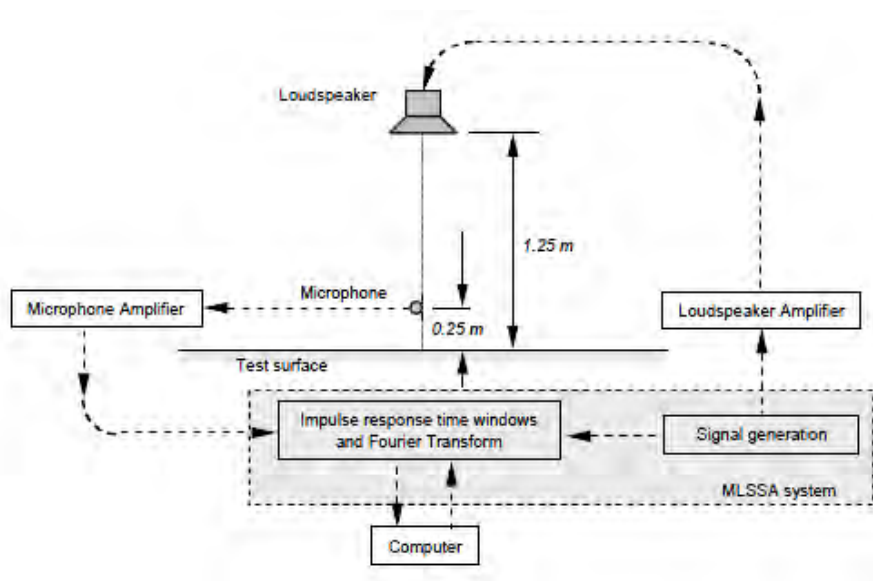




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Διερεύνηση ηχοαπορροφητικότητας ημιποροδών  
οδοστρωμάτων στο υπεραστικό και περιαστικό οδικό  
δίκτυο: πρότυπα και μεθοδολογίες**



**Ομάδα εργασίας: Μανώλης Αχιλλέας**

**Σιδέρης Χαράλαμπος**

**Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Δρ. Κωνσταντίνος Βογιατζής**

Τριμελής επιτροπή:

Ηλιού Νικόλαος: Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Κοπελιάς Παντελής: Λέκτορας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Καλιαμπέτσος Γεώργιος: Επιστημονικός Συνεργάτης Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Γενικά για τον ήχο και το θόρυβο.....	1
1.2. Όρια και τιμές θορύβου.....	2
1.3. Επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο.....	3
<b>2. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ.....</b>	<b>4</b>
2.1. Αιτίες πρόκλησης κυκλοφοριακού θορύβου.....	4
2.1.1. Λειτουργία μηχανής – εξάτμιση.....	5
2.1.2. Αντίσταση από τον αέρα.....	6
2.1.3. Επαφή ελαστικού- οδοστρώματος.....	6
2.2. Καταγραφές κυκλοφοριακού θορύβου.....	8
2.3. Μέτρα ανάσχεσης κυκλοφοριακού θορύβου.....	13
<b>3. ΗΧΟΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΚΙ ΕΛΑΣΤΙΚΑ.....</b>	<b>15</b>
3.1. Η συνεισφορά των ηχοαπορροφητικών οδοστρωμάτων στη μείωση του θορύβου.....	15
3.2. Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ηχοαπορροφητικών οδοστρωμάτων - παράδειγμα εφαρμογής στην Ελβετία.....	15
3.3. Καταπολέμηση κυκλοφοριακού θορύβου στην πηγή αυτού με τη χρήση κατάλληλων οδοστρωμάτων – παράδειγμα εφαρμογής στην Τσεχία.....	18
3.4. Asphalt Rubber οδοστρώματα.....	20
3.5. Άλλα είδη απορροφητικών οδοστρωμάτων.....	21

3.6. Μέθοδοι κατάταξης ελαστικών ως προς τη συμβολή τους στην εκπομπή θορύβου.....	22
3.7. Συνεισφορά διαφόρων τύπων ελαστικών στη μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου – παράδειγμα εφαρμογής στη Δανία.....	25
<b>4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....</b>	<b>32</b>
4.1. Μέθοδος Coast-By (CB).....	33
4.2. Μέθοδος Controlled Pass-By.....	34
4.3. Μέθοδος Statistical Pass-By.....	35
4.4. Μέθοδος Close-Proximity.....	38
4.5. Μέθοδοι Ακολουθίας Μέγιστου Μήκους (MLS).....	42
4.5.1. Καταγραφές In Situ.....	43
4.5.2. Καταγραφές με το Σύστημα Trailer.....	46
<b>5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>48</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>49</b>

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Γενικά για τον ήχο και το θόρυβο

Ήχος είναι κάθε μεταβολή της πίεσης του αέρα ή άλλου μέσου, που είναι ικανή να ερεθίσει την αίσθηση της ακοής και να γίνει αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί. Ο ήχος παράγεται από μία πηγή και με τη βοήθεια κάποιου μέσου (αέρας, νερό) διαδίδεται με τη μορφή ακουστικών κυμάτων και φτάνει στο δέκτη.

Ο ήχος χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα και την ένταση. Ως συχνότητα ήχου ορίζεται ο αριθμός των ολοκληρωμένων δονήσεων στη μονάδα του χρόνου και μετράται σε Hertz (Hz). Οι συχνότητες που γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί κυμαίνονται από 16 έως 20000 Hz. Ως ένταση ήχου ορίζεται το ποσό της ηχητικής ενέργειας που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου και μετράται σε  $\text{Watt/m}^2$ .

Η στάθμη του ήχου εκφράζεται σε decibel (dB). Για τους συνήθεις ήχους το εύρος της στάθμης ποικίλει από 0 έως 120 dB. Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι η στάθμη δύο ή περισσότερων ήχων προστίθεται λογαριθμικά κι όχι αριθμητικά. Ενδεικτικά, δύο στάθμες, εκ των οποίων η μία έχει διπλάσια ένταση από την άλλη, διαφέρουν κατά 3 dB, ενώ η άθροιση δέκα ήχων ίδιας στάθμης ισούται με τη στάθμη αυτή αυξημένη κατά 10 dB.

Ως θόρυβος ορίζεται ο ενοχλητικός για τον άνθρωπο ήχος. Μπορεί να προέλθει από πολλές πηγές, σημαντικότερες από τις οποίες είναι οι μεταφορές (οδικός θόρυβος, σιδηρόδρομος, αεροσκάφη), οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις (εργοστάσια, μηχανήματα) κι οι εγκαταστάσεις αναψυχής και διασκέδασης (νυχτερινά κέντρα διασκέδασης, καφετέριες). Για τη μέτρηση του περιβαλλοντικού θορύβου χρησιμοποιείται η κλίμακα A, η οποία δίνει έμφαση στις συχνότητες κοντά στα 2000 Hz. Ο θόρυβος που καταγράφεται τότε μετράται σε dB(A).

Όσον αφορά τον κυκλοφοριακό θόρυβο, χρησιμοποιούνται διεθνώς συγκεκριμένοι ακουστικοί δείκτες. Οι δείκτες αυτοί είναι στατιστικοί και εκφράζονται με τη μορφή  $L_n$  που υποδηλώνει τη στάθμη που υπερβαίνεται κατά το n% μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζονται η μέση στάθμη ή στάθμη  $L_{50}$ , η μέση στάθμη κορυφής  $L_{10}$ , η στάθμη κορυφής  $L_1$  κι η μέση στάθμη θορύβου βάθους  $L_{90}$  (ή  $L_{95}$ ). Ακόμη χρησιμοποιείται ιδιαίτερα συχνά ο δείκτης  $L_{eq}$  ή ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου, που εκφράζει τη συνεχή στάθμη θορύβου η οποία σε ορισμένη χρονική περίοδο έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του

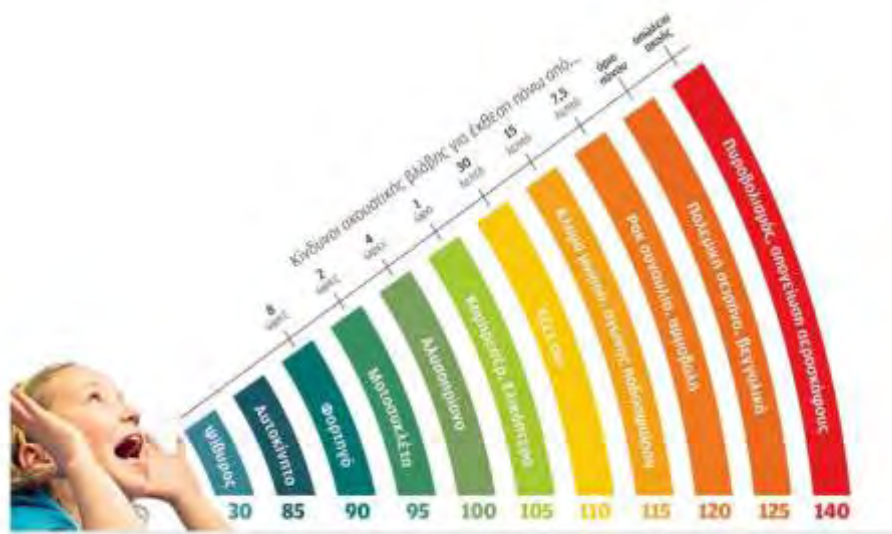
πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου, κατά την ίδια περίοδο. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικός είναι κι ο δείκτης  $L_{den}$  που προσδιορίζει το θόρυβο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται οι δείκτες  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  και  $L_{night}$  για τις πρωινές, απογευματινές και βραδινές ώρες αντίστοιχα.

## 1.2. Όρια και τιμές θορύβου

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του θορύβου θεσπίζονται όρια με σκοπό τον περιορισμό του. Πιο συγκεκριμένα, στη Συνδιάσκεψη για την Πρόληψη του Θορύβου που έλαβε χώρα στο Παρίσι το 1980 διαπιστώθηκε ότι το επίπεδο θορύβου στο εσωτερικό του σπιτιού δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40-45 dB(A) κατά τη διάρκεια της ημέρας και τα 35 dB(A) κατά τη διάρκεια της νύχτας. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, επιβάλλεται το ανώτατο επιτρεπτό όριο πλησίον της ζώνης κατοικίας να μην ξεπερνά τα 60-65 dB(A) κατά τη διάρκεια της ημέρας και τα 50-55 dB(A) κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Σύμφωνα με τις βρετανικές προδιαγραφές, το επίπεδο θορύβου για κυκλοφορία 18 ωρών έχει ανώτατη τιμή  $L_{10}=68$  dB(A), που αντιστοιχεί σε  $L_{eq}=65$  dB(A) περίπου. Όσον αφορά την Ελλάδα, βάσει των γενικών προδιαγραφών Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και της Απόφασης Υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 17252/20.5.92 (ΦΕΚ Β395/13.6.92) ορίζονται ως ανώτατα όρια στάθμης θορύβου  $L_{10}(18\omega\rho)$  και  $L_{eq}(8-20\omega\rho)$  οι τιμές των 67 dB(A) και 70 dB(A) αντίστοιχα.

Όσον αφορά τις τιμές του θορύβου, κάποιες πηγές θορύβου προκαλούν ιδιαίτερα έντονη όχληση κι η συνεχής έκθεση σε αυτές, με ή και χωρίς προστατευτικά μέσα, μπορεί να προκαλέσουν ακουστικές βλάβες. Πιο συγκεκριμένα, ο θόρυβος μιας σχολικής αίθουσας αγγίζει τα 70 dB(A), το κομπρεσέρ τα 105 dB(A), ενώ η απογείωση ενός αεροσκάφους τα 140 dB(A). Ένας θόρυβος επιπέδου 85 dB(A) αγγίζει τα όρια της επικινδυνότητας, μετά τα 90 dB(A) αρχίζει το κατώφλι κινδύνου, ενώ στα 120 dB(A) αρχίζουν τα όρια του πόνου και στα 180 dB(A) υπάρχει κι ο κίνδυνος απώλειας ακοής. Για το λόγο αυτό συνιστάται να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας από επαγγελματίες που εκτίθενται σε έντονο θόρυβο ώστε να μην επηρεαστεί δυσμενώς η ακοή τους. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα όρια αυτά και το διάστημα συνεχούς έκθεσης που μπορεί να ανεχτεί το ανθρώπινο αυτί.



Όρια θορύβου και χρόνος έκθεσης (πηγή: εφημερίδα “Η Καθημερινή”)

### 1.3. Επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο

Όπως προαναφέρθηκε, η έντονη και συνεχής έκθεση σε θόρυβο μπορεί να προκαλέσει από ακουστικές βλάβες μέχρι και πλήρη απώλεια ακοής. Εκτός όμως από αυτές τις επιπτώσεις, ο θόρυβος επηρεάζει αρνητικά και στον ψυχοκοινωνικό τομέα.

Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι στα αστικά κέντρα, παράλληλα με την αέρια ρύπανση, ο θόρυβος θεωρείται ως μια από τις κυριότερες αιτίες υποβάθμισης της ποιότητας ζωής των ανθρώπων. Οι δραστηριότητες που επηρεάζονται κυρίως από το θόρυβο είναι:

- ο ύπνος κι η ανάπαυση
- η ανθρώπινη επικοινωνία
- η μαθησιακή διαδικασία, η εκτέλεση μιας εργασίας
- η ψυχολογική διάθεση

Όλα τα παραπάνω συνηγορούν στην εξεύρεση λύσεων, τόσο με την επιβολή νόμων, όσο και με τη διεξαγωγή ερευνών και τη μετέπειτα κατασκευή έργων (ηχοπετάσματα, ηχοαπορροφητικά οδοστρώματα, λιγότερο θορυβώδη οχήματα) ώστε ο θόρυβος να γίνει όσο δυνατόν λιγότερο ενοχλητικός για το ανθρώπινο αυτί και να βελτιωθεί η ανθρώπινη ποιότητα ζωής.

## 2. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

### 2.1. Αιτίες πρόκλησης κυκλοφοριακού θορύβου

Ανάλογα με τα είδη των μεταφορών που πραγματοποιούνται παγκοσμίως, προκύπτουν κι οι αντίστοιχες πηγές κυκλοφοριακού θορύβου. Έτσι, τα είδη του κυκλοφοριακού θορύβου προέρχονται από τα εξής είδη μεταφορών:

- οδικές μεταφορές
- σιδηροδρομικές μεταφορές
- αεροπορικές μεταφορές
- σιδηροδρομικές μεταφορές

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- κυκλοφορία: κυκλοφοριακός φόρτος, σύνθεση κυκλοφορίας, κατανομή κυκλοφορίας κατά πλάτος
- οδός: σχετικό ύψος οδού (όρυγμα, επίχωμα, σήραγγα), κατά μήκος κλίση, πλάτος οδού (αριθμός λωρίδων)
- καιρικές συνθήκες: κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, υγρασία, θερμοκρασία περιβάλλοντος

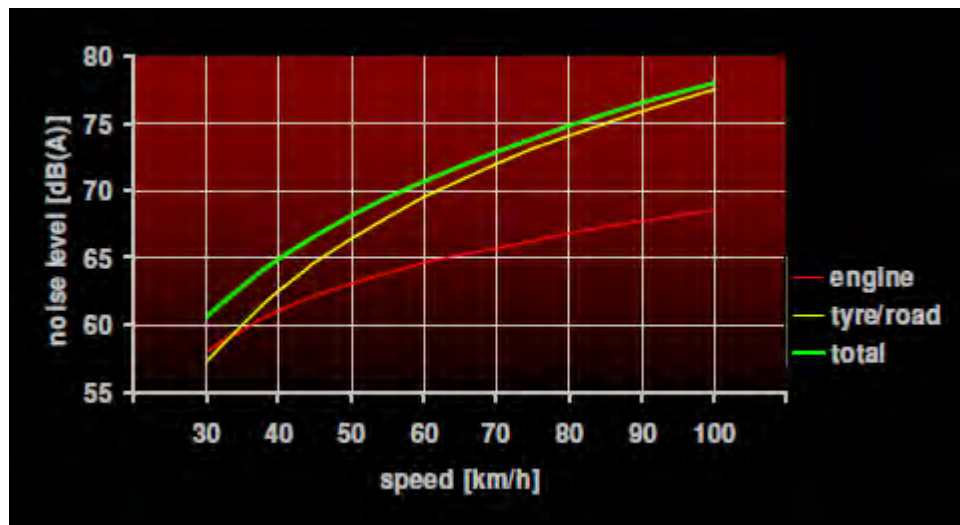
Οι πηγές θορύβου που αφορούν τις οδικές μεταφορές προκύπτουν από τα παρακάτω:

- θόρυβος από κορναρίσματα, από διαδικασίες εκκίνησης και φρεναρίσματος, από στάθμευση οχημάτων κ.τ.λ.
- λειτουργία μηχανής – εξάτμιση
- αντίσταση του αέρα
- επαφή ελαστικού – οδοστρώματος

Ακολουθεί εκτενέστερη αναφορά στις τρεις τελευταίες πηγές θορύβου.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται τα επίπεδα θορύβου μηχανής, θορύβου επαφής ελαστικού-οδοστρώματος και συνολικού θορύβου σε dB(A) σε συνάρτηση με την ταχύτητα του οχήματος.





### 2.1.1. Λειτουργία μηχανής – εξάτμιση

Ο θόρυβος που προκύπτει από τη λειτουργία της μηχανής προέρχεται από:

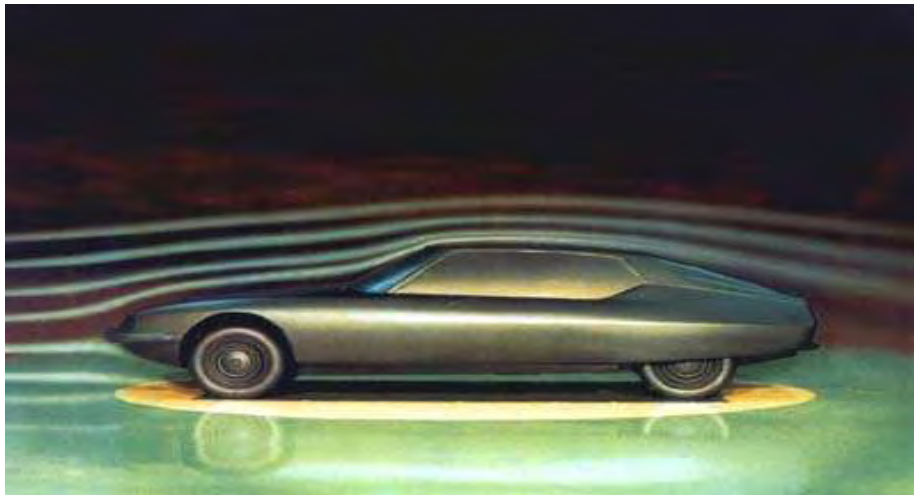
- το θόρυβο καύσης: περιοδική μεταβολή της πίεσης του κυλίνδρου που απαιτείται για τη λειτουργία του κινητήρα
- το μηχανολογικό θόρυβο: κρούσεις εμβόλων και ταχύτητες αυτοκινήτου

Η ένταση του θορύβου αυτού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος, την παλαιότητα και την επαρκή συντήρηση ενός οχήματος. Για παράδειγμα, ένα φορτηγό παράγει πολύ περισσότερο θόρυβο από ένα απλό επιβατικό αυτοκίνητο, όπως επίσης κι ένα παλιό αυτοκίνητο είναι πιο θορυβώδες από ένα άλλο πιο καινούργιο και πιο σύγχρονο. Είναι άξιο αναφοράς ακόμη το γεγονός ότι ο θόρυβος της μηχανής γίνεται περισσότερο αντιληπτός σε χαμηλές κυκλοφοριακές ταχύτητες.

