

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΔΕΙΦΟΡΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ»
Δειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Αξιολόγηση διαφορετικών φυτικών ειδών ως φυτοφράκτες για την απομείωση
του ήχου στον αστικό ιστό



ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΠΑΠΑΠΟΛΥΧΡΟΝΟΥ

ΒΟΛΟΣ, 2019

Αξιολόγηση διαφορετικών φυτικών ειδών ως φυτοφράκτες για την απομείωση του ήχου στον
αστικό ιστό
ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΠΑΠΑΠΟΛΥΧΡΟΝΟΥ

Τα μέλη της
Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

κος Λύκας Χρήστος , Επίκουρος Καθηγητής με γνωστικό αντικείμενο Ανθοκομία.

κος Δαναάτος Νικόλαος, Καθηγητής με γνωστικό αντικείμενο Γεωργία-Οικολογία Φυτών Μεγάλης
Καλλιέργειας.

κος Καρκάνης Ανέστης, Επίκουρος Καθηγητής με γνωστικό αντικείμενο Ζιζανιολογία.

Copyright © ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΠΑΠΑΠΟΛΥΧΡΟΝΟΥ, 2019.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες τον 21^ο αιώνα διαταράσσουν σημαντικά το φυσικό και δομημένο περιβάλλον αλλά και τους έμβιους οργανισμούς που ζουν σε αυτό προκαλώντας τους μη αναστρέψιμες και ανεπανόρθωτες βλάβες. Οι αρνητικές επιδράσεις χωρίζονται στην υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων όπως το νερό και ο ορυκτός πλούτος αλλά και στην περιβαλλοντική ρύπανση, μία εκ των οποίων είναι η ηχορύπανση.

Η ηχορύπανση ωφείλεται στον περιβαλλοντικό θόρυβο και ταξινομείται, σύμφωνα με τον Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, ανάμεσα στις πιο σοβαρές αιτίες υποβάθμισης της ανθρώπινης υγείας όπως αναφέρεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Οι βλάβες στην υγεία από την ηχορύπανση είναι ακουστικές και μη όπως διαταραχές ύπνου για έκθεση σε επίπεδα θορύβου πάνω από 60dB, δυσκολίες στην εργασία για πάνω από 80dB, μη αναστρέψιμη βλάβη των νευρικών κυττάρων στο εσωτερικό του αυτιού για για πάνω από 85dB, αδυναμία εργασίας και εκνευρισμό για πάνω από 90dB, ενώ στα 125dB προκαλείται ανεπανόρθωτη ζημιά στον ακουστικό πόρο έως ολική κώφωση κυρίως στις υψηλές συχνότητες από 3kHz μέχρι 6kHz με μέγιστη στα 4kHz κ.α Άλλα συμπτώματα είναι βουίσματα, ισχαιμικά επεισόδια, γνωστικές δυσλειτουργίες σε παιδιά.

Ο Π.Ο.Υ. το 2011, υπολόγισε ότι πάνω από 1.000.000 υγιή χρόνια προσδόκιμης ζωής χάνονται κάθε χρόνο εξαιτίας του περιβαλλοντικού θορύβου στα κράτη μέλη και στα συνδεδεμένα κράτη της Ε.Ε. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης περίπου 170 εκατομμύρια πολίτες εκτίθενται σε θορύβους έντασης που υπερβαίνει τα 55dB(A) με 65 dB(A) από τους οποίους το 20% εκτίθεται στα 65dB(A) κατά τη διάρκεια της ημέρας και περισσότερο από το 30% εκτίθεται σε πάνω από τα 55dB(A) κατά τη διάρκεια της νύχτας (W.H.O., 2013; European Community, 1996).

Δεδομένων όλων των παραπάνω στοιχείων είναι απαραίτητη η μελέτη και η εξεύρεση αιφορικών λύσεων για τον περιορισμό του θορύβου και της διάδοσής του, που θα βελτιώσουν το ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και η κατανόηση του τρόπου που λειτουργεί η θαμνώδης βλάστηση ως ηχοπέτασμα και κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος του κυκλοφοριακού θορύβου στο οικιστικό περιβάλλον πλησίον οδικών αρτηριών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και η κατανόηση του τρόπου που λειτουργεί η θαμνώδης βλάστηση ως ηχοπέτασμα και κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος του κυκλοφοριακού θορύβου στο οικιστικό περιβάλλον πλησίον οδικών αρτηριών.

Αξιολογήθηκαν πέντε φυτικά είδη θαμνώδους βλάστησης για την εξακρίβωση εάν και κατά πόσο μπορούν να απομειώσουν τον θόρυβο προερχόμενο από το ίδιο συγκεκριμένο σταθμεύμενο όχημα όταν ανέπτυξε 700 και 2.500 στροφές στον κινητήρα. Τα φυτικά είδη τα οποία επιλέχθηκαν έπρεπε να είναι σε μορφή φυτοφράκτη με μεγάλο μήκος, πάχος, ύψος και πυκνή φυτική μάζα, σε περιοχή με χαμηλό περιβαλλοντικό θόρυβο και κατάλληλες καιρικές συνθήκες. Επίσης, απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να είναι αειθαλή και να μην υπάρχουν εμπόδια σε πολύ μικρές αποστάσεις όπως κτίσματα, κολώνες, δέντρα κ.α.

Οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν σε διάστημα 4 μηνών, τον από τον Δεκέμβριο του 2015 μέχρι τον Μάρτιο του 2016, σε παρόμοιες καιρικές συνθήκες, στον περιαστικό ιστό της πόλης της Λάρισας και τα φυτά που επιλέχθηκαν ήταν η Φωτίνια (*Photinia glabra* Οικογένεια: Rosaceae), το Λιγούστρο (*Ligustrum japonicum* Οικογένεια: Oleaceae), η Τούγια ανατολής (*Thuja orientalis* Οικογένεια: Cupressaceae), η Λέυλαντ (*Cupressocyparis leylandii* Οικογένεια: Cupressaceae) και η Αριζόνικα (*Cupressus arizonica*, οικογένεια: Cupressaceae).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι φυτοφράκτες μειώνουν τον θόρυβο στο μέγιστο βαθμό κατά 2,46dB(A) και 4,30dB(A) στις 2500 και 700 στροφές αντίστοιχα. Στην απομείωση συνεισφέρουν πολλοί παράγοντες όπως είναι η διαπερατότητα του φυτοφράκτη, οι διαστάσεις του, η απόσταση από την πηγή θορύβου και τη θέση του λήπτη του, το φάσμα συχνοτήτων του θορύβου που διαφοροποιείται ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα, η επιφάνεια του εδάφους, η αρχιτεκτονική των φυλλών και των κλαδιών και τα εσωτερικά κενά.

Η μέγιστη απομείωση παρατηρήθηκε στον φυτοφράκτη του είδους Τούγια και στις 2500 και στις 700 στροφές.

Λέξεις κλειδιά:

Θόρυβος, φυτοφράκτες, ηχοαπομείωση, κυκλοφορία, dB

SUMMARY

The purpose of this current study is to investigate and understand how roadside vegetation consisting plant barriers works as a soundbarrier and whether it can be used to tackle with the traffic noise problem in the residential environment near road arteries.

Five plant species of plant barriers were evaluated to ascertain whether and to what extent they can reduce the noise from the same particular parked vehicle when it developed 700 and 2,500 revolutions per minute in the engine. The plant species selected had to be in the form of a long, thick, high, and dense plant barrier in an area with low environmental noise and appropriate weather conditions. Also it was necessary for the plant species to be evergreen in an obstacle free environment at very short distances such as buildings, columns, trees etc.

The measurements were completed within 4 months, from December 2015 to March 2016, in similar weather conditions, in the periurban area of the city of Larissa, and the plants selected were (*Photinia glabra* Family: Rosaceae), *Ligustro* (*Ligustrum japonicum* Family: Oleaceae), *Thuja Oriental* (Cupressaceae), *Leyland* (*Cupressocyparis leylandii* Family: Cupressaceae) and *Arizona* (*Cupressus arizonica*, Family: Cupressaceae).

The results show that the plant barriers reduce noise to a maximum of 2.46 dB (A) and 4.30 dB (A) at 2500 and 700 rpm, respectively. Some of the factors that contribute these results are the permeability of the barrier, its dimensions, distance from the noise source and the location of the receiver, the frequency spectrum of noise differentiated according to engine's rpm, the ground surface, architecture of leaves and branches and the voids within the plant barrier volume.

The maximum sound attenuation was observed at the *Thuja* plant barrier at 2500 and 700 rpm.

Keywords:

Noise, plant barriers, noise attenuation, traffic, dB

Εγώ, η Παπαπολυχρόνου Στυλιανή, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.» Ακολουθεί η υπογραφή του συγγραφέα.

«Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον/την κο/κα (ονοματεπώνυμο μεταπτυχιακού φοιτητή)». Ακολουθεί η υπογραφή του επιβλέποντος Καθηγητή.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πραγματοποίηση και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας βοήθησαν αρκετοί άνθρωποι τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή Χρήστο Λύκα για την καθοδήγησή του και την υποστήριξή του κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και της συγγραφής της παρούσας εργασίας, καθώς και για τις συζητήσεις μας πάνω σε επιστημονικά και γενικότερα θέματα. Χωρίς την επιμονή και το ουσιαστικό και ανθρώπινο ενδιαφέρον του δεν θα είχα μπορέσει να ολοκληρώσω αυτό που άρχισα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον άντρα μου και την 25 μηνών κόρη μου που με υποστήριξαν με κάθε δυνατό τρόπο και το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό στο Πανεπιστημιακό νοσοκομείο Λάρισας που κατάφεραν να μας κρατήσουν ζωντανές μαμά και κόρη για να μπορούμε να παλέψουμε για την διατριβή μου αυτή τη στιγμή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής και την γραμματεία του μεταπτυχιακού για την βοήθειά τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
SUMMARY	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	8
3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ.....	11
3.1.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΗΧΟΣ.....	11
3.1.2. ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	11
1.2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΗΣ.....	16
1.3 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ.....	20
1.4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	23
1.5 ΟΙ ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ.....	24
1.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	26
1.7 ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	30
1.8 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΦΡΑΚΤΩΝ ΩΣ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ.....	35
1.9 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	37
1.10 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΠΟΥ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΩΣ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	43
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	44
2.1. ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΙΔΗ.....	44
2.2. ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ.....	47
2.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	49
2.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	53
2.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	56
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	59
3.1. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	59
3.2. Η ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΛΟΓΩ ΦΥΤΟΦΡΑΚΤΗ.....	65
3.3. ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΛΟΓΩ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΙ ΚΛΑΔΙΩΝ.....	68
3.4. ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ.....	72
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	75
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ-ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ	84
---	----

3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

3.1.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΗΧΟΣ

Ο ήχος είναι αποτέλεσμα της μηχανικής ταλάντωσης ενός μέσου διάδοσης και έχει πηγή, διαδρομή και δέκτη. Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ 263.1 (1.184), ως ήχος, ορίζεται η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις όπως ελαστικότητας και εσωτερικής τριβής κι έχει τέτοιο χαρακτήρα, ώστε μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής, και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα. (Φλώρος, 2013)

Για παραπάνω από έναν ήχο που συναντώνται δημιουργούνται διαφορετικές κυματομορφές που είναι το γεωμετρικό σχήμα του ηχητικού κύματος. Στους απλούς ήχους που μεταβάλλονται ημιτονοειδώς, στους σύνθετους, που αποτελούνται από δύο ή περισσότερους απλούς, στον θόρυβο που αποτελείται από τυχαία μεταβολή των συχνοτήτων των προηγούμενων, χωρίς περιοδικότητα και στον κρότο που είναι μια απότομη ηχητική μεταβολή με μικρή διάρκεια **Εικόνα 1**. (Δαμασιώτης, Ηχορύπανση και τρόποι αντιμετώπισης σε υπο κατασκευή σχολείο, 2011)



Εικόνα 1. Κυματομορφές των τεσσάρων μορφών του ήχου (Δίον, 2016)

3.1.2. ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Τα βασικά μεγέθη που περιγράφουν έναν ήχο είναι η συχνότητα(f), το μήκος κύματος(λ), η ταχύτητα(c), η περίοδος (T) όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**.

Μήκος κύματος (λ) είναι ο αριθμός των κύκλων της περιόδου στη μονάδα χρόνου σε Hz.

Συχνότητα (f) είναι ο αριθμός των επαναλήψεων μεταξύ δύο ιδίων καταστάσεων της κίνησης στη μονάδα του χρόνου και είναι σημαντική γιατί καθορίζει την υποκειμενική ακουστότητα

των ήχων αλλά και γιατί καθορίζει την επίλυση ακουστικών ζητημάτων όπως η απομείωση του θορύβου που απασχολεί εν προκειμένω. (Άρμπης, 2010)

Η ταχύτητα του ήχου (c) είναι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον ατμοσφαιρικό αέρα, σε τυπική ατμοσφαιρική πίεση.

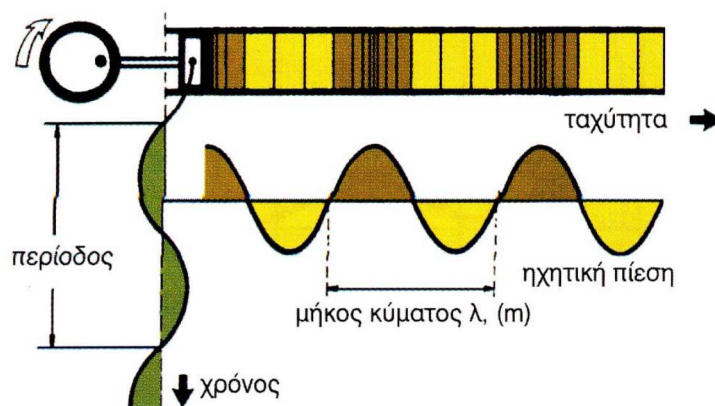
Τέλος η **περίοδος (T)** είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο ιδίων καταστάσεων ενός περιοδικού μεγάλους και μετράται σε δευτερόλεπτα (sec).

Οι σχέσεις μεταξύ των βασικών χαρακτηριστικών του ήχου εκφράζονται από τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις:

$$\lambda=c/f \text{ (1)}$$

$$f=1/T \text{ (2)}$$

Όπου: λ: Το μήκος κύματος C: Η ταχύτητα του ήχου F: Η συχνότητα
T: Η περίοδος δηλαδή ο χρόνος για την ολοκλήρωση ενός κύκλου



Σχήμα 1 Απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών που εκφράζουν τον ήχο. Πήγη: (Κουφούδης, 2011).

Το μέγεθος για τη μέτρηση του ήχου ή του θορύβου είναι το **επίπεδο της ηχητικής πίεσης (SPL)** που μετράται σε dB. Ο τύπος για να υπολογίσουμε τη στιγμιαία τιμή της ηχητικής πίεσης (Sound Pressure Level) όπως την αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος είναι:

$$SPL=10\log (P/P_0)^2 \text{ ή } 20\log P/P_0 \text{ (3)}$$

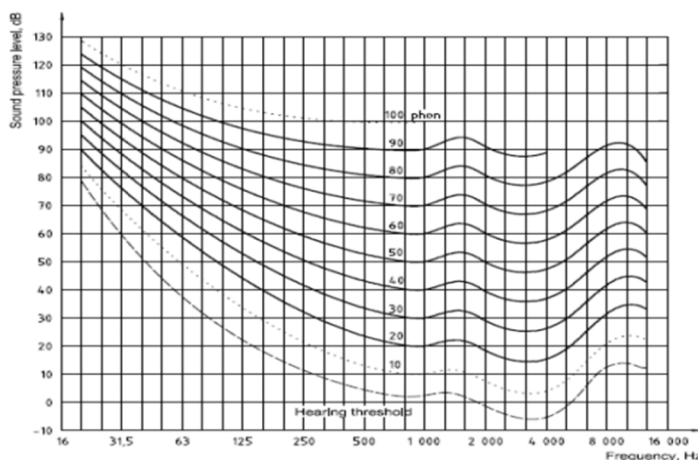
Όπου: SPL: Το επίπεδο ηχητικής πίεσης σε dB P: Η ηχητική πίεση σε Pa
P₀: Η τιμή αναφοράς της ηχητικής πίεσης σε 2*10⁻⁵ Pa¹

Η ηχητική ένταση είναι η ενέργεια που μεταφέρει ο ήχος στη μονάδα επιφάνειας και στη μονάδα του χρόνου και εκφράζεται με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου σε ελεύθερο

¹ Η μικρότερη ηχητική πίεση που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί.

Στις μετρήσεις κυκλοφοριακού θορύβου η συνεχής διακύμανση της ηχητικής πίεσης σε σχέση με τον χρόνο χρησιμοποιείται η ισοδύναμη στάθμη θορύβου LAeq[dB] (Equivalent Continuous Sound Level). Αυτή ορίζεται ως η σταθερή στάθμη ηχητικής πίεσης που θα παραγόταν από την πηγή του θορύβου, εάν η συνολική ακουστική ενέργεια του ηχητικού γεγονότος ήταν ισοκαταμεμημένη στη χρονική διάρκεια T της μέτρησης. Άλλο μέγεθος είναι το LASp[dB] (Slow time weighting) που μετράει το ηχητικό επίπεδο στη A ηχοστάθμη σε αργή ταχύτητα δηλαδή 1 φορά στο δευτερόλεπτο και το LAFp[dB] (Fast time weighting) μέγεθος μετράει το ηχητικό επίπεδο στη A ηχοστάθμη σε γρήγορη ταχύτητα που είναι 8 φορές στο δευτερόλεπτο.

Η εκτίμηση της ακουστότητας ή ηχηρότητας των θορύβων⁴ που δημιουργούν προβλήματα στον άνθρωπο γίνεται με τη χρήση κατάλληλων ηχοσταθμών και εκφράζεται με τις ισοφωνικές καμπύλες **Διάγραμμα 1**. Οι ηχοστάθμες είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα ενσωματωμένα στα ηχόμετρα και να φιλτράρουν τις συνιστώσες του ηχητικού φάσματος όπως συμβαίνει με τον ανθρώπινο ακουστικό πόρο. Η συχνότητα αναφοράς για καθεμία καμπύλη είναι το 1KHz. (Δαμασιώτης, 2011)



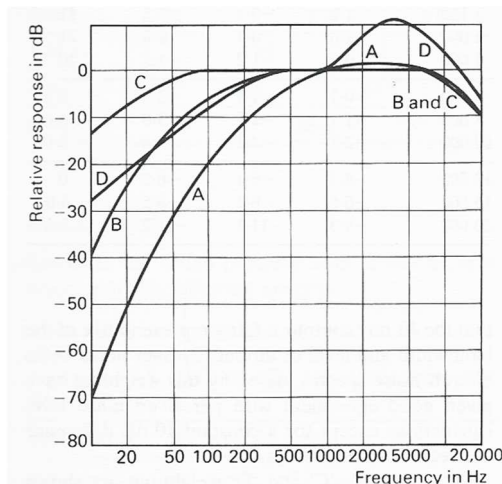
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα σχέσης ηχητικής πίεσης με συχνότητα σε οκτάβες. Οι καμπύλες που σχηματίζονται ονομάζονται ισοφωνικές. Πηγή: (Public Health, 2014).

Οι διεθνώς τυποποιημένες ηχοστάθμες οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι οι A,B,C,D. Η A-στάθμιση ("A" weighting S.P.L.) χρησιμοποιείται για τη γρήγορη εκτίμηση των κινδύνων για την ακοή και των επιπέδων ενόχλησης, για τη διόρθωση του επιπέδου του ανεμπόδιστου θορύβου και για τη μέτρηση του κυκλοφοριακού θορύβου και του θορύβου στο εργασιακό περιβάλλον. Φιλτράρει αρκετά αυστηρά τις μεσαίες συχνότητες από 1kHz έως 6,3kHz (Noise Barrer Handbook, 2015) και λιγότερο τις υψηλότερες και χαμηλότερες από αυτές.

⁴ Ακουστότητα ή ηχηρότητα είναι ο ψυχοακουστικός τρόπος αντίληψης της έντασης του ήχου.

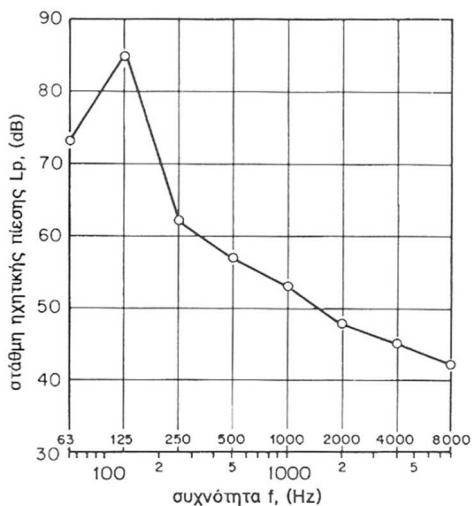
Αντιστοιχεί επίσης, στην καμπύλη ακουστότητας των 40dB στο 1kHz και τιμή ηχοστάθμης 20-55dB, προσομοιώνοντας περισσότερο από τα υπόλοιπα φίλτρα την ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής και είναι η κατάλληλη για τις μετρήσεις του πειράματος της διατριβής μου. Διάγραμμα 2. Ηχοστάθμιση γύρω από το 1kHz στις καμπύλες ηχοστάθμισης A,B,C,D.

Πηγή: **Διάγραμμα 2.**

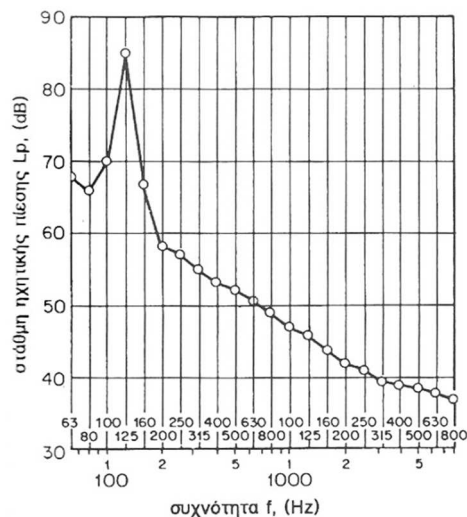


Διάγραμμα 2. Ηχοστάθμιση γύρω από το 1kHz στις καμπύλες ηχοστάθμισης A,B,C,D.
Πηγή: (Τσινίκας, 1990)

Το ανθρώπινο αυτί είναι περισσότερο ευαίσθητο σε συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων του θορύβου γι αυτό είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του φάσματός τους. Για να γίνει κατανομή της ηχητικής ενέργειας σε όλο το ακουστικό φάσμα ο θόρυβος υποδιαιρείται σε οκτάβες και έτσι μετράται η στάθμη ηχητικής πίεσης κάθε οκταβικής ζώνης συχνοτήτων. Η οκτάβα δηλαδή, είναι η μονάδα μέτρησης του διαστήματος συχνοτήτων (Φλώρος, 2013) (Τσινίκας, 1990). Το επίπεδο της ηχητικής πίεσης δίνεται συνήθως σε οκτάβες και τριτοκτάβες με κεντρικές συχνότητες όπως φαίνονται στα παρακάτω **Διαγράμματα 3 και 4.**



Διάγραμμα 3. Σχέση στάθμης ηχητικής πίεσης με τη συχνότητα σε οκτάβες. Πηγή: (Τσινίκας, 1990)



Διάγραμμα 4 Σχέση στάθμης ηχητικής πίεσης με τη συχνότητα σε τριτοκτάβες. Πηγή: (Τσινίκας, 1990)

1.2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΗΣ

Η ακουστική είναι ο κλάδος της φυσικής που μελετά την παραγωγή, τη μετάδοση, τη λήψη και την αλληλεπίδραση του ήχου με διάφορες επιφάνειες και υλικά. Μελετά επίσης, τις τεχνικές ελέγχου και επεξεργασίας για την εκμετάλλευση του ήχου σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπως στις περιβαλλοντικές μελέτες και αξιολόγηση αιθουσών, υπαίθριων χώρων και ηχοφραγμάτων.

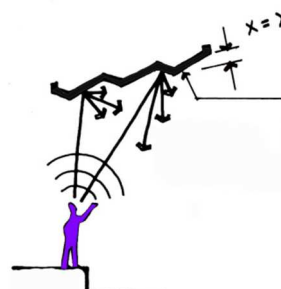
Βασικά ηχητικά φαινόμενα της ακουστικής είναι η διάθλαση, η περίθλαση, η διαύγεια (ηχοπερατότητα), η αντίχηση (ακουστική ποιότητα ενός χώρου), η μη γραμμική ακουστική, η απορρόφηση, η αεροακουστική, η μετάδοση, η διάχυση, η απόσβεση, η ανάκλαση, ο συντονισμός και η ηχοπερατότητα. Κατά τη διάδοση ενός ηχητικού κύματος από την πηγή προς το δέκτη τα φαινόμενα που παρατηρούνται κυρίως και μας αφορούν στην παρούσα εργασία είναι η ανάκλαση, η απορρόφηση, η μετάδοση, η περίθλαση, η διάθλαση.

Ανάκλαση (Reflection), όπως ισχύει και στην οπτική, είναι η αλλαγή της πορείας του ήχου, που παρατηρείται κατά την πρόσπτωσή του στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων της οποίας οι διαστάσεις είναι μεγαλύτερες του μήκους κύματος και τα αποτελέσματά της είναι η ηχώ και η αντίχηση. Για αυτό το λόγο, στο δάσος όταν αναπαράγεται ένας θόρυβος, οι μεσαίες συχνότητες θα είναι περισσότερο αντιληπτές σε μακρινές αποστάσεις **Σχήμα 3**. (Κουφούδης, 2011; ΙΕΚ, 2014)

Διάχυση (Diffusion) ονομάζεται η σκέδαση μιας ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής και υφίσταται όταν το μήκος κύματος λ του ήχου ισούται με το μέγεθος x της ανακλαστικής επιφάνειας **Σχήμα 4** και ισχύει κυρίως όταν οι συχνότητες είναι υψηλές. (Κουφούδης, 2011). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε αίθουσες θεατρικές, μουσικές και συνδεδεμένων όπου χρησιμοποιούνται ανακλαστήρες και διαχυτές για την ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής ενέργειας σε ολόκληρο το χώρο.

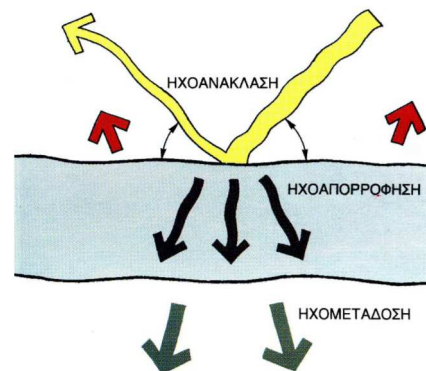


Σχήμα 3. Το ηχητικό φαινόμενο της ανάκλασης όταν το μήκος κύματος είναι τουλάχιστον τέσσερις φορές μεγαλύτερο μίας διάστασης της ανακλαστικής επιφάνειας. Πηγή: (Egan, 1972)



Σχήμα 4. Το ηχητικό φαινόμενο της διάχυσης όταν το μήκος κύματος είναι ίσο με μία διάσταση της ανακλαστικής επιφάνειας. Πηγή: (Egan, 1972)

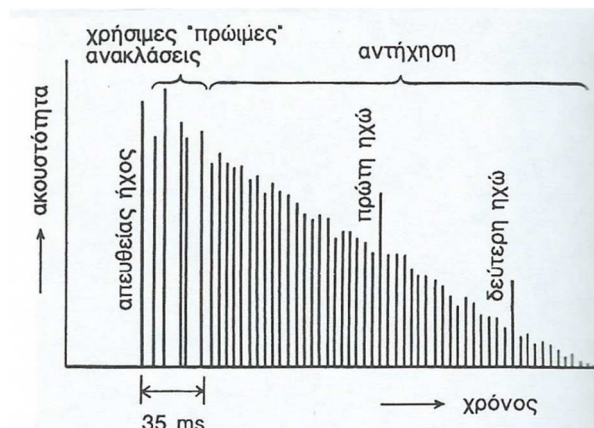
Απορρόφηση (Absorption) είναι η ιδιότητα των υλικών (αφρώδη/πορώδη) να απορροφούν την ηχητική ενέργεια καθώς το ηχητικό κύμα εισχωρεί στο εσωτερικό τους. Ένα μέρος της μετατρέπεται σε θερμότητα εντός του υλικού λόγω τριβής με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας του κύματος. Το υπόλοιπο μεταδίδεται ως ηχητική ενέργεια στο μέσο, που υπάρχει πίσω από το ηχοπέτασμα όπως ο αέρας πίσω από το ηχοπέτασμα (μετάδοση). Η



Σχήμα 5. Εικόνα 3. Egan M. D. (1972) Concepts in Architectural acoustics. Πηγή: (Κουφούδης, 2011)

απορρόφηση του κάθε υλικού εξαρτάται από τη συχνότητα, τις διαστάσεις της επιφάνειάς του, τον συντελεστή απορρόφησής του και τη γωνία πρόσπτωσης του ηχητικού κύματος. (Δέλτα, 2013) Απορρόφηση συναντούμε κατά την ηχοδιάδοση μέσα σε δάσος από τα φύλλα στα δέντρα και τους θάμνους όταν αυτά είναι σαρκώδη και την επιφάνεια του εδάφους η οποία αποτελείται από πολλά μαλακά στρώματα φυτικής ύλης και χώματος.

Αντήχηση (Reverberation) ονομάζουμε το συνολικό ηχητικό αποτέλεσμα των διαδοχικών ανακλάσεων του ήχου στα τοιχώματα κάποιου δωματίου όπου η ηχητική ενέργεια διαδίδεται προς διάφορες κατευθύνσεις με ταυτόχρονη απορρόφηση τμήματός της σε κάθε ανάκλαση και από την ατμόσφαιρα, χωρίς να δημιουργείται ηχώ. Μαζί με τα φαινόμενα της ηχούς και στάσιμων κυμάτων, ο ακροατής έχει την

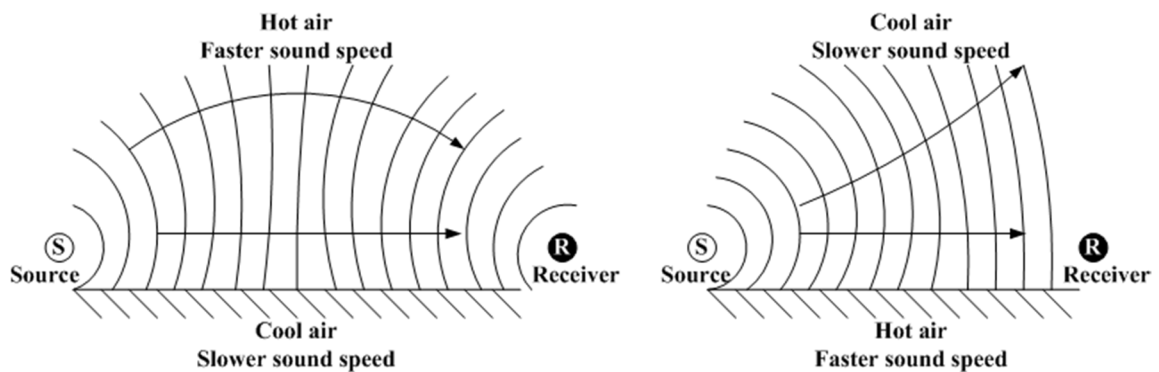


Διάγραμμα 5. Σχηματική απεικόνιση της αντήχησης. Ακουστότητα του απευθείας ήχου και των ανακλάσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Πηγή: (Τσινίκας, 1990)

εντύπωση ότι ο ήχος έχει μεγαλύτερη διάρκεια και ένταση από αυτήν κατά την εκπομπή του θορύβου αυξάνοντας το συνολικό επίπεδό του, δημιουργώντας προβλήματα στην ομιλία, ακοή και αυτοσυγκέντρωση. (Ευθυμιάτος, 2007; Κουφούδης, 2011)

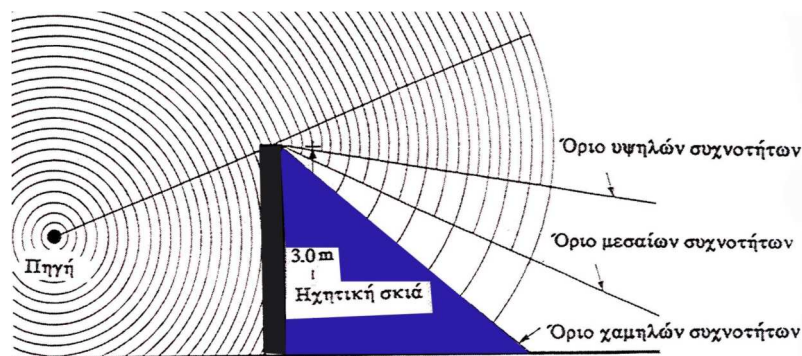
Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται πολύ έντονα στα δάση όπου επηρεάζει έντονα η παρουσία επιφανειών από διαφορετικά υλικά, υφές και μεγέθη. (Δέλτα, 2013)

Τη διάθλαση (refraction) γενικά, παρατηρούμε όταν στη διαδρομή του κύματος εμφανιστεί διαφορά στην πυκνότητα του μέσου διάδοσης. Στην ακουστική εμφανίζεται όταν ο ήχος διαπερνάει στρώματα αέρα με διαφορετική θερμοκρασία και επομένως πυκνότητα. (Δέλτα, 2013; Δαμασιώτης, 2011)



Σχήμα 6. Η διάθλαση των ηχητικών κυμάτων όταν διαπερνούν στρώματα αέρα με διαφορετικές θερμοκρασίες
 Πηγή: (Wikimedia, 2014)

Περίθλαση (Diffraction) είναι η παραμόρφωση της χρονικής φάσης, της έντασης και της συχνοτικής σύνθεσης κατά την αλλαγή της διεύθυνσης της διάδοσης του ήχου που συναντάει εμπόδια ή διεισδύει μέσα από σχισμές και εξαρτάται από τη συχνότητα και τη γωνία πρόσπτωσης του ηχητικού κύματος στα όρια του εμποδίου **Σχήμα 7**. Παρατηρείται όταν οι διαστάσεις του εμποδίου ή της σχισμής είναι μικρότερες από το μήκος κύματος του ήχου ο οποίος προσπερνάει το εμπόδιο . Τότε, στα όρια του εμποδίου το ηχητικό κύμα περιθλάται γύρω του δημιουργώντας διακυμάνσεις της ηχητικής έντασης και αύξηση αυτής πίσω από το εμπόδιο σε σημεία που δεν είναι ορατά από την ηχητική πηγή και ονομάζονται ζώνες ηχητικής σκιάς (shadow zone) και φωτός (bright zone). (Μπάρκας, 2005; Δέλτα, 2013; Κουφούδης, 2011)



Σχήμα 7. Δημιουργία ηχητικής σκιάς πίσω από έναν ηχοφράκτη και η επίδραση της περίθλασης σε αυτήν σε σχέση με το φάσμα συχνοτήτων που παράγονται από την πηγή. Πηγή: (Σωτηροπούλου, 1996)

Η περίθλαση εμφανίζεται συχνά στην απομείωση του κυκλοφοριακού θορύβου ο οποίος ανήκει στο φάσμα κυρίως των χαμηλών συχνοτήτων και τα μήκη κύματός του παραμορφώνονται στα όρια των ηχοπετασμάτων. Επομένως, παίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός ηχοπετάσματος και έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για τη μαθηματική επίλυση της εμφάνισής της στα άκρα του και την ηχομείωση όπως ο Maekawa, οι Kurze και Anderson, ο Kirchoff, ο Keller, ο Fresnel, ο Harris με το διάγραμμά του κ.α. Στο **Διάγραμμα**

1.3 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

Ως θόρυβος, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία, ορίζεται κάθε ανεπιθύμητος ή δυσάρεστος ήχος η επικινδυνότητα του οποίου καθορίζεται από την ένταση και την διάρκεια της έκθεσης. Η κατάταξη ενός ήχου στους θορύβους έχει υποκειμενικά κριτήρια όπως ψυχολογικά, μορφωτικά και πολιτιστικά. Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ 263.1 ως θόρυβος ορίζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο. (Μπάρκας, 2014; Δαμασιώτης, 2011)

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος αποτελεί το σύνολο του μηχανολογικού, του αστικού και του θορύβου από τις οδικές αρτηρίες. Προέρχεται δηλαδή, από το φυσικό αλλά και το ανθρωπογενές περιβάλλον όπως από:

- Μεταφορές όπως αεροσκάφη, μέσα σταθερής τροχιάς και οχήματα, κόρνες και ονομάζεται κυκλοφοριακός θόρυβος.
- Τριτογενείς δραστηριότητες όπως κτίρια γραφείων, εμπορικά καταστήματα, κέντρα διασκέδασης.
- Κατοικίες όπως μουσική, ανθρώπινες φωνές και ζώα, συστήματα ψύξης- θέρμανσης, συναγερμοί.
- Μεταποίηση όπως εργοστάσια και βιοτεχνίες.
- Κατασκευαστικές δραστηριότητες όπως εργοτάξια.
- Δημόσιους χώρους όπως πάρκα, γήπεδα, δρόμοι, πεζοδρόμια.

