

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας με τίτλο: “Συμβολή Ηχοαπορροφητικών Ηχοπετασμάτων Αστικών Σιδηροδρόμων στην Πολεοδομική Ηχοπροστασία”, μας δίνεται η ευκαιρία να ευχαριστήσουμε θερμά όλους εκείνους που μας βοήθησαν για την ολοκλήρωσή της.

Συγκεκριμένα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα Επίκουρη Καθηγήτρια, κυρία Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου, για την ανάθεση, την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά της κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π., κύριο Αθανάσιο Μπαλλή για την παραχώρηση των ηχομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων της εργασίας και στον Καθηγητή και Διευθυντή του εργαστηρίου Ηχοτεχνίας Ε.Μ.Π., κύριο Γεώργιο Πουλάκο για το ενδιαφέρον και την πρόσβαση που μας έδωσε στο αρχειακό υλικό του.

Εν συνεχεία, ευχαριστούμε τον Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. και Υπεύθυνο Μηχανικό Γραμμής και Έργων του Η.Σ.Α.Π. κ. Κωσταντόπουλο Νίκο για τη συνεργασία, τη βοήθεια και το υλικό που μας παρείχε τόσο κατά την περίοδο των πειραμάτων όσο και κατά την συγγραφή της μελέτης.

Ευχαριστούμε θερμά την Ξανθίππη Τσέλιου και την Αργυρούλα Χούσου για την επιμέλεια της εργασίας μας και τέλος τις οικογένειες και τους φίλους μας για την υποστήριξη και συμπαράσταση που μας παρείχαν καθ’ όλη την διάρκεια των σπουδών μας.



## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη συμβολή της τοποθέτησης ηχοαπορροφητικών ηχοπετασμάτων σε συγκεκριμένες θέσεις με υψηλές στάθμες θορύβου κατά μήκος του δικτύου του αστικού σιδηροδρόμου.

Στο πλαίσιο της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θορύβου σε τέσσερις, από τον ΗΣΑΠ επιλεγμένες, θέσεις όπου τοποθετήθηκε το ηχοαπορροφητικό υλικό. Σε κάθε θέση έγιναν ταυτόχρονες μετρήσεις σε 2 σημεία. Η επιλογή των σημείων μέτρησης έγινε με στόχο να καταγραφεί κατά το δυνατόν πληρέστερα ο αστικός θόρυβος που επικρατεί τόσο δίπλα στην περιφράξη της γραμμής του ΗΣΑΠ, όσο και στα όρια της οικοδομικής γραμμής. Οι μετρήσεις έγιναν σε dBA, βασίστηκαν στην παράμετρο ισοδύναμης ηχητικής στάθμης  $LA_{eq}$  και πραγματοποιήθηκαν σε δύο φάσεις, πριν και μετά την τοποθέτηση του ηχοαπορροφητικού υλικού. Οι μετρήσεις είχαν διάρκεια 30 λεπτών ανά θέση, ενώ πραγματοποιήθηκε και μέτρηση με απουσία διέλευσης συρμού για τη λήψη αποκλειστικά και μόνο του αστικού θορύβου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στις θέσεις «Κηφισιά» και «Μαρούσι» τα ηχοαπορροφητικά ήταν αναποτελεσματικά, ενώ στις θέσεις «Νέο Ηράκλειο» και «Πετράλωνα» παρατηρήθηκε όντως μείωση της ηχοστάθμης κατά 2-4 dBA. Ωστόσο, σε όλες τις θέσεις, πλην μιας, οι στάθμες θορύβου βρίσκονται ακόμη άνω των επιτρεπτών ορίων, που η ελληνική νομοθεσία ορίζει. Η παρούσα εργασία συγκρίνει και αξιολογεί τα αποτελέσματά της με βάση εκείνα άλλων αντίστοιχων εργασιών σε Ελλάδα και εξωτερικό, αν και η χρήση ηχοαπορροφητικών υλικών γίνεται αντικείμενο μελέτης μόλις τα τελευταία χρόνια. Με σκοπό να συγκριθούν μεταξύ τους οι διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι ηχοπροστασίας, γίνεται αναφορά σε μελέτες και έρευνες που αφορούν περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται ηχοπετάσματα ή ζώνες πρασίνου.

Με την ολοκλήρωση της εργασίας, παρατίθενται προτάσεις για την περαιτέρω μείωση της ηχοσταθμής. Οι προτάσεις έχουν να κάνουν τόσο με τον έλεγχο της πηγής καθεαυτής του θορύβου, ενώ ασχολούνται και με τον έλεγχο του αστικού περιβάλλοντος καθώς και με ενδεικνυόμενους τρόπους κατασκευής των κτιρίων.



## Abstract

The main theme of the present diploma thesis is the contribution of the placement of sound absorbing noise barriers at specific locations with high noise levels along urban rail network.

As part of the work there were carried out noise measurements at 4 sites which were selected by ISAP, in order to place the sound absorbing material. In each position there have been conducted simultaneous measurements at 2 points. The measurement points were chosen so as to record as precisely as possible the prevailing urban noise. The first point was next to the fence of the railway and the second one was at the boundaries of the building line.

The measurements were made in dBA, were based on the parameter of equivalent sound level  $LA_{eq}$  and were conducted in two phases, before and after the installation of the sound absorbing material. The measurements lasted 30 minutes per site. Also there was conducted a measurement so as to determine the urban noise itself.

The results showed that at the positions "Kifisia" and "Marousi" the absorption of noise was ineffective, while at the positions "Neo Iraklio" and "Petralona" the barriers indeed reduced the sound by 2-4 dBA. However, in all positions, except for one, the noise levels are still above the permissible limits that the Greek legislation provides. This paper compares and evaluates the results with those of other relevant researches in Greece and abroad, although the use of sound absorbing materials is under study only in recent years. In order to compare the various alternative ways of sound absorption, researches concerning to the use of noise barriers or green belts, aiming to reduce the noise levels, are referred.

Upon completion of the thesis, proposals are made concerning to the further reduction of sound levels. The proposals, not only do they refer to the control of the source of the noise itself, but also to the protection from the noise both of the urban environment and of the surrounding buildings through appropriate methods of construction.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract .....	5
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> .....	9
Εισαγωγή .....	9
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	10
1.3 Ο Αστικός Σιδηρόδρομος στην Αθήνα .....	11
1.4 Τοποθέτηση του Προβλήματος.....	11
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> .....	13
Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	13
2.1 Η έννοια της ακουστικής .....	13
2.2 Ο ήχος.....	14
2.2.1 Η έννοια του ήχου.....	14
2.2.2 Ηχητικά κύματα .....	14
2.2.3 Βασικά ηχητικά μεγέθη και μονάδες.....	18
2.2.4 Στάθμη έντασης χαρακτηριστικών ήχων.....	21
2.2.5 Προσδιορισμός της συνισταμένης στάθμης ήχου.....	21
2.2.6 Ζώνες συχνοτήτων .....	22
2.2.7 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.....	23
2.3 Ο θόρυβος.....	24
2.3.1 Η έννοια του θορύβου .....	24
2.3.2 Η μέτρηση του θορύβου .....	24
2.3.3 Στάθμες θορύβου $L_A$ , $L_N$ , $L_{eq}$ .....	27
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> .....	29
Βιβλιογραφική Αναδρομή .....	29
3.1 Γενικά .....	29
3.2 Scale Modelling of Railway Noise Barriers ( D.C Hothersall, K.V.Horoshenkov, P.A. Morgan AND M.J. Swift, 1999) [Ref. 12 ].....	29
3.3 Road traffic noise attenuation by belts of trees (Kragh J., 1979) [Ref. 13 ] .....	30
3.4 Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees(J.Kragh, 1979)[Ref. 14] 31	
3.5 Performance of a Motorway Noise Barrier at Heston ( W. E. Scholes, A. M. Mackie, G. H. Vulkan and D. G. Harland, 1973) [Ref. 15] .....	31

3.6	A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi (Vikrant Tyagi, Krishan Kumar, Vinod Kumar Jain, 2005) [Ref. 16] .....	32
3.7	The performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto (D.N. May and M.M. Osman, 1979) [Ref. 17] .....	33
3.8	Ακουστική μελέτη εφαρμογής ηχοπετάσματος από την Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.) 2+300 έως την Χ.Θ. 2+400 του δικτύου ΗΣΑΠ (Κωνσταντίνος Βογιατζής, Μαρία-Ελένη Πατσή, 2006) [Ref. 11] .....	33
3.9	Μετρήσεις θορύβου στη γραμμή του ΗΣΑΠ (Δημήτριος Αργυρόπουλος, 2010) [Ref. 18] .....	36
3.10	Συμπεράσματα .....	40
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> .....		41
Σχεδιασμός Πειράματος .....		41
4.1	Γενικά .....	41
4.2	Μεθοδολογία .....	41
4.2.1	Παρουσίαση δεικτών θορύβου .....	42
4.3	Πειραματική Διαδικασία .....	43
4.3.1	Ηχόμετρα .....	43
4.3.2	Χαρακτηριστικά Ηχομέτρων .....	44
4.3.2.4	Συνοδευτικά εξαρτήματα ηχομέτρων .....	46
4.4	Ισχύουσα Νομοθεσία .....	47
4.5	Ηχοαπορροφητικά Υλικά και Διατάξεις .....	49
4.5.1	Εισαγωγή .....	49
4.5.2	Διάτρητα Ηχοαπορροφητικά .....	53
4.5.2.1	Επιλεγμένο υλικό τοποθέτησης .....	55
4.6	Διεξαγωγή του πειράματος .....	57
4.6.1	Κηφισιά .....	58
4.6.2	Μαρούσι .....	63
4.6.3	Ηράκλειο .....	67
4.6.4	Πετράλωνα .....	72
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> .....		77
Αποτελέσματα .....		77
5.1	Γενικά .....	77
5.2	Αποτελέσματα από τις Μετρήσεις Στάθμης Θορύβου .....	78
5.2.1	Κηφισιά .....	78
5.2.2	Μαρούσι .....	81

5.2.3	N. Ηράκλειο .....	84
5.2.4	Πετράλωνα .....	87
5.3	Σύγκριση Αποτελεσμάτων ανά Θέση και Σημείο .....	90
5.3.1	Κηφισιά.....	90
5.3.2	Μαρούσι.....	94
5.3.3	N. Ηράκλειο .....	98
5.3.4	Πετράλωνα .....	102
5.4	Σύγκριση Αποτελεσμάτων ανά Ομάδες Θέσεων .....	106
5.4.1	Κηφισιά – Μαρούσι .....	106
5.4.2	N. Ηράκλειο – Πετράλωνα.....	108
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> .....		111
Ερμηνεία και αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....		111
6.1	Γενικά .....	111
6.2	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Ανά Θέση Μέτρησης .....	111
6.2.1	Κηφισιά.....	111
6.2.2	Μαρούσι.....	112
6.2.3	N. Ηράκλειο .....	113
6.2.4	Πετράλωνα .....	114
6.3	Σύγκριση θέσεων Κηφισιά – Μαρούσι .....	115
6.4	Σύγκριση θέσεων N. Ηράκλειο – Πετράλωνα .....	115
6.5	Σύγκριση με παλαιότερες έρευνες .....	116
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> .....		119
Συμπεράσματα – Προτάσεις .....		119
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....		123
Παράρτημα Α – Αποτελεσμάτα Ηχομετρήσεων .....		125
Παράρτημα Β – Φωτογραφικό Υλικό .....		139
Παράρτημα Γ – Ισχύουσα Νομοθεσία .....		163



## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

### Εισαγωγή

#### 1.1 Γενικά

Θόρυβος θεωρείται κάθε ενοχλητικός ή ανεπιθύμητος ήχος. Η απόκριση του ανθρώπου στον θόρυβο είναι υποκειμενική και πολύπλοκη. Ο ίδιος θόρυβος μπορεί να είναι ενοχλητικός ή όχι σε διαφορετικά άτομα, διαφορετικές ώρες και διαφορετικούς χώρους. Οι οργανικές και ψυχολογικές επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο είναι δυσδιάκριτες, αφανείς και εμφανίζονται πολύ αργά ώστε είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ αιτίου και αποτελέσματος. Ξεκινούν από έναν απλό εκνευρισμό ή δυσφορία και μπορούν να καταλήξουν σε μόνιμες βλάβες του οργανισμού, όπως απώλεια ακοής, έλλειψη συγκέντρωσης, ψυχολογικές διαταραχές, κ.α. Επίσης, μπορεί να προκαλέσει διαταραχές στον ύπνο με όλες τις επιβλαβείς συνέπειες σε βραχυπρόθεσμη και σε μακροπρόθεσμη βάση, μειωμένη απόδοση στη δουλειά και στο σχολείο, καθώς και διάφορες καρδιαγγειακές επιπτώσεις. Έτσι, πολλές φορές, ο θόρυβος δεν φαίνεται να αποτελεί πρόβλημα ακόμη και σε άτομα των οποίων έχει ήδη επηρεάσει την ακοή.

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος, που προκαλείται από τις δραστηριότητες στους τομείς των μεταφορών, της βιομηχανίας και της ψυχαγωγίας αποτελεί ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα στην Ευρώπη και είναι πηγή διαρκώς αυξανόμενου πλήθους παραπόνων εκ μέρους των πολιτών. Τα διαθέσιμα δεδομένα για την έκθεση σε θόρυβο είναι περιορισμένα σε σύγκριση με εκείνα που έχουν συγκεντρωθεί για την μέτρηση άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, ενώ συχνά είναι δυσχερής η σύγκρισή τους λόγω των διαφορετικών μεθόδων μέτρησης και αξιολόγησης. Εκτιμάται ότι το 20% περίπου του πληθυσμού της Ε.Ε. εκτίθενται σε στάθμες θορύβου που οι ειδικοί σε θέματα υγείας επιστήμονες θεωρούν απαράδεκτες. Επιπλέον, πολλά εκατομμύρια πολιτών κατοικούν σε περιοχές όπου η στάθμη θορύβου κατά την διάρκεια της ημέρας είναι δυνατόν να προκαλέσει σοβαρές ενοχλήσεις.

Σύμφωνα με έρευνα της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, η ηχορύπανση έρχεται δεύτερη μετά την ατμοσφαιρική ρύπανση στην κατάταξη των περιβαλλοντικών κινδύνων για την υγεία. Ο θόρυβος προσβάλλει τις ευαίσθητες

ομάδες του πληθυσμού (1η και 3η ηλικία, άτομα σε ανάρρωση, εγκυμονούσες γυναίκες), αλλά και τις παραγωγικές ηλικίες.

Ο θόρυβος μπορεί να προέρχεται από πολλές διαφορετικές πηγές και μία εκ των σημαντικότερων αποτελούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς που ο άνθρωπος χρησιμοποιεί καθημερινά για τις μετακινήσεις του. Απαιτείται, λοιπόν, μεγάλη προσπάθεια για τον έλεγχο αυτού του θορύβου. Η προσπάθεια αυτή πρέπει να επιτύχει τόσο υψηλά επίπεδα περιβαλλοντικής ποιότητας όσο και διατήρηση απαιτούμενου επιπέδου μεταφορικών υπηρεσιών σε μία κοινωνία με υψηλή ποιότητα ζωής.

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Ο ήχος σαν φυσικό μέγεθος δεν είναι κάτι που ο άνθρωπος άρχισε να μελετά τις τελευταίες δεκαετίες. Στην αρχαία Ελλάδα οι Έλληνες κλασικοί είχαν ήδη ασχοληθεί με το φαινόμενο ήχος. Επίσης είναι γνωστό ότι πολλές πόλεις στην αρχαία Ελλάδα και στις αποικίες των Ελλήνων στην Νότια Ιταλία, απαγόρευαν στους χαλκουργούς και σε άλλους τεχνίτες, οι οποίοι εξασκούσαν επαγγέλματα που έκαναν πολύ θόρυβο, να έχουν τα εργαστήρια τους μέσα στην πόλη. Στην αρχαία Ρώμη, υπήρχαν κανόνες για τον περιορισμό του θορύβου που προκαλούσαν οι σιδερένιες ρόδες των αμαξών όταν αυτές χτυπούσαν πέτρες στο δρόμο με συνέπεια με συνέπεια την ενόχληση των Ρωμαίων. Στην Ευρώπη του Μεσαίωνα κατά την διάρκεια του νυχτερινού ύπνου απαγορεύονταν οι ιππήλατες μεταφορές ώστε να διασφαλιστεί η απαιτούμενη ηρεμία για τους αστούς.

Καθώς όμως τα χρόνια περνούν το πρόβλημα του αστικού θορύβου γίνεται όλο και πιο έντονο. Η αύξηση του βιοτικού επιπέδου των σύγχρονων κοινωνιών έχει ως επακόλουθο και την αύξηση της στάθμης του θορύβου κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής δημιουργεί αυξημένες ανάγκες των κατοίκων της πόλης για διάφορες δραστηριότητες με αποτέλεσμα την γένεση της ανάγκης για αυξημένες μετακινήσεις κάτι που αναπόφευκτα οδηγεί σε ολοένα και υψηλότερες στάθμες θορύβου. Έτσι σήμερα ο θόρυβος νοείται ως ένα απ' τα πιο σύγχρονα και σημαντικότερα σημερινά προβλήματα.

Με δεδομένα τα παραπάνω προβλήματα, θα ήταν καλό να υπήρχαν τρεις ομάδες επεμβάσεων. Η πρώτη αφορά στον έλεγχο της πηγής καθεαυτής του θορύβου, η δεύτερη αφορά στον έλεγχο του περιβάλλοντος, ενώ η τρίτη ασχολείται με τις μεθόδους κατασκευής των κτιρίων ώστε να συμβάλλουν στην ηχομείωση και στην απόσβεση κραδασμών.

### **1.3 Ο Αστικός Σιδηρόδρομος στην Αθήνα**

Ένα απ' τα μέσα μαζικής μεταφοράς είναι ο Ηλεκτρικός Σιδηρόδρομος. Σε πολλές χώρες όπως και στην Ελλάδα χρησιμοποιείται εδώ και πολλές δεκαετίες. Στην Αθήνα, η εταιρία που είναι υπεύθυνη για την λειτουργία της γραμμής ονομάζεται Ηλεκτρικοί Σιδηρόδρομοι Αθηνών - Πειραιώς (Η.Σ.Α.Π.). Η συγκεκριμένη γραμμή, γνωστή και ως «Ηλεκτρικός» ή «Γραμμή 1» ή «Πράσινη Γραμμή» εγκαινιάστηκε στις 27 Φεβρουαρίου 1867 και η διαδρομή ήταν Πειραιάς - Θησείο. Από τότε άρχισε τμηματικά να επεκτείνεται για να καλύπτει τις ανάγκες του όλο και αυξανόμενου πληθυσμού του λεκανοπεδίου της Αττικής, μέχρι το 1957 όπου και πήρε την σημερινή του μορφή.

Το σημερινό δίκτυο των ΗΣΑΠ αποτελείται από μία διπλή γραμμή μήκους 25,6 χλμ ανά κατεύθυνση μεταξύ των σταθμών Πειραιά και Κηφισιάς καθώς και από 10,4 χλμ γραμμών εναπόθεσης κλπ. Το δίκτυο περιλαμβάνει επίσης 24 σταθμούς για την εξυπηρέτηση των επιβατών οι οποίοι ανακαινίσθηκαν πλήρως κατά την περίοδο της προετοιμασίας των Ολυμπιακών Αγώνων. Καθημερινά εκτελούνται από τους συρμούς των ΗΣΑΠ περισσότερα από 600 δρομολόγια και μεταφέρονται περισσότεροι από 450.000 επιβάτες. Το 2004 τα διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα έφτασαν τις 23.966.813.

### **1.4 Τοποθέτηση του Προβλήματος**

Πρόθεση του ΗΣΑΠ ήταν η αναβάθμιση της γραμμής, η μείωση των λειτουργικών εξόδων της εταιρείας λόγω του περιορισμένου κόστους συντήρησης και η αύξηση της μέσης ημερήσιας μεταφορικής ικανότητας. Το έργο θα άλλαζε την ποιότητα των μετακινήσεων με τον ηλεκτρικό σιδηρόδρομο, παρέχοντας στον επιβάτη ένα ταξίδι άνετο και ταχύτερο, στρέφοντας όλο και περισσότερους χρήστες σε αυτό το μέσο.

Το 2008 άρχισαν τα έργα ανακαίνισης υποδομής – επιδομής της γραμμής καθώς και η ενίσχυση της σήραγγας από Ομόνοια ως Μοναστηράκι. Αναλυτικά, περιλάμβαναν την εξυγίανση της υποδομής - επιδομής της γραμμής σε μήκος 15,5 χλμ., τη μετατροπή της από σκυρογραμμή σε σταθερή επιδομή, αντικατάσταση των σιδηροτροχιών και των ηλεκτροφόρων ράβδων, εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης και ρύθμισης κυκλοφορίας των συρμών και σεισμική ενίσχυση της σήραγγας Ομόνοια - Μοναστηράκι.

Ωστόσο, η νέα υπόβαση από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να βελτίωσε τη συνέχεια, σταθερότητα και ασφάλεια της γραμμής, αύξησε όμως τις στάθμες θορύβου, καθώς το μπετόν ανακλά τον παραγόμενο απ' την διέλευση των συρμών ήχο και πλέον δεν τον απορροφά όπως συνέβαινε με την παλαιά υπόβαση από σκύρα. Επίσης, η αντικατάσταση της σιδηροτροχιάς και η εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης και ρύθμισης κυκλοφορίας των συρμών οδήγησε στην αύξηση της ταχύτητας της διέλευσης τους, με μέγιστη τα 70 χλμ/ώρα, αυξάνοντας παράλληλα και τον παραγόμενο θόρυβο. Σε καμπύλες της γραμμής οι στάθμες θορύβου είναι έτσι κι αλλιώς υψηλές, λόγω της φυγόκεντρου δύναμης και της κυμάτωσης και αυλάκωσης που δημιουργεί στην σιδηροτροχιά. Τέλος, σε σημεία όπου βρίσκονται σιδηροδρομικές αλλαγές, σημεία δηλαδή που ένας συρμός μπορεί να μεταβεί από τον ένα κλάδο στον άλλο της διπλής σιδηροδρομικής γραμμής του δικτύου, ο θόρυβος είναι ιδιαίτερα υψηλός, καθώς όταν ο τροχός του συρμού περνά πάνω από τον σταυρό της αλλαγής, βρίσκεται για κλάσματα του δευτερολέπτου στον αέρα, με αποτέλεσμα στην επαναφορά του να χτυπά στην σιδηροτροχιά, παράγοντας έναν πολύ έντονο και οξύ ήχο. Σαν αποτέλεσμα, ο ΗΣΑΠ θέλησε να μειώσει τον θόρυβο τοποθετώντας σε σημεία με υψηλές ηχοστάθμες, ηχοαπορροφητικά πάνελ.

Θέλοντας να επιβεβαιώσουμε την αποτελεσματικότητα του μέτρου αυτού η παρούσα διατριβή στοχεύει να προσδιορίσει τα επίπεδα θορύβου που συναντά κανείς στα διάφορα επιλεγμένα σημεία τοποθέτησης του ηχοαπορροφητικού πάνελ τόσο πριν όσο και μετά την εγκατάστασή του, διεξάγοντας πειραματικές μετρήσεις με κατάλληλα όργανα. Συγκεκριμένα, γίνονται μετρήσεις στάθμης θορύβου σε δύο θέσεις σε κάθε επιλεγμένο σημείο (πλησίον της σιδηροτροχιάς και στο όριο της πολεοδομικής γραμμής) καθώς και μετρήσεις αστικού θορύβου με απουσία διέλευσης συρμών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με την χρήση ειδικών ηχομέτρων υψηλής ακρίβειας που είχαν την δυνατότητα λεπτομερούς καταγραφής αποτελεσμάτων τόσο για τις στάθμες θορύβου όσο και για την φασματική απεικόνισή του.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### Θεωρητικό Υπόβαθρο

#### 2.1 Η έννοια της ακουστικής

Η ακουστική είναι ο κλάδος της φυσικής που μελετά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ήχου, καθώς επίσης και τις εφαρμογές του. Μεταξύ των άλλων μελετά την παραγωγή, τη μετάδοση και τη λήψη του ήχου στα διάφορα υλικά μέσα, καθώς επίσης και τις τεχνικές ελέγχου και επεξεργασίας για την εκμετάλλευση του ήχου σε εξειδικευμένες εφαρμογές.

Οι υποδιαιρέσεις της ακουστικής είναι πολλές:

- Αεροακουστική ή Ατμοσφαιρική ακουστική
- Ακουστική δομικών κατασκευών και ελέγχου κραδασμών/δονήσεων
- Μουσική ακουστική
- Ακουστικών μετρήσεων και οργάνων (acoustical measurements and instrumentation)
- Ακουστική σεισμικών εφαρμογών ή σεισμο-ακουστική
- Αρχιτεκτονική ακουστική ή ακουστική χώρων
- Βιοακουστική
- Βιοϊατρική ακουστική
- Ηλεκτροακουστική
- Ηλεκτροακουστικοί μορφοτροπέις
- Επεξεργασία ομιλίας και λόγου, φωνητική
- Περιβαλλοντική ακουστική - ηχορρύπανση
- Υδροακουστική ή υποβρύχια ακουστική
- Υπέρηχοι και εφαρμογές
- Φυσιολογική ακουστική
- Ψυχοακουστική

Στην εργασία αυτή, θα ασχοληθούμε με ήχους της καθημερινότητας που διαδίδονται μέσω του αέρα σε εξωτερικούς χώρους και συγκεκριμένα σε επιλεγμένες περιοχές πλησίον της διπλής σιδηροδρομικής γραμμής του ΗΣΑΠ.

## 2.2 Ο ήχος

### 2.2.1 Η έννοια του ήχου

Ο ήχος μπορεί να οριστεί σαν κυματική κίνηση στον αέρα ή σε άλλα πιο πολύ ελαστικά μέσα (ερέθισμα) ή σαν εκείνη η διέγερση του μηχανισμού ακοής που έχει σαν αποτέλεσμα την αντίληψη του ήχου (αίσθηση). Το ποιος ορισμός ισχύει εξαρτάται από το αν η προσέγγιση είναι φυσική ή ψυχοφυσική. Το είδος του προβλήματος υπαγορεύει την προσέγγιση στον ήχο. Αν το ενδιαφέρον βρίσκεται στην διαταραχή του αέρα που δημιουργείται από ένα μεγάφωνο τότε αυτό αποτελεί πρόβλημα φυσικής. Αν το ενδιαφέρον έγκειται στον τρόπο με τον οποίο ακούγεται σε ένα άτομο που βρίσκεται κοντά στο μεγάφωνο πρέπει να χρησιμοποιηθούν ψυχοφυσικές μέθοδοι.

Αυτό που εμείς οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε ως «ήχο» δεν είναι παρά μια μηχανική διαταραχή που μεταδίδεται μέσω των σωματιδίων του αέρα, του νερού ή ενός στερεού μέσου. Ο ήχος δηλαδή δημιουργείται, αφού ένα σώμα δονείται γρήγορα ώστε να προκαλέσει την διάδοση ενός ακουστικού κύματος στο μέσο όπου συμβαίνει η δόνηση, ενώ δεν μεταδίδεται στο κενό.

Περιορίζοντας τον ορισμό του ήχου συνδέοντάς τον με την αίσθηση της ακοής, λέμε ότι ο ήχος είναι το ακουστικό αίσθημα που προκαλείται όταν το αισθητήριο της ακοής διεγείρεται από μια μηχανική διαταραχή. Οι ήχοι που διεγείρουν την ανθρώπινη ακοή κυμαίνονται στις συχνότητες 16Hz έως 20.000 Hz.

Ακουστός ήχος είναι αυτός που μπορεί να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα, ενώ ηχητικό φάσμα είναι η συνάρτηση ενός χαρακτηριστικού μεγέθους του ηχητικού πεδίου (ηχητική πίεση, πυκνότητα, ηχητική ενέργεια κλπ) με την συχνότητα. Η περιοχή του ηχητικού φάσματος που αντιστοιχεί στους ακουστούς ήχους λέγεται "ακουστή περιοχή του ηχητικού φάσματος" ή "ακουστικό ηχητικό φάσμα". Το φάσμα συχνοτήτων για ένα φυσιολογικό ανθρώπινο αυτί, διαφέρει από άτομο σε άτομο, διαφέρει από άντρες σε γυναίκες και στενεύει με την πάροδο της ηλικίας. Συχνότητες άνω των 1000Hz θεωρούνται αμελητέας σπουδαιότητας για την ευκρίνεια ενός ήχου ή την απόλαυση μουσικής.

### 2.2.2 Ηχητικά κύματα

Αν ένα σωματίδιο αέρα απομακρυνθεί από την αρχική του θέση, οι ελαστικές δυνάμεις του αέρα τείνουν να το αποκαταστήσουν στην αρχική του θέση.

Εξαιτίας της αδράνειάς του το σωματίδιο προσπερνά την θέση ηρεμίας, ενεργοποιώντας ελαστικές δυνάμεις προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ο ήχος παράγεται όταν μια ηχητική πηγή ταλαντώνεται, δηλαδή κάνει παλμικές κινήσεις. Οι παλμικές κινήσεις αναγκάζουν τα κοντινά μόρια του αέρα να κάνουν

και αυτά παλμικές κινήσεις, δημιουργώντας πυκνώματα και αραιώματα.

Πυκνώματα έχουμε όταν σε κάποια σημεία συγκεντρώνονται πολλά μόρια και αραιώματα όταν συγκεντρώνονται λίγα μόρια του αέρα. Τα μόρια του αέρα μεταφέρουν τον ήχο στο αυτί μας και αναγκάζουν τη μεμβράνη που λέγεται τύμπανο να πάλλεται. Στη συνέχεια μεταφέρεται η πληροφορία με τη βοήθεια του ακουστικού νεύρου στον εγκέφαλο μας και ακούμε τον ήχο.

Τα ηχητικά κύματα προκαλούν μεταβολή στην πυκνότητα του μέσου στο οποίο διαδίδονται, επομένως μεταφέρουν ενέργεια από την πηγή στο δέκτη. Ο ήχος διαδίδεται εύκολα, σε αέρια, υγρά και στερεά που όλα τους είναι ελαστικά μέσα. Χωρίς μέσο διάδοσης, ο ήχος δεν μπορεί να διαδοθεί. Η διάδοση του ήχου γίνεται πιο γρήγορα στα στερεά, λιγότερο γρήγορα στα υγρά και ακόμη πιο αργά στα αέρια. Και αυτό γιατί τα μόρια των στερεών βρίσκονται πιο κοντά απ' ό,τι στα υγρά και στα αέρια.

Η διάδοση του ήχου στα αέρια γίνεται μόνο με διαμήκη κύματα ενώ στα υγρά με διαμήκη και επιφανειακά. Στα στερεά, η διάδοση του ήχου γίνεται με όλους τους τύπους των κυμάτων.

Το ημιτονοειδές κύμα, με το οποίο διαδίδεται ο ήχος είναι μία βασική κυματομορφή που είχε στενή σχέση με την απλή αρμονική κίνηση.

Στα διαμήκη κύματα, η ταχύτητα διάδοσης με την ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου σε κάθε σημείο του ηχητικού κύματος είναι παράλληλες.

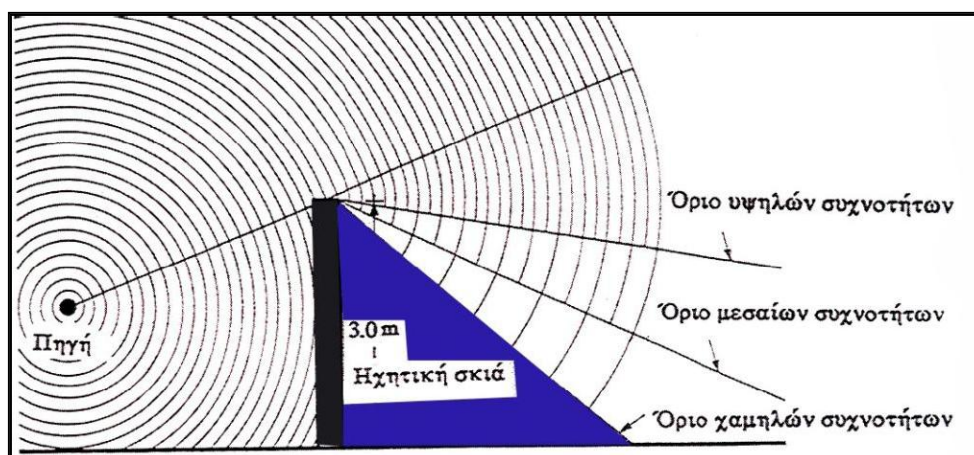
Εγκάρσια είναι τα κύματα στα οποία η ταχύτητα διάδοσης με την ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου, είναι κάθετες.

Επιφανειακά ή καμπτικά κύματα είναι τα κύματα που διαδίδονται στην ελεύθερη επιφάνεια των στερεών και τα σωματίδια του μέσου διάδοσης διαγράφουν ελλειπτικές τροχιές με το μεγάλο άξονα κάθετο στην επιφάνεια και κέντρο την θέση ισορροπίας.

Κατά τη διάδοσή τους τα ηχητικά κύματα παρουσιάζουν κάποια φυσικά φαινόμενα, εκ των οποίων ιδιαίτερης σημασίας για τη διάδοση του θορύβου είναι η ανάκλαση και η περίθλαση.

**Ανάκλαση** είναι η αλλαγή πορείας ενός ηχητικού κύματος λόγω της πρόσπτωσής του σε μία επιφάνεια. Έτσι, λοιπόν, υπάρχει ο απευθείας ήχος και ο ήχος που προέρχεται από πρώτες, δεύτερες και ούτω καθεξής ανακλάσεις. Αναλόγως με το αν η επιφάνεια πρόσπτωσης είναι κυρτή ή κοίλη ακολουθούν τα φαινόμενα διασποράς ή εστιασμού του ήχου, αντίστοιχα. Όταν η επιφάνεια πρόσπτωσης είναι επίπεδη, τότε η γωνία πρόσπτωσης ισούται με την γωνία ανάκλασης του ηχητικού κύματος. Το ηχητικό κύμα δεν ανακλάται στο ακέραιο, αλλά ένα μικρό μέρος του μετατρέπεται σε θερμότητα και έτσι η ενέργεια του κύματος μειώνεται μετά από κάθε ανάκλαση. Το ποσοστό που μετατρέπεται σε θερμότητα εξαρτάται από τη φύση του υλικού στο οποίο προσπίπτει το ηχητικό κύμα.

Ως **περίθλαση** ορίζεται η ανακοπή της διάδοσης του ηχητικού κύματος στο χώρο λόγω κάποιου εμποδίου με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηχητικής σκιάς, δηλαδή μείωσης της στάθμης του ήχου. Ο ήχος, όπως ακριβώς και το φως παρουσιάζει το φαινόμενο της περίθλασης δηλαδή μεταδίδεται ακόμη και όταν μεταξύ της πηγής και του δέκτη παρεμβάλλεται επιφάνεια περιορισμένων διαστάσεων με πολλή μεγάλη – θεωρητικά άπειρη– ηχομείωση. Κατά την περίθλαση, στα όρια της επιφάνειας δημιουργούνται δευτερογενείς ηχητικές πηγές ίδιας συχνότητας με αυτή της αρχικής οι οποίες συχνά είναι ανεπιθύμητες και προσπαθούμε να τις εξαλείψουμε. Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ιδιαίτερο αισθητό στην ακουστική, διότι το μήκος κύματος του ήχου είναι σχετικά μεγάλο. Επιφάνειες όπως ή πόρτες ή τα μισάνοιχτα παράθυρα παρουσιάζουν έντονα το φαινόμενο αυτό. Το φαινόμενο της περίθλασης περιορίζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των ηχοφραγμάτων. Ο βαθμός περίθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος του ήχου σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου.

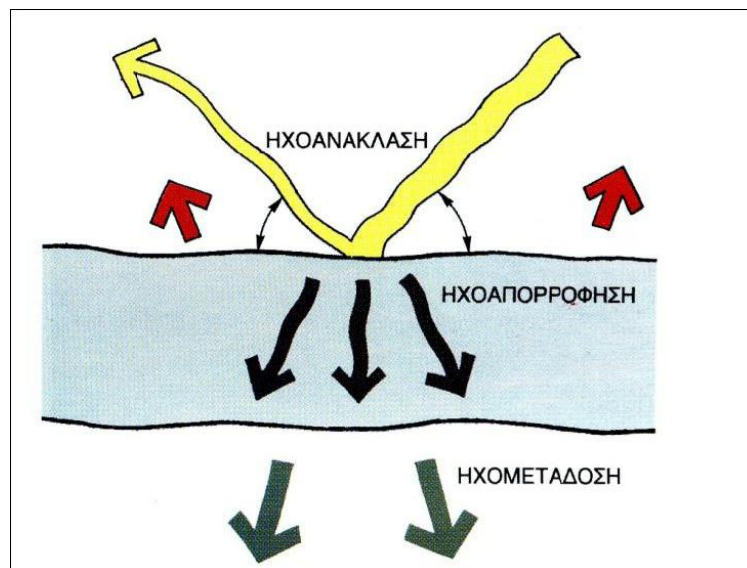


Εικόνα 2.1: Περίθλαση



Ως **διάχυση** ορίζεται ο σκεδασμός της ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής. Το φαινόμενο αυτό πραγματοποιείται όταν το μέγεθος της ανακλαστικής επιφάνειας ισούται με το μήκος κύματος του ήχου.

Όπως προαναφέραμε, κατά την ανάκλαση το μέρος του ηχητικού κύματος που δεν ανακλάται μετατρέπεται σε θερμότητα. Η ιδιότητα των υλικών και αντικειμένων να απορροφούν την ηχητική ενέργεια, μετατρέποντάς της σε άλλη μορφή - συνήθως θερμότητα - κατά την πρόσπτωση του ηχητικού κύματος σε μία επιφάνεια, αλλά και κατά τη διάδοσή του, διαμέσου του εκάστοτε υλικού, ονομάζεται **ηχοαπορρόφηση**. Υπάρχει και η περίπτωση όπου όταν το ηχητικό κύμα προσπίπτει σε μία επιφάνεια, μέρος της απορροφούμενης ηχητικής ενέργειας δεν μετατρέπεται σε θερμότητα, αλλά συνεχίζει να διαδίδεται ως ηχητική ενέργεια στο μέσο που βρίσκεται πίσω από την επιφάνεια.



Εικόνα 2.2: Ηχοαπορρόφηση

Η ηχοαπορρόφηση είναι διαφορετική για κάθε υλικό γι αυτό και υπάρχει ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης, μοναδικός για κάθε υλικό, που εκφράζει το ποσοστό, εκ του προσπίπτοντος επί του υλικού, ήχου που δεν ανακλάται. Τα απορροφητικά υλικά μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα πορώδη, τα απορροφητικά τύπου μεμβράνης και τους συντονιστές. Αυτά τα απορροφητικά υλικά ονομάζονται παθητικοί απορροφητές. Ένα πλήρως ανακλαστικό υλικό έχει συντελεστή ηχοαπορρόφησης μηδέν, ενώ ένα πλήρως ηχοαπορροφητικό υλικό ένα. Την απορρόφηση των επιφανειών την μετράμε σε Sabine. Μία επιφάνεια με εμβαδόν  $1 \text{ m}^2$  έχει απορροφητική ικανότητα 1 Sabine, αν ο συντελεστής απορρόφησης είναι 1.

### 2.2.3 Βασικά ηχητικά μεγέθη και μονάδες

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις ως προς την μελέτη του ήχου, τα αντικειμενικά και τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά.

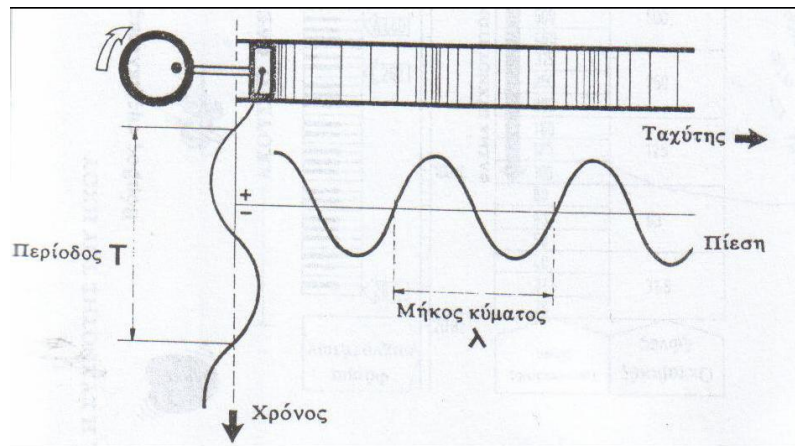
Αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου είναι η ένταση, η συχνότητα, η περίοδος, η ταχύτητα, το μήκος κύματος, η πίεση κλπ. Παρακάτω αναπτύσσονται τα βασικότερα από αυτά.

**Περίοδος (T)** ονομάζεται το χρονικό διάστημα μεταξύ της δημιουργίας δύο διαδοχικών διαταραχών, ή της διέλευσης δύο διαδοχικών χαρακτηριστικών μιας διαταραχής, για παράδειγμα δυο κορυφών του κύματος από ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου. Συμβολίζεται με T και μετριέται σε s (δευτερόλεπτα). Εξ' ορισμού προκύπτει ότι  $T = \Delta t / N$ , όπου N είναι ο αριθμός των διαταραχών που πέρασαν σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$ . Για παράδειγμα, έστω ότι μετράμε την περίοδο των κυμάτων της θάλασσας. Αν σε χρόνο 5 δευτερολέπτων μετρήσαμε δύο κύματα που έφτασαν στην παραλία, η περίοδος των κυμάτων της θάλασσας της συγκεκριμένης παραλίας είναι  $5/2=2,5$  δευτερόλεπτα.

**Συχνότητα (f)** ονομάζεται ο αριθμός των διαταραχών που δημιουργήθηκαν ή πέρασαν από ένα συγκεκριμένο σημείο ανά μονάδες χρόνου, δηλαδή ο αριθμός των διαταραχών διά του χρονικού διαστήματος στο οποίο μετρήσαμε τον αριθμό των διαταραχών. Μετριέται σε δευτερόλεπτα εις τη μείον ένα ή s<sup>-1</sup>, ή Hz. Έτσι, ισχύει  $f = N/\Delta t$ , όπου N είναι ο αριθμός των διαταραχών που πέρασαν σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$ . Η συχνότητα είναι αντίστροφο μέγεθος της περιόδου και ισχύει:

$$fT = (N/\Delta t) * (\Delta t/N) = (N\Delta t/\Delta tN) = 1$$

**Μήκος Κύματος** είναι η απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου. Συμβολίζεται με λ και μετριέται όπως και το πλάτος του κύματος σε μονάδες μήκους, συνήθως σε μέτρα.



Εικόνα 2.3: Αντικειμενικά Χαρακτηριστικά Ήχου

Ως **ένταση ήχου** ορίζεται η ισχύς του ηχητικού κύματος ανά μονάδα επιφάνειας ή αλλιώς η ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου.

Αν είναι γνωστή η μεταβολή της πίεσης του αερίου στο οποίο διαδίδεται ένα ηχητικό κύμα και η εγκάρσια ταχύτητα των μορίων του αερίου η μέση ένταση δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)v(t)dt$$

(όπου  $P$  η ακουστική/ηχητική πίεση και  $v$  η εγκάρσια ταχύτητα των μορίων του αέρα)

Στην περίπτωση σφαιρικής διάδοσης του ήχου, η ένταση του ήχου σε απόσταση  $r$  από την πηγή δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_r = \frac{W}{A} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

(όπου  $W$  η ισχύς της ηχητικής πηγής και  $r$  η απόσταση από την πηγή)

Η ένταση μετράται στο S.I. σε  $W/m^2$  (Βατ ανά τετραγωνικό μέτρο). Η ελάχιστη ένταση που γίνεται αντιληπτή στο ανθρώπινο αυτί αντιστοιχεί σε  $10-12 W/m^2$ . Η ένταση αυτή αντιστοιχεί σε ηχητική πίεση  $20 \mu Pa$  (η οποία αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως κατώφλι ακουστότητας).

Η στάθμη του ήχου ορίζεται:

$$\Sigma\sigma\tau\acute{\alpha}\theta\mu\eta\text{ - }H\chi\omicron\upsilon = 10\log\left(\frac{H\eta\eta\tau\iota\kappa\acute{\eta}\text{ - }P\acute{\iota}\epsilon\sigma\eta}{P\acute{\iota}\epsilon\sigma\eta\text{ - }A\nu\alpha\phi\omicron\rho\acute{\alpha}\varsigma}\right)^2, \text{ dB}$$

Η ηχητική πίεση σε συγκεκριμένο σημείο του ηχητικού πεδίου είναι η διαφορά της στατικής πίεσης του μέσου από την ολική πίεση που υπάρχει σε αυτό το σημείο. Ως ηχητική πίεση διαφοράς λαμβάνεται στον αέρα ίση με  $0,00002\text{ N/m}^2$ . Μονάδα μέτρησης της στάθμης του ήχου είναι το dB. Η μονάδα Ντεσιμπέλ εκφράζει την διαφορά στάθμης ενός ήχου έντασης I προς την ένταση του κατωφλίου ακουστότητας ( $10\text{-}12\text{ W/m}^2$ ). Ως στάθμη έντασης σε dB ορίζεται το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμού της έντασης του ήχου προς την ένταση του κατωφλίου ακουστότητας, και περιγράφεται μαθηματικά από την σχέση:

$$L_I = 10\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \text{ dB}$$

Ο λογάριθμος χρησιμοποιείται διότι το όργανο της ακοής λειτουργεί σε λογαριθμική κλίμακα, δηλαδή ίσες μεταβολές στην αντίληψη ενός φυσικού ακουστικού μεγέθους αντιστοιχούν σε ίσες μεταβολές του λόγου και όχι της διαφοράς του φυσικού μεγέθους.

Το όριο πόνου του ανθρώπινου αυτιού λόγω έντασης ήχου είναι τα 120dB. Έκθεση σε ήχους πάνω από 120dB είναι επικίνδυνη και μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα ακοής ή και κώφωση. Επίσης παρατεταμένη και συνεχής έκθεση σε ήχους άνω των 90dB δημιουργεί προβλήματα στην ακοή.

### 2.2.4 Στάθμη έντασης χαρακτηριστικών ήχων

Χαρακτηριστικοί ήχοι	Στάθμη Έντασης (dB)	Ένταση (W/m <sup>2</sup> )
Αεριοθούμενο	140	100
Πολυβόλο	130	10
Όριο πόνου ανθρώπινου αυτιού	120	1
Ροκ συναυλία	120	1
Κυκλοφοριακή κίνηση	80	10 <sup>-7</sup>
Μέσος θόρυβος σπιτιού	50	10 <sup>-7</sup>
Ψίθυρος	30	10 <sup>-9</sup>
Θρόισμα φύλλων	10	10 <sup>-11</sup>

Πίνακας 2.1

Η στάθμη έντασης του ήχου είναι σχεδόν ίση με την στάθμη ηχητικής πίεσης.

### 2.2.5 Προσδιορισμός της συνισταμένης στάθμης ήχου

Θεωρείται ότι ένας παρατηρητής δέχεται ηχητική ενέργεια, ταυτοχρόνως από  $n$  ηχητικές πηγές. Αν  $I_i$  είναι η ένταση που αντιστοιχεί στη στάθμη  $L_i$  μιας ηχητικής πηγής  $i$ , τότε σύμφωνα με την παραπάνω σχέση είναι:

$$I_i = I_0 * 10 * L_i / 10$$

Η συνισταμένη ένταση  $I$  ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των εντάσεων  $I_i$ :

$$I = \sum_{i=1}^{i=n} I_i = I_0 * \sum_{i=1}^{i=n} 10^{L_i/10}$$

Η συνισταμένη  $L$  των  $n$  σταθμών έντασης ήχου αντιστοιχεί στη συνισταμένη ένταση  $I$ . Αντικαθιστώντας στη σχέση της στάθμης ήχου την τιμή της  $I$  από την παραπάνω σχέση προκύπτει:

$$L = 10 * \log \sum_{i=1}^{i=n} 10^{L_i/10}$$

όπου ,

$L$  = συνισταμένη των  $n$  σταθμών έντασης ήχου, [dB]

$L_i$  = στάθμη έντασης ήχου πηγής  $i$ , [dB]

$N$  = αριθμός σταθμών έντασης του ήχου

Η συνισταμένη  $L$  δύο σταθμών ήχου,  $L_i$  και  $L_k$ , μπορεί να προσδιοριστεί και με τη χρήση του παρακάτω πίνακα ως εξής:

- Υπολογίζεται η διαφορά  $L_i - L_k$  των δύο σταθμών ήχου
- Από τον πίνακα 1 προσδιορίζεται η τιμή του πρόσθετου  $\Delta L$  όπου αντιστοιχεί στη διαφορά  $L_i - L_k$
- Προστίθεται η διαφορά  $\Delta L$  στη μεγαλύτερη  $L_i$  από τις δύο ηχοστάθμες.
- Το άθροισμα είναι η συνισταμένη ηχοστάθμη.