Ένας ακόμη θόρυβος, ιδιαίτερα ενοχλητικός για το ανθρώπινο αυτί, είναι ο θόρυβος των εξατμίσεων. Όπως κι ο θόρυβος λειτουργίας της μηχανής, έτσι κι ο θόρυβος εξάτμισης ποικίλει ανάλογα με το είδος του οχήματος, την παλαιότητα και τη συντήρησή του. Συνήθως ο θόρυβος εξάτμισης που προκαλεί τη μεγαλύτερη όχληση προέρχεται από τα δίκυκλα και μάλιστα πολλές φορές οι οδηγοί των δίκυκλων (κυρίως νεαρής ηλικίας) επεμβαίνουν στο όχημά τους ώστε να παράγει ακόμα περισσότερο θόρυβο.

### 2.1.2. Αντίσταση από τον αέρα

Ο θόρυβος που προκαλείται από την αντίσταση του αέρα που επενεργεί σε ένα όχημα κατά τη διάρκεια της κίνησης του ονομάζεται αεροδυναμικός θόρυβος. Ο αεροδυναμικός θόρυβος γίνεται πιο αντιληπτός όσο αυξάνεται η ταχύτητα του οχήματος, συνεπώς στις μεγάλες ταχύτητες ο θόρυβος αυτής της μορφής είναι πιο έντονος. Οφείλεται στον τρόπο που ρέει ο αέρας γύρω από το αμάξωμα και εξαρτάται από την μετωπική επιφάνεια, τη σχεδίαση του αμαξώματος, τη στεγανοποίηση των παραθύρων κ.τ.λ. Για παράδειγμα, αεροδυναμικό θόρυβο μπορεί να προκαλέσει ένας ελαττωματικός υαλοκαθαριστήρας ή μεγάλοι σε μέγεθος εξωτερικοί καθρέφτες.



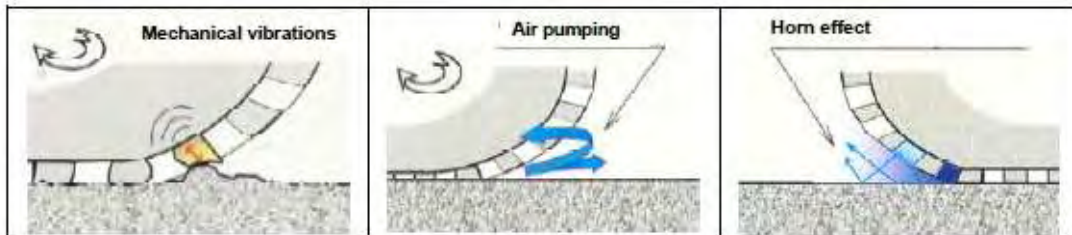
Σχηματική αναπαράσταση ροής του αέρα γύρω από το αμάξωμα

### 2.1.3. Επαφή ελαστικού – οδοστρώματος

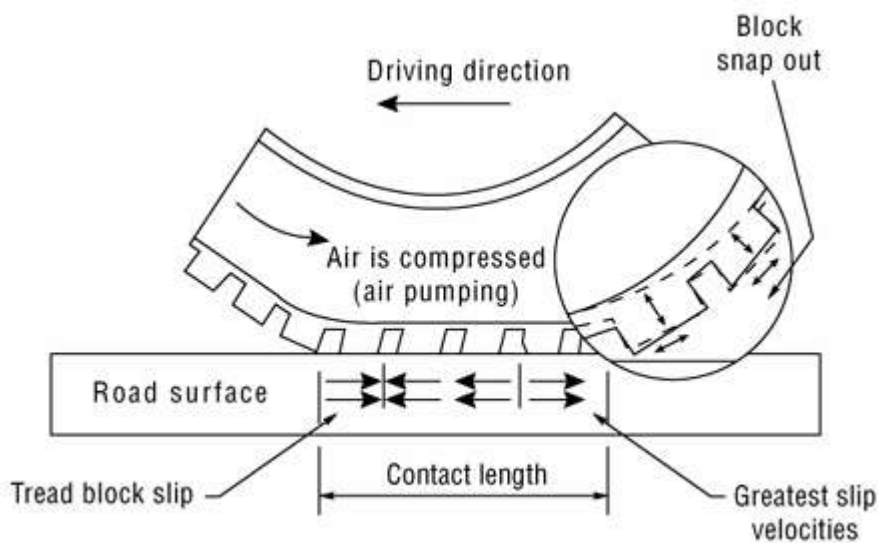
Η επαφή ελαστικού – οδοστρώματος είναι ο κύριος λόγος πρόκλησης θορύβου σε υψηλές ταχύτητες. Με τον όρο θόρυβος ελαστικού – οδοστρώματος εννοούμε το θόρυβο που εκπέμπεται από ένα περιστρεφόμενο ελαστικό σαν αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι κύριες αιτίες πρόκλησης θορύβου επαφής ελαστικού – οδοστρώματος είναι οι εξής:

- η δόνηση του ελαστικού λόγω κατακόρυφων μετατοπίσεων οφειλόμενων στη μακροϋφή του τάπητα και του ελαστικού

- η διέγερση λόγω εναλλαγής συνθηκών πρόσφυσης – ολίσθησης που ακολουθεί την παραμόρφωση του ελαστικού (φαινόμενο “stick and slip”)
- το φαινόμενο της συμπίεσης κι εκτόνωσης θυλάκων αέρος που συγκρατούνται μεταξύ των ραβδώσεων του ελαστικού και των κενών του τάπητα (φαινόμενο “air pumping”)
- το φαινόμενο αεροδυναμικού χαρακτήρα που οφείλεται στους κραδασμούς των ραβδώσεων κατά την κίνηση των τροχών



Αίτια πρόκλησης θορύβου ελαστικού-οδοστρώματος



Λεπτομερής απεικόνιση του φαινομένου συμπίεσης κι εκτόνωσης θυλάκων αέρος (air pumping)

Μετά από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψε ότι ο θόρυβος επαφής ελαστικού – οδοστρώματος συνδέεται με την υφή του οδοστρώματος. Η τραχεία επιφάνεια, εκείνη δηλαδή που χαρακτηρίζεται από υψηλή τιμή του βάρους HS (κηλίδας άμμου), προκαλεί συχνά περισσότερο θόρυβο. Αξίζει να αναφερθεί πάντως ότι οι πορώδεις τάπητες και λεπτοτάπητες εμφανίζουν αντιθορυβικά χαρακτηριστικά

ενώ οι ασφαλικές επαλείψεις κι οι κυβόλιθοι παρουσιάζουν αύξηση θορύβου. Ο θόρυβος επαφής ελαστικού – οδοστρώματος επηρεάζεται ακόμη από:

- την ταχύτητα του οχήματος: ανάλογα με το λογάριθμο της ταχύτητας του οχήματος αυξάνεται κι η στάθμη του θορύβου επαφής
- τη κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος: σε υγρά οδοστρώματα η στάθμη θορύβου είναι υψηλότερη, φαινόμενο που παρατηρείται και σε φθαρμένα οδοστρώματα
- τα χαρακτηριστικά των ελαστικών: ο θόρυβος επαφής μεταβάλλεται ανάλογα με:
  - a) την προέλευση του υλικού
  - b) τις διαστάσεις: ένα ελαστικό μικρού πλάτους και μεγάλης διαμέτρου είναι λιγότερο θορυβώδες
  - c) τη δομή: τα ελαστικά ακτινωτού σκελετού (radial) είναι λιγότερο θορυβώδη
  - d) τις ραβδώσεις: ορισμένα είδη ραβδώσεων (εγκάρσια κ.ά.) προκαλούν περισσότερο θόρυβο

Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για να μειωθεί ο θόρυβος επαφής ελαστικού – οδοστρώματος πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα, όπως διάστρωση αντιθορυβικών επιφανειών οδοστρωσίας και χρήση κατάλληλων ελαστικών από τους οδηγούς.

## 2.2. Καταγραφές κυκλοφοριακού θορύβου

Ως αποτέλεσμα της κατακόρυφης αγοράς και χρήσης αυτοκινήτων αλλά και άλλων μέσων μεταφοράς ο κυκλοφοριακός θόρυβος ξεκίνησε να είναι ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες κοινωνίες. Για το λόγο αυτό πραγματοποιούνται ετησίως αναρίθμητες μετρήσεις κυκλοφοριακού θορύβου σε παγκόσμια βάση. Οι μετρήσεις του κυκλοφοριακού θορύβου ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1960, όταν και τελειοποιήθηκε ο ηλεκτρονικός σχεδιασμός του φαινομένου αυτού. Δύο από τις πρώτες ερευνητικές ομάδες ήταν η BBN στη Βοστώνη κι η ESL στο Sunnyvale της Καλιφόρνια. Σκοπός αυτών των μετρήσεων είναι να διερευνηθεί το επίπεδο του κυκλοφοριακού θορύβου σε μια περιοχή και μετά την επεξεργασία των δεδομένων να αποφασιστεί αν απαιτείται λήψη κάποιων μέτρων και ποια θα είναι τα πιο κατάλληλα ανά περίπτωση. Τα μέτρα αυτά είτε αφορούν την πηγή του θορύβου, δηλαδή τα οχήματα, είτε το περιβάλλον της οδού (οδόστρωμα, ηχοπετάσματα κ.ά.).

Η ανάγκη πάντως για μέτρηση του θορύβου προϋπήρχαν. Γι αυτό τις δεκαετίες του 1950 και 1960 σχεδιάστηκαν μοντέλα πρόβλεψης θορύβου που υπολόγιζαν το επίπεδο ηχητικής πίεσης ενός μεμονωμένου οχήματος  $L_p$ . Τα μοντέλα αυτά βασίζονταν σε πειράματα συνεχούς ταχύτητας και τα προβλεπόμενα επίπεδα θορύβου εκφράζονταν αργότερα συναρτήσει της ταχύτητας και με μηδενική επιτάχυνση. Τα νεότερα μοντέλα δε μετρούσαν τα ηχητικά επίπεδα ενός οχήματος, αλλά την ισοδύναμη συνεχή στάθμη θορύβου  $L_{eq}$ . Τα μοντέλα πρόβλεψης κυκλοφοριακού θορύβου απαιτούνται σαν βοήθεια για το σχεδιασμό των εθνικών οδών και άλλων δρόμων και κάποιες φορές για την αξιολόγηση των υφιστάμενων ή προβλεπόμενων αλλαγών στις συνθήκες κυκλοφοριακού θορύβου. Μερικά από τα πρώτα μοντέλα είναι τα εξής:

- Nickson και Lamure (1965):  $L_{50} = C + 10 \log(V/D)$ , όπου  $C$  = σταθερά επιπέδων θορύβου,  $V$  = κυκλοφοριακός φόρτος σε οχήματα/ώρα,  $D$  = απόσταση από τη λωρίδα κυκλοφορίας σε πόδια και  $L_{50}$  σε dB(A)
- Johnson (1965):  $L_{50} = 3,5 + 10 \log(VS^3/D)$ , όπου  $S$  = μέση ταχύτητα οχήματος σε μίλια/ώρα

Μερικά από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα και συνοδεύονται από τους αντίστοιχους αλγόριθμους είναι:

- το μοντέλο πρόβλεψης κυκλοφοριακού θορύβου εθνικών οδών FHWA
- η διαδικασία CoRTN
- η διαδικασία MITHRA

Εκτός όμως από τα μοντέλα πρόβλεψης κυκλοφοριακού θορύβου, κάθε χρόνο παγκοσμίως διενεργούνται μετρήσεις για τον προσδιορισμό του θορύβου αυτού κι ακολουθεί ανάλυση των μετρήσεων αυτών, όπως προαναφέρθηκε. Μερικά παραδείγματα μετρήσεων κυκλοφοριακού θορύβου είναι τα εξής:

- Αίγυπτος

Το 2002 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κυκλοφοριακού θορύβου στο Κάιρο, την ενδέκατη μεγαλύτερη πόλη του κόσμου και μία από τις πιο θορυβώδεις. Για τη μείωση του θορύβου επιβλήθηκαν ορισμένοι περιορισμοί, όπως:

- 1) απαγόρευση της κόρνας
- 2) απαγόρευση της κόρνας και των φορτηγών
- 3) απαγόρευση της κόρνας, των φορτηγών και των θορυβωδών λεωφορείων

Η μέτρηση της ισοδύναμης συνεχούς στάθμης θορύβου  $L_{Aeq}$  πραγματοποιήθηκε τόσο πριν, όσο και μετά την επιβολή των μέτρων και παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη μείωση αυτής.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 21 σημεία της πόλης σε οδούς διαφορετικών πλατών, φόρτων και ταχυτήτων κατά τις πρωινές (07.00 – 22.00) και βραδινές ώρες (22.00 – 07.00). Μερικά από τα ηχητικά επίπεδα που μετρήθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Road traffic noise levels in  $L_{dn}$  (dB) in 21 sites in Greater Cairo

Area	Road no. 1 <sup>a</sup>	Road no. 2 <sup>b</sup>	Road no. 3 <sup>c</sup>	Road no. 4 <sup>d</sup>
	$L_{dn}$ (dB)	$L_{dn}$ (dB)	$L_{dn}$ (dB)	$L_{dn}$ (dB)
Centre of the city	–	85.3	75.8	70.6
Naser City	87	86.4	74.6	68.2
El-Ahram	86.8	81.4	72.4	66.6
Hulwan	85.2	79.5	71.2	65.7
Garden City	–	79.9	73.2	64.2
Old Cairo	–	81.8	73.9	64.5

<sup>a</sup> Road No. 1 with width 30–40 m, six lanes or more, more than 10 000 vehicles during rush hours

<sup>b</sup> Road No. 2 with width 24–30 m, four to six lanes, more than 5000 vehicles during rush hours.

<sup>c</sup> Road No. 3 with width 20–24 m, four lanes, more than 3000 vehicles during rush hours.

<sup>d</sup> Road No. 4 with width 12–16 m, two lanes, more than 1000 vehicles during rush hours.

Οι περιορισμοί επιβλήθηκαν σε διάφορες περιοχές της πόλης: σε κεντρική, βιομηχανική, τουριστική και περιοχή κατοικιών. Τα επίπεδα θορύβου πριν και μετά την επιβολή των μέτρων απεικονίζονται παρακάτω.

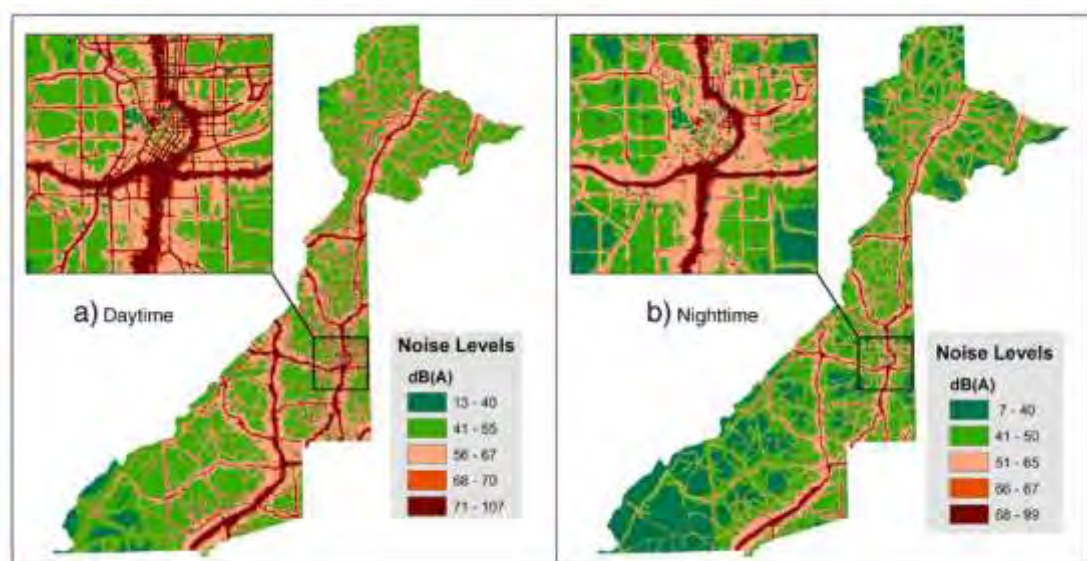
Equivalent noise level ( $L_{Aeq}$ ) (dB) (A) before and after restrictions in Greater Cairo, Egypt

Case study	Residential area		Downtown area		Industrial area	Tourism area
	Sallah Salm	Dokki Square	Ramsis Street	El-Attaba Square		
Without restrictions	87.9	87.1	84.9	87.8	86.2	88.9
During ban on horns	85.2	80.7	75.5	77.0	81.4	84.4
During ban on horns together with limiting the commercial vehicles to 10%	–	–	–	–	78.6	–
During ban on horns and trucks	84.5	80.6	–	–	–	80.4
During ban on horns, trucks and noisy buses	81.9	76.9	–	–	–	–

- Η.Π.Α.

Στην επαρχία Fulton (που περιλαμβάνει την πόλη της Ατλάντα), στην Georgia των Η.Π.Α. πραγματοποιήθηκαν το 2009 μετρήσεις κυκλοφοριακού θορύβου ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο οι κάτοικοι της περιοχής εκτίθενται σε αυτόν.

Στις μετρήσεις αυτές ο μέγιστος θόρυβος έφτασε τα 107 dB(A) κατά τη διάρκεια της ημέρας και τα 99 dB(A) κατά τις νυχτερινές ώρες. Όπως είναι προφανές, τα επίπεδα θορύβου ήταν αυξημένα κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας στις περιοχές του κέντρου της Ατλάντα και γύρω από μεγάλους οδικούς άξονες. Σε γενικές γραμμές πάντως, κατά τη διάρκεια της νύχτας ο θόρυβος μειώνεται και στα περισσότερα σημεία τα επίπεδά του είναι χαμηλότερα από 50 dB(A). Τα κτήρια με πρόσοψη στο δρόμο είχαν υψηλότερα επίπεδα θορύβου και μάλιστα σε κάποια από αυτά ο θόρυβος ήταν υψηλός και στους ανώτατους ορόφους. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται σχηματικά τα επίπεδα θορύβου κατά τις πρωινές και νυχτερινές ώρες στην επαρχία Fulton και πιο λεπτομερώς στο κέντρο της πόλης της Ατλάντα.



