



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών

Ακουστικός Σχεδιασμός και Ψηφιακός Ήχος

Διπλωματική Εργασία

Μέτρηση Ηχομονωτικής Ικανότητας Κουφωμάτων  
Εσωτερικής και Εξωτερικής Χρήσης

Τσαγκαρής Δημήτριος

Επιβλέπων καθηγητές:

Αστέριος Ζαχαράκης

Μπάρκας Νικόλαος

Πάτρα, Ιούλιος 2020

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2020

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.



## Μέτρηση Ηχομονωτικής Ικανότητας Κουφωμάτων Εσωτερικής και Εξωτερικής Χρήσης

Τσαγκαρής Δημήτριος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Ζαχαράκης Αστέριος

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:  
Μπάρκας Νικόλαος

Πάτρα, Ιούλιος 2020

«Στο μαχητή γιο μου και τη γυναίκα μου»

*Θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον καθηγητή και Α' επιβλέποντα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας κο. Ζαχαράκη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του στην εκπόνηση της εργασίας καθώς και για την πραγματικά άμεση ανταπόκρισή και υποστήριξη του σε κάθε προβληματισμό που προέκυψε σε αυτή τη δύσκολη φάση της ζωής μου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά και τον κο. Μπάρκα Νικόλαο για το γεγονός ότι αποτέλεσε πηγή έμπνευσης και προβληματισμού από την πρώτη στιγμή της συνεργασίας μας.*

*Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά το γιο μου που αποτέλεσε το μεγαλύτερο κίνητρο ώστε να καταστεί δυνατή η ολοκλήρωση και κατάθεση της εργασίας αυτής.*

*Επιπλέον, ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στη σύζυγό μου για την αμέριστη υποστήριξή της, τόσο στην ολοκλήρωση του παρόντος Μεταπτυχιακού Προγράμματος όσο και για την καίρια και πολύτιμη βοήθειά της, ιδιαίτερα τις πιο κρίσιμες στιγμές.*

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να καταγραφεί η ηχομονωτική ικανότητα των κουφωμάτων που έχουν τοποθετηθεί στην οικία που διαμένουμε και να γίνει ανάλυση κατά πόσο τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά σε σχέση με τα  $R_w$  ( $R_w$ =δείκτης ηχομονωτικής ικανότητας συμπαγών πετασμάτων) που δίνονται από διάφορους κατασκευαστές. Προτείνονται πιθανές παρεμβάσεις που μπορεί να βελτιώσουν την ηχομονωτική ικανότητα των κουφωμάτων χωρίς απαραίτητα να γίνει αντικατάσταση αυτών. Οι μετρήσεις αφορούν 4 μπαλκονόπορτες, 2 παράθυρα, 1 πόρτα ασφαλείας και μία πόρτα εισόδου πολυκατοικίας. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός και εργαλεία, όπως αυτοενισχυόμενο ηχείο 15 ιντσών (full range), μικρόφωνο μετρήσεων omnidirectional, κάρτα ήχου, γεννήτρια λευκού θορύβου από το λογισμικό Audacity, πρόγραμμα φασματογραφικής ανάλυσης ήχου (REW). Το ηχείο τοποθετήθηκε σε απόσταση 70cm από τα κουφώματα και εφαρμόστηκε σήμα λευκού θορύβου. Η στάθμη ηχητικής πίεσης που ασκήθηκε στην εξωτερική επιφάνεια του κουφώματος ήταν περίπου 140 dB . Πραγματοποιήθηκε καταγραφή του φάσματος και της στάθμης του ήχου που έφτανε στο μικρόφωνο το οποίο βρισκόταν σε απόσταση 1m από το ηχείο με ανοιχτά πετάσματα. Στην περίπτωση των κουφωμάτων που διαθέτουν και δεύτερη επιφάνεια όπως παράθυρα ή παντζούρια οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με όλες τις δυνατές μεθόδους, (και οι δύο επιφάνειες κλειστές και κάθε μία ξεχωριστά, συγκρίνοντας και την αλληλεπίδραση αν υπάρχει). Από τις μετρήσεις προέκυψαν οι τιμές ηχομείωσης των πετασμάτων που συγκριτικά με τις επιθυμητές τιμές φαίνονται χαμηλότερες, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να πραγματοποιηθούν παρεμβάσεις ενίσχυσης της ηχομονωτικής ικανότητας των πετασμάτων. Μια τέτοια παρέμβαση θα μπορούσε να είναι η αντικατάσταση των υαλοπινάκων με αντίστοιχους ενισχυμένου πάχους και ιδανικά διαφοροποίηση του πάχους των δύο υαλοπινάκων που αποτελούν το πέτασμα.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηχομόνωση, Ηχοαπορρόφηση, Λευκός θόρυβος

## **Abstract**

The purpose of this study is to examine the soundproofing of frames in the apartment where I live and compare the results measured with the standard soundproofing values provided by the manufacturers, importantly the  $R_w$  values as index of sound insulation of solid sheets. Accordingly, proposals in terms of reducing the sound absorption of the frames without replacing them are also provided. The measurements concern four balcony doors, two windows, the entry door of the apartment and the entry door of the building. The equipment and tools used for the measurements are one active speaker of 15 inch (full range), one measurement omnidirectional microphone, an audio interface, a white noise generator from Audacity software and a spectrum analyzer (Room eq wizard, REW). The speakers were placed at a distance of 70cm from the frames and white noise was applied. The sound pressure level that reached the external surface of the frame was recorded at approximately 140dB. Record of spectrum and sound pressure level that reached the microphone, which was located at a distance of 1 meter from the speaker with open frames, was performed. In cases of frames consisting of shutters, measurements were conducted in all possible combinations, such as both shutters and windows closed, or shutters open and windows closed and the opposite. Therefore, important values were provided to exclude conclusions related to the participation of each part of the frame and the interaction between them in the final frame sound insulation. The measurements revealed that the sound reduction values of the frames seem to be lower than the desired values, which means that interventions must be made to enhance the sound insulation capacity of the frames. Such an intervention could be the replacement of the glazing with corresponding reinforced thickness and ideally differentiation of the thickness of the two glazing that constitute the frames.

**Keywords:** Soundproofing, Sound Absorption, White Noise

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	2
Abstract .....	3
Περιεχόμενα .....	4
Κατάλογος Εικόνων .....	6
Κατάλογος Πινάκων.....	7
Κατάλογος εξισώσεων .....	7
<b>ΜΕΡΟΣ Α: ΓΕΝΙΚΑ .....</b>	<b>8</b>
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Περιγραφή Βασικών ακουστικών Μεγεθών .....</b>	<b>8</b>
1.1 Ορισμός ήχου .....	8
1.2 Μέτρηση Ήχου και Χαρακτηριστικά του .....	8
1.3 Αντήχηση .....	10
1.4.1 Αερόφερτος Ήχος .....	11
1.4.2 Στερεόφερτος Ήχος.....	11
1.4.3 Κτυπογενής Ήχος ως Υποκατηγορία του Στερεόφερτου Ήχου .....	11
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Θόρυβος .....</b>	<b>12</b>
2.1 Ακουστικός θόρυβος.....	12
2.2 Θόρυβος και Υγεία.....	15
2.3 Επεξήγηση περιβαλλοντικών όρων υποβάθμισης .....	17
2.4 Όχληση.....	17
2.5 Πηγές θορύβου και αναπαραγώμενη στάθμη .....	18
2.6 Επιπτώσεις στον άνθρωπο .....	20
2.7 VAD (vibroacoustic disease) .....	20
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Ηχομόνωση και Μετάδοση Ήχου.....</b>	<b>22</b>
3.1 Περιγραφή Ηχομόνωσης.....	22
3.2 Δείκτης Ηχομείωσης R .....	22
3.3 Sound Transmission Class (STC) .....	24
3.4.1 Ισοτοπικά .....	25
3.4.2 Ορθοτοπικά .....	27
3.5 Μετάδοση Ήχου .....	27
3.6 Μέτρηση του δείκτη ηχομείωσης R στο εργαστήριο.....	28
3.7 Μέτρηση του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R' .....	29
3.8 Μέτρηση του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης, R' <sub>w</sub> .....	29
3.9 Ακουστική άνεση .....	30

<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Μετάδοση Ήχου σε Θύρες και Παράθυρα .....</b>	<b>34</b>
4.1 Γενικά στοιχεία .....	34
4.2 Υαλοπίνακες.....	35
4.3 Πόρτες .....	37
<b>ΜΕΡΟΣ Β: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ .....</b>	<b>39</b>
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Παρούσα Μελέτη .....</b>	<b>39</b>
5.1 Παρουσίαση της περιοχής μελέτης .....	39
5.2 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν .....	40
5.3 Μεθοδολογία Υλοποίηση πειράματος .....	40
5.4 Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	45
<b>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> Ανάλυση αποτελεσμάτων ανά περίπτωση.....</b>	<b>51</b>
6.1 Πέτασμα υπνοδωματίου .....	51
6.2 Πέτασμα παιδικού δωματίου.....	53
6.3 Πετάσματα κουζίνας .....	54
6.4 Πέτασμα καθιστικού .....	57
6.5 Πέτασμα υπογείου.....	59
6.6 Πόρτα ασφαλείας καθιστικού .....	60
6.7 Πόρτα ασφαλείας κεντρικής εισόδου κατοικίας.....	62
<b>6.8 Επεξήγηση τρόπου υπολογισμού των δεικτών ηχομείωσης.....</b>	<b>64</b>
Μπαλκονόπορτα.....	65
Παράθυρο .....	65
Πόρτα κεντρικής εισόδου κατοικίας .....	66
<b>Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> .....</b>	<b>67</b>
7.1 Συμπεράσματα σχετικά με τη μελέτη περίπτωσης.....	67
7.2 Πως μπορούμε να διαπιστώσουμε πιθανές ατέλειες στην εφαρμογή των πετασμάτων .....	67
7.3 Γενικότερη σχέση τοιχοποιίας και πετασμάτων. ....	68
7.4 Επίλογος.....	69
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>70</b>
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>0</b>



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1:Σχέση μεταξύ ηχητικής έντασης και ηχητικής πίεσης .....	10
Εικόνα 2:Ανάλυση φάσματος λευκού θορύβου .....	13
Εικόνα 3:Ανάλυση φάσματος ροζ θορύβου.....	14
Εικόνα 4:Ανάλυση φάσματος καφέ θορύβου .....	14
Εικόνα 5:Κυματομορφές και των τριών ειδών θορύβων .....	15
Εικόνα 6:Πιθανές πηγές όχλησης .....	16
Εικόνα 7:Πρότυπη καμπύλη $R_w$ για αερόφερτο θόρυβο.....	25
Εικόνα 8:Δωμάτια εργαστηριακών μετρήσεων δείκτη ηχομείωσης πετασμάτων.....	29
Εικόνα 9:Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης $R_w$ των οικοδομικών στοιχείων σε συνάρτηση με την επιφανειακή τους μάζα ( $\text{kg/m}^2$ ) .....	38
Εικόνα 10:Interface κάρτας ήχου.....	41
Εικόνα 11:Ρύθμιση εισόδου –εξόδου στο λογισμικό REW .....	42
Εικόνα 12:Απόκριση κάρτας ήχου.....	42
Εικόνα 13:Ρύθμιση σήματος εισόδου .....	43
Εικόνα 14:Απόκριση ηχείου -μικροφώνου .....	44
Εικόνα 15:Στάθμη αναπαραγωγής λευκού θορύβου .....	44
Εικόνα 16:Aurora Acoustical Parameters .....	46
Εικόνα 17:Αφαίρεση τμήματος πριν το σκάσιμο μπαλονιού .....	47
Εικόνα 18:Μεγέθυνση κυματομορφής.....	47
Εικόνα 19:Αφαίρεση τμήματος από δεξιά .....	48
Εικόνα 20:Υπολογισμός $RT_{60}$ .....	48
Εικόνα 21:Επιλογή τριτοκταβικής ανάλυσης .....	50
Εικόνα 22:Αποτελέσματα υπολογισμού $R_w$ υπνοδωματίου .....	51
Εικόνα 23: Τιμές $\text{dB(A)}$ υπνοδωματίου .....	52
Εικόνα 24:Αποτελέσματα $R_w$ παιδικού δωματίου .....	53
Εικόνα 25:Τιμές $\text{dB(A)}$ παιδικού δωματίου.....	54
Εικόνα 26 : $RT_{60}$ Παιδικού δωματίου.....	54
Εικόνα 27:Τιμές $\text{dB(A)}$ πόρτας κουζίνας.....	55
Εικόνα 28:Τιμές $\text{dB(A)}$ παραθύρου κουζίνας.....	57
Εικόνα 29: $RT_{60}$ κουζίνας.....	57
Εικόνα 30:Αποτελέσματα υπολογισμού $R_w$ καθιστικού.....	58
Εικόνα 31: $RT_{60}$ καθιστικού .....	59
Εικόνα 32:Αποτελέσματα υπολογισμού $R_w$ υπογείου .....	59
Εικόνα 33:Τιμές $\text{dB(A)}$ υπογείου.....	60
Εικόνα 34:Τιμές $\text{dB(A)}$ πόρτας ασφαλείας.....	61
Εικόνα 35:Αποτελέσματα υπολογισμού $R_w$ κεντρικής πόρτας.....	62
Εικόνα 36:Τιμές $\text{dB(A)}$ κεντρικής πόρτας οικίας .....	63
Εικόνα 37:Τιμές $\text{dB(A)}$ κεντρικής πόρτας εισόδου .....	63

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τιμές θορύβου ανά χώρο	16
Πίνακας 2: Πηγές θορύβου και οι αντίστοιχες ηχητικές στάθμες έντασης.	18
Πίνακας 3: Τιμές μεγεθών $L_{i,1}$ και $L_{i,2}$	23
Πίνακας 4: Κριτήρια ηχομόνωσης ηχοπροστασίας	31
Πίνακας 5: Κριτήρια ακουστικής άνεσης A	31
Πίνακας 6: Κριτήρια ακουστικής άνεσης B	32
Πίνακας 7: Κριτήρια δείκτη ηχομείωσης	34
Πίνακας 8: Δείκτης ηχομείωσης υαλοπινάκων	36
Πίνακας 9: Συγκριτικός πίνακας τιμών πρακτικών, θεωρητικών και κατασκευαστή	65

## Κατάλογος εξισώσεων

Εξίσωση 1: $LW (dB) = 10 \cdot \log (W/W_{ref})$ , με $W_{ref} = 1pW$	9
Εξίσωση 2: $LI (dB) = 10 \log (I/I_{ref})$ , με $I_{ref} = 1pW/m^2$	9
Εξίσωση 3: $L_I = 10 \cdot \log (I/I_{ref})$	9
Εξίσωση 4: $SPL(dB) = 20 * \log(P0/P0 \text{ αναφοράς})$	10
Εξίσωση 5: $R = -10 \log_{10} \tau$ ή αλλιώς $R = 10 \log_{10} (P12/P22)$	22
Εξίσωση 6: $C = -10 \log_{10} \Sigma 10(L_{i,1} - R_i)/10 - R_w$	23
Εξίσωση 7: $C_{tr} = -10 \log_{10} \Sigma 10(L_{i,2} - R_i)/10 - R_w$	23
Εξίσωση 8: $C_{\beta} = (B \times \omega^2 / m)^{1/4} (m/sec)$ (2.1α)	26
Εξίσωση 9: $B = E \times I' / (1 - \nu^2) = E \times h^3 / [12(1 - \nu^2)] (kg \ m^2 \ s - 2)$	26
Εξίσωση 10: $fc = c^2 / 2\pi(m/B)1/2$	26
Εξίσωση 11: $fGr = 60/d(p/Edyn)1/2$	26
Εξίσωση 12: $R = L1 - L2 + \log_{10} S + 10 \log_{10} (T/0,163 \times V)$	28
Εξίσωση 13: $TL = NR + 10 \log_{10} (A/S \times a) (dB)$	29
Εξίσωση 14: $R' = Ls - LE + 10 \log_{10} (A/Ao)$	29
Εξίσωση 15: $Ao = 0,163 V/T (m^2)$	29
Εξίσωση 16: $R'w = 25 \log (m'/mo) - 12 (dB)$	30
Εξίσωση 17: $RA = R_w + C$	34
Εξίσωση 18: $R_{Attr} = R_w + C_{tr}$	34
Εξίσωση 19: $f = 1200/d * \sin 2\beta$	35
Εξίσωση 20: $f = 1200 (1/d1 + 1/dL + 1/d2)1/2$	35
<b>Υπολογιστικά φύλλα 1: Υπολογισμός δεικτών ηχομείωσης πετασμάτων</b>	<b>64</b>

## **ΜΕΡΟΣ Α: ΓΕΝΙΚΑ**

### **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Περιγραφή Βασικών ακουστικών Μεγεθών**

#### **1.1 Ορισμός ήχου**

Ο όρος ήχος περιγράφει το ακουστικό αίσθημα που προκαλείται όταν μια ηχητική πηγή εκτελεί παλμικές κινήσεις και μεταβάλλει την πίεση ενός ελαστικού μέσου διάδοσης. Οι μεταβολές στην πίεση μεταφράζονται είτε σε περιοχές χαμηλής πίεσης (αραιώματα), είτε σε αντίστοιχες υψηλής (πυκνώματα) με διεύθυνση παράλληλη εκείνης της ταλάντωσης

#### **1.2 Μέτρηση Ήχου και Χαρακτηριστικά του**

Ο ήχος περιγράφεται από δύο βασικές τιμές, την ηχητική πίεση είτε σε Pascal είτε σε decibel και τη συχνότητα που δηλώνει τον αριθμό των ηχητικών δονήσεων στη μονάδα του χρόνου(sec) και υπολογίζεται σε Hertz. Υψηλή συχνότητα συμβαδίζει με μικρό μήκος κύματος και οξύτονο ήχο, αντίθετα η χαμηλή συχνότητα με μεγάλο μήκος κύματος και αντιστοιχεί σε βαρύτονο ήχο (B. Smith, 1996). Οι συχνότητες κατηγοριοποιούνται σε τρεις περιοχές δηλαδή χαμηλές συχνότητες, κάτω των 300Hz, μεσαίες συχνότητες, μεταξύ 300 και 1.200Hz και υψηλές συχνότητες, άνω των 1.200Hz. Το μέσο ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται ήχους μεταξύ 20Hz και 16.000-20.000Hz.

Άλλα μεγέθη που περιγράφουν τον ήχο είναι (Σκαρλάτος Δ. , 2008) (Σκαρλάτος, 2013):

- Ταχύτητα (v/ velocity, m/sec): Περιγράφει τα μέτρα που διανύει ο ήχος στη μονάδα του χρόνου και επηρεάζεται από το υλικό μετάδοσης και τη θερμοκρασία
- Συχνότητα(f/frequency, Hertz): Περιγράφει τη μεταβολή της πίεσης που συντελείται στο μέσο ηχητικής διάδοσης στη μονάδα του χρόνου μετρούμενη σε Hertz, και καθορίζει τον τόνο του ήχου.

Ακουστική Ισχύς (W, Watts): Περιγράφει την ηχητική ενέργεια που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου μετρούμενη σε Watts. Επίπεδο ακουστικής ισχύος (L<sub>W</sub>):

$$\text{Εξίσωση 1: } L_W \text{ (dB)} = 10 \cdot \log (W/W_{\text{ref}}) , \text{ με } W_{\text{ref}} = 1\text{pW}$$

- Ακουστική ένταση (I, Watts/m<sup>2</sup>): Περιγράφει την ακουστική ισχύς που περνάει ανά μονάδα επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση του κύματος

Επίπεδο ακουστικής έντασης:

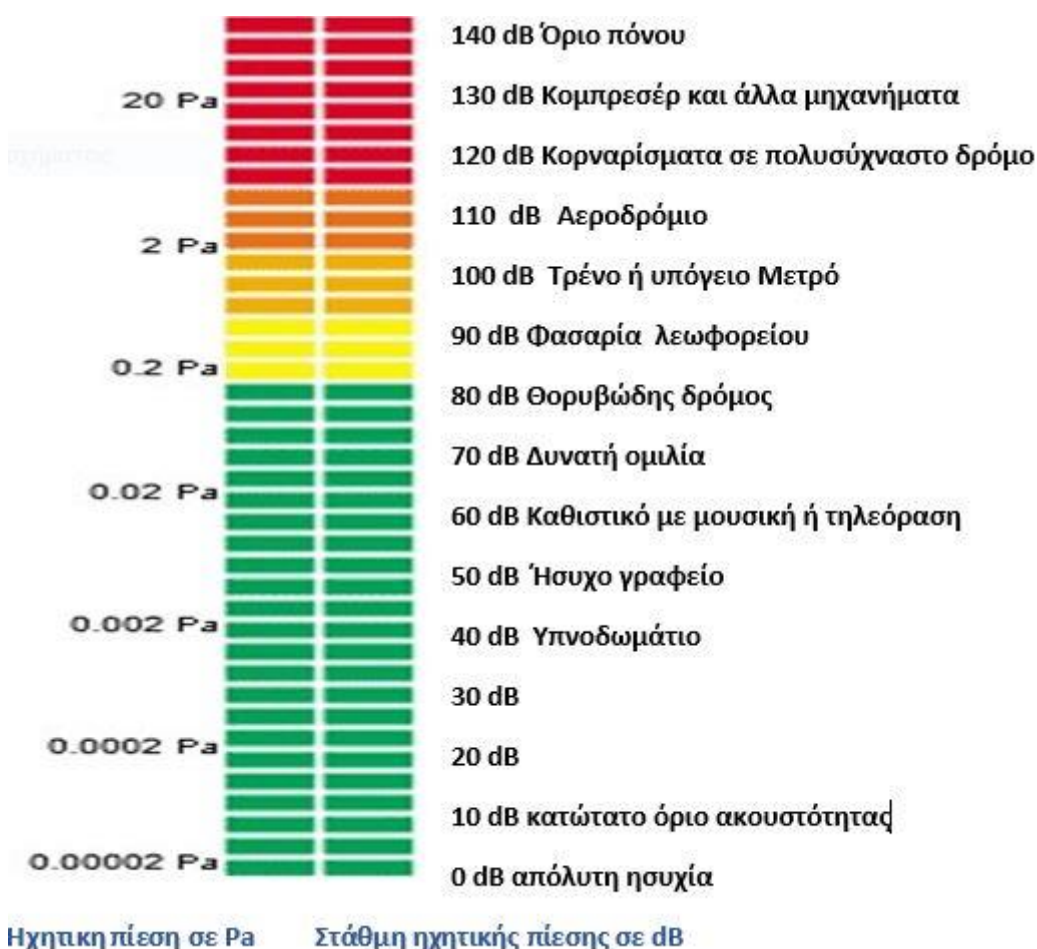
$$\text{Εξίσωση 2: } L_I \text{ (dB)} = 10\log(I/I_{\text{ref}}), \text{ με } I_{\text{ref}} = 1\text{pW/m}^2$$

- Ακουστότητα(dB): Περιγράφει την υποκειμενική ένταση αντίληψης του ήχου συγκεκριμένης συχνότητας και ορίζεται από το νόμο Weber-Fechner και εξαρτάται από τη συχνότητα.
- Κατώφλι ακουστότητας: Περιγράφει την ελάχιστη τιμή έντασης πέρα από την οποία ο ήχος γίνεται αντιληπτός και εξαρτάται από τη συχνότητα.
- Όριο πόνου: Μέγιστη τιμή έντασης ήχου ανεκτή από το ανθρώπινο αισθητήριο όργανο η οποία μάλιστα εξαρτάται από τη συχνότητα.
- Στάθμη έντασης ήχου (sound intensity level, SIL, L<sub>I</sub>):

$$\text{Εξίσωση 3: } L_I = 10 \cdot \log (I/I_{\text{ref}})$$

- Στάθμη ακουστικής πίεσης (SPL, Sound Pressure Level, Lp), όπου η σχέση που δίνει τη στάθμη ηχητικής πίεσης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο, όπου P<sub>0</sub> το πλάτος πίεσης του ηχητικού κύματος και P<sub>0 αναφοράς</sub> τα 20μPa:

$$\text{Εξίσωση 4: } SPL(dB) = 20 * \log(P/P_0 \text{ αναφοράς})$$



Εικόνα 1 : Σχέση μεταξύ ηχητικής έντασης και ηχητικής πίεσης

### 1.3 Αντήχηση

Η αντήχηση περιγράφει την επανάληψη του ήχου ακόμα και όταν πάψει η ηχητική εκπομπή από την πηγή. Επιπρόσθετα ορίζεται ο χρόνος αντήχησης χώρου που περιγράφει τον χρόνο που απαιτείται για μείωση της ηχητικής πίεσης Lp κατά 60dB μετά την παύση εκπομπής της ηχητικής πηγής και συμβολίζεται με RT60 (Barder, 1992).