Η συνισταμένη περισσοτέρων από δύο σταθμών ήχου προσδιορίζεται είτε με την παραπάνω σχέση, είτε με διαδοχική χρήση του πίνακα

$L_i - L_k$ [db]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\Delta L$ [db]	3	2.6	2	1.8	1.5	1.2	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1

**Πίνακας** Πρόσθεση σταθμών ήχου

Πίνακας 2.2: Πρόσθεση σταθμών ήχου

### 2.2.6 Ζώνες συχνότητων

Λόγω του ότι οι ακουστικές ιδιότητες των υλικών αλλά και η απόκριση του συστήματος πηγή – μέσο διάδοσης – δέκτης δεν είναι ούτε σταθερή ούτε καν γραμμική σε σχέση με την συχνότητα, για την μελέτη ενός ακουστικού φαινομένου απαιτείται η μελέτη σε όλες τις συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Η μελέτη αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και για τον λόγο αυτό όλη η περιοχή όλη η περιοχή των συχνοτήτων χωρίζεται σε διαδοχικές περιοχές που ονομάζονται ζώνες συχνοτήτων (bands) ή φασματικές ζώνες. Οι ζώνες μπορεί να έχουν σταθερό ή μεταβλητό εύρος.

Κάθε ζώνη μεταβλητού εύρους περιλαμβάνει όλες τις συχνότητες μεταξύ  $f_1$  και  $f_2$ , χαρακτηρίζεται δε από τις πλευρικές συχνότητες  $f_1$ ,  $f_2$  και την κεντρική  $f_0$  που είναι ο γεωμετρικός μέσος των πλευρικών.

Η οκτάβα είναι μονάδα μέτρησης διαστήματος συχνοτήτων και λαμβάνει την ονομασία της από την κεντρική συχνότητα κάθε διαστήματος,  $f_0=(f_1*f_2)^{(1/2)}$ . Ο λόγος των κεντρικών συχνοτήτων σε δύο διαδοχικές οκτάβες ισούται με δύο.

Ως οκτάβα ορίζεται κάθε ζώνη συχνοτήτων, που ο λόγος της αρχικής της συχνότητας  $f_1$  προς την τελική  $f_2$  ισούται με δύο:  $f_2/f_1=2$

Ως τριτοκτάβα ορίζεται η ζώνη συχνοτήτων:  $f_2/f_1=2^{(1/3)}$

Ως ν-οστή οκτάβα ορίζεται η ζώνη συχνοτήτων:  $f_2/f_1=2^{(1/n)}$

### 2.2.7 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου

Η ανθρώπινη ακοή δεν έχει την ίδια ευαισθησία σε όλο το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων. Η κατανομή της ευαισθησίας αυτής διαφέρει από άτομο σε άτομο και εξαρτάται επίσης από τη στάθμη ακουστικής πίεσης. Η αντίληψη της στάθμης ενός ήχου υποκειμενικά, περιγράφεται με την έννοια της ακουστότητας. Δύο ήχοι ίδιας στάθμης μπορούν να έχουν διαφορετική ακουστότητα εάν ανήκουν σε διαφορετικές συχνότητες. Επομένως η ακουστότητα είναι εκείνο το υποκειμενικό χαρακτηριστικό που μας επιτρέπει να χαρακτηρίσουμε έναν ήχο ως ασθενή ή ισχυρό.

Μετά από σειρά ερευνών καθορίστηκε μια ομάδα καμπυλών ισοακουστότητας, διεθνώς, αποδεκτή, και μέσω των καμπυλών αυτών δείχνεται πώς πρέπει να μεταβάλλεται η πίεση του ήχου ώστε να προκαλέσει την ίδια αίσθηση ακουστότητας για τις διάφορες συχνότητες.

Για λόγους υποκειμενικότητας, εισήχθη στην ακουστική η μονάδα υποκειμενικής στάθμης του ήχου dBA. Πρόκειται για ένα φυσικό μέγεθος που μετρά την στάθμη του ήχου σε dB ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη την ποικίλη ευαισθησία του αυτιού στις διάφορες συχνότητες. Το dBA σταθμίζει την ηχητική στάθμη στις διάφορες συχνότητες του φάσματος σύμφωνα με την ευαισθησία του οργάνου της ακοής και μετά αθροίζει τις διαφορετικές στάθμες. Η μέτρηση μιας ηχητικής στάθμης μπορεί να πραγματοποιηθεί ευχερώς με τη βοήθεια ενός φορητού ηχομέτρου όπως έγινε και κατά την πειραματική φάση της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου που σχετίζονται με την ανθρώπινη απόκριση είναι το ύψος και η χροιά.

Το **ύψος** είναι η υποκειμενική αντίληψη της συχνότητας. Δύο ήχοι με διαφορετικές συχνότητες έχουν και διαφορετικό ύψος και εκείνος με τη

μεγαλύτερη συχνότητα είναι και πιο οξύς. Επομένως, το υποκειμενικό γνώρισμα του ήχου μας επιτρέπει να κρίνουμε κατά πόσο βαρύ ή οξύ αντιλαμβανόμαστε τον ήχο.

Η **χροιά** αφορά στην υποκειμενική αντίληψη ήχων με ίδια ένταση και ίδια συχνότητα που όμως προέρχονται από διαφορετικών ειδών πηγές. Είναι λοιπόν το γνώρισμα που μας κάνει να διαχωρίζουμε τις ανθρώπινες φωνές, τα μουσικά όργανα κλπ.

## 2.3 Ο θόρυβος

### 2.3.1 Η έννοια του θορύβου

Ο θόρυβος συχνά ορίζεται ως ανεπιθύμητος ήχος. Από άποψη φυσικής δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ ήχου και θορύβου. Ο καθορισμός του κριτηρίου, με βάση το οποίο χαρακτηρίζεται ως ανεπιθύμητος ένας ήχος, διαφέρει κατά περίπτωση, επομένως είναι ορθότερο να χρησιμοποιούμε την έκφραση "διαχείριση του θορύβου" αντί του όρου προστασία από τον θόρυβο.

Αν και η γνώση του επιπέδου του θορύβου είναι πολύ σημαντική, ωστόσο η μέτρησή του είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία και μπορεί να οδηγήσει σε τελείως εσφαλμένα συμπεράσματα. Επιπλέον η επίδραση του θορύβου στον άνθρωπο είναι πολύ υποκειμενική, π.χ. ο θόρυβος των 110 db μέσα σε ένα κέντρο μουσικής δεν ενοχλεί τους θαμώνες ενώ ο θόρυβος των 90 db ενός εργοστασίου επηρεάζει την ακοή. Οι απαιτήσεις για το ανώτερο επίπεδο θορύβου είναι διαφορετικές για ένα υπνοδωμάτιο, για μία βιβλιοθήκη, εντός ενός μεταφορικού μέσου κλπ.

Συμπερασματικά, η μέτρηση του επιπέδου του θορύβου και ο χαρακτηρισμός του ως ανεκτός, επιθυμητός ή ενοχλητικός είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία.

### 2.3.2 Η μέτρηση του θορύβου

Ο θόρυβος μπορεί να μετρηθεί είτε με βάση την ένταση, είτε με βάση την συχνότητα είτε με βάση την διάρκεια της έκθεσης του ακουστικού οργάνου.

Τυπικά, η απώλεια της ακοής ορίζεται ως η αύξηση του ορίου ελάχιστης ακουστότητας. Η συνηθέστερη απώλεια ακοής από τον θόρυβο είναι στις υψηλές συχνότητες από 3000Hz έως 6000Hz με μέγιστο περί τις 4000Hz, χωρίς να είναι σπάνια η απώλεια και σε χαμηλότερες συχνότητες (2000Hz). Η πάροδος της



ηλικίας συνεπάγεται απώλεια της ακοής, κυρίως στις υψηλές συχνότητες. Στην απώλεια αυτή προστίθεται εκείνη της επίδρασης του θορύβου.

Η ενόχληση, την οποία προκαλεί ένας θόρυβος, συχνά συνδέεται με την πληροφορία, η οποία περιέχεται σε αυτόν. Ένας μη περιοδικός θόρυβος είναι περισσότερο ενοχλητικός από έναν περιοδικό ή συνεχή. Η κλίμακα των ντεσιμπέλ κυμαίνεται από το μείον άπειρο έως το συν άπειρο αλλά το ανθρώπινο αυτί μπορεί να ακούσει από τα 0 dB (φυσιολογική έναρξη ανθρώπινης ακοής) έως τα 130 dB (όριο που δημιουργεί πόνο στο αυτί). Παρατηρείστε ότι λόγω της λογαριθμικής φύσης του ντεσιμπέλ αύξηση 20 ντεσιμπέλ σημαίνει 100 φορές μεγαλύτερη ένταση του ήχου.

### 2.3.2.1 Με βάση την ένταση (μονάδα μέτρησης το db)

Στην παρακάτω κλίμακα φαίνεται η σχέση της κλίμακας των ηχητικών σταθμών εκφρασμένων σε ντεσιμπέλ και της ηχητικής ισχύος. Σε μια αύξηση της ηχητικής ισχύος κατά χίλια εκατομμύρια η ηχητική στάθμη ανέρχεται από 0 ντεσιμπέλ σε 120 ντεσιμπέλ.

ΜΕΡΙΚΟΙ ΚΟΙΝΟΙ ΗΧΟΙ	ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΣΕ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ	ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ
Ο πιο ασθενής ήχος που μπορεί να ακουστεί	0	1
Θρόισμα φύλλων	20	100
Ήσυχος σπίτι	40	10 000
Θορυβώδες κατάστημα	60	1 000 000
Κινητήρας αυτοκινήτου μεγάλης ισχύος	80	100 000 000
Κεραυνός κοντά	100	10 000 000 000
Επώδυνος ήχος	120	1 000 000 000 000

Πίνακας 2.3

### 2.3.2.2 Με βάση τη συχνότητα (Μονάδα μέτρησης Hz)

Η συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό των ταλαντώσεων των ηχητικών κυμάτων ανά δευτερόλεπτο στον αέρα. Συνήθως η ακουστική συχνότητα είναι από 20 Hz έως 20 kHz για ένα υγιές άτομο. Το ανθρώπινο αυτί όμως έχει διαφορετική ευαισθησία του ήχου σε διαφορετικές συχνότητες. Συνήθως είναι πιο ευαίσθητο σε συχνότητα 1 kHz – 5 kHz. Οι ήχοι των υψηλών συχνοτήτων είναι οι περισσότερο επικίνδυνοι για την πρόκληση βαρηκοΐας σε σχέση πάντα με την ένταση και την διάρκεια της έκθεσης.

### 2.3.2.3 Με βάση τη διάρκεια της έκθεσης

Περιβάλλον	Επιπτώσεις στην Υγεία	Ένταση θορύβου (dB)	Διάρκεια έκθεσης (ώρες)	Μέγιστη τιμή - Στιγμαία τιμή (dB)
Εξωτερικοί χώροι	Σοβαρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	55	16	
Εξωτερικοί χώροι	Μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	50	16	
Κατοικίες - Εσωτερικοί χώροι	Κατανόηση ομιλίας, μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	35	16	45
Δωμάτια ύπνου	Διαταραχή ύπνου τη νύχτα	45	8	60
Σχολικές αίθουσες	Ενόχληση στην κατανόηση ομιλίας	35	Διάρκεια μαθήματος	
Δωμάτια ύπνου για προσχολική ηλικία	Διαταραχή ύπνου	30	Διάρκεια ύπνου	45
Σχολικές αιθές	Ενόχληση	55	Διάρκεια ημέρας	
Νοσοκομεία θάλαμοι	Διαταραχή ύπνου	30	8	40
Νοσοκομεία ιατρεία		30	16	
Βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις, μαγαζιά, συγκοινωνίες	Επίδραση στην ακοή	70	24	110
Τελετές, φεστιβάλ, συναυλίες κλπ.		100	4	110
Συγκεντρώσεις σε κλειστό χώρο		85	1	110
Μουσική και άλλοι ήχοι από ηχεία και ακουστικά		85	1	110
Σειρήνες από παιχνίδια, πυροσβεστική κλπ				140

Πίνακας 1.4: Οδηγός μέγιστων επιτρεπτών τιμών για την ηχορρύπανση σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα

### 2.3.3 Στάθμες θορύβου $L_A$ , $L_N$ , $L_{eq}$

#### 2.3.3.1 Στάθμη θορύβου $L_A$

Όπως έχει προαναφερθεί, η αντίληψη της έντασης ενός ήχου από το ανθρώπινο αυτί είναι υποκειμενική. Εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου το πόσο ενοχλητικός μπορεί να φανεί στον άνθρωπο, καθώς η ανθρώπινη ακοή είναι πιο ευαίσθητη σε ήχους υψηλής συχνότητας. Στην εικόνα 2.8 αποτυπώνονται καμπύλες όπου για διαφορετικές συχνότητες του ήχου, ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την ίδια ένταση.

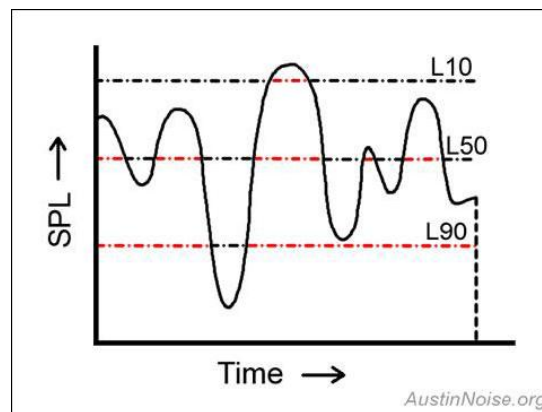
Έχουν λοιπόν οριστεί διεθνώς, τα φίλτρα A, B, C, και D, τα οποία προσομοιάζουν την υποκειμενική αντίληψη του ήχου. Η σταθμισμένη ηχοστάθμη A, προσαρμόζει τις τιμές των dB κάθε ζώνης συχνοτήτων, αναφορικά με την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού.

Συνεπώς η σταθμιστική καμπύλη A θα είναι εκείνη που δίνει μια "διορθωμένη" τιμή στάθμης του ήχου σε σχέση με τη συχνότητα του, και εκφράζεται σε dB(A).

#### 2.3.3.2 Στάθμη θορύβου $L_N$

Μετρώντας την ένταση του ήχου για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα παρατηρήσουμε ότι η ένταση παρουσιάζει διακύμανση στις τιμές της ανάλογα με τις ακουστικές συνθήκες που επικρατούν. Ο αριθμός N δηλώνει το ποσοστό του συνολικού χρονικού διαστήματος κατά το οποίο η στάθμη ήχου ήταν ίση ή μεγαλύτερη της τιμής  $L_N$ .

Αν για παράδειγμα, έχουμε  $L_{90} = 60\text{dBA}$ , τότε κατά το 90% της χρονικής διάρκειας μέτρησης, η ηχητική στάθμη ξεπερνούσε τα 60dBA.

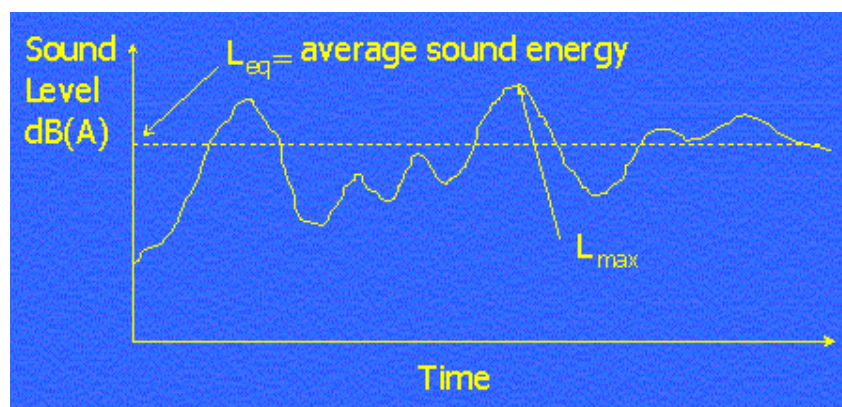


Διάγραμμα 2.1

### 2.3.3.3 Ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου $L_{eq}$

Λόγω της διακύμανσης της έντασης ενός πραγματικού ήχου στη διάρκεια του χρόνου, η ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου  $L_{eq}$  ορίστηκε για να δίνει μια τιμή έντασης η οποία είναι σταθερή με το χρόνο, και έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικά παραγόμενου ήχου και άρα προκαλεί τις ίδιες συνέπειες.

Συχνά χρησιμοποιείται το μέγεθος της ισοδύναμης στάθμης ηχητικής πίεσης. Μπορεί να μετρηθεί ευχερώς από ειδικά όργανα, και ορίζεται είτε σε ζώνες συχνοτήτων, είτε σε μονάδες dBA.



Διάγραμμα 2.2

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### Βιβλιογραφική Αναδρομή

#### 3.1 Γενικά

Η έντονη προσβολή του περιβάλλοντος από την ηχητική ρύπανση και συνεπώς η υποβάθμισή του, αποτελεί θέμα συζήτησης και έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες και προκαλεί το ενδιαφέρον των μελετητών. Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες, ώστε να μειωθούν οι στάθμες θορύβου από τις διάφορες συγκοινωνιακές εγκαταστάσεις και να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των κατοίκων, που αυτά υποβάθμισαν και επηρέαζαν άμεσα.

Αρχικά, όλες οι μελέτες είχαν επικεντρωθεί στην μείωση του παραγόμενου ήχου Ref [13, 14, 16] μέσω δημιουργίας ζωνών πρασίνου, ενώ έπειτα μέσω της τοποθέτησης ειδικών ηχοπετασμάτων για την ανάκλαση του ήχου και την προστασία των αστών. Μόλις τα τελευταία χρόνια, υπάρχει τάση να χρησιμοποιούνται ηχοαπορροφητικά υλικά νέας τεχνολογίας μελέτη νέων υλικών ώστε να μειωθεί περαιτέρω η επίδραση του παραγόμενου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες θορύβου, στις σύγχρονες πόλεις και κοινωνίες. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε τέτοιου είδους μελέτες σε σχέση τόσο με την εφαρμογή παλαιών και νέων υλικών και τεχνικών αλλά και σύγκριση διαφόρων μεθόδων ώστε να περιοριστεί ο θόρυβος.

#### 3.2 **Scale Modelling of Railway Noise Barriers ( D.C Hothersall, K.V.Horoshenkov, P.A. Morgan AND M.J. Swift, 1999) [Ref. 12 ]**

Η μελέτη αυτή εξέτασε τόσο την αποδοτικότητα διαφόρων τύπων ηχοφραγμάτων όσο και την συνδυασμένη απόδοσή τους με ανακλαστικό ή ηχοαπορροφητικό δάπεδο. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε ήταν ότι οποιοσδήποτε τύπος ηχοφράγματος αν συνδυαστεί με ηχοαπορροφητικό δάπεδο, τότε προκύπτουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το ανακλαστικό δάπεδο. Μάλιστα οι διαφορές που προκύπτουν είναι σταθερές για τους δύο τύπους ηχοφραγμάτων, δηλαδή τους πλήρως ανακλαστικούς και τους πλήρως απορροφητικούς.

Ανάμεσα στα ανακλαστικά ηχοφράγματα και στα πλήρως ηχοαπορροφητικά, προκύπτει διαφορά στις απώλειες ήχου πίσω απ' το πέτασμα της τάξεως των 6 έως 10 dBA υπέρ των ηχοαπορροφητικών, ενώ σε σύγκριση με ηχοφράγματα που έχουν την επιφάνεια τους εν μέρη υπενδεδυμένη με ηχοαπορροφητικό υλικό η διαφορά αυτή μειώνεται στα 3 έως 6 dBA.

Τα λιγότερο αποτελεσματικά προέκυψαν τα κυματοειδή ηχοανακλαστικά, ενώ τα πιο αποτελεσματικά είναι τα πολυεπίπεδα, καμπυλωτά ηχοφράγματα με μερικές επιφάνειες επενδεδυμένες με ηχοαπορροφητικό υλικό.

Η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων αυτών μέσω μετρήσεων στο φυσικό περιβάλλον απομένει να γίνει.

### **3.3 Road traffic noise attenuation by belts of trees (Kragh J., 1979) [Ref. 13]**

Η μελέτη αυτή είναι πειραματική και διεξάγεται στο φυσικό περιβάλλον. Σκοπό είχε να εξετάσει κατά πόσο η μεσολάβηση ζωνών πρασίνου μεταξύ οδών και αστικών περιοχών μπορεί να εξασθενίσει το θόρυβο που διαδίδεται εξαιτίας της οδικής κυκλοφορίας. Η μελέτη έγινε για διάδοση θορύβου διαμέσου ζωνών πλάτους 3 έως 25 μέτρων, αποτελούμενες από φυλλοβόλα δέντρα και θάμνους ηλικίας 5 έως 10 ετών, σε έδαφος καλυμμένο από χλόη. Οι θέσεις στις οποίες έγιναν μετρήσεις ήταν σε σημεία του δρόμου με έντονο κυκλοφοριακό θόρυβο και με διαφορετικές αποστάσεις από το μέτωπο των ζωνών πρασίνου. Έγινε έτσι η προσπάθεια μιας αντιπροσωπευτικής προσέγγισης της ενδεχόμενης μείωσης του θορύβου σε μια ρεαλιστική αστική κατάσταση, μέσω της παρουσίας πρασίνου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι για τις προκείμενες ζώνες δέντρων και θάμνων με επιλεγμένα πλάτη 10 έως 25 μέτρων, η εξασθένιση του θορύβου λόγω οδικής κυκλοφορίας και μετρούμενος σε  $LA_{eq}$  δεν ήταν σημαντική. Μόνο στην περιοχή συχνοτήτων άνω των 2 kHz, οι εξασθενίσεις ήταν σημαντικά υψηλότερες στις ζώνες των δέντρων και των θάμνων.

Συμπερασματικά, η ύπαρξη μιας ζώνης δέντρων και θάμνων μεταξύ δρόμου και κατοικίας, θα μπορούσε να επηρεάσει τη ποιότητα του περιβάλλοντος των αστικών περιοχών με πιθανή μείωση την ενόχληση που προκαλείται από το κυκλοφοριακό χάος, χωρίς όμως να υπάρξει σημαντική αλλαγή του δείκτη  $LA_{eq}$ .

### **3.4 Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees (J.Kragh, 1979) [Ref. 14]**

Ο μελετητής της αμέσως προηγούμενης εργασίας εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογία διεξήγαγε πειράματα αυτή την φορά για να αποτιμήσει την απόσβεση θορύβου από συρμούς τρενών, λόγω παρεμβολής ζωνών πρασίνου όπως στην ανωτέρω εργασία.

Η μελέτη έγινε για διάδοση θορύβου διαμέσου μιας ζώνης πλάτους 50 μέτρων, αποτελούμενη κυρίως από κωνοφόρα δέντρα, οξιές, σημύδες και πελέες, ηλικίας 15 ετών περίπου και σε μια δεύτερη ζώνη πλάτους 25 μέτρων, αποτελούμενη από διαφόρων ειδών θάμνους, βελανιδιές, λεύκες και έλατα ηλικίας 10 έως 20 ετών. Οι δύο ζώνες που επελέγησαν είχαν προσφάτως συντηρηθεί, ενώ η πυκνότητα των φυλλωμάτων ήταν ιδιαίτερα μεγάλη.

Οι μετρήσεις έδειξαν πως και στις 2 ζώνες υπήρξε μείωση της στάθμης θορύβου των δεικτών  $LA_{eq}$  και  $LA_{max}$  κατά 8-9 dB και 6-7 dB, αντίστοιχα, συγκρινόμενα με μετρήσεις που έγιναν σε περιοχή με έδαφος απλά καλυμμένο με χλόη.

Συμπερασματικά, μια ζώνη φύτευσης της μορφής που περιγράφεται ανωτέρω βρέθηκε ότι βελτιώνει αισθητά τις στάθμες θορύβου.

Το μέγεθος της απόσβεσης που καταγράφηκε στην ως άνω μας επιτρέπει να θεωρήσουμε ότι τέτοια μέτρα ηχοπροστασίας μπορεί να προστατεύσουν κατοικημένες αστικές περιοχές. Βεβαίως, η φύτευση απαιτεί διαθέσιμη έκταση που συνήθως δεν υπάρχει σε υφιστάμενα αστικά κέντρα. Συνεπώς εναλλακτικές μέθοδοι π.χ. εισαγωγή κατάλληλων ηχοαπορροφητικών χρειάζεται να διερευνηθούν.

### **3.5 Performance of a Motorway Noise Barrier at Heston (W. E. Scholes, A. M. Mackie, G. H. Vulkan and D. G. Harland, 1973) [Ref. 15]**

Η εργασία αυτή εξέτασε την αποτελεσματικότητα ενός ηχοπετάσματος που εφαρμόστηκε στα εκατέρωθεν όρια αυτοκινητόδρομου, σε μήκος 300 μέτρων, ώστε να προστατεύσει τις παρακείμενες διώροφες κατοικίες από τον κυκλοφοριακό θόρυβο.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν μείωση του δείκτη  $L_{10}$ , κατά 8 dBA στον 1<sup>ο</sup> όροφο των κατοικιών, και 4 dBA στο ισόγειο. Η αποτελεσματικότητα του ηχοπετάσματος συγκρίθηκε και με τα αποτελέσματα που είχε επιφέρει η προγενέστερη τοποθέτηση ξύλινου φράχτη ο οποίος είχε επιφέρει μείωση του δείκτη  $L_{10}$  κατά 3 dBA στις προσόψεις των κατοικιών. Η μελέτη καταλήγει ότι η μείωση του θορύβου

οφείλεται στην ηχομόνωση που προσέφερε το ηχοπέτασμα στο εύρος συχνοτήτων από 200 έως 630 Hz.

Τέλος, να επισημανθεί ότι η αποτελεσματικότητα του ηχοπετάσματος κρίθηκε επιτυχημένη από τους ενοίκους των κατοικιών σύμφωνα με σχετική μελέτη που έκαναν οι συγγραφείς.

### **3.6 A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi (Vikrant Tyagi, Krishan Kumar, Vinod Kumar Jain, 2005) [Ref. 16]**

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε, ήθελε να αποδείξει κατά πόσο είναι αποτελεσματική η ύπαρξη ζωνών πρασίνου κατά μήκος οδικών αξόνων σε σχέση με χρήση ηχοπετασμάτων. Οι ζώνες πρασίνου προτιμώνται των ηχοπετασμάτων για λόγους οικονομικούς, αισθητικούς κ.λ.π.

Η μελέτη έλαβε χώρα στις Ινδίες και συνίσταται σε επί τόπου μετρήσεις σε 3 επιλεγμένες θέσεις με ύπαρξη ζωνών πρασίνου πλάι σε οδικούς άξονες, αλλά και σε μία θέση σύγκρισης μέσα στο Δελχί, την πρωτεύουσα των Ινδιών, χωρίς ζώνη βλάστησης. Εκεί παρατηρούνται υψηλές στάθμες θορύβου, εξαιτίας του κυκλοφοριακού φόρτου. Παρατηρήθηκε πως στις χαμηλές συχνότητες, μεταξύ 315-400 Hz, υπήρχε απόσβεση του ήχου κατά 10-16 dB, ενώ στις υψηλές συχνότητες, μεταξύ 10 και 12.5 kHz η απόσβεση ήταν ακόμη μεγαλύτερη, της τάξεως των 20 dB και άνω. Η μεγαλύτερη, ωστόσο, μείωση της στάθμης θορύβου και στις 3 θέσεις εμφανίστηκε στη συχνότητα των 3.15 kHz και ισούταν με 24 dB.

Συμπερασματικά, η απόσβεση του ήχου βρέθηκε σχετικά αυξημένη στις υψηλές συχνότητες και ικανοποιητική στις μεσαίες συχνότητες, κάτι που προγενέστερες μελέτες δεν είχαν εξάγει, σύμφωνα με τους συγγραφείς. Η αποτελεσματικότητα της απόσβεσης στις μεσαίες συχνότητες είναι σημαντική διοτι αυτή είναι η περιοχή του φάσματος της ομιλίας.



### **3.7 The performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto (D.N. May and M.M. Osman, 1979) [Ref. 17]**

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να μελετήσει ένα ηχοπέτασμα αυτοκινητοδρόμου στο Τορόντο του Καναδά, το οποίο τροποποιήθηκε ως προς το υλικό και το είδος της κατασκευής τμηματικά σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, προκειμένου να μετρηθεί η σχετική ακουστική συμπεριφορά.

Αρχικά, το ύψους 4 μέτρων ηχοπέτασμα είχε την πλευρά που αντίκρυζε τον αυτοκινητόδρομο ηχοαπορροφητική. Έπειτα, ένα τμήμα του μετασκευάστηκε με ένα λεπτό στρώμα επικάλυψης, που μετέτρεψε την επιφάνεια σε ανακλαστική, ενώ λίγο αργότερα σε τρίτο κομμάτι του οδικού άξονα τοποθετήθηκε οριζόντιο κοντραπλακέ πάχους 19 χιλιοστών και πλάτους 75 εκατοστών εγκάρσια στην κορυφή του ηχοπετάσματος μετατρέποντάς την σε σχήμα Τ. Οι παραπάνω τρεις παραλλαγές συγκρίθηκαν, έπειτα, με μία θέση χωρίς οιοδήποτε είδους ηχοπέτασμα ή απορροφητικό, προκειμένου να μελετηθούν οι διαφορές στα επίπεδα θορύβου σε κατοικημένες περιοχές.

Παρατηρήθηκε πως το ηχοαπορροφητικό πάνελ σχήματος Τ παρείχε επιπλέον μείωση 1.5 dBA σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο. Από την άλλη, τόσο το ηχοαπορροφητικό, όσο και το ηχοανακλαστικό είχαν την ίδια αποτελεσματικότητα. Πάντως, στο σύνολο τους και τα 3 οδικά ηχοπετάσματα μείωσαν τις στάθμες θορύβου από 7 έως 10 dBA.

### **3.8 Ακουστική μελέτη εφαρμογής ηχοπετάσματος από την Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.) 2+300 έως την Χ.Θ. 2+400 του δικτύου ΗΣΑΠ (Κωνσταντίνος Βογιατζής, Μαρία-Ελένη Πατσή, 2006) [Ref. 11]**

Η παρούσα μελέτη με τίτλο «Ακουστική μελέτη εφαρμογής ηχοπετασμάτων» ουσιαστικά περιλαμβάνει την πλήρη ακουστική θεώρηση τμήματος του υπό λειτουργία δικτύου του ΗΣΑΠ από την Χ.Θ. 2+300 μέχρι και την Χ.Θ. 2+400 (κατεύθυνση προς Πειραιά), για συνθήκες «ΜΕ» & «ΧΩΡΙΣ» αντιθορυβική προστασία προκειμένου να καθορισθούν με ακρίβεια, η αποτελεσματικότητα εφαρμογής αντιθορυβικού πετάσματος με πλήρη διερεύνηση της βέλτιστης θέσης εφαρμογής του

συμπεριλαμβανομένης της οριστικοποίησης αρχής και τέλους εφαρμογής, αναγκαίου ύψος και ελάχιστης πυκνότητας του, καθώς και ανάλυση εναλλακτικών τύπων πετάσματος με σκοπό την καλύτερη ηχομειωτική αποτελεσματικότητα για το μέγιστο εφαρμοσμένο ύψος υφιστάμενων κατοικιών.

Επισημαίνεται ότι στην παρούσα μελέτη η επιλογή εφαρμογής αντιθορυβικών πετασμάτων στηρίζεται τόσο σε πραγματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της καταγραφής της υφιστάμενης κατάστασης, όσο και στη χρήση κατάλληλου λογισμικού το οποίο βαθμονομήθηκε με την χρήση των ανωτέρω καταγραφών έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η πλέον επακριβής προσομοίωση των πραγματικών ακουστικών παραμέτρων.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα των εναλλακτικών επιλύσεων, και τις σχετικές διατομές ελέγχου του λογισμικού στο παράρτημα διαπιστώθηκε ότι :

- η στάθμη του δείκτη  $L_{eq}(24\omega\rho)$  από την κυκλοφορία των συρμών στην υφιστάμενη κατάσταση δεν υπερβαίνει το σύνηθες ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 67 dB(A), έστω και αν αυτό δεν αποτελεί περιβαλλοντικό όρο του έργου,
- η εφαρμογή αντιθορυβικού πετάσματος συνδυασμένου ύψους 2μ εκ των οποίων το πρώτο 1μ (υφιστάμενο ή νέο τοιχίο ΩΣ) θα διαθέτει ηχοαπορροφητικές ιδιότητες και το ανώτερο τμήμα ύψους 1μ. θα είναι διαφανές ώστε να ελαχιστοποιεί ανεπιθύμητα φαινόμενα «φράγματος» και «αποκλεισμού») είναι αρκετά αποτελεσματική και επιτυγχάνει μείωση της στάθμης θορύβου από 3,7 έως και 4,5 dB(A) στους ελεγχθέντες δέκτες.
- η εφαρμογή αντιθορυβικού πετάσματος συνδυασμένου ύψους 3μ. εκ των οποίων πλέον τα πρώτα 2μ θα διαθέτουν σχετικές ηχοαπορροφητικές ιδιότητες, ενώ το ανώτερο τμήμα του 1μ παραμένει διαφανές είναι πλέον αποτελεσματική και μειώνει την στάθμη θορύβου από 5,5 έως και 8,1 dB(A) στους ελεγχθέντες δέκτες.
- η εφαρμογή αντιθορυβικού πετάσματος συνδυασμένου ύψους 4μ εκ των οποίων τα πρώτα 2μ θα διαθέτουν ηχοαπορροφητικές ιδιότητες ενώ το ανώτερο τμήμα των 2μ. θα είναι επίσης διαφανές είναι και η πλέον αποτελεσματική μεταξύ όλων των εναλλακτικών με επίτευξη της πλέον σημαντικής μείωσης της στάθμης θορύβου από 6,9 έως και 10,0 dB(A) στους δέκτες.
- τέλος επισημαίνεται ότι το σύνολο των εναλλακτικών εφαρμογών δεν επιφέρει σημαντική ηχομείωση στον 6<sup>ο</sup> όροφο δεδομένου ότι τα ανώτερα επίπεδα των

κατοικιών ευρίσκονται εκτός ηχητικής σκιάς του πετάσματος ανεξαρτήτως ύψους εφαρμογής.

Με βάση τις επιλύσεις του λογισμικού πρόβλεψης θορύβου και ελέγχου της ηχομειωτικής ικανότητας του αντιθορυβικού πετάσματος, επελέγη η θέση και τα βασικά χαρακτηριστικά του για την κάλυψη των ακουστικών επιπτώσεων.

Γενικά, από τα αποτελέσματα της σχετικής ανάλυσης η πλέον ενδεδειγμένη ακουστικά και αισθητικά εφαρμογή αφορά ενεργό συνδυασμένο συνολικό ύψος αντιθορυβικού πετάσματος 3,0μ. με μια άμεση ικανοποιητική μείωση της στάθμης θορύβου από 5,5 έως και 8,1 dB(A) στον 1<sup>ο</sup> όροφο των ελεγχθέντων δεκτών. Η ηχομείωση που αναμένεται να προέλθει από την εγκατάσταση του προτεινόμενου αντιθορυβικού πετάσματος, θα εξασφαλίσει άμεσα καλύτερο ακουστικό περιβάλλον στο εσωτερικό των κτιρίων και θα ελαχιστοποιήσει την ενόχληση στους παρακείμενους δέκτες. Η εξασφάλιση στάθμης σημαντικά μικρότερης τόσο της καταγεγραμμένης, όσο και της στάθμης του συνήθους ορίου των 67 dB(A) για τον δείκτη  $L_{Aeq}(24 \text{ ωρ})$  – δηλαδή στάθμη μεταξύ 53,4 & 58,7 dB(A) - επιτυγχάνει στο εσωτερικό των κατοικιών τα κριτήρια κανονικής ακουστικής άνεσης.

Εκτός από τα κριτήρια που αφορούν την ακουστική απόδοση του αντιθορυβικού ηχοπετάσματος και την ασφάλεια που παρέχουν, σημαντικό ρόλο έχουν οι επιπτώσεις στο άμεσο αστικό περιβάλλον από την εγκατάστασή τους. Επισημαίνεται άλλωστε ότι η βελτίωση του ακουστικού περιβάλλοντος δεν μπορεί να αποτελέσει καταλυτικό κριτήριο για την χειροτέρευση του άμεσου αισθητικού περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό η παρούσα αρχιτεκτονική - αισθητική διαμόρφωση στοχεύει στην πλέον ολοκληρωμένη ένταξη του προτεινόμενου αντιθορυβικού πετάσματος στον χώρο.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το προτεινόμενο πέτασμα θα είναι μικτής μορφής με όσο τον δυνατό αποφυγή υψηλών συνεχών συμπαγών επιφανειών που θα επιφέρουν δυσάρεστα αισθήματα “αποκλεισμού” τόσο στο τρένο όσο και στον δέκτη. Η πλέον ενδεδειγμένη μορφή μικτής κατασκευής που εξασφαλίζει παράλληλα ευκολία κατασκευής, προβλέπει συνδυασμό αδιαφανών επιφανειών με εσωτερική ήχοαπορροφητική επένδυση σε διάτρητο (και από τις δύο πλευρές) μεταλλικό πανέλο.

Ειδικά η εφαρμογή του κατώτερου τμήματος με ηχοαπορροφητικά χαρακτηριστικά, στοχεύει στην αύξηση της ηχοαπορρόφησης, και την αποφυγή ήχο-ανακλάσεων μεταξύ επιφανείας πετάσματος και διερχόμενου συρμού, λόγω περιορισμένης απόστασης διάχυσης ακουστικών κυμάτων (φαινόμενο «climbing reflexes»).

Οι βασικοί συνθετικοί άξονες πάνω στους οποίους στηρίχθηκε η συνολική αρχιτεκτονική & ακουστική πρόταση για την μορφή των ηχοπετασμάτων, συνοψίζονται επιγραμματικά στα ακόλουθα σημεία :

- ανάγκη υλοποίησης των ακουστικών κριτηρίων ηχοπροστασίας,
- ελάχιστη δυνατή διατάραξη των συνηθειών των κατοίκων σε επίπεδο γειτονιάς και
- αισθητική συνάφεια της κατασκευής με το περιβάλλον οικιστικό τοπίο.

Το αντιθορυβικό πέτασμα δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται με την κλασική αντίληψη ενός «τοιχίου - φράγματος» ο οποίος προστατεύει απλώς μία ευαίσθητη χρήση από τον έντονο και ενοχλητικό θόρυβο της οδικής κυκλοφορίας και ιδιαίτερα των βαρέων οχημάτων στην παρακείμενη γραμμική πηγή θορύβου. Στον σχεδιασμό δόθηκε επιπλέον βαρύτητα, λόγω και του σημαντικού ύψους του πετάσματος, και σε άλλους παράγοντες όπως στην αποφυγή οπτικής αποξένωσης από την ευρύτερη περιοχή, και την αισθητική αναβάθμιση, η οποία και οδήγησε στην υιοθέτηση διαφανούς τμήματος στο ανώτερο τμήμα του.

### **3.9 Μετρήσεις θορύβου στη γραμμή του ΗΣΑΠ (Δημήτριος Αργυρόπουλος, 2010) [Ref. 18]**

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η εξέταση της ποιότητας του ακουστικού περιβάλλοντος που καταγράφεται κατά μήκος της γραμμής του ΗΣΑΠ, όπου και βρισκόταν σε πρόοδο το έργο ανακαίνισης-βελτίωσης της σιδηροδρομικής γραμμής.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ένα μέρος των έργων βελτίωσης της γραμμής είχε ήδη κατασκευαστεί και η γραμμή είχε δοθεί σε προσωρινή λειτουργία προκειμένου να ικανοποιούνται οι ανάγκες μετακίνησης των κατοίκων της πόλης, ενώ άλλο μέρος του δικτύου βρισκόταν ακόμη υπό ανακαίνιση-βελτίωση, με ορισμένες από τις εργασίες να βρίσκονται σε εξέλιξη ενώ ορισμένες να μην έχουν ξεκινήσει ακόμη. Συνεπώς ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση του ακουστικού περιβάλλοντος στην περιοχή της γραμμής των ΗΣΑΠ Πειραιάς-Κηφισιά, ως αποτέλεσμα τόσο των έργων κατασκευής όσο και της προσωρινής λειτουργίας.

Στο πλαίσιο αυτό έγιναν ακουστικές μετρήσεις σε 5 θέσεις, έτσι ώστε να δοθεί μια συνολική εικόνα κατά μήκος της γραμμής, ως αποτέλεσμα τόσο των εργασιών όσο και της (προσωρινής) λειτουργίας. Επιπλέον στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η

διερεύνηση των επιπτώσεων στο ακουστικό περιβάλλον από τα διάφορα στοιχεία του δικτύου, όπως διαφορετικοί τύποι σιδηροδρομικής επιδομής και διαφορετικά μέτρα προστασίας έναντι του θορύβου, όπως η χρήση απορροφητικών θορύβου στον κορμό της γραμμής.

Αποδείχτηκε πως ο συνολικός περιβαλλοντικός θόρυβος που καταγράφηκε κατά μήκος της γραμμής στο πλαίσιο των μετρήσεων του παρόντος προγράμματος και στην περιοχή των πλησιέστερων αποδεκτών (1 έως 2 μέτρα πριν την οικοδομική γραμμή) εμφανίζει εικόνα αρκετά επιβαρυσμένου ακουστικού περιβάλλοντος. Ο δείκτης  $L_{eq,1h}$  κυμαίνεται από 65.1 dB(A) ως 74.4 dB(A) με μέσο όρο 68.6 dB(A). Το ακουστικό αυτό περιβάλλον, όμως, είναι αποτέλεσμα εκπομπής θορύβου από πολλές πηγές, μεταξύ των οποίων είναι η προσωρινή λειτουργία της γραμμής των ΗΣΑΠ, η οδική κυκλοφορία σε παράπλευρους δρόμους της γραμμής (που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι υψηλή), οι εργασίες κατασκευής της γραμμής των ΗΣΑΠ, άλλες ευκαιριακές λειτουργίες της πόλης και βέβαια οι διάφορες συνήθεις λειτουργίες της πόλης (όπως αποτυπώνονται στο θόρυβο υποβάθρου).

Επίσης, οι διακυμάνσεις του συνολικού περιβαλλοντικού θορύβου στους πλησιέστερους αποδέκτες καταγράφηκαν να κυμαίνονται μεταξύ της στάθμης θορύβου βάθους (δείκτης  $L_{95}$ ) που μετρήθηκε μεταξύ 43.6 dB(A) και 54.4 dB(A) με μέσο όρο 48.2 dB(A) ως τις μέγιστες τιμές του δείκτη  $L_{max}$  που βρέθηκε στο διάστημα μεταξύ 83.6 dB(A) και 103.6 dB(A) με μέσο όρο 90.2 dB(A).

Μια πιο λεπτομερής ανάλυση των ωριαίων μετρήσεων ανά θέση μέτρησης και των παρατηρήσεων που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, μπορεί να δώσει μια ακριβέστερη εικόνα του ακουστικού περιβάλλοντος σε σχέση με τις πηγές θορύβου. Καταρχήν, ο οδικός κυκλοφοριακός φόρτος, όπως μετρήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο δρόμο ανάμεσα στο σημείο μέτρησης και τη γραμμή των ΗΣΑΠ, φαίνεται πως συνεισφέρει σε όλες σχεδόν τις θέσεις, και σε ορισμένες καθοριστικά, στο συνολικό θόρυβο που καταγράφεται.

Το γεγονός αυτό, όπως και ότι η οδική κυκλοφορία γίνεται πιο κοντά στη θέση μέτρησης από τη σιδηροδρομική, καθιστά σαφές, ότι το ενεργειακό περιεχόμενο του θορύβου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην οδική κυκλοφορία.

Η εκτίμηση της επίδρασης της λειτουργίας της γραμμής ως κύριο γεγονός επιβάρυνσης του ακουστικού περιβάλλοντος εντός των χώρων κατοικίας (που τελικά ενδιαφέρει) μπορεί να στηριχθεί πιο αξιόπιστα στην αξιολόγηση της μέγιστης στάθμης που προκύπτει κατά τη διέλευση ενός συρμού, η οποία μπορεί να εκτιμηθεί αρκετά αντιπροσωπευτικά με το δείκτη  $L_1$ . Η μέση τιμή του δείκτη αυτού συμφωνεί και με τις

παρατηρήσεις μας κατά τη διέλευση των συρμών (τιμές  $L_{max}$  κατά τη διέλευση των συρμών). Η αξιολόγηση των ανωτέρω τιμών των μετρήσεων λαμβάνοντας υπόψη ηχομείωση περίπου  $D = 35$  dB που παρέχει ένα τυπικό χωρίς ιδιαίτερη ηχομόνωση εξωτερικό χώρισμα κτίσματος με τον τρόπο που κατασκευάζονται στην χώρα μας, εντός των οικιών εκτιμάται ότι θα καταγράφεται μέση τιμή  $L_{eq}$  περί τα  $66,9-35= 32$  dB(A) περίπου. Η τιμή αυτή βρίσκεται εντός των ορίων (συστάσεων) του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας [σύσταση WHO:  $L_{eq}$  εντός κατοικιών μικρότερη από 35 dB(A)]. Εν τούτοις η μέγιστη στάθμη από τη διέλευση συρμών, αν αυτή εκτιμηθεί με βάση το δείκτη  $L_1$ , αναμένεται να είναι  $81,9-35=46,9$  dB(A), ήτοι λίγο μεγαλύτερη από τις συστάσεις της WHO (σύσταση WHO:  $L_{max}$  εντός κατοικιών μικρότερη από 45 dB(A) κατά την ημέρα και το απόγευμα)

Γενικώς, πάντως, οι δείκτες  $L_{eq}$  και  $L_{10}$  που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση στη νομοθεσία για νέα συγκοινωνιακά έργα, φαίνεται να ικανοποιούνται από τις μετρήσεις ή να ξεπερνιούνται κατά θέσεις μόνο οριακά.

Όσον αφορά τον δείκτη  $L_5$ , αξιοποιείται για την αποτύπωση της συνολικής διάρκειας διέλευσης ενός συρμού. Η φασματική ανάλυση του δείκτη  $L_5$  που καταγράφηκε στις ωριαίες μετρήσεις δείχνει επιβάρυνση εξαιτίας της διέλευσης των συρμών στις χαμηλές συχνότητες 31.5 Hz ως 63Hz και στις μεσαίες 250Hz ως 1kHz. Ειδικά οι χαμηλότερες από αυτές τις συχνότητες είναι αρκετά πιο επιβαρυντικές διότι διαπερνούν ευκολότερα τα τοιχώματα των κτισμάτων, ενώ παράγουν με ευκολία την αίσθηση ενός διακριτού ηχητικού γεγονότος σε σχέση με τον υπόλοιπο θόρυβο βάθους ή περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα, στην 1η καμπάνια μετρήσεων (χωρίς ελεγχόμενη ταχύτητα) συγκρίνοντας τις μετρήσεις θορύβου σε σημεία με και χωρίς διάταξη αντιθορυβικής προστασίας στη σιδηροτροχιά (σάντουιτς υλικό) προκύπτει σημαντική μείωση σε όλους τους δείκτες από 5.4 dB(A) στον δείκτη  $L_{99}$  ως 6.7 dB(A) στον δείκτη  $L_{eq}$ . Η μείωση αυτή είναι σημαντική. Αντιστοιχεί σε περίπου 3.5 φορές λιγότερες διελεύσεις συρμών ή σε ισάριθμους συρμούς που διέρχονται με περίπου 2 φορές χαμηλότερη ταχύτητα. Αν εξεταστεί η φασματική ανάλυση συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις ΜΕ και ΧΩΡΙΣ το σάντουιτς υλικό κατά τη 1η καμπάνια μετρήσεων προκύπτουν σημαντικές ηχομειώσεις περί τα 5 με 8 dB στη φασματική περιοχή των 31.5 Hz και στην περιοχή 250Hz ως 1kHz, δηλαδή στις συχνότητες που οι συρμοί του ΗΣΑΠ εμφανίζουν κατά τη διέλευσή τους τις υψηλότερες στάθμες θορύβου.

