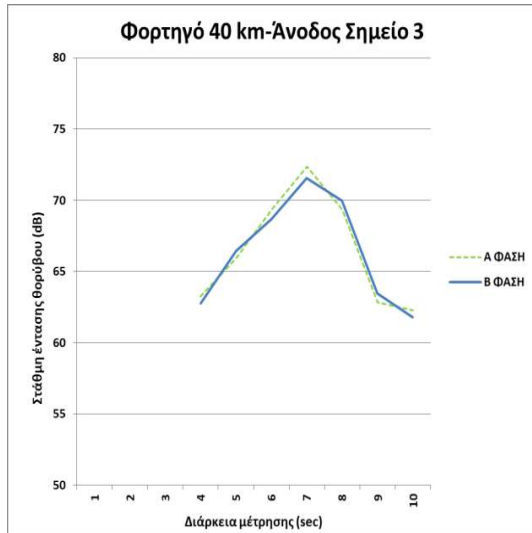




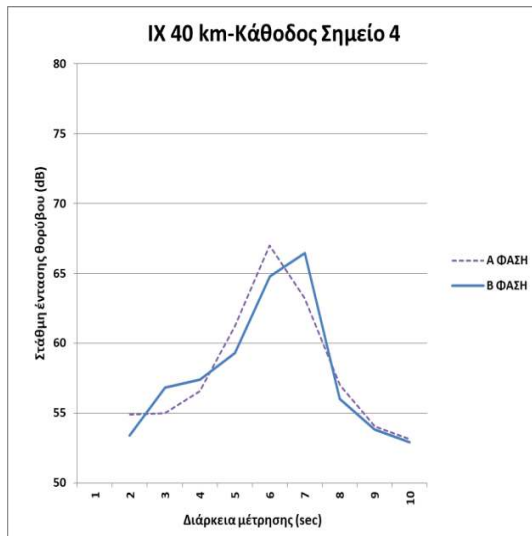
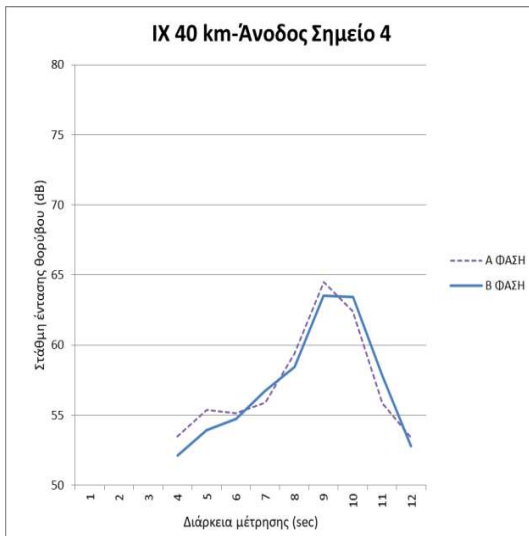
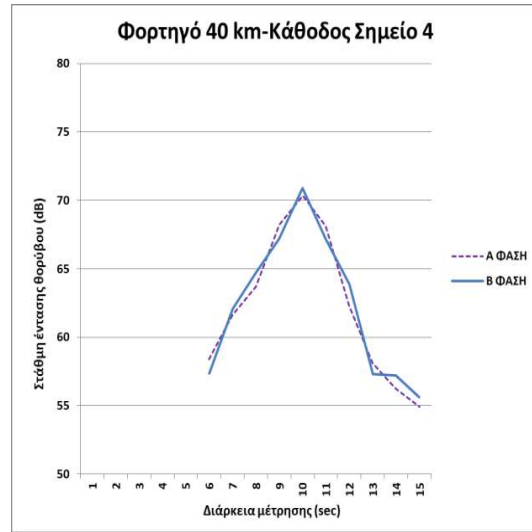
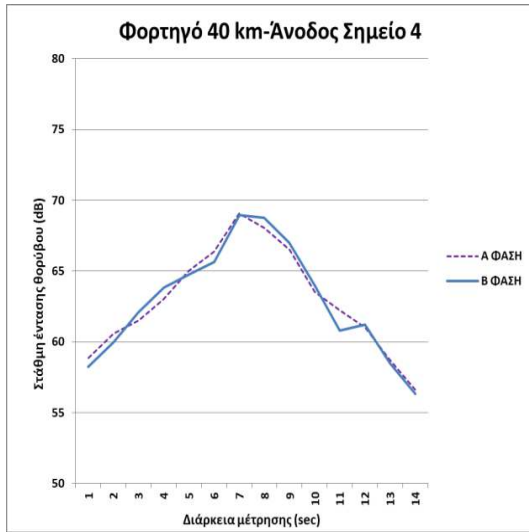
## ΘΕΣΗ 2 (ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Ασφαλτο και με 50% RAP)



### ΘΕΣΗ 3 (ΑΣ12.5 Με τροποποιημένη Ασφαλτο και με 3ο% RAP)



### ΘΕΣΗ 4 (Με τροποποιημένη άσφαλο)



Από την επεξεργασία των ηχομετρήσεων που εκτελέστηκαν, απορρέουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το σημείο 0 είχε τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου για όλα τα είδη οχημάτων.
- Το σημείο 4 έχει τα χαμηλότερα επίπεδα θορύβου για όλα τα είδη οχημάτων.
- Η μέγιστη μετρηθείσα ηχοστάθμη στην άνοδο με ΙΧ σημείο 0 ήταν 72 dB ενώ στο σημείο 4 ήταν 64 dB. Συμπερασματικά υπάρχει μία διαφορά της τάξης των **8dB** μεταξύ των δύο σημείων μέτρησης. Αντίστοιχη διαφορά παρουσιάζεται και στην κάθοδο με ΙΧ, αλλά και στις 2 διελεύσεις με φορτηγό.
- Τα σημεία 1, 2 & 3 έχουν πολύ κοντινά ακουστικά χαρακτηριστικά και είναι δύσκολο να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.
- Από την επεξεργασία των καμπυλών των 2 φάσεων, προκύπτει ότι οι παρουσιάζόμενες πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ των 2 φάσεων είναι εντελώς φυσιολογικές και δεν αξιολογούνται ως σημαντικές. Οι αποκλίσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε εξωγενείς και τυχαίους παράγοντες.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω φαίνεται **το τμήμα του οδοστρώματος όπου χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένη ασφαλτος με τρίμμα ελαστικού να έχει τις καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τα επίπεδα θορύβου**. Ταυτόχρονα όλα τα υπόλοιπα είδη οδοστρώματος παρουσιάζουν πολύ κοντινά αποτελέσματα στις μετρήσεις θορύβου, γεγονός ευνοεί την χρήση ασφαλτομιγμάτων με τροποποιημένη ασφαλτο και υψηλά ποσοστά χρήσης RAP έναντι της συμβατικής ασφάλτου με στόχο να μειωθούν οι παραπάνω ροές αποβλήτων και να μεγιστοποιηθεί το περιβαλλοντικό όφελος.

Μετρήσεις θα μπορούσαν να ξαναγίνουν μετά από κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα ώστε να διατυπωθεί η μεταβολή του θορύβου σε συνάρτηση με την καταπόνηση του οδοστρώματος καθώς το οδόστρωμα μετά από 8ήνες από την διάστρωση του δεν παρουσιάζει ακόμα σημεία γήρανσης .

## 4.3 Μεταβολή ολισθηρότητας

### 4.3.1 Γενικά

Σε αυτή την ενότητα θα μελετηθούν τα αποτελέσματα της χρήσης τρίμματος ελαστικού και ανακυκλωμένου οδοστρώματος στην οδοποιία, όσον αφορά ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του οδοστρώματος, αυτό της αντίστασης στην ολίσθηση.

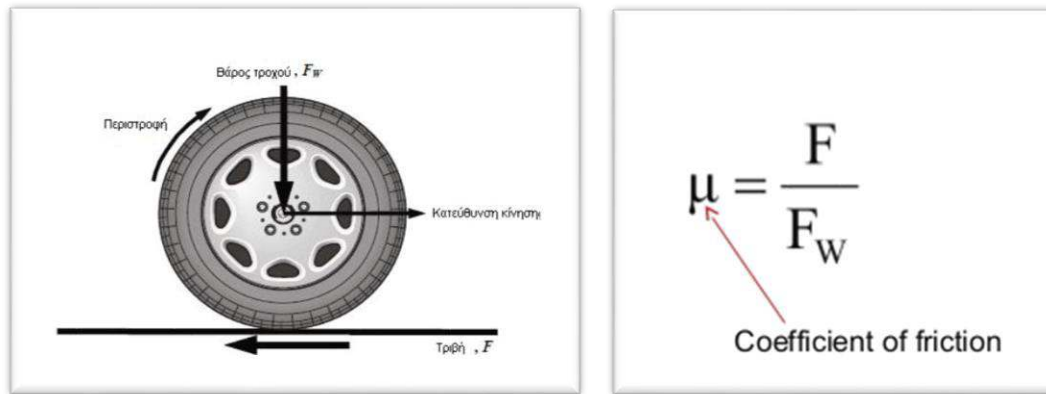
Η αντίσταση ολίσθησης είναι το αποτέλεσμα της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ της επιφάνειας του οδοστρώματος και των ελαστικών των οχημάτων, η οποία αποτρέπει το όχημα να γλιστρήσει πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυξημένη τιμή τριβής συνεπάγεται αυξημένη αντίσταση στην ολίσθηση και συνεπώς μεγαλύτερη ασφάλεια.