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος μελετάται συστηματικά από το 1952. Το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως η σύνθεση της κυκλοφορίας (βαρέου τύπου, Ι.Χ., δίκυκλα), η τοπογραφία γύρω από την οδική αρτηρία, οι κλίσεις και η ποιότητα του οδοστρώματος, τα σημεία όπου η ροή της κυκλοφορίας δεν είναι συνεχόμενη όπως στις διασταυρώσεις, οι ταχύτητες των οχημάτων κ.α. Σημαντικό ρόλο επίσης, παίζουν η μέση ηλικία⁵ των οχημάτων και η συντήρησή τους, η ποιότητα των λάστιχων, η οδηγική συμπεριφορά και οι τροποποιήσεις όπως η αφαίρεση της εξάτμισης στα δίκυκλα, η μηχανή του οχήματος που παίζει τον κυριότερο ρόλο για την κίνηση μέσα στην πόλη **Γράφημα 1** κ.α.. Στα βαρέου τύπου οχήματα προέρχεται από τη λανθασμένη χρήση των φρένων και την κακή επαφή με το ρυμουλκούμενο τμήμα **Διάγραμμα 7** (Gruden, 2003; RTA, 2001).

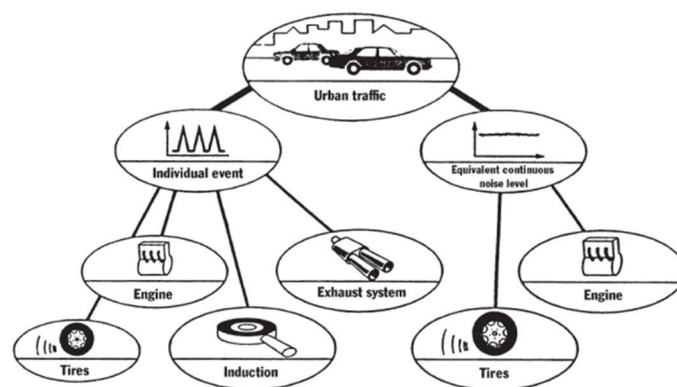
⁵ Το αρχικό επίπεδο θορύβου στα αυτοκίνητα κυμαινόταν στα 91 dB(A) το οποίο μειώθηκε σταδιακά μέχρι το 1995 στα 80dB(A). Ένα φορτηγό κατασκευής του 1974 παρήγαγε τα ίδια επίπεδα θορύβου με 8 έως 12 φορτηγά κατασκευής του 2000. (Gruden, 2003) Αυτή η βελτίωση οφείλεται στις νέες τεχνολογίες.

Η μείωσή του κυκλοφοριακού θορύβου αντιμετωπίζεται στην πηγή του, στη διαδρομή μέχρι να φτάσει στον δέκτη και στον ίδιο τον δέκτη δηλαδή στη ζώνη ησυχίας όπου ανήκουν οι κατοικίες και οι χώροι εργασίας.

Στην πηγή του αντιμετωπίζεται με συχνούς ελέγχους, αυτοψίες και λύσεις όπως την αποκατάσταση των παλιών οχημάτων και την αντικατάστασή τους με νέας τεχνολογίας, τη βελτίωση της οδικής συμπεριφοράς, την απαγόρευση κυκλοφορίας σε θορυβώδη αυτοκίνητα, τη χρήση ηχοαπορροφητικών οδοστρωμάτων, την αποτελεσματικότερη διεύθυνση της κυκλοφορίας κ.α. (RTA, 2001). Στη διαδρομή πρέπει να δημιουργείται μία ουδέτερη ζώνη με πάρκα, κήπους, πλατείες και λωρίδες πρασίνου, να κατασκευάζονται ηχοπετάσματα, να βελτιώνεται η ποιότητα των προσπιπτουσών επιφανειών με λιγότερο σκληρά υλικά. Επίσης, σημαντική λύση αποτελεί και η μείωση των ταχυτήτων, μάλιστα μία μείωση κατά το ήμισυ των μέσων ταχυτήτων σε αυτοκινητόδρομους ταχείας κυκλοφορίας η οποία θα επιφέρει μείωση κατά 5-6dB(A) κατά Laeq. (RTA, 2001) Τέλος, στο δέκτη πρέπει να χρησιμοποιούνται ηχομονωτικά υλικά στα υφιστάμενα και υπό ανέγερση κτίρια όπως διπλής υάλωσης κουφώματα, στιβαρές πόρτες, μη διάτρητη φράκτες κ.α. (RTA, 2001)



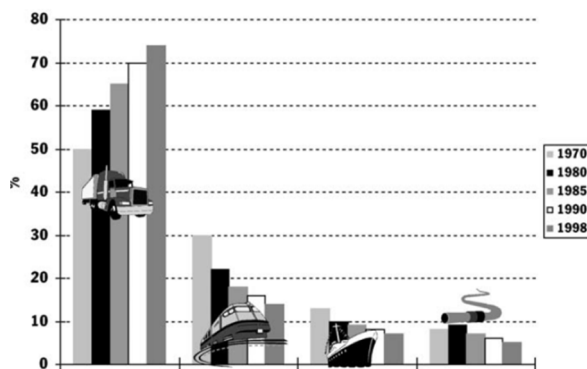
Γράφημα 1. Επιβατικά οχήματα με ταχύτητες κάτω από 70km/h (ARRB Research Report 314). Από τα 70km/h και άνω αρχίζει να κυριαρχεί ο θόρυβος από την πρόσφυση των λάστιχων στο οδόστρωμα. Πηγή: (RTA, 2001)



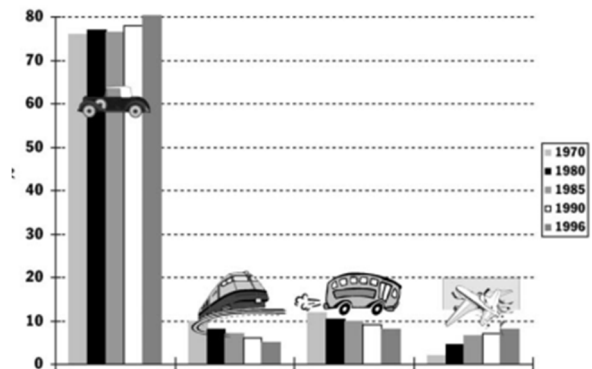
Διάγραμμα 7. Οι πηγές θορύβου που σχετίζονται με την κυκλοφορία των επιβατικών οχημάτων σε μεμονωμένες περιπτώσεις και σε συνεχόμενη ροή, περιλαμβάνουν τα λάστιχα, τη μηχανή, την εξάτμιση κ.α. Πηγή: (Gruden, 2003)

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος αντιμετωπίζεται και ελέγχεται και ως γραμμική πηγή (το σύνολο της κυκλοφορίας σε ένα οδικό τμήμα) και ως σημειακή πηγή (π.χ. η κάθε μοτοσικλέτα ή μεμονωμένο όχημα) (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Υγείας, 2018). Ως γραμμική πηγή παρουσιάζει μεγαλύτερη ένταση θορύβου και είναι δυσκολότερο να αντιμετωπιστεί γιατί είναι αδύνατη η δημιουργία ηχοπετασμάτων απείρου μήκους.

Αυτός ο τύπος θορύβου εντάθηκε τις τελευταίες δεκαετίες παρόλο το γεγονός ότι τα σύγχρονα επιβατικά οχήματα παράγουν κατά 85% και κατά 90% τα φορτηγά λιγότερο θόρυβο σε σχέση με τη δεκαετία του '70 καθιστώντας τον, τον κυριότερο περιβαλλοντικό θόρυβο στη Δυτική Ευρώπη. Αυτό οφείλεται στην εκτίναξη της παγκόσμιας παραγωγής τροχοφόρων από τα 5 εκατομμύρια ετησίως πριν τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο στα 50 εκατομμύρια σήμερα με αυξητικό ρυθμό ενός εκατομμυρίου ετησίως από το 1950. (Gruden, 2008). Οι σύγχρονες πόλεις έχουν επεκταθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε 375 εκατομμύρια πολιτών της Ε.Ε. καλύπτουν 6km οδήγησης καθημερινά που αντιστοιχεί σε 2 δισεκατομμύρια χιλιόμετρα αποστάσεων το χρόνο. Επίσης, το 80% των επιβατών και το 75% των αγαθών μεταφέρονται με Ι.Χ. και φορτηγά καθιστώντας το κυκλοφοριακό δίκτυο υψίστης σημασίας για την ανάπτυξη και ευημερία της Ε.Ε. **Διάγραμμα 8 και 9.**

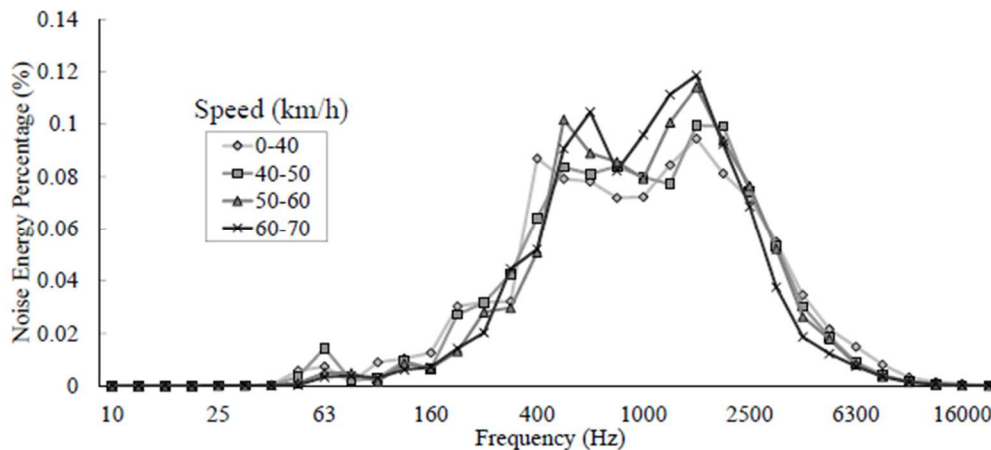


Διάγραμμα 8. Η χρήση των φορτηγών στη μεταφορά αγαθών έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια χάρη στη βελτίωση της ποιότητάς τους. (Gruden, 2008)



Διάγραμμα 9. Η χρήση των επιβατικών οχημάτων στις μετακινήσεις έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια χάρη στη βελτίωση της ποιότητάς τους αλλά και στην υποβάθμιση των Μ.Μ.Μ. (Gruden, 2008)

Η σχέση του θορύβου με τον κυκλοφοριακό φορτίο επηρεάζεται από τον αριθμό των οχημάτων ανά ώρα, το ποσοστό βαρέων οχημάτων και την ταχύτητά τους με διάφορες μεθόδους πρόβλεψης κυκλοφοριακού θορύβου όπως η βρετανική C.R.T.N, η γαλλική N.M.R.B. και η αμερικάνικη F.H.W.A. Μία ανάλυση του κυκλοφοριακού θορύβου στο φάσμα συχνοτήτων φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα όπου μετράται ο θόρυβος σε ένα μεσαίου κυβισμού όχημα **Διάγραμμα 10.** (Wang, 2018)



Διάγραμμα 10. Ποσοστό ενέργειας θορύβου σε τριτοκτάβες για μεσαίου κυβισμού όχημα με κορυφώσεις στα 63Hz, και 2 kHz και φασματικό εύρος 315Hz-2,5kHz.

1.4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσα από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (Ε.Ο.Π.) αναγνωρίζει την ανάγκη της προστασίας του αστικού περιβάλλοντος από τον θόρυβο και με αυτό ως βασικό κίνητρο δημιούργησε μία νέα Υπηρεσία Παρατηρήσεων και Πληροφοριών Περιβαλλοντικού Θορύβου για την Ευρώπη που ονομάστηκε NOISE (Noise Observation and Information Service for Europe). Είναι η μεγαλύτερη βάση δεδομένων θορύβου που έχει υπάρξει ποτέ στην Ευρώπη όπου θα παρουσιάζονται στοιχεία από τα αποτελέσματα των στρατηγικών χαρτών θορύβου που υποβάλλονται σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/ΕΚ. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Υγείας, 2018)

Η Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική οδηγία 2002/49/ΕΚ εισήγαγε τον όρο «περιβαλλοντικός θόρυβος», αναγνώρισε την ανάγκη της προστασίας του αστικού περιβάλλοντος από τον θόρυβο προσδίδοντάς του ποιότητα και αξία και χαρακτηρίζοντας τις ήσυχες περιοχές σημαντικές για το αστικό περιβάλλον και τις τοπικές κοινότητες. Ενσωματώθηκε στο Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο με την ΚΥΑ 13586/724 (ΦΕΚ Β'384 28.3.2006) περί «καθορισμού μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον».

Οι μέθοδοι αξιολόγησης που αφορούν στον υπολογισμό της ακουστικής διάδοσης μεταξύ της πηγής και του δέκτη που έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την ενδιάμεση φάση εφαρμογής της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ είναι για την οδική κυκλοφορία η "Νέα γαλλική μέθοδος προσδιορισμού του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου

συμπεριλαμβανομένων των μετεωρολογικών επιδράσεων" «NMPB- Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)» και το γαλλικό πρότυπο «XPS 31-133».

Πρώτη φορά ενοποίηση των αλγορίθμων για τον υπολογισμό του θορύβου στην Ευρώπη πραγματοποιήθηκε με το πρότυπο ISO 9613-2 το 1996. (Bucur, 2006)

Μία άλλη γνωστή μέθοδος πρόβλεψης κυκλοφοριακού θορύβου είναι η βρετανική μέθοδος CRTN (Calculation of Road Traffic Noise) η οποία χωρίζεται στον υπολογισμό του θορύβου λαμβάνοντας υπόψη τις κυκλοφοριακές παραμέτρους και για ειδικές περιπτώσεις όπως διασταυρώσεις όπου δίνονται πρόσθετα στοιχεία. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε συνθήκες συνεχόμενης αλλά και διακοπτόμενης ροής. (E.P.D., 2010)

Γενικά, πολλές χώρες έχουν αναπτύξει μοντέλα κυκλοφοριακού θορύβου, βασιζόμενα σε διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες και διαφορετικά χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής το οποίο καθιστά τη χρήση των μοντέλων αυτών μη αξιόπιστα όταν χρησιμοποιούνται σε πολύ διαφορετικές συνθήκες. (Τζώρτζης, 2004)

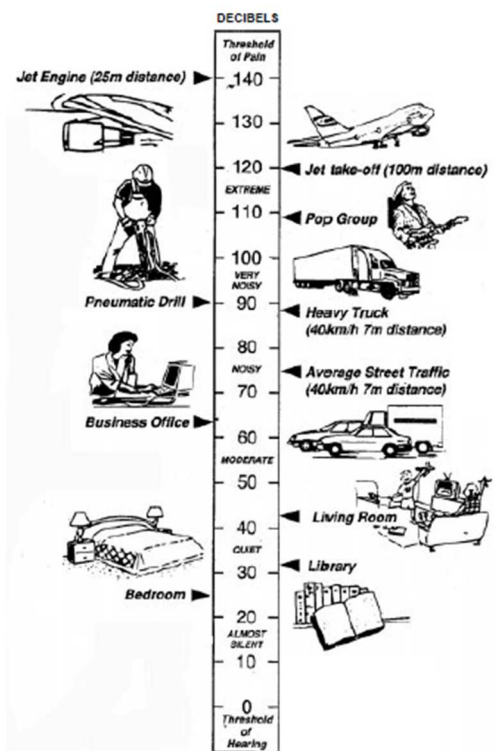
1.5 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον ήχο λογαριθμικά. Η ελάχιστη ένταση που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί αντιστοιχεί σε ένταση 10^{-12} W/m², ηχητική πίεση 20μPa και συχνότητα 20Hz, η οποία αποτελεί το κατώφλι ακουστότητας (Wikipedia, 2014). Η μέγιστη ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής παρατηρείται στην περιοχή των 2 – 4kHz. Για να συνδυάσουμε την συχνότητα, την ένταση και την ακοή αρκεί να σκεφτούμε ότι στα 20kHz, τη μέγιστη συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος ακουστικός πόρος, το μήκος κύματος που είναι $\lambda=1,7$ cm.

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα του Π.Ο.Υ. για την Δυτική Ευρώπη 903.000 πολίτες χάνουν υγιή χρόνια ζωής λόγω διαταραχών στον ύπνο, 654.000 λόγω ενοχλήσεων από τον περιβαλλοντικό θόρυβο, 45.000 λόγω γνωστικών διαταραχών σε παιδιά ηλικίας 7-19 και 22.000 από εμβοές. (W.H.O., 2018)

Οι μη ακουστικές βλάβες, περιλαμβάνουν πονοκεφάλους, υπέρταση, ταχυκαρδία, διαταραχές στην πέψη, στον ύπνο, δυσκολίες στη στύση, υπογονιμότητα, κόπωση, εκνευρισμό και διαταραχές συμπεριφοράς, υπερένταση, άγχος, επιτάχυνση της αναπνοής, συσπάσεις των μυών, απώλεια ισορροπίας, ναυτία, και επιβράδυνση στο χρόνο αντίδρασης στα ατυχήματα. Στην εκπαιδευτική διαδικασία οδηγεί στην αδυναμία συγκέντρωσης και στα παιδιά προκαλούνται βλάβες στη μνήμη και στην εκπαίδευσή τους

Σχήμα 8.



Σχήμα 8. Πηγές θορύβου και η έντασή τους.
Πηγή: (NSW, 1999)

Οι διεθνείς κανονισμοί ηχοπροστασίας εισάγουν τον όρο της ακουστικής άνεσης που προσδιορίζεται σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια και επιτρεπόμενες μέγιστες τιμές θορύβου, σύμφωνα με το είδος της

ηχητικής πηγής και το κοινωνικό επίπεδο της προστατευόμενης και της ενδιαμέσης περιοχής (Μπάρκας, 2014). Ακουστική άνεση, σύμφωνα με τον κτιριοδομικό κανονισμό, ονομάζεται η ικανότητα ενός κτιρίου να προστατεύει τους ενοίκους του από θορύβους και να παρέχει σ' αυτούς ένα ακουστικό περιβάλλον κατάλληλο για διαμονή, ανάπαυση, εργασία και άλλες δραστηριότητες (Κτιριοδομικός Κανονισμός, 1999).

Ο Π.Ο.Υ. προτείνει τα όρια θορύβου σε κλειστούς χώρους όπως είναι η κατοικία, να μην υπερβαίνουν τα 45dB, για εξωτερικούς χώρους τα 55dB και για εργασιακό χώρο δωρης απασχόλησης τα 75dB. Οι επιτρεπόμενες μέγιστες τιμές για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη δημιουργία κατάλληλου ακουστικό περιβάλλοντος ονομάζονται Outdoor Noise Levels και κυμαίνονται στις παρακάτω τιμές (Μπάρκας, 2014):

- Εξαιρετικές ακουστικές συνθήκες <25 - 30 dB(A) max
- Περιοχές ύπνου και ανάπαυσης (νοσοκομεία, ξενοδοχεία) <30 - 35 dB(A) max
- Περιοχές επικοινωνίας (εκκλησίες, διδαστήρια, δικαστήρια) <35 - 45 dB(A) max
- Περιοχές αναψυχής - συναλλαγών (γραφεία, εστιατόρια) <45 - 50 dB(A) max
- Περιοχές εγκαταστάσεων (ελάχιστα ανεκτές συνθήκες) <50 - 65 dB(A) max

Στην Ελλάδα, με βάση το Π.Δ. 149/2006, καθορίζονται ως εξής οι τιμές ημερήσιας στάθμης έκθεσης σε θόρυβο. (Παπαμανώλης, 2012; Ευθυμιάτος, 2007)

- 80dB ως κατώτατη τιμή για λήψη μέτρων

- 85dB ως ανώτατη τιμή για τη λήψη μέτρων
- 87dB ως οριακή τιμή έκθεσης

Η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης είναι αναγκαία.

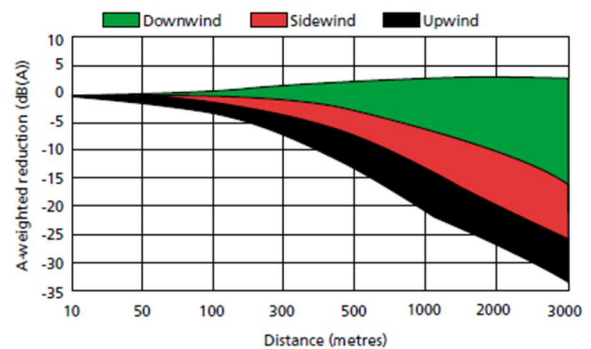


1.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο θόρυβος κατά τη διάδοσή του από την πηγή προς τον δέκτη επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως από:

- Την απορρόφηση από την ατμόσφαιρα και από την επιφάνεια του εδάφους.
- Την ύπαρξη εμποδίων όπως ηχοπετάσματα, κτίρια, φυτικές μάζες και αναχώματα που παρεμβάλλονται κατά την ηχοδιάδοση.
- Τις ανακλάσεις στις επιφάνειες του ηχητικού περιβάλλοντος.
- Τον τύπο της πηγής (γραμμικός ή σημειακός).
- Την απόσταση που έχει ο δέκτης από την πηγή.
- Την τοπογραφία
- Το φάσμα συχνοτήτων του θορύβου
- Τις καιρικές συνθήκες

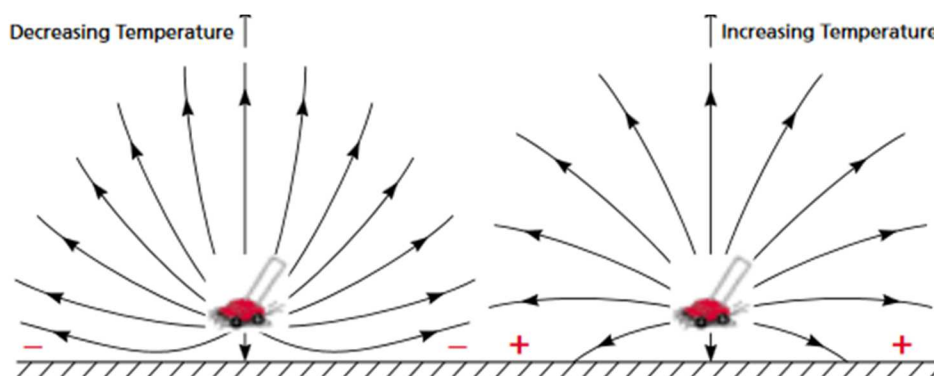
Η απορρόφηση του θορύβου από τα μόρια της ατμόσφαιρας είναι σημαντική στις υψηλές συχνότητες και σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. Για απόσταση 1km στα 1000Hz η επίδραση της θερμοκρασίας, του ανέμου και της υγρασίας είναι το μέγιστο 3dB (Μπάρκας, 2014). Για μεγαλύτερες αποστάσεις, οι μεταβολές είναι τόσο έντονες που τα μοντέλα θορύβου δεν μπορούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα (RTA, 2001). Οι καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν την απορρόφηση είναι η



Διάγραμμα 11. Σχέση A ηχοστάθμης με την απόσταση ανάλογα με τη φορά του ανέμου. Με πράσινο συμβολίζεται ο καθοδικός άνεμος, με μαύρο ο ανοδικός και κόκκινο ο μετωπικός. Πηγή: (Kjaer, 2016).

θερμοκρασία και οι μεταβολές της, η σχετική υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, ο άνεμος και ο υετός **Διάγραμμα 11**.

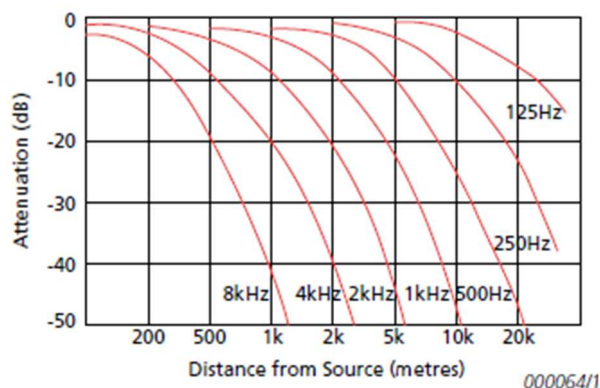
Ο άνεμος έχει πολύ μικρή επιρροή στην απομείωση του ήχου για αποστάσεις μέχρι 50m **Διάγραμμα 11**. Ο βαθμός επιρροής του ανέμου εξαρτάται από την κατεύθυνση του και άνεμος με αντίθετη ή εγκάρσια κατεύθυνση με αυτή των ηχητικών κυμάτων μπορεί να προκαλέσει απόσβεση ακόμα και 20dB. Επίσης, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το υψόμετρο. Η θερμοκρασία προκαλεί παρόμοια αποτελέσματα με τον άνεμο με τη βασική διαφορά όμως ότι η θερμοκρασία επηρεάζει ακτινωτά προς όλες τις κατευθύνσεις **Σχήμα 9**. Η υψηλή θερμοκρασία της ατμόσφαιρας συνεπάγεται υψηλή ταχύτητα διάδοσης του ήχου και ανομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής έντασης. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται στις πλαγιές, σε ανοικτά, επίπεδα κατά την διάρκεια της ημέρας (ανοδικά ρεύματα αέρα με θερμικές εκπομπές από το έδαφος), ταμιευτήρες νερού, μηχανολογικές εγκαταστάσεις, ανθρώπινο πλήθος κλπ



Σχήμα 9. Η επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών στη διάδοση του ήχου ως προς την καμπύλωση των κυμάτων και την ταχύτητα μετάδοσης. Πηγή: (Kjaer, 2016).

Η απόσταση επηρεάζει την απομείωση σε σχέση με τη συχνότητα όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 12**.

Η υγρασία της ατμόσφαιρας περιορίζει την ηχοαπορρόφηση κατά την ηχοδιάδοση σε ανοικτό πεδίο στις υψηλές συχνότητες. Η μέγιστη ηχοαπορροφητική ικανότητα του αέρα αντιστοιχεί σε πυκνότητα υδρατμών γύρω στα $1,5-4 \text{ gr/m}^3$ στις υψηλές συχνότητες. (Μπάρκας, 2014). Η υγρασία



Διάγραμμα 12. Σχέση απόστασης από την πηγή, συχνότητας και ηχητικής απομείωσης. Πηγή: (Kjaer, 2016).

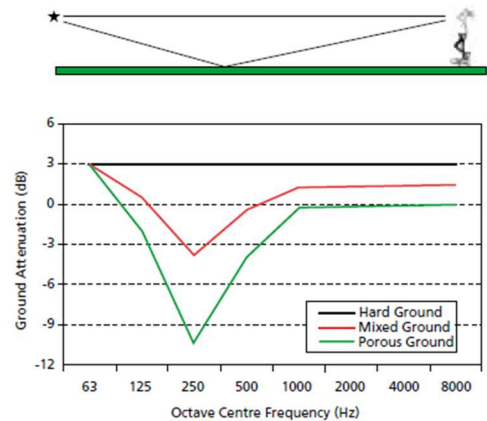
μαζί με τη θερμοκρασία T του αέρα: $c=332\sqrt{(1+T/273)}$ επηρεάζουν την ταχύτητα του ήχου όπως φαίνεται στον **Πίνακα 1**.

Πίνακας 1. Σχέση θερμοκρασίας με ταχύτητα του ήχου και σχετική υγρασία. Πηγή: (Engineering, 2003)

Θερμοκρασία (°C)	Ταχύτητα του ήχου (m/s)								
	Σχετική υγρασία (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	331.5	331.5	331.5	331.6	331.6	331.6	331.7	331.7	331.7
5	334.5	334.6	334.6	334.7	334.7	334.7	334.8	334.8	334.9
10	337.5	337.6	337.7	337.7	337.8	337.9	337.9	338.0	338.0
20	343.5	343.6	343.7	343.9	344.0	344.1	344.2	344.4	344.5
30	349.4	349.6	349.9	350.1	350.3	350.5	350.8	351.0	351.2

Σημαντικές μεταβολές παρατηρούνται από φαινόμενα όπως ο υετός και η χιονόπτωση η οποία αυξάνει την απομείωση του ήχου από το έδαφος και επηρεάζει τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κοντά σε αυτό. Υπό τέτοιες συνθήκες οι μετρήσεις συνήθως αποφεύγονται και για αποστάσεις ηχοδιάδοσης μεγαλύτερες των 100 μέτρων.

Η απορρόφηση από την επιφάνεια του εδάφους παίζει και αυτή σημαντικό ρόλο στην ηχοδιάδοση κυρίως στις χαμηλές συχνότητες. Όταν το έδαφος είναι σκληρό, τα ηχητικά κύματα συναντώνται με τα ανακλώμενα από την επιφάνεια ακυρώνοντάς τα αυξάνοντας την απομείωση του ήχου σε κάποιες περιπτώσεις ανάλογα με το φάσμα συχνοτήτων (destructive interference). Γενικά όμως παρατηρείται χρονική καθυστέρηση, μεταβολή έντασης και αλλαγή φασματικής σύνθεσης ανάμεσα στα κύματα (constructive interference). Ενώ όταν πρόκειται για μαλακές



Διάγραμμα 13 Επίδραση της επιφάνειας του εδάφους σε σχέση με τις συχνότητες, σε απόσταση 100m ανάμεσα στον πομπό και δέκτη που σε ύψος 2 m Πηγή: (Kjaer, 2016)

επιφάνειες, τα ηχητικά κύματα απορροφώνται προκαλώντας πάλι απομείωση (Μπάρκας, 2014). Το έδαφος συνυπολογίζεται στις απομειώσεις και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες **Διάγραμμα 13.**

- Σκληρό όπως σκυρόδεμα και νερό.
- Μαλακό όπως δέντρα, γρασίδι, δάσος.
- Σύνθετο όπου συνδυάζονται οι παραπάνω δύο κατηγορίες.