Στη 2η καμπάνια μετρήσεων (χωρίς ελεγχόμενη ταχύτητα) συγκρίνοντας τις μετρήσεις θορύβου που έγιναν σε σημεία με διαφορετική σιδηροδρομική επιδομή (σκύρα – σταθερή επιδομή) προκύπτει συνολικά ελαφρά διαφορά της τάξης του 1

dB(A) με 2.5 dB(A) με τη σκυρογραμμή να προκαλεί μικρότερο θόρυβο. Η διαφορά αυτή υπέρ των σκύρων προκύπτει στις μεσαίες συχνότητες 250Hz – 500 Hz (περιοχή μεγάλης ευαισθησίας του ανθρώπινου μηχανισμού ακοής) και στις υψηλές 8kHz – 16 kHz (πιθανώς να οφείλεται σε συριγμούς), ενώ στις χαμηλές συχνότητες η λύση της σταθερής επιδομής εμφανίζει καλύτερες επιδόσεις (όμως σε αυτές τις συχνότητες ο ανθρώπινος μηχανισμός ακοής και κατά προέκταση το φίλτρο στάθμισης A δεν συμβάλλει ώστε συνολικά η λύση της σταθερής επιδομής να βελτιώνει τον συνολικό (overall) δείκτη  $L_{eq}$ ).

Τέλος, στην 3η καμπάνια μετρήσεων, που έγιναν με ελεγχόμενη ταχύτητα κίνησης των συρμών και στις δύο θέσεις (με σκυρογραμμή και με σταθερή επιδομή) συγκρίνοντας τις μετρήσεις θορύβου που έγιναν σε σημεία με διαφορετική σιδηροδρομική επιδομή (σκύρα – σταθερή επιδομή) προκύπτει συνολικά ελαφρά διαφορά της τάξης του 1 dB(A) με 4 dB(A) υπέρ της λύσης των σκύρων. Η διαφορά αυτή υπέρ των σκύρων προκύπτει στις μεσαίες συχνότητες 125Hz – 2 kHz (περιοχή μεγάλης ευαισθησίας του ανθρώπινου μηχανισμού ακοής) ενώ στις χαμηλές συχνότητες η λύση της σταθερής επιδομής εμφανίζει καλύτερες επιδόσεις (1dB με 2dB). Οι μετρήσεις της 3ης καμπάνιας μπορούν να θεωρηθούν ως οι πλέον αξιόπιστες σε σχέση με την 2η καμπάνια καθώς α) έχουν πραγματοποιηθεί με ελεγχόμενη ταχύτητα συρμών, β) έχουν απορριφθεί μετρήσεις με έντονα ξένα ηχητικά γεγονότα και γ) εμφανίζουν και αριθμητικώς τις ελάχιστες τυπικές αποκλίσεις στα δύο σύνολα (με σκυρογραμμή – με σταθερή επιδομή).

### 3.10 Συμπεράσματα

Οι περισσότερες , έως τώρα, έρευνες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην προσπάθεια απόσβεσης του ήχου είτε με την παρουσία ζωνών πρασίνου είτε με την τοποθέτηση ηχοπετασμάτων, και διεξάγονται είτε μέσω ακουστικών προπλάσμάτων στο εργαστήριο είτε στο φυσικό χώρο. Η χρησιμοποίηση ζωνών πρασίνου όπως ελέγχθηκε ανωτέρω ( σελίδα χ, υ) απαιτεί χώρο που συχνά δεν είναι διαθέσιμος στα υφιστάμενα αστικά κέντρα. Περαιτέρω, η χρήση ηχοπετασμάτων, τα οποία είναι σχετικά χαμηλού ύψους, δεν είναι αποτελεσματική στην περίπτωση υψηλών κτηρίων όπως είναι οι πολυκατοικίες, κοντά στην πηγή του θορύβου ( οδικός άξονας, σιδηροτροχιές, κ.λ.π). Εναλλακτική διέξοδο αποτελεί η εφαρμογή ηχοαπορροφητικών υλικών. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό τη μελέτη της απόσβεσης του σιδηροδρομικού θορύβου με την βοήθεια ηχοαπορροφητικού υλικού σε θέσεις πλησίον της σιδηροτροχιάς του ΗΣΑΠ. Με την ολοκλήρωσή της, η παρούσα εργασία θα μπορεί να αποτελέσει άλλο ένα εργαλείο σύγκρισης με τις εργασίες των συναδέλφων των παραγράφων 3.8 και 3.9, καθώς και οι τρεις εργασίες έγιναν υπό τις ίδιες συνθήκες και ακολούθησαν κοινές παραμέτρους και ίδια μεθοδολογία.



## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### Σχεδιασμός Πειράματος

#### 4.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τη συλλογή των στοιχείων που αφορούν τον θόρυβο ως φυσικό μέγεθος. Επίσης γίνεται περιγραφή των επιστημονικών οργάνων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν οι διάφορες μετρήσεις. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούν τον αστικό – κυκλοφοριακό θόρυβο, τον θόρυβο δηλαδή από τα οχήματα, από τον αστικό ηλεκτρικό σιδηρόδρομο, καθώς και από τις δραστηριότητες των κατοίκων της πόλης.

Το δίκτυο του ΗΣΑΠ επιλέχθηκε, καθώς διαρρέει τον πολεοδομικό ιστό της πόλης, με αποτέλεσμα η κίνηση των συρμών να επηρεάζει άμεσα τον αστικό θόρυβο και μεγάλο μέρος της ζωής και της καθημερινότητας των κατοίκων της. Οι μετρήσεις για τις στάθμες ήχου έγιναν σε 4 σημεία πλησίον της σιδηρογραμμικής γραμμής του ΗΣΑΠ με έντονο θόρυβο, όπου και εκ των υστέρων τοποθετήθηκε ηχοαπορροφητικό υλικό για την μείωση της στάθμης του. Σε κάθε θέση έγιναν μετρήσεις με δύο όργανα ταυτόχρονα. Το πρώτο όργανο βρισκόταν στο όριο της κοίτης της σιδηροτροχιάς, ουσιαστικά δηλαδή στην πηγή του θορύβου, ενώ το δεύτερο στην πλησιέστερη πολεοδομική γραμμή, ώστε να εξετάζει πως αντιλαμβάνονται τον ήχο οι κάτοικοι των γειτονικών σπιτιών.

Οι μετρήσεις μας περιελάμβαναν φασματική απεικόνιση του θορύβου, καθώς ο θόρυβος δεν έχει την ίδια κατανομή σε όλες τις συχνότητες. Επίσης μετρήθηκαν ακουστικές παράμετροι σε dBA, διότι μας ενδιαφέρει η ενόχληση που αισθάνεται και εκλαμβάνεται ο αστός. Το υλικό που τοποθετήθηκε για την μείωση της στάθμης θορύβου, που οφείλεται στη διέλευση των συρμών, από την ανάδοχο εταιρία, που ο ΗΣΑΠ επέλεξε ήταν προαποφασισμένο και δεδομένο.

#### 4.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που εξ' αρχής ακολουθήθηκε ήταν η ταυτόχρονη λήψη μετρήσεων με τα 2 όργανα στις 4 επιλεγμένες θέσεις. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο πριν αλλά και μετά την τοποθέτηση του ηχοαπορροφητικού υλικού. Βασικός περιορισμός είναι πως οι μετρήσεις φασματικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκαν μόνο με το ένα από τα δύο ηχόμετρα στις επιλεγμένες και αυτό

διότι μόνο το 1<sup>ο</sup> μπορούσε να λάβει τέτοια μέτρηση, ενώ με το δεύτερο όργανο μετρήθηκαν μόνο ακουστικές παραμέτροι.

#### 4.2.1 Παρουσίαση δεικτών θορύβου

Οι δείκτες θορύβου ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στους βασικούς (basics) και στους σύνθετους (composite) δείκτες θορύβου. Στον πίνακα που ακολουθεί επιχειρείται μια συστηματοποιημένη παρουσίαση των δεικτών θορύβου, τόσο των βασικών όσο και των σύνθετων.

Βασικοί δείκτες για το θόρυβο	Σύνθετοι δείκτες θορύβου: composite
$L_{Aeq, T}$	$L_{A(night)}$
$L_{AE}$ ("SEL")	Lden
rise time (dB / sec)	$L_{10}$
$L_{Amax}$	$L_{50}$
$L_A$ (other trade off)	$L_{90}$
$L_{Zwicker}$	EEL
$L_{Unweighted}$	ENEL
$L_{PNL}$	$L_{Aday(night+10)}$
$E_A$ (N/m <sup>2</sup> )	

Πίνακας 4.1: Δείκτες Θορύβου

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, καταλληλότεροι για επεξεργασία θεωρήθηκαν οι δείκτες θορύβου  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$ ,  $L_{Amin}$ ,  $L_{A10}$  και  $L_{A90}$ . Παρακάτω αναλύεται η σημασία καθενός από αυτούς τους δείκτες:

- **$L_{Aeq}$**  : Είναι η μέση τιμή της ηχητικής ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα T, (π.χ. ενός λεπτού, μίας ώρας κ.λπ.). Το  $L_{Aeq}$  δεν εκφράζει απευθείας τον βαθμό ενόχλησης που προκαλεί ο θόρυβος στον άνθρωπο, συνήθως όμως χρησιμοποιείται στην πράξη για να εκφράζει περίπου τον βαθμό ενόχλησης του θορύβου στον άνθρωπο. Φυσικά, μια στάθμη  $L_{Aeq}$  που δεν ενοχλεί τον άνθρωπο πολύ, όταν είναι ξύπνιος και εργάζεται, μπορεί να προκαλεί φοβερή ενόχληση σε ώρες ανάπαυσης.
- **$L_{Amax}$**  : Πρόκειται για την υψηλότερη τιμή στάθμης μιας ορισμένης χρονικής περιόδου μέτρησης.
- **$L_{Amin}$**  : Πρόκειται για την χαμηλότερη τιμή στάθμης μιας ορισμένης χρονικής περιόδου μέτρησης.

- **LA<sub>90</sub>** : Είναι η στάθμη της οποίας σημειώνεται υπέρβαση κατά το 90% μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. Ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύει αυτό που ονομάζουμε «θόρυβο βάθους», το θόρυβο δηλαδή που ουσιαστικά διαμορφώνει το ηχητικό περιβάλλον στο οποίο καλείται να διαβιώσει ένας αστός.
- **LA<sub>10</sub>** : Είναι η στάθμη της οποίας σημειώνεται υπέρβαση κατά το 10% μιας ορισμένης χρονικής περιόδου μέτρησης. Κι αυτός ο δείκτης έχει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς αντιπροσωπεύει κατά κάποιον τρόπο τα πιο έντονα «ηχητικά γεγονότα», εξ' ορισμού λοιπόν μιλάμε καταρχήν για μεγαλύτερες τιμές.

Η επιλογή των παραπάνω δεικτών έγινε με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, όπως:

- **Κύρος - Συσχέτιση με τις επιπτώσεις**  
Ένας μεγάλος αριθμός επιπτώσεων του θορύβου στην υγεία του ανθρώπου έχουν καταγραφεί από την διεθνή βιβλιογραφία. Για κάποιες όμως από αυτές έχει πραγματικά πιστοποιηθεί μια σαφής άμεση συσχέτιση με τον θόρυβο, π.χ. για τις διαταραχές του ύπνου, τη δυσκολία διαλόγου, τη σύγχυση κ.α. Είναι σημαντικό, λοιπόν, ο δείκτης θορύβου να καταδεικνύει τη σχέση του θορύβου με τις επιπτώσεις.
  - **Πρακτική εφαρμογή**  
Είναι σημαντικό τα μεγέθη να είναι εργαλεία στα χέρια των αρχών για τη λήψη μέτρων.
  - **Διαφάνεια**  
Η ευκολία στην επεξήγηση και η σχέση με απτά φυσικά μεγέθη είναι ένα σημαντικό κριτήριο.

## 4.3 Πειραματική Διαδικασία

### 4.3.1 Ηχώμετρα

Τα ηχώμετρα ή αλλιώς οι μετρητές στάθμης ήχου, αποτελούν απαραίτητα εργαλεία για την διεξαγωγή πολλών ειδών μετρήσεων θορύβου. Είναι όργανα, τα οποία μετρούν τις στάθμες της ηχητικής πίεσης και χρησιμοποιούνται σε μελέτες ηχορύπανσης για τον προσδιορισμό αστικού, κυκλοφοριακού, περιβαλλοντικού και βιομηχανικού θορύβου.

Το τρέχον διεθνές πρότυπο για τα ηχώμετρα είναι το **IEC 61672:2003**. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, τα ηχώμετρα διακρίνονται σε δυο «κλάσεις», 1 και 2. Η διάκριση των ηχομέτρων σε «κλάσεις» περιγράφει την ακρίβειά τους, όπως αυτή καθορίζεται από τα σχετικά διεθνή πρότυπα.

Τα ηχώμετρα «κλάσης 1» χαρακτηρίζονται από το ευρύτερο πεδίο συχνοτήτων, στενότερα όρια ανοχής σφάλματος και είναι πιο ακριβή στις μετρήσεις σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ηχώμετρα «κλάσης 2». Συνεπώς, τα ηχώμετρα «κλάσης 1» είναι ακριβότερα από τα αντίστοιχα μοντέλα «κλάσης 2».

Στα ηχόμετρα «κλάσης 1» η ανοχή σφάλματος είναι +/- 0,7 dB, ενώ για τα αντίστοιχα «κλάσης 2» η ανοχή σφάλματος είναι +/- 1,0 dB. Τα ηχόμετρα «κλάσης 1» ενδείκνυνται για αυξημένου βαθμού ακρίβειας εργαστηριακή και υπαίθρια χρήση. Τα ηχόμετρα «κλάσης 2» ενδείκνυνται για γενικού σκοπού υπαίθρια χρήση.

Η επιλογή κλάσης του ηχομέτρου, που θα χρειαστεί κάποιος, εξαρτάται από τις εφαρμογές, για τις οποίες προορίζεται αυτό να χρησιμοποιηθεί και από τους κανονισμούς, τους οποίους επιβάλλεται αυτό να ικανοποιεί. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι κανονισμοί μέτρησης εργασιακού θορύβου αναφέρουν, ότι τα ηχόμετρα «κλάσης 2» τα οποία είναι και χαμηλότερου κόστους, είναι επαρκή για τις μετρήσεις αυτές. Αναμφίβολα, όμως, μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει και τα ηχόμετρα «κλάσης 1» για τις συγκεκριμένες μετρήσεις, καθώς αυτά, όπως έχει προαναφερθεί, είναι περισσότερο ακριβή στις μετρήσεις τους. Επίσης τα ηχόμετρα «κλάσης 1» ενδείκνυνται να χρησιμοποιούνται για μελέτες περιβαλλοντικού θορύβου, στις οποίες μετρούνται, πολύ συχνά, χαμηλές στάθμες θορύβου και οι οποίες μπορούν να μετρηθούν με περισσότερη ακρίβεια από αυτά, λόγω της ευαισθησίας του μικροφώνου τους. Τέλος τα συγκεκριμένα ηχόμετρα προορίζονται για χρήση σε περιπτώσεις εργαστηριακών ερευνών και εφαρμογής του νόμου (όρια θορύβου κλπ).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΧΡΗΣΗ	ΑΝΟΧΗ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Τύπος 1 / Κλάση 1	Αυξημένος βαθμός ακρίβειας για εργαστηριακή και υπαίθρια χρήση.	(+/-) 0,7 dB	Περιβαλλοντικές, ακουστική κτιρίων, οχήματα δρόμου
Τύπος 2 / Κλάση 2	Γενικού σκοπού υπαίθρια χρήση.	(+/-) 1,0 dB	Θόρυβος στην εργασία, βασικές περιβαλλοντικές, μηχανοκίνητος αθλητισμός

Πίνακας 4.2: Κατηγορίες και βασικά χαρακτηριστικά ηχομέτρων

### 4.3.2 Χαρακτηριστικά Ηχομέτρων

#### 4.3.2.1 Σταθμιστικά κυκλώματα (Φίλτρα)

Τα σταθμιστικά κυκλώματα επιλέγονται μέσω των ηχομέτρων με σκοπό τη συλλογή των επιθυμητών συχνοτήτων. Το υφιστάμενο διεθνές πρότυπο για τη

λειτουργία των ηχομέτρων είναι το **IEC 61672**, το οποίο θεωρεί καταλληλότερο για μετρήσεις το σταθμιστικό κύκλωμα A. Το πρότυπο αυτό περιγράφει, επίσης, και άλλα σταθμιστικά κυκλώματα, όπως είναι τα C και Z. Τα παλαιότερα, B και D, έχουν πλέον εγκαταλειφθεί και συνεπώς, δεν περιγράφονται στο πρότυπο. Η στάθμη του ήχου τροποποιείται για την κάθε σταθμιστική καμπύλη.

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο **IEC 61672:2003** αναφορικά με τη λειτουργία των ηχομέτρων, τρία είναι τα σταθμιστικά κυκλώματα ή φίλτρα (frequency weightings), τα οποία μπορούν να συναντηθούν σε ένα ηχώμετρο. Αυτά είναι τα **A**, **C** και **Z**. Όλα τα ηχώμετρα είναι εφοδιασμένα με τα φίλτρα **A** και **C**, ενώ τα πιο εξελιγμένα και ακριβά μοντέλα είναι εφοδιασμένα, επιπλέον, και με το φίλτρο **Z**.

#### 4.3.2.2 *Εύρος μετρήσεων*

Το εύρος των μετρήσεων των φίλτρων κυμαίνεται από **0** έως και **140 dB(A)**, ενώ η στάθμη αιχμής, η οποία εξ' ορισμού μετριέται με τη χρήση φίλτρου C (συνηθέστερα) ή Z, μπορεί να μετρηθεί για μέγιστες τιμές της στάθμης της στο διάστημα από **140 – 143 dB(C)**. Βέβαια, δεν έχουν όλα τα ηχώμετρα τη δυνατότητα να μετρούν στάθμες ήχου σε όλο το παραπάνω εύρος. Σε ορισμένα ηχώμετρα το εύρος των μετρήσεων τους δεν είναι ενιαίο και καθορίζονται διάφορα διαστήματα συγκεκριμένου εύρους, πχ 30-100 dB ή 50-120 dB κλπ, τα οποία ο εκάστωτε χειριστής του οργάνου οφείλει να επιλέξει ανάλογα με το είδος των μετρήσεων του. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, το εύρος τους κυμαίνεται από την κατώτερη τιμή των **20-25 dB** μέχρι και την τιμή των **130-140 dB** (ανάλογα και με το φίλτρο A, C ή Z που έχει επιλεγεί).

#### 4.3.2.3 *Μετρούμενα μεγέθη*

Ανάμεσα στα διάφορα ηχώμετρα που κυκλοφορούν, παρατηρούνται ορισμένες διαφοροποιήσεις, σχετικά με τις παραμέτρους του ήχου που δύνανται να μετρήσουν. Η μέτρηση της ολικής στάθμης του ήχου αποτελεί θεμελιώδες μέγεθος και παρέχεται από όλα τα ηχώμετρα.

Από εκεί και πέρα, συναντούμε ηχώμετρα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αναλύουν την ολική στάθμη του ήχου σε επιμέρους στάθμες, οι οποίες έχουν μετρηθεί στις διάφορες ζώνες συχνότητας. Τα ηχώμετρα αυτά έχουν, δηλαδή, τη δυνατότητα να προβαίνουν σε οκταβική και 1/3-οκταβική ανάλυση του ήχου και αποτελούν εξελιγμένα μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένων απαιτήσεων μετρήσεις και είναι, επομένως, και ακριβότερα από τα υπόλοιπα. Υπάρχουν ηχώμετρα τα οποία μπορούν να προβαίνουν μόνο σε οκταβική ανάλυση, πέρα από τη μέτρηση της ολικής στάθμης, και άλλα ηχώμετρα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιούν και οκταβική και 1/3-οκταβική ανάλυση του ήχου.

Το συνολικό εύρος των συχνότητων για οκταβική ανάλυση είναι μεταβλητό και διαφοροποιείται από ηχώμετρο σε ηχώμετρο. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το εύρος αυτό κυμαίνεται από 71 Hz έως και 16 KHz. Μπορούμε να συναντήσουμε και

ηχόμετρα, το εύρος συχνοτήτων των οποίων να ξεκινάει από τα 16Hz και να φτάνει έως και τα 20 KHz.

Αντίστοιχα ισχύουν και για την 1/3-οκταβική ανάλυση. Το συνολικό εύρος των συχνοτήτων μπορεί να κυμαίνεται από 10 Hz έως και 20 KHz. Στην 1/3-οκταβική ανάλυση το συνολικό εύρος συχνοτήτων διαιρείται σε περισσότερες και μικρότερου εύρους η καθεμία, επιμέρους ζώνες συχνοτήτων, σε σύγκριση με την οκταβική ανάλυση.

Οι κεντρικές συχνότητες των ζωνών, σε Hz, για την οκταβική ανάλυση είναι οι ακόλουθες [κ]: 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 κλπ.

Οι κεντρικές συχνότητες των ζωνών, σε Hz, για την 1/3-οκταβική ανάλυση είναι οι ακόλουθες [κ]: 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000 κλπ.

Συγκεκριμένα, το ηχόμετρο της Casella cel 490 έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει τόσο οκταβική όσο και 1/3-οκταβική ανάλυση του ήχου. Το συνολικό εύρος των συχνοτήτων για την οκταβική ανάλυση κυμαίνεται από 16 Hz έως και 16 KHz, ενώ για την 1/3-οκταβική ανάλυση από 12,5 Hz έως και 20 KHz.

Όλα τα ηχόμετρα σε γενικές γραμμές, μπορούν να παρέχουν μετρήσεις των ακόλουθων βασικών παραμέτρων του ήχου:

- $LA_{eq}$ ,  $LC_{eq}$ ,  $LZ_{eq}$  : Ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου για την χρονική διάρκεια της μέτρησης με χρήση φίλτρου A, C και Z (dB(A), dB(C), dB(Z), αντίστοιχα και ανάλογα με τα φίλτρα που διαθέτει το κάθε ηχόμετρο).
- $LA_{max}$ ,  $LC_{max}$ ,  $LZ_{max}$  : Μέγιστη τιμή της στάθμης θορύβου για τη χρονική διάρκεια της μέτρησης με χρήση φίλτρου A, C και Z αντίστοιχα.
- $LA_{min}$ ,  $LC_{min}$ ,  $LZ_{min}$  : Ελαχίστη τιμή της στάθμης θορύβου για τη χρονική διάρκεια της μέτρησης με χρήση φίλτρου A, C και Z αντίστοιχα.
- $L_{pk}$  : Αιχμή της στάθμης θορύβου για τη χρονική διάρκεια μιας μέτρησης. Η μέτρησή της προκύπτει με χρήση φίλτρου C ή Z ( $LC_{pk}$  ή  $LZ_{pk}$ , αντίστοιχα). Η μετρούμενη στάθμη αιχμής μπορεί να είναι κατά πολλά dB υψηλότερη σε μία μέτρηση από τη μέγιστη τιμή της στάθμης θορύβου  $LA_{max}$  για τη χρονική διάρκεια της μέτρησης αυτής [wiki].

Τα πιο εξελιγμένα ηχόμετρα είναι σε θέση να υπολογίσουν, επιπλέον, διάφορους ποσοστομοριακούς –στατιστικούς- δείκτες  $L_N$ , όπου  $N= 0,1\% - 99,9\%$ . Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι οι  $L_1$ ,  $L_5$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$ ,  $L_{99}$ .

#### 4.3.2.4 Συνοδευτικά εξαρτήματα ηχομέτρων

Εκτός από το ηχόμετρο, το οποίο έχει τον κυριότερο ρόλο σε μια μέτρηση, υπάρχουν και άλλα σύνεργα, τα οποία είναι αναγκαία, είτε σε μικρότερο είτε σε μεγαλύτερο βαθμό, τα οποία βοηθούν για μια επιτυχημένη έκβαση των διαφόρων μετρήσεων θορύβου.

Τα παρελκόμενα αυτά σύνεργα είναι τα ακόλουθα:

- Ακουστικός καλιμπραριστής: (acoustical calibrator): Όπως τα ηχόμετρα, έτσι και τα όργανα αυτά διακρίνονται σε «κλάσης 1» και «κλάσης 2». Είναι απαραίτητα όργανα, προκειμένου το ηχόμετρο να καλιμπραρισθεί, τόσο πριν όσο και μετά από κάθε

μέτρηση, έτσι ώστε να διασφαλιστεί, ότι η μέτρηση αυτή είναι κατά το δυνατόν πιο ακριβής.

- Προστατευτικό κάλυμμα ανέμου: Χρησιμοποιείται έτσι ώστε να καλύψει το μικρόφωνο του ηχομέτρου, προκειμένου να μειώσει το θόρυβο, ο οποίος προκαλείται από τον άνεμο και μπορεί να επιφέρει αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές των μετρούμενων τιμών θορύβου.
- Βαλίτσα μεταφοράς: Είναι απαραίτητη για την μεταφορά του ηχομέτρου αλλά και των υπόλοιπων οργάνων με ασφάλεια, μειώνοντας έτσι σε σημαντικό βαθμό τις πιθανότητες πρόκλησης φθορών στον εξοπλισμό κατά τη μεταφορά του στις διάφορες θέσεις των μετρήσεων. Εσωτερικά, είναι επενδυμένες με ειδική μόνωση, για να απορροφούνται οι κραδασμοί από τυχόν προσκρούσεις της βαλίτσας.
- Τρίποδας στήριξης: Είναι απαραίτητος για την στήριξη του ηχομέτρου κατά την διάρκεια των μετρήσεων.
- Εγχειρίδια χειρισμού: Παρέχει όλες τις αναγκαίες οδηγίες για την λειτουργία του οργάνου.
- Λογισμικό πρόγραμμα: Συνοδεύει κάθε ηχομέτρο και παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς των μετρήσεων του ηχομέτρου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την πιο άνετη επεξεργασία τους.
- Μπαταρίες: Είναι αναγκαίες για την λειτουργία τόσο του ηχομέτρου, κυρίως για μετρήσεις στην ύπαιθρο, όσο και του οργάνου καλιμπραρίσματος.

#### 4.3.2.5 Συνθήκες Λειτουργίας

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των ηχομέτρων, παρέχονται ορισμένες προδιαγραφές, αναφορικά με τη λειτουργία των οργάνων ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά, κυρίως, τη θερμοκρασία και την υγρασία.

Για την πλειοψηφία των ηχομέτρων, οι κατασκευαστές τους ορίζουν, ως θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας τους, το διάστημα από  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $+50^{\circ}\text{C}$ . Όσον αφορά τις συνιστώμενες τιμές της σχετικής υγρασίας, αυτές κυμαίνονται, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, από 30% έως και 90 ή 95%.

## 4.4 Ισχύουσα Νομοθεσία

Η παρούσα διερεύνηση γίνεται, σύμφωνα με την απόφαση περιβαλλοντικών όρων, και επιπλέον με βάση την παρακάτω νομοθεσία:

Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. με αριθμ. οικ. 211773/27-4-2012 (ΦΕΚ 1367Β/27.4.2012) για τον «Καθορισμό Δεικτών Αξιολόγησης και Ανωτάτων Επιτρεπομένων Ορίων Δεικτών Περιβαλλοντικού Θορύβου που προέρχεται από την λειτουργία συγκοινωνιακών έργων, τεχνικές προδιαγραφές ειδικών ακουστικών μελετών υπολογισμού και εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων, προδιαγραφές προγραμμάτων παρακολούθησης περιβαλλοντικού θορύβου και άλλες διατάξεις.»

Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των ανωτέρω περιγραφομένων δεικτών Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου και/ή Σιδηροδρομικού Θορύβου καθορίζονται τα ακόλουθα:

α) Για τον δείκτη  $L_{eq\text{ημέρας-απογεύματος}}$  ή  $L_{d-e}$ : τα 67 dB(A), και

β) Για τον δείκτη  $L_{eq\text{νύχτας}}$  ή  $L_n$ : τα 60 dB(A)

Η διαδικασία ελέγχου, υπολογισμού και αξιολόγησης των ανωτέρω ορίων γίνεται στο πλαίσιο της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου με τις διαδικασίες και μεθοδολογίες που προβλέπονται σύμφωνα με την 13586/724/ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006 κοινή υπουργική απόφαση εναρμόνισης της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ.

Ολόκληρη η Ισχύουσα Νομοθεσία παρατίθεται στο Παράρτημα Γ.



## 4.5 Ηχοαπορροφητικά Υλικά και Διατάξεις

### 4.5.1 Εισαγωγή

Όλα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην πράξη για επιχρίσματα και επικαλύψεις παρουσιάζουν συνήθως χαμηλή ηχοαπορρόφηση. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ηχοαπορρόφηση (όπως ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών, μείωση θορύβου σε βιομηχανικούς χώρους κλπ) χρησιμοποιούνται ειδικά υλικά σε αντίστοιχες διατάξεις. Τα ηχοαπορροφητικά υλικά και διατάξεις διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

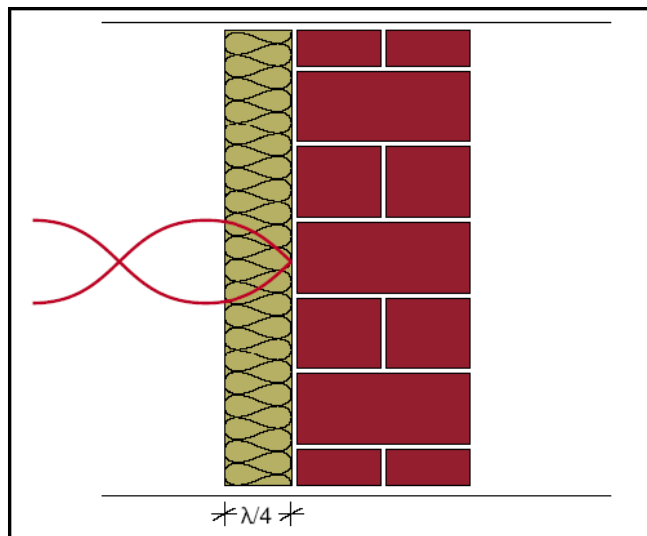
- Πορώδη ή ινώδη ηχοαπορροφητικά
- Συνηχητές μεμβράνης
- Συνηχητές κοιλότητας

#### 4.5.1.1 Πορώδη ηχοαπορροφητικά

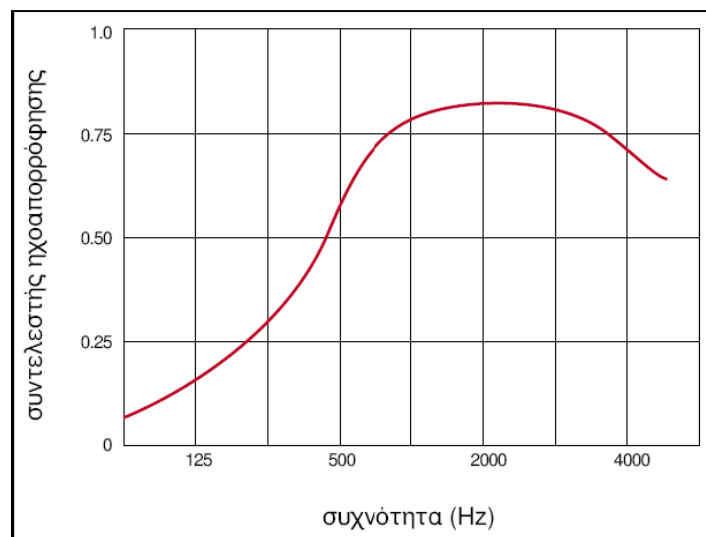
Τα πορώδη υλικά είναι υλικά με ανοικτούς πόρους. Το πλέον ευρέως διαδεδομένο σε ευρωπαϊκό επίπεδο πορώδες ηχοαπορροφητικό υλικό που χρησιμοποιείται στις κατασκευές είναι ο πετροβάμβακας.

Η βασική ακουστική λειτουργία του πετροβάμβακα είναι η απορρόφηση του ήχου μέσα από την μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα μέσα στους πόρους. Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει μεγάλη ηχοαπορρόφηση στις υψηλές συχνότητες δηλαδή σε ήχους με μικρό μήκος κύματος.

Όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.1.α, 4.1.β, σε ένα ηχητικό κύμα που προσπίπτει σε μια επιφάνεια το μέγιστο πλάτος εμφανίζεται στο  $1/4$  ή τα  $3/4$  του μήκους κύματος. Επομένως, για αποτελεσματική ηχοαπορρόφηση σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, θα πρέπει το πάχος του ηχοαπορροφητικού υλικού να είναι συγκρίσιμο με το  $1/4$  του μήκους κύματος στη συχνότητα αυτή. Σε αντίθετη περίπτωση η ηχοαπορρόφηση είναι χαμηλή.

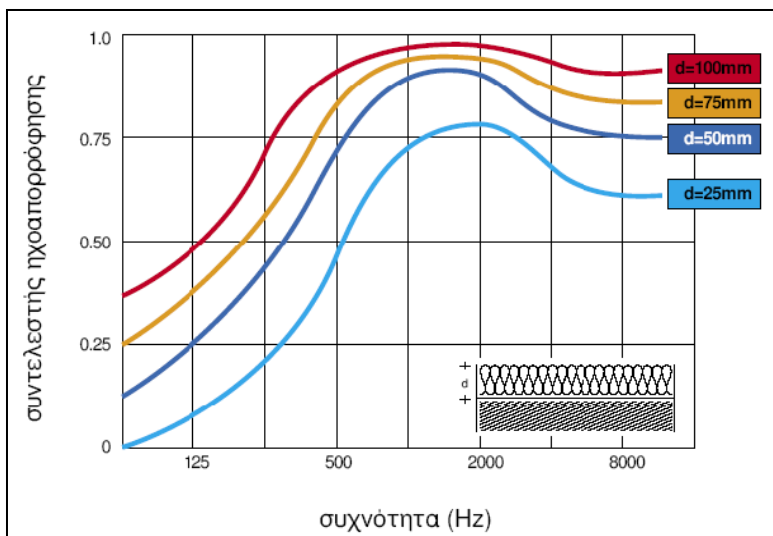


Σχήμα 4.1.α: Σχέση μήκους κύματος και πάχους πετροβάμβακα

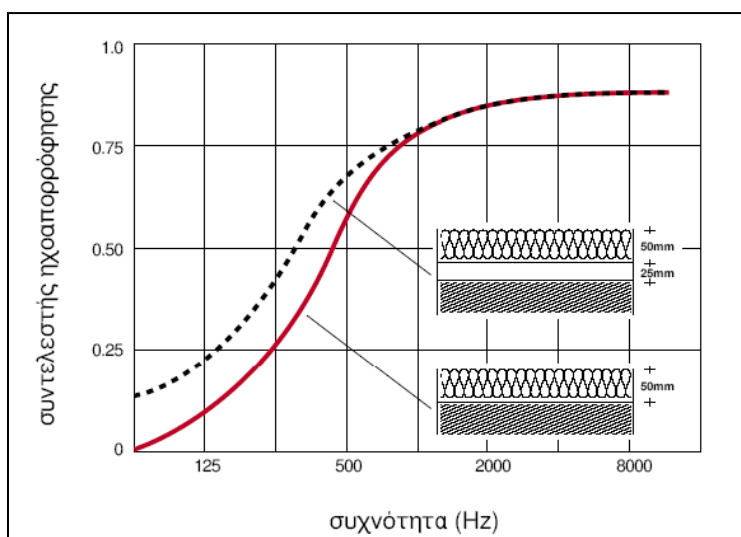


Σχήμα 4.1.β: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης πετροβάμβακα

Για την αύξηση της ηχοαπορρόφησης σε χαμηλότερες συχνότητες απαιτείται είτε αύξηση του πάχους του υλικού, Σχήμα 4.2, είτε αύξηση της απόστασης του πορώδους υλικού από την σταθερή επιφάνεια τοποθέτησης, Σχήμα 4.3.



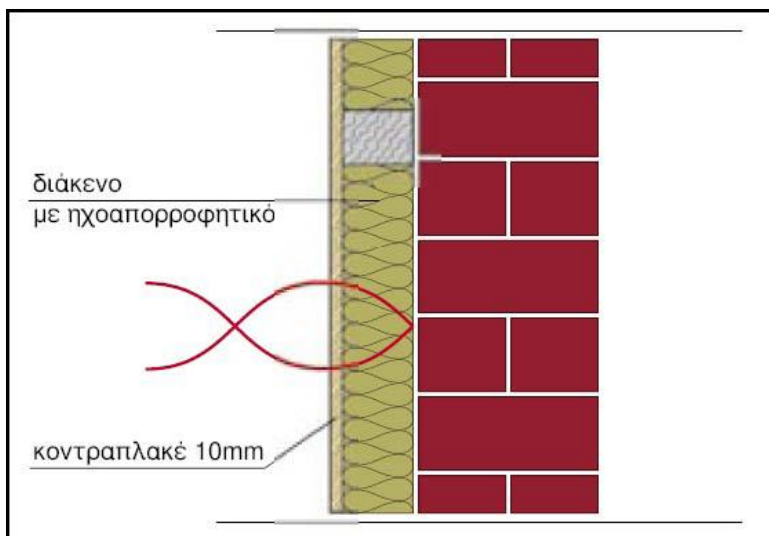
Σχήμα 4.2: Επίδραση του πάχους του πετροβάμβακα στον συντελεστή ηχοαπορρόφησης



Σχήμα 4.3: Επίδραση στον συντελεστή ηχοαπορρόφησης της απόστασης του πετροβάμβακα από την επιφάνεια τοποθέτησης

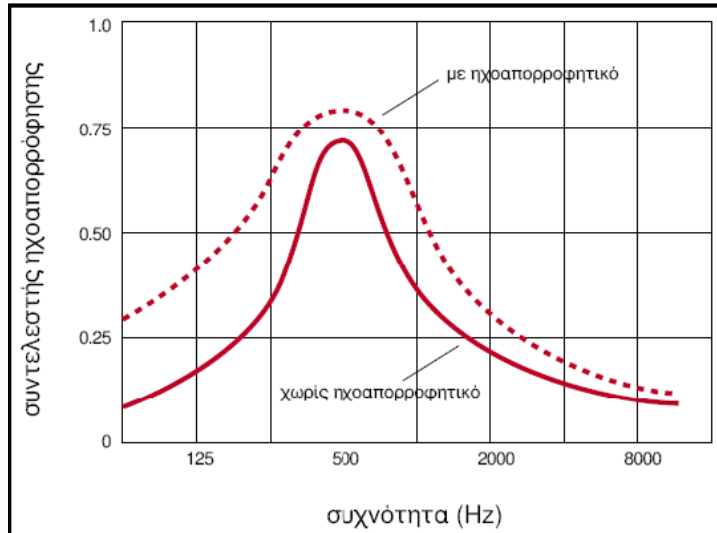
#### 4.5.1.2 Συνηχητές μεμβράνης

Οι διατάξεις αυτές αποτελούνται από λεπτά, εύκαμπτα φύλλα (π.χ. γυψοσανίδα, κόντρα πλακέ, κτλ.) που τοποθετούνται σε απόσταση από μια σταθερή άκαμπτη επιφάνεια, έτσι ώστε να σχηματίζεται μεταξύ τους ένα διάκενο αέρα, Σχήμα 4.4. Στις διατάξεις αυτές η μετατροπή της ηχητικής ενεργείας σε θερμότητα προκαλείται από την αντίσταση του φύλλου σε απότομη κάμψη και την αντίσταση του εγκλωβισμένου αέρα στο διάκενο να συμπιεστεί.



Σχήμα 4.4: Διάταξη συνηχητού μεμβράνης με πετροβάμβακα

Σε αντίθεση με τον πετροβάμβακα, οι συνηχητές μεμβράνης εμφανίζουν σημαντική ηχοαπορρόφηση στις χαμηλές συχνότητες, Σχήμα 4.5. Για να διερευνηθεί η περιοχή συχνοτήτων, όπου η ηχοαπορρόφηση είναι ικανοποιητική, προστίθεται πετροβάμβακας στο διάκενο μεταξύ μεμβράνης και τοίχου, Σχήμα 4.5.

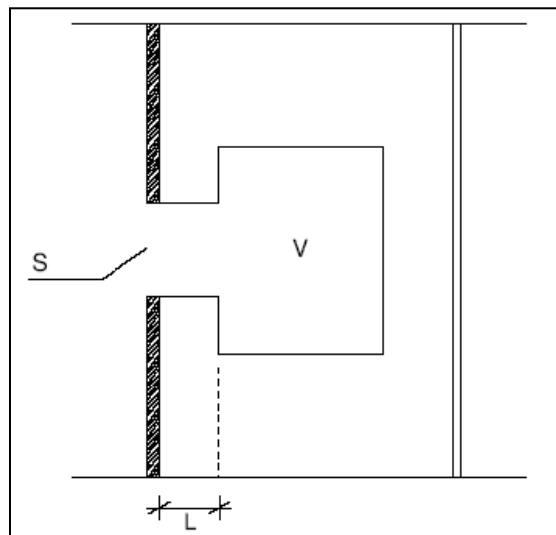


Σχήμα 4.5: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης συνηχητής

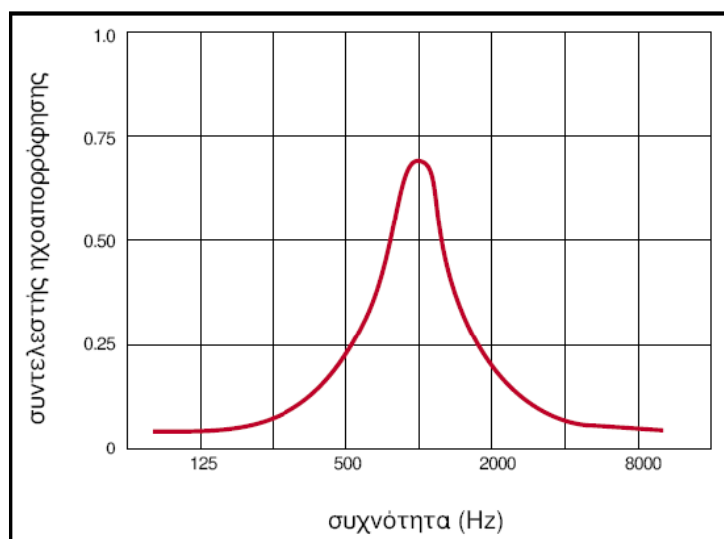
#### 4.5.1.3 Συνηχητές κοιλότητας

Στην τρίτη κατηγορία των ηχοαπορροφητικών διατάξεων ανήκουν οι συνηχητές κοιλότητας. Οι συνηχητές αυτοί αποτελούνται βασικά από μια κοιλότητα όγκου  $V$ , όπου

εγκλωβίζεται αέρας ο οποίος επικοινωνεί με τον ελεύθερο χώρο που διαθέτει στενό άνοιγμα (λαιμό) διατομής  $S$  και μήκους  $L$ , Σχήμα 4.6. Οι συνηχητές κοιλότητας χρησιμοποιούνται για επιλεκτική ηχοαπορρόφηση συγκεκριμένων συχνοτήτων καθώς η ηχοαπορροφητική τους ικανότητα περιορίζεται σε μια πολύ στενή περιοχή συχνοτήτων, Σχήμα 4.7.



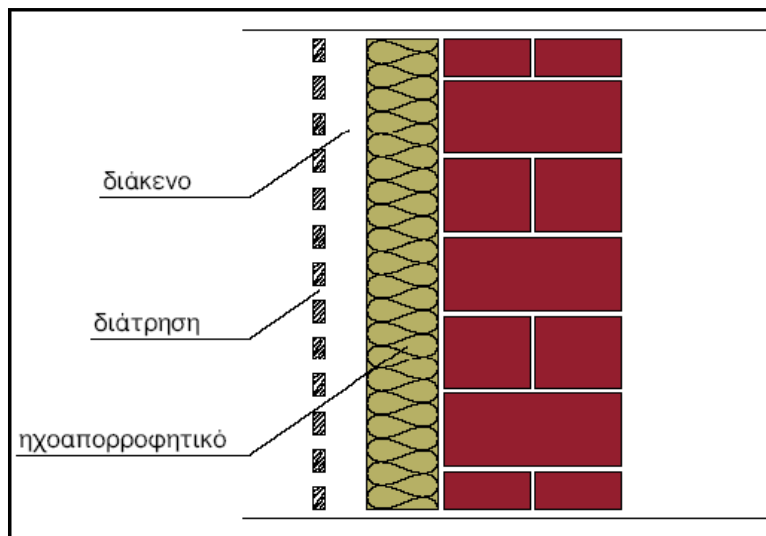
Σχήμα 4.6: Συνηχητής κοιλότητας



Σχήμα 4.7: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης συνηχητή κοιλότητας

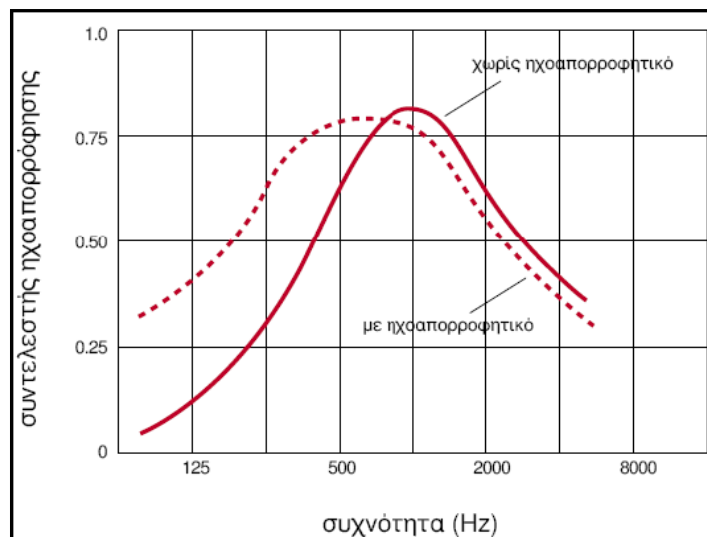
#### 4.5.2 Διάτρητα Ηχοαπορροφητικά

Οι διατάξεις αυτές που αποτελούνται συνήθως από διάτρητα πάνελ είναι συνδυασμός των προηγούμενων τύπων ηχοαπορροφητικών, Σχήμα 4.8.



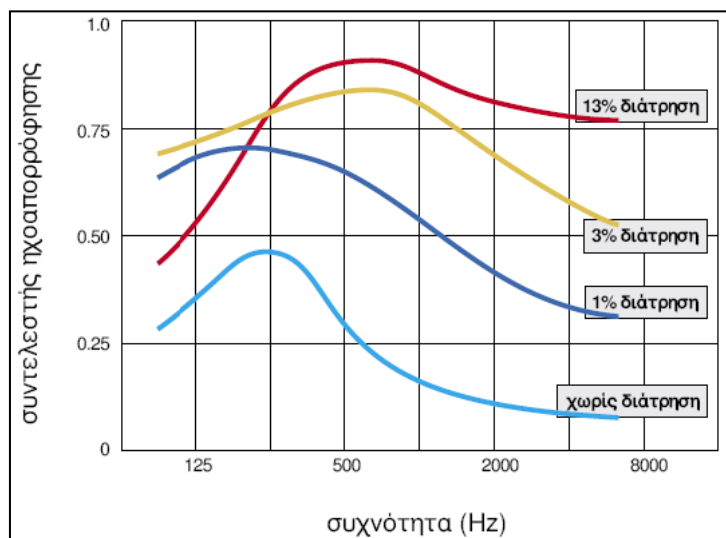
Σχήμα 4.8: Διάταξη διάτρητου ηχοαπορροφητικού με πετροβάμβακα

Το πάνελ μπορεί να αποτελείται από γυφιοσανίδα, ορυκτή ίνα, κόντρα πλακέ, μεταλλικό ή πλαστικό φύλο και λειτουργεί ως συνηχητής μεμβράνης. Οι οπές ή σχισμές και το στρώμα του αέρα λειτουργούν ως συνηχητές κοιλότητες. Ο πετροβάμβακας ως ηχοαπορροφητικό υλικό τέλος, βοηθά στην διεύρυνση της περιοχής ηχοαπορρόφησης, Σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.9: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης διάτρητου απορροφητικού με και χωρίς πετροβάμβακα

Η ηχοαπορροφητική ικανότητα των διάτρητων ηχοαπορροφητικών εξαρτάται από το ποσοστό διάτρησης της επιφάνειας, Σχήμα 4.10.