Η ολισθηρότητα είναι ένας από τους πρωταρχικούς παράγοντες που καθορίζουν την ασφάλεια των αυτοκινητοδρόμων και ειδικά από την υδρολίσθηση, δηλαδή την ολίσθηση λόγω της παρουσίας υγρασίας πάνω στο οδόστρωμα. Η πιθανότητα υδρολίσθησης μειώνεται όταν η αντίσταση στην ολίσθηση είναι υψηλή.

**Παράγοντες που επηρεάζουν την ολισθηρότητα των οχημάτων είναι η ταχύτητα του οχήματος, τα χαρακτηριστικά των ελαστικών, οι καιρικές συνθήκες, η γεωμετρία του δρόμου, η κατάσταση, μικροϋφή και η μακροϋφή του οδοστρώματος.**

Πιο συγκεκριμένα η αντίσταση ολίσθησης αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ των κατακόρυφων και οριζόντιων δυνάμεων που συμβαίνουν όταν τα ελαστικά του οχήματος κινούνται κατά μήκος μιας επιφάνειας πεζοδρομίου. Η αντίσταση ολίσθησης παρέχει τη δυνατότητα στα οχήματα να επιταχύνουν, να κάνουν ελιγμούς και σταματούν με ασφάλεια .

Στην Εικόνα 15 που ακολουθεί περιγράφονται σχηματικά οι δυνάμεις που ενεργούν στο ελαστικό καθώς κινείται πάνω στο οδόστρωμα και προκαλούν την τριβή καθώς και η σχέση υπολογισμού του συντελεστή τριβής (coefficient of friction).



Εικόνα 14 - Τριβή μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος και σχέση υπολογισμού του συντελεστή τριβής

#### 4.4.2 Χρήση Τροποποιημένης ασφάλτου και αποτελέσματα μελετών ολισθηρότητας

Η χρήση του τρίμματος ελαστικού στην κατασκευή οδοστρώματος είναι μία από τις έξυπνες λύσεις για την αιεφόρο ανάπτυξη καθώς επιτρέπει την ανακύκλωση απορριμμάτων και έχει γίνει αντικείμενο πολλών μελετών σχετικά με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει. Έτσι, εκτός από αυξημένη ελαστικότητα, αντοχή σε ρηγματώσεις, μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου κ.α. προσφέρει και αυξημένη αντίσταση στην ολίσθηση.

Αντίστοιχες μελέτες έχουν γίνει παγκοσμίως με θετικά αποτελέσματα τα οποία όμως εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι το μέγεθος του τρίμματος των ελαστικών, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στην ολισθηρότητα αλλά και το ποσοστό με το οποίο συμμετέχει στο ασφαλτόμιγμα.

Όσον αφορά την ταυτόχρονη χρήση τρίμματος ελαστικού και ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP) η έρευνα είναι περιορισμένη. Με αυτό το δεδομένο η παρούσα μελέτη θα εξάγει συμπεράσματα σχετικά με την ταυτόχρονη επίδραση του RAP και του τρίμματος ελαστικών.

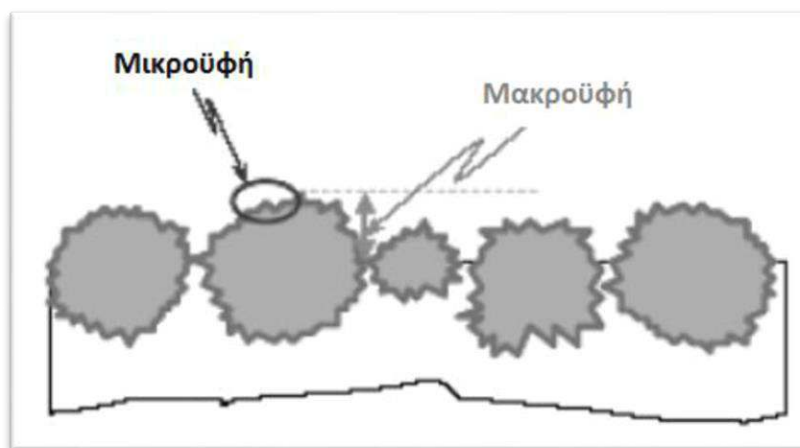
#### 4.4.3 Μέθοδοι μέτρησης της ολισθηρότητας (Skid resistance)

Η αντοχή στην ολίσθηση είναι η πιο σημαντική ιδιότητα της επιφάνειας οδοστρώματος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό των δρόμων και πρέπει να είναι επαρκής ώστε να αντιστέκεται στην ολίσθηση των οχημάτων

και να διασφαλίζει η ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής. Για να γίνει αυτό, πραγματοποιούνται μετρήσεις ολισθηρότητας του οδοστρώματος με βάση τις οποίες κρίνεται αν ένα οδόστρωμα είναι ασφαλές. Σε αυτές τις μετρήσεις μελετάται η μικροϋφή και η μακροϋφή του οδοστρώματος.

Η μικροϋφή σχετίζεται με την αδρότητα της επιφάνειας των αδρανών και είναι απαραίτητη για να παρέχεται επαρκής τριβή σε στεγνά οδοστρώματα για ένα τυπικό όχημα που κινείται με την λειτουργική ταχύτητα και για την περίπτωση βρεγμένου οδοστρώματος όταν το όχημα κινείται με ταχύτητα μικρότερη των 80km/h. Μέσω της μικροϋφή ελέγχεται η επαφή του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος. Για μεγαλύτερες ταχύτητες απαιτείται ικανοποιητική μικροϋφή αλλά και μακροϋφή για επαρκή τριβή σε βρεγμένα οδοστρώματα [17].

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 ειδικά όταν τα οχήματα κινούνται με μεγάλες ταχύτητες. Πιο συγκεκριμένα η μακροϋφή εξασφαλίζει την απομάκρυνση του νερού κάτω από το ελαστικό και κατ' επέκταση ελαχιστοποιεί το φαινόμενο της υδρολίσθησης και το φαινόμενο του splash and spray αλλά ταυτόχρονα αυξάνει τον θόρυβο[17].



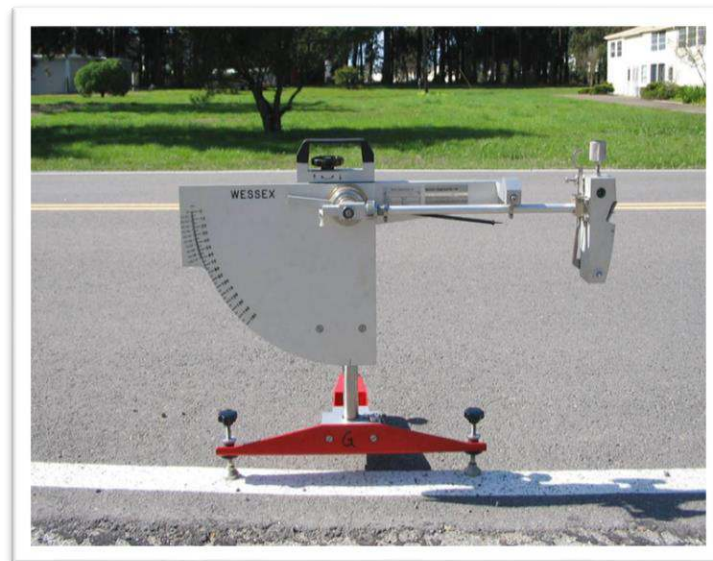
Εικόνα 15 - Σύγκριση μικροϋφής και μακροϋφή

Παρακάτω περιγράφονται οι δύο βασικές μέθοδοι μετρήσεις της ολισθηρότητας. Στην μία γίνονται μετρήσεις για να μελετηθεί η μικροϋφή και στην άλλη η μακροϋφή του οδοστρώματος.