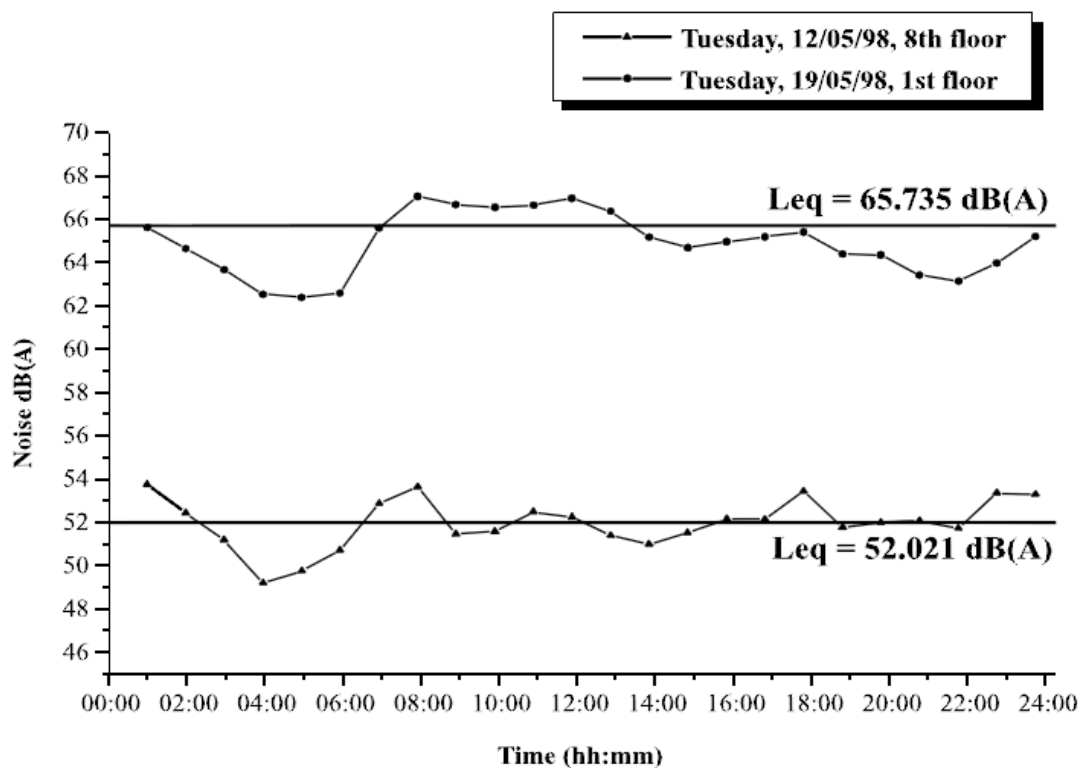
- Ελλάδα

Το 1998 στη Θεσσαλονίκη, κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θορύβου σε 5 διαφορετικές οδούς και από διαφορετικά ύψη. Αυτά ήταν:

- 1) Βασιλίσσης Όλγας, 2<sup>ος</sup> όροφος
- 2) Ανθέων, 1<sup>ος</sup> και 8<sup>ος</sup> όροφος

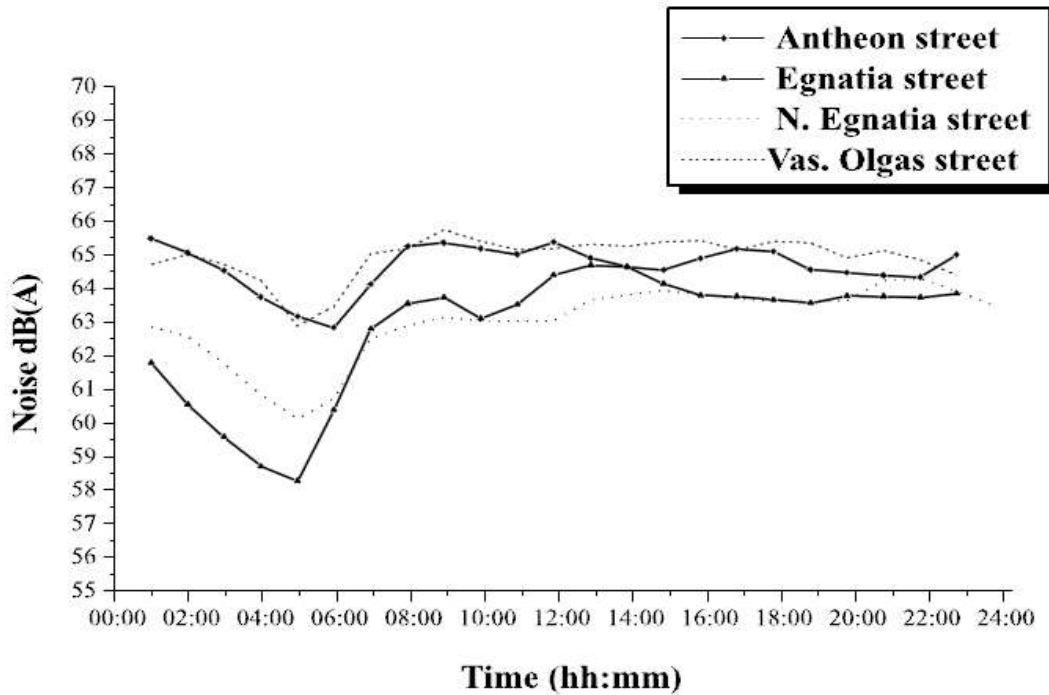
- 3) Νέα Εγνατία, 1<sup>ος</sup> όροφος
- 4) Μητροπόλεως, 6<sup>ος</sup> όροφος
- 5) Εγνατία, 1<sup>ος</sup> όροφος

Υπολογίστηκαν οι μέσες στάθμες θορύβου για περιόδους 10 λεπτών, μίας ώρας και ολόκληρης ημέρας. Παρατηρήθηκε ότι τις Καθημερινές η στάθμη κυκλοφοριακού θορύβου ήταν αυξημένη κατά 1 – 2 dB(A) σε σχέση με τα Σαββατοκύριακα κατά τις πρωινές ώρες, αλλά αντίθετα κατά τη διάρκεια της νύχτας ο θόρυβος ήταν εντονότερος το Σάββατο και την Κυριακή λόγω της νυχτερινής εξόδου των κατοίκων της πόλης. Ακόμη, στην οδό Ανθέων, όπου ο κυκλοφοριακός θόρυβος μετρήθηκε από δύο διαφορετικά ύψη, οι δύο στάθμες θορύβου διέφεραν κατά 14 dB(A), όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα.



Τέλος, στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα ωριαία επίπεδα θορύβου σε 4 από τις 5 οδούς (εκτός της οδού Μητροπόλεως) κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.





### 2.3. Μέτρα ανάσχεσης κυκλοφοριακού θορύβου

Όπως προαναφέρθηκε, οι προσπάθειες καταμέτρησης του κυκλοφοριακού θορύβου ξεκίνησαν αρκετές δεκαετίες πριν. Για να έχουν όμως νόημα οι προσπάθειες αυτές πρέπει εν συνεχεία να ληφθούν ορισμένα μέτρα ώστε, σε περιπτώσεις θορύβου που προκαλεί ιδιαίτερη όχληση, οι επιπτώσεις του να μειωθούν σημαντικά. Μερικά από τα μέτρα αυτά είναι:

- Ελάττωση του θορύβου των οχημάτων με χρήση νέων μοντέλων όπου έχει ληφθεί πρόνοια για τη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου και με την εφαρμογή πλέον αυστηρών κανονισμών. Τα οχήματα νεότερης τεχνολογίας εκπέμπουν σαφώς λιγότερο θόρυβο σε σχέση με τα παλιότερα, κάτι το οποίο γίνεται λόγω θέσπισης διεθνών ορίων ανώτατου θορύβου σε όλα τα είδη οχημάτων.
- Εκμετάλλευση κυκλοφοριακών αξόνων με σκοπό τη βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής και γενικότερα την αναδιοργάνωση των δικτύων (δημιουργία παρακαμπτηρίων) με αποτέλεσμα την ελάττωση του φορτίου σε ευαίσθητους από άποψη θορύβου άξονες και τη μείωση των επιπέδων του θορύβου.
- Ελάττωση της ταχύτητας σε κρίσιμους δρόμους είτε επιβάλλοντας όρια, είτε με κατάλληλη διαμόρφωση της οδού (π.χ. σαμαράκια). Αυτό είναι το πλέον αποτελεσματικό μέτρο παγκοσμίως για την καταπολέμηση του αστικού

κυκλοφοριακού θορύβου. Είναι ακόμη το πιο οικονομικό μέτρο, καθώς τα κόστη περιορίζονται μόλις στη μελέτη εφαρμογής και στην αγορά και τοποθέτηση των διατάξεων μείωσης ταχύτητας. Η ύπαρξη συνεχούς αστυνόμευσης καθίσταται πρακτικά αδύνατη.

- d) Επέμβαση πάνω στην υποδομή με καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών λαμβάνοντας υπ' όψιν το θόρυβο και κατά συνέπεια κατασκευή ανάλογων τεχνικών έργων στις οριογραμμές του καταστρώματος (ηχοαπορροφητικά οδοστρώματα, ηχοπετάσματα).
- e) Γενική αναδιοργάνωση του πολεοδομικού ιστού της υπό μελέτη αστικής περιοχής ώστε να μην αποτελεί το οδικό κυκλοφοριακό δίκτυο πηγή θορύβου.
- f) Ειδική ηχομονωτική κατασκευή των κτηρίων των οποίων η ανέγερση σε περιοχές με προβλήματα ηχορύπανσης δεν μπορεί να αποφευχθεί. Όταν μάλιστα τα κτήρια είναι ήδη κατασκευασμένα και η ηχομόνωση των ιδίων δεν είναι εφικτή, η λύση των ηχοπετασμάτων είναι η πλέον ενδεδειγμένη.

## 3. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΚΙ ΕΛΑΣΤΙΚΑ

### 3.1. Η συνεισφορά των ηχοαπορροφητικών οδοστρωμάτων στη μείωση του θορύβου

Οι πορώδεις επιφάνειες του δρόμου καθορίζονται ολοένα και περισσότερο σαν ένα αποτελεσματικό μέσο για τη μείωση του θορύβου από την οδική κυκλοφορία. Το πιο βασικό μειονέκτημα είναι ότι το πορώδες των επιφανειών αυτών χειροτερεύει με το πέρασμα του χρόνου καθώς τα κενά των επιφανειών φράσσονται:

- Με τρίμματα και διάφορα υλικά που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα
- Από την έκθεση στις καιρικές συνθήκες

Κάτι τέτοιο οδηγεί σε χειροτέρευση των ιδιοτήτων μείωσης του θορύβου, καθώς για παράδειγμα η απόδοση της ηχητικής απορρόφησης πέφτει σημαντικά.

### 3.2. Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ηχοαπορροφητικών οδοστρωμάτων - παράδειγμα εφαρμογής στην Ελβετία

Πρόσφατα η Ελβετία γνώρισε μια νέα ώθηση στην ανάπτυξη και κατασκευή χαμηλού ήχου οδοστρωμάτων για την καταπολέμηση του κυκλοφοριακού θορύβου στην πηγή αυτού. Πραγματοποιήθηκε μελέτη όπου χρησιμοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός οδοστρωμάτων:

- 36 λεπτής στοιβάδας ασφάλτου
- 36 SMA (Stone Mastic Asphalt) επιφάνειες με αυξημένη περιεκτικότητα σε κενό

των οποίων η ακουστική παρακολούθηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο CPX.

Είναι δεδομένο ότι για την περαιτέρω βελτίωση της ακουστικής απόδοσης ενός οδοστρώματος είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό γιατί μία συγκεκριμένη επιφάνεια αποδίδει καλύτερα από μία άλλη. Με διαθέσιμα τα δεδομένα των μετρήσεων για τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος και την ηχοαπορροφητικότητά του, η μοντελοποίηση του θορύβου ελαστικού-οδοστρώματος παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τον τρόπο που επιτυγχάνεται μείωση του θορύβου σε μία συγκεκριμένη οδική επιφάνεια σε σχέση με:

- Τους κραδασμούς
- Την αντίσταση του αέρα
- Το θόρυβο των κοιλοτήτων της επιφάνειας του οδοστρώματος καθώς και την ηχοαπορροφητικότητα

Οι στόχοι της συγκεκριμένης μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην Ελβετία ήταν:

- 1) Να προσδιοριστεί ποσοτικά και να αξιολογηθεί η ακουστική απόδοση των εκτιμώμενων χαμηλού θορύβου οδοστρωμάτων σε σχέση με τις επιφάνειες οδοστρώματος SMA που χρησιμοποιούνται συνήθως στις αστικές περιοχές στην Ελβετία και αλλού στην Ευρώπη
- 2) Να χαρακτηριστεί η ακουστική απόδοση σε σχέση με την παραγωγή θορύβου και την ηχοαπορροφητικότητα με σχετική σύγκριση με τα μετρηθέντα φάσματα θορύβου.

### Μέτρηση του θορύβου ελαστικού-οδοστρώματος

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CPX.

Χρησιμοποιήθηκε σετ ελαστικών που αντιστοιχούν σε επιβατικά αυτοκίνητα (πρότυπο αναφοράς δοκιμής ελαστικών SPTT, διαστάσεις 225/60R16) και τοποθετήθηκε σε κλειστού τύπου ρυμουλκούμενο δύο τροχών.

Τα επίπεδα θορύβου έχουν καταγραφεί στις θέσεις των εσωτερικών μικροφώνων σε απόσταση 20 εκατοστών από τις εσωτερικές παρειές των ελαστικών από το εμπρός και το πίσω μέρος της περιοχής επαφής ελαστικού/οδοστρώματος και σε ύψος 10 εκατοστών. Οι μετρήσεις διορθώθηκαν για τυχόν επιρροές από το ρυμουλκούμενο, η διόρθωση της θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα αποτελέσματα από προηγούμενη μελέτη ενώ η μεταβολή της ταχύτητας περιορίστηκε στο ελάχιστο με το αυτόματο έλεγχο της.

Σε όλες τις οδικές επιφάνειες τα επίπεδα θορύβου ελαστικού-οδοστρώματος προέκυψαν από το μέσο όρο τουλάχιστον δύο πραγματοποιηθέντων μετρήσεων.

Η ακουστική απόδοση ενός οδοστρώματος χαμηλού θορύβου μπορεί να βελτιωθεί με:

- Την ελαχιστοποίηση του βάθους της μακροϋφής και της μικροϋφής του οδοστρώματος οδηγώντας έτσι σε λιγότερο θόρυβο λόγω κραδασμών
- Υψηλό βαθμό ηχοαπορρόφησης του θορύβου, στο φάσμα 800 – 1250 Hz, όπου ένα σημαντικό μέρος του παράγεται από την επαφή ελαστικού-οδοστρώματος (τέτοιες ιδιότητες απορρόφησης ήχου μπορούν να επιτευχθούν με ένα συνδυασμό του πορώδους, του πάχους του οδοστρώματος κι ενός βελτιστοποιημένου σχήματος πόρων)
- Επαρκή όγκο κενών και διασύνδεση των πόρων στην επιφάνεια του οδοστρώματος που διευκολύνει την απομάκρυνση του αέρα στη ζώνη επαφής ελαστικού-οδοστρώματος οδηγώντας σε μικρότερη ροή του αέρα που σχετίζεται με το θόρυβο

Το δείγμα των οδοστρωμάτων (72 οδοστρώματα) συνολικά αποτελείται από διάφορα προϊόντα που κατασκευάζονται από πολλές εταιρίες οδοποιίας. Μπορεί να χωριστεί σε δύο κύριους τύπους οδοστρώματος:

- 1) Με μέγιστο συνολικό μέγεθος 8mm
- 2) Με μέγιστο συνολικό μέγεθος 4mm

Η συγκεκριμένη μελέτη ποσοτικοποιεί και χαρακτηρίζει την ακουστική απόδοση των 72 οδοστρωμάτων χαμηλού θορύβου, όσον αφορά την παραγωγή θορύβου και την ηχοαπορρόφηση. Η μέση μείωση του θορύβου ήταν της τάξης των 2,5 dB(A) για τον τύπο οδοστρώματος των 8mm και 6,5 dB(A) για εκείνον των 4mm.

Η μελέτη καταλήγει ότι:

- Ένα “ήσυχο” οδόστρωμα μπορεί να επιτευχθεί μόνο με περαιτέρω μείωση του θορύβου μέσω της ηχοαπορρόφησης
- Ένα “ήσυχο” οδόστρωμα πάχους 4mm μπορεί να επιτευχθεί με επιφάνειες ομαλότερης υφής σε συνδυασμό με βελτιωμένες δυνατότητες απορρόφησης ήχου.

Για την πρώτη κατηγορία οδοστρώματος η καλή απόδοση οφείλεται κυρίως σε μια μείωση του θορύβου από την ηχοαπορρόφηση και σε μικρότερο βαθμό από τη μείωση του θορύβου που παράγεται από τη ροή του αέρα. Στον αντίποδα, κακή απόδοση προκαλείται από την αύξηση του θορύβου λόγω της ροής του αέρα, από την αύξηση των επιπέδων θορύβου λόγω μικρότερων ικανοτήτων ηχοαπορρόφησης κι από αύξηση του θορύβου λόγω δονήσεων.

Για τη δεύτερη κατηγορία οδοστρώματος καλή απόδοση επιτυγχάνεται εξίσου με τη μείωση του θορύβου λόγω κραδασμών και τη μείωση στα επίπεδα θορύβου λόγω της ηχοαπορρόφησης. Αντίθετα κακή απόδοση προκαλείται λόγω της αύξησης του θορύβου εξαιτίας της ροής του αέρα και των μειωμένων ηχοαπορροφητικών δυνατοτήτων. Η κακή απόδοση ωστόσο φαίνεται να συνδέεται με τη χαμηλότερη

περιεκτικότητα σε κενό, μείωση της διασύνδεσης μεταξύ των πόρων ή μικρότερα πάχη στρώσης.

### 3.3. Καταπολέμηση κυκλοφοριακού θορύβου στην πηγή αυτού με τη χρήση κατάλληλων οδοστρωμάτων – παράδειγμα εφαρμογής στην Τσεχία

Ο θόρυβος είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την κατάσταση της υγείας του ανθρώπου, πρέπει να παρακολουθείται και να γίνεται προσπάθεια εντοπισμού μεθόδων για τη μείωσή του. Ωστόσο η εφαρμογή των διαθέσιμων μέτρων καταστολής του θορύβου, για την αναστολή της μετάδοσης της ακουστικής ενέργειας δεν είναι εφικτή εντός της πόλης και στις αστικές περιοχές γενικότερα.

Ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους είναι η μείωση του θορύβου στην πηγή του που σημαίνει μείωση της ηχητικής ενέργειας που εκπέμπεται από τα ίδια τα οχήματα ή μείωση της ακουστικής ενέργειας που δημιουργείται κατά την επαφή των τροχών με την επιφάνεια του δρόμου.