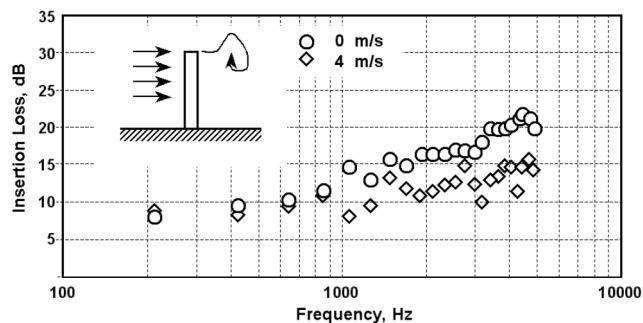
Η απόσταση της πηγής από τον δέκτη παίζει σημαντικό ρόλο όταν δεν παρεμβάλλονται εμπόδια και το έδαφος δεν επηρεάζει σημαντικά. Σε αυτήν την περίπτωση ισχύει ο νόμος του ανάποδου τετραγώνου όπως προαναφέρθηκε όπου αύξηση της απόστασης επιφέρει μείωση

της ηχητικής έντασης **Σχήμα 2**. Η τοπογραφία της περιοχής, η γεωγραφική της θέση και άλλοι τοπικοί παράγοντες όπως φυσικά ή τεχνητά εμπόδια όπως ηχοφράκτες και ψηλά κτίρια επηρεάζουν και αυτά την ηχοδιάδοση προκαλώντας φαινόμενα υπο πίεσης σε κοντινές αποστάσεις και ανομοιόμορφες κατανομές της ηχητικής έντασης **Διάγραμμα 14**. (Arenas, 2006). Τα φυσικά και τεχνητά εμπόδια για να υπολογιστεί πόσο απομειώνουν τον θόρυβο χρησιμοποιούνται τύποι που βασίζονται στην περίθλαση και την επιρροή της όπως στην **Εξίσωση (7)** θεωρητικά ή πρακτικά με τη διαφορά των SPL σε ένα σημείο πίσω από το εμπόδιο και στην ίδια απόσταση από την πηγή χωρίς το εμπόδιο πρακτικά **Εξίσωση (9)**.

$$IL = \text{SPL without barrier} - \text{SPL with barrier} \quad (9)$$

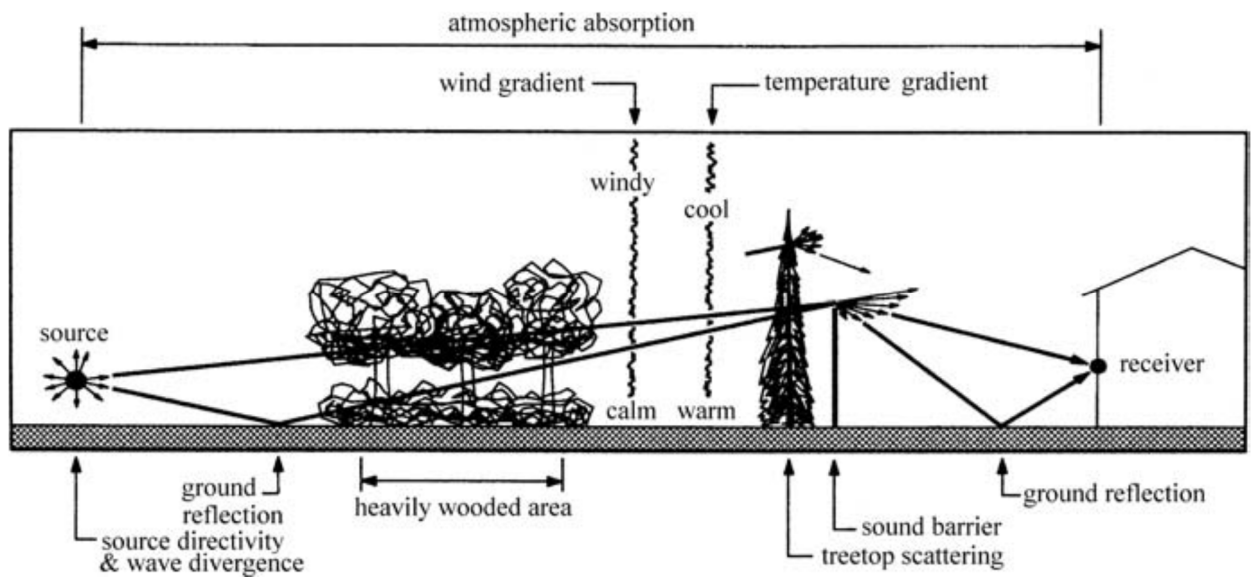
Όπου: SPL without barrier: επίπεδο ηχητικής στάθμης χωρίς το ηχοπέτασμα

SPL with barrier: επίπεδο ηχητικής στάθμης με το ηχοπέτασμα



Διάγραμμα 14. Η επιρροή του ανέμου στην απόδοση του ηχοφράκτη. Η IL ενός ηχοφράκτη μπορεί να είναι μειωθεί όσο 10 dB σε ορισμένες συχνότητες, για ταχύτητα ανέμου πάνω από 4 m/s ή 14,4km/h. Πηγή: (Arenas, 2006)

Όσο αφορά τον ίδιο τον ήχο ή τον θόρυβο σημαντικό ρόλο στην απομείωση του παίζει το είδος την πηγής, αν είναι σημειακή όπως ένα όχημα σε στάση ή γραμμική όπως ένα όχημα σε κίνηση οπότε χρειάζεται μεγαλύτερου μήκους εμπόδια για να περιοριστεί και γι'αυτό η απομείωσή του παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία. Επίσης, άλλος σημαντικός παράγοντας που αφορά τον ίδιο τον ήχο είναι το φάσμα συχνοτήτων στο οποίο ανήκει. Μεγαλύτερη συχνότητα σημαίνει μικρότερο μήκος κύματος και επομένως είναι ευκολότερος ο περιορισμός του με μικρότερα εμπόδια.



Σχήμα 10. Ηχοδιάδοση σε εξωτερικό χώρο και τα φαινόμενα που παρατηρούνται. Πηγή: (Anderson GS, 1992)

1.7 ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Τα ηχοπετάσματα είναι σταθερά εμπόδια, τα οποία τοποθετούνται ανάμεσα στην πηγή του θορύβου και τον δέκτη δημιουργώντας μία ηχητική σκιά όπου ο ήχος μειώνεται σημαντικά. Η επιτυχία και αποτελεσματικότητα ενός ηχοπετάσματος εξαρτάστε από πάρα πολλούς παράγοντες. Γενικά, για να είναι αποτελεσματικό ένα ηχοπέτασμα απαιτεί την εξαντλητική διερεύνηση των αρχικών και οριακών συνθηκών της ηχοδιάδοσης. Για παράδειγμα είναι απαραίτητη η μελέτη του τύπου της πηγής θορύβου όπως αν είναι σημειακή ή γραμμική όπως η κυκλοφορία που θεωρείται γραμμική πηγή απείρου μήκους και το φάσμα των συχνοτήτων του θορύβου όπου όσο πιο υψηλή είναι η συχνότητα τόσο πιο χαμηλό το μήκος κύματος επομένως απαιτείται χαμηλότερου ύψους εμπόδιο. Επίσης, είναι σημαντική η γνώση αν οι επιφάνειες γύρω από την πηγή και τον δέκτη είναι μαλακές απορροφητικές ή σκληρές και ανακλαστικές και αν η αναλογία βάρους με εμβαδό επιφάνειας είναι ικανή να μειώσει κατά 10 dB(A) το θόρυβο. Όσο πιο στενός είναι ένας δρόμος και πιο ψηλά τα κτίρια, δημιουργώντας αστικά φαράγγια, τόσο υψηλότερη είναι η στάθμη θορύβου πιθανόν από τις αλληπάλληλες ανακλάσεις πάνω στις σκληρές επιφάνειες δημιουργώντας μία διαφορά ακόμα και 10 dB(A) σε σχέση με έναν δρόμο σε ανοιχτό περιβάλλον. (Κοφίτσας, 1997)

Ανάλογα με τον τρόπο μείωσης του θορύβου που ακολουθούν διακρίνονται σε τέσσερις γενικές κατηγορίες:

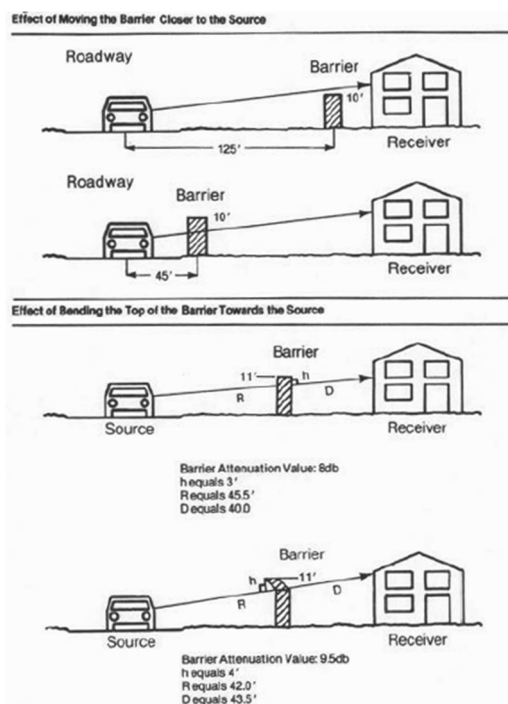
- Ηχοπετάσματα ανάκλασης
- Ηχοπετάσματα απορρόφησης
- Ηχοπετάσματα διασποράς ήχου
- Ηχοπετάσματα ειδικής διαμόρφωσης της κορυφής

Ανάλογα με τον σχεδιασμό τους χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Απλά και σύνθετα ανακλαστικά ηχοπετάσματα
- Απλά και σύνθετα ηχοαπορροφητικά ηχοπετάσματα
- Ηχοπετάσματα με εγκάρσια διαμόρφωση κορυφής
- Ηχοπετάσματα με περιοδική διαμόρφωση κορυφής Διπλά ηχοπετάσματα
- Κεκλιμένα ηχοπετάσματα
- Χωμάτινα αναχώματα
- Απλά και σύνθετα φυτικά πετάσματα
- Ηχοπετάσματα πλήρους κάλυψης ή ημικάλυψης

Όσο αφορά το ύψος ενός ηχοπετάσματος, για να είναι επαρκές πρέπει να είναι μεταξύ 2 και 6m εκτός από ειδικές περιπτώσεις όπου μπορεί να γίνει χρήση ηχοπετάσματος ύψους μικρότερου των 2 m αλλά τοποθετημένο πολύ κοντά στην

πηγή **Σχήμα 11** ή μεγαλύτερο των 6m σε σημείο που δεν εμποδίζει τη συνέχεια του αστικού ιστού, έτσι ώστε να επιτευχθεί μια ικανοποιητική απομείωση της τάξεως των 10-12dB(A), Μία απομείωση της τάξης των 15dB(A) θεωρείται οριακή λόγω περίθλασης. Η απομείωση του θορύβου από ένα ηχοπέτασμα μπορεί να φτάσει στα 20dB με την κατασκευή βαθμιδωτών κτιριακών κατασκευών των 5m ύψους όπως φαίνεται στον **Πίνακας 2**.

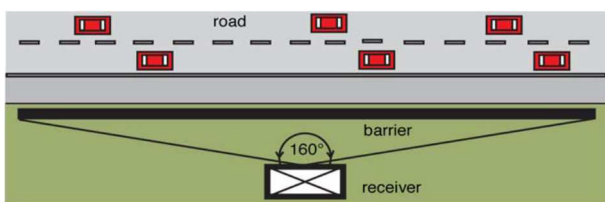


Σχήμα 11 Αποτελεσματικότητα του ηχοφράγματος σε σχέση με την διατομή του και την απόσταση από την πηγή θορύβου. Πηγή: (Development, 2002)

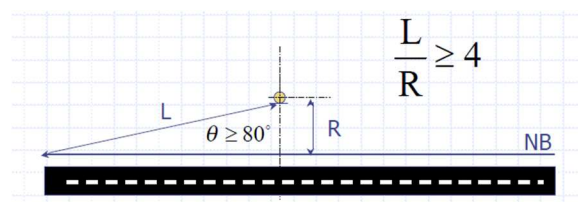
Πίνακας 2 Βαθμός δυσκολίας ηχητικής απομείωση ηχοφράκτη. Πηγή: (RTA, 2001)

Μείωση του ηχητικού επιπέδου	Μείωση της ηχητικής ενέργειας	Βαθμός δυσκολίας
5 dBA	70%	Απλό
10 dBA	90%	Εφικτό
15 dBA	97%	Πολύ δύσκολο
20 dBA	99%	Σχεδόν αδύνατο

Όσο αφορά στο μήκος ηχοπετασμάτων κυρίως σε οδικές αρτηρίες, πρέπει να σχηματίζεται γωνία τουλάχιστον 160° ανάμεσα στα πλευρικά τους όρια και τον ακουστικό δέκτη για να είναι προστατευμένος λόγω περίθλασης **Σχήμα 12** ή αλλιώς η απόσταση του δέκτη από τα πλευρικά όρια του ηχοπετάσματος πρέπει να είναι τουλάχιστον τέσσερις φορές μεγαλύτερα από την κάθετη απόσταση ανάμεσα στον δέκτη και το ηχοπέτασμα **Σχήμα 13** ή κατά τον Jorge P. Arenas, το μήκος του ηχοπετάσματος πρέπει να είναι 8 φορές μεγαλύτερο από την απόστασή του από τον δέκτη (Arenas, 2006). Επίσης, το μήκος μπορεί να μειωθεί εφόσον τα πλάγια όρια αποκτήσουν κλίση αντίθετα από τον δρόμο όπως φαίνεται στη δεύτερη σειρά και δεύτερη στήλη στο **Σχήμα 14**.

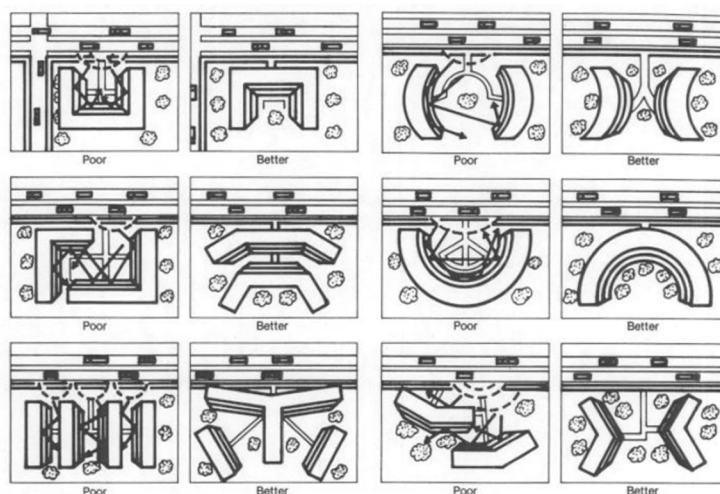


Σχήμα 12 Αποτελεσματικότητα του ηχοφράκτη σε σχέση με το μήκος του και την απόσταση από τον δέκτη. Πηγή: (Kotzen & English, 2009)



Σχήμα 13. Το μήκος ενός ηχοπετάσματος πρέπει να είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το ύψος του. (Horoshenkov, 2014)

Στο ίδιο **Σχήμα 14** φαίνονται επίσης οι κατόψεις ηχοπετασμάτων ή κτιρίων γεωμετρικών σχημάτων όπως ημισφαίριο, πρίσμα και παραλληλεπίπεδο τοποθετημένα παράλληλα προς την γραμμική πηγή θορύβου και με τις κυρτές επιφάνειες απέναντί της, λειτουργούν ως ηχοδιαχυτές. Η τοποθέτηση της κοίλης επιφάνειας απέναντι από την οδική αρτηρία, εγκλωβίζει τις ακτίνες του ήχου αυξάνοντας την ηχητική ενέργεια και την όχληση. Όλες αυτές οι μορφές πρέπει να έχουν επίσης σκοπό την ανάδειξη του τοπίου και την αισθητική αναβάθμισή του.



Σχήμα 14. Διαφορετικές διατάξεις τοποθέτησης των κτιρίων για την αποφυγή του κυκλοφοριακού θορύβου. Πηγή: (Development, 2002)

Ένα ηχοπέτασμα για να θεωρηθεί κατάλληλο και αποτελεσματικό πρέπει, ακόμη να πληροί προϋποθέσεις όπως η ασφάλεια, η προσβασιμότητα⁶ και η αντοχή στο χρόνο. Τα υλικά κατασκευής πρέπει να είναι φτηνά και η κατασκευή φτηνή γρήγορη και εύκολη στη συντήρηση. Επίσης, πρέπει να είναι πυράντοχα για να εμποδίζουν την διάδοση των πυρκαγιών σε ευαίσθητες περιοχές και να αντέχουν σε ακραίες μικροκλιματικές συνθήκες.

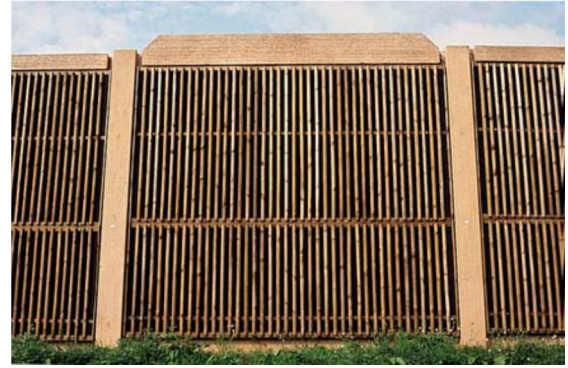
Όσο αφορά το οικονομικό κομμάτι, επειδή το κόστος για την κατασκευή, τη συντήρηση και επισκευή κατά την επιθυμητή διάρκεια λειτουργίας του ηχοπετάσματος που είναι τα 40 χρόνια πρέπει να είναι χαμηλό, η επιλογή των κατάλληλων υλικών για την κατασκευή του είναι σημαντική. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα αποτελεσματικό ηχοπέτασμα που μειώνει το θόρυβο κατά 10 dB(A) απαιτεί τη χρήση βαρέων υλικών που η μάζα να είναι πάνω από 10 έως 20 Kg/m² της κάθετης επιφάνειας σύμφωνα με το ISO 9613-2 η διαδικασία επιλογής γίνεται ακόμα πιο κρίσιμη. Μερικά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι μεταλλικού τύπου όπως ατσάλι και αλουμίνιο τα οποία απορροφούν και ανακλούν τον θόρυβο, διαφανή όπως πολυκαρβονικά, σκυρόδεμα απλό ή οπλισμένο ανακλαστικού ή απορροφητικού τύπου, τούβλα συμπαγή και διάτρητα ανακλαστικού και απορροφητικού τύπου, εδαφικά υλικά όπως αναχώματα και πρανή, φυτικά υλικά όπως θαμνώδης βλάστηση και διάφοροι συνδυασμοί. Από αυτά τα υλικά, προτιμώνται το σκυρόδεμα, το ξύλο, το μέταλλο, το πλαστικό και οι συνδυασμοί τους **Εικόνα 2, 3, 4, 5**.

Στις Η.Π.Α. για παράδειγμα, μέχρι το 1998 οι περισσότεροι ηχοφράκτες κατασκευάζονταν από σκυρόδεμα ή οικοδομικά τούβλα σε ύψος 3-5m ενώ μόλις το 1,5% κατασκευάζονταν από ηχοαπορροφητικά υλικά **Γράφημα 2** γιατί προσφέρουν μειωμένη συντήρηση ενώ άλλα υλικά όπως τα διαφανή είναι επιρρεπή σε βανδαλισμούς, ατμοσφαιρική ρύπανση, καιρικές συνθήκες και προκαλούν προβλήματα στην ορνιθοπανίδα λόγω της διαφάνειάς τους. Γι' αυτό σε κάποιες χώρες δοκιμάζονται τα υλικά ως προς τις θραύση τους ενώ για την ασφάλεια των πτηνών προστίθενται μοτίβα ή επιλέγεται χρωματιστή πρώτη ύλη. (Kotzen and English, 2009)

⁶ Πίσω από το πέτασμα προβλέπεται πάντα μία ελεύθερη ζώνη για επιθεώρηση αλλά και για χρήση από τους πεζούς και τους ποδηλάτες.



Εικόνα 2. Συνδυασμός ξύλινου ηχοπετάσματος με φυτεμένη κατασκευή με τη μορφή κατακόρυφου κήπου. Πηγή: (Kotzen and English, 2009)



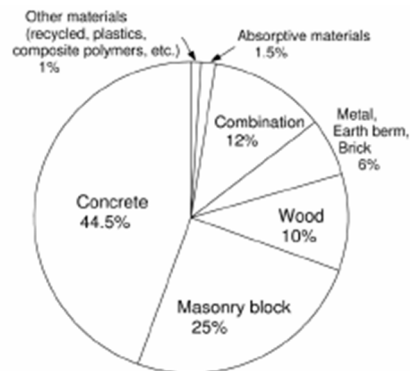
Εικόνα 3. Ηχοφράκτης από ξύλο και κολώνες σκυροδέματος με διακοσμητικά στοιχεία στο τελειώμά του. Πηγή: (Kotzen and English, 2009)



Εικόνα 4. Φυσική φύτευση πάνω σε ανάχωμα για την καλύτερη ενσωμάτωση στο περιβάλλον της υπαίθρου. Πηγή: (Kotzen and English, 2009)



Εικόνα 5 . Ηχοπέτασμα σύνθετης διατομής και υλικών Πηγή: (Kotzen and English, 2009)



Γράφημα 2. Παρουσιάζει την ποσοστιαία ανάλυση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ηχοφρακτών στις Η.Π.Α. Πηγή: (Arenas, 2006)

1.8 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΦΡΑΚΤΩΝ ΩΣ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Τα φυτικά ηχοπετάσματα με τη μορφή συστημάτων πρασίνου και ζωνών φύτευσης αποτελούν αδιαμφισβήτητα, σημαντική προσθήκη στο αστικό, περιαστικό ή αγροτικό περιβάλλον συνεισφέροντας στην εξυγίανσή του σε διάφορους τομείς, βελτιώνοντας το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων, αναβαθμίζοντας την ποιότητα ζωής τους και ανεβάζοντας την αξία της γης.

Τα φυτικά ηχοπετάσματα δεν κατακερματίζουν τη δομή του αστικού ιστού με ογκώδη μπετονένια ή μεταλλικά εμπόδια όπως είναι οι συμβατικοί ηχοφράκτες. Δεν ευνοούν τους βανδαλισμούς, την αφισοκόλληση και τα παράνομα γκράφιτι και δεν κινδυνεύουν από κλοπή όπως συμβαίνει ειδικά σε περιπτώσεις χρήσεις πλαστικών και μεταλλικών πετασμάτων. Επηρεάζουν θετικά το μικροκλίμα και την ατμόσφαιρα της περιοχής. Η φυτική μάζα δεν έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα όπως τα συμπαγή υλικά και δεν συμβάλουν στη δημιουργία θερμικών νησίδων που ανεβάζουν τη θερμοκρασία της περιοχής. Επίσης, συγκρατούν και φιλτράρουν τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και συμβάλουν στην αντιμετώπιση την ανεξέλεγκτη απορροή των όμβριων υδάτων σε κακοκαιρίες.

Οι φυτοφράκτες είναι η πιο ασφαλής λύση για τα οχήματα κατά την κυκλοφορία τους. Οποιαδήποτε πρόσκρουση πάνω σε ηχοπέτασμα μεγάλης μάζας, όπως είναι τα συμβατικά, μπορεί να αποβεί μοιραία για τους επιβάτες σε αντίθεση με την πρόσκρουση πάνω σε φυτική μάζα. Δεν προκαλούν θάμπωση των οδηγών όπως προκαλείται από την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε πλαστικά ή μεταλλικά ηχοπετάσματα που δυσκολεύει στην ασφαλή οδήγηση. Δεν προκαλούν φαινόμενα ανάκλασης του ήχου και αντήχησης αλλά σκέδασης και απορρόφησης. Η σκέδαση είναι επιθυμητή και αναβαθμίζει ποιοτικά τον ήχο γενικά.

Η ανάκλαση και η αντήχηση παρατηρούνται στα αστικά φαράγγια, τις σήραγγες και τις οδικές αρτηρίες εκατέρωθεν των οποίων αναπτύσσονται ηχοπετάσματα σε μεγάλο μήκος. Κυρίως τους θερινούς μήνες, όταν οι οδηγοί των οχημάτων, κατά την διάρκεια της οδήγησης, έχουν ανοιχτά τα παράθυρα, τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα μπορούν να προκαλέσουν αποπροσανατολισμό με επικίνδυνες επιπτώσεις για την υγεία και την ασφάλειά τους.

Οι φυτοφράκτες επηρεάζουν θετικά την ψυχολογία των κατοίκων. Ο Perfater (1979) παρατήρησε ότι όταν οι φυτοφράκτες κατά μήκος οδικών αρτηριών αντικαταστάθηκαν από συμβατικούς μεγάλης μάζας οι κάτοικοι ένιωθαν ότι οι πρώτοι ήταν πιο αποτελεσματικοί το οποίο μπορεί να οφείλεται στη συσχέτιση της ψυχοακουστικής με το αισθητικό αποτέλεσμα που προσφέρουν τα φυτά ή στη βελτίωση του ηχητικού περιβάλλοντος λόγω της σκέδασης

που προκαλούν και αναβαθμίζει την ποιότητα του ήχου, όπως προαναφέρθηκε. (Bucur, 2006) Δύο σημαντικοί παράγοντες της βλάστησης οι οποίοι δε λαμβάνονται υπόψη όσο σοβαρά θα έπρεπε, είναι ο αισθητικός και ψυχολογικός. Για παράδειγμα, όταν μειώνεται η οπτική επαφή ανάμεσα στην πηγή του θορύβου και τον δέκτη μειώνεται και ο βαθμός όχλησης. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται "visible screening effect" . (Agency, 1972)

Τέλος, είναι μία πιο οικονομική λύση σε σχέση με τα συμβατικά ηχοπετάσματα αν επιλεγούν τα κατάλληλα φυτά, αυτόχθονα αειθαλή ανθεκτικά είδη, τα οποία θα αναπτυχθούν στο κατάλληλο μέγεθος και θα αναπτύξουν την απαραίτητη φυτική μάζα. Ωστόσο, απαιτούνται περιοδικές επισκέψεις, συντήρηση και περιποίηση της φυτικής μάζας που μακροχρόνια έχει κάποιο μικρό οικονομικό κόστος. (Arenas, 2006)

Όσο αφορά τα μειονεκτήματα, υπάρχουν πολλές αιτίες για τις οποίες οι φυτοφράκτες μπορεί να θεωρηθούν ανεπαρκής λύση για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης και στις περισσότερες περιπτώσεις φταίνε οι λάθος πρακτικές που ακολουθούνται που δεν επιτρέπουν στην βλάστηση να γίνει αρκετά υψηλή, επιμήκης με πυκνό φύλλωμα αλλά και αρκετά πλατιά για να μπορέσει να εμποδίσει τη διάδοση του θορύβου.

Ένα μειονέκτημα είναι η δυσκολία στη διατήρηση της καλής κατάστασης του φυτοφράκτη. Τα φυτά μπορεί να μην αναπτυχθούν επαρκώς λόγω ακατάλληλου εδάφους και μη ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών. Για αυτό το λόγο είναι προτιμότερο να επιλέγονται ενδημικά φυτικά είδη, χαμηλής συντήρησης που μπορούν να ανταπεξέλθουν καλύτερα στις υφιστάμενες κλιματικές, εδαφικές συνθήκες αλλά και υψηλούς ρύπους.

Επίσης, φυτικές ασθένειες και εχθροί που δεν αντιμετωπίστηκαν, μπορούν να μειώσουν τον όγκο, τη φυτική μάζα και τη φυλλική επιφάνεια και η αποκατάστασή της απαιτεί χρόνο πέρα από τις απαραίτητες παρεμβάσεις. Ένα διάτρητο εμπόδιο επιτρέπει να διαρρέουν οι υψηλής συχνότητας θόρυβοι όπως αυτοί που προέρχονται από ένα δίκυκλο τροχοφόρο ή ένα όχημα το οποίο κινείται σε υψηλή ταχύτητα αλλά και χαμηλών συχνοτήτων στις οποίες ανήκει κυρίως ο κυκλοφορικός θόρυβος όπου τα μεγάλα ηχητικά κύματα περιθλώνται πάνω, κάτω και από τα πλάγια της φυτικής μάζας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η θαμνώδης ή δεντρώδης βλάστηση είναι αραιά φυτεμένη και δεν ξεκινάει από το έδαφος ή είναι φυλλοβόλα, με αποτέλεσμα ο ήχος να μη βρίσκει συνεχές εμπόδιο στην διαδρομή διάχυσής του και δεν αναπτύσσεται σε πλάτος και μήκος λόγω έλλειψης δημόσιου χώρου. Επίσης, δεν επιτρέπεται η μεγάλη καθ' ύψος και κατά πλάτος ανάπτυξη για να διατηρείται η κινητικότητα και προσβασιμότητα αλλά και η οπτική συνέχεια μεταξύ δρόμου και πεζοδρομίου για λόγους δημόσιας ασφάλειας, αποφυγή θυλάκων

εγκληματικότητας, των περιπατητών και ποδηλατών. Παράδειγμα αποτελεί η πικροδάφνη (*Nerium oleander*) που ευδοκιμεί σε όλα τα εδάφη ακόμα και σε παραθαλάσσια, δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα από την αλατότητα των υδροσταγονιδίων της θάλασσας, σε ηλιόλουστα και ημισκιερά σημεία, ανθεκτική στους ανέμους, μπορεί να φτάσει σε ύψος τα 4 μέτρα όμως κλαδεύεται συνήθως σε ύψος όσο περίπου τον ύψος του ανθρώπου για τους λόγους που προαναφέρθηκαν

Στις περιπτώσεις σύνθετης κατασκευής όπου συνδυάζεται το συμβατικό ηχοπέτασμα με φύτευση, το ριζικό σύστημα των φυτών μπορεί σε βάθος χρόνου, να προκαλέσει αλλοίωση στη θεμελίωση του σταθερού ηχοπετάσματος εφόσον πρόκειται για συστοιχία δέντρων καθώς και φθορές στο υπέργειο τμήμα του εφόσον πρόκειται για αναρριχόμενα φυτά.

Τέλος, η θεωρητική και πειραματική έρευνα που έχει γίνει μέχρι τώρα δεν επαρκεί για την πλήρη κατανόηση και εξήγηση όλων των φαινομένων που παρατηρούνται κατά την ηχοδιάδοση στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον γιατί οι μετρήσεις έχουν γίνει σε φυτοφράκτες ακατάλληλους για τη συγκεκριμένη χρήση, σε πειραματικές διατάξεις με γλάστρες, σε δάση όπου παρατηρούνται πολύπλοκα φαινόμενα που καταλήγουν ακόμα και στην αύξηση του ήχου και σε μεγάλες αποστάσεις από την φυτική μάζα.

Τέλος, σε περίπτωση έντονου ανέμου το θρόισμα των φύλλων μπορεί να ανεβάσει τα επίπεδα θορύβου μέχρι και 20dB(A) το οποίο καθιστά το φυτικό υλικό πηγή θορύβου και όχι επίλυσή του.

Όλες οι παραπάνω αιτίες καθιστούν προβληματική την χρησιμοποίηση της δημόσιας βλάστησης για την διερεύνηση των δυνατοτήτων της ως ηχοπροστατευτικό μέσο. (Bucur, 2006)

1.9 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Τα αποτελέσματα στη μέχρι τώρα έρευνα είναι πολλές φορές διαφορετικά και αλληλοσυγκρουόμενα. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως στη χρήση δασώδους βλάστησης και παρόδιας βλάστησης για τις μετρήσεις η οποία δεν πληροί της προϋποθέσεις φυτουγείας, φυτομάζας, αποστάσεων και διαστάσεων. Επίσης, το ηχομέτρο πίσω από τον φυτικό εμπόδιο τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από αυτόν με αποτέλεσμα να παρεμβάλλονται και άλλοι παράγοντες απομείωσης που επηρεάζουν τη μέτρηση. Τέλος, οι μετρήσεις είναι μεγάλης χρονικής διάρκειας με αποτέλεσμα να παρεμβάλλονται θόρυβοι από διαφορετικές πηγές, μη ελεγχόμενο ηχητικά περιβάλλον και τα οχήματα είναι σε κίνηση και όχι σε στάση οπότε η περίθλαση είναι

δεδομένο ότι επηρεάζει όλες τις μετρήσεις που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον φυτοφράκτη.

Μπορούμε να συνοψίσουμε σε τέσσερα σημαντικά συμπεράσματα όσο αφορά την αποτελεσματικότητα της βλάστησης στην απομείωση του ήχου και κατ' επέκταση του θορύβου. Πρώτον, τα φυλλοβόλα δέντρα και θάμνοι με φύλλα φαρδιά, δερματώδη, παχιά, με έντονη υφή και πυκνά λειτουργούν καλύτερα στην απομείωση του ήχου από τα κωνοφόρα τα οποία όμως είναι ναί μεν λιγότερο αποτελεσματικά ως προς την αρχιτεκτονική του φύλλου τους, είναι λεπτά και στρέφονται κάθετα στα ηχητικά κύματα, αλλά λειτουργούν σταθερά ως ηχοφράκτες καθόλη τη διάρκεια του χρόνου διατηρώντας τη βιομάζα τους.

Δεύτερον, η απομείωση του θορύβου είναι μεγαλύτερη όταν η κάλυψη από τα δέντρα συνδυάζεται με υψηλής πυκνότητας θάμνους και άλλα εδαφοκαλυπτικά φυτά και το έδαφος είναι μαλακό σε όλη του την επιφάνεια. Επίσης, είναι επιθυμητή η ποικιλομορφία των ειδών από κωνοφόρα και αειθαλή δέντρα και θάμνους με διαφορετική αρχιτεκτονική, σχήματα και ύψη και διαφορετική διάταξη φύτευσης όπως sonic crystals, σχήμα σκακιάρας και stop bands. (Bucur, 2006; Κοφίτσας, 1997)

Τρίτον, ανεξάρτητα αν πρόκειται για φυτικό εμπόδιο στον θόρυβο ή τεχνητό είναι σημαντικό να επιλέγεται σωστά η κατάλληλη απόσταση από την πηγή όχλησης για να βρίσκεται ο διερχόμενος δέκτης μέσα στα όρια της ηχητικής σκιάς. Όσο πιο κοντά στην πηγή του θορύβου βρίσκεται η φυτική σύνθεση τόσο καλύτερα είναι τα αποτελέσματα ενώ στη μέση της απόστασης ανάμεσα στην πηγή και τον δέκτη είναι η χειρότερη θέση για την τοποθέτησή του.

Τέταρτον, η βλάστηση είναι πολύ χρήσιμη για να μειώνει ήχους υψηλών συχνοτήτων οι οποίοι είναι οι πιο ενοχλητικοί σε σχέση με τους ήχους χαμηλών συχνοτήτων που δύσκολα απομειώνονται από τη φυτική βλάστηση **Διάγραμμα 15**. (Fricke, 1982; Fricke, 1984)

Τα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά τη διάδοση του θορύβου μέσα από τη βλάστηση εξαρτώνται από την κεντρική συχνότητά του αλλά και τα μεγέθη, υφές, πυκνότητα εμποδίων που συναντά και τα καθιστά λιγότερο ή περισσότερο αποτελεσματικά στην απομείωσή του. Αυτά είναι η απορρόφηση του ήχου από την θερμική τριβή ή ιξώδες διαφόρων υλικών (φύλλα, κορμό), η περίθλαση στα όρια των επιφανειών, η διάχυση, η διάθλαση, η αντήχηση, η ανάκλαση και ο συντονισμός πάνω στα φύλλα, στα κλαδιά, στους καρπούς, στα άνθη και στους κορμούς .