## **1.4 Κατηγοριοποίηση ήχου ανάλογα με το μέσο διάδοσης**

### **1.4.1 Αερόφερτος Ήχος**

Μέσο διάδοσης των αερόφερτων ηχητικών κυμάτων, όπως το λέει και η λέξη, είναι ο αέρας. Τέτοια κύματα είναι η ομιλία, το ακουστικό αποτέλεσμα από την τηλεόραση ή το ράδιο ή από έναν τραγουδιστή ή ηθοποιό κτλ. Τα κύματα αυτά έχουν δύο δυνητικές προελεύσεις, είτε πηγάζουν απευθείας από την πηγή, είτε ως προϊόν ανάκλασης των επιφανειών ενός χώρου. Οι επιφάνειες τίθενται σε καμπτική ταλάντωση κατόπιν πρόσπτωσης του ηχητικού κύματος, μεταδίδοντας μετέπειτα την ταλάντωση στον αέρα γειτνιάζοντας χώρο. Στην περίπτωση λοιπόν αυτή μιλάμε για παραγωγή αερόφερτου ήχου (TEΠION, n.d.)

### **1.4.2 Στερεόφερτος Ήχος**

Όταν ο ήχος είναι προϊόν ταλάντωσης μιας στερεής πηγής ήχου, δηλαδή μηχανικής διέγερσης, πχ. τρίξιμο μεντεσέ πόρτας όπου η μηχανική ενέργεια από τον μεντεσέ μεταδίδεται ως καμπτικό κύμα στην πόρτα και στους τοίχους με μετέπειτα αποτέλεσμα ταλάντωση του αέρα και ηχητικό κύμα του γειτνιάζοντας χώρο, τότε μιλάμε για στερεόφερτο ήχο. Ως καμπτικά κύματα ορίζονται το αποτέλεσμα συνδυασμού κυμάτων συμπίεσης και διατμηματικών (TEΠION, n.d.)

### **1.4.3 Κτυπογενής Ήχος ως Υποκατηγορία του Στερεόφερτου Ήχου**

Αφορά τον ήχο που παράγεται από απευθείας κτύπο στη διαχωριστική επιφάνεια δύο στοιχείων, όπως για παράδειγμα το περπάτημα πάνω σε ξύλινη επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή το ηχητικό σήμα έχει πηγή προέλευσης τόσο την καμπτική ταλάντωση του πατώματος που παράγει αερόφερτο ηχητικό κύμα, όσο και το ηχητικό κύμα που εκπέμπουν τα υπόλοιπα δομικά υλικά π.χ. τοίχοι, που τέθηκαν σε καμπτική ταλάντωση κατόπιν διάδοσης της καμπτικής ταλάντωσης του πατώματος (TEΠION, n.d.)

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Θόρυβος

### 2.1 Ακουστικός θόρυβος

Περιγράφεται ως ο απεριοδικός ανεπιθύμητος ήχος που αυξομειώνεται τυχαία.

Κατηγοριοποιείται με βάση τον ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) ως (Σκαρλάτος Δ. , 2008) (Σκαρλάτος, 2013):

- Σταθερός: Παρατηρούνται αμελητέες μεταβολές στη στάθμη του
- Μεταβλητός: Παρατηρούνται μικρές μεταβολές στη στάθμη του
- Κυμαινόμενος: Παρατηρούνται σημαντικές και συνεχείς μεταβολές στη στάθμη του. Μετράται με την ισοδύναμη στάθμη θορύβου  $L_{eq}$  (Equivalent Continuous Sound Level) (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010).

Επίσης, ο θόρυβος διακρίνεται σε:

- Θόρυβο περιβάλλοντος
- Θόρυβο βάθους (background noise level)

Ο πρώτος αναφέρεται στον θόρυβο που παράγουν διάφορες συγκεκριμένες πηγές του περιβάλλοντος που δεν μας ενδιαφέρουν, ενώ εμείς μελετάμε έναν άλλο ήχο, Ο δεύτερος ορίζεται ως το σύνολο του θορύβου όλων των πηγών που δεν άπτονται του ενδιαφέροντός μας, μετρούμενο συνήθως σε τριτοκτάβες (dB) (ΕΛΟΤ 263.1).

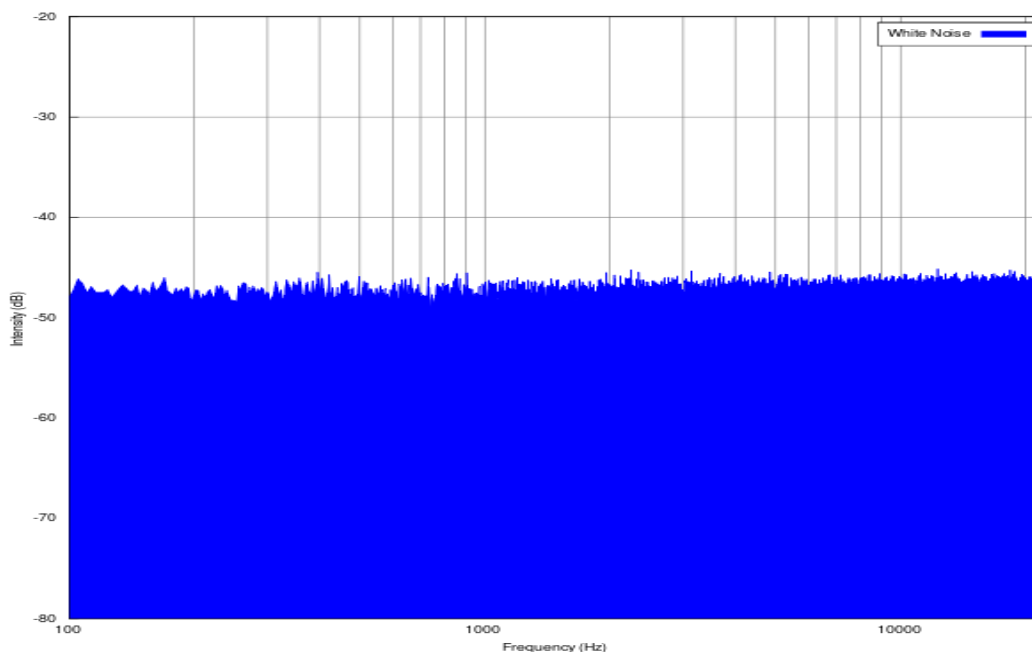
Η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης  $L_{eq}$  υπολογίζεται για τον προσδιορισμό της μέσης στάθμης θορύβου βάθους, είτε με ειδικά όργανα είτε μέσα από μαθηματικό τύπο, ενώ αποτελεί προδιαγραφή ηχομόνωσης.

Τέλος ο σηματοθορυβικός λόγος (SIN ή SNR) περιγράφει το λόγο στάθμης ήχου προς θορύβου κατά Pascal, ή αλλιώς προκύπτει από την αφαίρεση των δύο τιμών σε εφαρμογή κλίμακας decibel και λογαρίθμων.

Πολλές φορές για μετρήσεις ηλεκτρονικών συστημάτων και συσκευών χρησιμοποιούμε πηγές θορύβου με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Τα είδη αυτών των θορύβων διακρίνονται ανάλογα με την κατανομή της ενέργειας στο ακουστικό φάσμα (Καρατζούνης Α., Ιούνιος 2014)<sup>[10]</sup>.

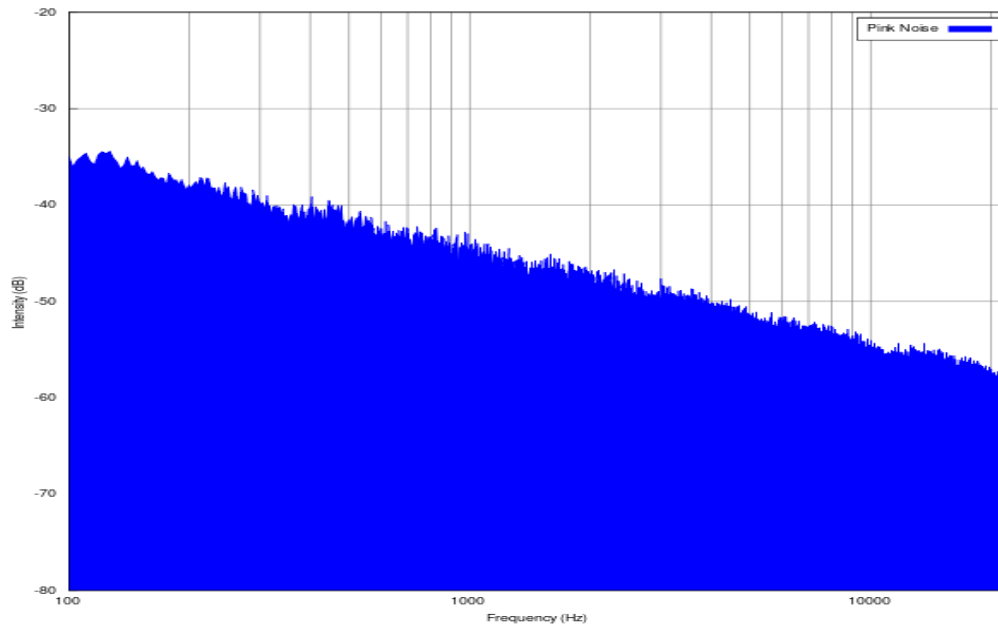
- Λευκός θόρυβος: Περιέχει ίση ενέργεια σε όλο το συχνοτικό φάσμα.



**Εικόνα 2:** Ανάλυση φάσματος λευκού θορύβου

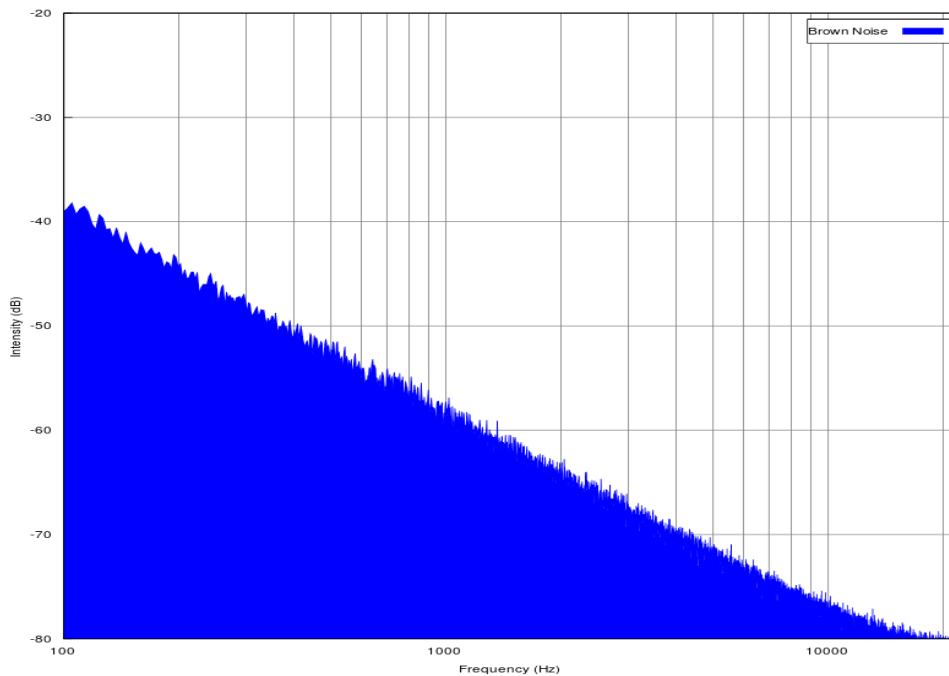
- Ροζ θόρυβος: Περιέχει ίδια ενέργεια ανά οκτάβα.



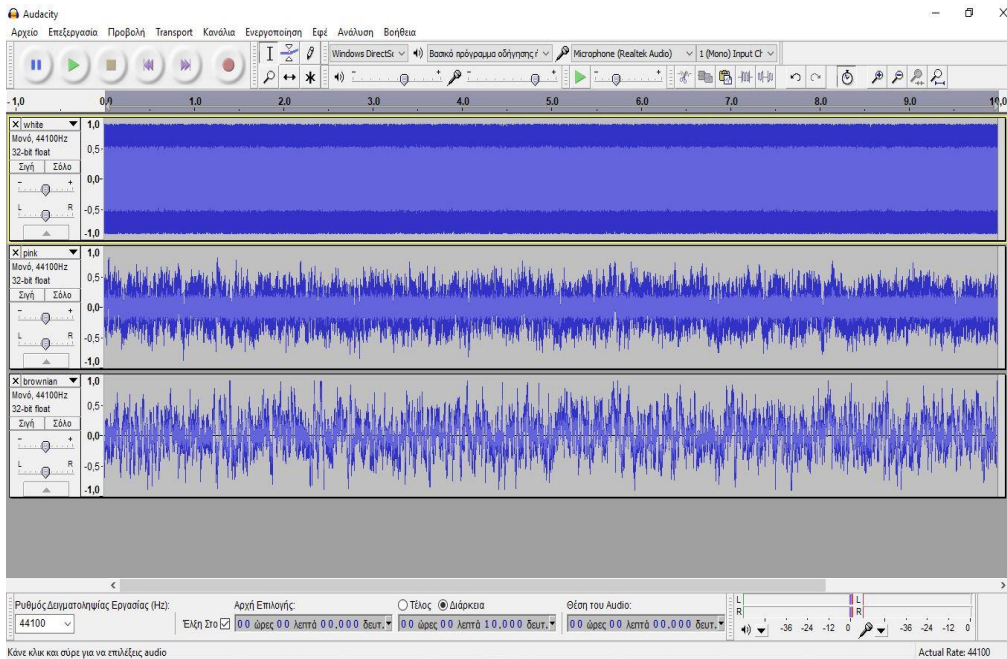


Εικόνα 3: Ανάλυση φάσματος ροζ θορύβου

- Καφέ θόρυβος: Μείωση 6 dB ανά οκτάβα



Εικόνα 4: Ανάλυση φάσματος καφέ θορύβου



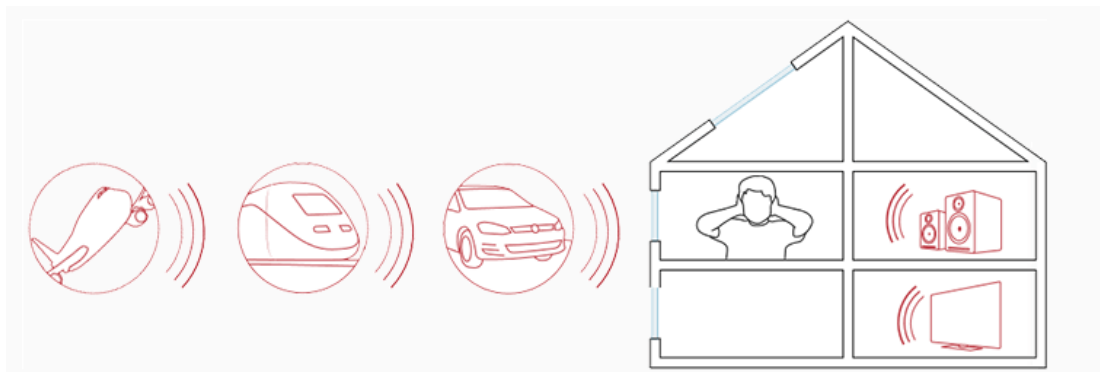
Εικόνα 5: Κυματομορφές και των τριών ειδών θορύβων

## 2.2 Θόρυβος και Υγεία

Ο θόρυβος έχει συνδεθεί με σοβαρές επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων που τον υφίστανται. Πέρα από βλάβες στο αισθητήριο της ακοής υπό τη μορφή παροδικής ή μόνιμης απώλειας ακοής και κώφωσης, παρατηρείται επίδραση τόσο στην ψυχική σφαίρα, όσο και στη φυσική ακεραιότητα των ατόμων, με επίδραση στο γαστρεντερικό καρδιαγγειακό, αυτόνομο νευρικό σύστημα και στο ενδοκρινικό.

Ψυχικές επιδράσεις του θορύβου αφορούν εκδήλωση νευρικής, άγχους, θυμού, ευερεθιστότητας, αμφιθυμίας. Επιπλέον, η ηχορύπανση οδηγεί σε έλλειψη ξεκούρασης, αδυναμία χαλάρωσης, συγκέντρωσης και δημιουργικής ενασχόλησης, μειωμένη επίδοση σε δραστηριότητες, ελάττωση της μνήμης, ικανότητας ακρίβειας χειρισμού μηχανημάτων αλλά και καταστάσεων, επιβράδυνση απόδοσης και τελικά χαμηλή ποιότητα απόδοσης. Επιπλέον ο θόρυβος έχει συνδεθεί με αύξηση αρτηριακής πίεσης και καρδιαγγειακά προβλήματα, κεφαλαλγία, ναυτία, ταχυκαρδία, αύξηση τιμών χοληστερίνης.

Για το λόγο αυτό ο Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός περιλαμβάνει στο άρθρο 12 τους κανόνες Ηχοπροστασίας και Ηχομόνωσης που οφείλουν να ακολουθούν όλα τα άρτια δομημένα κτίρια (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010)<sup>[9][10]</sup>.



Εικόνα 6:Πιθανές πηγές όχλησης

<https://www.rolloplast.gr/saint-gobain/sound-proof-glass/>

Το διεθνές πρότυπο ISO 1999-1990 γεφύρωσε τις προϋπάρχουσες διαφοροποιήσεις στις ευρωπαϊκές και αμερικάνικες οδηγίες που αφορούν τα επίπεδα έντασης και έκθεσης σε θόρυβο στην εργασία. Αντιστοίχως η Ελλάδα με το προεδρικό διάταγμα 149/2006 εναρμονίστηκε με την ευρωπαϊκή οδηγία 2003/10/ΕΕ, ενώ ακολουθεί πίνακας με ανεκτές τιμές θορύβου ανά χώρο με βάση τις ευρωπαϊκές οδηγίες.

(Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής, <https://helina.gr>)

Πίνακας 1:Τιμές θορύβου ανά χώρο

Είδος χώρου	Μέγιστη στάθμη θορύβου dB
Γραφεία	35
Οικίες ημέρα	30-35
Οικίες νύχτα	20-25
Θέατρα	25

Νοσοκομεία	26
------------	----

<http://www.practikal.gr/products/yalopinakes/hxomonotikoi.html>

### 2.3 Επεξήγηση περιβαλλοντικών όρων υποβάθμισης

Υπάρχουν 3 βασικές αιτίες που μπορούν να υποβαθμίσουν το περιβάλλον:

a) Ρύπος περιγράφει την κάθε μορφής ακτινοβολία, ουσία, θόρυβο ή άλλης μορφής ενέργειας που σε συγκεκριμένη ποσότητα ή διάρκεια προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο ή σε έμβιους οργανισμούς.

b) Απόβλητα περιγράφονται η ποσότητα των παραπάνω ρύπων από τα οποία ο παραγωγός οφείλει να απαλλαγεί (συλλέξει) ώστε να μην φθάνουν στους γύρω χώρους.

c) Ρύπανση περιγράφεται η κοινή παρουσία ρύπων και αποβλήτων σε ποσότητα ή διάρκεια ικανή να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρωπίνη υγεία ή στο οικοσύστημα καθιστώντας το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. (ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, 2011)

Στην περίπτωση του ήχου ονομάζεται όχληση.

### 2.4 Όχληση

Όχληση ονομάζεται ο περιβαλλοντικός όρος για την ρύπανση που προκαλείται από ηχητικό μέσο (θόρυβος).

Ο θόρυβος αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους ρύπους της σύγχρονης και ιδιαίτερα σε αστικά κέντρα και πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Τα είδη των θορύβων έχουν κατηγοριοποιηθεί σε σχέση με την πηγή που τους προκαλεί.

Έτσι προκύπτουν οι παρακάτω κατηγορίες

- περιβαλλοντικός θόρυβος
- βιομηχανικός θόρυβος
- θόρυβος εναέριας κυκλοφορίας
- θόρυβος οδικής κυκλοφορίας
- σιδηροδρομικός θόρυβος

- θόρυβος από εξοπλισμό προς χρήση σε εξωτερικούς χώρους.
- Καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος (άδειες μουσικής – ανάπτυξη τραπεζοκαθισμάτων σε υπαίθριους χώρους, λειτουργία μηχανημάτων)

## 2.5 Πηγές θορύβου και αναπαραγόμενη στάθμη

Ως πηγές θορύβου χαρακτηρίζουμε κάθε τι που μπορεί να προκαλέσει ένα ανεπιθύμητο ηχητικό αποτέλεσμα.

Με την ανάπτυξη των ερευνών σχετικά με την εκπομπή θορύβου, έχουν υπολογισθεί κατά προσέγγιση μέσης τιμές, τα επίπεδα θορύβου από συγκεκριμένες πηγές σε συνήθειες συνθήκες.

Παρακάτω υπάρχει ένας πίνακας με διάφορες πηγές θορύβου και την αντίστοιχη συνηθέστερη στάθμη έντασης, σε db(A).

**Πίνακας 2: Πηγές θορύβου και οι αντίστοιχες ηχητικές στάθμες έντασης.**

Πηγές θορύβου	Στάθμη ηχητικής πίεσης, A-στάθμισης σε db(A)
Όριο ακουστότητας στο 1000Hz	0
Αίσθηση ησυχίας	0-20
Ελαφρύ θρόισμα φύλλων	25-30

Ήσυχη κρεβατοκάμαρα	<b>35</b>
Ήσυχη αστική περιοχή εν ώρα κοινής ησυχίας (02:00 π.μ – 04:00 π.μ)	<b>35-45</b>
Αιολικό πάρκο, σε απόσταση 350 μέτρων Πολυσύχναστος δρόμος κυκλοφορίας, σε απόσταση 5 km	<b>35-45</b>
Συζήτηση (σε φυσιολογική ένταση)	<b>45-55</b>
Επιβατικό αυτοκίνητο, (στο ρελαντί), σε απόσταση 7.5m	<b>45-55</b>
Επιβατικό αυτοκίνητο, με 50 χιλ/ώρα, σε απόσταση 100 m	<b>55</b>
Επιβατικό αυτοκίνητο, με 50 χιλ/ώρα, σε απόσταση 7.5 m	<b>60-80</b>
Φορτηγό, με 50 χιλ/ώρα, σε απόσταση 100 m	<b>65</b>
Φορτηγό, με 50 χιλ/ώρα, σε απόσταση 7.5 m	<b>80-95</b>
Μοτοσικλέτα, με 50 χιλ/ώρα, σε απόσταση 7.5 m	<b>75-100</b>
Νυχτερινά μαγαζιά (μπαρ κτλ)	<b>85-100</b>
Τρένα μαζικής μεταφοράς, με 100 - 250 χιλ/ώρα, σε απόσταση 7.5 m	<b>95-100</b>
Τρένα μαζικής μεταφοράς, με 300 χιλ/ώρα, σε απόσταση 7.5 m	<b>105-110</b>
Απογείωση αεροπλάνου, σε απόσταση 250 m	<b>105</b>
Απογείωση αεροπλάνου, σε απόσταση 100 m	<b>110-115</b>
΄Χαμηλές πτήσεις΄ πολεμικών αεροσκαφών	<b>105-120</b>

<p>Όριο πόνου</p> <p>Πιθανή σοβαρή βλάβη στην ακοή, ακόμη και για μικρής χρονικής διάρκειας έκθεση</p>	<p><b>&gt;120-140</b></p>
--	---------------------------

(European Environment Agency)

## 2.6 Επιπτώσεις στον άνθρωπο

Η έκθεση σε θόρυβο έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Τα υψηλά επίπεδα στάθμης ηχητικής πίεσης στα οποία μπορεί να εκτεθεί ένα άτομο προκαλούν βλάβες στον μηχανισμό της ακοής και ανάλογα με την διάρκεια ενδέχεται να είναι προσωρινές ή και μόνιμες .

Παρακάτω θα αναφερθούν οι συνήθεις επιπτώσεις που προκαλούνται στον άνθρωπο από την έκθεση σε θόρυβο.