1. Μέθοδος Βρετανικού Εκκρεμούς (British Pendulum Tester - ASTM E303[15])

Πρόκειται για μία στατική μέθοδο μέτρησης της μικροϋφής και αποτελείται από ένα εκκρεμές και μία γόμα ολίσθησης. Για την διεξαγωγή της δοκιμής σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM E303, κάθε σημείο της περιοχής μελέτης καθαρίζεται με βούρτσα και ψεκάζεται με νερό καθώς για τον υπολογισμό της μικροϋφής απαιτείται καθαρό και βρεγμένο οδόστρωμα. Το εκκρεμές απελευθερώνεται από ένα καθορισμένο ύψος όπου είναι κλειδωμένο και αφήνεται να κινηθεί ελεύθερα προς τα κάτω, λειτουργώντας ως εκκρεμές. Στο χαμηλότερο σημείο του τόξου, η γόμα έρχεται σε επαφή με επιφάνεια δοκιμής. Ένας δείκτης προσδιορίζει τον αριθμό BPN (British Pendulum Number) που θεωρείται ο δείκτης προσδιορισμού της ολισθηρότητας. Όσο μεγαλύτερη η τριβή μεταξύ γόμας και οδοστρώματος τόσο μεγαλύτερος και ο αριθμός BPN. Για τον τελικό δείκτη ολισθηρότητας πραγματοποιούνται 4 μετρήσεις και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους.

Στην Εικόνα 17 απεικονίζεται το όργανο μέτρησης της ολισθηρότητας με βάση την παραπάνω μέθοδο.



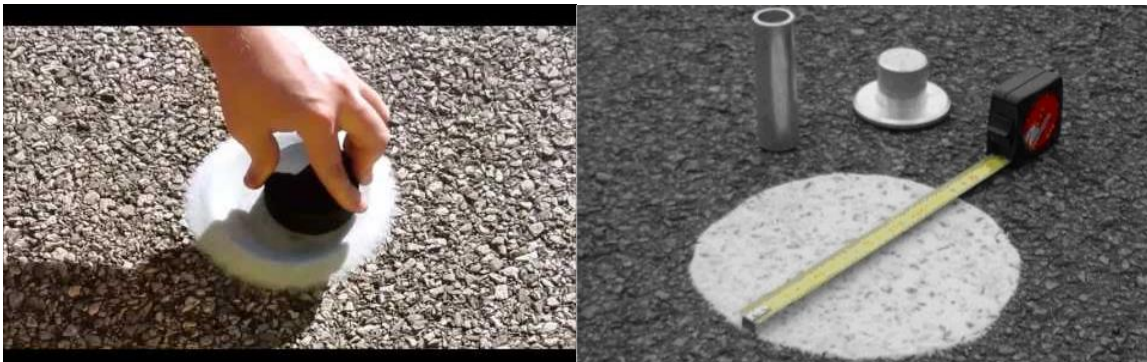
Εικόνα 16 - Εφαρμογή μεθόδου μέτρησης με εκκρεμές



## 2. Μέθοδος κηλίδα άμμου (Sand Patch Method - ASTM E965[16])

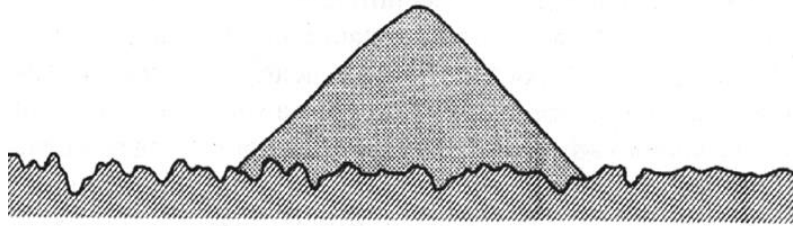
Η μέθοδος αυτή παρέχει την μέση τιμή βάθους για την μακροϋφή του οδοστρώματος. Πρόκειται για μία ογκομετρική μέθοδο που βασίζεται στην εκτίμηση του όγκου των κενών της επιφάνειας του οδοστρώματος όταν συγκεκριμένος όγκος διαβαθμισμένης άμμου διαστρώνεται και γεμίζει τα κενά έως τις κορυφές των κόκκων των αδρανών. Είναι πιο κοινή δοκιμή παγκοσμίως για την μελέτη της μακροϋφής και περιλαμβάνεται στις περισσότερες εθνικές αλλά διεθνείς προδιαγραφές όπως την ASTM E965 .

Η δοκιμή αποτελείται από μια συγκεκριμένη ποσότητα τυποποιημένης άμμου ή μικρά σφαιρίδια γυαλιού τα οποία διασκορπίζονται με κυκλικές κινήσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος με την βοήθεια ενός επίπεδου δίσκου. Με τον παραπάνω τρόπο η άμμος διασκορπίζεται και σχηματίζει έναν κυκλικό δίσκο. Όσο μικρότερη διάμετρο έχει ο δίσκος, τόσο μεγαλύτερο είναι το μέσο βάθος και συνεπώς το οδόστρωμα παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση στην ολίσθηση ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του δίσκου τόσο μικρότερο είναι το μέσο βάθος στην υφή του οδοστρώματος και συνεπώς είναι πιο ολισθηρό.



Εικόνα 17 - Μέθοδος Κηλίδας άμμου

Γνωστός όγκος λεπτής άμμου ομοιόμορφων σωματιδίων που χύνονται στο οδοστρώμα



Η άμμος διασπείρεται και γεμίζει τα κενά μεταξύ των βαθουλωμάτων και των κορυφών του οδοστρώματος



Εικόνα 18 - Τομή οδοστρώματος κατά την χρήση κηλίδας άμμου

#### 4.3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

Οι μετρήσεις διενεργήθηκαν με τη συσκευή Grip Tester του σκωτσέζικου οίκου Findlay Irvine, η οποία είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συσκευές παγκοσμίως για τη μέτρηση της αντιολισθηρότητας τόσο αυτοκινητοδρόμων όσο και αεροδιαδρόμων. Συμμορφώνεται και πληροί τις απαιτήσεις του προτύπου BS7941-2:2000.

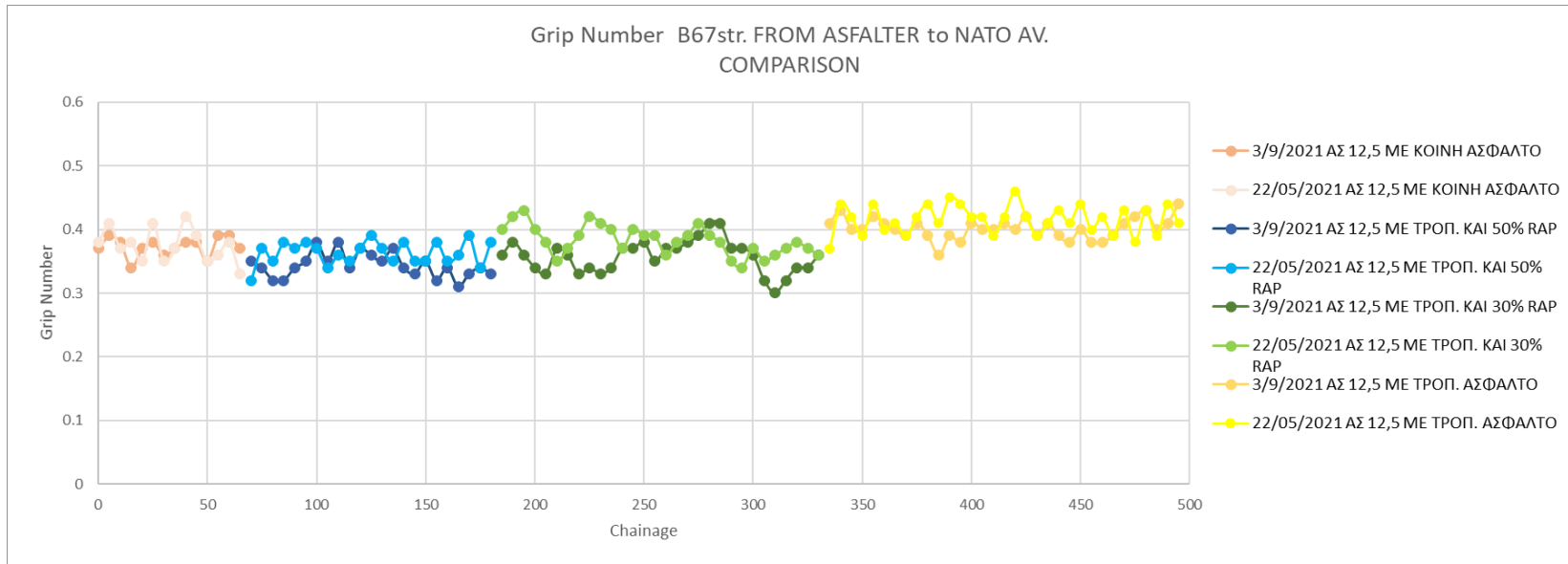


Εικόνα 19 - Συσκευή Grip Tester, Findlay Irvine

Η συσκευή διαθέτει ειδικό τροχό μέτρησης ολισθηρότητας. Ο τροχός αυτός υγραίνεται με αυτόματο σύστημα το οποίο διασφαλίζει σταθερό πάχος φιλμ υγρασίας στα 0,25mm σε όλο το μήκος των μετρήσεων. Η συσκευή διαθέτει επίσης GPS και καταγράφει τις συντεταγμένες καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Η