Οι γαλλικοί κανονισμοί (Guide de bruit des Transport Terrestres), βασισμένοι στα αποτελέσματα του εθνικού κέντρου δασικών ερευνών της Γαλλίας δέχονται ότι οι ζώνες πρασίνου μπορούν να επιτύχουν σημαντικές μειώσεις του κυκλοφοριακού φόρτου κατά 5-10

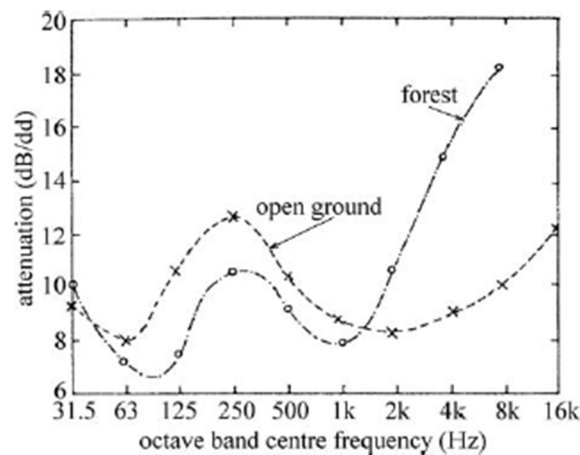
dB(A) ανά 10 μέτρα φύτευσης. (Αρμπης, 2010) Παρόλα αυτά, η περίπτωση του δάσους εγείρει τις αμφιβολίες των επιστημόνων ως προς την αποτελεσματικότητά του για ηχοπροστασία. Σύμφωνα βέβαια, με την πλειοψηφία των επιστημόνων όπως Kotzen και English, Jackson το 1979, πανεπιστήμια και φορείς των Η.Π.Α. από το 1968 και έπειτα, 30 μέτρα πυκνής φύτευσης συνδυασμού υψηλών δέντρων και θαμνώδους βλάστησης μπορούν να προσφέρουν μία ηχητική απομείωση της τάξης των 6-8 dB όπου μέχρι 250Hz και πάνω από 1-3kHz συχνότητες θορύβου συνεισφέρουν τα δέντρα και για συχνότητες ενδιάμεσες συνεισφέρουν τα κατώτερα στρώματα της βλάστησης. Ο Βογιατζής υποστηρίζει ότι η βλάστηση δεν επαρκεί γιατί θεωρεί ότι η βλάστηση μπορεί να προστατέψει μέχρι το ύψος 1,50-1,80 μέτρα. (Βογιατζής, 1990)

Ο Eyring's (1946) πρώτος ξεκίνησε την έρευνα για τον συσχετισμό θορύβου και βλάστησης και μελετώντας τα τροπικά δάση ανακάλυψε ότι το φύλλωμα παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην απομείωση του ήχου. Οι Marten και Marler το 1977 και αυτοί διαπίστωσαν χαμηλότερα επίπεδα απομείωσης στο φάσμα συχνοτήτων ανάμεσα στο 1-10kHz για ηχητική μετάδοση στα 10m πάνω από το έδαφος σε φυλλοβόλα δέντρα χωρίς φύλλα σε σύγκριση με τα ίδια δέντρα στη βλαστητική τους περίοδο. Ο Aylor το 1972 μετά από θεωρητική έρευνα κατέληξε σε μία μαθηματική σχέση που υπολογίζει την αναμενόμενη μείωση του θορύβου σε dB(A) σε σχέση με το μήκος της φύτευσης, τη συνολική επιφάνειά της, τη συχνότητά του, την πυκνότητα και ταχύτητα του αέρα. (Αρμπης, 2010) Οι Piercy and Daigle (1998) παρατήρησαν ότι η απόσβεση του ήχου κατά τη μετάδοσή του μέσα από τον θόλο του δέντρου αυξάνεται γραμμικά με την απόσταση όπως και οι Martens(1981), ISO 9613-2(1996), Lyon (1977) κ.α.

Ο Yamada επίσης, το 1977, πρότεινε μία θεωρητική προσέγγιση για τη μέτρηση της απορρόφησης ενέργειας η οποία εξαρτάται από την φυλλική επιφάνεια, την κυκλική συχνότητα του φύλλου, τη συχνότητα διέγερσης του ήχου, το δυναμικό ιξώδες και την πυκνότητα του αέρα. Ο Martens (Martens, 1980) παρατήρησε ότι η μέγιστη απομείωση παρουσιάζεται όταν η διάσταση του φύλλου ισούται με το μισό μήκος του ηχητικού κύματος. Αυτό σημαίνει ότι φύλλα διαστάσεων από 1,7 έως 3,3cm μπορούν αν αποσβέσουν ήχους με συχνότητα στα 10kHz.

Ο (Fricke 1984) παρατήρησε ότι η σκέδαση είναι πιο σημαντική από την απορρόφηση στις μεσαίες συχνότητες γύρω στο 1kHz και η απορρόφηση αποκτάει σημασία στις υψηλές συχνότητες. (Bucur, 2006) Στα 200Hz το έδαφος επηρεάζει στο μέγιστο την απόσβεση του ήχου και στα 10kHz επηρεάζει στο μέγιστο η στέψη, τα κλαδιά και το φύλλωμα, το πείραμα πραγματοποιήθηκε τους καλοκαιρινούς μήνες (Fricke, 1984).

Οι Bullen και Fricke το 1982, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η βλάστηση ελαττώνει υψηλής συχνότητας ήχους που είναι και οι πιο ενοχλητικοί ενώ οι ήχοι πολύ χαμηλής συχνότητας που είναι λιγότερο ενοχλητικοί είναι δυσκολότερο να μειωθούν από τα φυτά αλλά περισσότερο από το έδαφος. Η κυκλοφοριακή κίνηση παράγει θόρυβο στις μεσαίες συχνότητες και σύμφωνα με τους Kragh και Huddart (Kragh, 1982; Huddart, 1990) οι οποίοι πραγματοποίησαν διαφορετικές μελέτες σε λωρίδες βλάστησης από φυλλοβόλα δέντρα και θάμνους διαπίστωσαν ότι στις συχνότητες κάτω από 250 Hz και πάνω 1kHz η απομείωση της τάξης των 6-8dB_{L_{Aeq}} είναι εμφανής. Στις συχνότητες κάτω από ένα 1 kHz ο φυτοφράκτης φαινόταν να είναι σχεδόν αόρατος (Bullen and Fricke, 1982).



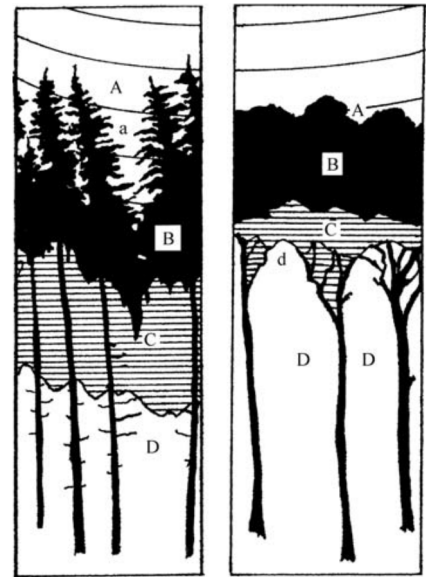
Διάγραμμα 15. Απομείωση του ήχου σε σχέση με τη συχνότητα σε τριτοκτάβες για ανοιχτό πεδίο και δάσος. Πηγή: (Fricke, 1984).

Σύμφωνα με τους Burns το 1979, Martens το 1980, Martens και Michelsen το 1981, Watanabe και Yamada το 1996 και άλλους κατόπιν, απορροφάει σημαντικό μέρος της ηχητικής ενέργειας, αν ένα φύλλο έχει υψηλή βιομάζα, υφή φύλλου (tactility)⁷, μέγεθος και προσανατολισμό. (Yang et al, 2010) Σύμφωνα με άλλη μελέτη, αν ένα φύλλο είναι λεπτό, άρα έχει χαμηλή βιομάζα, στις συχνότητες 2 με 4 kHz του ήχου που συναντά, συμπεριφέρεται όπως ένα γραμμικό μηχανικό σύστημα. Ο ήχος που επανεκπέμπεται είναι περίπου της ίδιας συχνότητας με τον αρχικό ήχο δηλαδή δεν απορροφάει καθόλου μέρος της ενέργειας και παρατηρείται το φαινόμενο του συντονισμού. (Bucur, 2006) Πολλοί δημιούργησαν σχέσεις για το πώς οι διαστάσεις ενός φύλλου σχετίζονται με την απομείωση του ήχου όπως ο Aylor σύμφωνα με τον οποίο, η ηχητική διασπορά από τους μίσχους και τους κορμούς εμφανίζεται όταν $2\pi a/\lambda \geq 1$ όπου a είναι η ακτίνα του κορμού και λ το μήκος κύματος. Επίσης, ο Τσινίκας πρότεινε ότι η σχέση μεταξύ ελάχιστης διάστασης x και μήκος κύματος λ είναι: $x=1/7\lambda$. Επομένως, ένα φύλλο για να λειτουργήσει ως διαχυτής συχνότητας

⁷ Υφή φύλλου: Βάρος φύλλου/ Επιφάνεια φύλλου.

στο 1kHz πρέπει να έχει ελάχιστη διάσταση $x=1/7*0,34=0,049\text{m}$ δηλαδή 4,9cm (Τσινίκας, 1990).

Το δάσος ως ηχητικό περιβάλλον παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των φαινομένων που παρουσιάζονται. Πολλοί βιολογικοί και μη βιολογικοί παράγοντες συνιστούν το περίπλοκο, πολυπαραγοντικό σύστημα της βλάστησης του δάσους με αποτέλεσμα, μέσα σε αυτό το ηχητικό περιβάλλον να μην ισχύει συχνά ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου όπως ισχύει στο ελεύθερο ηχητικό πεδίο δηλαδή ο ήχος δεν μειώνεται όσο απομακρύνεται από την πηγή. Η γεωμετρική πολυπλοκότητα των επιφανειών, το είδος του εδάφους, οι θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις και η πορεία του ανέμου, η διάταξη, οι διαστάσεις και τα είδη των φυτών, οι αποστάσεις και τα κενά που δημιουργούνται ανάμεσά



Σχήμα 15. Σχηματική διάταξη των δέντρων κωνοφόρων και φυλλοβόλων. Πηγή: (Bucur, 2006, σ. 126)

τους, η βιομάζα κ.α. επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο την ηχοδιάδοση σε σχέση το ελεύθερο πεδίο. Σε αυτό συνεισφέρουν η συχνότητα, η σχετική θέση ανάμεσα στην πηγή, στο δέκτη και στο εμπόδιο, το μήκος κύματος του θορύβου αναλογικά με το μέγεθος των δέντρων, των θάμνων και των μερών τους. Οι τυπικές ακουστικές ζώνες μέσα στο δάσος οι οποίες είναι ευνοϊκές ή όχι στη διάδοση του θορύβου φαίνονται στο Σχήμα 15 και χωρίζονται σε:

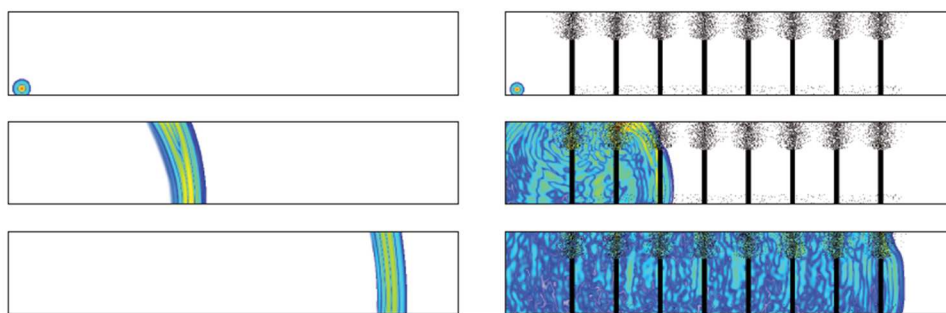
- A Ελεύθερη ζώνη διάδοσης θορύβου στην ατμόσφαιρα,
- B Ζώνη των θόλων, απορροφά το θόρυβο,
- C Ζώνη σκιάς στην οποία ανακλάται ο μεταδιδόμενος ήχος,
- D Ζώνη αντήχησης κάτω από το θόλο που ενεργεί ως οδηγός κυμάτων.

Ο τυπικός ελεύθερος χώρος μεταξύ των κωνοφόρων δέντρων (a), ή φυλλοβόλων δέντρων (d) λειτουργεί ως ενισχυτής θορύβου και, για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως «φαινόμενο τρομπέτα» Σχήμα 15 (Bucur, 2006). Για αυτό το λόγο ο Martens είπε το 1980 ότι ο θόλος του δέντρου λειτουργεί ως ενισχυτής στις μεσαίες συχνότητες.

Τα κενά ανάμεσα στα δέντρα και μέχρι τη στάθμη του εδάφους, για δέντρα ψηλότερα από τα 10-12 μέτρα, είναι πολλά που ακόμα και αν το βάθος, το ύψος και το μήκος της βλάστησης είναι επαρκή δεν προκύπτει σημαντική απομείωση του ήχου επειδή προκαλείται έντονη διάχυση της ηχητικής ενέργειας και αλλάζει ο χρόνος αντήχησης δηλαδή αργεί το σβήσιμο του αρχικού ήχου Σχήμα 16. Σύμφωνα με τον Embleton, το 1963, στα 30 πρώτα

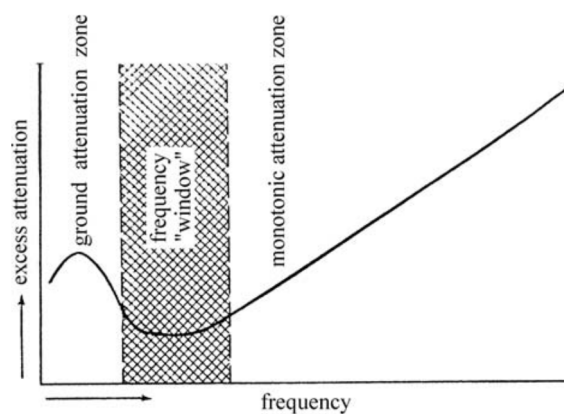
μέτρα ο θόρυβος στο δάσος αυξάνεται κατά 4 dB σε συχνότητες κοντά στο 1 kHz πιθανό λόγω συντονισμού (resonance) στους κορμούς και τα κλαδιά (Embleton, 1963).

Βέβαια, όσο μεγαλύτερα είναι τα κενά τόσο μικρότερη είναι η αντήχηση η οποία επηρεάζεται έντονα στις υψηλές συχνότητες πάνω από 2kHz από τα φύλλα και τα μικρά κλαδιά και από τις χαμηλές από 500MHz και πάνω από τα μεγάλα κλαδιά και τους κορμούς. Για τον παραπάνω λόγο το δάσος θεωρείται αντηχητικό περιβάλλον και συνήθως μέσα σε αυτό η απομείωση του θορύβου με την απόσταση αυξάνεται, ενώ η απομείωση συν τω χρόνω, μειώνεται. Επίσης, μέσα σε αυτό είναι δύσκολος ο εντοπισμός της ηχητικής πηγής αλλά και η διάκριση διαφορετικών ηχητικών σημάτων. (Wiley, 1978).



Σχήμα 16. Παρατίθενται τρία στιγμιότυπα από τη γένεση στη διάδοση του ήχου σε δύο διαφορετικά πεδία, ένα ανοικτό πεδίο (αριστερά) και μία ζώνη δενδροφύτευσης (δεξιά). Η χρωματική κλίμακα συμβολίζει τα επίπεδα ηχητικής πίεσης. πορτοκαλί και κίτρινο εκφράζουν τη ζώνη υψηλής πίεσης, το πράσινο εκφράζει ενδιάμεσα επίπεδα και το μπλε τα χαμηλά επίπεδα. (Framework Programme (FP7/2007-2013), 2013)

Ο Morton το 1975, ονόμασε τα κενά κοντά στο έδαφος «συχνοτικό παράθυρο» και σε ορισμένες συχνότητες, όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 16**, χρησιμοποιείται από τα ζώα για την επικοινωνία τους. Τα πουλιά τα οποία ζουν κοντά στο έδαφος και κελαηδούν σε ένα συχνοτικό φάσμα από 1,000-2,500-Hz γίνονται αντιληπτά σε ένα ευρύτερο πεδίο αποστάσεων. (Morton, 1975; Bucur, 2006)



Διάγραμμα 16. Το «συχνοτικό παράθυρο» του Morton όπως φαίνεται στο συμβολικό διάγραμμα, εμφανίζεται σε μία ζώνη συχνοτήτων ανάμεσα στην περιοχή της απομείωσης από το έδαφος στις χαμηλές συχνότητες και στη ζώνη μονοτονικής απομείωσης στις υψηλότερες συχνότητες. Πηγή: (Marten, 1977)

1.10 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΠΟΥ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΩΣ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν κάποια φυτικά είδη που φαίνεται να προτιμώνται για τις μετρήσεις απομείωσης του θορύβου όπως είναι η Μανόλια (*Magnolia Grandiflora*), η Πικροδάφνη (*Nerium Oleander*), η Τούγια (*Thuja orientalis*), η Λεύλαντ (*Cupressocyparis Leylandii*), Κινέζικη Φωτίνια (*Photinia serrulata*) και Φωτίνια (*Photinia fraseri*), Βιβούρνο (*Viburnum odoratissimum*), ο Κέδρος (*Cedrus deodara*), το Μπαμπού (*Oligostachyum lubricum*). Κάποια από αυτά τα φυτά με μακρόστενα φύλλα όπως η Πικροδάφνη και το Μπαμπού παρουσιάζουν χαμηλότερα ποσοστά απομείωσης από φυτά με ελλειπτικό ή ωοειδές σχήμα φύλλων όπως το Βιβούρνο και η Κινέζικη Φωτίνια (Yang, 2010; Bucur, 2006)

Η χρήση των παραπάνω φυτικών ειδών στο παρελθόν βοήθησε στην επιλογή φυτοφρακτών για την παρούσα έρευνα. Βιβλιογραφικά στοιχεία για αυτά παρατείνονται παρακάτω:

Γενικά χαρακτηριστικά της Τούγιας (*Thuja orientalis & T. occidentalis, Cupressaceae*) είναι ότι έχει πυκνή βλάστηση και αναπτύσσεται σε μεγάλες διαστάσεις, 6 με 8 μέτρα πλάτος και 4 μέτρα ύψος ως θάμνος και ως δέντρο. Τα φύλλα της είναι ωοειδή, ρομβοειδή, οξύληκτα, λεπιοειδή, σκούρου πράσινου χρώματος που καλύπτουν τους βλαστούς και ανήκει στην αιθαλή βλάστηση. (Γεωργακοπούλου - Βογιατζή, 2009).

Η Αριζόνικα (*Cupressus arizonica, Cupressaceae*) έχει φύλλα λεπτοειδούς μορφής, ρητινώδη, χοντρά και πολύ πυκνά, ανήκει στην αιθαλή δεντρώδη βλάστηση και χρησιμοποιείται και ως ανεμοφράκτης. Έχει σύνηθες ύψος τα 12 μέτρα ενώ σε πλάτος φτάνει τα 5 μέτρα. (Γεωργακοπούλου - Βογιατζή, 2009).

Η Λεϋλάντ (*Cupressocyparis leylandii*) είναι πλαγιόκλαδο κωνοφόρο, με ανοιχτά κλαδιά σε σχήμα πυραμίδας με κωνική κόμη, έντονη ανάπτυξη βλάστησης το φθινόπωρο και μεγάλη αντοχή σε δύσκολες συνθήκες. Οι διαστάσεις της είναι συνήθως τα 12 μέτρα ύψος και 4 μέτρα πλάτος. Τα φύλλα του λεπιοειδή και ανάπτυξή τους σε ένα επίπεδο.

Το Λιγούστρο (*Ligustrum japonicum, Oleaceae*) είναι θάμνος ή μικρό δέντρο. Το φυτό φτάνει σε ύψος συνήθως ανάμεσα στα 1,5 με 3 μέτρα και σε πλάτος τα 3 μέτρα. Η βλάστησή του ζοηρή και πυκνή. Έχει φύλλα μεγάλα, απλά, αντίθετα, μήκους 5-10cm. σχετικά παχιά και δερματώδη. Τα άνθη του είναι μικρά 3-4 χιλ. και φέρονται σε επάκριους βότρες, μήκους 10-15cm.

Η Φωτίνια (*Photinia x fraseri, Rosaceae*) έχει φύλλα μεγάλα μήκους 10-20 εκ. επιμήκη, στυλπνά, δερματώδη, λεπτοφυώς οδοντωτά. Τα άνθη του είναι λεπτά και άφθονα κατά

ταξιανθία σκιαδίου πλάτους 10-25cm. Οι καρποί του είναι σφαιρικοί διαμέτρου 6 χιλ., με 1-4 σπέρματα που παραμένουν στο φυτό όλο το χειμώνα. (Γεωργακοπούλου - Βογιατζή, 2009).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΙΔΗ

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, τα δείγματα των φυτοφρακτών επιλέχθηκαν με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Την υγεία του φυτού
- Το πάχος και το ύψος της φύτευσης να είναι πάνω από 1,5 μέτρο έτσι ώστε να είναι επαρκώς μειωμένη η οπτική επαφή μπροστά και πίσω από τον φράκτη.
- Η φυλλική επιφάνεια να είναι αρκετά πυκνή και να μην επιτρέπει την οπτική επαφή της πηγής με τον δέκτη.
- Να μην είναι φυλλοβόλα γιατί όπως προαναφέρθηκε τα φυλλοβόλα είναι ναί μεν πιο αποτελεσματικά αλλά για περιορισμένο χρονικό διάστημα.
- Το ηχητικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων να είναι σταθερό.
- Οι αποστάσεις από τα γύρω κτίρια να είναι αρκετή για να μην δημιουργούνται ηχητικές ανακλάσεις στις σκληρές επιφάνειές τους επηρεάζοντας τις μετρήσεις αλλά και να υπάρχει χώρος για την τοποθέτηση του οχήματος στην κατάλληλη απόσταση.
- Τα είδη να είναι τοπικά ή να έχουν εγκληματιστεί στις ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες με επιτυχία και είναι ιδιαίτερα κοινά και αγαπητά κυρίως σε αυλές και πάρκα. Επίσης, είναι απαραίτητο να διαθέτουν φύλλα αρκετά δερματώδη με υψηλό ιξώδες και να ανήκουν σε δύο κατηγορίες, στα κωνοφόρα και στα πλατύφυλλα αειθαλή.
- Να υπάρχει βιβλιογραφία για μετρήσεις πάνω σε αυτά τα είδη.
- Το μήκος να είναι πολύ μεγαλύτερο του ύψους και το ύψος να είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός μέσου ανθρώπου.

Τα κωνοφόρα που επιλέχθηκαν είναι η Τούγια Ανατολής (*Thuja orientalis* & *T. occidentalis*, Cupressaceae), η Αριζόνικα (*Cupressus arizonica*, Cupressaceae) και η Λευόλαντ (*Cupressocyparis leylandii*). Τα πλατύφυλλα που επιλέχθηκαν είναι το Λιγούστρο (*Ligustrum japonicum*, Oleaceae) και η Φωτίνια (*Photinia x fraseri*, Rosaceae)**Εικόνα 6 –12.**



Εικόνα 6. Φωτογραφίες από την 1^η μέτρηση στις 27/12/2015 στον Αλμυρό. Το φυτό που επιλέχθηκε ανήκει στο είδος Λιγούστρο (*Ligustrum japonicum*, Oleaceae). Αριστερά :Πίσω όψη πριν την τοποθέτηση του ηχόμετρου. Δεξιά: Πρόσθια όψη πριν την τοποθέτηση του ηχόμετρου.



Εικόνα 7. Φωτογραφίες από τη 2^η μέτρηση στις 31/01/2016 στη Νίκαια. Το φυτό που επιλέχθηκε ανήκει στο είδος Αριζόνικα (*Cupressus arizonica*, Cupressaceae). Αριστερά :Πίσω όψη πριν την τοποθέτηση του ηχόμετρου. Δεξιά: Πρόσθια όψη πριν την τοποθέτηση του ηχόμετρου.



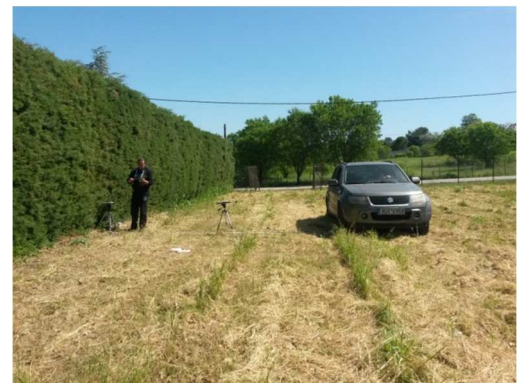
Εικόνα 8. Φωτογραφίες από την 3^η μέτρηση στις 16/02/2016 στη Νίκαια. Το φυτό που επιλέχθηκε ανήκει στο είδος Λέυλαντ (*Cupressocyparis leylandii*). Αριστερά :Πίσω όψη πριν την τοποθέτηση του ηχόμετρου. Δεξιά: Πρόσθια όψη με την τοποθέτηση του ηχόμετρου όπου φαίνεται και το όχημα ως πηγή θορύβου.



Εικόνα 9. Φωτογραφίες από την 4^η μέτρηση στις 02/04/2016 στη Γαλήνη. Το φυτό που επιλέχθηκε ανήκει στο είδος Φωτίνια (*Photinia x fraseri*, Rosaceae). Αριστερά :Πίσω όψη κατά την τοποθέτηση του ηχόμετρου. Δεξιά: Πρόσθια όψη κατά την τοποθέτηση του ηχόμετρου.



Εικόνα 10. Φωτογραφίες από την 5^η μέτρηση στις 17/04/2016 στη Γαλήνη. Το φυτό που επιλέχθηκε ανήκει στο είδος Τούγια Ανατολής (*Thuja orientalis* & *T. occidentalis*, Cupressaceae). Αριστερά :Πίσω όψη πριν την τοποθέτηση του ηχόμετρου, κατά τον υπολογισμό του ύψους. Δεξιά: Πρόσθια όψη κατά την τοποθέτηση του ηχόμετρου.



Εικόνα 11. Φωτογραφίες από την 6^η μέτρηση στις 17/04/2016 στη Νίκαια. Το φυτό που επιλέχθηκε ανήκει στο είδος Αριζόνικα (*Cupressus arizonica*, Cupressaceae). Αριστερά :Πίσω όψη κατά την τοποθέτηση του ηχόμετρου, και τον υπολογισμό του ύψους. Δεξιά: Πρόσθια όψη κατά την τοποθέτηση του ηχόμετρου και οχήματος.



Εικόνα 12. Φωτογραφίες από την 7^η μέτρηση στις 17/04/2016 στη Νίκαια. Το φυτό που επιλέχθηκε ανήκει στο είδος Λιγούστρο (*Ligustrum japonicum*, Oleaceae). Αριστερά :Πίσω όψη πριν την τοποθέτηση του ηχόμετρου. Δεξιά: Πρόσθια όψη κατά την τοποθέτηση του ηχόμετρου και οχήματος για την περίπτωση χωρίς φυτοφράκτη.

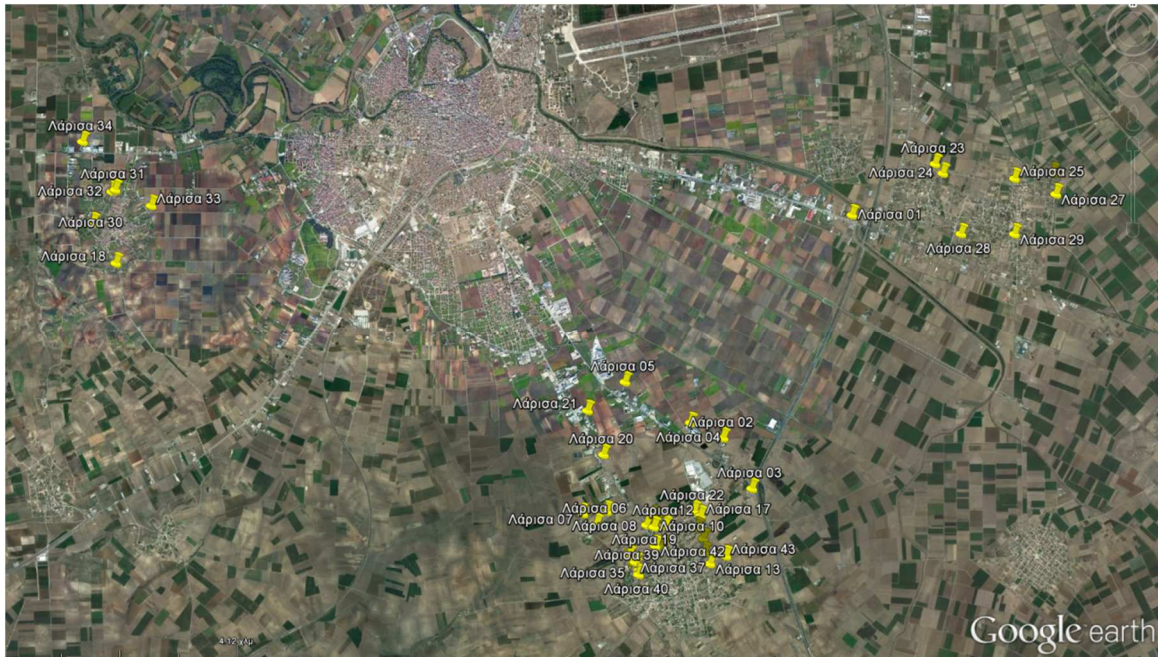
2.2. ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επιλογή των τοποθεσιών χωρίστηκε σε τρία στάδια.

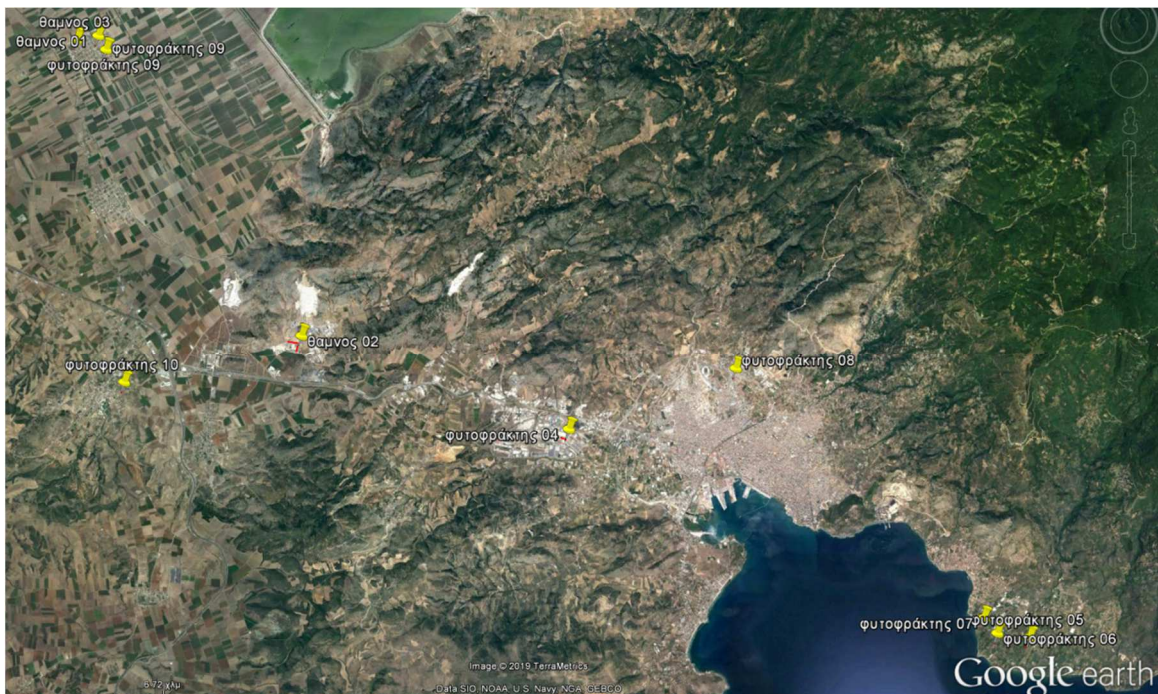
Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε έρευνα με τη χρήση του λογισμικού Google Earth Pro για τον εντοπισμό των κατάλληλων πεδίων στα οποία θα πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις. Απαραίτητες προϋποθέσεις για τον εντοπισμό των κατάλληλων πεδίων για τις μετρήσεις ήταν να βρίσκονται εκτός του πολεοδομικού ιστού των πόλεων Λάρισας και Βόλου έτσι ώστε η δόμηση να μην είναι πυκνή και ο περιβαλλοντικός θόρυβος μειωμένος. Η πυκνή δόμηση προκαλεί ηχητικές ανακλάσεις στις σκληρές επιφάνειες των κτιρίων και άλλων αστικών διαμορφώσεων που επηρεάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επίσης, ο κυκλοφοριακός θόρυβος είναι εντονότερος εντός πόλεων και είναι αδύνατο να περιοριστεί και να ελεγχθεί η παρεμβολή του στις μετρήσεις του συγκεκριμένου πειράματος. Άλλο πρόβλημα είναι ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα να στηθούν τα ηχόμετρα στις κατάλληλες αποστάσεις χωρίς ενδιάμεσα εμπόδια και τέλος ο περιβαλλοντικός θόρυβος της πόλης όπως οχήματα σε κίνηση, σχολεία, πλατείες και πάρκα σε εγγύτητα, περιδιαβαίνοντας πεζοί και άλλα θα εμπόδιζαν την ομαλή καταγραφή των δεδομένων.

Οι φυτοφράκτες που επιλέχθηκαν σε αυτή τη φάση είχαν αρκετά μεγάλο μήκος, πάχος και ύψος το οποίο διαπιστώθηκε με τη χρήση της επιλογής street view στην εφαρμογή Google Earth Pro και βρίσκονταν σε αρκετά καλή κατάσταση με αρκετά πυκνό φύλλωμα και μικρά

κενά. Τα σημεία στα οποία βρίσκονταν σημειώθηκαν πάνω στον δορυφορικό χάρτη όπως φαίνεται παρακάτω στην **Εικόνα 13** όπου είναι σημειωμένα τα σημεία στο νομό Λάρισας και στην **Εικόνα 14** τα σημεία στο νομό Μαγνησίας .



Εικόνα 13. Δορυφορικός χάρτης από την εφαρμογή Google Earth Pro όπου φαίνονται οι περιοχές στη Λάρισα στις οποίες διαπιστώθηκε σημαντικός αριθμός φυτοφρακτών με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Οι περιοχές είναι η Γαλήνη, η Νίκαια και η Τερψιθέα. Πηγή: εφαρμογή Google Earth Pro



Εικόνα 14 Δορυφορικός χάρτης από την εφαρμογή Google Earth Pro όπου φαίνονται οι περιοχές στη Λάρισα στις οποίες διαπιστώθηκε σημαντικός αριθμός φυτοφρακτών με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Οι περιοχές είναι το Βελεστίνο, η βιομηχανική περιοχή Βόλου, ο Άγιος Μηνάς, ο Άγιος Απόστολος και η Ν. Ιωνία. Πηγή: εφαρμογή Google Earth Pro

Στο δεύτερο στάδιο ακολούθησε η επίσκεψη και επιτόπια έρευνα, για την αναγνώριση των περιβαλλοντικών συνθηκών (ηχητικό περιβάλλον), των φυτικών ειδών και της κατάστασης στην οποία βρίσκονται.