- a) βλάβη στην ακοή, που περιγράφεται από μερική απώλεια ακοής ή και οριστική κώφωση, καταστροφή οργάνων του μηχανισμού του αυτιού (τυμπανοειδής μεμβράνη, κοχλίας κτλ)
- b) διαταραχή στον ύπνο, γεγονός που στερεί από τον οργανισμό τη χαλάρωση και ξεκούραση που χρειάζεται, προσθέτοντας αλλαγή στη συμπεριφορά την επόμενη μέρα, που χαρακτηρίζεται από έλλειψη συγκέντρωσης, μείωση απόδοσης, επιθετικότητα κτλ
- c) προβλήματα στην επικοινωνία, λόγω δυσκολίας της κατανόησης της ομιλίας και αναπαραγωγής , σε περιβάλλοντα όπου μπορεί να επικρατεί θόρυβος υψηλής στάθμης (εντός εργοστασίων, αιθουσών, νυχτερινών μαγαζιών και συναυλιακών χώρων κτλ). Αυτό επηρεάζει τον οργανισμό με την καταπόνησή του για δυνατότερη και πλέον ευδιάκριτη παραγωγή ομιλίας, που μπορεί να ξεπερνάει τα φυσιολογικά επίπεδα
- d) η μακροχρόνια και έντονη έκθεση σε θόρυβο, μπορεί μέσω φθοράς ή καταστροφής οργάνων στο μηχανισμό του αυτιού, να βλάψει νευρώνες του εγκεφάλου

Οι περισσότερες επιπτώσεις αναφέρονται σε ότι αφορά κυρίως το εργασιακό περιβάλλον με τον όρο VAD (Vibroacoustic disease).

## 2.7 VAD (vibroacoustic disease)

Με τον όρο VAD περιγράφεται μία ψυχοσωματική ασθένεια που κατόπιν μακροχρόνιων ερευνών έχει παρατηρηθεί ότι εμφανίζεται σε άτομα που στον εργασιακό τους χώρο επικρατούν υψηλά επίπεδα στάθμης θορύβου που ξεπερνούν τα 100 dB και για συχνότητες κάτω των 100Hz και για μεγάλο χρονικό διάστημα .

Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια επαγγέλματα (μηχανικοί αεροσκαφών και πλοίων, ναυτικοί ,αεροσυνοδοί ,εργαζόμενοι σε αεροδιαδρόμους ,εργοστάσια ,μουσικοί κτλ.) (PUBMED.gov, n.d.)

Για την προστασία τους τόσο οι εργαζόμενοι όσο και υπεύθυνοι τέτοιων χώρων να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

Η εξέλιξη του VAD ταξινομήθηκε σε 3 επίπεδα βάση του χρονικού διαστήματος που είναι εκτεθειμένο ένα άτομο σε θορύβους των παραπάνω χαρακτηριστικών .

Η κατάταξη έγινε κατόπιν σχετικού πειράματος από τους ερευνητές Marianna Alves-Pereira και Nuno Castelo Branco, με δείγμα 140 ατόμων.

- ήπια μορφή (1-3 χρόνια έκθεσης)
- μέτρια μορφή (4-9 χρόνια έκθεσης)
- βαριά μορφή (10-15 χρόνια έκθεσης)

Ένα από τα σημαντικότερα και ουσιαστικότερα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την όσο το δυνατόν περισσότερο μείωση της έκθεσης σε τέτοιους θορύβους είναι η ηχομόνωση.



## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Ηχομόνωση και Μετάδοση Ήχου

### 3.1 Περιγραφή Ηχομόνωσης

Η ηχομόνωση περιγράφει την ιδιότητα ενός μέσου να μειώνει τη στάθμη ηχητικής πίεσης μεταξύ μιας πηγής και ενός δέκτη. (wikipedia, n.d.)

### 3.2 Δείκτης Ηχομείωσης R

Η στάθμη ηχητικής πίεσης του μεταδιδόμενου ήχου εξαρτάται από παραμέτρους όπως η ένταση και συχνότητα της ηχητικής πηγής, οι διαστάσεις, η μάζα και τα υλικά του διαχωριστικού και πώς συνδέονται αυτά μεταξύ τους, η προσπίπτουσα γωνία του κύματος, η απόσβεση και οι πλευρικές μεταδόσεις. Αντίστοιχα, η ενέργεια που διαδίδεται σχετίζεται με επιμέρους γεγονότα, όπως αν η πρόσπτωση είναι απευθείας ή πλευρική και η ανάκλαση απευθείας ή πλευρική (Σκαρλάτος, 2013). Ο δείκτης ηχομείωσης περιγράφει την ηχομονωτική ικανότητα μιας επιφάνειας. Βασική προϋπόθεση είναι να προσδιορίσουμε το χώρο πηγής και το χώρο παραλήπτη. Έπειτα πρέπει να χωρίσουμε τμηματικά την επιφάνεια, μετρώντας την επιμέρους ένταση του ήχου από την πλευρά του χώρου εκπομπής-προσπίπτουσας και από αυτήν του παραλήπτη-διαδιδόμενη και όχι ανακλώμενη, υπολογίζοντας τον μέσο όρο των μετρήσεων αυτών,  $L_1$  και  $L_2$  ή  $P_1$  και  $P_2$  αντίστοιχα. Η διαφορά των δύο αυτών μετρήσεων μας δίνει το Δείκτη Ηχομείωσης R, ενώ όταν συμπεριλάβουμε το σφάλμα λόγω πλευρικών απωλειών (τοίχους, ταβάνια, πατώματα) παίρνουμε τον φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης  $R'$ . Η ηχομόνωση λειτουργεί αποτελεσματικότερα σε μεσαίες και υψηλές συχνότητες από ότι σε χαμηλές (Σπυρίδης, 2005) Το πηλίκο της διαδιδόμενης ηχητικής ενέργειας (όχι αυτής που ανακλάται) προς την προσπίπτουσα ορίζεται ως συντελεστής διάδοσης  $\tau$ .

Ως δείκτης ηχομείωσης ή διάδοσης, sound transmission loss ή STL ή sound reduction index ή SRI ή R ή TL ορίζεται το δεκαπλάσιο του λογαρίθμου του συντελεστή διάδοσης  $\tau$ , δίνεται δηλαδή από τον τύπο:

$$\text{Εξίσωση 5: } R = -10 \log_{10} \tau \text{ ή αλλιώς } R = 10 \log_{10} (P_{12}/P_{22})$$

Αντίστοιχα με τα R και  $R'$ , ορίζονται τα  $R_w$  και  $R_w'$ , κατά το ευρωπαϊκό σύστημα μέτρησης ηχομείωσης, ως σταθμισμένος δείκτης διάδοσης ή ηχομείωσης και σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης διάδοσης ή ηχομείωσης που αναφέρονται σε μονότιμη

τιμή που εκφράζει δηλαδή το δείκτη διάδοσης σε όλο το συχνοτικό φάσμα. Οι τιμές  $R_w$  συμπίπτουν με αυτές του STC (Sound transmission class) με τη διαφορά ότι ο  $R_w$  αναφέρεται σε συχνοτικό φάσμα 100-3150Hz, ενώ ο STC στο 125-4000Hz. Η τιμή του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης  $R_w'$ , που αποτελεί μέγεθος χαρακτηριστικό της ηχομονωτικής δομικής ικανότητας, ισούται με το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμου του πηλίκου προσπίπτουσας προς της μεταδιδόμενης ηχητικής ισχύος, ενώ συνυπολογίζει και τις πλευρικές μεταδόσεις (flanking paths) (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010).

Επιπλέον, ορίζεται ο τροποποιημένος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης  $R_w$ , όταν στον υπολογισμό του συμπεριλαμβάνονται διορθωτικοί παράγοντες όπως ο C που αναφέρεται σε προσπίπτων ήχο με ζωντανή πηγή όπως διάλεξη, ραδιόφωνο, τηλεόραση, εργοστάσια ή τρένα που εκπέμπουν μεσαίες ή υψηλές συχνότητες, ή ο διορθωτικός παράγοντας  $C_{tr}$  για ήχους από πηγή χαμηλών συχνοτήτων όπως αυτοκίνητα εντός πόλεως, νυχτερινά κέντρα διασκέδασης κτλ.

Οι διορθωτικοί παράγοντες C και  $C_{tr}$  δίνονται από τους ακόλουθους τύπους:

$$\text{Εξίσωση 6: } C = -10 \log_{10} \Sigma 10^{(L_{i,1} - R_i)/10} - R_w$$

$$\text{Εξίσωση 7: } C_{tr} = -10 \log_{10} \Sigma 10^{(L_{i,2} - R_i)/10} - R_w$$

Όπου τις τιμές για  $L_{i,1}$  και  $L_{i,2}$  τις παίρνουμε από τον ακόλουθο πίνακα για οκτάβες και τριτοκτάβες και  $R_i$  ο δείκτης ηχομείωσης στο συχνοτικό πεδίο  $i$  (Καρατζούνης Α., Ιούνιος 2014). (Το σύμβολο  $i$  αναφέρεται στην συχνότητα που εξετάζουμε)

**Πίνακας 3: Τιμές μεγεθών  $L_{i,1}$  και  $L_{i,2}$**

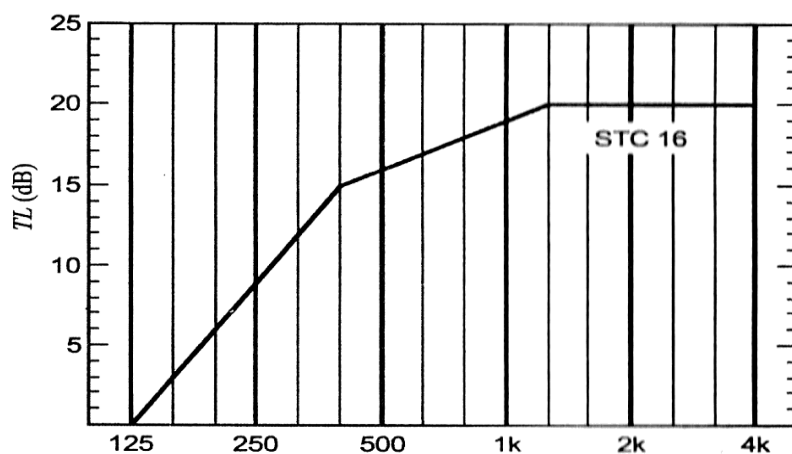
Κεντρική συχνότητα	$L_{i,1}$ τριτοκτάβα	$L_{i,1}$ οκτάβα	$L_{i,2}$ οκτάβα	$L_{i,2}$ οκτάβα
50	-41		-25	
63	-37	-32	-23	-18
80	-34		-21	
100	-30		-20	
125	-27	-22	-20	-14
160	-24		-18	

200	-22		-16	
250	-20	-15	-15	-10
315	-18		-14	
400	-16		-13	
500	-14	-9	-12	-7
630	-13		-11	
800	-12		-9	
1000	-11	-6	-8	-4
1250	-10		-9	
1600	-10		-10	
2000	-10	-5	-11	-6
2500	-10		-13	
3150	-10		-15	
4000	-10	-5	-16	-11
5000	-10		-18	

### 3.3 Sound Transmission Class (STC)

Ο STC ορίζει τιμή του δείκτη ηχομείωσης ενός πετάσματος κατά το αμερικάνικο σύστημα μέτρησης ηχομείωσης βασισμένο στις τριτοκτάβες του δείκτη ηχομείωσης στο συχνοτικό πεδίο που κυμαίνεται από 125Hz έως 4000Hz. Ενώ ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης  $R_w$  κατά το ευρωπαϊκό σύστημα μέτρησης ηχομείωσης συμπίπτει αριθμητικά με την τιμή του STC, το  $R_w$  αναφέρεται σε συχνοτικό πεδίο 100-3150Hz, έναντι του εύρους 125-4000Hz του STC.

Προκειμένου να βαθμονομήσουμε τον STC του πετάσματος σχεδιάζεται για το πέτασμα η καμπύλη μετρήσεων σε φίλτρο τριτοκτάβας του δείκτη διάδοσης TL ενώ συγκρίνεται με μια καμπύλη αναφοράς του δείκτη διάδοσης TL ανά συχνότητα όπως φαίνεται π.χ. στην παρακάτω τυπική STC καμπύλη (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010)<sup>[9]</sup>:



Εικόνα 7: Πρότυπη καμπύλη  $R_w$  για αερόφερτο θόρυβο

Στην παραπάνω καμπύλη διακρίνουμε:

- i. Ένα πρώτο ευθύγραμμο τμήμα στο συχνοτικό εύρος 125-400Hz με αύξηση κατά 15dB
- ii. Ένα δεύτερο ευθύγραμμο τμήμα στο συχνοτικό εύρος 400-1250Hz με αύξηση κατά 5dB
- iii. Ένα τρίτο ευθύγραμμο τμήμα παράλληλο με τον άξονα των συχνοτήτων, δηλαδή με σταθερό δείκτη διάδοσης TL στο συχνοτικό εύρος 1250-4000Hz

Η καμπύλη STC υφίσταται τροποποιήσεις έως ότου να πληρούνται τα ακόλουθα κριτήρια:

- a) Οι αρνητικές αποκλίσεις του STC περιγράμματος έναντι των TL τιμών των τριτοκτάβων και για τις δεκαέξι μπάντες να μην υπερβαίνει τα 32dB
- b) Κάθε TL τιμή κάτω από το STC περίγραμμα να μην υπερβαίνει τα 8dB.

Καθώς η STC καμπύλη προσαρμόζεται στα παραπάνω κριτήρια, η τιμή της STC καμπύλης στα 500Hz προσδιορίζει την τιμή  $R_w$  (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010).

### 3.4 Διαχωριστικά πετάσματα και μετάδοση ήχου

Τα πετάσματα διακρίνονται σε:

#### 3.4.1 Ισοτοπικά

Παρουσιάζουν ομοιογένεια στη συμπεριφορά και τις ιδιότητες των στοιχείων, ενώ όλη η επιφάνειά τους εμφανίζει την ίδια ακαμψία στη μετάδοση ηχητικών ερεθισμάτων.

Για τα ισοτοπικά πετάσματα ισχύουν οι ακόλουθοι τύποι που περιγράφουν την ταχύτητα διάδοσης των καμπτικών κυμάτων μέσα από αυτά (2.1α) καθώς επίσης και την καμπτική ακαμψία  $\beta$  που παρουσιάζουν (2.1β), αντίστοιχα (Καρατζούνης Α., Ιούνιος 2014):

$$\text{Εξίσωση 8: } C_{\beta} = (B \times \omega^2 / m)^{1/4} \text{ (m/sec) (2.1α)}$$

Όπου  $C_{\beta}$  η ταχύτητα διάδοσης των καμπτικών κυμάτων,  $B$  η καμπτική ακαμψία,  $\omega$  η κυκλική ταχύτητα (rad/sec),  $m = \rho_m h$  η επιφανειακή πυκνότητα ( $\text{Kg/m}^2$ ),  $h$  το πάχος του πετάσματος (m) και  $\rho_m$  η γραμμική πυκνότητα υλικού ( $\text{Kg/m}^3$ )

Για την καμπτική ακαμψία  $B$  των ισοτοπικών πετασμάτων ισχύει:

$$\text{Εξίσωση 9: } B = E \times I' / (1 - \nu^2) = E \times h^3 / [12(1 - \nu^2)] \text{ (kg m}^2 \text{ s}^{-2})$$

Όπου  $E$  το μέτρο του Young (Pa),  $\nu$  ο λόγος Poisson και  $I'$  η διατομή second moment ανά κυβικό μέτρο και μετράται για πέτασμα σε ουδέτερο άξονα.

Για τα ισοτοπικά πετάσματα ορίζεται η κρίσιμη συχνότητα ως η συχνότητα που οι ταχύτητες αερόφερτου και στερεόφερτου κύματος είναι ίσες, ή αλλιώς η ταχύτητα διάδοσης καμπτικών κυμάτων ισούται αυτής της μετάδοσης ακουστικών κυμάτων στο περιβάλλον και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Εξίσωση 10: } f_c = c^2 / 2\pi(m/B)^{1/2}$$

όπου  $c$  η ταχύτητα ακουστικών κυμάτων στον αέρα

Στην περίπτωση της κρίσιμης συχνότητας, το μήκος κύματος του προσπίπτοντος ακουστικού κύματος ισούται με το μήκος του παραγόμενου καμπτικού κύματος, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι  $90^\circ$  (grazing angle). Στην περίπτωση της κρίσιμης συχνότητας μιλάμε για φαινόμενο συντονισμού, όπου ο ακτινοβολούμενος ήχος εξαρτάται από την αποσβεστική ικανότητα του υλικού, φαινόμενο που ορίζεται ως σύμπτωση και διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διάδοση του ήχου. Εφόσον η γωνία πρόσπτωσης είναι  $<90^\circ$ , τότε θα υπάρχει μία άλλη συχνότητα (μεγαλύτερη της κρίσιμης συχνότητας) όπου το μήκος κύματος του προσπίπτοντος ακουστικού κύματος στην επιφάνεια του πετάσματος θα ισούται με το μήκος του καμπτικού κύματος και ορίζεται ως συχνότητα σύμπτωσης ή αλλιώς οριακή συχνότητα.

Η οριακή συχνότητα υπολογίζεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Εξίσωση 11: } f_{Gr} = 60/d(p/E_{dyn})^{1/2}$$

όπου  $d$  το πάχος του υλικού σε  $m$ ,  $\rho$  η γραμμική πυκνότητά του μετρούμενη σε  $kg/m^3$  και  $E_{dyn}$  η δυναμική ελαστικότητά του σε  $MN/m^3$

Αναλόγως της οριακής συχνότητας τα δομικά υλικά διακρίνονται σε εύκαμπτα, όταν αυτή είναι το πολύ 200Hz και δύσκαμπτα, όταν η συχνότητα είναι άνω των 1800Hz. Τέλος, η δυσκαμψία των υλικών εξαρτάται τόσο από το πάχος τους, όσο και από τη φύση του υλικού πχ ξύλο πιο εύκαμπτο από σκυρόδεμα (Καρατζούνης Α., Ιούνιος 2014).

### 3.4.2 Ορθοτοπικά

Παρουσιάζουν ποικιλία στη συμπεριφορά και τις ιδιότητες των στοιχείων, ενώ η επιφάνειά τους εμφανίζει ποικιλομορφία σε ότι αφορά την ακαμψία μετάδοσης ηχητικών ερεθισμάτων, εξαρτώμενη σε σημαντικό βαθμό από την κατεύθυνση των καμπτικών ερεθισμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση δεν απαντώνται ενιαίοι τύποι υπολογισμού ταχύτητας διάδοσης και καμπτικής ακαμψίας  $B$

## 3.5 Μετάδοση Ήχου

Για ένα ηχητικό αποτέλεσμα βασικά στοιχεία που παίζουν ρόλο είναι το απευθείας ηχητικό, (απευθείας εκπεμπόμενο) καθώς και το αντηχητικό (ανακλώμενο) και όχι τόσο το ηχητικό που προέρχεται από δευτερογενείς πηγές. Πλευρικό ορίζεται το αποτέλεσμα μετάδοσης του ήχου μεταξύ δύο χώρων που ακολουθούν μονοπάτια άλλα, από το διαχωριστικό στοιχείο. Το παραπάνω δεν ισχύει όταν οι δευτερεύουσες πηγές αφορούν γυάλινες ή μεταλλικές επιφάνειες, υλικά δηλαδή ιδιαιτέρως ανακλαστικά

Το ενδιάμεσο τοίχωμα δύο χώρων-διαχωριστικό πέτασμα (τοιχοποιία) μεταφέρει το μεγαλύτερο μέρος ενέργειας υπό μορφή καμπτικών κυμάτων, συνδυασμού δηλαδή κυμάτων διατμηματικών και συμπίεσης. Ωστόσο, σε περιπτώσεις λεπτών πετασμάτων, πχ τοίχοι, τα κύματα συμπίεσης δε παίζουν ρόλο στη μετάδοση του ήχου, ενώ τα καμπτικά κύματα έχουν ως αποτέλεσμα εκτόπισμα της επιφάνειας του πετάσματος κατόπιν παράλληλης μετάδοσης ως προς την επιφάνεια του πετάσματος

Η μετάδοση του ήχου από τον αέρα σε στερεό υλικό, δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο ηχητικά αερόφερτα κύματα διεγείρουν στερεά δομικά υλικά βάζοντάς τα σε καμπτική ταλάντωση που μετέπειτα παράγουν ηχητικό αερόφερτο κύμα στον γειτνιάζοντα χώρο, παρουσιάζει μικρή αντίσταση ή αλλιώς απόσβεση. Το παραπάνω δε συμβαίνει όταν στη

διαχωριστική επιφάνεια αέρα με στερεό υλικό εφαρμοστεί υλικό αύξησης της αντίστασης ή αλλιώς απόσβεσης στη μετάδοση του ήχου

Η μετάδοση ήχου σε στερεά υλικά, δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο η μηχανική ταλάντωση μιας πηγής συνεπάγεται διέγερση και καμπτικά κύματα των δομικών υλικών και παραγωγή στερεόφερτου ηχητικού κύματος της γειτνιάζουσας περιοχής, παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση ή απόσβεση σε σχέση με όταν ο ήχος μεταδίδεται από τον αέρα σε στερεό υλικό, χωρίς βέβαια παρεμβολή αποσβεστικού μέσου.

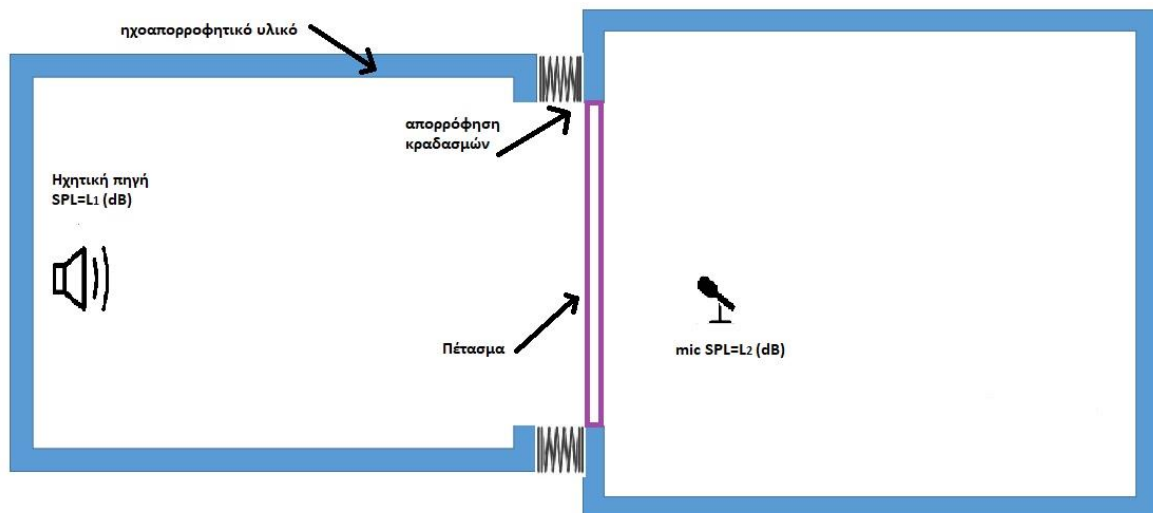
Χαρακτηριστικό της μετάδοσης ήχου μέσω στερεών υλικών είναι ότι δύναται να φτάσει σε μεγάλες αποστάσεις σε σχέση με το σημείο παραγωγής, δηλαδή την πηγή. Η ταχύτητα διάδοσης καμπτικών κυμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη του πηλίκου του μήκους του καμπτικού κύματος προς το πάχος του πετάσματος. Σε συνέχεια του παραπάνω η ακαμψία ενός πετάσματος και μετέπειτα η συστροφή και κάμψη  $B$  αυξάνει όσο μειώνεται το μήκος του καμπτικού κύματος, ή αλλιώς το καμπτικό κύμα παρουσιάζει αυξημένη συχνότητα (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010)

### 3.6 Μέτρηση του δείκτη ηχομείωσης $R$ στο εργαστήριο

Κάθε δομικό υλικό έχει έναν συγκεκριμένο δείκτη ηχομείωσης που μετράται με ακρίβεια σε εργαστηριακές συνθήκες κατά τις απαιτήσεις των ISO R140-1978 και του BS2750;1980, συνθήκες που εξασφαλίζουν περιορισμένες πλευρικές απώλειες.