Σχήμα 4.10: Επίδραση του ποσοστού διάτρησης επιφάνειας στο συντελεστή ηχοαπορρόφησης

#### 4.5.2.1 Επιλεγμένο υλικό τοποθέτησης

Το ηχοαπορροφητικό υλικό που τελικώς επιλέχθηκε από τον ΗΣΑΠ για τις ανάγκες του έργου είναι ένα αδιαφανές ηχοαπορροφητικό panel αλουμινίου με διάτρητη τη μία πλευρά του προς την πηγή θορύβου της εταιρίας Schutte με παρουσία πετροβάμβακα στο εσωτερικό του.

Τα πλεονεκτήματα του σύνθετου ηχοαπορροφητικού υλικού Schutte είναι η υψηλή σταθερότητα μετά την τοποθέτηση, η δυνατότητα χρήσης του σε περιοχές με δυνατούς ανέμους εξαιτίας της κυματοειδούς επιφάνειας, η υψηλή ανθεκτικότητά του στην βρωμιά εξαιτίας των πολύ μικρών οπών διαμέτρου 5 χιλιοστών και το μειωμένο κόστος συντήρησης. Ακόμη, είναι εναρμονισμένο σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς DS 804.5501, ZTV-L<sub>SW</sub> 88-06, EN 1793 & EN 1794.

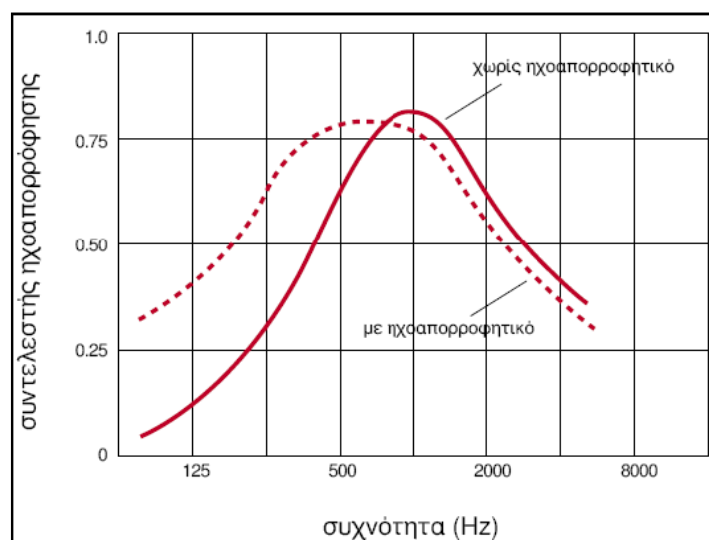
Όσον αφορά στην κατασκευή του αδιαφανούς panel αλουμινίου, αυτό παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αυξημένη σκληρότητα εξαιτίας της κυματοειδούς επιφάνειας
- Αποτελεσματική προστασία του υλικού από το νερό, με ενσωματωμένο σύστημα απορροής
- Πάχος αδιαφανούς φύλλου αλουμινίου 5 mm
- Διαστάσεις πάνελ: 5960x500 mm, 5960x300 mm, 5960x200 mm

- Ύψος τελικής διαμόρφωσης: 2,5 μέτρα.
- Δυνατότητα διαμόρφωσης διαφόρων σχημάτων
- Διάμετρος Διάτρησης: 5mm
- Διάτρητη επιφάνεια: 40 %

Τέλος, ο ηχοαπορροφητικός πετροβάμβακας έχει τεχνικά χαρακτηριστικά ως εξής:

- Πυκνότητα πετροβάμβακα:  $100 \text{ kg/m}^3$
- Πάχος υλικού: 4 cm
- Προσφερόμενη απομείωση ήχου  $L_{A,\alpha,Str}$  από 10 έως 13 dB
- Απορροφητικότητα κλάσης A4
- Βάρος ( $\text{Kg/m}^2$ ): 8
- Ο συντελεστής ηχοαπορόφησης του σύνθετου υλικού φαίνεται στο σχήμα 11 με διακεκομμένη γραμμή



Σχήμα 4.11. Συντελεστής ηχοαπορόφησης διάτρητου απορροφητικού με και χωρίς πετροβάμβακα



## 4.6 Διεξαγωγή του πειράματος

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν ηχόμετρα της εταιρείας Casella cel 490 και cel 440 (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Ηχόμετρο της εταιρείας Casella cel

Οι μετρήσεις έγιναν στην περιοχές Κηφισιά, Μαρούσι, Νέο Ηράκλειο, Πετράλωνα. Πριν την διεξαγωγή των μετρήσεων, έγινε επιλογή των χαρακτηριστικών σημείων μέτρησης και τοποθέτησης των οργάνων, όπως ήδη έχουμε αναφέρει. Τα σημεία αυτά επιλέχθηκαν με σκοπό να δώσουν την κατά το δυνατόν πλησιέστερη εικόνα του αστικού θορύβου, που επικρατεί τόσο στην πηγή του θορύβου, πλάι στη σιδηροτροχιά, όσο και στην γειτνιάζουσα πολεοδομική γραμμή και την τάξη μεγέθους της εξασθένισης του ήχου, αν και εφόσον έχει συντελεσθεί από την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ.

Οι μετρήσεις σε κάθε θέση διήρκεσαν δύο ημέρες. Η πρώτη έγινε πριν την τοποθέτηση του υλικού από την ανάδοχο εταιρία και η δεύτερη αφού τοποθετήθηκαν τα προαναφερόμενα πάνελ.

Κάθε μέτρηση στα εκάστοτε σημεία, είχε την διάρκεια των 30 λεπτών, με σκοπό την επίτευξη μεγάλου εύρους τιμών και την ενίσχυση της αξιοπιστίας του εγχειρήματος, περιλαμβάνοντας τόσο διελεύσεις τρένων, όσο και αστικό θόρυβο. Γίνονταν πάντα και μία μέτρηση κατά την απουσία διέλευσης συρμών, για τη μέτρηση και μόνο του αστικού θορύβου, ωστόσο πρέπει να αναφερθεί, πως επειδή οι χρονοαποστάσεις μεταξύ των συρμών κατά τις δύο κατευθύνσεις ήταν μικρές, της τάξεως των 90 sec έως 240 sec, οι μετρήσεις ακόμη και στην ίδια θέση στο ίδιο σημείο παρουσίαζαν διαφορές, κυρίως λόγω της μεμονωμένης διέλευσης οχημάτων, ειδικά σε γειτονιές με μικρή ή ήπια κυκλοφορία.

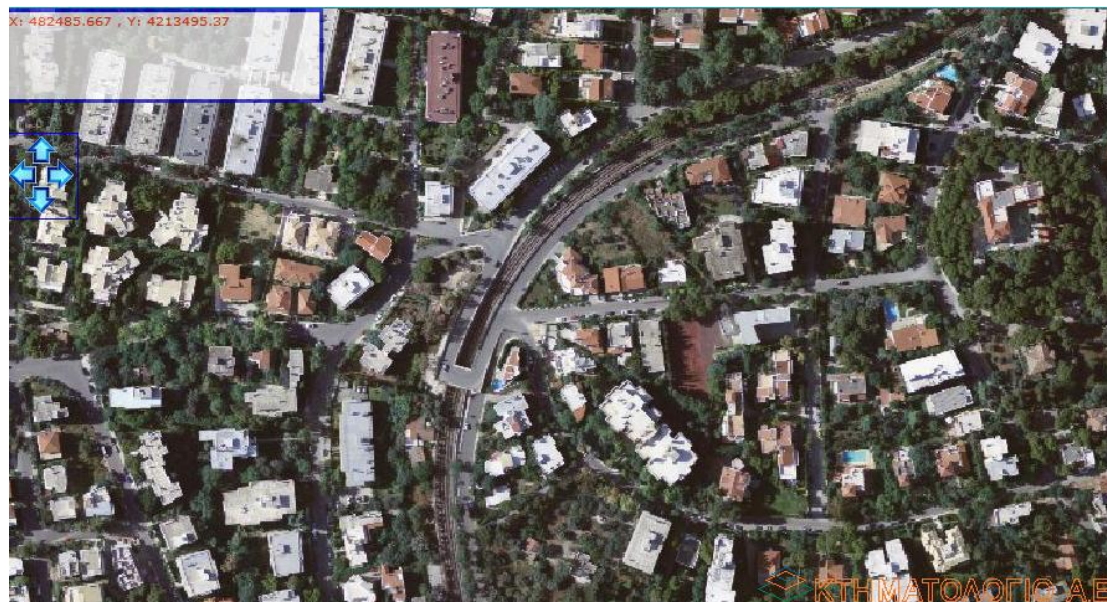
Τα χαρακτηριστικά σημεία μέτρησης καθώς και η ώρα και διάρκεια των μετρήσεων παρέμεινε η ίδια, όπως και στην πρώτη φάση. Επίσης, επελέγησαν μέρες με παρόμοια κλιματολογικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά. Η κοινή αυτή επιλογή μέτρησης στις δυο φάσεις έγινε με σκοπό η επεξεργασία των αποτελεσμάτων ανά σημείο και η αξιολόγηση τους να είναι όσο το δυνατόν πιο

εύκολη και αποτελεσματική, έτσι ώστε τελικά να μπορεί να υπάρξει ένα σαφές μέτρο σύγκρισης μεταξύ των υφιστάμενων αποτελεσμάτων.

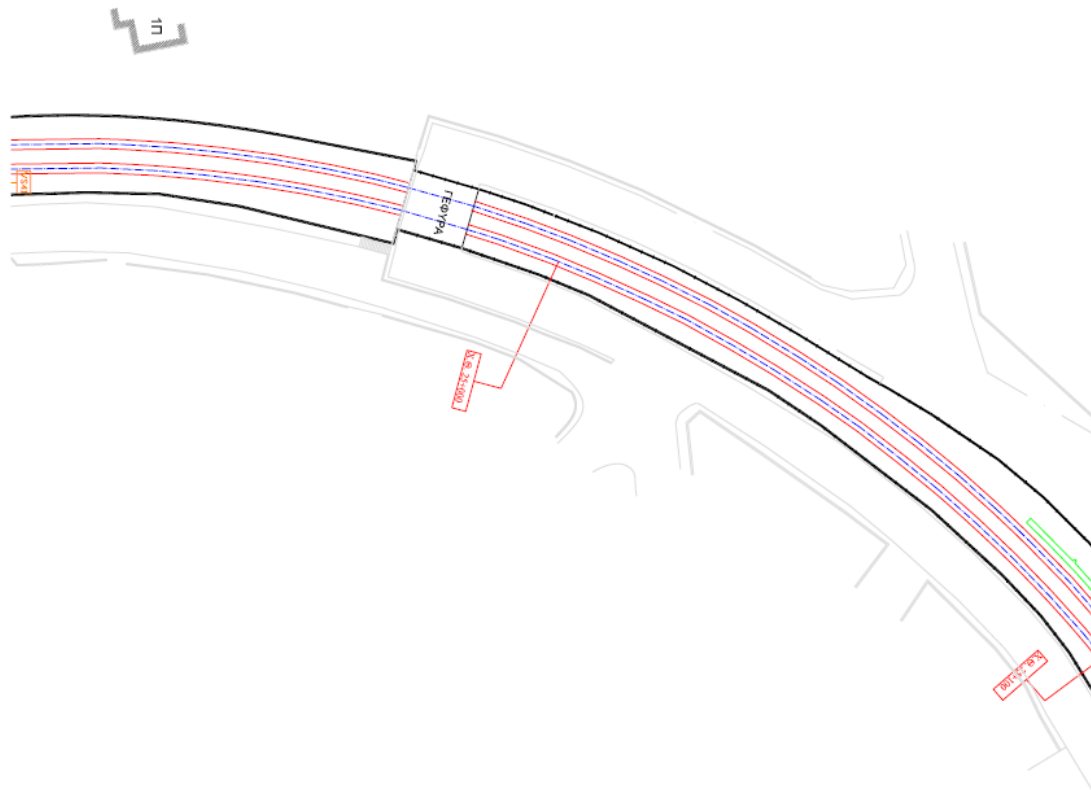
#### 4.6.1 Κηφισιά

Σημείο	Κηφισιά - ΚΑΤ								
ΧΘ	25+100								
A/A	Ημερομηνία Εκτέλεσης	Ώρα εκτέλεσης	Θερμοκρασία	Καιρός	Άνεμος	Διέλευση οχημάτων	Ηχόμετρο	Απόσταση από σιδ/χια	Ύψος από επίπεδο γραμμής
1	6/6/2012	9:06	27 °C	Αίθριος	1 BF	Πολύ κίνηση	1	0,5 m	6 m
							2	7,5 m	6 m
2	11/10/2012	9:20	20 °C	Μερική Ηλιοφάνεια	1 BF	Πολύ κίνηση	1	0,5 m	6 m
							2	7,5 m	6 m

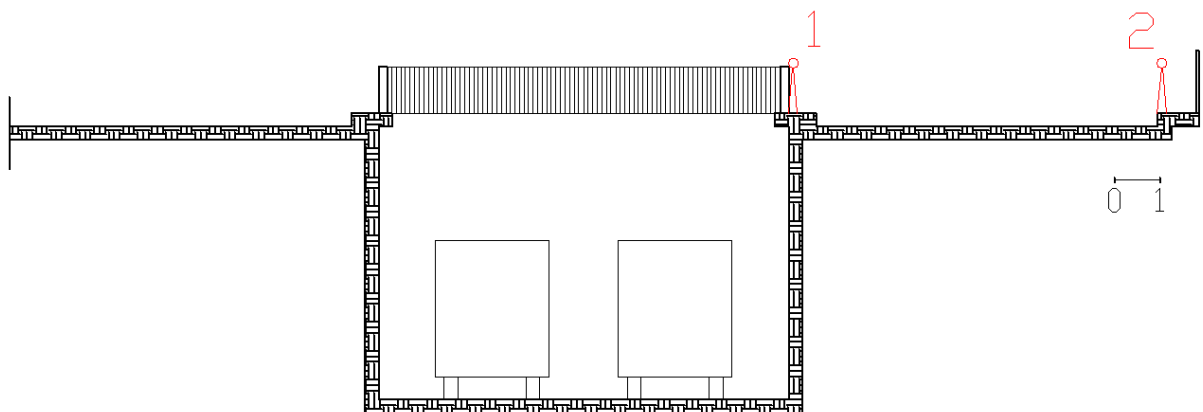
Πίνακας 4.6.1.1: Λεπτομέρειες μετρήσεων στη θέση “Κηφισιά”



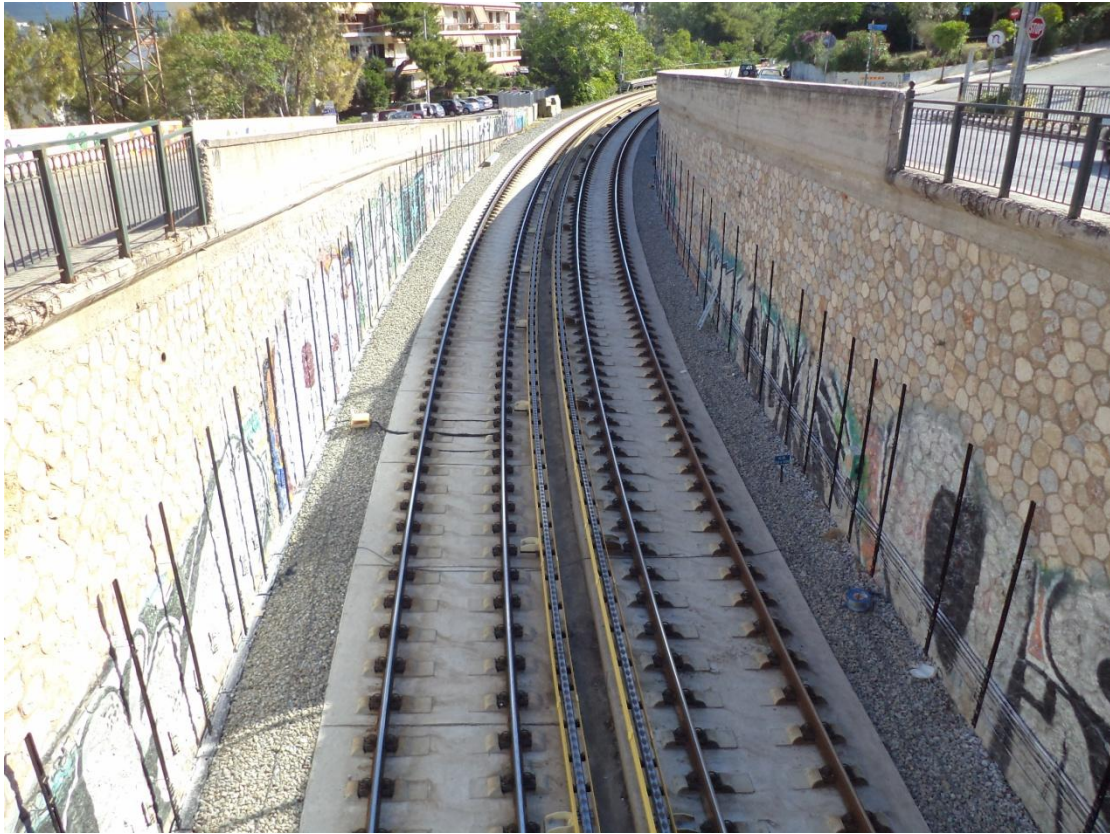
Εικόνα 4.6.1.1: Άποψη της θέσης “Κηφισιά” από δορυφόρο



Εικόνα 4.6.1.2: Τοπογραφικό Διάγραμμα της θέσης “Κηφισιά”



Εικόνα 4.6.1.3: Χαρακτηριστική τομή στη θέση “Κηφισιά”



Εικόνα 4.6.1.4: Άποψη της σιδηροτροχιάς πριν την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ



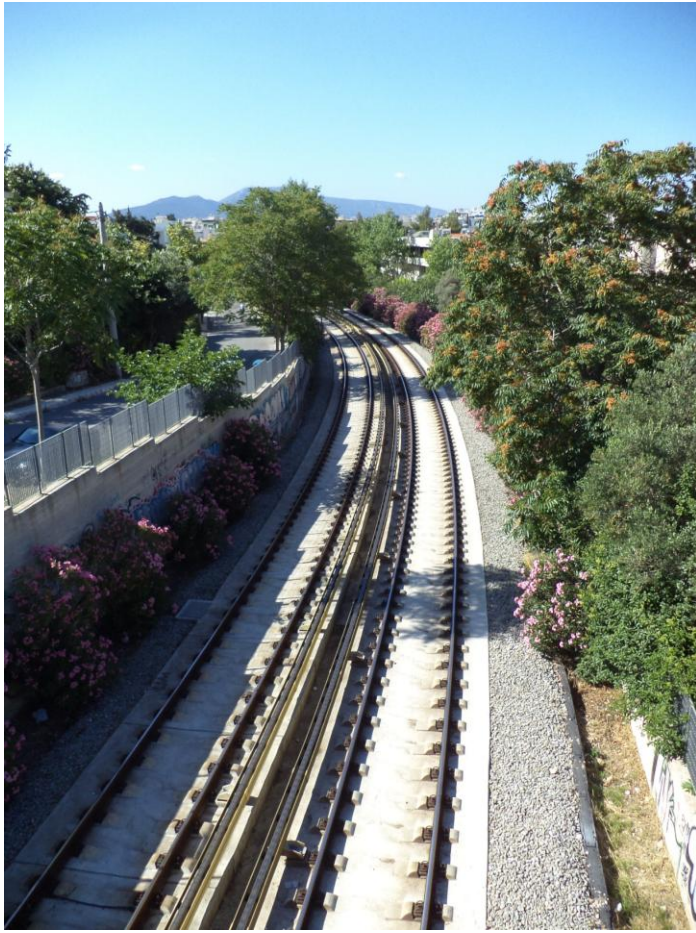
Εικόνα 4.6.1.4: Άποψη της σιδηροτροχιάς μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ



Εικόνα 4.6.1.5: Άποψη του 1<sup>ου</sup> σημείο μέτρησης



Εικόνα 4.6.1.6: 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> σημείο μέτρησης



Εικόνα 4.6.1.7: Κατάληξη της γέφυρας πριν την τοποθέτηση των πάνελ

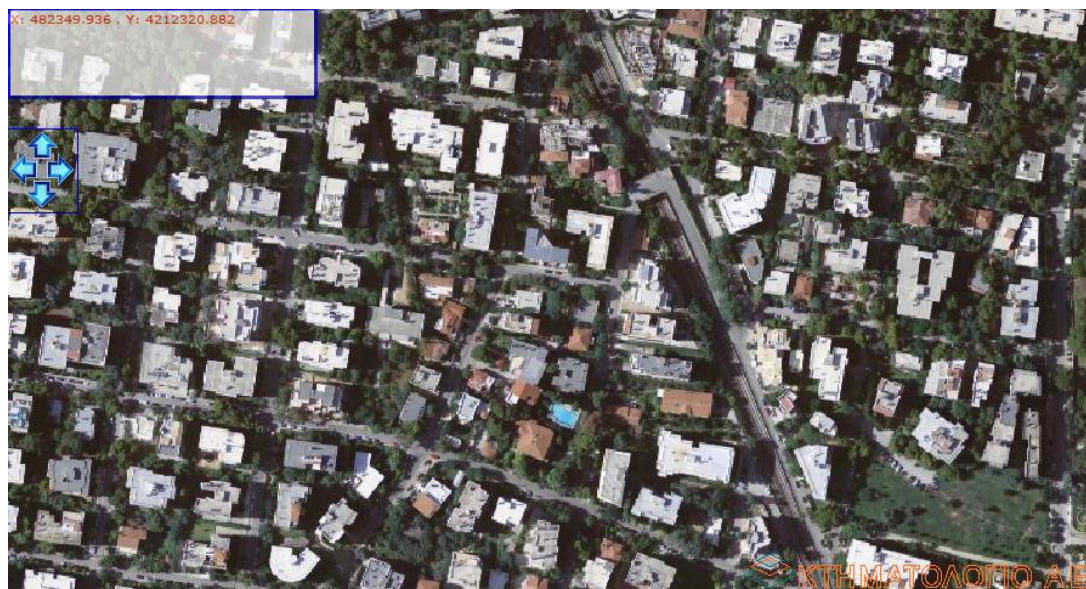


Εικόνα 4.6.1.8: Ίδια άποψη μετά την τοποθέτηση των πάνελ

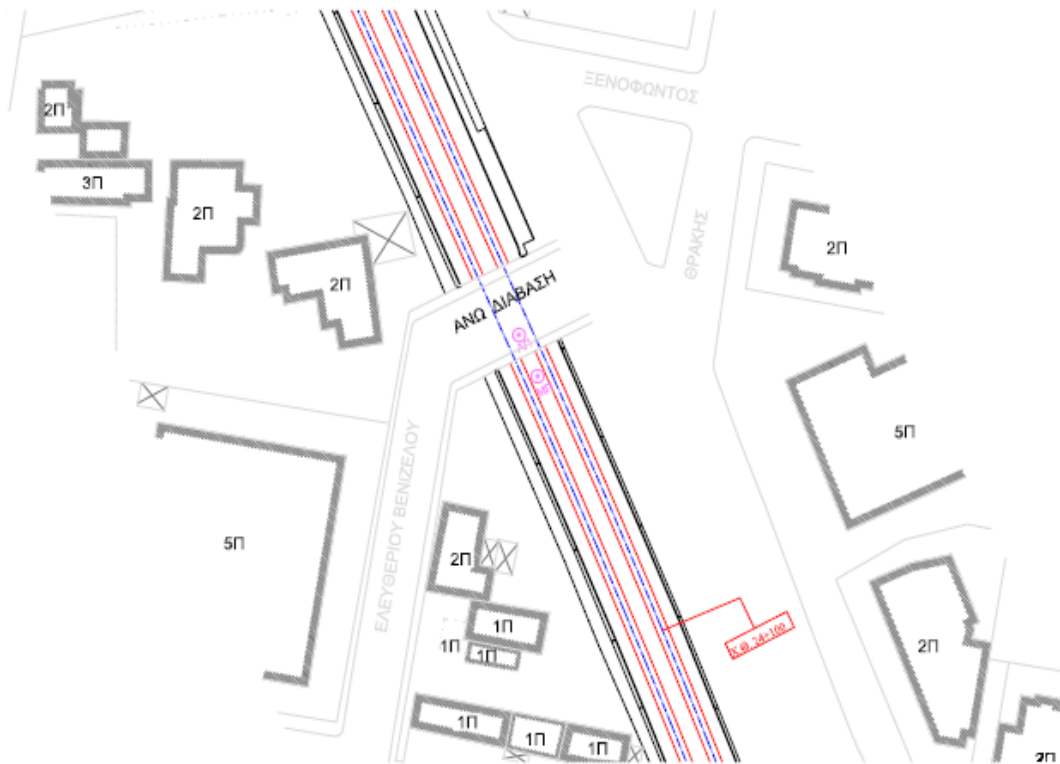
#### 4.6.2 Μαρούσι

Σημείο	ΚΑΤ - Μαρούσι								
ΧΘ	24+200								
A/A	Ημερομηνία Εκτέλεσης	Ώρα εκτέλεσης	Θερμοκρασία	Καιρός	Άνεμος	Διέλευση οχημάτων	Ηχώμετρο	Απόσταση από σιδ/χια	Ύψος από επίπεδο γραμμής
1	6/6/2012	10:06	27 °C	Αίθριος	2 BF	Λίγη κίνηση	1	Μέσο 2 σιδ/χιων	6 m
							2	5 m	5 m
2	15/10/2012	9:20	22 °C	Μερική Ηλιοφάνεια	2 BF	Λίγη κίνηση	1	Μέσο 2 σιδ/χιων	6 m
							2	5 m	5 m

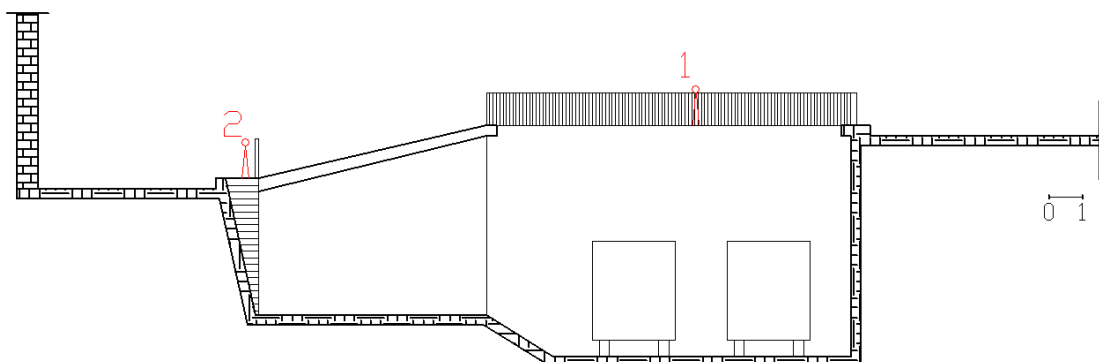
Πίνακας 4.6.2.1: Λεπτομέρειες μετρήσεων στη θέση "Μαρούσι"



Εικόνα 4.6.2.1: Άποψη της θέσης "Μαρούσι" από δορυφόρο



Εικόνα 4.6.2.2: Τοπογραφικό Διάγραμμα στη θέση “Μαρούσι”



Εικόνα 4.6.2.3: Χαρακτηριστική Τομή της θέσης “Μαρούσι”





Εικόνα 4.6.2.4: Σημείο μέτρησης 2ο



Εικόνα 4.6.2.5: Σημείο μέτρησης 1<sup>ο</sup> πριν την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών



Εικόνα 4.6.2.6: Σημείο μέτρησης 1<sup>ο</sup> μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών

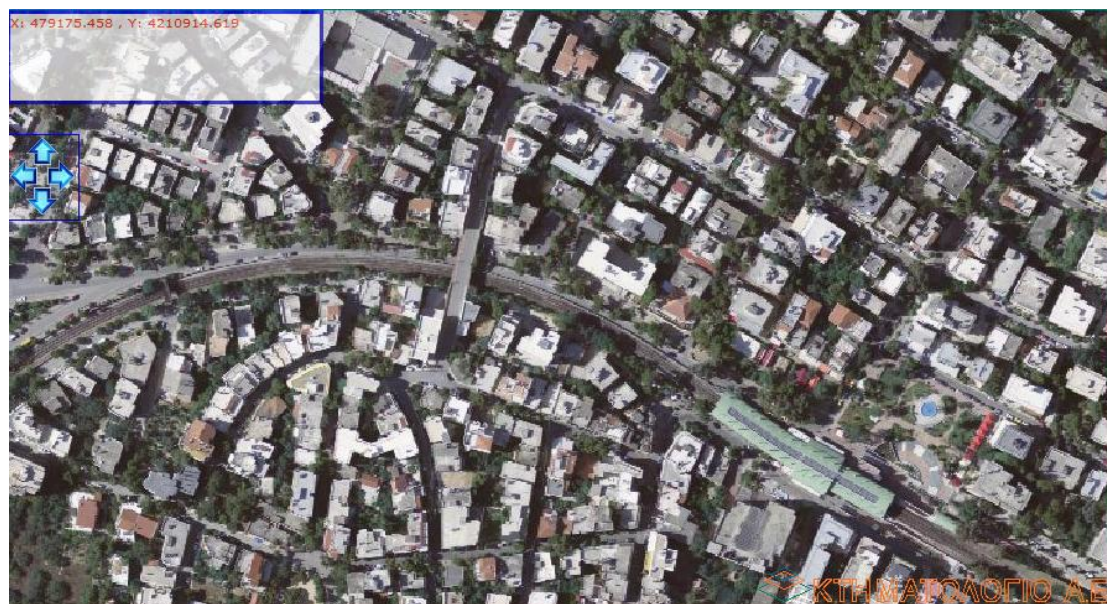


Εικόνα 4.6.2.7: Αποψη της κοίτης της σιδηροτροχιάς μετά την τοποθέτηση των πάνελ

### 4.6.3 Ηράκλειο

Σημείο ΧΘ	Νέο Ηράκλειο - Νέα Ιωνία 19+100								
A/A	Ημερομηνία Εκτέλεσης	Ώρα εκτέλεσης	Θερμοκρασία	Καιρός	Άνεμος	Διέλευση σχημάτων	Ηχόμετρο	Απόσταση από σιδ/χια	Ύψος από επίπεδο γραμμής
1	6/6/2012	11:40	28 °C	Αίθριος	1 BF	Πολύ κίνηση	1	1 m	1,7 m
							2	10 m	1,5 m
2	11/10/2012	11:30	22 °C	Αίθριος	2 BF	Πολύ κίνηση	1	1 m	1,7 m
							2	10 m	1,5 m

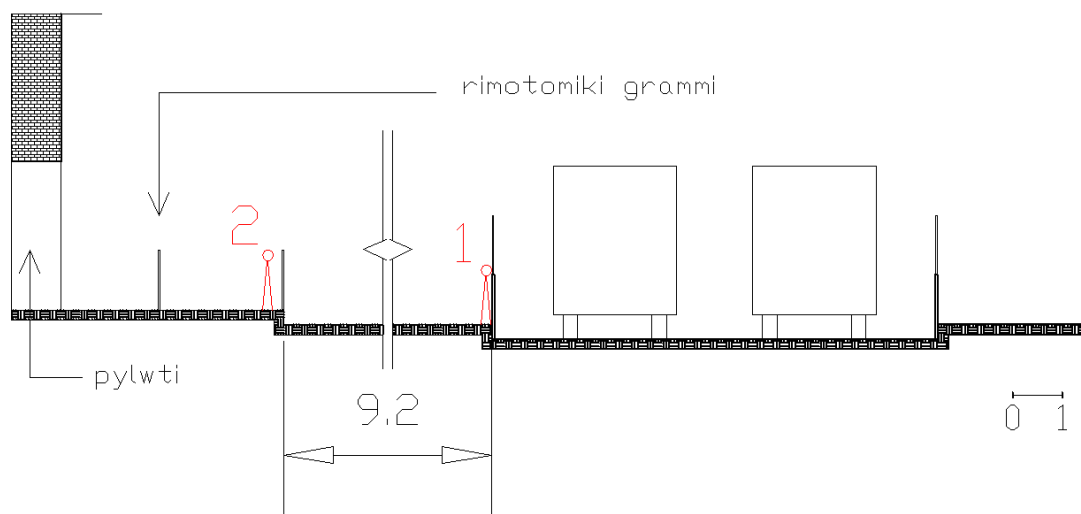
Πίνακας 4.6.3.1: Λεπτομέρειες μετρήσεων στη θέση "Ν. Ηράκλειο"



Εικόνα 4.6.3.1: Άποψη της θέσης "Ν. Ηράκλειο" από δορυφόρο



Εικόνα 4.6.3.2: Τοπογραφικό Διάγραμμα της Θέσης “Ν. Ηράκλειο”



Εικόνα 4.6.3.3: Χαρακτηριστική Τομή της θέσης “Ν. Ηράκλειο”



Εικόνα 4.6.3.5: 2<sup>ο</sup> Σημείο Μετρήσεων



Εικόνα 4.6.3.4: 1<sup>ο</sup> Σημείο Μετρήσεων



Εικόνα 4.6.3.6: Γενική Άποψη της θέσης “Ν. Ηράκλειο”



Εικόνα 4.6.3.7: Άποψη της σιδηροδρομικής κοίτης μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών



Εικόνα 4.6.3.8: Σχετική θέση των δύο σημείων μετρήσεων

#### 4.6.4 Πετράλωνα

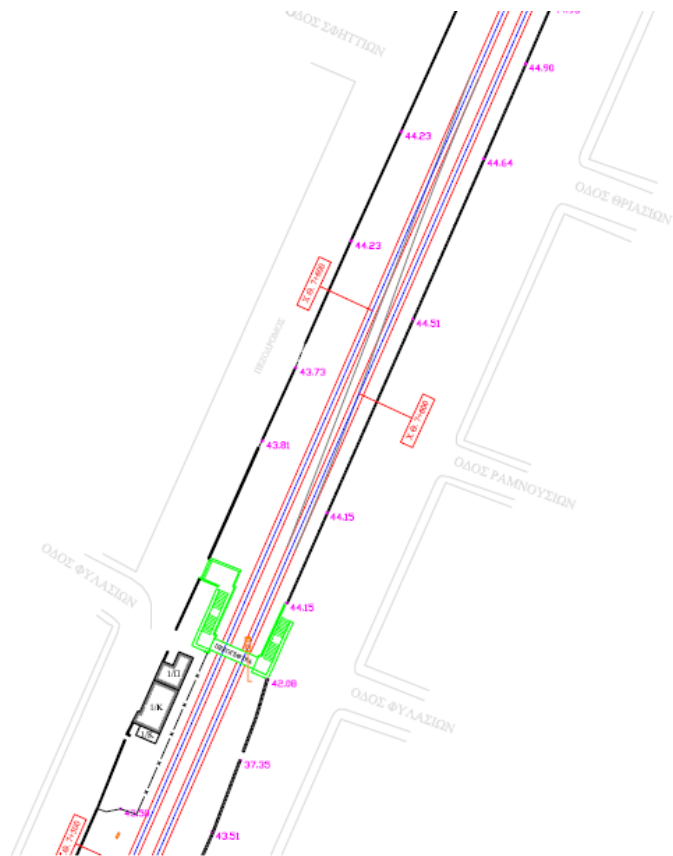
Σημείο	Πετράλωνα - Θησείο								
ΧΘ	7+600								
A/A	Ημερομηνία Εκτέλεσης	Ώρα εκτέλεσης	Θερμοκρασία	Καιρός	Άνεμος	Διέλευση οχημάτων	Ηχόμετρο	Απόσταση από σιδ/χια	Ύψος από επίπεδο γραμμής
1	21/2/2012	9:30	27 °C	Αίθριος	2 BF	Μέτρια κίνηση	1	0,5 m	6 m
							2	7,5 m	6 m
2	15/10/2012	9:30	20 °C	Μερική Ηλιοφάνεια	1 BF	Μέτρια κίνηση	1	0,5 m	6 m
							2	7,5 m	6 m

Πίνακας 4.6.4.1: Λεπτομέρειες Μετρήσεων στη θέση "Πετράλωνα"

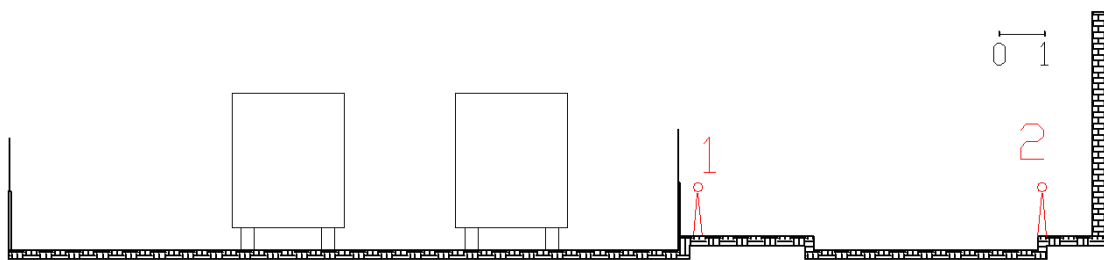


Εικόνα 4.6.4.1: Αποψη της θέσης "Πετράλωνα" από δορυφόρο





Εικόνα 4.6.4.2: Τοπογραφικό Διάγραμμα της θέσης “Πετράλωνα”



Εικόνα 4.6.4.3: Χαρακτηριστική Τομή στη θέση “Πετράλωνα”



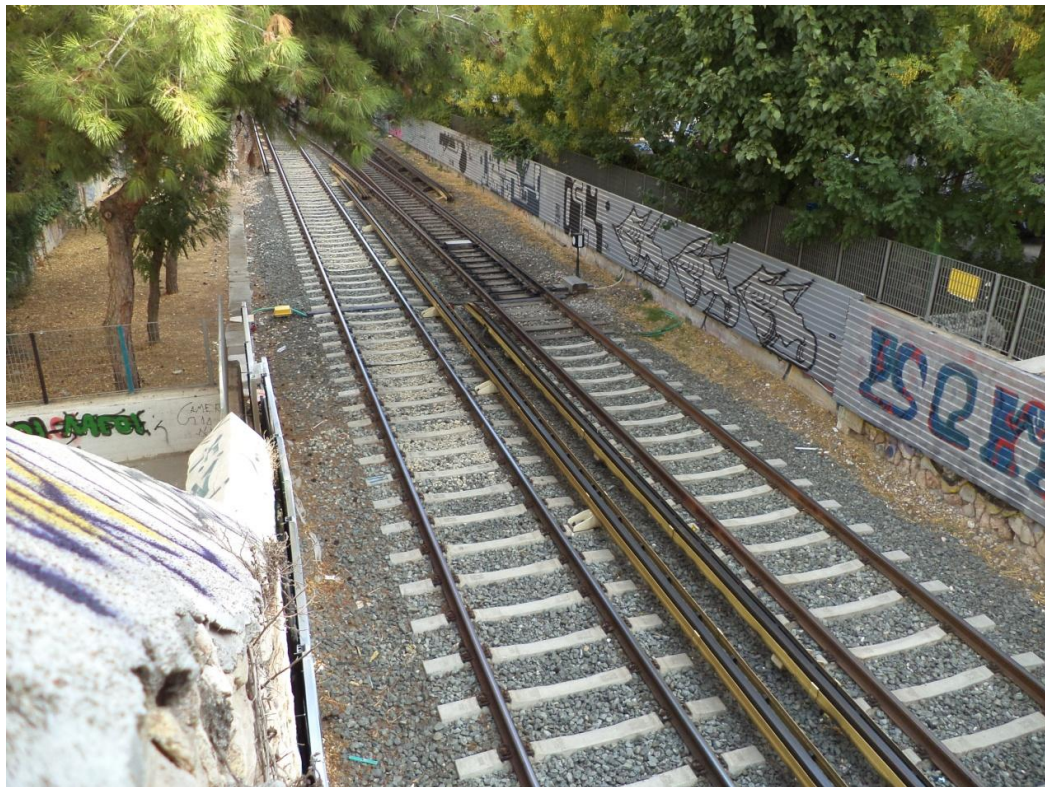
Εικόνα 4.6.4.4: Σχετική θέση των δύο σημείων μετρήσεων



Εικόνα 4.6.4.5: 2<sup>ο</sup> Σημείο Μέτρησης



Εικόνα 4.6.4.6: 1<sup>ο</sup> Σημείο Μέτρησης



Εικόνα 4.6.4.7: Άποψη της κοίτης της σιδηροτροχιάς μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πέλων



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### Αποτελέσματα

#### 5.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που έγιναν στις τέσσερις επιλεγμένες θέσεις Κηφισιά, Μαρούσι, Νέο Ηράκλειο και Πετράλωνα σε δύο διαφορετικές φάσεις μετρήσεων. Η διαδικασία, που ακολουθήθηκε κατά τις δύο φάσεις διεξαγωγής των μετρήσεων, περιγράφηκε αναλυτικά στο προηγούμενο Κεφάλαιο.

Τα αποτελέσματα εξήχθησαν σε ηλεκτρονική μορφή από τα ηχόμετρα και αναλύονται με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους ώστε να καταστεί δυνατή μια συγκριτική ποιοτική ανάλυσή τους.

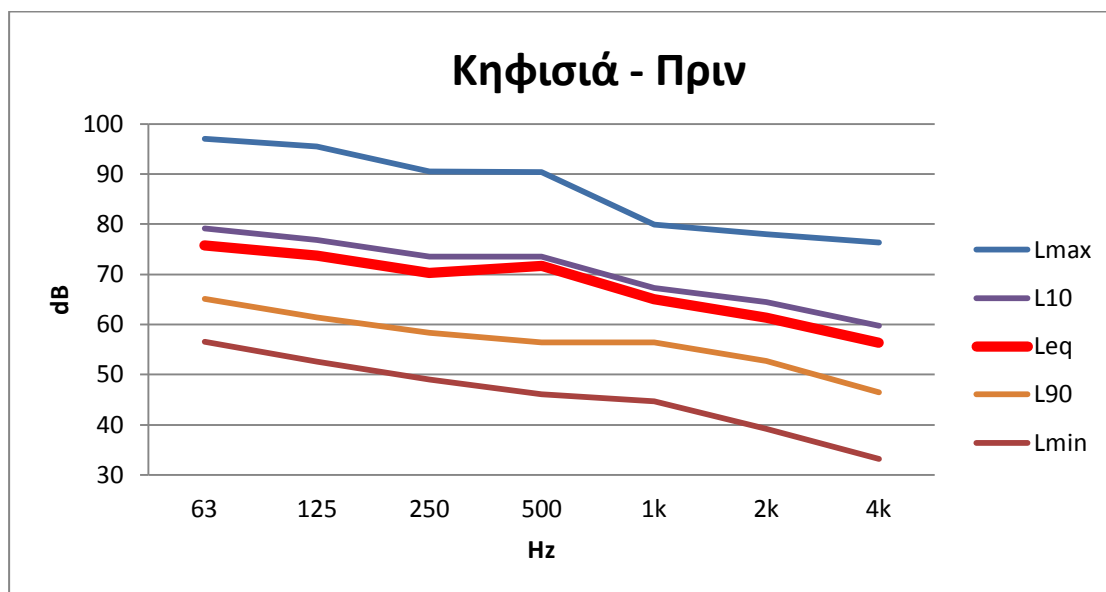
Παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών των διαφόρων δεικτών θορύβου, αλλά και η φασματική ανάλυση σε οκταβικές ζώνες του θορύβου χάρη στο ένα ηχόμετρο. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με τη βοήθεια διαγραμμάτων, πινάκων και ραβδογραμμάτων στα οποία απεικονίζονται οι άνω αναφερόμενοι δείκτες θορύβου που μετρήθηκαν πριν και μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ, αλλά και κατά την απουσία διέλευσης συρμών του ΗΣΑΠ.

Στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνονται μόνο οι μετρήσεις των  $LA_{eq}$ ,  $LA_{10}$ ,  $LA_{90}$ , καθώς είναι οι σπουδαιότερες για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, ενώ οι υπόλοιπες  $LA_{max}$ ,  $LA_{min}$  παρατίθενται στο σχετικό Παράρτημα.