Στο τρίτο στάδιο, έγινε η επιλογή ενός αριθμού θάμνων σε κατάλληλο περιβάλλον, απαραίτητη ήταν η συναίνεση των ιδιοκτητών για να γίνουν οι μετρήσεις στο χώρο τους γιατί σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από την πρώτη μέτρηση, οι θάμνοι δεν βρίσκονταν σε δημόσιο, κοινόχρηστο χώρο το οποίο έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην τελική επιλογή των πεδίων.

Τελικά, επιλέχθηκαν πεδία σε τρεις περιοχές και πραγματοποιήθηκαν επτά μετρήσεις συνολικά. Τα πεδία βρίσκονται στον Αλμυρό Βόλου, στη Νίκαια και στη Γαλήνη Λάρισας. Στον Αλμυρό Βόλου επιλέχθηκε φυτοφράκτης ο οποίος ανήκει σε ανοιχτό ή δημόσιο χώρο και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για το αρχικό, δοκιμαστικό στήσιμο του πειράματος και την αντιμετώπιση και επίλυση των δυσκολιών που θα προέκυπταν στις μετέπειτα μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν όλες σε ιδιωτικούς χώρους και δεν υπήρχε το περιθώριο ενόχλησης των ιδιοκτητών για παραπάνω από μία φορές.

Αναλυτικά, η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Αλμυρός Βόλου σε φύτευση που βρίσκεται σε ανοιχτό, μη προφυλαγμένο χώρο με γεωγραφικές συντεταγμένες 39°11'14.29"B 22°46'3.12"A. Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Νίκαια Λάρισας στις γεωγραφικές συντεταγμένες 39°34'5.23"B 22°27'38.02"A. Η τρίτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Νίκαια Λάρισας με γεωγραφικές συντεταγμένες 39°33'56.09"B 22°27'24.46"A. Η τέταρτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Γαλήνη Λάρισας με γεωγραφικές συντεταγμένες 39°37'2.59"B 22°31'23.64"A. Η πέμπτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Γαλήνη Λάρισας και πιο συγκεκριμένα στη θέση με γεωγραφικές συντεταγμένες: 39°37'37.20"B 22°31'10.39"A. Οι δύο τελευταίες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή Νίκαια, Λάρισας και πιο συγκεκριμένα στη θέση με τις γεωγραφικές συντεταγμένες: 39°33'53.62"B 22°27'23.30"A. Δορυφορικές φωτογραφίες των σημείων με επισήμανση των θάμνων και παράθεση όλων των πληροφοριών παρατείνονται στις παραπομπές.

2.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Τα δύο ηχόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν τοποθετήθηκαν σε τρίποδα πάντα παράλληλα ως προς το έδαφος και κάθετα ως προς τον ηχοφράκτη με τα μικρόφωνα τους στραμμένα προς την κατεύθυνση της πηγής του θορύβου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα στα δύο ηχόμετρα χρησιμοποιώντας το καλώδιο προέκτασης, έτσι ώστε να έχουν την ίδια πηγή θορύβου στον ίδιο χρόνο και να συναντήσουν τα ίδια παραγόμενα ηχητικά κύματα **Εικόνα 15- 16**.



Εικόνα 15. Τυπική τοποθέτηση ηχόμετρων στη δεύτερη σειρά μετρήσεων.



Εικόνα 16. Τυπική τοποθέτηση του ηχόμετρου Α μπροστά από τον φυτοφράκτη και ανάμεσα σε αυτόν και την πηγή θορύβου που είναι το εικονιζόμενο όχημα.

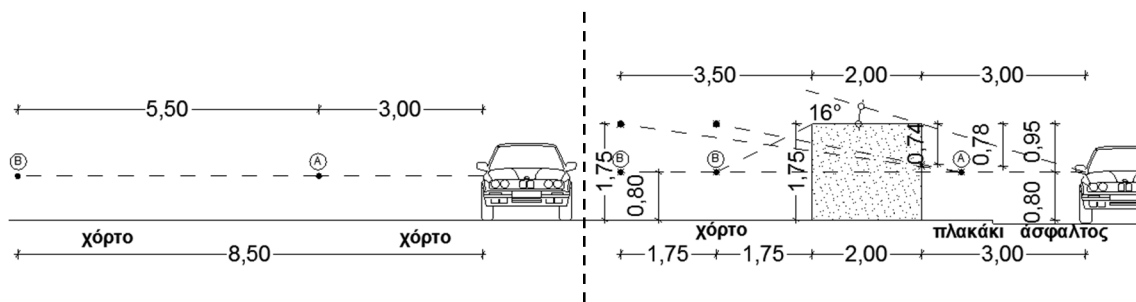
Ο κυκλοφοριακός θόρυβος όπως προαναφέρθηκε, προέρχεται από τον κινητήρα των οχημάτων για ταχύτητες οχημάτων πάνω από 40-50km/h και από την πρόσφυση του οδοστρώματος με τα λάστιχα για πάνω από 70km/h. Η πηγή θορύβου στον κινητήρα ενός οχήματος, βρίσκεται συνήθως σε ύψος από 0,30m έως 1,50m από την επιφάνεια του

οδοστρώματος και η οριζόντια απόσταση της μέτρησης από την πηγή θορύβου κυμαίνεται στα 3-5m λόγω πλάτους πεζοδρομίου και οδοστρώματος.

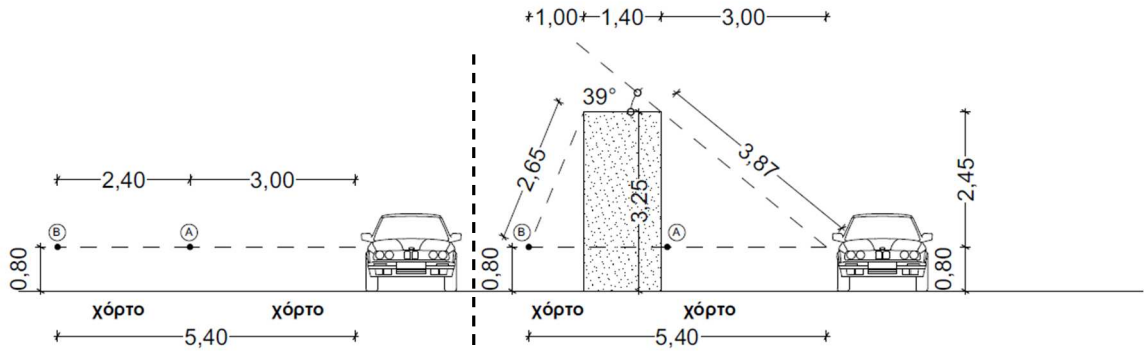
Η ηχητική πηγή που είναι η μηχανή του οχήματος, θεωρήθηκε ότι βρίσκεται σε ύψος 0,80m και για αυτό και τα δύο ηχόμετρα τοποθετήθηκαν σε αυτό το ύψος. Στη πρώτη σειρά μετρήσεων το ηχόμετρο A τοποθετήθηκε σε απόσταση 3m από το όχημα και το ηχόμετρο B 1m πίσω από τον φυτοφράκτη έτσι ώστε να βρίσκεται μέσα στην ηχητική σκιά του. Στη δεύτερη σειρά μετρήσεων τα ηχόμετρα τοποθετήθηκαν στις ίδιες αποστάσεις μεταξύ τους και σε σχέση με το όχημα. Έγινε προσπάθεια επιλογής παρόμοιας αν όχι ίδιας ποιότητας εδάφους με την πρώτη σειρά μετρήσεων. Η απόσταση ανάμεσα στο ηχόμετρο A και το όχημα υπολογίστηκε στα 3m θεωρώντας το σύνηθες πλάτος πεζοδρομίου στα 2m και την απόσταση ενός οχήματος από αυτό στο 1m. (Guide pour les particuliers Réaliser son mur antibruit, 2009; Kalansuriya, 2009; E.P.D., 2010; Wang, 2018). Οι πειραματικές διατάξεις φαίνονται παρακάτω για τις δύο σειρές μετρήσεων με και χωρίς τον ηχοφράκτη **Σχήμα 17 - 23** με τις ημερομηνίες στον **Πίνακα 3**.

Πίνακας 3. Πραγματοποίηση των μετρήσεων με ημερομηνία και φυτικό είδος.

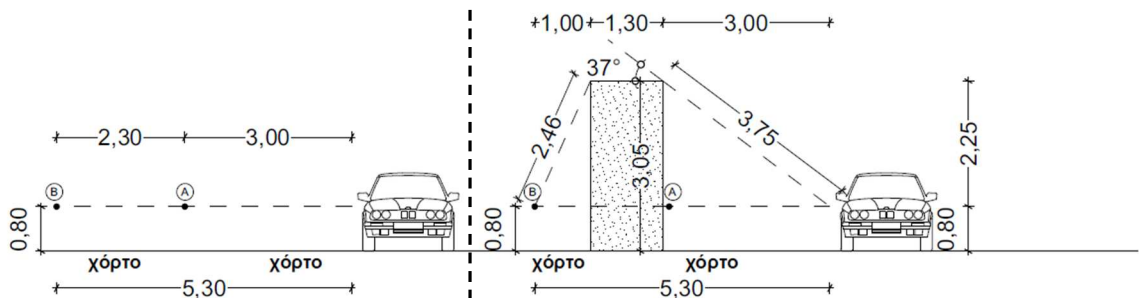
Μέτρηση	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η	6 ^η	7 ^η
Ημερομηνία	27/12/2015	30/01/2016	16/02/2016	02/04/2016	17/04/2016	17/04/2016	17/04/2016
Είδος	Λιγούστρο	Αριζόνικα	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα	Λιγούστρο



Σχήμα 17. Πειραματική διάταξη για την πραγματοποίηση της 1ης μέτρησης στο Λιγούστρο. Παρατίθενται όλες οι διαστάσεις με την ποιότητα του εδάφους και τη θέση των μικροφώνων με και χωρίς τον ηχοφράκτη.



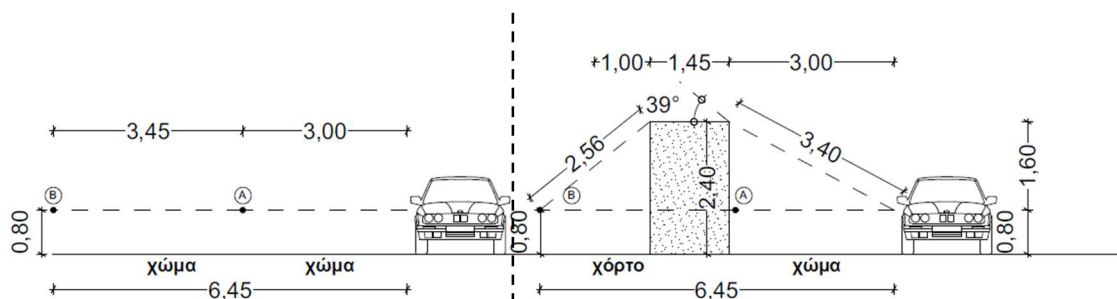
Σχήμα 18. Πειραματική διάταξη για την πραγματοποίηση της 2ης μέτρησης στην Αριζόνικα. Παρατίθενται όλες οι διαστάσεις με την ποιότητα του εδάφους και τη θέση των μικροφώνων με και χωρίς τον ηχοφράκτη.



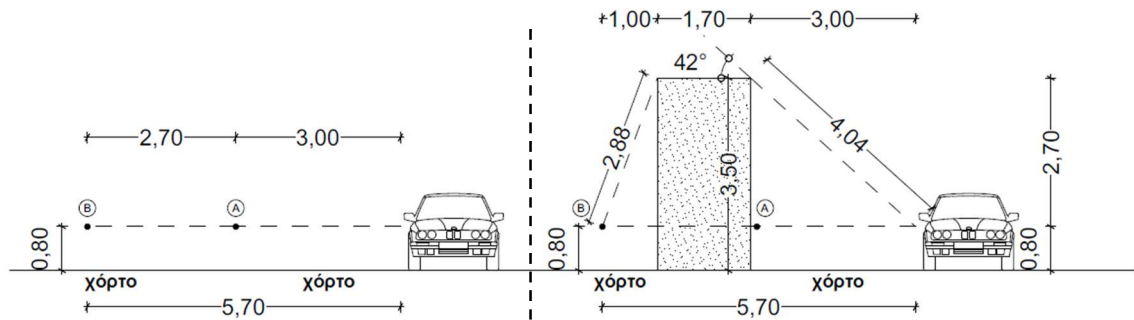
Σχήμα 19. Πειραματική διάταξη για την πραγματοποίηση της 3ης μέτρησης στη Λεύλαντ. Παρατίθενται όλες οι διαστάσεις με την ποιότητα του εδάφους και τη θέση των μικροφώνων με και χωρίς τον ηχοφράκτη.



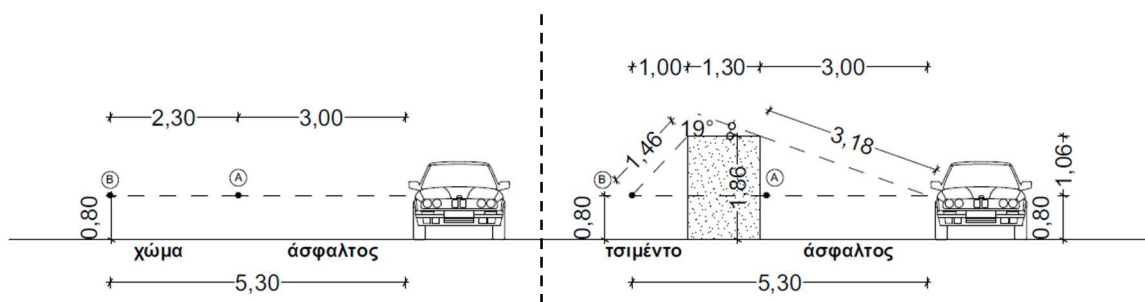
Σχήμα 20. Πειραματική διάταξη για την πραγματοποίηση της 4^{ης} μέτρησης στη Φωτίνια. Παρατίθενται όλες οι διαστάσεις με την ποιότητα του εδάφους και τη θέση των μικροφώνων με και χωρίς τον ηχοφράκτη.



Σχήμα 21. Πειραματική διάταξη για την πραγματοποίηση της 5ης μέτρησης στη Τούγια. Παρατίθενται όλες οι διαστάσεις με την ποιότητα του εδάφους και τη θέση των μικροφώνων με και χωρίς τον ηχοφράκτη.



Σχήμα 22. Πειραματική διάταξη για την πραγματοποίηση της 6^{ης} μέτρησης στην Αριζόνικα. Παρατίθενται όλες οι διαστάσεις με την ποιότητα του εδάφους και τη θέση των μικροφώνων με και χωρίς τον ηχοφράκτη.



Σχήμα 23. Πειραματική διάταξη για την πραγματοποίηση της 7^{ης} μέτρησης στο Λιγούστρο. Παρατίθενται όλες οι διαστάσεις με την ποιότητα του εδάφους και τη θέση των μικροφώνων με και χωρίς τον ηχοφράκτη.

2.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης των μετρήσεων εκτείνεται μεταξύ Δεκεμβρίου 2015 και Μαρτίου 2016 σε μέρες με παρόμοιες καιρικές συνθήκες με κύρια κοινά χαρακτηριστικά τη έλλειψη ανέμου και υετού αν και για τόσο μικρές αποστάσεις διάχυσης του ήχου ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη δεν παίζουν σημαντικό ρόλο οι καιρικές συνθήκες. Για την επιλογή των κατάλληλων καιρικών συνθηκών και την καταγραφή των εκάστοτε μετεωρολογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η ιστοσελίδα <https://freemeteo.gr/>.

Οι μετρήσεις του παραγόμενου θορύβου που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν όλη τη διαδρομή του ήχου από την πηγή του που είναι το όχημα, πριν συναντήσει το εμπόδιο που είναι ο φυτοφράκτης και πίσω από αυτό. Οι μετρήσεις των διαστάσεων των φυτών πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση μετροταινίας για το ύψος και το πάχος ενώ το μήκος και οι αποστάσεις από γύρω κτίρια μετρήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Google Earth Pro.

Κατά την εξέλιξη των μετρήσεων καταγράφονταν τα δεδομένα των επαναλήψεων καθώς και οποιαδήποτε ηχητική παρέμβαση που αλλοίωνε το αποτέλεσμα για να αφαιρεθούν οι συγκεκριμένες επαναλήψεις από τον στατιστικό έλεγχο και αξιολόγηση των δεδομένων. Η

κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 10 δευτερόλεπτα έτσι ώστε οι περιβαλλοντικές συνθήκες να παραμένουν σταθερές σε αυτό το χρονικό διάστημα.

Οι καταγραφές των σταθμών του θορύβου πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση δύο ηλεκτρονικών ηχόμετρων HD2010, της σειράς παραγωγής του έμπειρου και αξιόπιστου Ευρωπαϊκού οίκου «Delta Ohm». Τα ηχόμετρα αυτού του οίκου επιλέχθηκαν γιατί έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα ανταγωνιστικά. Τα συγκεκριμένα ηχόμετρα ανήκουν στην κατηγορία των ολοκληρωτικών, γιατί καταγράφουν το θόρυβο που δέχονται στο χρονικό διάστημα που επιλέγεται, σε αντίθεση με τα μη ολοκληρωτικά που δείχνουν μόνον τις στιγμιαίες μεταβολές της ηχητικής πίεσης. Επίσης, τα ολοκληρωτικά ηχόμετρα καλύπτουν επιπλέον παραμέτρους ηχομέτρησης για αυτό διαθέτουν οθόνες με δυνατότητα πολλαπλών ενδείξεων (Ηχοπαρέμβαση, 2018) **Εικόνα 18**.

Τα ηχόμετρα αυτά συνοδεύονται από δωρεάν πρόγραμμα εξαγωγής των δεδομένων από τα ηχόμετρα σε Η/Υ με το όνομα «DeltaLog 5» το οποίο δημιουργεί επίσης αρχεία excel με τα δεδομένα συγκεντρωτικά και καλώδιο προέκτασης που φαίνεται στην **Εικόνα 17**.



Εικόνα 17. Ένα από τα ηλεκτρονικά ηχόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν και ο συνοδευόμενος εξοπλισμός του που περιλαμβάνει συσκευή για βαθμονόμηση και καλώδιο επέκτασης. Πηγή: (Ηχοπαρέμβαση, 2018)



Εικόνα 18. Οθόνη ταυτόχρονων πολλαπλών ενδείξεων των ηχομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν όπως φαίνονται παραπάνω: μετρήσεις του ήχου σε dB, σε οκτάβες και τριτοκτάβες. Τέτοιου τύπου ηχομέτρα ονομάζονται στατιστικοί & φασματικοί αναλυτές) Πηγή: (Ηχοπαρέμβαση, 2018)

Για τις μετρήσεις επιλέχθηκαν τρεις στατιστικοί τρόποι απεικόνισης του θορύβου στο ηχόμετρο που είναι οι $LA_{Fp}[dB]$, $LA_{eq}[dB]$ και $LA_{Sp}[dB]$. Στο συγκεκριμένο πείραμα οι μετρήσεις κρατάνε 10 δευτερόλεπτα μόνο για να αποφευχθεί η παρεμβολή θορύβων που θα αλλοίωναν τις μετρήσεις και επομένως δεν είναι απαραίτητη στα αποτελέσματα και συμπεράσματα της μελέτης η χρήση του $LA_{eq}[dB]$ μόνο αλλά και του $LA_{Sp}[dB]$. Η Α ηχοστάθμη επιλέχθηκε γιατί όπως προαναφέρθηκε πλησιάζει στην ευαισθησία του αυτιού.

Πριν από κάθε σειρά μετρήσεων γίνεται βαθμονόμηση (calibration) του ηχομέτρου με τον βαθμονομητή (calibrator) HD9101 Classic 1 του οίκου Delta OHM με 94,114dB στο 1kHz.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, στον περιβαλλοντικό θόρυβο χωρίς τη χρήση του οχήματος για αναγνώριση των υφιστάμενων συνθηκών, στις 700 στροφές του κινητήρα του οχήματος σε στάση και στις 2500 στροφές.

Η λήψη δειγμάτων για τον υπολογισμό της φυτομάζας δεν κατέσται δυνατή γιατί οι ιδιοκτήτες των οικοπέδων στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν έδωσαν την συγκατάθεσή τους. Ανταυτού χρησιμοποιήθηκε μη παρεμβατική μέθοδος υπολογισμού της φυτικής μάζας των φυτοφρακτών χρησιμοποιώντας σύγχρονα μέσα τεχνολογίας. Οι φυτοφράκτες φωτογραφήθηκαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και με τέτοιο τρόπο ώστε ο φωτογραφικός φακός να είναι κάθετος ως προς την κατακόρυφη επιφάνεια τους για αποφυγή παραμορφώσεων λόγω προοπτικής. Αυτή η μέθοδος φωτογράφισης βοήθησε ώστε να είναι ορατή η διαπερατότητά τους δηλαδή η ιδιότητα να βλέπεις πίσω από το εμπόδιο λόγω των κενών που επιτρέπουν τη διέλευση του ηχητικού κύματος μέσα από το φυτικό είδος επηρεάζοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητά του ως ηχοπέτασμα. Επίσης, έγινε φωτογράφιση του εσωτερικού φυτοφράκτη από τα τρία κωνοφόρα από το έδαφος προς τα πάνω για να μπορεί να γίνει μία φωτογραφική σύγκριση της δομής των κλαδιών και των

κενών και φωτογράφιση κοντινή της εξωτερικής επιφάνειας με χάρακα για την προσθήκη κλίμακας εφόσον θεωρούνταν απαραίτητο για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Κατά τη φωτογράφιση επίσης προστέθηκε ένας χάρακας για τον υπολογισμό της κλίμακας και του μεγέθους των φύλλων εφόσον και αν κριθεί απαραίτητο σε επόμενο στάδιο. Οι φωτογραφίες εισήχθησαν στο ψηφιακό λογισμικό επεξεργασίας εικόνας Adobe Photoshop CS6 για την επεξεργασία.

Σε όλες τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το ίδιο όχημα μεσαίου μεγέθους σε ακινησία στις 700 στροφές όπως μπροστά από έναν φωτεινό σηματοδότη σε αναμονή και στις 2500 στροφές που επιλέχθηκαν γιατί παράγουν θόρυβο 69dB(A) στα 3 μέτρα απόσταση που αντιστοιχούν σε κίνηση οχήματος πάνω σε ασφαλτικό οδόστρωμα με ταχύτητα 60km/h (Κοφίτσας, 1997) και μέχρι τα 70km/h όπως προαναφέρθηκε κύρια πηγή θορύβου κατά 34% είναι η μηχανή **Γράφημα 1**.

Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μεσαίου μεγέθους Suzuki, Grand Vitara, 2005, τετρακύλινδρο με 165hp και 6500rpm. Δεδομένα σχετικά με το φάσμα συχνοτήτων που εκπέμπει εμφανίζονται στο **Διάγραμμα 10**. Επίσης, το όχημα χρησιμοποιήθηκε μόνο σε στάση και όχι σε κίνηση γιατί με αυτόν τον τρόπο η πηγή θορύβου θεωρείται σημειακή και είναι ευκολότερος ο έλεγχος των φαινομένων που παρατηρούνται.

2.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Στον υπολογισμό της απομείωσης του θορύβου από τον φυτοφράκτη δεν χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση $IL = SPL \text{ without barrier} - SPL \text{ with barrier}$ (9) διότι η πηγή θορύβου που είναι το αυτοκίνητο δεν μπορεί να διατηρήσει σταθερά για έναν μεγάλο αριθμό επαναλήψεων τις στροφές του κινητήρα που τον παράγουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η SPL του ηχομέτρου B πίσω από τον φράκτη να μην μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με την SPL του ηχομέτρου B στην ίδια θέση χωρίς ηχοφράκτη. Για τον συγκεκριμένο υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε η διαφορά της απομείωσης με τον φράκτη μείον της απομείωσης χωρίς τον φράκτη. Καταχρηστικά αυτή η διαφορά για λόγους ευκολίας ονομάστηκε IL.

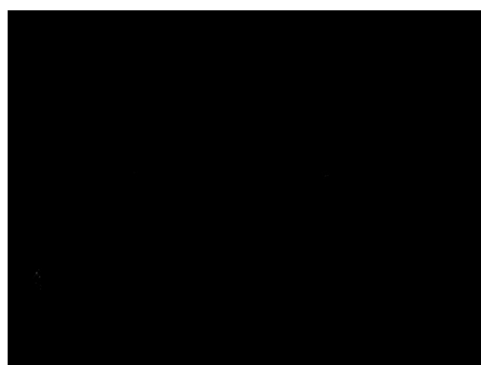
Για την επεξεργασία και σύγκριση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics και τη δημιουργία διαγραμμάτων και πινάκων το λογισμικό Microsoft excel.

Για τη δημιουργία των σχεδίων και την εξεύρεση της γωνίας θ και των υπόλοιπων αποστάσεων ανάμεσα σε πηγή, λήπτη και κορυφή ηχοπετάσματος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Graphisoft Archicad 18. Η γωνία θ βοηθάει σε συνδυασμό με το διάγραμμα Harris στη σύγκριση των φυτοφρακτών ως προς το ύψος τους και τη θέση πηγής και λήπτη θορύβου δηλαδή τα ηχόμετρα A-B στην παρούσα περίπτωση παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε η **Εξίσωση (8)** που θεωρήθηκε πιο ακριβής για την παρούσα εργασία για τη συσχέτιση των διαστάσεων και αποστάσεων του φυτοφράκτη από πηγή και λήπτη με την τελική απομείωση.

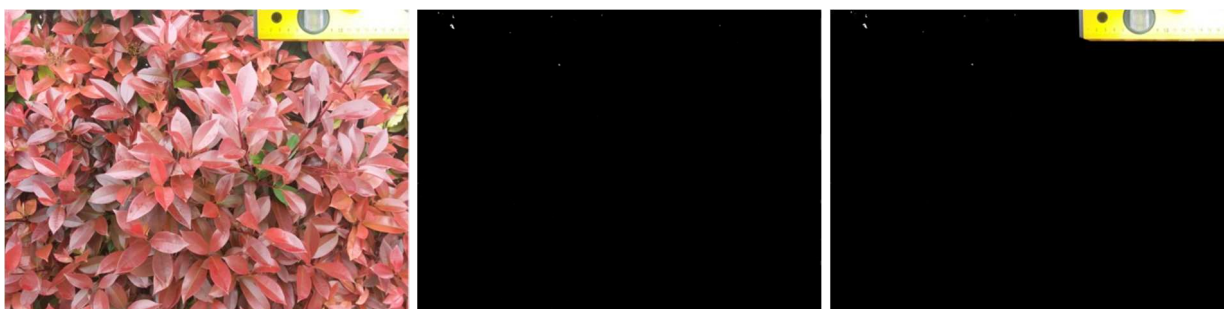
Για τον υπολογισμό των κενών στους φυτοφράκτες που ονομάστηκε διαπερατότητα, οι φωτογραφίες εισήχθησαν στο ψηφιακό λογισμικό επεξεργασίας εικόνας Adobe Photoshop CS6. Εκεί αντικαταστάθηκε το χρώμα των κλαδιών και των φύλλων με μαύρο και των κενών με άσπρο για τον υπολογισμό του ποσοστού των κενών. Το ποσοστό των κενών γίνεται με την καταμέτρηση των συνολικών pixels σε σχέση με τα κενά λευκά pixels χρησιμοποιώντας το εργαλείο Histogram (Jarou, 2009). Παρακάτω φαίνονται η αρχική και η τελική επεξεργασμένη εικόνα για τους φυτοφράκτες που χρησιμοποιήθηκαν.



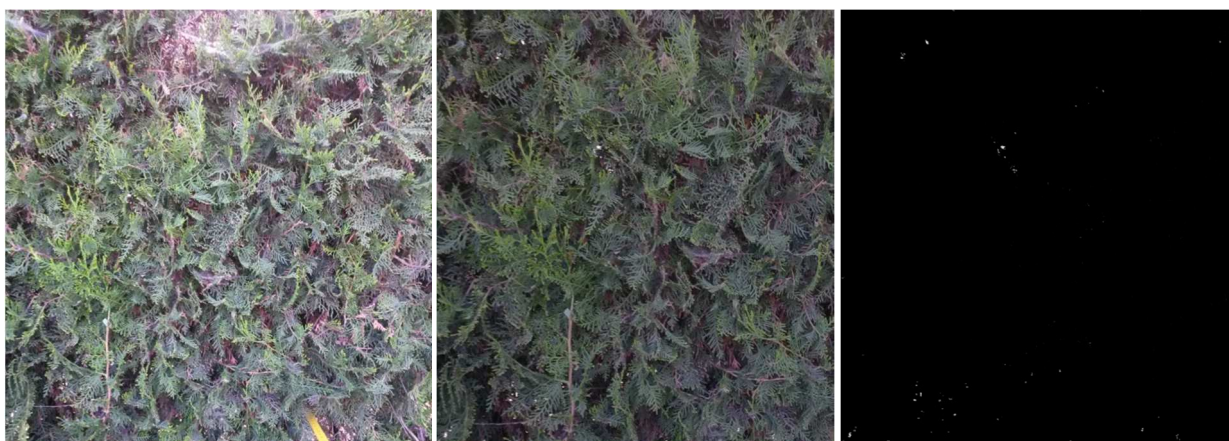
Εικόνα 19. Μέτρηση 2^η. Αριζόνικα(1). Αριθμός ανάλυσης εικόνας: 300dpi. Αριθμός pixels ολόκληρης της εικόνας : 124684800. Αριθμός λευκών pixels που συμβολίζουν τα κενά στο φυτό: 74803. Ποσοστό: 0,06%.



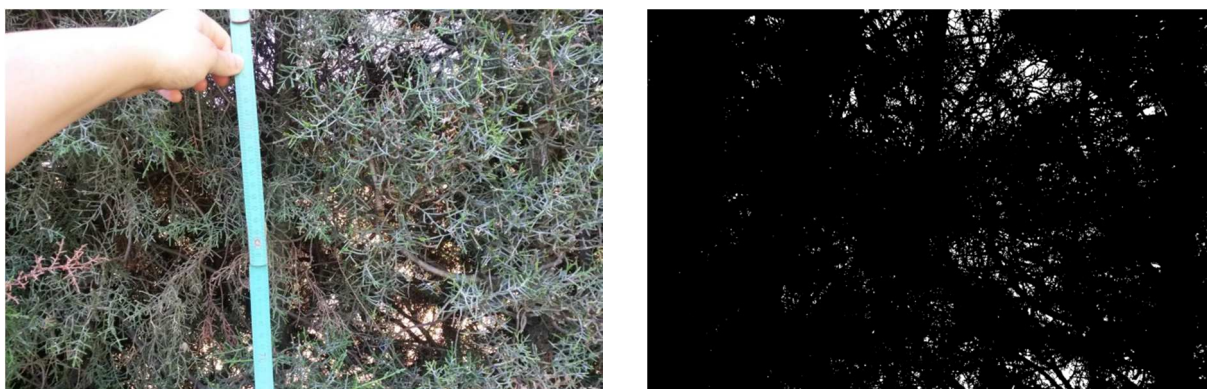
Εικόνα 20. Μέτρηση 2^η. Λέυλαντ. Αριθμός ανάλυσης εικόνας: 300dpi. Αριθμός pixels ολόκληρης της εικόνας: 138084925. Αριθμός λευκών pixels που συμβολίζουν τα κενά στο φυτό: 19509. Ποσοστό: 0,00014%.