Έστω εργαστηριακές συνθήκες που περιλαμβάνουν δύο αντηχητικά δωμάτια που συνδέονται με δοκιμαστικό πέτασμα εμβαδού  $S$  ( $m^2$ ), σε ένα εκ των οποίων εκπέμπεται ηχητική στάθμη  $L_1$  και στο άλλο δωμάτιο λήψης μέτρησης και όγκου  $V$  και συγκεκριμένου χρόνου αντήχησης μετράται σε τριτοκταβικό διάστημα η μεταδιδόμενη ηχητική ενέργεια μέσω πετάσματος  $L_2$ . Ο δείκτης ηχομείωσης στην παραπάνω περίπτωση υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$\text{Εξίσωση 12: } R = L_1 - L_2 + \log_{10} S + 10 \log_{10} (T/0,163 \times V)$$



Εικόνα 8: Δωμάτια εργαστηριακών μετρήσεων δείκτη ηχομείωσης πετασμάτων.

Εναλλακτικά, ο δείκτης διάδοσης μπορεί να προσδιοριστεί εργαστηριακά με τη χρήση τριών παραμέτρων, δηλαδή του θορύβου μείωσης NR ή αλλιώς της διαφοράς ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο εκπομπής και λήψης καθώς και τη σταθερά δωματίου και απορρόφηση Sabine του δωματίου λήψης:

$$\text{Εξίσωση 13: } TL = NR + 10 \log_{10}(A/S \times a) \text{ (dB)}$$

Όπου A η περιοχή του διαχωριστικού πετάσματος και S x a η απορρόφηση Sabine του χώρου λήψης (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010).

### 3.7 Μέτρηση του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R'

Για διαστήματα τριτοκτάβας και οκτάβας ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R' δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Εξίσωση 14: } R' = L_s - L_E + 10 \log_{10}(A/A_0)$$

Όπου L<sub>s</sub> και L<sub>E</sub> οι στάθμες ήχου στους χώρους εκπομπής και λήψης και A, A<sub>0</sub> η επιφάνεια του πετάσματος που εξετάζεται και η ισοδύναμη επιφάνεια για 100% απορρόφηση αντίστοιχα και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Εξίσωση 15: } A_0 = 0,163 V/T \text{ (m}^2\text{)}$$

### 3.8 Μέτρηση του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης, R'<sub>w</sub>



Ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης,  $R'_w$  πρόκειται για μία τιμή που περιγράφει την ηχομονωτική ιδιότητα ενός πετάσματος με σκοπό την απλοποιημένη και ταχύτατη σύγκριση υλικών. Αντιστοιχεί στην τιμή που παίρνει η μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς στα 500Hz, αρκεί το γράφημα μετακίνησης της RTC καμπύλης με σκοπό να πλησιάσει την TL να πληροί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Η μέση απόκλιση μεταξύ RTC και LT να είναι μικρότερη των 2dB, ή αλλιώς το άθροισμα των επί μέρους διαφορών RTC και LT ανά συχνότητα να είναι μικρότερο των -2dB
- Η μέγιστη απόκλιση μεταξύ RTC και LT να είναι μικρότερη των 8dB

Υπάρχει και δεύτερη προσεγγιστική μέθοδος, λιγότερο έγκυρη, για τον υπολογισμό του σταθμισμένου φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης,  $R'_w$  κατά την οποία αφού υπολογιστεί ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης  $R_w$  για όλες τις συχνότητες, διαιρούνται δια δύο ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης για την πρώτη και τελευταία συχνότητα, ενώ έπειτα προστίθενται με όλες τις τιμές του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης  $R_w$  για τις λοιπές συχνότητες και διαιρούνται δια 15. Η τιμή που προκύπτει αντιστοιχεί στον σταθμισμένο φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης,  $R'_w$  (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010).

Τέλος, ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης,  $R'_w$  μπορεί να υπολογιστεί και από τον ακόλουθο τύπο, όπου  $m'$  η επιφανειακή μάζα ( $\text{kg/m}^2$ ):

$$\text{Εξίσωση 16: } R'_w = 25 \log(m'/m_0) - 12 \text{ (dB)}$$

### 3.9 Ακουστική άνεση

Περιγράφει την ιδιότητα ενός χώρου να προστατεύεται από θορύβους, εξασφαλίζοντας σωστό ακουστικό περιβάλλον για τη λειτουργικότητα του χώρου.

Οι επιμέρους ηχητικές παράμετροι που επηρεάζουν την ακουστική άνεση ενός χώρου και καθορίζουν την ηχομονωτική και ηχοπροστατευτική ικανότητα του χώρου είναι:

- Ο αερόφερτος ήχος που προέρχεται είτε από εξωγενείς πηγές, είτε από γειτονικούς χώρους, είτε από εγκαταστάσεις του ίδιου του κτιρίου
- Ο κτυπογενής ήχος γειτονικών χώρων

Τα νεόδμητα κτίρια ταξινομούνται ανάλογα με τα κριτήρια ηχομόνωσης και ηχοπροστασίας (ΦΕΚ 593/Β/2-10-85) που τα χαρακτηρίζουν ως:

**Πίνακας 4:Κριτήρια ηχομόνωσης ηχοπροστασίας**

Είδη Ηχομόνωσης Ηχοπροστασίας	Παράμετρος ακουστικής άνεσης				Μετρούμενο μέγεθος			
	Όνομασία	Σύμβολο	Μονάδα	Πρότυπο ΕΛΟΤ	Όνομασία	Σύμβολο	Μονάδα	Πρότυπο ΕΛΟΤ
Ηχομόνωση από αερόφερτο ήχο	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης	R <sub>w</sub>	dB	461.1	Δείκτης ηχομείωσης	R	dB	370.3
	Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	R' <sub>w</sub>	dB	461.1	Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	R'	dB	370.4
Ηχομόνωση από κτυπογενή ήχο	Σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	L' <sub>NW</sub>	dB	461.2	Κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	L' <sub>N</sub>	dB	370.7 370.8
Ηχοπροστασία από αερόφερτο ήχο εξωτερικών πηγών	Ωριαία ισοδύναμη A - ηχοστάθμη	L <sub>AEQH</sub>	dB(A)	230	A-ηχοστάθμη	L <sub>PA</sub>	dB(A)	230
Ηχοπροστασία από αερόφερτο θόρυβο που παράγεται από εγκαταστάσεις	A -ηχοστάθμη	L <sub>PA</sub>	dB(A)	230	A-ηχοστάθμη	L <sub>PA</sub>	dB(A)	229

- Κατηγορίας A ή Υψηλής ακουστικής άνεσης

**Πίνακας 5: Κριτήρια ακουστικής άνεσης A**

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Ή ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ				ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ				ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΥΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	
					Εξωτερικούς θορύβους		Θορύβους εγκαταστάσεων							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
	R <sub>w</sub>	L <sub>NW</sub>	R <sub>w</sub>	L <sub>NW</sub>	L <sub>AEQH</sub>	L <sub>PA</sub>	R <sub>w</sub>	R <sub>w</sub>	L <sub>NW</sub>					
	dB	dB	dB	dB	dB(A)	dB(A)	dB	dB	dB					
ΚΑΤΟΙΚΙΑ - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	54	55	-	-	30	25	48	60	45					
ΓΡΑΦΕΙΑ - ΕΜΠΟΡΙΟ	52	60	58	52	35	30	-	55	55					
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	57	58	58	52	30	25	-	60	45					
ΥΓΕΙΑ	57	55	58	52	30	25	-	60	45					
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	65	40	62	47	(25)	(25)	-	(65)	(40)					

- Κατηγορίας Β ή Κανονικής ακουστικής άνεσης

**Πίνακας 6:Κριτήρια ακουστικής άνεσης Β**

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Ή ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ	ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΥΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
------------------	---	--	------------------	--	--

	ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ									
					Εξωτερικός χώρος	Θορύβος εγκαταστάσεων				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	R' <sub>w</sub>	L' <sub>Nw</sub>	R' <sub>w</sub>	L' <sub>Nw</sub>	L <sub>AEQW</sub>	L <sub>PA</sub>	R' <sub>w</sub>	R' <sub>w</sub>	L' <sub>Nw</sub>	
	dB	dB	dB	dB	dB(A)	dB(A)	dB	dB	dB	
ΚΑΤΟΙΚΙΑ-ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	50	60	-	-	35	30	42	55	50	
ΓΡΑΦΕΙΟ-ΕΜΠΟΡΙΟ	40	65	52	55	40	35	-	53	60	
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	50	65	55	55	35	30	-	55	50	
ΥΓΕΙΑ	50	60	55	55	35	30	-	53	50	
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣ Η-ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	60	45	60	48	25	25	-	62	45	

- Κατηγορίας Γ ή Χαμηλής ακουστικής άνεσης

Όσα κτίρια δεν πληρούν κάποια από τα άνωθεν κριτήρια ανήκουν στην κατηγορία Γ

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Μετάδοση Ήχου σε Θύρες και Παράθυρα

### 4.1 Γενικά στοιχεία

Ο δείκτης ηχομείωσης για παράθυρα και πόρτες εξαρτάται από παράγοντες όπως η στεγανότητά τους που παίζει και καθοριστικό ρόλο στην τιμή του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, το πλαίσιο, το υλικό και το πάχος τους και γενικά από τις διαστάσεις τους, αν πρόκειται για συρόμενες ή ανοιγόμενες κατασκευές (τα δεύτερα εμφανίζουν καλύτερο δείκτη ηχομείωσης λόγω καλύτερης στεγανότητας), την ποιότητα τοποθέτησής τους όπως π.χ. η αεροστεγάνωση στην κάσα, αν έχει πραγματοποιηθεί διαμπερής ή μη διάτρηση για εφαρμογή κλειδαριάς ή χερουλιών κ.α.

Στα πλαίσια της απλοποίησης των κριτηρίων επιλογής κουφωμάτων έχουν οριστεί κατηγορίες ηχομόνωσης ανά είδος περιοχής που βρίσκεται το οίκημα το οποίο θέλουμε να ηχομονώσουμε:

**Πίνακας 7:Κριτήρια δείκτη ηχομείωσης**

Ηχομόνωση	Rw σε dB	Εφαρμογή
1	25-29	Ήσυχη κατοικημένη περιοχή
2	30-34	Μικρής κυκλοφορίας δρόμος
3	35-39	Μέσης κυκλοφορίας δρόμος
4	40-44	Υψηλής κυκλοφορίας δρόμος
5	45-49	Ζώνη θορύβου αεροπλάνου
6	>50	Ειδικές περιπτώσεις

<http://www.practikal.gr/products/yalopinakes/hxomonotikoi.html>

Η προσθήκη στο μονότιμο μέγεθος Rw της φασματικής προσαρμογής C και Ctr, μας δίνει την ηχομονωτική ικανότητα των υαλοπινάκων σε συνθήκες οικιακού (μεσαίες και υψηλές συχνότητες) και κυκλοφοριακού (χαμηλές συχνότητες) θορύβου αντίστοιχα, όπως δίνεται από τους τύπους παρακάτω:

$$\text{Εξίσωση 17: } RA = Rw + C$$

$$\text{Εξίσωση 18: } RA_{tr} = Rw + C_{tr}$$

## 4.2 Υαλοπίνακες

Τα παράθυρα παρουσιάζουν ηχομονωτική ικανότητα εξαρτώμενη από τη συχνότητα και γωνία του προσπίπτοντος ήχου, αλλά και από το πάχος του κρυστάλλου και την ποιότητα των αρμών. Η βελτιστοποίηση του δείκτη ηχομείωσης των παραθύρων είναι εφικτή με χρήση διπλών τζαμιών διαφορετικού πάχους, με διάκενο μεταξύ τους, με το μικρότερο στην πλευρά του θορύβου για μεσαίες και υψηλές συχνότητες και ιδανική αναλογία πάχους τζαμιών 1:2.

Αντιθέτως, για χαμηλές συχνότητες συχνά δε παρατηρούμε αύξηση του δείκτη ηχομείωσης με προσθήκη διπλών τζαμιών λόγω φαινομένων συντονισμού αποδιδόμενων στην ακαμψία του αέρα στο διάκενο. Επομένως, για διπλά τζάμια όταν μελετάμε την ηχομείωση θα πρέπει η κατώτερη συχνότητα που μελετάμε να είναι πάνω από τη συχνότητα συντονισμού  $f_0$  για συγκεκριμένο πάχος τζαμιών και διάκενο.

Οι τύποι που δίνουν την οριακή συχνότητα σε μονά και διπλά τζάμια δίνονται παρακάτω.

Μονά τζάμια:

$$\text{Εξίσωση 19: } f = 1200 / d * \sin 2\beta$$

όπου  $\beta$  η γωνία πρόσκρουσης του ήχου στο τζάμι και  $d$  το πάχος του τζαμιού (mm)

Διπλά τζάμια:

$$\text{Εξίσωση 20: } f = 1200 (1/d_1 + 1/d_L + 1/d_2)^{1/2}$$

όπου  $d_1$ ,  $d_L$  και  $d_2$ , το πάχος του ενός εκ των δύο τζαμιών, το πάχος του διάκενου και το πάχος του δεύτερου τζαμιού αντίστοιχα, όλα σε mm (Καρατζούνης Α., Ιούνιος 2014).

Ενδεικτικές τιμές ηχομονωτικής ικανότητας που προσφέρεται από διαφορετικούς συνδυασμούς χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 8: Δείκτης ηχομείωσης υαλοπινάκων

Υαλοπίνακας	Σύνθεση	Πάχος	Ηχομόνωση $R_w(C;CTR)$
Μονός	5mm	5mm	30(-1;-2)
	8mm	8mm	32(-2;-3)
	10mm	10mm	33(-2;-3)
Διπλός	4+4mm κενό 12mm	20mm	29(-1;-4)
	5+5mm κενό 12mm	22mm	30(-1;-3)
	6+4mm κενό 12mm	22mm	33(-2;-4)
	6+4mm κενό 12mm argon	22mm	34(-1;-3)
Διπλός με triplex	33,1+4mm κενό 12mm	22mm	33(-1;-4)
	33,1+6mm κενό 12mm	24mm	34(-1;-3)
	33,1+44,1mm κενό 8mm	24mm	37(-1;-5)
Διπλός με Stadip silence	33,1+4mm κενό 12mm	22mm	35(-1;-4)
	33,2+5mm κενό 12mm	23mm	36(-1;-5)
	33,1+44,1mm κενό 12mm	26mm	42(-1;-7)
	44,2+6mm κενό 12mm	26mm	39(-1;-5)

<http://www.practikal.gr/products/yalopinakes/hxomonotikoi.html>

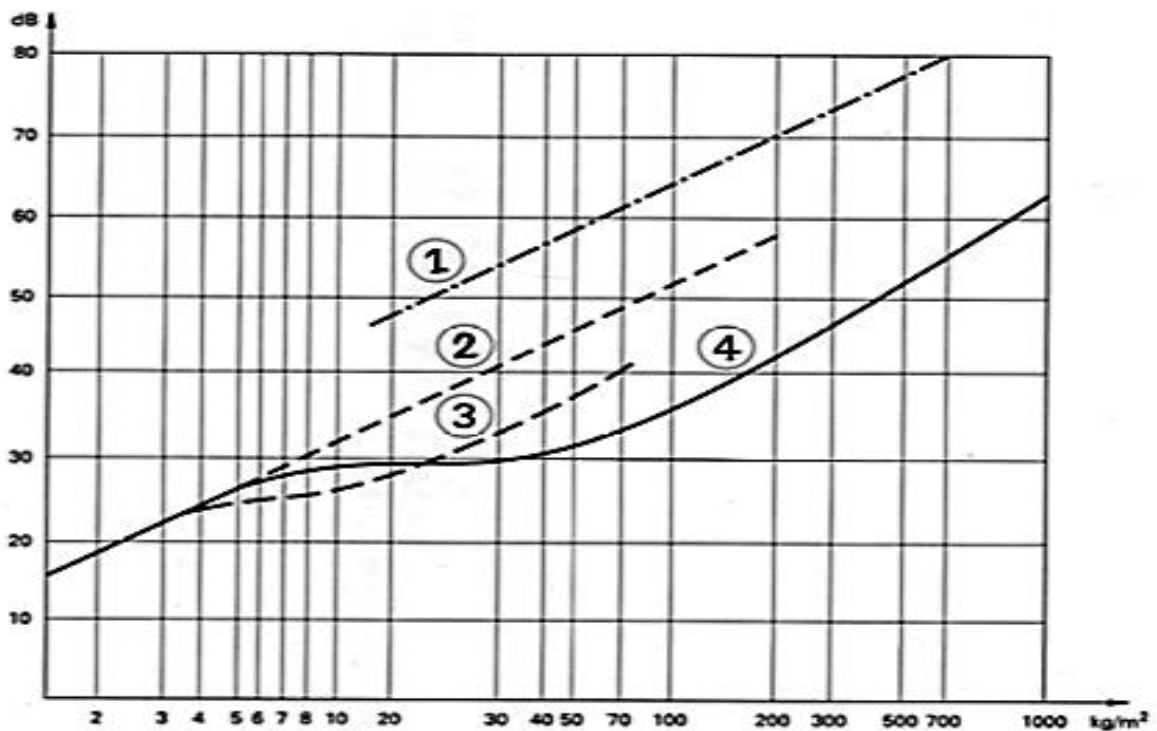
### 4.3 Πόρτες

Η ηχομονωτική ικανότητα στις πόρτες είναι ασθενέστερη σε σχέση με παράθυρα και τοίχους. Αυτό αποδίδεται τόσο στη μη ερμητική στεγανοποίηση της κάσας με τον τοίχο και το θυρόφυλλο, όσο και στην εγκοπή της πόρτας αλλά και τη σύνδεσή της με το πάτωμα. Τέλος οι πόρτες χαρακτηρίζονται από χαμηλό επιφανειακό βάρος (συνήθως 10-15kg/m<sup>2</sup> για πρεσαριστές και 25-40kg/m<sup>2</sup> για συμπαγείς ξύλινες) σε σχέση με υαλοπίνακες ή σκυρόδεμα.

Η βελτιστοποίηση της ηχομειωτικής ικανότητας μιας πόρτας επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους, όπως:

- Αύξηση επιφανειακής μάζας. Μια μέθοδος προς αυτήν την κατεύθυνση είναι η πλήρωση με άμμο των εσωτερικών σωλήνων, βήμα το οποίο αφενός αυξάνει το επιφανειακό βάρος, αφετέρου λόγω μετάδοσης του ήχου μεταξύ των κόκκων άμμου αποσβαίνεται η ένταση του ήχου. Τέλος, μέγιστη ηχομείωση επιτυγχάνεται στην περίπτωση εφαρμογής διπλού κελύφους, με πλάκες άνισης επιφανειακής πυκνότητας και μεσολαβούν διάκενο 10-15cm.
- Ηχομείωση κάσας-τοίχου με εφαρμογή αφρωδών υλικών ή ορυκτοβάμβακα
- Πλήρωση εγκοπής πόρτας με υλικά όπως καουτσούκ, πλαστικό, λάστιχο
- Στεγανοποίηση του διαστήματος θυρόφυλλου-πατώματος, π.χ. με καουτσούκ





Εικόνα 9: Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης  $R_w$  των οικοδομικών στοιχείων σε συνάρτηση με την επιφανειακή τους μάζα ( $\text{kg/m}^2$ )

1. Διπλές οικοδομικές κατασκευές με διάκενο
2. Μονές πλάκες (μολύβδινες λαμαρίνες, κόμμι)
3. Ξύλινες μονές κατασκευές
4. Μονές κατασκευές γυαλί, γύψος, μπετόν, τοιχοποιία

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι για επιφανειακή μάζα γυαλιού  $6-40\text{kg/m}^2$  και ξύλινη  $4-20\text{kg/m}^2$ , ο δείκτης ηχομείωσης δε διαφοροποιείται λόγω φαινομένου σύμπτωσης (Παπαρίδου, Ιούνιος 2010).

## **ΜΕΡΟΣ Β: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ**

### **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Παρούσα Μελέτη**

#### **5.1 Παρουσίαση της περιοχής μελέτης**

Σκοπός της μελέτης είναι η καταγραφή και αξιολόγηση της ηχομονωτικής ικανότητας των πετασμάτων μιας οικίας με εξωτερική διέγερση λευκού θορύβου.

Πρόκειται για ισόγεια κατοικία με δύο μπαλκονόπορτες πρόσοψης προς το δρόμο [καθιστικό (172εκ πλάτος 222εκ ύψος και 3εκ πάχος) και παιδικό δωμάτιο (118 εκ πλάτος 222εκ ύψος και 3 εκ πάχος) ενώ πρόκειται για συρόμενες μπαλκονόπορτες και οι δύο]. Περαιτέρω μελετήσαμε δύο μπαλκονόπορτες και ένα παράθυρο με θέα στην πίσω αυλή

(μία ανοιγόμενη 70εκ πλάτος, 215εκ ύψος και 4εκ πάχος, μία συρόμενη 122εκ πλάτος 222 εκ ύψος και 3εκ πάχος και ένα συρόμενο παράθυρο 115εκ πλάτος 100εκ ύψος και 3,5 εκ πάχος).

Επιπλέον, η μελέτη περιλάμβανε ένα συρόμενο παράθυρο στο υπόγειο (180εκ πλάτος, 88εκ ύψος και 3εκ πάχος) με θέα την πίσω αυλή, μια πόρτα εισόδου με υαλοπίνακα και πρόσοψη στον δρόμο και μία πόρτα ασφαλείας εισόδου διαμερίσματος, ξύλινη με πρόσβαση από τον διάδρομο εισόδου (98εκ πλάτος, 208 εκ ύψος και 9εκ πάχος)

## 5.2 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Για την υλοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα υλικά:

- Ηχείο fullrange αυτοενισχυόμενο EV ZLX 15.
- Μικρόφωνο omni directional EMM-6 της Dyton audio
- Κάρτα ήχου fast track audio Pro της M-AUDIO C
- Laptop Dell Vostro 15 3000 series με επεξεργαστή Intel core i5 6200CPU 2,3GHz 2,4GHz.
- CD player Philips
- Λογισμικά επεξεργασίας ήχου REW, SONIC, AUDACITY

## 5.3 Μεθοδολογία Υλοποίηση πειράματος

Δημιουργήθηκε αρχείο ήχου με λευκού θορύβου συνολικής διάρκειας 45sec και πλάτος 0,9 με μέγιστο το 1 της κλίμακας του λογισμικού audacity.

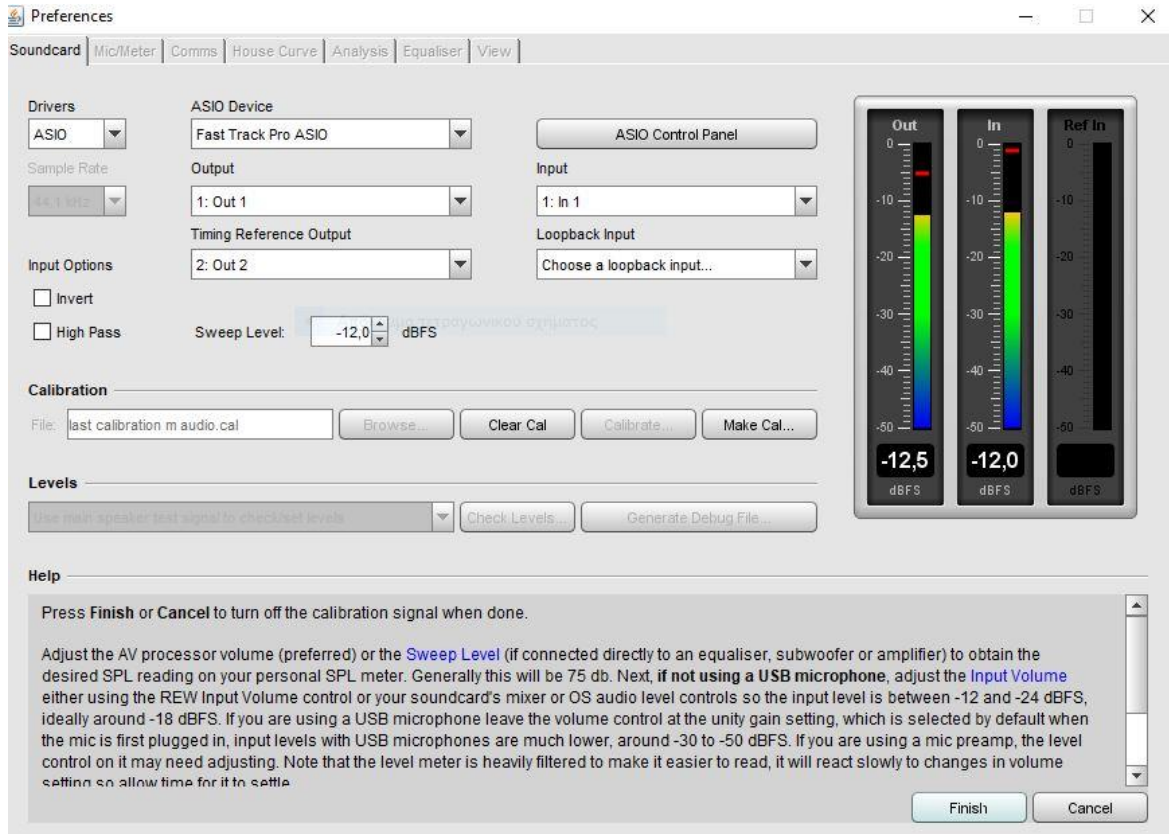
Αρχικά καλιμπράραμε το σύστημα μικρόφωνο-κάρτα ήχου μέσω του λογισμικού REW (υποδείξεις). Για να καλιμπράρουμε την κάρτα ήχου αρχικά τοποθετούμε ένα καλώδιο που να συνδέει απευθείας την έξοδο της κάρτας ήχου με την είσοδό της. Ανοίγουμε το virtual panel της κάρτας ήχου και επιλέγουμε την είσοδο και την έξοδο που θα χρησιμοποιήσουμε



**Εικόνα 10:**Interface κάρτας ήχου.

Έπειτα στο λογισμικό REW πάμε στην επιλογή preferences. Στους Drivers επιλέγουμε asio και στο Device την κάρτα ήχου που διαθέτουμε.