Στην κατεύθυνση αυτή, δηλαδή της μείωσης του κυκλοφοριακού θορύβου κατευθείαν στην πηγή, κι ειδικά κατά την επαφή του τροχού με την επιφάνεια του δρόμου πραγματοποιήθηκε στην Πράγα έρευνα, τα αποτελέσματα της οποίας αναφέρονται σε δύο δρόμους, πριν και μετά τη διάστρωση ενός οδοστρώματος κατάλληλου για την καταστολή της εξάπλωσης του θορύβου. Ο στόχος της συγκεκριμένης έρευνας είναι να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα των νέων επιφανειών με καλή ακουστική απόδοση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές θορύβου από το δρόμο είναι:

- 1) Η ένταση της κυκλοφορίας
- 2) Η σύνθεση της ροής της κυκλοφορίας
- 3) Η ταχύτητα ροής της κυκλοφορίας
- 4) Η ποιότητα του οδοστρώματος
- 5) Οι ακουστικές εκπομπές των οχημάτων

Στην Πράγα στα πλαίσια της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν δύο οδικά τμήματα με ακουστικά “άνετη” επιφάνεια γνωστή με την εμπορική ονομασία VIAPHONE. Τα δύο αυτά τμήματα προέρχονται από τις οδούς Slezská και Května.

- Η οδός Slezská είναι μονόδρομος στο κέντρο της πόλης. Το φθινόπωρο του 2010 η επιφάνεια VIAPHONE στρώθηκε στο δρόμο σε στρώμα πάχους 30 εκατοστών πάνω στην παλιά επιφάνεια. Πριν την εφαρμογή πραγματοποιήθηκε μέτρηση των εκπομπών θορύβου, τόσο για την αρχική όσο και για τη νέα επιφάνεια. Μετά από 6 μήνες λειτουργίας του δρόμου με τη νέα επιφάνεια, η μέτρηση επαναλήφθηκε με τη μέθοδο SPB σε συμμόρφωση με το πρότυπο ISO 11819-1. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε δύο θέσεις κι η μείωση του θορύβου ήταν περίπου 6 dB κατά τη διάρκεια της ημέρας (6 π.μ. – 10 μ.μ.) και περίπου 3,3 dB κατά τη διάρκεια της νύχτας (10 μ.μ. – 6 π.μ.).
- Ο δρόμος Kvnětna ανήκει στο σύνολο του κεντρικού αυτοκινητοδρόμου Βορρά–Νότου. Είναι γνωστό ότι σε ένα κομμάτι του δρόμου γίνεται η ανακατασκευή που περιλαμβάνει και το επίπεδο του υποστρώματος κι οι όροι που απαιτούνται για τη μέτρηση των ιδιοτήτων των εκπομπών της επιφάνειας με τη μέθοδο SPB δεν πληρούνται. Οι συνεχείς 24ωρες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρία σημεία πριν και μετά την ανακατασκευή της οδικής επιφάνειας για να εκτιμηθεί η ένταση κι η σύνθεση της κυκλοφορίας κατά τη διάρκειά τους. Η μέση μείωση του θορύβου στα σημεία ελέγχου που επιλέχθηκαν πριν και μετά την τοποθέτηση των επιφανειών VIAPHONE ήταν περίπου 5,5 dB στη διάρκεια της ημέρας και περίπου 7,6 dB στη διάρκεια της νύχτας.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και στις δύο οδικές ενότητες αποδεικνύουν ότι οι επιφάνειες VIAPHONE συντελούν στη μείωση του θορύβου στην πηγή, ακόμα και για οχήματα που κινούνται με πολύ χαμηλή ταχύτητα, κυρίως για το δρόμο Slezská. Εκτός όμως από την επιφάνεια VIAPHONE είναι κι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις ακουστικές ιδιότητες των επιφανειών, όπως:

- Η τέλεια ισοπέδωση του επιπέδου οδοστρώματος κι η διατήρησή του στη μέγιστη δυνατή λεία κατάσταση
- Η ίδια επιφάνεια του οδοστρώματος για την οποία πρέπει να χρησιμοποιηθούν υλικά που μπορούν να απορροφούν μέρος της ακουστικής ενέργειας

Πρέπει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η σύνθεση της κυκλοφορίας περιλαμβάνει μόνο επιβατικά οχήματα και καθόλου φορτηγά για τα οποία δεν έχει ανοίξει ακόμα η κυκλοφορία στα συγκεκριμένα τμήματα.

Είναι σημαντικό να παρακολουθηθεί η ακουστική συμπεριφορά της νέας επιφάνειας μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας της όταν θα έχουν αρχίσει η φθορά κι η υποβάθμισή της αλλά και να υλοποιούνται όσες ενέργειες είναι απαραίτητες για τη διατήρησή της σε καλή κατάσταση, όπως επίσης και να γίνεται άμεση αποκατάσταση λακκουβών και τυχόν ανωμαλιών κατά τη διάρκεια λειτουργίας της.

### 3.4. Asphalt Rubber οδοστρώματα

Από το 2006 η Ε.Ε. έχει απαγορεύσει την εναπόθεση των μεταχειρισμένων ελαστικών σε χώρους υγειονομικής ταφής δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για την ανακύκλωση και χρήση τους σε οδοστρώματα.

Προτάθηκε λοιπόν η χρήση Asphalt Rubber (AR). Το AR είναι μια μίξη ασφαλτικού τσιμέντου, αναχρησιμοποιημένου λάστιχου από ελαστικά και προσθετικών των οποίων ο ελαστικός συντελεστής είναι τουλάχιστον 15 τοις εκατό κατά βάρος του συνολικού μίγματος. Αυτό αντιδρά με το ζεστό ασφαλτικό τσιμέντο και προκαλεί διόγκωση των ελαστικών σωματιδίων. Το AR είναι φιλικό προς το περιβάλλον καθώς:

- Στηρίζεται στη χρήση ανακυκλωμένου υλικού
- Επιτρέπει τη μείωση του πάχους οδοστρώματος με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση φυσικών και χημικών πόρων
- Συμβάλλει στη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>

Εκτός από αυτά τα θετικά χαρακτηριστικά μελέτες που έχουν γίνει διεθνώς έχουν δείξει ότι AR επιφανειακά στρώματα μπορούν να πετύχουν από 3 έως 5 dB μείωση του επιπέδου θορύβου σε σύγκριση με τις παραδοσιακές επιφάνειες ασφάλτου (DGHMA) και μείωση από 6 έως 12 dB σε σύγκριση με επιφάνειες από σκυρόδεμα.

Όσον αφορά μετρήσεις που έγιναν στην Τοσκάνη και περιλάμβαναν την εξέταση τριών διαφορετικών επιφανειών, μίας που χρησιμοποιούσε παραδοσιακή άσφαλτο, μίας ανοιχτών πόρων ελαστική άσφαλτο και μίας κλειστών πόρων ελαστική άσφαλτο έδειξαν ότι η χρήση υλικών AR συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του θορύβου σε αστικές περιοχές.

Οι διαφορές απόδοσης μεταξύ των δύο τύπων AR που χρησιμοποιήθηκαν δεν υπερβαίνει τα 1–2 dB ενώ κι οι δύο παρουσίασαν υψηλή απόδοση κατά τους πρώτους μήνες μετά την εφαρμογή τους.





Asphalt Rubber

### 3.5. Άλλα είδη απορροφητικών οδοστρωμάτων

Εκτός από τα οδοστρώματα Asphalt Rubber, στην αγορά κυκλοφορούν κι άλλα είδη ηχοαπορροφητικών οδοστρωμάτων. Μερικά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- **Open-Textured Asphalt:** είναι ένα από τα πρώτα ηχοαπορροφητικά οδοστρώματα που κατασκευάστηκαν. Εκτός από τις ηχοαπορροφητικές του ιδιότητες, το οδόστρωμα αυτό έχει πολύ καλή απορρόφηση νερού. Έτσι, το νερό δε μένει στην επιφάνεια και κατά τη διέλευση του οχήματος δεν τινάσσεται νερό. Ακόμη, τα φώτα των οχημάτων δεν ανακλώνται στην επιφάνειά του όταν αυτή είναι υγρή, τα ελαστικά του οχήματος παρουσιάζουν πολύ καλή πρόσφυση με το οδόστρωμα με αποτέλεσμα να αποφεύγεται το πολύ επικίνδυνο φαινόμενο της υδρολίσθησης και, τέλος, παρουσιάζει πολύ καλή αντίσταση σε παραμόρφωση διατηρώντας την επιφάνειά του ομαλή.
- **Ποροελαστικό ασφαλτικό σκυρόδεμα:** το υλικό αυτό παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή διατηρώντας τη σταθερότητά του. Επίσης διατηρεί τις μηχανικές του ιδιότητες ακέραιες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε γενικές γραμμές, είναι λιγότερο ηχοαπορροφητικό από τις ασφάλτους αλλά επιλέγεται λόγω της αντοχής του στο χρόνο.

- Colas Nanosoft: ένα από τα καλύτερα ηχοαπορροφητικά οδοστρώματα. Κατασκευάζεται στη Γαλλία κι οι δυνατότητές του έχουν διαπιστωθεί από πειραματικά δεδομένα. Εμφανίζει εξαιρετική μηχανική συμπεριφορά, μεγαλύτερη πρόσφυση, αντίσταση κι αισθητική. Η αδύναμη κοκκοποίησή του μετριάξει ιδιαίτερα το θόρυβο ελαστικού-οδοστρώματος ενώ το “δίκτυο” μικροκενών του παγιδεύει μεγάλο μέρος των θορύβων. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι ένα στρώμα Nanosoft πάχους 25mm παρέχει 8 φορές περισσότερη “ησυχία” από ένα παραδοσιακό οδόστρωμα (ιδανικό πάχος 25-40mm). Μετρήσεις που έγιναν σε μια συγκεκριμένη οδό πριν και μετά την τοποθέτηση Nanosoft σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C και ταχύτητα 90 km/h έδειξαν διαφορά της τάξης των 9 dB(A) περίπου (69,4 αντί 78,6). Τέλος, όσον αφορά την πρόσφυση σε συγκριτικές μετρήσεις με ένα άλλο οδόστρωμα προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

	40 km/h	60 km/h	90 km/h
Nanosoft 0/4 BBTM	0,68	0,62	0,57
BBTM 0/10 Temoin	0,65	0,5	0,39
Βελτίωση πρόσφυσης	5%	24%	46%

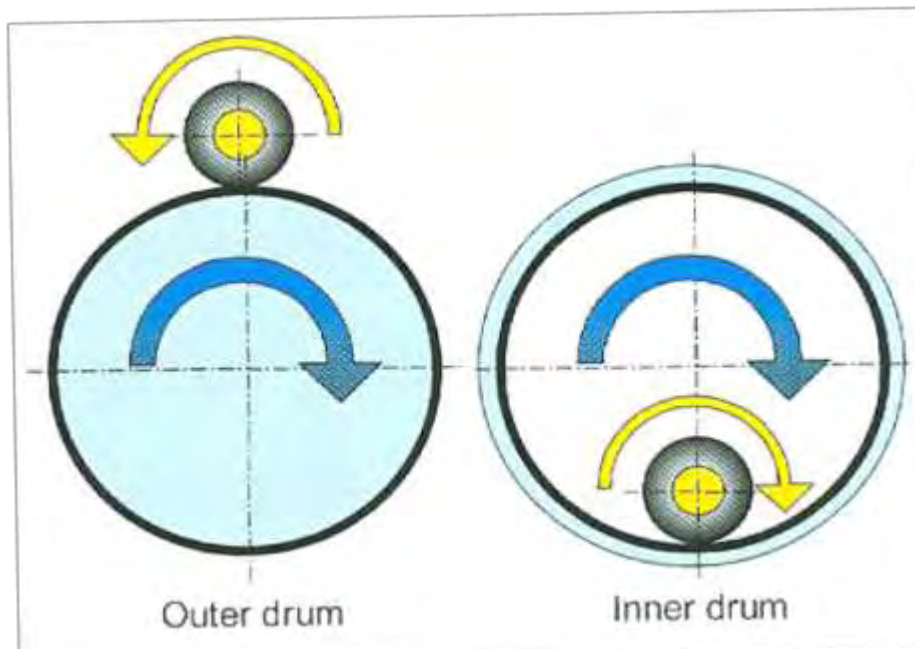
### 3.6. Μέθοδοι κατάταξης ελαστικών ως προς τη συμβολή τους στην εκπομπή θορύβου

Όπως προαναφέρθηκε, ο ήχος που φτάνει στο ανθρώπινο αυτί εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επαφή ελαστικού-οδοστρώματος, καθώς αυτός είναι κι ο βασικός παράγοντας παραγωγής θορύβου. Για να γίνει λοιπόν κατάταξη των ελαστικών ως προς τη συμβολή τους στη εκπομπή θορύβου, έχουν αναπτυχθεί πέντε μέθοδοι:

- 1) Μέθοδος Coast-By: η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται επίσης και για την κατάταξη των οδοστρωμάτων ως προς τη συμβολή τους στην εκπομπή θορύβου. Κατά τη μέθοδο αυτή το όχημα των μετρήσεων εξοπλισμένο με διαφορετικά ελαστικά συγκεκριμένων προδιαγραφών ανά μέτρηση κινείται μπροστά από ένα μικρόφωνο τοποθετημένο στην άκρη του δρόμου με τη μηχανή του οχήματος να είναι σβησμένη. Μόλις το όχημα περνά μπροστά από το μικρόφωνο καταγράφεται η μέγιστη στάθμη θορύβου σε dB(A). Συνηθίζεται επίσης να γίνεται και καταγραφή του φάσματος συχνότητας τη στιγμή του μέγιστου θορύβου στάθμης dB(A).
- 2) Μέθοδος Close-Proximity (αλλιώς και μέθοδος Trailer): χρησιμοποιείται κι αυτή εξίσου για την κατάταξη οδοστρωμάτων. Στη μέθοδο αυτή ένα τρέιλερ

εξοπλισμένο με διαφορετικά ελαστικά συγκεκριμένων προδιαγραφών ανά μέτρηση ρυμουλκείται από ένα άλλο όχημα. Κοντά στα ελαστικά του οχήματος τοποθετούνται ένα ή περισσότερα μικρόφωνα. Πολλές φορές τοποθετείται κι ένα περίφραγμα γύρω από το μικρόφωνο και το ελαστικό για να τα προστατέψει από τον αέρα κι από τον υπόλοιπο κυκλοφοριακό θόρυβο. Η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο ευαίσθητη στον υπόλοιπο κυκλοφοριακό θόρυβο.

- 3) Εργαστηριακή μέθοδος τυμπάνου (Drum): σε αυτή τη μέθοδο γίνεται χρήση ενός εξοπλισμού τυμπάνου (διαμέτρων 1,5-2,5 μέτρων). Ένα δοκιμαστικό ελαστικό τοποθετείται έτσι ώστε να μπορεί να κυλίσει στο τύμπανο κι ένα ή περισσότερα μικρόφωνα τοποθετούνται κοντά στο ελαστικό, σε αποστάσεις παρόμοιες αυτών της μεθόδου Close Proximity. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ακουστικό περιβάλλον το οποίο πρέπει να είναι πλήρως αθόρυβο. Για να είναι η μέθοδος αποτελεσματική πρέπει η επιφάνεια του τυμπάνου να έχει επένδυση προσομοιωμένη σε πραγματική άσφαλτο. Αυτό επιτυγχάνεται φτιάχνοντας ένα καλούπι με αυτό το υλικό και τοποθετώντας το γύρω από το τύμπανο. Αν όλες οι επιφάνειες του τυμπάνου είναι κατασκευασμένες από την ίδια πηγή, τότε παρέχουν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις μετρήσεις που γίνονται σε εξωτερικό περιβάλλον, καθώς μπορεί τα οδοστρώματα να διαφέρουν ακόμα κι αν έχουν κατασκευαστεί με τα ίδια standard. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ δημοφιλής σε μελέτες ανάπτυξης βελτιωμένων ελαστικών.



Μέθοδος τυμπάνου: κύλιση του τροχού στην εξωτερική κι εσωτερική περίμετρο του τυμπάνου

- 4) Μέθοδος Trailer Coast-By: αποτελεί συνδυασμό των μεθόδων Close Proximity και Coast-By. Ένα τρέιλερ ρυμουλκείται από ένα όχημα κατά μήκος της διαδρομής ελέγχου και τα μικρόφωνα τοποθετούνται όπως στη μέθοδο Coast-By. Ωστόσο ο θόρυβος που καταγράφεται δεν είναι το μέγιστο επίπεδο θορύβου που παράγεται από το όχημα αλλά ο μέγιστος θόρυβος που παράγεται από το τρέιλερ. Επομένως λοιπόν, τα επίπεδα θορύβου από το ρυμουλκικό και το ρυμουλκούμενο πρέπει να είναι διαχωρισμένα. Το πρόβλημα διαχωρισμού του θορύβου των δύο οχημάτων μπορεί να παρακαμφθεί αν η ράβδος που συνδέει το ρυμουλκικό με το ρυμουλκούμενο όχημα έχει μεγάλο μήκος και το ρυμουλκικό είναι εφοδιασμένο με τα πιο αθόρυβα ελαστικά και με προπετάσματα που περιβάλλουν τα ελαστικά αυτά. Μπορεί, τέλος, να χρειαστεί να γίνει ξεχωριστή μέτρηση θορύβου για το ρυμουλκικό όχημα και να ακολουθήσει διόρθωση των μετρήσεων θορύβου του τρέιλερ. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται με το ISO/DIS 13325.



Μέθοδος Trailer Coast-By

- 5) Μέθοδος Acceleration Pass-By (ISO362): η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του θορύβου κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης ενός οχήματος. Οι λόγοι που γίνεται αυτό είναι οι εξής:
- η μέθοδος Coast-By αναπτύχθηκε κάνοντας χρήση της Acceleration Pass-By ως μοντέλου

- ο θόρυβος επαφής ελαστικού-οδοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί μόνο κάνοντας χρήση της μεθόδου αυτής

Κατά τη μέθοδο αυτή το όχημα δοκιμής πλησιάζει με σταθερή ταχύτητα μία ευθεία ΑΑ' κάθετη στη λωρίδα κυκλοφορίας η οποία βρίσκεται 10 μέτρα πριν το σημείο όπου είναι τοποθετημένα τα μικρόφωνα (2 μικρόφωνα δεξιά κι αριστερά της λωρίδας κυκλοφορίας και σε απόσταση 7,5 μέτρων από αυτήν). Μόλις το όχημα φτάσει στην ευθεία ΑΑ', επιταχύνει με απεριόριστη χρήση γκαζιού μέχρι την ευθεία ΒΒ' που βρίσκεται 10 μέτρα μετά τα μικρόφωνα, όπου και το γκάζι αφήνεται. Η αρχική συνεχής ταχύτητα είναι 50 km/h για τα αυτοκίνητα και 15-50 km/h για τα βαρέα οχήματα. Τελικά καταγράφεται η μέγιστη στάθμη θορύβου στα δύο μικρόφωνα κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης και μετά από επαναληπτικές δοκιμές και μετά από κάποια επεξεργασία προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα. Βάσει του ISO362, ο θόρυβος προκαλείται από το θόρυβο της μηχανής, ο οποίος είναι κι εντονότερος λόγω της επιτάχυνσης και από την επαφή ελαστικού-οδοστρώματος (από την έντονη περιστροφική δύναμη του ελαστικού προκαλείται ολίσθησή του)

### 3.7. Συνεισφορά διαφόρων τύπων ελαστικών στη μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου – παράδειγμα εφαρμογής στη Δανία

Κατά την τελευταία δεκαετία το τμήμα έρευνας κι ανάπτυξης της οδικής διεύθυνσης της Δανίας έχει πραγματοποιήσει βελτιώσεις όσον αφορά τη μείωση θορύβου για διάφορους τύπους οδοστρώματος, ενώ ακόμα έχει συμβάλλει στην εφεύρεση ενός συστήματος ταξινόμησης (SRS system) όπου μετράται η μείωση του θορύβου των νέων οδοστρωμάτων και στη συνέχεια αυτά ταξινομούνται.