## 5.2 Αποτελέσματα από τις Μετρήσεις Στάθμης Θορύβου

### 5.2.1 Κηφισιά

#### 5.2.1.1 Πριν την τοποθέτηση των Ηχοαπορροφητικών Πάνελ

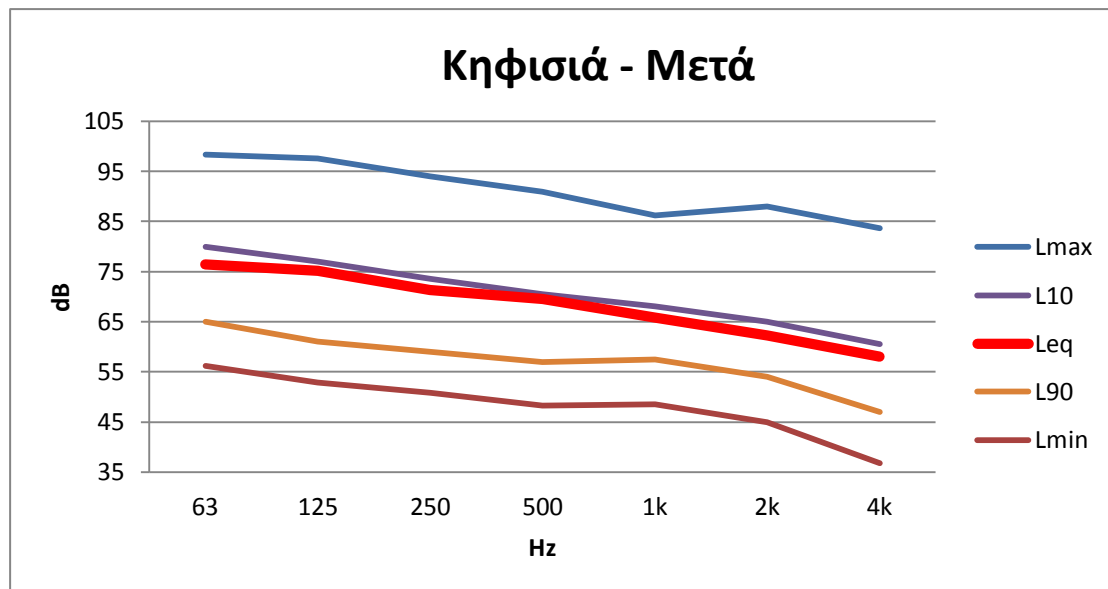


Διάγραμμα 5.0.1: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση "Κηφισιά" στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά dBA	
	1											2		
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA		dBA
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	dBA		dBA
<b>Lmax</b>	79,19	87,73	97,00	95,53	90,48	90,42	79,98	77,95	76,39	71,34	71,63	87,44	92,60	-5,16
<b>Lmin</b>	44,56	53,16	56,49	52,62	48,99	46,05	44,66	39,13	33,21	24,33	17,88	50,39	50,70	-0,31
<b>Leq</b>	61,81	73,26	75,82	73,75	70,27	71,73	65,08	61,28	56,33	49,34	43,70	71,54	71,45	0,09
<b>L10</b>	64,86	76,64	79,14	76,85	73,50	73,57	56,44	64,44	59,73	53,02	42,46	74,28	74,25	0,03
<b>L90</b>	53,87	63,94	65,15	61,37	58,37	56,44	56,44	52,73	46,45	38,25	26,47	61,15	62,25	-1,10

Πίνακας 5.0.1: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση "Κηφισιά"

### 5.2.1.2 Μετά την τοποθέτηση των Ηχοαπορροφητικών Πάνελ

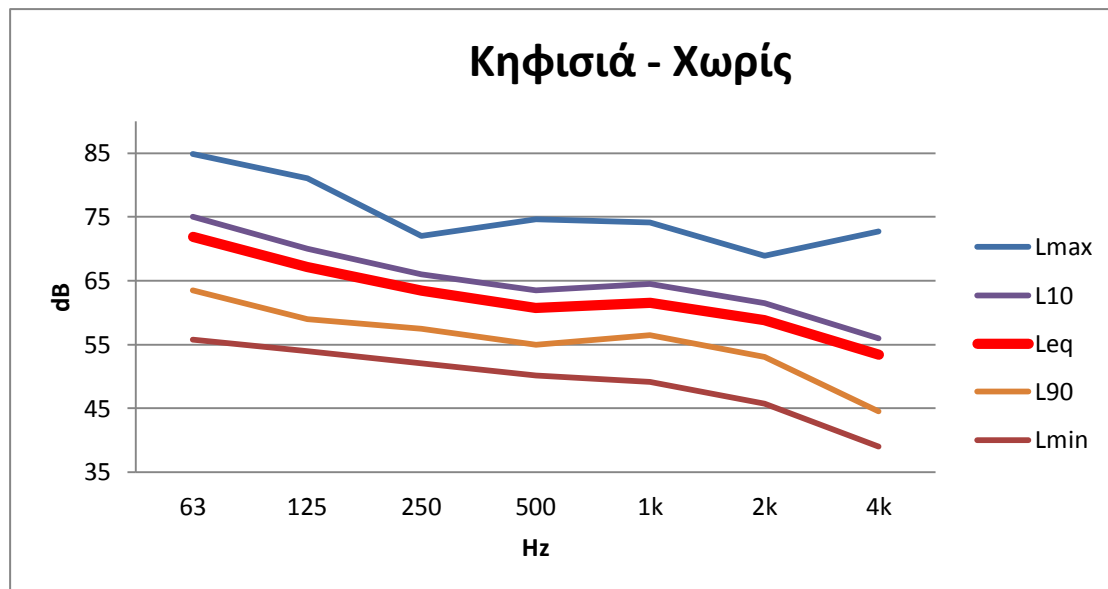


Διάγραμμα 5.0.2: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση "Κηφισιά" στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	79,2	90,7	98,3	97,6	94	90,9	86,2	88	83,6	82,9	79,5	91,4	89,7	1,7
<b>Lmin</b>	43,7	54,2	56,2	52,8	50,8	48,3	48,5	44,9	36,8	28,1	18,5	53,4	52,3	1,1
<b>Leq</b>	62,2	73,5	76,4	75,1	71,3	69,5	65,8	62,2	58	55,6	54	71,4	71	0,4
<b>L10</b>	65,5	76,5	80	77	73,5	70,5	57,5	65	60,5	56,5	49	74	74,5	-0,5
<b>L90</b>	53,5	64	65	61	59	57	57,5	54	47	39	28	62	63	-1

Πίνακας 5.0.2: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση "Κηφισιά"

### 5.2.1.3 Χωρίς την διέλευση Συρμών



Διάγραμμα 5.0.3: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση "Κηφισιά" στο σημείο 1

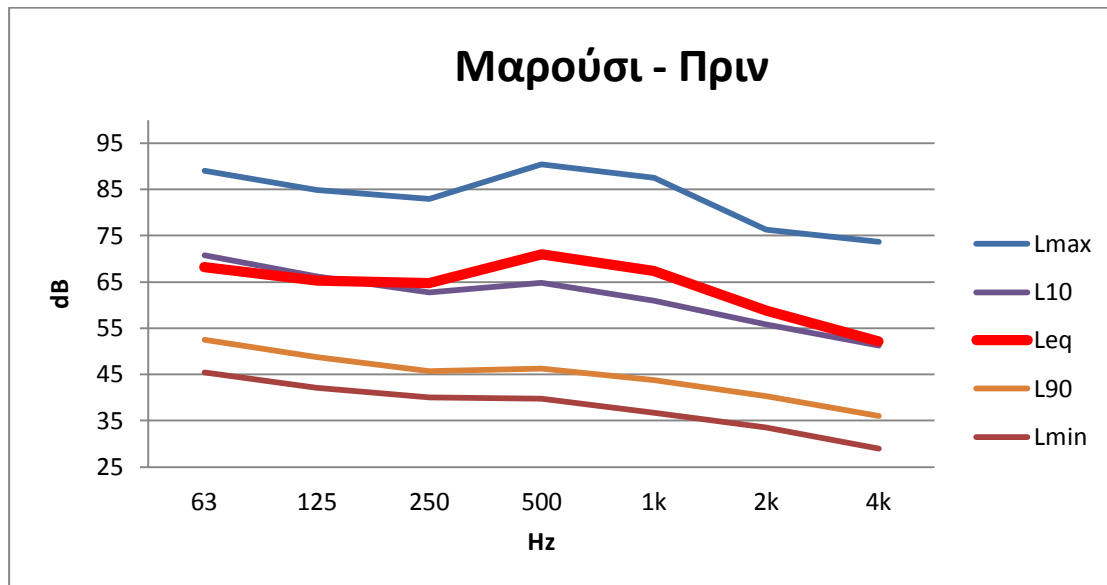
Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	76,5	83,1	84,9	81	72	74,6	74,1	68,9	72,7	75,1	83,8	76,5	78	-1,5
<b>Lmin</b>	45,4	55,5	55,8	54	52	50,1	49,1	45,7	39	28,4	18,7	54,1	54,7	-0,6
<b>Leq</b>	62,1	71,2	71,9	67,1	63,4	60,7	61,5	58,8	53,4	50,1	58,5	65,9	69	-3,1
<b>L10</b>	65,5	74,5	75	70	66	63,5	56,5	61,5	56	50	42,5	68,5	72,5	-4
<b>L90</b>	54	62,5	63,5	59	57,5	55	56,5	53	44,5	36	25	60,5	61,5	-1

Πίνακας 5.0.3: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση "Κηφισιά"



## 5.2.2 Μαρούσι

### 5.2.2.1 Πριν την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ

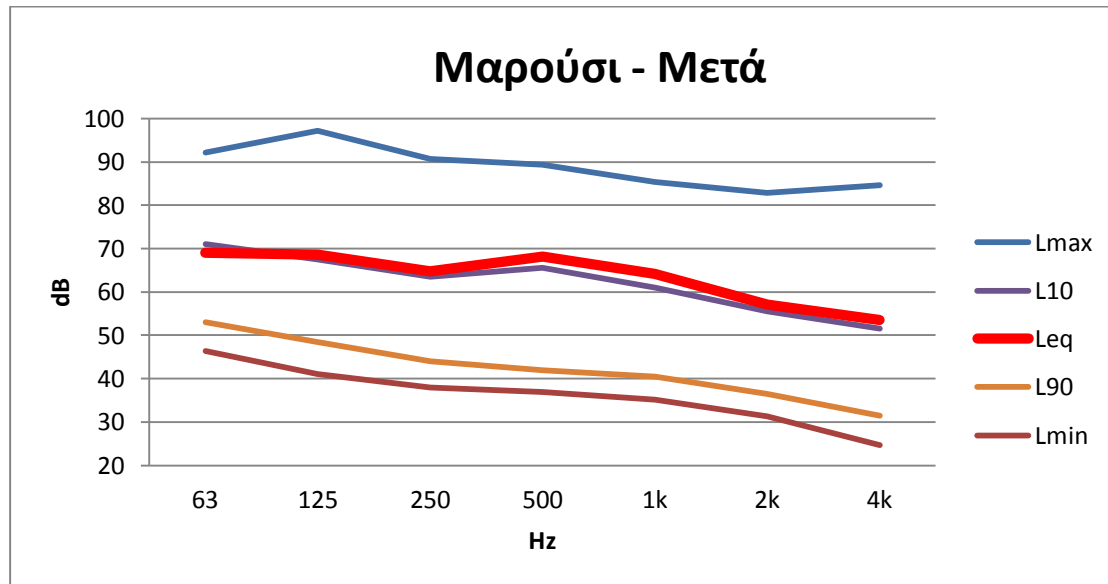


Διάγραμμα 5.2.1: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Μαρούσι” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφο ρά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	77,25	83,95	89,05	84,85	82,95	90,45	87,45	76,3	73,65	75,4	77,05	90,7	90,15	0,55
<b>Lmin</b>	34,85	43,85	45,5	42,1	40	39,75	36,65	33,55	28,95	21	16,95	43,5	41,55	1,95
<b>Leq</b>	56,3	66,45	68,25	65,3	64,7	70,95	67,35	58,75	52,1	46,9	45,05	71,2	71,3	-0,1
<b>L10</b>	59	70,5	70,75	66,25	62,75	64,75	43,75	55,75	51,25	43,25	32,25	66	66,5	-0,5
<b>L90</b>	44,25	52	52,5	48,75	45,75	46,25	43,75	40,25	36	26,5	17,5	49,5	47,75	1,75

Πίνακας 5.2.1: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Μαρούσι”

### 5.2.2.2 Μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ

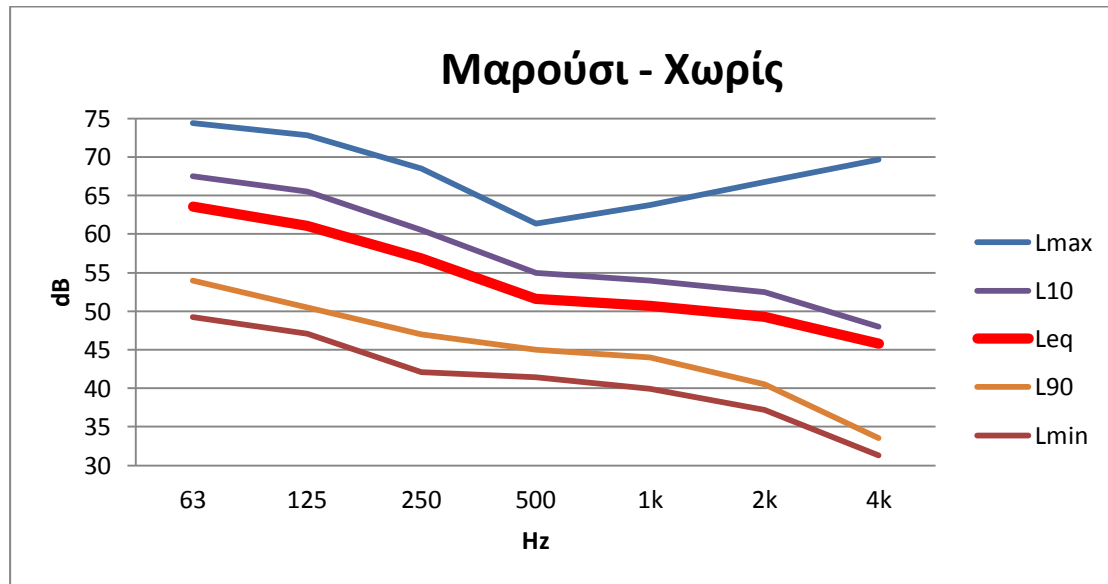


Διάγραμμα 5.2.2: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Μαρούσι” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	92,7	89,3	92,1	97,1	90,7	89,3	85,4	82,9	84,6	84,6	84,1	90,1	92,6	-2,5
<b>Lmin</b>	39	44,1	46,4	41,1	37,9	36,9	35,2	31,3	24,7	19,4	17,1	40,9	42,1	-1,2
<b>Leq</b>	68,8	67,2	69	68,6	64,8	68,2	64,1	57,1	53,5	51,4	50,7	68,6	70,5	-1,9
<b>L10</b>	70,5	70	71	67,5	63,5	65,5	40,5	55,5	51,5	46	37	66,5	68,5	-2
<b>L90</b>	50,5	53,5	53	48,5	44	42	40,5	36,5	31,5	24	18	45,5	46,5	-1

Πίνακας 5.2.2: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Μαρούσι”

### 5.2.2.3 Χωρίς την διέλευση συρμών



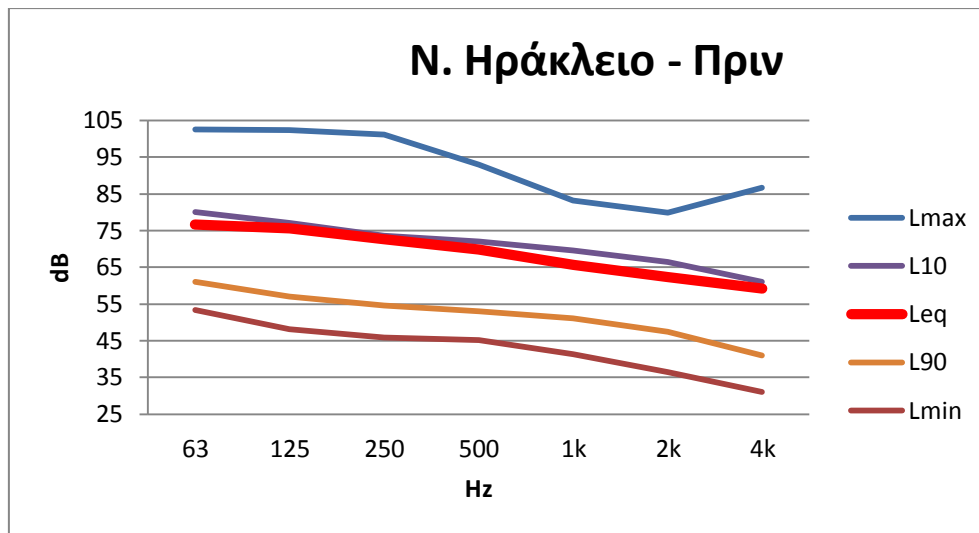
Διάγραμμα 5.2.3: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Μαρούσι” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	76,5	75,5	74,4	72,8	68,5	61,4	63,8	66,8	69,7	72,7	75,6	75,8	69,5	6,3
<b>Lmin</b>	37,7	45,2	49,2	47,1	42,1	41,4	39,9	37,2	31,3	23	17,4	45,2	45,1	0,1
<b>Leq</b>	59	63,6	63,6	61,1	56,8	51,6	50,7	49,3	45,8	44,3	46,3	56,7	59,9	-3,2
<b>L10</b>	62,5	67,5	67,5	65,5	60,5	55	44	52,5	48	41,5	32,5	60	64,5	-4,5
<b>L90</b>	45,5	52	54	50,5	47	45	44	40,5	33,5	25	18	49	48	1

Πίνακας 5.2.3: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Μαρούσι”

### 5.2.3 Ν. Ηράκλειο

#### 5.2.3.1 Πριν την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ

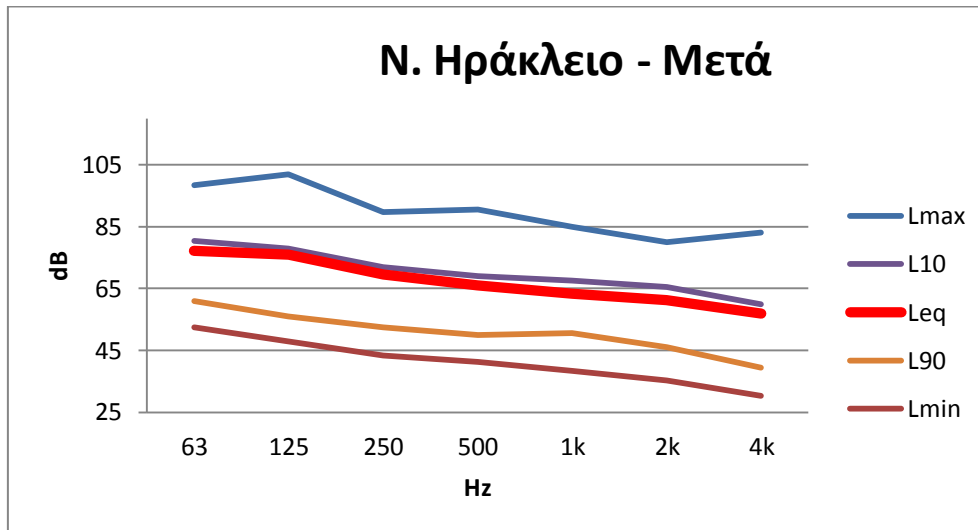


Διάγραμμα 5.3.1: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Ν. Ηράκλειο” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	dBA	dBA	
<b>Lmax</b>	97,5	93,3	102,6	102,3	101,1	92,9	83,1	79,9	86,6	78,7	78,7	94,5	87,7	6,8
<b>Lmin</b>	43,1	51,8	53,3	48,2	45,8	45,2	41,3	36,4	31,1	22,8	17,1	47,2	47,2	0
<b>Leq</b>	65,1	71,2	76,7	75,6	72,6	69,9	65,6	62,3	59,2	53,7	52,4	71,7	68	3,7
<b>L10</b>	66	74	80	77	73,5	72	69,5	66,5	61	55,5	47	75	71	4
<b>L90</b>	51,5	60,5	61	57	54,5	53	51	47,5	41	31	19,5	56,5	57	-0,5

Πίνακας 5.3.1: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Ν. Ηράκλειο”

### 5.2.3.2 Μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ

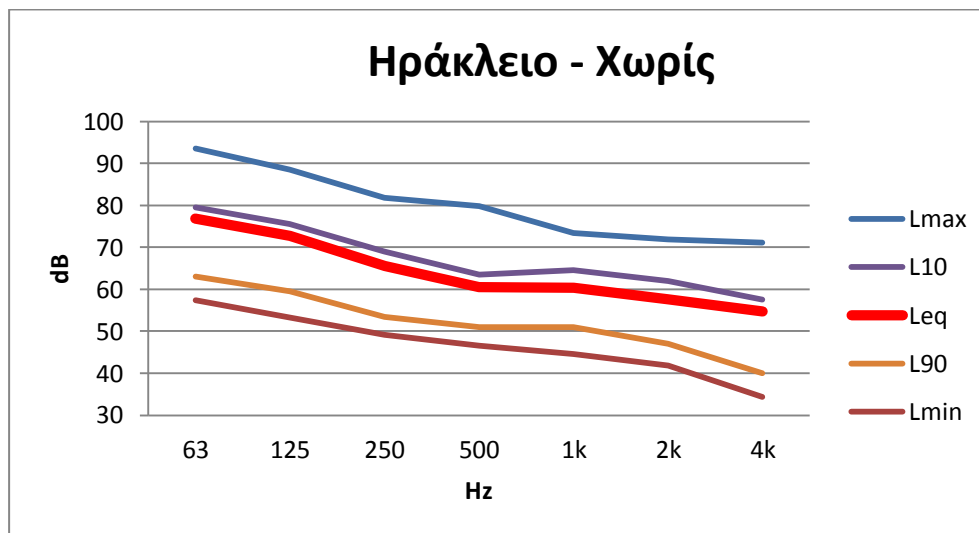


Διάγραμμα 5.3.2: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Ν. Ηράκλειο” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	dBA
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	91,4	94,8	98,4	101,9	89,7	90,6	84,9	80	83,2	77,1	80,1	88,5	91,2	-2,7
<b>Lmin</b>	44,2	53,6	52,5	47,8	43,3	41,2	38,4	35,3	30,2	22,8	17,8	44,8	48	-3,2
<b>Leq</b>	63,3	72,2	77,2	76	69,5	66	63,3	61,2	56,8	52,8	52,6	69,3	67	2,3
<b>L10</b>	66	74,5	80,5	78	72	69	50,5	65,5	60	54,5	46	73,5	70,5	3
<b>L90</b>	51,5	61,5	61	56	52,5	50	50,5	46	39,5	30	19,5	55	57	-2

Πίνακας 5.3.2: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Ν. Ηράκλειο”

### 5.2.3.3 Χωρίς την διέλευση συρμών



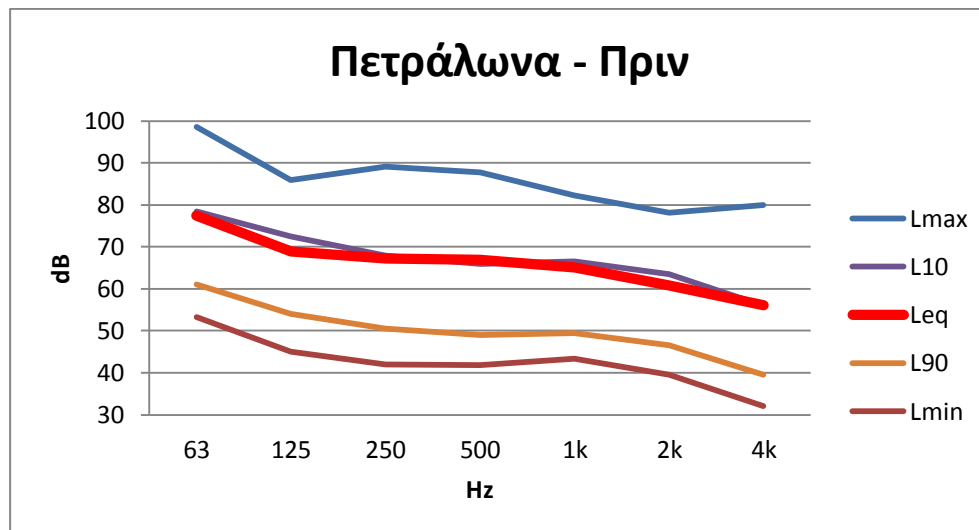
Διάγραμμα 5.3.3: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Ν. Ηράκλειο” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	76,1	87,4	93,6	88,6	81,8	79,9	73,4	71,9	71,2	74,3	77,1	79,6	76	3,6
<b>Lmin</b>	43,8	53,4	57,4	53,3	49,1	46,5	44,6	41,9	34,3	25,9	18,1	51,1	51,5	-0,4
<b>Leq</b>	60,8	71,1	76,9	72,8	65,5	60,5	60,3	57,7	54,7	53,3	53	65,8	65,8	0
<b>L10</b>	64	74	79,5	75,5	69	63,5	51	62	57,5	52	46	70	69	1
<b>L90</b>	51,5	61,5	63	59,5	53,5	51	51	47	40	31,5	20,5	55,5	57	-1,5

Πίνακας 5.3.3: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Ν. Ηράκλειο”

## 5.2.4 Πετράλωνα

### 5.2.4.1 Πριν την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ

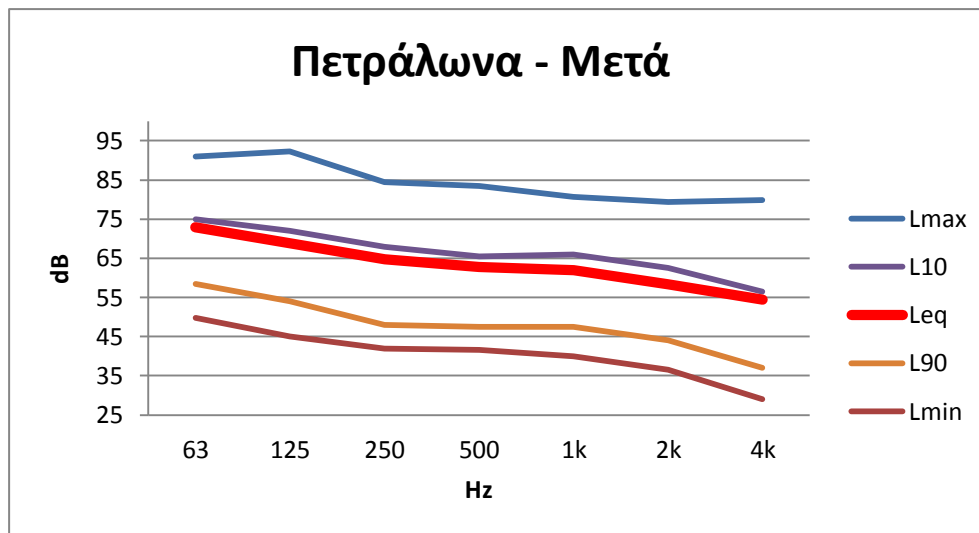


Διάγραμμα 5.4.1: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Πετράλωνα” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k			
<b>Lmax</b>	90	93,4	98,6	86	89,2	87,7	82,3	78,2	80	76,5	79,4	87,8	90,8	-3
<b>Lmin</b>	42,2	53,3	53,3	45	42	41,8	43,4	39,5	32,1	20,2	17,1	48,1	49,8	-1,7
<b>Leq</b>	64,7	73,9	77,5	68,9	67,3	67	65,1	60,9	56,1	51,6	51,1	69,4	73,4	-4
<b>L10</b>	67	76,5	78,5	72,5	68	66	66,5	63,5	56	49	40	70,5	78	-7,5
<b>L90</b>	52	61,5	61	54	50,5	49	49,5	46,5	39,5	27,5	18	54	56,5	-2,5

Πίνακας 5.4.1: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Πετράλωνα”

### 5.2.4.2 Μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ



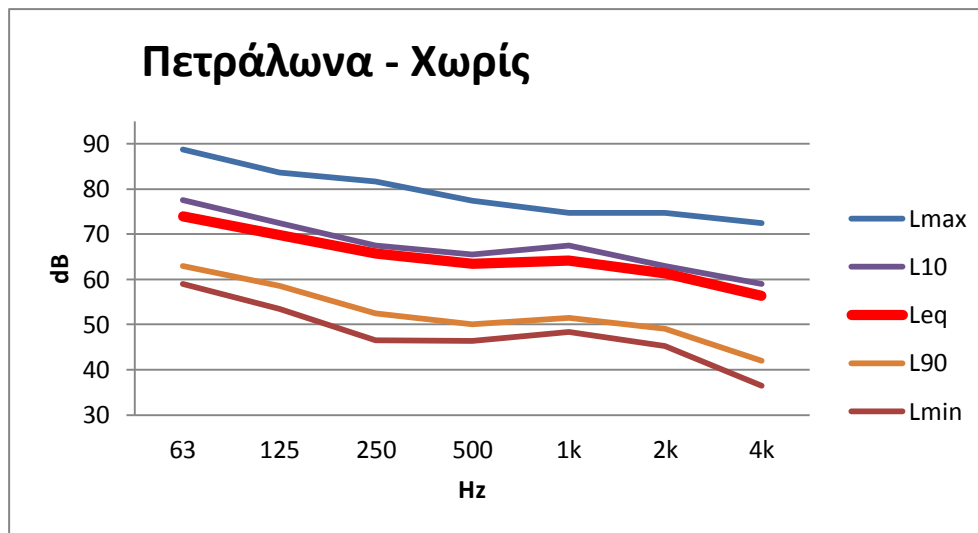
Διάγραμμα 5.4.2: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Πετράλωνα” στο σημείο 1

Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	dBA	dBA	
<b>Lmax</b>	84,8	89,3	90,9	92,3	84,5	83,5	80,7	79,4	79,9	77,8	80,7	86,5	90,5	-4
<b>Lmin</b>	41,8	48,8	49,8	45,1	41,9	41,6	39,9	36,5	29	20,9	17,3	45	45,9	-0,9
<b>Leq</b>	63,4	70,5	72,9	68,8	64,7	62,7	61,9	58,4	54,4	51,3	50,2	66,4	70,2	-3,8
<b>L10</b>	66,5	74	75	72	68	65,5	47,5	62,5	56,5	51,5	43	70	74,5	-4,5
<b>L90</b>	50	58	58,5	54	48	47,5	47,5	44	37	27,5	19	52	53,5	-1,5

Πίνακας 5.4.2: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Πετράλωνα”



### 5.2.4.3 Χωρίς την διέλευση των συρμών



Διάγραμμα 5.4.3: Φασματική Απεικόνιση του μετρηθέντος θορύβου στη θέση “Πετράλωνα” στο σημείο 1

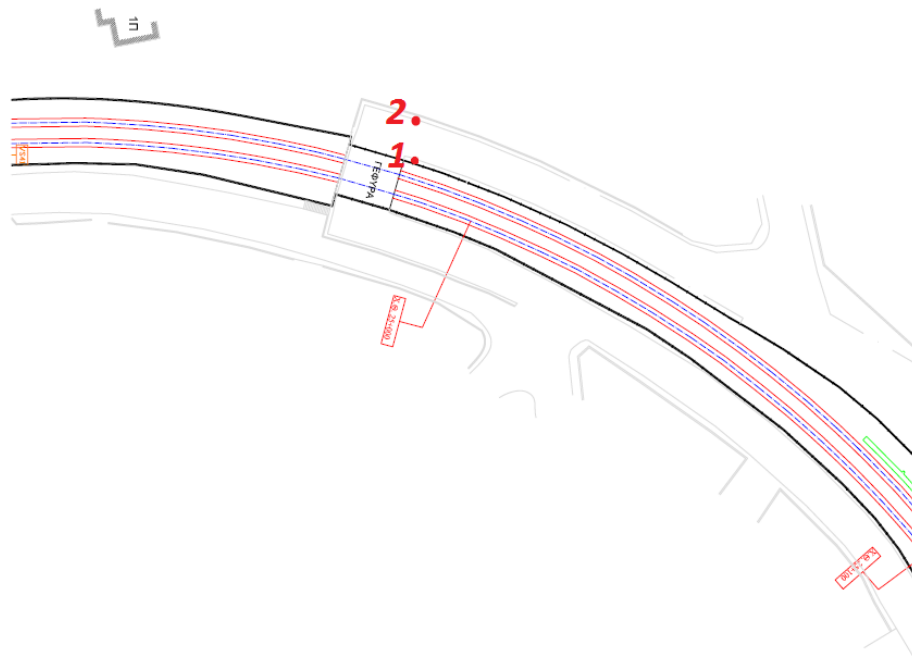
Ακουστικές Παράμετροι	Θέσεις Μέτρησης												Διαφορά	
	1											2		dBA
	Οκταβικές Ζώνες, Hz											dBA	dBA	
	16	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	dBA	dBA	
<b>Lmax</b>	85,3	88,1	88,7	83,6	81,7	77,4	74,7	74,7	72,5	75,4	78,4	79,8	86	-6,2
<b>Lmin</b>	47,8	57,6	59	53,5	46,5	46,4	48,4	45,2	36,4	26,5	18,1	52,7	54,6	-1,9
<b>Leq</b>	69,9	73,8	74	69,8	65,7	63,5	64,2	61,3	56,4	52,8	51,6	68,4	73,2	-4,8
<b>L10</b>	72,5	78,5	77,5	72,5	67,5	65,5	51,5	63	59	55	46,5	71	77,5	-6,5
<b>L90</b>	55	62,5	63	58,5	52,5	50	51,5	49	42	33,5	22	56	57,5	-1,5

Πίνακας 5.4.3: Μετρηθήσες στάθμες θορύβου στη θέση “Πετράλωνα”

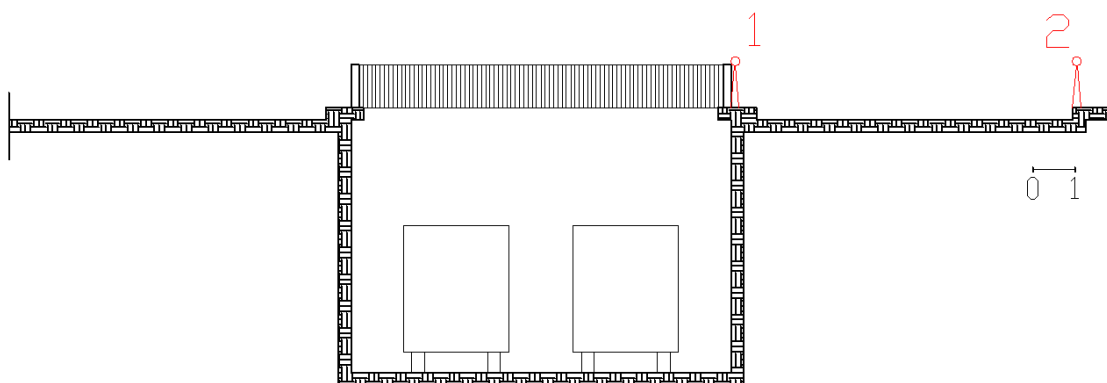
## 5.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων ανά Θέση και Σημείο

### 5.3.1 Κηφισιά

#### 5.3.1.1 Τοποθεσία Ηχομέτρων

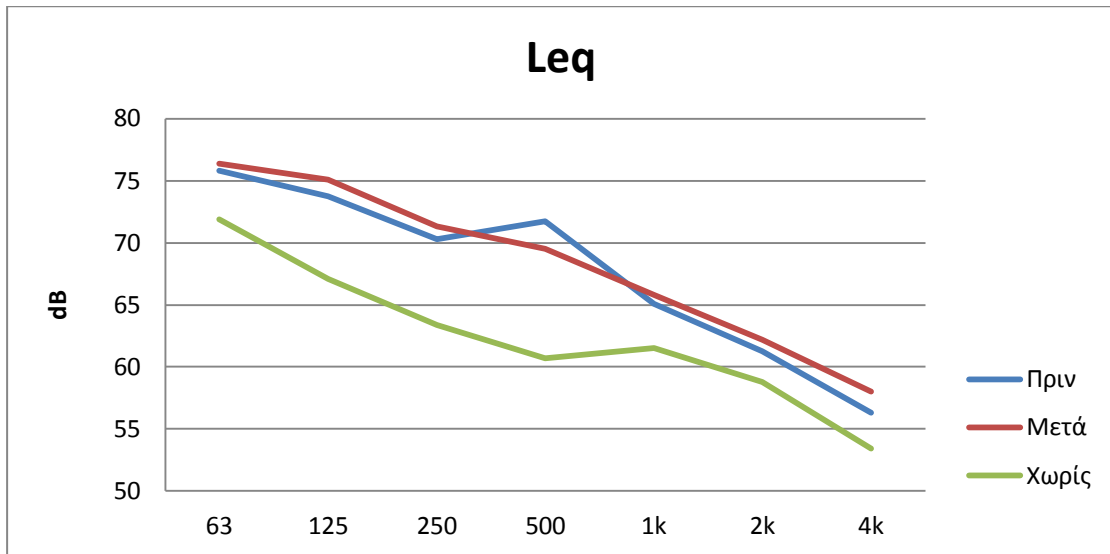


Εικόνα 1

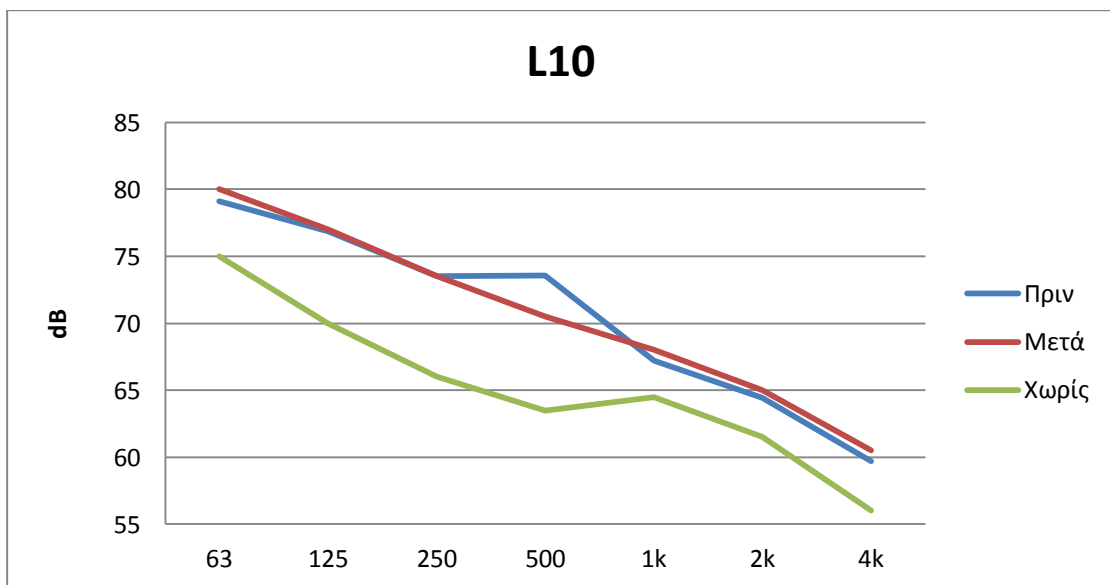


Εικόνα 2

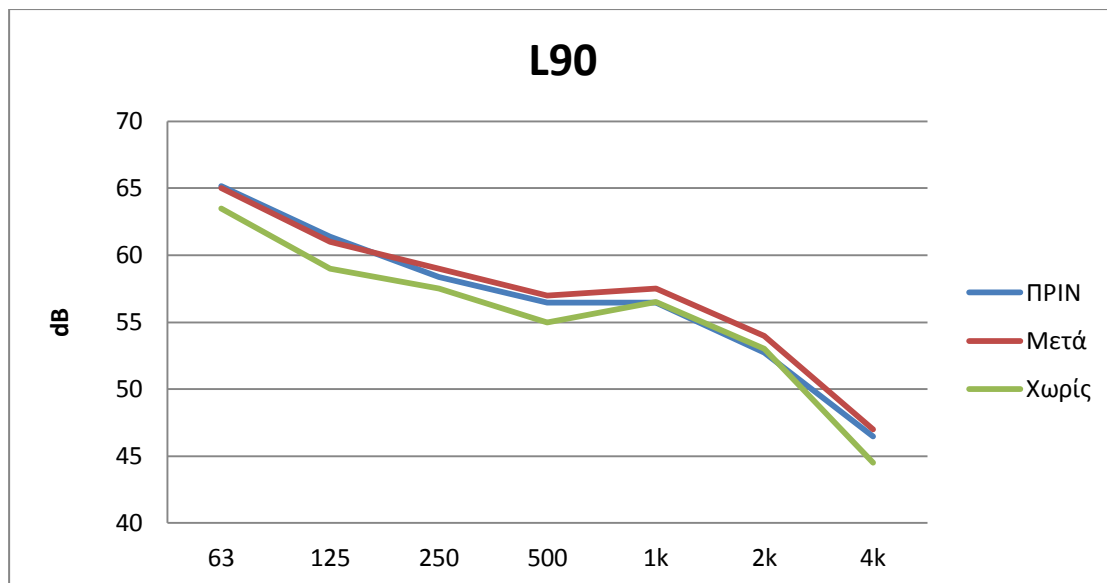
### 5.3.1.2 Σημείο 1



Διάγραμμα 5.5.2: Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση "Κηφισιά", στο σημείο 1

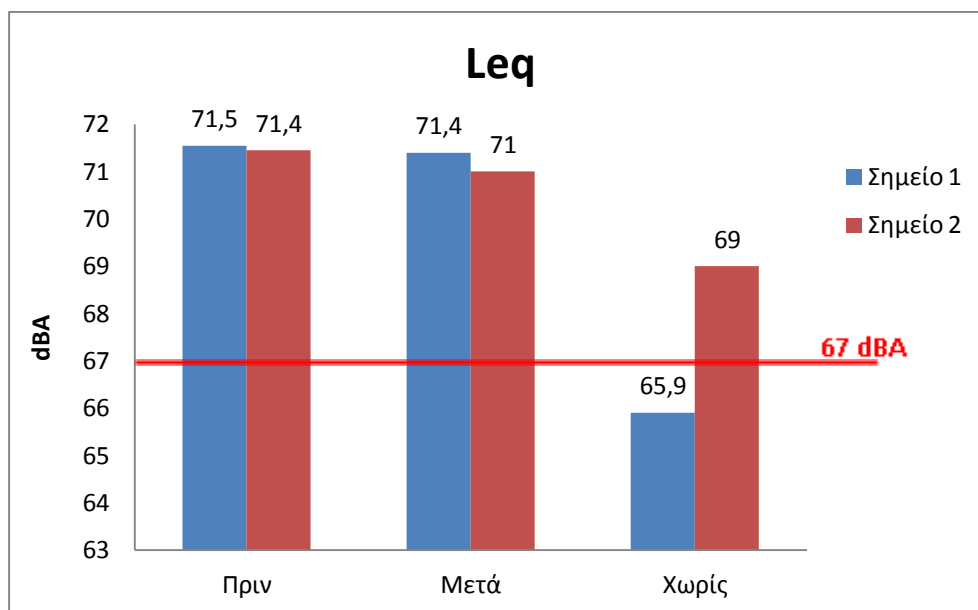


Διάγραμμα 5.5.3: Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση "Κηφισιά", στο σημείο 1

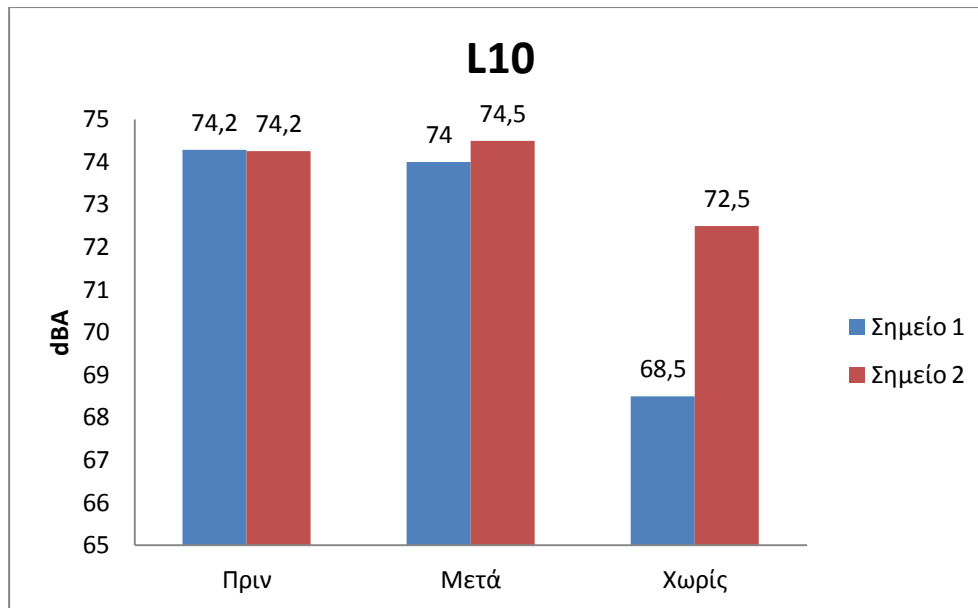


Διάγραμμα 5.5.4: : Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση “Κηφισιά”, στο σημείο 1

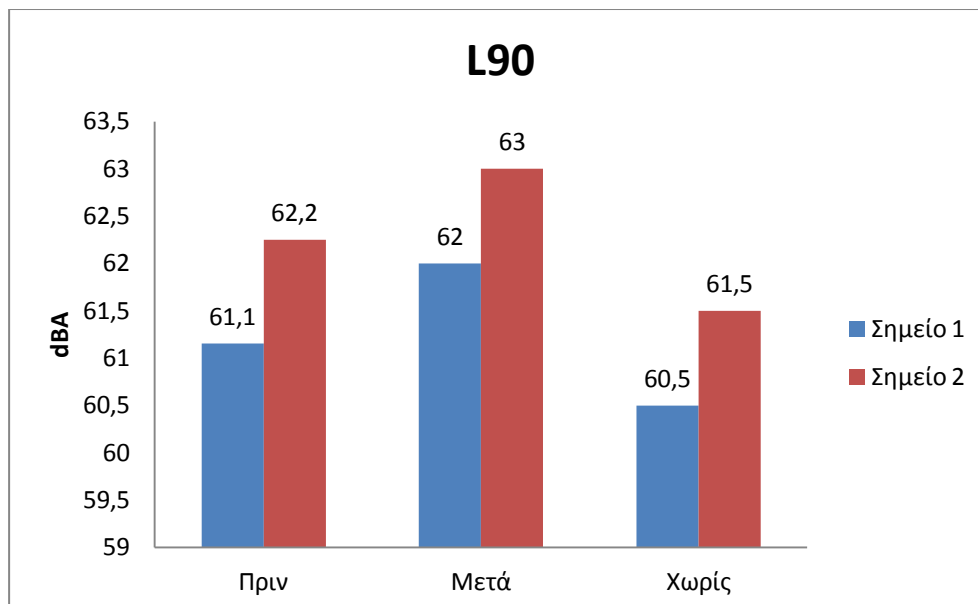
### 5.3.1.3 Σημεία 1 & 2



Ραβδόγραμμα 5.5.1: Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση “Κηφισιά”, στα σημεία 1 & 2



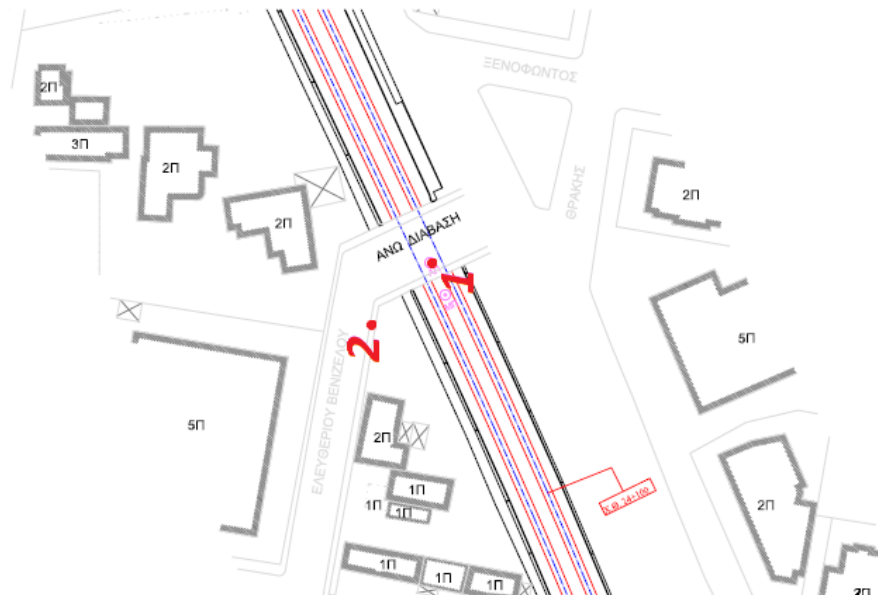
Ραβδόγραμμα 5.5.2: Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση “Κηφισιά”, στα σημεία 1 & 2



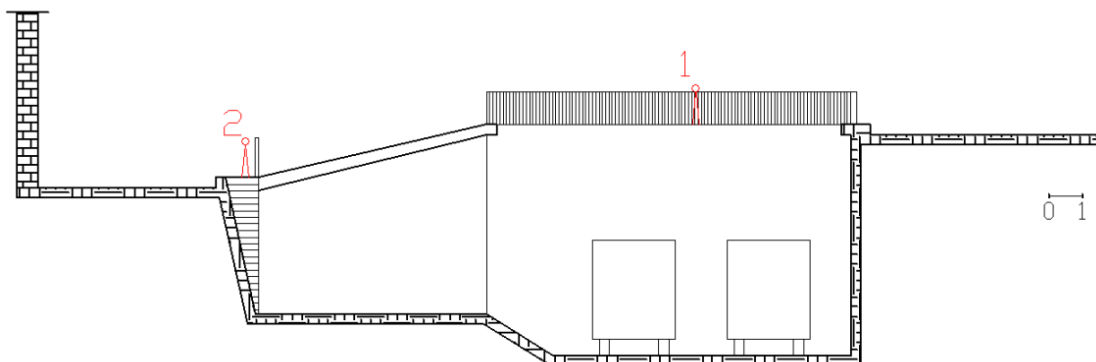
Ραβδόγραμμα 5.5.3: Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση “Κηφισιά”, στα σημεία 1 & 2