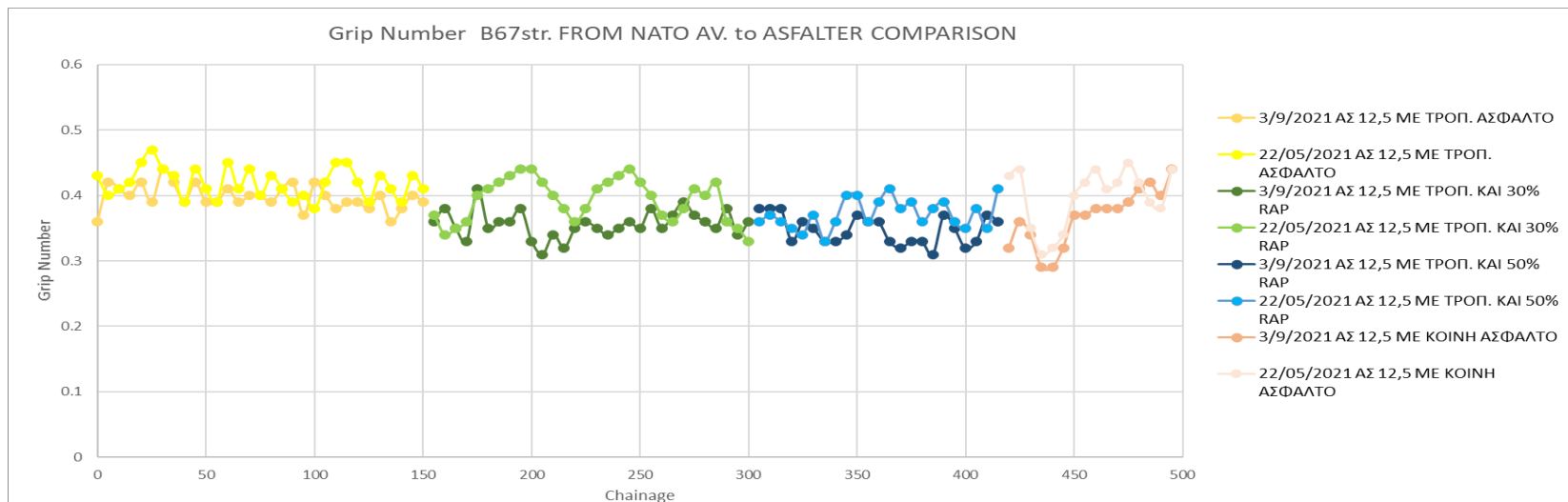
καταγραφή της ολισθηρότητας έγινε ανά 5m, ενώ έγινε ταυτόχρονα καταγραφή των συντεταγμένων. Οι μετρήσεις έχουν σαν αποτέλεσμα έναν αριθμό – Grip Number- ο οποίος **όσο μεγαλύτερη τιμή έχει τόσο μεγαλύτερη αντίσταση στην ολισθηρότητα παρουσιάζει το οδόστρωμα.**

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατά τις 2 φάσεις των μετρήσεων. Στην Εικόνα 21 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα και των δύο σειρών μετρήσεων όταν το μηχάνημα Grip tester κινείται από το βιομηχανικό συγκρότημα της Ασφαλτέρ προς τη Λεωφόρο Νάτο ενώ στην Εικόνα 22 παρουσιάζονται αντίστοιχα τα αποτελέσματα και των δύο σειρών μετρήσεων όταν το μηχάνημα Grip tester κινείται από τη Λεωφόρο Νάτο προς το βιομηχανικό συγκρότημα της Ασφαλτέρ

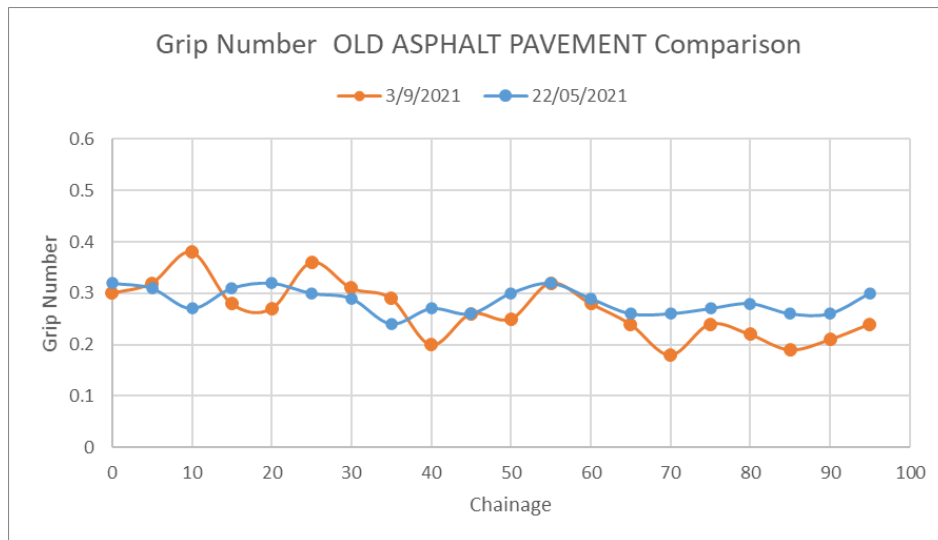


Εικόνα 20 - Grip Number Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα από Ασφαλή προς Λεωφόρο Νάτο – Σύγκριση αποτελεσμάτων

\* Chainage=Θέση μέτρησης (m)



Εικόνα 21 -Grip Number Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Από Λεωφόρο Νάτο προς Ασφαλή – Σύγκριση αποτελεσμάτων



Εικόνα 22 - Grip Number ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ ΜΕ ΠΑΛΙΟ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟ – Σύγκριση αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τα διαγράμματα, οι τιμές (Grip Number) είναι ελαφρώς χαμηλότερες, σε όλα τα τμήματα, σε σχέση με την προηγούμενη μέτρηση, γεγονός που ενδεχομένως να οφείλετε στην μεγαλύτερη κυκλοφοριακή επιβάρυνση του οδοστρώματος στο διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα και σε αυτήν την περίπτωση έδειξαν ότι **το τμήμα όπου διαστρώθηκε με τροποποιημένη άσφαλτο με τρίμμα ελαστικού παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερες τιμές από τα υπόλοιπα τμήματα.**

Παρόλα αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές μεταξύ των τμημάτων παραμένουν σχετικά μικρές και μπορεί να μην αντιστοιχούν αποκλειστικά σε διαφορές της αντιολισθηρότητας των υλικών αλλά να επηρεάζονται από τον διαφορετικό κυκλοφοριακό φόρτο του κάθε τμήματος καθώς και από το γεγονός ότι δεν διαμεσολάβησε χρονικό διάστημα, τόσο από την διάστρωση όσο και από την διενέργεια των μετρήσεων, ικανό να προκαλέσει γήρανση του οδοστρώματος.

#### 4.4 Τροχοαυλακώσεις – ρηγματώσεις (rutting)

##### 4.4.1 Γενικά

Δρόμοι με λακκούβες, άνισες επιφάνειες ή και ασυνέχειες μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ασφάλειας. Τα προβλήματα αυτά συνήθως

δημιουργούνται λόγω του αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου αλλά και της επίδρασης των θερμοκρασιών και αυξάνουν τις πιθανότητες πρόκλησης υδρολίστεσης καθώς δεν επιτρέπουν την απομάκρυνση των νερών. Οι ανομοιογενείς επιφάνειες μπορούν συχνά να οδηγήσουν σε απώλεια ελέγχου είτε κατά την αλλαγή λωρίδας είτε κατά την προσπάθεια πραγματοποίησης κάποιου ελιγμού.

Οι τύποι φθορών των εύκαμπτων οδοστρωμάτων μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες, τις ρηγματώσεις, τις παραμορφώσεις της επιφάνειας (τροχοαυλακώσεις), τις αποσαθρώσεις και τη λείανση της επιφάνειας κύλισης [18]. Οι ρηγματώσεις και οι παραμορφώσεις ξεκινούν από τις κατώτερες στρώσεις και φτάνουν μέχρι την επιφανειακή στρώση, ενώ οι αποσαθρώσεις και η λείανση της επιφάνειας κύλισης εμφανίζονται και αναπτύσσονται στη επιφανειακή στρώση.

