



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ:

ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΟΛΙΚΟ
ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΠΥΡΟΣ ΜΠΡΕΖΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΜΠΟΥΤΑ ΣΩΤΗΡΙΑ

Ρέθυμνο 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τη διερεύνηση και την αντιμετώπιση του προβλήματος του κυκλοφοριακού θορύβου με αφορμή την ανέγερση σχολικού συγκροτήματος στο Σφακάκι Ρέθυμνου. Η συγκεκριμένη περιοχή περιβάλλεται από οδικό δίκτυο το οποίο δημιουργεί κυκλοφοριακό θόρυβο. Το σχολείο βρίσκεται πάνω σε διασταύρωση με επιπρόσθετο θόρυβο προερχόμενο από τις επιβραδύνσεις και τις επιταχύνσεις των οχημάτων.

Σκοπός της εργασίας είναι η μέτρηση του θορύβου και η αντιμετώπισή του αναλογικά του προβλήματος που δημιουργεί. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τέσσερις ημέρες κατά την καλοκαιρινή σεζόν. Τα ποσοστά του θορύβου παρουσιάζονται αυξημένα λόγω της τουριστικής περιόδου εφόσον η κίνηση ήταν μεγαλύτερη και τα λεωφορεία περισσότερα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μελετηθήκαν, επεξεργάστηκαν και συγκρίθηκαν με τα αποδεκτά επίπεδα τα οποία ορίζονται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Τελικός στόχος ήταν η μείωση της όχλησης μαθητών και δασκάλων, και η επίτευξη της άνετης ακρόασης μέσα στις αίθουσες.

Για τη μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου επιλέγεται κατάλληλο ηχοπέτασμα που έχει προκύψει από συγκρίσεις με άλλα. Οι συγκρίσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του λογιστικού *Olive Tree Lab – Terrain* της PEMARD. Το ηχοπέτασμα που προτείνεται είναι αποδοτικό, ενώ αποτελεί την οικονομικότερη και απλούστερη λύση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

[1.] ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	6
[2.] ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	8
[2.1] ΔΙΠΛΑ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	11
[3.] ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΟΔΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	12
[3.1] ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	14
[4.] ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΧΟΠΕΤΑΜΑΤΟΣ.....	16
[4.1] ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	
[5.] ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	23
[6.] ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	30
ΣΥΜΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	35
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	37
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ.....	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πραγμάτωση και την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής δε θα μπορούσε να παραβλεφθεί η πολύτιμη βοήθεια του καθηγητή μου Σπύρου Μπρέζα, τον οποίο ιδιαίτερα εκτιμώ για τις γνώσεις του, την απλότητα και την ευθύτητά του. Τον ευχαριστώ πραγματικά για όλη τη βοήθεια και το χρόνο που πρόσφερε για την πραγμάτωση της εργασίας αυτής και που μου έδωσε την ευκαιρία να αναπτύξω το θέμα αυτό.

Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Ε. Μπακαρέζο για όλο το ενδιαφέρον και τη συνεισφορά του κατά τη διάρκεια της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τα βασικά φαινόμενα και τις αρχές που διέπουν τον ήχο, αντιλαμβανόμαστε πως είναι το ερέθισμα που διεγείρει το αισθητήριο της ακοής του ανθρώπου. Αν αυτός παύει να είναι ευχάριστος τότε αναφερόμαστε σε θόρυβο.

Ο θόρυβος, ο οποίος προέρχεται από τα μηχανήματα και τον άνθρωπο στις σύγχρονες αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες βιομηχανικές χώρες προκαλεί έντονη επίδραση τόσο στο περιβάλλον όσο στα ζώα και τον άνθρωπο. Αν λοιπόν ο άνθρωπος εκτίθεται συχνά σε υψηλά ποσοστά θορύβου (είτε υψηλών είτε χαμηλών συχνοτήτων) οι επιπτώσεις στην υγεία και την ψυχική του ισορροπία είναι πολλές.

Σαν πρόβλημα έχει γενική παρουσία και είναι συνέπεια του σύγχρονου πολιτισμού.

Στην Ευρώπη, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), το 40% του πληθυσμού ζει σε περιοχές που δεν εξασφαλίζουν την ακουστική άνεση και επηρεάζονται από κυκλοφοριακό θόρυβο, ο οποίος ξεπερνά τα 55 dB(A), ενώ το 20% σε περιοχές με θόρυβο άνω των 65 dB(A). Επίσης, πάνω από το 30% του πληθυσμού εκτίθεται κατά τη διάρκεια της νύχτας σε επίπεδα θορύβου που ξεπερνάνε τα 55 dB(A) προκαλώντας διαταραχές στον ύπνο. Προσπαθώντας να μειώσει τα παραπάνω ποσοστά η ευρωπαϊκή επιτροπή εξέδωσε την οδηγία 2002/49/EK που προτείνει τον υπολογισμό του θορύβου σε κατοικημένες περιοχές και πράξεις αντιμετώπισής του σε περίπτωση που αυτός ξεπερνά τα προκαθορισμένα όρια [1].

Η εργασία πραγματεύεται τη μέτρηση κυκλοφοριακού θορύβου σε περιοχή όπου έχει ορισθεί για την ανέγερση σχολικού συγκροτήματος, την ανάλυση των αποτελεσμάτων και την πρόταση αντιμετώπισης των προβλημάτων που προέκυψαν.

[1.] ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ

ΘΟΡΥΒΟΥ

Για την αντιμετώπιση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου σε κατοικημένες περιοχές (οικισμούς, νοσοκομεία, σχολεία, κ.ά.) , έχουν οριστεί δείκτες αξιολόγησης και οι οποίοι σύμφωνα με την Οδηγία 2002/49/ΕΚ και το άρθρο 3 παρ. στ, ζ, η, θ του 13586/724 ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006, είναι οι εξής:

- $L_{den}(L_{day}, L_{evening}, L_{night})$ - σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου 24-ωρου. Υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{den} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \right) \left[12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right] \quad (1)$$

- L_{day} - 12-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου ημέρας ή L_{eq} (ημέρας):

$$L_{day} = 10 \log \left(\frac{1}{12} \right) \left[t_1 * 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + t_2 * 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + t_n * 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right] \quad (2)$$

όπου $t_{ολ}$ ο χρόνος παρατήρησης κατά τη διάρκεια της ημέρας:

$$t_{ολ} = 12 = t_1 + t_2 + \dots + t_n \text{ και } L_{pn} \text{ η ποσοστιαία στάθμη.}$$

- $L_{evening}$ - 4-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης απογευματινού θορύβου) ή L_{eq} (απογεύματος):

$$L_{evening} = 10 \log \left(\frac{1}{4} \right) \left[t_1 * 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + t_2 * 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + t_n * 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right] \quad (3)$$

όπου $t_{ολ}$ ο χρόνος παρατήρησης κατά τις απογευματινές ώρες:

$$t_{ολ} = 4 = t_1 + t_2 + \dots + t_n \text{ και } L_{pn} \text{ η ποσοστιαία στάθμη, και}$$

- L_{night} - 8-ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης νυκτερινού θορύβου ή L_{eq} (νύχτας):

$$L_{night} = 10 \log \left(\frac{1}{8} \right) \left[t_1 * 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + t_2 * 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + t_n * 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right] \quad (4)$$

όπου $t_{ολ}$ ο χρόνος παρατήρησης κατά τη διάρκεια της νύχτας

$$t_{ολ} = 8 = t_1 + t_2 + \dots + t_n \text{ και } L_{pn} \text{ η ποσοστιαία στάθμη.}$$

Οι παραπάνω δείκτες ορίζονται για τις ακόλουθες χρονικές περιόδους: ημέρα από 07:00 έως 19:00, απόγευμα από 19:00 έως 23:00 και νύχτα από 23:00 έως 07:00 [2].

Η ισοδύναμη στάθμη θορύβου L_{eq} είναι ένας δείκτης που εκφράζει τη στάθμη που θα πρέπει να έχει ένας σταθερής στάθμης ήχος που περικλείει την ίδια ακουστική ενέργεια με τον κυμαινόμενο. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο χρόνος παρατήρησης είναι μία ώρα ($L_{eq,1h}$). Έτσι λοιπόν ο δείκτης αυτός είναι αρκετά χρήσιμος αφού στη φύση συνήθως ο θόρυβος που συναντάμε είναι μεταβαλλόμενος. Δύσκολα συμβαίνει να παρουσιάζονται σταθεροί ήχοι των οποίων το πλάτος δε μεταβάλλεται στο χρόνο.

Ο L_{eq} υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το τύπο:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{t_{ολ}} \right) [t_1 * 10^{\frac{L_1}{10}} + t_2 * 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + t_n * 10^{\frac{L_n}{10}}] \text{ ή}$$

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{\sum 10^{\frac{L_n}{10}}}{t_{ολ}} \right) \quad (5)$$

όπου $t_{ολ}$ ο χρόνος παρατήρησης $t_{ολ} = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ και L_n η ποσοστιαία στάθμη [3].

Διευκρινίζεται ότι όλοι οι παραπάνω επιμέρους δείκτες αφορούν σταθμισμένες κατά A-κλίμακα μακροπρόθεσμες μέσες ηχοστάθμες. Η μέτρηση ειδικών ακουστικών παραμέτρων που απαιτούν ειδικευμένη διαχείριση της μετρούμενης ακουστικής πίεσης είναι δυνατή με τη χρήση των σύγχρονων ηχόμετρων. Τα σταθμιστικά κυκλώματα παρεμβάλλονται στα ηχόμετρα και έχουν την ιδιότητα να ενισχύουν ή να περιορίζουν κατά πλάτος και σε διαφορετικό βαθμό τις διάφορες συνιστώσες του ηχητικού φάσματος. Είναι δηλαδή ένα κύκλωμα του οποίου η ευαισθησία μεταβάλλεται με τη συχνότητα κατά τον ίδιο τρόπο όπως συμβαίνει με το ανθρώπινο αυτί. Το σταθμιστικό κύκλωμα A δρα ως φίλτρο επιλογής συχνοτήτων και καθιστά το ηχόμετρο λιγότερο ευαίσθητο στις υψηλές και τις χαμηλές συχνότητες. Έτσι το όργανο μετρά το θόρυβο με τρόπο ώστε το αποτέλεσμα να είναι πιο αντιπροσωπευτικό των επιπτώσεων του θορύβου στην ανθρώπινη ακοή [4].

Όπως είναι ευκόλως αντιληπτό, για να υπάρξει προστασία από τον περιβαλλοντικό θόρυβο πρέπει οι παραπάνω δείκτες να μην ξεπερνάνε κάποια ανώτατα όρια.

Τα επίσημα κείμενα που ορίζουν τα επιτρεπτά όρια επικεντρώνονται σε τρεις βασικές επιδράσεις του θορύβου στον άνθρωπο. Αυτές είναι η όχληση, η δυσκολία στην επικοινωνία και η απώλεια ακοής. Όσο αφορά τα χαρακτηριστικά του θορύβου που λαμβάνονται υπόψη είναι: ο χώρος στον οποίο υπάρχει ο θόρυβος, η ώρα της ημέρας, η διάρκεια της έκθεσης και ο τύπος του θορύβου (π.χ. κρουστικός, διαρκής κλπ.).

Η ανώτατη επιτρεπτή τιμή του δείκτη L_{den} είναι τα $70 \text{ dB}(A)$. Οι αντίστοιχες τιμές για τους δείκτες L_{day} , $L_{evening}$ και L_{night} είναι τα $67 \text{ dB}(A)$, $67 \text{ dB}(A)$ και $60 \text{ dB}(A)$ αντίστοιχα. Τα όρια αυτά, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ειδική ακουστική προστασία, δύνανται να μειώνονται περαιτέρω έως και $5 \text{ dB}(A)$ [5]. Αντίθετα, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ισχύει από το 1999 ως ανώτατο όριο θορύβου τα $55\text{-}60 \text{ dB}(A)$, ενώ για τα νοσοκομεία και τις σχολικές αίθουσες $30 \text{ dB}(A)$ και $35 \text{ dB}(A)$ αντίστοιχα.

[2.] ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Όσο αφορά την προστασία του ο άνθρωπος έχει επινοήσει διάφορους τρόπους αντιμετώπισης των αυξημένων ποσοστών περιβαλλοντικού θορύβου. Για αυτό λοιπόν σήμερα μπορούμε και μιλάμε για μια σωστή ηχοπροστασία. Απαραίτητη προϋπόθεση για αυτή είναι ο προσδιορισμός της προέλευσης του ήχου, το είδος της πηγής και ο υπολογισμός της στάθμης του θορύβου που αυτή προκαλεί, ενώ σημαντικό είναι να επισημανθεί ο κύριος τρόπος μετάδοσης του θορύβου από την πηγή στο δέκτη.