### 5.3.2 Μαρούσι

#### 5.3.2.1 Τοποθεσία Ηχομέτρων

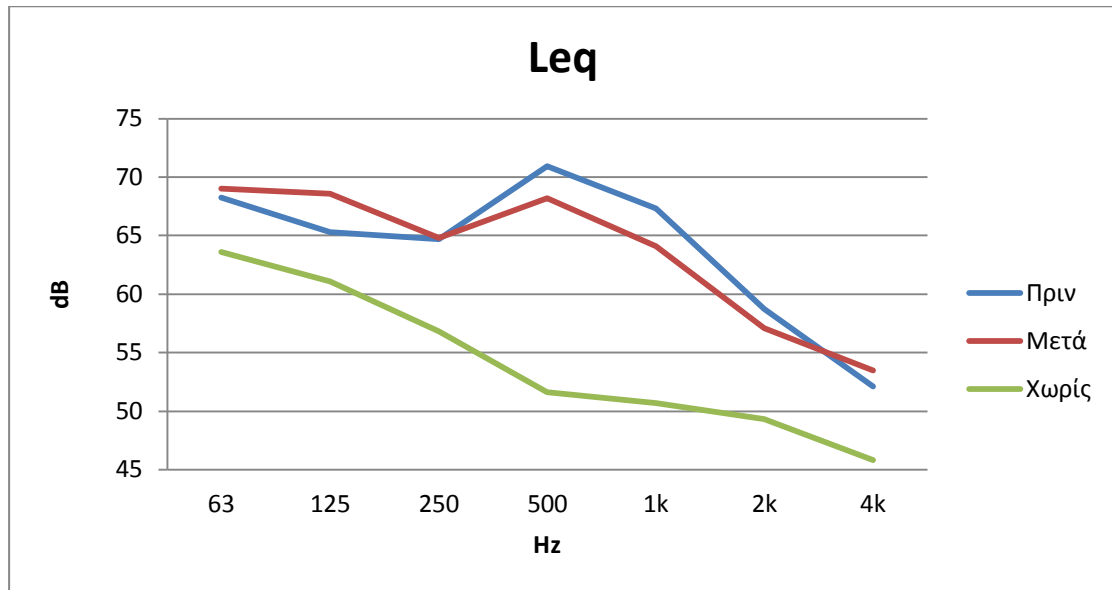


Εικόνα 3

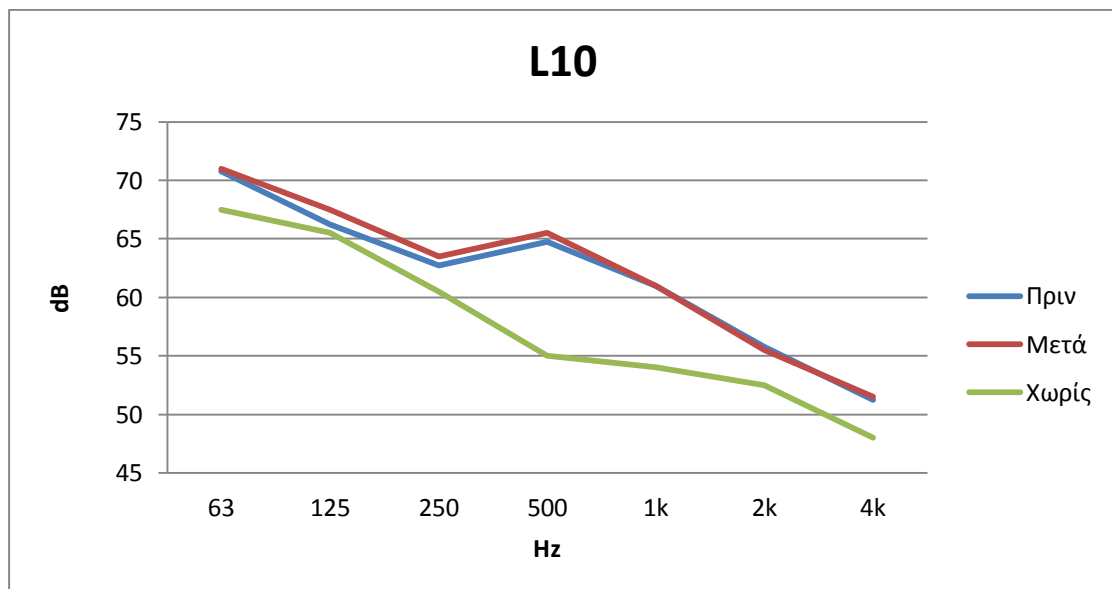


Εικόνα 4

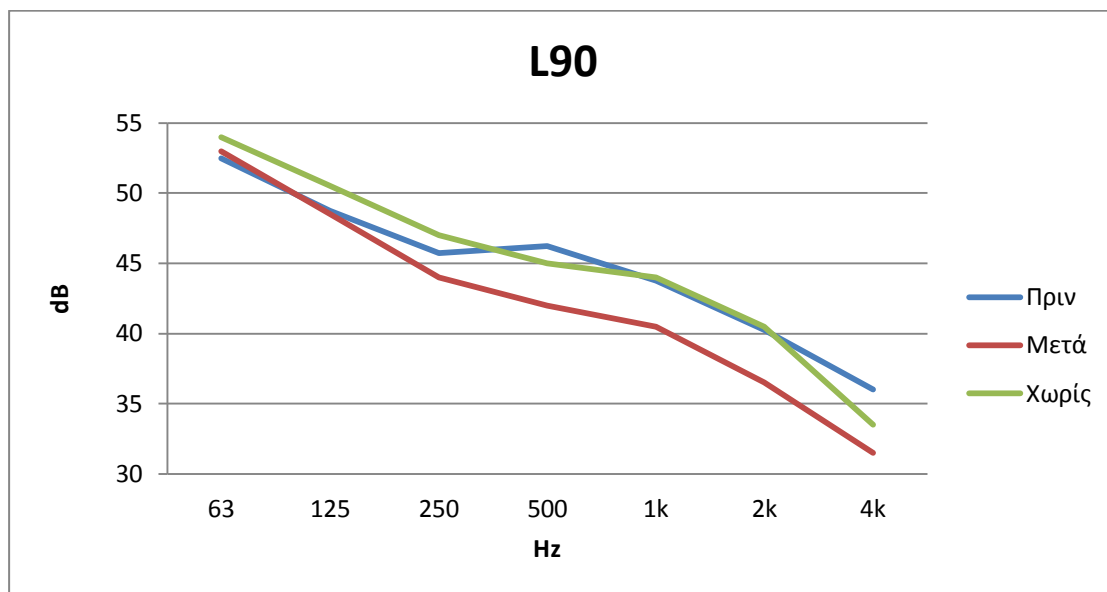
### 5.3.2.2 Σημείο 1



Διάγραμμα 5.6.5 : Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση "Μαρούσι", στο σημείο 1

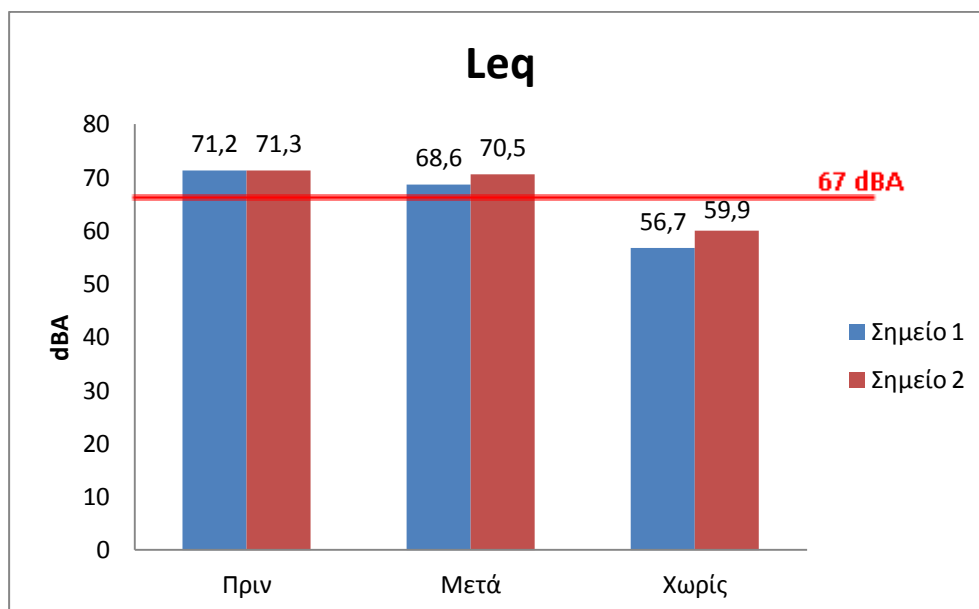


Διάγραμμα 5.0.6: Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση "Μαρούσι", στο σημείο 1



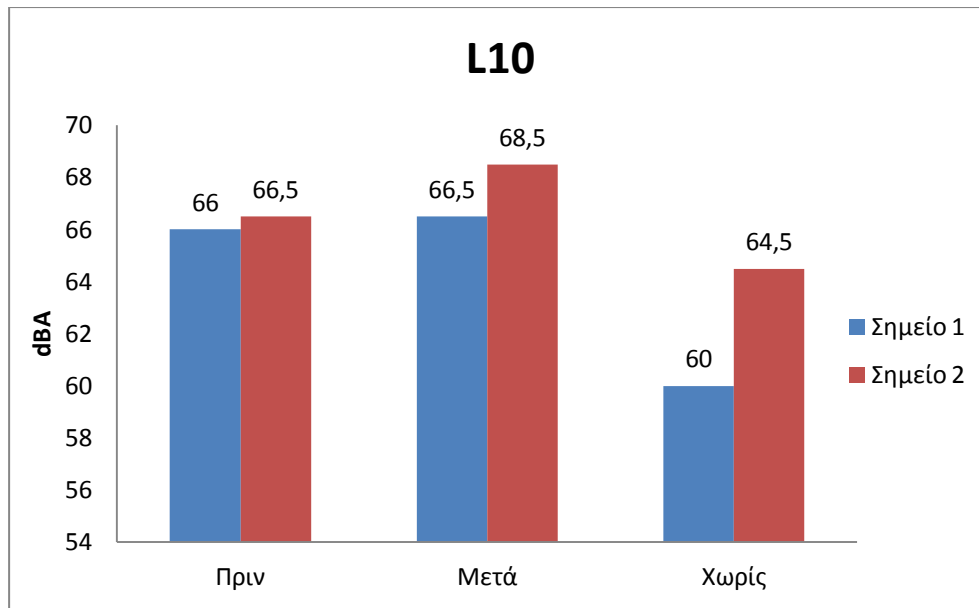
Διάγραμμα 5.6.7: Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση "Μαρούσι", στο σημείο 1

### 5.3.2.3 Σημεία 1 & 2

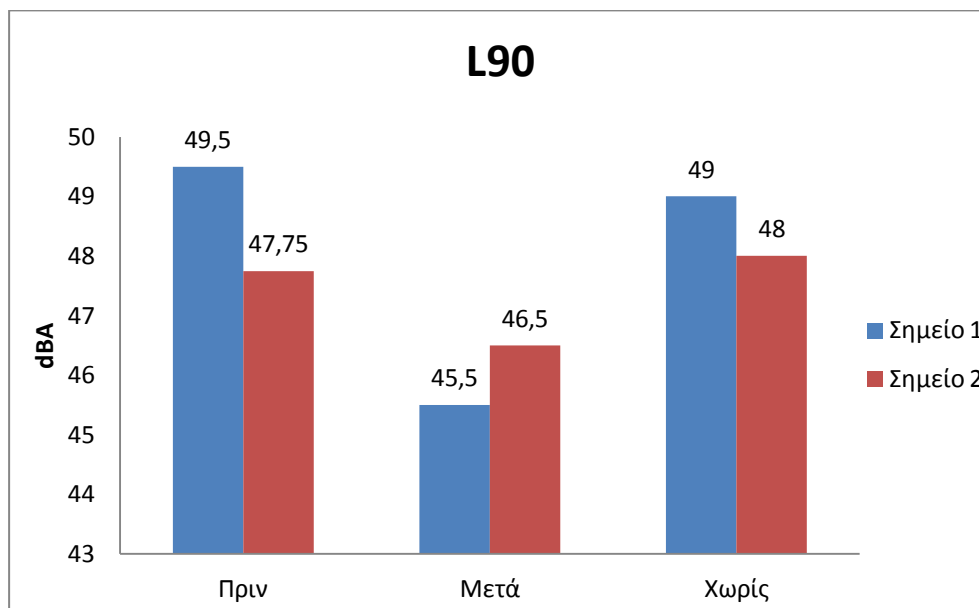


Ραβδόγραμμα 5.6.1: Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση "Μαρούσι", στα σημεία 1 & 2





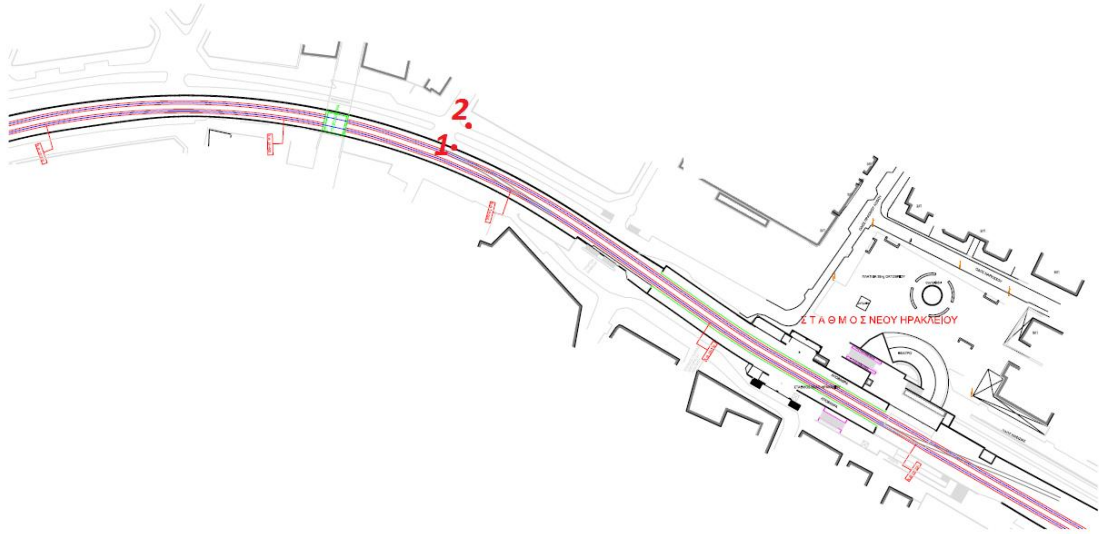
Ραβδόγραμμα 5.6.2: Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση "Μαρούσι", στα σημεία 1 & 2



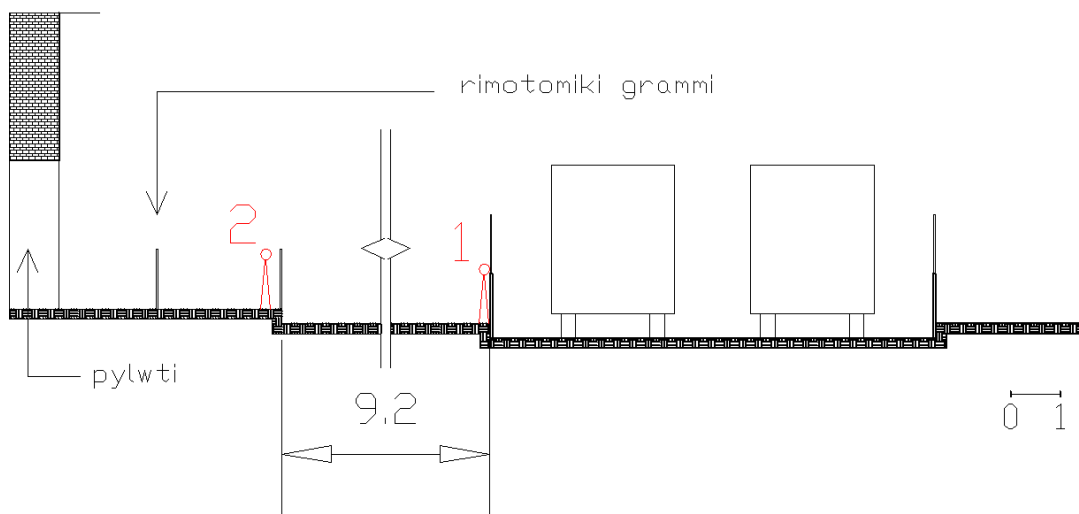
Ραβδόγραμμα 5.6.2: Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση "Μαρούσι", στα σημεία 1 & 2

### 5.3.3 Ν. Ηράκλειο

#### 5.3.3.1 Τοποθεσία Ηχομέτρων

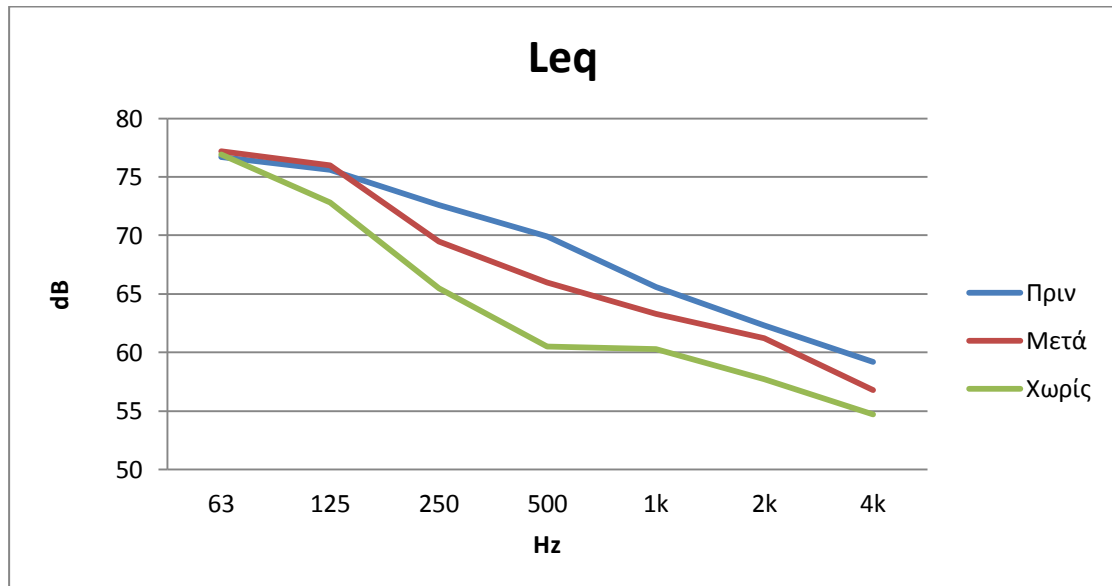


Εικόνα 5

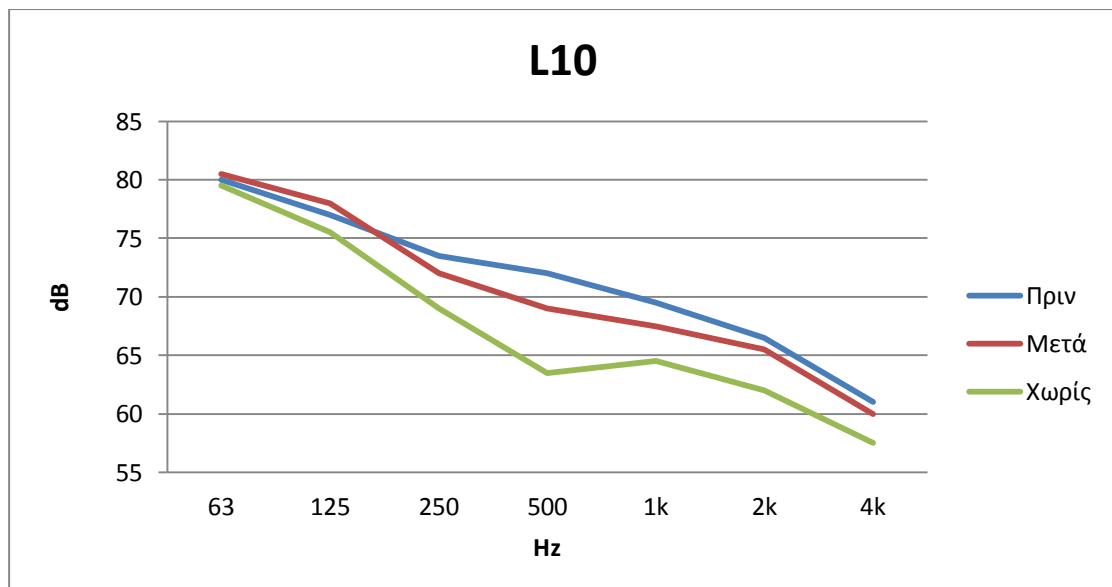


Εικόνα 6

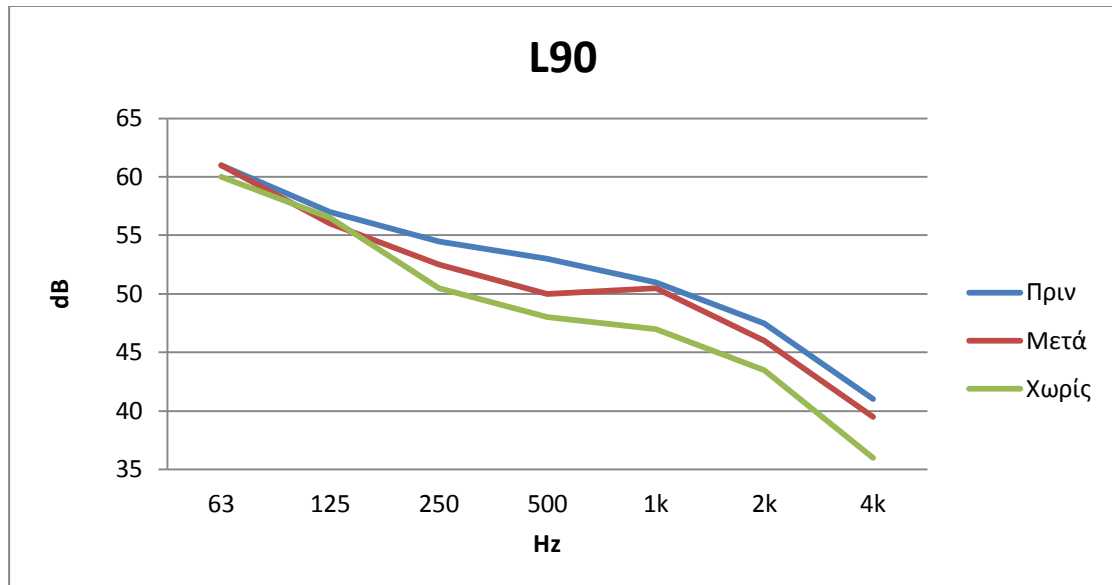
### 5.3.3.2 Σημείο 1



Διάγραμμα 5.7.1: Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση "Ν. Ηράκλειο", στο σημείο 1

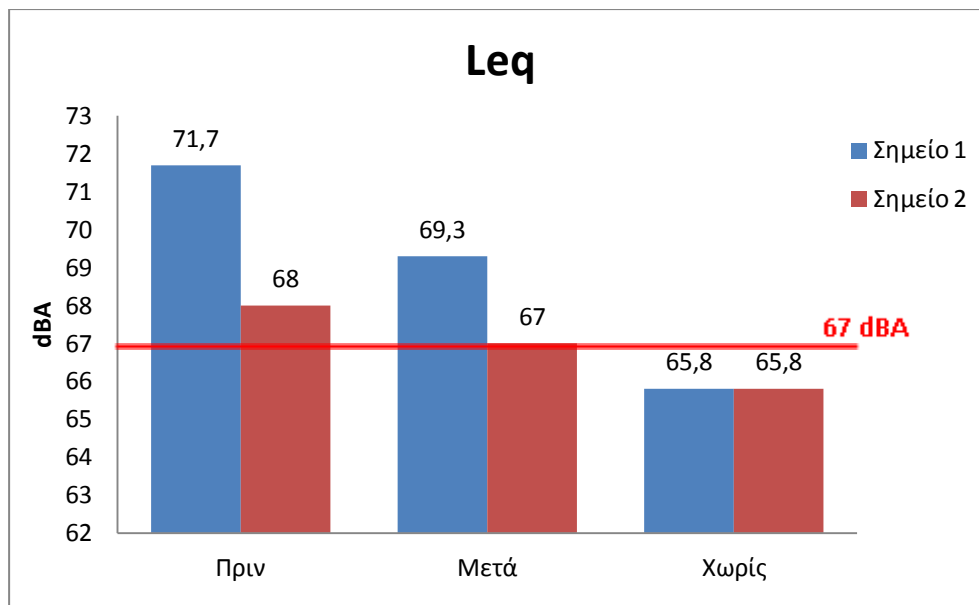


Διάγραμμα 5.7.8: : Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση "Ν. Ηράκλειο", στο σημείο 1

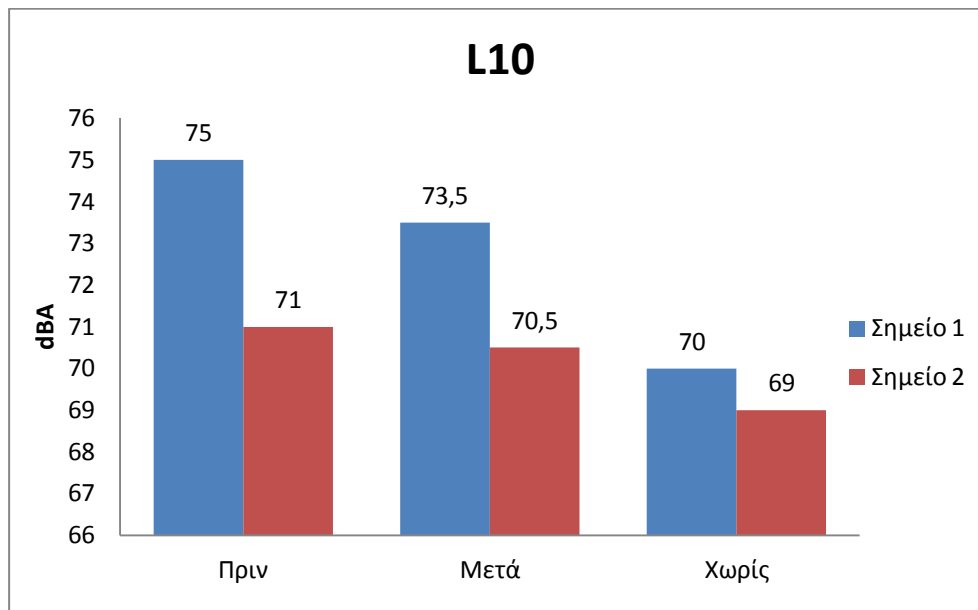


Διάγραμμα 5.7.9: Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση “Ν. Ηράκλειο”, στο σημείο 1

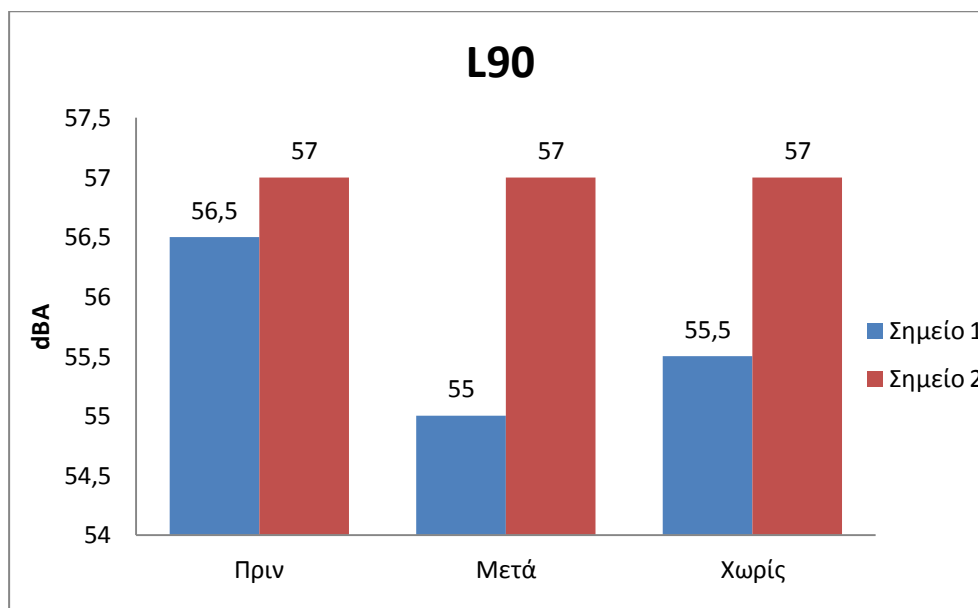
### 5.3.3.3 Σημεία 1 & 2



Ραβδόγραμμα 5.7.1: Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση “Ν. Ηράκλειο”, στα σημεία 1 & 2



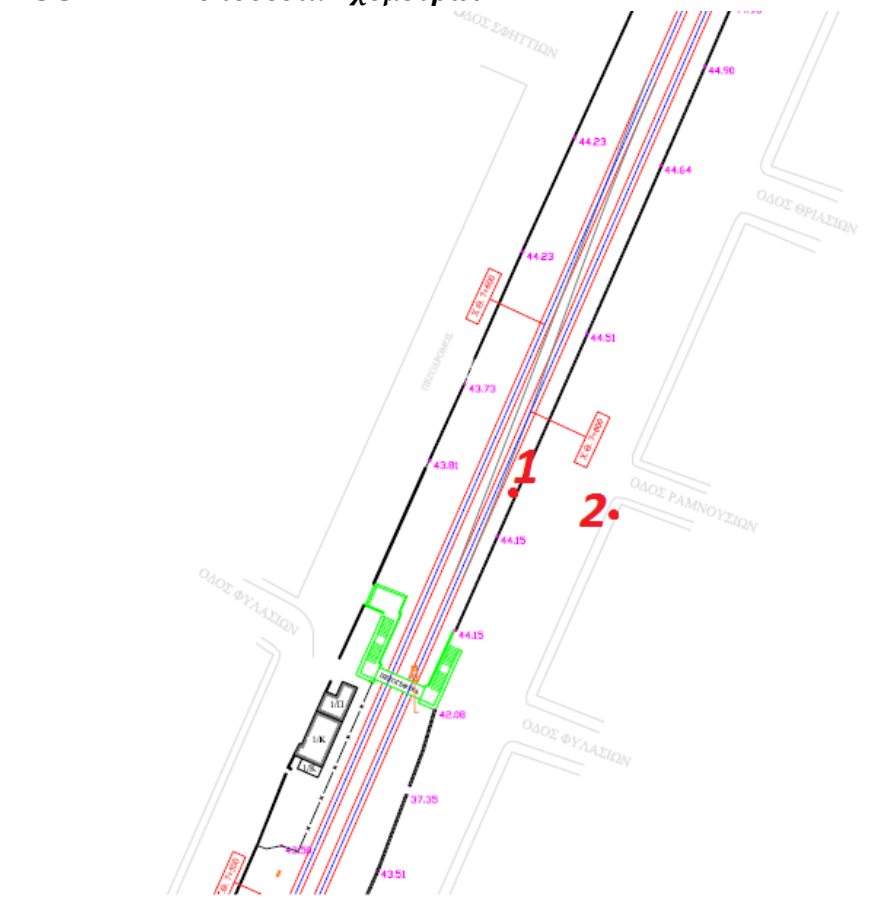
Ραβδόγραμμα 5.7.2: : Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση “Ν. Ηράκλειο”, στα σημεία 1 & 2



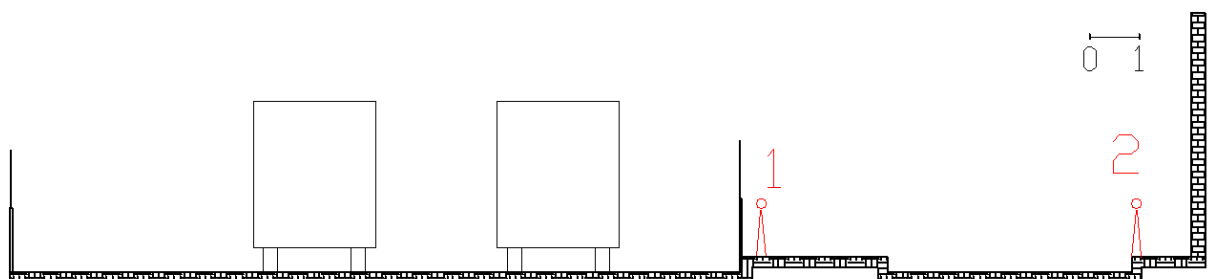
Ραβδόγραμμα 5.7.3: Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση “Ν. Ηράκλειο”, στα σημεία 1 & 2

### 5.3.4 Πετράλωνα

#### 5.3.4.1 Τοποθεσία Ηχομέτρων

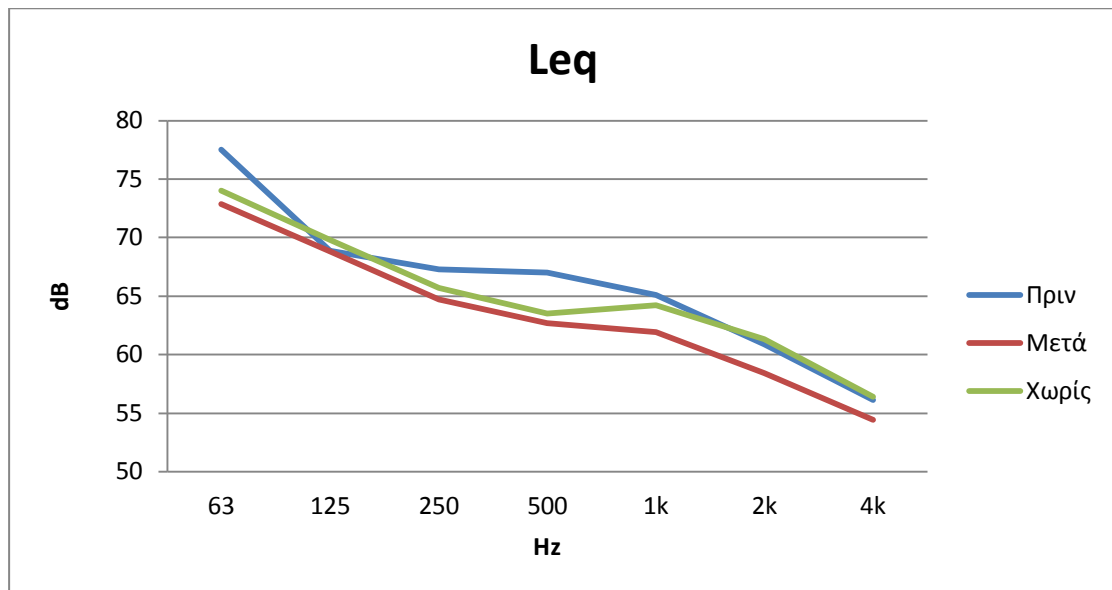


Εικόνα 7

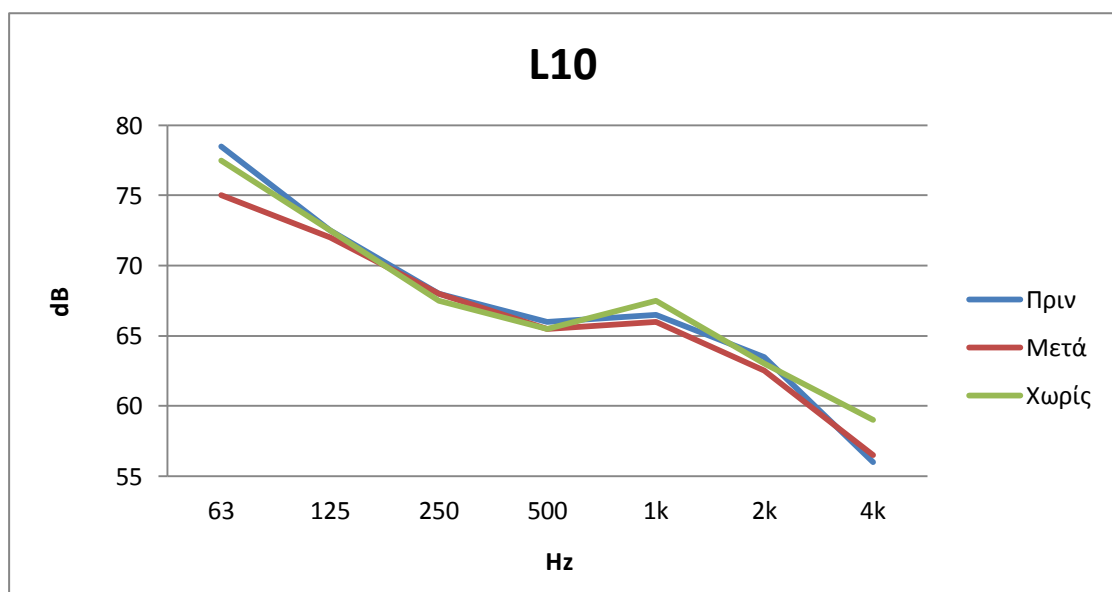


Εικόνα 8

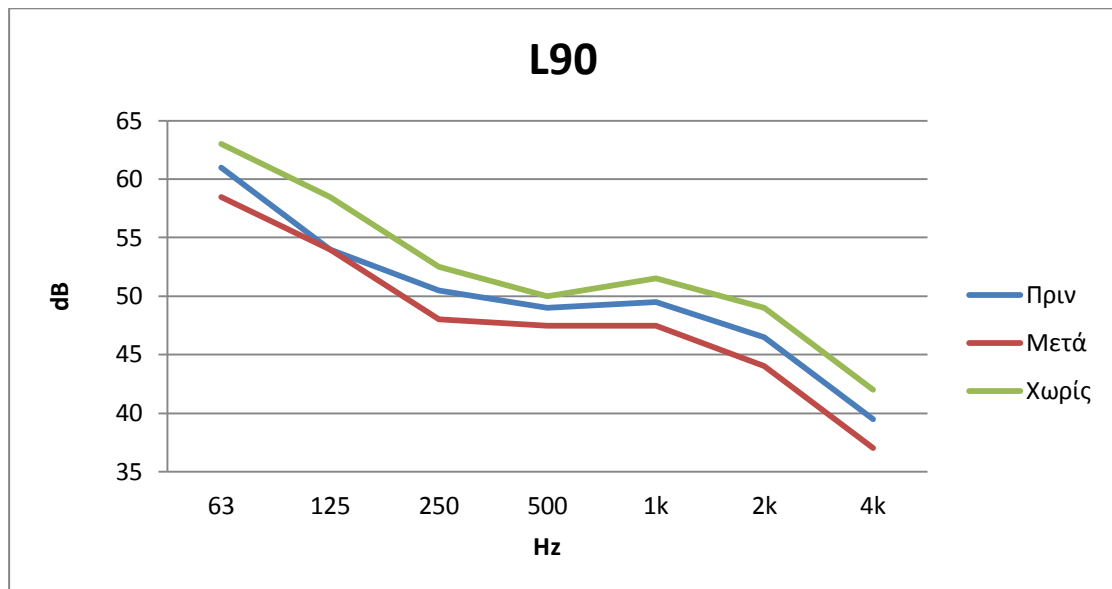
### 5.3.4.2 Σημείο 1



Διάγραμμα 5.8.1: : Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση "Πετράλωνα", στο σημείο 1

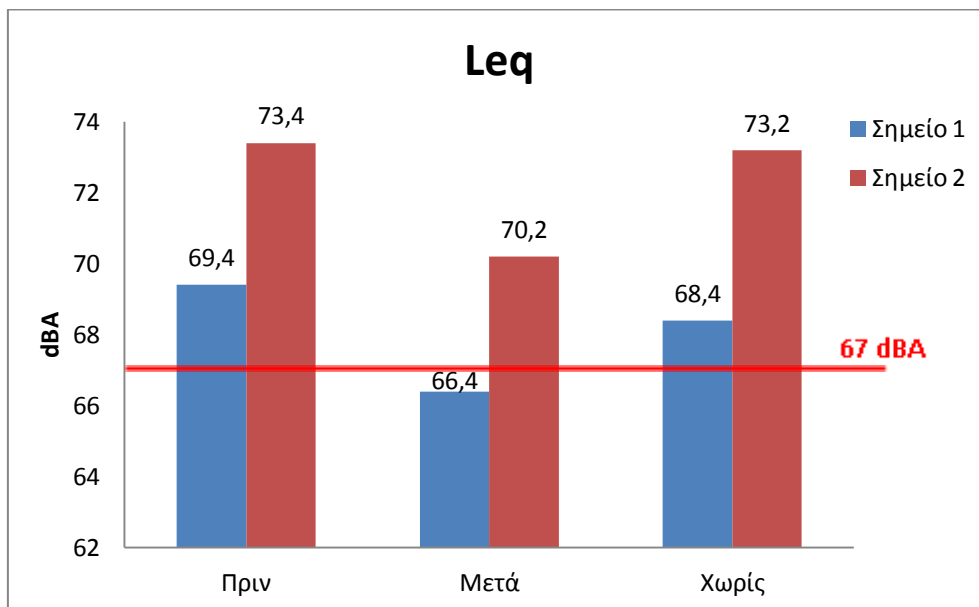


Διάγραμμα 5.8.2: : Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση "Πετράλωνα", στο σημείο 1



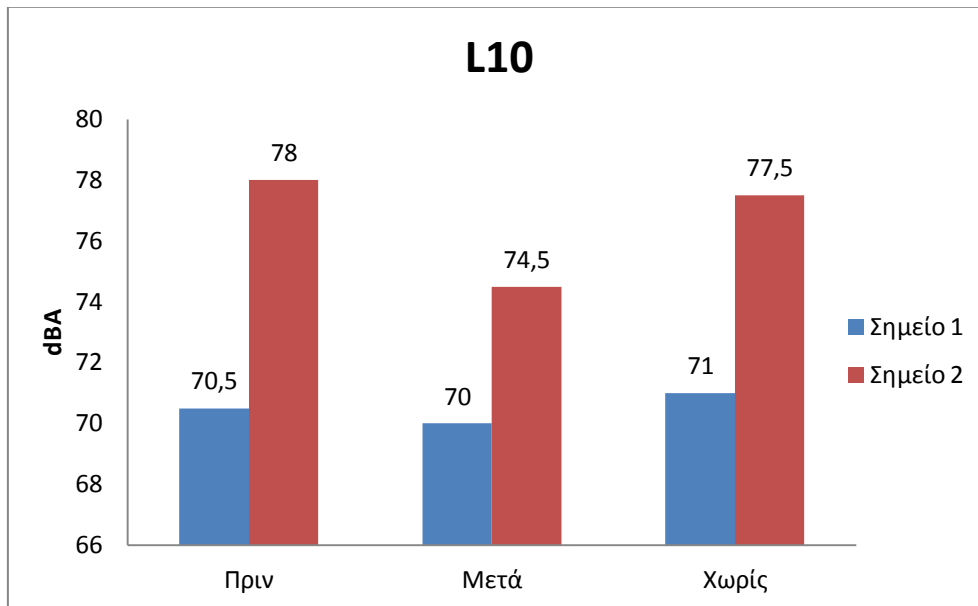
Διάγραμμα 5.8.3: Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση "Πετράλωνα", στο σημείο 1

### 5.3.4.3 Σημεία 1 & 2

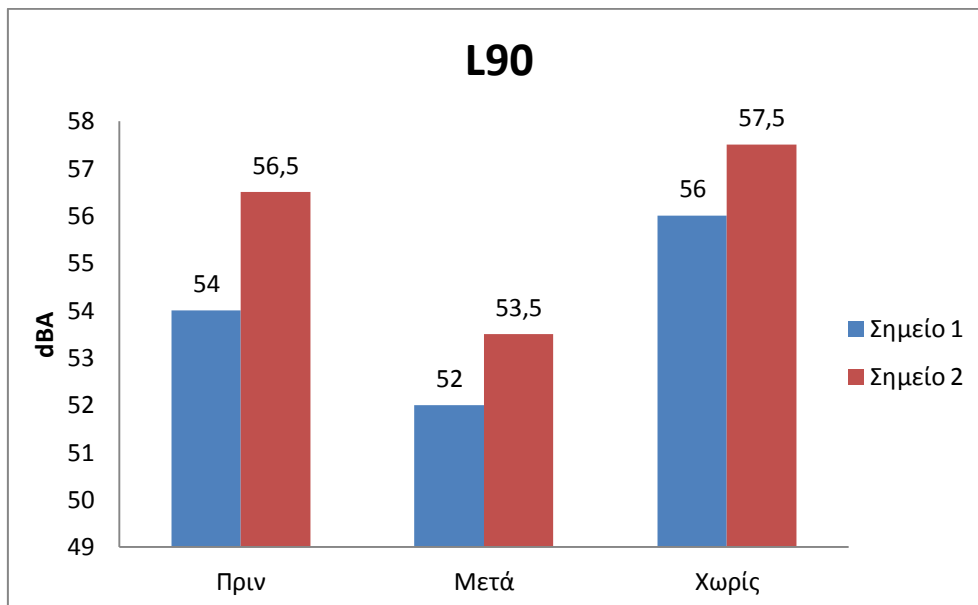


Ραβδόγραμμα 5.8.1: Δείκτης  $L_{eq}$  στη θέση "Πετράλωνα", στα σημεία 1 & 2





Ραβδόγραμμα 5.8.2: Δείκτης  $L_{10}$  στη θέση "Πετράλωνα", στα σημεία 1 & 2

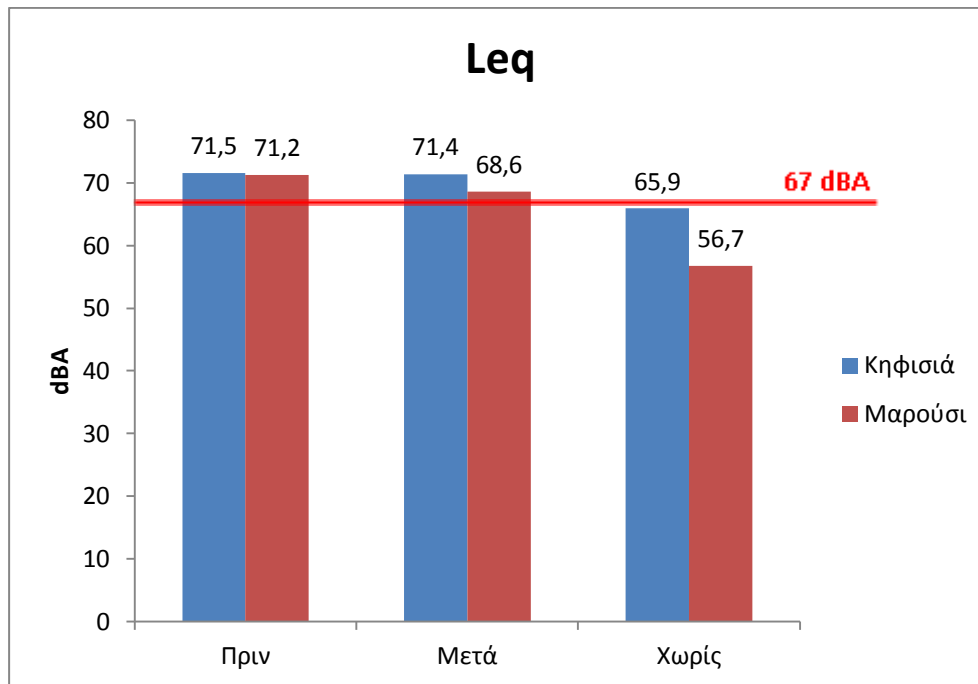


Ραβδόγραμμα 5.8.3: Δείκτης  $L_{90}$  στη θέση "Πετράλωνα", στα σημεία 1 & 2

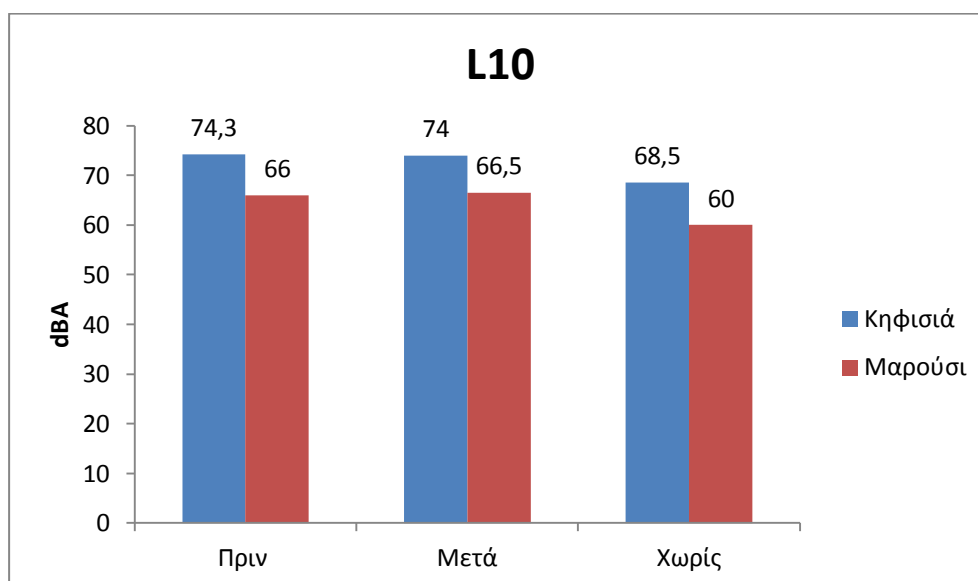
## 5.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων ανά Ομάδες Θέσεων