Στο παρόν παραδοτέο οι μελέτες επικεντρώνονται κυρίως στις **παραμορφώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος και τις ρηγματώσεις.**

Τροχοαυλάκωση ορίζεται ως το αποτέλεσμα της παραμένουσας παραμόρφωσης στο οδόστρωμα. Εμφανίζεται κυρίως κατά μήκος του ίχνους των τροχών όπου δημιουργείται βύθιση ενώ εκατέρωθεν παρατηρείται ανύψωση. Όταν υπάρχουν τροχοαυλακώσεις τότε δυσχεραίνεται η κύλιση των οχημάτων ενώ σε μεγάλης έκτασης τροχοαυλακώσεις συγκρατείται μεγάλη ποσότητα νερού στο οδόστρωμα αυξάνοντας τον κίνδυνο της υδρολίστεσης. Οι τροχοαυλακώσεις δημιουργούνται κυρίως λόγω της αυξημένης κίνησης οχημάτων καθώς και λόγω του μεγάλου βάρους αυτών. Συνεπώς είναι πιθανότερο να προκληθούν σε δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας όπου η διέλευση φορτηγών και νταλικών είναι αυξημένη.





Εικόνα 23 - Τροχοαυλακώσεις επιφάνειας οδοστρώματος

Ρηγμάτωση είναι η διακοπή της συνέχειας σε μια επιφάνεια. Οι ρηγματώσεις στα ασφαλτικά οδοστρώματα παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία μορφών, αφού ποικίλα είναι και τα αίτια που τις προκαλούν. Οι ρηγματώσεις στο τελικό τους στάδιο είναι συνήθως εμφανείς με γυμνό μάτι και μπορούν να προκληθούν λόγω γήρανσης του οδοστρώματος, χαμηλών θερμοκρασιών και παγετού, όπου το οδόστρωμα συρρικνώνεται, υγρασίας του οδοστρώματος, καθίζηση του οδοστρώματος κ.α. Οι ρηγματώσεις μπορούν να είναι και πολλές φορές αποτέλεσμα προϋπάρχουσας τροχοαυλάκωσης.



Εικόνα 24 - Ρηγμάτωση οδοστρώματος

#### 4.4.2 Τροποποιημένη άσφαλτος και αποτελέσματα μελετών τροχοαυλακώσεων

Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό να μελετήσουν την επίδραση της προσθήκης του τρίμματος ελαστικού στις ιδιότητες των μιγμάτων ασφάλτου, είτε αυτή γίνεται με την υγρή είτε με την ξηρή μέθοδο. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών έδειξαν ότι το ασφαλτόμιγμα αποκτά σημαντικά καλύτερες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με την συμβατική.

Το τρίμμα ελαστικού προσφέρει σε γενικές γραμμές μεγαλύτερη τριβή και καλύτερη αντίσταση στην ολισθηρότητα, αντοχή στις θερμικές και μηχανικές ρηγματώσεις, ανθεκτικότητα στην γήρανση καθώς περιέχει άνθρακα ο οποίος λειτουργεί ως ισχυρό αντιοξειδωτικό με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διάρκεια ζωής του οδοστρώματος κατά 20-30% αλλά και μειωμένο κόστος συντήρησης συγκριτικά με το συμβατικό ασφαλτόμιγμα. Επιπλέον προσφέρει βελτιωμένη σκληρότητα, αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία, αντοχή στον εφελκυσμό, αυξημένο σημείο μάλθωσης, αυξημένη ελαστικότητα και συνεπώς αντοχή στις τροχοαυλακώσεις. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες καιρικές συνθήκες καθώς παρουσιάζει ελαστικότητα και σε χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ρηγματώσεις.

Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν επιλεγμένες δοκιμές χρησιμοποιώντας δυναμικό ρεόμετρο διάτμησης DSR και ρεόμετρο διάθλασης δέσμης (BBR) για την αξιολόγηση του ιξώδους και της δημιουργίας τροχοαυλακώσεων όπου σύμφωνα με τα αποτελέσματα η χρήση μεγαλύτερου ποσοστού τρίμματος ελαστικού φάνηκε να οδηγεί σε υψηλότερο ιξώδες, καλύτερη αντίσταση στις τροχοαυλακώσεις και λιγότερες πιθανότητες δημιουργίας ρωγμής λόγω χαμηλής θερμοκρασίας [21].

Σε ένα έργο στην Βραζιλία με χρήση 15% τρίμματος ελαστικού σε θερμό ασφαλτόμιγμα παρατηρήθηκε ότι οι ρωγμές αναπτύχθηκαν 5-6 φορές πιο αργά απ' ότι στο συμβατικό ασφαλτόμιγμα. Επιπλέον το μίγμα με το ελαστικό εμφάνισε υψηλότερη απόδοση όσον αφορά στην καταπόνηση της επιφάνειας και το βάθος του αυλακιού που σχηματίζεται από τις δυνάμεις που ασκούν οι τροχοί των



οχημάτων [22]. Αντίστοιχα στην Ιαπωνία προστέθηκε τρίμμα ελαστικού σε ποσοστό 15% σε πυκνή άσφαλτο (μέγεθος 0,2 / 0,4 / 0,6mm). Το μείγμα εμφάνισε βελτιωμένη απόδοση, αντοχή σε κάμψη και καταπόνηση ενώ διαπιστώθηκε ότι η άσφαλτος που περιείχε ελαστικό μεγέθους 0,2 / 0,4mm εμφάνισε τα καλύτερα εργαστηριακά αποτελέσματα [23].

Όσον αφορά την ξηρή μέθοδο, η οποία έχει μελετηθεί λιγότερο, και σε αυτήν την περίπτωση αυξάνει την ελαστικότητα του μείγματος. Μπορεί να ενισχύσει τη σύνδεση μεταξύ συνδετικών και αδρανών με αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής, της κόπωσης και της αντοχής στις τροχοαυλακώσεις ενώ μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της θερμικής και ανακλαστικής ρωγμής αυτών των μιγμάτων [24].



Εικόνα 25 – Αριστερά: δρόμος με συμβατικό ασφαλτόμιγμα, δεξιά: δρόμος με τρίμμα ελαστικού(1990) - Λήψη της φωτογραφίας (1998)

Η χρήση ελαστικού όπως φαίνεται στην Εικόνα 26 είχε πολύ καλή απόδοση. Μετά από 9 χρόνια, το οδόστρωμα που κατασκευάστηκε το 1990 στην Αριζόνα δεν παρουσίασε σχεδόν καθόλου ρωγμές, καθόλου τροχοαυλακώσεις και χωρίς να χρειαστεί συντήρηση διατηρεί την αντοχή του.

Σχετικά με την **χρήση RAP**, οι μελέτες και οι επιδόσεις οδοστρωμάτων είναι πολύ περιορισμένες και χρήζουν περαιτέρω ερευνάς.

Γενικότερα μίγματα που περιέχουν RAP έχουν βρεθεί να αποδίδουν καλά στα περισσότερα σημεία, παρόλα αυτά, ενώ βοηθούν στην μείωση της χρήσης

παρθένου συνθετικού και αυξάνουν την αντοχή στις τροχοαυλακώσεις θεωρείται ως ένας πιθανός παράγοντας ο οποίος μπορεί να είναι υπεύθυνος για την δημιουργία θερμικών ρωγμών και αστοχιών λόγω γήρανσης του οδοστρώματος, εξαιτίας της πτητικότητας και οξείδωσης μειώνοντας την απόδοση των μιγμάτων[25]. **Συνεπώς στην οδοποιία θεωρείται ότι η χρήση RAP αυξάνει τον κίνδυνο θερμικών ρωγμών και ρωγμών λόγω κόπωσης στα θερμά ασφαλτομίγματα** και η προσθήκη τρίμματος ελαστικού λειτουργεί βοηθητικά στην βραχυπρόθεσμη απόδοση και πιθανώς μειώνει την αρνητική επίδραση του RAP.

Ερευνητικές μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση του RAP και του τρίμματος ελαστικού σε θερμά ασφαλτομίγματα κατέληξαν ότι ενώ η χρήση του ελαστικού είναι ευεργετική στην αύξηση της αντοχής στην κόπωση, η αύξηση του ποσοστού RAP έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση αυτής (ασχέτως μεγέθους του τρίμματος) και ταυτόχρονα ενώ αυξάνει την αντοχής έναντι στις τροχοαυλακώσεις έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αντοχή έναντι στις ρηγματώσεις που προκαλούνται λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. **Επιπρόσθετα κατέληξαν ότι η χρήση και των δύο υλικών σε ποσοστά 10% τρίμμα ελαστικού και 25% RAP μπορεί να προσφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα** προς την βελτίωση της αντοχής στις τροχοαυλακώσεις και την κόπωση του οδοστρώματος. Τέλος διαπιστώθηκε ότι τόσο το RAP όσο και το τρίμμα ελαστικού αποδίδουν πολύ καλά σε υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να ενδείκνυνται για χρήση σε θερμά κλίματα [26, 27, 28].