Όταν προσδιοριστούν οι παραπάνω παράμετροι τότε μπορούν να ληφθούν μέτρα για τον περιορισμό του θορύβου είτε στην πηγή (διακοπή ή περιορισμός λειτουργίας, αντικατάσταση με λιγότερο θορυβώδη) είτε στο δέκτη (ηχομόνωση τοίχων, δαπέδων κ.ά.), ενώ τελικά συνηθίζεται η ανθρώπινη παρέμβαση στη διαδρομή (με συνηθέστερη λύση την εγκατάσταση

ηχοπετάσματος), αφού καθίσταται εφικτότερο από τα υπόλοιπα. Το τελευταίο είναι και το στοιχείο με το οποίο πραγματεύεται η εργασία.

Το ηχοπέτασμα είναι στις περισσότερες περιπτώσεις μια στερεή επιφάνεια από κάποιο συγκεκριμένης κατά περίπτωση ακουστικής συμπεριφοράς υλικό που τοποθετείται ανάμεσα στην πηγή και το δέκτη. Λειτουργεί δημιουργώντας μπροστά από το δέκτη μια περιοχή <<ηχητικής σκιάς>>, δηλαδή μια περιοχή όπου μειώνεται ο θόρυβος, ενώ αντίθετα στην περιοχή της πηγής παρατηρείται αύξηση της στάθμης λόγω της ανάκλασης του ήχου. Η περιοχή της ηχητικής σκιάς είναι αλληλένδετη με το φαινόμενο της περίθλασης.

Η απόδοση του ηχοπετάσματος εξαρτάται από:

- Την περίθλαση.

Η περίθλαση επιτρέπει τη διάδοση του ήχου στην περιοχή της γεωμετρικής σκιάς, επηρεάζοντας έτσι την απόδοση του ηχοπετάσματος. Αναλυτικότερα, η περίθλαση είναι ένα φυσικό φαινόμενο που προέρχεται από την κυματική φύση του ήχου και συγκεκριμένα, είναι εκείνη η ιδιότητα των κυμάτων να παρακάμπτουν ένα εμπόδιο όταν αυτό είναι μικρό σε σχέση με το μήκος κύματος τους. Δηλαδή, όταν ο ήχος προσπίπτει σε ένα αντικείμενο, τότε τα άκρα αυτού λειτουργούν ως δευτερογενείς πηγές κυματομετώπων με αποτέλεσμα το κύμα να παρεκκλίνει της πορείας του και να διαδίδεται σε σημεία που βρίσκονται πίσω από το εμπόδιο. Το ποσοστό της ενέργειας του κύματος που περιθλάται εξαρτάται από το μήκος κύματος του ήχου και τη γεωμετρία του εμποδίου. Ο σχεδιασμός ηχοφραγμάτων των οποίων η επάνω επιφάνεια έχει διάφορα σχήματα αυξάνει την απόδοσή τους και περιορίζει το φαινόμενο της περίθλασης. Τέτοιου τύπου ηχοπετάσματα παρουσιάζονται στην εικόνα 1.

- Το υλικό του φράγματος.

Το υλικό του φράγματος επηρεάζει τη διάδοση του ήχου και αποτελεί παράγοντα μείωσης της απόδοσης των ηχοπετασμάτων. Για την αποφυγή της διάδοσης του ήχου μέσα από το υλικό του φράγματος, πρέπει το υλικό αυτού να είναι τέτοιο ώστε να προσφέρει ηχομείωση κατά τη διάδοση εντός του τουλάχιστον 5 dB μεγαλύτερη από την ολική επιθυμητή. Τα υλικά με

απορροφητικές ιδιότητες αυξάνουν την απόδοση του ηχοφράγματος. Η αύξηση αυτή εξαρτάται από τη γωνία περίθλασης και από το συντελεστή απορρόφησης. Η επιπλέον απόδοση μπορεί να φτάσει ως 8 dB και υπολογίζεται με βάση τον ακόλουθο τύπο: $\Delta L_{ολ} = \Delta L + \Delta L_a$, όπου ΔL η ηχομείωση από το φράγμα, και η επιπλέον ηχομείωση [6].

- Η διάδοση στερεόφερτου θορύβου.

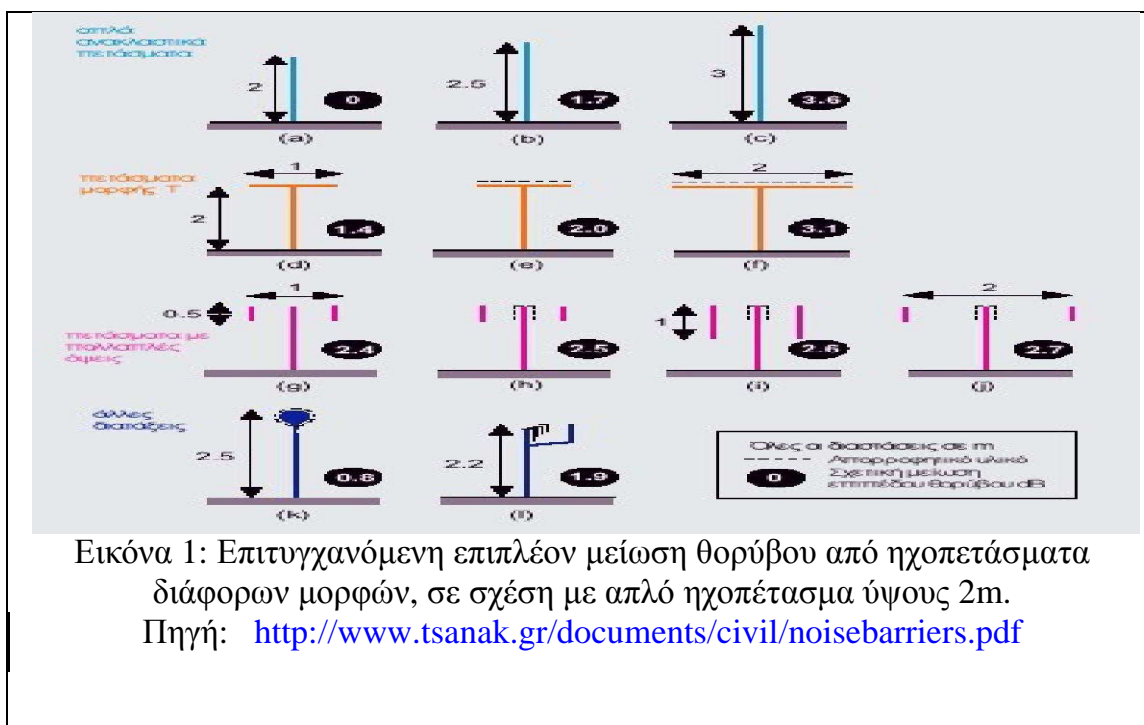
Η διάδοση στερεόφερτου θορύβου μέσω του εδάφους προς την περιοχή του δέκτη μειώνει την απόδοση των ηχοπετασμάτων. Σημειώνεται, ότι για αυτόν το λόγο κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος ύπαρξης στερεόφερτου θορύβου, σε κάθε μελέτη τοποθέτησης ηχοπετασμάτων.

Σημαντικό ρόλο στην προσφερόμενη ηχομείωση παίζουν το ύψος και το μήκος του ηχοπετάσματος, ανάλογα με την περίπτωση, ώστε να ελεγχθεί το φαινόμενο της περίθλασης του ήχου από πάνω και πλαγίως του ηχοπετάσματος.

Το πάχος και τα υλικά του ηχοπετάσματος είναι παράγοντες που επηρεάζουν εξίσου την απόδοσή του. Η επιφανειακή πυκνότητα του πετάσματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 kg/m². Αν το ηχοπέτασμα δεν μπορεί να θεωρηθεί λεπτό, η προσφερόμενη από αυτό ηχομείωση υπολογίζεται από τον τύπο:

— , με το συντελεστή να δίνεται από πίνακες της βιβλιογραφίας και το μήκος κύματος του ήχου σε m [7]. Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για τα ηχοφράγματα είναι το σκυρόδεμα, όπου περιλαμβάνεται στα πιο διαδεδομένα λόγω του χαμηλού του κόστους, τα λιθοδομικά υλικά, το ξύλο, τα μέταλλα και λιγότερο τα πλαστικά, αφού είναι και τα πιο ακριβά. Επίσης χρησιμοποιούνται ο υαλοβάμβακας, γυάλινες πλάκες, αλουμίνιο και χάλυβας. Για μεγαλύτερη απόδοση μπορούν να συνδυαστούν κάποια από τα υλικά αυτά.

Ένας άλλος τύπος ηχοπετάσματος είναι η βλάστηση, η οποία προσφέρει ποσοστά ηχομείωσης, εάν και εφόσον πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις που σχετίζονται με τον τύπο της, την πυκνότητά της, την έκτασή της κλπ.

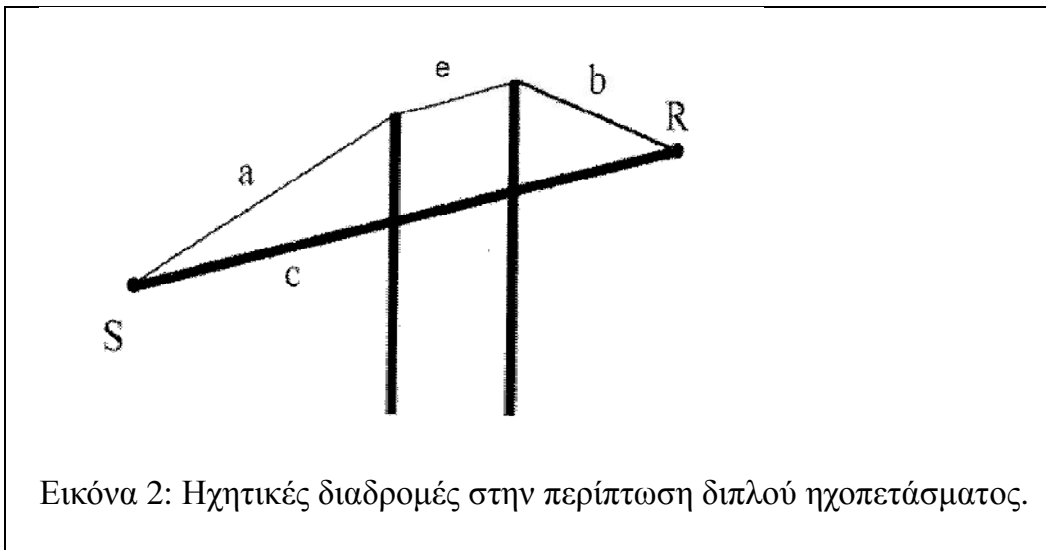


[2.1] ΔΙΠΛΑ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Τα διπλά ηχοπετάσματα είναι ικανά να προσφέρουν επιπλέον μείωση στη στάθμη θορύβου συγκριτικά με ένα μονό πέτασμα. Λόγω του σχεδιασμού τους δημιουργούν περισσότερες ηχητικές διαδρομές, με συνέπεια την περαιτέρω εξασθένιση του ήχου μέχρι αυτός να φτάσει στο σημείο του δέκτη. Π.χ. επιπλέον ηχητική διαδρομή θεωρείται η διαδρομή από τη μία κορυφή του πρώτου μέχρι την κορυφή του δεύτερου πετάσματος. Η εικόνα 2 παραθέτει τις ηχητικές διαδρομές κατά την ύπαρξη διπλού ηχοπετάσματος. Η ευθεία γραμμή c υποδηλώνει την απευθείας διάδοση του ήχου. Οι ευθείες a, e, b αποτελούν τις επιπλέον ηχητικές διαδρομές που δημιουργούν τα εμπόδια. Οι ευθείες αυτές σε σύγκριση με την απευθείας διαμορφώνουν την τελική ηχητική στάθμη που λαμβάνεται από το δέκτη.

Η απόδοση ενός διπλού ηχοπετάσματος υπολογίζεται από τον τύπο[8]:

$A = -10 \log \left(3 + \left(\frac{G}{\lambda} \right) * pd * H \right)$ (6), με το G να είναι 20 στην περίπτωση όπου συμπεριλαμβάνονται οι ανακλάσεις από το έδαφος, ενώ σε περίπτωση που οι ανακλάσεις αυτές είναι αμελητέες το G είναι 40, το λ συμβολίζει το μήκος κύματος σε m. Οι ηχητικές διαδρομές pd και το ύψος H , ορίζονται αντίστοιχα από τους τύπους: $pd = a + b + e - c$, και $H = \frac{1 + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2}$



[3.] ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στις μετρήσεις οδικού θορύβου η πηγή θεωρείται γραμμική. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε μια σειρά ασυσχέτιστων πηγών, που βρίσκονται πάνω σε με ευθεία και ισαπέχουν μεταξύ τους [9].