Πατώντας το check levels και με το πλήκτρο next βλέπουμε τις στάθμες εισόδου και εξόδου. Με το ποτενσιόμετρο στην είσοδο της κάρτας ήχου επιδιώκουμε τα 2 levels να είναι σχεδόν ίσα.



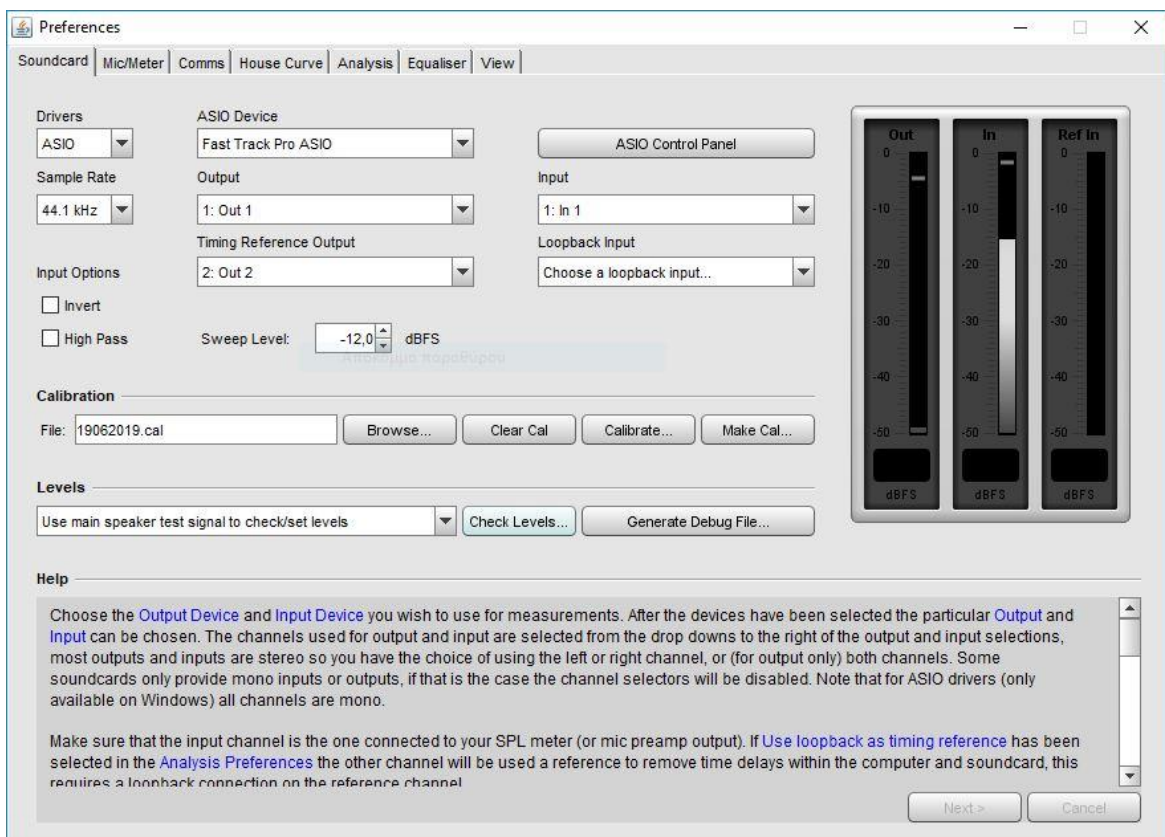
Εικόνα 11: Ρύθμιση εισόδου –εξόδου στο λογισμικό REW

Επιλέγουμε το εικονίδιο finish. Έπειτα, επιλέγουμε το calibrate και next και προκύπτει το γράφημα απόκρισης της κάρτας ήχου.



Εικόνα 12: Απόκριση κάρτας ήχου

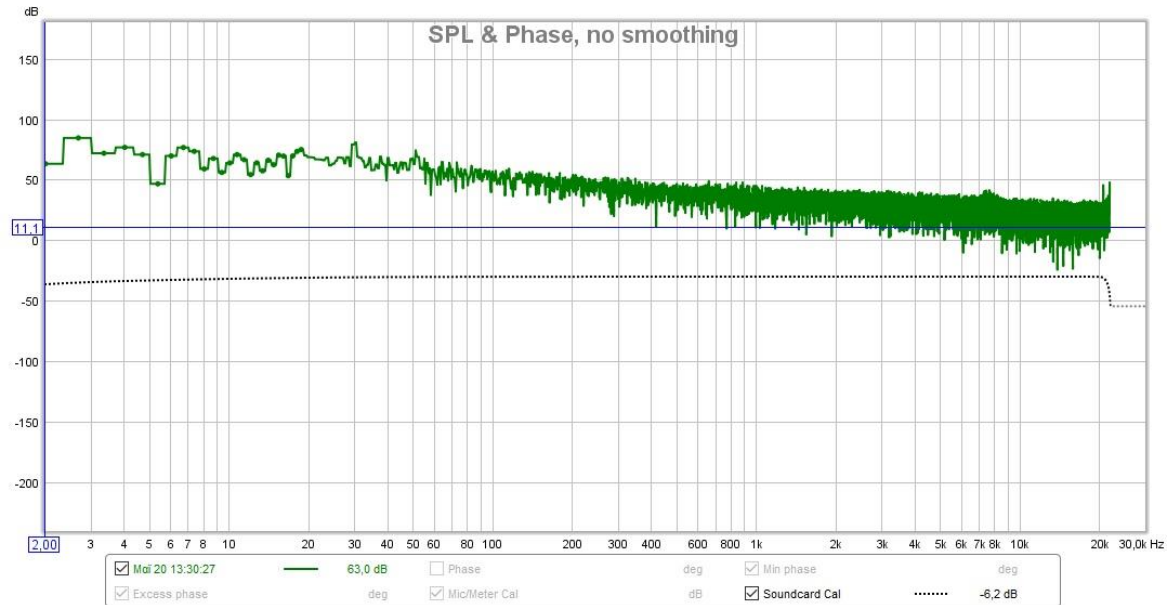
Στη συνέχεια επιλέγουμε το make cal ....το οποίο δημιουργεί ένα αρχείο με τα δεδομένα της κάρτας ήχου, ώστε να μη χρειάζεται κάθε φορά να εκτελούμε την ίδια εργασία. Μετά αφαιρούμε το καλώδιο που ενώνει τα input και output. Από το output παίρνουμε ένα καλώδιο και το συνδέουμε στο line in του ηχείου. Με την επιλογή use main speaker test signal του check set levels επιλέγουμε check levels. Προσέχουμε το σήμα εξόδου να παραμείνει στα -12dBFS, αλλά εδώ μεγαλύτερη σημασία δίνουμε στο σήμα εισόδου που πρέπει να είναι μεταξύ του -12dBFS και -24dBFS.



**Εικόνα 13:Ρύθμιση σήματος εισόδου**

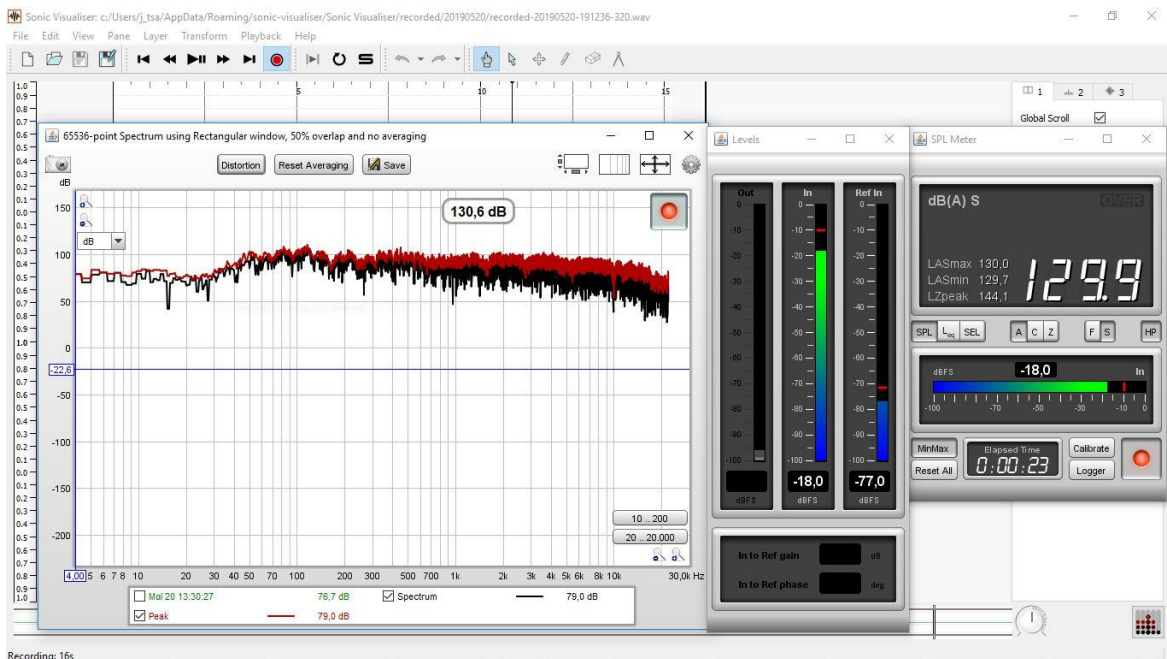
Έπειτα επιλέγουμε finish.

Επιλέγω το measure και start measuring για να δημιουργηθεί ένα σήμα που απεικονίζει τη συμπεριφορά του ηχείου στο εύρος των συχνοτήτων. Αφού έχουμε ρυθμίσει το σύστημά μας ηχείο-μικρόφωνο-κάρτα ήχου περνάμε στην εκτέλεση των μετρήσεων.



Εικόνα 14: Απόκριση ηχείου -μικροφώνου

Έγιναν δοκιμές αναπαραγωγής λευκού θορύβου, ώστε να βρεθεί μια ικανοποιητική στάθμη όταν τα πετάσματα είναι κλειστά, ώστε το σήμα της ηχογράφησης που πραγματοποιείται, τόσο από το λογισμικό audacity, όσο και από το λογισμικό sonic, να είναι αρκετά ισχυρό για την μετέπειτα επεξεργασία του και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Βρέθηκε ότι μια ικανοποιητική στάθμη σε dB κατά την αναπαραγωγή του λευκού θορύβου είναι περίπου τα 130dB .



Εικόνα 15: Στάθμη αναπαραγωγής λευκού θορύβου

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία. Το ηχείο τοποθετούνταν σε απόσταση 70cm από το προς μελέτη πέτασμα στην εξωτερική πλευρά του κτιρίου. Η κόρνα του ηχείου βρίσκονταν περίπου στο κέντρο του πετάσματος, τόσο κατά το ύψος όσο και κατά το μήκος. Το μικρόφωνο τοποθετούνταν στο αντίστοιχο ύψος και σε απόσταση 1m από το ηχείο στην εσωτερική πλευρά του δωματίου. Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές όταν το μικρόφωνο ήταν σε θέση on axis ή κοίταζε την οροφή του δωματίου, οπότε επιλέχθηκε η θέση on axis.

Τροφοδοτήθηκε το ηχείο με το αρχείο λευκού θορύβου και πραγματοποιήθηκε μέτρηση της στάθμης ήχου με το λογισμικό REW και ηχογράφηση του αναπαραγόμενου αποτελέσματος από το λογισμικό audacity και sonic.

Κατά την πρώτη αναπαραγωγή θορύβου ρυθμίστηκε το σύστημα ηχείο και συσκευή αναπαραγωγής, ώστε να αναπαράγουν ήχο ηχητικής στάθμης περίπου 130dB(A) Υπολογισμένα από το λογισμικό REW.

Η μέτρηση πραγματοποιούνταν με το πέτασμα ανοιχτό. Έπειτα επαναλαμβάνονταν η αναπαραγωγή του λευκού θορύβου με το πέτασμα κλειστό, ενώ υλοποιούνταν εκ νέου ηχογράφηση από τα δύο λογισμικά. Στα σημεία που υπήρχε εκτός από υαλοπίνακας και παντζούρια αλουμινίου η διαδικασία επαναλήφθηκε και με τα παντζούρια κλειστά.

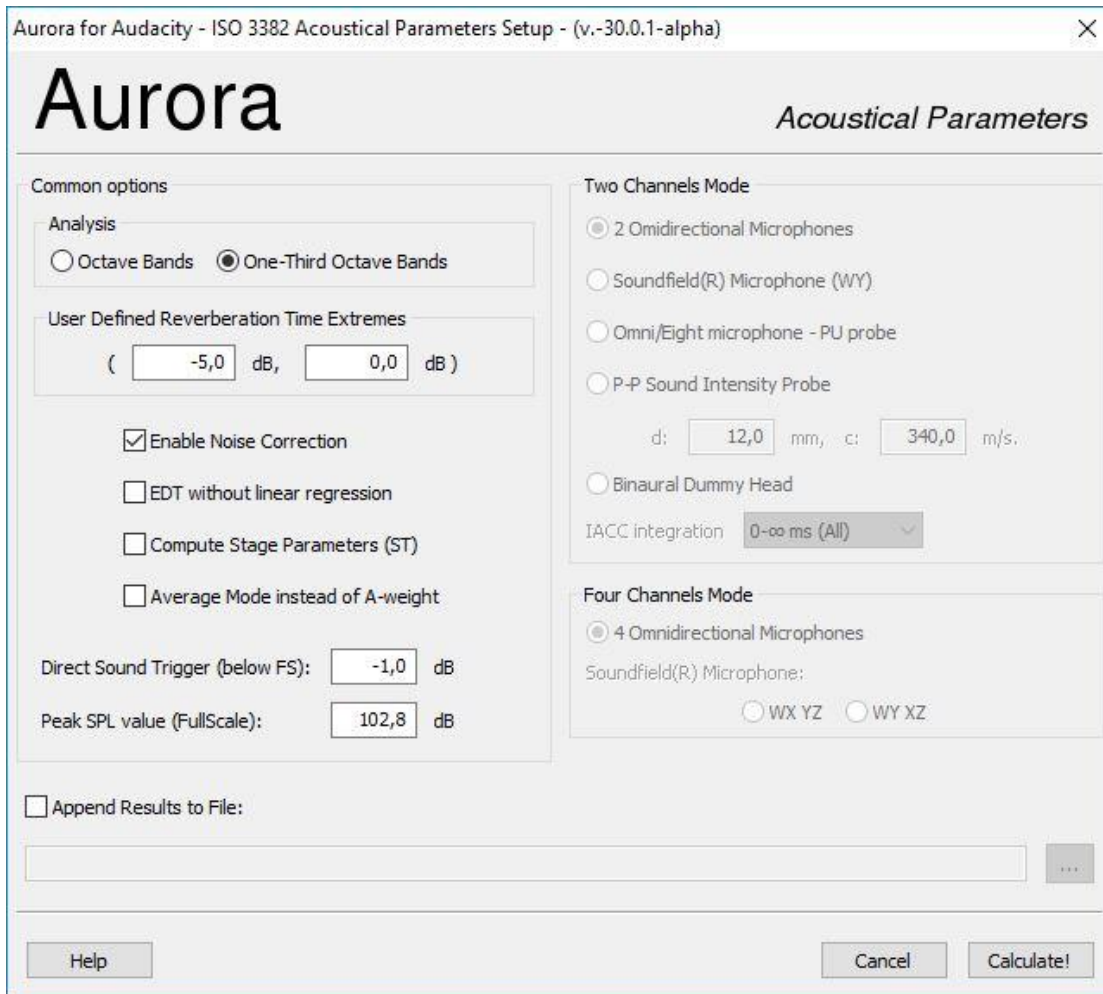
Αφού ολοκληρώθηκε η ίδια διαδικασία σε τρεις συρόμενες μπαλκονόπορτες, μια ανοιγόμενη μπαλκονόπορτα, μία πόρτα εισόδου στο κτίριο με τζάμι, δύο παράθυρα και μια πόρτα ασφαλείας εισόδου σε διαμέρισμα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του θορύβου βάθους σε κάθε αίθουσα με τη χρήση του λογισμικού REW. Έπειτα με τη χρήση του λογισμικού audacity και τη μέθοδο του σκασίματος μπαλονιού υπολογίσαμε τον χρόνο αντήχησης του κάθε χώρου.

Έχοντας ολοκληρώσει, λοιπόν, τις μετρήσεις και αφού καταγράψαμε τα εμβαδά των προς εξέταση επιφανειών αλλά και τον όγκο των δωματίων που αυτά βρίσκονται, περνάμε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων.

#### **5.4 Ανάλυση αποτελεσμάτων**

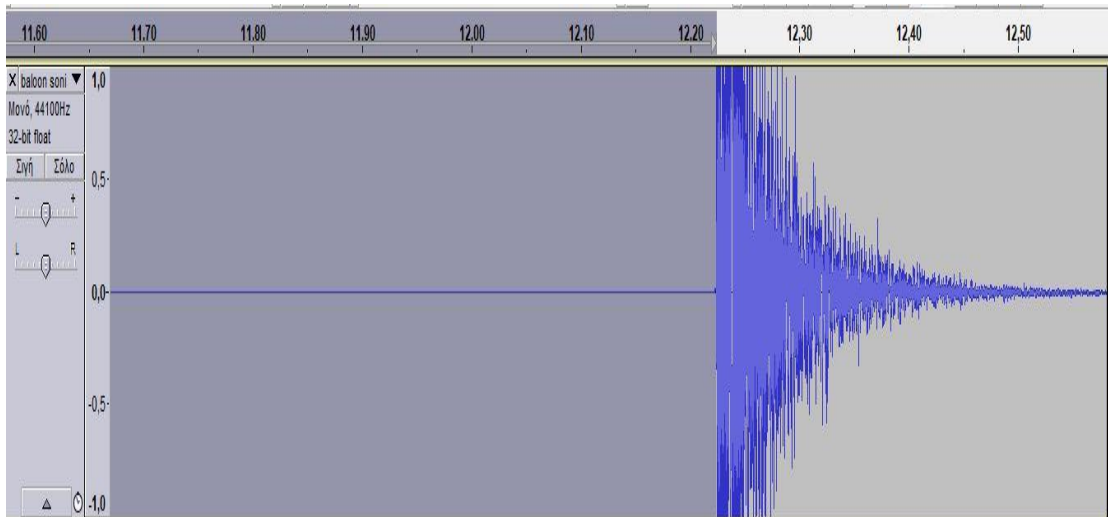
Για να εξετάσουμε την ηχομείωση των πετασμάτων σε τριτοκταβική κλίμακα χρησιμοποιούμε τις ηχογραφήσεις από την κάθε μέτρηση ξεχωριστά και την επιλογή του λογισμικού audacity με ονομασία aurora acoustical parameter.





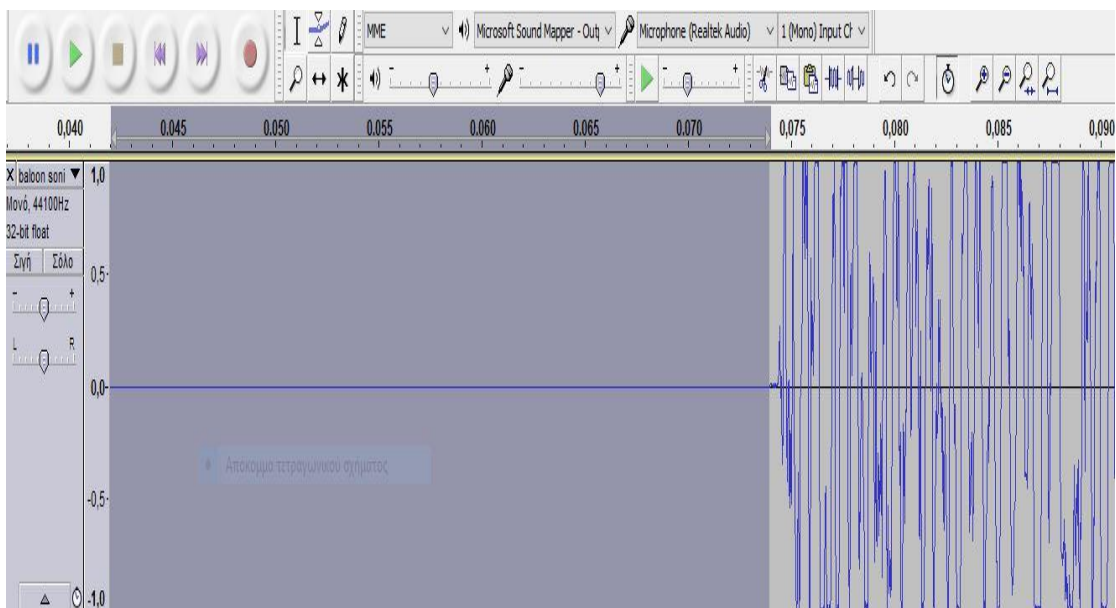
**Εικόνα 16: Aurora Acoustical Parameters**

Για να υπολογίσουμε τον δείκτη ηχομείωσης των πετασμάτων θα χρειαστεί να γνωρίζουμε το εμβαδόν της επιφάνειας του εκάστοτε πετάσματος, τον όγκο του δωματίου που ανήκει το πέτασμα, το χρόνο αντήχησης του κάθε δωματίου και το συντελεστή απορρόφησης του κάθε δωματίου. Το εμβαδόν υπολογίζεται εύκολα μετρώντας το ύψος και πλάτος του πετάσματος. Ο όγκος του δωματίου υπολογίζεται ως γινόμενο του ύψους επί το μήκος επί το πλάτος του δωματίου και αφαιρώντας τους όγκους των αντικειμένων που διαθέτουν συμπαγή μάζα, όπως βιβλιοθήκες, ντουλάπες, κρεβάτια, μεγάλα έπιπλα, καναπέδες κ.α. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης χρησιμοποιήθηκαν αρχεία που προέκυψαν από τις ηχογραφήσεις του σκασίματος των μπαλονιών για κάθε χώρο ξεχωριστά. Με τη βοήθεια του λογισμικού audacity εισάγουμε το αρχείο που προέκυψε από το σκάσιμο των μπαλονιών και αφού αφαιρεθεί το τμήμα που δεν περιλαμβάνει χρήσιμη ηχητική πληροφορία, δηλαδή πριν το σκάσιμο του μπαλονιού από την αριστερή πλευρά.