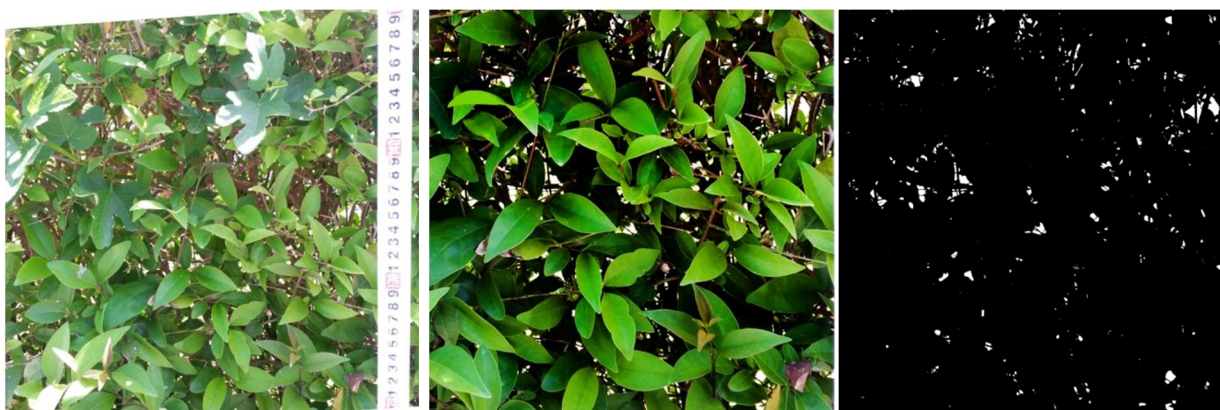
Εικόνα 21. Μέτρηση 4^η . Φωτίνια . Αριθμός ανάλυσης εικόνας: 300dpi . Αριθμός pixels ολόκληρης εικόνας : 138084925. Αριθμός λευκών pixels που συμβολίζουν τα κενά στο φυτό: 31011. Ποσοστό: 0,021%



Εικόνα 22. Μέτρηση 5^η . Τούγια . Αριθμός ανάλυσης εικόνας: 300dpi, Αριθμός pixels ολόκληρης εικόνας : 84585750, Αριθμός λευκών pixels που συμβολίζουν τα κενά στο φυτό: 217366, Ποσοστό: 0,257%



Εικόνα 23. Μέτρηση 6^η . Αριζόνικα(2). Αριθμός ανάλυσης εικόνας: 72dpi. Αριθμός pixels ολόκληρης εικόνας : 7608384. Αριθμός λευκών pixels που συμβολίζουν τα κενά στο φυτό: 2100. Ποσοστό: 3%



Εικόνα 24. Μέτρηση 7^η Λιγούστρο. Αριθμός ανάλυσης εικόνας: 300dpi. Αριθμός pixels ολόκληρης εικόνας : 42797764. Αριθμός λευκών pixels που συμβολίζουν τα κενά στο φυτό: 2587. Ποσοστό: 1,6%

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

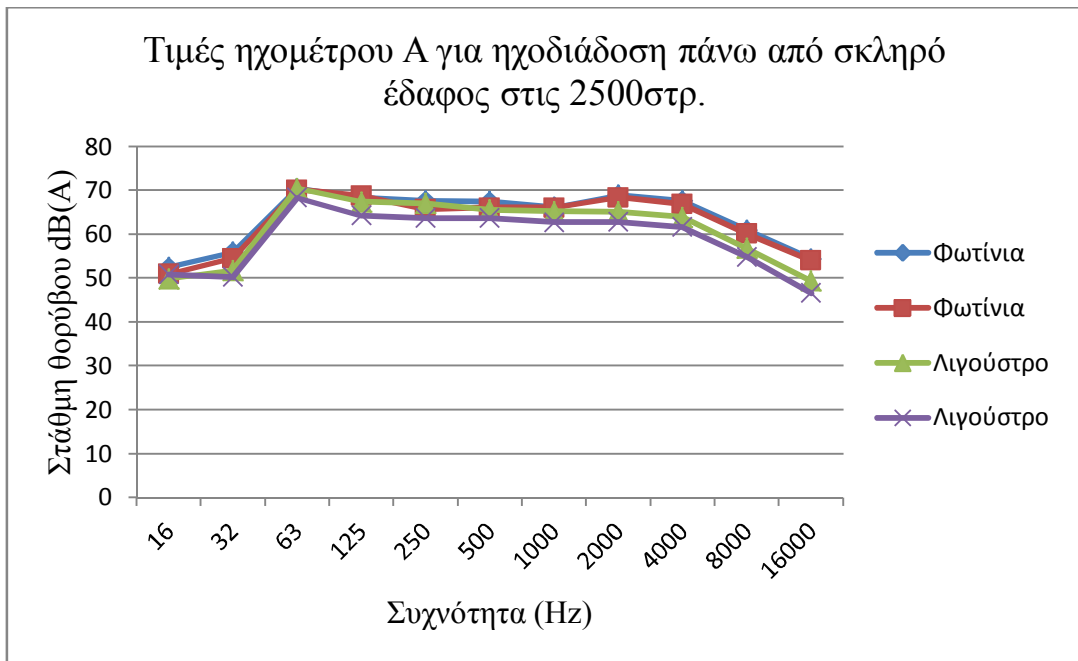
3.1. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Τα παρακάτω αποτελέσματα αφορούν στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από το ηχόμετρο A το οποίο βρίσκεται μπροστά από τον φυτοφράκτη στις προκαθορισμένες αποστάσεις όπως εμφανίζονται στο υποκεφάλαιο πειραματική διάταξη με σκοπό να γίνει κατανοητή η ποιότητα του ήχου πριν διαπεράσει το φυτικό εμπόδιο. Ο ήχος που παράγεται από τις 2500 στροφές του κινητήρα του οχήματος και διανύει μία απόσταση για να φτάσει στο ηχόμετρο A πάνω από τις σκληρές επιφάνειες εμφανίζει μικρή απομείωση. Το ηχητικό φαινόμενο που παρατηρείται ονομάζεται ανάκλαση από σκληρό έδαφος όπου τα ανακλώμενα και τα προσπίπτοντα ηχητικά κύματα συναντώνται και παρατηρείται χρονική καθυστέρηση, δηλαδή αργεί να σβήσει ο ήχος, μεταβολή πίεσης και αλλαγή φασματικής σύνθεσης. Επομένως, στο ηχόμετρο A έχουμε μετρήσεις με υψηλότερα επίπεδα ηχητικής στάθμης σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων και κορυφώσεις στα 63Hz και 2kHz. Μετά τα 2kHz παρατηρείται μία μείωση της τάξης των 15dB(A) και στα δύο φυτικά είδη **Διάγραμμα 17**.

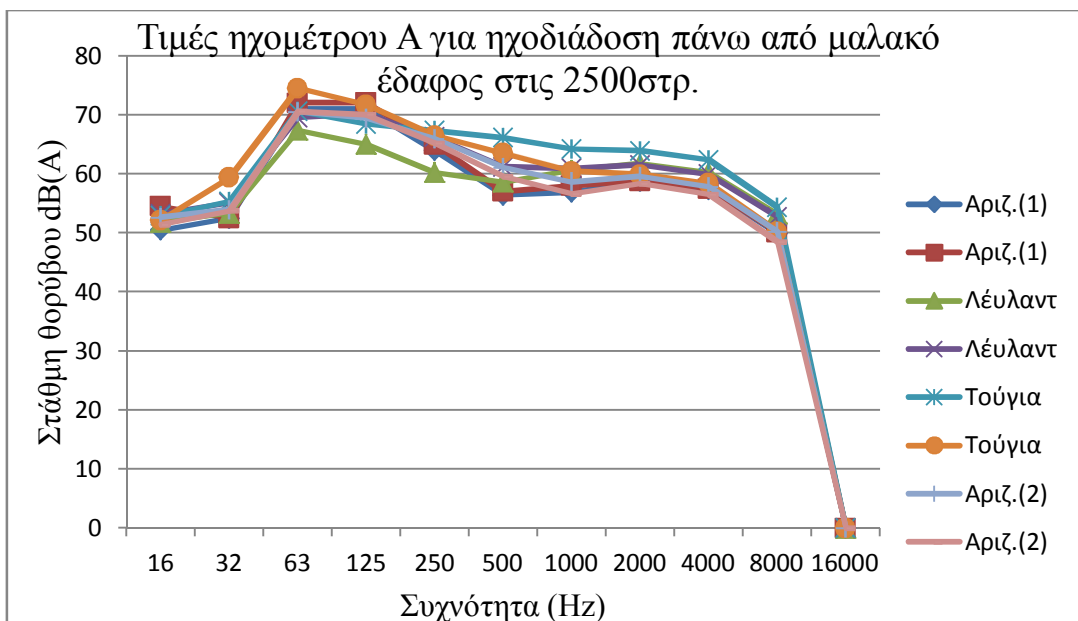
Στις μαλακές επιφάνειες, όταν περνάνε τα ηχητικά κύματα του θορύβου από πάνω τους, παρατηρείται μηδενισμός του στα 16kHz. Επίσης, στα 63Hz και 2kHz έχουμε την υψηλότερη τιμή στην ηχητική πίεση όπως συνέβη και στην ηχοδιάδοση πάνω από σκληρές επιφάνειες. Στην περίπτωση του μαλακού εδάφους η απομείωση⁸ από τα 2kHz και πάνω είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την πρώτη περίπτωση γιατί έχουμε και απορρόφηση και ανάκλαση από το έδαφος και η διαφορά ανάμεσα στη μαλακή και σκληρή επιφάνεια αρχίζει να εμφανίζεται από τα 500Hz και πάνω.

Αν θεωρηθεί ότι η ταχύτητα διάδοσης ενός ηχητικού κύματος είναι περίπου 343m/s τότε σύμφωνα με την εξίσωση $\lambda=c/f$ (1) για συχνότητα 2kHz χρειάζονται εμπόδια σε διαστάσεις κοντά στα 17cm για να επηρεάσουν την ηχοδιάδοση και για συχνότητα 200Hz χρειάζονται εμπόδια σε διαστάσεις κοντά στα 1,70m **Διάγραμμα 18**.

⁸ Η απομείωση λόγω απόστασης υπάρχει σε όλες τις περιπτώσεις και θεωρείται δεδομένη και ισχύει ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου.



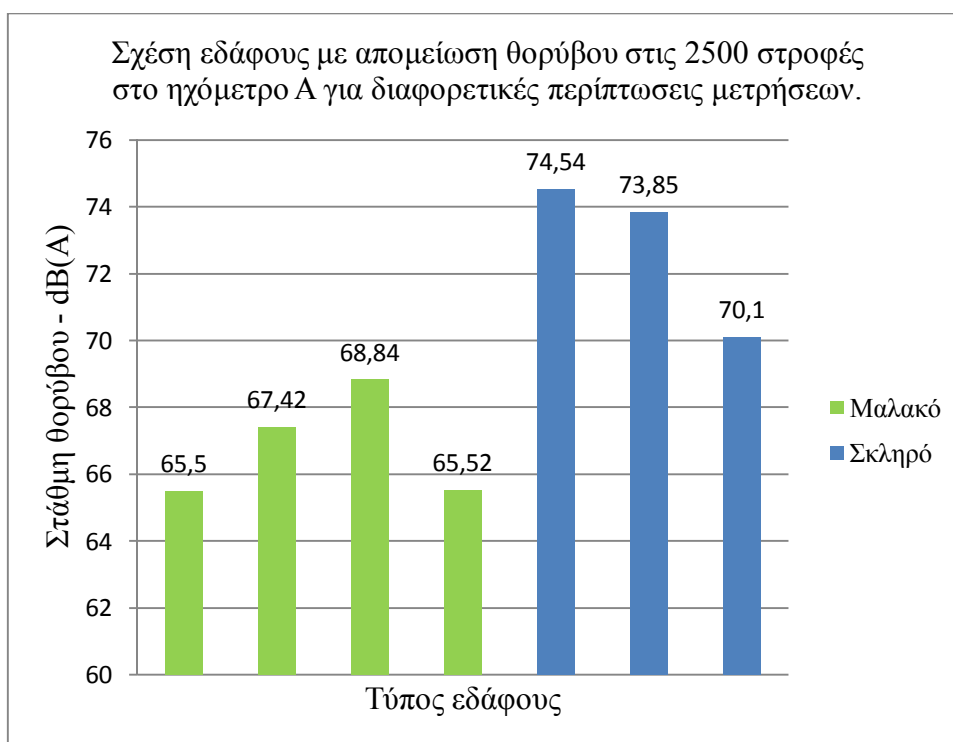
Διάγραμμα 17. Το συχνοτικό φάσμα του θορύβου που παράγεται από τον κινητήρα του οχήματος στις 2500 στροφές σε απόσταση 3 μέτρων από αυτόν και ύψος 0,8 μέτρων από το έδαφος στο Λιγούστρο(2) και 2 μέτρων στη Φωτίνα όπου βρίσκεται το ηχόμετρο A. Το έδαφος ανάμεσα στην πηγή θορύβου και το ηχόμετρο A είναι σκληρό. Οι αναφορές στα φυτικά είδη είναι διπλές γιατί πρόκειται για δύο σειρές μετρήσεων με και χωρίς τον φυτοφράκτη.



Διάγραμμα 18. Το φάσμα συχνοτήτων του θορύβου που παράγεται από τον κινητήρα του οχήματος στις 2500 στροφές σε απόσταση 3 μέτρων από αυτόν και ύψος 0,8 μέτρων από το έδαφος όπου βρίσκεται το ηχόμετρο A. Το έδαφος ανάμεσα στην πηγή θορύβου και το ηχόμετρο A είναι μαλακό. Οι αναφορές στα φυτικά είδη είναι διπλές γιατί πρόκειται για δύο σειρές μετρήσεων με και χωρίς τον φυτοφράκτη.

Συνολικά οι τιμές σε μέσους όρους σε όλες τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για θόρυβο που παράγεται από τον κινητήρα στις 2500 στροφές και καταγράφηκαν από το ηχόμετρο A φαίνονται στον **Πίνακα 4** και **Διάγραμμα 19**. Η μεγαλύτερη τιμή θορύβου και

επομένως η μικρότερη απομείωση παρατηρείται στο Λιγούστρο(1) γιατί ο περιβαλλοντικός θόρυβος ήταν υψηλός σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές, υπάρχει σχολείο σε απόσταση 100m, ενώ στην περίπτωση της Φωτίνιας η τιμή είναι η δεύτερη υψηλότερη γιατί η απόσταση ανάμεσα στο όχημα και στον φυτοφράκτη ήταν 2m και όχι 3m όπως στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Η Τούγια παρουσιάζει τη μικρότερη απομείωση από τις περιπτώσεις με τη διέλευση του ηχητικού κύματος πάνω από το μαλακό έδαφος και το ενδιαφέρον είναι ότι αυτός ο φυτοφράκτης παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απομείωση τελικά. Η Αριζόνικα(1) και (2) έχουν σχεδόν τις ίδιες τιμές γιατί δεν διαφέρει το έδαφος ούτε και οι αποστάσεις ανάμεσα στην πηγή και το ηχόμετρο A.

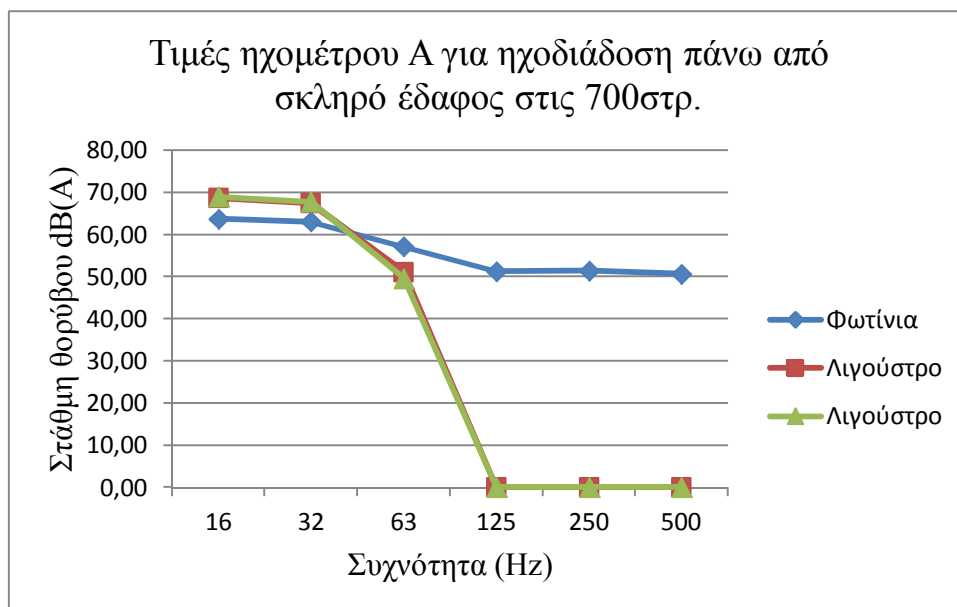


Διάγραμμα 19. Σταθμισμένες τιμές dB(A) στο ηχόμετρο A, στις 2500 στροφές του κινητήρα. Με πράσινο συμβολίζονται οι τιμές που προήλθαν από ηχοδιάδοση πάνω από μαλακό έδαφος και με πράσινο πάνω από σκληρό.

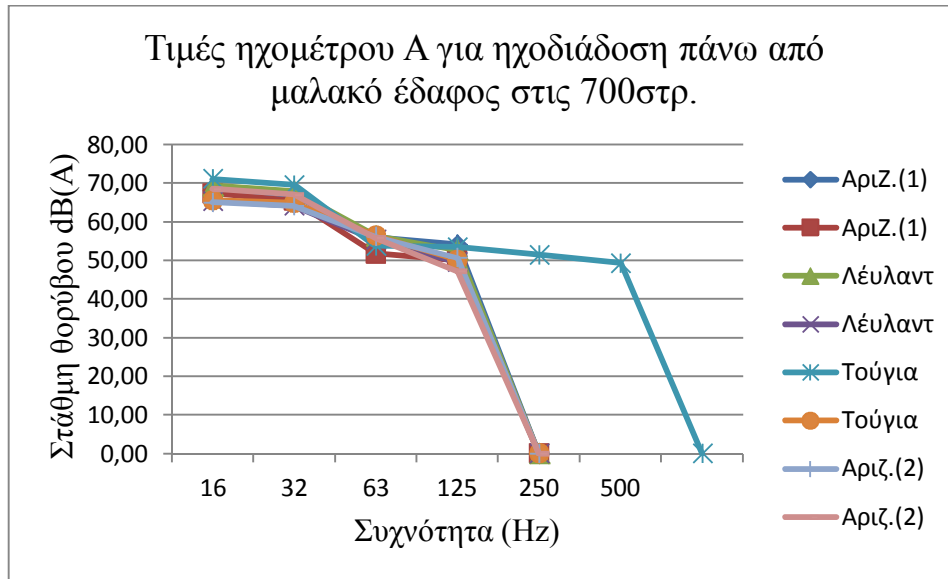
Πίνακας 4. Για 2500 στροφές από τον κινητήρα του οχήματος οι τιμές στο ηχόμετρο A στις 7 τοποθεσίες.

Είδος	Λιγούστρο(1)	Αριζόνικα(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγούστρο(2)
dB(A)	74,54	65,50	67,42	73,85	68,84	65,52	70,10

Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε και στη σειρά μετρήσεων στις 700 στροφές του κινητήρα. Τα παρακάτω αποτελέσματα αφορούν στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από το ηχόμετρο A το οποίο βρίσκεται μπροστά από τον φυτοφράκτη. Ο ήχος που παράγεται από τις 700 στροφές του κινητήρα του οχήματος και διανύει μία απόσταση για να φτάσει στο ηχόμετρο A πάνω από τις σκληρές επιφάνειες εμφανίζει μικρή απομείωση σε σχέση με αυτήν πάνω από τις μαλακές επιφάνειες για τις μετρήσεις πάνω από 63Hz . Από τα 125Hz παρατηρείται μηδενισμός στις σκληρές επιφάνειες και από τα 250Hz και άνω μηδενισμός στις μαλακές επιφάνειες το οποίο μπορεί να οφείλεται στο ηχητικό φαινόμενο destructive interference όπου το ανακλώμενο ηχητικό κύμα ακυρώνει το προσπίπτον και για αυτό έχουμε μεγαλύτερη μείωση. Στην περίπτωση της Φωτίνας η διαφορά ενδεχομένως να οφείλεται στη μικρή απόσταση ανάμεσα στην πηγή και τον ηχόμετρο A ή στις παρεμβάσεις από το περιβάλλον γιατί παρουσιάστηκαν ιδιομορφίες στην κατανομή του ηχητικού φάσματος στις περισσότερες από τις μετρήσεις. Η Τούγια επίσης, παρουσιάζει ενδιαφέρον και σε αυτή τη σειρά μετρήσεων με τις 700 στροφές όπου παρατηρείται μικρότερη απομείωση από τις υπόλοιπες περιπτώσεις με το μαλακό έδαφος και σβήνει ηχητικά από τα 500Hz και άνω.

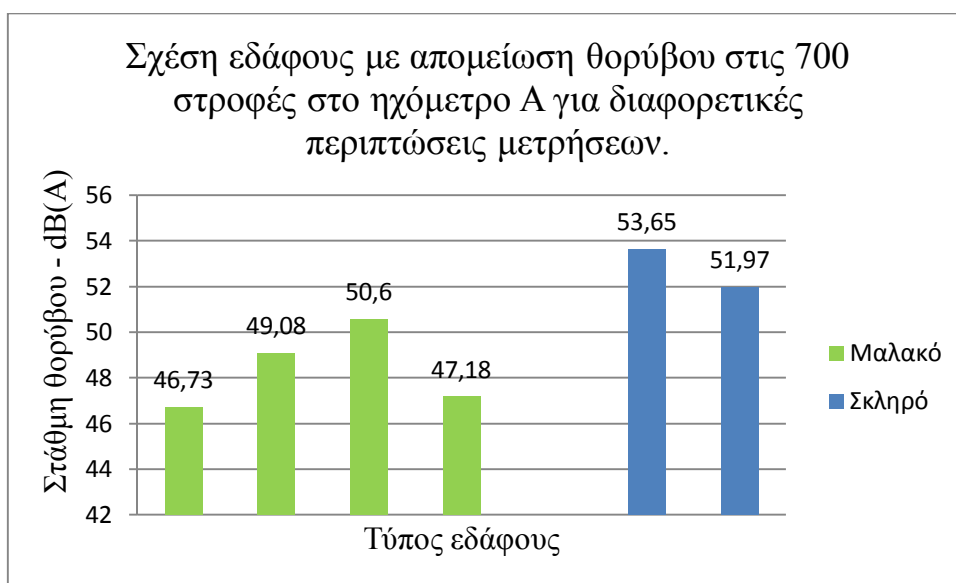


Διάγραμμα 20. Το φάσμα συχνοτήτων του θορύβου που παράγεται από τον κινητήρα του οχήματος στις 700 στροφές σε απόσταση 3 μέτρων από αυτόν και ύψος 0,8 μέτρων από το έδαφος στο Λιγούστρο(2) και 2 μέτρων στη Φωτίνα όπου βρίσκεται το ηχόμετρο A. Το έδαφος ανάμεσα στην πηγή θορύβου και το ηχόμετρο A είναι σκληρό. Οι αναφορές στα φυτικά είδη είναι διπλές γιατί πρόκειται για δύο σειρές μετρήσεων με και χωρίς τον φυτοφράκτη.



Διάγραμμα 21. Το φάσμα συχνοτήτων του θορύβου που παράγεται από τον κινητήρα του οχήματος στις 700 στροφές σε απόσταση 3 μέτρων από αυτόν και ύψος 0,8 μέτρων από το έδαφος όπου βρίσκεται το ηχόμετρο A. Το έδαφος ανάμεσα στην πηγή θορύβου και το ηχόμετρο A είναι μαλακό. Οι αναφορές στα φυτικά είδη είναι διπλές γιατί πρόκειται για δύο σειρές μετρήσεων με και χωρίς τον φυτοφράκτη.

Συνολικά, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 22**, τη μικρότερη απομείωση σε dB(A) παρουσιάζει η Φωτίνια και ακολουθεί το Λιγούστρο(2) γιατί και στις δύο περιπτώσεις η ηχοδιάδοση πραγματοποιήθηκε όπως προαναφέρθηκε πάνω από σκληρό έδαφος. Στο Λιγούστρο(1) δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις 700 στροφές κινητήρα. Στην Αριζόνικα(1) και Αριζόνικα(2) οι μετρήσεις και στις 2500 στροφές και εδώ είναι σχεδόν ίδιες γιατί το έδαφος είχε την ίδια επιφάνεια και το ηχητικό περιβάλλον επίσης παρουσίαζε τις ίδιες τιμές.

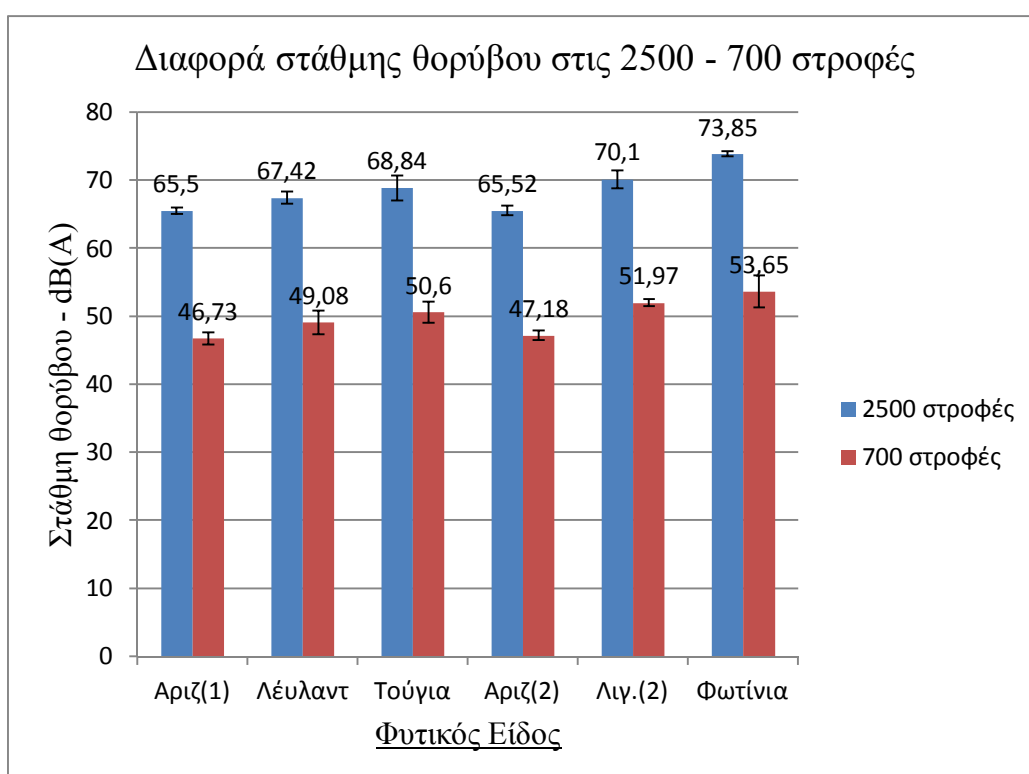


Διάγραμμα 22. Με μπλε συμβολίζεται η ηχοδιάδοση πάνω από σκληρή επιφάνεια και με πράσινο πάνω από μαλακή επιφάνεια.

Πίνακας 5. Για τις 700 στροφές του κινητήρα του οχήματος οι τιμές στο ηχόμετρο A στις 6 τοποθεσίες.

Είδος dB(A)	Λιγ/τρο(1)	Αριζόνικα(1)	Λεύλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγ/τρο(2)
		46,73	49,08	53,65	50,60	47,18	51,97

Όπως παρατηρείται από το **Διάγραμμα 23** υπάρχει διαφορά γύρω στα 18 dB μεταξύ των 2500 και των 700 στροφών το οποίο επιβεβαιώνεται από την βιβλιογραφία ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα ενός οχήματος και επομένως οι στροφές για ταχύτητες από 0km/h (700 στροφές) μέχρι 70km/h (2500 στροφές) υπάρχει αύξηση της στάθμης θορύβου αλλά και μετατόπιση στο συχνοτικό φάσμα προς υψηλότερες συχνότητες.



Διάγραμμα 23. Διαφορά απομείωσης λόγω εδάφους από το ηχόμετρο A στις 2500 στροφές και τις 700 στροφές.

Από τα **Διαγράμματα 17, 18, 20, 21** προκύπτει ότι ένα όχημα μεσαίου κυβισμού, που ο κινητήρας του εκπέμπει θόρυβο όταν περιστρέφεται στις 2500 στροφές, εμφανίζει τιμές σε όλο το φάσμα συχνοτήτων ενώ όταν ο κινητήρας είναι στις 700 στροφές, δηλαδή το όχημα είναι σε αναμονή, ο παραγόμενος θόρυβος ανήκει στο φάσμα συχνοτήτων μέχρι τα 500Hz σε απόσταση 3 μέτρων και πάνω από σκληρό έδαφος. Άρα ο παραγόμενος θόρυβος από αυτοκινητόδρομους περιαστικούς με ταχύτητες 50-70km/h, όπου ο θόρυβος προκύπτει κυρίως από τον κινητήρα και αναπτύσσονται οι 2500 στροφές σε μεσαίου κυβισμού οχήματα δεν είναι τόσο ενοχλητικός όσο ο θόρυβος που παράγεται από τα αυτοκίνητα που αναμένουν

στον φωτεινό σηματοδότη όταν πρόκειται για τον ίδιο αριθμό οχημάτων παρόλο που τα dB ενός αυτοκινήτου με υψηλότερη ταχύτητα είναι περισσότερα. (Wang, 2018).

3.2. Η ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΛΟΓΩ ΦΥΤΟΦΡΑΚΤΗ

Με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού Statgraphics, υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τιμές που παρουσιάζονται με και χωρίς τους φυτοφράχτες σε όλα τα είδη στις 2500 στροφές του κινητήρα και επομένως μπορούν να αξιολογηθούν για την απομείωση του θορύβου. Δηλαδή αξιολογήθηκε η διαφορά της απομείωσης ανάμεσα στα ηχόμετρα A-B με και χωρίς το εμπόδιο και είναι υπαρκτή σε όλες τις μετρήσεις. Στους **Πίνακες 6, 7, 8** παρατίθενται οι διαφορές μπροστά και πίσω από τον φράκτη, οι διαφορές χωρίς τον εμπόδιο και οι διαφορές μεταξύ τους. Η απομείωση IL είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση γιατί μόνο με αυτόν τον τρόπο απομονώνεται η απομείωση του εδάφους από την απομείωση από το έδαφος και τις διαφοροποιήσεις της επιφάνειάς του.

Πίνακας 6. Διαφορά των μέσων όρων στις 2500 στροφές μπροστά και πίσω από τον φυτοφράκτη ανάμεσα στα ηχόμετρα A και B.

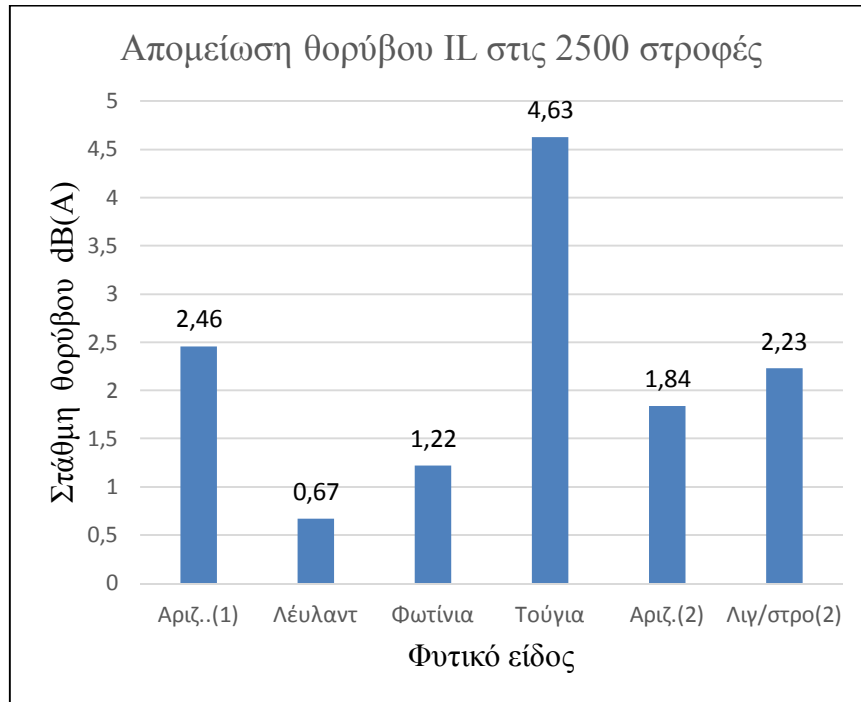
Φ.Είδη	Αριζόνικα(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγούστρο
LASp [dB]	6,17	5,68	7,17	7,16	7,54	7,20

Πίνακας 7. Διαφορά των μέσων όρων στις 2500 στροφές χωρίς τον φυτοφράκτη ανάμεσα στα ηχόμετρα A και B.

Φ.Είδη	Αριζόνικα(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγούστρο
LASp [dB]	2,90	5,00	5,95	2,52	5,70	4,97

Πίνακας 8. Απομείωση IL στις 2500 στροφές.

Φ.Είδη	Αριζόνικα(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγούστρο
LASp [dB]	2,46	0,68	1,22	4,63	1,84	2,23



Διάγραμμα 24. Απομείωση IL στις 2500 στροφές η είναι μεγαλύτερη στην Τούγια

Από το **Διάγραμμα 24** προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο θόρυβος παραγόμενος από το όχημα στις 2500 στροφές του κινητήρα απομειώθηκε περισσότερο από τον φυτοφράκτη του είδους Τούγια. Ο φυτοφράκτης από Λέυλαντ παρουσίασε τη μικρότερη απομείωση αν και είχε τη μικρότερη διαπερατότητα, όπως φαίνεται στη συνέχεια της εργασίας, από όλα και είχε και το τρίτο μεγαλύτερο ύψος μετά τις Αριζόνικα που μαζί με την Τούγια παρουσίαζαν αρκετά κενά και στο επίπεδο του εδάφους. Το αποτέλεσμα για τη Λέυλαντ επηρεάστηκε αρνητικά κατά τη μέτρηση χωρίς φυτοφράκτη όπου προστέθηκαν 40cm στην απόσταση ανάμεσα στα ηχόμετρα A και B όμως η διαφορά είναι μεγάλη για να οφείλεται μόνο σε αυτήν την αιτία.

Τα φυτά Αριζόνικα(1) και (2) παρόλα τα υψηλά ποσοστά στη διαπερατότητα παρουσίασαν αρκετή απομείωση. Η Αριζόνικα (1) παρουσίασε μεγαλύτερη απομείωση από την Αριζόνικα(2) γιατί έχει λιγότερα κενά αν και η δεύτερη έχει μεγαλύτερο ύψος και πάχος. Το Λιγούστρο(2) παρουσίασε μεγαλύτερη απομείωση από την Φωτίνια αν και ο δεύτερος φυτοφράκτης είχε μεγαλύτερο ύψος, πάχος, μικρότερη διαπερατότητα και μεγαλύτερα φύλλα σε μέγεθος πιθανόν λόγω πολύ σκληρού εδάφους και σίγουρα λόγω διάταξης του πειράματος όπως αποδεικνύεται από τον **Πίνακα 15**.

Με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού Statgraphics, δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τιμές που παρουσιάζονται με και χωρίς τους φυτοφράχτες

σε όλα τα είδη στις 700 στροφές του κινητήρα εκτός από την Αριζόνικα(1) και Λέυλαντ. Επίσης, το Λιγούστρο (1) δεν χρησιμοποιήθηκε ως μέτρηση για την απομείωση του θορύβου λόγω διαφορετικής διάταξης πίσω από τον φυτοφράκτη του ηχόμετρου Β το οποίο απείχε 75 εκατοστά επιπλέον από τις υπόλοιπες περιπτώσεις και το έδαφος δεν ήταν κατάλληλο γιατί δεν ήταν οριζόντιο, με λακκούβες καλυμμένο από χόρτα ψηλά, κλαδιά κ.α.

Πίνακας 9. Διαφορά των μέσων όρων στις 700 στροφές μπροστά και πίσω από τον φυτοφράκτη ανάμεσα στα ηχόμετρα Α και Β.

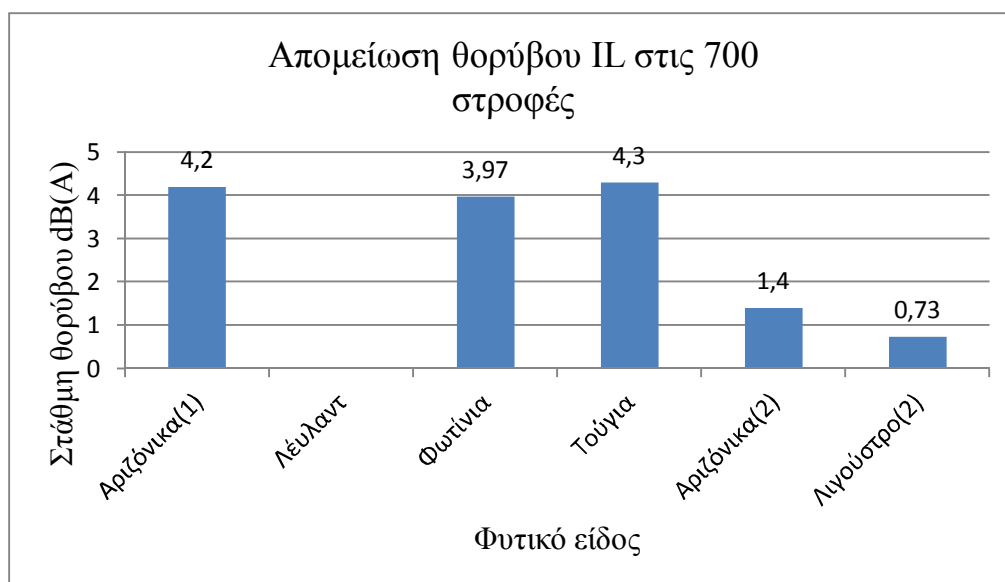
Φ.Είδη	Αριζόνικα(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγούστρο
LASp [dB]			6,30	6,10	4,57	5,80

Πίνακας 10. Διαφορά των μέσων όρων στις 700 στροφές χωρίς τον φυτοφράκτη ανάμεσα στα ηχόμετρα Α και Β.