Για τη μέτρηση της στάθμης θορύβου που εκπέμπει η πηγή και τον υπολογισμό των υπό εξέταση δεικτών και ορίων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με χρήση ηχόμετρου CESVA SC 310. Το ηχόμετρο είναι σχεδιασμένο για να ανταποκρίνεται στον ήχο κατά τον ίδιο, κατά προσέγγιση, τρόπο όπως το ανθρώπινο αυτί και να παρέχει αντικειμενικά και

επαναλαμβανόμενα αποτελέσματα μετρήσεων της στάθμης ηχητικής πίεσης, η οποία αποτελεί το αποτέλεσμα μέτρησης των μεταβολών της πίεσης του αέρα.

Οι μετρήσεις στην εργασία αυτή διάρκεσαν τέσσερις ημέρες. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της ημέρας (και συγκεκριμένα για τις ώρες από τις 7.00 το πρωί έως τις 19.00 το απόγευμα). Επίσης κατά τις απογευματινές ώρες (19.00 έως 23.00) και τη βραδινή περίοδο (23.00 έως 7.00). Η διάρκεια κάθε μέτρησης ήταν 20 λεπτά, η οποία θεωρείται ότι μπορεί δειγματοληπτικά να αποτελέσει τη βάση για τους υπολογισμούς που περιγράφονται στη συνέχεια της εργασίας.

Στην εν λόγω περίπτωση την πηγή θορύβου αποτελεί το οδικό δίκτυο, ενώ ο δέκτης είναι το σχολικό συγκρότημα.

Το ηχόμετρο αφού βαθμονομήθηκε τοποθετήθηκε σε θέση όπου κατά τα αρχιτεκτονικά σχέδια θα ανήκει στο σχολικό συγκρότημα στραμμένο προς την εθνική οδό. Το ύψος του κατά τα τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν στα 1.7m και 2.1m και από αυτά τα ύψη υπολογίστηκαν με αναγωγή οι στάθμες για τα αντίστοιχα επιθυμητά ύψη. Τα παράθυρα του σχολείου βρίσκονται στα 2,1m και 5,7m (επιθυμητά ύψη) για τον πρώτο και δεύτερο όροφο αντίστοιχα. Η εύρεση της στάθμης για τα επιθυμητά ύψη όταν η πηγή είναι γραμμική υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου [10]:

$$L_{p2} = L_{p1} - 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (7)$$

όπου L_{p1} είναι η στάθμη ηχητικής πίεσης σε απόσταση r_1 από την πηγή και L_{p2} η στάθμη ηχητικής πίεσης για απόσταση r_2 από την πηγή.

Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του σχολικού συγκροτήματος βάσει του αρχιτεκτονικού σχεδίου, ώστε να καλυφθεί όλο το μήκος της πρόσοψης του σχολικού συγκροτήματος προς το οδικό δίκτυο.

[3.1] ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στόχος ήταν να υπολογιστεί ο δείκτης L_{den} για τις τέσσερις ημέρες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, ώστε να συγκριθεί με τις επιτρεπόμενες τιμές και να οριστούν τα στάδια αντιμετώπισης του θορύβου.

Καταγράφηκαν ολικές τιμές στάθμων με το ηχόμετρο καθώς και δεδομένα με οκταβική και τριτοκαταβική ανάλυση. Και στις δύο περιπτώσεις καταγράφηκαν στάθμες L_{eq} με χρόνο ολοκλήρωσης 1sec.

Η συνολική στάθμη L_{eq} υπολογίστηκε για κάθε μέτρηση με τη χρήση του τύπου (5). Με τη χρήση του τύπου (1) υπολογίστηκαν οι σταθμισμένοι δείκτες L_{den} . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακα.

Πίνακας 1. Υπολογισμός των σταθμισμένων δεικτών L_{den} (για τα οκταβικής ανάλυσης δεδομένα) για όλες τις θέσεις μέτρησης.

	Συχνότητα(H_z)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
$\theta.M.1$	$L_{den} (dB(A))$	61,9	66,7	66	64	59,8	59,6	57,6	49,5	71,8	30,5
$\theta.M.2$	$L_{den} (dB(A))$	62,7	69	63,7	61,6	58,8	57,8	54,8	47,3	39,2	33,5
$\theta.M.3$	$L_{den} (dB(A))$	36	71,1	66,7	60,9	58,3	59,1	56,3	50	43	35

Πίνακας 2. Υπολογισμός σταθμισμένου δείκτη L_{den} (για τα ολικής στάθμης δεδομένα), Θέση μέτρησης 1.

	Ημέρα 1 ^η	Ημέρα 2 ^η	Ημέρα 3 ^η	Ημέρα 4 ^η
$L_{day} (dB(A))$	62	61,4	61,4	60,7
$L_{evening} (dB(A))$	60	59,9	61	60,1
$L_{night} (dB(A))$	58,6	57,1	61	60,1
$L_{den} (dB(A))$	65,7	66	67,4	66,5

Πίνακας 3. Υπολογισμός σταθμισμένου δείκτη L_{den} (για τα ολικής στάθμης δεδομένα) , Θέση μέτρησης 2.

	Ημέρα 1 ^η	Ημέρα 2 ^η	Ημέρα 3 ^η	Ημέρα 4 ^η
L_{day} (dB(A))	63	60,5	61,8	60,5
$L_{evening}$ (dB(A))	59,8	60,2	59,4	60
L_{night} (dB(A))	58,6	59,4	59,4	60
L_{den} (dB(A))	65,9	66	66,1	66,4

Πίνακας 4. Υπολογισμός σταθμισμένου δείκτη L_{den} (για τα ολικής στάθμης δεδομένα), Θέση μέτρησης 3.

	Ημέρα 1 ^η	Ημέρα 2 ^η	Ημέρα 3 ^η	Ημέρα 4 ^η
L_{day} (dB(A))	58,4	60	61,9	59,4
$L_{evening}$ (dB(A))	57,7	60,1	59,2	60,2
L_{night} (dB(A))	57,4	55,7	59,2	60,2
L_{den} (dB(A))	63,9	63,5	66	66,5

Πίνακας 5. Υπολογισμός σταθμισμένου δείκτη L_{den} και για τις τέσσερις ημέρες.

	Ημέρα 1 ^η	Ημέρα 2 ^η	Ημέρα 3 ^η	Ημέρα 4 ^η
$\theta. M. 1$	65,7	66	67,4	66,5
$\theta. M. 2$	65,9	66	66,1	66,4
$\theta. M. 3$	63,9	63,5	66	66,5

[4.] ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ

[4.1] ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η απόδοση ενός ηχοπετάσματος μπορεί υπολογιστεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$A = -10 \log \left(3 + \left(\frac{G}{\lambda} \right) * pd \right) \quad (8)$$

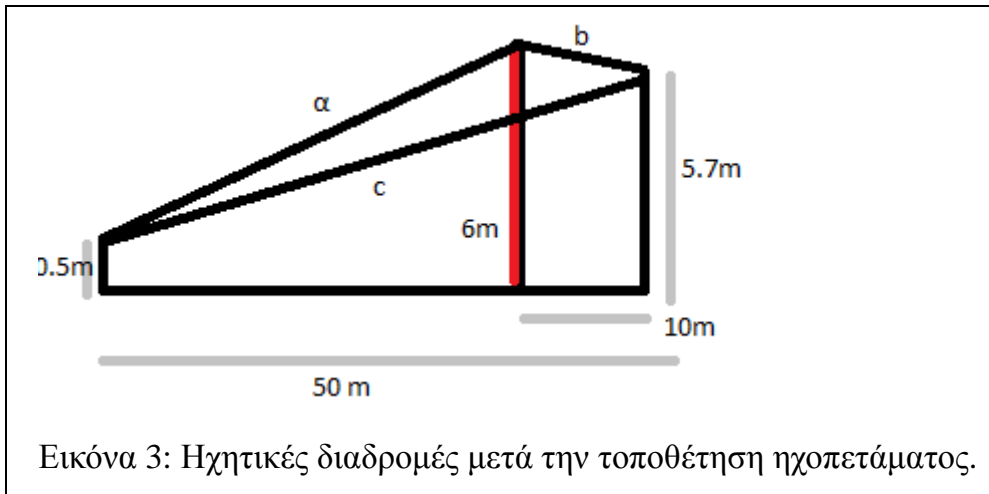
όπου pd είναι οι διαφορετικές ηχητικές διαδρομές, με $pd = a + b - c$, το G είναι 20 σε περιπτώσεις όπου συμπεριλαμβάνονται οι ανακλάσεις από το έδαφος, ενώ σε περίπτωση που οι ανακλάσεις αυτές είναι αμελητέες το G είναι 40 [11], λ το μήκος κύματος σε m. Είναι φανερό πως το ηχοπέτασμα είναι πιο αποδοτικό στην ηχομείωση των υψηλότερων συχνοτήτων και λιγότερο των χαμηλών (μεγάλο μήκος κύματος).

Στους υπολογισμούς της εργασίας λαμβάνεται υπόψη η περίπτωση όπου οι ανακλάσεις του εδάφους είναι αμελητέες, το ύψος της πηγής είναι 0.5m (για τα οχήματα) και 5,7m για το δέκτη (το υψηλότερο παράθυρο, εκείνο του δευτέρου ορόφου του σχολικού συγκροτήματος). Δεν έχουν πραγματοποιηθεί υπολογισμοί για το χαμηλότερο παράθυρο, διότι η ηχομείωση για το υψηλότερο θα καλύπτει τις απαιτήσεις για εκείνο του πρώτου ορόφου. Η απόσταση της πηγής από το δέκτη είναι 50m. Τα δεδομένα και οι ηχητικές διαδρομές μετά την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος παρουσιάζονται στην εικόνα 3.

Για την παράθεση των θεωρητικών υπολογισμών επιλέχθηκαν ηχοπετάσματα ύψους 5m και 6m, καθώς είναι αυτά που προσφέρουν ικανοποιητική ηχομείωση κατόπιν υπολογισμών με διάφορα ύψη. Ηχοφράγματα με ύψος χαμηλότερο των 5m παρουσιάζουν ηχομείωση σχεδόν αμελητέα, ενώ εκείνα με ύψος πάνω από 6m καθίστανται περιττά λόγω του επιπρόσθετου κόστους αγοράς.

Η απόσταση εγκατάστασης του ηχοπετάσματος σε σχέση με το δέκτη αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την προσφερόμενη ηχητική μείωση. Παραθέτονται δυο αποστάσεις για να διαπιστωθεί η διαφορά στην ηχομείωση που αυτές παρέχουν. Η πρώτη τοποθέτηση ηχοπετάσματος πραγματοποιήθηκε εγγύτερα στο δέκτη, σε απόσταση 10m από αυτόν, ενώ η δεύτερη σε

μεγαλύτερη απόσταση από το δέκτη στα 15m.



Πίνακας 6: Απόδοση ηχοπετάσματος όταν αυτό βρίσκεται σε απόσταση 10m από το δέκτη και έχει ύψος 6m.

Συχνότητα(Hz)	A(dB)
31,5	-15,46
63	-18,2
125	-21,1
250	-24,1
500	-27,1
1000	-30,1
2000	-33,1
4000	-36,1
8000	-39,1

Πίνακας 7: Απόδοση ηχοπετάσματος όταν αυτό βρίσκεται σε απόσταση 15m από το δέκτη και έχει ύψος 6m.

Συχνότητα(Hz)	A(dB)
31,5	-16,7
63	-19,5
125	-22,4
250	-25,4
500	-28,5
1000	-31,5
2000	-34,5
4000	-37,46
8000	-40,4

Πίνακας 8: Απόδοση ηχοπετάσματος όταν αυτό βρίσκεται σε απόσταση 15m από το δέκτη και έχει ύψος 5m.

Συχνότητα(Hz)	A(dB)
31,5	-13,6
63	-16,3
125	-19,1
250	-22,1
500	-25,1
1000	-28
2000	-31
4000	-34
8000	-37

Συγκρίνοντας τους παραπάνω θεωρητικούς υπολογισμούς προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ηχομείωση που προσφέρει το ηχοπέτασμα είναι μεγαλύτερη όταν αυτό τοποθετείται πιο κοντά στη πηγή, δηλαδή σε απόσταση 15m από το

δέκτη. Σύμφωνα με αυτόν τον παράγοντα μπορούμε να δώσουμε στο ηχοφραγμα ύψος 5m και όχι 6m μειώνοντας έτσι το κόστος αγοράς. Χρησιμοποιώντας λοιπόν, τον Πίνακα 8 υπολογίζεται παρακάτω η απόδοση του ηχοπετάσματος. Η απόδοση ενός ηχοπετάσματος σχετίζει τη στάθμη ηχητικής πίεσης σε κάποιο σημείο πριν και μετά την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος. Ο μαθηματικός τύπος που την εκφράζει είναι ο ακόλουθος:

$$A = SPL(\text{με πέτασμα}) - SPL(\text{χωρίς πέτασμα}) = 10 \log\left(\frac{p^2(\text{με πέτασμα})}{p^2(\text{χωρίς πέτασμα})}\right)$$

(9)

όπου $p^2(\text{με πέτασμα})$, η τιμή της ηχητικής πίεσης του θορύβου που υπολογίζεται για το σημείο του δέκτη μετά την εγκατάσταση του ηχοπετάσματος και $p^2(\text{χωρίς πέτασμα})$ η τιμή της ηχητικής πίεσης πριν την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος [12].