#### 4.4.3 Μέθοδοι μέτρησης των τροχοαυλακώσεων (rutting)

Οι μετρήσεις προσδιορισμού των τροχοαυλακώσεων μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε στο πεδίο, δηλαδή με τα κατάλληλα όργανα στο οδόστρωμα προς διερεύνηση, είτε σε εργαστήριο όπου οι συνθήκες προσεγγίζουν τις συνθήκες που επικρατούν στο πεδίο.

Όσον αφορά τις επί τόπου μετρήσεις η μέτρηση των τροχοαυλακώσεων πραγματοποιείται συχνά με την δοκιμή του **τετράμετρου πήχη σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E1703**, ο οποίος τοποθετείται εγκάρσια στο οδόστρωμα. Στα

σημεία τροχοαυλάκωσης ή άλλων εγκάρσιων παραμορφώσεων το οδόστρωμα φαίνεται να μην 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.



Εικόνα 26 - Πήχης μέτρησης τροχοαυλακώσεων

Έκτος από το χειροκίνητο τρόπο μέτρησης της τροχοαυλάκωσης είναι δυνατόν να προσδιοριστεί και μέσω εξελιγμένων συστημάτων προφίλομέτρησης που παρέχουν τη δυνατότητα ταχείας, απρόσκοπτης και συνεχούς καταγραφής ενδεχόμενων τροχοαυλακώσεων στο οδόστρωμα [19].

Βασικές εργαστηριακές συσκευές προφίλομέτρησης:

- Η συσκευή τροχοαυλάκωσης του Αμβούργου (Hamburg wheel tracking device)
- Η συσκευή τροχοαυλάκωσης που αναπτύχθηκε στη Georgia των ΗΠΑ (Georgia Loaded Wheel Tester)
- Η συσκευή Asphalt Pavement Analyzer (APA) που σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως στις ΗΠΑ
- Η Γαλλική συσκευή τροχοαυλάκωσης (French Rutting Tester)

Όλες οι παραπάνω συσκευές στηρίζονται στην ίδια αρχή. Τη διέλευση ενός τροχού που εφαρμόζει συγκεκριμένου βάρους φορτίο σε ασφαλτικό μίγμα, περιορισμένο σε μήτρες συγκεκριμένων διαστάσεων.

#### 4.4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την συσκευή Walking Profiler, η οποία είναι μία συσκευή υψηλής ακρίβειας και αποτελεί εξελιγμένο σύστημα προφίλομετρησης για την συλλογή πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι μετρήσεις με το Walking profiler γίνονται σε περιορισμένα μήκη οδών, καθώς η συσκευή κινείται με πολύ αργή ταχύτητα (έως 5km/h) - ο χειριστής περπατάει κατά τη διενέργεια της δοκιμής καθώς τα δεδομένα μεταφέρονται από την συσκευή σε μία android φορητή συσκευή (tablet). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μία υψηλής ακρίβειας αποτύπωση των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος (ομαλότητα – τροχοαυλάκωση).



Εικόνα 27 - Συσκευή Walking Profiler

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων έγινε μέτρηση 12 σημείων του οδοστρώματος, τρεις σε κάθε είδος οδοστρώματος και από αυτές παρουσιάζονται οι πιο αντιπροσωπευτικές, καθώς σε κάποιες περιπτώσεις υπήρχαν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων πιθανότατα λόγω του γεγονότος ότι η μέτρηση δεν έγινε ακριβώς στο ίδιο σημείο.

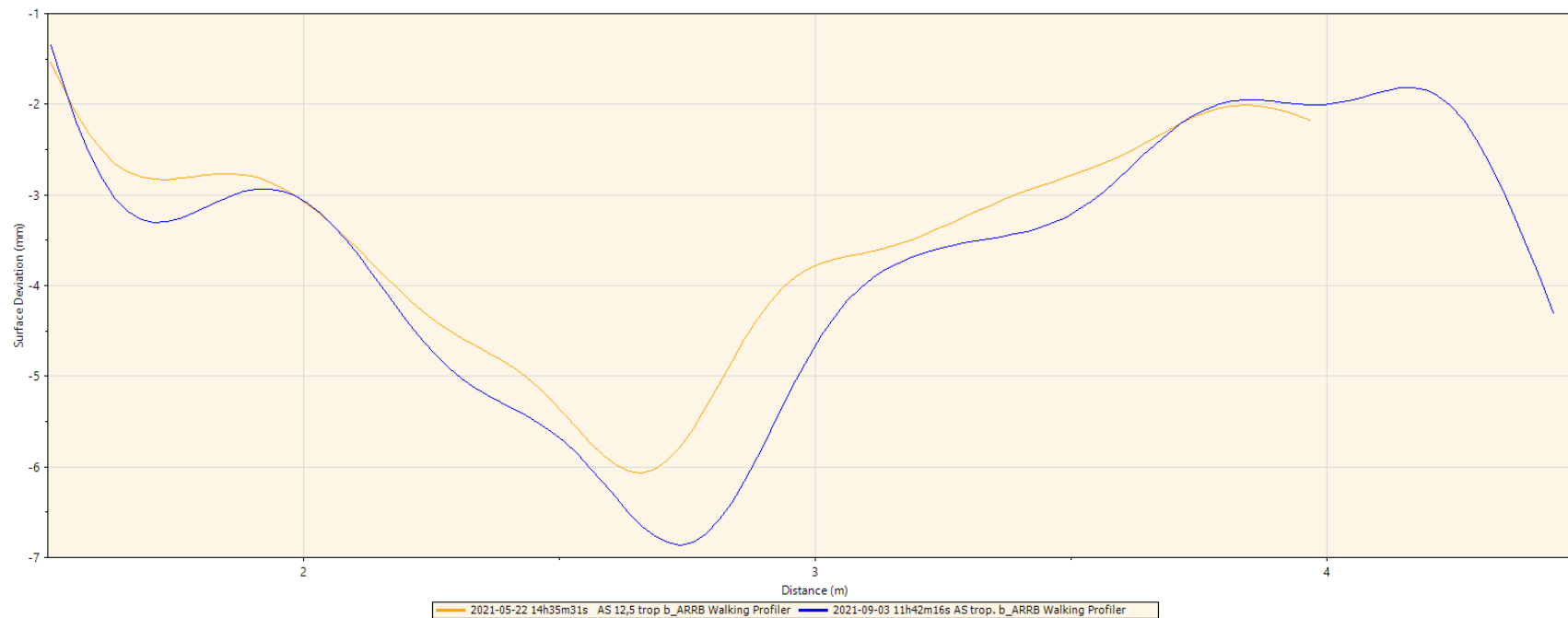
Σημειώνεται ότι στα διαγράμματα που ακολουθούν η καμπύλη πορτοκαλί χρώματος αντιστοιχεί στις μετρήσεις που διενεργήθηκαν στις 22/05/2021 ενώ η καμπύλη μπλε χρώματος στις μετρήσεις που διενεργήθηκαν στις 03/09/2021.



Εικόνα 28- Τροχοαυλάκωση, ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΑΣΦΑΛΤΟΣ - Σύγκριση αποτελεσμάτων