Φ.Είδη	Αριζόνικα(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγούστρο
LASp [dB]			2,33	1,80	3,17	5,07

Πίνακας 11. Απομείωση IL στις 700 στροφές.

Φ.Είδη	Αριζόνικα(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα(2)	Λιγούστρο
LASp [dB]			3,97	4,30	1,4	0,73



Διάγραμμα 25. Απομείωση IL θορύβου από τους φυτοφράκτες στις 700 στροφές του κινητήρα.

Η Τούγια έχει τη μεγαλύτερη απομείωση παρόλο που το ηχόμετρο Β απομακρύνθηκε κατά 1 μέτρο από το ηχόμετρο Α στις μετρήσεις χωρίς των φυτοφράκτη επομένως ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας απομειώθηκε από το μαλακό έδαφος που σημαίνει ότι η τιμή IL θα

έπρεπε να είναι ακόμα μικρότερη. Η Φωτίνια και το Λιγούστρο(2) αν και είναι τα μόνα πλατύφυλλα δεν παρουσιάζουν την αναμενόμενη ηχητική απομείωση.

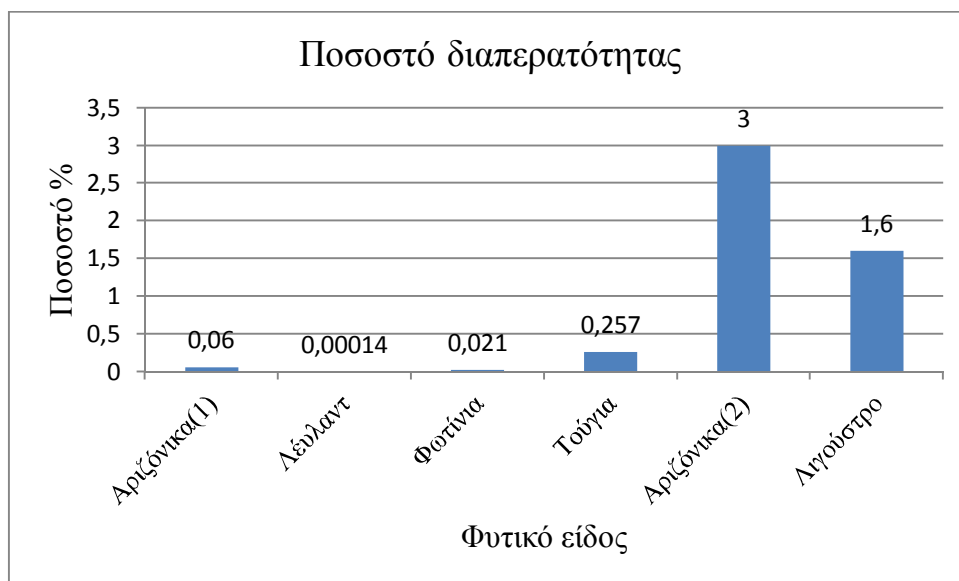
Η Αριζόνικα (2) παρουσιάζει μεγαλύτερη απομείωση από το Λιγούστρο(2) γιατί η πρώτη έχει μεγαλύτερο ύψος και πλάτος και ευνοείται από το μαλακό έδαφος μπροστά και πίσω από τον φυτοφράκτη.

3.3. ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΛΟΓΩ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΙ ΚΛΑΔΙΩΝ

Μετά τη λήψη των κάθετων φωτογραφιών και την επεξεργασία τους στο κατάλληλο λογισμικό προέκυψαν οι τιμές διαπερατότητας που φαίνονται στον **Πίνακα 12** και **Διάγραμμα 26**. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα τόσο πιο διάφανος στον ήχο είναι ένας φυτοφράκτης. μεγαλύτερη διαπερατότητα παρατηρείται στην Αριζόνικα(2), μετά στο Λιγούστρο(2). Για την Τούγια το ποσοστό διαπερατότητας είναι 0,257% και για τους υπόλοιπους φυτοφράκτες τα ποσοστά είναι σχεδόν μηδενικά. Παρόλα αυτά η Τούγια φαίνεται να έχει τη μεγαλύτερη απομείωση IL.

Πίνακας 12. Ποσοστά διαπερατότητας του κάθε φυτοφράκτη.

Είδος	Λιγούστρο (1)	Αριζόνικα (2)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόνικα (2)	Λιγούστρο (2)
Ποσοστό κενών		0,06%	0,00014%	0,021%	0,257	3%	1,6%

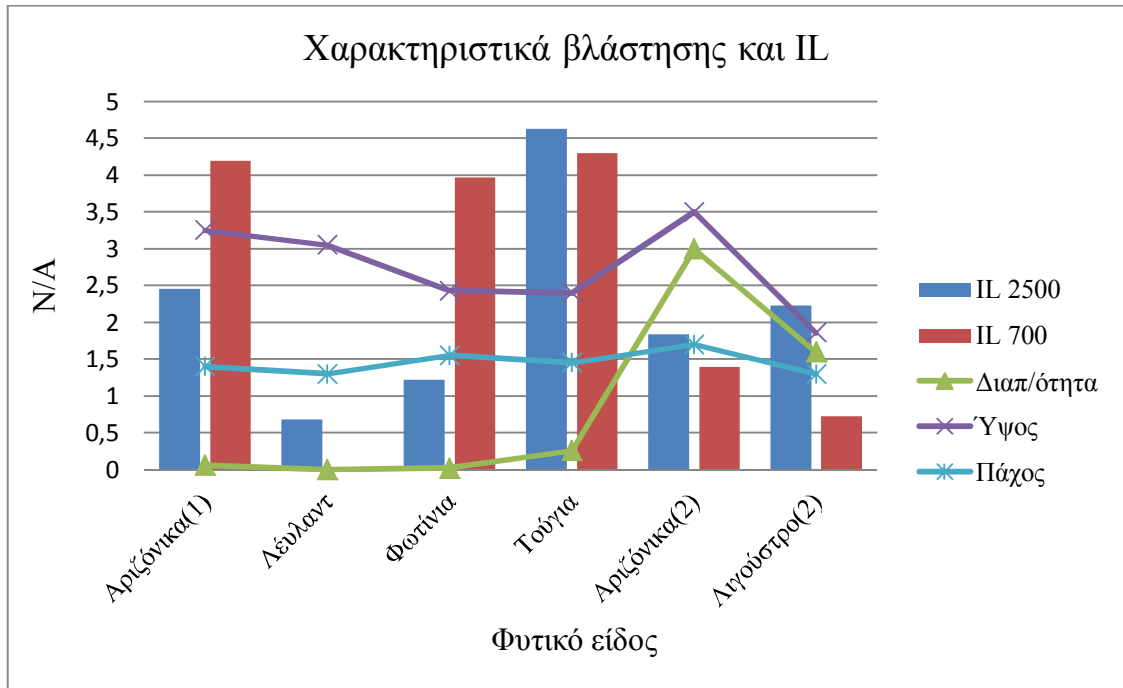


Διάγραμμα 26. Ραβδόγραμμα με τα ποσοστά διαπερατότητας.

Όπως φαίνεται από τα δεδομένα στον **Πίνακα 13** και **Διάγραμμα 27** η Τούγια εμφανίζεται να έχει σταθερά μεγαλύτερη απομείωση στον θόρυβο που παράγεται και στις 2500 στροφές και στις 700 στροφές του κινητήρα του οχήματος. Δεν παρουσιάζει ούτε το μεγαλύτερο ύψος ούτε και το μεγαλύτερο πάχος. Η Αριζόνικα(2) έχει τη μεγαλύτερη διαπερατότητα αλλά ο συνδυασμός με το μεγάλο ύψος και το πάχος πιθανώς να συνεισφέρει έτσι ώστε να έχει ικανοποιητική απομείωση. Η Αριζόνικα(1) έχει μεγαλύτερη απομείωση από την Αριζόνικα(2) πιθανών λόγω της μειωμένης διαπερατότητας επειδή όμως η δεύτερη έχει το μεγαλύτερο ύψος και μήκος πιθανόν για αυτό το λόγο δεν έχει και την χαμηλότερη απομείωση IL. Το Λιγούστρο(2) έχει μικρή απομείωση στις 700 στροφές γιατί έχει μικρές διαστάσεις και σε συνδυασμό με τη σκληρή επιφάνεια του εδάφους, λόγω περίθλασης και ανακλάσεων δημιουργείται το συγκεκριμένο αποτέλεσμα ενώ στις 2500 στροφές φαίνεται όπως προαναφέρθηκε να έχει μεγαλύτερη απομείωση από την Φωτίνια.

Πίνακας 13. Συγκεντρωτικός πίνακας με όλα τα δεδομένα.

Μέτρηση	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η	6 ^η	7 ^η
Ημερομηνία	27/12/2015	30/01/2016	16/02/2016	02/04/2016	17/04/2016	17/04/2016	17/04/2016
Είδος	Λιγ. (1)	Αριζ.(1)	Λέυλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζ.(2)	Λιγ.(2)
Ύψος (m)	1,75	3,25	3,05	2,43	2,40	3,50	1,86
Πάχος (m)	2,00	1,40	1,30	1,55	1,45	1,70	1,30
Μήκος (m)	88,00	92,00	79,00	14,00	69,00	79,00	29,00
Διαπ/τητα (%)		0,06	0,00014	0,021	0,257	3	1,6
IL 2500 dB(A)		2,46	0,68	1,22	4,63	1,84	2,23
IL 700 dB(A)				3,97	4,30	1,4	0,73



Διάγραμμα 27. Συνδυαστικό ραβδόγραμμα όλων των χαρακτηριστικών της βλάστησης και οι τιμές τους σε σχέση με τις απομειώσεις στις 2500 και 700 στροφές.

Όσο αφορά στην αρχιτεκτονική των φύλλων και κλαδιών τρεις περιπτώσεις παρουσιάζονται εδώ και αυτές είναι των φυτοφρακτών από τα κωνοφόρα είδη Αριζόνικα, Λεύλαντ και Τούγια. Όπως φαίνεται από τις **Εικόνες 25** και **28**, το φυτικό είδος Αριζόνικα έχει μία πιο χαλαρή δομή στα κλαδιά του και τα φύλλα του. Τα κλαδιά του εμφανίζονται να είναι πιο λεπτά από τις δύο άλλες περιπτώσεις και το ίδιο ισχύει και για τις βελόνες των φύλλων του καθιστώντας τον έναν διαπερατό φυτοφράκτη από το έδαφος και σε όλο το ύψος και πάχος του. Οι βελόνες και τα λέπια από τα φύλλα του είναι πιο λεπτά με αποτέλεσμα να μην υπάρχει επαρκής ηχητική απορρόφηση λόγω ιξώδους τριβής και απορρόφηση από την φυτομάζα.

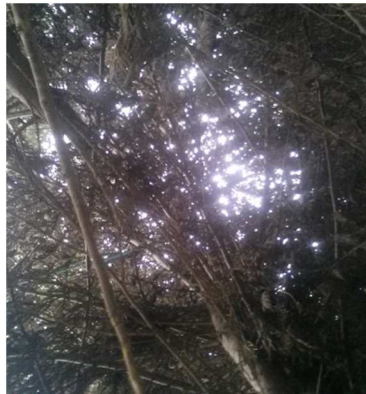
Στην **Εικόνα 26** και **Εικόνα 29** φαίνεται η Λεύλαντ εσωτερικά να έχει τα περισσότερα κενά ανάμεσα στα κλαδιά τα οποία είναι λιγότερο λεπτά σε σύγκριση με την Αριζόνικα. Τα κενά ανάμεσα στα κλαδιά είναι μεγάλα και περικλείονται από το συμπαγές εξωτερικό περίβλημα των φύλλων το οποίο εμφανίζει μηδενική διαπερατότητα. Το αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται εσωτερικά του φυτοφράκτη τα φαινόμενα της αντήχησης και της πολλαπλής ανάκλασης πάνω στις επιφάνειες των μερών του, ανάλογα με τα προσπίπτοντα μήκη κύματος. Έτσι, τα επίπεδα θορύβου αυξάνονται αφού εισχωρήσει ο θόρυβος στο εσωτερικό του φυτοφράκτη, παραπέμποντας στο φαινόμενο τρομπέτα που προαναφέρθηκε στην εισαγωγή. Επίσης, λόγω του φαινομένου της αντήχησης πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ίσως αυξάνεται ο χρόνος απομείωσης του θορύβου, δηλαδή αργεί να σβήσει ή να μειωθεί ο θόρυβος καθώς διέρχεται μέσα από το φυτό.

Στην περίπτωση του φυτού Τούγια ενώ τα κενά είναι λίγο περισσότερα από αυτά της Λεύλαντ παρόλα αυτά η αρχιτεκτονική των φύλλων και των κλαδιών της είναι διαφορετική το οποίο την

καθιστά πιο κατάλληλη επιλογή για την περίπτωση ανεμοφράκτη. Τα φύλλα είναι πεπλατυσμένα και διατεταγμένα σε ομάδες τα οποία δημιουργούν μία πιο ομαλή επιφάνεια στον φυτοφράκτη όπως φαίνεται στην **Εικόνα 30**. Στο εσωτερικό αντίστοιχα όπως φαίνεται στην **Εικόνα 27** ο αριθμός των κλαδιών είναι μεγαλύτερος όπως και το πάχος τους αφήνοντας μικρότερα κενά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο θόρυβος που διαπερνάει την εξωτερική επιφάνεια του φυτού που προστατεύεται από τα φύλλα να συναντάει ένα πιο συμπαγές εσωτερικό από τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Έτσι η απομείωση λόγω απορρόφησης στο εσωτερικό να είναι μεγαλύτερη και συνολικά η Τούγια να καταλήγει να είναι καταλληλότερη για χρήση ως φυτοφράκτης.



Εικόνα 25. Αριζόνικα (1). Φωτογράφιση της εσωτερικής δομής του φυτοφράκτη.



Εικόνα 26. Λέυλαντ. Φωτογράφιση της εσωτερικής δομής του φυτοφράκτη.



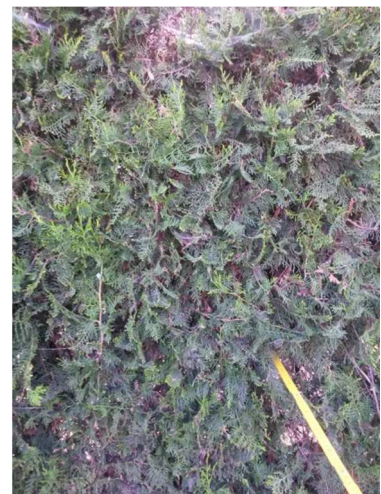
Εικόνα 27. Τούγια. Φωτογράφιση της εσωτερικής δομής του φυτοφράκτη.



Εικόνα 28. Αριζόνικα. Λεπτομέρεια από τη δομή των φύλλων.



Εικόνα 29. Λέυλαντ. Λεπτομέρεια από τη δομή των φύλλων.



Εικόνα 30. Τούγια. Λεπτομέρεια από τη δομή των φύλλων.

3.4. ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ

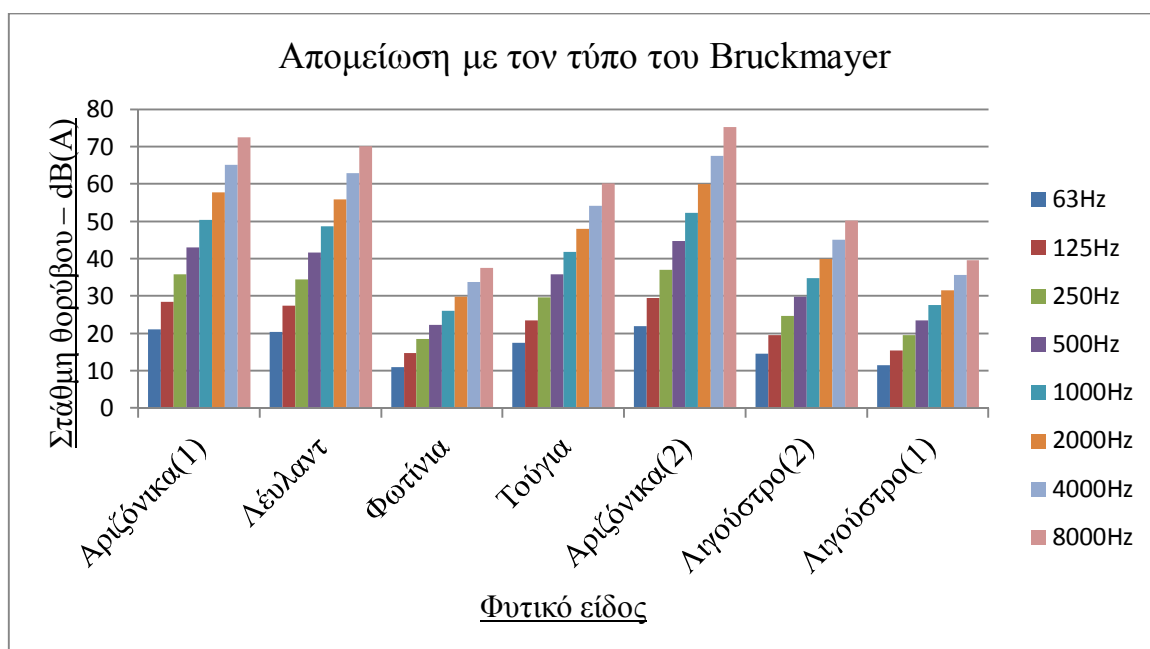
Σε αυτό το στάδιο γίνεται προσπάθεια χρήσης του τύπου του Bruckmayer που φαίνεται στην **Εξίσωση (8)** ο οποίος έχει εφαρμογή στα συμβατικά ηχοπετάσματα έτσι ώστε να ερμηνευτεί καλύτερα το **Διάγραμμα 27**. Αυτός ο τύπος λειτουργεί θεωρώντας ότι το πάχος του ηχοπετάσματος είναι μηδενικό και η επιφάνειά του χωρίς διαπερατότητα με επαρκή μάζα έτσι ώστε το ύψος του και οι αποστάσεις από την πηγή και τον λήπτη αλλά και τα ύψη της πηγής του και του λήπτη από το έδαφος να είναι επαρκή για να υπάρχει αρκετή απομείωση του θορύβου. Εφαρμόζοντας αυτόν τον τύπο στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να διαπιστωθεί αν οι διαστάσεις του φυτοφράκτη και οι αποστάσεις από πηγή και δέκτη επηρεάζουν τα Πλ που προέκυψαν. Σε αυτό βοήθησε ο **Πίνακας 14** που βασίστηκε στην **Εξίσωση (1)** και προκύπτουν οι παρακάτω διαστάσεις για τα μήκη κύματος στο φάσμα συχνοτήτων από 63Hz μέχρι 8.000Hz σε όλους τους φυτοφράκτες και στην πρώτη περίπτωση του Λιγούστρου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στον **Πίνακας 15** και στο **Διάγραμμα 28**. Σύμφωνα με αυτά, βάσει διάταξης πηγής, λήπτη και ύψους φυτοφράκτη κυριαρχούν η Αριζόνικα (2) και μετά η Αριζόνικα(1) που είναι και οι πιο ψηλοί φυτοφράκτες. Ακολουθούν οι Λεύλαντ και η Τούγια ενώ το Λιγούστρο(2), Λιγούστρο(1) και Φωτίνια βρίσκονται στις τελευταίες θέσεις. Επομένως, η Τούγια δεν έχει την μεγαλύτερη απομείωση λόγω ύψους φυτοφράκτη ή μικρής διαπερατότητας (τα όποια συνυπολογίζονται στο τελικό αποτέλεσμα αλλά όχι καθοριστικά) αλλά λόγω αρχιτεκτονικής του φυτού όπως προαναφέρθηκε.

Πίνακας 14. Μετρήσεις ύψους και ενεργού ύψους του κάθε φυτοφράκτη.

Είδος	Λιγούστρ.(1)	Αριζόνικα(1)	Λεύλαντ	Φωτίνια	Τούγια	Αριζόν.(2)	Λιγ.(2)
Ύψος (m)	1,75	3,25	3,05	2,43	2,40	3,50	1,86
Ενεργό (m) ύψος=h	0.95	2.45	2.25	1.63	1,60	2.70	1.06

Πίνακας 15. Απομείωση λόγω ηχοπετάσματος από την **Εξίσωση (8)**.

Φ.Είδος	Φάσμα συχνοτήτων και τιμές R_w								
	f	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Λιγούστρο(1)		11,59	15,57	19,60	23,63	27,66	31,69	35,72	39,75
Αριζόνικα(1)		21,19	28,47	35,83	43,19	50,56	57,92	65,28	72,65
Λεύλαντ		20,47	27,51	34,62	41,74	48,85	55,97	63,08	70,20
Φωτίνια		10,22	13,73	17,28	20,83	24,38	27,93	31,48	35,03
Τούγια		17,58	23,62	29,73	35,84	41,95	48,06	54,17	60,30
Αριζόνικα(2)		21,97	29,51	37,15	44,78	52,42	60,05	67,69	75,32
Λιγούστρο(2)		14,66	19,70	24,79	29,89	34,89	40,07	45,17	50,26

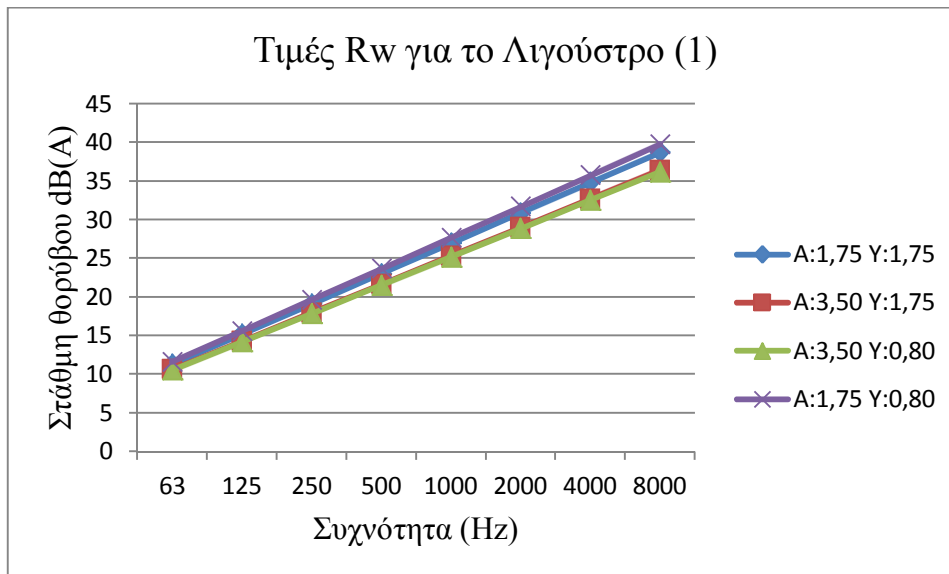


Διάγραμμα 28. Κατανομή της απομείωσης με βάση τον τύπο του Bruckmayer στο φάσμα συχνοτήτων.

Με βάση την ίδια **Εξίσωση (8)** και το **Σχήμα 17** όπου φαίνεται η πειραματική διάταξη του Λιγούστρου(1) προέκυψαν οι παρακάτω τιμές R_w που φαίνονται στον **Πίνακας 16** και στο **Διάγραμμα 29**. Σύμφωνα με αυτές το ηχομέτρο B όσο πιο χαμηλά στο έδαφος και κοντά στο φυτοφράκτη βρίσκεται τόσο μεγαλύτερη απομείωση έχει, ενώ όσο αυξάνεται η απόσταση από αυτόν και η κατακόρυφη απόσταση από το έδαφος τόσο μειώνεται η απομείωση σε εκείνο το σημείο. Στα 3,50 μέτρα απόσταση που είναι δύο φορές το ύψος του φυτοφράκτη δεν φαίνεται να παίζει ρόλο πλέον η κατακόρυφη απόσταση από το έδαφος του ηχοφράκτη.

Πίνακας 16. Διάγραμμα των τιμών R_w στο φάσμα συχνοτήτων από 63Hz μέχρι 8000Hz για το Λιγούστρο (1).

Διάταξη Ηχόμ.Β		Φάσμα συχνοτήτων και τιμές R_w για Λιγούστρο(1) (Hz)							
Απόσταση(m)	Ύψος(m)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1,75	1,75	11,30	15,18	19,10	23,03	26,95	30,88	34,81	38,73
3,5	1,75	10,62	14,27	17,96	21,65	25,34	29,03	32,73	36,42
3,5	0,8	10,56	14,18	17,85	21,52	25,19	28,86	32,53	36,20
1,75	0,8	11,59	15,57	19,60	23,63	27,66	31,69	35,72	39,75



Διάγραμμα 29. Διάγραμμα των τιμών R_w στο φάσμα συχνοτήτων από 63Hz μέχρι 8000Hz για το Λιγούστρο (1).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το είδος του φυτού επηρεάζει την απομείωση του θορύβου και αυτό οφείλεται κυρίως στα χαρακτηριστικά των φύλλων και λιγότερο στα κλαδιά και στο σώμα του φυτού. Παρόλα αυτά όπου υπάρχουν χοντρά και πολλά κλαδιά στο εσωτερικό του φυτοφράκτη όπως στην Τούγια απορροφούν περισσότερο τον ήχο λόγω μεγαλύτερης βιομάζας. Όπου υπάρχουν μεγάλα κενά στο εσωτερικό του φυτού σε συνδυασμό με ελάχιστη διαπερατότητα από τα φύλλα παρατηρείται το φαινόμενο τρομπέτα όπως στη Λέυλαντ.

Τα φύλλα τα οποία αναπτύσσονται πυκνά προσδίδοντας στον φυτοφράκτη χαμηλή διαπερατότητα που ξεκινάει από το έδαφος μέχρι σε μεγάλο ύψος και εσωτερικά δεν υπάρχουν μεγάλα κενά και ανήκουν σε φυτά αειθαλή φυτεμένα κοντά στην πηγή θορύβου, είναι πιο αποτελεσματικά στην ανάκλαση και στην απορρόφηση του θορύβου.

Η απομείωση από τους φυτοφράκτες είναι μικρή σε νούμερο αλλά σημαντική εφόσον μιλάμε καθαρά για την επιρροή μιας σειράς φυτοφράκτη που δεν υπερβαίνει τα 1,70 μέτρα πάχος και 3,50 μέτρα ύψος. Η μέγιστη απομείωση για την περίπτωση των 2500 στροφών είναι 2,46dB(A) ενώ για την περίπτωση των 700 στροφών είναι 4,30dB(A) τα όποια βιβλιογραφικά μεταφράζονται σε μείωση της ηχητικής ενέργειας κατά περίπου 40% και 60% αντίστοιχα (Kalansuriya et al, 2009).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις επιφάνειες εκατέρωθεν του οδοστρώματος όπου παρατηρείται σημαντική διαφορά ανάμεσα στις μαλακές και σκληρές τις τάξεις των 5 dB(A)

για τις 2500 στροφές και 3dB(A) για τις 700 στροφές για αποστάσεις ανάμεσα σε πηγή και λήπτη των 3 μέτρων.

Η μεταβολή στις στροφές του κινητήρα του αυτοκινήτου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην αύξηση του θορύβου αλλά και στη μεταβολή του ηχητικού περιβάλλοντος. Δηλαδή η μεταβολή η μεταβολή των στροφών του κινητήρα από τις 700 στις 2.500 στροφές επιφέρει μία αύξηση 18dB(A) και αλλάζει το φάσμα συχνοτήτων από χαμηλές συχνότητες στις 700 στροφές σε υψηλές και πιο ενοχλητικές συχνότητες στις 2500 στροφές .

Όσο αφορά το ηχητικό περιβάλλον στις 700 στροφές ο κινητήρας εκπέμπει θορύβους που καλύπτουν τις χαμηλές συχνότητες μέχρι 500Hz ξεκινώντας από τα ενώ στις 2500 στροφές οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπει ο κινητήρας φτάνουν από τα 16Hz στα 8kHz στην οκταβική κλίμακα συχνοτήτων.

Παρατηρήθηκε μικρότερη απομείωση του θορύβου από το έδαφος και στις 2500 στροφές και στις 700 στροφές στις τρεις περιπτώσεις που η διαδρομή από τη μηχανή μέχρι το ηχόμετρο A γίνεται σε σκληρή επιφάνεια. Μάλιστα η μικρότερη διαφορά παρουσιαζόταν εκεί που υπήρχε πλακάκι, μετά εκεί που υπήρχε άσφαλτος και μετά χώμα.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Παρακάτω παρατίθενται προτάσεις βελτίωσης της έρευνας.

Για να είναι πιο ολοκληρωμένη η εικόνα για τη σχέση θορύβου και οχημάτων χρειάζονται περισσότερες διεργασίες. Οι παράγοντες που παίζουν ρόλο στην απομείωση του θορύβου από έναν φυτοφράκτη είναι πολλοί και χρειάζονται in vivo μετρήσεις εκτός από in situ όπου γίνεται υπολογισμός της φυτομάζας και μετρήσεις σε ανηχοϊκά και αντηχητικά δωμάτια το οποίο προϋποθέτει άδεια από τους ιδιοκτήτες για αφαίρεση φυτομάζας.

Πρέπει επίσης, να γίνουν μετρήσεις του ιδίου αυτοκινήτου όχι μόνο σε στάση αλλά και σε κίνηση στις ίδιες στροφές που μελετήθηκαν μέχρι τώρα. Αυτό οφείλεται στο ότι ο θόρυβος που προκύπτει από σημειακή πηγή όπως είναι το αυτοκίνητο σε στάση, απομειώνεται περισσότερο από τον θόρυβο που προέρχεται από γραμμική, ασυνεχή πηγή όπως είναι το αυτοκίνητο σε κίνηση λόγω περίθλασης.

Χρειάζεται μεγαλύτερος αριθμός φυτοφρακτών των συγκεκριμένων ειδών για να μπορεί να γίνει μία πιο αναλυτική σύγκριση των δεδομένων όσο αφορά στους τέσσερις βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απομείωση λόγω φυτοφράκτη που είναι το είδος του φυτού και η αρχιτεκτονική του, η φυτική του κατάσταση στην οποία οφείλονται τα κενά, η

αρχιτεκτονική του όγκου του (πάχος, ύψος, μήκος, σχήμα), οι επιφάνειες του περιβάλλοντος, η διάταξη του πειράματος (δοκιμές με διαφορετικές θέσεις της πηγής και του λήπτη), το ηχητικό περιβάλλον και το φάσμα συχνοτήτων του παραγόμενου θορύβου.

Τέλος χρειάζεται λογισμικό τελευταίας τεχνολογίας το οποίο βάσει νομοθεσίας για πρόβλεψη θορύβου υπολογίζει τα επίπεδά του.

Εφόσον σε πρώτο στάδιο ολοκληρωνόταν η σειρά μετρήσεων και διεργασιών καταλήγοντας σε αποτελέσματα και συμπεράσματα εύλογη και εύστοχη θα ήταν η πειραματική διαδικασία να συνεχιστεί σε χώρους του πανεπιστημίου όπου θα αναπτυχθούν τα φυτικά είδη που επιλέχθηκαν για να γίνουν οι μετρήσεις σε διαφορετικά σχήματα και διατάξεις ενδεχομένως.

Η χρήση των φυτοφρακτών ως ηχοπετάσματα μπορεί να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα εφόσον και αν γίνει πρώτα ολοκληρωμένη έρευνα του αντικειμένου και κατόπιν εφαρμογή σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των ερευνών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anderson GS, Kruze UJ (1992) *Outdoor sound propagation*. In: Beranek L, Vèr IL (eds) *Noise and vibration control engineering. Principles and applications*. Wiley, New York, pp 113–144
2. Arenas, J. P. (2006). *Sound barriers and environmental impact studies*. The thirteenth international Congress on sound and vibration, 02-06 July, 2006, Vienna. [Online]. Available at
<https://www.researchgate.net/publication/288652280_Sound_barriers_and_environmental_impact_studies/download> [Accessed 17 April, 2014]
3. Attenborough., K. (2002, 34). Sound propagation close to the ground. *Annual review of fluid mechanics*, σσ. 51-82. [Online]. Available at
<<https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.34.081701.143541>> [Accessed 17 April, 2014]
4. Aylor, D. (1971, 51). Noise Reduction by vegetation and ground. *Journal of acoustic society in America* , σσ. 197-205 [Online]. Available at
<<https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1912830>> [Accessed 17 April, 2014]
5. Aylor, D. (1972, 51). Sound transimission through vegetation in realtion to leaf area density, leaf width and breadth of canory. *Journal acoustcal society of America* , p.p. 411-414 [Online]. Available at <<https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1912852>> [Accessed 17 April, 2014]
6. Botteldooren, T. V. (2007, November). Numerical evaluation of tree canopy shape near noise barriers to improve downwind shielding. Pages:648-657. [Online]. Available at
https://www.researchgate.net/publication/224857538_Numerical_evaluation_of_tree_canopy_shape_near_noise_barriers_to_improve_downwind_shielding
7. Bowlby W (1998) *Highway noise prediction and control*. In: Harris CM (ed) *Handbook of acoustical measurements and noise control*, 3rd edn. Acoustical Society of America, Melville.
8. Bucur, V. (2006). *Urban forest acoustics*. Springer-Verlag, Berlin Heildenberg.
9. Bullen R, Fricke F. (1982) *Sound propagation through vegetation*. J Sound Vibr 80.