Η μείωση του θορύβου των οδοστρωμάτων μπορεί να μετρηθεί σύμφωνα με τη μέθοδο SPB (ISO 11819-1). Η μέθοδος αυτή παρέχει την εκπομπή θορύβου από το οδόστρωμα για τα οχήματα που χρησιμοποιούν γενικά ελαστικά (>100 μετρήσεις διέλευσης).

Το 2012 η διεύθυνση οδικών υποδομών της Δανίας δημιουργεί το υπόβαθρο για ένα νέο σχέδιο επισήμανσης των ελαστικών όσον αφορά την πρόσφυσή τους σε βρεμένο έδαφος, τη συμβολή τους στην απόδοση των καυσίμων αλλά και το θόρυβο κύλισής τους μετά την είσοδό τους στην αγορά της Ευρώπης.

Η συγκεκριμένη έρευνα ασχολείται με την εκπομπή θορύβου από τα νέα αυτά ελαστικά στα οδοστρώματα της Δανίας και πώς τα επίπεδα εκπεμπόμενου θορύβου αλλάζουν κατά τη διάρκεια ζωής των συγκεκριμένων ελαστικών.

Έτσι καθορίστηκε ένα τετραετές πρόγραμμα παρακολούθησης, όπου τέσσερις ομάδες διαφορετικών ελαστικών C1 τοποθετήθηκαν σε επιβατικά αυτοκίνητα. Η εκπομπή του θορύβου από τα αυτοκίνητα μετράται σε ετήσια βάση σύμφωνα με την Controlled Pass-By Method.

Οι μετρήσεις διεξάγονται σε τρεις διαφορετικούς τύπους οδοστρωμάτων, τρία νέα (1 έτους) και τρία παλιότερα (περίπου 7 έτη). Όλα τα ελαστικά δοκιμής είναι θερινά ελαστικά κι ως εκ τούτου τοποθετούνται στα αυτοκίνητα κατά τη θερινή περίοδο.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης αποτελείται από:

- 1) Μετρήσεις θορύβου
- 2) Διανυθέντα χιλιόμετρα
- 3) Shore-A σκληρότητα
- 4) Βάθος πέλματος του ελαστικού

Όλες οι μετρήσεις προγραμματίστηκε να πραγματοποιηθούν στις αρχές κάθε καλοκαιριού εκτός από την τελευταία σειρά των μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν στο τέλος του τελευταίου καλοκαιριού.

Στο τέλος της ζωής των ελαστικών, θα διεξαχθεί μέτρηση σε όλα τα οδοστρώματα (και στα έξι) με τη μέθοδο CPX τόσο με τα εμπρός όσο και με τα πίσω ελαστικά αλλά και με χρησιμοποιούμενα ελαστικά αναφοράς.

Τα ελαστικά επιλέχθηκαν μετά από μια μικρή έρευνα. Είναι μερικά από τα πιο κοινά ελαστικά τόσο για τα νέα αυτοκίνητα όσο και στη δευτερογενή αγορά και θεωρούνται ότι συμβάλλουν στη μείωση του θορύβου.

Οι τέσσερις διαφορετικές μάρκες ελαστικών είναι οι εξής:

- 1) Michelin Energy Saver
- 2) Bridgestone Ecopia EP 150
- 3) Continental ContipremiumContact2E
- 4) Hankook Kinergy eco k425

Όλα τα ελαστικά αγοράστηκαν στη διάσταση 205/55/R16, εκτός από το ελαστικό Continental, η διάσταση του οποίου ήταν 195/65/R15, λόγω διαφορετικού τύπου αυτοκινήτων.

Τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από το προσωπικό της Οδικής Διεύθυνσης της Δανίας. Τα συγκεκριμένα αυτοκίνητα είναι από τον ίδιο κατασκευαστή αλλά δεν είναι το ίδιο μοντέλο. Αναμένεται να διανύσουν 8000 χιλιόμετρα με τα επιλεγμένα ελαστικά ανά εποχή. Στο τέλος της θερινής περιόδου στα αυτοκίνητα θα πρέπει να τοποθετηθούν χειμερινά ελαστικά. Τα ελαστικά δοκιμής κατά τη θερινή περίοδο θα μείνουν αποθηκευμένα στον έμπορο, όπως γίνεται και με τα υπόλοιπα ελαστικά.

Το ένα πέμπτο των ελαστικών για κάθε ένα από τα τέσσερα εμπορικά σήματα, είναι ελαστικά που θα χρησιμοποιηθούν σαν ελαστικά αναφοράς, έτσι ώστε να μπορούν να διεξαχθούν συγκρίσεις στο τέλος της ζωής των παραπάνω ελαστικών.

### Οδοστρώματα

Το κύριο μέρος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η απόκτηση γνώσεων σχετικά με το πώς νέα ελαστικά μπορούν να πετύχουν μείωση του θορύβου σε λεπτού πάχους οδοστρώματα.

Επιλέχθηκαν έξι διαφορετικά οδοστρώματα, διαφορετικής ηλικίας και δύο οδοστρώματα αναφοράς.

- Νέα οδοστρώματα (< 1 χρόνου) (80 km/h)
  - Asphalt Concrete 6 mm open graded (AC6o)
  - Stone Mastic Asphalt 6+11 mm (SMA6+11) Reference (οδόστρωμα αναφοράς)
  - Asphalt Concrete 11 mm dense graded (AC11d)
  
- Οδοστρώματα ηλικίας περίπου 7 ετών (60km/h)
  - Asphalt Concrete 6 mm open graded (AC6o)
  - Stone Mastic Asphalt 6+8 mm (SMA6+8)
  - Asphalt Concrete 11 mm dense graded (AC11d) Reference (οδόστρωμα αναφοράς)

Τα οδοστρώματα ομαδοποιούνται σε τρία ζεύγη, όπου τουλάχιστον κάθε ζευγάρι έχει τα ίδια χαρακτηριστικά εκτός από την ηλικία. Τα οδοστρώματα είναι μέρος της εν εξελίξει έρευνας κι ως εκ τούτου διάφορες μετρήσεις θορύβου διεξήχθησαν σε όλα τα οδοστρώματα κάθε χρόνο.

### Πρόγραμμα μέτρησης

Το πρόγραμμα παρακολούθησης αποτελείται από ετήσιες μετρήσεις και μηνιαίες επιθεωρήσεις των ελαστικών. Τα ελαστικά κάθε μήνα επιθεωρούνται οπτικά, ενώ γίνεται και έλεγχος της πίεσης του αέρα. Αυτό γίνεται για να βεβαιωθεί ότι τα ελαστικά φοριούνται ομοιόμορφα έτσι ώστε να φθείρονται κι ομοιόμορφα κι επίσης δεν προκαλείται κάποια διαρροή του αέρα εξαιτίας τυχόν οπών.

Στην αρχή κάθε σεζόν, όταν τα ελαστικά είναι τοποθετημένα επί των αυτοκινήτων, γίνεται μία Shore H μέτρηση για να καθοριστεί η σκληρότητα των ελαστικών, καθώς επίσης μετράται και το βάθος του πέλματος. Η κύρια παρακολούθηση των ελαστικών γίνεται με τη μέθοδο Controlled Pass-By (προσαρμοσμένη από το ISO 11819-1).

Οι οδηγοί των αυτοκινήτων είναι επιφορτισμένοι να οδηγούν από τον εξοπλισμό μέτρησης με ταχύτητες 40 – 50 – 60 – 70 – 80 km/h, τουλάχιστον μία φορά για κάθε ταχύτητα. Στη συνέχεια οι μετρήσεις αναλύονται και τα αποτελέσματα στις ταχύτητες αναφοράς (60 και 80 km/h) προκύπτουν με τη μέθοδο της παλινδρόμησης.

Αυτή η μέτρηση γίνεται περίπου ένα μήνα μετά την τοποθέτηση των ελαστικών. Τα αποτελέσματα από τις ετήσιες μετρήσεις με τη μέθοδο CPB συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της μεθόδου SPB από τις μετρήσεις των οδοστρωμάτων για να διαπιστωθεί αν τα επιλεγμένα ελαστικά συντελούν περισσότερο στη μείωση του θορύβου σε σχέση με το μέσο όρο των ελαστικών των αυτοκινήτων.

Επιπλέον στο τέλος της κάθε σεζόν όταν τα ελαστικά αντικαθίστανται από τα χειμερινά ελαστικά κι αποθηκεύονται στον αντιπρόσωπο καταγράφονται και τα χιλιόμετρα που έχουν διανύσει.

#### Μετρήσεις στο τέλος ζωής των ελαστικών

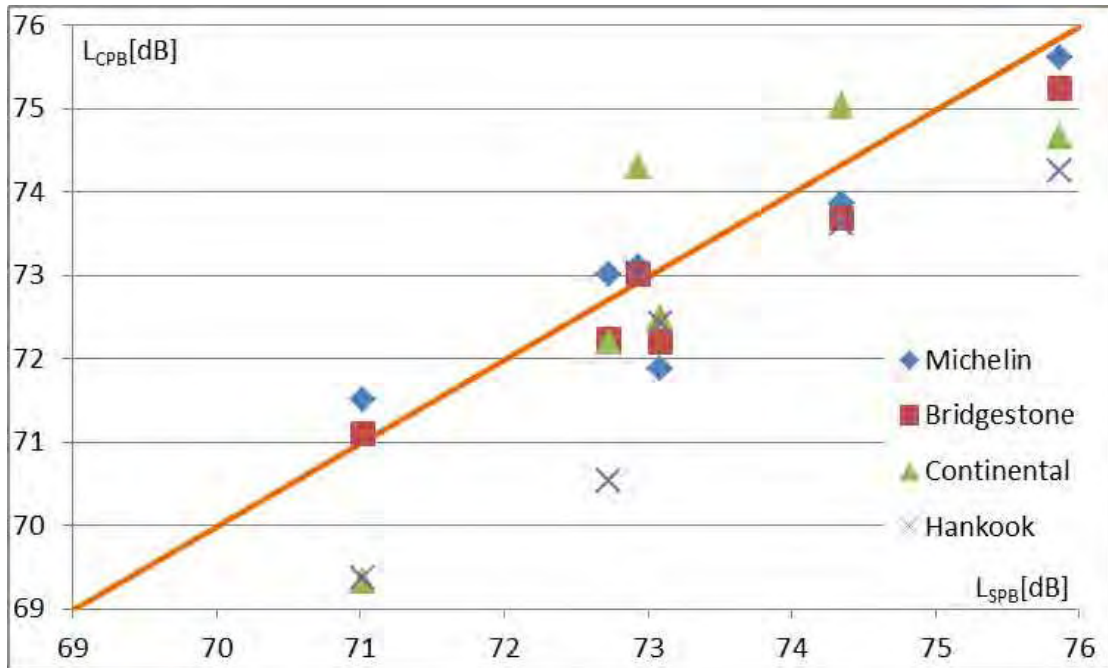
Στο τέλος του 2014 όταν πραγματοποιηθεί η τελευταία μέτρηση με τη μέθοδο CPB θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις με τη μέθοδο CPX και στα έξι οδοστρώματα με τη χρήση τόσο των εμπρός όσο και των πίσω ελαστικών καθώς και με τα αχρησιμοποίητα ελαστικά αναφοράς. Οι μετρήσεις αυτές θα δείξουν κατά πόσο η εκπομπή θορύβου αλλάζει όταν αυτά φοριούνται.

#### Έτος 0

Είναι γνωστό ότι η μείωση του θορύβου στα οδοστρώματα μειώνεται με την πάροδο των ετών, οπότε η σύγκριση μεταξύ οδοστρωμάτων δεν έχει κανένα ενδιαφέρον μέχρι να πραγματοποιηθούν περισσότερες ετήσιες μετρήσεις. Ο μέσος όρος των διανυθέντων χιλιομέτρων στην αρχή της σειράς των μετρήσεων με τη μέθοδο CPB ήταν περίπου 1200 χιλιόμετρα.

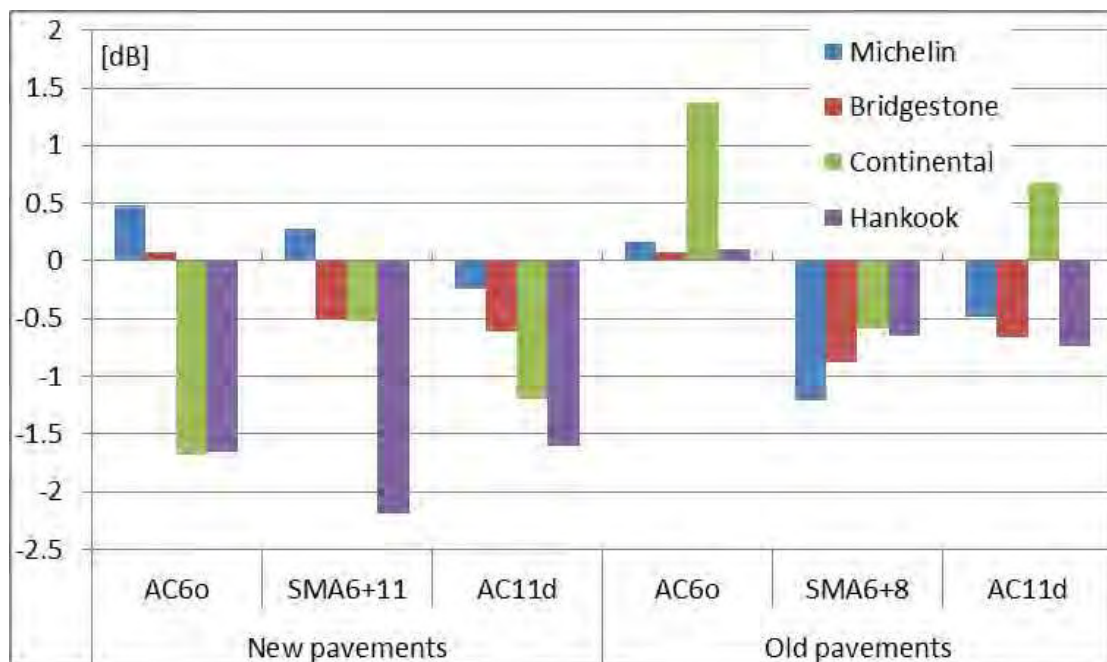
Η σχέση ανάμεσα στα μετρηθέντα επίπεδα θορύβου με τη μέθοδο CPB για τα επιλεγμένα ελαστικά κι εκείνα με τη μέθοδο SPB για το μέσο όρο ελαστικών των αυτοκινήτων παρουσιάζεται στο σχήμα.





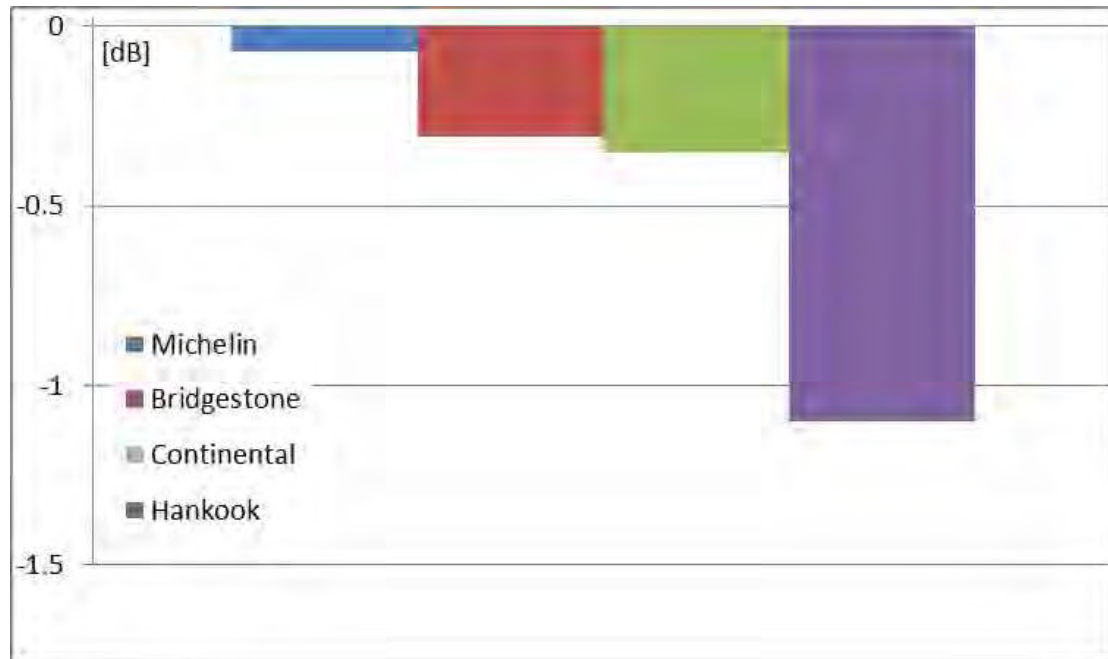
Στο συγκεκριμένο σχήμα η ταχύτητα αναφοράς για τη μέθοδο CPB είναι ίδια με εκείνη για τις μετρήσεις με τη μέθοδο SPB (80 km/h για τα καινούργια οδοστρώματα και 60 km/h για τα πιο παλιά σε ηλικία). Η ευθεία δείχνει μια σχέση 1/1. Το σχήμα δείχνει ότι σε γενικές γραμμές τα ελαστικά Hankook είναι συνολικά τα ελαστικά με τη μικρότερη εκπομπή θορύβου.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται τα επίπεδα θορύβου για τα διάφορα νέα και παλιά οδοστρώματα σε σχέση με τη μέτρηση με τη μέθοδο SPB.



Σύμφωνα με το σχήμα τα επίπεδα θορύβου που προέκυψαν από τη μέθοδο CPB για τα νέα ελαστικά δοκιμών είναι παρόμοια ή χαμηλότερα από τα επίπεδα θορύβου της μεθόδου SPB για το μέσο αυτοκίνητο διέλευσης εκτός από το παλιό οδόστρωμα AC60.