\*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

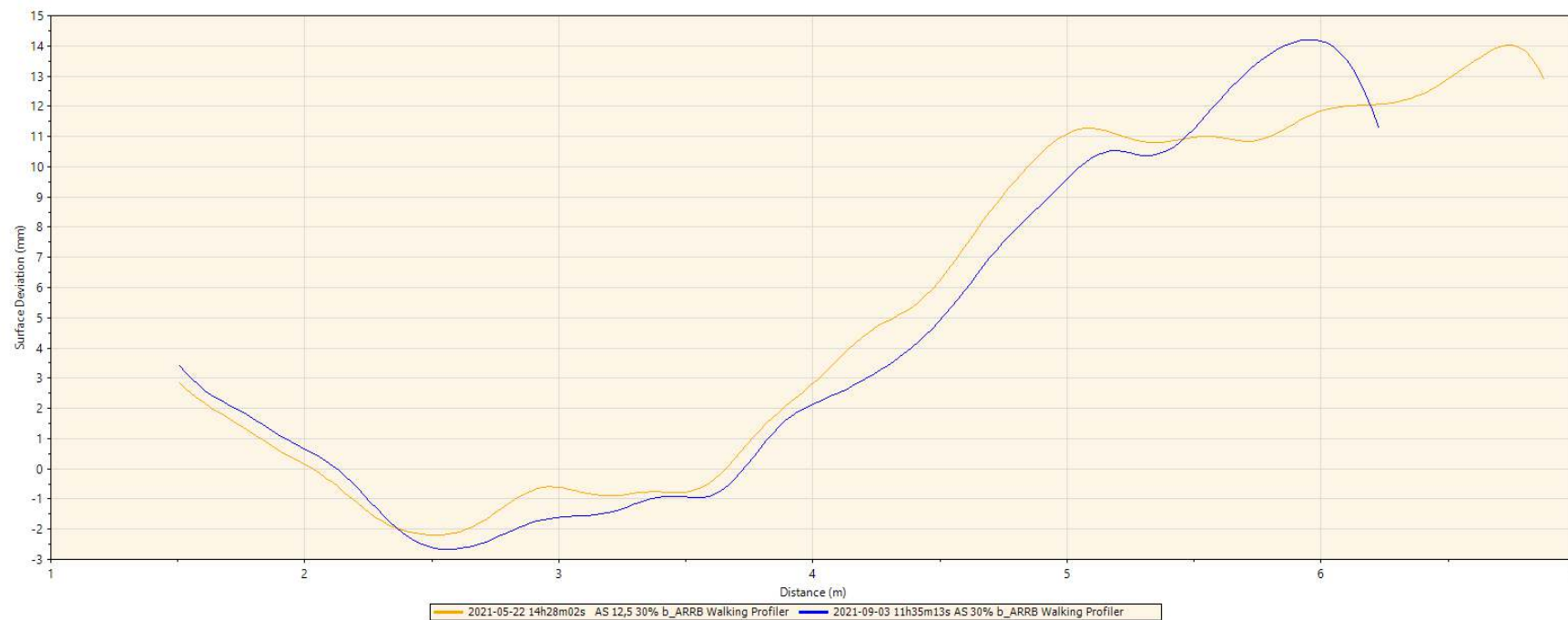
\*Distance = Απόσταση



Εικόνα 29 - Τροχοαυλάκωση, ΤΡΟΠΟΙΟΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟΣ ΜΕ ΤΡΙΜΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ - Σύγκριση αποτελεσμάτων

\*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

\*Distance = Απόσταση



Εικόνα 30 - Τροχαυλάκωση, ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ ΜΕ ΤΡΙΜΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕ 30% RAP - Σύγκριση αποτελεσμάτων

\*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

\*Distance = Απόσταση





Εικόνα 31- Τροχαυλάκωση, ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ ΜΕ ΤΡΙΜΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕ 50% RAP - Σύγκριση αποτελεσμάτων

\*Surface deviation=Απόκλιση επιφάνειας

\*Distance = Απόσταση

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα, ο μεγαλύτερος βαθμός τροχοαυλάκωσης παρατηρήθηκε στο τμήμα «ΑΣ 12,5 ΜΕ ΚΟΙΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ».

Η τροχοαυλάκωση δεν επηρεάστηκε σημαντικά το διάστημα μεταξύ των δύο μετρήσεων, φαίνεται ωστόσο ότι επιδεινώθηκε στο τμήμα «ΑΣ 12,5 ΜΕ ΚΟΙΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ» ενώ στο τμήμα «ΑΣ 12,5 ΜΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΣΦΑΛΤΟ ΚΑΙ ΜΕ 50% RAP» η τροχοαυλάκωση παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη.

Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα των μετρήσεων υποδεικνύουν ότι δεν παρουσιάζεται πρόβλημα τροχοαυλάκωσης στο οδόστρωμα σε κανένα από τα επιμέρους τμήματα.

## 5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Η προσθήκη τρίμματος ελαστικού και η διερεύνηση των ιδιοτήτων που αυτό προσδίδει στο οδόστρωμα έχουν μελετηθεί από διάφορα ερευνητικά προγράμματα και πιλοτικά έργα. Αντίστοιχο έργο πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα στα πλαίσια του προγράμματος ROADTIRE και πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε ασφαλτόστρωση δύο δρόμων εντός των ορίων του Δήμου Λαμίας (2012). Η τροποποίηση της ασφάλτου έγινε με την υγρή μέθοδο και στην πρώτη περίπτωση η τροποποιημένη με ελαστικό ασφαλτος εφαρμόστηκε στις λωρίδες της μίας κατεύθυνσης (πλάτους 5 μ και μήκους 500 μ) της οδού Βασιλικών η οποία αποτελεί κομμάτι της εθνικής οδού Αθήνας-Λαμίας- Καρπενησίου. Στη δεύτερη περίπτωση η διαστρωμάτωση έγινε στην οδό Υψηλάντη, μια οδό δύο κατευθύνσεων που βρίσκεται στο κέντρο της Λαμίας με πλάτος 4 μ και σε μήκος 650 μ. Και στις δύο περιπτώσεις η διάστρωση με την τροποποιημένη ασφαλτο έχει πάχος 0,05 μ. Μετά την ολοκλήρωση του έργου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ολισθηρότητας του οδοστρώματος καθώς κι έλεγχος των επιπέδων θορύβου. Σύμφωνα με τα τεστ ολισθηρότητας φάνηκε το οδόστρωμα με την τροποποιημένη ασφαλτο με τρίμμα ελαστικού να παρουσιάζει 10 βαθμούς διαφορά σε σχέση με το συμβατικό γεγονός που επιβεβαιώνει ότι το μίγμα ασφάλτου με ελαστικό έχει υψηλότερη αντοχή στην ολισθηρότητα σε σχέση με το συμβατικό και αυτό οφείλεται στην περιεχόμενη ποσότητα ελαστικού. Όσον αφορά τις μετρήσεις

Θορύβου τα αποτελέσματα έδειξαν πάλι ότι το οδόστρωμα με τρίμμα ελαστικού υπερτερεί έναντι του συμβατικού και εμφανίζει μειωμένα επίπεδα θορύβου με μεγαλύτερη τιμή μείωσης θορύβου να είναι τα 4,1 db [14]. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν δύο μελέτες θορύβου που πραγματοποιήθηκαν στους ίδιους δρόμους μετά την πάροδο 8 και 45 μηνών μετά την διάστρωση. Με βάση αυτές τις μελέτες επιβεβαιώνεται εκ νέου ότι το οδόστρωμα με τροποποιημένη άσφαλτο αποδίδει καλύτερα από το συμβατικό όσον αφορά τη μείωση του θορύβου της κυκλοφορίας. Οι τιμές θορύβου κυμαίνονται από 69,5-74,4dB στο συμβατικό επιφανειακό στρώμα και 68,1-74,0dB στο τροποποιημένο. Δεδομένων των πειραματικών δεδομένων, η μείωση του θορύβου είναι υψηλότερη σε δρόμους με ελαφριά κυκλοφορία ενώ παραμένει σχεδόν ίδια σε βαριά κυκλοφορίας. Αυτή η διαφορά κυμάνθηκε από 1 (Βασιλικών) έως 3,6dB (Υψηλάντη). Τέλος η βελτιωμένη απόδοση παρέμεινε σταθερή ακόμα και μετά από 45 μήνες μετά την κατασκευή του δρόμου [12],[30].

Άλλη μία αντίστοιχη μελέτη μετά από κατασκευή πιλοτικού έργου έγινε στα πλαίσια του προγράμματος NEREIDA του οποίου στόχος είναι η εφαρμογή νέων οδοστρωμάτων χαμηλού θορύβου, τα οποία κατασκευάζονται από υλικά όπως το τρίμμα ελαστικών και το ανακυκλωμένο οδόστρωμα (RAP) μειώνοντας έτσι τον κυκλοφοριακό θόρυβο χρησιμοποιώντας πράσινες τεχνολογίες. Με βάση αυτές τις μελέτες βρέθηκε ότι η χρήση τρίμματος ελαστικών και RAP είχε ως αποτέλεσμα μειωμένες τιμές στην στάθμη του θορύβου αλλά και αντιληπτής όχλησης από τους πολίτες [31].

## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και μελετούν τα επίπεδα θορύβου, την αντιολισθηρότητα, τις τροχοαυλακώσεις αλλά και το φαινόμενο του spraying είναι ιδιαίτερα ελπιδοφόρα και πολλά υποσχόμενα. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία η χρήση τρίμματος ελαστικού βελτιώνει την ελαστικότητα του ασφαλτομίγματος ενώ η χρήση RAP το κάνει πιο δύσκαμπτο. Συνεπώς ο συνδυασμός της χρήσης του τρίμματος ελαστικού και του RAP δημιουργεί μια ισορροπία και ενώ το ποσοστό του RAP μπορεί να είναι υψηλό, η

χρήση του τρίμματος ελαστικού κάνει το ασφαλτόμιγμα να μην χάνει τις ιδιότητες του.

Το παραπάνω φαίνεται και από τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις που έγιναν στο τμήμα με την τροποποιημένη άσφαλτο έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ τα τμήματα όπου χρησιμοποιείται ταυτόχρονα τροποποιημένη άσφαλτος και διάφορα ποσοστά RAP (30%, 50%) έχουν παρόμοια αποτελέσματα με το τμήμα που διαστρώθηκε με συμβατική άσφαλτο. Μέχρι στιγμής τα εθνικά πρότυπα περιορίζουν την χρήση RAP στο 10% όταν πρόκειται για χρήση στον επιφανειακού ασφαλτικό τάπητα και στο 20% όταν πρόκειται για χρήση στην βάση του οδοστρώματος. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα θα μπορούσε αυτό το ποσοστό να αυξηθεί.