### 5.4.1 Κηφισιά - Μαρούσι

#### 5.4.1.1 Σημείο 1

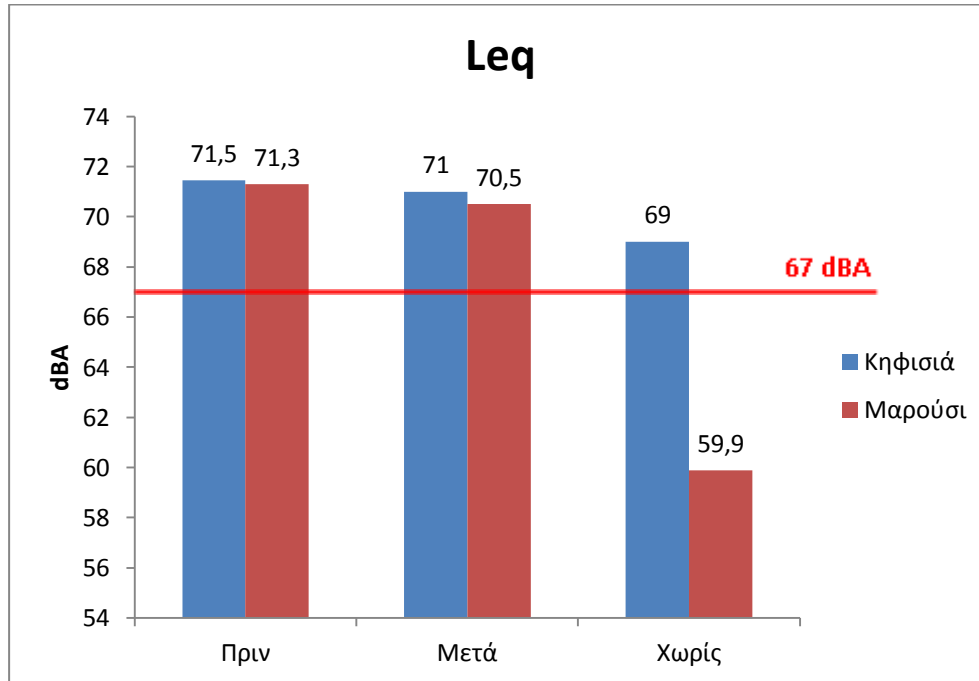


Ραβδόγραμμα 5.9.1: Δείκτης  $L_{eq}$  στις θέσεις “Κηφισιά” & “Μαρούσι”, στο σημείο 1

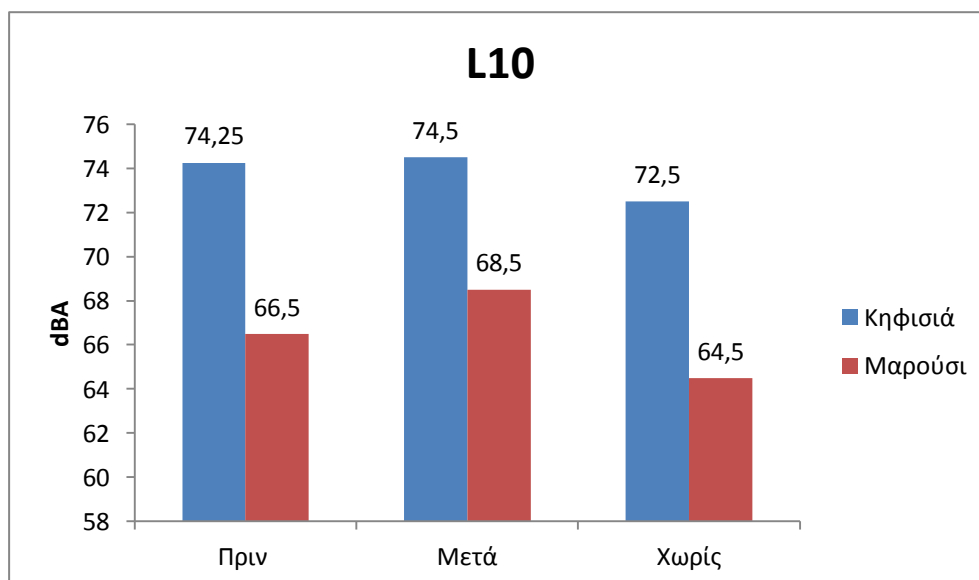


Ραβδόγραμμα 5.9.2: Δείκτης  $L_{10}$  στις θέσεις “Κηφισιά” & “Μαρούσι”, στο σημείο 1

### 5.4.1.2 Σημείο 2



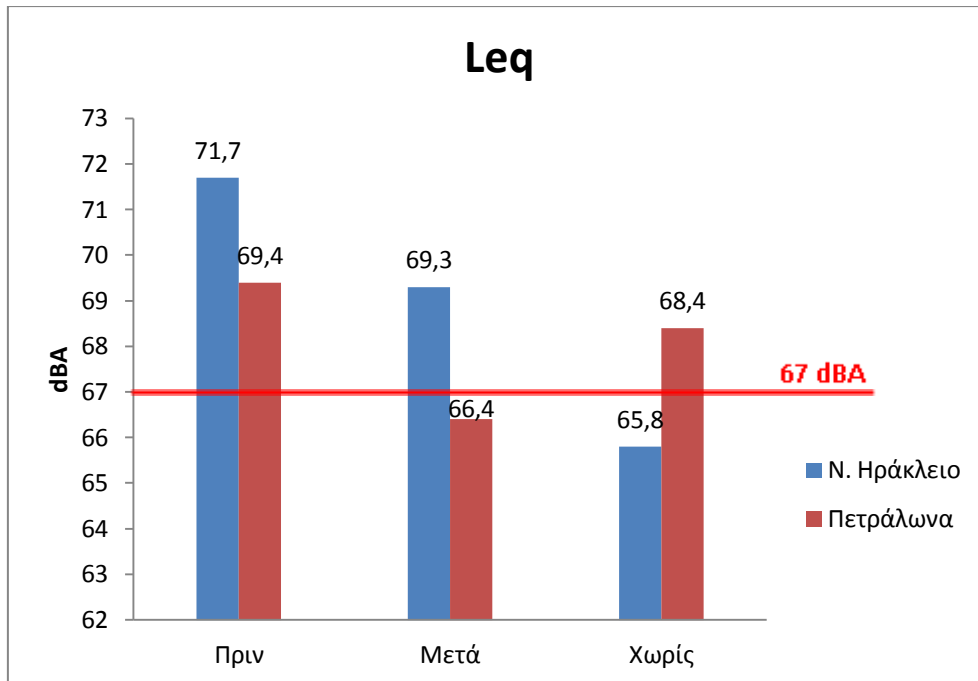
Ραβδόγραμμα 5.9.3: Δείκτης  $L_{eq}$  στις θέσεις “Κηφισιά” & “Μαρούσι”, στο σημείο 2



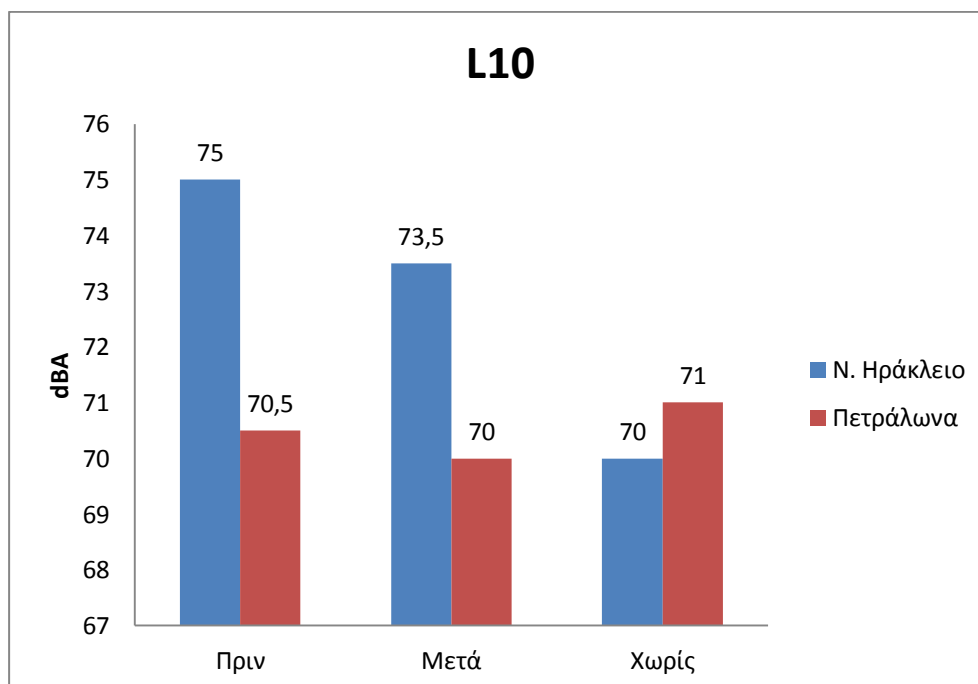
Ραβδόγραμμα 5.9.4: Δείκτης  $L_{10}$  στις θέσεις “Κηφισιά” & “Μαρούσι”, στο σημείο 2

## 5.4.2 Ν. Ηράκλειο - Πετράλωνα

### 5.4.2.1 Σημείο 1

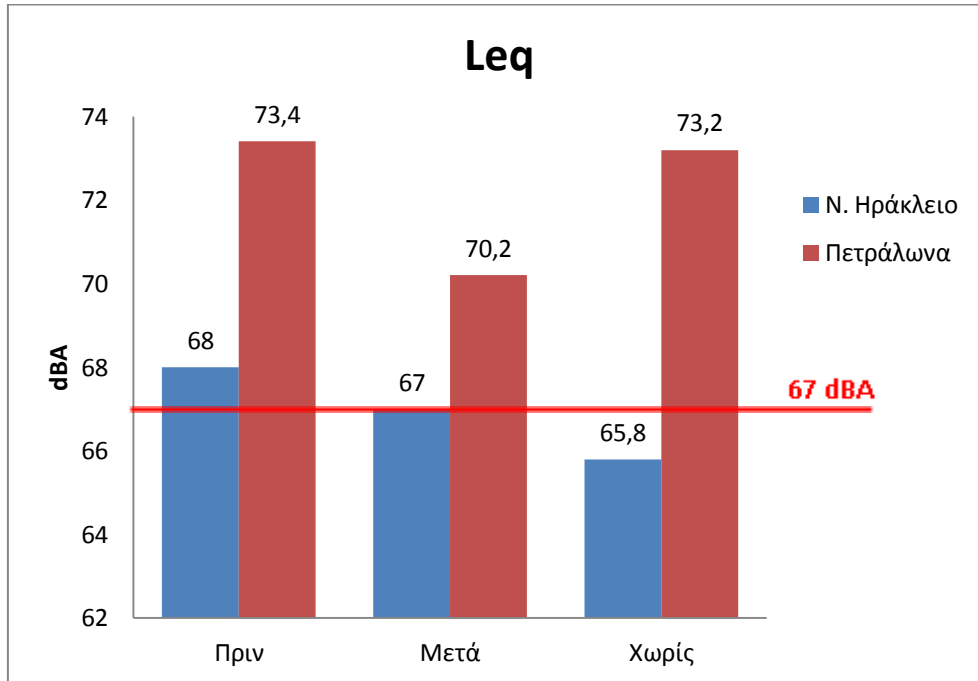


Ραβδόγραμμα 5.10.1: Δείκτης  $L_{eq}$  στις θέσεις "Ν. Ηράκλειο" & "Πετράλωνα", στο σημείο 1

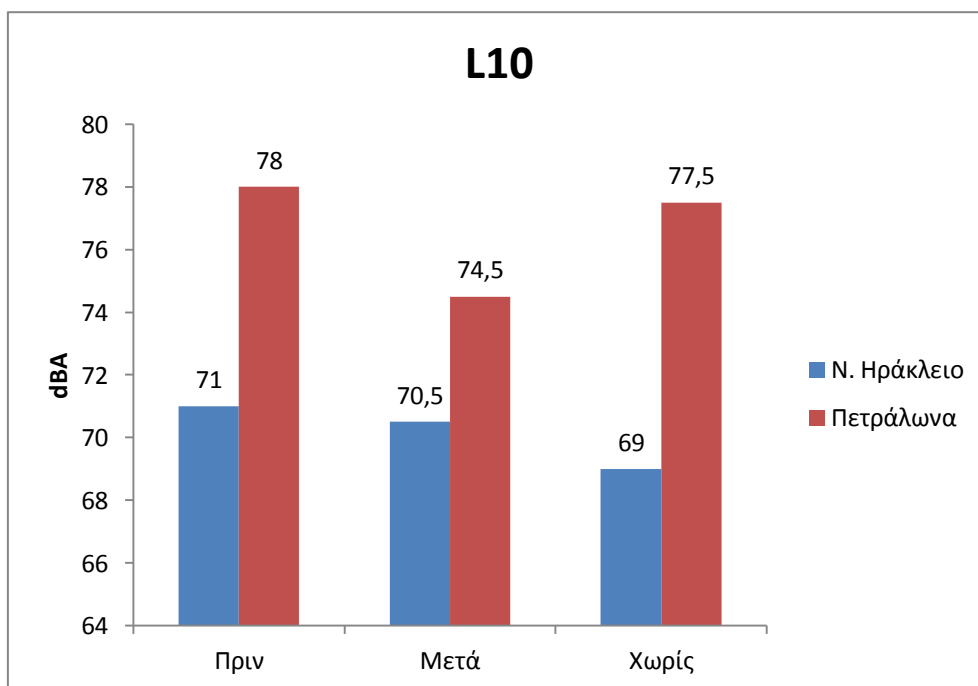


Ραβδόγραμμα 5.10.2: Δείκτης  $L_{10}$  στις θέσεις "Ν. Ηράκλειο" & "Πετράλωνα", στο σημείο 1

#### 5.4.2.2 Σημείο 2



Ραβδόγραμμα 5.10.3: Δείκτης  $L_{eq}$  στις θέσεις “N. Ηράκλειο” & “Πετράλωνα”, στο σημείο 2



Ραβδόγραμμα 5.10.4: Δείκτης  $L_{10}$  στις θέσεις “N. Ηράκλειο” & “Πετράλωνα”, στο σημείο 2



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### Ερμηνεία και αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

#### 6.1 Γενικά

Οι μετρήσεις σε χαμηλές συχνότητες δεν είναι πολύ αξιόπιστες, εξαιτίας της μικρής απόστασης από την πηγή του ήχου σε συνάρτηση με το μεγάλο μήκος κύματος, γι' αυτό και τις αγνοήσαμε στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μας.

Γενικά, παρατηρήθηκε πως ο θόρυβος των τρένων εκπέμπεται σε μια ευρεία περιοχή φάσματος συχνοτήτων, ξεκινώντας από τα 63 Hz με πλούσιες τις χαμηλές συνοστώσες.

Στις μετρήσεις μας υπήρχε ο περιορισμός πως ο αστικός θόρυβος μετρήθηκε σε πολύ μικρό δείγμα χρόνου (90-240 sec), όσο και η χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών διελεύσεων συρμών. Αντίθετα, οι μετρήσεις αστικού θορύβου συμπεριλαμβανομένου του θορύβου των συρμών ήταν σε θεαματικά μεγαλύτερο χρόνο (30 min). Συνεπώς, η αξιοπιστία του πρώτου είναι σχετικά περιορισμένη. Η μέτρηση του βραχέως δείγματος χρόνου είναι ευαίσθητη και εξαρτημένη από τυχόν διελεύσεις μεμονωμένων οχημάτων.

#### 6.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Ανά Θέση Μέτρησης

##### 6.2.1 Κηφισιά

###### 6.2.1.1 Σημείο 1

Τα παρόντα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι ο θόρυβος από την διέλευση των συρμών του Ηλεκτρικού επιδρά σημαντικά στην αύξηση της στάθμης του αστικού θορύβου και πιο συγκεκριμένα είναι της τάξεως των 4 – 8 dB, εφόσον οι μετρήσεις πριν και μετά ταυτίζονται, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.5.1. Η διαπιστωθείσα ταύτιση στις στάθμες θορύβου πριν και μετά την εφαρμογή σημαίνει ότι η αναμενόμενη ηχοπροστασία από το νέο υλικό είναι αμελητέα.

Ο δείκτης  $L_{90}$  υποδηλώνει τον θόρυβο βάθους, τον θόρυβο δηλαδή που ουσιαστικά διαμορφώνει το ηχητικό περιβάλλον, στο οποίο καλείται να διαβιώσει ένας αστός. Από το Διάγραμμα 5.5.3 συμπεραίνουμε ότι και ο αστικός θόρυβος είναι πολύ υψηλός.

### 6.2.1.2 Σημεία 1 & 2

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατηρείται στο Ραβδόγραμμα 5.5.1 ότι η συνδυασμένη στάθμη θορύβου, όπως καταγράφηκε στην εξεταζόμενη περιοχή υπερβαίνει για τον δείκτη  $L_{eq}$ , το όριο των 67dBA, το οποίο ορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία, τόσο πριν όσο και μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ.

Στο 2<sup>ο</sup> σημείο, η μείωση του αστικού θορύβου είναι ελάχιστη μετά την τοποθέτηση του υλικού. Συγκρίνοντάς τα, δε, με την μέτρηση για μη διέλευση συρμών διαπιστώνουμε ότι ο αστικός θόρυβος είναι ήδη υψηλός, λόγω του έντονου κυκλοφοριακού φόρτου.

Ανάμεσα στα σημεία 1 & 2 οι διαφορές στη στάθμη του θορύβου είναι αμελητέες, με εξαίρεση την μέτρηση αποκλειστικά για αστικό θόρυβο. Εκεί διαπιστώθηκε διαφορά και ειδικότερα το περιβάλλον κοντά στη σιδηροτροχιά είχε χαμηλότερη στάθμη κατά 3.5 dBA απ' ό τι στο σημείο 2. Η διαπιστωθείσα διαφορά ερμηνεύεται κυρίως από την ενίσχυση που υφίσταται ο ήχος, λόγω ανακλάσεων του κυκλοφοριακού θορύβου στο στηθαίο ασφαλείας της οδογέφυρας, που βρίσκεται σε άμεση γειτνίαση με το 2<sup>ο</sup> ηχώμετρο.

## 6.2.2 Μαρούσι

### 6.2.2.1 Σημείο 1

Ο θόρυβος από την διέλευση των συρμών του Ηλεκτρικού επιδρά σημαντικά στην αύξηση της στάθμης του αστικού θορύβου και πιο συγκεκριμένα είναι της τάξεως των 5 – 20 dB, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.6.1. Στη συγκεκριμένη θέση, ο αστικός θόρυβος με απουσία τρένου είναι πολύ μικρός, καθώς η οδική άνω διάβαση ήταν χαμηλής κυκλοφορίας και δεν υπήρχε κάποια άλλη σημαίνουσα πηγή θορύβου. Για εύρος συχνοτήτων 250 Hz – 2 kHz η διαφορά μετά την τοποθέτηση του πάνελ, καταγράφεται στα 2 έως 3 dB για τον δείκτη  $L_{eq}$ . Αυτό ερμηνεύεται με βάση τις ηχοαπορροφητικές ιδιότητες του νέου υλικού, το οποίο προδιαγράφει την μέγιστη απόδοσή του στην περιοχή αυτή του φάσματος ( βλ. Σχήμα 4.11). Η περιοχή αυτή του φάσματος αντιστοιχεί στον ήχο της ομιλίας που αποτελεί συνήθη περίπτωση κτιριακών εφαρμογών.



### 6.2.2.2 Σημεία 1 & 2

Από το Ραβδόγραμμα 5.6.1 παρατηρούμε ότι και στο σημείο 2 η μείωση του αστικού θορύβου είναι της τάξης του 1 dB πριν και μετά την τοποθέτηση του υλικού. Συγκρίνοντάς τα, δε, με την μέτρηση για μη διέλευση συρμών διαπιστώνουμε ότι ο αστικός θόρυβος είναι χαμηλότερος κατά 10dB.

Ανάμεσα στα σημεία 1 & 2 βλέπουμε πως η μείωση της στάθμης στο σημείο 1 είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στο σημείο 2. Λόγω της χωρικής τοποθέτησης των ηχομέτρων, το 2<sup>ο</sup> παρελάμβανε ήχο και από ανάκλαση εξαιτίας της ύπαρξης του τοιχώματος του ορύγματος.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατηρείται ότι η συνδυασμένη στάθμη θορύβου για τον δείκτη  $L_{eq}$  ξεπερνά το όριο των 67dBA τόσο πριν όσο και μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ.

Στο Ραβδόγραμμα 5.6.2 παρατηρούνται πιο έντονα ηχητικά γεγονότα στο σημείο 2 καθώς το όργανο μέτρησης βρισκόταν στην ανωφέρεια της οδογέφυρας ενώ το 1<sup>ο</sup> στο κατάστρωμα της και πριν από κλειστή στροφή. Είναι λογικό, λοιπόν, ο κινητήρας των οχημάτων να λειτουργεί σε υψηλότερες στροφές κοντά στο σημείο 2.

## 6.2.3 Ν. Ηράκλειο

### 6.2.3.1 Σημείο 1

Ο θόρυβος από την διέλευση των συρμών του Ηλεκτρικού επιδρά στην αύξηση της στάθμης του αστικού θορύβου κατά μέγιστη τιμή 10dB στη συχνότητα των 500Hz, ωστόσο και ο αστικός θόρυβος είναι ιδιαίτερα υψηλός, λόγω του έντονου κυκλοφοριακού φόρτου. Συγκρίνοντας τις καμπύλες πριν και μετά την τοποθέτηση του πάνελ, διαπιστώνουμε ότι, για μεγάλο εύρος φάσματος, επιτυγχάνεται η μείωση της στάθμης του θορύβου των τρένων κατά 2 – 3 dB.

### 6.2.3.2 Σημεία 1 & 2

Πρέπει να τονισθεί ότι η θέση “Ν. Ηράκλειο” βρίσκεται πλησίον του ομώνυμου σταθμού του ΗΣΑΠ και έτσι οι συρμοί έχουν μικρή ταχύτητα διέλευσης, τόσο στην άνοδο όσο και στην κάθοδο, καθώς ότι η οικοδομική γραμμή βρίσκεται 15 μέτρα μακριά από την κοίτη της σιδηροτροχιάς.

Γι' αυτό το λόγο, στο Ραβδόγραμμα 5.7.1 παρατηρείται διαφορά 4 και 2 dB, πριν και μετά, ανάμεσα στα σημεία 1 και 2, αντίστοιχα. Στο σημείο 2, μεμονωμένα, παρατηρείται μείωση της στάθμης θορύβου κατά 1 dB μετά την τοποθέτηση του υλικού. Όμως, και η στάθμη θορύβου με απουσία συρμών είναι εξίσου υψηλή, δείγμα του ότι η επίδραση των συρμών, στα όρια της οικοδομικής γραμμής, είναι

μικρή. Αυτό γίνεται πιο εμφανές στο Ραβδόγραμμα 5.7.2 δείχνοντας πως το ηχοαπορροφητικό υλικό, ναι μεν απέδωσε στο σημείο 1, μειώνοντας τη στάθμη του θορύβου, αλλά στο σημείο 2 η απόδοσή του ήταν μικρότερη, λόγω και της έντονης διέλευσης οχημάτων.

Τέλος, η συνδυασμένη στάθμη θορύβου από την κυκλοφορία των συρμών και απ' την οδική κυκλοφορία, όπως καταγράφηκε στην εξεταζόμενη περιοχή υπερβαίνει οριακά, για τον δείκτη  $L_{eq}$ , το όριο των 67dBA, το οποίο ορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία, τόσο πριν όσο και μετά την τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών πάνελ.

Το γεγονός ότι ισούνται οι δείκτες  $L_{90}$  του Ραβδογράμματος 5.7.3 και για τις τρεις περιπτώσεις στο σημείο 2 δείχνει ότι ο θόρυβος βάθους, που αντιλαμβάνεται ο αστός στα όρια της οικοδομικής γραμμής, είναι ίδιος είτε με παρουσία τρένου είτε χωρίς.

Καταλήγοντας, στην συγκεκριμένη θέση το υλικό αντιστοιχεί σε δαπάνη χωρίς αποτέλεσμα.

## 6.2.4 Πετράλωνα

### 6.2.4.1 Σημείο 1

Συγκρίνοντας τις καμπύλες πριν και μετά την τοποθέτηση του πάνελ στο Διάγραμμα 5.8.1, διαπιστώνουμε ότι επιτυγχάνεται η μείωση της στάθμης του θορύβου των τρένων της τάξεων των 2 – 4 dB. Η περιοχή του φάσματος όπου παρατηρείται σχετικά μεγαλύτερη ηχομείωση (4dB) είναι τα 600 Hz. Αυτό ερμηνεύεται με βάση τις ηχοαπορροφητικές ιδιότητες του νέου υλικού, όπως ακριβώς έγινε και στη θέση «Μαρούσι», το οποίο προδιαγράφει την μέγιστη απόδοσή του στην περιοχή αυτή του φάσματος ( βλ. Σχήμα 4.11). Το γεγονός ότι η καμπύλη του δείκτη  $L_{eq}$  για μέτρηση με απουσία διέλευσης συρμών βρίσκεται πιο πάνω από τη καμπύλη της μέτρησης μετά την τοποθέτηση των πάνελ, δεν αξιολογείται, δηλαδή θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα τη σχετικά περιορισμένης αξιοπιστίας του βραχέως δείγματος χρόνου της μέτρησης.

### 6.2.4.2 Σημεία 1 & 2

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, παρατηρείται στο Ραβδόγραμμα 5.8.1 ότι η συνδυασμένη στάθμη θορύβου όπως καταγράφηκε στην εξεταζόμενη περιοχή υπερέβαινε για τον δείκτη  $L_{eq}$  το όριο των 67dBA πριν την τοποθέτηση των

ηχοαπορροφητικών πάνελ. Ωστόσο μετά την τοποθέτησή τους, στο 1<sup>ο</sup> σημείο ο δείκτης  $L_{eq}$  έπεσε κάτω από τα 67 dBA, ενώ στο 2<sup>ο</sup> σημείο μειώθηκε μεν κατά 3dBA, αλλά παραμένει ακόμη πάνω από το όριο.

Να σημειωθεί ότι η οικοδομική γραμμή και το 2<sup>ο</sup> ηχόμετρο βρίσκεται σε απόσταση 7,5 μέτρων από την κοίτη της σιδηροδρομικής γραμμής. Οι γειτνιαζουσες στην γραμμή πολυκατοικίες είναι παλαιές και χωρίς την ύπαρξη πυλωτής. Τόσο στο 1<sup>ο</sup> όσο και στο 2<sup>ο</sup> σημείο, παρατηρείται μείωση της στάθμης θορύβου της τάξης των 3dB, πριν και μετά την τοποθέτηση του υλικού.

Είναι γεγονός ότι τόσο πριν όσο και μετά την τοποθέτηση του υλικού οι στάθμες θορύβου είναι μεγαλύτερες στο σημείο 2, παρά στο σημείο 1, της τάξεως των 4 έως 5 dBA. Δημιουργείται, μεν, ηχητική σκιά πίσω από το ηχοαπορροφητικό πάνελ στο σημείο του 1<sup>ου</sup> ηχομέτρου, ενώ στο 2<sup>ο</sup> σημείο ο θόρυβος του τρένου πολλαπλασιάζεται μπροστά στην πρόσοψη της πολυκατοικίας λόγω των φαινομένων της ανάκλασης και διάχυσης, ακόμη κι αν και το 2<sup>ο</sup> ηχόμετρο βρίσκεται εντός της ηχητικής σκιάς.

Τέλος, διαπιστώνεται ότι τόσο ο κυκλοφοριακός όσο και ο συγκοινωνιακός θόρυβος παίζουν μεγάλο ρόλο στην αύξηση του αστικού, λόγω της μεγάλης διαφοράς των δεικτών  $L_{90}$  και  $L_{10}$ .

### **6.3 Σύγκριση θέσεων Κηφισιά – Μαρούσι**

Παρατηρείται μια ομοιογένεια στα αποτελέσματα των δύο αυτών θέσεων. Και οι δύο αυτές θέσεις είναι θέσεις ορυγμάτων της σιδηροδρομικής γραμμής του ΗΣΑΠ. Το υλικό δεν «έντυσε» εξ' ολοκλήρου τα τοιχεία αλλά έως ένα συγκεκριμένο υψόμετρο. Έτσι, ο ήχος από την διέλευση του τραίνου ανακλάται στα ανεπένδυτα τοιχώματα με αποτέλεσμα να είναι σχετικά περιορισμένο το αποτέλεσμα του ηχοαπορροφητικού υλικού.

### **6.4 Σύγκριση θέσεων Ν. Ηράκλειο – Πετράλωνα**

Σε αυτές τις δύο θέσεις είχαμε αποτελεσματικότητα από την τοποθέτηση του ηχοαπορροφητικού υλικού τόσο στο σημείο 1 όσο και στο σημείο 2. Η διαφορά στις μετρήσεις παρατηρείται στα σημεία στο όριο της οικοδομικής γραμμής. Αυτό συνέβη διότι στο Ν. Ηράκλειο υπήρχε πίσω από το ηχόμετρο οικοδομή με πυλωτή,

ενώ στα Πετράλωνα η πολυκατοικία πίσω από τον μετρητή ήταν παλαιού τύπου με κλειστό ισόγειο. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση ο θόρυβος που κατεγράφη ήταν πρωτογενής, ενώ στην δεύτερη περίπτωση ήταν και ήχος από ανάκλαση στην πρόσοψη της πολυκατοικίας. Γι αυτό το λόγο, στο Ν. Ηράκλειο υπήρχε μείωση της στάθμης θορύβου από το σημείο 1 στο σημείο 2, ενώ στα Πετράλωνα συνέβη ακριβώς το αντίθετο.

## 6.5 Σύγκριση με παλαιότερες έρευνες

Η παρούσα εργασία είχε κοινές παραμέτρους μόνο με εργασίες, οι οποίες επίσης μελετούν ηχοαπορροφητικά υλικά ως προς την αποτελεσματικότητά τους στη μείωση της παραγόμενης ηχοστάθμης, για αυτό και κρίθηκε αποδεκτή η σύγκριση των όποιων συγκρίσιμων παρατηρήσεων μεταξύ τους.

Στην μελέτη των D.N. May and M.M. Osman “The performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto” (1979) [Ref. 17] διαπιστώθηκε πως το ηχοαπορροφητικό πάνελ μείωσε την παραγόμενη στάθμη θορύβου αυτοκινητοδρόμου από 7 έως 10 dBA και επιπρόσθετα το ηχοαπορροφητικό σχήματος T παρείχε επιπλέον μείωση 1.5 dB σε σχέση με το πρώτο. Στην παρούσα μελέτη μας η ηχομείωση που παρατηρήθηκε ήταν της τάξεως 1 έως 4 dBA. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο μελέτες μπορεί να οφείλεται πρώτον ως προς το ύψος του ηχοαπορροφητικού το οποίο στην εν λόγω μελέτη κάλυψε όλο τον πλευρικό τοίχο δηλαδή ύψος 4 μ., ενώ στην παρούσα μελέτη το ύψος του απορροφητικού σταμάτησε στο ύψος του διαθέσιμου τοίχου, δηλαδή στα 2,5μ. Δεύτερον, το παρόν ηχοαπορροφητικό είναι αποδοτικό μόνο στις μεσαίες συχνότητες και μάλιστα με συντελεστή ηχοαπορρόφησης που δεν ξεπερνάει το 0,75.

Στην ακουστική μελέτη των Κωνσταντίνου Βογιατζή και Μαρίας-Ελένης Πατσή σχετικά με την εφαρμογή ηχοπετάσματος από την Χ.Θ. 2+300 έως την Χ.Θ. 2+400 του δικτύου ΗΣΑΠ (2006) [Ref. 11] που στηριζόταν τόσο σε πραγματικές μετρήσεις, όσο και στη χρήση κατάλληλου λογισμικού για επακριβή προσομοίωση των ακουστικών παραμέτρων έπειτα από την τοποθέτηση του κατάλληλου ηχοπετάσματος, διαπίστωσε ότι η εφαρμογή αντιθορυβικού πετάσματος συνδυασμένου ύψους 3μ. εκ των οποίων πλέον τα πρώτα 2μ. θα διέθεταν σχετικές ηχοαπορροφητικές ιδιότητες, ενώ το ανώτερο τμήμα του 1μ.θα θα παρέμενε διαφανές θα ήταν η πλέον αποτελεσματική και θα μείωνε την στάθμη θορύβου από 5,5 έως και 8,1 dB(A) στους ελεγχθέντες δέκτες. Συγκρίνοντας το με την μελέτη μας, διαπιστώνουμε πως το ηχοπέτασμα αναπτύσσεται σε μεγαλύτερο ύψος σε σχέση με το δικό μας. Επίσης, η και ηχομείωση που αναμένεται είναι μεγαλύτερη, ωστόσο το “ΜΕΤΑ” της μελέτης τους είναι αποτέλεσμα προσομοίωσης σε κατάλληλο

λογισμικό, ενώ το δικό μας είναι αποτέλεσμα πραγματικών μετρήσεων. Πιθανώς, επομένως, να μην έχουν λάβει υπόψη όλες τις παραμέτρους, μιας και η μελέτη αφορά το ίδιο σιδηροδρομικό δίκτυο.

Τέλος, στην μελέτη του Δημήτριου Αργυρόπουλου «Μετρήσεις θορύβου στη γραμμή του ΗΣΑΠ» (2010) [Ref. 18] αποδείχτηκε πως ο συνολικός περιβαλλοντικός θόρυβος που καταγράφηκε κατά μήκος της γραμμής και στην περιοχή των πλησιέστερων αποδεκτών (1 έως 2 μέτρα πριν την οικοδομική γραμμή) εμφανίζει εικόνα αρκετά επιβαρυσμένου ακουστικού περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα ο δείκτης  $L_{eq,1h}$  κυμαινόταν από 65.1 dB(A) ως 74.4 dB(A) με μέσο όρο τα 68.6 dB(A). Ακόμη, συγκρίνοντας τις μετρήσεις θορύβου σε σημεία με και χωρίς διάταξη αντιθορυβικής προστασίας στη σιδηροτροχιά (σάντουιτς υλικό) προκύπτει μείωση σε όλους τους δείκτες από 5.4 dB(A) στον δείκτη  $L_{99}$  ως 6.7 dB(A) στον δείκτη  $L_{eq}$ . Αν εξεταστεί η φασματική ανάλυση συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις ΜΕ και ΧΩΡΙΣ το σάντουιτς υλικό κατά τη 1η καμπάνια μετρήσεων προκύπτουν σημαντικές ηχομειώσεις περί τα 5 με 8 dB στην περιοχή 250Hz ως 1kHz, δηλαδή στις συχνότητες που οι συρμοί του ΗΣΑΠ εμφανίζουν κατά τη διέλευσή τους τις υψηλότερες στάθμες θορύβου. Η παρούσα μελέτη μας έρχεται σε συμφωνία με την συγκεκριμένη μελέτη στο γεγονός πως ο δείκτης  $L_{eq}$  κυμαίνεται από 67 dBA ως 71.4 dBA και πως σημαντικές ηχομειώσεις παρατηρούνται στις μεσαίες συχνότητες μετά την τοποθέτηση του ηχοαπορροφητικού. Όμως, στην δικιά μας περίπτωση, η μείωση είναι μικρότερη και αυτό γιατί δεν επεμβαίνουμε στην πηγή του θορύβου, αλλά σε απόσταση 2 μ. τουλάχιστον από αυτή.



## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### Συμπεράσματα – Προτάσεις

Οι παρούσες μετρήσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα του ηχοαπορροφητικού υλικού ως μέσου μείωσης του θορύβου τρένων, έδειξαν τα κάτωθι βασικά συμπεράσματα:

- Στις θέσεις «Κηφισιά» και «Μαρούσι», το ηχοαπορροφητικό ήταν εν τέλει αναποτελεσματικό ή μειωμένης αποδοτικότητας.
- Στις υπόλοιπες θέσεις «Νέο Ηράκλειο» και «Πετράλωνα», το ηχοαπορροφητικό υλικό λειτούργησε αποτελεσματικά κυρίως στις μεσαίες συχνότητες, όπου αυτό έχει μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης. Το συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων ταυτίζεται με την περιοχή μεγάλης ευαισθησίας του ανθρωπίνου μηχανισμού ακοής.
- Πριν την τοποθέτηση του υλικού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, οι στάθμες θορύβου ήταν αρκετά πάνω από τα επιτρεπτά όρια, που η νομοθεσία ορίζει. Μετά την τοποθέτησή του, ευκαίω θα ήταν να βρίσκονται κάτω από αυτά. Υπήρξε μείωση στις τρεις από τις τέσσερις θέσεις, ωστόσο μόνο σε μία, η στάθμη του θορύβου βρέθηκε, τελικά, κάτω από τα ανεκτά όρια.

Εκτός των βασικών συμπερασμάτων των μετρήσεων, προκύπτουν και τα εξής δευτερεύοντα:

- Παρατηρήθηκε ότι το ενεργειακό περιεχόμενο του θορύβου που οφείλεται στην οδική κυκλοφορία, είναι εξίσου σημαντικό, όσο και το αντίστοιχο της σιδηροδρομικής.
- Επιβεβαιώθηκε ότι πλησίον των προσόψεων των κτηρίων ο θόρυβος πολλαπλασιάζεται.
- Σε υψηλότερους ορόφους ίσως τα αποτελέσματα να είναι διαφορετικά, αφού και θα βρίσκονται εκτός ηχητικής σκιάς των ηχοαπορροφητικών πάνελ και θα παρουσιάζεται το φαινόμενο της ανάκλασης στην πρόσοψη των ορόφων. Άρα είναι πιθανό και εκεί να συναντούσαμε μεγαλύτερες στάθμες θορύβου.
- Ο αερόφερτος θόρυβος που καταγράφει το ηχόμετρο μπορεί να προέρχεται από κραδασμούς των δομικών επιφανειών του κτιρίου, λόγω της διέλευσης των συρμών.
- Το ποσό της απορρόφησης εξαρτάται τόσο από τον συντελεστή απορρόφησης  $\alpha$  του υλικού, όσο και από το εμβαδόν του υλικού το εκτεθειμένο στο θόρυβο. Γι' αυτό το λόγο δεν απέδωσε στις θέσεις «Κηφισιά»

και «Μαρούσι», αφού δεν είχε επενδυθεί όλη η επιφάνεια, αλλά μόνο ένα μέρος της.

Με δεδομένα τα παραπάνω προβλήματα καλό θα ήταν να στραφεί κανείς και σε μεθόδους καταστολής του θορύβου στην πηγή του.

Ειδικότερα, όσον αφορά τον ΗΣΑΠ, όπως απέδειξαν και οι Μετρήσεις θορύβου στη γραμμή του ΗΣΑΠ (Δημήτριος Αργυρόπουλος, 2010) [Ref. 18], ενδείκνυται να χρησιμοποιήσει διάταξη αντιθορυβικής προστασίας στη σιδηροτροχιά με υλικό σάντουιτς, αφού στις μετρήσεις αυτές προκύπτει σημαντική μείωση σε όλους τους δείκτες από 5.4 dB(A) στον δείκτη  $L_{99}$  ως 6.7 dB(A) στον δείκτη  $L_{eq}$ . Απαιτείται, επίσης, φρεζάρισμα και λείανση της επιφάνειας κυλίσεως της σιδηροτροχιάς για την απομάκρυνση των ανωμαλιών στην επιφάνειά της, την απομάκρυνση της φθοράς της κεφαλής της σιδηροτροχιάς, την απομάκρυνση των αυλακώσεων (corrugation), των μικρορωγμών (head checks ή cracks), με απώτερο σκοπό την μείωση των επιπέδων θορύβου. Τέλος, θα ήταν χρήσιμη και μια πιθανή αλλαγή του επισότρου του τροχού, καθώς αυτό δεν μεταβλήθηκε, παρόλη την αλλαγή της σιδηροτροχιάς από S49 στη νέα 54 E1 κατά την πρόσφατη ανακαίνιση της γραμμής.

Επεμβάσεις εκτός των ορίων του δικτύου του ΗΣΑΠ, μπορούν να περιλαμβάνουν την ανάσχεση των κραδασμών εισάγοντας σημεία διακοπής (ελαστικά παρεμβύσματα) σε χαρακτηριστικά σημεία της πορείας του κραδασμού, όπως π.χ. στο όριο της ιδιοκτησίας του ΗΣΑΠ. Προτείνεται η αντικατάσταση των σκληρών επιφανειών των πεζοδρομίων με φυτεμένες επιφάνειες (παρτέρια). Άλλωστε, όπως έδειξε η μελέτη των D.C Hothersall, K.V.Horoshenkov, P.A. Morgan AND M.J. Swift «Scale Modelling of Railway Noise Barriers» [Ref. 12] οποιοσδήποτε τύπος ηχοφράγματος αν συνδυαστεί με ηχοαπορροφητικό έδαφος, τότε λαμβάνονται πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το ηχοανακλαστικό έδαφος. Επίσης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ζώνες πρασίνου, όπως στις μελέτες του J.Kragh «Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees» (1979) [Ref. 14 ] και «Road traffic noise attenuation by belts of trees» [Ref. 13] , ωστόσο, στην περίπτωση μας είναι ανέφικτη μια τέτοια εφαρμογή, καθώς εξαιτίας της πυκνής δόμησης και της ύπαρξης της πολυεδομικής γραμμής σε πολύ μικρή απόσταση από τη σιδηροδρομική τροχιά, η εγκατάσταση ζώνης πλάτους 25-50 μέτρων είναι πρακτικώς αδύνατη. Τέλος, για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων απορροφητικών επιφανειών συνιστάται και η εναλλαγή των υλικών, καθώς γνωρίζουμε πως στα ηχοαπορροφητικά υλικά αυξάνεται στα άκρα η



απόδοσή τους, οπότε είναι προτιμότερο να τοποθετούνται σε στρώσεις παρά μονοκόμματα.

Περαιτέρω, ο έλεγχος του θορύβου μπορεί και πρέπει να επεκτείνεται και στις μεθόδους κατασκευής του κτηρίου. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της ανάκλασης προτείνεται η χρήση ηχοαπορροφητικών προσόψεων στα κτίρια [Ref.9] . Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με ηχοαπορροφητικά επιχρήσματα, είτε με χρήση ειδικών ηχοαπορροφητικών αναρριχόμενων φυτών. Επίσης, προτείνεται η χρήση συμπαγών στηθαίων αντί κιγκλιδωμάτων, η δημιουργία ηχοαπορροφητικής οροφής εξωστών, καθώς και η έδραση του συνόλου του κτιρίου επί αντικραδασμικών πελμάτων.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σωτηροπούλου Α., 1996. “Εμβάθυνση στο σχεδιασμό χώρων ακρόασης”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.
2. Κανελλαΐδης Γ., Καλτσούνης Α., Μπαλλής Α., 2008, “Στοιχεία Κυκλοφοριακού Θορύβου”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.
3. Σαρλής Β. – Ανεβλαβής Φ., 2008. “Ακουστικός Σχεδιασμός Δομημένου Περιβάλλοντος – Εφαρμογές στο Μετρό”, επιβλέπ.: Α. Σωτηροπούλου επίκ. Καθηγήτρια, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 165 σελ.
4. Σβάρνας Ι. – Χατζηλιάδη Ε., 2012. “Συμβολή Πνευμόνων Πρασίνου στην Αστική Ηχοπροστασία – Η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και το Άλσος Παπάγου στην Αθήνα”, επιβλέπ.: Α. Σωτηροπούλου επίκ. Καθηγήτρια, Διπλωματική Εργασία Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 143 σελ.
5. B. Tech, S. Thankanamootoo, AMHIT. 1987. “Impact Of Noise From Urban Railway Operations”, PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, pp.224
6. Γουδέλης Αναστάσιος Γ., 1/2006. “Ηλεκτροκίνητα Μέσα Μεταφοράς στην Ελλάδα – Υφιστάμενη Κατάσταση και Προοπτικές”, Τ.Ε.Ε., Αθήνα
7. Βίττης Ν., 1/2008. “Πηγές Θορύβου στο Αστικό Περιβάλλον – Προβλήματα του Κανονιστικού Πλαισίου και Εφαρμογής του”, Τ.Ε.Ε., Αθήνα
8. Χατζηλάστρου Χρ., 2008. “Κατασκευαστικές Διατάξεις Ηχοαπορροφητικών Υλικών για την Επίλυση Προβλημάτων Ηχομόνωσης”, Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Δομικών Υλικών και στοιχείων, Μάιος 2008, Αθήνα
9. Σωτηροπούλου Α., Μπαλλής Α., Πουλάκος Γ., Τζουβαδάκης Ι., 2011. “Μετρήσεις Αστικής Ηχορύπανσης Καθ’ ύψος Προσόψεων Κτιρίων”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, 1179–1186 σελ.
10. ΚΥΑ 211773 ΦΕΚ Β 1367-27-04-2012

11. Βογιατζής Κων. και Μαρία-Ελένη Πατσή, 2006. “Ακουστική μελέτη εφαρμογής ηχοπετάσματος από την Χ.Θ. 2+300 έως την Χ.Θ. 2+400 του δικτύου ΗΣΑΠ”
12. Hothersall D.C, K.V.Horoshenkov, P.A. Morgan and M.J. Swift. 1999. “Scale Modelling of Railway Noise Barriers”. *Journal of Sound and Vibration*, 234(2): 207-223.
13. Kragh J., 1979. “Road traffic noise attenuation by belts of trees”. *Journal of Sound and Vibratrion*
14. Kragh J., 1979. “Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees”. *Journal of Sound and Vibratrion*, 66(3): 407-415
15. Scholes W. E., A. M. Mackie, G. H. Vulkan and D. G. Harland. 1973. “Performance of a Motorway Noise Barrier at Heston”. *Applied Acoustics*, (7): 1-13.
16. Vikrant Tyagi, Krishan Kumar, Vinod Kumar Jain. 2006. “A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi”. *Applied Acoustics*, 67: 926-927
17. May D.N. and M.M. Osman. 1980. “The performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto”. *Journal of Sound and Vibration*, 71(1): 65 –71
18. Αργυρόπουλος Δ.,2010. “Μετρήσεις θορύβου στη γραμμή 1 των ΗΣΑΠ Πειραιάς - Κηφισιά”, Ιδιωτική Βιβλιοθήκη ΗΣΑΠ, Αθήνα
19. Η.Σ.Α.Π., 2012. “Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων”, Τεύχος Διακύρηξης: ΤΔ025/12, Αθήνα
20. <http://www.schuetze-aluminium.de>
21. <http://www.stasy.gr>

## **Παράρτημα Α - Αποτελέσματα Ηχομετρήσεων**

Στο παράρτημα αυτό γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των μετρήσεων ήχου όπως αυτές προέκυψαν για τις τέσσερις θέσεις και τα δύο σημεία σε κάθε θέση, όπως αυτά προέκυψαν με την βοήθεια των δύο ηχομέτρων. Η μέτρηση σε κάθε φάση διήρκησε 30 λεπτά, χρόνος ικανός για την αντικειμενικότητά της. Στη συνέχεια δίνονται συγκεντρωτικά στοιχεία των μετρήσεων, όπως αυτά προέκυψαν απ' την προηγούμενη διαδικασία.