-
10. Centre d'Information sur le Bruit. (2009). *Guide pour les particuliers Réaliser son mur antibruit*. [Online]. Available at http://www.bruit.fr/images/stories/pdf/guide_particuliers_realiser_mur_antibruit.pdf [Accessed 20 August, 2016]
 11. Cheal, C., Kang, J., & Yang, H.-S. (2011). Sound dispersion and reverberation by a single tree. [Online]. Available at <https://core.ac.uk/download/pdf/55690463.pdf>
 12. CidB (2009) [Online]. Guide pour les particuliers. Réaliser son mur antibruit. Available at http://www.bruit.fr/images/stories/pdf/guide_particuliers_realiser_mur_antibruit.pdf [Accessed 20 August, 2016]
 13. Community and Development Planning (2002). *The noise guide book*, Chapter 4, Noise attenuation. [Online]. Available at https://www.hud.gov/sites/documents/DOC_16417.PDF [Accessed 02 June, 2014]
 14. Cox, T. J., & D'Antonio, P. (2009). *Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application* (δεύτερη έκδοση εκδ.). Taylor and Francis, Oxon. [Accessed 20 August, 2016]
 15. Egan M. D. (1972). *Concepts in Architectural acoustics*. McGraw Hill, N.York.
 16. Engineering toolbox. (2014). *Speed of sound in air*. [Online]. Available at http://www.engineeringtoolbox.com/air-speed-sound-d_603.html [Accessed 04 July, 2014]
 17. Environmental Protection Department, Highways Department, Government of the Hong Kong. (2003). *Guidelines on Design of Noise Barriers*. [Online]. Available at https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/files/barrier_leaflet.pdf [Accessed 18 May, 2014]
 18. Environmental Protection Department(2010) . *Environmental Impact Assessment Ordinance, Cap.499, Guidance Note*. [Online]. Available at <https://www.epd.gov.hk/eia/hb/materials/GN12.pdf> [Accessed 17 May, 2014]
 19. European Commission(2014). *Public health*. [Online]. Available at <https://ec.europa.eu/health/opinions/en/hearing-loss-personal-music-player-mp3/images/figure-1.png> [Accessed 17 May, 2014]
 20. Federal Highway Administration (2013). *Noise Barrier Design Handbook*. [Online]. Available at

<http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/noise_barriers/design_construction/design/design03.cfm> [Accessed 20 June, 2014]

21. Framework Programme(FP7/2007-2013)(2013). *Novel solutions for quieter and greener cities.* . [Online]. Available at <https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130118_165556_40187_HOSANNA_SummaryBrochure%5BJan2013%5D.pdf.pdf> [Accessed 17 March, 2014]
22. Freemeteo (2019) *Ο καιρός*. [Online]. Available at <www.freemeteo.gr> [Accessed 20 June 2018]
23. Fricke, F. (1984). Sound attenuation in forest. *Journal of Sound and Vibration*,, 1(92), pp. 149-158. [Online]. Available at <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022460X84903808>> [Accessed 16 July, 2014]
24. Ghiacci A. (2012) *Outdoor Propagation*. Acoustics-Course. Parma University, 20 October, 2013 [Online]. Available at <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Acoustics-Course/DOC-2013/08_ghiacci_222030.doc> [Accessed 07 August, 2014]
25. Greg Watts, L. C. (1999). *The effects of vegetation on the perception of traffic noise*. *Applied Acoustics*(56), pp. 39-56. [Online]. Available at <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X9800019X>> [Accessed 07 August, 2014]
26. Haibo W., Peng L., Ming C. (2018) *Calculation of Noise Barrier Insertion Loss Based on varied vehicle frequencies*, *Applied Sciences* < [Online]. Available at <<https://www.mdpi.com/2076-3417/8/1/100/pdf>> [Accessed 29, January, 2019]
27. Hellis, N. (2018). *Sound barriers: The use of trees and shrubs to reduce noise* [Online]. Available at <<https://www.hellistreeconsultants.co.uk/page/sound-barriers-the-use-of-trees-and-shrubs-to-reduce-noise/149/>> [Accessed 20 August, 2018]
28. Jarou Z. (2009) Measuring Leaf Area with Adobe Photoshop . [Online]. Available at <<https://www.youtube.com/watch?v=E3O-V6WLw0g>> [Accessed 16 June, 2014]
29. Kalansuriya C.M. , *et al* (2009). *Effect of roadside vegetation on the reduction of traffic noise levels*. Proceedings of the Technical Sessions, 25 (2009) 1-6 Institute of Physics, Sri Lanka.
[Online]. Available at <

-
- https://www.researchgate.net/publication/239939497_Effect_of_roadside_vegetation_on_reduction_of_traffic_noise_levels/download>[Accessed 17 March, 2014]
30. Kuttruff H. (2007). *Acoustics, an introduction*. 1st english ed. Taylor& Francis, London and New York
31. Noise Barrier Design Guidelines. (2013). *Part 2: Noise Barrier Design Principles* [Online]. Available at <<https://www4.uwm.edu/cuts/noise/noiseb.htm>> [Accessed 20 June, 2014]
32. Noise news (2018) [Online]. Available at <<https://www.cirrusresearch.co.uk/blog/2015/01/fast-slow-impulse-time-weightings/>> [Accessed 20 December, 2018]
33. NSW Government (1999). *Environmental criteria for road traffic noise*. [Online]. Available at <<https://www.environment.nsw.gov.au/resources/noise/roadnoise.pdf>> [Accessed 15 May, 2014]
34. RTA (2001) *Environmental Noise Management Manual*. [Online]. Available at <<https://www.rms.nsw.gov.au/business-industry/partners-suppliers/documents/guides-manuals/environmental-noise-management-manual.pdf>> [Accessed 04 April, 2014]
35. Wikibooks (2014) *Engineering acoustics/Outdoor sound propagation*. [Online]. Available at <https://en.wikibooks.org/wiki/Engineering_Acoustics/Outdoor_Sound_Propagation> [Accessed 07 June, 2014]
36. Wikimedia Commons(2014). Outdoor sound refraction. . [Online]. Available at <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Outdoor_Sound_Refraction.png> [Accessed 29 March, 2014]
37. Yang, H.S., Kang J., Cheal C.(2011). *Sound dispersion and reverberation by a single tree*. Inter noise 4-7 September 2011, Osaka [Online]. Available at <<https://core.ac.uk/download/pdf/55690463.pdf>> [Accessed 30 March, 2014]
38. Yang F., Bao Z., Zhujun Z., Liu J., The Investigation of Noise Attenuation by Plants and the Corresponding Noise-Reducing Spectrum. [Online]. Available at <https://www.researchgate.net/publication/43344334_The_Investigation_of_Noise_Attenuation_by_Plants_and_the_Corresponding_Noise-Reducing_Spectrum> [Accessed 30 March, 2014]

-
39. Αρμπης, Γ. (2010). *Προσδιορισμός των επιπέδων ηχητικής όχλησης και δημιουργία σχεδιαστικής πρότασης ανάπλασης στον ευρύτερο χώρο της περιοχής ΧΡΩΠΕΙ. Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.* [Online]. Available at <http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/199/Armpis_G.pdf?sequence=1> [Accessed 12 September, 2014]
40. Βικιπαίδεια. (2014). *Ένταση Ήχου* [Online]. Available at <<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CF%87%CF%8E>> [Accessed 12 September, 2014]
41. Βικιπαίδεια. (2014). *Ηχώ.* [Online]. Available at <<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CF%87%CF%8E>> [Accessed 16 July, 2016]
42. Βογιατζής Κ., Ψύχας Κ., Καραντούνιας Κ.(1990). *Διερεύνηση δυνατοτήτων μείωσης του κυκλοφοριακού θορύβου από συστήματα φύτευσης και ζωνών πρασίνου . .Τεχνικά χρονικά, τόμος 10, τεύχος 1* [Online]. Available at <http://library.tee.gr/digital/techr/1990/techr_1990_a_10_1_7.pdf> [Accessed 12 September, 2014]
43. Γεωργακοπούλου - Βογιατζή, Χ. (2009). *Καλλωπιστικά φυτά εξωτερικών χώρων (Α' εκδ.).* Άγις - Σάββας Δ. Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη.
44. Δαμασιώτης, Χ. (2011). *Ηχορύπανση και τρόποι αντιμετώπισης σε υπο κατασκευή σχολείο.* Πτυχιακή Διατριβή. Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Ρέθυμνο. [Online]. Available at <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/mta/2011/DamasiotisChristodoulos/attached-document-1329730926-49753-22574/Damasiotis_Christodoulos.pdf> [Accessed 16 July, 2016]
45. Δέλτα 360 (2013), *Σημειώσεις ακουστικής* [Online]. Available at <http://iekdeltalive.gr/sound-music/MOYSIKI_ME_TEXNOLOGIA/b04c96333e0e8bc05b51b4398757ce9b/ff8ba162234dfa3a0ad9d41700d9bc1a/%CE%91%CE%9A%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3.pdf> [Accessed 26 August, 2018]
46. Δημόκριτος (2004) *Ηχητικά σήματα* [Online]. Available at <<http://users.iit.demokritos.gr/~ntsap/courses/bes04/various/sgouros02.pdf>> [Accessed 17 August, 2014]
47. ΕΛ.ΙΝ.Α. (2010). *Ελληνικός κανονισμός ηχοπροστασίας*, Αθήνα.

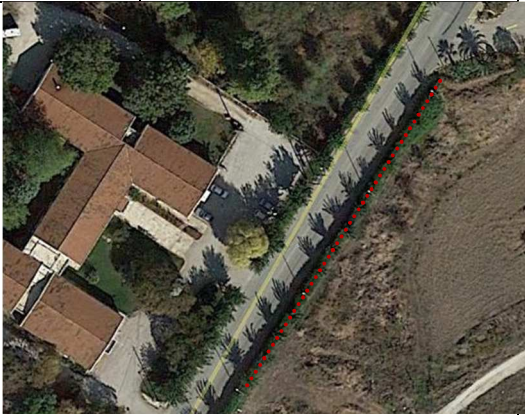
-
48. Ηχοπαρέμβαση. (2018). *Ηχόμετρα/όργανα*. [Online]. Available at <http://www.noise-control.gr/%CE%B7%CF%87%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B1.htm> [Accessed 20 November, 2018]
49. Ευθυμιάτος, Δ. (2007). *Ακουστική και κτιριακές εφαρμογές*. Παπασωτηρίου, Αθήνα.
50. Κουφούδης, Α. (2011). *Ακουστικός Σχεδιασμός αμφιθεάτρου*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα. [Online]. Available at http://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/7425/koufoudisa_quality.pdf?sequence=3 [Accessed 16 July, 2014]
51. Κοφίτσας, Ι. Δ. (1997). *Στοιχεία οδοποιίας*. Εκδοτικός Ομίλος "ΙΩΝ", Αθήνα.
52. ΚΤΙΡΙΟΔΟΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ, (2014). *Άρθρα 355 έως 365*. [Online]. Available at http://www.greekarchitects.gr/site_parts/tools/gok/text_3st/0_1.htm [Accessed 16 July, 2014]
53. Μπάρκας, Κ.Ν. (2014). *Ήχος και θόρυβος μία εισαγωγή*. [Online]. Available at http://www.noiseawareness.gr/yliko/noiseawareness_hxos_kai_thoryvos_parousiasi.pdf [Accessed 16 July, 2014]
54. Μπάρκας, Κ.Ν. (2014). *Περιβαλλοντική Ακουστική. Σημειώσεις για το Π.Ε.Γ.Α*. [Online]. Available at https://repository.edulll.gr/edulll/retrieve/10423/3479_MAThHMA%205.pdf [Accessed 25 April, 2014]
55. Παπαμανώλης, Ν. (2012). *Περιβαλλοντική εκπαίδευση για τεχνικές ειδικότητες*. ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα
56. Σωτηροπούλου Α. (1996). *Εμβάθυνση στο σχεδιασμό χώρων ακρόασης*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα.
57. Τζεκάκης, Μ., Τσινίκας, Ν. (1986). *Πολυεδαμική ηχοπροστασία*. University studio press, Θεσσαλονίκη
58. Τζώρτης Ν., Μαρινάκη Α. (2004). *Εκτίμηση και μέτρα αντιμετώπισης κυκλοφοριακού θορύβου σε υπεραστική οδό* [Online]. Available at http://library.tee.gr/digital/techr/2004/techr_2004_6_tzortzi.pdf [Accessed 03 June, 2015]

-
59. Τσαπατσούλης, Ν. (2004). *Ηχητικά κύματα*. Διάλεξη. Δημόκριτος. [Online]. Available at <<http://users.iit.demokritos.gr/~ntsap/courses/bes04/various/sgouros02.pdf>> [Accessed 17 April, 2014]
60. Τσινίκας, Ν. (1990). *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη
61. Τσινίκας, Ν. (2002). *Αρχιτεκτονικός αντιθορυβικός σχεδιασμός*. Α.Π.Θ. [Online]. Available at <http://users.auth.gr/tsinikas/PAPERS%20pdf/4_7%20Antithorivikos%2002.pdf> [Accessed 16 June, 2014]
62. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΥΠΡΟΥ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ. (2007). *Σχέδιο Δράσης ΣΔ2: Πιλοτικό πρόγραμμα αντιθορυβικών εφαρμογών*. [Online]. Available at <[http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/50FBFDDAD5029146C22580300036A754/\\$file/Action%20plan%202.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/50FBFDDAD5029146C22580300036A754/$file/Action%20plan%202.pdf)>
63. Υ.Π.Ε.Κ.Α. (2018). *Θόρυβος από οδικές μεταφορές*. [Online]. Available at <<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=452&language=el-GR>> [Accessed 23 September, 2018]
64. Υ.Π.Ε.Κ.Α. (2018) [Online]. *Υπηρεσία Noise*. [Online]. Available at <<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=614&language=el-GR>> [Accessed 04 October, 2018]
65. Φλώρος, Α. (2013). *Η φυσική του ήχους*. Ιόνιο Πανεπιστήμιο. [Online]. Available at <http://www.ionio.gr/~floros/lessons/avarts_acoustics_lesson02.pdf> [Accessed 16 June, 2014]

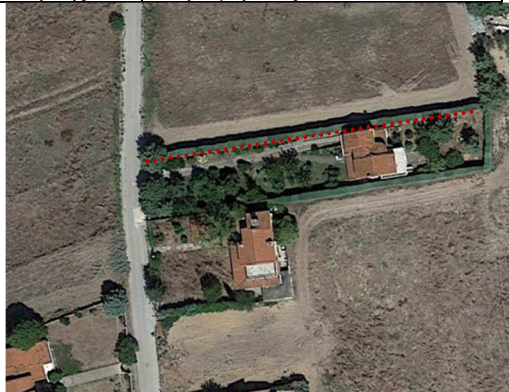
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ-ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ

7.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΠΟΘΕΣΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας 17. Συγκεντρωτικά δεδομένα από την πρώτη μέτρηση

Μέτρηση 1^η					Θέση:	39°11'14.29"B	22°46'3.12"A
					Περιοχή :	Αλμυρός Βόλου	
Στοιχεία περιβάλλοντος					Χάρτης:	Δορυφορικός	
Ημερομηνία	Ωρα	Επιφάνειες εδάφους ⁹					
27/12/2015	13:03	Πρόσθια: Σκληρή (άσφαλτος, πεζοδρόμιο)	Πίσω: Μαλακή (χαμηλή βλάστηση)				
Ηχητικό περιβάλλον:							
Σχολείο, δρόμος, βενζινάδικο							
Μετεωρολογικά δεδομένα							
Ωρα μέτρησης ¹⁰ 12:50				Καιρός Λίγα σύννεφα			
Θερμ/σία	Βροχ/ση	Υετός	Σχ.υγρ.	Ατ.πίεση			
9°	0,0	4Bf N	27%	1019mb			
Στοιχεία φυτικού είδους							
Είδος	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Κατάσταση	Φυλλική επιφάνεια	Φυτική μάζα	
Λιγούστρο	1,75m	2m	88,00m	Μέτρια			
<i>(Ligustrum japonicum)</i>							
Προβλήματα που παρουσιάστηκαν, παρατηρήσεις: Σχετική κυκλοφοριακή κίνηση, θόρυβος από σχολείο, παρεμβαλόμενα δέντρα, το έδαφος πίσω δεν είναι επίπεδο.							

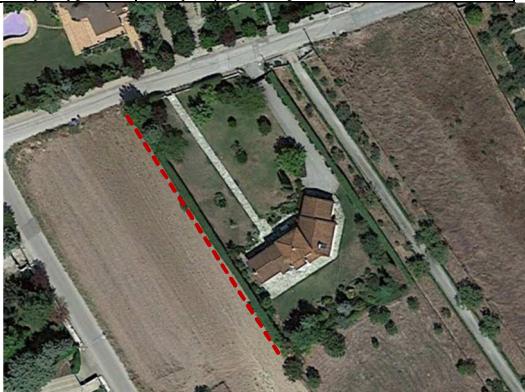
Πίνακας 18. Συγκεντρωτικά δεδομένα από την δεύτερη μέτρηση

Μέτρηση 2^η					Θέση:	39°34'5.23"B	22°27'38.02"A
					Περιοχή:	Νίκαια	
Στοιχεία περιβάλλοντος					Χάρτης:	Δορυφορικός	
Ημερομηνία	Ωρα	Επιφάνειες εδάφους					
31/01/2016	13:03	Μπροστά: Μαλακή (γρασίδι)	Πίσω: Μαλακή (γρασίδι)				
Ηχητικό περιβάλλον							
Δρόμος χαμηλής κυκλοφορίας, ελάχιστες κατοικίες							
Μετεωρολογικά δεδομένα							
Ωρα μέτρησης 12:50				Καιρός αιθριος			
Θερμ/σία	Βροχ/ση	Υετός	Σχ.υγρ.	Ατ.πίεση			
14°	0,0	Νηνεμία	55%	1021,0mb			
Στοιχεία φυτικού είδους							
Είδος	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Κατάσταση	Φυλλική επιφάνεια	Φυτική μάζα	
Αριζόνικα	3,25m	1,40m	92,00m	Καλή			
<i>(Cupressus arizonica)</i>							
Προβλήματα που παρουσιάστηκαν, παρατηρήσεις							


⁹ Επιφάνειες εδάφους μπροστά και πίσω από τον φυτοφράκτη.

¹⁰ Ωρα μέτρησης μετεωρολογικού σταθμού.


Πίνακας 19. Συγκεντρωτικά δεδομένα από την τρίτη μέτρηση

Μέτρηση 3^η					Θέση:	39°33'56.0φ9"B	22°27'24.46"A
					Περιοχή:	Νίκαια	
Στοιχεία περιβάλλοντος					Χάρτης:	Δορυφορικός	
Ημερομηνία	Ωρα	Επιφάνειες εδάφους					
16/02/2016	13:30	Πρόσθια:	Πίσω:				
		Μαλακή (γυμνό έδαφος,χάμα)	Μαλακή (χαμηλή βλάστηση)				
Ηχητικό περιβάλλον: Μονοκατοικίες και χωράφια							
Μετεωρολογικά δεδομένα							
Ωρα μέτρησης 13:50			Καιρός λίγα σύννεφα				
Θερμ/σία	Βροχ/ση	Υετός	Σχ.υγρ.	Ατ.πίεση			
19°	0,0	Νηνεμία	52%	1026,0mb			
Στοιχεία φυτικού είδους							
Είδος	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Κατάσταση	Φυλλική επιφάνεια	Φυτική μάζα	
Λεύλαντ	3,05m	1,30m	79,00m	Καλή			
<i>(Cupressocypris leylandii)</i>							
Προβλήματα που παρουσιάστηκαν, παρατηρήσεις					Προστέθηκαν 40 εκατοστά στις μετρήσεις χωρίς φωτοφράκτη στο ηχόμετρο Β.		


Πίνακας 20. Συγκεντρωτικά δεδομένα από την τέταρτη μέτρηση

Μέτρηση 4^η					Θέση:	39°37'2.59"B	22°31'23.64"A
					Περιοχή:	Γαλήνη	
Στοιχεία περιβάλλοντος					Χάρτης:	Δορυφορικός	
Ημερομηνία	Ωρα	Επιφάνειες εδάφους					
02/04/2016	10:30	Μπροστά:	Πίσω: μαλακή				
		Σκληρή (κυβόλιθοι)	(χαμηλή βλάστηση)				
Ηχητικό περιβάλλον Δρόμος χαμηλής κυκλοφορίας, ελάχιστες κατοικίες							
Μετεωρολογικά δεδομένα							
Ωρα μέτρησης: 10:50			Καιρός: αίθριος				
Θερμ/σία	Βροχ/ση	Υετός	Σχ.υγρ.	Ατ.πίεση			
13°	0,0	Νηνεμία	100%	1019,0mb			
Στοιχεία φυτικού είδους							
Είδος	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Κατάσταση:	Φυλλική επιφάνεια:	Φυτική μάζα:	
Φωτίνια	2,43m	1,55m	14,00m	Καλή			
<i>(Photinia x fraseri)</i>							
Προβλήματα που παρουσιάστηκαν, παρατηρήσεις					Δεν υπήρχε αρκετή απόσταση για να τοποθετηθεί το όχημα στα 3 μέτρα		


Πίνακας 21. Συγκεντρωτικά δεδομένα από την έβδομη μέτρηση

Μέτρηση 5^η					Θέση:	39°37'37.20"B	22°31'10.39"A
					Περιοχή:	Γαλήνη	
Στοιχεία περιβάλλοντος					Χάρτης:	Δορυφορικός	
Ημερομηνία	Ωρα	Επιφάνειες εδάφους					
17/04/2016	09:50	Μαλακή	Μαλακή				
Ηχητικό περιβάλλον							
Μετεωρολογικά δεδομένα							
Ωρα μέτρησης: 9:50 (Ανω Πλατύκαμπος)							
Θερμ/σία	Βροχ/ση	Υετός	Σχ.υγρ.	Ατ.πίεση			
19°	0,0	Νηνεμία	60%	1019,0mb			
Στοιχεία φυτικού είδους							
Είδος	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Κατάσταση	Φυλλική επιφάνεια	Φυτική μάζα	
Τούγια	2,40m	1,45m	69,00m	Καλή			
<i>(Thuja orientalis & T. occidentalis, Cupressaceae)</i>							
Προβλήματα που παρουσιάστηκαν, παρατηρήσεις					Προστέθηκε 1 μέτρο απόσταση στο ηχ.Β στις μετρήσεις χωρίς φυτοφράκτη		

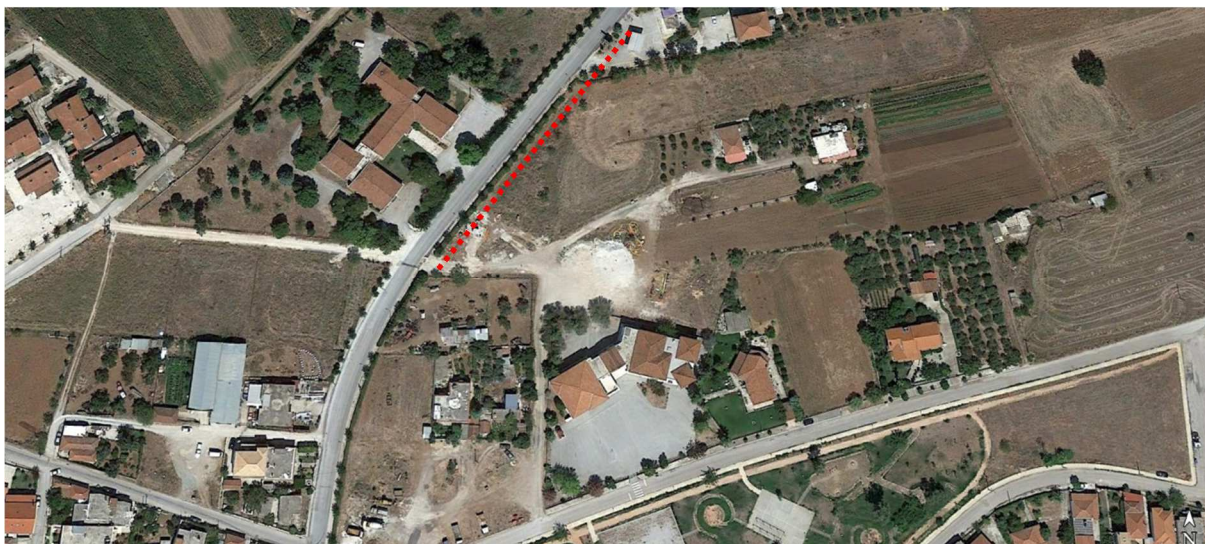
Πίνακας 22. Συγκεντρωτικά δεδομένα από την έκτη μέτρηση

Μέτρηση 6^η					Θέση:	39°33'53.62"B	22°27'23.30"A
					Περιοχή:	Νίκαια	
Στοιχεία περιβάλλοντος					Χάρτης:	Δορυφορικός	
Ημερομηνία	Ωρα	Είδος εδάφους					
17/04/2016	11:20	Μπροστά: Μαλακή (χωράφι θερισμένο)	Πίσω: Μαλακή(χώμ α, γρασίδι)				
Ηχητικό περιβάλλον							
Μετεωρολογικά δεδομένα							
Ωρα μέτρησης 11:50					Λίγα σύννεφα		
Θερμ/σία	Βροχ/ση	Υετός	Σχ.υγρ.	Ατ.πίεση			
23°	0,0	Νηνεμία	44%	1019,0mb			
Στοιχεία φυτικού είδους							
Είδος	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Κατάσταση	Φυλλική επιφάνεια	Φυτική μάζα	
Αριζόνικα	3,50m	1,70m	79,00m	Μέτρια			
<i>(Cupressus arizonica)</i>							
Πρόβλημα που παρουσιάστηκαν, παρατηρήσεις							

Πίνακας 23. Συγκεντρωτικά δεδομένα από την έβδομη μέτρηση

Μέτρηση 7^η				Θέση:	39°33'53.97"B	22°27'20.18"A
				Περιοχή:	Νίκαια	
Στοιχεία περιβάλλοντος				Χάρτης:	Δορυφορικός	
Ημερομηνία	Ωρα	Είδος εδάφους				
17/04/2016	12:20	Μπροστά: Σκληρή (Ασφαλτος)	Πίσω: Σκληρή (Τσιμέντο)			
Ηχητικό περιβάλλον						
Μετεωρολογικά δεδομένα						
Ωρα μέτρησης 12:50			Λίγα σύννεφα			
Θερμ/σία	Βροχ/ση	Υετός	Σχ.υγρ.	Ατ.πίεση		
25°	0,0	Νηνεμία	36%	1019,0mb		
Στοιχεία φυτικού είδους						
Είδος	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Κατάσταση	Φυλλική επιφάνεια	Φυτική μάζα
Λιγούστρο	1,86m	1,30m	33,00m	Καλή		
<i>(Ligustrum japonicum)</i>						
Πρόβλημα που παρουσιάστηκε, παρατηρήσεις						

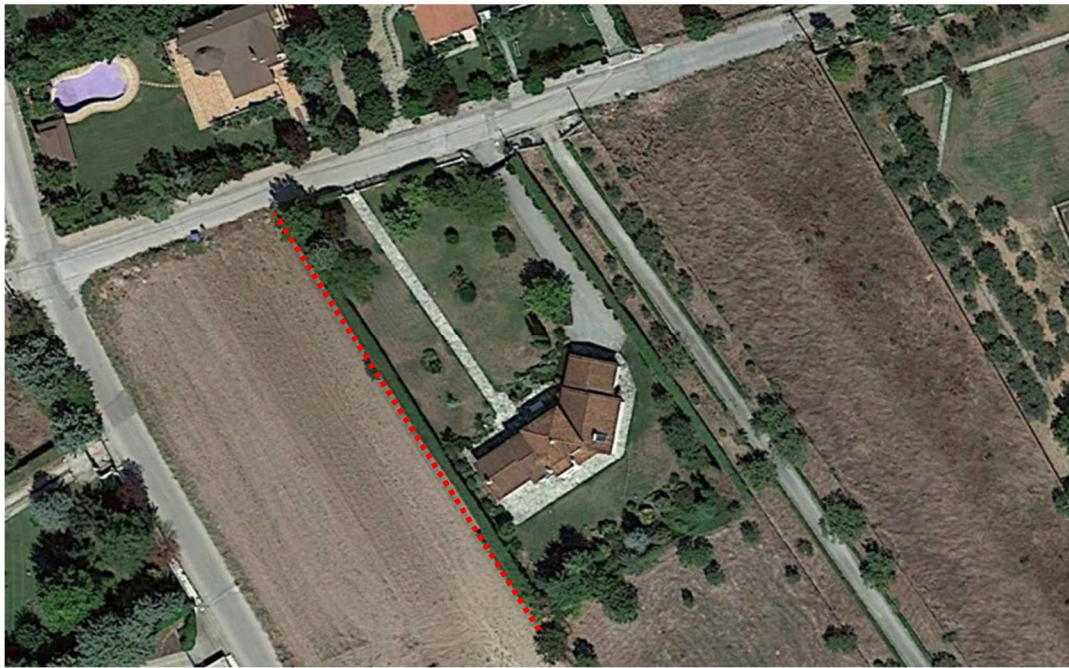
7.2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ



Εικόνα 31. Δορυφορική εικόνα από την περιοχή Αλμυρός Βόλου 1^η μέτρηση. Εδώ μετρήθηκε το Λιγούστρο.
Πηγή: Google Earth Pro



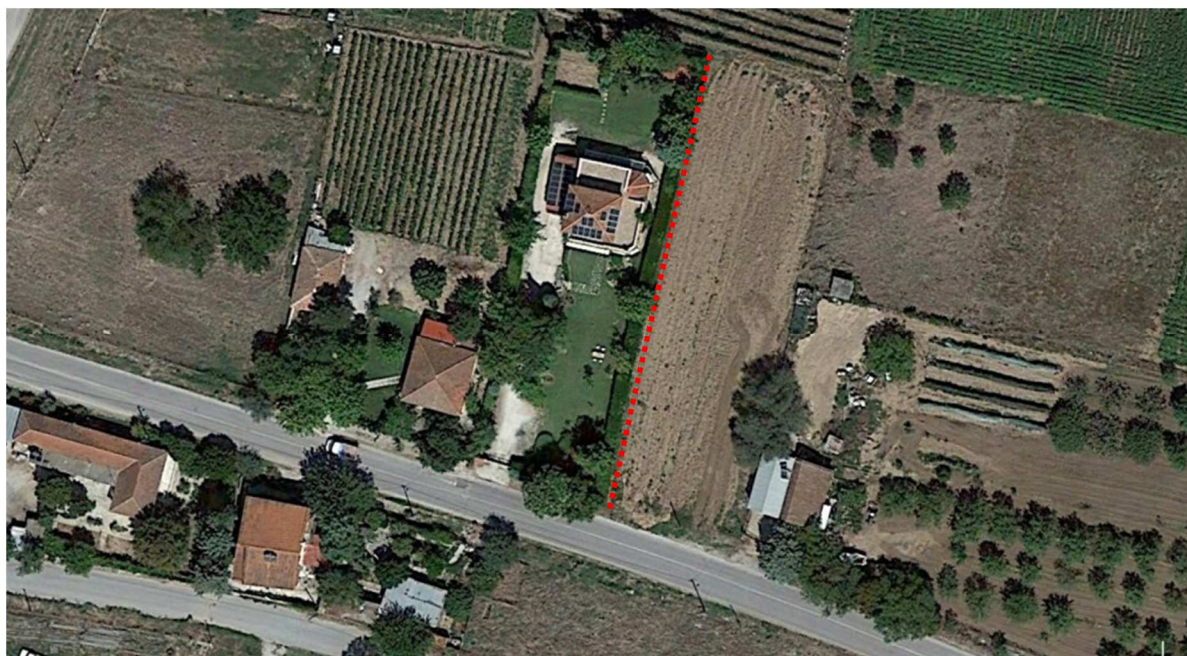
Εικόνα 32. Δορυφορική εικόνα από την περιοχή Νίκαια Λάρισσας 2^η μέτρηση. Εδώ μετρήθηκε η μία Αριζόνια.
Πηγή: Google Earth Pro



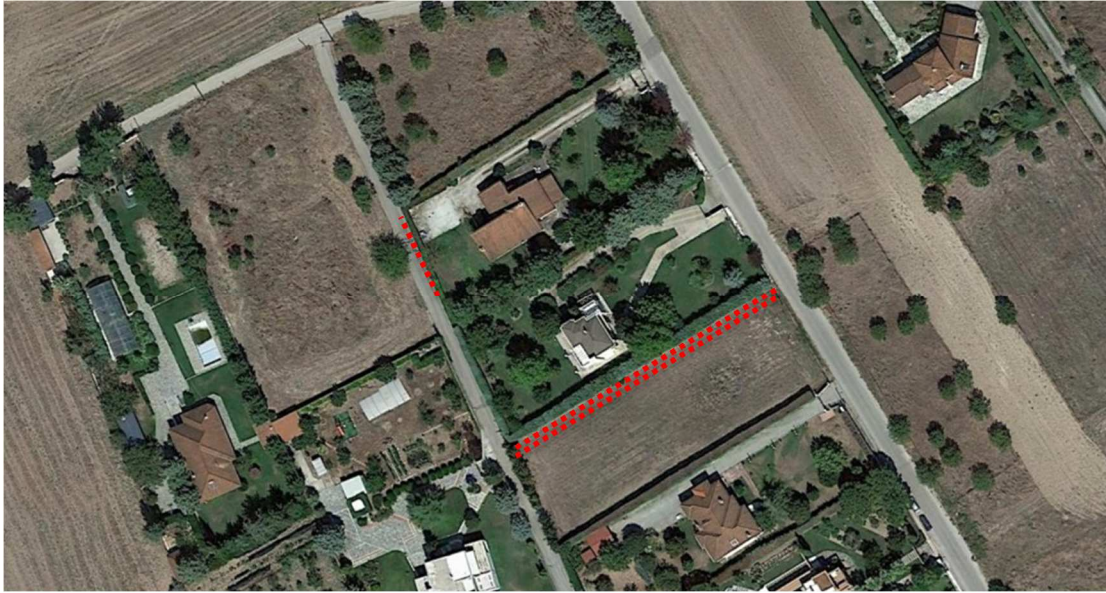
Εικόνα 33 Δορυφορική εικόνα από την περιοχή Νίκαια Λάρισσας 3^η μέτρηση. Εδώ μετρήθηκε η Λευλάντ. Πηγή:
Google Earth Pro



Εικόνα 34 Δορυφορική εικόνα από την περιοχή Γαλήνη Λάρισας 4^η μέτρηση. Εδώ μετρήθηκε η Φωτίνια. Πηγή: Google Earth Pro



Εικόνα 35 Δορυφορική εικόνα από την περιοχή Γαλήνη Λάρισας 5^η μέτρηση. Εδώ μετρήθηκε η Τούγια. Πηγή: Google Earth Pro



Εικόνα 36 Δορυφορική εικόνα από την περιοχή Νίκαια Λάρισσας 6^η και 7^η μέτρηση. Εδώ μετρήθηκε η δεύτερη Αριζόνια εκεί που είναι η διπλή γραμμή και το Λιγούστρο εκεί που είναι η απλή γραμμή. Πηγή: Google Earth Pro