Με αυτό τον τρόπο, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν δύο ρεύματα αποβλήτων, αυτό των ελαστικών τέλους κύκλου ζωής(ELTs) αλλά και του ανακυκλωμένου οδοστρώματος (RAP). Στην πρώτη περίπτωση, των ELTs, η υιοθέτηση της χρήσης τους στην οδοποιία θα συντελούσε στην μείωση του όγκου των ελαστικών που χρησιμοποιούνται σε άλλες βιομηχανίες όπως η βιομηχανία τσιμέντων και έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς επίσης θα μπορούσε να λειτουργήσει ως υποκατάστατο του SBS. Στην δεύτερη περίπτωση του RAP, είναι άξιο να σημειωθεί ότι η χρήση του στην οδοποιία εκτός των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που αποδίδει στο ασφαλτόμιγμα, δεν αφήνει καθόλου κατάλοιπα καθώς εκτός από την συλλογή του και τον θρυμματισμό του δεν δέχεται κάποια άλλη επεξεργασία.

Συνεπώς, η βελτίωση των ιδιοτήτων του οδοστρώματος λόγω της χρήσης τρίμματος ελαστικού στο ασφαλτόμιγμα είναι αδιαμφησβήτητη και θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να μελετηθεί η δυνατότητα αύξησης του ποσοστού συμμετοχής του τρίμματος ελαστικού στην τροποποιημένη άσφαλτο καθώς και τα πλεονεκτήματα που αυτό θα προσέφερε.

Καταληκτικά, οι μετρήσεις που έγιναν για την μελέτη των παραπάνω ιδιοτήτων του οδοστρώματος είχαν θετικά αποτελέσματα και αυτά τα αποτελέσματα δίνουν το κίνητρο για περαιτέρω διερεύνηση της χρήση τρίμματος ELTs και RAP στην

οδοποιία σε έργα μεγαλύτερης κλίμακας όπου θα μπορούσαν να μελετηθούν οι ιδιότητες των ασφαλτομιγμάτων σε μεγαλύτερα μήκη δρόμου, μεγάλες λεωφόρους με ακόμα μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο αλλά και να μελετηθούν ενδεχόμενοι περιορισμοί όπως είναι η χρήση των παραπάνω ασφαλτομιγμάτων σε διασταυρώσεις ή κυκλικούς κόμβους. Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη των ιδιοτήτων αυτών μετά το πέρας μεγαλύτερων χρονικών διαστημάτων ώστε να είναι δυνατή η απόρροια συμπερασμάτων για την επίδραση της γήρανσης του οδοστρώματος, τον χρόνο ζωής του οδοστρώματος, την συχνότητα συντήρησης καθώς και την γενικότερη ποιότητα, απόδοση και ασφάλεια του οδοστρώματος. Τέλος με βάση όλα τα παραπάνω σημαντική θα ήταν η επικαιροποίηση των εθνικών προτύπων ασφαλτόστρωσης και η υιοθέτηση τους σε αυτά .

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Sandberg, U., (1980) Improved spray protectors for commercial vehicles – an approach to increase traffic safety. In: D.J. Osborne and J.A. Levis, eds. Human factors in transport research. London: Academic Press.
- [2] Nicholls, J.C and Daines, M.E. (1992) Spray suppression by porous asphalt. The Second International Symposium on Road Surface Characteristics.
- [3] Nicholls, J.C., (1997) Review of UK Porous Asphalt Trials. TRL Report 264, 1997. UK.
- [4] Σοφία Πόστη, (2019) Διερεύνηση της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών σε εύκαμπτα οδοστρώματα μέσω της αξιολόγησης του κύκλου ζωής.
- [5] Χ.Β. Βλαχόπουλος, Θ.Ε. Ματίκας, Γ. Σταμουλάκης (2008) Τροποποίηση ασφάλτου με τρίμμα ανκυκλωμένου ελαστικού και μη καταστροφικός έλεγχος ασφαλομιγματος με υπερήχους.
- [6] Pichaya Rungruangvirojn, Kunnawee Kanitpong (2009) Measurement of visibility loss due to splash and spray: porous, SMA and conventional asphalt pavements.
- [7] Sousa, J.B. and Zhu, H., Asphalt-Rubber Noise Data Compilation (2004) Synthesis of current practices.
- [8] Goleblewski, R., Makarewicz, R. Nowak, M., and Preis, A. (2003). "Traffic noise reduction due to the porous road surface." *Applied Acoustics*, 64(5), 481-494.
- [9] Yamaguchi, M., Nakagawa, H., and Mizuno, T. (1999). "Sound absorption mechanism of porous asphalt pavement." *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 20(1), 29-43.
- [10] Putman, B. and Amirkhanian, N. (2005) Rubberized Bituminous Mixtures: A Novel Approach to Pavement Noise Reduction. *WIT Transactions on the Built Environment*, 77.
- [11] SILENCE (2005) Report of Promising New Road Surfaces for Testing.
- [12] S. Mavridoua, and F. Kehagiab Environmental Noise Performance of Rubberized Asphalt Mixtures: Lamia's case study.
- [13] Khaldoun Shatanawi, (2008) The effects of crumb rubber particles on highway noise reduction - a laboratory study.
- [14] A. Karagiannidis & St. Kontogianni (2009) EU-LIFE+ Environment Policy and Governance LIFE 09 ENV / GR / 304 "ROADTIRE", Integration of end-of-life tires in the life cycle of road construction, "Laymans report".

Ahmed Abbas Jasim <sup>1</sup>, Salam Adel Mutliack<sup>2</sup>, Ali Ahmed Mohammed (2013) Investigating the Effects of Using Crumb Rubber in Hot Mix Asphalt Surface on Skid Resistance Properties.

[15] American Society for Testing and Materials, ASTM E303, (2003) "Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester", Philadelphia, U.S.A.

[16] American Society for Testing and Materials, ASTM E965, "Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Using the Sand Patch Method", 2003.

[17] Caltrans Division of Maintenance, (2007) "MTAG Volume II Rigid Pavement Preservation 2<sup>nd</sup> Edition".

[18] SHRP (1993), "Distress identification manual for the long - term pavement performance project", Publication No. SHRP-P-338, ISBN 0-309-05271-8, Contact P-001, Product No. 5016, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington D.C., May 1993, National Academy of Sciences.

[19] The local government & municipal knowledge base. <http://www.lgam.info/rutting>.

[21] Chui-Te Chuie, (2008). "Use of ground rubber tire in asphalt pavements: Field trial and evaluation in Taiwan", Resources, Conservation and Recycling, Volume 52, Issue 3, pp. 522-532.

[22] Nunez W.P., Ceratti J.A.P, Wickbouldt V., Brito LAT, Oliveira J.A., (2005) "Delaying crack reflection in overlays: an apt study comparing the efficiency of convention asphalt concrete and asphalt rubber", Belfast.

[23] Souza R, Himeno K, Kobayashi A., (2005), "Performance evaluation of asphalt-rubber concrete mixtures", Belfast, UK: MAIREPAV<sup>4</sup>.

[24] Fernandes Jr.J.L, Bertollo S.A.M, BErnucci L.L.B, E. de Moura, "Laboratory evaluation of dense asphalt mixtures modified with addition of rubber", 3rd International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, J&A Publishers, Thessaloniki, Greece.

[25] Xiao FP. Development of fatigue predictive models of rubberized asphalt concrete (RAC) containing reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures. PhD dissertation. Clemson University, Clemson, SC, 2006.

[26] Feipeng Xiao, Serji N. Amirkhanian, Junan Shen b, Bradley Putman (2008). "Influences of crumb rubber size and type on reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures".



[27] Feipeng Xiao, Serji Amirkhanian, Bradley Putman, and Junan Shen (2010). "Laboratory investigation of engineering properties of rubberized asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement".

[28] Z. Alavi, S. Hung, D. Jones and J. Harvey (2016) Preliminary Investigation into the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Gap-Graded Asphalt Rubber Mixes, and Use of Reclaimed Asphalt Rubber Pavement in Conventional Asphalt Concrete Mixes.

[29] State of California Department of Transportation (2006) "ASPHALT RUBBER USAGE GUIDE".

[30] Fotini Kehagia, Sofia Mavridou, "Noise Reduction in Pavement Made of Rubberized Bituminous Top Layer" (2014).

[31] Giovanni Brambilla, Gaetano Licitra "Life NEREiDE project: preliminary evaluation of road traffic noise after new pavement laying", 2019