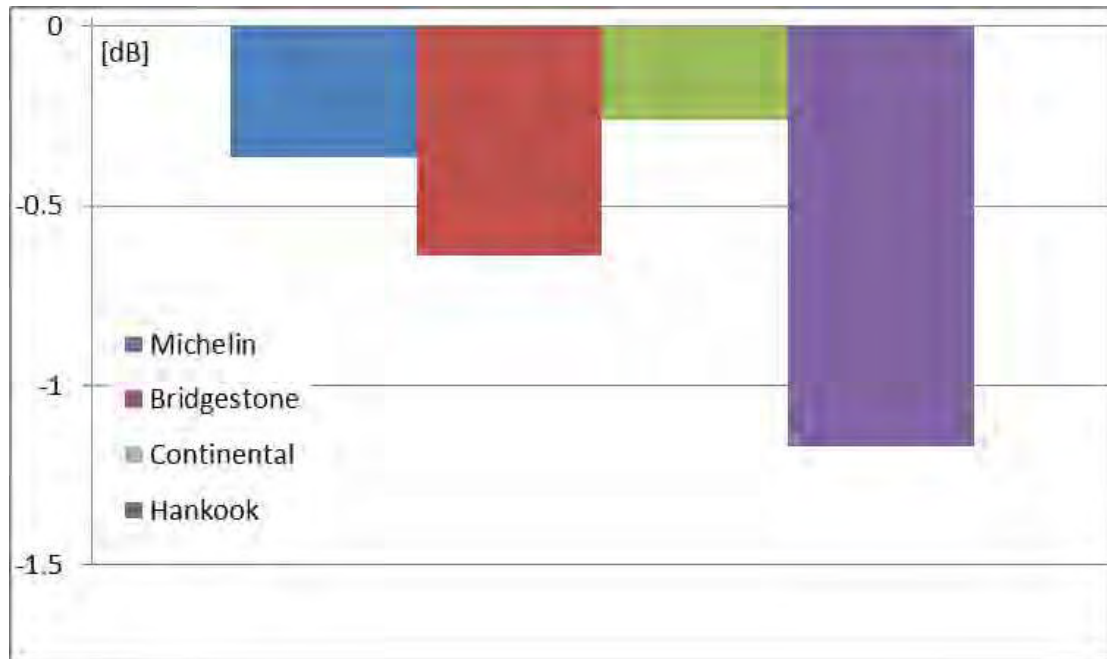
Το σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει το μέσο επίπεδο θορύβου για κάθε δοκιμαζόμενο ελαστικό σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη μέθοδο SPB σε όλα τα οδοστρώματα μειωμένου θορύβου ανεξάρτητα από την ηλικία του οδοστρώματος και την ταχύτητα.



Είναι εμφανές ότι και τα τέσσερα είδη ελαστικών δίνουν γενικά χαμηλότερο επίπεδο θορύβου σε σχέση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη μέθοδο SPB.

Μόνο το ελαστικό Hankook δίνει μια σημαντική μείωση του θορύβου άνω του 1 dB.

Οι ιδιότητες του θορύβου των ελαστικών δοκιμής σε σύγκριση με το μέσο επίπεδο θορύβου για τα αυτοκίνητα (SPB), σε ένα οδόστρωμα αναφοράς (AC11d) παρουσιάζεται στο σχήμα:



Είναι εμφανές ότι τα ελαστικά Hankook είναι τα λιγότερο θορυβώδη και στα οδοστρώματα αναφοράς.

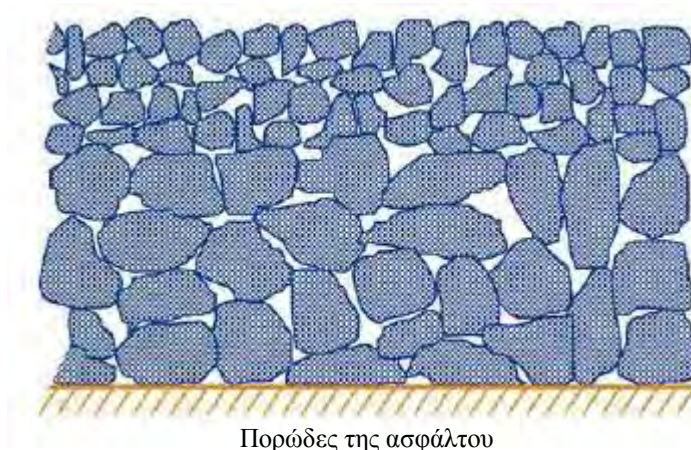
Σε γενικές γραμμές τα τέσσερα ελαστικά δοκιμής φαίνεται να οδηγούν σε χαμηλότερα επίπεδα θορύβου όταν είναι νέα. Αυτό ισχύει για λεπτά οδοστρώματα μείωσης θορύβου καθώς και για οδοστρώματα με πυκνό σκυρόδεμα οδοστρώματος.

Η μέση μείωση του θορύβου είναι ωστόσο, μόνο περίπου 0,5 dB από τα τρία ελαστικά δοκιμής, ενώ το τέταρτο δίνει μία μείωση θορύβου λίγο παραπάνω από 1 dB.

Οι ετήσιες μετρήσεις που θα διεξαχθούν στο μέλλον είναι φυσικό ότι θα προσθέσουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το πώς αλλάζει ο θόρυβος από τα ελαστικά όταν αυτά φοριούνται περισσότερο.

## 4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η ηχοαπορροφητικότητα  $\Omega$  μιας πορώδους οδικής επιφάνειας επηρεάζεται από το πάχος του πορώδους οδοστρώματος, τον όγκο κενών του και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα κενά αυτά. Για τα περισσότερα πυκνά ασφαλτικά μίγματα με όγκο κενών μεταξύ 4% και 8% ο συντελεστής ηχοαπορροφητικότητας κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,2 και για πιο αραιά ασφαλτικά μίγματα με όγκο κενών ίσο με 15% ο συντελεστής ποικίλλει από 0,4 έως 0,7 ανάλογα και με τη συχνότητα του θορύβου. Ο συντελεστής ηχοαπορροφητικότητας εξαρτάται επίσης από τη σύνδεση των κενών. Όσο πιο εύκολα συνδέονται τα κενά, δηλαδή όσο πιο διαπερατό από αέρα και νερό είναι το οδόστρωμα, τόσο αυξάνεται ο συντελεστής αυτός.



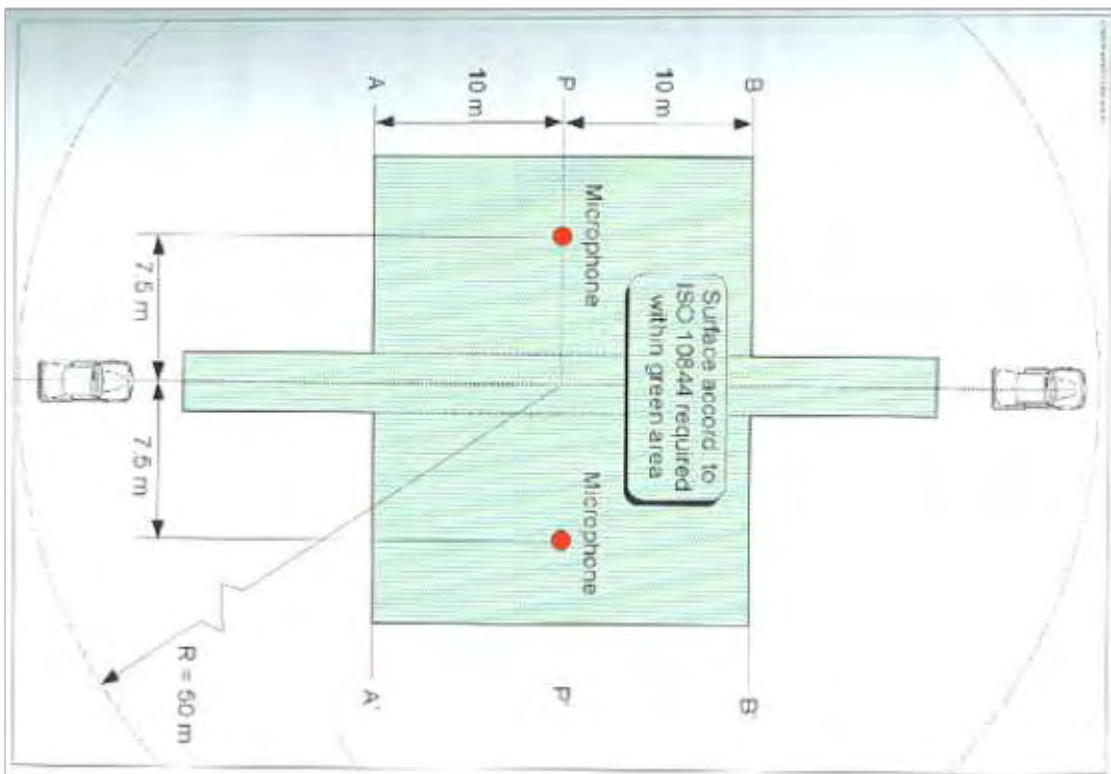
Για τη σύγκριση οδοστρωμάτων και τη συμβολή τους στη διάδοση του θορύβου έχουν αναπτυχθεί τέσσερις μέθοδοι. Οι μέθοδοι αυτές είναι οι εξής:

- 1) Μέθοδος Coast-By
- 2) Μέθοδος Controlled Pass-By
- 3) Μέθοδος Statistical Pass-By
- 4) Μέθοδος Close-Proximity
- 5) Καταγραφές In Situ
- 6) Καταγραφές με το σύστημα Trailer

#### 4.1. Μέθοδος Coast-By (CB)

Κατά τη μέθοδο Coast-By το όχημα των μετρήσεων εξοπλισμένο με ελαστικά καθορισμένων προδιαγραφών κινείται μπροστά από ένα μικρόφωνο τοποθετημένο στην άκρη του δρόμου με τη μηχανή του οχήματος να είναι σβησμένη και το συμπλέκτη χωρίς ταχύτητα. Το μικρόφωνο τοποθετείται σε απόσταση 7,5 ή 15 μέτρων από το κέντρο της λωρίδας κίνησης των οχημάτων. Μόλις το όχημα περνά μπροστά από το μικρόφωνο καταγράφεται η μέγιστη στάθμη θορύβου σε dB(A), συνήθως με τη σταθερά χρόνου F (F=Fast). Συνηθίζεται επίσης να γίνεται και καταγραφή του φάσματος συχνότητας (κυρίως σε συχνότητες ενός τρίτου οκτάβας) τη στιγμή του μέγιστου θορύβου στάθμης dB(A). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση των ειδών οδοστρωμάτων, εφαρμόζεται όμως κυρίως για τη μέτρηση της συμβολής των ελαστικών στην παραγωγή θορύβου.

Όπως φαίνεται κι από το παρακάτω σχήμα, από τη στιγμή που η μηχανή του οχήματος είναι σβηστή η κίνηση θα οφείλεται μόνο στις δυνάμεις αδράνειας κι ο θόρυβος που θα προκαλεί θα οφείλεται μόνο στην επαφή ελαστικού – οδοστρώματος. Κατά τα 20 ή περισσότερα μέτρα της ελεγχόμενης διαδρομής η ταχύτητα του οχήματος θα μειωθεί ελαφρώς. Συγκεκριμένα, σε μία τελείως οριζόντια επιφάνεια η ταχύτητα από την ευθεία AA' ως την ευθεία BB' θα ελαττωθεί κατά 1 km/h περίπου. Αυτή όμως η μείωση θεωρείται αμελητέα, οπότε λαμβάνεται ως ταχύτητα ελέγχου είτε η μέση ταχύτητα του οχήματος είτε η ταχύτητα τη στιγμή που η στάθμη θορύβου λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της.



Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι ιδιαίτερα απλή, χωρίς να απαιτούνται οχήματα συγκεκριμένων προδιαγραφών ή πολύ εξειδικευμένος εξοπλισμός μετρήσεων. Αντίθετα, το μειονέκτημά της είναι ότι επηρεάζεται από το είδος και την κατάσταση των οχημάτων για αυτό και πρέπει να τίθενται ορισμένοι περιορισμοί όσον αφορά τους παράγοντες αυτούς.



Εξοπλισμός μετρήσεων κι η διάταξή του στη μέθοδο Coast-By

#### 4.2. Μέθοδος Controlled Pass-By

Η διάταξη του εξοπλισμού των μετρήσεων είναι παρόμοια με αυτή της μεθόδου Coast-By με τη διαφορά ότι το όχημα διέρχεται από το μικρόφωνο με σταθερή ταχύτητα και τη μηχανή του σε λειτουργία και υπό συνθήκες κανονικές για την ταχύτητα αυτή. Γενικά στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα είδη οχημάτων (κυρίως αυτοκίνητα), το καθένα εξοπλισμένο με διαφορετικά ελαστικά. Διαθέσιμο είναι μόνο ένα εθνικό γαλλικό standard για τη μέθοδο CPB στο οποίο γίνεται αναφορά για χρήση δύο αυτοκινήτων και τεσσάρων διαφορετικών σετ ελαστικών.

Από τη στιγμή που είναι γνωστές η ταχύτητα κι οι ιδιότητες (κυρίως τα είδη των ελαστικών) των οχημάτων και μπορούν να σταθεροποιηθούν και να ελεγχθούν, η σύγκριση των οδοστρωμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με σχετικά λίγες δοκιμές ανά όχημα.

### 4.3. Μέθοδος Statistical Pass-By

Η μέθοδος Statistical Pass-By χρησιμοποιείται για δύο σκοπούς. Αρχικά κατηγοριοποιεί τις επιφάνειες οδοστρώματος που βρίσκονται σε καλή κατάσταση ώστε να προσδιοριστεί η συμβολή τους στο θόρυβο. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει την επιρροή του θορύβου σε διαφορετικές επιφάνειες ανεξαρτήτως κατάστασης κι ηλικίας του οδοστρώματος (π.χ. μετρήσεις “πριν” και “μετά” όταν σε μία οδό πρόκειται να γίνει αλλαγή οδοστρώματος).

Στη μέθοδο αυτή η διάταξη των οργάνων μέτρησης είναι παρόμοια με αυτήν της μεθόδου Coast-By. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι τα υπό μελέτη οχήματα διέρχονται με σταθερή ή σχεδόν σταθερή ταχύτητα με τη μηχανή τους σε λειτουργία και υπό συνθήκες κανονικές για την ταχύτητα αυτή. Η μέθοδος αυτή δε βασίζεται σε ένα μόνο όχημα, αλλά κάνει χρήση όλων των οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία και διέρχονται από την περιοχή που διεξάγονται οι μετρήσεις. Για το λόγο αυτό δεν γίνεται έλεγχος στην ταχύτητα των οχημάτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (με σημαντικότερο το είδος των ελαστικών) δεν είναι διαθέσιμα. Τα οχήματα κατηγοριοποιούνται με βάση το μέγεθός τους σε:

- a) Επιβατικά αυτοκίνητα
- b) Βαρέα οχήματα δύο αξόνων
- c) Βαρέα οχήματα περισσότερων από δύο αξόνων

Οι περιοχές που διεξάγονται οι μετρήσεις χωρίζονται, ανάλογα με την επιτρεπόμενη ταχύτητα, σε:

- a) Χαμηλών ταχυτήτων: αστικές οδοί με όριο ταχύτητας 40 – 60 km/h
- b) Μεσαίων ταχυτήτων: περιαστικές οδοί ή δρόμοι του εθνικού οδικού δικτύου με όριο ταχύτητας 70 – 90 km/h
- c) Μεγάλων ταχυτήτων: εθνικές οδοί με όριο ταχύτητας 100 – 130 km/h

Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι στις μετρήσεις λαμβάνονται υπ’ όψιν μεμονωμένα οχήματα. Αυτό σημαίνει ότι όταν ένα όχημα διέρχεται από τα μικρόφωνα ο θόρυβος που εκπέμπει δεν πρέπει να επηρεάζεται από την ύπαρξη άλλων οχημάτων. Αν μετρηθούν ο θόρυβος κι η ταχύτητα ενός επαρκούς δείγματος οχημάτων συγκεκριμένης κατηγορίας, τότε μπορεί να θεωρηθεί ένα μέσο επίπεδο θορύβου αντιπροσωπευτικό της συγκεκριμένης επιφάνειας οδοστρώματος, της συγκεκριμένης ταχύτητας και του συγκεκριμένου είδους οχημάτων.

Η διάταξη των οργάνων μετρήσεων, όπως προαναφέρθηκε, είναι απλή και χωρίς απαιτήσεις ιδιαίτερα εξειδικευμένου εξοπλισμού. Απαιτείται λοιπόν ένα ηχόμετρο συνηθισμένων προδιαγραφών εφοδιασμένο με οθόνη, το είδος της οποίας

καθορίζεται από τον κατασκευαστή κι η οποία δεν επηρεάζει την απόδοση του ηχομέτρου. Είναι ακόμη χρήσιμο, χωρίς όμως να είναι υποχρεωτικό, ένα όργανο μέτρησης κι ανάλυσης των συχνοτήτων του θορύβου. Πρέπει να είναι γνωστή η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της μέτρησης (με απλή χρήση θερμομέτρου, επιτρεπτό σφάλμα 1 °C) όπως κι η ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων (το όργανο που μετρά την ταχύτητα απαγορεύεται να τοποθετηθεί επάνω στην επιφάνεια της οδού, επιτρεπτό σφάλμα 3%). Τέλος, κατά τη διάρκεια αλλά και στο τέλος των μετρήσεων επιβάλλεται να γίνεται έλεγχος λόγω της ευαισθησίας του ηχομέτρου και για το κατά πόσο οι μετρήσεις έχουν γίνει σωστά. Αν υπάρχει απόκλιση της τάξης του 0,5 dB(A) στις ίδιες μετρήσεις, τότε το συνολικό αποτέλεσμα θεωρείται λανθασμένο κι οι μετρήσεις ακυρώνονται.

Για την επιλογή των σημείων όπου θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις πρέπει:

- Εκατέρωθεν του μικροφώνου το τμήμα της οδού θα πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον 30 μέτρα. Για τις οδούς μεγάλων ταχυτήτων η απόσταση αυτή αυξάνεται σε 50 μέτρα.
- Η οδός θα πρέπει να είναι ομαλή και με κλίση μικρότερη του 1%.
- Τα διερχόμενα οχήματα θα πρέπει να είναι αρκετά ώστε η διάρκεια των μετρήσεων να είναι λογική.
- Η επιφάνεια της οδού θα πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση και ομογενής καθ' όλο το τμήμα που διεξάγονται οι μετρήσεις. Οδοστρώματα που εμφανίζουν πολλές ανωμαλίες, επιφανειακές ρωγμές ή περιέχουν αρμούς διαστολής δε θα πρέπει να θεωρούνται κατάλληλα για τη διεξαγωγή μετρήσεων.