## 1.1. Κηφισιά

### 1.1.1. Πριν

#### 1.1.1.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	98,4	63,08	80,83	84,42	77,14	71,36	69,93	67,08
Broadband	C	-----	97,77	61,14	79,99	83,92	75,85	70,14	68,43	65,29
Broadband	A	-----	87,44	50,39	71,54	74,28	65,93	61,15	58,73	54,23
16	Z	-----	79,19	44,56	61,81	64,86	58,87	53,87	52,38	49,59
32	Z	-----	87,73	53,16	73,26	76,64	70,43	63,94	62,01	58,58
63	Z	-----	97	56,49	75,82	79,14	70,86	65,15	63,44	60,73
125	Z	-----	95,53	52,62	73,75	76,85	67,36	61,37	59,65	56,87
250	Z	-----	90,48	48,99	70,27	73,5	63,94	58,37	56,16	53,16
500	Z	-----	90,42	46,05	71,73	73,57	61,22	56,44	54,23	50,52
1k	Z	-----	79,98	44,66	65,08	67,22	60,94	56,44	53,95	48,52
2k	Z	-----	77,95	39,13	61,28	64,44	58,23	52,73	50,24	44,67
4k	Z	-----	76,39	33,21	56,33	59,73	52,45	46,45	44,17	39,46
8k	Z	-----	71,34	24,33	49,34	53,02	44,96	38,25	35,32	30,47
16k	Z	-----	71,63	17,88	43,7	42,46	33,47	26,47	23,62	19,84

#### 1.1.1.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
71,45	92,6	50,7	62,25	74,25

## 1.1.2. Μετά

### 1.1.2.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	100,8	63,7	81,4	84,5	77	72	71	68,5
Broadband	C	-----	100,3	62,2	80,5	84	76	70,5	69	66,5
Broadband	A	-----	91,4	53,4	71,4	74	67	62	60	57,5
16	Z	-----	79,2	43,7	62,2	65,5	58,5	53,5	52,5	50
32	Z	-----	90,7	54,2	73,5	76,5	70,5	64	62,5	59,5
63	Z	-----	98,3	56,2	76,4	80	71	65	63,5	60,5
125	Z	-----	97,6	52,8	75,1	77	67	61	59,5	57
250	Z	-----	94	50,8	71,3	73,5	64	59	57	54
500	Z	-----	90,9	48,3	69,5	70,5	62	57	55,5	52
1k	Z	-----	86,2	48,5	65,8	68	62,5	57,5	56	53
2k	Z	-----	88	44,9	62,2	65	59,5	54	52	49
4k	Z	-----	83,6	36,8	58	60,5	53	47	45,5	41,5
8k	Z	-----	82,9	28,1	55,6	56,5	45,5	39	37	33,5
16k	Z	-----	79,5	18,5	54	49	34,5	28	26	22

### 1.1.2.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
71	89,7	52,3	63	74,5

### 1.1.3. Χωρίς

#### 1.1.3.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	86	66	77	80	75,5	70,5	69,5	68
Broadband	C	-----	84,6	64,7	75,1	78	73,5	68,5	67,5	66
Broadband	A	-----	76,5	54,1	65,9	68,5	64,5	60,5	59,5	57,5
16	Z	-----	76,5	45,4	62,1	65,5	59	54	53	50,5
32	Z	-----	83,1	55,5	71,2	74,5	69	62,5	61,5	59,5
63	Z	-----	84,9	55,8	71,9	75	68,5	63,5	62	60
125	Z	-----	81	54	67,1	70	64,5	59	58	56,5
250	Z	-----	72	52	63,4	66	62	57,5	56	54
500	Z	-----	74,6	50,1	60,7	63,5	59	55	54,5	52,5
1k	Z	-----	74,1	49,1	61,5	64,5	60,5	56,5	55,5	53
2k	Z	-----	68,9	45,7	58,8	61,5	57,5	53	51,5	48,5
4k	Z	-----	72,7	39	53,4	56	51	44,5	42,5	40
8k	Z	-----	75,1	28,4	50,1	50	43	36	34	30,5
16k	Z	-----	83,8	18,7	58,5	42,5	32,5	25	22	19,5

#### 1.1.3.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
69	78	54,7	61,5	72,5



## 1.2. Μαρούσι

### 1.2.1. Πηην

#### 1.2.1.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	93	55,05	76	77	66,25	60	58,75	57,25
Broadband	C	-----	92,9	52,85	75,4	75,75	64,5	58	57	55,25
Broadband	A	-----	90,7	43,5	71,2	66	54,5	49,5	48,25	46,25
16	Z	-----	77,25	34,85	56,3	59	50,5	44,25	43	40,5
32	Z	-----	83,95	43,85	66,45	70,5	58,75	52	50,5	47,75
63	Z	-----	89,05	45,5	68,25	70,75	59,75	52,5	51	49
125	Z	-----	84,85	42,1	65,3	66,25	55,75	48,75	47,25	45,25
250	Z	-----	82,95	40	64,7	62,75	52,25	45,75	44,5	42,5
500	Z	-----	90,45	39,75	70,95	64,75	51,25	46,25	44,75	42,75
1k	Z	-----	87,45	36,65	67,35	61	49,5	43,75	42,5	40,5
2k	Z	-----	76,3	33,55	58,75	55,75	45,75	40,25	39,25	37
4k	Z	-----	73,65	28,95	52,1	51,25	41,25	36	34,5	32,5
8k	Z	-----	75,4	21	46,9	43,25	32,75	26,5	25,5	23,5
16k	Z	-----	77,05	16,95	45,05	32,25	20,75	17,5	17,5	17

#### 1.2.1.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
71,3	90,15	41,55	47,75	66,5

## 1.2.2. Μετά

## 1.2.2.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	100,1	55,6	77,5	80,5	71,5	64	62,5	59,5
Broadband	C	-----	99,1	52,8	75	76	65,5	58,5	57	55,5
Broadband	A	-----	90,1	40,9	68,6	66,5	53,5	45,5	44,5	43
16	Z	-----	92,7	39	68,8	70,5	59	50,5	48,5	45,5
32	Z	-----	89,3	44,1	67,2	70	60,5	53,5	52	49,5
63	Z	-----	92,1	46,4	69	71	60,5	53	51,5	50
125	Z	-----	97,1	41,1	68,6	67,5	55,5	48,5	47	45
250	Z	-----	90,7	37,9	64,8	63,5	52	44	42,5	40,5
500	Z	-----	89,3	36,9	68,2	65,5	49,5	42	40,5	39
1k	Z	-----	85,4	35,2	64,1	61	48,5	40,5	39	38
2k	Z	-----	82,9	31,3	57,1	55,5	45	36,5	35	33,5
4k	Z	-----	84,6	24,7	53,5	51,5	38,5	31,5	30	27,5
8k	Z	-----	84,6	19,4	51,4	46	31	24	22,5	21
16k	Z	-----	84,1	17,1	50,7	37	21	18	17,5	17,5

## 1.2.2.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
70,5	92,6	42,1	46,5	68,5

### 1.2.3. Χωρίς

#### 1.2.3.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	83,6	57	70,9	75	68	60,5	59	58
Broadband	C	-----	76,6	55	67,5	71,5	65	58	57	56
Broadband	A	-----	75,8	45,2	56,7	60	54,5	49	47	45,5
16	Z	-----	76,5	37,7	59	62,5	51,5	45,5	44,5	41,5
32	Z	-----	75,5	45,2	63,6	67,5	59,5	52	51	49,5
63	Z	-----	74,4	49,2	63,6	67,5	59,5	54	53	51,5
125	Z	-----	72,8	47,1	61,1	65,5	57	50,5	50	48,5
250	Z	-----	68,5	42,1	56,8	60,5	53	47	45,5	43,5
500	Z	-----	61,4	41,4	51,6	55	50,5	45	44	42,5
1k	Z	-----	63,8	39,9	50,7	54	49	44	42	40,5
2k	Z	-----	66,8	37,2	49,3	52,5	46,5	40,5	38,5	37,5
4k	Z	-----	69,7	31,3	45,8	48	41	33,5	32,5	32
8k	Z	-----	72,7	23	44,3	41,5	33,5	25	24	23,5
16k	Z	-----	75,6	17,4	46,3	32,5	22,5	18	17,5	17,5

#### 1.2.3.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
59,9	69,5	45,1	48	64,5

### 1.3. Ν.Ηράκλειο

#### 1.3.1. Πρίν

##### 1.3.1.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	105,7	61,1	81,8	85	74	68	67	65
Broadband	C	-----	105,5	59,1	80,8	84	72,5	66,5	65	62,5
Broadband	A	-----	94,5	47,2	71,7	75	63,5	56,5	55	52
16	Z	-----	97,5	43,1	65,1	66	57	51,5	50,5	48
32	Z	-----	93,3	51,8	71,2	74	66	60,5	59,5	57,5
63	Z	-----	102,6	53,3	76,7	80	67,5	61	59,5	57
125	Z	-----	102,3	48,2	75,6	77	65	57	55,5	52,5
250	Z	-----	101,1	45,8	72,6	73,5	62	54,5	53	50
500	Z	-----	92,9	45,2	69,9	72	59,5	53	51,5	49
1k	Z	-----	83,1	41,3	65,6	69,5	58	51	49,5	46
2k	Z	-----	79,9	36,4	62,3	66,5	55	47,5	46	42,5
4k	Z	-----	86,6	31,1	59,2	61	48,5	41	39,5	36,5
8k	Z	-----	78,7	22,8	53,7	55,5	40,5	31	29,5	26,5
16k	Z	-----	78,7	17,1	52,4	47	28	19,5	18,5	18

##### 1.3.1.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
68	87,7	47,2	57	71

### 1.3.2. Μετά

#### 1.3.2.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	102,7	59,6	81,4	85	73,5	67,5	66	63,5
Broadband	C	-----	102,5	58,4	80,5	84	72	65,5	64	61,5
Broadband	A	-----	88,5	44,8	69,3	73,5	62,5	55	52,5	49,5
16	Z	-----	91,4	44,2	63,3	66	57	51,5	50,5	48,5
32	Z	-----	94,8	53,6	72,2	74,5	67	61,5	60,5	58,5
63	Z	-----	98,4	52,5	77,2	80,5	68	61	59	56,5
125	Z	-----	101,9	47,8	76	78	64	56	54	50,5
250	Z	-----	89,7	43,3	69,5	72	60	52,5	50,5	48
500	Z	-----	90,6	41,2	66	69	57,5	50	48,5	45,5
1k	Z	-----	84,9	38,4	63,3	67,5	58	50,5	47,5	44
2k	Z	-----	80	35,3	61,2	65,5	54,5	46	43,5	40
4k	Z	-----	83,2	30,2	56,8	60	48	39,5	37,5	34
8k	Z	-----	77,1	22,8	52,8	54,5	40	30	28	25,5
16k	Z	-----	80,1	17,8	52,6	46	27,5	19,5	18,5	18

#### 1.3.2.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
67	91,2	48	57	70,5

### 1.3.3. Χωρίς

#### 1.3.3.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	93,8	64	79,7	83	74	69	68	65,5
Broadband	C	-----	93,1	63,1	78,8	82	73	67,5	66,5	64
Broadband	A	-----	79,6	51,1	65,8	70	61,5	55,5	54,5	53
16	Z	-----	76,1	43,8	60,8	64	57	51,5	50	47
32	Z	-----	87,4	53,4	71,1	74	67	61,5	59,5	56
63	Z	-----	93,6	57,4	76,9	79,5	68,5	63	62	60
125	Z	-----	88,6	53,3	72,8	75,5	65,5	59,5	58	56,5
250	Z	-----	81,8	49,1	65,5	69	60	53,5	52	50,5
500	Z	-----	79,9	46,5	60,5	63,5	56	51	49,5	48
1k	Z	-----	73,4	44,6	60,3	64,5	57	51	50	47
2k	Z	-----	71,9	41,9	57,7	62	53	47	45,5	43,5
4k	Z	-----	71,2	34,3	54,7	57,5	46	40	38	36
8k	Z	-----	74,3	25,9	53,3	52	39	31,5	29,5	27,5
16k	Z	-----	77,1	18,1	53	46	28	20,5	19,5	18,5

#### 1.3.3.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
65,8	76	51,5	57	69

## 1.4. Πετράλωνα

### 1.4.1. Πριν

#### 1.4.1.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	99,8	59,7	80,6	82	74	67	65,5	64
Broadband	C	-----	98,6	57,6	79,3	80,5	72,5	65	63,5	62
Broadband	A	-----	87,8	48,1	69,4	70,5	62,5	54	53	50,5
16	Z	-----	90	42,2	64,7	67	57,5	52	51	49
32	Z	-----	93,4	53,3	73,9	76,5	67,5	61,5	60,5	58,5
63	Z	-----	98,6	53,3	77,5	78,5	69	61	59,5	57,5
125	Z	-----	86	45	68,9	72,5	63,5	54	52,5	49,5
250	Z	-----	89,2	42	67,3	68	59	50,5	49	46
500	Z	-----	87,7	41,8	67	66	57,5	49	47,5	46
1k	Z	-----	82,3	43,4	65,1	66,5	58,5	49,5	48	45,5
2k	Z	-----	78,2	39,5	60,9	63,5	55,5	46,5	44,5	42,5
4k	Z	-----	80	32,1	56,1	56	48	39,5	37,5	35,5
8k	Z	-----	76,5	20,2	51,6	49	37,5	27,5	25,5	23
16k	Z	-----	79,4	17,1	51,1	40	23,5	18	17,5	17,5

#### 1.4.1.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
73,4	90,8	49,8	56,5	78

## 1.4.2. Μετά

### 1.4.2.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	94,9	57,7	77,1	80	72	64	62,5	60,5
Broadband	C	-----	94,4	55,1	75,8	79	71	62,5	61	59
Broadband	A	-----	86,5	45	66,4	70	61	52	50,5	48,5
16	Z	-----	84,8	41,8	63,4	66,5	56,5	50	49	46,5
32	Z	-----	89,3	48,8	70,5	74	65	58	56,5	54,5
63	Z	-----	90,9	49,8	72,9	75	66,5	58,5	57	54,5
125	Z	-----	92,3	45,1	68,8	72	63,5	54	52	49,5
250	Z	-----	84,5	41,9	64,7	68	58,5	48	47	45
500	Z	-----	83,5	41,6	62,7	65,5	56,5	47,5	46,5	44,5
1k	Z	-----	80,7	39,9	61,9	66	56,5	47,5	46	43,5
2k	Z	-----	79,4	36,5	58,4	62,5	53,5	44	42	39,5
4k	Z	-----	79,9	29	54,4	56,5	46	37	35	32
8k	Z	-----	77,8	20,9	51,3	51,5	38	27,5	26	23,5
16k	Z	-----	80,7	17,3	50,2	43	26,5	19	18,5	18

### 1.4.2.2. Σημείο 2

Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
70,2	90,5	45,9	53,5	74,5



### 1.4.3. Χωρίς

#### 1.4.3.1. Σημείο 1

Hz		Flags	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Band	Fw	OBPZ	LFmx	LFmn	Leq	LF10,0	LF50,0	LF90,0	LF95,0	LF99,0
Broadband	Z	-----	90,6	65,2	79,2	83	75	68,5	67,5	66,5
Broadband	C	-----	88,8	63,1	77,4	81	73,5	66,5	66	64,5
Broadband	A	-----	79,8	52,7	68,4	71	65	56	54,5	53
16	Z	-----	85,3	47,8	69,9	72,5	61	55	53,5	50,5
32	Z	-----	88,1	57,6	73,8	78,5	68,5	62,5	61,5	60
63	Z	-----	88,7	59	74	77,5	68,5	63	62	60,5
125	Z	-----	83,6	53,5	69,8	72,5	66,5	58,5	57	55
250	Z	-----	81,7	46,5	65,7	67,5	62,5	52,5	51	48,5
500	Z	-----	77,4	46,4	63,5	65,5	59	50	48	47
1k	Z	-----	74,7	48,4	64,2	67,5	61,5	51,5	50	49
2k	Z	-----	74,7	45,2	61,3	63	57,5	49	47,5	46
4k	Z	-----	72,5	36,4	56,4	59	49,5	42	41	37,5
8k	Z	-----	75,4	26,5	52,8	55	42	33,5	31,5	27,5
16k	Z	-----	78,4	18,1	51,6	46,5	31	22	20,5	18,5

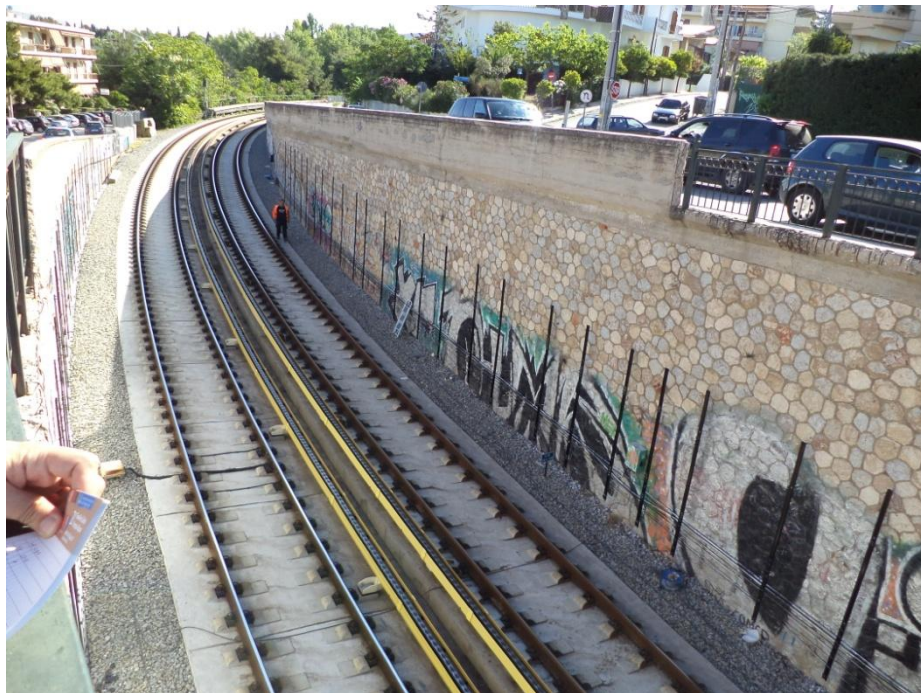
#### 1.4.3.2. Σημείο 2

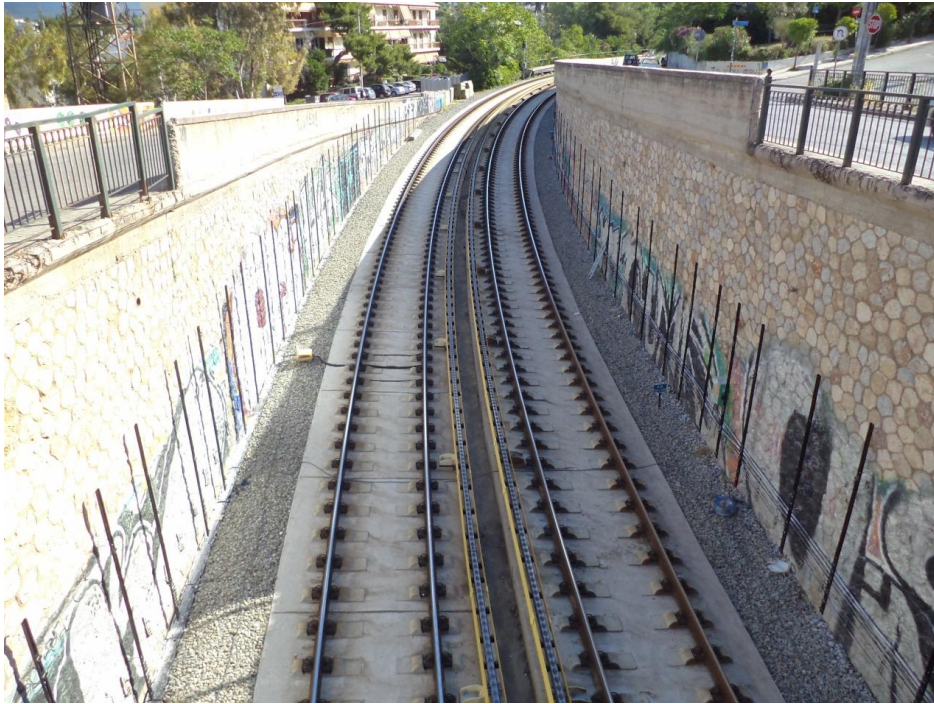
Leq	Lmax	Lmin	L90	L10
73,2	86	54,6	57,5	77,5



## **Παράρτημα Β - Φωτογραφικό Υλικό**

## 1. Κηφισιά

















## 2. Μαρούσι











### 3. Νέο Ηράκλειο







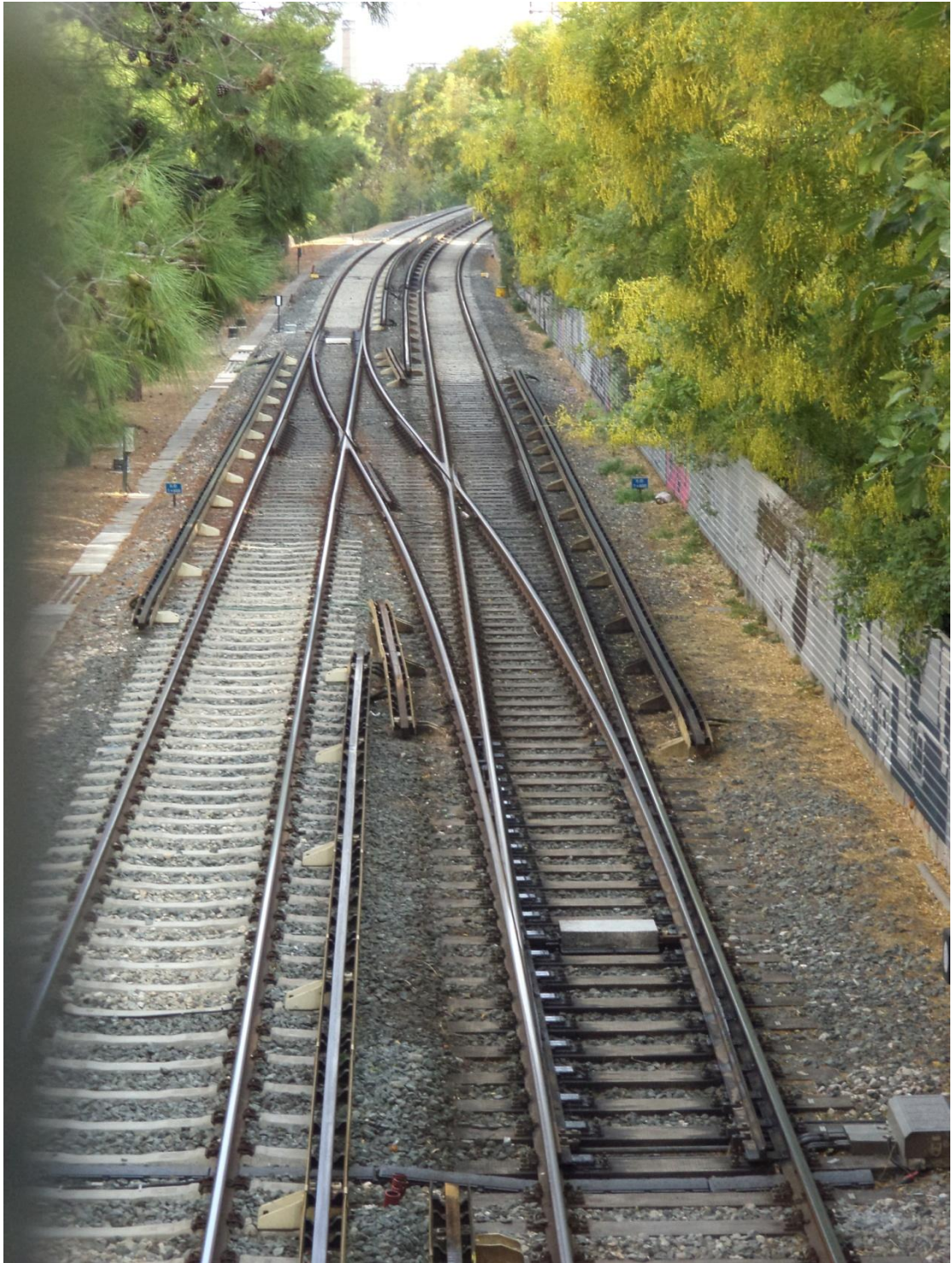


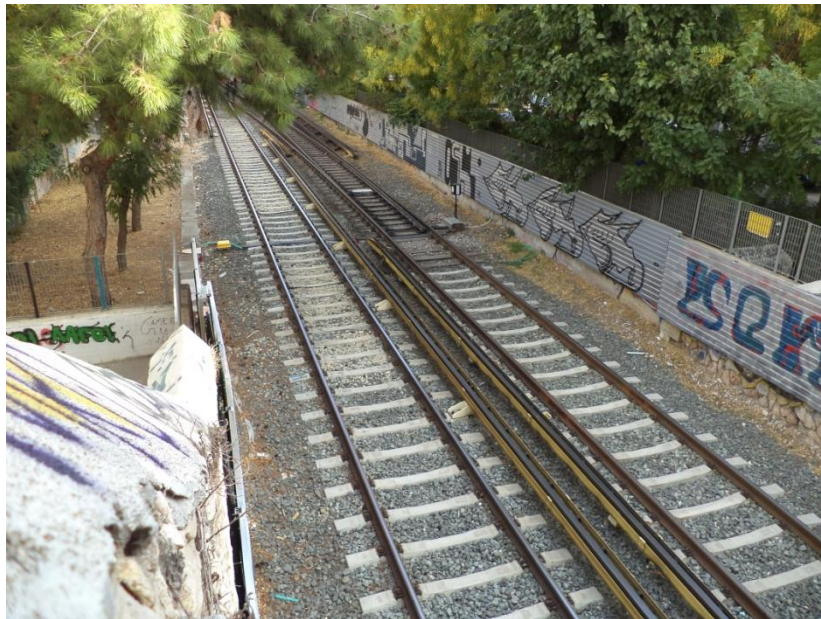


#### 4. Πετράλωνα

















## **Παράρτημα Γ - Ισχύουσα Νομοθεσία**

## Ισχύουσα Νομοθεσία

Η παρούσα διερεύνηση γίνεται, σύμφωνα με την απόφαση περιβαλλοντικών όρων, και επιπλέον με βάση την παρακάτω νομοθεσία:

Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. με αριθμ. οικ. 211773/27-4-2012 (ΦΕΚ 1367B/27.4.2012) για τον «Καθορισμό Δεικτών Αξιολόγησης και Ανωτάτων Επιτρεπομένων Ορίων Δεικτών Περιβαλλοντικού Θορύβου που προέρχεται από την λειτουργία συγκοινωνιακών έργων, τεχνικές προδιαγραφές ειδικών ακουστικών μελετών υπολογισμού και εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων, προδιαγραφές προγραμμάτων παρακολούθησης περιβαλλοντικού θορύβου και άλλες διατάξεις.»

### Άρθρο 1

#### Σκοπός

Για τους σκοπούς της παρούσας απόφασης, νοείται ως «περιβαλλοντικός συγκοινωνιακός θόρυβος» όλοι οι ανεπιθύμητοι ή επιβλαβείς θόρυβοι στις αστικές, περιαστικές περιοχές και στο ύπαιθρο, που δημιουργούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, στον τομέα των συγκοινωνιακών υποδομών και πιο συγκεκριμένα από την λειτουργία των οδικών, σιδηροδρομικών και αεροπορικών μεταφορών. Η παρούσα κοινή υπουργική απόφαση αποσκοπεί στην αντιμετώπιση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου στο πλαίσιο εφαρμογής των διατάξεων του άρθρου 14 του Ν. 1650/86, και των άρθρων 2, 3 & 5 της 13586/724/ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006 κοινής υπουργικής απόφασης με την οποία έγινε η εναρμόνιση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/ΕΚ στην ελληνική νομοθεσία, και καθορισμό ορίων οδικού κυκλοφοριακού, σιδηροδρομικού και αεροπορικού θορύβου, σύμφωνα με τους δείκτες αξιολόγησης  $L_{den}$  (24-ωρος) και  $L_{night}$  (8-ωρος νυκτερινός), έτσι όπως αυτοί ορίζονται στην εν λόγω Οδηγία. Επίσης με την παρούσα κοινή υπουργική απόφαση καθορίζονται:

- οι δέκτες που χρήζουν προστασίας από τον περιβαλλοντικό συγκοινωνιακό θόρυβο
- οι τεχνικές προδιαγραφές σύνταξης και έγκρισης των Ειδικών Ακουστικών Μελετών Υπολογισμού και Εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων για την αντιμετώπιση του οδικού και του σιδηροδρομικού θορύβου, καθώς και
- οι τεχνικές προδιαγραφές σύνταξης και έγκρισης συστημάτων και προγραμμάτων παρακολούθησης του περιβαλλοντικού συγκοινωνιακού θορύβου ώστε να καθίσταται ευχερέστερη και πλέον αποτελεσματική η προσπάθεια για την

αποτροπή της περιβαλλοντικής ηχορύπανσης και της γενικότερης υποβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος από την λειτουργία των συγκοινωνιακών υποδομών με την υιοθέτηση των απαραίτητων μέτρων ακουστικής αντιρρύπανσης στο πλαίσιο των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και των Περιβαλλοντικών Όρων λειτουργίας των συγκοινωνιακών υποδομών οι οποίες καθορίζονται στην συνέχεια.

## **Άρθρο 2**

### ***Πεδίο Εφαρμογής***

Η παρούσα κοινή υπουργική απόφαση εφαρμόζεται σε γραμμικές πηγές θορύβου από την λειτουργία όλων των συγκοινωνιακών έργων (οδικών, σιδηροδρομικών και αεροπορικών), και πιο συγκεκριμένα σε όλα τα έργα και δραστηριότητες που κατατάσσονται στην πρώτη (Α) κατηγορία – υποκατηγορίες (Α1) και (Α2) – σύμφωνα με τα κριτήρια του άρθρου 1 παράγραφος 1 του Ν. 4014/2011 και περιγράφονται στο Παράρτημα Ι – Ομάδα 1η «Έργα χερσαίων και εναέριων μεταφορών» της απόφασης υπ' αριθμ. 1958/ΦΕΚ Β 21/13.1.2012, ώστε με τον καθορισμό, αξιολόγηση και την επιλογή των πλέον αποτελεσματικών, εφαρμογών και διαδικασιών αντιθορυβικής προστασίας καθώς και των συστημάτων παρακολούθησης περιβαλλοντικού συγκοινωνιακού θορύβου να προλαμβάνονται ή να περιορίζονται οι δυσμενείς επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της ενόχλησης από την έκθεση στον περιβαλλοντικό θόρυβο.

Η παρούσα κοινή υπουργική απόφαση εφαρμόζεται επίσης στο πλαίσιο της Στρατηγικής Χαρτογράφησης Θορύβου με τις διαδικασίες και μεθοδολογίες που προβλέπονται στην 13586/724/ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006 κοινή υπουργική απόφαση εναρμόνισης της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/ΕΚ.

Οι δείκτες και τα όρια εφαρμόζονται για δέκτες κατοικίας ευρισκόμενης εντός πάσης φύσεως – εν ισχύ – θεσμοθετημένων ορίων οικιστικής ανάπτυξης όπως ΓΠΣ, σχεδίων πόλης, οικισμών κ.λπ. για τα οποία υπάρχει σχετική απόφαση καθορισμού ορίων και όρων δόμησης.

Επιπλέον, εφαρμόζονται για την προστασία ακουστικά ευαίσθητων δεκτών όπως:

- Εγκαταστάσεις Υγείας και Εκπαίδευσης (σχολεία, νοσοκομεία κ.λπ.)
- Γηροκομεία, οίκοι τυφλών και συναφή ιδρύματα
- Χώροι πολιτιστικών/ κοινωνικών εκδηλώσεων (ανοικτά θέατρα, συνεδριακά κέντρα κ.λπ.)

### Άρθρο 3

#### *Δείκτες αξιολόγησης περιβαλλοντικού συγκοινωνιακού θορύβου*

1. Ως δείκτες αξιολόγησης του περιβαλλοντικού θορύβου που προέρχεται από την λειτουργία οδικών, σιδηροδρομικών και αεροπορικών έργων ορίζονται, σύμφωνα με την Οδηγία 2002/49/ΕΚ και σύμφωνα με το άρθρο 3 παρ. στ, ζ, η, θ της 13586/724 ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006 κοινής υπουργικής απόφασης, οι:

$L_{den}$  ( $L_{day-evening-night}$ ) = σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου 24-ωρου = ( $L_{\text{ημέρας-απογεύματος-νύκτας}}$ )

$L_{day}$  (12-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου ημέρας)

$L_{evening}$  (4-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης απογευματινού θορύβου) και

$L_{night}$  (8-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης νυκτερινού θορύβου)

Σημειώνεται ότι όλοι οι παραπάνω επιμέρους δείκτες αφορούν σταθμισμένες κατά Α-κλίμακα μακροπρόθεσμες μέσες ηχοστάθμες, όπως αυτές ορίζονται στο πρότυπο ISO 1996-2: 1987 και τις τυχόν αναθεωρήσεις του.

2. Ως χρονικές περίοδοι εφαρμογής των ανωτέρω δεικτών ορίζονται:

- Χρονική περίοδος ημέρας: από 07:00 έως 19:00
- Χρονική περίοδος απογευματινή: από 19:00 έως 23:00
- Χρονική περίοδος νύκτας: από 23:00 έως 07:00

### Άρθρο 4

#### *Όρια δεικτών αξιολόγησης περιβαλλοντικού συγκοινωνιακού θορύβου*

Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των ανωτέρω δεικτών οδικού, σιδηροδρομικού και αεροπορικού θορύβου καθορίζονται τα ακόλουθα:

α. Για τον δείκτη  $L_{den}$  (24-ωρος): τα 70 dB(A)

β. Για τον δείκτη  $L_{night}$  (8-ωρος νυκτερινός): τα 60 dB(A)

Η διαδικασία ελέγχου, υπολογισμού και αξιολόγησης των ανωτέρω ορίων γίνεται στο πλαίσιο της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου με τις διαδικασίες και μεθοδολογίες που προβλέπονται σύμφωνα με την

13586/724/ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006 κοινή υπουργική απόφαση εναρμόνισης της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ.

Ο υπολογισμός και μέτρηση των ανωτέρω δεικτών και ορίων πραγματοποιείται σε ύψος  $4.0 \pm 0,2$  m (3,8 έως 4,2 m) πάνω από το έδαφος και σε ελάχιστη απόσταση 2μ από την πιο εκτεθειμένη (προς την εκάστοτε γραμμική πηγή συγκοινωνιακού θορύβου), πρόσοψη (εξωτερικός τοίχος η κούφωμα), των κτιρίων κατοικίας και λοιπών ευαίσθητων χρήσεων που χρήζουν προστασίας.

## **Άρθρο 5**

### ***Ειδικές Περιπτώσεις***

Στις περιπτώσεις όπου απαιτείται ειδική ακουστική προστασία, όπως π.χ. των ανωτέρω ευαίσθητων δεκτών, παρέχεται η δυνατότητα για περαιτέρω μειώσεις των δεικτών του ανωτέρω άρθρου 3 έως και πέντε (5) dB(A), μέσω σχετικής υπουργικής απόφασης του ΥΠΕΚΑ που θα εκδίδεται κατά περίπτωση για το συγκεκριμένο ελεγχόμενο συγκοινωνιακό έργο και τους αντίστοιχους ευαίσθητους δέκτες με βάση τεκμηριωμένη Ειδική Ακουστική Μελέτη Υπολογισμού και Εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων, η οποία περιγράφεται στη συνέχεια και η οποία θα υποβάλλεται, από τον κύριο του έργου και θα εγκρίνεται από την αρμόδια υπηρεσία.

## **Άρθρο 6**

### ***Ειδικοί δείκτες και όρια οδικού κυκλοφοριακού θορύβου και σιδηροδρομικού θορύβου για τις ανάγκες των ειδικών ακουστικών μελετών υπολογισμού και εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων***

Για τις Ειδικές Ακουστικές Μελέτες Υπολογισμού και Εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων από την λειτουργία έργων και δραστηριοτήτων οδικής και/ή σιδηροδρομικής κυκλοφορίας που αφορούν ιδιαίτερα στην μελέτη, αξιολόγηση και εφαρμογή αντιθορυβικών πετασμάτων – σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που αναλύονται στην συνέχεια- για την απλοποίηση των ακουστικών υπολογισμών, καθορίζονται ειδικοί δείκτες και όρια περιβαλλοντικού θορύβου.

Οι δείκτες και τα όρια του παρόντος άρθρου αφορούν μόνο στις μελέτες αντιθορυβικών πετασμάτων που αποτελούν:

α) περιβαλλοντικό όρο για τα οδικά και σιδηροδρομικά έργα και δραστηριότητες της πρώτης (Α) κατηγορίας – υποκατηγορίες (Α1) και (Α2) – σύμφωνα με τα κριτήρια του άρθρου 1 παράγραφος 1 του Ν. 4014/2011 και περιγράφονται στο Παράρτημα Ι

– Ομάδα 1η «Έργα χερσαίων και εναέριων μεταφορών» της απόφασης υπ' αριθμ. 1958/ΦΕΚ Β/Αρ. Φύλλου 21 της 13 Ιανουαρίου 2012, ή/και

β) εφαρμογή σχεδίου δράσης (όπως προβλέπεται στην Οδηγία 2002/49/ΕΚ), και αναλύονται στην συνέχεια:

α) Ισοδύναμη Συνεχής Στάθμη Θορύβου  $L_{eq\text{ημέρας-απογεύματος}}$  ή  $L_{eq\text{day-evening}}$  (Equivalent Continuous Sound Level/day-evening), ή  $L_{d-e}$  που εκφράζει την σταθερή εκείνη στάθμη θορύβου, η οποία στην χρονική περίοδο «ημέρας – απογεύματος» η «day-evening» στο χρονικό διάστημα από 07:00 – 23:00, έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου, κατά την ίδια χρονική περίοδο, και

β) Ισοδύναμη Συνεχής Στάθμη Θορύβου  $L_{eq\text{νύχτας}}$  ή  $L_{eq\text{night}}$  (Equivalent Continuous Sound Level/night), ή  $L_n$  που εκφράζει την σταθερή εκείνη στάθμη θορύβου, η οποία στην χρονική περίοδο «νύχτας» από 23:00–07:00, έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου, κατά την ίδια χρονική περίοδο. Ο δείκτης αυτός προφανώς συμπίπτει με τον δείκτη  $L_{\text{night}}$  που ορίζεται στο άρθρο 3 ανωτέρω.

Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των ανωτέρω περιγραφόμενων δεικτών Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου και/ή Σιδηροδρομικού Θορύβου καθορίζονται τα ακόλουθα:

α) Για τον δείκτη  $L_{eq\text{ημέρας-απογεύματος}}$  ή  $L_{d-e}$ : τα 67 dB(A), και

β) Για τον δείκτη  $L_{eq\text{νύχτας}}$  ή  $L_n$ : τα 60 dB(A)

Ορίζεται ως μετρούμενο μέγεθος η A-σταθμισμένη στάθμη ηχητικής πίεσης η οποία εκφράζεται σε decibel A ή εν συντομία σε dB(A), και επιβάλλεται υποχρεωτικά η ταυτόχρονη τήρηση και των δύο ανωτέρω ορίων των αντίστοιχων δεικτών Οδικού Κυκλοφοριακού θορύβου και Σιδηροδρομικού θορύβου.

Ο υπολογισμός και μέτρηση των ανωτέρω δεικτών και ορίων πραγματοποιείται σε ύψος  $4.0 \pm 0,2$  m (3,8 έως 4,2 m) πάνω από το έδαφος και σε ελάχιστη απόσταση 2μ από την πιο εκτεθειμένη (προς την εκάστοτε γραμμική πηγή συγκοινωνιακού θορύβου) πρόσοψη (εξωτερικός τοίχος η κούφωμα), των κτιρίων και χρήσεων που χρήζουν προστασίας.

Τα όρια αυτά, σε περιπτώσεις, των ανωτέρω ευαίσθητων δεκτών, όπου απαιτείται ειδική ακουστική προστασία, δύνανται να μειώνονται περαιτέρω έως και 5 (πέντε) dB(A) σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο άρθρο 5 ανωτέρω.



## Παράρτημα 2: Ακουστικές μετρήσεις καταγραφής περιβαλλοντικού συγκοινωνιακού θορύβου

Η εκάστοτε αναγκαία καταγραφή του περιβαλλοντικού συγκοινωνιακού θορύβου και γενικότερα του υπάρχοντος ακουστικού περιβάλλοντος για το σύνολο των αναγκών ηχοπροστασίας και παρακολούθησης του, κατά την λειτουργία ενός συγκοινωνιακού έργου και προκειμένου να καλύπτει όλες τις ανάγκες της παρούσης Κοινής Υπουργικής απόφασης θα πρέπει να περιλαμβάνει:

1. Δείκτες και ανάλυση μετρήσεων: Για να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση της ακουστικής επιβάρυνσης από την λειτουργία του συγκοινωνιακού έργου θα γίνεται στατιστική ανάλυση του θορύβου σε πραγματικό χρόνο (real-time). Η ανάλυση αυτή θα παρέχει στοιχεία για όλες τις παρακάτω αναφερόμενες ηχοστάθμες σε dB(A) και κατά ISO1996/1 (Description and measurement of Environmental noise – Basic quantities and procedures) και τις τυχόν αναθεωρήσεις του:

- ποσοτομετρικοί δείκτες θορύβου L1, L10, L50, L95, L99 καθώς και οι μέγιστες στάθμες (Lmax) και ελάχιστες τιμές (Lmin) στην διάρκεια της 24ωρης καταγραφής,
- δείκτες του άρθρου 3 ανωτέρω και πιο συγκεκριμένα: Lden, και Lnight
- δείκτες του άρθρου 6 ανωτέρω και πιο συγκεκριμένα Ld-e και Ln (ειδικά για τον οδικό και σιδηροδρομικό θόρυβο), και
- ενεργειακά ισοδύναμη μέση ηχοστάθμη LAeq(24h) όπου:
- η ενεργειακά ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου (Leq) εκφράζει την σταθερή εκείνη στάθμη του θορύβου, η οποία για κάποια ορισμένη χρονική περίοδο έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου,
- η ποσοτομοριακή στάθμη LN είναι η στάθμη εκείνη, η οποία υπερβαίνεται κατά το N% της αντίστοιχης χρονικής περιόδου μέτρησης

### 2. Χρονική περίοδος καταγραφής:

Δεδομένου ότι ο περιβαλλοντικός θόρυβος έχει άμεση σχέση με την ημέρα αλλά και ώρα της ημέρας ή της νύκτας κατά την οποία έγιναν οι μετρήσεις, πρέπει να εξετάζεται κατά το δυνατόν η ημερήσια/ωριαία διακύμανση του φόρτου ώστε να διαπιστώνεται η αντιπροσωπευτική περίοδος των μετρήσεων και να εξασφαλίζεται η απαραίτητη αξιοπιστία.

Στο πλαίσιο αυτό, όλες οι ακουστικές μετρήσεις για τις ανάγκες της παρούσης θα γίνονται σε χρονικές περιόδους 24ωρης διάρκειας – ανά θέση μέτρησης – και θα διασφαλίζουν ανάλυση της διακύμανσης των ανωτέρω δεικτών

του ακουστικού περιβάλλοντος σε ωριαία βάση με ελάχιστο βήμα δειγματοληψίας συνεχόμενης καταγραφής < 1sec.

### 3. Θέσεις μέτρησης:

Οι ακουστικές μετρήσεις θα πραγματοποιούνται σε ικανό αριθμό θέσεων στην άμεση περιοχή του έργου κατά μήκος τόσο της οδού, ώστε να καλύπτουν το σύνολο των πλησιέστερων προς το έργο – των δεκτών του άρθρου 2 ανωτέρω – και με τέτοιο τρόπο ώστε παρέχουν αντικειμενική εικόνα της ποιότητας του ακουστικού περιβάλλοντος, σε ύψος  $4,0 \pm 0,2$  m (3,8 – 4,2 m) πάνω από το έδαφος (με χρήση κατάλληλης διάταξης τρίποδα ή τηλεσκοπικού ιστού) και σε απόσταση 2 μ. από την πιο εκτεθειμένη πρόσοψη του δέκτη μακριά από κάθετες ηχοανακλαστικές επιφάνειες ώστε να αποφεύγονται τυχόν ανακλάσεις που θα επιβαρύνουν την μετρούμενη στάθμη.

### 4. Όργανα μέτρησης:

Τα όργανα ηχομετρήσεων και οι βαθμονομητές των θα πρέπει να πληρούν τις τεχνικές προδιαγραφές που περιέρχονται στις δημοσιεύσεις 651 και 804 της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (I.E.C. PUBLICATIONS 651–1979 και 804–1985) και τις τυχόν αναθεωρήσεις των. Επίσης θα πληρούν τα πρότυπα IEC 1260 και IEC 61672–1 με τις τυχόν αναθεωρήσεις των. Επιπλέον στο σύστημα ηχομέτρησης θα πρέπει να εξασφαλίζεται:

- Στάθμιση συχνοτήτων κατά A, C (IEC 651), Z (EN 61672), γραμμική 10 Hz–20 kHz.
- Στάθμιση χρόνου: S(slow), F(fast) και I(impulse) κατά IEC 651 και τυχόν αναθεωρήσεων του.

Μέτρηση στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) από 20–120 αB(A), με δυναμικό εύρος μετρήσεων 100 dB, εύρος συχνοτήτων 15 Hz – 20 kHz με ρυθμό δειγματοληψίας 48kHz. Θα διαθέτει κατάλληλο επεξεργαστή για ολοκληρωτική και ποσοστομοριακή ανάλυση περιβαλλοντικού θορύβου για το σύνολο των ανωτέρω δεικτών, και θα πρέπει να παρέχεται συνεχής λειτουργία με ξηρά στοιχεία (μπαταρίες) για περίοδο > 24 ωρών. Θα έχει πυκνωτικό μικρόφωνο ICP Free–Field με προενισχυτή (IEPE)1/2'' class 1 (low noise) και θα πρέπει να διαθέτει διάταξη προστασίας έναντι δυσμενών καιρικών συνθηκών, της υγρασίας και του αέρα με κατάλληλο ανεμοκάλυπτρο εφοδιασμένο με διάταξη προστασίας από πουλιά.

### 5. Βαθμονόμηση οργάνων:

Πριν και μετά από κάθε δέσμης μετρήσεων, ένας κατάλληλος βαθμονομητής ISO–EN–20942 ή τυχόν αναθεώρησης του, θα πρέπει να εφαρμοστεί στο μικρόφωνο για να ελεγχθεί εάν η τιμή αναφοράς που εκπέμπεται από τον βαθμονομητή ταιριάζει με αυτή που γράφει ολόκληρο το σύστημα μέτρησης. Αυτή η περίπτωση

θα παρουσιαστεί στην έκθεση των μετρήσεων μαζί με τα σχετικά στοιχεία (αύξων αριθμός, κατασκευαστής και πρότυπο).

Ο βαθμονομητής και το ηχώμετρο θα πρέπει να έχουν βαθμονομηθεί τους τελευταίους 24 μήνες με τεκμηριωμένες μεθόδους βαθμονόμησης. Εάν υπάρχει διαφορά που υπερβαίνει τα 0.5 dB(A) μεταξύ των βαθμονομήσεων πριν και μετά την έρευνα, οι έλεγχοι θα πρέπει να επαναλαμβάνονται.

#### 6. Στοιχεία μετρήσεων:

Όλα τα στοιχεία των ακουστικών καταγραφών μαζί με τα σκαριφήματα, σχέδια και/ή χάρτες και φωτογραφίες που θα παρουσιάζουν τα σημεία, την ημερομηνία και ώρα μέτρησης, τα αριθμητικά αποτελέσματα και την επεξεργασία αυτών θα προβάλλονται αναλυτικά σε μορφή πίνακα η/και διαγράμματος διαχρονικής εξέλιξης αναγράφοντας τα στοιχεία του φυσικού προσώπου που ήταν υπεύθυνος για τις επί τόπου μετρήσεις καθώς και του υπεύθυνου σύνταξης της έκθεσης στην περίπτωση που δεν είναι το ίδιο πρόσωπο. Θα καταγράφονται τα στοιχεία: ταχύτητας του ανέμου (m/sec), θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Co) και σχετικής υγρασίας (%) κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης, θα καταγράφονται τα χαρακτηριστικά όλου του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε (τύπος ηχομέτρου, στατιστικός αναλυτής θορύβου, λογισμικά επεξεργασίας, βαθμονομητής κ.λπ.), ενώ θα υποβάλλονται υποχρεωτικά τα απαραίτητα – εν ισχύ – πιστοποιητικά διαπίστευσης-βαθμονόμησης του εξοπλισμού από κατάλληλο διαπιστευμένο εργαστήριο, μέγιστης διάρκειας ισχύος δύο (2) ετών.

#### 7. Συνθήκες μέτρησης:

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στον προσδιορισμό των μετρήσεων, ιδιαίτερα σε συνθήκες ελεύθερου πεδίου, που μπορούν να ακυρώσουν τα αποτελέσματα. Ιδιαίτερα σε ότι αφορά τους ατμοσφαιρικές παράγοντες, επισημαίνεται ότι οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες για μετρήσεις ορίζονται ως οι περίοδοι όπου δεν υπάρχει καθόλου βροχή ή χιόνι και όταν η ταχύτητα ανέμου δεν υπερβαίνει τα 3 m/s στη θέση μέτρησης. Στο πλαίσιο αυτό, δεν θα διεξάγονται μετρήσεις κατά την διάρκεια δυνατών ανέμων, βροχής, χιονόπτωσης και ομίχλης όπως επίσης και κατά την διάρκεια καταστάσεων που δεν αντιπροσωπεύουν την συνήθη οδική κυκλοφοριακή εικόνα (π.χ. κατά την διάρκεια ενός οδικού ατυχήματος ή παρουσίας εργοταξίου κ.λπ.) ή μη αντιπροσωπευτικής χρονικής περιόδου (π.χ. Σάββατο, Κυριακή, αργίες κ.λπ.).

Προκειμένου να ληφθεί όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική εικόνα του υπό αξιολόγηση θορύβου από τις συγκοινωνιακές υποδομές πρέπει να ελέγχεται τυχόν επιρροή της μέτρησης από άλλες πηγές όπως π.χ. του θορύβου βάθους (background noise) της περιοχής. Εφόσον η διαφορά μεταξύ μετρούμενης στάθμης

συγκοινωνιακού θορύβου και θορύβου βάθους της περιοχής είναι μεγαλύτερη των 10 dB(A) δεν απαιτείται περαιτέρω έλεγχος.