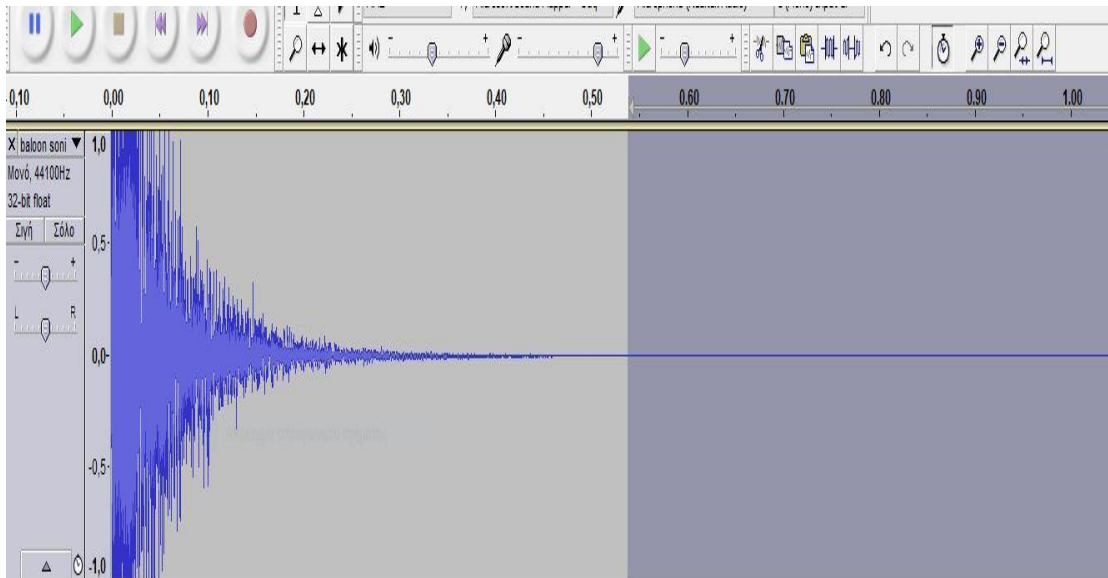
**Εικόνα 17:** Αφαίρεση τμήματος πριν το σκάσιμο μπαλονιού

Με τη χρήση της λειτουργίας μεγέθυνσης πετυχαίνουμε την ακριβή αφαίρεση του άχρηστου τμήματος.



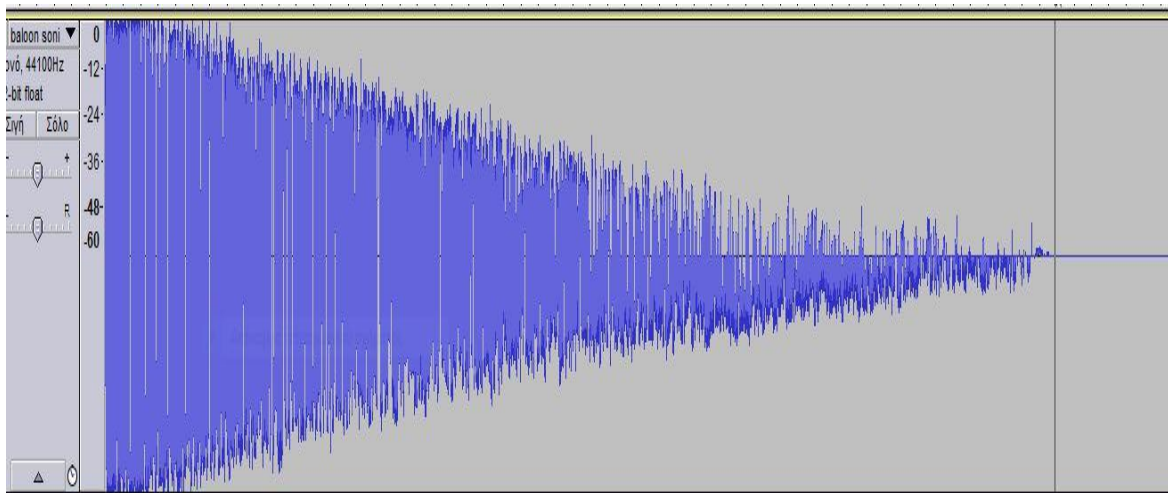
**Εικόνα 18:** Μεγέθυνση κυματομορφής

Την ίδια διαδικασία εφαρμόζουμε και από την δεξιά πλευρά του σήματος.



**Εικόνα 19:** Αφαίρεση τμήματος από δεξιά

Επιλέγοντας για εμφάνιση του σήματος την απεικόνιση waveform (dB), εμφανίζεται το σήμα σε κλίμακα των dB από -60dB στον οριζόντιο άξονα έως την τιμή 0 στον κατακόρυφο. Υπολογίζοντας λοιπόν τον χρόνο που απαιτείται ώστε η στάθμη ηχητικής πίεσης του σήματος να μειωθεί κατά 60dB προκύπτει η τιμή του χρόνου αντήχησης RT60.



**Εικόνα 20:** Υπολογισμός RT60

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή είναι 0,55sec και ανήκει στο χρόνο αντήχησης του υπνοδωματίου. Την ίδια μέθοδο επαναλαμβάνουμε και για τους υπολογισμούς των υπολοίπων δωματίων. Εφόσον γνωρίζουμε την τιμή του χρόνου αντήχησης, καθώς και τον όγκο του δωματίου με το νόμο Sabine μπορούμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή ηχοαπορρόφησης του δωματίου.

Η σχέση υπολογισμού έχει ως ακολούθως:

$$A = 0,163 \times (V/T)$$

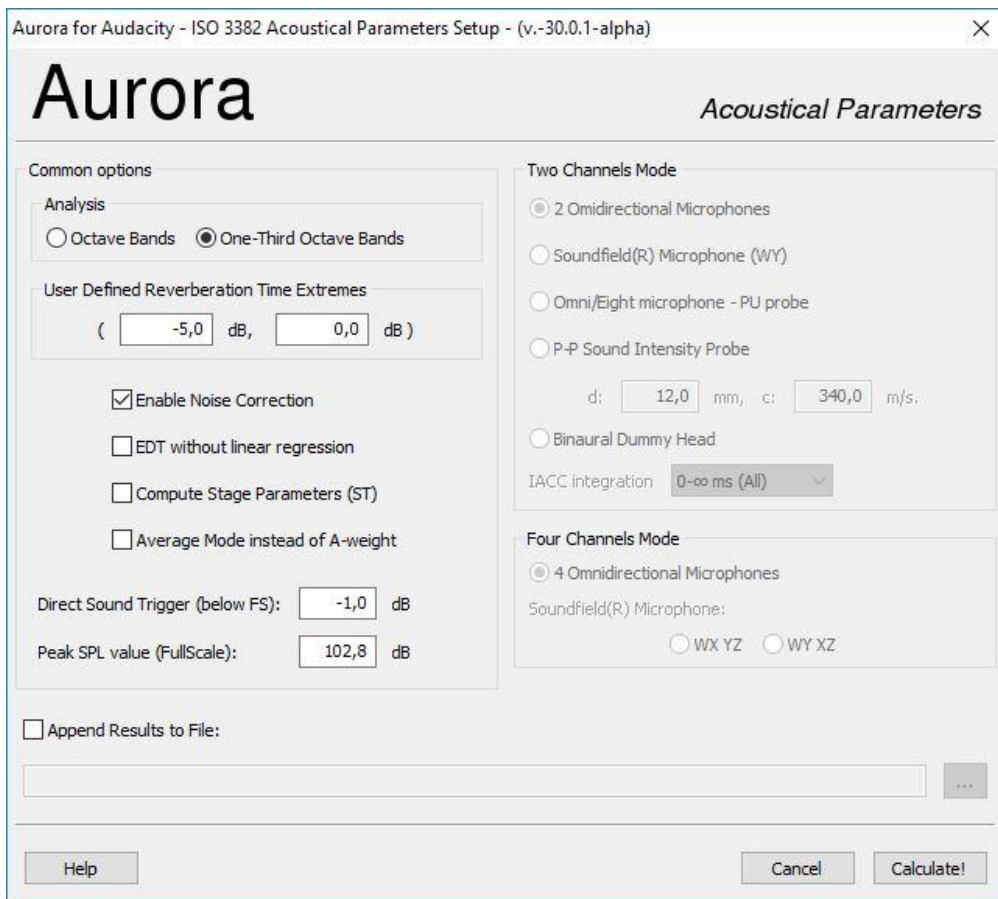
Όπου V ο όγκος του δωματίου και T ο χρόνος αντήχησης σε sec.

Έχοντας υπολογίσει ξεχωριστά για το κάθε δωμάτιο το συντελεστή ηχοαπορρόφησης ξεκινάει η διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή ηχομείωσης σε τριτοκταβικό φάσμα συχνοτήτων με τη βοήθεια της σχέσης:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log(S/A)$$

Όπου  $L_1$  και  $L_2$  οι ηχοστάθμες εκπομπής και λήψης αντίστοιχα, S η επιφάνεια του δοκιμίου σε  $m^2$  και A η ηχοαπορρόφηση του χώρου.

Για να βρούμε τις τριτοκταβικές τιμές εκπομπής και λήψης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό audacity και η εφαρμογή της ιδιότητας στην επιλογή ανάλυσης σήματος *auto acoustic parameters*. Ορίζουμε την τιμή Peak SPL ανάλογα με την τιμή που λάβαμε από την εκάστοτε μέτρηση με το λογισμικό REW. Επιλέγοντας την τριτοκταβική ανάλυση και με την επιλογή *calculate* προκύπτει ένας πίνακας που μας δίνει τις τιμές της ηχητικής στάθμης σε τριτοκταβικό φάσμα.



**Εικόνα 21:**Επιλογή τριτοκταβικής ανάλυσης

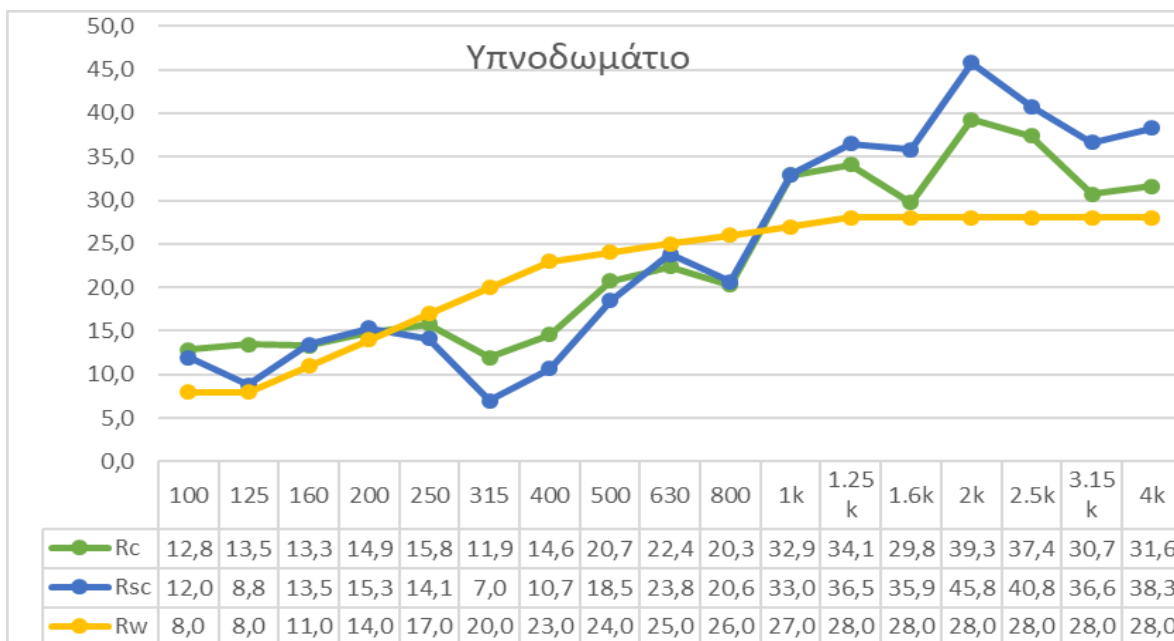
Αφού αποθηκεύσαμε όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη λειτουργία του λογισμικού για κάθε δωμάτιο και κάθε περίπτωση ξεχωριστά τα περάσαμε σε υπολογιστικά φύλλα ώστε να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή των αντίστοιχων δεικτών ηχομείωσης.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> Ανάλυση αποτελεσμάτων ανά περίπτωση

### 6.1 Πέτασμα υπνοδωματίου

Στην περίπτωση αυτή έχουμε μία συρόμενη μπαλκονόπορτα μονόφυλλη με διπλό τζάμι (4,12,4) διαστάσεων 2,15m ύψος και 1,15m πλάτος.

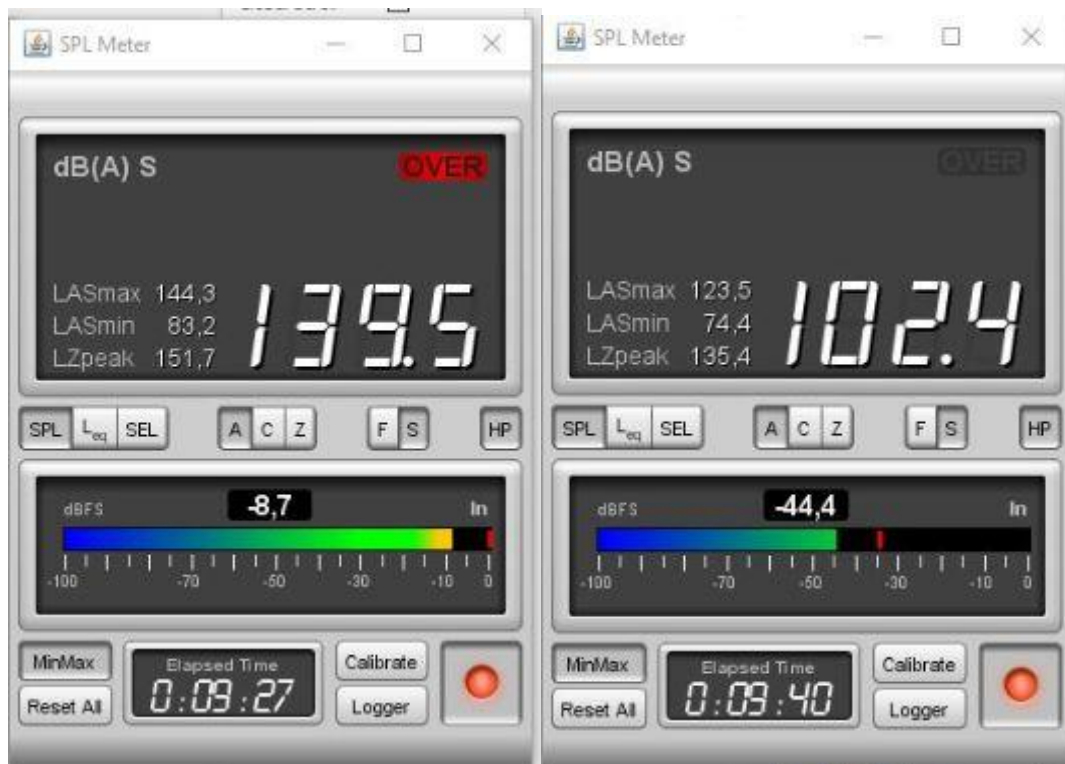
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του σήματος με ανοικτό πέτασμα, κλειστό πέτασμα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, όπου  $R_c$  (πράσινο χρώμα) ο δείκτης ηχομείωσης που προκύπτει με κλειστό μόνο το υαλοπέτασμα,  $R_{sc}$  (μπλε χρώμα) ο δείκτης ηχομείωσης που προκύπτει με κλειστό το υαλοπέτασμα και το πατζούρι και  $R_w$  (κίτρινο χρώμα) ο πρότυπος δείκτης ηχομείωσης.



**Εικόνα 22: Αποτελέσματα υπολογισμού  $R_w$  υπνοδωματίου**

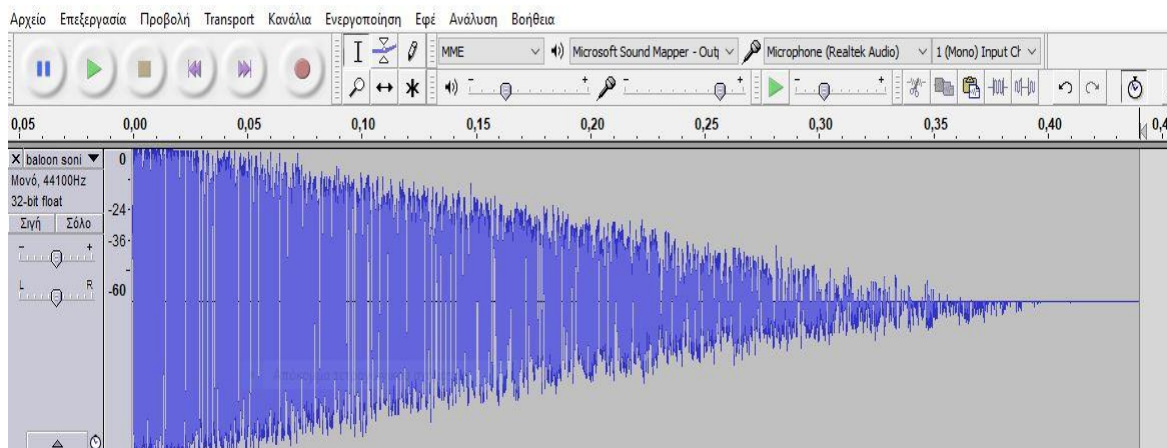
Το  $R_w$  για τα 500Hz που προκύπτει είναι 24 dB από τον θεωρητικό υπολογισμό.

Συγκρίνοντας το αποτέλεσμα  $R_w$  για τα 500Hz (εικόνα 23) με την απαιτούμενη ηχομείωση για την ακουστική άνεση (πίνακας 7, ηχομονωτική ικανότητα ήσυχης κατοικημένης περιοχής 25-29dB), βλέπουμε ότι οριακά δεν εξασφαλίζεται η ηχομονωτική ικανότητα.



**Εικόνα 23: Τιμές dB(A) υποδοματίου**

Ο χρόνος αντήχησης του συγκεκριμένου δωματίου είναι  $RT60=0.45\text{sec}$

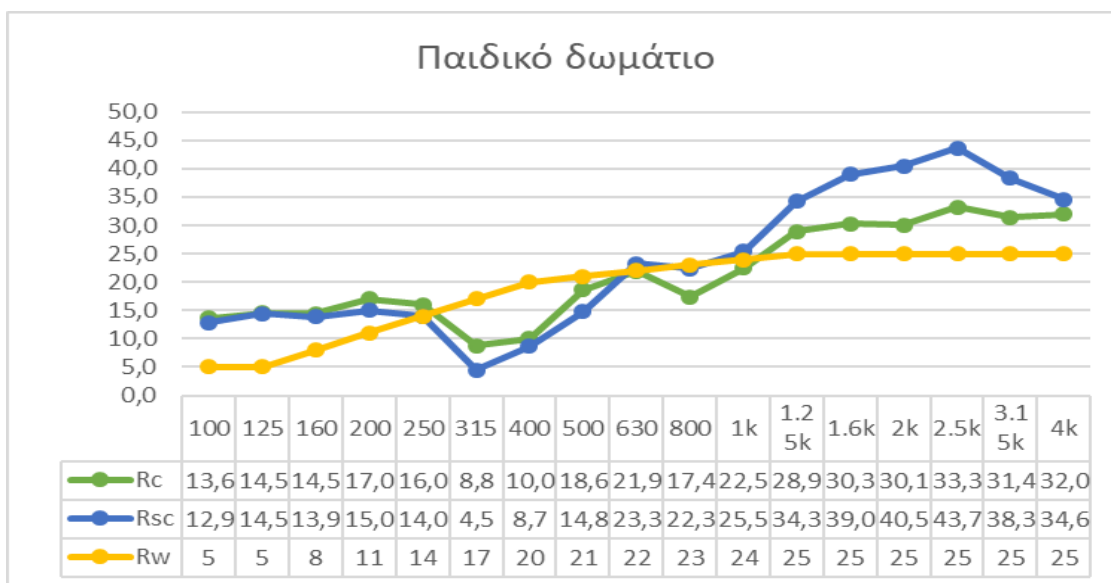


**Εικόνα 25:RT60 Υποδοματίου**

## 6.2 Πέτασμα παιδικού δωματίου

Στην περίπτωση αυτή έχουμε μια συρόμενη μπαλκονόπορτα μονόφυλλη με διπλό τζάμι (4,12,4) διαστάσεων 2.25 m ύψος και 1.2 m πλάτος.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές που προκύπτουν με το πέτασμα ανοικτό και κλειστό.



Εικόνα 24: Αποτελέσματα  $R_w$  παιδικού δωματίου

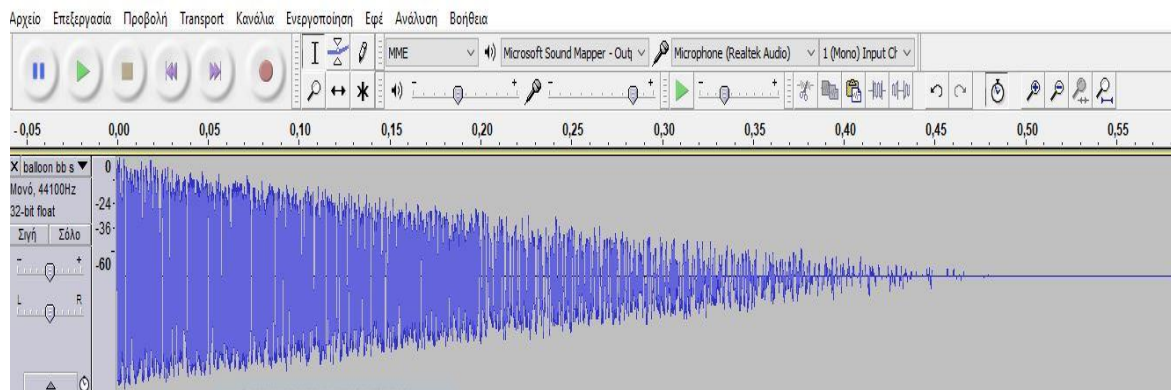
Το  $R_w$  που προκύπτει με τον πρακτικό υπολογισμό είναι 21 dB και δεν πληροί τα κριτήρια ακουστικής άνεσης.