Ιδιαίτερα μεγάλη σημασία έχει ο σχεδιασμός της επιφάνειας που παρεμβάλλεται μεταξύ της λωρίδας κυκλοφορίας των οχημάτων και του μικροφώνου. Αν οι απαιτήσεις αυτές δεν ικανοποιούνται, τότε η μετάβαση από τη σκληρή επιφάνεια του οδοστρώματος στη μαλακότερη παρόδια επιφάνεια αναμένεται να επηρεάσει το θόρυβο που καταλήγει στο μικρόφωνο. Επιβάλλεται λοιπόν σε τέτοιες περιπτώσεις να καλύπτονται οι μαλακές επιφάνειες από κάποιο σκληρό υλικό. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη Σουηδία.





Εξίσου σημαντική είναι επίσης η αποδέσμευση από τυχόν ακουστικές ανακλάσεις. Είναι σύνηθες φαινόμενο η ύπαρξη στηθαίων ασφαλείας, ηχοπετασμάτων ή απλών φραχτών κοντά στο κράσπεδο ή στη διαχωριστική νησίδα.

Όσον αφορά τη συλλογή και την επεξεργασία των μετρηθέντων δεδομένων, για κάθε κατηγορία οχημάτων κανονικοποιείται το επίπεδο θορύβου ως προς την επιτρεπόμενη ταχύτητα. Έπειτα τα επίπεδα θορύβου συσχετίζονται με το ποσοστό της κάθε κατηγορίας οχημάτων ως προς τη συνολική κυκλοφορία και τελικά προκύπτει το συνολικό επίπεδο θορύβου της οδού. Τα επίπεδα θορύβου μετατρέπονται σε ηχητική ενέργεια πριν προστεθούν. Το αποτέλεσμα είναι ένα μέσο επίπεδο θορύβου για ένα μείγμα οχημάτων που προκύπτει ανάλογα με την κατανομή του κάθε οχήματος. Η τιμή του αθροίσματος αυτού ονομάζεται SPBI (Statistical Pass-By Index) και προκύπτει από τον παρακάτω τύπο.

$$SPBI = 10 \lg [W_1 \times 10^{L_1/10} + W_{2a} (v_1/v_{2a}) \times 10^{L_{2a}/10} + W_{2b} (v_1/v_{2b}) \times 10^{L_{2b}/10}] \text{ dB}$$

όπου:

$L_1$ ,  $L_{2a}$  και  $L_{2b}$  είναι τα επίπεδα θορύβου των τριών κατηγοριών οχημάτων

$W_1$ ,  $W_{2a}$  και  $W_{2b}$  είναι οι συντελεστές βαρύτητας που προκύπτουν από το ποσοστό της κάθε κατηγορίας στη συνολική κυκλοφορία

$v_1$ ,  $v_{2a}$  και  $v_{2b}$  είναι οι ταχύτητες αναφοράς της κάθε κατηγορίας

Το βασικότερο πρόβλημα της μεθόδου αυτής είναι ότι βασίζεται σε μια κανονικοποιημένη κυκλοφορία οχημάτων. Η σύνθεση όμως της κυκλοφορίας δεν είναι κάτι σταθερό και συγκεκριμένο και μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με την τοποθεσία της οδού (π.χ. μια οδός κοντά σε τελωνείο, άρα μεγαλύτερο ποσοστό

βαρέων οχημάτων), την ημέρα (π.χ. σαββατοκύριακο) ή ακόμα και την ώρα (εργάσιμες – μη εργάσιμες ώρες). Ακόμη, σε αρκετές χώρες οι οδηγοί αλλάζουν τα ελαστικά των οχημάτων τους ανάλογα με την εποχή. Τέλος, είναι πιθανό τα ελαστικά που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο μία συγκεκριμένη περίοδο να μην υπάρχουν μερικά χρόνια αργότερα.

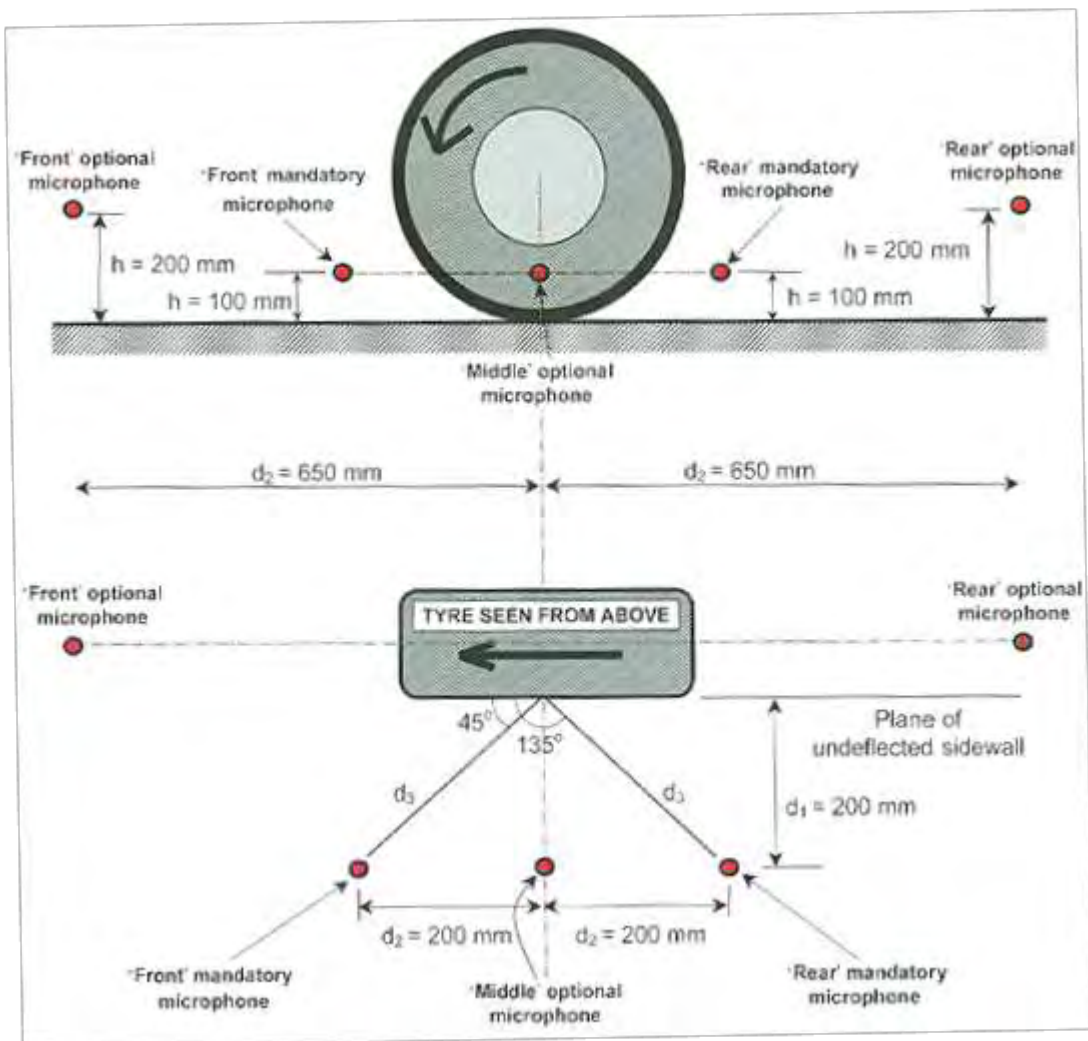
#### 4.4. Μέθοδος Close-Proximity

Ονομάζεται αλλιώς και μέθοδος Trailer. Ο λόγος είναι ότι στη μέθοδο αυτή ένα τρέιλερ με ελαστικά συγκεκριμένων προδιαγραφών ρυμουλκείται από ένα όχημα. Κοντά στα ελαστικά του οχήματος, συγκεκριμένα σε απόσταση 10 – 50 εκατοστών από αυτά, τοποθετούνται ένα ή περισσότερα μικρόφωνα. Το μέσο επίπεδο του θορύβου μετράται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συνήθως 4 – 60 δευτερόλεπτα. Στα περισσότερα τρέιλερ τοποθετείται ένα περίφραγμα γύρω από το μικρόφωνο και το ελαστικό για να τα προστατέψει από τον αέρα κι από τον υπόλοιπο κυκλοφοριακό θόρυβο. Τα περιφράγματα αυτά καλύπτονται εσωτερικά με ηχοαπορροφητικό υλικό, ενώ σε κάποια τρέιλερ χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα ελαστικά δοκιμών. Η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο ευαίσθητη στον υπόλοιπο κυκλοφοριακό θόρυβο από τις προηγούμενες. Μπορεί να πραγματοποιηθεί για έλεγχο ελαστικών κι οδοστρωμάτων, αναλόγως το σκοπό της. Είναι κατάλληλη τόσο για μελέτες όσο και για έρευνα.



Ρυμουλκούμενο και ρυμουλκό στη μέθοδο Close-Proximity

Στη μέθοδο Close-Proximity το μέσο επίπεδο ηχητικής πίεσης στάθμης A που εκπέμπεται από δύο ή τέσσερα ελαστικά δοκιμών μετράται για μία αυθαίρετη ή συγκεκριμένη απόσταση, παράλληλα με την ταχύτητα του οχήματος. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται από δύο τουλάχιστον μικρόφωνα τοποθετημένα κοντά στα ελαστικά, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα ειδικό όχημα δοκιμών, είτε αυτοκινούμενο είτε ρυμουλκούμενο (πιο σύνηθες). Τα ελαστικά δοκιμών τοποθετούνται στο τρέιλερ, ένα ή περισσότερα κάθε φορά.



Διάταξη των μικροφώνων γύρω από το ελαστικό

Για οικονομικούς και πρακτικούς λόγους η μέθοδος αυτή δεν πραγματοποιείται με ελαστικά σχεδιασμένα για βαριά οχήματα. Είναι γνωστό ότι τα χαρακτηριστικά εκπεμπόμενου θορύβου από το οδόστρωμα εξαρτώνται από το χρησιμοποιούμενο ελαστικό, είτε αυτό προορίζεται για κανονικά είτε για βαρέα οχήματα. Συνεπώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο αυτή περιγράφουν καλύτερα καταστάσεις στις οποίες το μεγαλύτερο ποσοστό του κυκλοφοριακού θορύβου προκαλείται κυρίως από ελαφρά οχήματα. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων είναι μικρότερο του 10%.

Από τη στιγμή που τα μικρόφωνα βρίσκονται πολύ κοντά στο οδόστρωμα και, κατά συνέπεια, στο σημείο επαφής του με τα ελαστικά, είναι σαφές ότι βασικό ρόλο στην τελική στάθμη του θορύβου που καταλήγει στα μικρόφωνα παίζει κι ο ανακλώμενος από το οδόστρωμα θόρυβος, μέρος του οποίου έχει ήδη απορροφηθεί από το οδόστρωμα.

Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται με πρόθεση να καθοριστεί το ηχητικό επίπεδο ελαστικού – οδοστρώματος,  $L_{tr}$  σε μία ή περισσότερες από τις ταχύτητες αναφοράς (50, 80 και 110 km/h) οι οποίες είναι οι ίδιες με τη μέθοδο Statistical Pass-By. Για κάθε είδος ελαστικού και κάθε μέτρηση που πραγματοποιείται με αυτό, καταγράφονται τα μέσα ηχητικά επίπεδα για μικρές αποστάσεις (τμήματα των 20 μέτρων), παράλληλα με τις ταχύτητες των οχημάτων. Το ηχητικό επίπεδο από κάθε οδικό τμήμα κανονικοποιείται ως προς την ταχύτητα αναφοράς με μια απλή διορθωτική διαδικασία. Ανάλογα με το σκοπό της μέτρησης υπολογίζεται μια συνολική μέση τιμή για ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα ή μία ακολουθία συνεχόμενων τμημάτων. Ο μέσος όρος αυτός για τα δύο υποχρεωτικά μικρόφωνα σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα αναφοράς ονομάζεται “ηχητικό επίπεδο ελαστικού – οδοστρώματος  $L_{tr}$ ”. Για κάθε ελαστικό δοκιμών και κάθε ταχύτητα αναφοράς υπολογίζεται ένα  $L_{tr}$ . Τέλος, για να γίνει μία καθολική αναφορά σε ένα είδος οδοστρώματος και στα ακουστικά του χαρακτηριστικά καθορίζεται μια συνολική μέση τιμή, ένας συντελεστής που ονομάζεται Close-Proximity Sound Index (CPXI).

Η μέθοδος CPX μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο παραλλαγές ανάλογα με τον αριθμό των διαφορετικών ελαστικών που χρησιμοποιούνται και το σκοπό της μέτρησης. Η “διερευνητική μέθοδος” είναι η πιο διαδεδομένη και σε αυτήν χρησιμοποιούνται τέσσερα είδη ελαστικών, είναι πιο ακριβής αλλά πιο χρονοβόρα. Η άλλη είναι η “εξεταστική μέθοδος” όπου χρησιμοποιούνται μόνο δύο είδη ελαστικών και εφαρμόζεται συνήθως σε μεγάλα οδικά τμήματα.

Η μέθοδος Close-Proximity παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται γρήγορα και οικονομικά, ενώ μπορούν να διεξαχθούν ανεξαρτήτως μεγέθους κυκλοφορίας. Μεγάλα οδικά τμήματα μπορούν να μετρηθούν χωρίς πολλές διακοπές. Ακόμη, αν οι μετρήσεις έχουν σκοπό τον έλεγχο ελαστικών, μπορεί να εξεταστεί ένα ικανό πλήθος αυτών σε μικρό χρονικό διάστημα.

Μόλις ο εξοπλισμός τοποθετηθεί, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται γρήγορα κι αποτελεσματικά. Αν μάλιστα χρησιμοποιηθεί και περίφραγμα γύρω από το ελαστικό και τα μικρόφωνα παύει να είναι πρόβλημα ο περιβάλλον θόρυβος. Επίσης δεν αποτελεί πρόβλημα η ύπαρξη ή μη ανακλαστικών επιφανειών στο περιβάλλον της οδού, όπως συνέβαινε με τη μέθοδο Statistical Pass-By, ενώ τα αποτελέσματα που δίνει είναι αρκετά ακριβή. Λόγω όλων των παραπάνω η μέθοδος έχει γίνει πολύ δημοφιλής και γι αυτό η κατασκευή του απαιτούμενου εξοπλισμού έχει αναπτυχθεί κυρίως στην κατασκευή τρέιλερ.

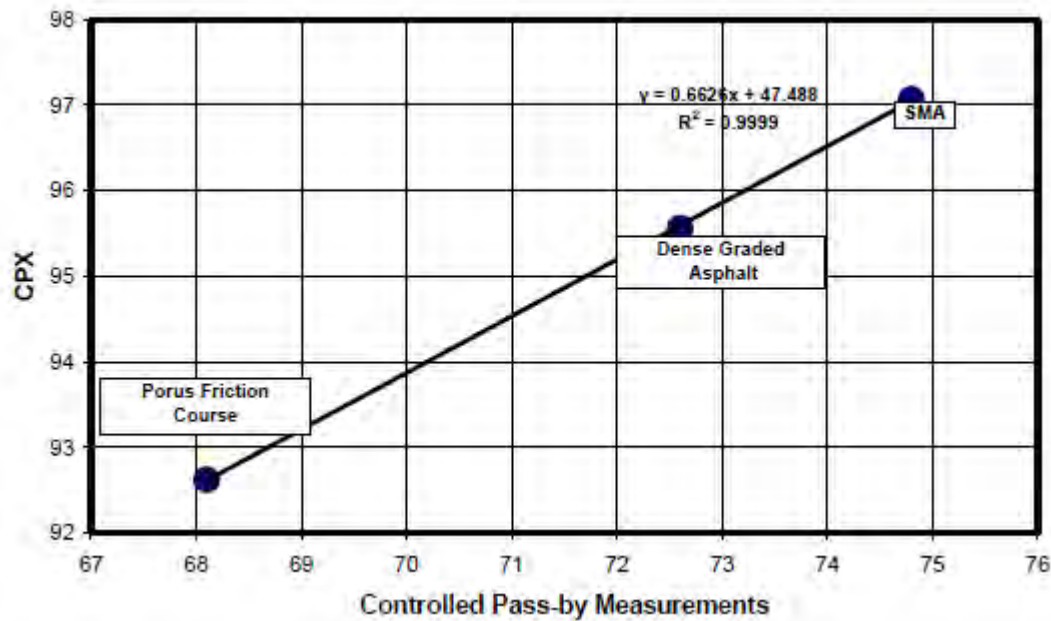
Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

- η αγορά του εξοπλισμού είναι αρκετά δαπανηρή (ιδίως η αγορά του τρέιλερ)
- ο εξοπλισμός είναι ευαίσθητος σε φθορές κι απαιτεί περιοδικά συντήρηση και δοκιμές της επίδοσής του
- περιορισμένη αντιπροσωπευτικότητα της μεθόδου (ο θόρυβος μετράται πολύ κοντά στην πηγή του κι όχι σε μεγαλύτερες αποστάσεις όπου και βρίσκεται ο ακροατής)
- επιρροή του οχήματος δοκιμής (ανακλάσεις στο σώμα του οχήματος και στο περίφραγμα του ελαστικού και του μικροφώνου)
- επιρροή του περιβαλλοντικού θορύβου (θόρυβος από τη μηχανή και τα ελαστικά του ρυμουλκού οχήματος, οχήματα που διέρχονται πολύ κοντά στο ρυμουλκούμενο, θόρυβος που προκαλείται από τον αέρα που περιβάλλει το τρέιλερ και το μικρόφωνο)

Αντίθετα με τις υπόλοιπες μεθόδους, το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας και των περιβαλλόντων στοιχείων της δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία. Ωστόσο, ανάλογα με την κατασκευή του ρυμουλκούμενου, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρειαστεί περισσότερο χώρο σε σχέση με τις υπόλοιπες σε περίπτωση στροφικών κινήσεων. Ένα ογκώδες και βαρύ ρυμουλκούμενο μπορεί να χρειαστεί έναν κυκλικό χώρο η μία πολύ ανοιχτή στροφή ώστε να κινηθεί κατάλληλα.

Τέλος, γίνεται καλή συσχέτιση των μετρήσεων χαρακτηριστικών θορύβου οδοστρωμάτων μεταξύ των μεθόδων Close-Proximity και Statistical Pass-By. Έτσι η μέθοδος CPX καθίσταται ένα χρήσιμο συμπλήρωμα κι ενίοτε υποκατάστατο της SPB.

Αξίζει να γίνει αναφορά σε μετρήσεις που έγιναν στη Διαπολιτειακή Εθνική Οδό κοντά στην Ιντιανάπολη των Η.Π.Α.. Η μελέτη έγινε από το NCAT σε συνεργασία με το Purdue University και το North Central Superpave Center. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν με τις μεθόδους CPX και CPB και σε τρία διαφορετικά οδοστρώματα (OGFC, SMA και σε οδόστρωμα με πυκνή διάταξη κόκκων), ενώ τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακά. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα οι διαφορές στις στάθμες θορύβων και στα τρία οδοστρώματα ήταν περίπου 23 dB(A)!



Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτει ότι για απόσταση μικροφώνου από τη λωρίδα κυκλοφορίας ίση με 7,5 μέτρα η διαφορά των δύο μεθόδων ισούται με 23 dB(A). Αυτό το εξαγόμενο των μετρήσεων είναι λογικό, καθώς στη μέθοδο Close Proximity τα μικρόφωνα τοποθετούνται σε απόσταση μόλις λίγων εκατοστών από το ελαστικό, ενώ στην Controlled Pass-By το μικρόφωνο βρίσκεται σε απόσταση 7,5 μέτρων.

#### 4.5. Μέθοδοι Ακολουθίας Μέγιστου Μήκους (MLS)

Οι μέθοδοι ακολουθίας μέγιστου μήκους αναπτύχθηκαν κάτω από στατικές συνθήκες διότι έχουν ως πλεονέκτημα τη μικρή διάρκεια των μετρήσεων και το γεγονός ότι οι συσκευές των μετρήσεων δε βρίσκονται σε επαφή με το οδόστρωμα. Κλασικό παράδειγμα είναι οι μετρήσεις in situ. Μπορεί ωστόσο να προκύψουν κάποιες δυσκολίες σε περιπτώσεις που ζητείται να μετρηθεί ένα μεγάλο μήκος οδοστρώματος. Θα πρέπει να δεσμευτεί ένα τμήμα της οδού στο οποίο θα τοποθετηθεί ο εξοπλισμός των μετρήσεων ή θα αποκολληθεί ένα δείγμα από το οδόστρωμα για να μελετηθεί εργαστηριακά. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι με αυτή τη μέθοδο μπορεί να δημιουργηθούν συμφορήσεις, καθυστερήσεις και αυξημένος κίνδυνος ατυχήματος. Για το λόγο αυτό αναπτύσσεται σταδιακά μια κινητή μέθοδος μέτρησης του συντελεστή απορρόφησης των πορωδών επιφανειών που θα επιτρέπει τη διεξαγωγή

μετρήσεων χωρίς την παρεμπόδιση της κυκλοφοριακής ροής. Οι δύο μέθοδοι αυτές περιγράφονται παρακάτω.

#### 4.5.1. Καταγραφές In Situ

Όσο οι επιφάνειες χαμηλού θορύβου γίνονται μία ολοένα και πιο συνηθισμένη επιλογή για τον έλεγχο του κυκλοφοριακού θορύβου, απαιτείται μία μέθοδος για να μετρηθεί η ηχοαπορροφητικότητα των οδοστρωμάτων in situ. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του συντελεστή απορρόφησης των οδικών επιφανειών, όπως και για τη σύγκριση των προδιαγραφών σχεδιασμού με τα μετρηθέντα δεδομένα μετά την ολοκλήρωση των εργασιών κατασκευής της οδού.

Η γενική αρχή της μεθόδου είναι η εξής: μία ηχητική πηγή κι ένα μικρόφωνο τοποθετούνται επί της υπό δοκιμή επιφάνειας. Η ηχητική πηγή εκπέμπει ένα περιοδικό ηχητικό κύμα που διαδίδεται μπροστά από το μικρόφωνο, προσκρούει στο οδόστρωμα υπό εξέταση και τέλος ανακλάται. Το μικρόφωνο λαμβάνει τόσο το ηχητικό κύμα που διαδίδεται από την ηχητική πηγή απευθείας στο οδόστρωμα, όσο και το ανακλώμενο από το οδόστρωμα ηχητικό κύμα. Η αναλογία των φασμάτων ισχύος των άμεσων και των ανακλώμενων κυμάτων, διορθωμένη για να ληφθεί υπ' όψιν η διαφορά της απόστασης που διανύουν τα δύο κύματα, μας δίνει το συντελεστή ανάκλασης ηχητικής ισχύος της υπό δοκιμή επιφάνειας. Από αυτό μπορεί να υπολογιστεί κατευθείαν ο συντελεστής ηχοαπορροφητικότητας από τον παρακάτω τύπο:

$$\alpha(f) = 1 - |R_p(f)|^2 = 1 - \frac{1}{K_r^2} \left| \frac{P_r(f)}{P_i(f)} \right|^2$$

όπου,

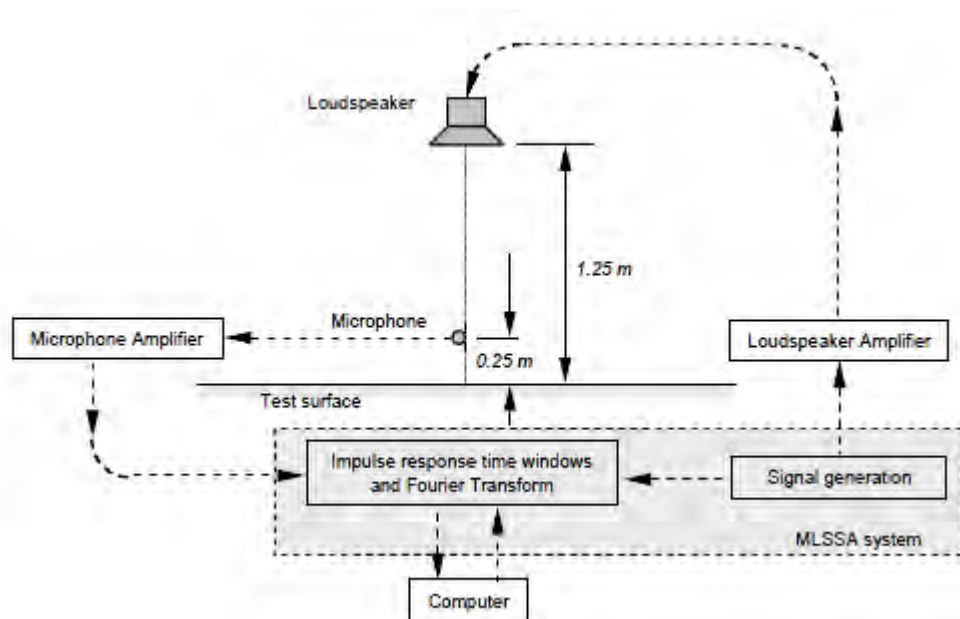
$R_p(f)$  = συντελεστής ανάκλασης ηχητικής πίεσης της υπό εξέταση επιφάνειας

$K_r$  = παράγοντας γεωμετρικής εξάπλωσης, υπεύθυνος για τη διαφορά της απόστασης που διανύουν το άμεσο και το ανακλώμενο κύμα

$P_r(f)$  = φάσμα του ανακλώμενου κύματος ηχητικής πίεσης

$P_i(f)$  = φάσμα του άμεσου κύματος ηχητικής πίεσης

Η μέτρηση πρέπει να λάβει χώρα σε μία περιοχή απαλλαγμένη από ανακλάσεις που μπορεί να προέλθουν από άλλη επιφάνεια πέραν του οδοστρώματος. Για το λόγο αυτό προτείνεται η απόκτηση μίας ηχητικής πηγής που να εκπέμπει ήχους όσο πιο απότομα γίνεται, ώστε τυχόν ανακλάσεις από άλλες επιφάνειες να μπορούν να προσδιοριστούν από τη χρονοκαθυστέρησή τους και να διαγραφούν. Οι εκπομπές ήχου από την ηχητική πηγή μπορούν να επαναλαμβάνονται στο χρόνο και ταυτόχρονα να υπολογίζεται ο μέσος όρος τους από τη συσκευή λήψης.



Διάταξη εξοπλισμού μετρήσεων στις in situ καταγραφές

Οι μετρήσεις θα πρέπει να διενεργούνται σε οδοστρώματα λεία, ομαλά και χωρίς τρίμματα. Η επιφάνεια του οδοστρώματος πρέπει να είναι απόλυτα στεγνή, συγκεκριμένα το οδόστρωμα πρέπει να είναι στεγνό για τουλάχιστον δύο ημέρες. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η θερμοκρασία περιβάλλοντος πρέπει να είναι μεταξύ 5 °C και 30 °C ενώ η θερμοκρασία του οδοστρώματος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5 °C και 45 °C. Δεν πρέπει να υπάρχει άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία. Αν οι παραπάνω προϋποθέσεις δεν πληρούνται, προτείνεται οι μετρήσεις να διεξάγονται κατά τις νυχτερινές ώρες.

Ακολουθεί παράδειγμα εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στην τοποθεσία LCPC στην πόλη Ναντ της Γαλλίας κατά τη διάρκεια μιας συνάντησης μιας ομάδας εργασίας ISO τον Ιανουάριο του 1998. Οι μετρήσεις

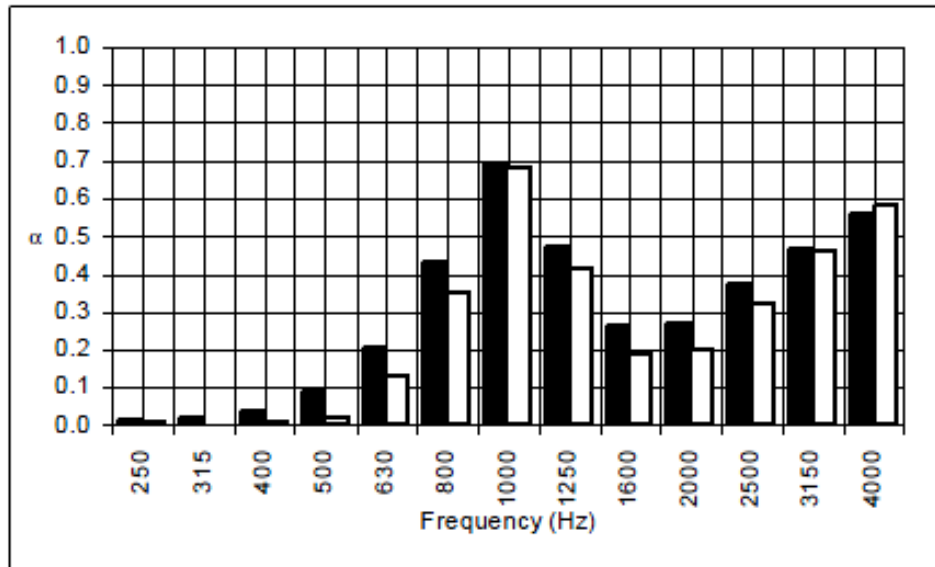


πραγματοποιήθηκαν από δύο ινστιτούτα, το DIENCA από την Ιταλία και το LCPC από τη Γαλλία κάνοντας χρήση όμοιων μεγαφώνων, ενισχυτών και μικροφώνων, αλλά διαφορετικών εκπεμπόμενων θορύβων και υπολογιστικών λογισμικών. Τα χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης αλλά και του οδοστρώματος φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 4 °C, θερμοκρασία οδοστρώματος 5 °C και ταχύτητα ανέμου 4m/s. Αξίζει να σημειωθεί πως το προηγούμενο βράδυ είχε βρέξει. Βέβαια το σημείο των μετρήσεων καλύφθηκε με πλαστική μεμβράνη αλλά οπωσδήποτε ένα μέρος του νερού εισήλθε στο τμήμα αυτό μέσω των ανοιχτών πόρων, κάτι το οποίο σίγουρα επηρέασε τις μετρήσεις, ιδίως στις υψηλές συχνότητες εκπεμπόμενου ήχου.

EQUIPMENT	DIENCA	LCPC
Loudspeaker	Audax HM 170Z0 in a closed cabinet	Audax HM 170Z0 in a closed cabinet
Amplifier	B&K 2706	B&K 2706
Microphone	Sennheiser KE 4	Sennheiser KE 4
Data acquisition	A2D-160 board + PC + MLSSA© software	HP 35665A FFT analyser
Post-processing	ALFA© software	LCPC software
Signal type	MLS	Sweep burst
Sample rate	75,5 kHz	30 kHz

Chipping size	0/10 mm
Porosity	20 %
Thickness	0,04 m
Lifetime	8 years
Actual conditions	Good

Τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα. Με άσπρο χρώμα απεικονίζονται οι μετρήσεις από το ινστιτούτο LCPC και με μαύρο αυτές του DIENCA.



Από τις πραγματοποιηθείσες μετρήσεις προέκυψε ότι η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική κι εύκολη στη χρήση. Επίσης, παρά τις δύο διαφορές στον εκπεμπόμενο ήχο και στο λογισμικό επεξεργασίας, καταλήγουμε στο ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν πολύ ικανοποιητική συσχέτιση σε ολόκληρο το εύρος συχνοτήτων.

#### 4.5.2. Καταγραφές με το Σύστημα Trailer

Για να διεξαχθούν μετρήσεις με τη μέθοδο αυτή πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις:

- για τη μείωση των ανεπιθύμητων ανακλάσεων, ο σκελετός του τρέιλερ θα πρέπει να είναι ένα πλαίσιο με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό μεγάλων επίπεδων επιφανειών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ανάκλαση των ηχητικών κυμάτων
- το τρέιλερ θα πρέπει να έχει αρκετά μεγάλο μήκος ώστε να αποφευχθούν ανακλάσεις στο σώμα του ρυμουλκού οχήματος
- οι διαστάσεις του ρυμουλκού θα πρέπει να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς που αφορούν το μήκος και το πλάτος τους

- d) τα στηρίγματα του μεγαφώνου θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρά ώστε να μπορεί το τρέιλερ να ρυμουλκηθεί σε ένα εύρος ταχυτήτων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, όπως και να ρυμουλκηθεί σε διάφορες τοποθεσίες μετρήσεων



Σύστημα Trailer



Διάταξη του μεγαφώνου και του ενισχυτή στο σκελετό του τρέιλερ

## 5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο θόρυβος είναι ένα φαινόμενο ιδιαίτερα ενοχλητικό για τον άνθρωπο. Εδώ και αρκετά χρόνια γίνονται προσπάθειες για να μελετηθεί η ένταση του και να βρεθούν τρόποι μείωσής του.

Η μείωσή του μπορεί να επιτευχθεί με αρκετές μεθόδους. Μία από αυτές είναι η διάστρωση των δρόμων με οδοστρώματα ηχοαπορροφητικά τα οποία μειώνουν τον ανακλώμενο σε αυτά θόρυβο, μειώνοντας κατά συνέπεια και τη συνολική έντασή του. Μία άλλη μέθοδος είναι η παραγωγή ελαστικών που παράγουν λιγότερο θόρυβο. Είναι άλλωστε γνωστό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του παραγόμενου θορύβου προκαλείται από τη διεπαφή ελαστικού-οδοστρώματος.

Τα ηχοαπορροφητικά αυτά οδοστρώματα κατασκευάζονται εργαστηριακά και μετά από πολλές δοκιμές και μετρήσεις της απόδοσής τους. Κυρίαρχο ρόλο στην ικανότητά τους αυτή παίζει το πορώδες το οδοστρώματος, δηλαδή το ποσοστό των κενών του, καθώς κι η διάταξη των κενών αυτών κι ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους.

Για να μετρηθεί η ηχοαπορροφητικότητα ενός οδοστρώματος έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι. Αυτές ποικίλλουν ως προς το κόστος, τη διάταξη των οργάνων μετρήσεων, τον τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων και τον απαιτούμενο χρόνο μετρήσεων. Αφότου γίνουν οι καταγραφές του θορύβου ακολουθεί επεξεργασία τους και κατόπιν μελετώνται τα αποτελέσματα ώστε να βγουν συμπεράσματα σχετικά με το οδόστρωμα που μελετήθηκε και την πιθανή αλλαγή αυτού με κάποιο ηχοαπορροφητικό οδόστρωμα.

Σε παγκόσμια κλίμακα οι μετρήσεις ηχοαπορροφητικότητας κι η ανάπτυξη νέων ηχοαπορροφητικών οδοστρωμάτων λαμβάνουν χώρα σε συχνή βάση. Στην Ελλάδα οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται πολύ σπάνια, κυρίως για λόγους κόστους, ενώ τα οδοστρώματα που χρησιμοποιούνται δεν πληρούν κάποιες ηχοαπορροφητικές προδιαγραφές. Θα πρέπει να γίνουν εντονότερες προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση, καθώς η ελάττωση του οδικού θορύβου μπορεί να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό την ανθρώπινη ποιότητα ζωής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Dr. Κωνσταντίνος Βογιατζής, Περιβαλλοντική Τεχνική και Θεσμικό Πλαίσιο Εφαρμογής, 2010
- [2] Κωνσταντίνος Βογιατζής, Σοφία Χαϊκάλη, Αλίκη Τζίκα-Χατζοπούλου, Προστασία του Ελληνικού Ακουστικού Τοπίου – Θεσμικό Πλαίσιο για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο, 2009
- [3] Δρ. Κωνσταντίνος Βογιατζής, Σημειώσεις του Μαθήματος Περιβαλλοντική Οδοποιία – Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Οδικών Συγκοινωνιακών Έργων, 2003-2004
- [4] Αναστάσιος Κ. Μουρατίδης, Οδοποιία – Η διαχείριση των Οδικών Έργων, 2008
- [5] ISO 11819-1, Acoustics- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method, 15/09/1997
- [6] ISO 13472-2, Acoustics – Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ – Part 2: Spot method for reflective surfaces, 15/05/2010
- [7] S.A. Ali, A. Tamura, Road traffic noise levels, restrictions and annoyance in Greater Cairo, Egypt, 18/10/2002
- [8] Jeong C. Seong a, Tae H. Park, Joon H. Ko, Seo I. Chang, Minho Kim, James B. Holt, Mohammed R. Mehdi, Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, Georgia, USA, 23/11/2010
- [9] Ressel W., Eisenbach,C.D., Alber S., Bergk B., Wurst F., Enduring Traffic Noise Reduction with Porous Asphalt improved by Polymer Technology, 12-14/09/2007
- [10] Haider M., Descornet G., Sandberg U., Pratico F.G., Road Traffic Noise Emission: Recent Developments and Future Prospects, 12-14/09/2007
- [11] Danish Road Institute, Use of noise reducing pavements, June 2008
- [12] Georgiadou E., Kourtidis K., Ziomas I., Exploratory Traffic Noise Measurements at five main streets of Thessaloniki, Greece, 05/03/2003
- [13] Morgan P.A., Watts G.R., Dynamic Measurement of the Sound Absorption of Porous Road Surfaces
- [14] Morgan P.A., Watts G.R., The use of MLS based methods for characterizing the effectiveness of noise barriers and absorptive road surfaces, 25-28/08/2003

- [15] Douglas I. Hanson, Robert S. James, Christopher NeSmith, Tire/Pavement Noise Study, August 2004
- [16] Ministerie van Volkshuisvesting, A noise absorbing road surface made of poroelastic asphaltic concrete
- [17] Erik Bühlmann, Laurent Cosandey, Toni Ziegler, Acoustic performance assessment of Swiss low-noise road surfaces in urban areas, 2012
- [18] Jens Oddershede, Bent Andersen, Hans Bendtsen, Acoustic aging of tyres, preliminary results, 2012
- [19] Miomir Miljković, Ines Antunes, Sergio Luzzi, Francesco Borchì, Evaluation of Noise Reduction of Asphalt Rubber in Urban Areas, 2012
- [20] Bent Andersen, Lykke M. Iversen, Second life cycle - urban two-layer porous asphalt, 2012