Στους πίνακες που ακολουθούν παραθέτονται οι τιμές της στάθμης του θορύβου όπως προέκυψαν μετά τις μετρήσεις, το κέρδος της ηχητικής στάθμης με την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος, όπως προκύπτει από τον πίνακα 8 και η στάθμη ηχητικής πίεσης στο σημείο του δέκτη μετά την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος.

Πίνακας 9: κέρδος στάθμης πίεσης μετά την εγκατάσταση του ηχοπετάσματος για τη θέση μέτρησης 1.

Συχνότητα(Hz)	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{eq}(dB(A))$ χωρίς πέτασμα	62,3	67,1	66,4	64,4	60,1	59,9	58	49,9	72,2
Κέρδος στάθμης πετάσματος (dB(A))	-13,6	-16,3	-19,1	-22,1	-25,1	-28	-31	-34	-37
$L_{eq}(dB(A))$ με πέτασμα	48,7	50,8	47,3	42,3	35	31,9	27	15,9	35,2

Πίνακας 10: κέρδος στάθμης πίεσης μετά την εγκατάσταση του ηχοπετάσματος για τη θέση μέτρησης 2.

Συχνότητα(H_z)	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{eq}(dB(A))$ χωρίς πέτασμα	63	69,4	64,1	61,9	59,2	58,1	55,2	47,7	39,6
Κέρδος στάθμης πετάσματος ($dB(A)$)	-13,6	-16,3	-19,1	-22,1	-25,1	-28	-31	-34	-37
$L_{eq}(dB(A))$ με πέτασμα	49,2	53,1	45	39,8	34,1	30,1	24,2	13,7	2,6

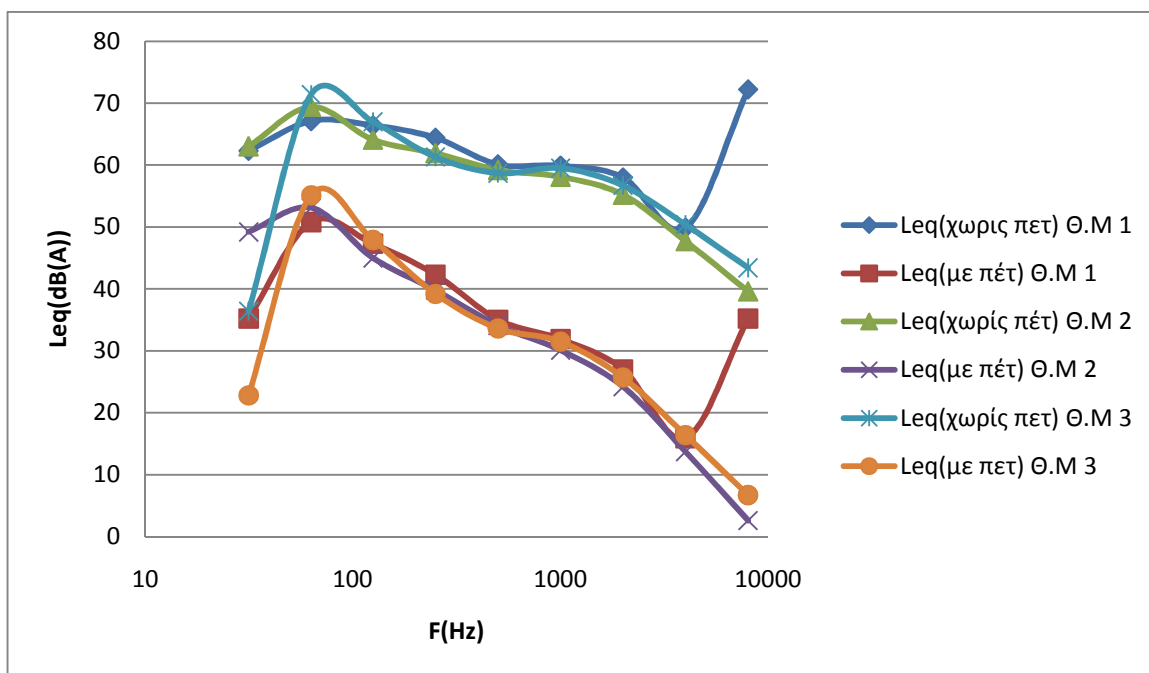
Πίνακας 11: κέρδος στάθμης πίεσης μετά την εγκατάσταση του ηχοπετάσματος για τη θέση μέτρησης 3.

Συχνότητα(H_z)	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{eq}(dB(A))$ χωρίς πέτασμα	36,4	71,4	67	61,3	58,7	59,5	56,7	50,4	43,4
Κέρδος στάθμης πετάσματος ($dB(A)$)	-13,6	-16,3	-19,1	-22,1	-25,1	-28	-31	-34	-37
$L_{eq}(dB(A))$ με πέτασμα	22,8	55,1	47,9	39,2	33,6	31,5	25,7	16,4	6,7

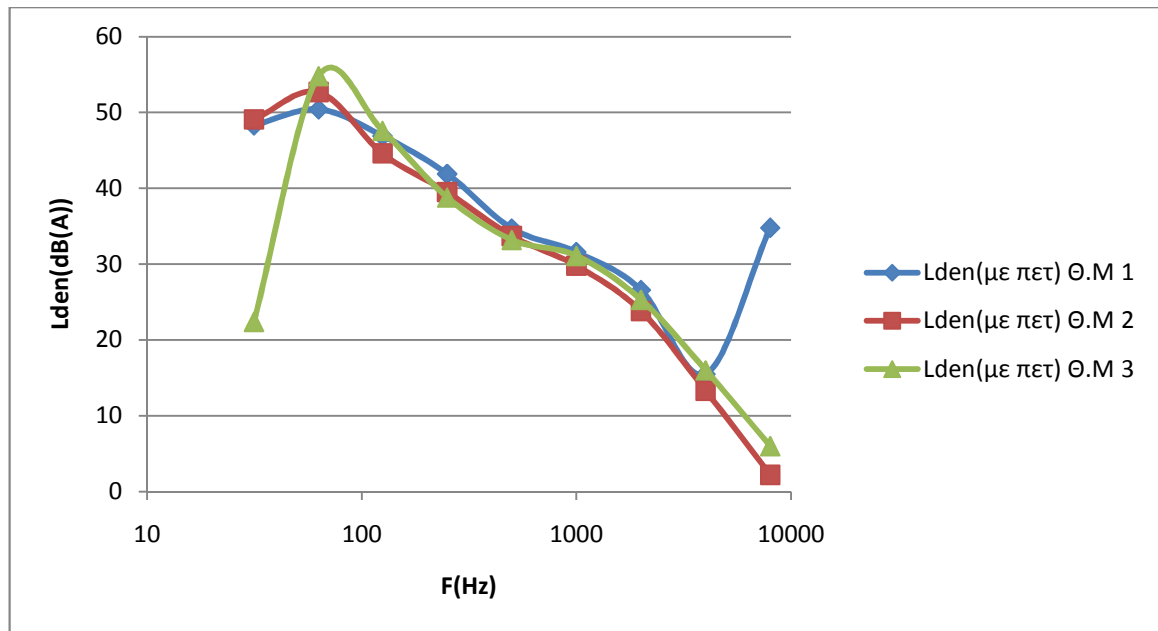
Πίνακας 12: Τιμές του δείκτη L_{den} μετά την εγκατάσταση του ηχοπετάσματος.

	Συχνότητα(H_z)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\theta.M.1$	$L_{den}(dB(A))$	48,3	50,4	46,9	41,9	34,7	31,6	26,6	15,5	34,8
$\theta.M.2$	$L_{den}(dB(A))$	49,1	52,7	44,6	39,5	33,7	29,8	23,8	13,3	2,2
$\theta.M.3$	$L_{den}(dB(A))$	22,4	54,8	47,6	38,8	33,2	31,1	25,3	16	6

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα σε γραφικές παραστάσεις. Στην εικόνα 4 εμφανίζονται οι τιμές των στάθμεων L_{eq} πριν και μετά την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος στις αντίστοιχες συχνοτικές τιμές (οκταβικά). Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται ο σταθμισμένος δείκτης L_{den} μετά την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος.



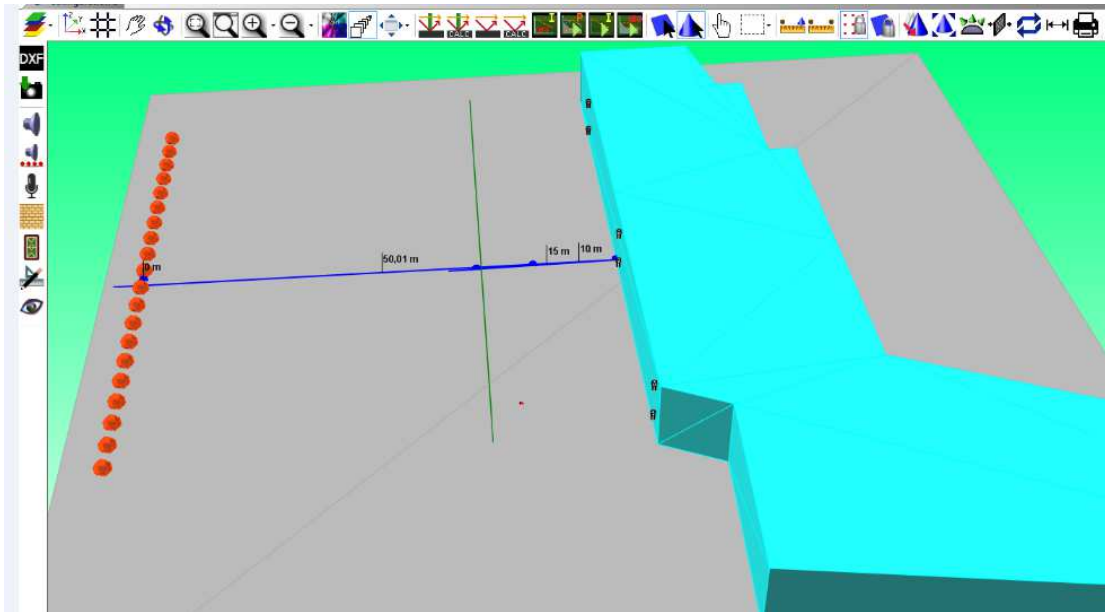
Εικόνα 4: Απόδοση του ηχοπετάσματος βάσει θεωρητικών υπολογισμών.



Εικόνα 5: Τιμές του δείκτη L_{den} μετά την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος.








[5.] ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ








Οι προσομοιώσεις της εργασίας υλοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού *Olive Tree Lab – Terrain* της PEMARD [13]. Ένα λογισμικό που προσομοιώνει τα ηχητικά κύματα με βάση τις αρχές της γεωμετρικής ακουστικής, προβλέποντας την εξωτερική διάδοση του ήχου με ή και χωρίς την τοποθέτηση ηχοπετασμάτων. Υπολογίζει την απόδοση των ηχοπετασμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρική διάδοση, την ατμοσφαιρική απορρόφηση, τις ατμοσφαιρικές μεταβολές, το έδαφος και τη σύνθετη αντίσταση αντικειμένων, τα σφαιρικά αποτελέσματα ανάκλασης και διάθλασης των κυμάτων από φυσικά ή προκαλούμενα από τον άνθρωπο αντικείμενα σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον. Το *Olive Tree Lab* παράγει τη χαρτογράφηση των κυμάτων, υπολογίζει και επιδεικνύει τα αποτελέσματα σε ζώνες συχνότητας, 1/3, 1/1 οκτάβας και dB (A). Στην εικόνα 6 απεικονίζεται το project που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της εργασίας. Παρουσιάζεται η γραμμική πηγή ήχου, ο δέκτης δηλαδή τα έξι μικρόφωνα που είναι τοποθετημένα μπροστά στο κτίριο του σχολικού συγκροτήματος και το ηχοπέτασμα που παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής και του δέκτη.



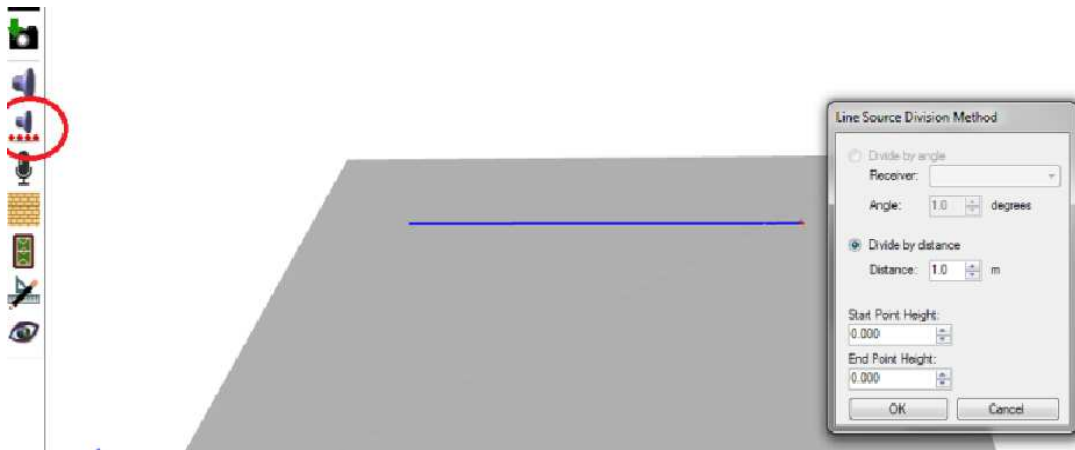
Εικόνα 6: Μοντέλο πηγής-ηχοπετάσματος-δέκτη.

Επιλογές Λογισμικού:

Εργαλεία	Λειτουργία	Εργαλεία	Λειτουργία
	Εισαγωγή πηγής ήχου		Υπολογισμός απόστασης ενός σημείου από ένα αντικείμενο
	Εισαγωγή γραμμικής πηγής ήχου		Υπολογισμός απόστασης από ένα σημείο σε ένα άλλο
	Εισαγωγή δέκτη		Εμφάνιση όλων των ηχητικών διαδρομών
	Εισαγωγή ηχοπετασμάτων		Εμφάνιση ηχητικών διαδρομών προς υπολογισμό
	Δημιουργία εδάφους		Εμφάνιση όλων των ηχητικών

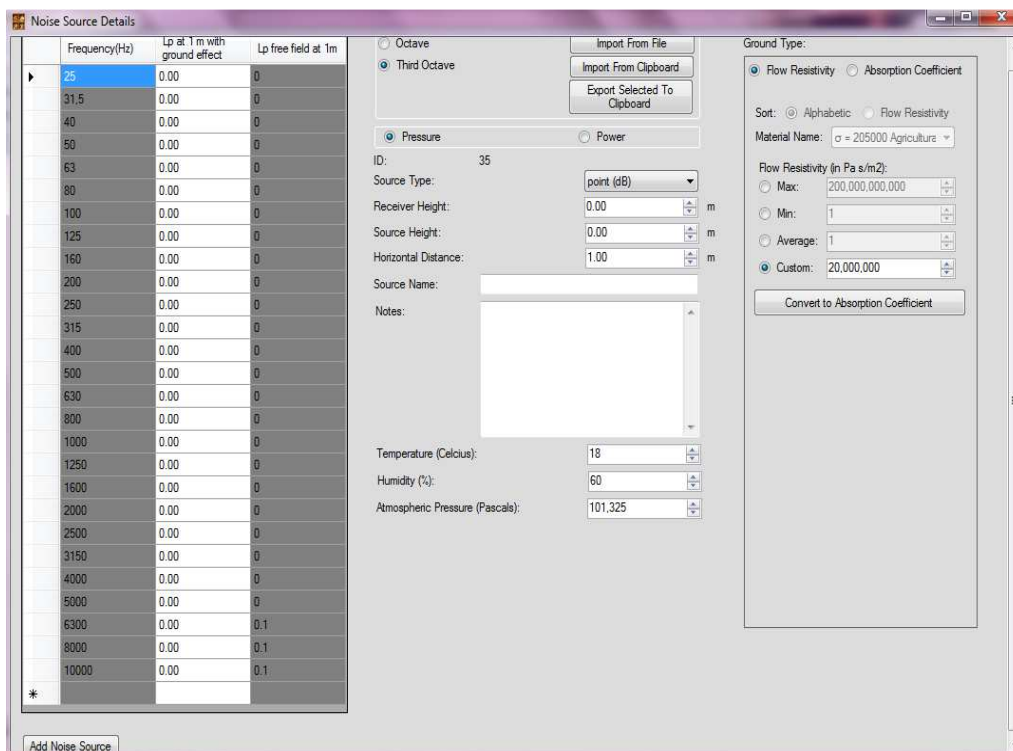
			διαδρομών χωρίς ηχοπέτασμα
	Εργαλεία Σχεδιασμού		Εμφάνιση ηχητικών διαδρομών προς υπολογισμό χωρίς ηχοπέτασμα
	Δημιουργία τοίχων		Εμφάνιση αποτελεσμάτων ακρίβειας οκταβικής συχνοτικής ανάλυσης
	Δημιουργία επιφανειών		Εμφάνιση ενδεικτικών αποτελεσμάτων οκταβικής συχνοτικής ανάλυσης
			Εμφάνιση αποτελεσμάτων σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9613-2

Τοποθέτηση γραμμικής πηγής:



Εικόνα 7: Δημιουργία γραμμικής πηγής.

Για το σχεδιασμό μιας γραμμικής πηγής άπειρου μήκους δίνεται η δυνατότητα επιλογής του σημείο έναρξης και λήξης της. Έπειτα μπορεί να καθοριστεί η απόσταση μεταξύ της κάθε μιας από τις επιμέρους πηγές (εικόνα 7). Παράλληλα, σε κάθε επιμέρους πηγή μπορεί να οριστεί η επιθυμητή στάθμη πίεσης για κάθε συχνότητα (είτε οκταβικά είτε τριτοκταβικά) (εικόνα 8).



Εικόνα 8: Ορισμός της εκπεμπόμενης από την πηγή στάθμης πίεσης για κάθε τριτοκταβική ανάλυση.

Τοποθέτηση ηχοπετάσματος:

Για το σχεδιασμό του ηχοπετάσματος επιλέγουμε το σημείο έναρξης και επεκτείνουμε κατά μήκος ως το επιθυμητό σημείο λήξης του. Έπειτα δίνονται επιλογές που μπορούν να ορίσουν το ύψος, το υλικό, το σχήμα (εικόνα 12, 13) και το πάχος (π.χ. λεπτό ή συγκριμένου πάχους).

Έξοδοι και Αποτελέσματα λογισμικού

Τα αποτελέσματα που το λογισμικό παράγει παρουσιάζονται σε γραφήματα:

Indicative Graph



Η επιλογή Indicative Graph παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές αποτελεσμάτων. Πραγματοποιεί υπολογισμούς μόνο στο 1/3 των συχνοτήτων της οκτάβας, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα σε διάστημα οκτάβας στο ενδεικτικό γράφημα μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Ελέγχει αν οι λύσεις πληρούν τα επιθυμητά κριτήρια. Οι ενδεικτικοί υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη μόνο την Ηχητική Πηγή / s, το Δέκτη, το Ηχοπέτασμα και το Έδαφος / s, ενώ παραβλέπουν οτιδήποτε άλλο στο 3D μοντέλο.

Παρακάτω εξηγούνται οι καμπύλες που παρουσιάζονται στο ενδεικτικό γράφημα.

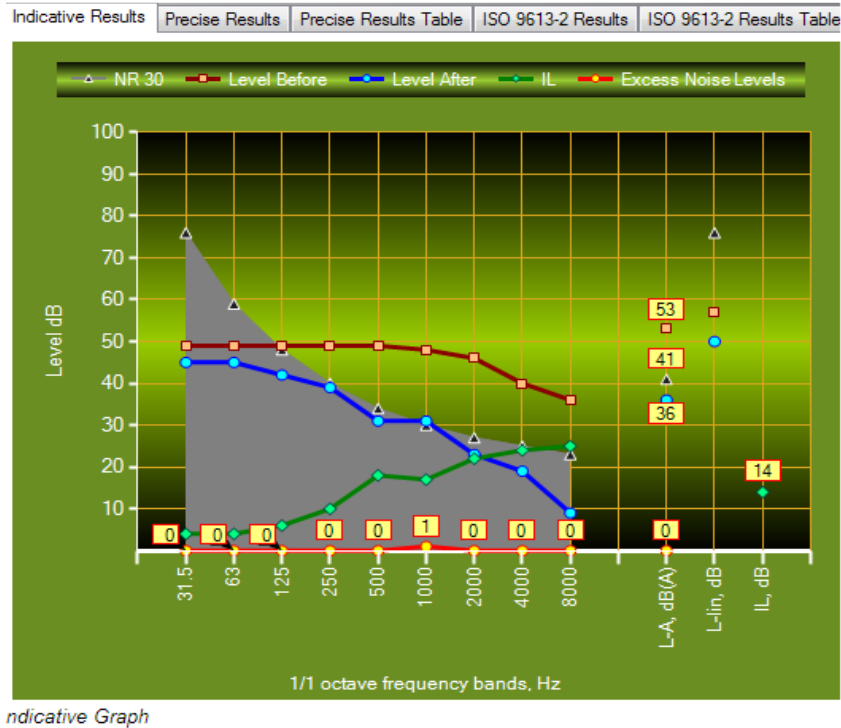
NR: Η καμπύλη που παρουσιάζει τα κριτήρια του θορύβου που εφαρμόζονται στο δέκτη.

Level Before: αποτυπώνεται στην καμπύλη χρώματος κόκκινο και υποδηλώνει το επίπεδο της στάθμης του θορύβου που καταλήγει στο δέκτη πριν από την εφαρμογή ενός φράγματος.

Level After: Είναι η μπλε καμπύλη που παρουσιάζει το επίπεδο στάθμης της πηγής του θορύβου που καταλήγει στο δέκτη μετά την τοποθέτηση ενός φράγματος.

IL: Η Πράσινη καμπύλη. Υποδηλώνει τη διαφορά στάθμης των δύο παραπάνω, δηλαδή το κέρδος μείωσης του θορύβου που προσφέρει το ηχοπέτασμα. Το αποτέλεσμα αυτό εξ ορισμού είναι μια αρνητική τιμή, ωστόσο στο παράθυρο εξόδου των ενδεικτικών αποτελεσμάτων εμφανίζεται ως θετική ποσότητα.

Excess Noise Levels: Αναπαριστά τα επίπεδα που υπερβαίνουν τα κριτήρια θορύβου (εικόνα 9).



Εικόνα 9: Γράφημα παρουσίασης ενδεικτικών αποτελεσμάτων.

Precise Graph

Η επιλογή Precise αναλύει και πραγματοποιεί ακριβείς υπολογισμούς. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παράθυρο εξόδου. Οι υπολογισμοί είναι οκταβικής ή τριτοκταβικής συχνοτικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν στο πρόχειρο, σε μορφές αρχείων .txt ή .csv (εικόνα 10).



Εικόνα 10: Γράφημα παρουσίασης αποτελεσμάτων ακριβείας.

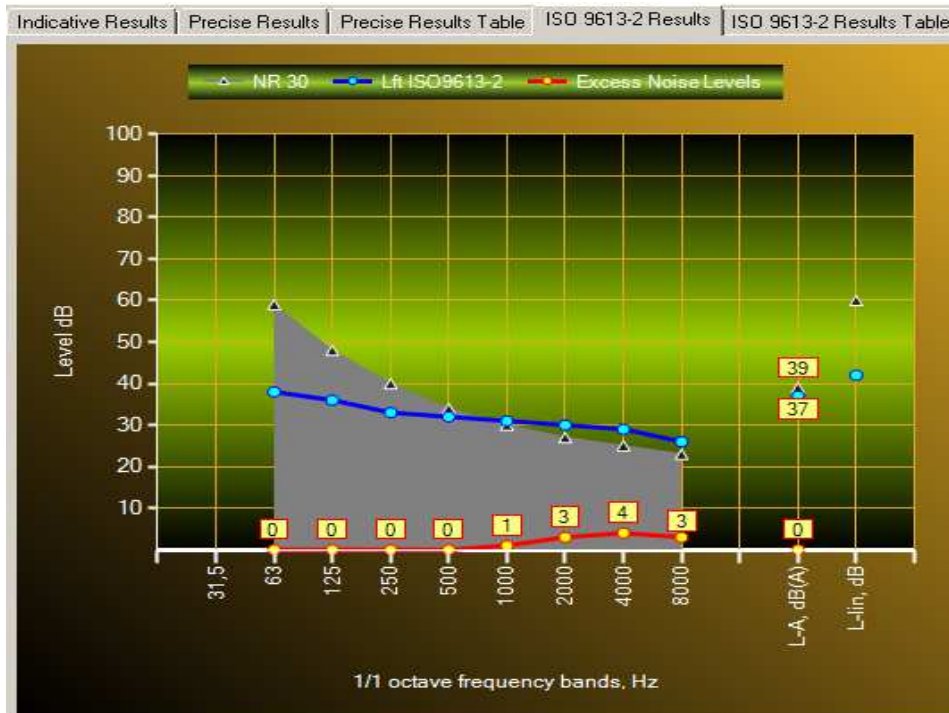
ISO Graph

Η επιλογή ISO υλοποιεί υπολογισμούς με βάση το πρότυπο ISO 9613-2, αναφέροντας τις οκτώ τυποποιημένες συχνότητες από 63 Hz έως 8 kHz. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο γράφημα ISO. Οι ακόλουθες καμπύλες των αποτελεσμάτων απεικονίζουν:

NR: τα κριτήρια του θορύβου που εφαρμόζονται στο δέκτη.

Lft: LFT (DW), είναι η καμπύλη που παρουσιάζει τη συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης που προκαλούν όλες οι πηγές σε ένα επιλεγμένο δέκτη.

Excess Επίπεδα θορύβου: αναπαριστά τα επίπεδα που υπερβαίνουν τα κριτήρια θορύβου.



Εικόνα 11: Γράφημα εμφάνισης αποτελεσμάτων βάσει του προτύπου ISO 9613-2.

[6] ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Πραγματοποιήθηκαν πειραματικοί υπολογισμοί με τη χρήση του λογισμικού για διάφορες περιπτώσεις με σκοπό την προσέγγιση μίας ολοκληρωμένης λύσης.

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί για διαφορετικές τοποθετήσεις ηχοπετάσματος μεταξύ πηγής και δέκτη.

Από τη σύγκριση αυτή διαπιστώνεται ότι η μείωση που προσφέρει ένα πέτασμα αυξάνεται όσο αυτό βρίσκεται πιο κοντά στην πηγή. Δυστυχώς, αυτό για πρακτικούς λόγους δεν είναι εφικτό. Για αυτό και η απόσταση του ηχοπετάσματος από την πηγή συνήθως είναι αρκετά μέτρα μακρύτερα. Για την επαλήθευση της παραπάνω διαπίστωσης επιλέχθηκαν δυο διαφορετικές αποστάσεις τοποθέτησης του ηχοπετάσματος σε σχέση με το δέκτη. Αρχικά το πέτασμα τοποθετείται πιο κοντά στο δέκτη και έπειτα αυξάνεται η απόσταση από αυτόν κατά 5m καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι το πέτασμα είναι πιο αποδοτικό όταν τοποθετείται μακρύτερα από το δέκτη. Πιο συγκεκριμένα, το

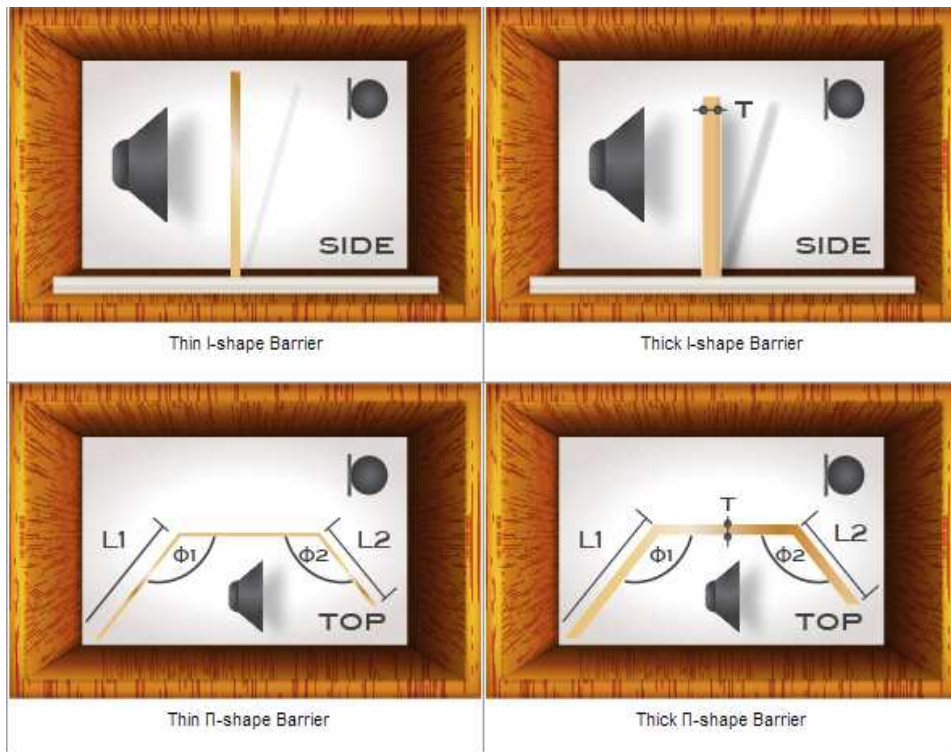
ίδιο ηχοπέτασμα Α (κατασκευασμένο από υαλοβάμβακα) συγκρίνεται σε δύο διαφορετικές θέσεις. Αρχικά τοποθετείται σε απόσταση 10m από το δέκτη και έπειτα απέχει 15m από αυτόν. Παρατηρείται διαφορά στην απόδοση που προσφέρει το πέτασμα. Το ηχοπέτασμα στην πρώτη περίπτωση για μια αποδεκτή μείωση χρειάζεται να έχει ύψος 6m, σε αντίθεση με τη δεύτερη περίπτωση όπου για να λάβουμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά της πρώτης, το πέτασμα αρκεί να έχει ύψος 5 m. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες, ξεχωριστά για κάθε δέκτη.

Ακολουθώς, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί σχετικοί με το πάχος του ηχοφράγματος, διότι σύμφωνα με τη θεωρία το πάχος παίζει ρόλο στην απόδοση του ηχοφράγματος. Τα διαφορετικά πάχη που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούν σε ηχοφράγμα τοποθετημένο σε απόσταση 10m από το δέκτη. Για τη σύγκριση αυτή χρησιμοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού οι επιλογές για παχύ και λεπτό πέτασμα και επαληθεύτηκε ότι όταν το ηχοπέτασμα είναι παχύτερο προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση. Τα αποτελέσματα φανερώνουν πως το ηχοφράγμα όταν διαθέτει πάχος απαιτείται να έχει ύψος 5m, ενώ για την ίδια απόδοση από το δέκτη ένα ηχοφράγμα λεπτού πάχους απαιτείται να έχει ύψος 6m.

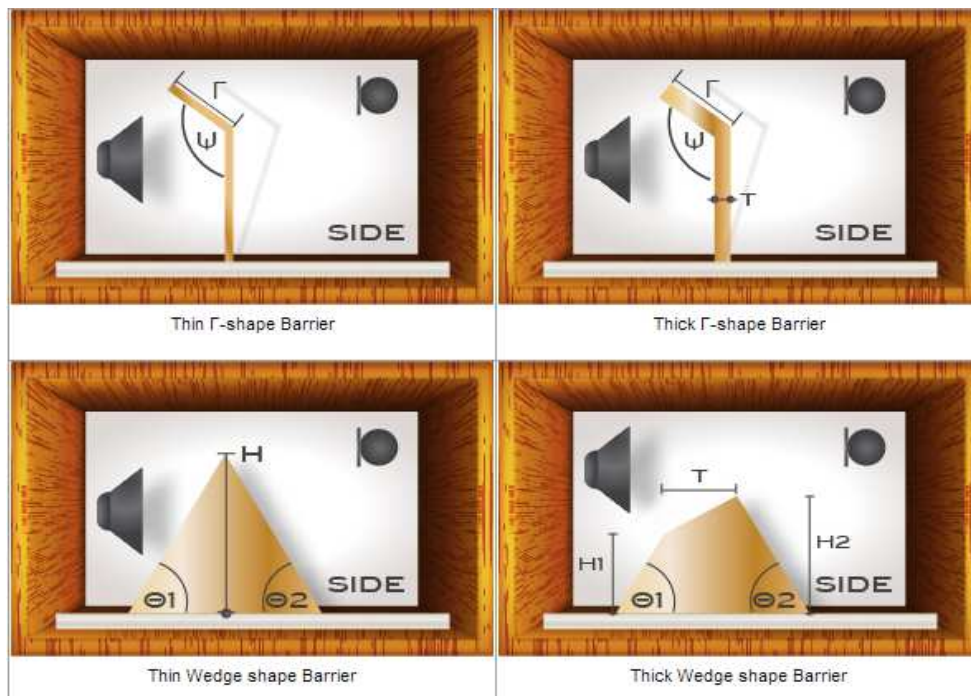
Στις εικόνες που ακολουθούν απεικονίζεται η απόδοση ηχοφράγματος για τα δυο διαφορετικά πάχη.

Επιπρόσθετοι θεωρητικοί υπολογισμοί έλαβαν χώρα σχετικά με το ύψος του ηχοφράγματος. Απώτερος σκοπός ήταν η εύρεση του χαμηλότερου ύψους για το οποίο το ηχοφράγμα προσφέρει ικανοποιητική απόδοση για την επιθυμητή χρήση. Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί για διάφορες τιμές ύψους και βρέθηκε ότι η χαμηλότερη απόδοση του ηχοφράγματος αντιστοιχεί σε ύψος 4m. Για το ύψος των 5m η απόδοση βελτιώνεται στις υψηλές συχνότητες, ενώ αύξηση της απόδοσης σε όλο το επιθυμητό συχνοτικό φάσμα παρατηρείται για ύψος 6m. Για ύψος 5m, η απόδοση του ηχοπετάσματος βελτιώνεται με την τοποθέτησή του στα 15m από το δέκτη. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για διαφορετικά ύψη ηχοφραγμάτων.

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση του ηχοφράγματος είναι η μορφή του. Στο εμπόριο κυκλοφορούν διαφορετικοί τύποι ηχοπετασμάτων. Ο καθένας από αυτούς τους τύπους έχει την ιδιότητα να προσδίδει διαφορετική απόδοση στο φράγμα, ώστε να χρησιμοποιείται αναλόγως του προβλήματος που τίθεται προς αντιμετώπιση. Πειραματικά συγκρίθηκαν οι τέσσερις τύποι ηχοπετασμάτων που περιλαμβάνονται στις επιλογές του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε. Η σύγκριση των διαφορετικών τύπων πραγματοποιήθηκε για ηχοπέτασμα τοποθετημένο σε απόσταση 15m από το δέκτη και σε ύψος 5m. Από τα αποτελέσματα που λαμβάνονται συμπεραίνεται, ότι το πέτασμα σχήματος Π σε σχέση με το απλό πέτασμα σχήματος Ι είναι πιο αποδοτικό όσον αφορά τις υψηλές συχνότητες και όχι τις χαμηλές. Το ίδιο ισχύει και για το πέτασμα σχήματος Γ, το οποίο συγκριτικά με το απλό Ι και το Π είναι το λιγότερο αποτελεσματικό για τις χαμηλές συχνότητες (για να παρουσιάσει κανονποιητική απόδοση χρειάζεται ύψος 6m ακόμα και για την απόσταση των 15m, στην οποία παρατηρείται μια αρκετά καλή μείωση ειδικά στις ψηλές συχνότητες). Όσο για το πέτασμα WEDGE με σφηνοειδή μορφή παρατηρείται να έχει παρόμοια συχνοτική απόδοση με το Ι. Όλοι οι τύποι ηχοπετασμάτων φαίνονται στις εικόνες 12 και 13. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων του πειραματικού μέρους παρουσιάζονται σε γραφικές παραστάσεις στο τέλος της εργασίας.



Εικόνα 12: Απλό πέτασμα σχήματος I και πέτασμα σχήματος Π με μικρό και μεγάλο πάχος.



Εικόνα 13: Πέτασμα τύπου Γ και πέτασμα Wedge μεγάλου και μικρού πάχους.

ΔΙΠΛΑ ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Αποσκοπώντας στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων της απόδοσης διπλών ηχοπετασμάτων πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις όσο αφορά τη μεταξύ τους απόσταση. Το διπλό ηχοπέτασμα τοποθετείται σε απόσταση 10 m από το δέκτη. Το ύψος του πρώτου είναι στα 6m, ενώ του δεύτερου πετάσματος στα 5m. Η απόσταση μεταξύ των δυο αντιστοιχεί στα 5m. Στην περίπτωση αυτή, η απόδοση του διπλού ηχοπετάσματος είναι μεγαλύτερη σε σχέση με ένα απλό πέτασμα σχεδιασμένο με τα αντίστοιχα δεδομένα. Διπλό ηχοπέτασμα όπου η απόσταση μεταξύ των δυο είναι μικρότερη από αυτή των 5m προσφέρει μικρότερη ηχομείωση. Αν λοιπόν μειώσουμε την απόσταση των δύο ηχοπετασμάτων στα 4m, για να παραχθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα με εκείνα που λαμβάνονται όταν η απόσταση τους είναι 5m προϋποτίθεται αύξηση της απόστασης που το πέτασμα θα τοποθετηθεί σε σχέση με το δέκτη, π.χ. στα 15m.

Δηλαδή, όσον αφορά την απόσταση που θα υπάρχει μεταξύ των δύο ηχοπετασμάτων ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη απόδοσή τους, διαπιστώνεται ότι η ηχομείωση που προκαλεί το φράγμα είναι μεγαλύτερη όσο η απόσταση μεταξύ των δυο είναι μεγαλύτερη. Τονίζοντας πως αυτό δεν είναι πάντα εφικτό για πρακτικούς λόγους (αφού το ηχοπέτασμα πρέπει να βρίσκεται σε κάποια απόσταση ασφαλείας από το δρόμο).

Συγκρίνοντας ένα απλό πέτασμα με ένα διπλό παρατηρούμε ότι στη δεύτερη περίπτωση η απόδοση είναι μεγαλύτερη. Όπως αναφέρεται και στη θεωρία ο ήχος διανύει περισσότερες διαδρομές, με αποτέλεσμα να φτάνει περισσότερο εξασθενημένος στο σημείο του δέκτη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με όλους τους παραπάνω θεωρητικούς και πειραματικούς υπολογισμούς διαπιστώνεται πως τα αποτελέσματα και των δυο καταλήγουν στα ίδια συμπεράσματα.

Τα ηχοπετάσματα αποτελούν έναν από τους τρόπους αντιμετώπισης του οδικού θορύβου. Πριν όμως αναφερθούμε στον τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος, είναι σημαντικό να γίνει ο προσδιορισμός αυτού. Η ανώτατη επιτρεπτή τιμή του δείκτη L_{den} είναι τα $70 \text{ dB}(A)$. Τα σχολεία αποτελούν χώρους όπου απαιτείται ειδική ακουστική προστασία, έτσι ο δείκτης L_{den} δύναται να μειώνεται περαιτέρω έως και $5 \text{ dB}(A)$.

Βάσει των μετρήσεων θορύβου και των υπολογισμών του σταθμισμένου δείκτη L_{den} (Πίνακας 5), προτείνεται η τοποθέτηση ηχοπετάσματος.

Βάσει της συχνοτικής ανάλυσης του θορύβου, προκύπτει ότι αυτός φέρει μεγαλύτερα ποσοστά ηχητικής ενέργειας στις χαμηλές συχνότητες και σε αυτές πρέπει να επικεντρωθεί η απόδοση του ηχοφράγματος. Υπενθυμίζεται η εξορισμού δυσκολία της αυξημένης απόδοσης λόγω των αντίστοιχων μηκών κύματος.

Το ηχοπέτασμα που προτείνεται προσφέρει μείωση της στάθμης θορύβου έως και $19 \text{ dB}(A)$ στις χαμηλές συχνότητες, αρκετά μεγαλύτερη μείωση στις μεσαίες συχνότητες και στις υψηλές συχνότητες η μείωση φτάνει έως και τα $37 \text{ dB}(A)$ (Πίνακας 8). Πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές των υπολογισμών επηρεάζονται στην πράξη από παράγοντες που δε λήφθηκαν υπόψη κατά τη διάρκεια των υπολογισμών με το λογισμικό. Ένας τέτοιος παράγοντας δύναται να είναι η σύνδεση των επιμέρους τμημάτων του ηχοφράγματος, η οποία επιτυγχάνεται με υλικά διαφορετικών ακουστικών ιδιοτήτων από αυτές του ηχοφράγματος.

Όσον αφορά την απόδοση του ηχοπετάσματος εξετάστηκαν οι παράμετροι που την επηρεάζουν. Μία από αυτές είναι η απόσταση που θα πρέπει να λαμβάνει το πέτασμα μεταξύ της πηγής και του δέκτη. Παρατηρείται πως η ηχομείωση είναι μεγαλύτερη όταν το ηχοπέτασμα τοποθετείται πιο κοντά στην ηχητική πηγή (όσο βέβαια αυτό είναι δυνατό). Από τις συγκρίσεις που

αναφέρθηκαν παραπάνω λαμβάνουμε μεγαλύτερη απόδοση του ίδιου ηχοπετάσματος όταν αυτό είναι τοποθετημένο σε απόσταση 15m από το δέκτη σε σχέση με την τοποθέτηση του στα 10m από αυτόν.

Το ύψος αποτελεί εξίσου σημαντικό παράγοντα της απόδοσης του πετάσματος. Όσο μεγαλύτερο ύψος δηλαδή έχει το πέτασμα τόσο μεγαλύτερη ηχομείωση θα προσφέρει. Αντιμετωπίζοντας τις συνθήκες θορύβου που εξετάζονται στην εργασία το ύψος των 5m για το πέτασμα δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα μείωσης του προβλήματος.

Το ίδιο ισχύει και για το πάχος του ηχοπετάσματος, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι αυτό τόσο μεγαλύτερη και η απόδοση που προσδίδει. Στην εν λόγω περίπτωση καθίσταται περιττό, κυρίως για οικονομικούς λόγους, διότι ένα πέτασμα λεπτής μορφής προσφέρει ικανοποιητική απόδοση.

Έπειτα, συγκρίνοντας τους διάφορους τύπους πετασμάτων, όσον αφορά τη μορφή τους, συμπεραίνουμε πως ο κάθε ένας από αυτούς έχει διαφορετική συχνοτική απόδοση. Έτσι λοιπόν, ορίζεται και η χρήση τους ανάλογα με το είδος του προβλήματος που τίθεται προς αντιμετώπιση.

Τέλος, μεγάλη απόδοση όπως προαναφέρθηκε προσφέρουν τα διπλά ηχοπετάσματα. Η απόδοση που προκαλεί το διπλό φράγμα αυξάνεται όσο η απόσταση μεταξύ των δυο επιμέρους φραγμάτων είναι μεγαλύτερη.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Επιπλέον κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου ηχοπετάσματος είναι το κατά πόσο αυτό αποτελεί την οικονομικότερη εφικτή λύση. Στη περίπτωση μας και σύμφωνα με όλα τα παραπάνω συμπεράσματα, προτείνεται η πιο απλή μορφή πετάσματος. Οι πιο σύνθετες μορφές ηχοπετασμάτων θα χαρακτηρίζονταν περιττές, με τη χρήση τους πιο επιβεβλημένη στην περίπτωση που η επιθυμητή ηχομείωση βρισκόταν σε υψηλότερα επίπεδα.

Το φράγμα που προτείνεται είναι ένα απλό πέτασμα τύπου I, τοποθετημένο σε απόσταση 15m από το δέκτη και ύψους 5m. Είναι κατασκευασμένο από υαλοβάμβακα. Η επιλογή αυτή μας δίνει τη δυνατότητα για χαμηλότερο κόστος. Επιλέχτηκε το χαμηλότερο δυνατό ύψος και η πιο απλή μορφή πετάσματος (απλό ανακλαστικό). Η επιλογή αυτή δε θα ήταν εφικτή αν το πέτασμα τοποθετούταν σε μικρότερη απόσταση από αυτή των 15m από το δέκτη. Αν συνέβαινε αυτό θα χρειαζόμασταν περισσότερο από 1m για κάθε πλάκα πετάσματος, καθώς το ύψος που θα απαιτούταν να έχει το ηχοπέτασμα θα ήταν 6m, προκειμένου να λάβουμε το αντίστοιχο κέρδος με αυτό που προσφέρει το προτεινόμενο πέτασμα.

Η επιλογή διπλού ηχοπετάσματος μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση όσον αφορά τη μείωση του θορύβου. Η επιλογή αυτή μπορεί να θεωρείται πιο αποτελεσματική, αλλά ταυτόχρονα κρίνεται αρκετά δαπανηρή, με αποτέλεσμα να συνιστάται σε ειδικές περιπτώσεις όπου οι στάθμες θορύβου ξεπερνούν κατά πολύ τα επιτρεπτά όρια. Στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται εναλλακτικά διπλό πέτασμα σε απόσταση 10 m από το δέκτη, με το πρώτο πέτασμα να έχει ύψος 6m και το δεύτερο 5m και τη μεταξύ τους απόσταση να αντιστοιχεί στα 5m.

Επιπλέον η καλύτερη πολεοδομική διαμόρφωση των δρόμων σε σχέση με τις απότομες στροφές, τη διατομή τους και τη χρήση ειδικών αθόρυβων οδοστρωμάτων (από πορώδη υλικά), ανυψωμένων δρόμων, ακουστικών σιράγγων και γέφυρες θα μπορούσαν να επηρεάσουν θετικά στην ηχομείωση του οδικού δικτύου.

Μία σημαντική παράμετρος, η οποία θα μπορούσε να αμβλύνει το πρόβλημα του θορύβου είναι η αλλαγή των παραμέτρων των ηχητικών πηγών. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη θέσπιση χαμηλότερων ορίων ταχύτητας στην περιοχή του σχολικού συγκροτήματος. Επιπροσθέτως, θα βοηθούσε η αλλαγή του οδοστρώματος με τύπου που προσφέρει ηχομείωση βάσει εργαστηριακών μετρήσεων. Επίσης, ο επισταμένος τεχνικός έλεγχος των οχημάτων είναι σε θέση να προσφέρει μείωση του παραγόμενου από αυτά θορύβου.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ

Γραφικές παραστάσεις και σύγκριση ηχοπετασμάτων:

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα σε γραφικές παραστάσεις όπως αυτά λαμβάνονται από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία. Στη κάθε γραφική παράσταση παρουσιάζεται:

- Η στάθμη πίεσης του θορύβου που παράγει η ηχητική πηγή όπως αυτή φτάνει στο δέκτη (Level Before, κόκκινη καμπύλη)
- Η στάθμη πίεσης που απομένει να φτάσει στο δέκτη μετά την τοποθέτηση του ηχοπετάσματος (Level After, μπλε καμπύλη)
- και η διαφορά στάθμης των δύο παραπάνω, δηλαδή το κέρδος μείωσης του θορύβου που προσφέρει το ηχοπέτασμα (IL, πράσινη καμπύλη)

Σύγκριση 1. [Αναφέρεται στην απόσταση του πετάσματος μεταξύ πηγής και δέκτη]

Απόσταση 10m από το δέκτη:



Σύγκριση 1.1: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 6m για το δέκτη 2.



Σύγκριση 1.2: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 6m για τους δέκτες 4 και 6.

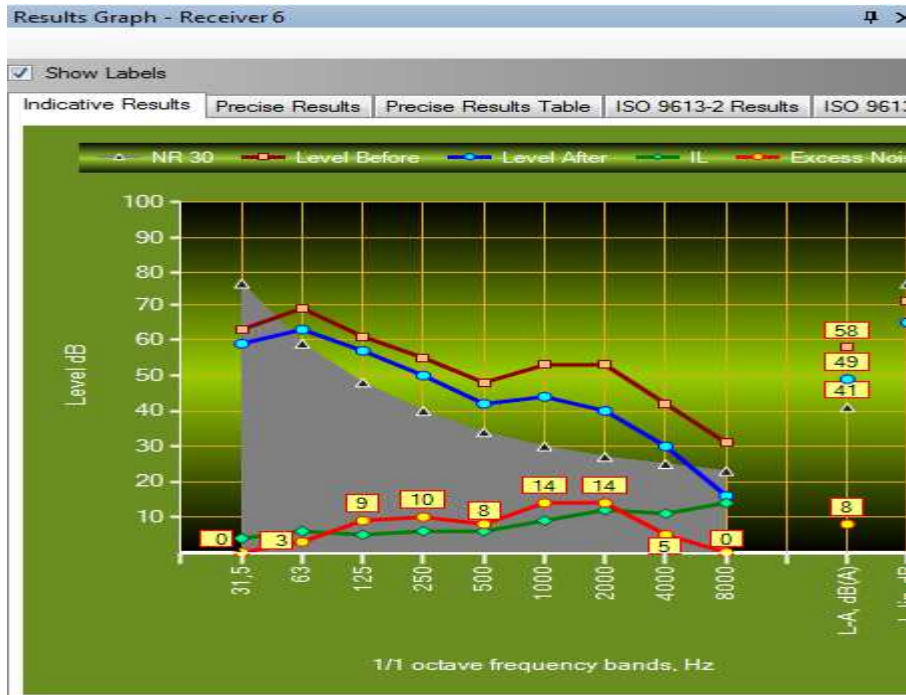
Απόσταση 15m από το δέκτη:



Σύγκριση 1.3: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), με απόσταση 15m από το δέκτη και ύψος 5m για το δέκτη 2.



Σύγκριση 1.4: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), με απόσταση 15m από το δέκτη και ύψος 5m για το δέκτη 4.



Σύγκριση 1.5: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), με απόσταση 15m από το δέκτη και ύψος 5m για το δέκτη 6.

Σύγκριση 2: [Αναφέρεται στο πάχος που θα πρέπει να διαθέτει το ηχοπέτασμα ώστε να προσφέρει την επιθυμητή απόδοση]

Πέτασμα μη αμελητέου πάχους:

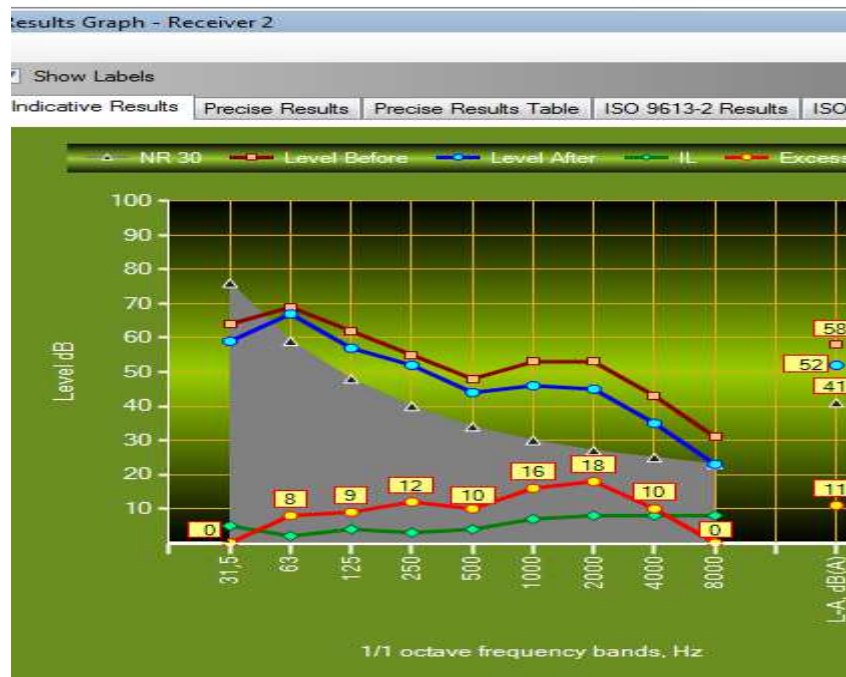


Σύγκριση 2.1: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), μη αμελητέου πάχους, με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 5m, για το δέκτη 2.



Σύγκριση 2.2: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), μη αμελητέου πάχους, με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 5m, για τους δέκτες 4 και 6.

Πέτασμα αμελητέου πάχους:



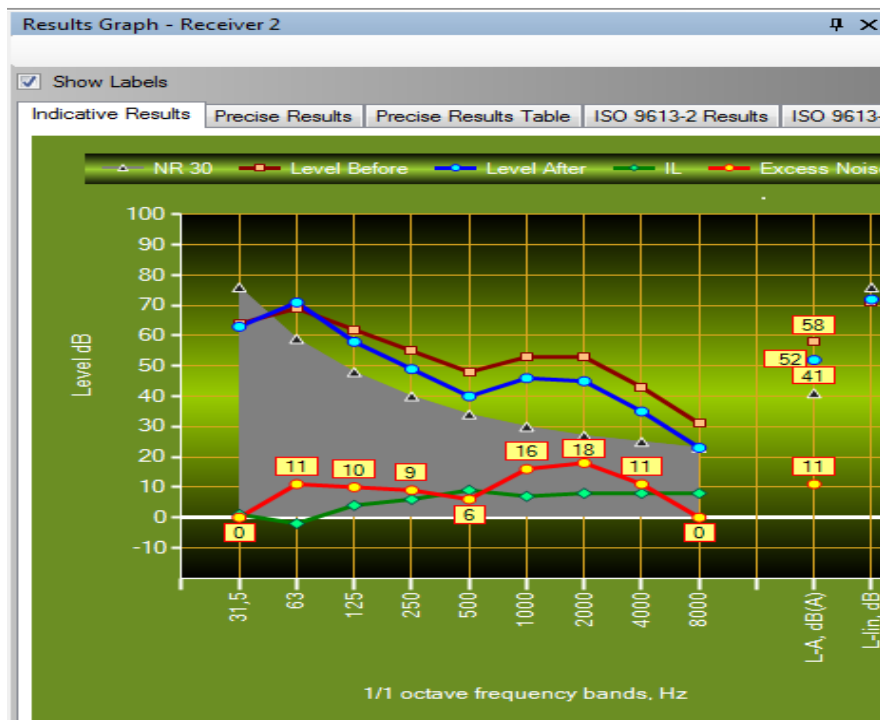
Σύγκριση 2.3: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), αμελητέου πάχους, με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 5m, για το δέκτη 2.



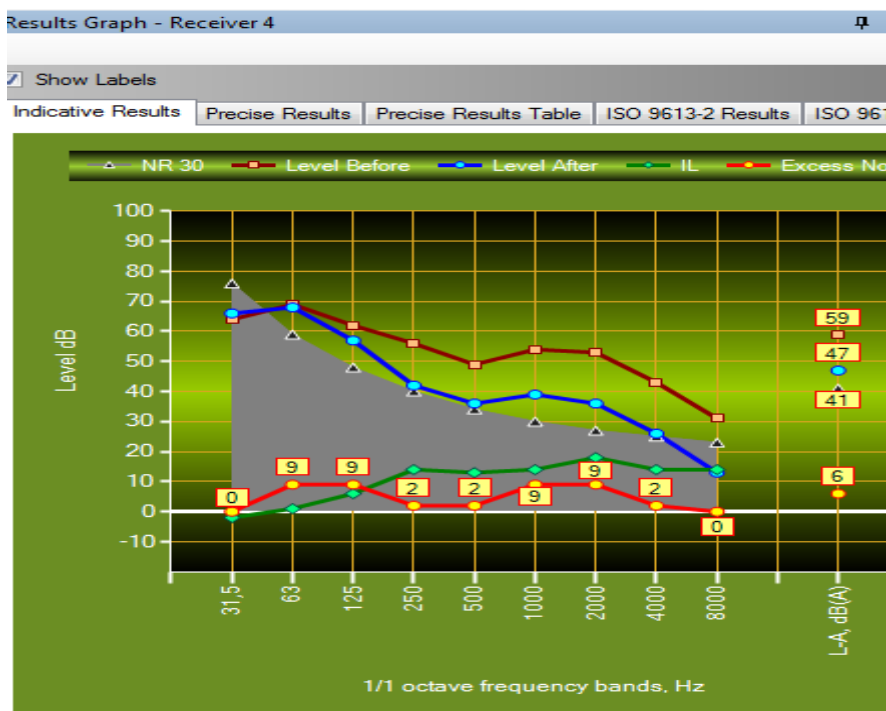
Σύγκριση 2.4: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), αμελητέου πάχους, με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 5m, για τους δέκτες 4 και 6.

Σύγκριση 3: [Αλλαγές στο ύψος του ηχοπετάσματος]

Ύψος 5m:



Σύγκριση 3.1: Πέτασμα Γ (υαλοβάμβακας), με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 5m, για το δέκτη 2.



Σύγκριση 3.2: Πέτασμα Γ (υαλοβάμβακας), με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 5m, για το δέκτη 4.



Σύγκριση 3.3: Πέτασμα Γ (υαλοβάμβακας), με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 5m, για το δέκτη 6.

Ύψος 6m:



Σύγκριση 3.4: Πέτασμα Γ (υαλοβάμβακας), με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 6m, για το δέκτη 2.



Σύγκριση 3.5: Πέτασμα Γ (glass wool), με απόσταση 10m από το δέκτη και ύψος 6m, για τους δέκτες 4 και 6.

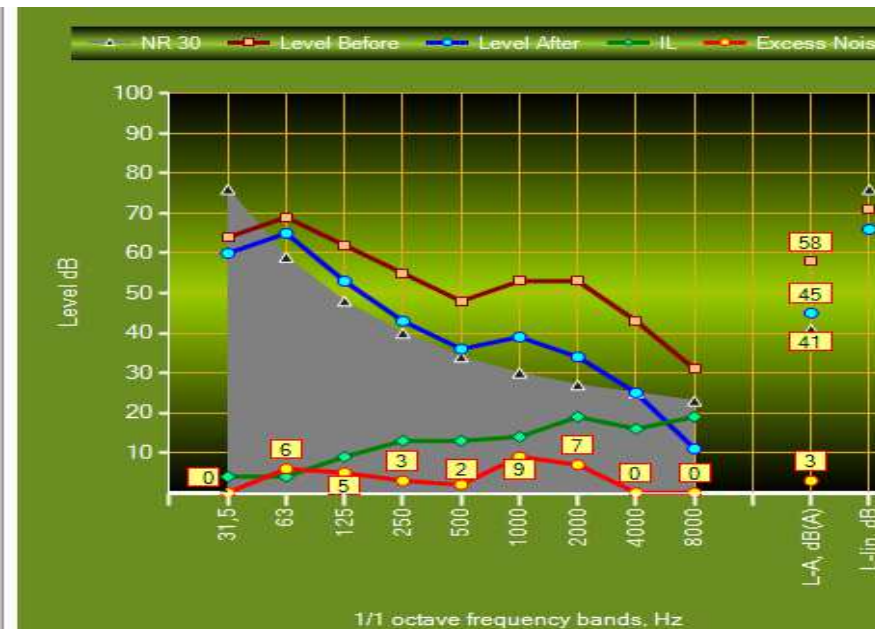
Σύγκριση 4: [Αλλαγές του τύπου του πετάσματος]

Ηχοπέτασμα τύπου I:



Σύγκριση 4.1: Πέτασμα I (υαλοβάμβακας), με απόσταση 15m από το δέκτη και ύψος 5m.

Ηχοπέτασμα τύπου II:



Σύγκριση 4.2: Πέτασμα II (υαλοβάμβακας), με απόσταση 15m από το δέκτη και ύψος 5m.

Ηχοπέτασμα τύπου Γ:



Σύγκριση 4.3: Πέτασμα Γ (υαλοβάμβακας), με απόσταση 15m από το δέκτη και ύψος 5m.

Ηχοπέτασμα τύπου WEDGE:



Σύγκριση 4.4: πέτασμα WEDGE (υαλοβάμβακας), με απόσταση 15m από το δέκτη και ύψος 5m.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Συγγράμματα

1. Βαφειδου Ε., (2005). *Ο θόρυβος στην εργασία, φύση κίνδυνοι και προστασία*. Αθήνα: Ελληνικό Ινστιτούτο υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.) Διατίθεται από:
http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/thorivos%20teliko.1232973480625.pdf
2. Δαμασιώτης Χριστόδουλος, (2011). *Ηχορύπανση και τρόποι αντιμετώπισης σε υπό κατασκευή σχολείο*. Τ.Ε.Ι Κρήτης-Παράρτημα Ρεθύμνου. Διατίθεται από:
http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/mta/2011/DamasiotisChristodoulos/attached-document-1329730926-49753-22574/Damasiotis_Christodoulos.pdf
3. Δρίβας Σ., Γκινάλας Τ., Βαφειδου Ε., (2005). *Ο θόρυβος στην εργασία. Φύση κίνδυνοι και προστασία*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. Διατίθεται από:
http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/thorivos.1138629114265.pdf
4. Ευθυμιάτος Δ., (2007). *Ακουστική και Κτηριακές Εφαρμογές*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
5. *Εφημερίδα της Κυβέρνησης*. Ελληνική Δημοκρατία. Αθήνα: 27 Απρ.2012, τεύχος 2, αρ. φύλλου 22006.
6. Καραντωνάκη Α., (2009). *Πτυχιακή Εργασία: Η ηχορύπανση και οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ειδικότερα στην ακοή*. Τ.Ε.Ι Κρήτης-Παράρτημα Ρεθύμνου. Διατίθεται από:
http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/mta/2009/KarantonakiAfroditi/attached-document/Karantonaki_Afroditi.pdf
7. Πασχαλίδου Σ., (2010). *Εφαρμοσμένη ακουστική Ι, Σημειώσεις εργαστηριακών Ασκήσεων*. Κρήτη: Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης – Παράρτημα Ρεθύμνου.
8. Σκαρλάτος Δ., (2008). *Δραστηριότητες του ΕΛΙΝΑ στην πρόβλεψη και αντιμετώπιση του κυκλοφοριακού θορύβου*. Ημερίδα ΤΕΕ «Οι επιπτώσεις της ηχορύπανσης στα αστικά κέντρα – Αναγκαία μέτρα και παρεμβάσεις», Αθήνα: 14 Ιανουαρίου 2008. Διατίθεται από:
http://library.tee.gr/digital/m2301/m2301_skarlatos.pdf

9. Σκαρλάτος Δ., (2008). *Εφαρμοσμένη Ακουστική*. Πάτρα: Εκδόσεις GOTSIS.
10. David A. Bies, Colin H. Hansen, (2003). *Engineering Noise Control*. CRC Press.
11. Watson, R., Downey, O., (2013). *The little red book of acoustics*. United Kingdom: Blue Tree Acoustics, 3rd Edition.
12. István L. Vér, Leo L. Beranek(2005). *Noise and Vibration Control Engineering*. 2nd Edition.

Διαδικτυακές Σελίδες

1. Εξοπλισμός των οδών: Δημήτρης Τσανακτσίδης:
<http://www.tsanak.gr/roadequip.htm> (20/08/2014)
2. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος:
<http://www.eea.europa.eu/el/themes/noise/about-noise> (15/08/2014)
3. Olive Tree Lab - Terrain User Manual:
<http://www.mediterraneanacoustics.com/TerrainHelp> (26/082014)