Εικόνα 25: Τιμές dB(A) παιδικού δωματίου

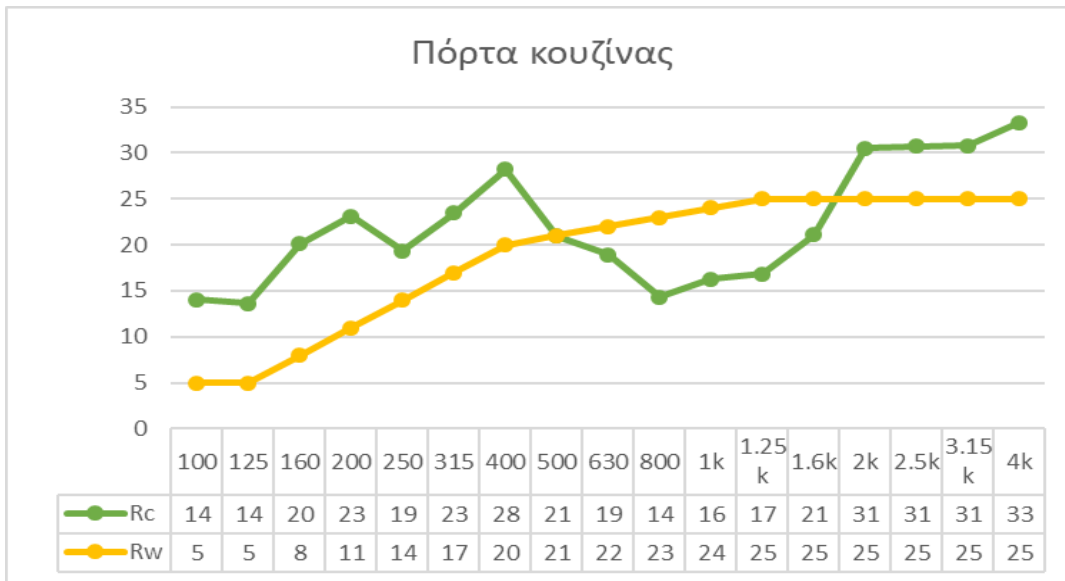
Ο χρόνος αντήχησης του παιδικού δωματίου είναι  $RT60 = 0.5 \text{ sec}$



Εικόνα 26 :RT60 Παιδικού δωματίου

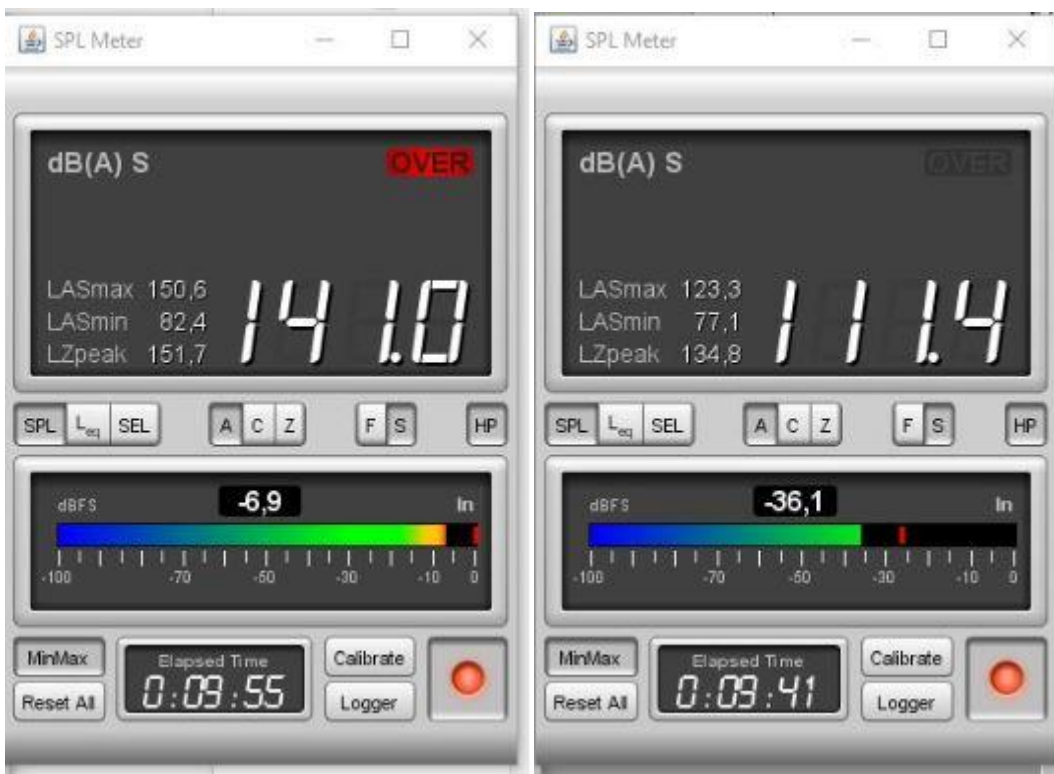
### 6.3 Πετάσματα κουζίνας

Σε ότι αφορά την πόρτα κουζίνας, πρόκειται για μία ανοιγόμενη πόρτα με διπλό τζάμι διαστάσεων 2.15m ύψος και 0.7 m πλάτος (4,12,4). Οι τιμές  $R_w$  που προέκυψαν φαίνονται παρακάτω:



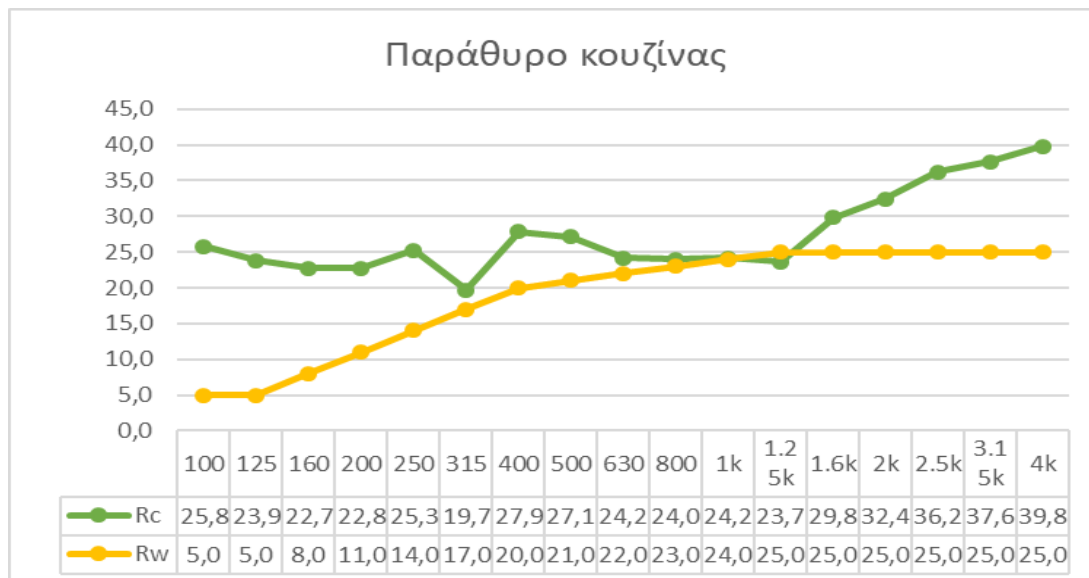
**Εικόνα 29:** Αποτελέσματα υπολογισμού  $R_w$  πόρτας κουζίνας

Η τιμή που προκύπτει από τον θεωρητικό υπολογισμό είναι 21 dB και δεν πληροί τα κριτήρια.



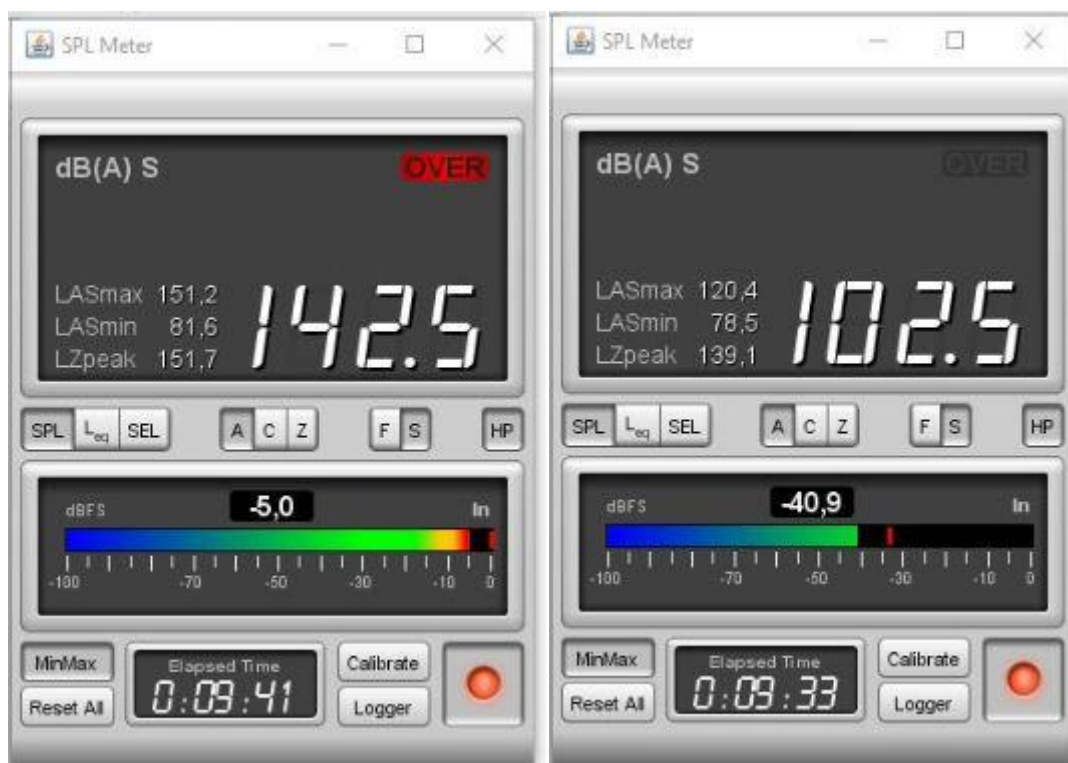
**Εικόνα 27:** Τιμές dB(A) πόρτας κουζίνας

Αντιστοίχως το παράθυρο κουζίνας, αφορά συρόμενο παράθυρο κουζίνας δύο φύλλων διαστάσεων 1m ύψος και 1.15m πλάτος (4,12,4). Οι τιμές  $R_w$  που προέκυψαν κατά τον θεωρητικό υπολογισμό φαίνονται παρακάτω:



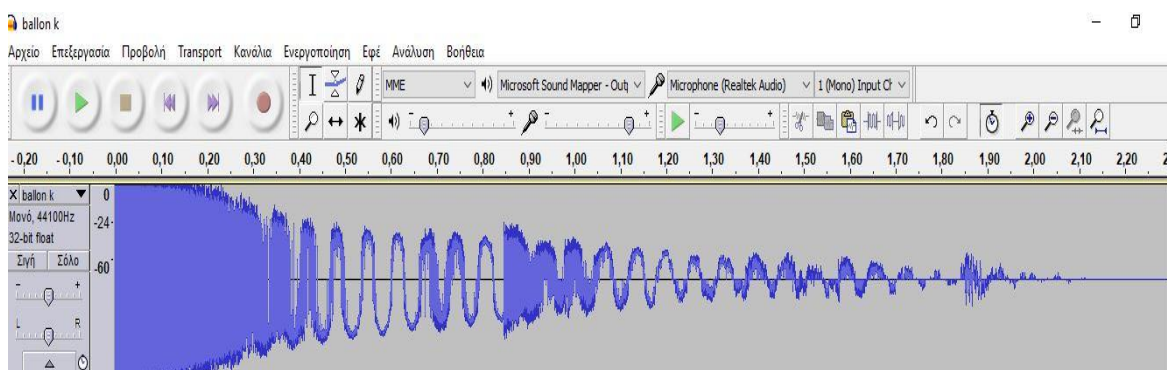
**Εικόνα 31:** Αποτελέσματα υπολογισμού  $R_w$  παραθύρου κουζίνας

Η τιμή που προκύπτει είναι 21 dB και δεν πληροί τα κριτήρια.



Εικόνα 28: Τιμές dB(A) παραθύρου κουζίνας

Η τιμή του χρόνου αντήχησης της κουζίνας είναι  $RT60=2.1\text{sec}$ . Η τιμή είναι αρκετά μεγάλη κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η κουζίνα είναι μικρό δωμάτιο και οι περισσότερες επιφάνειες είναι ανακλαστικές.

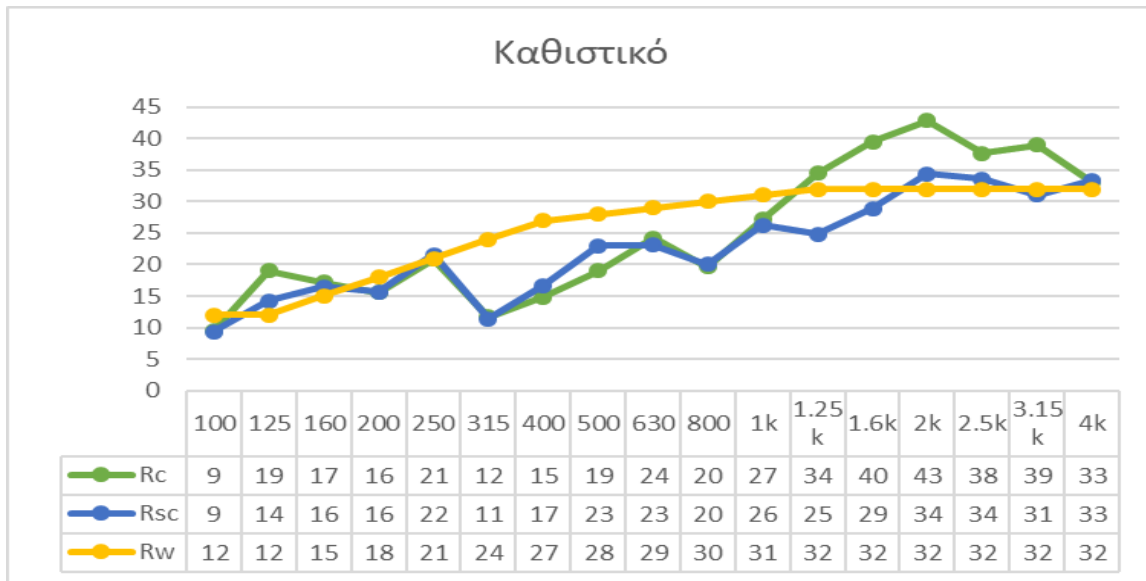


Εικόνα 29: RT60 κουζίνας

## 6.4 Πέτασμα καθιστικού

Το καθιστικό περιλαμβάνει μπαλκονόπορτα δύο συρόμενων φύλλων με διπλό τζάμι διαστάσεων 2.20m ύψος και 1.77m πλάτος και (6,12,4).

Οι τιμές  $R_w$  που προκύπτουν φαίνονται παρακάτω:



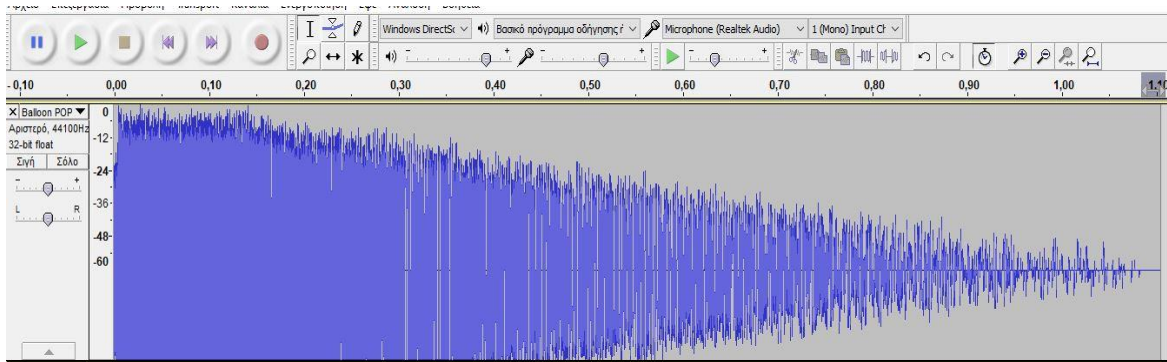
Εικόνα 30: Αποτελέσματα υπολογισμού  $R_w$  καθιστικού

Η τιμή που προκύπτει με την θεωρητική μέθοδο μας δίνει  $R_w=28$  dB, η οποία πληροί τα κριτήρια.



Εικόνα 35: Τιμές dB(A) μπαλκονόπορτας καθιστικού

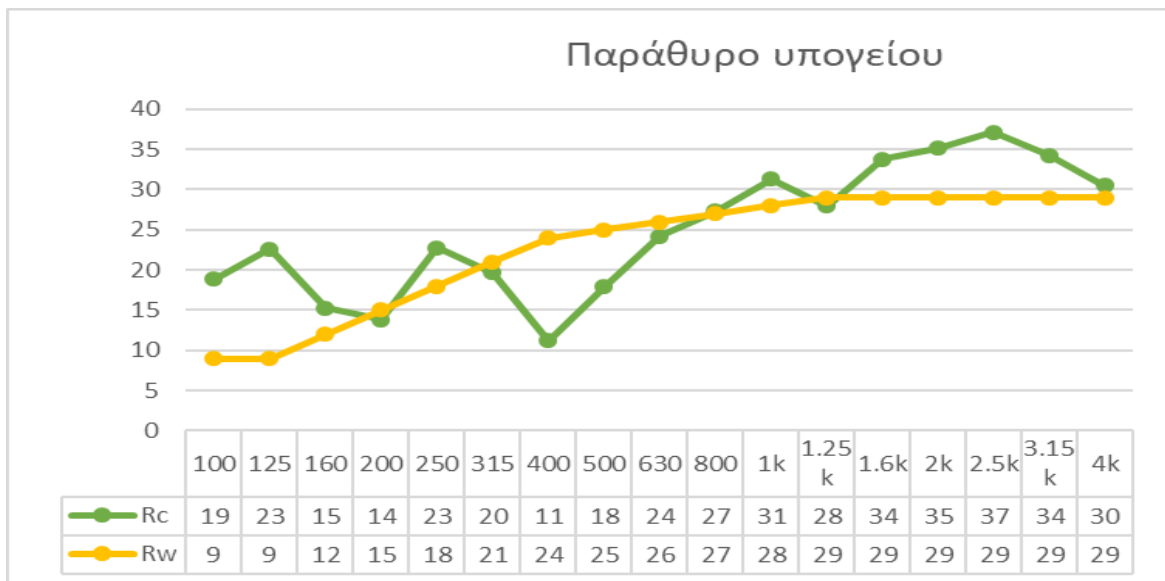
Ο χρόνος αντήχησης του καθιστικού είναι  $RT60=1,07$ sec



Εικόνα 31:RT60 καθιστικού

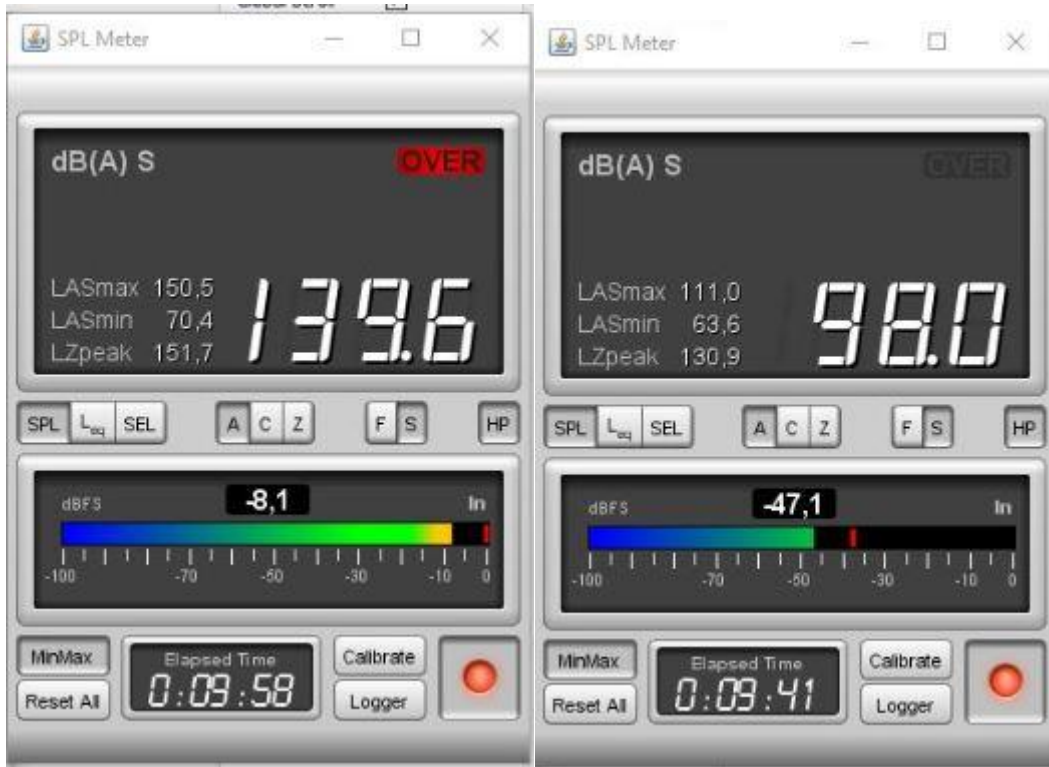
## 6.5 Πέτασμα υπογείου

Το υπόγειο περιλαμβάνει παράθυρο ανοιγόμενο με διπλό τζάμι διαστάσεων 0.7m ύψος και 1.7m πλάτος (5,12,5). Οι τιμές  $R_w$  που προκύπτουν από τον πρακτικό υπολογισμό φαίνονται παρακάτω:



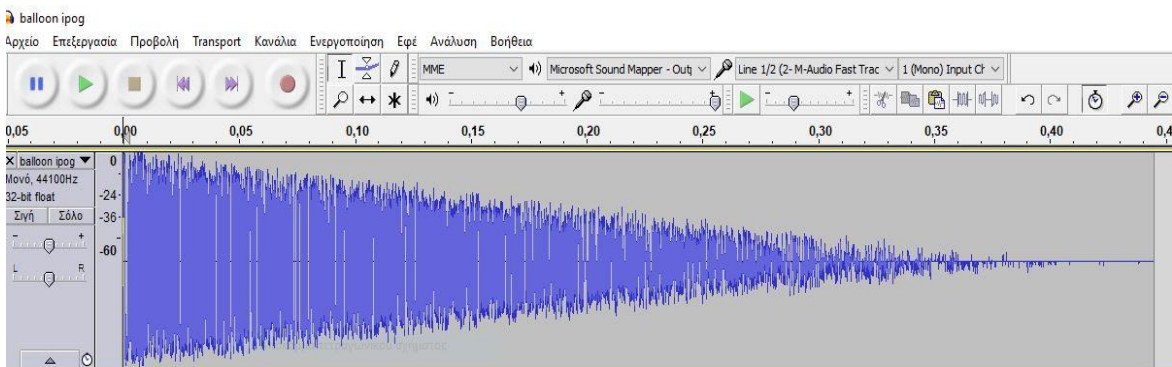
Εικόνα 32:Αποτελέσματα υπολογισμού  $R_w$  υπογείου

Η τιμή  $R_w$  που προκύπτει από τον πρακτικό υπολογισμό είναι 25 και πληροί τα κριτήρια.



Εικόνα 33: Τιμές dB(A) υπογείου

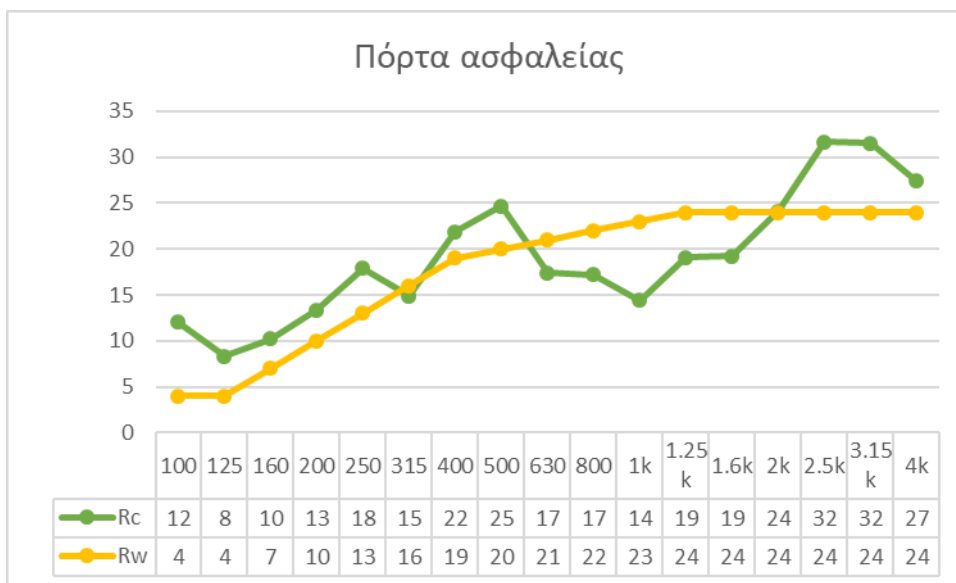
Ο χρόνος αντήχησης στο υπόγειο είναι  $RT60=0.44\text{sec}$



Εικόνα 39: RT60 υπογείου

## 6.6 Πόρτα ασφαλείας καθιστικού

Το καθιστικό φέρει ανοιγόμενη πόρτα ασφαλείας διαστάσεων 2.05m ύψος, 1m πλάτος και 8 εκ πάχος.



Εικόνα 39: Αποτελέσματα υπολογισμού  $R_w$  πόρτας ασφαλείας καθιστικού

Ο δείκτης  $R_w$  που προκύπτει από τον πρακτικό υπολογισμό είναι 20 dB και δεν πληροί τα κριτήρια.



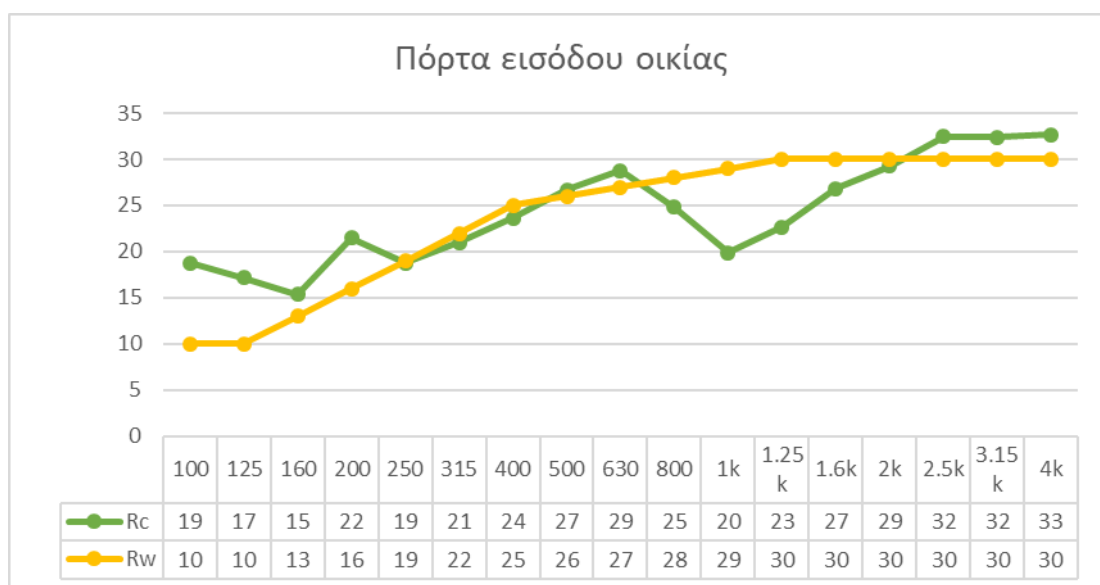
Εικόνα 34: Τιμές dB(A) πόρτας ασφαλείας



## 6.7 Πόρτα ασφαλείας κεντρικής εισόδου κατοικίας

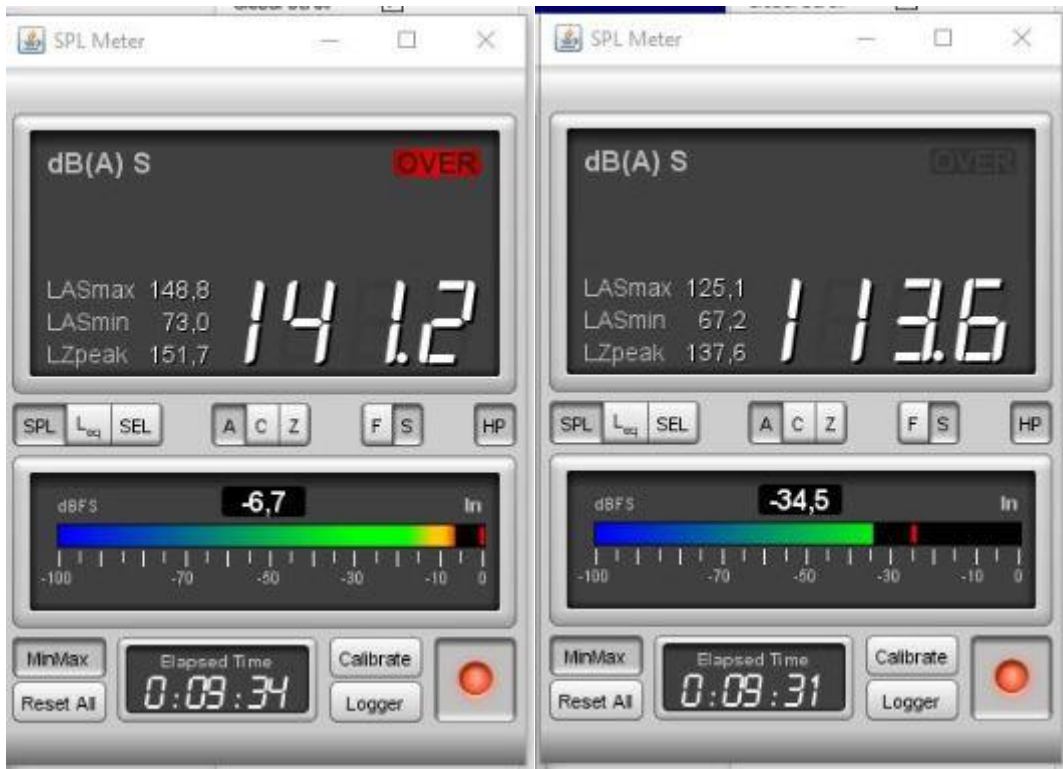
Η πόρτα ασφαλείας κεντρικής εισόδου της κατοικίας είναι ανοιγόμενη διαστάσεων 2.2 m ύψος, 1m πλάτος και 6.5 εκ πάχος.

Οι τιμές  $R_w$  που προκύπτουν από τον πρακτικό υπολογισμό φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 35: Αποτελέσματα υπολογισμού  $R_w$  κεντρικής πόρτας

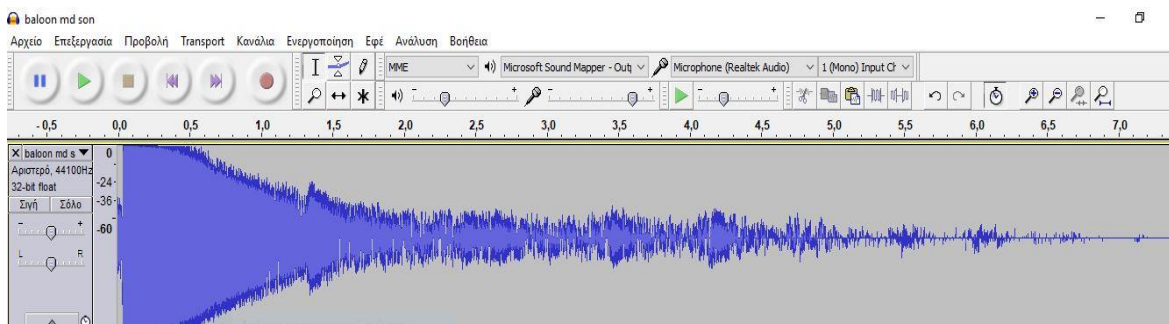
Η τιμή  $R_w$  είναι 26 dB και πληροί τα κριτήρια.



Εικόνα 36: Τιμές dB(A) κεντρικής πόρτας οικίας

Στην περίπτωση αυτή δεν εξετάζονται τα κριτήρια ακουστικής άνεσης καθώς το συγκεκριμένο πέτασμα δεν είναι διαχωριστικό της κύριας οικίας αλλά του διαδρόμου εισόδου.

Ο χρόνος αντήχησης του διαδρόμου είναι  $RT60=7$  sec αναμενόμενα μεγάλη τιμή καθώς η πόρτα οδηγεί σε ένα μακρόστενο διάδρομο με έντονα ανακλαστικές επιφάνειες.



Εικόνα 37: Τιμές dB(A) κεντρικής πόρτας εισόδου

## 6.8 Επεξήγηση τρόπου υπολογισμού των δεικτών ηχομείωσης

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά φύλλα excel. Στην πρώτη σειρά εισήχθησαν οι τριτοοκταβικές τιμές των συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος από 50 Hz -20kHz. Στη δεύτερη σειρά εισήχθησαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του λογισμικού audacity και την λειτουργία auroara acoustical parameter όταν το πέτασμα είναι ανοιχτό . Περαιτέρω στην τρίτη σειρά περιλαμβάνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα όταν το πέτασμα είναι κλειστό και στην τέταρτη τα αποτελέσματα όταν το πέτασμα και τα πατζούρια (όπου αυτά υπήρχαν) ήταν κλειστά.

Στην επόμενη σειρά ή στις δύο επόμενες σειρές (για την περίπτωση που υπάρχουν πατζούρια), πραγματοποιείται ο υπολογισμός του δείκτη ηχομείωσης χρησιμοποιώντας την σχέση  $R=L_1-L_2+10\log(S/A)$  όπου  $L_1$  η στάθμη με το πέτασμα ανοικτό  $L_2$  η στάθμη με το πέτασμα κλειστό  $S$  το εμβαδόν της επιφάνειας του πετάσματος και  $A$  η ισοδύναμη επιφανειακή απορρόφηση του ήχου στο δωμάτιο λήψης. Η μετέπειτα σειρά περιλαμβάνει τον δείκτη ηχομείωσης που προκύπτει από τον θεωρητικό υπολογισμό για τη συχνότητα των 500Hz. Στην επόμενη σειρά υπολογίζεται ο δείκτης ηχομείωσης λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές από 100 Hz -3150 Hz εφαρμόζοντας την σχέση  $R= ( R_{100}/2 + \sum R_{(125-2500)} + R_{3150}/2)/15$ .

Αφού έχουν πραγματοποιηθεί οι υπολογισμοί με τους τρόπους που αναφέραμε παρατηρούμε ότι όλα τα πετασμάτα παρουσιάζουν χαμηλό δείκτη ηχομείωσης στις χαμηλές συχνότητες, ενώ αν λάβουμε υπόψιν τη διαφορά στις στάθμες ηχητικής πίεσης που φαίνονται από το λογισμικό REW οι τιμές είναι πολύ υψηλότερες .



Υπολογισμός δείκτη ηχομείωσης ανά πετ

**Υπολογιστικά φύλλα 1:Υπολογισμός δεικτών ηχομείωσης πετασμάτων**

**Πίνακας 9: Συγκριτικός πίνακας τιμών πρακτικών, θεωρητικών και κατασκευαστή**

Δομάτιο	Χαρακτηριστικά πετάσματος	Τιμή κατασκευαστή $R_w$	Τιμή θεωρητικού υπολογισμού $R_w$ (500Hz)	Τιμή θεωρητικού υπολογισμού $R_c$ (μόνο το πέτασμα κλειστό) (500Hz)	Τιμή θεωρητικού υπολογισμού $R_{cs}$ (πέτασμα παντζούρι και κλειστά) (500Hz)	Τιμή πρακτικού υπολογισμού $R_w$ (διαφορά ντεσιμπελομέτρου) $REW$
Μπαλκονόπορτα υπνοδωματίου	(4-12-4)  1.15m X 2.15m	29(-1;-4)	24	20.7	18.5	37.1
Μπαλκονόπορτα παιδικού δωματίου	(4-12-4)  1.2m X 2.25m	29(-1;-4)	24	18.6	14.8	39.5
Μπαλκονόπορτα κουζίνας	(4-12-4)  0.7m X 2.15m	29(-1;-4)	21	21	Χωρίς παντζούρι	29.6
Παράθυρο κουζίνας	(4-12-4)  1.15m X 1m	29(-1;-4)	21	27.1	Χωρίς παντζούρι	40
Μπαλκονόπορτα καθιστικού	(6-12-4)  2.20m X 1.77m	33(-2;-4)	28	19	23	39
Παράθυρο υπογείου	(5-12-5)  1.07 X 0.7	30(-1;-3)	25	18	Χωρίς παντζούρι	41.6
Πόρτα ασφαλείας καθιστικού	1m X 2.05m  8cm πάχος	Εξαρτάται από τα επιμέρους υλικά και δεν διατίθενται τιμές κατασκευαστή	20	25	Χωρίς παντζούρι	35.3

Πόρτα κεντρικής εισόδου κατοικίας	1m X 2.2m  6.5cm πάχος	Εξαρτάται από τα επιμέρους υλικά και δεν διατίθενται τιμές κατασκευαστή	26	27	Χωρίς παντζούρι	27.6
--	------------------------------	--	----	----	-----------------	------

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι οι τιμές που προκύπτουν για τα πετάσματα από τον θεωρητικό υπολογισμό διαφέρουν από τις τιμές που παρέχει ο κατασκευαστής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές του κατασκευαστή προκύπτουν κάτω από εργαστηριακές συνθήκες που αξιολογούν μόνο την ηχομειωτική ικανότητα του πετάσματος και δε συνυπολογίζουν τις πιθανές απώλειες της εγκατάστασης.

Στις περιπτώσεις που παρεμβάλλεται και παντζούρι (τρεις μπαλκονόπορτες) θα αναμέναμε η ηχομονωτική ικανότητα να είναι μεγαλύτερη. Ωστόσο, κάτι τέτοιο συμβαίνει μόνο στην μπαλκονόπορτα του καθιστικού, όπου παρατηρούμε  $R_{sc} 23dB$ . Αυτό δικαιολογείται, καθώς στις άλλες δύο περιπτώσεις πιθανόν να απαντάται το φαινόμενο του συντονισμού στη συχνότητα των 500Hz.

Αν παρατηρήσουμε αναλυτικότερα τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν από το υπολογιστικό φύλλο που περιλαμβάνει τις τιμές για όλες τις τριτοκταβικές συχνότητες, βλέπουμε αυτό να επαληθεύεται στις υψηλότερες συχνότητες. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα εξωτερικά παντζούρια χρησιμοποιούνται κυρίως για λόγους μείωσης φωτοπερατότητας και προστασία των υαλοπινάκων από εξωτερικούς κινδύνους θραύσης.

Τέλος, προσθέσαμε στον πίνακα 9 την απόλυτη τιμή της αναφοράς που προκύπτει χρησιμοποιώντας μόνο το ντεσιμπελόμετρο του λογισμικού REW (δηλαδή την αρχική αναπαραγόμενη στάθμη ηχητικής πίεσης με τη στάθμη που καταλήγει στο δέκτη με το πέτασμα κλειστό). Εδώ βλέπουμε η διαφορά των τιμών να είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτές που προέκυψαν για την ηχομονωτική ικανότητα των πετασμάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις των τιμών του δείκτη ηχομείωσης υπολογίζονται μόνο για το πέτασμα, ενώ στην περίπτωση της απόλυτης διαφοράς υπολογίζεται η

ηχομείωση του συνδυασμού επιφανειών (πέτασμα, τοιχοποιία). Επιπλέον, αποδίδεται στο γεγονός ότι οι τιμές του ντεσιμπελόμετρου αναφέρονται στην αναπαραγωγή λευκού θορύβου (σε όλο το συχνοτικό φάσμα).

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### 7.1 Συμπεράσματα σχετικά με τη μελέτη περίπτωσης

Μελετώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν βλέπουμε ότι σε κάποια από τα υπάρχοντα πετάσματα δεν επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα ηχομείωσης όσον αφορά τις τιμές που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τον τύπο υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης R(μπαλκονόπορτα υπνοδωματίου και παιδικού δωματίου, πόρτα και παράθυρο κουζίνας, πόρτα ασφαλείας εισόδου), ενώ σε κάποια άλλα επιτυγχάνεται (μπαλκονόπορτα καθιστικού, παράθυρο υπογείου και πόρτα εισόδου).

Στην πραγματικότητα τα πετάσματα τοποθετούνται σε μία οικία χωρίς να μπορούμε να πετύχουμε τις απόλυτες αυτές συνθήκες. Για παράδειγμα τα συρόμενα πετάσματα χρησιμοποιούν το χώρο του τοίχου για να εισχωρούν κατά το άνοιγμα δημιουργώντας ένα διάκενο στο εσωτερικό του τοίχου που είναι δύσκολο να μονωθεί καλά, καθώς αυτό θα απαιτούσε μεγάλο κόστος και θα έκανε την κίνηση του πετάσματος πολύ πιο δύσκολη Άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η φθορά που υφίστανται τα σημεία που διαπερνά ο ήχος και δεν αφορούν το ίδιο το πέτασμα, αλλά κυρίως τους μηχανισμούς για την ομαλή λειτουργία τους όπως οι ράγες κύλισης, τα λάστιχα και οι αρμοί.

### 7.2 Πως μπορούμε να διαπιστώσουμε πιθανές ατέλειες στην εφαρμογή των πετασμάτων

Για να εντοπίσουμε σημεία που είτε έχουν φθαρεί είτε έχει γίνει κάποιο λάθος κατά την τοποθέτηση των πετασμάτων και χρίζουν επιδιόρθωση μπορούμε να προβούμε σε κάποιους ελέγχους. Ή πιο απλή μέθοδος είναι να παρατηρήσουμε αν το πέτασμα παράγει από μόνο του κάποιο ήχο τραντάζοντάς το απαλά όταν αυτό είναι κλειστό, αν ο ήχος προέρχεται από το περιμετρικό τμήμα του υαλοπίνακα (αλουμίνιο κάσωμα ) ή αν

προέρχεται από τον ίδιο τον υαλοπίνακα. Στην πρώτη περίπτωση ο θόρυβος οφείλεται σε μη σωστή τοποθέτηση του πετάσματος μέσα στον διάδρομο κύλισης ή μη σωστή εφαρμογή του διαδρόμου κύλισης ,ενώ στην δεύτερη περίπτωση το πρόβλημα είναι ακόμα μεγαλύτερο καθώς σημαίνει ότι ο υαλοπίνακας δεν έχει σωστή εφαρμογή με το κάσωμα. Άλλη μέθοδος είναι με την βοήθεια ενός μικρού φακού με στενή δέσμη (φωτοδίοδος) σε συνθήκες σκοταδιού. Εφαρμόζουμε τακτική σκαναρίσματος περιμετρικά του κασώματος στα σημεία που εφάπτεται με την τοιχοποιία (απαιτούνται 2 άτομα).Κατά το πέρασμα του φακού περιμετρικά του κασώματος δεν θα πρέπει να περάσει δέσμη φωτός από την εξωτερική πλευρά προς την εσωτερική.Οι δύο πρώτες προτάσεις μπορούν να γίνουν εύκολα και οικονομικά. Άλλη μία μέθοδος η οποία απαιτεί κατάλληλο εξοπλισμό είναι με την εφαρμογή θερμικής ενέργειας στο πέτασμα από την εξωτερική πλευρά και με συσκευή ανίχνευσης και ανάλυσης θερμότητας από την εσωτερική πλευρά .Αναλυτικότερα αν εφαρμόσουμε σταθερή θερμότητα σε όλο το πέτασμα κυρίως περιμετρικά και στα σημεία που κλείνει και από την εσωτερική πλευρά με κατάλληλη συσκευή μετράμε την θερμότητα που διαπερνά δεν θα πρέπει να παρατηρηθούν μεγάλες διακυμάνσεις(τα σημεία που διαπερνά περισσότερη θερμότητα σημαίνει ότι πρέπει να μονωθούν καλύτερα ή να ενισχυθούν) .

### **7.3 Γενικότερη σχέση τοιχοποιίας και πετασμάτων.**

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι τα πετάσματα σε σχέση με την φέρουσα τοιχοποιία είναι αυτά που επιτρέπουν την μείωση της ηχομονωτικής ικανότητας ενός κτιρίου. Για την αποφυγή λοιπόν του φαινομένου της μείωσης θα πρέπει να περιοριστούν ο αριθμός καθώς και το μέγεθος των πετασμάτων ανάλογα με τις ανάγκες και την χρήση του κτιρίου αλλά και την θέση του. Οι χώροι που παρουσιάζουν καλή ηχομονωτική συμπεριφορά είναι κυρίως αίθουσες χωρίς κανένα παράθυρο και τον ελάχιστο δυνατό αριθμό θυρών και σε κάποιες περιπτώσεις και υπόγειοι,(στούντιο ηχογραφήσεων ,αίθουσες παραστάσεων ,θέατρα κ.α.) Οι περισσότεροι άνθρωποι προτιμούν χώρους που να τους επιτρέπουν να έχουν οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον ,Αυτή η προτίμηση αλλά ίσως και ανάγκη για την ψυχική ηρεμία των ανθρώπων είναι που απαιτεί την σωστή μελέτη ,επιλογή και τοποθέτηση αυτών των πετασμάτων ώστε να μην θυσιάζεται η αρμονία της ψυχικής χαλάρωσης που προσφέρει η ησυχία ενός χώρου σε συνδυασμό με την θέα.

## 7.4 Επίλογος

Κατά την υλοποίηση των μετρήσεων για την εύρεση του δείκτη ηχομείωση των πετασμάτων της οικίας διαπιστώσαμε και εμπράκτως ότι σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει διαφοροποίηση των τιμών που προέκυψαν από τις μετρήσεις, έναντι των παρεχομένων από τον κατασκευαστή. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στις διαφορές πραγματικών και εργαστηριακών συνθηκών, καθώς και στις επί μέρους φθορές που υφίστανται τα υλικά με το πέρασ του χρόνου (όπως αεροστεγές σφράγισμα των υαλοπινάκων, απόλυτη εφαρμογή του πλαισίου, φθορά ελαστικών κ.α.). Άλλος ένας παράγοντας είναι πιθανά λάθη κατά την τοποθέτηση των κουφωμάτων, όπως η μη στεγανοποίηση των αρμών καθώς και των σημείων που εφάπτεται το κούφωμα με την τοιχοποιία.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις δεν πρέπει να αποθαρρύνουν τους κατασκευαστές, όσο και τους εγκαταστάτες να επιδιώκουν τη μέγιστη δυνατή ηχομονωτική ικανότητα των κατασκευών τους. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με καλή γνώση των προτύπων που εξασφαλίζουν την ακουστική άνεση ανάλογα με τη χρήση του χώρου, ώστε να προβούν στις κατάλληλες προτάσεις και να εξασφαλίσουν τις βέλτιστες συνθήκες εγκατάστασης.

Στην περίπτωση που επιδιώξουμε την βελτίωση της ηχομονωτικής ικανότητας των πετασμάτων που μελετήσαμε και δε πληρούσαν τις συνθήκες για ακουστική άνεση, τότε θα πρέπει αρχικά να εξετάσουμε τυχόν φθορές του κουφώματος και αντικατάσταση των σημείων εφαρμογής π.χ. λάστιχα, αρμούς. Αυτό είναι το πρώτο και οικονομικότερο βήμα στο οποίο πρέπει να προβούμε. Αν και μετά από αυτό, δεν επιτευχθεί ο στόχος, τότε θα πρέπει να προβούμε σε αντικατάσταση των υαλοπινάκων με άλλα, παχύτερα και ιδανικά διαφορετικού πάχους μεταξύ τους. Τέλος, θα πρέπει να εξετασθεί και το ενδεχόμενο ολικής αντικατάστασης των πετασμάτων με νέα μεγαλύτερης ηχομονωτικής ικανότητας.



## Βιβλιογραφία

- (n.d.). Ανάκτηση από  
<https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/GETA169/soundproofing.pdf>
- (n.d.). Ανάκτηση από [www.profil.gr/index.php/gr/products/outdoor-systems/panel/18-europa-products/architectural-aluminium-systems/sliding-systems](http://www.profil.gr/index.php/gr/products/outdoor-systems/panel/18-europa-products/architectural-aluminium-systems/sliding-systems)
- (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.tsokani.gr/shop/tzamia/56.html>
- (n.d.). Ανάκτηση από [http://koufomata-expert.blogspot.com/2010/12/blog-post\\_21.html](http://koufomata-expert.blogspot.com/2010/12/blog-post_21.html)
- (n.d.). Ανάκτηση από <https://alouminia-koufomata.gr/>
- (n.d.). Ανάκτηση από <http://koufomata-expert.blogspot.com/2011/10/glass-weight.html>
- ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής. (2011). ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ. *Σαλούστρου Ευαγγελία*. Agency, E. E. (n.d.).
- B. Smith, R. S. (1996). *Acoustic and Noise Control*. Longman Pub. Group.
- Barder, A. (1992). *Handbook of Noise and Vibration Control*. Elsevier Science Ltd.
- Eagle, J. M. (1996). *Music, Sound and Technology*. International Thomson Publishers Inc.
- European Environment Agency. (n.d.).
- F.Jacobsen, T. G. (2011). *Fundamentals of Acoustics and Noise Control*. Denmark: Technical University of Denmark.
- PUBMED.gov. (n.d.). Ανάκτηση από [pubmed.Vibroacoustic disease: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15273020/](http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15273020/)
- ΤΕΙΠΙΟΝ. (n.d.). *lecture NO 5 for e-class*. Ανάκτηση από [http://eclass.teiion.gr/modules/document/file.php/THMO159/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/lecture%20No%205\\_1.pdf](http://eclass.teiion.gr/modules/document/file.php/THMO159/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/lecture%20No%205_1.pdf)
- wikipedia. (n.d.).
- Ζαβιτσάνος, Δ. Ξ. (2015). *Προσδιορισμός του συντελεστή απορρόφησης του ήχου και του δείκτη ηχομείωσης αερόφερτου θορύβου με τη χρήση των sound intensity probes*. Αθήνα: Διπλωματική ΕΜΠ.
- Καρατζούνης Α., Σ. Χ. (Ιούνιος 2014). *Μελέτη Θορύβου στο Χώρο του Πολυτεχνείου*. Αθήνα: Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής.
- Παπαρίδου. (Ιούνιος 2010). *Ηχομόνωση και Τεχνολογία Υλικών*. Ρέθυμνο: ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Ρεθύμνου, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής.
- Σκαρλάτος. (2013). *Εισαγωγή στις Μεθόδους Ηχομόνωσης και Ηχοπροστασίας*. Πάτρα: ΕΑΠ.
- Σκαρλάτος, Δ. (2008). *Εφαρμοσμένη Ακουστική*. Πάτρα: Gotsis.
- Σπυρίδης, Χ. (2005). *Φυσική και Μουσική Ακουστική*. Θεσσαλονίκη: Grapholine.

## Παράρτημα

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον.