



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ακουστική Μελέτη Σχολικών Αιθουσών Μέσης Εκπαίδευσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Η. Μπακογιάννης

Επιβλέπων: Γεώργιος Καμπουράκης

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ακουστική Μελέτη Σχολικών Αιθουσών Μέσης Εκπαίδευσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Η. Μπακογιάννης

Επιβλέπων: Γεώργιος Καμπουράκης

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16^η Μαρτίου 2011

.....

Γεώργιος Καμπουράκης

.....

Ελευθέριος Καγιάφας

.....

Βασίλειος Λούμος

Αθήνα, Μάρτιος 2011

.....
Κωνσταντίνος Η. Μπακογιάννης
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Μπακογιάννης, 2010.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κάθε κοινωνία που έχει όραμα για το μέλλον και έχει στόχο να προοδεύσει και να εξελιχθεί οφείλει να δώσει βάρος στην εκπαίδευση των νέων. Μέχρι τώρα, το ενδιαφέρον εστιάζεται δυστυχώς κυρίως στο περιεχόμενο των γνώσεων και δευτερευόντως στις συνθήκες διάδοσης τους. Μία από τις βασικότερες συνθήκες είναι η ακουστική. Η ακουστική συμπεριφορά των σχολικών αιθουσών επιδρά στις μαθησιακές επιδόσεις, στην κοινωνικοποίηση και στην ψυχική υγεία μαθητών και καθηγητών. Παρά τη σπουδαιότητα του αντικειμένου αυτού η μελέτη του στη χώρα μας είναι αρκετά φτωχή, ενώ δεν υπάρχει σαφές νομοθετικό πλαίσιο να την ορίζει.

Στη μελέτη αυτή επιλέξαμε δώδεκα αίθουσες που αποτελούν ένα αρκετά μικρό αλλά όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικό δείγμα αιθουσών στα σχολεία της Αθήνας. Οι αίθουσες αυτές αναπαραστάθηκαν σε πρόγραμμα ακουστικής προσομοίωσης (Odeon) ενώ πραγματοποιήθηκαν μια σειρά μετρήσεων με κατάλληλα ηχόμετρα. Παράλληλα, ηχογραφήθηκαν ηχητικά δεδομένα στο περιβάλλον των αιθουσών αυτών τα οποία τα επεξεργάστηκαν με το Matlab. Μέσω της συγκομιδής, επεξεργασίας και ανάλυσης των παραπάνω δεδομένων αξιολογήθηκε η ακουστική συμπεριφορά των αιθουσών και οδηγηθήκαμε σε γενικά συμπεράσματα και παρατηρήσεις. Συν τοις άλλοις, εξετάστηκαν σε θεωρητικό επίπεδο οι ακουστικές παράμετροι που επηρεάζουν την εκπαιδευτική διαδικασία και έγινε αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο που ορίζει την ακουστική στα σχολεία στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες. Στο τέλος έγιναν πρακτικές προτάσεις με στόχο τη βελτίωση των ακουστικών προδιαγραφών των αιθουσών.

Λέξεις κλειδιά: αίθουσα, θόρυβος, καταληπτότητα, ομιλία, σηματοθορυβικός λόγος, σχολεία, χρόνος αντήχησης

ABSTRACT

Each society which embraces progress and evolution as vision should focus on education. Until now, the main concern of the state lies to the content of knowledge, whereas the conditions of its diffusion are being devaluated. A major factor that has an impact on the quality of education, is acoustics. The acoustics of the classrooms affect not only the performance, but the socialization and the psychic health of both teachers and students. Despite its significance on the quality of education, there are only a few references and researches on classroom acoustics in Greece. Moreover, the existing legal framework does not describe clearly the parameters that should be taken into consideration and their mandatory values.

In order to accomplish this thesis, twelve classrooms have been chosen. Despite that small statistical sample, these classrooms are considered to be a representative sample of classrooms in Athens. These classrooms have been simulated using a software of acoustical simulation (Odeon). In parallel, acoustic data have been recorded with the use of sound level meters. Moreover, samples have been recorded with a laptop and have been analyzed through Matlab. The acoustical behavior of the classrooms has been evaluated through the collection, editing and analysis of the above mentioned information, leading to several general conclusions. Moreover, theoretical investigation of the acoustical parameters that affect the educational procedure has taken place and reference has been made to the legislation that defines the acoustical parameters in classrooms, in several countries. Finally, practical and technical suggestions have been made aiming to improve the acoustical standards of the classrooms.

Keywords: *classroom, comprehensibleness, noise, reverberation time, schools, sound noise ratio, speech*

Ευχαριστίες...

Θα ήθελα να ευχαριστήσω

τις διευθύνσεις των σχολείων «Αθλητικό και 9^ο Γυμνάσιο Περιστερίου», «5^ο Γυμνάσιο Αθηνών», «4^ο ΣΕΚ Αθηνών», «ΕΠΑ.Λ. Αγίας Παρασκευής» και «Α' Ενιαίο Αρσάκειο Λύκειο Ψυχικού» την ακαδημαϊκή χρονιά 2009-2010 καθώς και τους εκπαιδευτικούς και μαθητές για τη συνεργασία τους,

την υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ, Ουρανία Βάγια, για τη βοήθεια της,

τον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ, Τηλέμαχο Καρατζά, για το ενδιαφέρον του, τη συνεχή επίβλεψή του και τη συνδρομή του τόσο στο θεωρητικό όσο και στο πρακτικό σκέλος καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης,

τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Καμπουράκη, για το ενδιαφέρον, τις ιδέες, την καθοδήγησή του, την παροχή βιβλιογραφίας καθώς και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε.

Αφιερώσεις...

Η διπλωματική αυτή εργασία γράφτηκε σε μια χρονιά η οποία είναι ένα κρίσιμο ιστορικό σταυροδρόμι για την εξέλιξη της χώρας. Ως εκ τούτου, δεν μπορεί παρά να μην αφιερωθεί σε εκείνους που παλεύουν ώστε στο ξεπέρασμα της κρίσης νικητές να βγουν οι πολλοί. Κυρίως αφιερώνεται στο φοιτητικό μου σύλλογο, ο οποίος πάντα ήταν παρόν με αξιοπρέπεια και ήθος στις διεκδικήσεις μιας ολόκληρης γενιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ10

- Βασικά Ακουστικά μεγέθη.....10
- Αρχιτεκτονική ακουστική.....20
- Ακουστική σχολικών αιθουσών.....21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ25

- Ελλάδα.....25
- Αγγλία28
- ΗΠΑ33
- Γερμανία.....34
- Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας.....35
- Γενικές προτεινόμενες τιμές36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΘΟΥΣΩΝ56

- Α ΕΝΙΑΙΟ ΑΡΣΑΚΕΙΟ ΛΥΚΕΙΟ ΨΥΧΙΚΟΥ56
 - Ββ57
 - Βγ68
 - Γ779
- 9^ο & ΑΘΛΗΤΙΚΟ ΓΥΜΝΑΣΙΟ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ91
 - Γαλλικών92
 - Α5103
 - Γ2115

• ΕΠΑΛ ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	127
• Διδασκαλίας	128
• Πληροφορικής	137
• 4 ^ο ΣΕΚ ΑΘΗΝΩΝ	147
• Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων	148
• Πληροφορικής	160
• 5 ^ο ΓΥΜΝΑΣΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	171
• Διδασκαλίας	172
• Εκδηλώσεων	181
• ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΘΕΣΗ	191

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

<u>ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΜΕ ΚΑΛΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ</u>	202
--	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

<u>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</u>	217
---	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ	219
----------------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

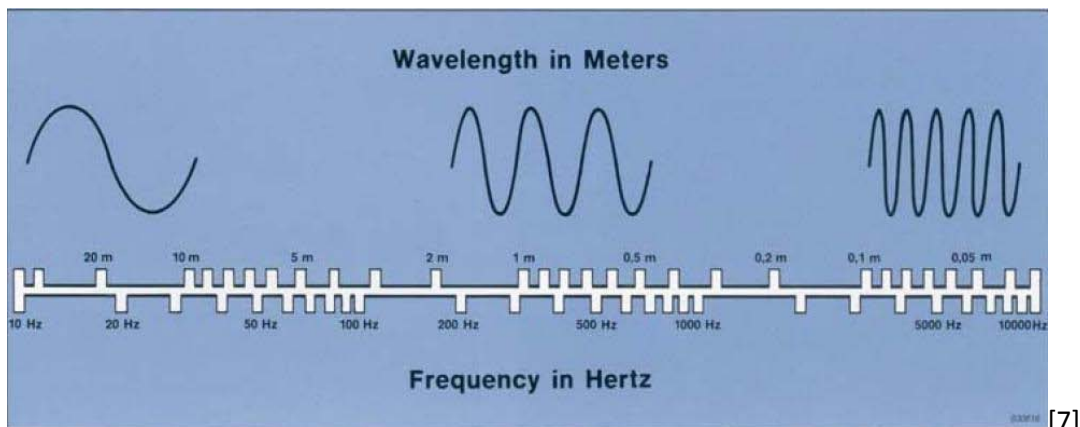
ΒΑΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Ήχος ορίζεται ως κάθε αλλαγή στην πίεση του μέσου διάδοσης (αέρας, νερό κλπ) την οποία μπορεί να ανιχνεύσει ο άνθρωπος.

Ο αριθμός των αλλαγών των πιέσεων που υφίστανται σε ένα δευτερόλεπτο, ονομάζεται **συχνότητα** (frequency) και μετριέται σε Hz. Η συχνότητα είναι το μέγεθος το οποίο προσδιορίζει τον τόνο του κάθε ήχου, δηλαδή πόσο μπάσος (χαμηλές συχνότητες) ή πόσο ψηλός είναι (υψηλές συχνότητες). Ο άνθρωπος μπορεί να διακρίνει ένα εύρος από συχνότητες, περίπου μεταξύ 20Hz και 20kHz.

Σε κάθε μέσο διάδοσης τα ηχητικά κύματα έχουν σταθερή ταχύτητα. Στον αέρα η ταχύτητα αυτή είναι περίπου 340m/sec. Από την κυματική θεωρία γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα ενός κύματος είναι το γινόμενο της συχνότητας επί το μήκος κύματος. Επομένως,

$$\text{μήκος κύματος} = \frac{\text{ταχύτητα του ήχου}}{\text{συχνότητα}}.$$

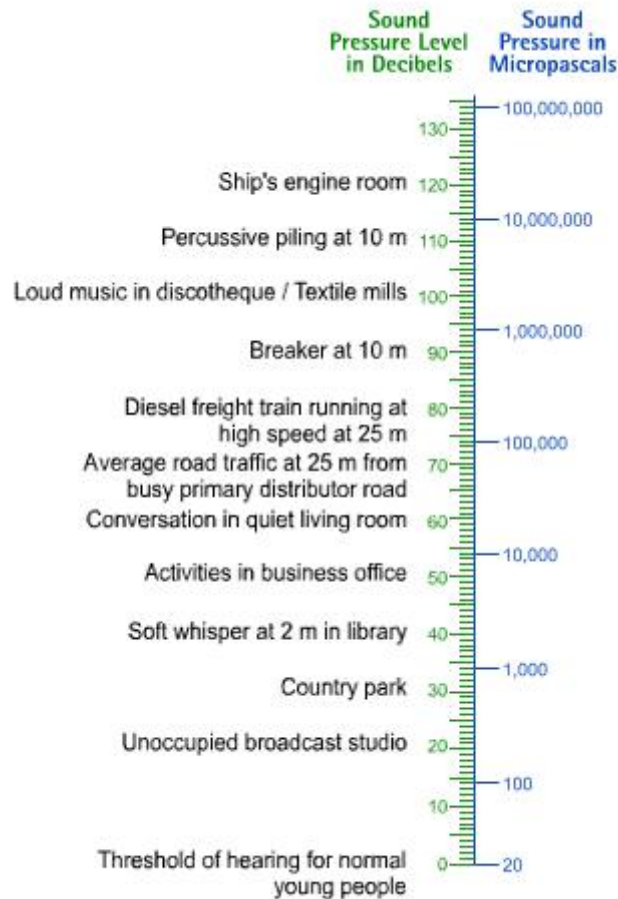


Οι ήχοι οι οποίοι αποτελούνται από μία μόνο συχνότητα ονομάζονται μονοσυχνωτικοί (pure tone). Στην πραγματικότητα, στην φύση σπάνια συναντιούνται τέτοιοι ήχοι και οι περισσότεροι αποτελούνται από τη σύνθεση πολλών κυμάτων με διαφορετική συχνότητα, παράγοντας ένα παραμορφωμένο ημιτονικό σήμα.

Ο βαθμός της αλλαγής της ακουστικής πίεσης, ο οποίος φαίνεται από το πλάτος του κύματος, προσδιορίζει τη **στάθμη ακουστικής πίεσης** (SPL → sound pressure level, συμβολίζει και ως L_p). Η ανθρώπινη αντίληψη της έντασης του ήχου με την ακουστική πίεση δεν είναι γραμμική, δηλαδή διπλασιασμός της ακουστικής πίεσης δε συνεπάγεται ότι ο άνθρωπος θα ακούσει ήχο διπλάσιας έντασης. Επομένως, αν μετρούσαμε την ένταση σε Pascal δε θα είχαμε εικόνα για την ένταση του ήχου που αντιλαμβανόμαστε. Γι αυτό το λόγο επιλέχθηκε μια λογαριθμική κλίμακα, η οποία εκφράζει τον ήχο σε **decibel** (dB). Τα dB είναι καθαρός αριθμός. Ορίζουμε ως πίεση αναφοράς το κατώφλι πίεσης κάτω από το

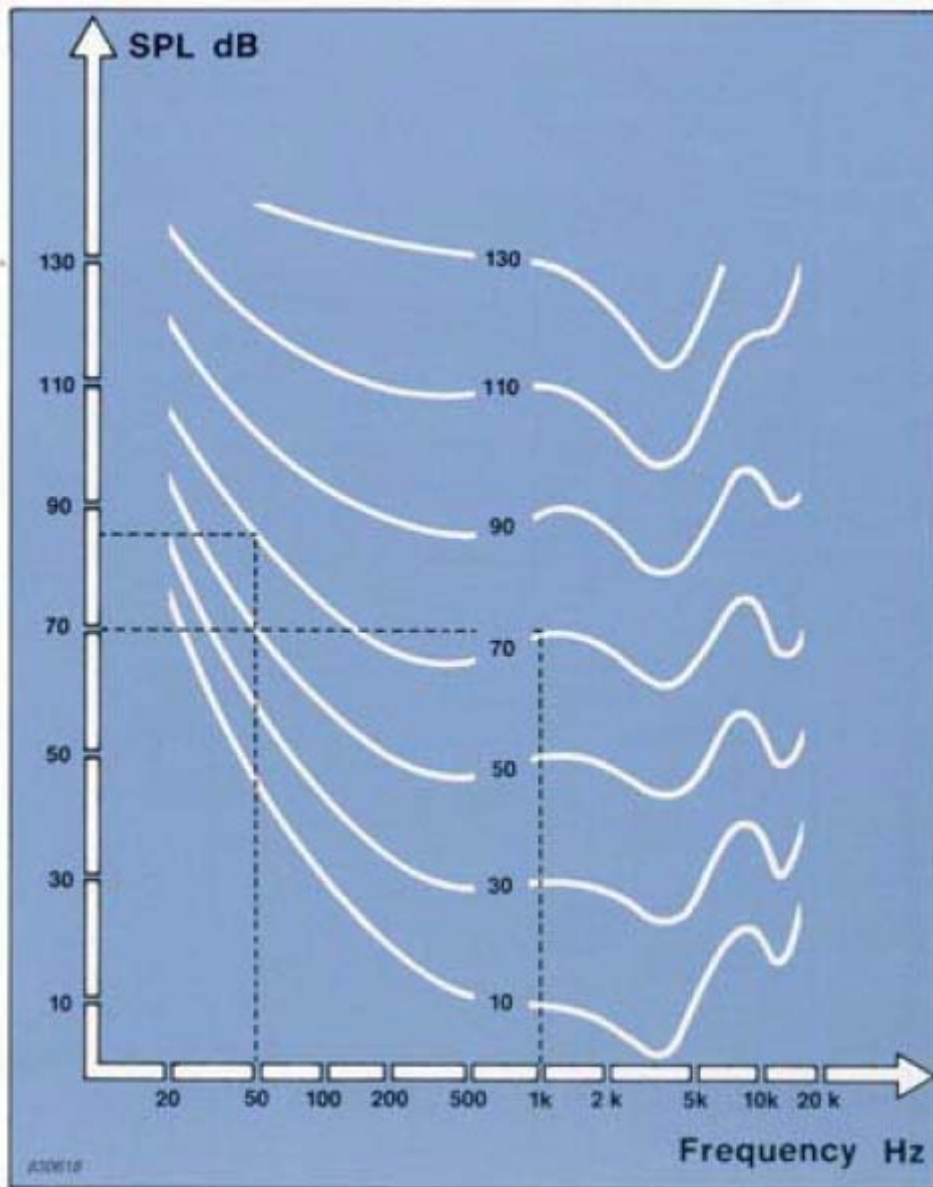
οποίο δεν ακούει ο άνθρωπος ($P_{ref}=20\mu Pa$). Η ένταση του ήχου σε dB που αντιστοιχεί σε ακουστική πίεση P προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$L_p(dB) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$$

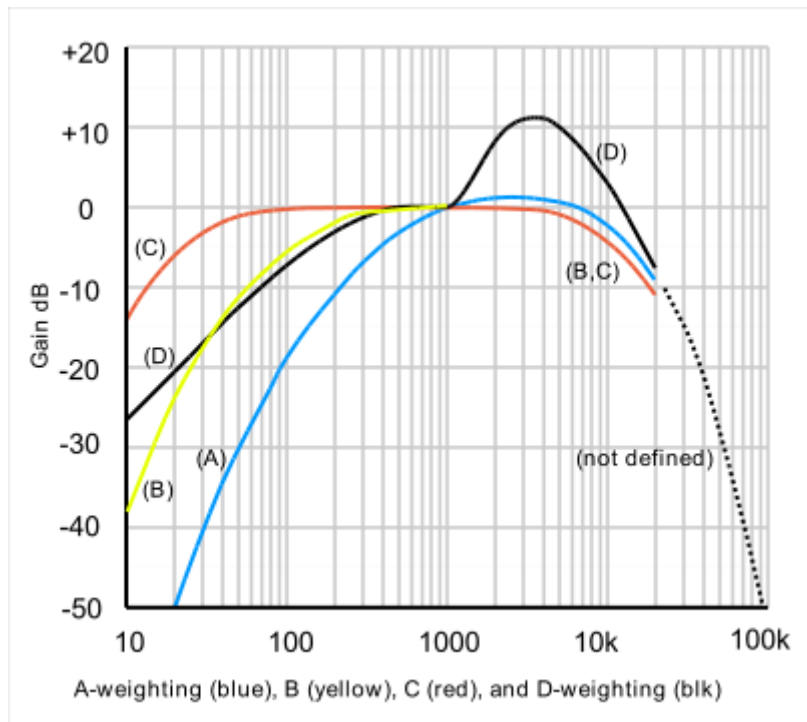


Σχέση μεταξύ Pascal και dB

Η υποκειμενική αντίληψη της έντασης του ήχου εξαρτάται από μια σειρά από παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι η συχνότητα. Ο άνθρωπος παρουσιάζει διαφορετική ευαισθησία όσον αφορά την ένταση του ήχου. Παρακάτω, παρουσιάζεται ένα διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι καμπύλες που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την ίδια ένταση ήχου ανά συχνότητα [7].



Για τον λόγο αυτό έχουν οριστεί διεθνώς μια σειρά από φίλτρα τα οποία προσομοιάζουν την υποκειμενική αντίληψη του ήχου, τα **A, B, C και D φίλτρα**. Η A-σταθμισμένη ηχοστάθμη προσαρμόζει τις τιμές των dB αναφορικά με την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού σε κάθε ζώνη συχνοτήτων και χρησιμοποιείται ευρέως.



A, B, C και D weightings

Η πιο διαδεδομένη είναι η **A ηχοστάθμη** γιατί προσομοιάζει καλύτερη στην υποκειμενική αντίληψη του ανθρώπου για την ένταση του ήχου. Όταν η ένταση ενός ήχου έχει φιλτραριστεί από A συνάρτηση βάρους η τιμή αναφέρεται ως dBA. Ο άνθρωπος έχει μέγιστη ευαισθησία στα 2.500 με 3000Hz, ενώ ελάχιστη στις χαμηλές συχνότητες. Ο τύπος που ορίζει τη διόρθωση που πρέπει να υποστεί το χωρίς ζύγισμα dB είναι:

$$W_A = 10 \cdot \log \left[\frac{1.562339 \cdot f^4}{(f^2 + 107.65265^2) \cdot (f^2 + 737.86223^2)} \right] + 10 \cdot \log \left[\frac{2.24288 \cdot 10^6 \cdot f^4}{(f^2 + 20.598997^2) \cdot (f^2 + 12194.22^2)} \right]$$

Συνοπτικά, οι τιμές αυτές ανά συχνότητα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Frequency Hz	A weighting dB	Frequency Hz	A weighting dB
20	-50,5	800	-0,8
25	-44,7	1000	0
31,5	-39,4	1250	0,6
40	-34,6	1600	1
50	-30,2	2000	1,2
63	-26,2	2500	1,2
80	-22,5	6150	1,2
100	-19,1	4000	1
125	-16,1	5000	0,5
160	-13,1	6300	-0,1
200	-10,9	8000	-1,1
250	-8,6	10000	-2,5
345	-6,6	12500	-4,3
400	-4,8	16000	-6,6
500	-3,2	20000	-9,3
600	-1,9		

Ο λόγος που οι B και C συναρτήσεις βάρους δε χρησιμοποιούνται τόσο διαδεδομένα είναι επειδή δε συμβαδίζουν με τα υποκειμενικά τεστ. Ο λόγος είναι ότι για την κατάστρωση των εξισώσεων που τα ορίζουν έχουν χρησιμοποιηθεί μονοσυχνωτικοί θόρυβοι, οι οποίοι όμως στη φύση δε συναντιούνται.

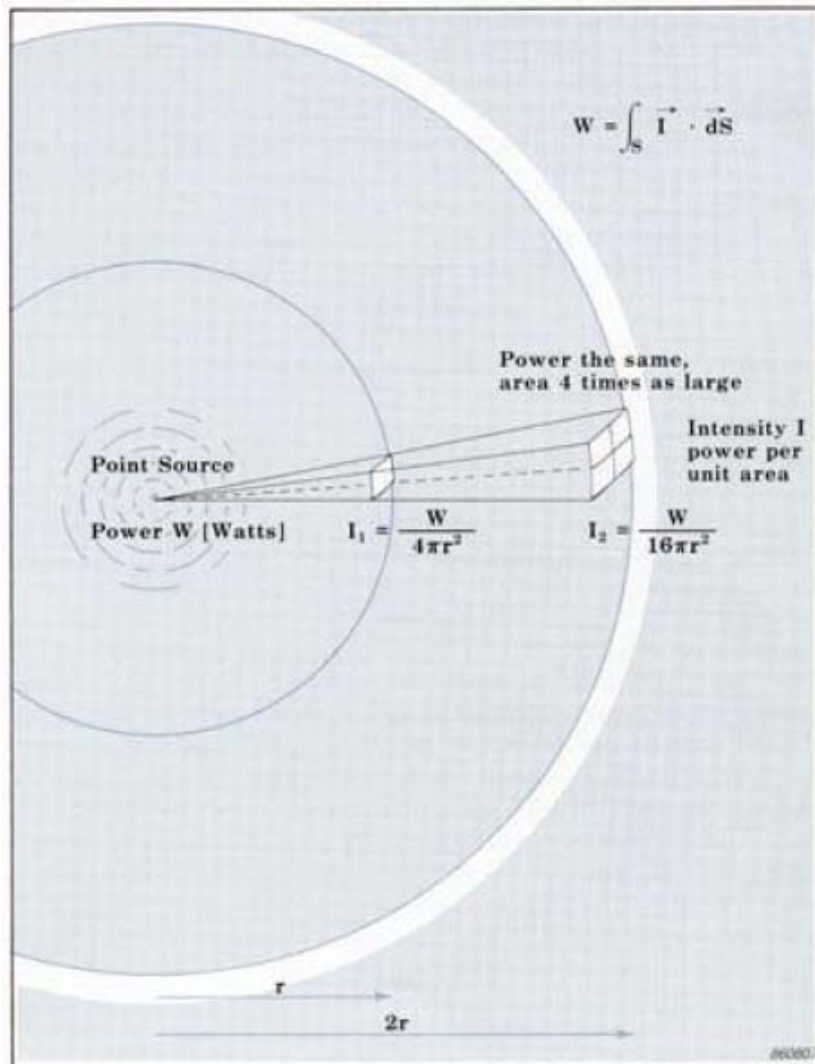
Οι συνέπειες της έκθεσης του ανθρώπου στον ήχο, ψυχοακουστικές και βιολογικές, δεν είναι μόνο συνάρτηση της έντασης του ήχου αλλά και της διάρκειας της έκθεσης. Επειδή η ένταση του ήχου, στις περισσότερες των περιπτώσεων ποικίλει με το χρόνο, έχει οριστεί το **Equivalent Continuous Sound level (L_{eq})**. Το μέγεθος αυτό είναι σταθερό με το χρόνο και έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με το κανονικό σήμα το οποίο διαφοροποιείται με το χρόνο, επομένως προκαλεί τις ίδιες συνέπειες με το κανονικό σήμα. Πολλές φορές το μέγεθος αυτό καταγράφεται ως $L_{Aeq,T}$, όπου το "A" προσδιορίζει το A weighting ενώ το "T" τον χρόνο μέτρησης.

Η ένταση του ήχου που εμείς αντιλαμβανόμαστε εξαρτάται από την απόσταση από την πηγή, τα ακουστικά χαρακτηριστικά του χώρου και του μέσου διάδοσης και από την ίδια την πηγή. Το μέγεθος το οποίο ορίζει την ικανότητα της πηγής να προκαλεί αλλαγή στην πίεση του μέσου διάδοσης, επί της ουσίας την ισχύ της ακουστικής πηγής, ονομάζεται **ακουστική ισχύς**. Το επίπεδο της ακουστικής ισχύος συμβολίζεται ως L_W . Ενώ η ακουστική πίεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, διαφορετικούς σε κάθε μέσο διάδοσης (εξαρτάται από την υγρασία, τη θερμοκρασία, την πυκνότητα του μέσου διάδοσης, το μέγεθος του χώρου, την απορροφητικότητα), η ακουστική ισχύς είναι ένα αντικειμενικό μέγεθος που ορίζει την πηγή. Όπως ένα θερμαντικό σώμα δε θερμαίνει εξίσου κάθε χώρο και κάθε στιγμή, όμως καταναλώνει πάντα την ίδια ηλεκτρική ισχύ, έτσι, κατ' αντιστοιχία συμβαίνει και με τις ηχητικές πηγές. Μετριέται και αυτή σε dB βάση του τύπου:

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

Η ακουστική ισχύς είναι η ακουστική ενέργεια που παράγει η πηγή προς τον χρόνο που διαρκεί η παραγωγή αυτή. **Ακουστική ένταση** είναι η ποσότητα της ενέργειας που διαπερνά μία μονάδα επιφάνειας. Το επίπεδο της ακουστικής έντασης συμβολίζεται ως L_I .

Η σχέση που ορίζει ισχύ (W), ένταση (I) και επιφάνεια (S) είναι $W = \int_S \vec{I} \cdot \vec{dS}$. Στο SI η μονάδα για την επιφάνεια είναι το m^2 , επομένως η μονάδα μέτρησης για την ακουστική ένταση είναι W/m^2 . Η ένταση είναι διανυσματικό μέγεθος, το οποίο χαρακτηρίζεται από την κατεύθυνση που κατευθύνεται η ροή ενέργειας και από την ένταση της. Μετριέται και αυτή σε dB βάση του τύπου: $L_I(dB) = 10 \cdot \log\left(I/I_{ref}\right)$, με $I_{ref}=1\text{pW}/m^2$.



Σημειακή πηγή, της οποίας ο ήχος διαδίδεται ακτινικά[9]

Τις περισσότερες φορές η ένταση του ήχου παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση. Είναι πολύ χρήσιμο να κατατάξουμε τον ήχο που εξετάζουμε σχετικά με το μέγιστο επίπεδο του ήχου που υφίσταται κατά κάποιο ποσοστό του χρόνου (n%). Έτσι, ορίζεται **ποσοστομοριακή στάθμη (percentile level)**, L_n . Τα πιο χρήσιμα μεγέθη είναι το L_1 (αντιπροσωπεύει τις μέγιστες τιμές που καταγράφονται), το L_{10} (χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ανώτερου επιπέδου θορύβου, όπως την κίνηση από τον δρόμο), το L_{50} (απεικονίζει τη μέση τιμή, προσοχή, όχι το μέσο όρο), καθώς και τα L_{90} και L_{95} (απεικονίζουν το **θόρυβο βάθους**, ο οποίος είναι ο ανεπιθύμητος θόρυβος στην αίθουσα και συνυπάρχει με τον επιθυμητό ήχο της πηγής).

Όταν σε έναν χώρο υπάρχει θόρυβος (Noise), για να ακουστεί ευκρινώς κάποιος επιθυμητός ήχος (Sound), η στάθμη του ήχου πρέπει να υπερβαίνει τη στάθμη του θορύβου. Γι αυτό το λόγο ορίζουμε το **σηματοθορυβικό λόγο (S/N ή SNR)**. Όταν μελετούμε τα μεγέθη αυτά χωρίς λογαριθμική αναπροσαρμογή, δηλαδή σε Pascal, παίρνουμε το λόγο τους. Αντίθετα, όταν χρησιμοποιούμε decibel, για να προκύψει η τιμή του σηματοθορυβικού λόγου αφαιρούμε τις δύο τιμές.

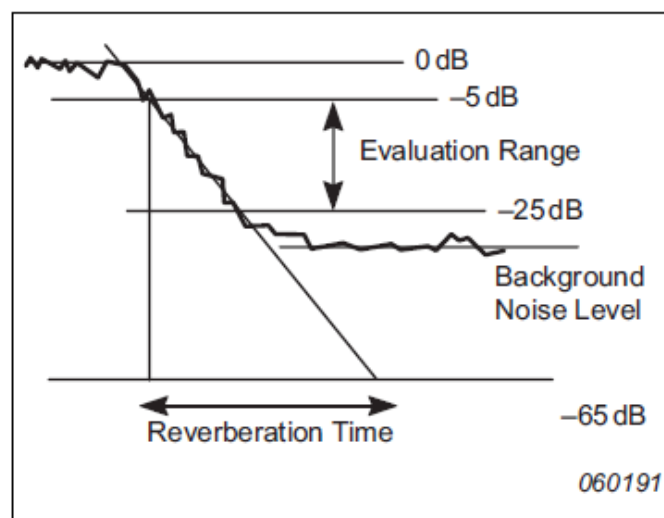
SNR (dB)	Αντιληπτότητα ομιλίας
<-6	Ανεπαρκής
-6 έως -3	Μη ικανοποιητική
-3 έως 0	Επαρκής
0 έως 6	Ικανοποιητική
6 έως 12	Καλή
12 έως 18	Πολύ καλή
>18	Εξαιρετική

Αντιληπτότητα ομιλίας για διάφορους λόγους σήματος προς θόρυβο, σύμφωνα με τον κανονισμό ISO 9921-1.

Χρόνος αντήχησης

Σε ένα δωμάτιο ή σε έναν χώρο που κλείνει σε κάποιες διαστάσεις (πχ αρχαίο θέατρο) όταν μια πηγή παράγει έναν ήχο, ο ήχος αυτός ταξιδεύει στον χώρο. Όταν προσκρούσει σε κάποια επιφάνεια ένα μέρος του ήχου ανακλάται, ένα άλλο απορροφάται και ένα άλλο διαχέεται. Λόγω του όγκου του χώρου, ο ήχος έχει χώρο να ταξιδέψει και λόγω της ανάκλασης συνεχίζει να υπάρχει στον κλειστό αυτό χώρο. Όμως, επειδή μέρος του απορροφάται σταδιακά ο ήχος σβήνει. Η παρουσία του ήχου για ένα χρονικό διάστημα σε έναν χώρο, μετά το μηδενισμό του εκπεμπόμενου ήχου από την πηγή, ονομάζεται αντήχηση. Ο χρόνος που κάνει ο ήχος να περιοριστεί κατά 60dB ονομάζεται χρόνος αντήχησης (RT ή RT60). Όταν ο χρόνος αντήχησης είναι μεγάλος, ο χώρος χαρακτηρίζεται ακουστικά ζεστός και ζωντανός, αντίθετα, όταν είναι μικρός, ξερός και νεκρός. Μεγάλο χρόνο αντήχησης χρειαζόμαστε σε χώρους που παίζεται μουσική (μουσικές σκηνές, όπερες, κλπ) ενώ μικρό σε χώρους που είναι σχεδιασμένοι για ομιλία (πχ σχολικές αίθουσες).

Για να μετρηθεί ο χρόνος αντήχησης, προκαλείται ένας δυνατός κρότος (πχ ένα μπαλόνι που σκάει ή ένα ειδικό πιστόλι) και μετρείται από ένα ηχώμετρο κάθε στιγμή η ακουστική ένταση. Από την καταγραφή προκύπτει μια καμπύλη όπως παρακάτω.



Καμπύλη υπολογισμού χρόνου αντήχησης[8]

Όταν σβήσει τελείως ο ήχος που παράγεται από την εξωτερική διέγερση, το ηχόμετρο μετρά τον θόρυβο που έτσι και αλλιώς υπάρχει στην αίθουσα (θόρυβος βάθους). Συνήθως, ο θόρυβος βάθους είναι αρκετά υψηλός και δεν αρκούν τα 60dB διαφοράς. Επομένως, για πρακτικούς λόγους μετριοούνται οι χρόνοι κατά τους οποίους ο ήχος πέφτει 10dB, 20dB και 30dB (EDT, T20 και T30 αντίστοιχα). Με γνωστούς αυτούς τους χρόνους γίνεται αναγωγή στο RT60. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η αναγωγή αυτή γίνεται αυτόματα από το ηχόμετρο που χρησιμοποιήσαμε (Bruel&Kjaer, 2250). Επομένως, όταν στους πίνακες αναφέρονται τα EDT, T20 και T30 δεν είναι τα μεγέθη που ορίσαμε παραπάνω, αλλά το RT60, του οποίου η αναγωγή έχει γίνει με βάση τα EDT, T20 και T30. Για να πάρουμε το τελικό νούμερο παίρνουμε τον μέσο όρο αυτών. [8]

Για περισσότερο εμπειριστατωμένη μελέτη έγινε μέτρηση του χρόνου αντήχησης ανά συχνότητα. Όταν αναφέρουμε τον χρόνο αντήχησης, αν δεν προσδιορίζουμε τη συχνότητα που αναφερόμαστε, θα εννοούνται οι μεσαίες συχνότητες (500Hz – 1kHz).

Το πιο γνωστό μοντέλο υπολογισμού του χρόνου αντήχησης έχει προταθεί από τον **Sabine**, σύμφωνα με το οποίο ο χρόνος αντήχησης είναι:

$$RT = \frac{0.16 \cdot V}{A}$$

V είναι ο όγκος του δωματίου σε m³ και $A = \sum_i a_i \cdot S_i$, όπου a_i ο συντελεστής απορροφητικότητας κάθε υλικού και S_i το εμβαδόν κάθε επιφάνειας που αντιστοιχεί κάθε συντελεστής a_i .

Material	Sound absorption coefficient, α				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Fair-faced concrete or plastered masonry	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Fair-faced brick	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Painted concrete block	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Windows, glass façade	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02
Doors (timber)	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08
Glazed tile/marble	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Hard floor coverings (eg linoleum, parquet) on concrete floor	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06
Soft floor coverings (eg carpet) on concrete floor	0.03	0.06	0.15	0.30	0.40
Suspended plaster or plasterboard ceiling (with large airspace behind)	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05

Ο συντελεστής ηχητικής απορροφητικότητας (α) που αντιστοιχεί σε διάφορα υλικά, διαδεδομένα στις σχολικές αίθουσες

Ηχομόνωση

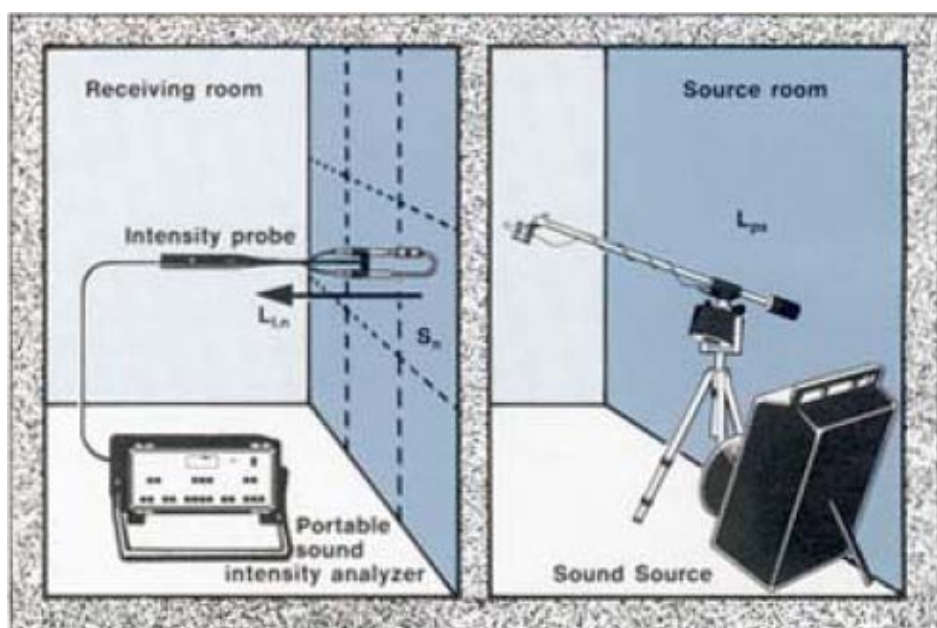
Ο ήχος σε έναν χώρο προκαλεί δονήσεις στο πάτωμα, στην οροφή και στους τοίχους. Οι δονήσεις αυτές παράγουν εκ νέου ήχο και λειτουργούν ως ηχητικές πηγές για τους χώρους που γειτνιάζουν. Ανάλογα με την κατασκευή, διαφορετικά ποσά ενέργειας χάνονται κατά τη μετάδοση αυτή. Με τον τρόπο αυτό έχουμε ηχομόνωση αερόφερτου ήχου.

Όταν θέλουμε να μετρήσουμε την ηχομόνωση που υφίσταται ένα δωμάτιο παραλήπτης από τον ήχο που παράγεται από ένα δωμάτιο πηγή, χωρίζουμε τους χώρους των δωματίων σε τμήματα, μετρούμε την ένταση του ήχου σε κάθε τμήμα και βγάζουμε το μέσο όρο των μετρήσεων αυτών (L_1 στο δωμάτιο πηγή και L_2 στο δωμάτιο παραλήπτη). Η διαφορά $D=L_1-L_2$ (dB) απεικονίζει το επίπεδο διαφοράς [9].

Λόγω των ξεχωριστών ακουστικών χαρακτηριστικών κάθε δωματίου παραλήπτη, ο ήχος που «υπερνικά» την ηχομόνωση και φτάνει μέσα θα υποστεί διαφορετικές ανακλάσεις και απορροφήσεις ανάλογα με το δωμάτιο, άρα θα ενισχυθεί ή θα αποσβεστεί κάθε φορά διαφορετικά. Επομένως, η τιμή L_2 δεν είναι σταθερή. Εν πολλοίς, η διαφορετική αντιμετώπιση του ήχου εξαρτάται από τον χρόνο αντήχησης. Επομένως, με έναν χρόνο αντήχησης αναφοράς (T_0) ορίζεται το **κανονικοποιημένο επίπεδο διαφοράς $D_{n,T}$** , για δωμάτιο με χρόνο αντήχησης T , όπου $D_{n,T} = D + 10 \log(T/T_0)$. [11]

Για τον προσδιορισμό της ικανότητας ηχομόνωσης μιας επιφάνειας εργαζόμαστε εργαστηριακά. Χωρίζουμε την επιφάνεια σε κομμάτια, από τη μια πλευρά της επιφάνειας έχουμε μια πηγή και από την άλλη μικρόφωνο καταγραφής. Μετρούμε την ένταση του ήχου σε κάθε κομμάτι μπρος και πίσω από την επιφάνεια, υπολογίζουμε το μέσο όρο (L_1 στην πλευρά της πηγής και L_2 στην πλευρά της καταγραφής). Η διαφορά $R=L_1-L_2$ (dB) απεικονίζει το **δείκτη ηχομείωσης, R**.

Λόγω των πλευρικών διαρροών, οι μετρήσεις που παίρνουμε παρουσιάζουν ποσοστά σφάλματος. Γι αυτό το λόγο, ορίζουμε το μέγεθος του **φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης, R'**.



[6]

Οι περισσότερες κατασκευές παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα ηχομείωσης στις μεσαίες και ψηλές συχνότητες (όπως η ομιλία), παρά στις χαμηλές (τα μπάσα στη μουσική). Για να συνοπολογιστεί και αυτή η παράμετρος έχουν οριστεί κάποιες βαθμονομημένες καμπύλες από τα 100Hz έως τα 3.15kHz και εφαρμόζονται σε όλα τα μεγέθη που περιγράφηκαν παραπάνω και αφορούν την ηχομόνωση. Έτσι, έχουμε τα σταθμισμένα μεγέθη $D_w, D_{nT,w}, R_w, R_w'$. [11]

Όσον αφορά την ηχομόνωση από κτυπογενείς θορύβους, μια ηλεκτρική διάταξη προκαλεί κτύπους στο πάτωμα, με βάση κάποια πρότυπα ISO, και στο δωμάτιο από κάτω μετριέται το επίπεδο της κτυπογενούς ακουστικής πίεσης, L_i .

Αντίστοιχα με το D, το L_i εξαρτάται και αυτό από τον χρόνο αντήχησης. Επομένως, ορίζεται το κανονικοποιημένο επίπεδο της κτυπογενούς ακουστικής πίεσης, L_{nT} για δωμάτιο με χρόνο αντήχησης T, όπου $L'_{n,T} = L_i + 10 \log(T/T_0)$.

Αντίστοιχα με την αερόφερτη ηχομόνωση, η ικανότητα ηχομόνωσης κτυπογενούς θορύβου είναι μεγαλύτερη στις υψηλές παρά στις χαμηλές συχνότητες. Συγκεκριμένες βαθμονομημένες καμπύλες από τα 100Hz έως τα 3.15kHz εφαρμόζονται στο L_i και στο $L'_{n,T}$ και προκύπτουν τα σταθμισμένα μεγέθη $L_{i,w}$ και $L'_{nT,w}$.

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

Ο κλάδος της ακουστικής στον οποίο εμπύπτει το αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η αρχιτεκτονική ακουστική και πιο συγκεκριμένα, η ακουστική κλειστών μικρών χώρων.

Η αρχιτεκτονική ακουστική είναι ο κλάδος που μελετά τη συμπεριφορά του ήχου μέσα σε αρχιτεκτονικές κατασκευές. Παρουσιάζει μεγάλο εύρος όσον αφορά το είδος της έρευνας, καθότι υπάρχει μεγάλη πληθώρα παραμέτρων που ορίζουν τον τρόπο της μελέτης και την αξιολόγησή της. Επί παραδείγματι, το αν ο χώρος είναι ανοιχτός ή κλειστός (πχ αρχαίο θέατρο και όπερα αντίστοιχα), το είδος του χώρου (αίθουσα, διάδρομος, χώρος συναθροίσεων κλπ), ο όγκος του, τα υλικά του, τα επίπεδα θορύβου στην περιοχή που είναι κτισμένος, μα κυρίως η χρηστικότητα του (αίθουσα για ομιλία, μουσική, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων κλπ). Επομένως, πρέπει σε κάθε μελέτη να γίνει προσεκτική αποτίμηση των ιδιαίτερων παραμέτρων που ορίζουν την ακουστική του χώρου και να συνυπολογισθεί, όσον αφορά την αξιολόγηση και τις προτάσεις, για ποια είδους χρήση προορίζεται ο χώρος.

Οι ακουστικολόγοι διακρίνουν τις αίθουσες σε μεγάλες και μικρές. Παρόλο που η αντίληψη όσον αφορά το μέγεθος είναι υποκειμενική, αυτό δεν ισχύει στην επιστήμη της ακουστικής. Η κατάταξη ενός χώρου σε μικρό ή μεγάλο είναι ιδιαιτέρως σημαντική, καθότι διαφορετικά είναι τα μοντέλα που μελετούν τον κάθε χώρο. Οι συχνότητες ήχου που είναι αντιληπτές από τον άνθρωπο είναι μεταξύ των 16Hz και των 20kHz. Από την κυματική θεωρία γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος (v) ισούται με γινόμενου του μήκους κύματος (λ) επί τη συχνότητα διάδοσής του (f)

$$v = \lambda \cdot f \quad (1).$$

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα είναι $v_{\text{στον αέρα}} = 340,29 \text{ m/sec}$, ενώ η μέγιστη και ελάχιστη συχνότητα που μας ενδιαφέρουν είναι αντίστοιχα $f_{\text{min}} = 16\text{Hz}$ και $f_{\text{max}} = 20\text{kHz}$. Επομένως, με εφαρμογή του τύπου (1) το μέγιστο και το ελάχιστο μήκος κύματος των ακουστών ηχητικών κυμάτων είναι $\lambda_{\text{min}} \cong 17\text{mm}$ (αντιστοιχεί στα 20kHz) και $\lambda_{\text{max}} \cong 21\text{m}$ (αντιστοιχεί στα 16Hz). «Μικροί» θεωρούνται οι χώροι των οποίων η μεγαλύτερη διάσταση είναι μικρότερη από τα 21m. Οι «μεγάλοι» χώροι ονομάζονται και χώροι Sabine. Παραδείγματα μεγάλων χώρων είναι οι ναοί, οι αίθουσες των μεγάλων μουσικής, τα θέατρα. Αντίθετα, παραδείγματα μικρών χώρων είναι οι οικιακοί χώροι και οι σχολικές αίθουσες.

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ

Ψυχοακουστικές παράμετροι

Σε ημερίδα που διοργάνωσε ο Ιατρικός Σύλλογος της Αθήνας (ΙΣΑ), με τίτλο 'Αστικός θόρυβος και οι επιδράσεις στην υγεία' αναφέρθηκε ότι «Ο θόρυβος αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα στα αστικά κέντρα, το οποίο συνδέεται άμεσα με προβλήματα ακοής, υπέρταση και υστέρηση των μαθητών στις σχολικές επιδόσεις». Η καλή ακουστική συμπεριφορά μιας σχολικής αίθουσας είναι επιτακτική και πρέπει να προβλέπεται εξ αρχής, κατά τη μελέτη σχεδιασμού του σχολείου. Η ακουστική της αίθουσας πρέπει να εξασφαλίζει την εύρυθμη επικοινωνία μεταξύ του καθηγητή και των μαθητών, των μαθητών και του καθηγητή και των μαθητών μεταξύ τους. Η καλή ακουστική συμβάλει τόσο στην εκπαιδευτική διαδικασία όσο και στην ψυχική και κλινική υγεία των καθηγητών και των μαθητών. [21] Πιο συγκεκριμένα, κάθε μαθητής, ανεξάρτητα από το που κάθεται πρέπει να μπορεί να ακούσει με ευκρίνεια όλες τις συλλαβές που αρθρώνει ο καθηγητής καθώς και με την κατάλληλη ένταση. Τα ίδια χαρακτηριστικά πρέπει να ισχύουν όταν ομιλητής είναι ο μαθητής κατά τη διάρκεια διατύπωσης ερωτήσεων ή παρουσίασης του μαθήματος ενώ ακροατές είναι οι συμμαθητές του και ο καθηγητής. Πρέπει να εξασφαλίζεται η ηχομόνωση από εξωτερικούς θορύβους και να ελαχιστοποιείται η οχλαγωγία από τον εσωτερικό θόρυβο που προέρχεται από τους μαθητές. Σε αντίθετη περίπτωση, δυσχεραίνεται η εκπαιδευτική διαδικασία καθώς ο μαθητής δυσκολεύεται να παρακολουθήσει τα λεγόμενα του καθηγητή με αποτέλεσμα να αποσπαστεί η προσοχή του. Ο ρυθμός του μαθήματος πέφτει, η όρεξη για μάθηση και διδασκαλία περιορίζεται και υπάρχει χρονοτριβή καθότι ο καθηγητής αναγκάζεται να επαναλάβει πολλές φορές τα ίδια. Επίσης, επηρεάζεται και η ψυχική υγεία μαθητών και καθηγητή, αφού η παρατεταμένη έκθεση σε θόρυβο προκαλεί νευρικότητα, θυμό και υπερκινητικότητα. Επίσης, η κακή ακουστική συμπεριφορά των σχολικών αιθουσών αναγκάζει πολλές φορές τον καθηγητή να υψώσει την ένταση της ομιλίας του για εκτεταμένο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα οι καθηγητές να παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά ασθενειών που σχετίζονται με τη φωνή σε σχέση με άλλα επαγγέλματα. Ενδεικτικά, σύμφωνα με εκτιμήσεις του Εθνικού Κέντρου Φωνής και Λόγου της Αιόβα (ΗΠΑ), οι περισσότεροι ασθενείς με φωνητικά προβλήματα είναι οι δάσκαλοι και καθηγητές. Οι καθηγητές στις ΗΠΑ οι οποίοι παρουσιάζουν διαταραχές φωνής εκτιμώνται σε 3,1 εκατομμύρια. [31] Ένα άλλο σύμπτωμα κλινικών επιπτώσεων της κακής ακουστικής των αιθουσών είναι οι συχνοί πονοκέφαλοι.

Παράλληλα, πέρα από τους μαθητές στους οποίους έχουν διαγνωστεί δυσλειτουργίες όσον αφορά την ακοή και ενδεχομένως φοιτούν σε ειδικά διαμορφωμένα σχολεία, στατιστικά, ένας στους 30 μαθητές, περίπου το 3%, έχουν πρόβλημα στην ακοή, τις περισσότερες φορές εν αγνοία των ίδιων μαθητών και των γονιών τους. [25] Με βάση τα συγκεκριμένα στατιστικά, αναμένεται σε κάθε αίθουσα να υπάρχει τουλάχιστον ένας μαθητής με ακουστικές δυσκολίες. Σε έρευνα τους σε μαθητές ηλικίας 7 έως 12 ετών, με ή χωρίς προβλήματα ακοής, οι Geffner Lucker και Koch (1996) διαπίστωσαν ότι τα παιδιά με προβλήματα ακοής ήταν κατά κανόνα και υπερκινητικά. [17] Όσον αφορά τις μαθησιακές δυνατότητες, παρατηρήθηκε ότι σε ήσυχο περιβάλλον τόσο οι μαθητές με προβλήματα ακοής όσο και χωρίς παρουσίαζαν τις ίδιες επιδόσεις. Αντίθετα, σε θορυβώδη περιβάλλοντα, οι πρώτοι είχαν σαφώς μειωμένη διακριτική ικανότητα των λέξεων.

Επομένως, η πολιτεία πρέπει να μεριμνήσει ώστε οι αίθουσες να έχουν την καλύτερη δυνατή ακουστική και να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές τιμές των ακουστικών παραμέτρων ώστε κανείς μαθητής να μην έχει πρόβλημα.

Μια άλλη παράμετρος η οποία επιτάσσει τη δημιουργία αιθουσών με όσο τον δυνατόν καλύτερη ακουστική είναι η παρουσία πολλών μαθητών στα ελληνικά σχολεία οι οποίοι δεν έχουν ως μητρική τους γλώσσα την ελληνική. Η κατανόηση της ομιλίας είναι σε μεγάλο βαθμό εμπειρική. Ο ακροατής δύναται να καταλάβει τα λεγόμενα του ομιλητή από τα συμφραζόμενα και τις επιμέρους λέξεις από μεμονωμένες συλλαβές. Αυτό όμως προϋποθέτει άριστη γνώση της γλώσσας. Για τους αλλοδαπούς μαθητές, όπως και για έλληνες μαθητές του δημοτικού, αυτή η προϋπόθεση δεν ισχύει. Επομένως, η ακουστική της αίθουσας πρέπει να εξασφαλίζει ότι κάθε συλλαβή θα ακούγεται δυνατά και ευκρινώς.

Ο θόρυβος δεν επηρεάζει μόνο τη μάθηση, αλλά έχει επιπτώσεις και στην κοινωνική συμπεριφορά των παιδιών, όπως φαίνεται και σε έκθεση του Evans (1998). Στην έκθεση αυτή αναφέρεται ότι η ένταση στην οποία υποβάλλονται οι μαθητές λόγω θορύβου, τους αποτρέπει από το να κινητοποιηθούν για την εκτέλεση των μαθησιακών τους υποχρεώσεων. Επίσης, όσο αυτές οι υποχρεώσεις δυσκολεύουν, τόσο οι μαθητές έχουν την τάση να εγκαταλείπουν την προσπάθεια. Αυτή η πραγματικότητα οδηγεί πολλές φορές τους μαθητές να αισθάνονται αβοήθητοι και ότι η μαθησιακή διαδικασία είναι αδιέξοδη, με αποτέλεσμα να εγκαταλείπουν. [14],[15]

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΜΕΣΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Σε γενικές γραμμές οι ίδιοι κανόνες διέπουν την ακουστική συμπεριφορά των αιθουσών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση σε σχέση με τις άλλες βαθμίδες. Πρέπει να γίνουν όμως κάποιες ποιοτικές παρατηρήσεις:

Το μέσο ύψος των αυτιών των καθιστών μαθητών της δευτεροβάθμιας είναι 1,2 m (0,8 στο νηπιαγωγείο και 1,0 στο δημοτικό)

Η θεμελιώδης συχνότητα του ήχου που παράγεται από τον λάρυγγα είναι στους έφηβους και ενήλικους άντρες γύρω στα 120-150 Hz, ενώ στις γυναίκες 210-225 Hz. Αντίθετα, στην παιδική ηλικία είναι 265Hz και ορισμένες φορές πάνω από 300Hz, τόσο στα αγόρια όσο και στα κορίτσια.

Η νομοθεσία προβλέπει για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση μέγιστο αριθμό 30 μαθητών ανά τάξη, ενώ για τα δημοτικά 25. Επομένως, στη μέση εκπαίδευση υπάρχει μεγαλύτερος συνωστισμός ανθρώπων και μάλιστα με πιο μπάσα και δυνατή φωνή. Παρόλ' αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι στα Λύκεια, λόγω της επιλογής κατευθύνσεων, στην πράξη ο αριθμός των μαθητών ανά τάξη είναι πολύ μικρότερος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα είτε αίθουσες που έχουν σχεδιαστεί για περισσότερα από 30 άτομα να καταλαμβάνονται από μόλις 15, είτε οι μαθητές να τοποθετούνται σε πολύ μικρές αίθουσες. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν συνέπειες όσον αφορά την ακουστική.

Η κατανόηση της ομιλίας είναι σε μεγάλο βαθμό εμπειρική διαδικασία και εξαρτάται και από το γλωσσικό επίπεδο του ακροατή. Στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση οι μαθητές δεν έχουν το γλωσσικό υπόβαθρο, την εμπειρία και τη βιωματική γνώση της γλώσσας ώστε να μπορούν να κατανοήσουν τον ομιλητή από τα συμφραζόμενα ή να διαμορφώσουν μια λέξη από τις επιμέρους συλλαβές της, σε αντίθεση με τους μαθητές της δευτεροβάθμιας. Επομένως, οι επιθυμητές τιμές των ακουστικών παραμέτρων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δεν είναι τόσο αυστηρές συγκριτικά με αυτές στην πρωτοβάθμια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ &

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΙΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ

- Ελλάδα

Άρθρο 12 Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού[33]

Δυστυχώς, δεν έχει θεσπιστεί κάποια συγκεκριμένη νομοθεσία η οποία να ορίζει τις ακουστικές προδιαγραφές που πρέπει να πληροί ένα σχολείο και μια αίθουσα. Υπεύθυνος για τη μελέτη και την κατασκευή των σχολικών κτηρίων είναι ο Οργανισμός Σχολικών Κτηρίων (ΟΣΚ). Ο ΟΣΚ, όσον αφορά την ακουστική, ακολουθεί τις προδιαγραφές που ορίζονται από το άρθρο 12 του Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού. Ο κανονισμός αυτός δεν προβλέπει προδιαγραφές για την ακουστική του χώρου, παρά μόνο για την ηχομόνωση. Επίσης, λόγω του ότι δεν προβλέπεται η υποχρεωτική κατάθεση μελέτης ηχομόνωσης σε ανεγειρόμενες ή επισκευαζόμενες οικοδομές, επί της ουσίας, δεν υπάρχει υποχρέωση συμμόρφωσης στις απαιτήσεις του άρθρου 12.

Παράμετροι ακουστικής άνεσης

Είδος ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας	Παράμετροι ακουστικής άνεσης				Μετρούμενο μέγεθος			
	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο ΕΛΟΤ	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο ΕΛΟΤ
Ηχομόνωση με αερόφερτο ήχο	σταθμισμένος δείκτης ηχομόνωσης	R'_w	dB	461.1	δείκτης ηχομείωσης	R	dB	370.3
	σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομόνωσης	$R'_{n,w}$	dB	461.1	Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	R'	dB	370.4
Ηχομόνωση με χτυπογενή ήχο	σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης χτυπογενούς ήχου	$L'_{n,w}$	dB	461.2	σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης χτυπογενούς ήχου	L'_w	dB	370.7 370.8
	Ωριαία ισοδύναμη A – ηχοστάθμη	$L_{Aeq,h}$	dB (A)	230	Ωριαία ισοδύναμη A – ηχοστάθμη	L_{pA}	DB (A)	230
Ηχοπροστασία με αερόφερτο θόρυβο εξωτερικών πηγών	A – ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	229	A – ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	229
Ηχοπροστασία από τον αερόφερτο θόρυβο που παράγεται από εγκαταστάσεις								

Κριτήρια ηχομόνωσης – ηχοπροστασίας: Κατηγορία Α «υψηλή ακουστική άνεση»

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης. Ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης (παρ. 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης (παρ. 4.2)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κυρίου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων		
	1	2	3	4	εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων		7	8	9
	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	$L'_{n,w}$	$L_{Aeq,h}$	$L_{p,A}$		R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$
	dB	dB	dB	dB	dB (A)	dB (A)	dB	dB	dB	
Κατοικία Προσωρινή διαμονή	54	55	-	-	30	25	48	60	45	
Γραφεία Εμπόριο	52	60	58	52	35	30	-	55	55	
Εκπαίδευση	57	58	58	52	30	25	-	60	45	
Υγεία	57	55	58	52	30	25	-	60	45	
Συνάθροιση	65	40	62	47	(25)	(25)	-	(65)	(40)	
Βιομηχανία										

Κριτήρια ηχομόνωσης – ηχοπροστασίας: Κατηγορία Β «κανονική ακουστική άνεση»

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης. Ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης (παρ. 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης (παρ. 4.2)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κυρίου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων		
	1	2	3	4	εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων		7	8	9
	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	$L'_{n,w}$	$L_{Aeq,h}$	$L_{p,A}$		R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$
	dB	dB	dB	dB	dB (A)	dB (A)	dB	dB	dB	
Κατοικία Προσωρινή διαμονή	50	60	-	-	35	30	42	55	50	
Γραφεία Εμπόριο	40	65	52	55	40	35	-	53	60	
Εκπαίδευση	50	65	55	55	35	30	-	55	50	
Υγεία	50	60	55	55	30	30	-	55	50	
Συνάθροιση	60	45	60	48	(25)	(25)	-	(62)	(45)	
Βιομηχανία										

Η ηχομόνωση μεταξύ δύο αιθουσών όσον αφορά τον αερόφερτο θόρυβο, για υψηλή ακουστική άνεση, ορίζεται στα $R_{w}=57\text{dB}$. Η τιμή αυτή είναι πολύ μεγάλη και δύσκολα επιτεύξιμη. Για το λόγο αυτό λοιπόν, συνιστάται η ηχομόνωση να είναι στα 50dB , όπως προβλέπεται από την κατηγορία Β «κανονική ακουστική άνεση».

Μια άλλη υψηλή απαίτηση που αξίζει να σημειωθεί είναι αυτή της ηχοπροστασίας από θορύβους εγκαταστάσεων (πχ μια διάταξη για τεχνητό εξαερισμό) για υψηλή ακουστική άνεση. Η τιμή $L_{p,A}=25\text{dBA}$ είναι πολύ χαμηλή τιμή και παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία, έως ανικανότητα στην εφαρμογή της. Εξίσου δύσκολο στο να επιτευχθεί είναι η προτεινόμενη τιμή, $L_{Aeq,h}=30\text{dBA}$, της ικανότητας ηχομόνωσης από εξωτερικούς θορύβους. Πρέπει να σημειωθεί ότι το μέγεθος αυτός δεν χαρακτηρίζει την ηχομόνωση που προκαλεί η αίθουσα από τους εξωτερικούς θορύβους στον υπαίθριο χώρο έξω από αυτήν (πχ προαύλιο), αλλά

τη συνολική ηχομόνωση του σχολικού κτηρίου (πρόσοψη και κέλυφος κτηρίου, φράγματα θορύβου) από τον θόρυβο έξω από το σχολικό συγκρότημα (γειτονιά, αυτοκινητόδρομοι, γραμμές τρένου, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οικοδομικές κατασκευές κλπ). Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, συνίσταται η χρήση των προτεινόμενων τιμών της κατηγορίας B «κανονική ακουστική άνεση», δηλαδή για την ηχοπροστασία από θορύβους εγκαταστάσεων πρέπει $L_{p,A}=30\text{dBA}$, ενώ για την ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους πρέπει $L_{p,A}=35\text{dBA}$. Στην Ελλάδα δε χρησιμοποιείται τεχνητός εξαερισμός, αλλά αυτό συντελείται με το να μένουν τα παράθυρα ανοιχτά. Με ανοιχτά τα παράθυρα, ειδικά στις μεγάλες πόλεις οι οποίες έχουν υψηλά επίπεδα θορύβου, οι πραγματικές τιμές του εξωτερικού θορύβου που διεισδύουν στην αίθουσα είναι αρκετά μεγαλύτερες τόσο από τα 30 όσο και από τα 35dBA.

Στην Ελλάδα, λόγω της σεισμικής επικινδυνότητας, τα πατώματα είναι βαριές, παχιές κατασκευές. Επομένως, οι τιμές για την κτυπογενή ηχομόνωση για την κατηγορία B $L'_{n,w}=65\text{dB}$ είναι ευκόλως επιτεύξιμες. Για να πετύχουμε υψηλή ακουστική άνεση, συνίσταται $L'_{n,w}=58\text{dB}$. Η τιμή αυτή είναι αρκετά χαμηλή και για να επιτευχθεί ενδεχομένως χρειάζονται ειδικά ελαστικά ή αντικραδασμικά δάπεδα. Ακόμα και μια μοκέτα θα συνέβαλε ουσιαστικά. Πρέπει να γίνει μια σημείωση σχετικά με τα μετρούμενα μεγέθη στην ηχομόνωση από αερόφερτο και από κτυπογενή θόρυβο. Στον αερόφερτο παραθέτουμε την ένταση του θορύβου που «κόβει» ο διαχωριστικός τοίχος. Επομένως, όσο μεγαλύτερη η τιμή αυτή, τόσο περισσότερες θόρυβος μονώνεται, άρα τόσο καλύτερα. Αντίθετα, στον κτυπογενή, προκαλούμε εμείς έναν θόρυβο στο δάπεδο και μετρούμε την ένταση του θορύβου που καταφέρνει να περάσει. Επομένως, όσο μικρότερη τιμή, τόσο λιγότερος θόρυβος διεισδύει, άρα τόσο καλύτερα.

Προεδρικό διάταγμα 149/2006

Εκτός από τον κτιριοδομικό κανονισμό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το προεδρικό διάταγμα 149/2006 το οποίο ορίζει τα όρια έκθεσης σε θόρυβο στους εργασιακούς χώρους και τις υποχρεώσεις όσον αφορά τη λήψη μέτρων. Το διάταγμα αυτό εξετάζει τα μεγέθη:

A) την κορυφοτιμή της ηχητικής πίεσης (P_{peak}): μέγιστη τιμή της C-σταθμισμένης στιγμιαίας πίεσης θορύβου

B) την ημερήσια στάθμη έκθεσης σε θόρυβο ($L_{\text{EX,8h}}$): [dB(A) re 20μPa]: χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή των σταθμών έκθεσης σε θόρυβο για οκτάωρη ημέρα εργασίας όπως ορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 1999:1990. Καλύπτει όλα τα είδη θορύβου που απαντώνται στο εργασιακό περιβάλλον, περιλαμβανομένου και του παλμικού

Καθορίζονται τρεις περιπτώσεις:

A) οριακές τιμές έκθεσης: $L_{\text{EX,8h}}=87\text{dB(A)}$ και $P_{\text{peak}}=200\text{Pa}=140\text{dB(C)}$ re 20μPa

B) ανώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης: $L_{\text{EX,8h}}=85\text{dB(A)}$ και $P_{\text{peak}}=140\text{Pa}=137\text{dB(C)}$ re 20μPa

Γ) κατώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης: $L_{\text{EX,8h}}=80\text{dB(A)}$ και $P_{\text{peak}}=112\text{Pa}=135\text{dB(C)}$ re 20μPa

- **Αγγλία**

BB93[11]

Το BB93 είναι ένα πρότυπο κατασκευής σχολείων το οποίο έχει ως στόχο:

- Την παροχή γενικών κατευθύνσεων όσον αφορά τον ακουστικό σχεδιασμό των σχολείων σε εναρμόνιση με τον κτιριοδομικό κανονισμό
- Την παροχή συμβουλών σχετικά με τον σχεδιασμό και την τοποθεσία του σχολείου
- Την παροχή εκτεταμένων οδηγιών σε αρχιτέκτονες, μηχανικούς ακουστικής, πολιτικούς μηχανικούς, εργολάβους, ιθύνοντες της εκπαίδευσης και γενικά σε όσους εμπλέκονται στην κατασκευή σχολικών συγκροτημάτων.

Στο συγκεκριμένο εγχειρίδιο παρουσιάζεται ένας πίνακας, στον οποίο γίνεται διάκριση των χώρων ενός σχολείου και ανά χώρο αναφέρεται το επίπεδο θορύβου που παράγεται μέσα στην αίθουσα, η ανάγκη για ήσυχο περιβάλλον και το ανώτατο όριο θορύβου:

Είδος Αίθουσας	Αναμενόμενος θόρυβος σε ώρες εργασίας (δωμάτιο εκπομπής)	Ανάγκη για ηχομείωση (δωμάτιο λήψης)	Ανώτατο όριο θορύβου L _{Aeq, 30min}
Χώροι παιχνιδιού νηπιαγωγείων	Υψηλός	Μεγάλη	35
Ήσυχά δωμάτια νηπιαγωγείων	Χαμηλός	Μεγάλη	35
Αίθουσες δημοτικών σχολείων	Μεσαία επίπεδα	Μεγάλη	35
Αίθουσες γυμνασίων-λυκείων	Μεσαία επίπεδα	Μεγάλη	35
Αίθουσες διδασκαλίας ανοιχτού τύπου	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Χώροι μουσικής			
Αίθουσες μουσικής	Πολύ υψηλός	Μεγάλη	35
Μικροί χώροι εξάσκησης	Πολύ υψηλός	Μεγάλη	35
Χώροι ορχήστρας	Πολύ υψηλός	Πολύ Μεγάλη	30
Αίθουσες συναυλιών	Πολύ υψηλός	Πολύ Μεγάλη	30
Studio ηχογράφησης	Πολύ υψηλός	Πολύ Μεγάλη	30
Control rooms των studios	Υψηλός	Μεγάλη	35
Χώρος διαλέξεων			
Μικρός (λιγότερο από 50 άτομα)	Μεσαία επίπεδα	Μεγάλη	35
Μεγάλος (περισσότερο από 50 άτομα)	Μεσαία επίπεδα	Πολύ Μεγάλη	30
Αίθουσες ειδικά σχεδιασμένες για μαθητές με προβλήματα ακοής	Μεσαία επίπεδα	Πολύ Μεγάλη	30
Αίθουσες μελέτης (μελέτης μαθητών, προετοιμασίας διδασκόντων)	Χαμηλός	Μεγάλη	35
Βιβλιοθήκες			
Περιοχές ησυχίας	Χαμηλός	Μεγάλη	35
Περιοχές συνάντησης και μελέτης	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Εργαστήρια φυσικής	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Αίθουσες θεάτρου	Υψηλός	Πολύ μεγάλη	30
Αίθουσες συνελεύσεων, πολυμορφικοί χώροι, προβολής ταινιών)	Υψηλός	Μεγάλη	35
Αίθουσες χορού	Υψηλός	Μεσαία	40
Γυμναστήρια	Υψηλός	Μεσαία	40
Χώροι πισίνας	Υψηλός	Μεγάλη	50
Εστιατόρια, χώροι εστίασης	Υψηλός	Μεγάλη	45
Γραφεία, χώροι διδακτικού προσωπικού	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Διάδρομοι, σκάλες	Υψηλός	Μεσαία	45

Το επίπεδο θορύβου που παράγεται μέσα στην αίθουσα, η ανάγκη για ήσυχο περιβάλλον και το ανώτατο όριο θορύβου[11],[29]

Η παρούσα διπλωματική εξετάζει τις αίθουσες γυμνασίων-λυκείων. Όπως φαίνεται παραπάνω, στις αίθουσες αυτές έχουμε μεσαίο επίπεδο θορύβου τις ώρες εργασίας, μεγάλη αναγκαιότητα για ήσυχο περιβάλλον και ανώτατο όριο θορύβου σε ώρες μη εργασίας 35dBA (L_{Aeq, 30min}).

Το BB93 διακρίνει τις αίθουσες ανάλογα με την ανεκτικότητα τους στον θόρυβο καθώς και από το επίπεδο θορύβου που παράγουν, όπως φαίνεται και στο παραπάνω πίνακα. Με βάση αυτή τη διάκριση προσδιορίζονται τα ελάχιστα όρια αερόφερτου θορύβου που απαιτούνται μεταξύ των αιθουσών. [11]

Minimum $D_{nT} (T_{mf,max}),w$ (dB)		Activity noise in source room (see Table 1.1)			
		Low	Average	High	Very high
Noise tolerance in receiving room (see Table 1.1)	High	30	35	45	55
	Medium	35	40	50	55
	Low	40	45	55	55
	Very low	45	50	55	60

Πέρα από την ηχομόνωση του αερόφερτου θορύβου μεταξύ των αιθουσών μεταξύ τους, πρέπει να προβλεφθεί και η ηχομόνωση μεταξύ των αιθουσών και των χώρων κυκλοφορίας (διάδρομοι) και συνάθροισης (κυλικείο, προαύλιο κλπ). Στον επόμενο πίνακα αναγράφονται οι απαιτούμενες τιμές όσον αφορά την ελάχιστη ικανότητα ηχομόνωσης αερόφερτου θορύβου των τοίχων, των πορτών και του εξαιρισμού. [11],[29]

Χώροι που χρησιμοποιούν μαθητές	Minimum R_w (dB) Wall including Any glazing		Doorset	Minimum $D_{n,e,w} - 10\log N$ (dB)
Αίθουσες διαφόρων χρήσεων	40	30		39
Αίθουσες Μουσικής	45	35		45

Το συγκεκριμένο εγχειρίδιο προβλέπει εκτός των άλλων και το σταθμισμένο κανονικοποιημένο επίπεδο της κτυπογενούς ακουστικής πίεσης. [11]

Type of room (receiving room)	Maximum weighted BB93 standardized impact sound pressure level $L'_{nT}(T_{mf,max},w)$ (dB)
Nursery school playrooms	65
Nursery school quiet rooms	60
Primary school: classrooms, class bases, general teaching areas, small group rooms	60
Secondary school: classrooms, general teaching areas, seminar rooms, tutorial rooms, language laboratories	60
<i>Open-plan</i>	
Teaching areas	60
Resource areas	60
<i>Music</i>	
Music classroom	55
Small practice/group room	55
Ensemble room	55
Performance/recital room	55
Recording studio	55
Control room for recording	55
<i>Lecture rooms</i>	
Small (fewer than 50 people)	60
Large (more than 50 people)	55
Classrooms designed specifically for use by hearing impaired students (including speech therapy rooms)	55
Study room (individual study, withdrawal, remedial work, teacher preparation)	60
Libraries	60
Science laboratories	65
Drama studios	55
<i>Design and Technology</i>	
• Resistant materials, CAD/CAM areas	65
• Electronics/control, textiles, food, graphics, design/resource areas	60
Art rooms	60
Assembly halls, multi-purpose halls (drama, PE, audio/visual presentations, assembly, occasional music)	60
Audio-visual, video conference rooms	60
Atria, circulation spaces used by students	65
Indoor sports hall	65
Gymnasium	65
Dance studio	60
Swimming pool	65
Interviewing/counselling rooms, medical rooms	60
Dining rooms	65
<i>Ancillary spaces</i>	
Kitchens*	65
Offices*, staff rooms*	65
Corridors*, stairwells*	65
Coats and changing areas*	65
Toilets*	65

Ο τελευταίος πίνακας με προτεινόμενες τιμές που παρατίθεται στο BB93 είναι ίσως και ο πιο σημαντικός και αφορά τους μέγιστους χρόνους αντήρησης στις μεσαίες συχνότητες (μέσος όρος των επιμέρους χρόνων αντήρησης στα 500Hz, 1kHz και 2kHz) για δωμάτια κατασκευαστικά ολοκληρωμένα, αλλά χωρίς την παρουσία κόσμου και προτού να επιπλωθούν. [11]

Type of room	T_{mf}^1 (seconds)
Nursery school playrooms	<0.6
Nursery school quiet rooms	<0.6
Primary school: classrooms, class bases, general teaching areas, small group rooms	<0.6
Secondary school: classrooms, general teaching areas, seminar rooms, tutorial rooms, language laboratories	<0.8
<i>Open-plan</i>	
Teaching areas	<0.8
Resource areas	<1.0
<i>Music</i>	
Music classroom	<1.0
Small practice/group room	<0.8
Ensemble room	0.6 - 1.2
Performance/recital room ³	1.0 - 1.5
Recording studio	0.6 - 1.2
Control room for recording	<0.5
<i>Lecture rooms³</i>	
Small (fewer than 50 people)	<0.8
Large (more than 50 people)	<1.0
Classrooms designed specifically for use by hearing impaired students (including speech therapy rooms)	<0.4
Study room (individual study, withdrawal, remedial work, teacher preparation)	<0.8
Libraries	<1.0
Science laboratories	<0.8
Drama studios	<1.0
Design and Technology	
• Resistant materials, CAD/CAM areas	<0.8
• Electronics/control, textiles, food, graphics, design/resource areas	<0.8
Art rooms	<0.8
Assembly halls, multi-purpose halls (drama, PE, audio/visual presentations, assembly, occasional music) ^{2,3}	0.8 - 1.2
Audio-visual, video conference rooms	<0.8
Atria, circulation spaces used by students	<1.5
Indoor sports hall	<1.5
Gymnasium	<1.5
Dance studio	<1.2
Swimming pool	<2.0
Interviewing/counselling rooms, medical rooms	<0.8
Dining rooms	<1.0
<i>Ancillary spaces</i>	
Kitchens*	<1.5
Offices*, staff rooms*	<1.0
Corridors, stairwells	See Section 1.1.6
Coats and changing areas*	<1.5
Toilets*	<1.5

- **ΗΠΑ**

ANSI/ASA S12.60-2010 [1], [2]

Στις ΗΠΑ υιοθετήθηκαν το 2010 οι προδιαγραφές που πρότεινε η Αμερικάνικη Ακουστική Ένωση στα ANSI/ASA S12.60-2010, τα οποία κάνουν διάκριση ανάμεσα στα προϋπάρχοντα σχολεία και σε αυτά που αναμένεται να χτιστούν.

Όσον αφορά τις ήδη κτισμένες αίθουσες που σήμερα χρησιμοποιούνται, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα όρια των τιμών για το θόρυβο βάρους, τόσο αυτόν που προκαλείται από εξωτερικές πηγές όσο και από εσωτερικές και του χρόνου αντήχησης σε σχέση με τον όγκο της αίθουσας. Οι τιμές των ηχοστάθμων είναι σταθμισμένες κατά A και C. Τα δωμάτια είναι ολοκληρωμένα, με επίπλωση αλλά χωρίς κόσμο μέσα.

Learning space ^{a)}	Greatest one-hour average A- and C-weighted sound level of exterior-source background noise ^{b), η)} (dB)	Greatest one-hour average A- and C-weighted sound level of interior-source background noise ^{b), η)} (dB)	Maximum permitted reverberation times for sound pressure levels in octave bands with midband frequencies of 500, 1000, and 2000 Hz (s)
Core learning space with enclosed volume $\leq 283 \text{ m}^3$ ($\leq 10\,000 \text{ ft}^3$)	35 / 55	35 / 55	0.6 s ^{c)}
Core learning space with enclosed volume $> 283 \text{ m}^3$ and $\leq 566 \text{ m}^3$ ($> 10\,000 \text{ ft}^3$ and $\leq 20\,000 \text{ ft}^3$)	35 / 55	35 / 55	0.7 s
Core learning spaces with enclosed volumes $> 566 \text{ m}^3$ ($> 20\,000 \text{ ft}^3$) and all ancillary learning spaces	40 / 60 ^{d)}	40 / 60 ^{d)}	No requirement

Οι αντίστοιχες τιμές για τα σχολεία που πρόκειται να κτιστούν στο μέλλον παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ο πίνακας αυτός απεικονίζει τη συνεχή βελτίωση της ακουστικής, αφού υιοθετούνται σταδιακά όλο και πιο αυστηρά κριτήρια. Οι χρονικοί κόμβοι είναι το παρόν (2010), το 2013 και το 2017.

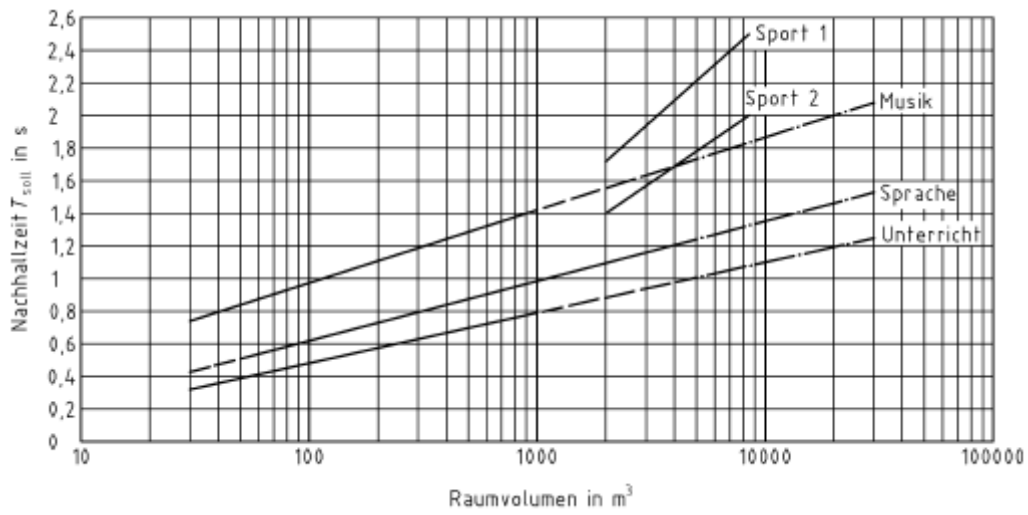
Learning space ^{a)}	One-hour average A-weighted sound level of interior-source background noise ^{b)} (dB)	One-hour average A-weighted sound level of exterior-source background noise (dB)	Maximum reverberation time for sound pressure levels in octave bands with midband frequencies of 500, 1000, and 2000 Hz (s)
Core learning space with enclosed volume $\leq 283 \text{ m}^3$ ($\leq 10\,000 \text{ ft}^3$)	41 dBA upon adoption; 38 dBA in 2013; 35 dBA in 2017	35	0.5
Core learning space with enclosed volume $> 283 \text{ m}^3$ and $\leq 566 \text{ m}^3$ ($> 10\,000 \text{ ft}^3$ and $\leq 20\,000 \text{ ft}^3$)	41 dBA upon adoption; 38 dBA in 2013; 35 dBA in 2017	35	0.6
All ancillary learning spaces	40 ^{c)}	40 ^{c)}	No requirement

- **Γερμανία**

DIN 18041 & DIN EN 12354-6 [12],[13]

Θα παραθέσουμε στη συνέχεια ορισμένες προδιαγραφές που ορίζουν τα DIN 18041 και DIN EN 12354-6, τα οποία καταλιάνονται με την ακουστική ποιότητα σε μεσαία και μικρά δωμάτια και με τον προσδιορισμό της ακουστικής απόδοσης των κτιρίων αντίστοιχα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι επιθυμητοί χρόνοι αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες για κάποιες δραστηριότητες.



Εμάς, μας ενδιαφέρει η εκπαίδευση (Unterricht), ενώ ένας μέσος όγκος μιας αίθουσας είναι γύρω στα 150m³. Επομένως, παρατηρούμε ότι πρέπει να κυμαινόμαστε περίπου στα 0,4 με 0,6 sec.

- **Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO)**

Το 1993 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας πρότεινε μια σειρά από μέτρα που αφορούν τόσο τη σχεδίαση νέων αιθουσών, όσο και τη βελτίωση των υπαρχόντων. [31]

1. Ο χρόνος αντήχησης στις συχνότητες από 125 έως 4000 Hz πρέπει να είναι μικρότερος από 0,6sec. Πρέπει να δίνεται έμφαση στην οκτάβα των 125Hz καθότι τα παιδιά, και κυρίως αυτά με μειωμένη ακοή, έχουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις χαμηλές συχνότητες. Γι αυτό το λόγο συνίσταται η χρήση της καμπύλης C (σε συνδυασμό βέβαια με την A). Επειδή τα παιδιά έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στο χρόνο αντήχησης συγκριτικά με τους ενήλικες, και λόγω του ότι στατιστικά όλοι θα περάσουν περιόδους με μειωμένη ακουστική ικανότητα (πχ λόγω ενός κρυολογήματος) συνίσταται ο προτεινόμενος χρόνος αντήχησης να είναι ακόμα μικρότερος, στα 4sec.
2. Το background noise level δεν πρέπει να ξεπερνά τα 30dB(A) ή τα 50dB(C). Για λόγους όμως πρακτικούς και οικονομικούς είναι ανεκτές και μεγαλύτερες τιμές, 35dB(A) με 40dB(A).
3. Συνίσταται η χρήση ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης, για υποβοήθηση του ομιλητή με ασύρματο μικρόφωνο.

Προτεινόμενες τιμές

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο πίνακας που σχετίζεται με τα επίπεδα ηχομόνωσης, το βάθος θορύβου δωματίου και τις ακουστικές απαιτήσεις. [24],[25],[28]

Απαιτούμενη ηχομόνωση (dB) Πηγή θορύβου	Απαιτούμενο R_w				Απαιτούμενο $L_{n,w}$			
	Έντονη ομιλία		Δυνατή μουσική		Βάδισμα		Τρίξιμο καρέκλας	
Βάθος θορύβου δωματίου	20	30	20	30	20	30	20	30
<i>Να μην ακούω</i>	67	57	72	62	33	43	28	38
<i>Να ακούω αλλά να μην καταλαβαίνω</i>	57	47	63	53	43	53	38	48
<i>Να ακούω και να καταλαβαίνω</i>	53	43	57	47	53	63	48	58
<i>Να ακούω δυνατά και να καταλαβαίνω ευκρινώς</i>	42	32	47	37	63	73	58	48

Όσον αφορά αίθουσες ειδικά διαμορφωμένες για μαθητές με ακουστικές δυσκολίες, η ένωση Βρετανών καθηγητών κωφών μαθητών και η αμερικάνικη ένωση λόγου και ακοής προτείνουν τα εξής πρότυπα: [25]

	British Association of teachers of the Deaf	American Speech Hearing Association
Μέγιστο επίπεδο θορύβου σε μη κατειλημμένο δωμάτιο	35dBA	30-35dBA
Μέγιστος χρόνος αντήχησης	0.4sec στις συχνότητες 125Hz - 4kHz	0.4sec
Ελάχιστο S/N	20dB στις συχνότητες 125Hz - 750Hz 15dB στις συχνότητες 750Hz -4kHz	≥15dB

Ο στόχος όσον αφορά την ακουστική συμπεριφορά μιας αίθουσας είναι η ακουστική ευκρίνεια και η διαμόρφωση ενός ήσυχου, φιλόξενου ακουστικού περιβάλλοντος που να συμβάλει στην εκπαιδευτική διαδικασία. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει το βάθος θορύβου της αίθουσας να είναι λιγότερο από 35dB.

Όσον αφορά το S/N, για να ακούγεται ο ομιλητής με σαφήνεια πρέπει οι τιμές να υπακούουν στον παρακάτω πίνακα. [28]

<u>Ελάχιστο S/N ανά ηλικία και ικανότητα ακοής</u>	ενήλικες	παιδιά
Με κανονική ακοή	6dB	10dB
Με ακουστικές δυσκολίες	15dB	20dB

Σε μία αίθουσα με περίπου 30 μαθητές ο χρόνος αντήχησης πρέπει να κυμαίνεται γύρω στα 0,5sec.

Παρακάτω, παρατίθενται πίνακες που απεικονίζουν το ποσοστό αναγνώρισης λέξεων από τους μαθητές αναφορικά με τον χρόνο αντήχησης και το S/N. Το ποσοστό αυτό προκύπτει από πειράματα κατά τα οποία αναγιγνώσκονται στους μαθητές μονοσύλλαβες λέξεις και οι μαθητές καλούνται να τις αναγνωρίσουν. [28]

S/N	Ποσοστό αναγνώρισης λέξεων
+12dB (χαμηλό επίπεδο θορύβου βάθους)	95,3%
+6dB (μέσο επίπεδο θορύβου βάθους)	80,7%
0dB (υψηλό επίπεδο θορύβου βάθους)	46,0%

Χρόνος αντήχησης (sec)	Ποσοστό αναγνώρισης λέξεων	
	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή
0 (χωρίς καθόλου ηχώ)	94,5%	87,5%
0,4 (με ιδανική ηχώ)	82,8%	69,0%
1,2 (με μεγάλη ηχώ)	76,5%	61,8%

		Χρόνος αντήχησης			
		0 sec		1.2 sec	
S/N	+12dB	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή
		89,2%	70,0%	68,8%	41,2%
	0dB	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή
		60,2%	39,0%	29,7%	11,2%

Σε μια έρευνα της ASA (Acoustical Society of America) και της NPC (Noise Pollution Clearinghouse) είχε διαπιστωθεί ότι σε πολλά σχολεία στις ΗΠΑ το ποσοστό αναγνώρισης λέξεων ήταν 75% ή και λιγότερο. Μπορεί ως ποσοστό να φαντάζει μεγάλο, στην πραγματικότητα όμως υποδηλώνει ότι ένας μαθητής δεν μπορεί να αντιληφθεί 1 στις 4 λέξεις που λέει ο καθηγητής, ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας ότι ο μαθητής καλείται να κατανοήσει, να αφομοιώσει αυτά που ακούει και να εξεταστεί πάνω στη διάλεξη του καθηγητή. Ως ποσοστό ασφαλείας μπορεί να θεωρηθεί το 90%. Στην πραγματικότητα όμως αυτό είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί, επομένως, ακόμα και χαμηλότερες τιμές γίνονται δεκτές.

Επειδή δεν είναι εφικτό σε κάθε συνθήκη να γίνονται ειδικά τεστ που να εξαγάγουν το ποσοστό των λέξεων που γίνονται κατανοητές έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από μεθόδους

οι οποίες δίνουν εκτίμηση για την αντιληπτότητα της ομιλίας (SII, STI, RASTI, %ALcons κλπ). Το STI (Speech Transmission Index) είναι διεθνώς αναγνωρισμένο, εκφράζει το ποσοστό των σωστών συλλαβών που αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής και οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0 (μηδενική αντίληψη της ομιλίας) και 1 (τέλεια αντίληψη της ομιλίας). Σε γενικές γραμμές το STI λειτουργεί με τον εξής τρόπο: ορίζει ένα ηχητικό σήμα αναφοράς που να προσομοιάζει σε σήμα ομιλίας. Το σήμα αυτό διαμορφώνεται ανάλογα με τον χρόνο αντήχησης και το θόρυβο βάθους. Η σύγκριση του σήματος αναφοράς με το τελικό, διαμορφωμένο σήμα, σε μία σειρά από συχνότητες στο ακουστικό φάσμα δίνει τιμή για το STI. Το RASTI (Room Acoustics STI) είναι μια απλουστευμένη εκδοχή του STI, ειδικά διαμορφωμένη για δωμάτια και εξετάζει μόνο το σήμα στα 500Hz και στα 2kHz. Τόσο τα ηχόμετρα της Bruel&Kjaer, όσο και το Odeon, περιλαμβάνουν ειδικό λογισμικό υπολογισμού τόσο του STI όσο και του RASTI. [18],[22]

Για να έχουμε μια πιο σαφή εικόνα για το τι πρεσβεύει το STI θα ορίσουμε το %ALcons και θα κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ τους. Το %ALcons (Articulation loss of consonants in %) αντιπροσωπεύει τα ποσοστά των συμφώνων που δεν γίνονται αντιληπτά κατά την ομιλία. Παρόλο που τα φωνηέντα περιέχουν το μεγαλύτερο «μερίδιο» από την ηχητική ενέργεια της ομιλίας, τα σύμφωνα, των οποίων η ενέργεια είναι συσσωρευμένη προς τις υψηλότερες συχνότητες του ακουστού φάσματος, επηρεάζουν περισσότερο την αντίληψη μας όσον αφορά την ομιλία. Κατά μία έννοια λοιπόν, το μέγεθος αυτός είναι πολύ παρεμφερές με το ποσοστό αναγνώρισης λέξεων που αναφέραμε παραπάνω. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που αξιολογεί τις τιμές των STI και %ALcons όσον αφορά το επίπεδο της αντιληπτότητας και παρουσιάζει την αντιστοιχία των τιμών των μεγεθών αυτών μεταξύ τους.

STI	0 - 0.3	0.3 - 0.45	0.45 - 0.6	0.60 - 0.75	0.75 - 1.0
	unacceptable	poor	fair	good	excellent
ALcons	100 - 33%	33 - 15%	15 - 7%	7 - 3%	3 - 0%

Σε περιπτώσεις διδασκαλίας μία απώλεια της τάξης του 5-10% της είναι αποδεκτή. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι επιδιώκουμε για το STI μία τιμή γύρω στο 0.6. Το 5% ALcons αντιστοιχεί σε 0,678 για το STI, ενώ το 10% σε 0,54.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στη συγκεκριμένη αυτή έρευνα μελετήθηκαν συνολικά 12 αίθουσες (3 στο 9^ο & Αθλητικό Γυμνάσιο Περιστερίου, 2 στο ΕΠΑΛ Αγ. Παρασκευής, 2 στο 4^ο ΣΕΚ ΑΘΗΝΩΝ, 2 στο 5^ο Γυμνάσιο Αθηνών, 3 στο Α Ενιαίο Λύκειο Αρσακείου Ψυχικού). Οι αίθουσες αλλά και τα σχολικά συγκροτήματα επιλέχτηκαν ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ανομοιογένεια όσον αφορά τον θόρυβο από την περιοχή, τη θέση της αίθουσας σε σχέση με το δρόμο, το προαύλιο και χώρους συνάθροισης, καθώς και το σχήμα, το μέγεθος και τα υλικά της αίθουσας.

Πιο συγκεκριμένα:

- Τα σχολικά συγκροτήματα του 9^{ου} & Αθλητικού Γυμνασίου Περιστερίου, του ΕΠΑΛ Αγ. Παρασκευής και του Αρσακείου Ψυχικού βρίσκονται σε ήσυχες περιοχές των προαστίων, ενώ το 4^ο ΣΕΚ Αθηνών και το 5^ο Γυμνάσιο Αθηνών σε θορυβώδεις περιοχές του κέντρου.
- Οι αίθουσες Πληροφορικής του ΕΠΑΛ Αγ. Παρασκευής και του 4^{ου} ΣΕΚ Αθηνών, καθώς και η αίθουσα εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων του 4^{ου} ΣΕΚ Αθηνών, δεν προορίζονται για την τυπική παράδοση, αλλά για την υλοποίηση κάποιων πειραμάτων, είτε σε υπολογιστή είτε σε ειδικά μηχανήματα. Επίσης, ο θόρυβος από τους Η/Υ και από τις μηχανές του εργαστηρίου εισάγει πρόσθετο θόρυβο βάθους.
- Οι αίθουσες Γαλλικών του 9^{ου} & Αθλητικού Γυμνασίου Περιστερίου και διδασκαλίας του ΕΠΑΛ έχουν πολύ μικρό όγκο (76 και 68m³ αντίστοιχα), η αίθουσα Πληροφορικής του ΕΠΑΛ Αγ. Παρασκευής, οι αίθουσες του Αρσακείου Ψυχικού, οι αίθουσες Α5 και Γ2 του 9^{ου} και Αθλητικού και η αίθουσα διδασκαλίας του 5^{ου} Γυμνασίου Αθηνών έχουν μεσαίο μέγεθος (150 – 190m³), οι αίθουσες του 4^{ου} ΣΕΚ Αθηνών μεγάλο μέγεθος (307 και 324m³) και η αίθουσα εκδηλώσεων του 5^{ου} Γυμνασίου Αθηνών έχει εξαιρετικά μεγάλο όγκο 480m³.
- Στις αίθουσες του ΕΠΑΛ Αγ. Παρασκευής και του 5^{ου} Γυμνασίου Αθηνών δεν υπάρχουν κουρτίνες ούτε ιδιαίτερα πλούσια επίπλωση.
- Οι αίθουσες του ΕΠΑΛ Αγ. Παρασκευής έχουν μονά παράθυρα, ενώ οι πόρτες είναι από τη μέση και πάνω από τζάμι και από τη μέση και κάτω σιδερένιες. Σε όλες τις υπόλοιπες αίθουσες, οι πόρτες είναι ξύλινες, ενώ τα τζάμια διπλά.
- Στις αίθουσες του Αρσακείου, η έδρα του καθηγητή είναι υπερυψωμένη σε βήμα, επομένως η ομιλία μεταδίδεται ανεμπόδιστα σε μεγαλύτερο μήκος λόγω της υψομετρικής υπεροχής.

Συνοπτικά, η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η εξής:

- Μετρήσεις με ειδικά ηχόμετρα. Με χρήση ειδικού πιστολιού έγιναν και μετρήσεις για το χρόνο αντήχησης.
- Ηχογράφηση σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή ηχητικών αρχείων και μελέτη τους μέσω του λογισμικού Mat lab.
- Τρισδιάστατη απεικόνιση των αιθουσών μέσω του λογισμικού AutoCAD και μελέτη με ειδικό λογισμικό ακουστικής προσομοίωσης, Odeon.

Οι μετρήσεις με το sound analyzer καθώς και οι ηχογραφήσεις με τον Η/Υ έγιναν στα εξής σημεία και στιγμές:

Στο κέντρο της αίθουσας κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Αναφέρεται ως «μέσα στο μάθημα»

Στο εσωτερικό της αίθουσας, 1 μέτρο μακριά από την πόρτα, την ώρα του διαλείμματος. Αναφέρεται ως «πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα».

Στο εξωτερικό της αίθουσας, 1 μέτρο μακριά από την πόρτα, την ώρα του διαλείμματος. Αναφέρεται ως «μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα».

Στο εσωτερικό της αίθουσας, 1 μέτρο μακριά από το παράθυρο, την ώρα του διαλείμματος. Αναφέρεται ως «πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα».

Στο εξωτερικό της αίθουσας, 1 μέτρο μακριά από το παράθυρο, την ώρα του διαλείμματος. Αναφέρεται ως «μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα».

Η μέτρηση 1 έγινε για τη συγκριτική πραγματικών δεδομένων όσον αφορά τις ακουστικές συνθήκες σε ώρα κανονικού μαθήματος.

Οι μετρήσεις 2,3 και 4,5 έγιναν για να διεξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη διείσδυση του εξωτερικού θορύβου στο εσωτερικό της αίθουσας.

Όπου κρίθηκε απαραίτητο για να επιτευχθεί πιο αναλυτική εικόνα σχετικά με τις ακουστικές συνθήκες της αίθουσας και της περιοχής έγιναν επιπλέον μετρήσεις.

Η διάρκεια των μετρήσεων ήταν κατά το δυνατόν κοντά στα 10 λεπτά. Οι μετακινήσεις των μαθητών κατά την έναρξη και λήξη του διαλείμματος καθώς και το «στήσιμο» των μηχανημάτων ορισμένες φορές επέβαλλαν η μέτρηση να έχει σχετικά μικρότερη διάρκεια. Σε όποιες περιπτώσεις δε θεωρήθηκε ότι η μέτρηση είναι αντιπροσωπευτική έγιναν επιπλέον μετρήσεις, με αποτέλεσμα να έχουμε σε κάθε θέση και στιγμή 2 με 3 μετρήσεις διάρκειας περίπου 10 λεπτών. Μάλιστα, οι επιπλέον μετρήσεις έγιναν άλλη μέρα, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλία αναφορικά με τις συνθήκες μαθήματος (διδασκαλία που επικέντρωνε στην παράδοση ή που στηριζόταν στη συμμετοχή των μαθητών, ησυχία ή φασαρία από τους μαθητές, διαφορετικές συνθήκες εξωτερικού θορύβου).

Για τις μετρήσεις κατά την ώρα της διδασκαλίας δε ζητήθηκε να τροποποιηθούν στο ελάχιστο οι κανονικές συνθήκες διδασκαλίας. Έτσι, τα παράθυρα ήταν ανοιχτά ή κλειστά ανάλογα με την επιθυμία μαθητών και καθηγητών. Με τον τρόπο αυτό εξασφάλισαμε ότι οι

μετρήσεις είναι αντιπροσωπευτικές και απεικονίζουν την πραγματικότητα. Για να εξετάσουμε την ικανότητα ηχομόνωσης κλείσαμε τα παράθυρα. Όσον αφορά τη μέτρηση του χρόνου αντήχησης, τα παράθυρα επιλέχθηκε να είναι κλειστά ώστε να εξετασθεί το χειρότερο δυνατό σενάριο. Οι κουρτίνες, οι οποίες είναι βασικός παράγοντας μείωσης του χρόνου αντήχησης, επιλέχθηκαν να είναι σε φυσιολογικό άνοιγμα ώστε να είμαστε αντικειμενικοί στην εκτίμηση και ρεαλιστικοί στις προτάσεις για βελτίωση.

Αρχικά, εξήχθησαν συμπεράσματα και αξιολογήθηκε η ακουστική συμπεριφορά κάθε αίθουσας ξεχωριστά.

Στο τέλος, έγινε συγκεντρωτική παράθεση των μετρούμενων μεγεθών καθώς και των μεγεθών που προέκυψαν από την ακουστική προσομοίωση. Αφού έγινε μια στατιστική μελέτη αυτών, αναφέρονται τα συγκεντρωτικά συμπεράσματα και η συνολική αξιολόγηση. Βάση των παρατηρήσεων που έγιναν αναφέρονται μια σειρά από γενικές προτάσεις για τη βελτίωση της ακουστικής των σχολικών αιθουσών. Οι προτάσεις είναι τόσο κατά την αρχική σχεδίαση, πριν την κατασκευή των αιθουσών όσο και επικουρικά, για να βελτιώσουν την υπάρχουσα ακουστική συμπεριφορά των ήδη κατασκευασμένων αιθουσών.

Πιο συγκεκριμένα:

Χρησιμοποιήθηκαν δύο ηχόμετρα, της εταιρίας Bruel&Kjaer, τύπου 2250 και 2270. Το μικρόφωνο ήταν και στα δύο όργανα τύπου 4189. Το calibration του μικροφώνου έγινε με το calibrator τύπου 4231. Πριν κάθε σειρά μετρήσεων εξεταζόταν το κατά πόσον το calibration ήταν πρόσφατο ώστε να ελαχιστοποιηθούν τυχόν σφάλματα που οφείλονται σε κακή βαθμονόμηση.

Παρατίθενται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των οργάνων:

Sound level meter

Bruel & Kjaer, Hand-held Analyzer . Type 2250, with Sound Level Meter Software BZ-7222, Frequency Analysis Software BZ-7223, Logging Software BZ-7224,

Enhanced Logging Software BZ-7225 and Sound Recording Option BZ-7226

SUPPLIED MICROPHONE

Type 4189: Prepolarized Free-field ½" Microphone

Nominal Open-circuit Sensitivity: 50 mV/Pa (corresponding to -26 dB re 1 V/Pa) ± 1.5 dB

Capacitance: 14 pF (at 250 Hz)

MICROPHONE PREAMPLIFIER ZC-0032

Nominal Preampifier Attenuation: 0.25 dB

Connector: 10-pin LEMO

calibrator: Sound Calibrator Type 4231

Το sound level meter τύπου 2270 προσέφερε τη δυνατότητα να γίνει και απευθείας φασματική ανάλυση. Φασματική ανάλυση έγινε και με χρήση του λογισμικού Matlab μέσω των ηχογραφημένων αρχείων.

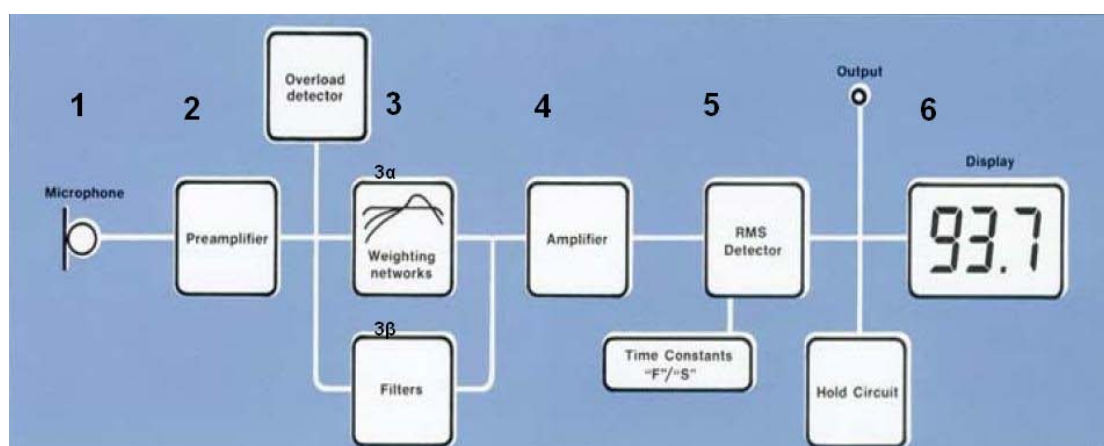
Για την μέτρηση του χρόνου αντήχησης χρησιμοποιήθηκε πιστόλι αντίστοιχο με αυτό που χρησιμοποιούν οι αφέτες κριτές στον στίβο.

Πιο συγκεκριμένα: Πιστόλι: Olympic .380 Blank Firing Revolver - 9mm

Χαρακτηριστικά: Μήκος: 7.25", Βάρος: 1.5 lbs, Barrel: 2.5"

Όσον αφορά τις μετρήσεις για τη μελέτη της αντήχησης, τα ηχόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν υπακούουν στα αντίστοιχα ISO πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων των ISO140, ISO3382, and ISO354.

Τα ηχόμετρα λειτουργούν βασισμένα στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα λειτουργίας ηχομέτρου[7]

Ο ήχος που φτάνει στο μικρόφωνο μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα (1). Το σήμα αυτό όμως είναι μικρό και για να αξιοποιηθεί προενισχύεται (2). Έπειτα, περνά από ένα δίκτυο φίλτρων A ή C (A/C weighting) τα οποία του δίνει συγκεκριμένη ευαισθησία σε κάθε συχνότητα (3α). Στο στάδιο 3β το σήμα φιλτράρεται ώστε να παραμείνουν μόνο οι ακουστές συχνότητες (20Hz – 20kHz). Σε περίπτωση που επιθυμούμε να γίνει φασματική ανάλυση, το σήμα διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων, σε οκταβική ή 1/3οκταβική ανάλυση. Στη συνέχεια το σήμα ενισχύεται (4). Στο βήμα (5) υπολογίζεται η ενεργός (rms) τιμή του σήματος. Στο στάδιο αυτό, προσδιορίζεται και ο επιθυμητός χρόνος αντίδρασης του ηχομέτρου. Για πολύ ταχείες αλλαγές του αναλογικού σήματος επιλέγεται η γρήγορη αντίδραση (Fast ("F")), με χρόνο αντίδρασης 25ms, ενώ για πιο ομαλή η αργή (Slow ("S")), με χρόνο αντίδρασης 1sec. Υπάρχει και η επιλογή «I» (Impulse), με χρόνο αντίδρασης 35ms, για περιπτώσεις που ο μετρούμενος ήχος αποτελείται από μεμονωμένους χτύπους, η οποία όμως δε χρησιμοποιείται πολύ. Στο τελευταίο στάδιο έχουμε την απεικόνιση του μετρούμενου μεγέθους σε dB. Η απεικόνιση αυτή γίνεται απευθείας μετά τον υπολογισμό της ενεργούς τιμής του σήματος. Σε περίπτωση που θέλουμε να εξετάσουμε τις μέγιστες τιμές που έγιναν κατά την καταγραφή μας έχουμε δύο επιλογές, την max ή την peak, μέσω του Hold Circuit. Η peak είναι η μέγιστη απόλυτη τιμή που καταγράφηκε σε μία μεμονωμένη χρονική στιγμή. Η max είναι η μέγιστη ενεργός τιμή που υπολογίσθηκε σε κάποιο μεμονωμένο χρονικό διάστημα. [7]

Για την καταγραφή ηχητικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν:

Φορητός Ηλεκτρονικός Υπολογιστής (Laptop)

USB επαγγελματική κάρτα ήχου: εταιρεία Digigram, μοντέλο UAX 220-Mic

Πυκνωτικό Μικρόφωνο: εταιρεία Behringer, μοντέλο ECM 8000

Χαρακτηριστικά: γραμμική απόκριση συχνοτήτων, μη κατευθυντική πολική συμπεριφορά

Το λογισμικό ηχογράφησης ήταν της εταιρίας Adobe Systems, το μοντέλο Audition 1.5. Τα χαρακτηριστικά ηχογράφησης ήταν:

Sample Rate: 44100Hz

Channels: Mono

Resolution: 16-bit

Τα αρχεία αποθηκεύτηκαν υπό τη μορφή .wav ώστε να είναι δυνατόν να αναλυθούν από το λογισμικό Matlab με χρήση της εντολής wavread.

Η ανάλυση στο matlab βασίστηκε σε αρχεία που έχουν συνταχθεί από Christophe Couvreur και Γεώργιο Καμπουράκη ενώ έγιναν οι κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε οι τελικοί κώδικες να εξάγουν πληροφορίες σχετικά με τα εξής μεγέθη $L_{Aeq,10min}$, ποσοστομοριακά επίπεδα, τριτοκταβική φασματική ανάλυση. Οι τροποποιήσεις αφορούσαν τόσο το μαθηματικό σκέλος όσο και την εναρμόνιση των σταθερών με το υπάρχων λογισμικό. Η βαθμονόμηση (calibration) έγινε με χρήση του calibrator 4231 της Bruel&Kjaer το οποίο παρήγαγε μονοσυχνωτικούς ήχους ενός kHz, στα 94dB και στα 114dB και χρησιμοποιήθηκαν σαν καταγραφές αναφοράς. Στο τέλος έγινε έλεγχος με καταγραφές στα ηχόμετρα και στα εξαγόμενα του MATLAB που αναφέρονταν στα ίδια ηχητικά σήματα που κατεγράφησαν ταυτόχρονα.

Τα αρχικά αρχεία ήταν:

```
function [B,A] = adsgn(Fs);
% ADsgn Design of a A-weighting filter.
% [B,A] = ADsgn(Fs) designs a digital A-weighting filter for
% sampling frequency Fs. Usage: Y = FILTER(B,A,X).
% Warning: Fs should normally be higher than 20 kHz. For example,
% Fs = 48000 yields a class 1-compliant filter.
%
% Requires the Signal Processing Toolbox.
%
% See also ASPEC, CDSgn, CSPEC.

% Author: Christophe Couvreur, Faculte Polytechnique de Mons
(Belgium)
% couvreur@thor.fpms.ac.be
% Last modification: Aug. 20, 1997, 10:00am.

% References:
% [1] IEC/CD 1672: Electroacoustics-Sound Level Meters, Nov. 1996.

% Definition of analog A-weighting filter according to IEC/CD 1672.
f1 = 20.598997;
f2 = 107.65265;
f3 = 737.86223;
f4 = 12194.217;
A1000 = 1.9997;
pi = 3.14159265358979;
NUMs = [ (2*pi*f4)^2*(10^(A1000/20)) 0 0 0 0 ];
DENs = conv([1 +4*pi*f4 (2*pi*f4)^2],[1 +4*pi*f1 (2*pi*f1)^2]);
DENs = conv(conv(DENs,[1 2*pi*f3]],[1 2*pi*f2]);

% Use the bilinear transformation to get the digital filter.
[B,A] = bilinear(NUMs,DENs,Fs);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function [X,Leq,L10,L95,s] = levelAEstimation(x,Fs,Int,C)

% levelEstimation Estimates a recorded signal level.
%
%
% Author: George Cambourakis, 11/11/07
% if omitted C=160 dB, Int=500 mS, Fs=44100 samples/sec
%
if nargin < 4, C=115;end
if nargin < 3, Int=500;end
if nargin < 2, Fs=44100;end
tin=Int*Fs/1000; % Integration time in mS
if Fs==44100
    B=[0.2563 -0.5126 -0.2563 1.0252 -0.2563 -0.5126
0.2563];
    A=[1.0000 -4.0172 6.1803 -4.4398 1.4119 -0.1393
0.0042];
else
    [B,A]=adsgn1(Fs);
end
len=length(x);
% Squaring the original signal
s=x.*x+1e-17;
% Time integration tin mS
```

```

X=filter(1/tin,[1 (1-tin)/tin],s);
% Converting to dB
X=10*log10(X)+C;
s=std(X);
% Plot estimated signal level.
figure(1); clf;
plot(X,'LineWidth',2);
title('Signal Level');
xlabel('Elapsed Time (sec.)');
ylabel('Signal Level (dB)');
xlim([1 len]);
grid on;

% Statistics
% Cumulative
p=[];
for i=20:0.5:110
    p=[p;sum(X > i)];
end
L10=20+(181-sum(p<len/10))/2;
L95=20+(181-sum(p<len*0.95))/2;
dp=[];lp=length(p);
% Percentiles
for i=1:180
    dp=[dp;p(i)-p(i+1)];
end
dp=[dp;p(181)];
ax=20:0.5:110;mx=max(dp);
Leq=10*log10(sum(x.*x)/len)+C
% plot statistics
l10=ones(lp,1)*sum(dp)/10;
figure(2); clf;
plot(ax,p,ax,l10,ax,l10*9.5,'LineWidth',2);
text(ax(2),l10(2)*1.4,'L10');
text(ax(2),l10(2)*9.8,'L95');
title('Cumulative distribution of Levels');
xlabel('Signal levels dB');
ylabel('population of levels (samples)');
xlim([20 110]);
grid on;

figure(3); clf;
plot(ax,dp,'r','LineWidth',2);
line(ones(mx,1)*Leq,1:mx);
text(Leq+1,mx/20,'Leq');
title('Percentiles of levels');
xlabel('Signal levels dB');
ylabel('population of levels (samples)');
xlim([20 110]);
grid on;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

Τροποποιήθηκαν ως εξής:

```

function [X,Leq,ln] = asdasd(x,Fs)
C=126.2; Int=500;
tin=Int*Fs/1000; % Integration time in mS
[B,A]=adsgn(Fs);
len=length(x);

```

```

% Squaring the original signal
s=x.*x+1e-17;
% Time integration tin mS
X=filter(1/tin,[1 (1-tin)/tin],s);
% Converting to dBA
X=10*log10(X)+C;

% Statistics
% Cumulative
a=floor(min(X)); b=ceil(max(X))+1; c=(b-a)*2+1;
p=[];
for i=a:0.5:b
    p=[p;sum(X > i)];
end
L1=a+(c-sum(p<len*0.005))/2;
L99=a+(c-sum(p<len*0.995))/2;
dp=[];lp=length(p);
ind=find((X<L1)&(X>L99));
X=X(ind);
x=x(ind);

ln=length(X);
Leq=10*log10(sum(x.*x)/len)+C;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[x,Fs,nBits]=wavread(filename);

C=126.2; Int=500;
tin=Int*Fs/1000; % Integration time in mS
[B,A]=adsgn(Fs);
len=length(x);
x=filter(B,A,x); % Apply A weighting

% Squaring the original signal
s=x.*x+1e-17;
% Time integration tin mS
X=filter(1/tin,[1 (1-tin)/tin],s);
% Converting to dBA
X=10*log10(X)+C;

clear A; clear B; clear s; clear tin; clear C; clear Int;
% extracting extreme values
a=floor(min(X)); b=ceil(max(X))+1; c=(b-a)*2+1;
p=[];
for i=a:0.5:b
    p=[p;sum(X > i)];
end
L01=a+(c-sum(p<len/100))/2;
L99=a+(c-sum(p<len*0.99))/2;

ind=find((X<L01)&(X>L99));
clear a; clear b; clear c; clear p; clear X; clear i;
x=x(ind);

clear ind;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% dividing the signal for memory reasons
m = length(x);
z=floor(m/10);

```

```

x1=x(1:z); x2=x((z+1):2*z); x3=x((2*z+1):3*z); x4=x((3*z+1):4*z);
x5=x((4*z+1):5*z); x6=x((5*z+1):6*z); x7=x((6*z+1):7*z);
x8=x((7*z+1):8*z); x9=x((8*z+1):9*z); x10=x((9*z+1):m);

[X1,Leq1,len1] = asdasd(x1,Fs);
[X2,Leq2,len2] = asdasd(x2,Fs);
[X3,Leq3,len3] = asdasd(x3,Fs);
[X4,Leq4,len4] = asdasd(x4,Fs);
[X5,Leq5,len5] = asdasd(x5,Fs);
[X6,Leq6,len6] = asdasd(x6,Fs);
[X7,Leq7,len7] = asdasd(x7,Fs);
[X8,Leq8,len8] = asdasd(x8,Fs);
[X9,Leq9,len9] = asdasd(x9,Fs);
[X10,Leq10,len10] = asdasd(x10,Fs);

d=len1+len2+len3+len4+len5+len6+len7+len8+len9+len10;
max_t=(d-1)/Fs;

% calculating the Leq and converting it for a 10min equivalent
Leq=10*log10((10^(Leq1/10)+10^(Leq2/10)+10^(Leq3/10)+10^(Leq4/10)+10^
(Leq5/10)+10^(Leq6/10)+10^(Leq7/10)+10^(Leq8/10)+10^(Leq9/10)+10^(Leq
10/10))/10);
Leq10min=Leq+10*log10(10/(max_t/60));

clear x; clear x1; clear x2; clear x3; clear x4; clear x5; clear x6;
clear x7; clear x8; clear x9; clear x10; clear max_t; clear Leq;
clear m; clear z; clear d;

ln=[len1 len2 len3 len4 len5 len6 len7 len8 len9 len10];
p=[]; p(1)=ln(1);
for i=2:10
    p(i)=p(i-1)+ln(i);
end

clear ln; clear len1; clear len2; clear len3; clear len4; clear len5;
clear len6; clear len7; clear len8; clear len9; clear len10; clear i;
clear Leq1; clear Leq2; clear Leq3; clear Leq4; clear Leq5; clear
Leq6; clear Leq7; clear Leq8; clear Leq9; clear Leq10;

% assembling the logarithmically converted signal
X(1:p(1))=X1; clear X1; X((p(1)+1):p(2))=X2; clear X2;
X((p(2)+1):p(3))=X3; clear X3; X((p(3)+1):p(4))=X4; clear X4;
X((p(4)+1):p(5))=X5; clear X5;
X((p(5)+1):p(6))=X6; clear X6; X((p(6)+1):p(7))=X7; clear X7;
X((p(7)+1):p(8))=X8; clear X8; X((p(8)+1):p(9))=X9; clear X9;
X((p(9)+1):p(10))=X10; clear X10;
len=length(X);

% Statistics
% Cumulative
a=floor(min(X)); b=ceil(max(X))+1; c=(b-a)*2+1;
p=[];
for i=a:0.5:b
    p=[p;sum(X > i)];
end
len=length(X);

% percentile levels
L05=a+(c-sum(p<len*0.05))/2;
L10=a+(c-sum(p<len*0.10))/2;

```



```
L50=a+(c-sum(p<len*0.50))/2;
L90=a+(c-sum(p<len*0.90))/2;
L95=a+(c-sum(p<len*0.95))/2;
Ln=[L01 L05 L10 L50 L90 L95 L99];
```

```
clear a; clear b; clear c; clear p; clear X; clear i; clear len;
clear Fs;
```

Για τη φασματική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν ως αρχικά τα αρχεία:

```
function [B,A] = oct3dsgn(Fc,Fs,N);
% OCT3DSGN Design of a one-third-octave filter.
% [B,A] = OCT3DSGN(Fc,Fs,N) designs a digital 1/3-octave filter
with
% center frequency Fc for sampling frequency Fs.
% The filter is designed according to the Order-N specification
% of the ANSI S1.1-1986 standard. Default value for N is 3.
% Warning: for meaningful design results, center frequency used
% should preferably be in range Fs/200 < Fc < Fs/5.
% Usage of the filter: Y = FILTER(B,A,X).
%
% Requires the Signal Processing Toolbox.
%
% See also OCT3SPEC, OCTDSGN, OCTSPEC.

% Author: Christophe Couvreur, Faculte Polytechnique de Mons
(Belgium)
% couvreur@thor.fpms.ac.be
% Last modification: Aug. 25, 1997, 2:00pm.

% References:
% [1] ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986): Specifications for
% Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and
% Digital Filters, 1993.

if (nargin > 3) | (nargin < 2)
    error('Invalide number of arguments.');
```

```
end
if (nargin == 2)
    N = 3;
end
if (Fc > 0.88*(Fs/2))
    error('Design not possible. Check frequencies.');
```

```
end

% Design Butterworth 2Nth-order one-third-octave filter
% Note: BUTTER is based on a bilinear transformation, as suggested in
[1].
pi = 3.14159265358979;
f1 = Fc/(2^(1/6));
f2 = Fc*(2^(1/6));
Qr = Fc/(f2-f1);
Qd = (pi/2/N)/(sin(pi/2/N))*Qr;
alpha = (1 + sqrt(1+4*Qd^2))/2/Qd;
W1 = Fc/(Fs/2)/alpha;
W2 = Fc/(Fs/2)*alpha;
[B,A] = butter(N,[W1,W2]);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function [p,f] = oct3bank(x);
```

```

% OCT3BANK Simple one-third-octave filter bank.
%   OCT3BANK(X) plots one-third-octave power spectra of signal
vector X.
%   Implementation based on ANSI S1.11-1986 Order-3 filters.
%   Sampling frequency Fs = 44100 Hz. Restricted one-third-octave-
band
%   range (from 100 Hz to 5000 Hz). RMS power is computed in each
band
%   and expressed in dB with 1 as reference level.
%
%   [P,F] = OCT3BANK(X) returns two length-18 row-vectors with
%   the RMS power (in dB) in P and the corresponding preferred
labeling
%   frequencies (ANSI S1.6-1984) in F.
%
%   See also OCT3DSGN, OCT3SPEC, OCTDSGN, OCTSPEC.

% Author: Christophe Couvreur, Faculte Polytechnique de Mons
(Belgium)
%   couvreur@thor.fpms.ac.be
% Last modification: Aug. 23, 1997, 10:30pm.

% References:
%   [1] ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986): Specifications for
%       Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and
%       Digital Filters, 1993.
%   [2] S. J. Orfanidis, Introduction to Signal Processing,
%       Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1996.

pi = 3.14159265358979;
Fs = 44100;           % Sampling Frequency
N = 3;               % Order of analysis filters.
F = [ 100 125 160, 200 250 315, 400 500 630, 800 1000 1250, ...
      1600 2000 2500, 3150 4000 5000 ]; % Preferred labeling freq.
ff = (1000).*((2^(1/3)).^[-10:7]); % Exact center freq.
P = zeros(1,18);
m = length(x);

% Design filters and compute RMS powers in 1/3-oct. bands
% 5000 Hz band to 1600 Hz band, direct implementation of filters.
for i = 18:-1:13
    [B,A] = oct3dsgn(ff(i),Fs,N);
    y = filter(B,A,x);
    P(i) = sum(y.^2)/m;
end
% 1250 Hz to 100 Hz, multirate filter implementation (see [2]).
[Bu,Au] = oct3dsgn(ff(15),Fs,N); % Upper 1/3-oct. band in last
octave.
[Bc,Ac] = oct3dsgn(ff(14),Fs,N); % Center 1/3-oct. band in last
octave.
[Bl,Al] = oct3dsgn(ff(13),Fs,N); % Lower 1/3-oct. band in last
octave.
for j = 3:-1:0
    x = decimate(x,2);
    m = length(x);
    y = filter(Bu,Au,x);
    P(j*3+3) = sum(y.^2)/m;
    y = filter(Bc,Ac,x);
    P(j*3+2) = sum(y.^2)/m;
    y = filter(Bl,Al,x);

```

```

    P(j*3+1) = sum(y.^2)/m;
end

% Convert to decibels.
Pref = 1; % Reference level for dB scale.
idx = (P>0);
P(idx) = 10*log10(P(idx)/Pref);
P(~idx) = NaN*ones(sum(~idx),1);

% Generate the plot
if (nargout == 0)
    bar(P);
    ax = axis;
    axis([0 19 ax(3) ax(4)])
    set(gca, 'XTick',[2:3:18]); % Label frequency axis on
octaves.
    set(gca, 'XTickLabels',F(2:3:length(F))); % MATLAB 4.1c
% set(gca, 'XTickLabel',F(2:3:length(F))); % MATLAB 5.1
    xlabel('Frequency band [Hz]'); ylabel('Power [dB]');
    title('One-third-octave spectrum')
% Set up output parameters
elseif (nargout == 1)
    p = P;
elseif (nargout == 2)
    p = P;
    f = F;
end
end

```

τα παραπάνω αρχεία τροποποιήθηκαν ως εξής:

```

function [p,f] = oct3bankMINE(x);

pi = 3.14159265358979;
Fs=44100;
N = 3; % Order of analysis filters.
F = [ 100 125 160, 200 250 315, 400 500 630, 800 1000 1250, ...
    1600 2000 2500, 3150 4000 5000, 6300 8000 10000 ]; % Preferred
labeling freq.
ff = (1000).*((2^(1/3)).^[-10:13]); % Exact center freq.
P = zeros(1,21);
m = length(x);

% Design filters and compute RMS powers in 1/3-oct. bands
% 20000 Hz band to 1600 Hz band, direct implementation of filters.
for i = 21:-1:13
    [B,A] = oct3dsgn(ff(i),Fs,N);
    y = filter(B,A,x);
    P(i) = sum(y.^2)/m;
end
% 1250 Hz to 100 Hz, multirate filter implementation
[Bu,Au] = oct3dsgn(ff(15),Fs,N); % Upper 1/3-oct. band in last
octave.
[Bc,Ac] = oct3dsgn(ff(14),Fs,N); % Center 1/3-oct. band in last
octave.
[Bl,Al] = oct3dsgn(ff(13),Fs,N); % Lower 1/3-oct. band in last
octave.
for j = 3:-1:0
    x = decimate(x,2);
    m = length(x);
    y = filter(Bu,Au,x);
    P(j*3+3) = sum(y.^2)/m;
end
end

```

```

    y = filter(Bc,Ac,x);
    P(j*3+2) = sum(y.^2)/m;
    y = filter(Bl,Al,x);
    P(j*3+1) = sum(y.^2)/m;
end

% Convert to decibels.

idx = (P>0);
P(idx) = 10*log10(P(idx))+126;
P(~idx) = NaN*ones(sum(~idx),1);

p=P;
f=F;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[x,Fs,nBits]=wavread(filename);
F = [ 100 125 160, 200 250 315, 400 500 630, 800 1000 1250, ...
      1600 2000 2500, 3150 4000 5000, 6300 8000 10000 ]; % Preferred
labeling freq.

m = length(x);
z=floor(m/10);

x1=x(1:z); x2=x((z+1):2*z); x3=x((2*z+1):3*z); x4=x((3*z+1):4*z);
x5=x((4*z+1):5*z); x6=x((5*z+1):6*z); x7=x((6*z+1):7*z);
x8=x((7*z+1):8*z); x9=x((8*z+1):9*z); x10=x((9*z+1):m);

[p1,f] = oct3bankMINE(x1);
[p2,f] = oct3bankMINE(x2);
[p3,f] = oct3bankMINE(x3);
[p4,f] = oct3bankMINE(x4);
[p5,f] = oct3bankMINE(x5);
[p6,f] = oct3bankMINE(x6);
[p7,f] = oct3bankMINE(x7);
[p8,f] = oct3bankMINE(x8);
[p9,f] = oct3bankMINE(x9);
[p10,f] = oct3bankMINE(x10);

for i=1:21

p(i)=(p1(i)+p2(i)+p3(i)+p4(i)+p5(i)+p6(i)+p7(i)+p8(i)+p9(i)+p10(i))/10;
end

bar(p);
ax = axis;
axis([0 22 ax(3) ax(4)])
set(gca,'XTick',[2:3:24]); % Label frequency axis on
octaves.
set(gca,'XTickLabels',F(2:3:length(F))); % MATLAB 4.1c
% set(gca,'XTickLabel',F(2:3:length(F))); % MATLAB 5.1
xlabel('Frequency band [Hz]'); ylabel('Power [dB]');
title('One-third-octave spectrum')

```

Για την απεικόνιση των αιθουσών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AutoCAD, έκδοση 2007. Η κύρια εντολή που χρησιμοποιήθηκε για να επιτευχθεί τρισδιάστατος σχεδιασμός ήταν η 3D face. Τα αρχεία αποθηκεύτηκαν σε μορφή .dxf ώστε να υπάρχει συμβατότητα με το λογισμικό ακουστικής προσομοίωσης.

Το λογισμικό ακουστικής προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ODEON 1010 combined version. Τυχόν αναγκαίες βελτιώσεις της απεικόνισης των αιθουσών έγιναν με χρήση της εφαρμογής Odeon Editor ώστε οι αίθουσες να προσομοιάζουν όσο το δυνατόν την πραγματικότητα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι αντίστοιχες ακουστικές παράμετροί τους αναφέρονται σε κάθε αίθουσα ξεχωριστά.

Υποθέσαμε σε όλες τις περιπτώσεις ότι ο καθηγητής κάθονταν στην έδρα και μιλούσε με υψωμένη φωνή. Για την μελέτη της επικοινωνίας μαθητή προς καθηγητή, υποθέτουμε ότι ο πιο απομακρυσμένος μαθητής μιλάει στον καθηγητή με επίσης υψωμένη φωνή. Τέλος, για την επικοινωνία των μαθητών μεταξύ τους, επιλέξαμε έναν τυχαίο μαθητή να μιλάει προς τους μαθητές με κανονική φωνή, κοιτώντας το κύριο σώμα των μαθητών, προς το κέντρο της αίθουσας. Έτσι, τοποθετήσαμε στη θέση που προσεγγιστικά θα ήταν το στόμα των ομιλητών ηχητικές πηγές με τις εξής ακουστικές παραμέτρους: [22]

Frequency (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Total Power
Raised voice	Sound Power (dB re 1pW)	63.9	63.9	69.1	74.8	71.0	62.6	55.9	55.9	77.7 dB 75.0 dB(A)
	SPL on axis at 10 m (dB)	34.2	34.2	40.8	45.6	42.2	35.8	29.4	29.3	
Normal voice	Sound Power (dB re 1pW)	61.9	61.9	64.1	67.8	62.0	54.6	49.9	49.9	71.4 dB 67.4 dB(A)
	SPL on axis at 10 m (dB)	32.2	32.2	35.8	38.6	33.2	27.8	23.4	23.3	

Γνωρίζουμε ότι το ύψος των αυτιών των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης όταν κάθονται στις σχολικές καρέκλες είναι περίπου στα 1,2m. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο πλέγμα, με ύψος 1.2m από το έδαφος και απόσταση μεταξύ των δεκτών 1m. Έτσι είχαμε μια καθολική εικόνα των ακουστικών μεγεθών που υπάρχουν σε κάθε πιθανή θέση ενός μαθητή στην αίθουσα.

Μετά την κατασκευή της αίθουσας σε τρισδιάστατη απεικόνιση, τη διόρθωση των λαθών, την επιλογή υλικών ανά επιφάνεια, την τοποθέτηση ηχητικών πηγών που προσομοιάζουν την φωνή του καθηγητή και τη διαμόρφωση κατάλληλου πλέγματος, ασχοληθήκαμε με τη τελική διαμόρφωση δωματίου (room setup). Όσον αφορά το “point response parameters” επιλέχθηκε το engineering που περιλαμβάνει τον προτεινόμενο αριθμό ηχητικών ακτίνων. Αν επιλέγαμε το survey θα υπήρχε ο κίνδυνος να είναι ελλιπής ο αριθμός ακτίνων, ενώ με το precision θα επιβαρύνουμε το σύστημα χωρίς να έχουμε σημαντικά ποιοτικά οφέλη

συγκριτικά με την περίπτωση του engineering. Για τον προσδιορισμό του Impulse Response Length παρατηρήσαμε από το quick estimate τους εκτιμώμενους χρόνους αντήχησης κατά Sabine, Eyring, Arau – Puchades. Ο χρόνος που εμείς ορίσαμε ήταν λίγο μεγαλύτερος από το μέγιστο χρόνο αντήχησης που παρατηρήσαμε. Ο λόγος που κάναμε την ενέργεια αυτή ήταν για να εξασφαλίσουμε ότι κατά την προσομοίωση δε θα προέκυπτε χρόνος αντήχησης μεγαλύτερος από το Impulse Response Length γιατί τότε το πρόγραμμα θα μας έδινε μηδενικό χρόνο αντήχησης.

Για τον προσδιορισμό της STI παραμέτρου, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο STI του Odeon. Για το θόρυβο βάθους (background noise) τοποθετήσαμε τις τιμές L90 ανά συχνότητα που καταγράφηκαν από το ηχόμετρο 2270. Ως περιβαλλοντικές συνθήκες λάβαμε τη θερμοκρασία ίση με 20° και τη σχετική υγρασία ίση με 50%.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όσον αφορά τους χρόνους αντήχησης που υπολογίσθηκαν με χρήση του Odeon, έχουμε μεγάλη απόκλιση σε σχέση με αυτούς που μετρήθηκαν με τα ηχόμετρα. Ο λόγος είναι η αστοχία των υλικών όσον αφορά την απορροφητική, την ανακλαστική ικανότητά τους και ο τρόπος που διαχέουν τον ήχο που προσπίπτει σε αυτά. Επίσης, κάποιες απλουστεύσεις στην προσομοίωση μέσω AutoCAD ενδεχομένως οδήγησαν σε ουσιαστικές αλλοιώσεις. Ο μη ρεαλιστικός χρόνος αντήχησης επηρεάζει αναλογικά και το STI, ρίχνοντας ουσιαστικά την τιμή του σε σχέση με την πραγματική. Γι αυτό, πρέπει να διαβάζονται και να αξιοποιούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κριτικά. Η μεγαλύτερη αξία χρήσης του Odeon έχει να κάνει με την ικανότητα απεικόνισης της μεταβολής των μεγεθών σε ενδεχόμενες μεταβολές του χώρου που μελετάται. [23]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΘΟΥΣΩΝ

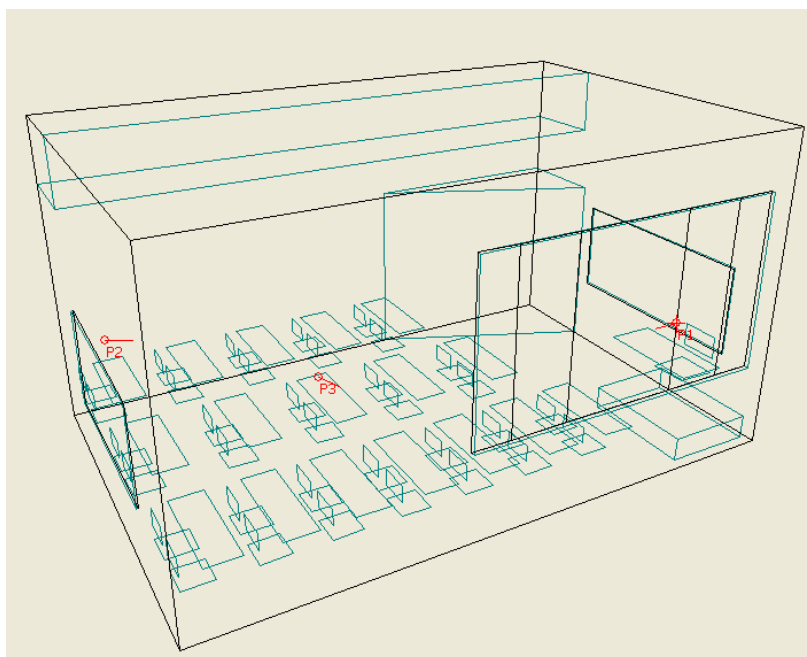
Α' Ενιαίο Λύκειο Αρσακείου Ψυχικού

Το Α' Ενιαίο Λύκειο Αρσακείου Ψυχικού στεγάζεται στο συγκρότημα των Αρσακείων σχολείων στο Παλιό Ψυχικό. Η περιοχή αυτή γενικά, αλλά και ειδικά το μέρος που βρίσκεται το Αρσάκειο, είναι εξαιρετικά ήσυχη, με πολύ περιορισμένη κίνηση στους δρόμους. Το κεντρικό κτήριο των σχολείων βρίσκεται στο κέντρο μιας μεγάλης έκτασης πολλών στρεμμάτων, επομένως οι αίθουσες βρίσκονται μακριά από οδούς. Επομένως, ο εξωτερικός θόρυβος που ενδεχομένως επηρεάζει την ακουστική των αιθουσών προέρχεται από τους μαθητές στον χώρο προαύλισης. Το συγκρότημα Ψυχικού, περιλαμβάνει Νηπιαγωγείο, τρία Δημοτικά, δύο Γυμνάσια και τρία Λύκεια. Επομένως, ο χώρος προαύλισης είναι σχεδόν μόνιμα κατειλημμένος από μαθητές που έχουν την εκάστοτε διδακτική ώρα το μάθημα της Γυμναστικής. Οι αίθουσες που εξετάσαμε βρίσκονται στον τρίτο όροφο του σχολείου, σε απόσταση περίπου 50 μέτρων από τον στίβο. Επιπλέον, στον εξωτερικό χώρο των αιθουσών υπάρχει μεγάλο μπαλκόνι, μήκους τουλάχιστον 7 μέτρων με προστατευτικό τοιχάκι ύψους 1.2 μέτρων. Έτσι, δεν έχουμε απευθείας ηχητικά κύματα να φθάνουν στην αίθουσα. Επομένως, ο εξωτερικός θόρυβος είναι κατά κανόνα εξαιρετικά περιορισμένος. Τις ημέρες όμως που έγιναν οι μετρήσεις, στο σχολείο πραγματοποιούνταν οικοδομικές εργασίες στο χώρο του στίβου, οι οποίες ανέβασαν το βάθος θορύβου σε τιμές κοντά ή και μεγαλύτερες των 50dBA.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το κτήριο χτίστηκε τη δεκαετία του 30, οι εξωτερικοί τοίχοι είναι πέτρινοι και παχείς, οι αίθουσες ιδιαίτερα ψηλές (περίπου 5 μέτρα), ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν αντικατασταθεί τα παράθυρα με διπλά τζάμια. Οι κουρτίνες είναι από χοντρά υφάσματα που συμβάλουν ικανοποιητικά στην ηχοαπορρόφηση. Οι καθηγητές είναι καθισμένοι σε έδρα, με την υψομετρική αυτή διαφορά να συμβάλει στη διάδοση του ήχου απευθείας από την πηγή χωρίς εμπόδια στο μεγαλύτερο μέρος της τάξης. Οι αίθουσες που μελετήθηκαν είναι στο τέλος ενός διαδρόμου στον οποίο βρίσκονται συνολικά 7 αίθουσες.

Αίθουσα διδασκαλίας ΒΒ

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $179,09\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $235,0\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Θρανία / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Ξύλινο βάθρο	Hollow wooden podium (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	0,10

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακoinώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

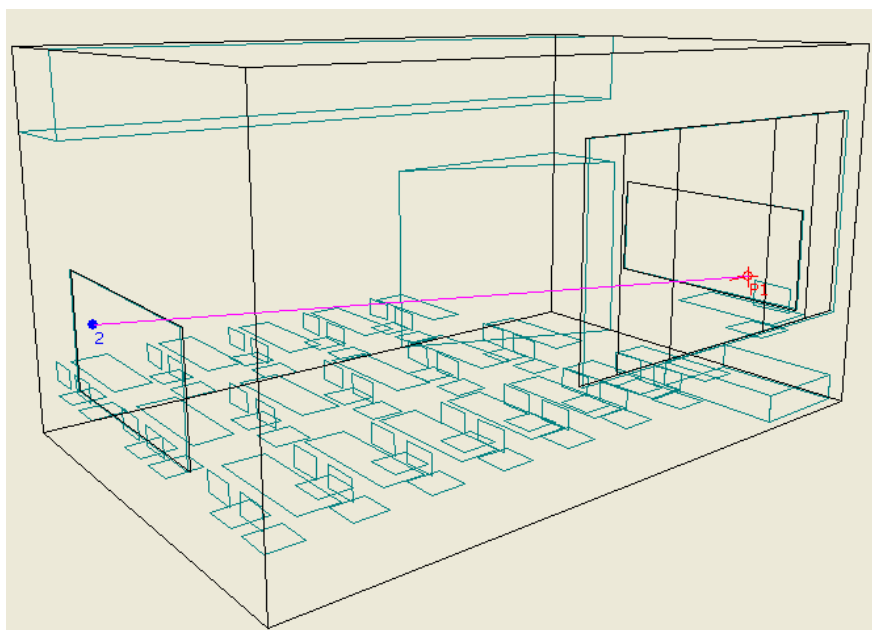
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,15	1,15	1,77	2,46	1,88	1,95	1,62	0,93
T Sabine (modified)	0,92	0,92	1,45	2,07	1,65	1,74	1,49	0,88
T Eyring	1,11	1,11	1,73	2,43	1,85	1,92	1,60	0,92
T Eyring (modified)	0,88	0,88	1,41	2,03	1,61	1,71	1,47	0,87
T Arau-Puchades	1,30	1,30	1,82	2,49	1,93	1,98	1,63	0,93
T Arau-Puchades (modified)	1,05	1,05	1,49	2,08	1,67	1,76	1,49	0,88

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητής (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



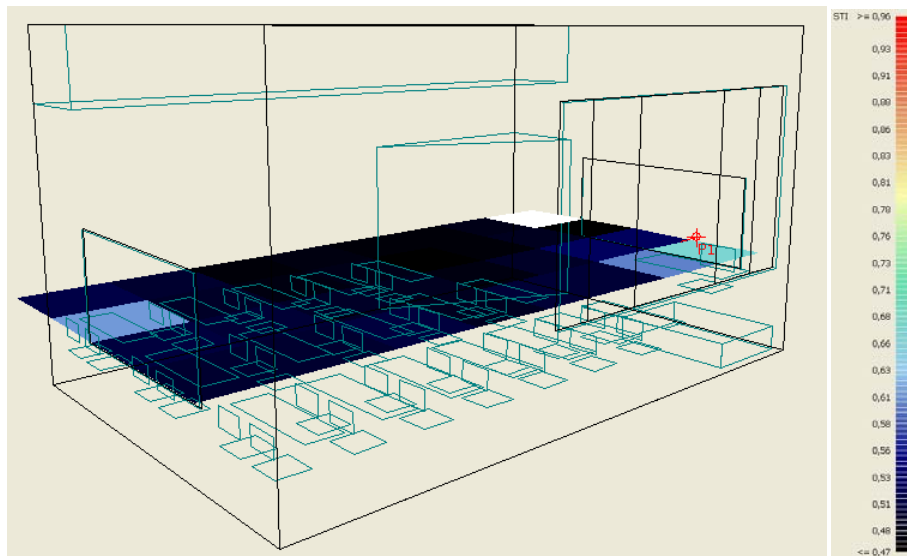
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0,79	0,69	1,84	2,49	2,04	2,10	1,77	1,01
T30 (s)	0,95	0,78	1,77	2,63	2,14	2,20	1,85	0,94
SPL (dB)	53,9	53,5	63,1	70,6	65,6	57,7	49,9	46,8
C80 (dB)	5,5	7,0	-0,1	-2,1	-1,4	-1,3	-0,1	3,9
D50	0,59	0,65	0,36	0,27	0,31	0,31	0,36	0,56
Ts (ms)	56	47	121	175	146	149	121	64
LF80	0,318	0,325	0,308	0,300	0,299	0,296	0,295	0,283

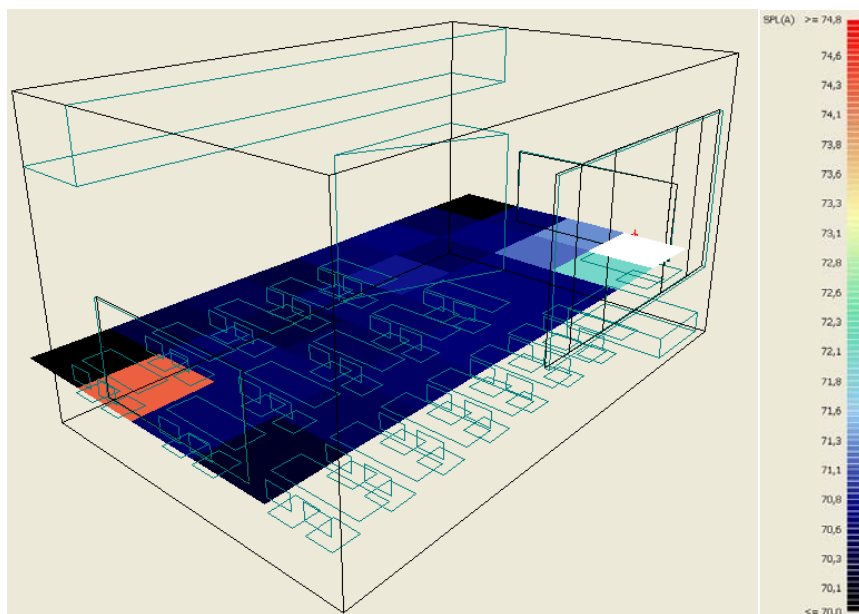
SPL(A) = 70,1(dB)
LG80* = 59,3(dB)
STI = 0,49 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,46 και 0,61 με μέση τιμή περίπου στο 0,50.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,9 και 74,3dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,92	0,78	1,80	2,68	2,24	2,40	1,81	0,93
T30	(s)	1,00	0,68	1,79	2,51	2,03	2,14	1,77	1,02
SPL	(dB)	53,8	53,3	62,6	70,1	65,2	57,0	49,2	46,2
C80	(dB)	4,9	5,9	0,0	-2,0	-0,6	-1,0	0,4	4,6
D50		0,62	0,66	0,37	0,28	0,35	0,34	0,40	0,61
Ts	(ms)	56	48	122	179	142	152	117	58
LF80		0,320	0,317	0,291	0,282	0,262	0,272	0,266	0,256
SPL(A) = 69,7(dB)									
LG80* = 58,5(dB)									
STI = 0,50 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)									

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,45 και 0,52 με μέση τιμή περίπου στο 0,50.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,4 και 71,9dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1,01	0,88	1,85	2,65	2,11	2,21	1,83	0,98
T30	(s)	1,00	1,00	1,75	2,55	2,06	2,21	1,77	1,01
SPL	(dB)	53,0	52,2	58,3	63,6	56,7	49,4	43,5	40,4
C80	(dB)	3,7	4,5	-0,7	-3,1	-1,9	-2,1	-1,2	2,6
D50		0,56	0,61	0,32	0,21	0,26	0,24	0,28	0,45
Ts	(ms)	62	56	130	193	156	164	137	77
LF80		0,256	0,252	0,292	0,317	0,306	0,318	0,329	0,324
SPL(A) = 62,6(dB)									
LG80* = 52,7(dB)									
STI = 0,46 (Theoretical based on T30, STI = 0,47)									

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,46 και 0,60 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 61,8 και 64,0dBA.

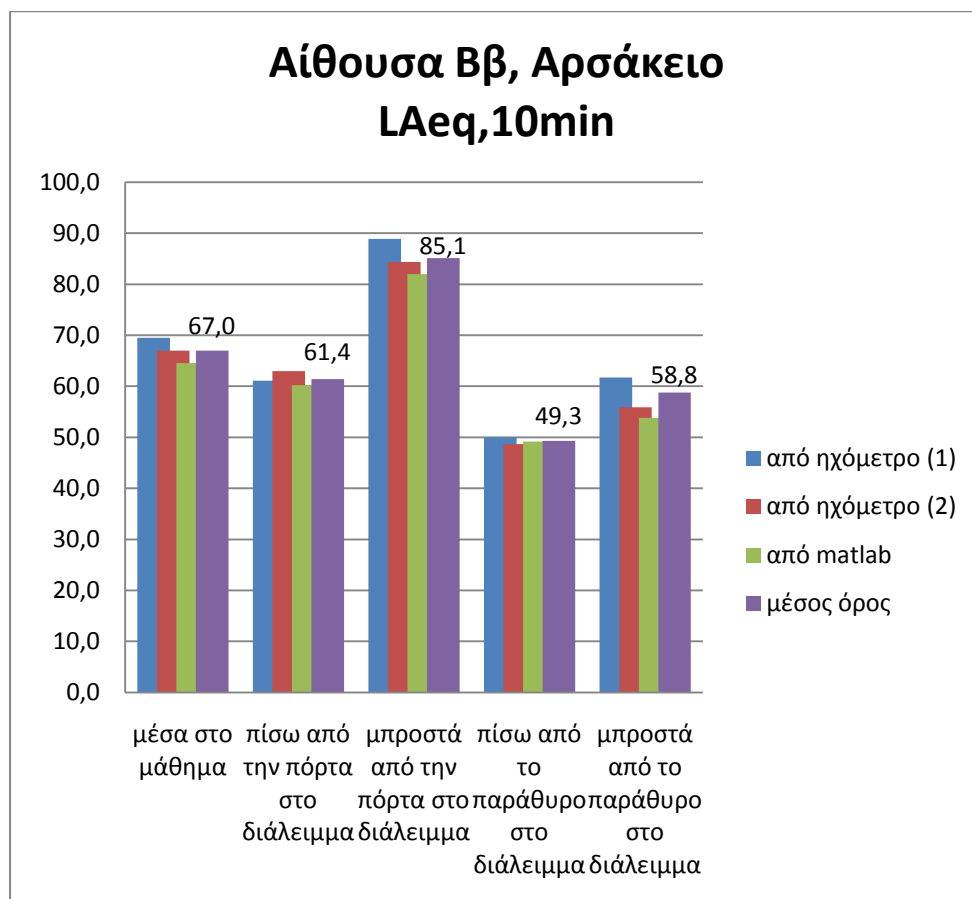
Σχόλια: Με χρήση της προσομοίωσης από το odeon προκύπτει μικρό STI, το οποίο οφείλεται εν πολλοίς στον χρόνο αντήχησης και στο βάθος θορύβου. Όμως, όπως θα δούμε στην επόμενη σελίδα, ο πραγματικός χρόνος αντήχησης είναι μικρότερος κατά μισό δευτερόλεπτο περίπου από αυτόν που θεωρητικά υπολογίστηκε, ενώ ο θόρυβος βάθους οφείλεται στις οικοδομικές εργασίες που συμπτωματικά έλαβαν μέρος τις μέρες των μετρήσεων και δεν αποτελεί μόνιμο πρόβλημα.

Ο χρόνος αντήρησης που μετρήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω.

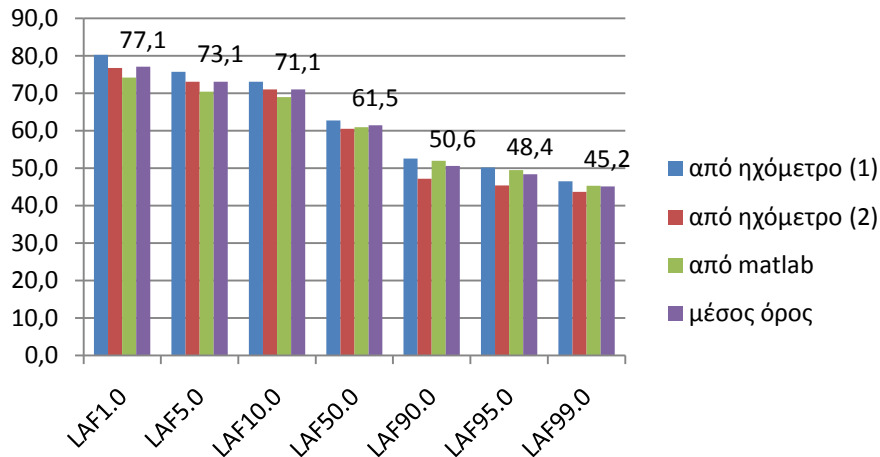
Σημείο 1/1	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,24	1,89	1,36	1,18	1,15	0,97	1,27
T30 (sec)	2,28	1,92	1,45	1,18	1,17	1,02	1,32
EDT (sec)	2,52	1,59	1,31	1,18	1,19	0,97	1,24
RT (sec)	2,35	1,80	1,37	1,18	1,17	0,99	1,28

Ο χρόνος αντήρησης είναι σχετικά υψηλός. Όμως η αίθουσα καλύπτεται εξολοκλήρου με μαθητές, επομένως, σε συνθήκες διδασκαλίας ο χρόνος αντήρησης μειώνεται ραγδαία. Επομένως, η φαινομενικά υψηλή τιμή του δεν είναι προβληματική.

Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.

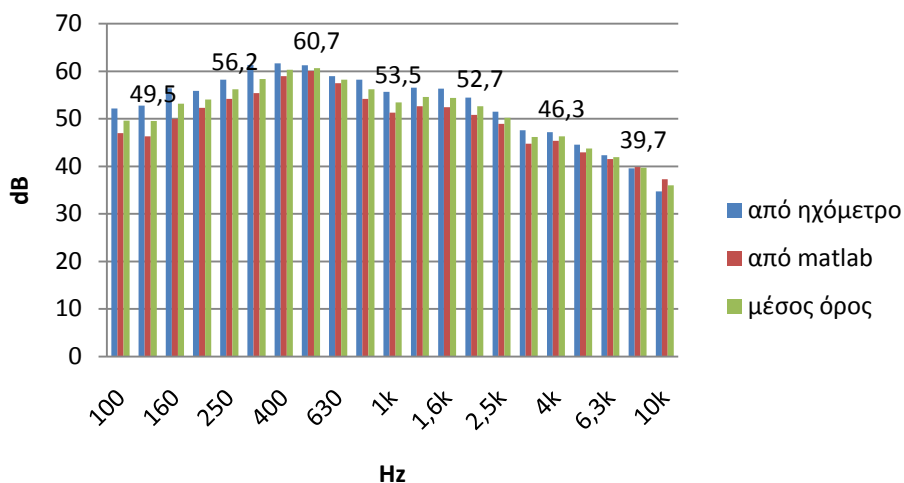


Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Ββ, Αρσάκειο μέσα στο μάθημα



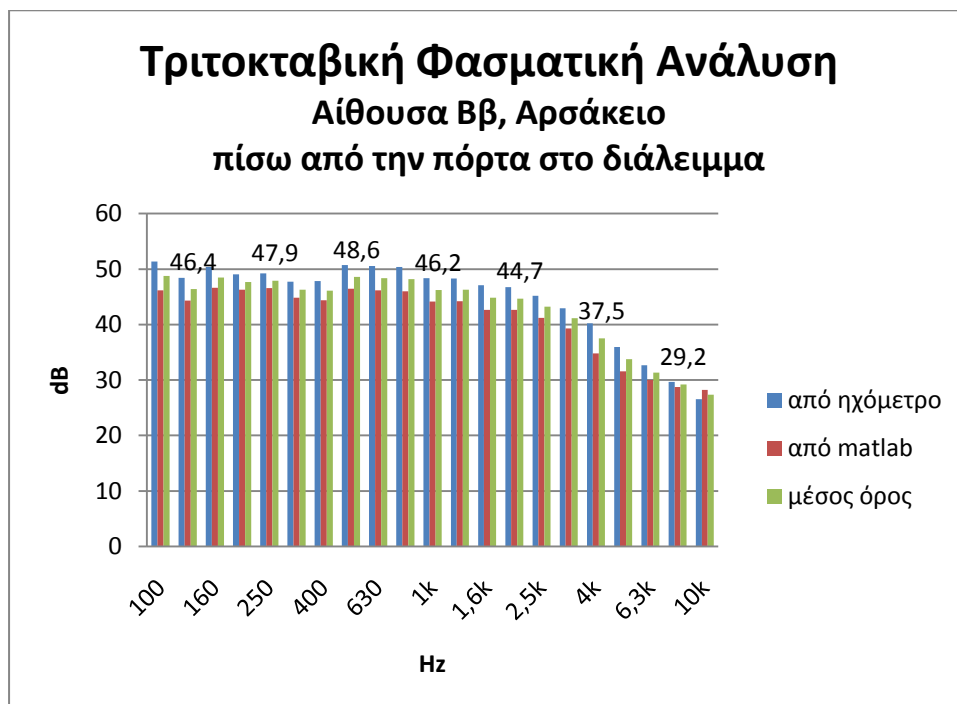
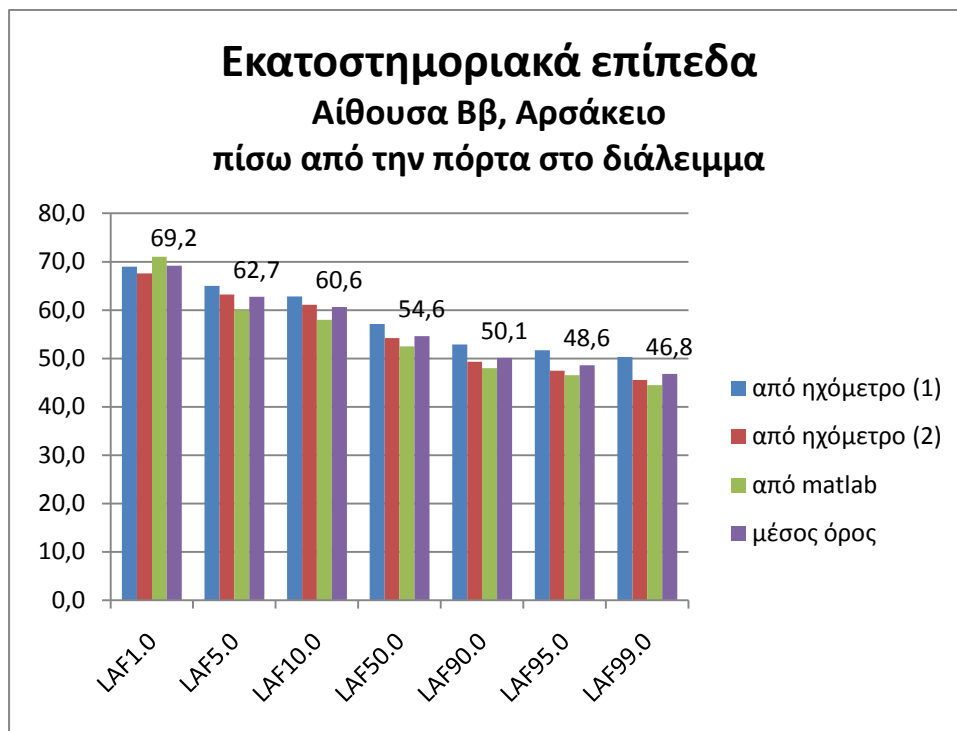
Παρατηρούμε ότι ο θόρυβος βάθους είναι υψηλός. Αυτό οφείλεται στις οικοδομικές εργασίες που συντελούνταν στον προαύλιο χώρο, καθώς για λόγους εξαιρισμού κάποια παράθυρα ήταν ανοιχτά. Επίσης, στον θόρυβο από τους μαθητές καθότι υπήρχε μεγάλος συχνωτισμός. Η καθηγήτρια μιλούσε σχετικά χαμηλόφωνα για τα δεδομένα της αίθουσας, περίπου στα 65dBA. Έτσι, προκύπτει ότι το SNR είναι περίπου 15dBA, η οποία είναι ικανοποιητική τιμή. Ιδιαίτερα ακραίες τιμές δεν παρατηρήθηκαν.

Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Ββ, Αρσάκειο μέσα στο μάθημα

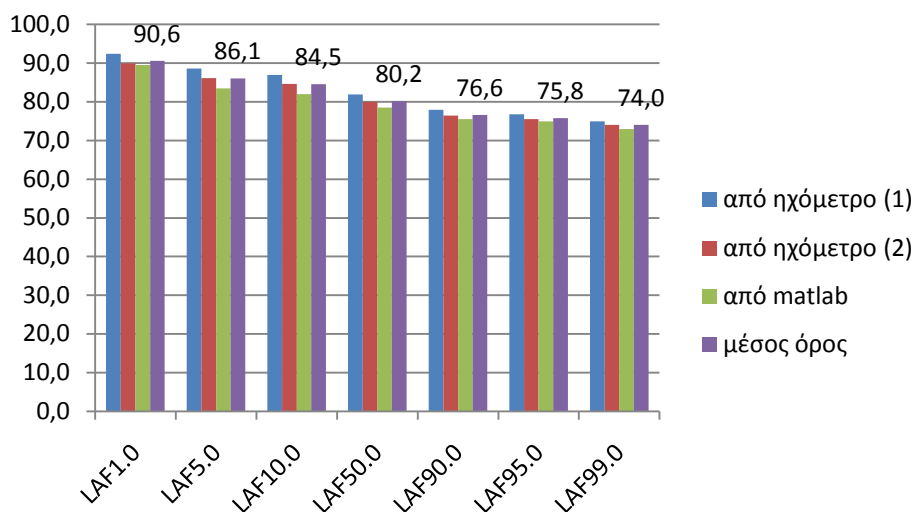


Οι τιμές της έντασης στις χαμηλές συχνότητες, στις οποίες είναι η ανθρώπινη φωνή, είναι ικανοποιητικές. Αν είχε γίνει ανάλυση με σταθμισμένες κατά Α τιμές αυτό θα ήταν πιο αντιληπτό.

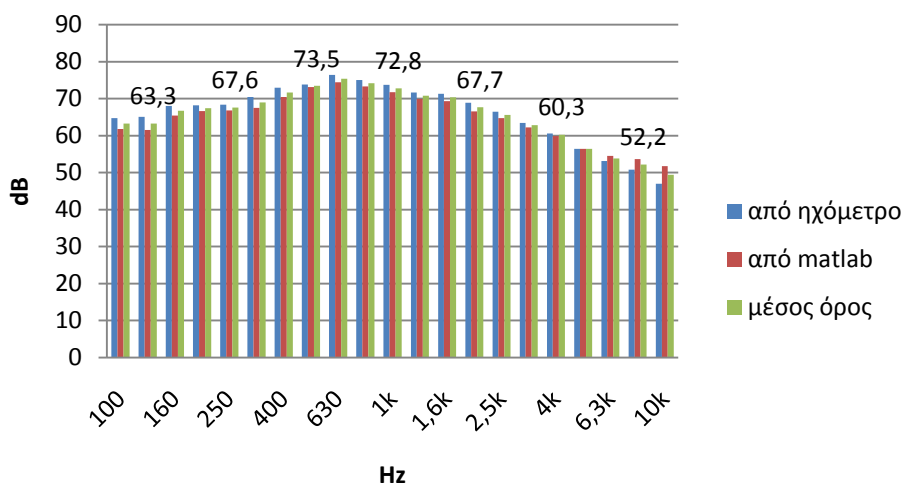
Σε συνθήκες διαλείμματος έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Ββ, Αρσάκειο μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

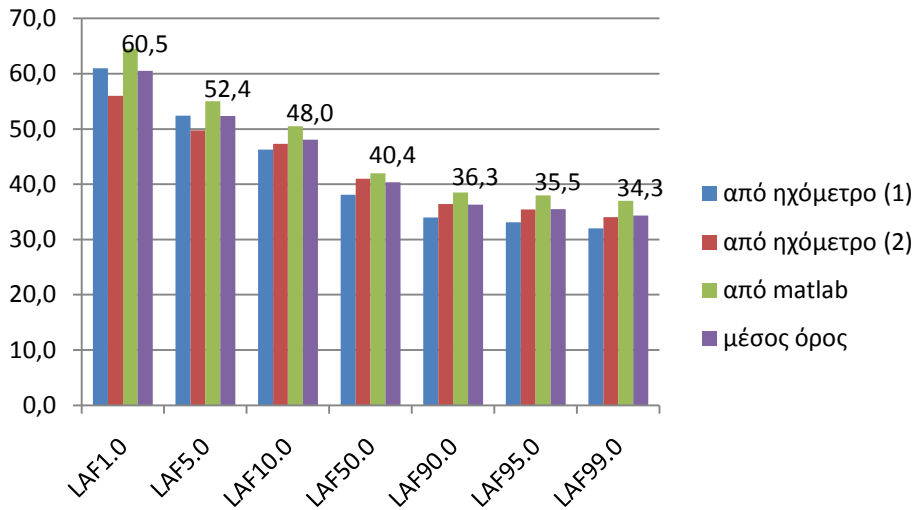


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Ββ, Αρσάκειο μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

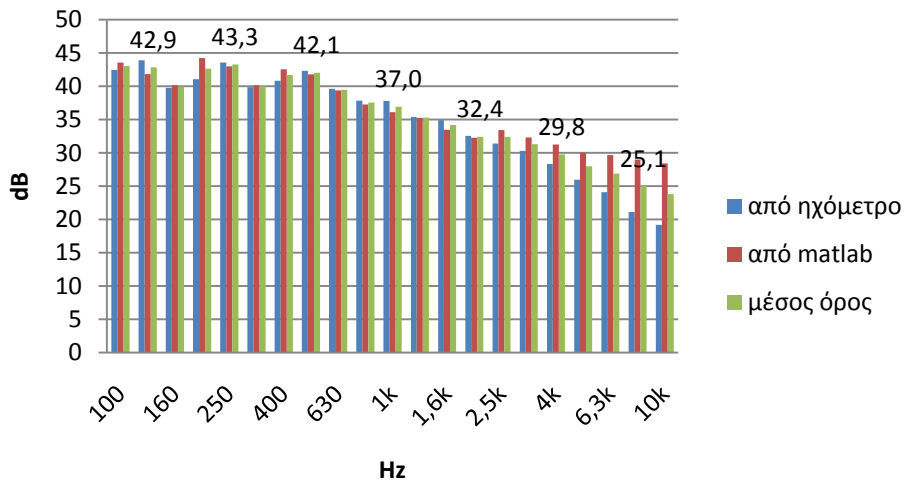


Παρατηρούμε ότι η πόρτα παρέχει ικανοποιητική ηχομόνωση σε όλο το εύρος συχνοτήτων.

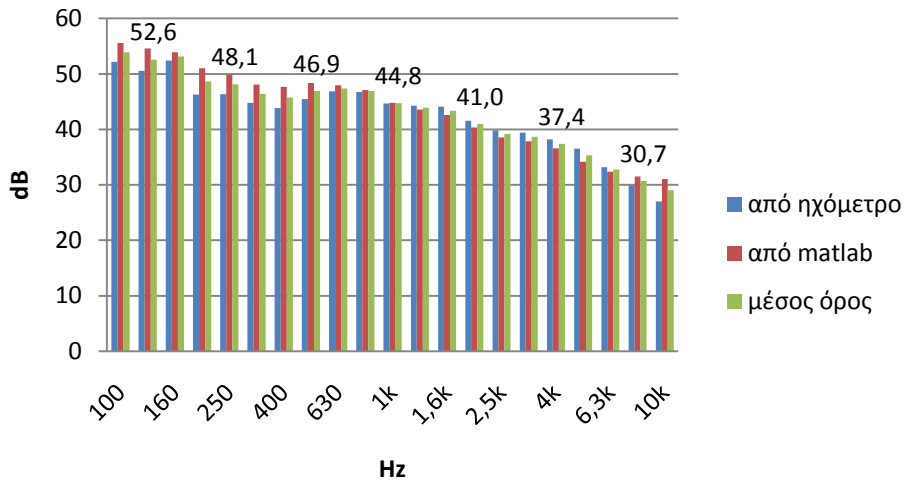
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Ββ, Αρσάκειο πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Ββ, Αρσάκειο πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



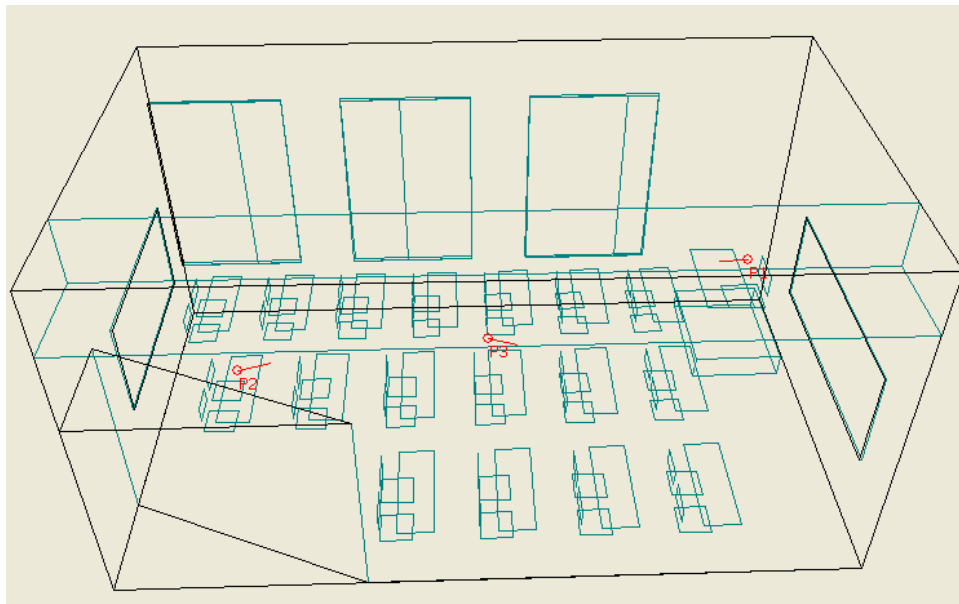
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Ββ, Αρσάκειο μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Παρατηρούμε από τα διαγράμματα και από το LAeq,10min το οποίο για τον εξωτερικό χώρο από την αίθουσα, ένα μέτρο μακριά από το παράθυρο, είναι μόλις περίπου 60dBA ότι η θέση της αίθουσας εξασφαλίζει ότι ο θόρυβος από τους μαθητές στον προαύλιο χώρο κατά την ώρα του διαλείμματος θα φτάσει πολύ εξασθενημένος. Η τιμή εντός της αίθουσας ένα μέτρο μακριά από το παράθυρο, δεν απέχει παρά 10dBA από την αντίστοιχη στο εξωτερικό. Αυτό οφείλεται στο ότι κύρια συνιστώσα της δεν είναι ο θόρυβος από το προαύλιο χώρο, αλλά από τον διάδρομο. Επίσης, η εξωτερική τιμή είναι ήδη χαμηλή, όπως αναφέρθηκε.

Αίθουσα διδασκαλίας Βγ

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $186,92\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $252,04\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Θρανία / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Ξύλινο βήθρο	Hollow wooden podium (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	0,10

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακονιώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

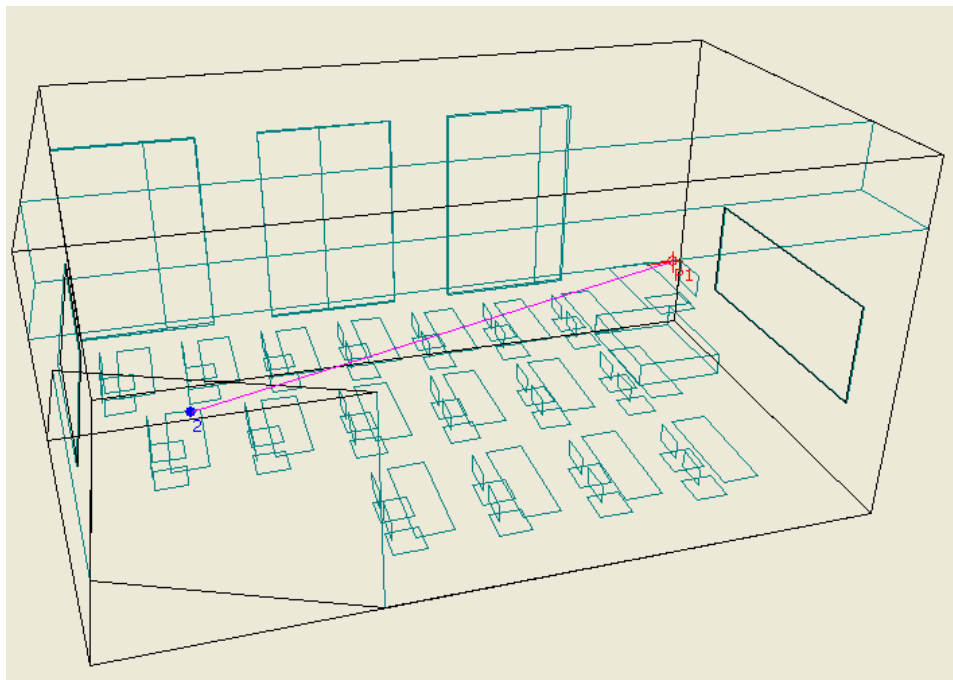
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,25	1,25	1,88	2,53	1,90	1,99	1,65	0,94
T Sabine (modified)	1,05	1,05	1,61	2,21	1,71	1,81	1,55	0,90
T Eyring	1,20	1,20	1,83	2,48	1,86	1,95	1,63	0,93
T Eyring (modified)	1,01	1,01	1,57	2,16	1,67	1,78	1,52	0,89
T Arau-Puchades	1,40	1,40	1,92	2,58	1,98	2,05	1,68	0,95
T Arau-Puchades (modified)	1,19	1,19	1,64	2,24	1,77	1,86	1,56	0,91

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητή (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



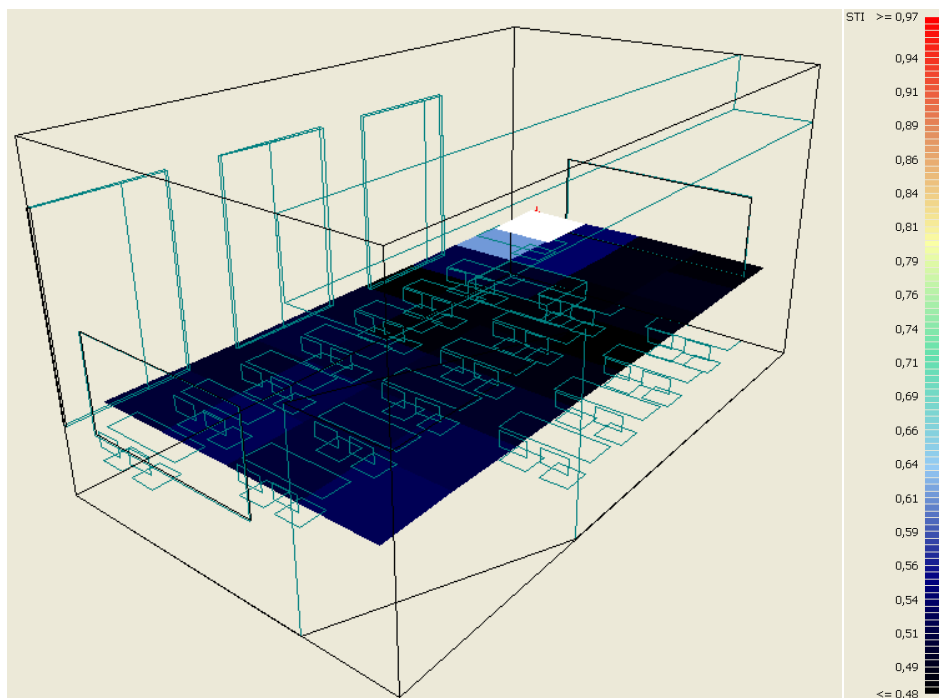
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0,92	0,82	1,79	2,38	2,01	2,09	1,71	0,93
T30 (s)	1,03	0,88	1,83	2,50	2,02	2,16	1,78	0,96
SPL (dB)	53,8	53,4	62,8	70,0	65,2	57,2	49,5	46,6
C80 (dB)	4,2	5,0	-0,3	-2,0	-1,0	-0,9	0,4	4,3
D50	0,58	0,62	0,35	0,27	0,31	0,32	0,39	0,58
Ts (ms)	61	54	123	170	139	142	113	60
LF80	0,370	0,364	0,354	0,362	0,332	0,348	0,340	0,341

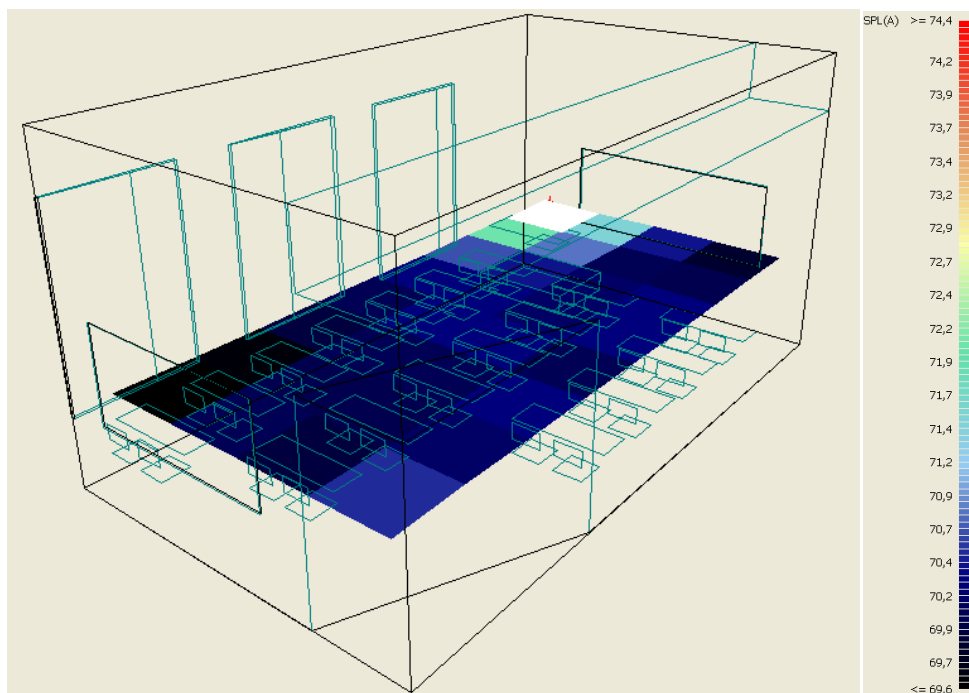
SPL(A) = 69,6(dB)
LG80* = 58,5(dB)
STI = 0,51 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,47 και 0,54 με μέση τιμή περίπου στο 0,51.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,8 και 70,4dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,99	0,82	1,83	2,55	2,05	2,22	1,86	0,94
T30	(s)	0,88	0,78	1,84	2,50	1,98	2,14	1,72	1,01
SPL	(dB)	54,3	53,9	63,0	70,2	65,4	57,3	49,6	46,7
C80	(dB)	3,9	4,9	0,0	-1,5	-0,6	-0,8	0,6	4,6
D50		0,57	0,62	0,36	0,29	0,34	0,32	0,38	0,57
Ts	(ms)	65	56	124	168	138	145	116	60
LF80		0,338	0,337	0,314	0,312	0,297	0,291	0,284	0,277
SPL(A) = 69,9(dB)									
LG80* = 58,8(dB)									
STI = 0,50 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)									

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,47 και 0,55 με μέση τιμή περίπου στο 0,52.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,7 και 71,7dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικής δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,96	0,85	1,79	2,53	2,11	2,26	1,83	0,88
T30	(s)	0,87	0,77	1,80	2,47	1,97	2,10	1,75	1,02
SPL	(dB)	52,3	51,7	57,5	62,6	55,7	48,4	42,6	39,4
C80	(dB)	3,8	4,6	-0,7	-2,7	-1,5	-1,9	-0,9	2,7
D50		0,54	0,58	0,31	0,22	0,27	0,25	0,28	0,43
Ts	(ms)	64	57	131	184	149	161	135	78
LF80		0,289	0,298	0,313	0,338	0,314	0,345	0,347	0,346
SPL(A) = 61,6(dB)									
LG80* = 51,3(dB)									
STI = 0,48 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)									

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,45 και 0,52 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 61,8 και 63,9dBA.

Σχόλια: Με χρήση της προσομοίωσης από το odeon προκύπτει μικρό STI, το οποίο οφείλεται εν πολλοίς στον χρόνο αντήχησης και στο βάθος θορύβου. Όμως, όπως θα δούμε στην επόμενη σελίδα, ο πραγματικός χρόνος αντήχησης είναι μικρότερος κατά μισό δευτερόλεπτο περίπου από αυτόν που θεωρητικά υπολογίστηκε, ενώ ο θόρυβος βάθους οφείλεται στις οικοδομικές εργασίες που συμπτωματικά έλαβαν μέρος τις μέρες των μετρήσεων και δεν αποτελεί μόνιμο πρόβλημα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο χρόνος αντήχησης που μετρήθηκε

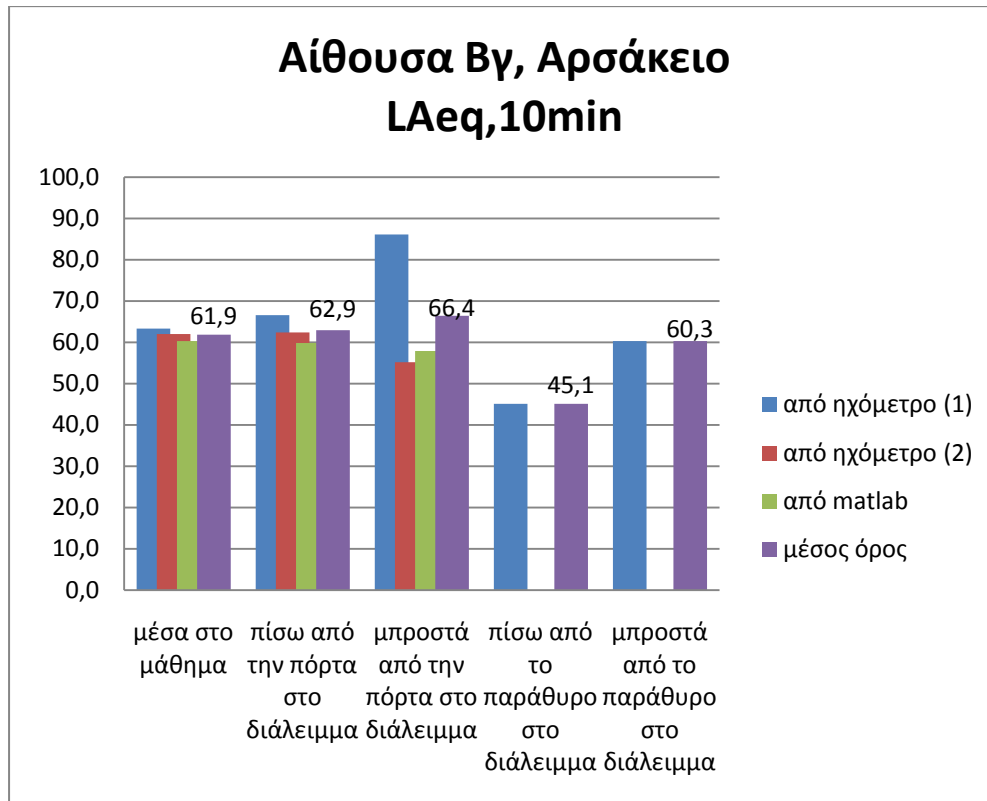
Σημείο 1/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,12	1,84	1,38	1,23	1,21	1,04	1,30
T30 (sec)	2,37	1,95	1,4	1,25	1,2	1,06	1,32
EDT (sec)	1,73	1,57	1,33	1,24	1,23	1,03	1,28

Σημείο 2/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,31	1,93	1,26	1,25	1,19	1,07	1,26
T30 (sec)	2,51	1,83	1,33	1,25	1,2	1,09	1,29
EDT (sec)	1,73	1,53	1,24	1,09	1,19	1,03	1,16

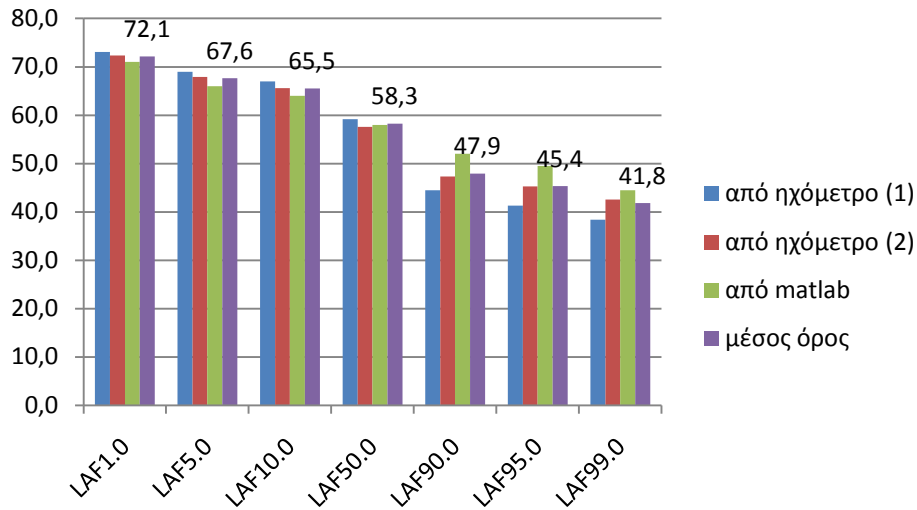
Μέσος όρος	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,22	1,89	1,32	1,24	1,20	1,06	1,28
T30 (sec)	2,44	1,89	1,37	1,25	1,20	1,08	1,31
EDT (sec)	1,73	1,55	1,29	1,17	1,21	1,03	1,22
RT (sec)	2,13	1,78	1,32	1,22	1,20	1,05	1,27

Ο χρόνος αντήχησης είναι σχετικά υψηλός, αλλά όχι απαγορευτικά. Η τοποθέτηση ψευδοροφής θα συνέβαλε καθοριστικά στο να επιτευχθεί ένας ιδανικός χρόνος αντήχησης. Θα μπορούσαν όμως να υιοθετηθούν εναλλακτικά πρακτικές λύσεις με σαφώς μικρότερη δαπάνη, όπως η τοποθέτηση πίνακα ανακοινώσεων από ηχοαπορροφητικό υλικό στον άδειο τοίχο, ή η τοποθέτηση μιας βιβλιοθήκης.

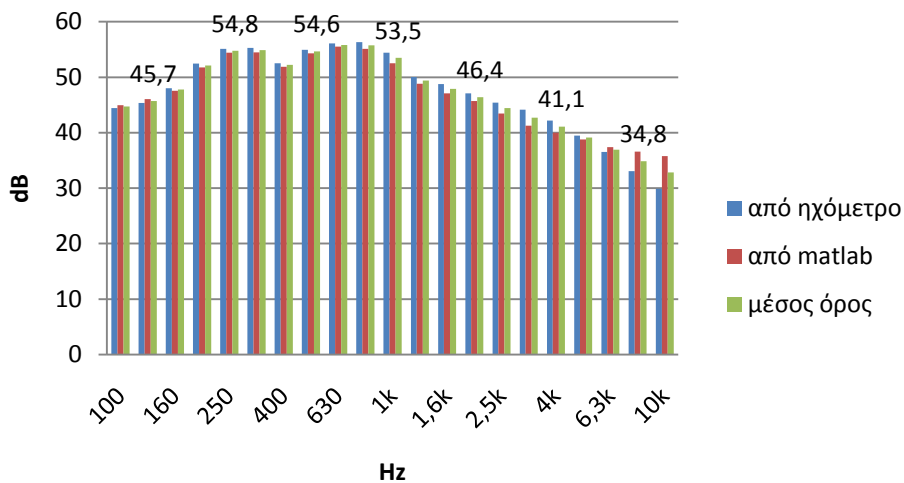
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο μέσα στο μάθημα

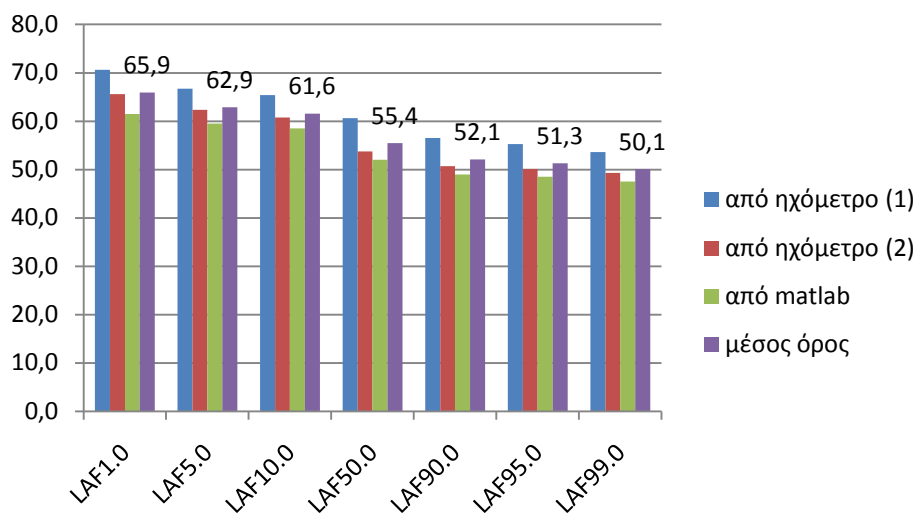


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο μέσα στο μάθημα

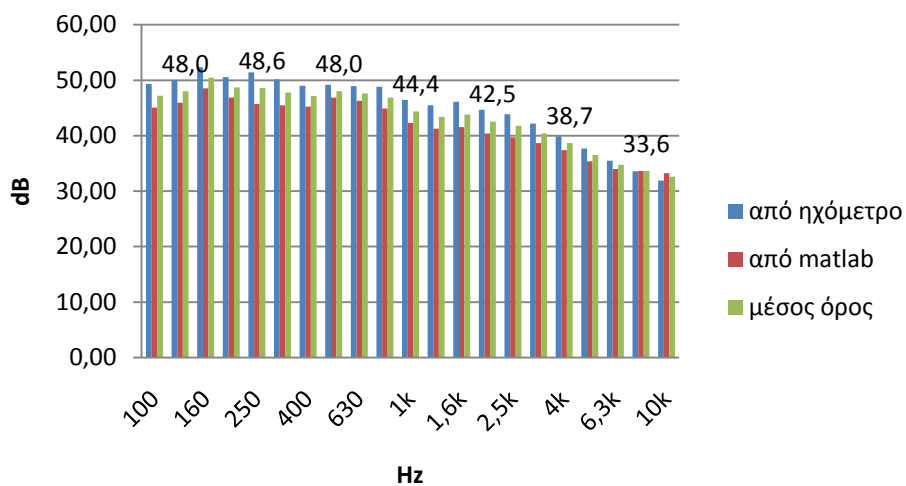


Ο θόρυβος βάθους είναι σχετικά υψηλός, αλλά δικαιολογείται καθότι κάποια παράθυρα ήταν ανοιχτά. Επίσης, παρόλο που η καθηγήτρια μιλάει σχετικά χαμηλόφωνα (γύρω στα 58-62dBA) εξασφαλίζεται ικανοποιητικό SNR. Η ένταση του ήχου στις χαμηλές συχνότητες είναι ικανοποιητική.

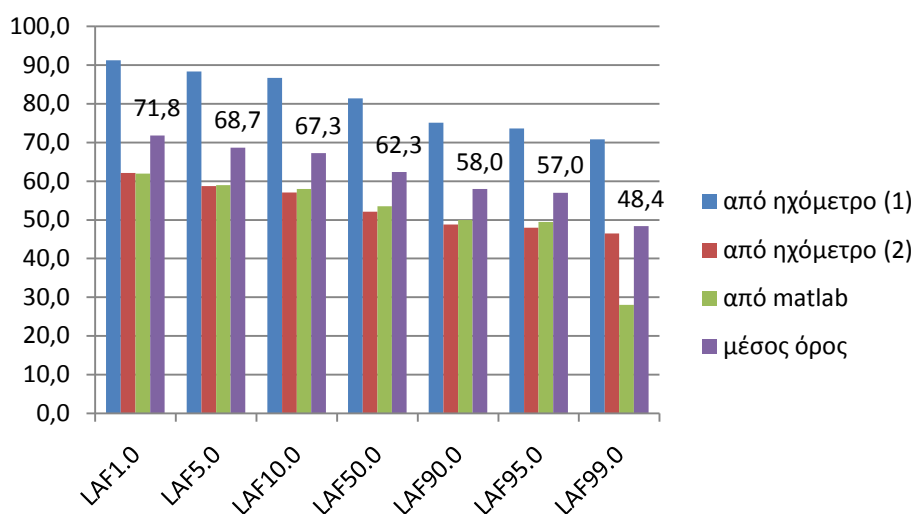
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



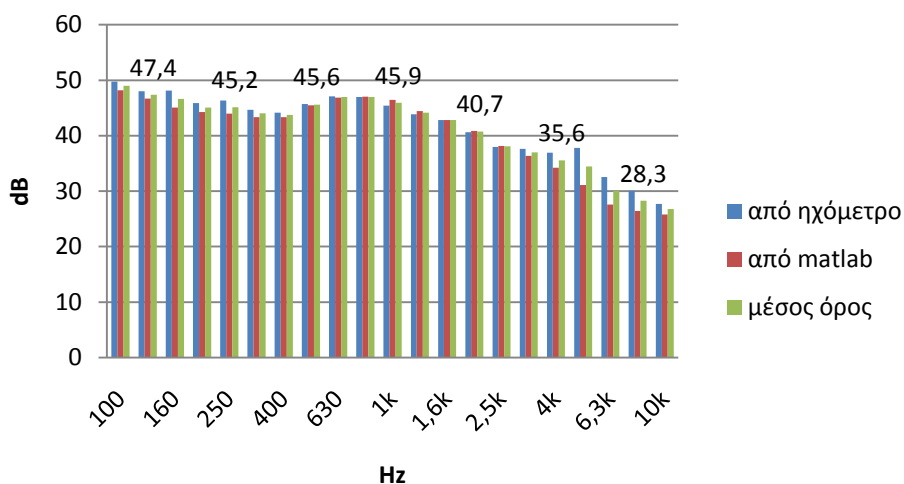
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

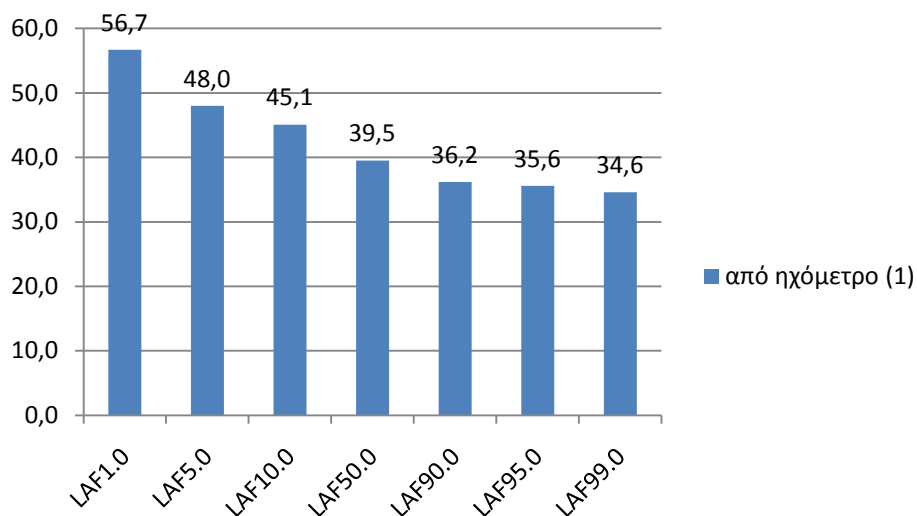


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

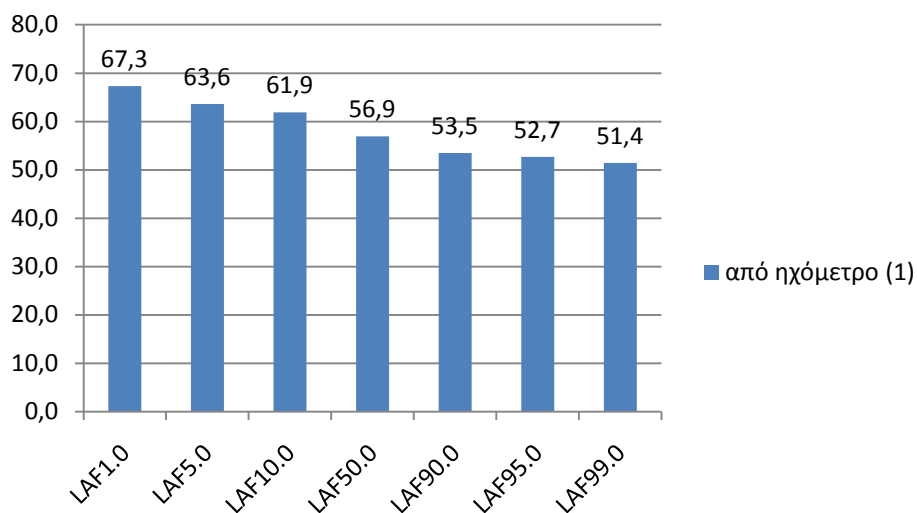


Η πόρτα δεν μονώνει επαρκώς το θόρυβο, ειδικά στις χαμηλές συχνότητες. Εν ώρα μαθήματος όμως, ο διάδρομος είναι αρκετά ήσυχος, επομένως δεν προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα.

Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα

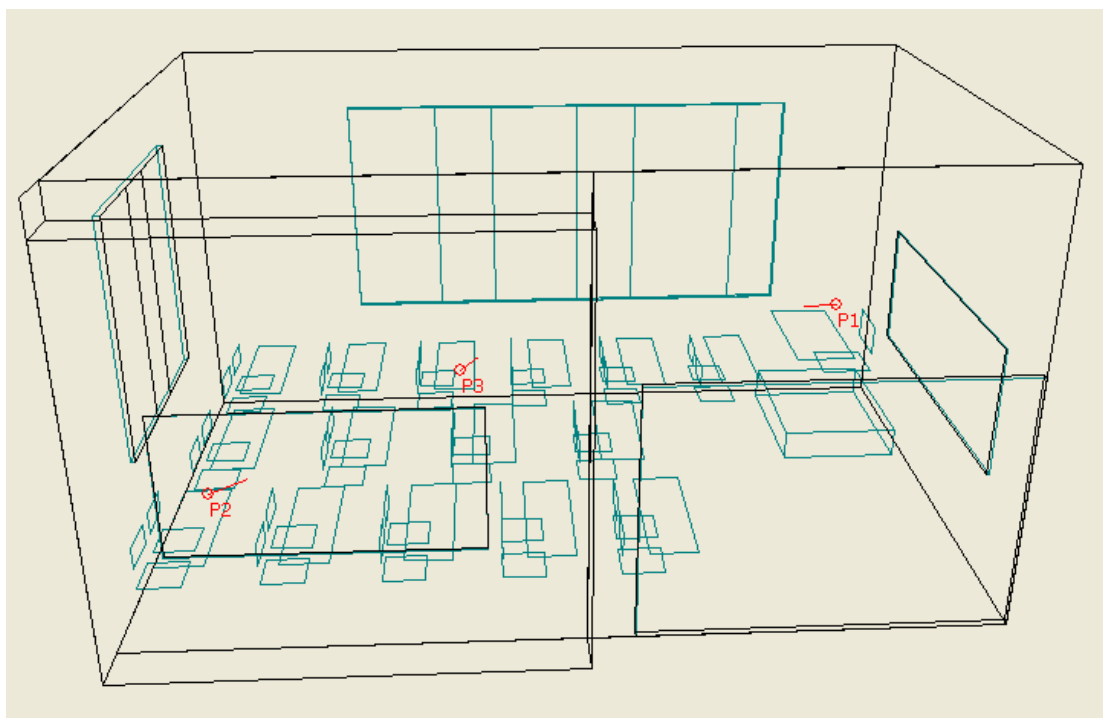


Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Βγ, Αρσάκειο μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Αίθουσα Διδασκαλίας Γ7

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $154,49\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $216,89\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Θρανία / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Ξύλινο βάθρο	Hollow wooden podium (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	0,10

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακoinώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

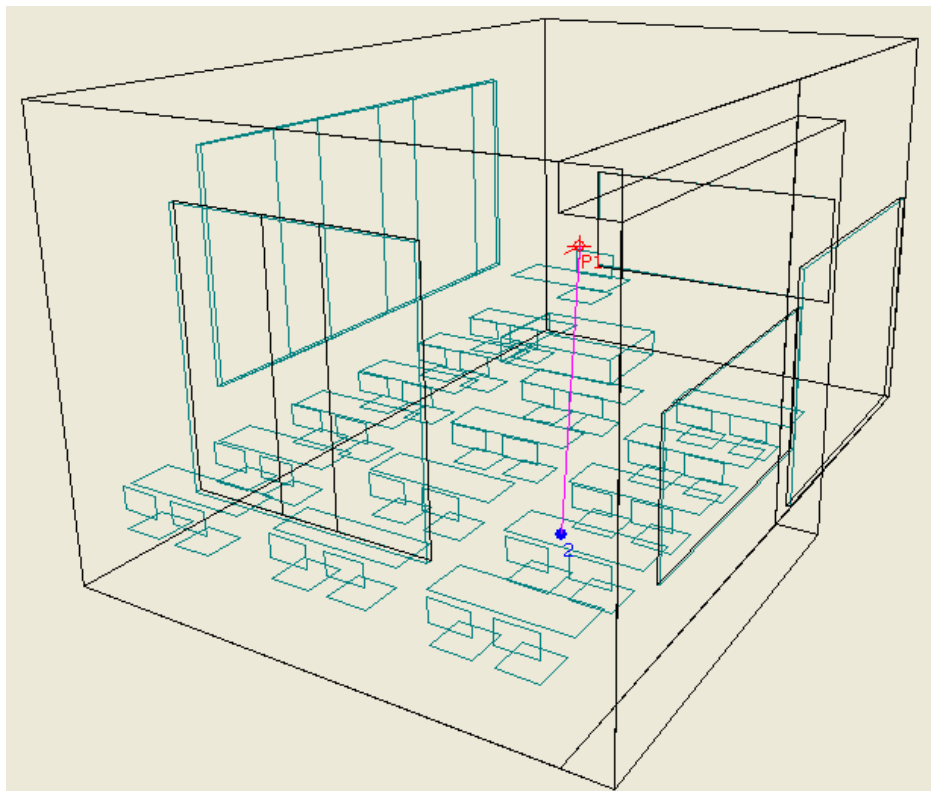
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,18	1,18	1,69	2,14	1,62	1,73	1,49	0,88
T Sabine (modified)	1,04	1,03	1,54	2,06	1,61	1,72	1,49	0,88
T Eyring	1,13	1,13	1,65	2,10	1,58	1,69	1,46	0,87
T Eyring (modified)	0,99	0,99	1,50	2,02	1,57	1,68	1,47	0,87
T Arau-Puchades	1,30	1,30	1,68	2,13	1,66	1,78	1,52	0,89
T Arau-Puchades (modified)	1,16	1,15	1,54	2,00	1,58	1,71	1,48	0,88

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητής (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



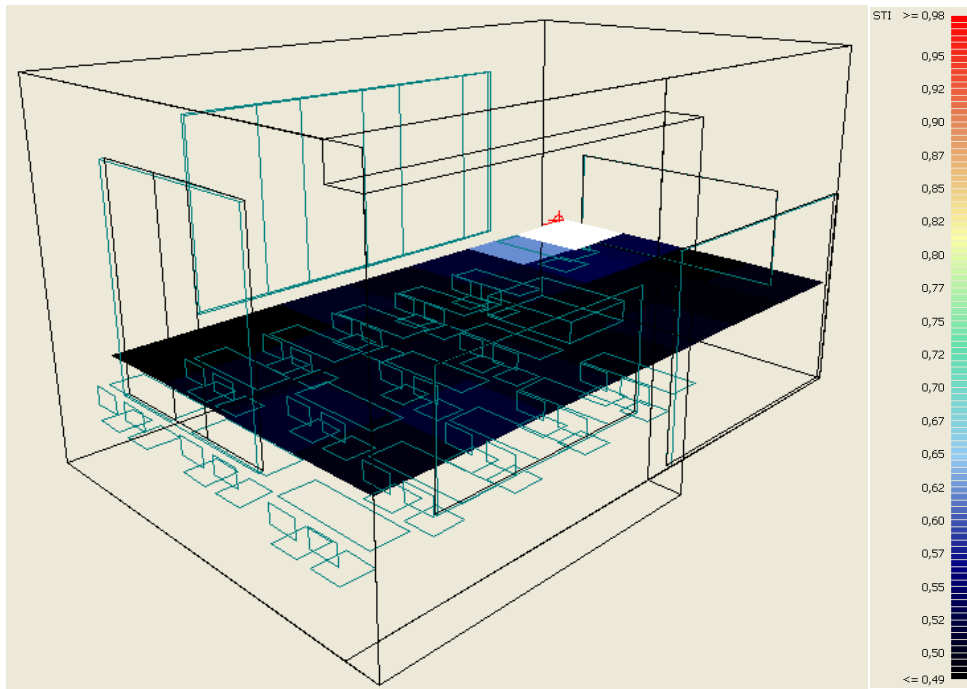
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,93	0,88	1,80	2,35	1,92	2,10	1,79	1,02
T30	(s)	1,10	0,74	1,73	2,31	1,84	2,00	1,71	0,95
SPL	(dB)	54,1	53,7	62,8	70,0	65,0	57,1	49,5	46,6
C80	(dB)	4,4	5,3	0,0	-1,7	-0,9	-1,0	0,1	4,1
D50		0,58	0,63	0,36	0,28	0,31	0,32	0,37	0,57
Ts	(ms)	61	53	120	161	135	141	117	61
LF80		0,310	0,310	0,279	0,282	0,279	0,272	0,270	0,260

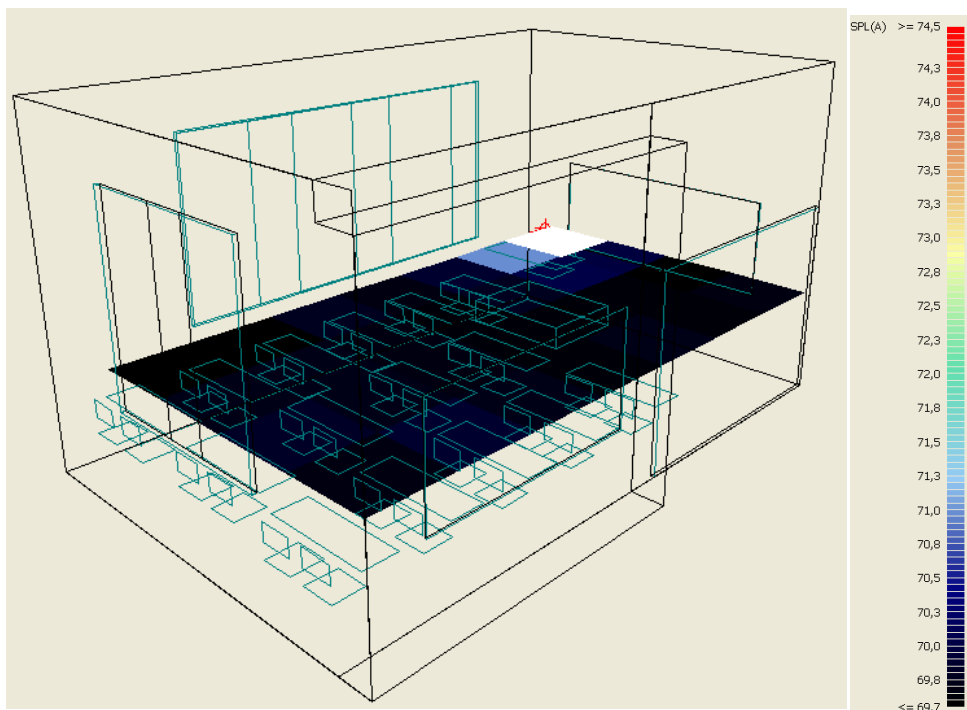
SPL(A) = 69,6(dB)
LG80* = 58,7(dB)
STI = 0,49 (Theoretical based on T30, STI = 0,49)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,48 και 0,53 με μέση τιμή περίπου στο 0,51.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,6 και 70,1dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,93	0,93	1,86	2,37	2,06	2,13	1,81	0,98
T30	(s)	1,04	1,03	1,72	2,33	1,90	2,05	1,74	0,94
SPL	(dB)	54,6	54,1	63,1	70,4	65,5	57,4	49,7	46,8
C80	(dB)	4,2	4,8	0,0	-1,7	-0,4	-0,8	0,3	4,4
D50		0,58	0,61	0,37	0,29	0,36	0,34	0,39	0,59
Ts	(ms)	63	57	121	167	134	144	118	61
LF80		0,349	0,344	0,313	0,314	0,307	0,304	0,299	0,293

SPL(A) = 70,0(dB)
LG80* = 58,8(dB)
STI = 0,49 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,46 και 0,54 με μέση τιμή περίπου στο 0,49.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,5 και 70,8dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,94	0,79	1,70	2,35	1,91	1,99	1,76	1,01
T30	(s)	0,91	0,73	1,76	2,40	1,93	2,11	1,76	0,96
SPL	(dB)	52,9	52,2	58,3	63,3	56,4	49,2	43,4	40,3
C80	(dB)	3,4	4,7	-1,0	-2,9	-1,9	-2,3	-1,5	2,1
D50		0,52	0,58	0,30	0,22	0,26	0,24	0,27	0,43
Ts	(ms)	68	57	129	176	145	157	134	79
LF80		0,294	0,285	0,308	0,318	0,304	0,327	0,330	0,328

SPL(A) = 62,3(dB)
LG80* = 52,2(dB)
STI = 0,46 (Theoretical based on T30, STI = 0,47)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,46 και 0,52 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 62,4 και 63,4dBA.

Σχόλια: το γεγονός ότι κανένας τοίχος δεν είναι άδειος εξασφαλίζει χαμηλότερο χρόνο αντήχησης. Επίσης, επειδή έχουμε λιγότερες ανακλάσεις και μεγαλύτερη διασπορά, η ένταση του ήχου εμφανίζεται μειωμένη. Όμως παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα. Το STI είναι σχετικά χαμηλό, αλλά πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι οι πραγματικοί χρόνοι αντήχησης είναι μικρότεροι από τους θεωρητικούς.

Οι χρόνοι αντήχησης που μετρήθηκαν παρουσιάζονται στη συνέχεια:

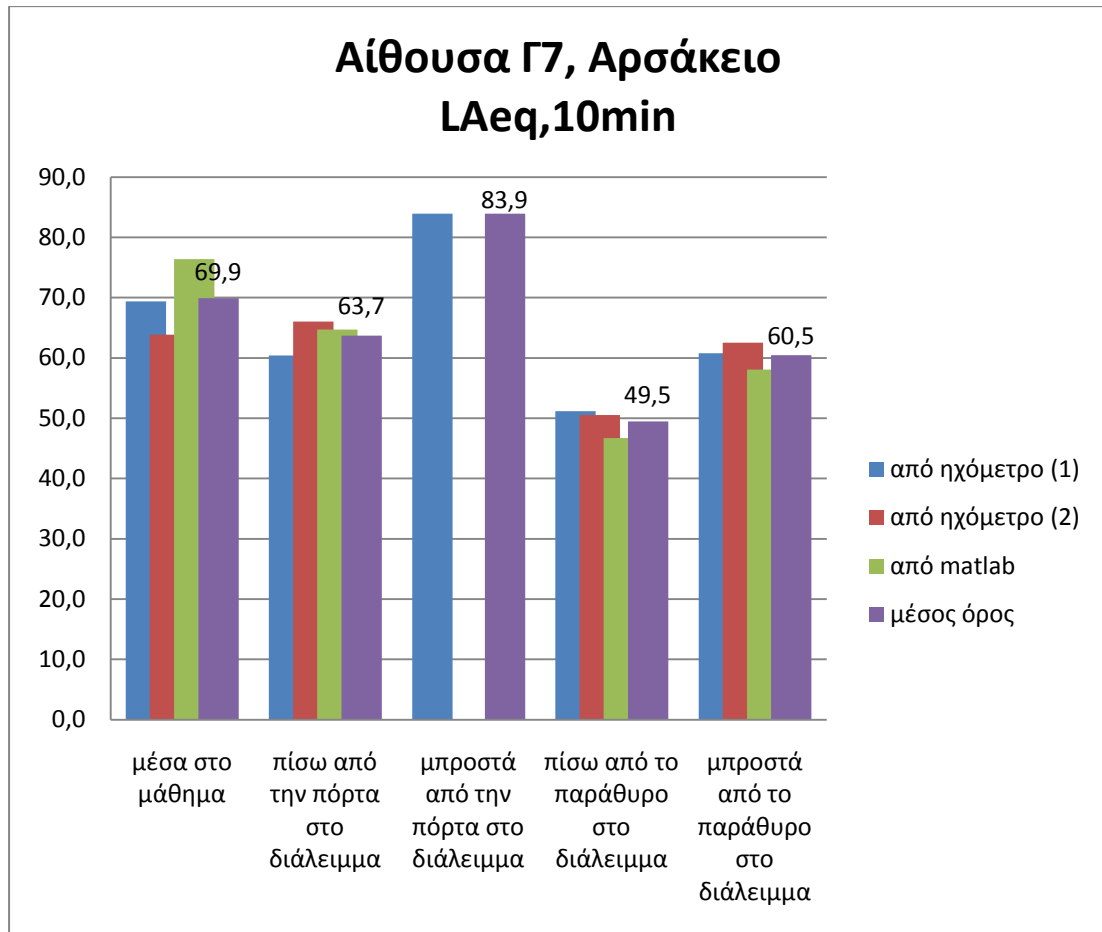
Σημείο 1/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,09	1,46	1,17	1,12	1,15	1,02	1,14
T30 (sec)	2,32	1,51	1,15	1,13	1,13	1,05	1,14
EDT (sec)	1,72	1,54	1,25	1,12	1,14	0,96	1,18

Σημείο 2/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,93	1,56	1,14	1,04	1,15	0,99	1,09
T30 (sec)	1,99	1,51	1,16	1,1	1,15	1,01	1,13
EDT (sec)	1,56	1,55	1,07	1,18	1,15	1,01	1,12

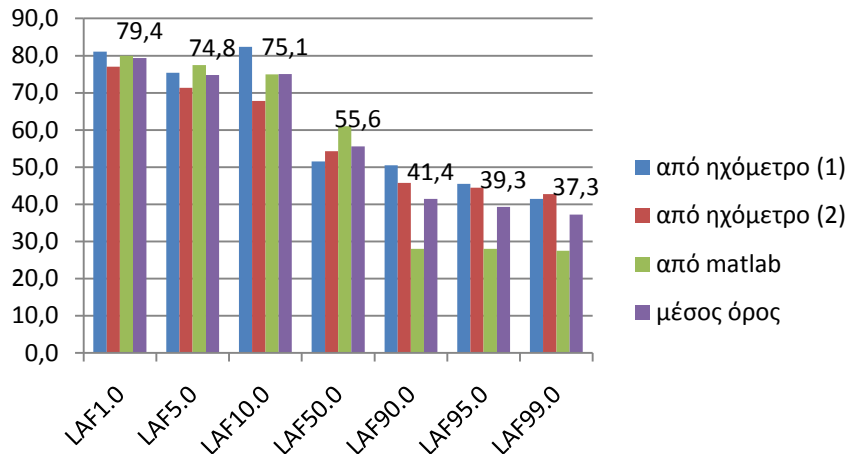
Μέσος όρος	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,01	1,51	1,16	1,08	1,15	1,01	1,12
T30 (sec)	2,16	1,51	1,16	1,12	1,14	1,03	1,14
EDT (sec)	1,64	1,55	1,16	1,15	1,15	0,99	1,15
RT (sec)	1,94	1,52	1,16	1,12	1,15	1,01	1,13

Αν και με βάση τα θεωρητικά πρότυπα κρίνεται αυξημένος, η τιμή αυτή είναι αποδεκτή. Ο λόγος που έχουμε ικανοποιητικό χρόνο αντήχησης είναι διότι μέρος του πίσω τοίχου καλύπτεται από κουρτίνα, κανένας τοίχος δεν είναι τελείως άδειος και ο όγκος του δωματίου είναι σχετικά μικρός.

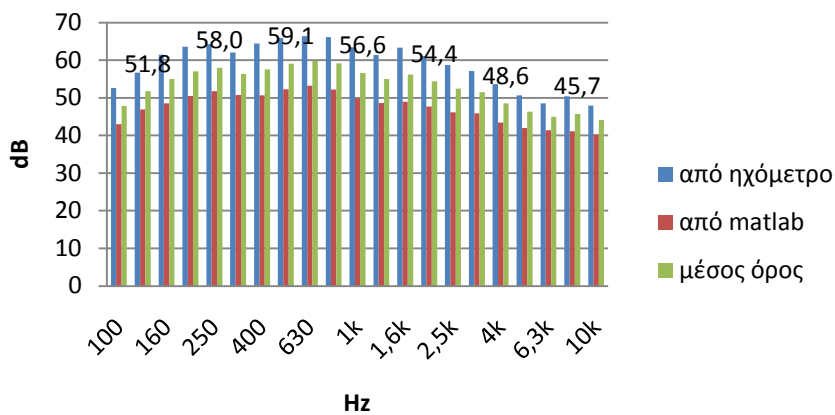
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο μέσα στο μάθημα



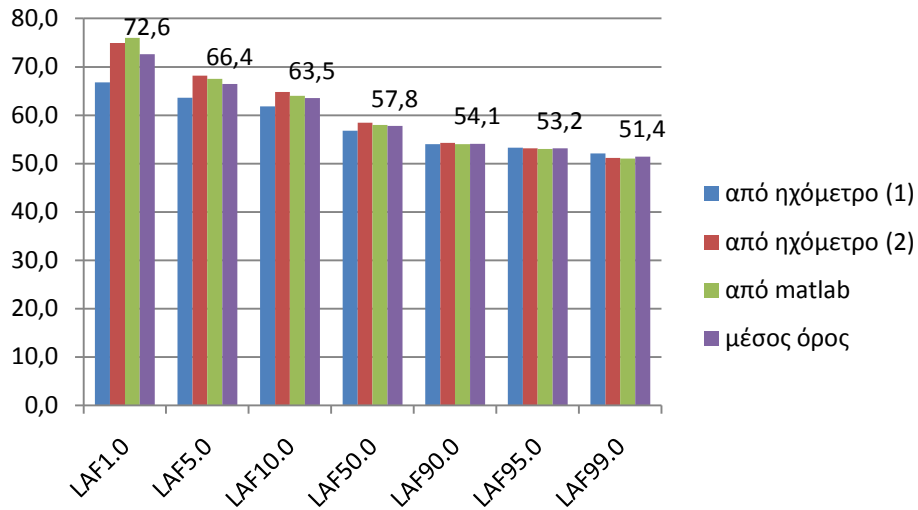
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο μέσα στο μάθημα



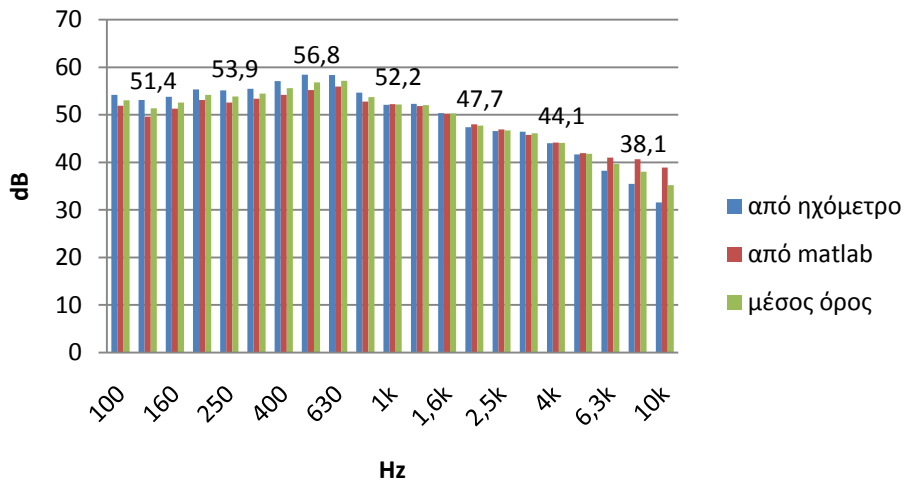
Πρέπει να σημειωθεί ότι την πρώτη μέρα των μετρήσεων οι μαθητές έγραφαν διαγώνισμα στα μισά λεπτά της μέτρησης, ενώ τη δεύτερη μέρα απουσίαζαν οι περισσότεροι, εξού και το χαμηλό LAF50.0. Επομένως, καμία από τις μετρήσεις δεν αντιπροσωπεύει φυσιολογικές συνθήκες μαθήματος.

Τα 70dBA όσον αφορά το LAeq,10min οφείλονται ως επί το πλείστον σε κάποιες ακραίες τιμές, οι οποίες είναι κατανομημένες σε όλο το εύρος συχνοτήτων, περισσότερο όμως στις χαμηλές. Άρα έχει προκληθεί πιθανότατα από φωνές των μαθητών ή του καθηγητή.

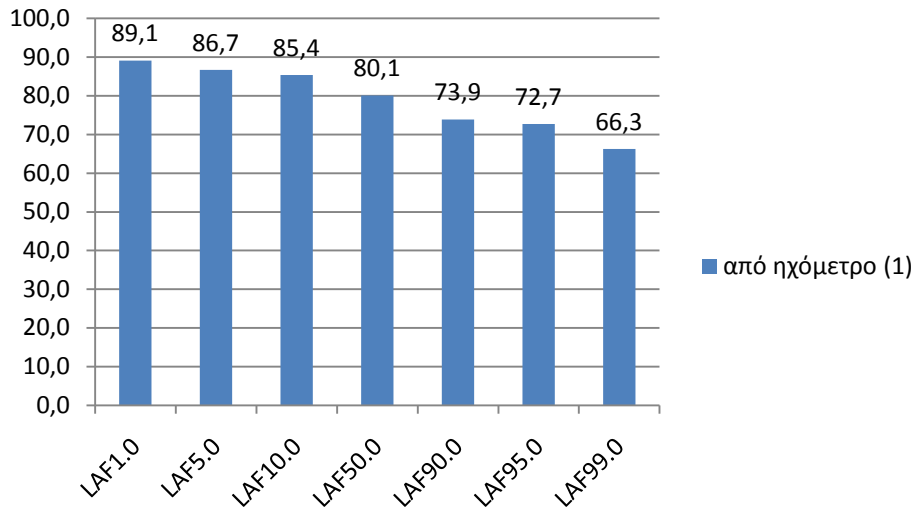
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα

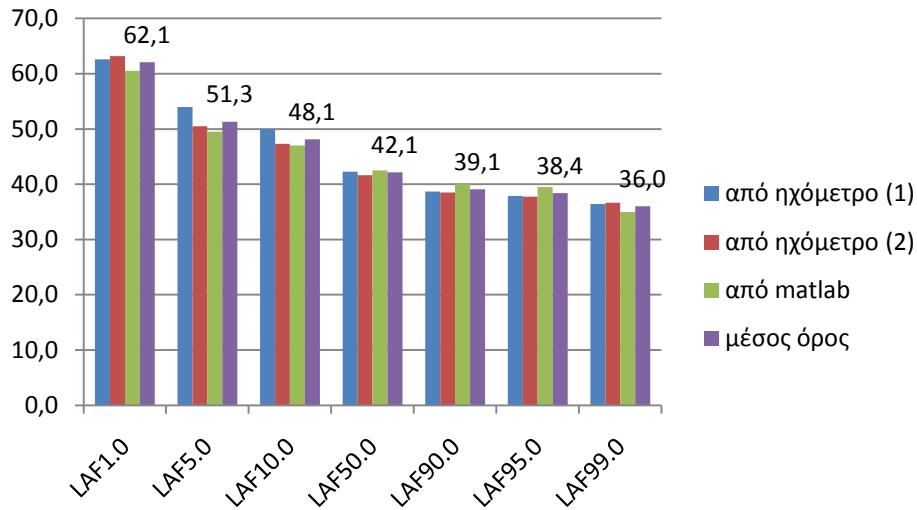


Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

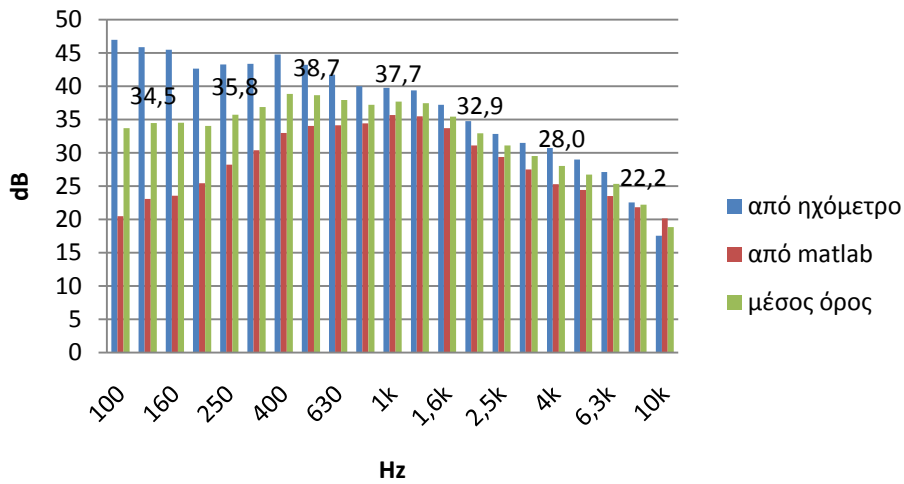


Αν και δεν έχουμε παρά μία καταγραφή για το θόρυβο που επικρατεί στο διάλειμμα έξω από την πόρτα της αίθουσας, παρατηρούμε ότι στις υψηλές συχνότητες ο θόρυβος που επικρατεί μέσα στην αίθουσα κοντά στην πόρτα είναι περιορισμένος, με αντίθεση στις χαμηλές συχνότητες. Παρόλ' αυτά, η ικανότητα ηχομόνωσης της πόρτας δεν επηρεάζει καταλυτικά τις ακουστικές συνθήκες εν ώρα μαθήματος, αφού ο διάδρομος τις ώρες εκείνες είναι εξαιρετικά ήσυχος.

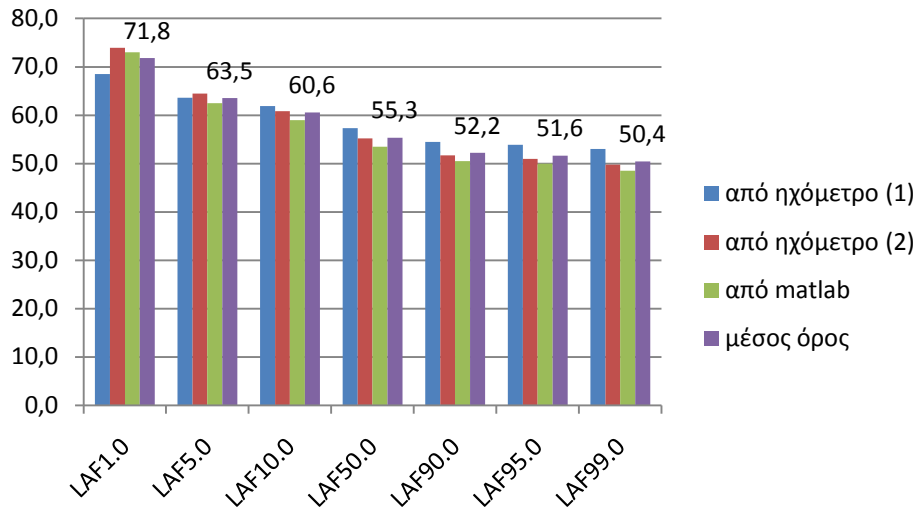
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



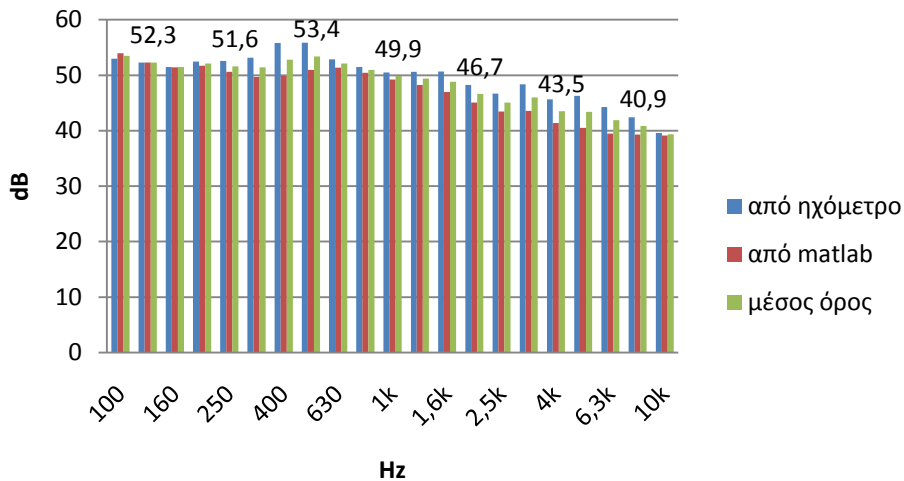
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γ7, Αρσάκειο μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Παρατηρούμε ότι τα παράθυρα μαζί με τις κουρτίνες προκαλούν πολύ ικανοποιητική ηχομόνωση στις χαμηλές και υψηλές συχνότητες, και μέτρια στις μεσαίες. Επίσης, η θέση της αίθουσας ως προς τον προαύλιο χώρο εξασφαλίζει ότι ο θόρυβος φτάνει εξασθενημένος. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την καλή ποιότητα παραθύρων εξασφαλίζει ικανοποιητική ηχομόνωση από θορύβους από τον εξωτερικό του σχολείου χώρο.

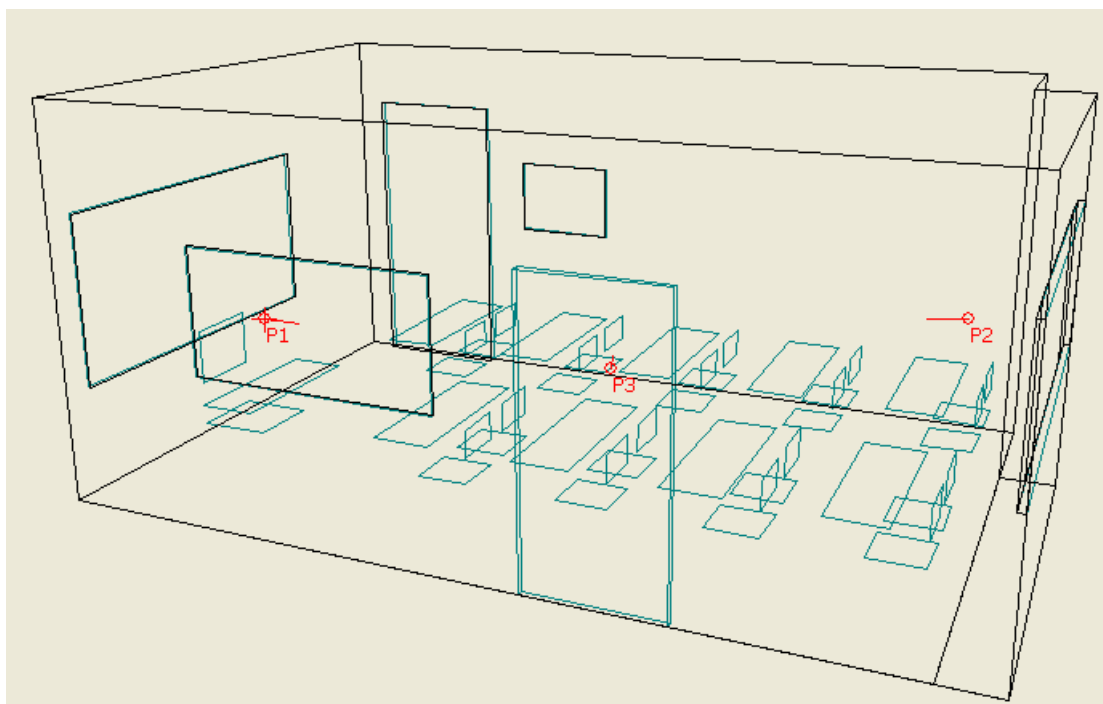
Αθλητικό & 9^ο Γυμνάσιο Περιστερίου

Το σχολικό αυτό συγκρότημα στεγάζεται σε μια ήσυχη γειτονιά του Περιστερίου. Οι περισσότερες αίθουσες βλέπουν στον προαύλιο χώρο, ο οποίος είναι μεγάλος, και εξασφαλίζει ότι οι αίθουσες θα απέχουν από τον δρόμο περισσότερο από 100 μέτρα. Μια από αυτές είναι η αίθουσα διδασκαλίας του τμήματος Γ2 όπου και μελετήσαμε. Κάποιες αίθουσες βλέπουν στην αυλή του γεινιάζοντος σπιτιού, άρα δεν υπάρχει μεγάλη πηγή θορύβου ούτε γι αυτές. Οι αίθουσες Γαλλικών και διδασκαλίας του τμήματος Α5 ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Η κατασκευή του σχολείου είναι πρόσφατη, με καλή διάταξη των αιθουσών και καλής ποιότητας παράθυρα από διπλά τζάμια.

Αίθουσα Διδασκαλίας Γαλλικών

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $75,6\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $133,8\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (αλουμιένια)	Steel trapez profile (Weighted values)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10	0,10	0,15	0,15

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Θρανιά / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακoinώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

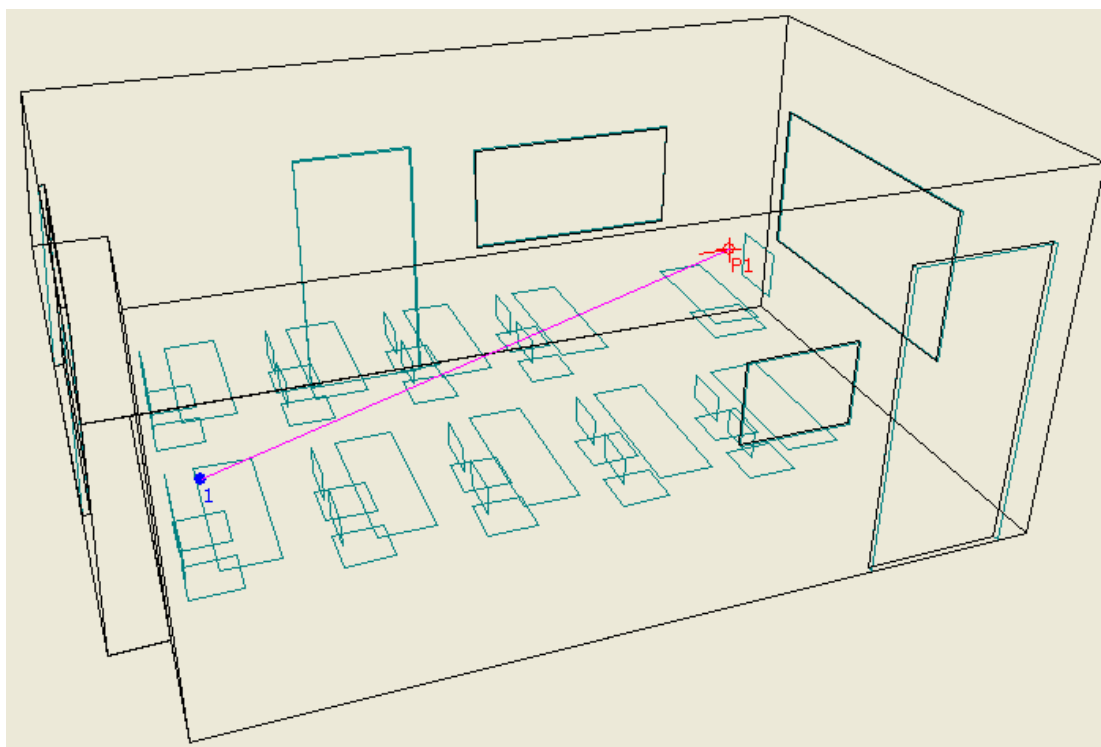
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,23	1,26	2,01	2,88	2,38	2,40	1,82	0,99
T Sabine (modified)	1,11	1,14	1,84	2,70	2,31	2,35	1,77	0,97
T Eyring	1,19	1,22	1,96	2,84	2,34	2,37	1,79	0,98
T Eyring (modified)	1,07	1,10	1,80	2,65	2,27	2,31	1,75	0,97
T Arau-Puchades	1,29	1,36	2,04	2,86	2,38	2,39	1,80	0,98
T Arau-Puchades (modified)	1,16	1,23	1,87	2,66	2,29	2,31	1,75	0,97

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητής (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



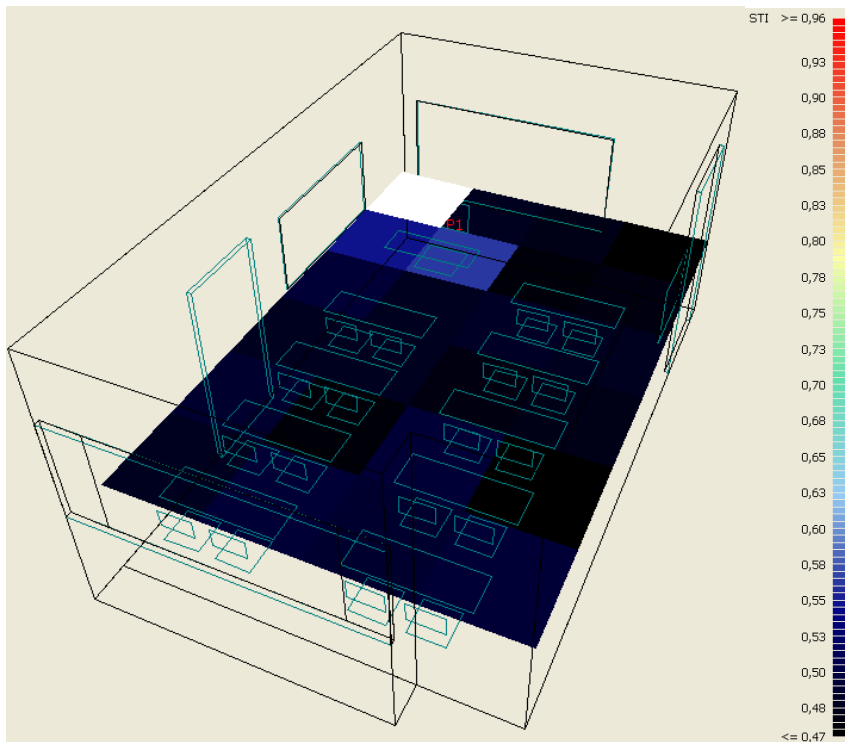
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,82	0,79	1,73	2,66	2,24	2,33	1,72	0,93
T30	(s)	0,70	0,81	1,85	2,61	2,31	2,33	1,80	0,97
SPL	(dB)	56,8	56,5	66,1	73,5	68,8	60,6	52,6	49,7
C80	(dB)	5,5	5,8	-0,1	-2,1	-1,5	-1,4	0,3	4,1
D50		0,63	0,65	0,36	0,27	0,29	0,29	0,37	0,56
Ts	(ms)	50	47	121	178	156	156	116	62
LF80		0,332	0,329	0,313	0,317	0,311	0,306	0,299	0,290

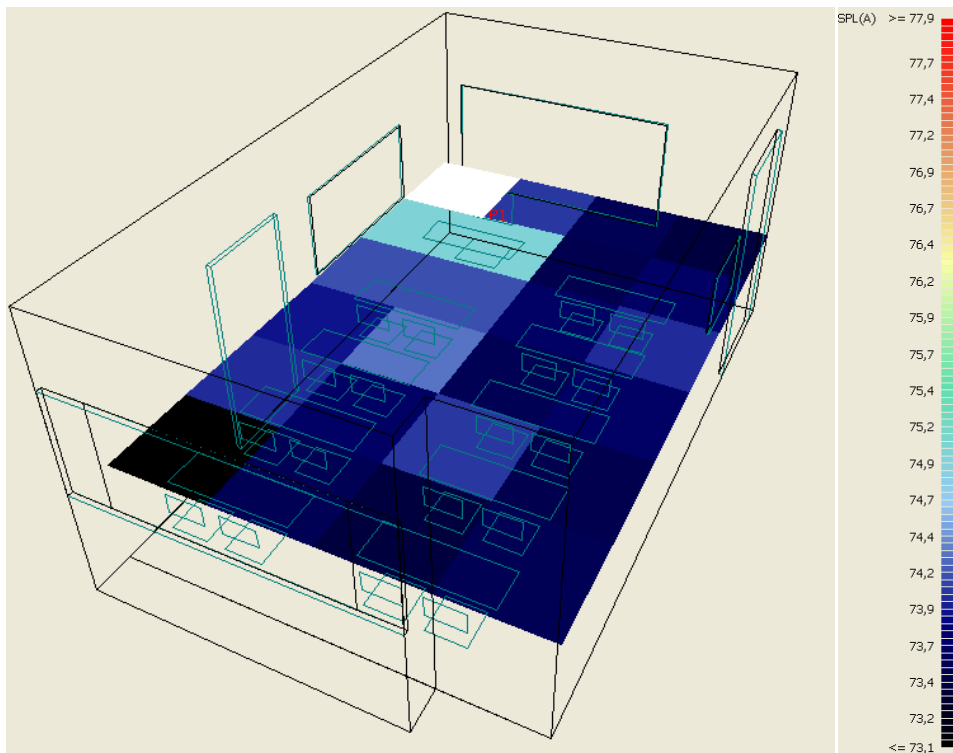
SPL(A) = 73,1(dB)
LG80* = 62,3(dB)
STI = 0,49 (Theoretical based on T30, STI = 0,47)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,46 και 0,57 με μέση τιμή περίπου στο 0,49.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 73 και 75dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,72	0,65	1,85	2,67	2,30	2,41	1,84	1,02
T30	(s)	0,68	0,66	1,77	2,57	2,24	2,25	1,76	0,99
SPL	(dB)	56,4	55,9	66,0	73,6	69,1	60,7	52,6	49,6
C80	(dB)	5,7	6,5	-0,5	-2,8	-2,1	-2,1	-0,5	3,5
D50		0,64	0,66	0,34	0,24	0,27	0,27	0,35	0,55
Ts	(ms)	49	44	127	187	165	167	125	65
LF80		0,335	0,334	0,322	0,324	0,314	0,307	0,298	0,290

SPL(A) = 73,3(dB)
LG80* = 62,6(dB)
STI = 0,48 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,46 και 0,51 με μέση τιμή περίπου στο 0,49.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 73 και 75dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,70	0,66	1,77	2,55	2,25	2,30	1,84	1,00
T30	(s)	0,72	0,67	1,79	2,60	2,26	2,33	1,77	0,96
SPL	(dB)	55,1	54,6	61,2	66,6	60,0	52,8	46,6	43,6
C80	(dB)	5,7	6,4	-0,8	-2,9	-2,3	-2,4	-1,1	2,8
D50		0,61	0,65	0,32	0,23	0,25	0,25	0,30	0,48
Ts	(ms)	51	47	130	190	169	172	135	76
LF80		0,292	0,283	0,321	0,327	0,322	0,331	0,348	0,343

SPL(A) = 65,7(dB)
LG80* = 55,8(dB)
STI = 0,47 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,47 και 0,50 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 65,8 και 66,6dBA.

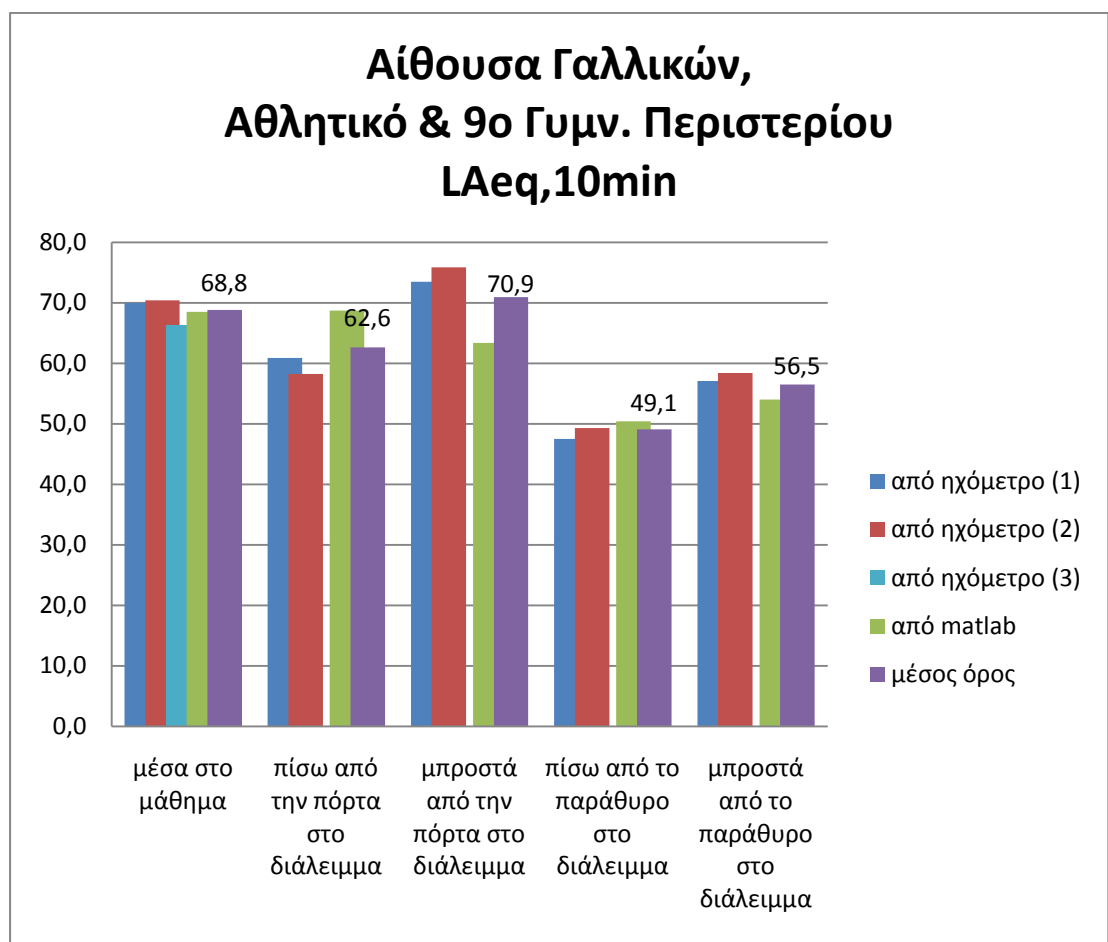
Σχόλια: Στην αίθουσα οι τιμές του STI είναι περίπου 0.5. όπως θα φανεί όμως και στην επόμενη σελίδα υπάρχει τεράστια απόκλιση, της τάξης του 1,5 δευτερολέπτου στον χρόνο αντήρησης. Επομένως, η πραγματική τιμή του STI θα είναι σαφώς υψηλότερη. Επίσης, παρατηρούμε, ότι σε όλο το εύρος της αίθουσας, η ένταση του ήχου που προέρχεται από τον ομιλητή παραμένει σε υψηλά επίπεδα.

Ο χρόνος αντήχησης που μετρήσαμε παρουσιάζεται παρακάτω:

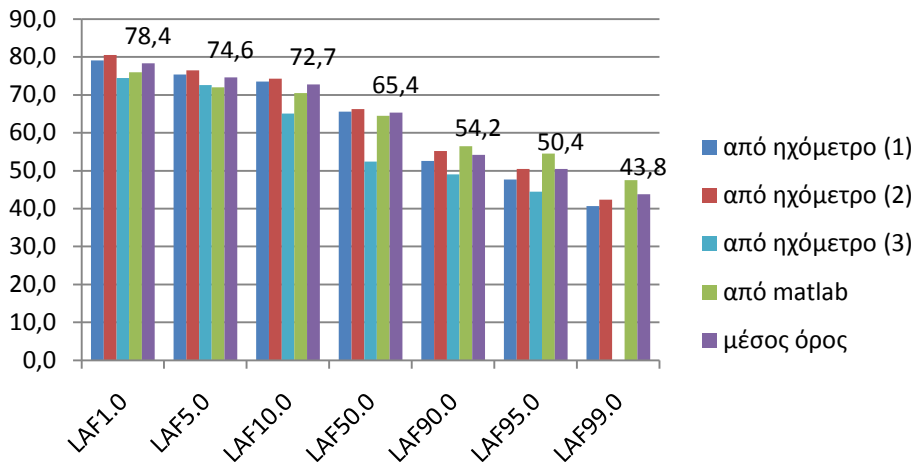
Σημείο 1/1	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,47	1,24	1,05	0,98	0,91	0,81	1,02
T30 (sec)	1,54	1,43	1,06	0,96	0,92	0,81	1,01
EDT (sec)	1,29	1,16	1,03	0,99	0,88	0,82	1,01
RT (sec)	1,43	1,28	1,05	0,98	0,90	0,81	1,01

Ο χρόνος αντήχησης είναι εξαιρετικά ικανοποιητικός και οφείλεται σε μεγαλύτερο βαθμό στον εξαιρετικά μικρό όγκο της αίθουσας.

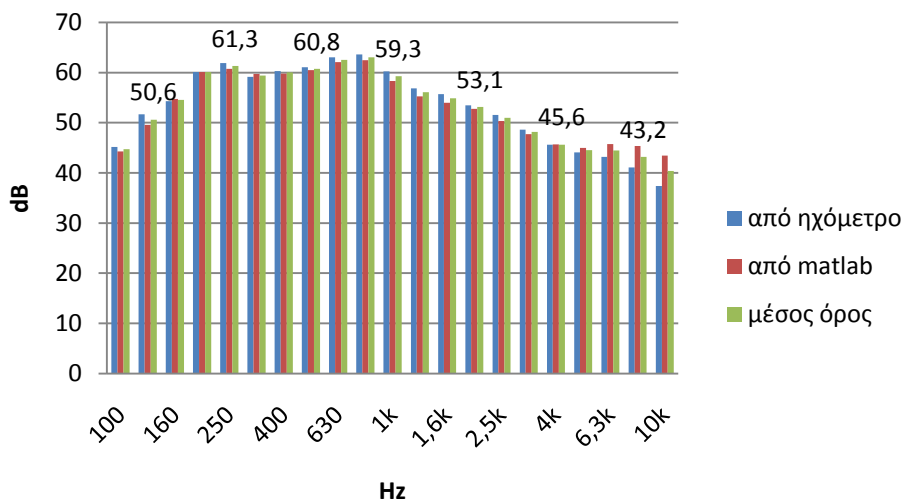
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γαλλικών, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μέσα στο μάθημα

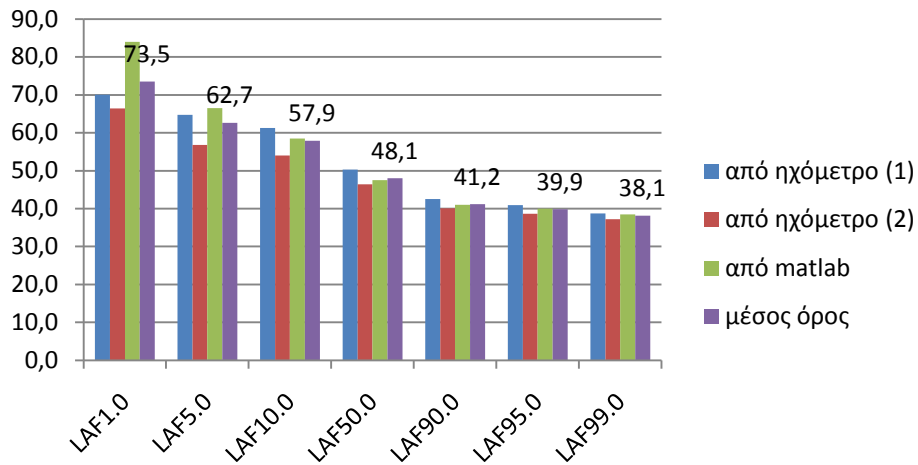


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γαλλικών, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μέσα στο μάθημα

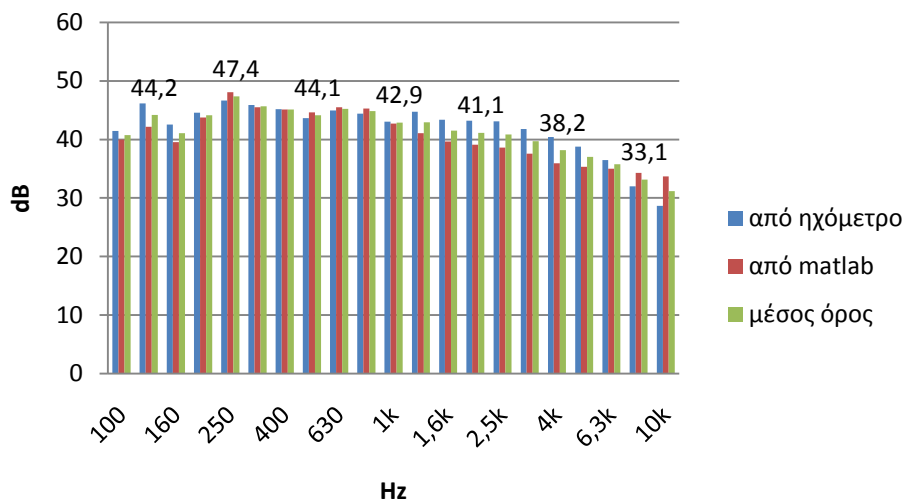


Από τη φασματική ανάλυση παρατηρούμε ότι οι συχνότητες που κυρίως διαμορφώνουν τον ήχο είναι οι χαμηλές και οι μεσαίες, ενώ οι υψηλές είναι σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Το συνολικό LAeq επηρεάζεται αρκετά από τις υψηλές ακραίες τιμές. Ο θόρυβος βάθους είναι αρκετά υψηλός (50-54dBA) και ωφείλεται ως επί το πλείστον στον θόρυβο μέσα στην αίθουσα. Παρά την υψηλή του τιμή όμως ικανοποιείται η απαίτηση το SNR να είναι μεγαλύτερο των 15dB.

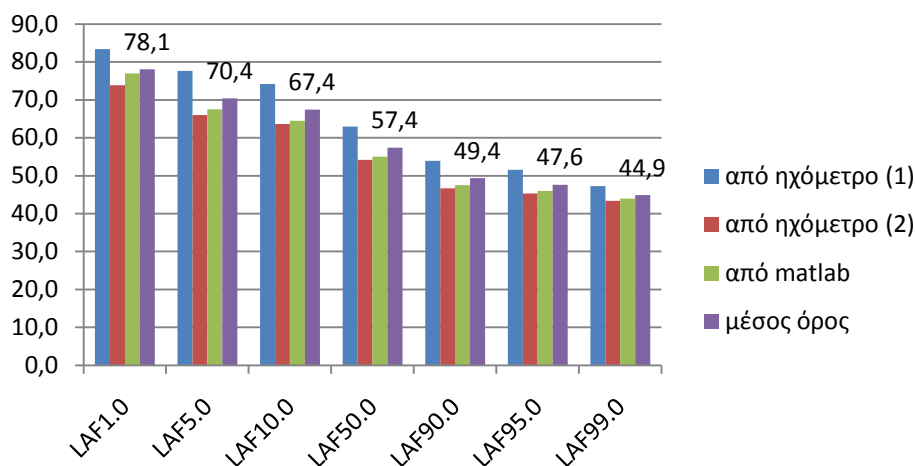
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γαλλικών, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



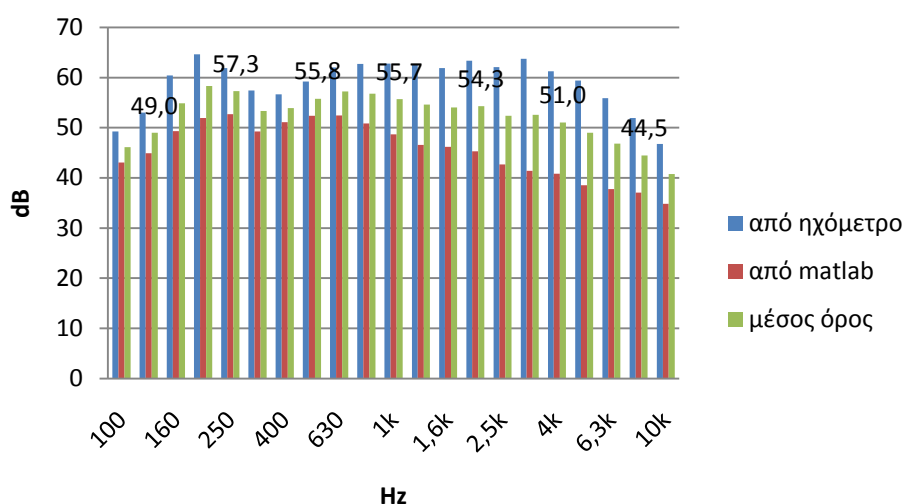
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γαλλικών, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γαλλικών, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

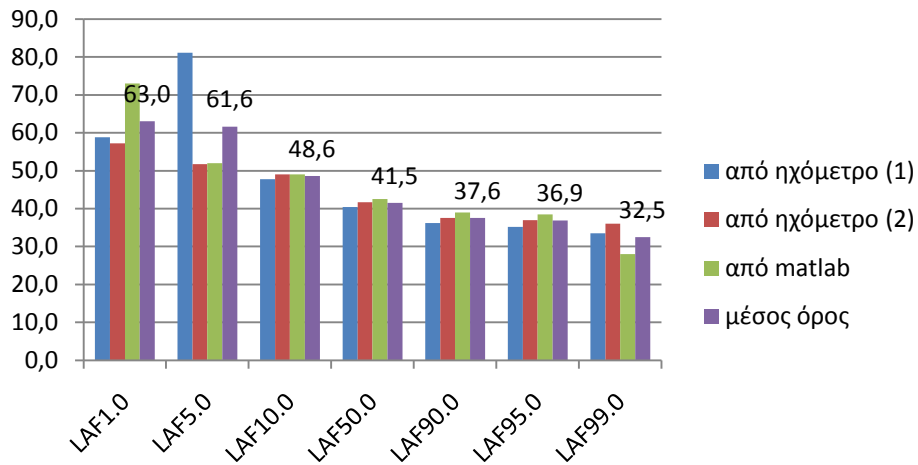


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γαλλικών, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

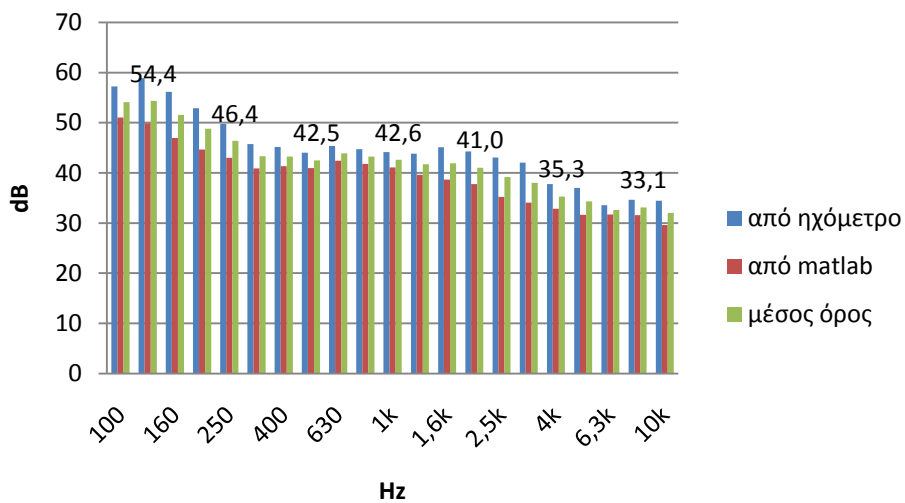


Κατά τη διάρκεια του διαλείμματος ζητείται από τους μαθητές να βγουν στο προαύλιο. Οι τιμές για το LAeq, τόσο μέσα όσο και έξω από την αίθουσα, πίσω και μπροστά από την πόρτα αντίστοιχα, επηρεάζονται πολύ από τις ψηλές τιμές έντασης θορύβου κατά τη διάρκεια που οι μαθητές βγαίνουν από τις αίθουσες τους και επιστρέφουν σε αυτές. Η ηχομόνωση που επιτυγχάνεται από τις πόρτες είναι περιορισμένη, αλλά αρκετή, αφού κατά τη διάρκεια του μαθήματος ο θόρυβος έξω από την πόρτα, στο διάδρομο, είναι πολύ ασθενής.

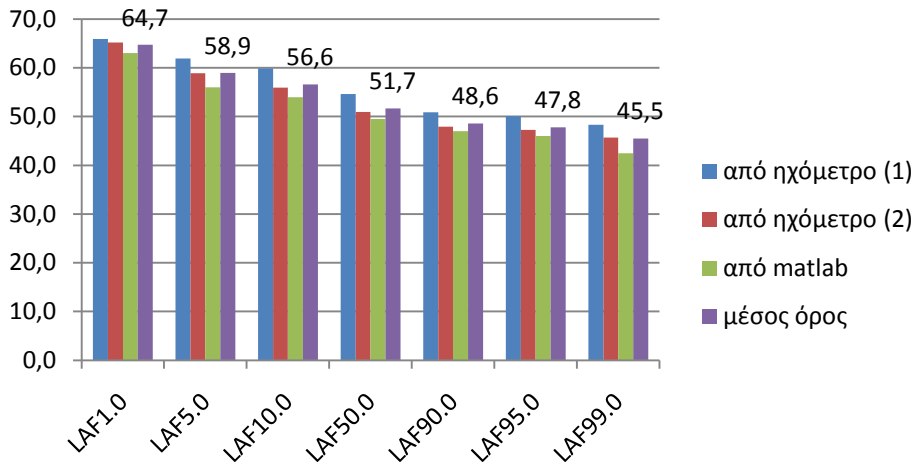
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γαλλικών, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



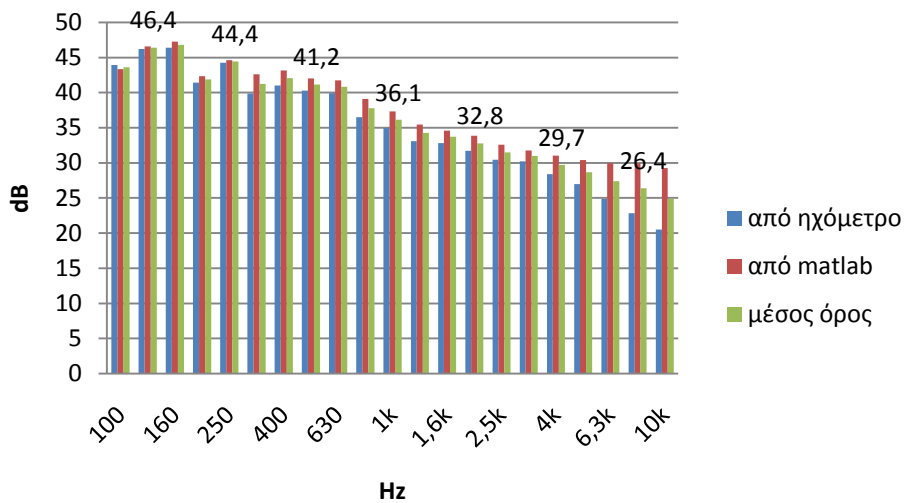
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γαλλικών, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Γαλλικών, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



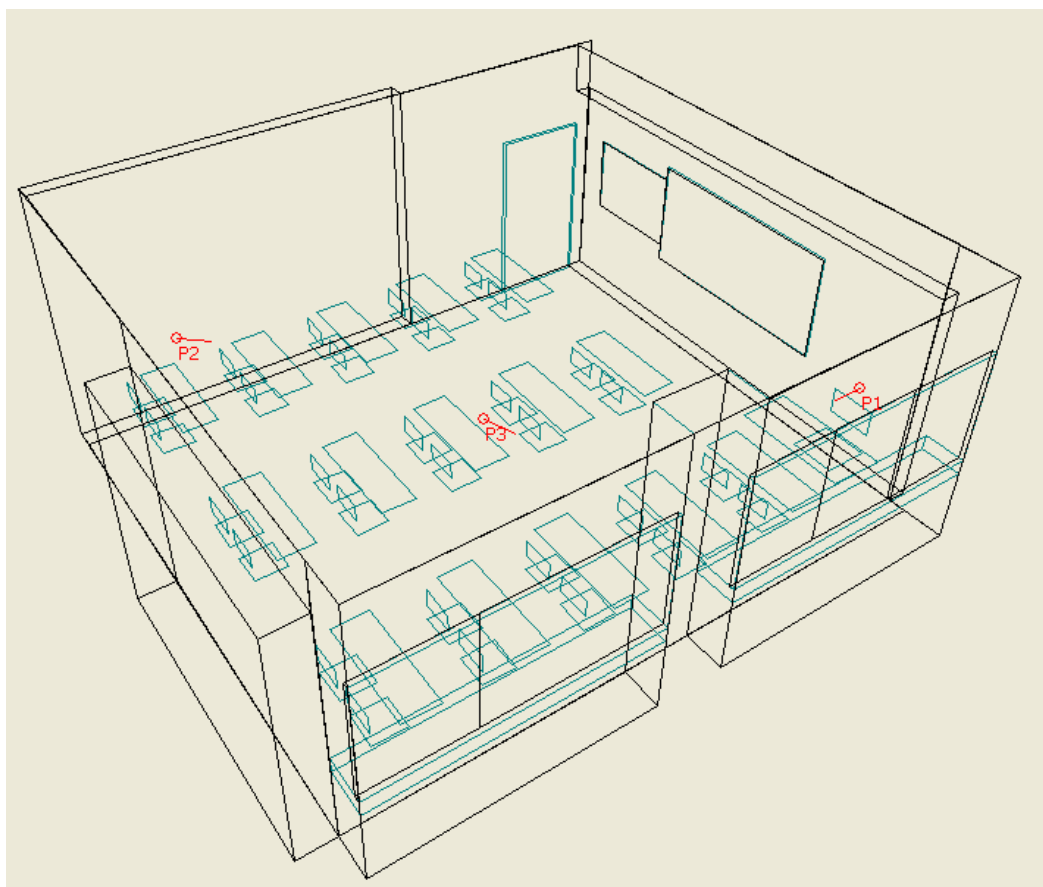
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Γαλλικών, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Από την πλευρά του παραθύρου η αίθουσα βλέπει στην αυλή του γειτονικού σπιτιού. Επομένως, ο θόρυβος που φτάνει από το διάλειμμα είναι περιορισμένος. Από την τιμή LAF50.0 πίσω από το παράθυρο, παίρνουμε μια καλή εκτίμηση του θορύβου που εισέρχεται στην αίθουσα αποκλειστικά από εξωτερικούς παράγοντες. Η τιμή των 41dBA είναι αρκετά ικανοποιητική, αν λάβουμε υπόψη ότι η περίπτωση του διαλείμματος είναι από τις πιο θορυβώδεις.

Αίθουσα Διδασκαλίας Α5

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $152,07\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $217,55\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Θρανιά / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακoinώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

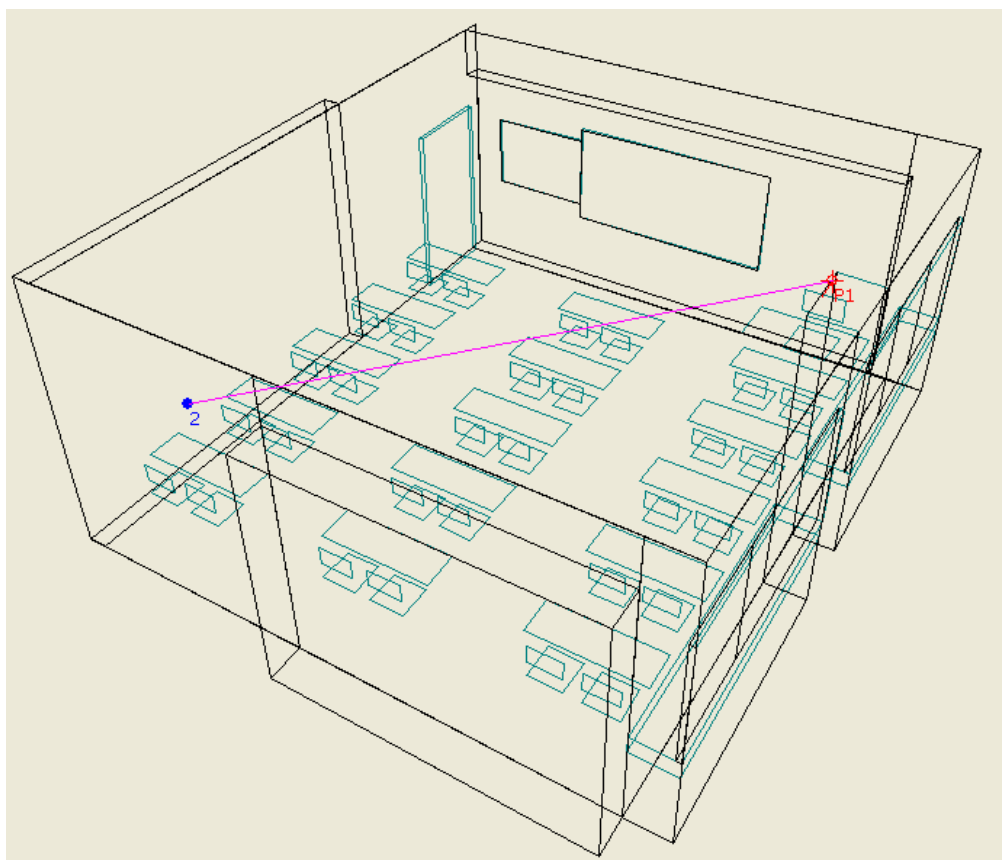
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,42	1,41	2,21	3,05	2,27	2,34	1,85	1,00
T Sabine (modified)	1,29	1,28	2,04	2,86	2,15	2,25	1,81	0,98
T Eyring	1,37	1,37	2,17	3,01	2,23	2,31	1,83	0,99
T Eyring (modified)	1,24	1,24	1,99	2,82	2,11	2,21	1,79	0,98
T Arau-Puchades	1,52	1,52	2,23	3,10	2,34	2,40	1,87	1,00
T Arau-Puchades (modified)	1,42	1,42	2,07	2,90	2,21	2,29	1,81	0,99

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητή (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μία δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



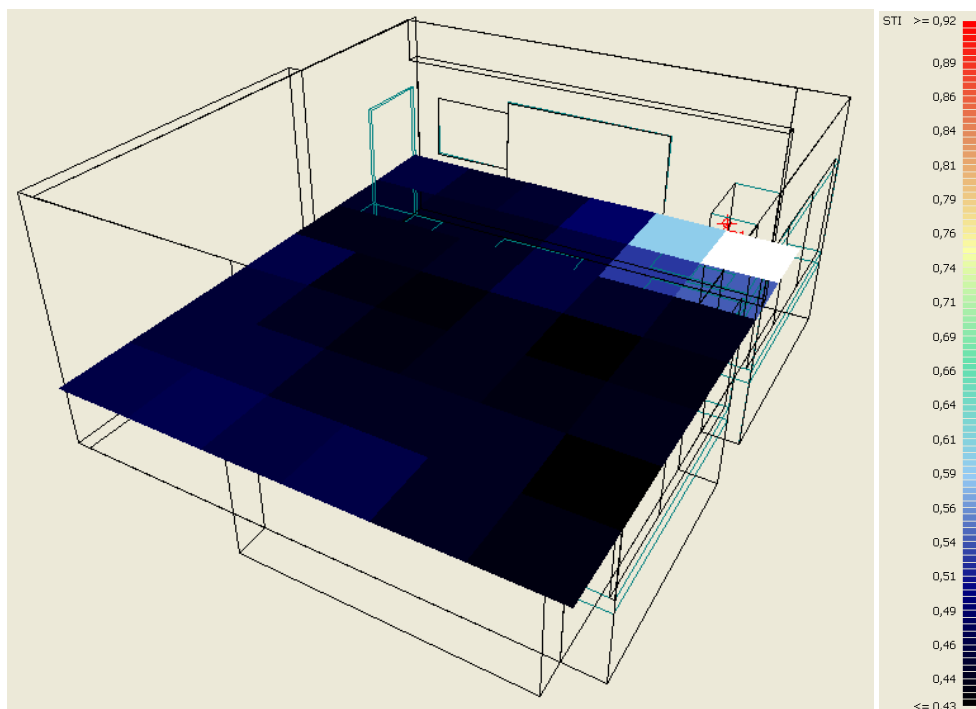
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1,17	1,03	2,29	3,21	2,56	2,64	2,10	1,11
T30	(s)	0,98	0,83	2,32	3,25	2,56	2,65	2,00	1,01
SPL	(dB)	55,1	54,5	64,3	71,7	66,5	58,3	50,3	46,8
C80	(dB)	3,0	4,2	-1,9	-3,6	-2,6	-2,6	-1,1	3,1
D50		0,53	0,59	0,29	0,22	0,25	0,26	0,32	0,53
Ts	(ms)	71	59	163	228	183	186	143	71
LF80		0,362	0,360	0,362	0,362	0,363	0,366	0,362	0,358

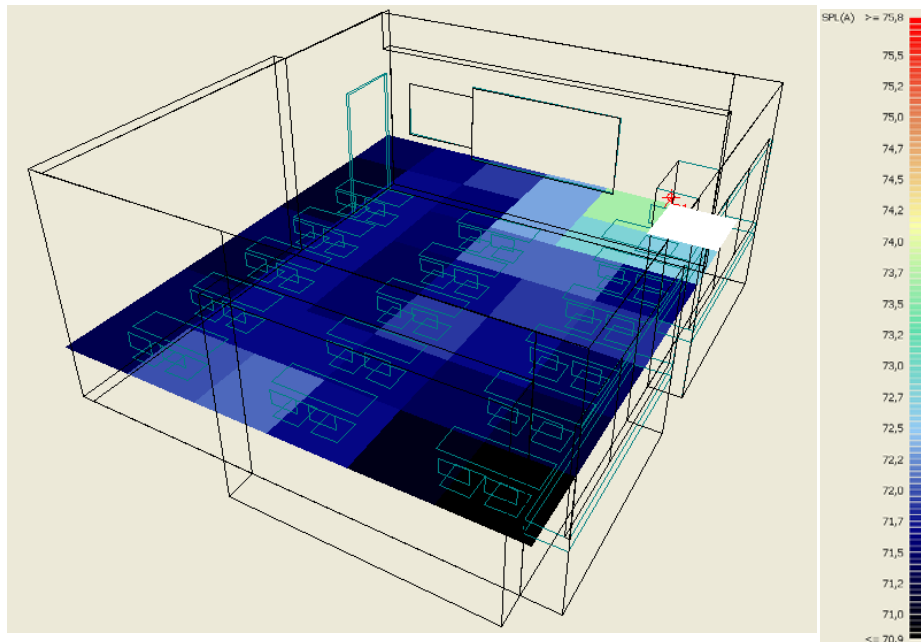
SPL(A) = 71,1(dB)
LG80* = 60,8(dB)
STI = 0,45 (Theoretical based on T30, STI = 0,44)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,42 και 0,54 με μέση τιμή περίπου στο 0,46.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 70,8 και 72,8dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,99	0,89	2,37	3,49	2,59	2,76	2,07	1,04
T30	(s)	1,45	1,06	2,25	3,13	2,43	2,55	2,01	1,09
SPL	(dB)	55,3	54,4	64,7	72,1	67,1	58,7	50,6	47,3
C80	(dB)	3,5	4,8	-1,4	-3,3	-1,7	-2,0	-0,7	3,6
D50		0,53	0,60	0,30	0,22	0,29	0,28	0,34	0,55
Ts	(ms)	69	57	160	231	173	183	140	67
LF80		0,334	0,337	0,308	0,304	0,293	0,287	0,285	0,277

SPL(A) = 71,6(dB)
LG80* = 60,9(dB)
STI = 0,46 (Theoretical based on T30, STI = 0,44)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,40 και 0,50 με μέση τιμή περίπου στο 0,44.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 70,9 και 72,9dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1,16	0,95	2,28	3,17	2,60	2,72	2,10	1,13
T30	(s)	0,94	0,74	2,27	3,22	2,54	2,61	2,03	1,04
SPL	(dB)	53,3	52,5	59,3	64,6	57,5	50,1	44,0	40,5
C80	(dB)	2,7	3,7	-2,3	-4,4	-3,0	-3,4	-2,1	1,9
D50		0,49	0,53	0,25	0,18	0,23	0,21	0,25	0,44
Ts	(ms)	77	67	169	241	189	200	158	85
LF80		0,316	0,317	0,325	0,336	0,326	0,336	0,341	0,336

SPL(A) = 63,5(dB)
LG80* = 53,8(dB)
STI = 0,42 (Theoretical based on T30, STI = 0,43)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,41 και 0,49 με μέση τιμή περίπου στο 0,45.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 63,5 και 64,6dBA.

Σχόλια: Οι άδειοι τοίχοι έχουν σαν αποτέλεσμα τον μεγάλο χρόνο αντήχησης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για το μικρό STI. Λόγω όμως των πολλών ανακλαστικών επιφανειών, η ένταση του ήχου είναι υψηλή σε όλη την αίθουσα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι αντήχησης που μετρήθηκαν.

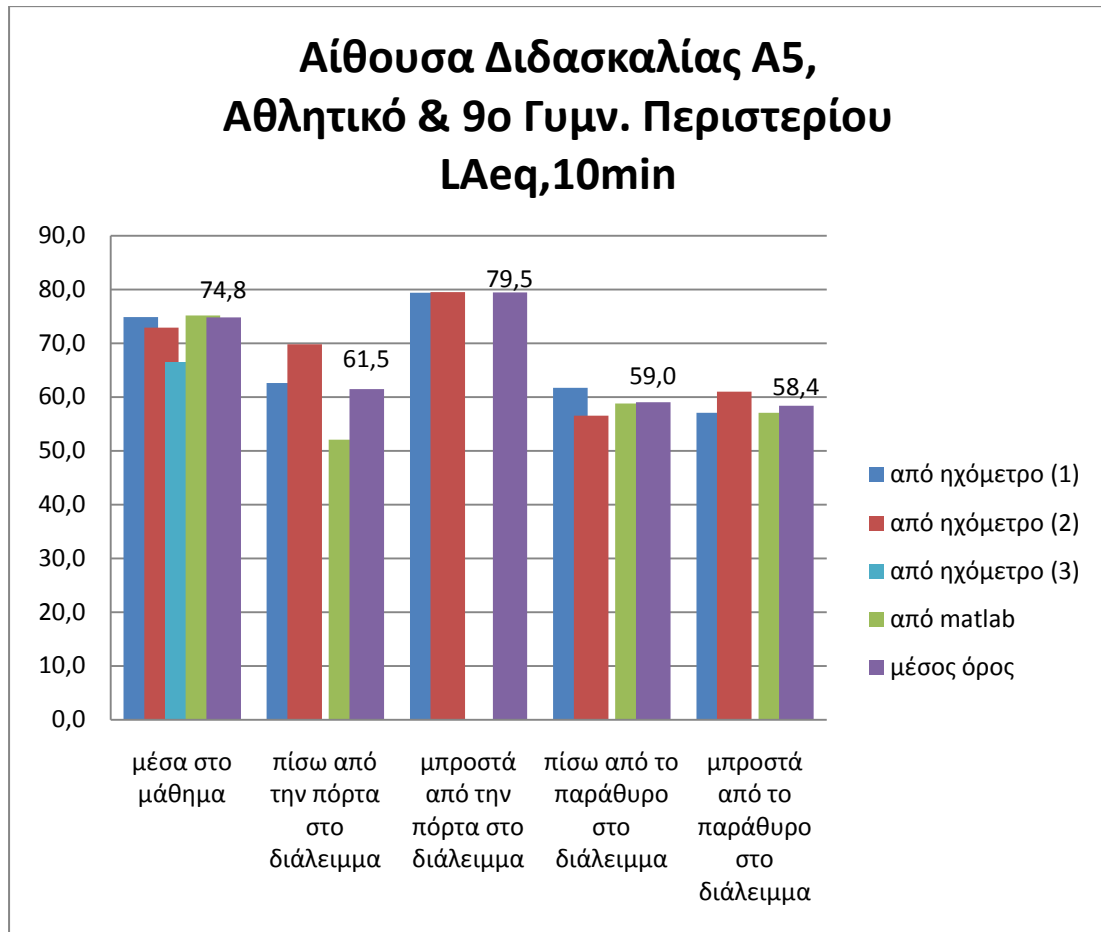
Σημείο 1/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,25	1,82	1,5	1,52	1,43	1,22	1,51
T30 (sec)	2,41	1,91	1,59	1,54	1,47	1,23	1,56
EDT (sec)	2,03	2,14	1,58	1,5	1,45	1,16	1,56

Σημείο 2/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	3,04	1,92	1,6	1,54	1,44	1,22	1,57
T30 (sec)	3,43	2,02	1,61	1,57	1,47	1,24	1,59
EDT (sec)	1,22	1,81	1,49	1,6	1,48	1,22	1,54

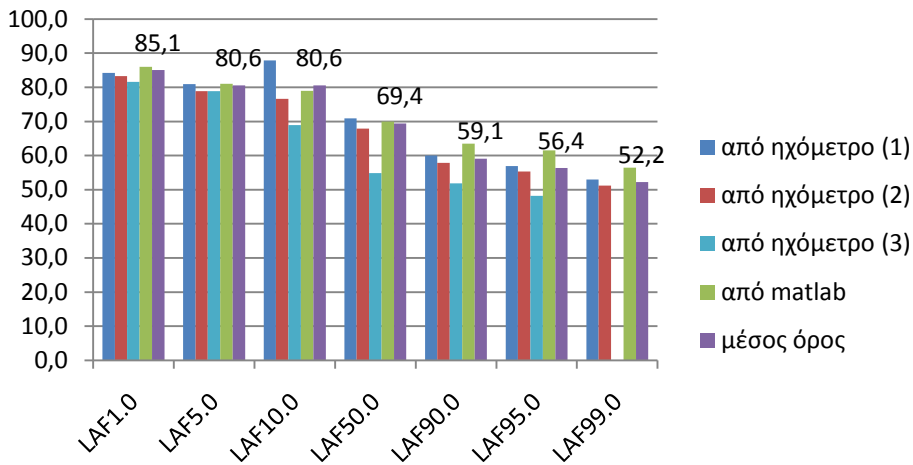
Μέσος όρος	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,65	1,87	1,55	1,53	1,44	1,22	1,54
T30 (sec)	2,92	1,97	1,60	1,56	1,47	1,24	1,58
EDT (sec)	1,63	1,98	1,54	1,55	1,47	1,19	1,54
RT (sec)	2,40	1,94	1,56	1,55	1,46	1,22	1,55

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις αυτές δεν είναι απόλυτα αντικειμενικές. Ο λόγος είναι ότι ένα κομμάτι του παραθύρου ήταν σπασμένο άρα μέρος της ηχητικής ενέργειας «δραπέτευε» εκτός της αίθουσας. Ειδικά στις χαμηλές συχνότητες, εκεί δηλαδή που εκπέμπει η αντρική φωνή, ο χρόνος αντήχησης είναι ιδιαίτερα υψηλός. Το ύψος και ο όγκος της αίθουσας είναι ικανοποιητικά και δεν έχουν περιθώρια βελτίωσης. Πρέπει να μπουν ηχοαπορροφητικά υλικά στους τοίχους καθώς και αντικείμενα που να διασπείρουν τον ήχο.

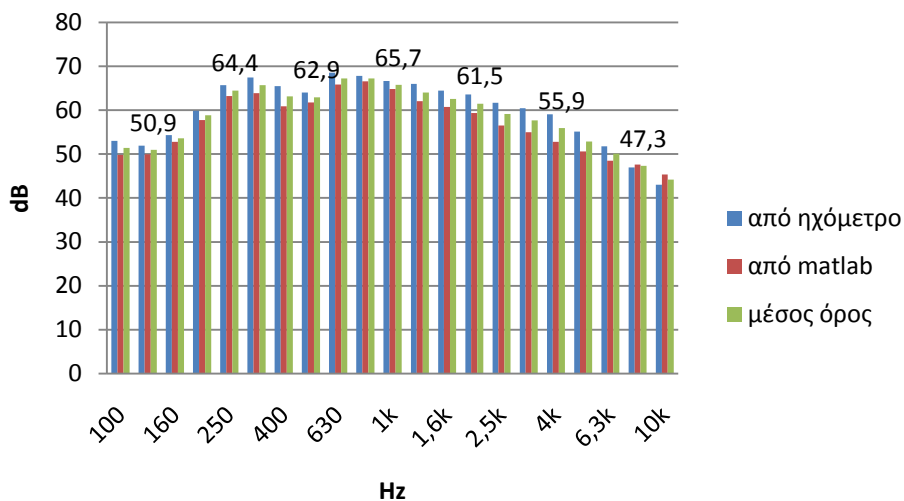
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μέσα στο μάθημα

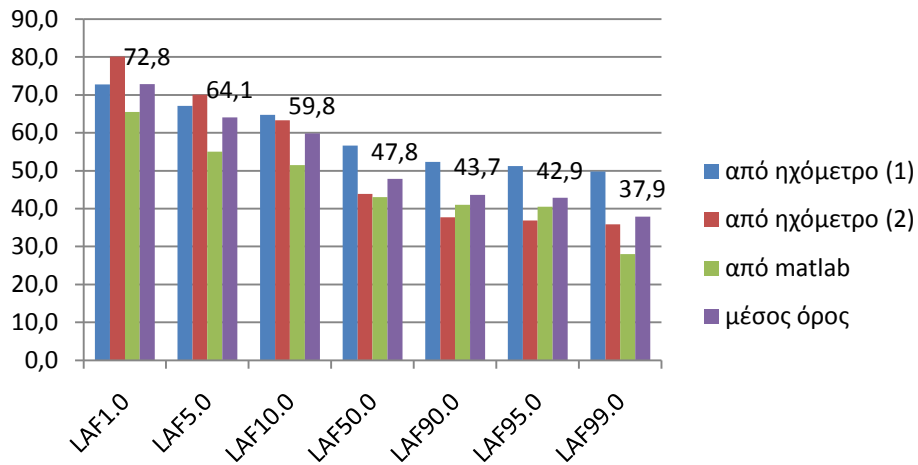


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μέσα στο μάθημα

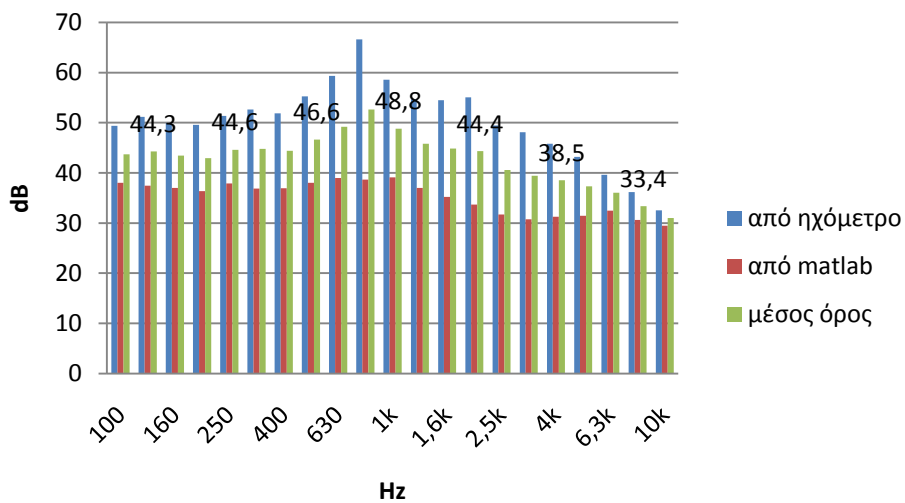


Κατά τη διάρκεια του μαθήματος παρατηρούμε ότι καθ' όλη τη διάρκεια έχουμε αρκετά υψηλές τιμές ηχητικής έντασης. Ειδικά το LAF10.0 είναι πολύ υψηλό. Ο θόρυβος βάθους είναι ιδιαίτερα υψηλός και γι αυτό ο καθηγητής καλείται να φωνάζει συνεχώς. Από το διάγραμμα του LAeq,10min παρατηρούμε ότι λόγω του σπασμένου παραθύρου, ο θόρυβος που υπάρχει έξω από την αίθουσα εισέρχεται εντός αυτής. Το SNR είναι μόλις πάνω από τα 10dB με τον καθηγητή όμως να μιλάει με ιδιαίτερα υψημένη φωνή καθ' όλη τη διάρκεια (72-73dBA).

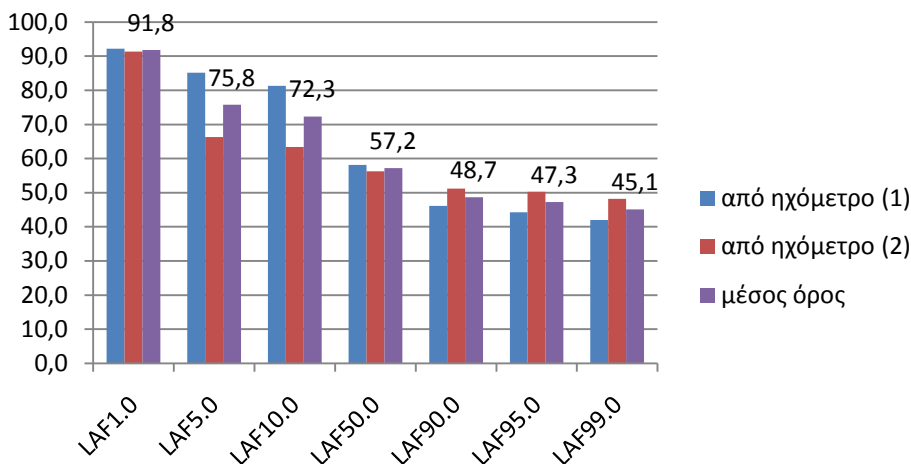
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



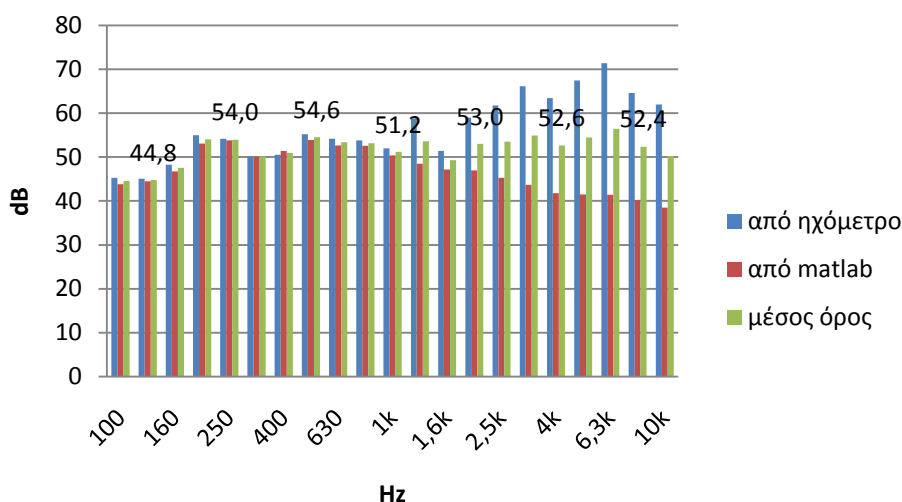
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

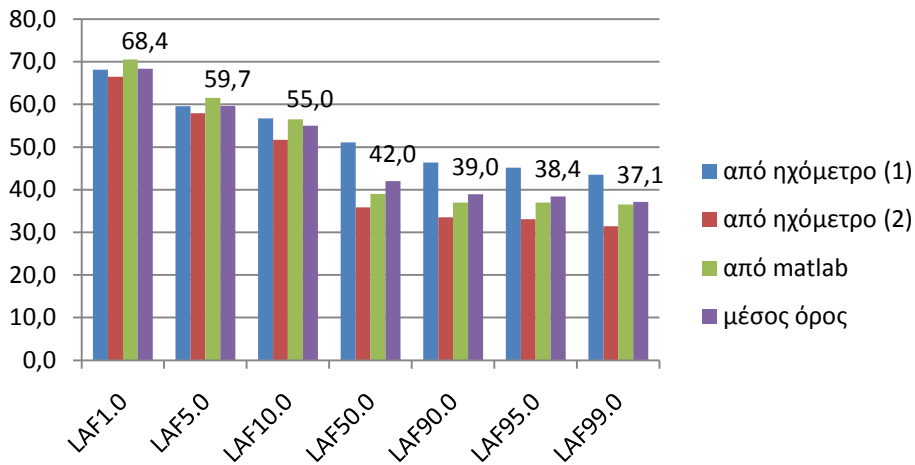


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

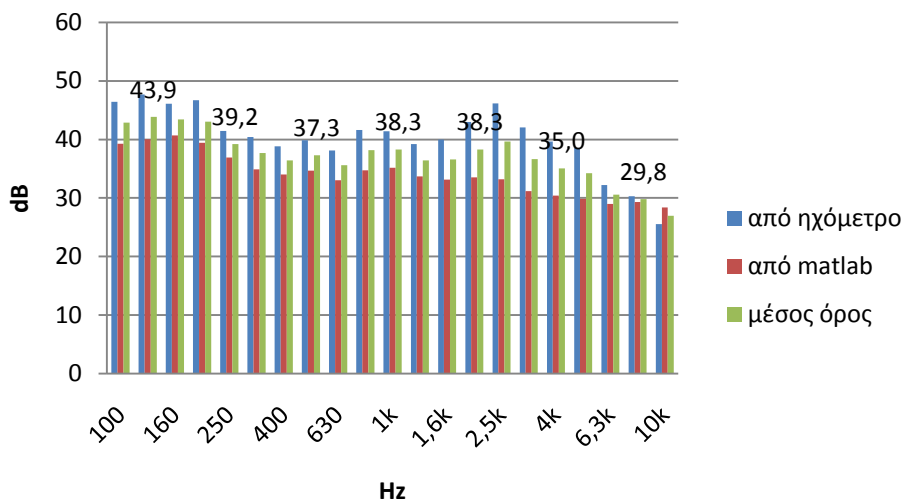


Όπως και στην προηγούμενη αίθουσα, ο κύριος όγκος θορύβου στο διάλειμμα παράγεται κατά τη διάρκεια που οι μαθητές βγαίνουν από τις αίθουσες και επιστρέφουν σε αυτές. Παρατηρούμε ότι η πόρτα ηχομονώνει επαρκώς τις υψηλές συχνότητες, αλλά όχι με την ίδια επάρκεια τις μεσαίες και τις χαμηλές. Λόγω όμως του ότι κατά τη διάρκεια του μαθήματος ο θόρυβος στο διάδρομο είναι πολύ μικρός, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα.

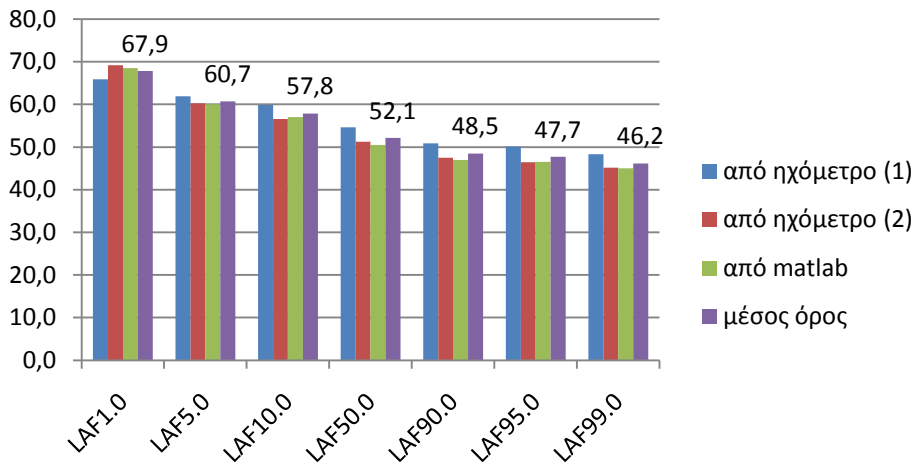
**Εκατοστημοριακά επίπεδα
Αίθουσα Διδασκαλίας Α5,
9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου
πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα**



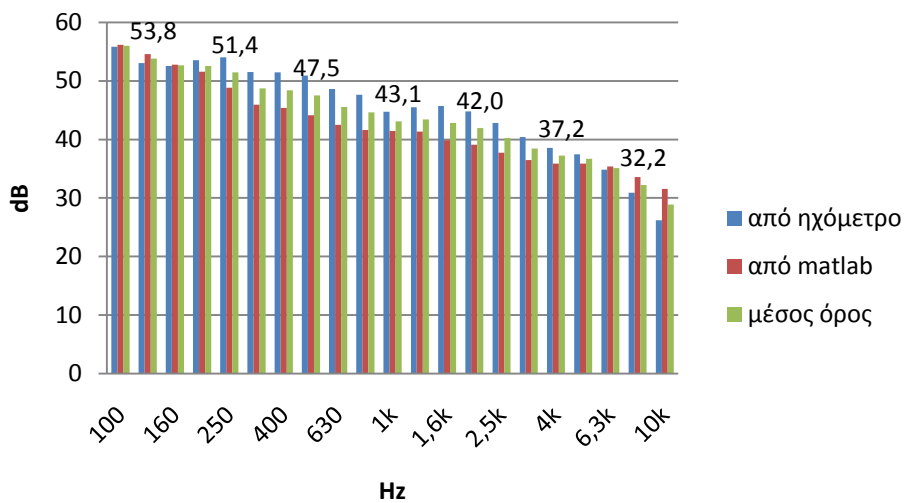
**Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση
Αίθουσα Διδασκαλίας Α5,
Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου
πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα**



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



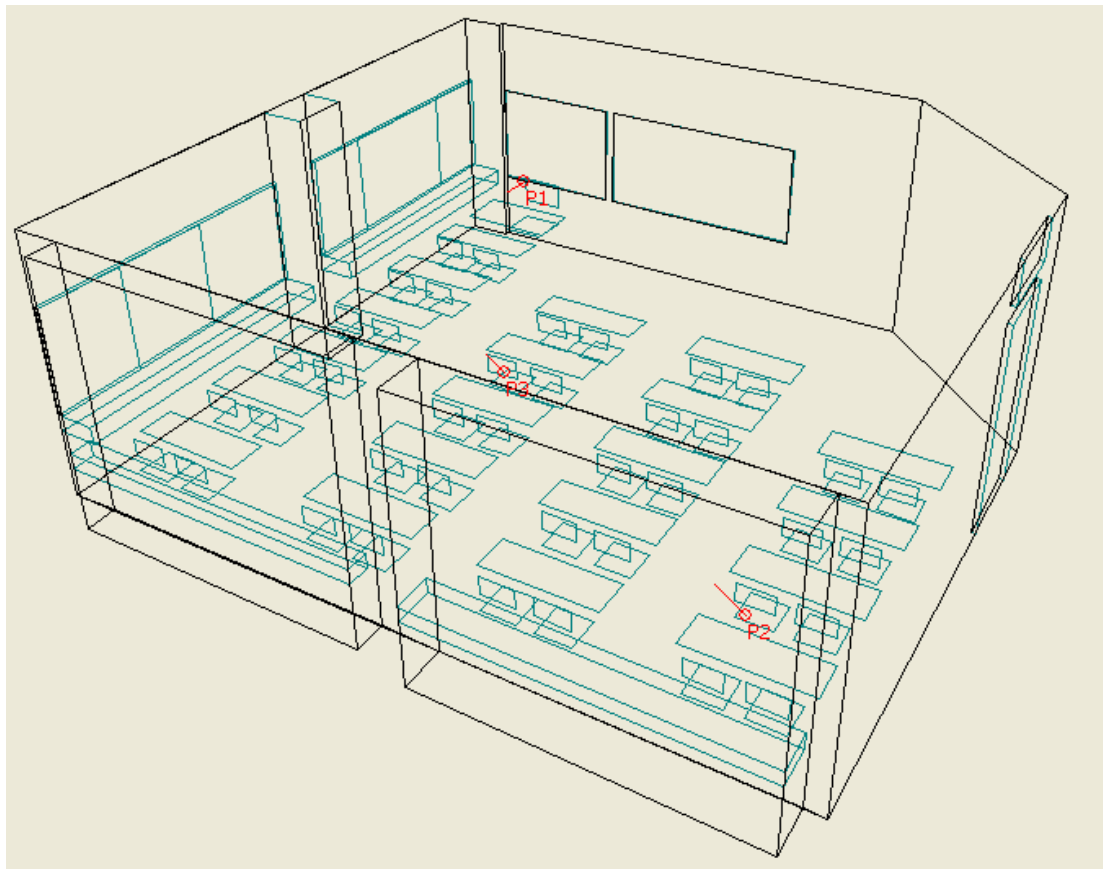
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Α5, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Κατά τη μέτρηση αυτή το παράθυρο είχε επιδιορθωθεί. Παρατηρούμε, ότι ο κύριος όγκος θορύβου έξω από την αίθουσα συγκεντρώνεται στις χαμηλές συχνότητες. Το παράθυρο όμως εμποδίζει τον θόρυβο αυτό να εισέρθει στην αίθουσα σε ικανοποιητικό βαθμό.

Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $182,24\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $259,68\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Θρανιά / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακοινώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

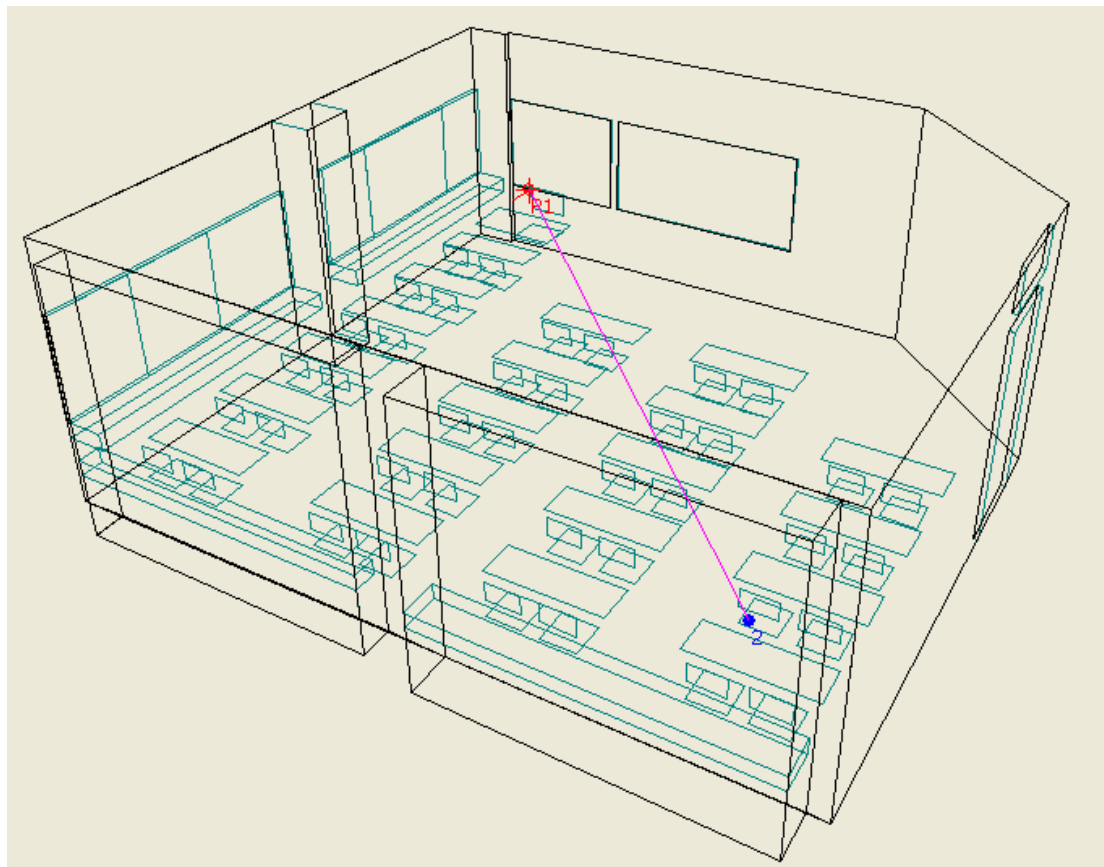
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,57	1,57	2,50	3,51	2,62	2,68	2,06	1,05
T Sabine (modified)	1,46	1,45	2,34	3,31	2,51	2,59	2,01	1,04
T Eyring	1,52	1,52	2,45	3,46	2,57	2,64	2,04	1,05
T Eyring (modified)	1,40	1,40	2,29	3,27	2,47	2,55	1,99	1,04
T Arau-Puchades	1,76	1,75	2,62	3,72	2,83	2,87	2,14	1,08
T Arau-Puchades (modified)	1,64	1,64	2,45	3,50	2,70	2,76	2,08	1,06

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητή (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



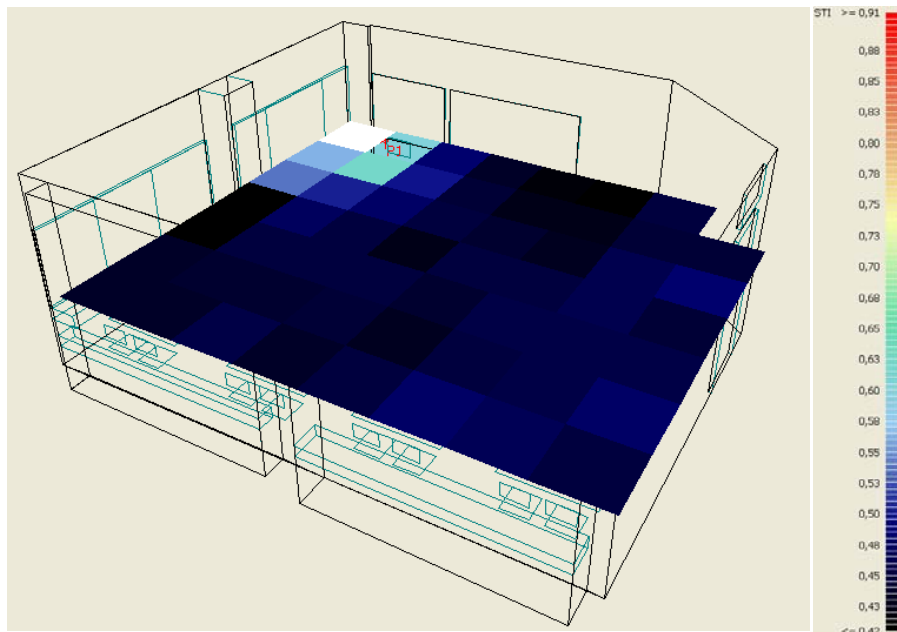
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0,94	0,85	2,10	3,10	2,50	2,60	1,91	1,01
T30 (s)	1,11	1,02	2,20	3,10	2,49	2,60	1,99	1,05
SPL (dB)	54,4	53,8	63,5	71,0	65,9	57,8	49,8	46,4
C80 (dB)	4,3	5,5	-0,8	-2,7	-1,9	-1,9	-0,5	3,8
D50	0,57	0,63	0,32	0,24	0,27	0,27	0,34	0,54
Ts (ms)	64	54	145	211	172	177	134	67
LF80	0,354	0,354	0,335	0,335	0,333	0,317	0,315	0,310

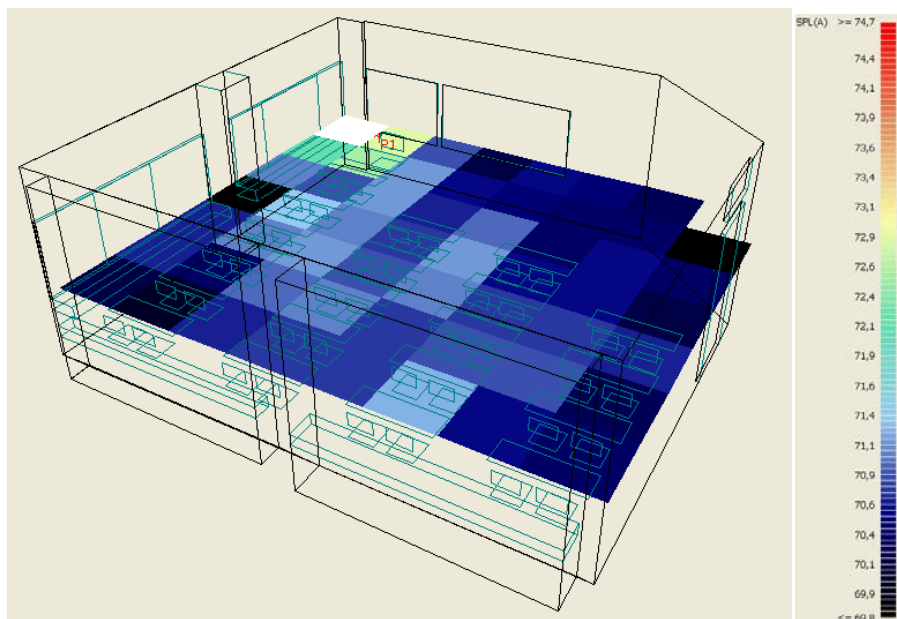
SPL(A) = 70,4(dB)
LG80* = 59,8(dB)
STI = 0,48 (Theoretical based on T30, STI = 0,45)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,41 και 0,51 με μέση τιμή περίπου στο 0,46.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 70,0 και 71,6dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,96	0,88	2,16	3,07	2,49	2,53	1,98	0,99
T30	(s)	0,93	0,83	2,16	3,06	2,46	2,55	1,97	1,06
SPL	(dB)	54,3	53,7	63,3	70,8	65,8	57,5	49,6	46,3
C80	(dB)	4,4	5,4	-1,0	-3,0	-1,7	-2,0	-0,5	3,7
D50		0,63	0,67	0,34	0,25	0,31	0,30	0,37	0,59
Ts	(ms)	59	51	144	211	165	171	130	63
LF80		0,378	0,372	0,338	0,326	0,322	0,318	0,318	0,317

SPL(A) = 70,3(dB)
LG80* = 59,7(dB)
STI = 0,49 (Theoretical based on T30, STI = 0,45)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,43 και 0,51 με μέση τιμή περίπου στο 0,46.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 70,5 και 72,0dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστική θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,99	0,76	2,13	3,07	2,45	2,46	1,99	1,13
T30	(s)	1,03	0,80	2,10	3,13	2,49	2,63	2,03	1,03
SPL	(dB)	52,1	51,3	58,4	63,7	56,9	49,5	43,3	39,6
C80	(dB)	3,5	5,0	-2,0	-4,4	-2,9	-3,9	-2,6	1,4
D50		0,54	0,62	0,27	0,18	0,23	0,18	0,23	0,40
Ts	(ms)	67	55	158	232	182	198	159	90
LF80		0,311	0,309	0,316	0,332	0,309	0,327	0,329	0,329

SPL(A) = 62,7(dB)
LG80* = 52,7(dB)
STI = 0,45 (Theoretical based on T30, STI = 0,45)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,42 και 0,51 με μέση τιμή περίπου στο 0,47.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 62,6 και 64,1dBA.

Σχόλια: η αίθουσα αυτή έχει αρκετά μεγάλο όγκο και αποκλειστικά γυμνούς τοίχους. Έτσι, παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλο χρόνο αντήχησης (περίπου 3sec). Γι αυτό το STI έχει ιδιαίτερα χαμηλές τιμές. Όσον αφορά την ένταση του ήχου, σε όλη την έκταση της αίθουσας ο ήχος διατηρεί την έντασή του και ακούγεται ο ομιλητής δυνατά.

Ακολουθεί ο πίνακας με τον μετρούμενο χρόνο αντήχησης.

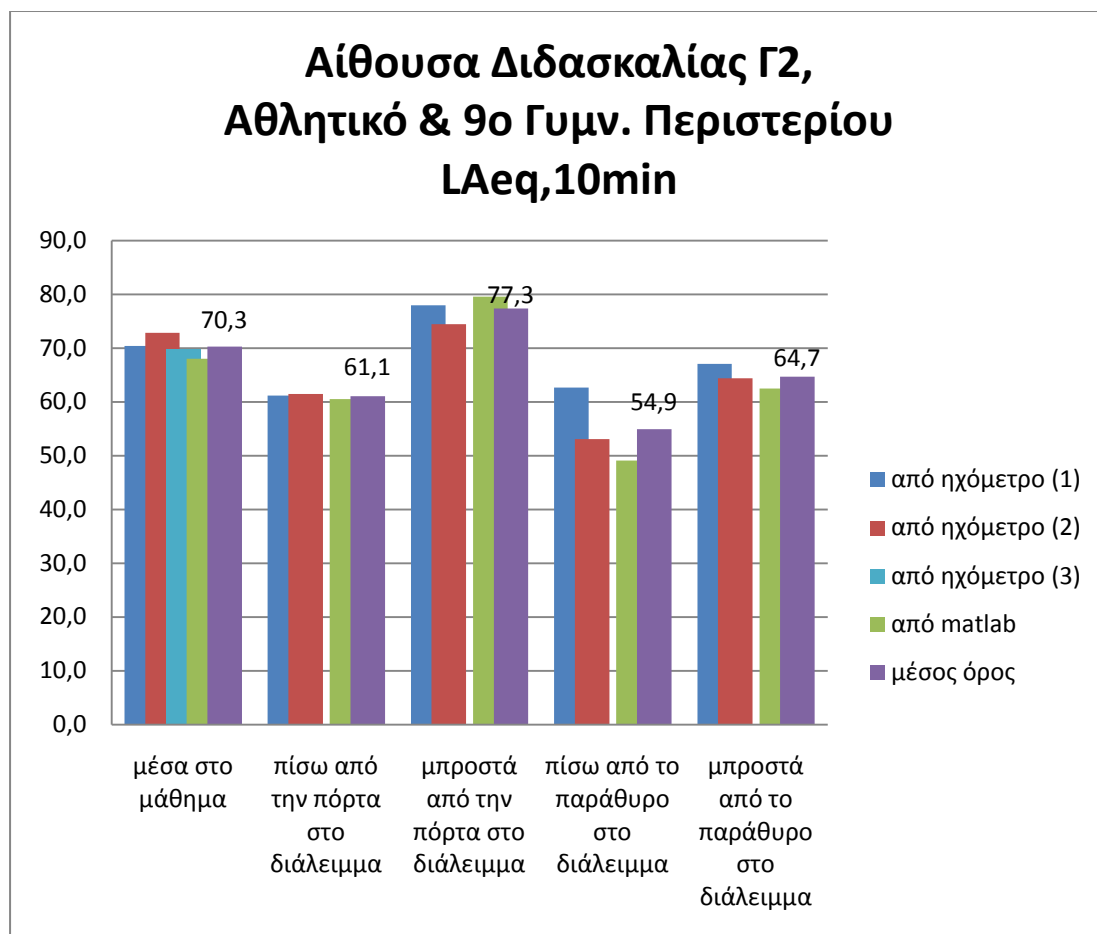
Σημείο 1/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,8	2,43	2,1	1,89	1,86	1,47	2,00
T30 (sec)	3,03	2,4	2,05	1,95	1,87	1,49	2,00
EDT (sec)	2,54	2,48	2,16	1,95	1,86	1,37	2,06

Σημείο 2/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	3,1	2,57	2,02	1,99	1,83	1,49	2,00
T30 (sec)	3,13	2,57	2,02	2	1,86	1,5	2,01
EDT (sec)	2,48	2,07	2,08	2,16	1,87	1,43	2,12

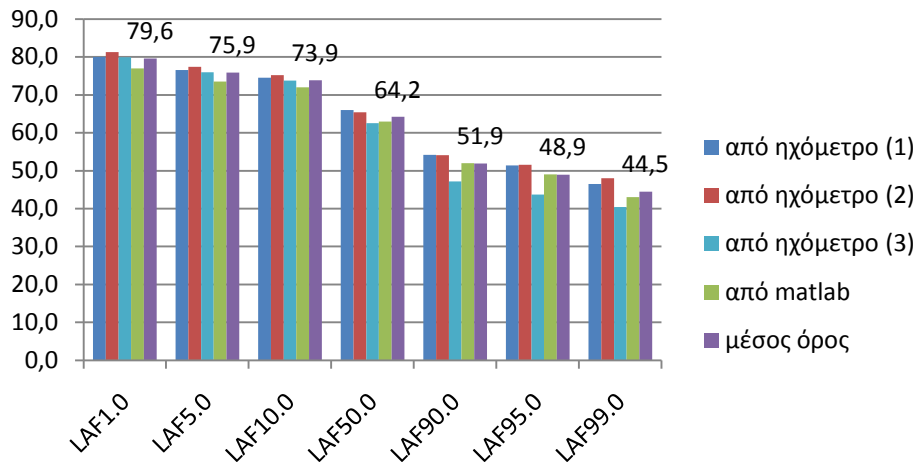
Μέσος όρος	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,95	2,50	2,06	1,94	1,85	1,48	2,00
T30 (sec)	3,08	2,49	2,04	1,98	1,87	1,50	2,01
EDT (sec)	2,51	2,28	2,12	2,06	1,87	1,40	2,09
RT (sec)	2,85	2,42	2,07	1,99	1,86	1,46	2,03

Ο χρόνος αντήχησης είναι ιδιαίτερα ψηλός, ειδικά στις χαμηλές συχνότητες (τόσο στις αντρικές όσο και στις γυναικείες). Επειδή η αίθουσα αυτή φιλοξενεί γύρω στους 30 μαθητές που κάθονται σχετικά πυκνά σε όλη την επιφάνεια της αίθουσας ο χρόνος αντήχησης εν ώρα μαθήματος θα είναι αισθητά χαμηλότερος. Για να φτάσει όμως στα επιθυμητά επίπεδα, καθώς και για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες ανακλάσεις, πρέπει να τοποθετηθούν στους τοίχους απορροφητικά υλικά και αντικείμενα που συμβάλουν στη διασπορά.

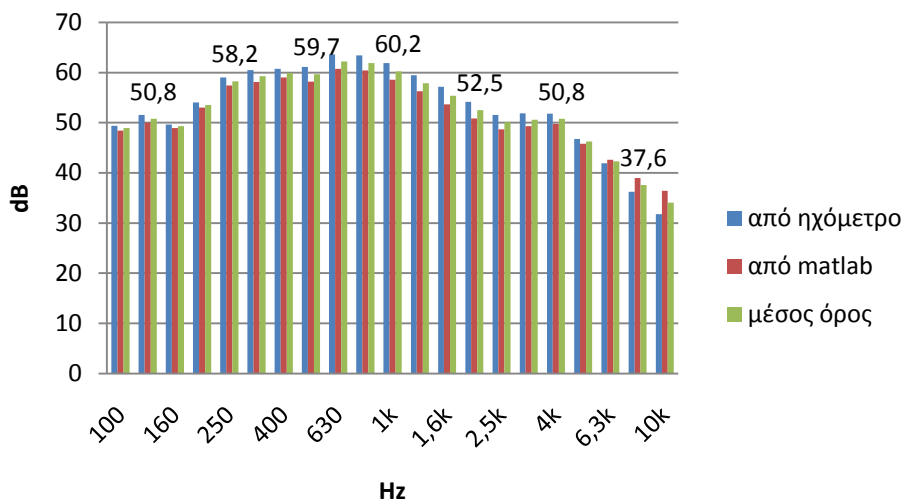
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μέσα στο μάθημα

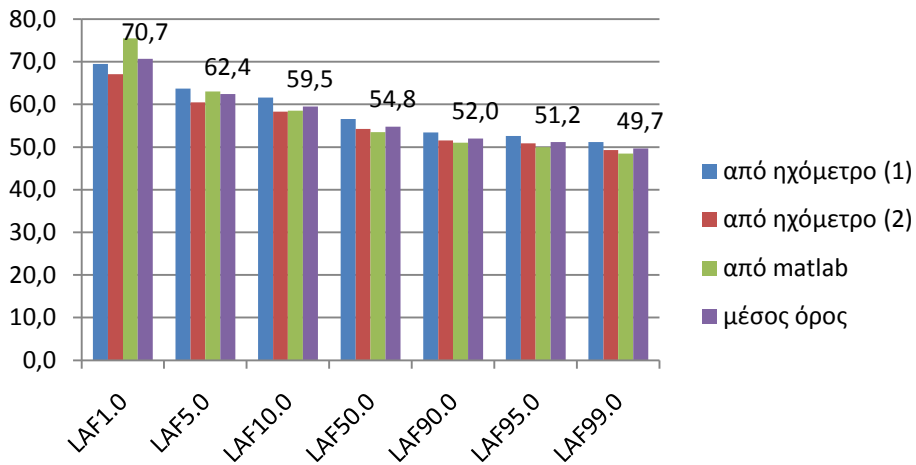


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μέσα στο μάθημα

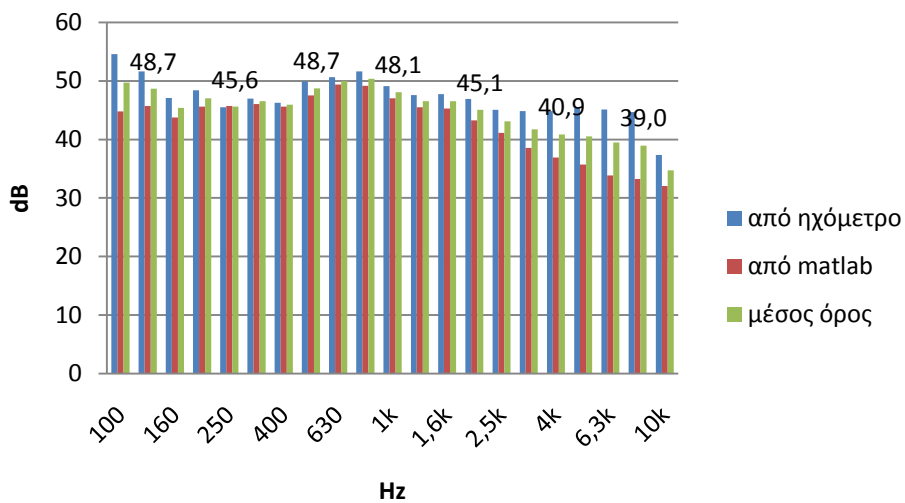


Από τα διαγράμματα μέσα στο μάθημα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια φυσιολογική κατανομή των τιμών της έντασης. Παρατηρούνται σχετικά ήπιες ακραίες τιμές, η μέση τιμή είναι αρκετά πάνω από το βάθος θορύβου εξασφαλίζοντας υψηλό SNR. Το βάθος θορύβου είναι σχετικά υψηλό και οφείλεται κυρίως στους εξωτερικούς θορύβους που εισέρχονται στην αίθουσα. Η αίθουσα βλέπει στον προαύλιο χώρο, στον οποίο τελείται το μάθημα της γυμναστικής. Η ανάγκη για εξαέρωση επιβάλλει να είναι τα παράθυρα ανοιχτά, άρα μπαίνει υψηλό ποσοστό θορύβου, όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα.

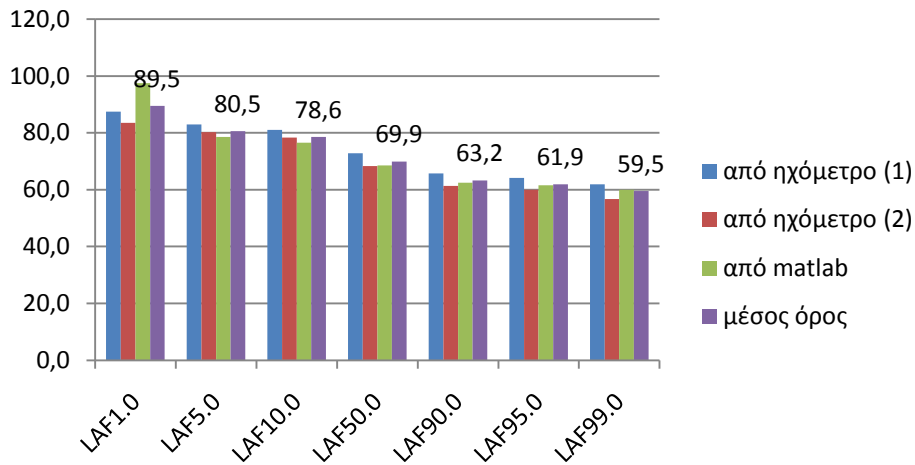
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



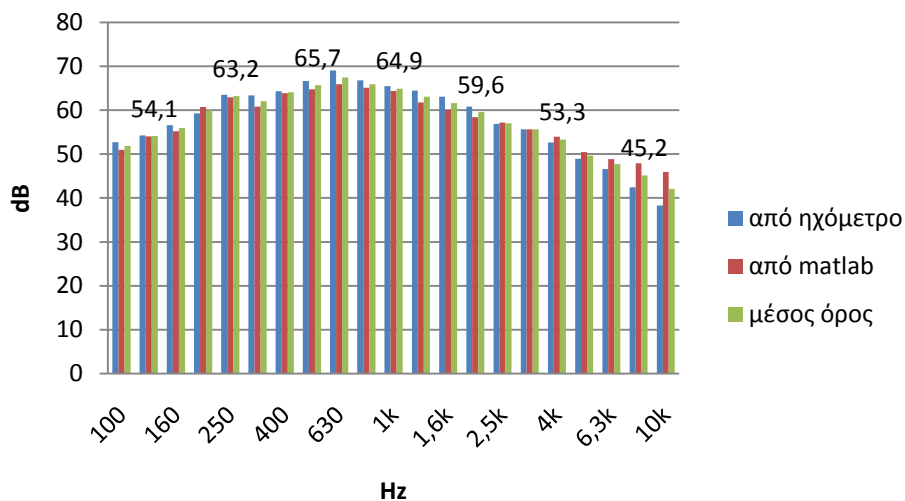
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

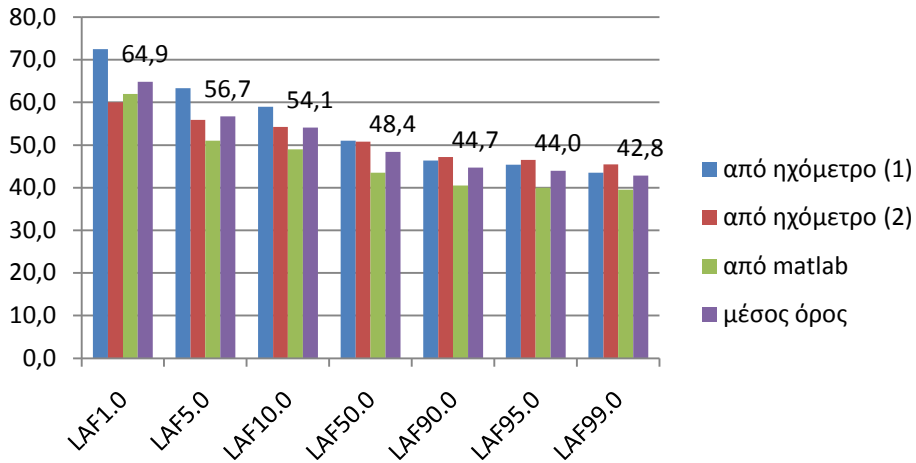


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

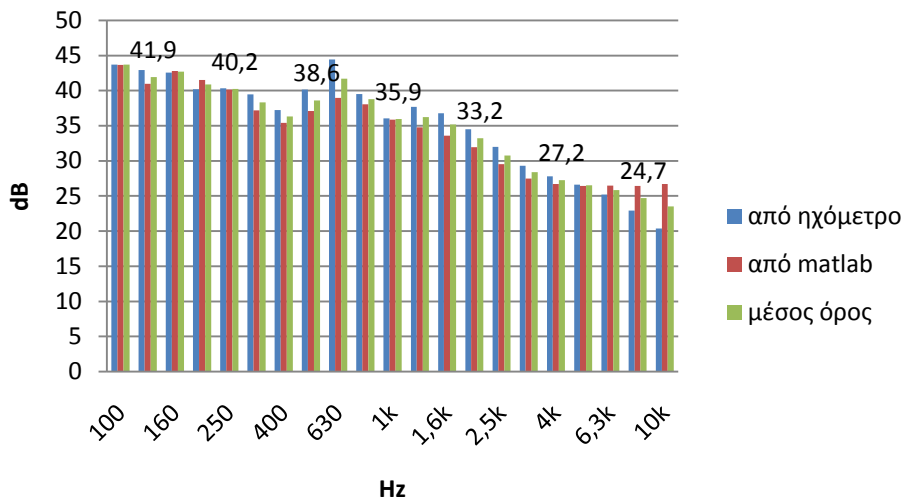


Η πόρτα παρουσιάζει μια σχετική ικανότητα ηχομόνωσης σε όλες τις συχνότητες. Δεν κρίνεται αναγκαία η τοποθέτηση πόρτας με καλύτερη ικανότητα, καθώς τη διάρκεια του μαθήματος ο θόρυβος έξω από αυτήν είναι πολύ περιορισμένος.

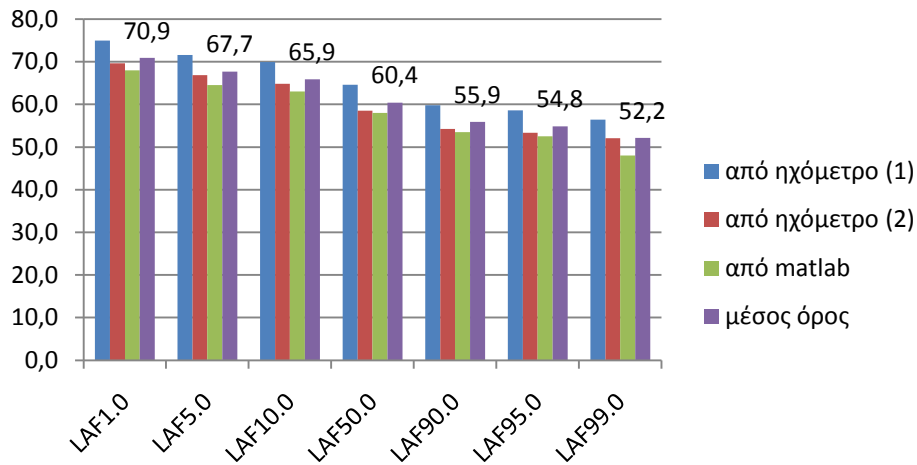
**Εκατοστημοριακά επίπεδα
Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2,
9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου
πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα**



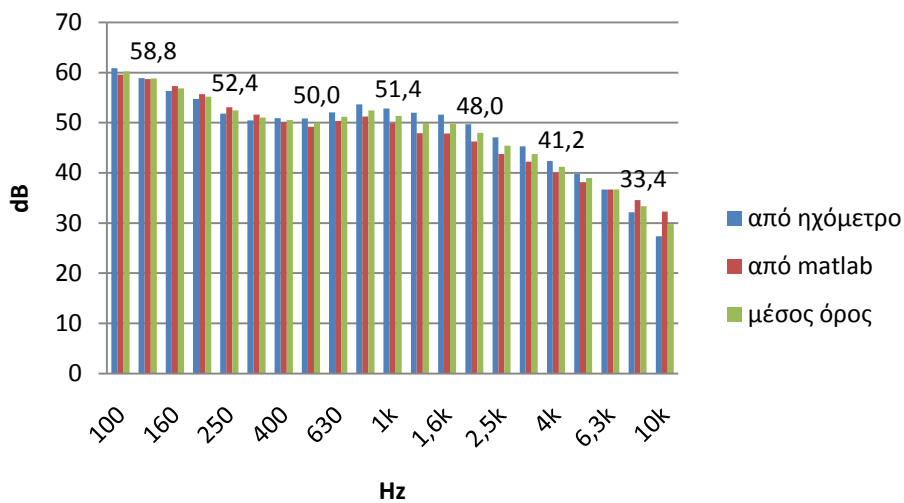
**Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση
Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2,
Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου
πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα**



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, 9ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2, Αθλητικό & 9ο Γυμν. Περιστερίου μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Τα παράθυρα μονώνουν ικανοποιητικά τον θόρυβο. Επειδή όμως, σε μεγάλο βαθμό, οι συνθήκες διαλείμματος στον προαύλιο χώρο είναι κοντινές με αυτές εν ώρα μαθήματος, θα ήταν σκόπιμο να κρατούνται τα παράθυρα κλειστά όταν αυτό είναι εφικτό.

ΕΠΑ.Λ. Αγίας Παρασκευής

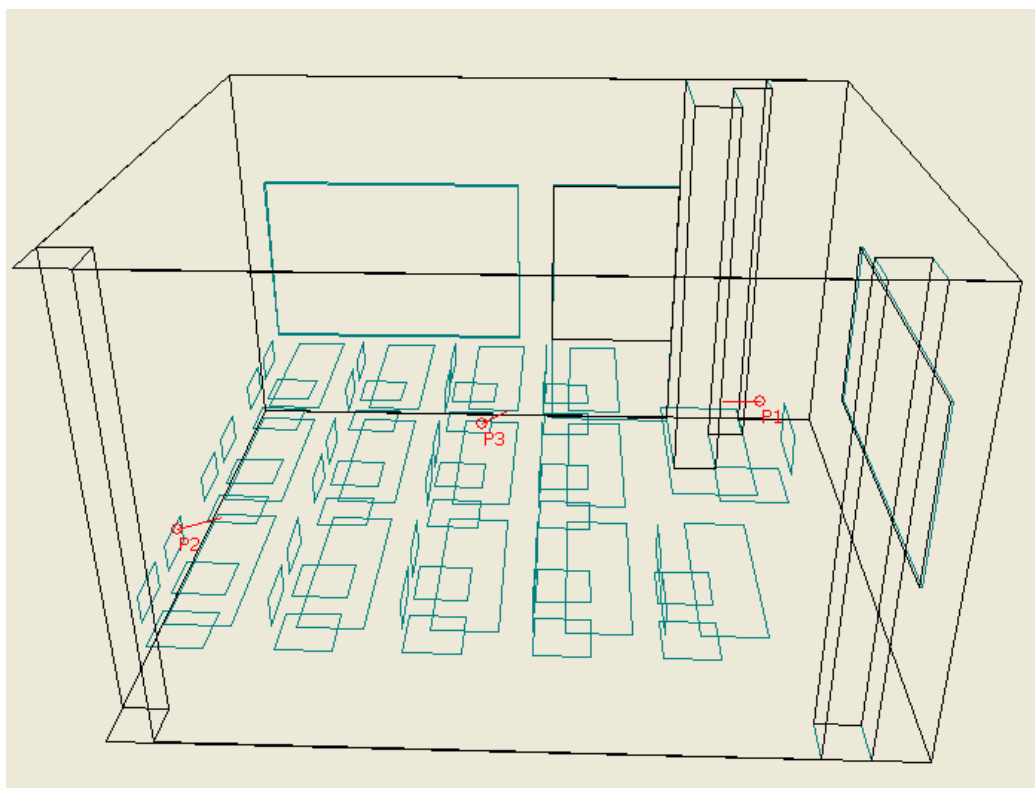
Το ΕΠΑΛ Αγίας Παρασκευής είναι ένα μικρό σχολείο σε μια ήσυχη γειτονιά της Αγίας Παρασκευής. Οι αίθουσες κοιτάνε σε μια πιλοτή η οποία λειτουργεί σαν κενός χώρος. Ο χώρος προαύλισης καθώς και ο δρόμος βρίσκονται μακριά από την πόρτα και τα παράθυρα των αιθουσών, συμβάλλοντας στο να επιτευχθούν περιορισμένα επίπεδα θορύβου.

Η κατασκευή είναι σχετικά πρόχειρη και φτωχή. Τα τζάμια είναι μονά και δεν υπάρχουν κουρτίνες. Οι πόρτες δεν είναι ξύλινες, αλλά μισές σίδηρο και μισές τζάμι. Μελετήσαμε μια τυπική αίθουσα διδασκαλίας, καθώς και την αίθουσα πληροφορικής. Η αίθουσα πληροφορικής παρουσιάζει ιδιαιτερότητες γιατί έχει ξύλινο δάπεδο και οροφή, στόρια αντί για κουρτίνες, διαφορετική διάταξη στα θρανία, και αρκετό πρόσθετο θόρυβο από τα ανεμιστηράκια των υπολογιστών.

Τα παράθυρα και οι πόρτες είναι δίπλα μεταξύ τους και έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Επομένως, για λόγους ευκολίας και οικονομίας χρόνου, δεν πάρθηκαν ξεχωριστές μετρήσεις για τα παράθυρα.

Αίθουσα διδασκαλίας

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $68,16\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $130,12\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (αλουμινένια)	Steel trapez profile (Weighted values)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10	0,10	0,15	0,15

Θρανία / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Μονά τζάμια	single pane of glass (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,18	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

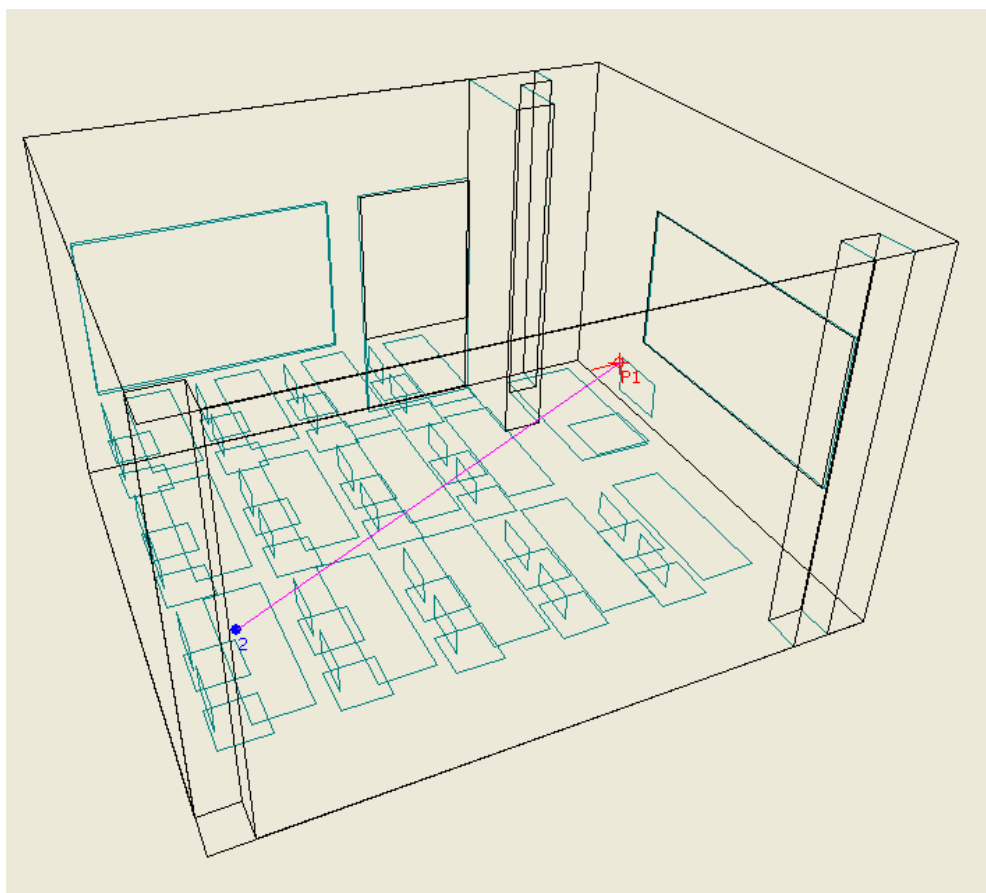
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	0,69	0,70	1,28	2,11	1,93	2,03	1,60	0,92
T Sabine (modified)	0,67	0,67	1,24	2,11	1,90	2,02	1,60	0,92
T Eyring	0,66	0,67	1,24	2,08	1,90	2,01	1,58	0,91
T Eyring (modified)	0,64	0,64	1,21	2,08	1,87	2,00	1,59	0,92
T Arau-Puchades	0,75	0,77	1,39	2,19	1,94	2,03	1,59	0,92
T Arau-Puchades (modified)	0,76	0,78	1,43	2,26	1,96	2,05	1,62	0,93

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητής (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).

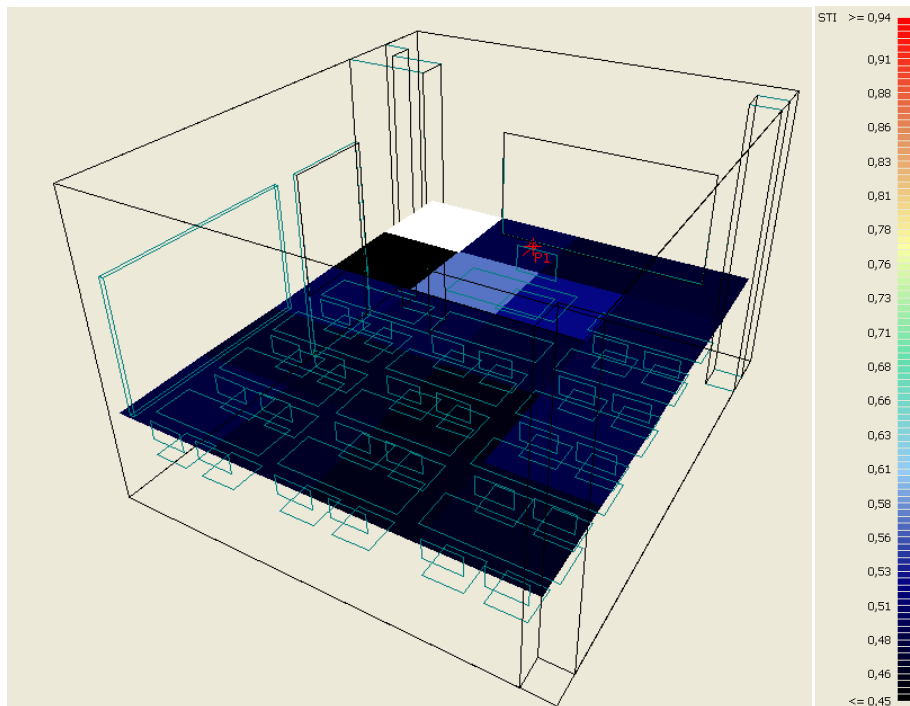


Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

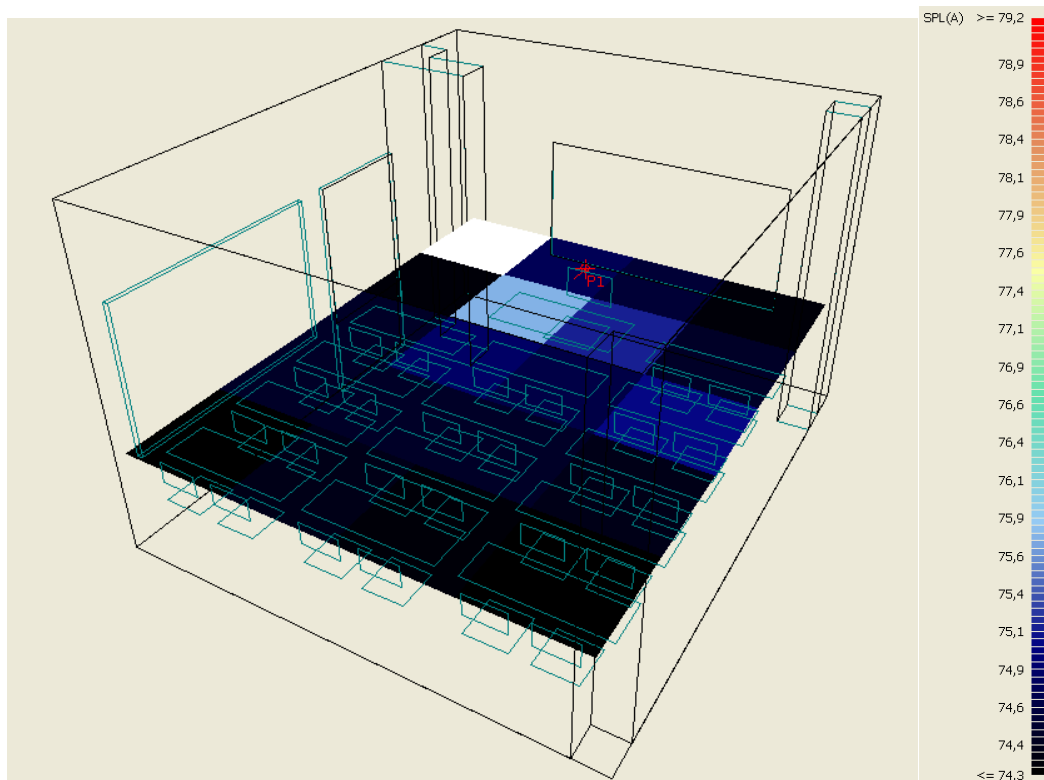
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,75	0,72	1,65	2,57	2,25	2,40	1,80	1,04
T30	(s)	0,89	0,95	1,70	2,55	2,30	2,40	1,84	1,00
SPL	(dB)	56,6	56,3	66,7	74,6	70,1	62,0	54,0	51,0
C80	(dB)	5,8	6,7	0,4	-2,2	-1,7	-1,8	-0,2	3,9
D50		0,66	0,70	0,38	0,26	0,28	0,28	0,36	0,56
Ts	(ms)	50	45	111	181	162	167	125	64
LF80		0,288	0,294	0,292	0,299	0,296	0,275	0,279	0,271
SPL(A) = 74,3(dB)									
LG80* = 63,6(dB)									
STI = 0,48 (Theoretical based on T30, STI = 0,46)									

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,44 και 0,53 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 74,2 και 75,2dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,66	0,63	1,54	2,56	2,26	2,40	1,80	0,97
T30	(s)	0,72	0,85	1,54	2,52	2,25	2,38	1,79	0,98
SPL	(dB)	56,5	56,0	66,4	74,3	70,0	61,6	53,7	50,8
C80	(dB)	6,6	7,4	0,4	-2,3	-1,6	-1,9	-0,2	3,9
D50		0,67	0,71	0,38	0,26	0,29	0,29	0,36	0,56
Ts	(ms)	45	41	109	178	159	166	124	64
LF80		0,343	0,339	0,328	0,323	0,312	0,315	0,308	0,303

SPL(A) = 74,1(dB)
LG80* = 63,3(dB)
STI = 0,48 (Theoretical based on T30, STI = 0,46)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,46 και 0,53 με μέση τιμή περίπου στο 0,49.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 73,8 και 75,3dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,69	0,67	1,57	2,56	2,28	2,37	1,85	0,99
T30	(s)	0,53	0,52	1,54	2,49	2,24	2,38	1,84	0,97
SPL	(dB)	54,8	54,2	61,4	67,3	60,9	53,8	47,7	44,6
C80	(dB)	6,8	7,3	0,2	-2,9	-2,2	-2,5	-1,0	2,9
D50		0,72	0,74	0,39	0,24	0,27	0,25	0,32	0,51
Ts	(ms)	41	38	110	185	167	175	136	74
LF80		0,302	0,296	0,328	0,347	0,332	0,340	0,346	0,348

SPL(A) = 66,4(dB)
LG80* = 56,3(dB)
STI = 0,47 (Theoretical based on T30, STI = 0,46)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,43 και 0,51 με μέση τιμή περίπου στο 0,47.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 66,0 και 67,3dBA.

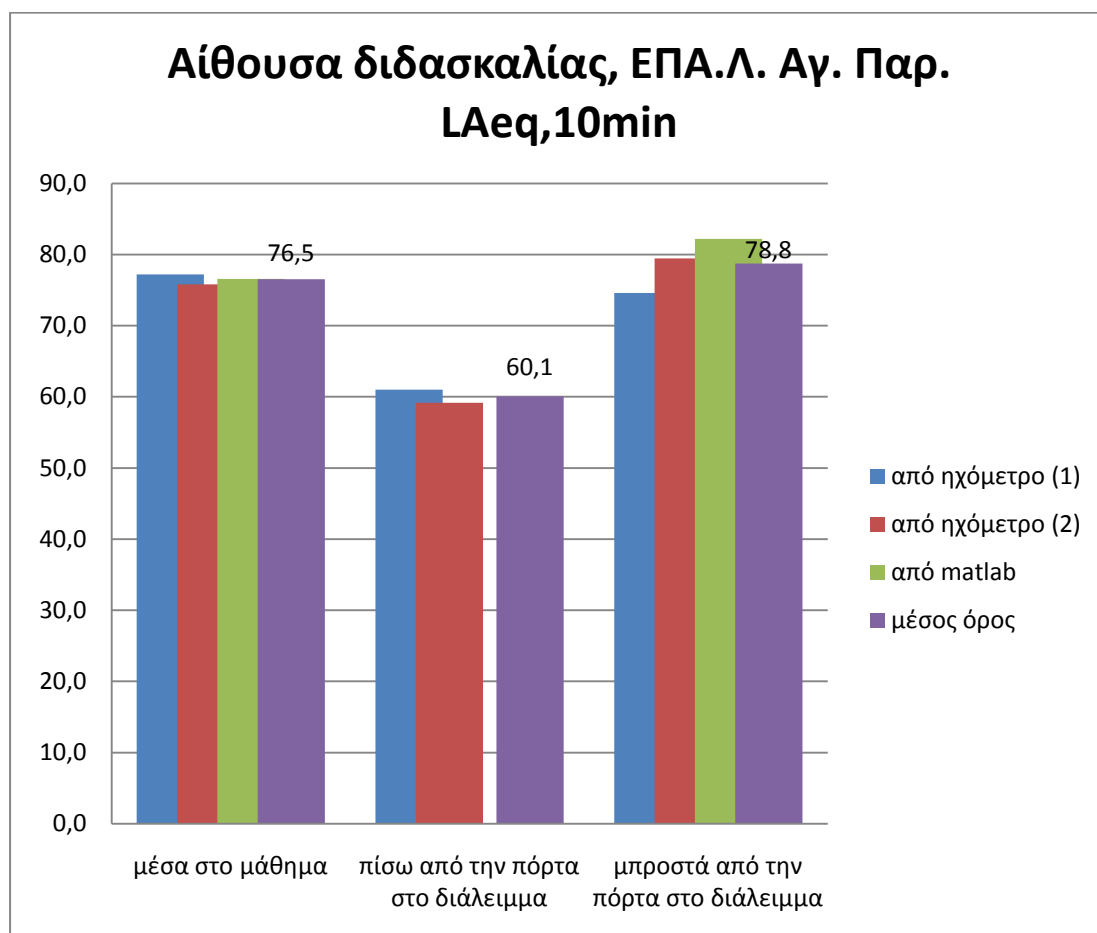
Σχόλια: Η αίθουσα, παρά το μικρό της όγκο, λόγω της «γύμνιας» της, παρουσιάζει μεγάλο χρόνο αντήχησης. Ο χρόνος αντήχησης, καθώς και πολλές ανεπιθύμητες ανακλάσεις ρίχνουν το STI. Επειδή όμως η αίθουσα είναι μικρή και οι ανακλαστικές επιφάνειες πολλές, η ηχητική ένταση είναι παντού μεγάλη.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο χρόνος αντήχησης που μετρήθηκε.

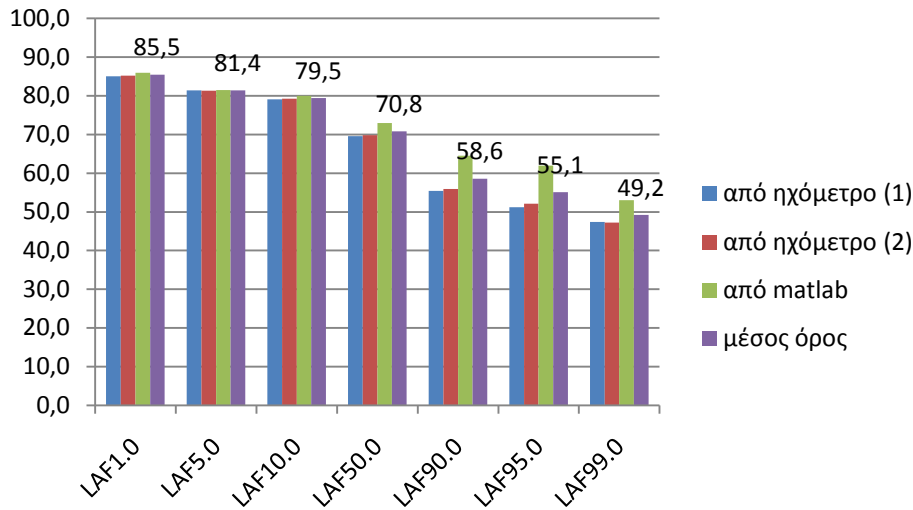
Σημείο 1/1	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	3,17	2,86	2,05	1,95	1,58	1,26	2,00
T30 (sec)	3,31	3,02	2,05	1,93	1,63	1,29	1,99
EDT (sec)	2,59	2,52	1,85	1,97	1,62	1,21	1,91
RT (sec)	3,02	2,80	1,98	1,95	1,61	1,25	1,97

Ο χρόνος αντήχησης, ειδικά για τα δεδομένα της αίθουσας, είναι ιδιαίτερα ψηλός. Ειδικά στις χαμηλές συχνότητες, λόγω των στάσιμων κυμάτων που δημιουργούνται, ο χρόνος αντήχησης είναι σε μη επιτρεπτά επίπεδα. Ο όγκος της αίθουσας δεν μπορεί και δεν είναι αναγκαίο να αλλάξει. Η τοποθέτηση κουρτίνων, πίνακα ανακοινώσεων και άλλων απορροφητικών υλικών και αντικειμένων που διαχέουν τον ήχο είναι αναγκαία.

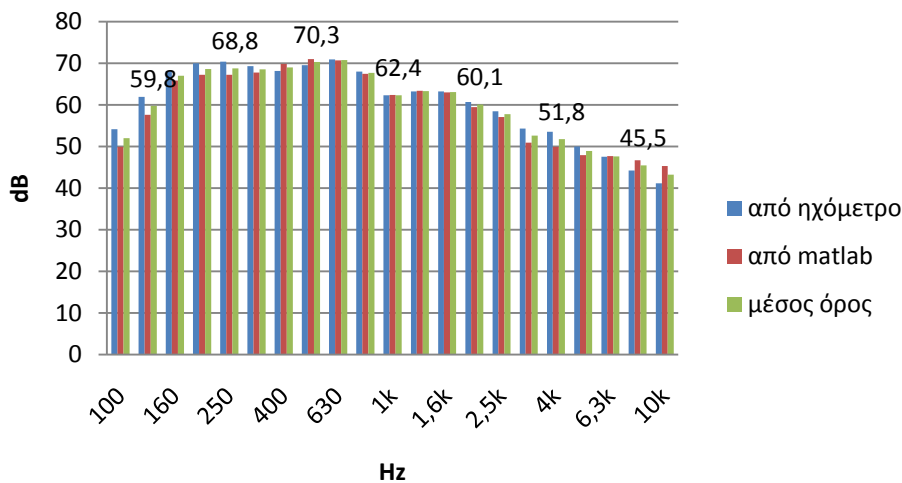
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα διδασκαλίας, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μέσα στο μάθημα

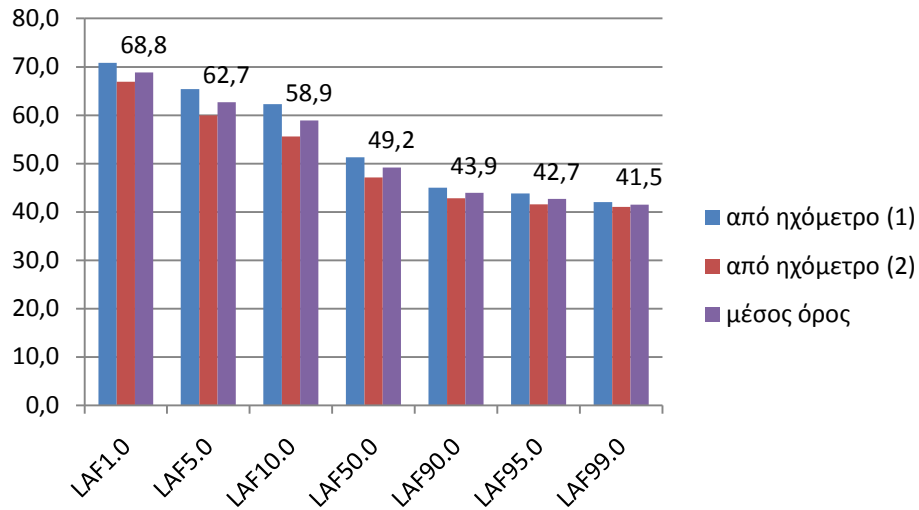


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μέσα στο μάθημα

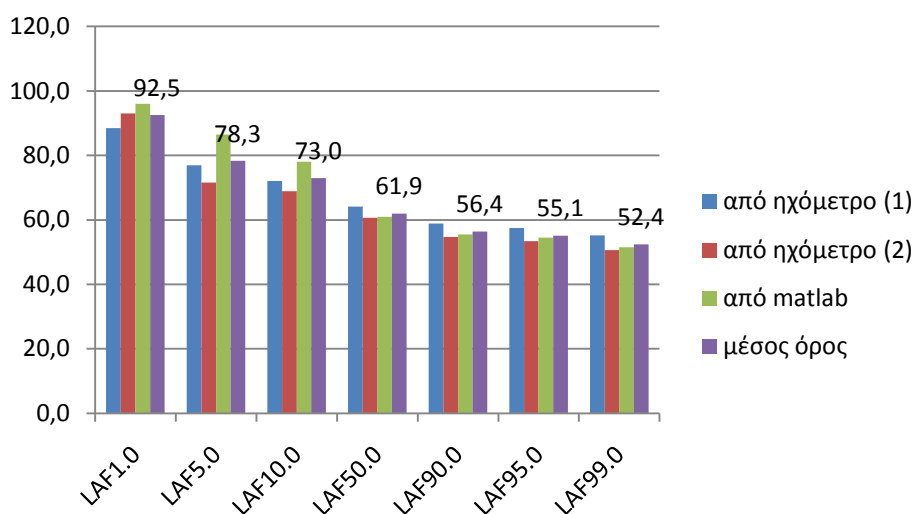


Έχουμε σχετικά υψηλά επίπεδα θορύβου. Ο λόγος είναι ότι λόγω του μικρού μεγέθους της αίθουσας επιβάλλεται να είναι μόνιμα ανοιχτή η πόρτα για λόγους υγιεινής. Έτσι, διεισδύει ο εξωτερικός θόρυβος. Αν ο καθηγητής δε δύναται να μιλάει δυνατά και για κάποιους λόγους τύχει να αυξηθεί ο θόρυβος βάθους (οικοδομικές εργασίες, φασαρία στην τάξη κλπ), το SNR θα είναι αρκετά χαμηλό. Από το φάσμα βλέπουμε ιδιαίτερα έντονους ήχους στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες που οφείλονται κυρίως στην ανθρώπινη φωνή και στα στάσιμα κύματα που δημιουργούνται.

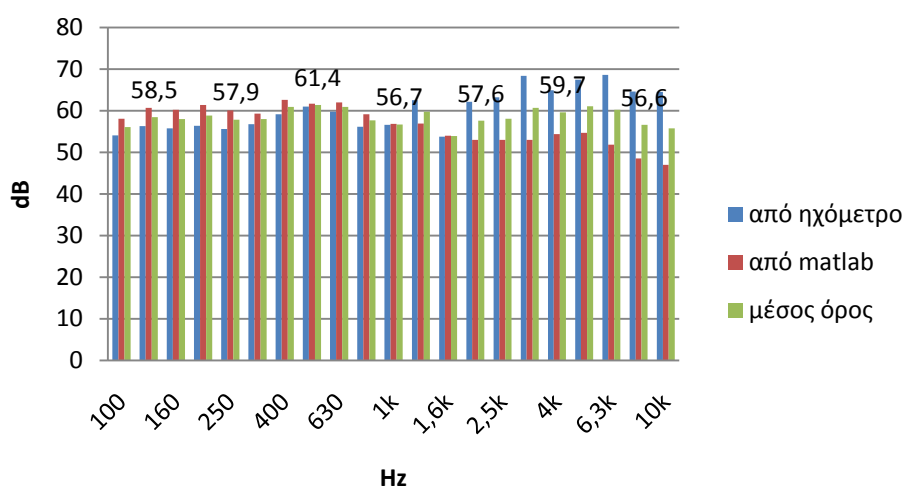
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα διδασκαλίας, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα διδασκαλίας, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα



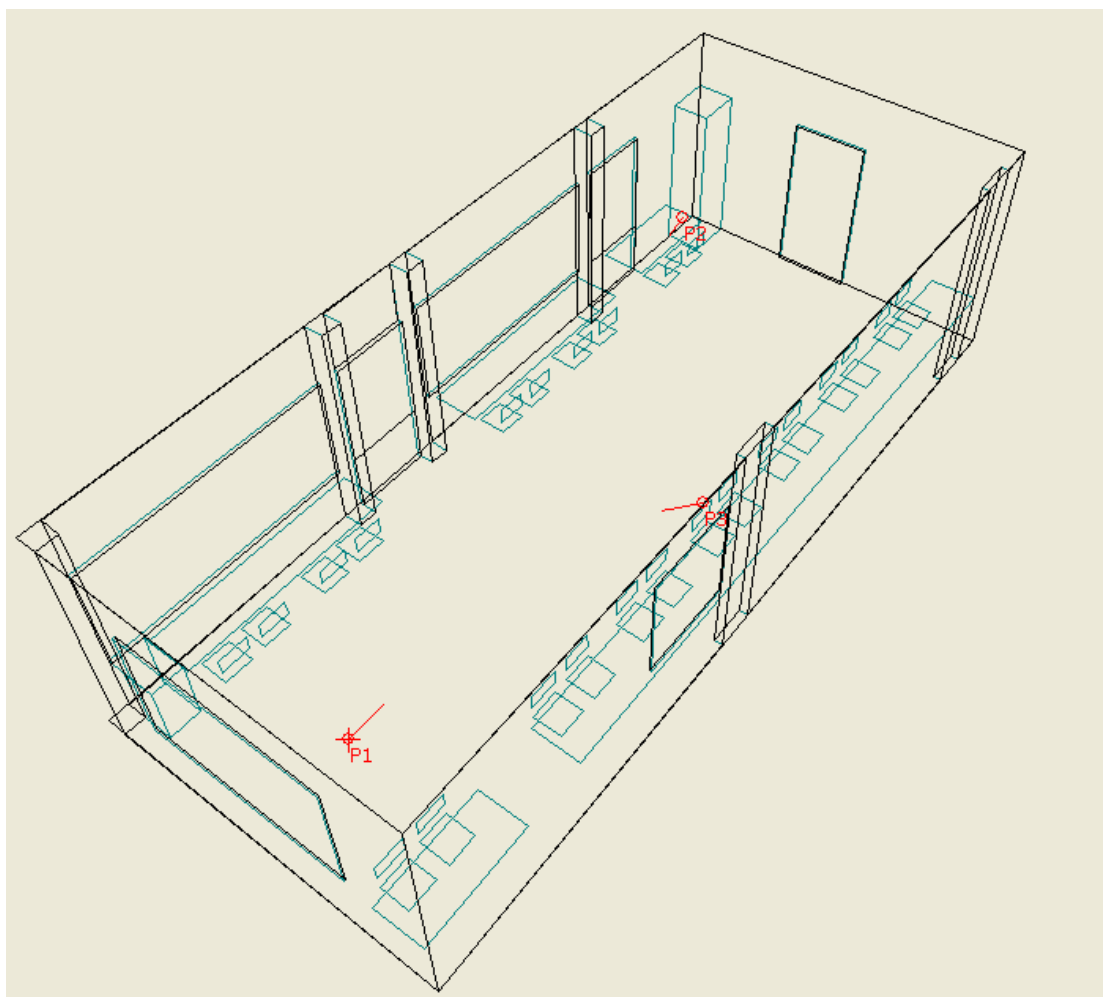
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Διδασκαλίας, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα



Παρατηρούμε ότι η μείωση του ήχου που παρέχει η πόρτα και τα μονά τζάμια είναι περιορισμένη. Επειδή όμως το σχολείο είναι χτισμένο σε ήσυχη περιοχή και η διαμόρφωση των αιθουσών σωστή, αυτό δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα.

Αίθουσα πληροφορικής

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $156,08\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $233,57\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πάτωμα / Ταβάνι (ξύλινα)	Wood parquet in asphalt on concrete (Ref. Harris:Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, McGraw Hill 1991)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,04	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07

Πόρτα (αλουμινένια)	Steel trapez profile (Weighted values)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10	0,10	0,15	0,15

Θρανιά / καρέκλες / ξύλινες επιφάνειες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Μονά τζάμια	single pane of glass (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,18	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

Στόρια	8100 (Example 8100-8199) Blinds in front of glass 45 degrees (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,18	0,18	0,08	0,14	0,22	0,37	0,34	0,34

Ταμπλό ανακοινώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

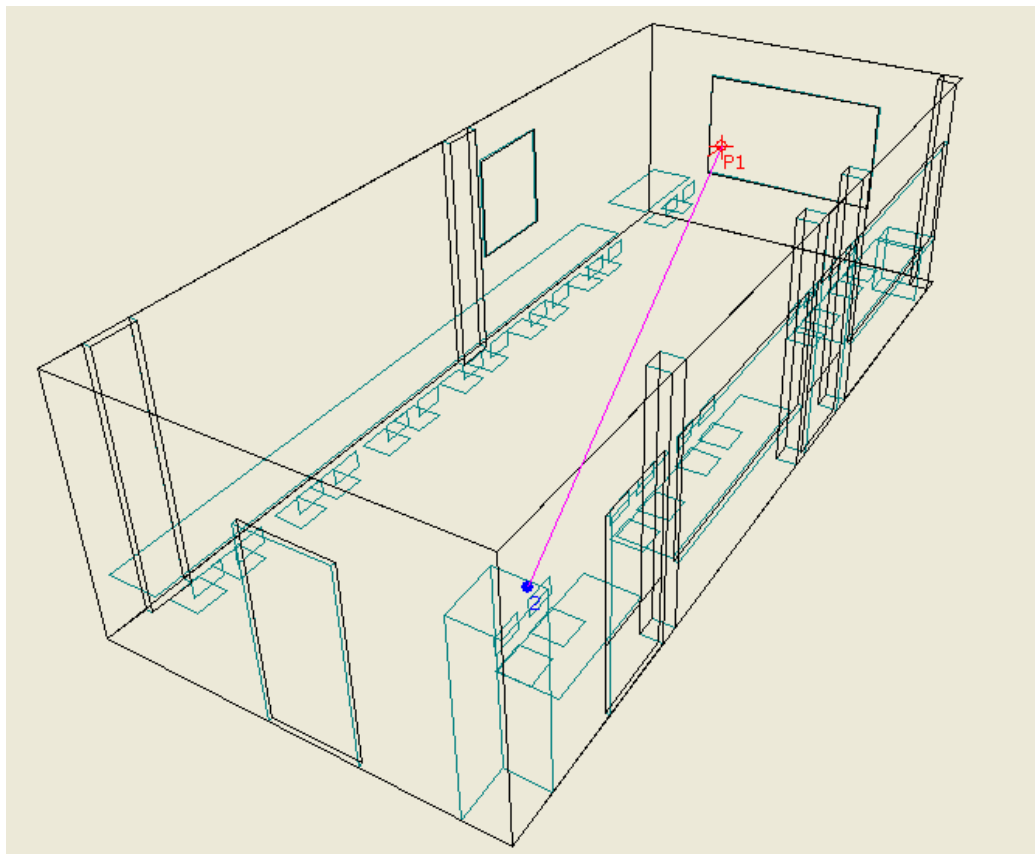
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	0,90	0,91	1,46	1,52	1,53	1,41	1,14	0,74
T Sabine (modified)	0,82	0,83	1,35	1,40	1,44	1,32	1,08	0,72
T Eyring	0,85	0,87	1,42	1,48	1,49	1,37	1,11	0,73
T Eyring (modified)	0,78	0,79	1,31	1,36	1,40	1,29	1,05	0,71
T Arau-Puchades	0,90	0,93	1,53	1,63	1,56	1,43	1,15	0,75
T Arau-Puchades (modified)	0,83	0,85	1,42	1,53	1,49	1,36	1,10	0,73

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητής(P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας(P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



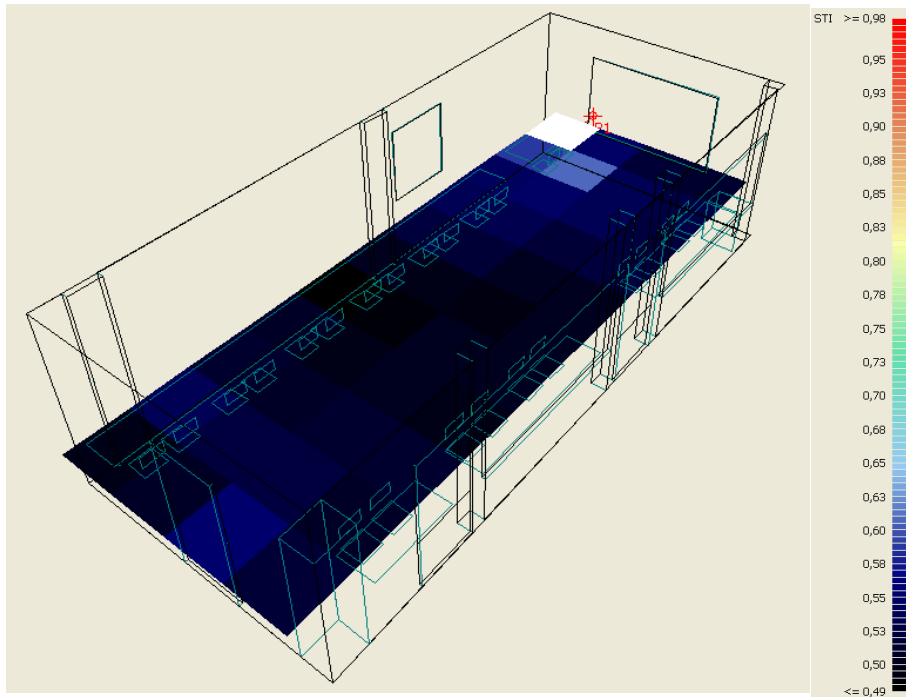
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,63	0,76	1,64	1,63	1,64	1,51	1,21	0,79
T30	(s)	0,74	0,85	1,59	1,56	1,65	1,49	1,17	0,80
SPL	(dB)	51,9	52,9	62,6	68,5	64,6	55,9	47,9	45,1
C80	(dB)	6,3	5,3	-0,2	-0,2	-0,4	0,2	1,7	5,0
D50		0,67	0,62	0,35	0,36	0,34	0,38	0,46	0,61
Ts	(ms)	49	55	119	118	122	110	86	55
LF80		0,292	0,283	0,282	0,280	0,276	0,280	0,281	0,275

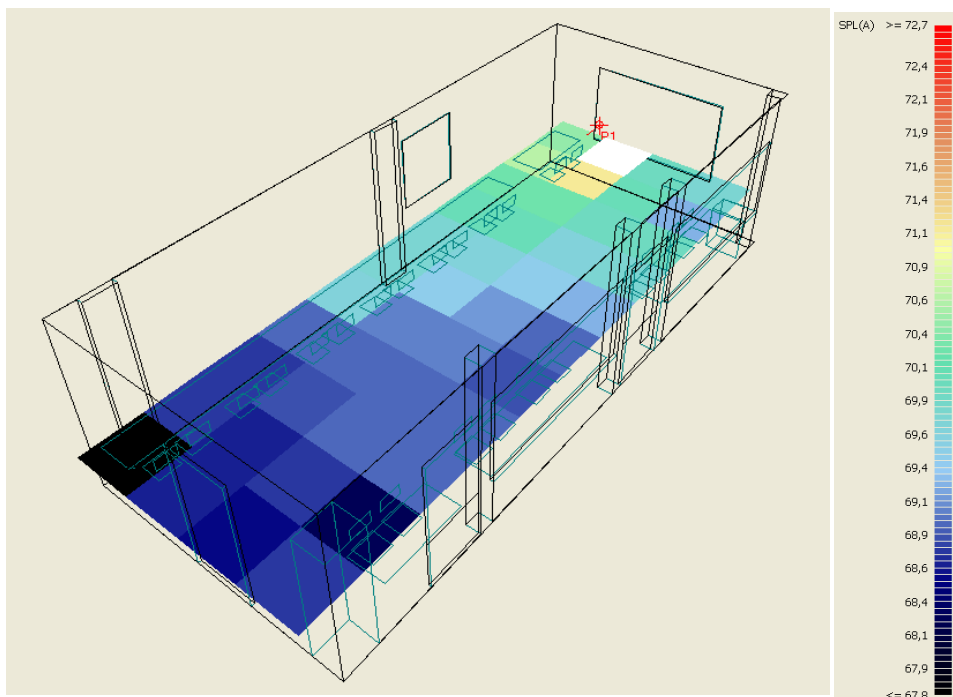
SPL(A) = 68,5(dB)
LG80* = 56,7(dB)
STI = 0,52 (Theoretical based on T30, STI = 0,51)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,49 και 0,60 με μέση τιμή περίπου στο 0,54.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 68,8 και 70,0dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,71	0,76	1,67	1,70	1,69	1,55	1,24	0,76
T30	(s)	0,90	0,87	1,62	1,65	1,69	1,56	1,18	0,82
SPL	(dB)	52,8	53,5	62,9	68,6	64,7	56,0	48,0	45,4
C80	(dB)	6,3	5,6	0,3	0,3	0,2	0,9	2,5	6,0
D50		0,68	0,65	0,38	0,38	0,38	0,42	0,50	0,66
Ts	(ms)	48	52	116	115	117	104	81	49
LF80		0,263	0,260	0,269	0,273	0,262	0,265	0,267	0,262

SPL(A) = 68,6(dB)
LG80* = 56,6(dB)
STI = 0,53 (Theoretical based on T30, STI = 0,51)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,50 και 0,56 με μέση τιμή περίπου στο 0,53.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69 και 71dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,78	0,85	1,69	1,65	1,64	1,55	1,28	0,88
T30	(s)	0,91	0,96	1,66	1,59	1,71	1,51	1,21	0,79
SPL	(dB)	50,9	51,7	58,0	61,8	55,9	47,8	41,6	38,8
C80	(dB)	5,7	4,7	-0,7	-0,9	-0,8	-0,8	0,4	3,6
D50		0,63	0,58	0,31	0,29	0,31	0,29	0,34	0,49
Ts	(ms)	53	58	125	126	126	122	101	67
LF80		0,315	0,304	0,311	0,314	0,295	0,308	0,311	0,300

SPL(A) = 61,1(dB)
LG80* = 50,3(dB)
STI = 0,46 (Theoretical based on T30, STI = 0,48)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,45 και 0,56 με μέση τιμή περίπου στο 0,49.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 60,7 και 63,0dBA.

Σχόλια: το ξύλινο πάτωμα και οροφή, καθώς και τα στόρια που συμβάλουν στη διάχυση, επιτυγχάνουν τον επιθυμητό χρόνο αντήχησης. Έτσι, παρόλο που η αίθουσα είναι μεγάλη και μακρόστενη και ο θόρυβος βάθους λόγω των υπολογιστών υψηλό, το STI είναι συγκριτικά με τις άλλες αίθουσες που μελετήσαμε ψηλότερο.

Ο χρόνος αντήχησης που μετρήθηκε απεικονίζεται παρακάτω:

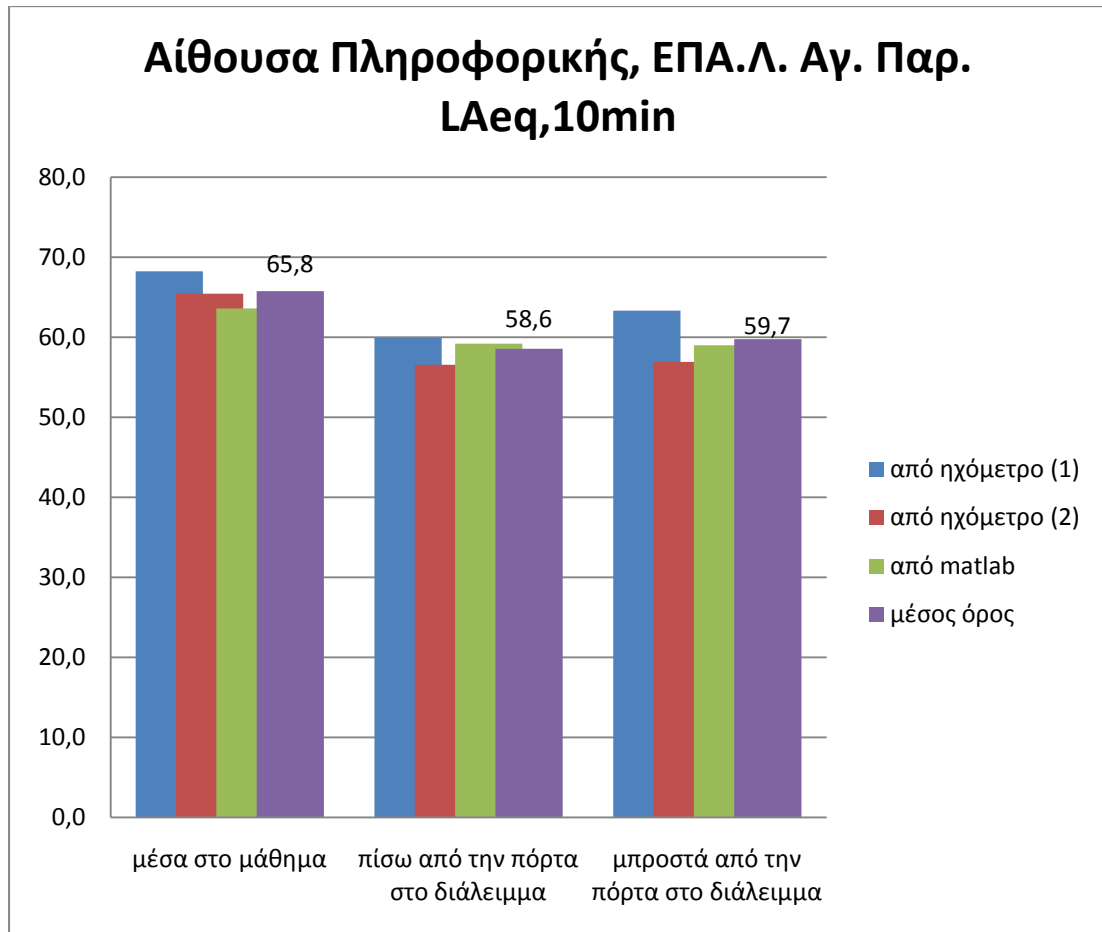
Σημείο 1/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,14	0,61	0,55	0,85	0,89	0,86	0,70
T30 (sec)	1,14	0,62	0,6	0,84	0,92	0,85	0,72
EDT (sec)	0,84	0,58	0,51	0,77	0,88	0,84	0,64

Σημείο 2/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,15	0,65	0,6	0,89	0,9	0,85	0,74
T30 (sec)	1,15	0,66	0,63	0,85	0,92	0,86	0,74
EDT (sec)	0,99	0,49	0,48	0,82	0,94	0,84	0,65

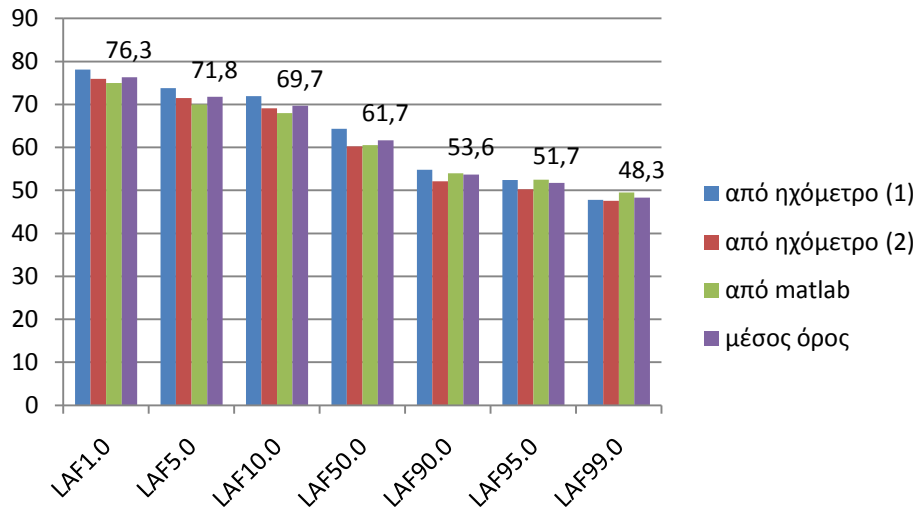
Μέσος όρος	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,15	0,63	0,58	0,87	0,90	0,86	0,72
T30 (sec)	1,15	0,64	0,62	0,85	0,92	0,86	0,73
EDT (sec)	0,92	0,54	0,50	0,80	0,91	0,84	0,65
RT (sec)	1,07	0,60	0,56	0,84	0,91	0,85	0,70

Ο χρόνος αντήχησης είναι ιδανικός, σε όλες τις συχνότητες. Η χρήση ξύλινου πατώματος συνίσταται. Όσον αφορά την οροφή όμως, χρειάζεται σε πολλές περιπτώσεις να είναι η επιφάνεια ανακλαστική. Άρα χρήζει μελέτης η χρήση ξύλινης οροφής.

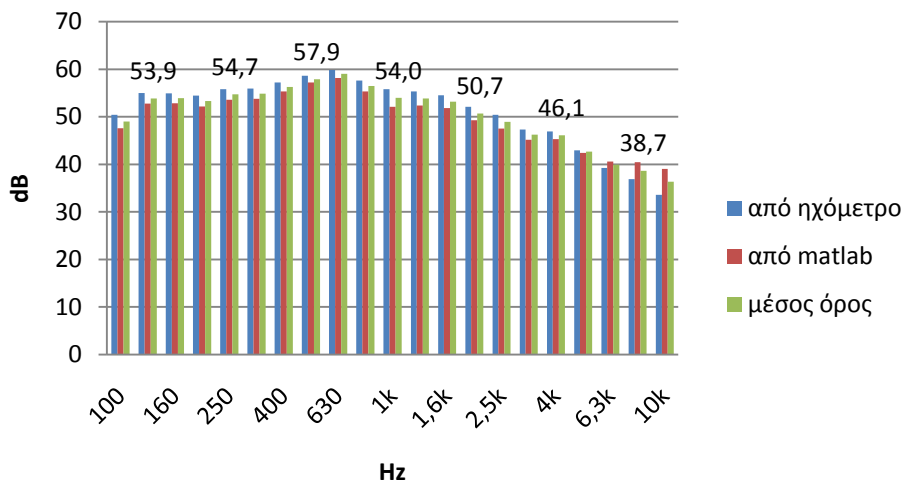
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μέσα στο μάθημα

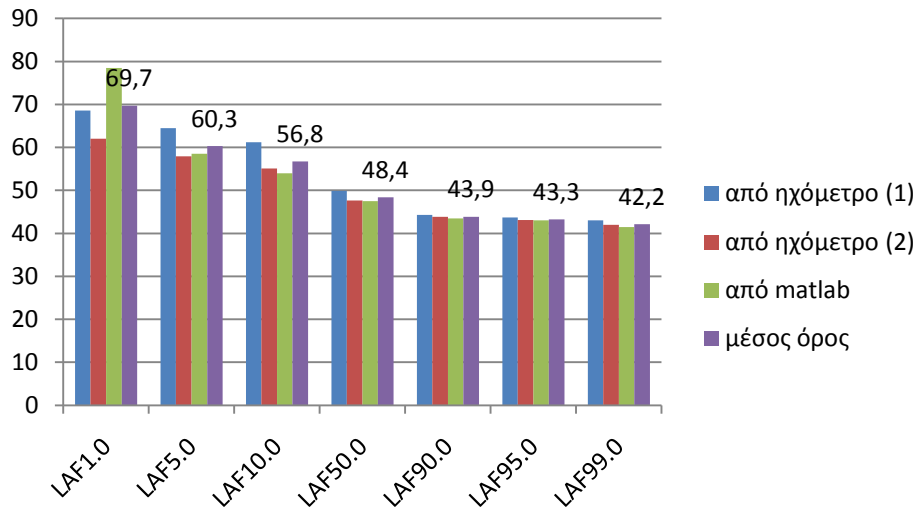


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Πληροφορικής, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μέσα στο μάθημα

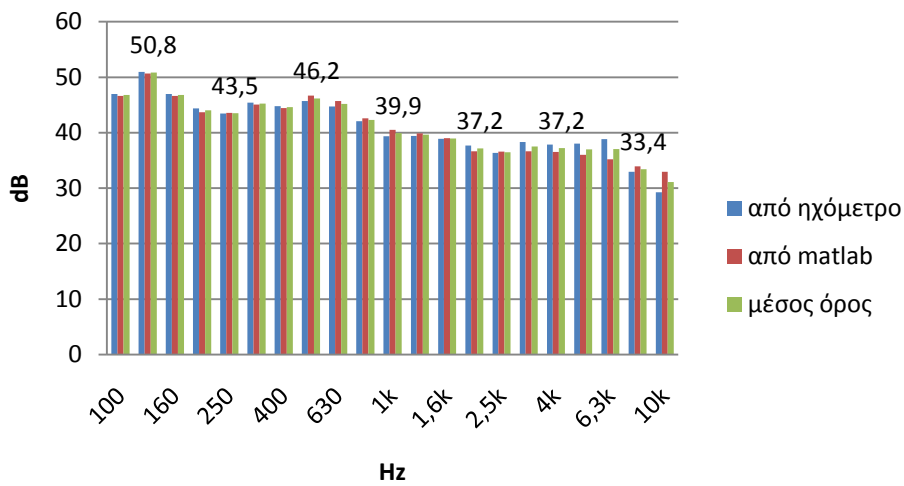


Παρατηρούμε σχετικά υψηλό θόρυβο βάθους, το οποίο οφείλεται τόσο στο ανεμιστηράκι από τους υπολογιστές αλλά και από τον εξωτερικό θόρυβο. Επίσης, επειδή η αίθουσα είναι μακρόστενη, το ταβάνι χαμηλό και μη ανακλαστικό, ο επιθυμητός ήχος από τον καθηγητή εξασθενεί στα πίσω θρανία. Έτσι, το SNR δεν εξασφαλίζεται ότι θα είναι παντού το επιθυμητό.

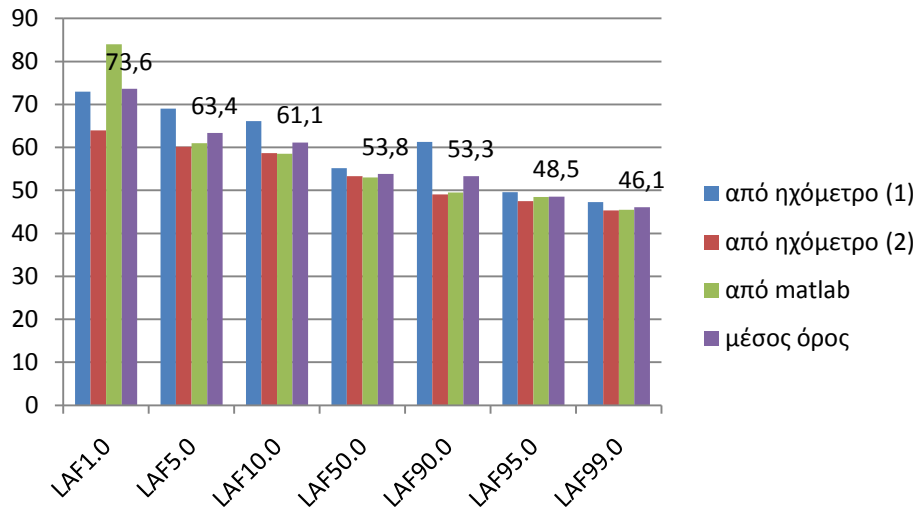
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



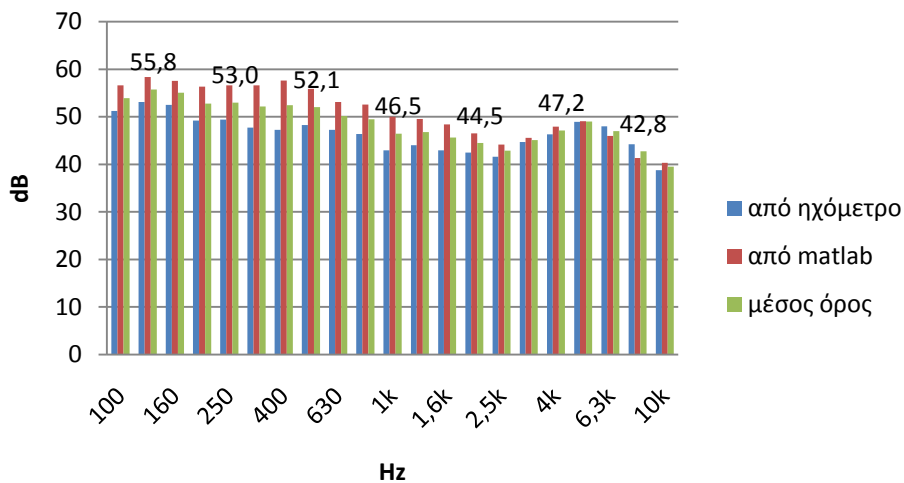
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Πληροφορικής, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Πληροφορικής, ΕΠΑ.Λ. Αγ. Παρ. μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα



Η πόρτα και τα παράθυρα, είναι από μονό τζάμι και δεν εξασφαλίζουν ικανοποιητική ηχομόνωση. Παρόλ' αυτά, το γεγονός ότι το σχολείο είναι σε ήσυχη περιοχή και τα οι αίθουσες δε βλέπουν στο προαύλιο, δεν επιτάσσει μεγάλη ικανότητα ηχομόνωσης.

4^ο ΣΕΚ Αθηνών

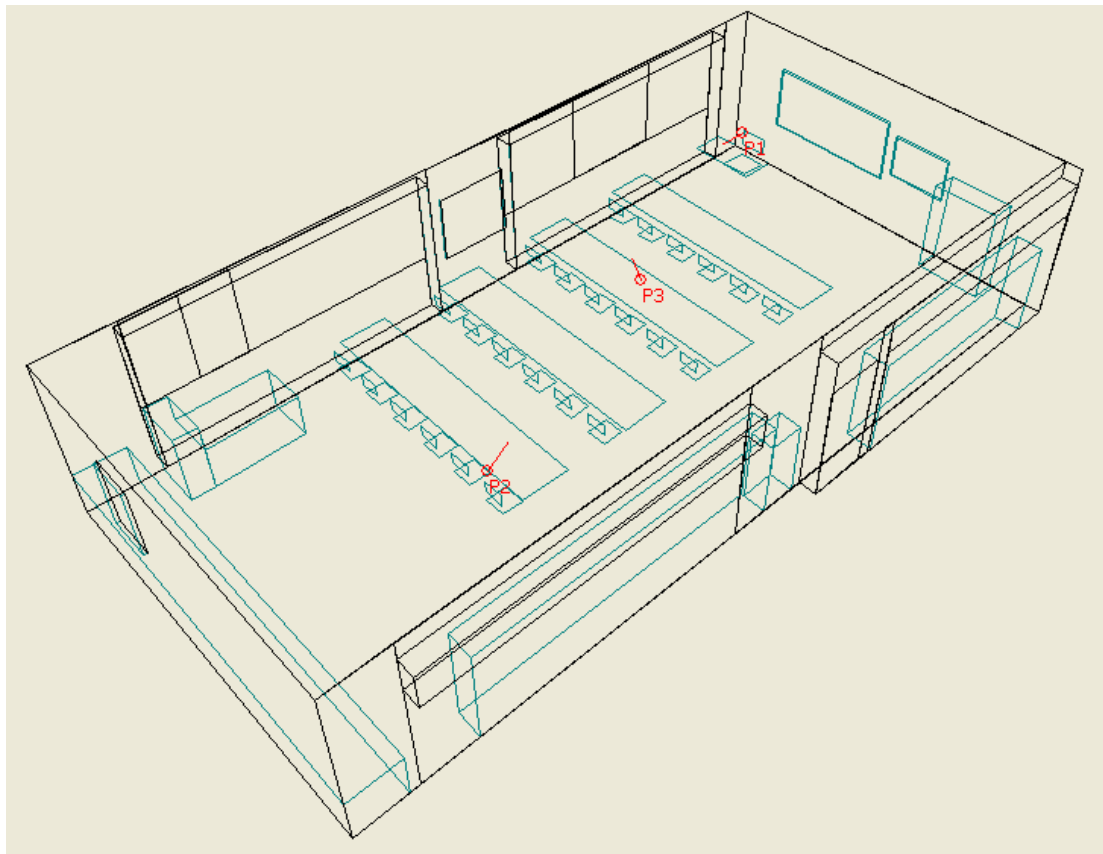
Το 4^ο ΣΕΚ Αθηνών βρίσκεται επί της λεωφόρου Αχιλλέως στο Μεταξουργείο. Επομένως, είναι σε μια τοποθεσία ιδιαίτερα φορτισμένη από τον θόρυβο. Τα παράθυρα των αιθουσών βλέπουν στον δρόμο, τα περισσότερα στην Αχιλλέως, ενώ κάποια στη Μυλλέρου (ο κάθετος δρόμος στην Αχιλλέως). Το προαύλιο βρίσκεται στην πίσω πλευρά, επομένως ο θόρυβος από τις δραστηριότητες σε αυτό, δεν επηρεάζει τις αίθουσες.

Η κατασκευή είναι καινούρια, με χοντρούς εξωτερικούς ήχους και καλής ποιότητας παράθυρα που εξασφαλίζουν ικανοποιητική ηχομόνωση.

Οι αίθουσες που μελετήσαμε παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες καθότι είναι πολύ μεγάλες. Η μία είναι εργαστηριακή, άρα δεν έχει τη διαδεδομένη διάταξη με θρανία, αλλά πάγκους με εγκαταστάσεις πάνω. Τα παράθυρα της κοιτούν στη Μυλλέρου. Η άλλη είναι αίθουσα πληροφορικής, ενώ δεν είναι παραλληλόγραμμη αλλά προσεγγίζει το πεντάγωνο. Τα παράθυρά της κοιτούν στην Αχιλλέως.

Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: 324.15m^3

Ολική επιφάνεια: 412.34m^2

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Ντουλάπες (αλουμιένιες)	Steel trapez profile (Weighted values)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10	0,10	0,15	0,15

Θρανία / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Μονά τζάμια	single pane of glass (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,18	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακινώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

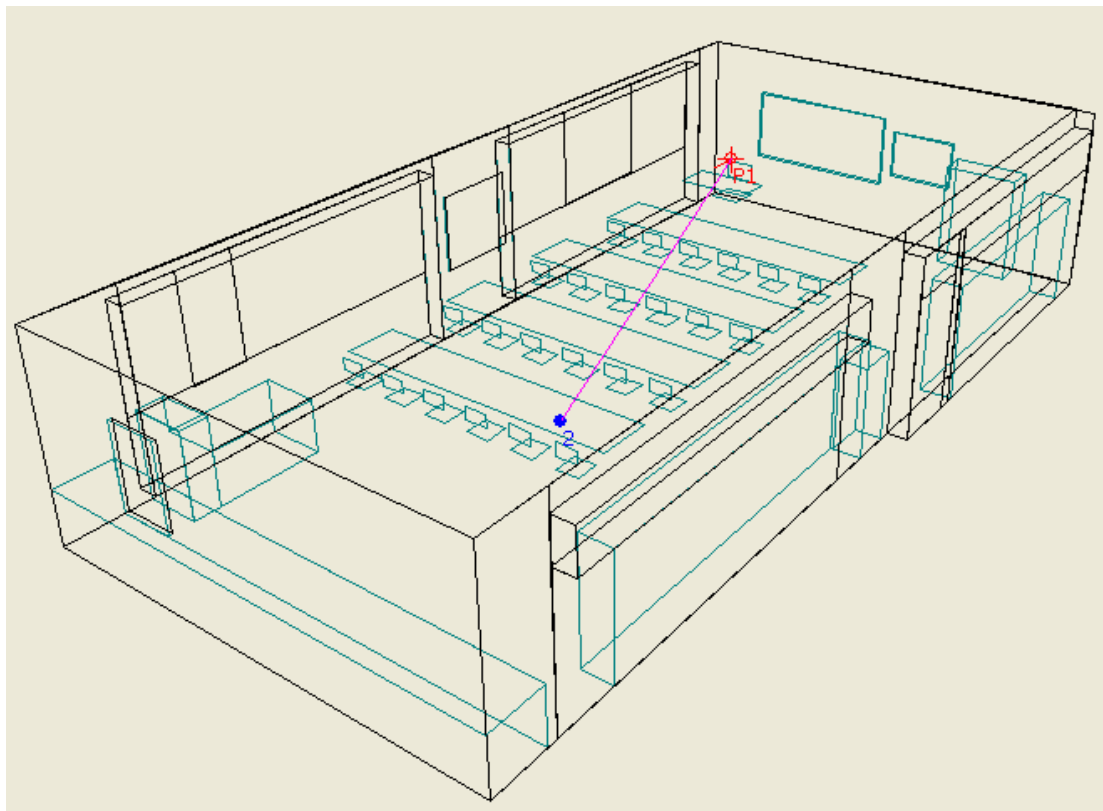
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,04	1,15	1,66	2,22	2,26	2,31	1,69	0,95
T Sabine (modified)	0,96	1,05	1,54	2,07	2,15	2,22	1,64	0,93
T Eyring	0,99	1,09	1,61	2,17	2,22	2,27	1,66	0,94
T Eyring (modified)	0,90	1,00	1,49	2,02	2,11	2,18	1,61	0,92
T Arau-Puchades	0,99	1,09	1,64	2,35	2,35	2,39	1,75	0,97
T Arau-Puchades (modified)	0,90	1,00	1,51	2,18	2,22	2,28	1,68	0,95

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητή (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



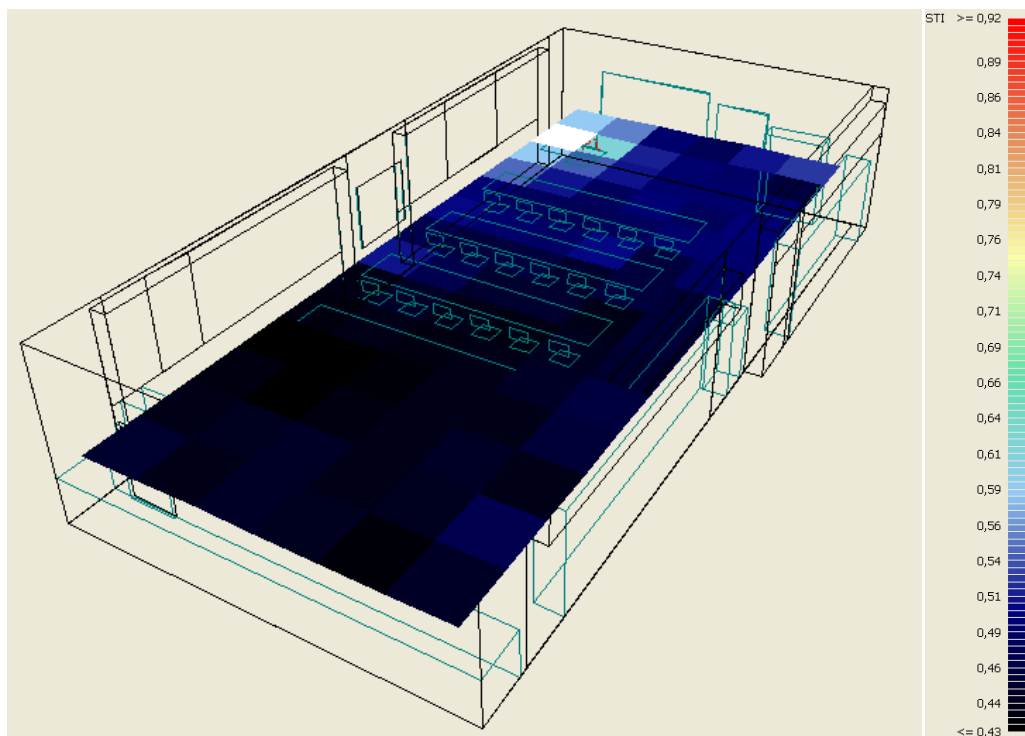
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,66	0,98	1,79	2,46	2,41	2,51	1,83	0,96
T30	(s)	0,73	0,86	1,77	2,32	2,38	2,41	1,83	1,00
SPL	(dB)	48,5	50,3	60,2	67,8	63,9	55,7	47,2	43,6
C80	(dB)	6,2	3,4	-1,1	-2,8	-2,8	-2,8	-1,0	3,0
D50		0,67	0,54	0,30	0,22	0,23	0,23	0,31	0,50
Ts	(ms)	47	65	132	180	180	183	134	72
LF80		0,267	0,313	0,302	0,301	0,283	0,299	0,299	0,298

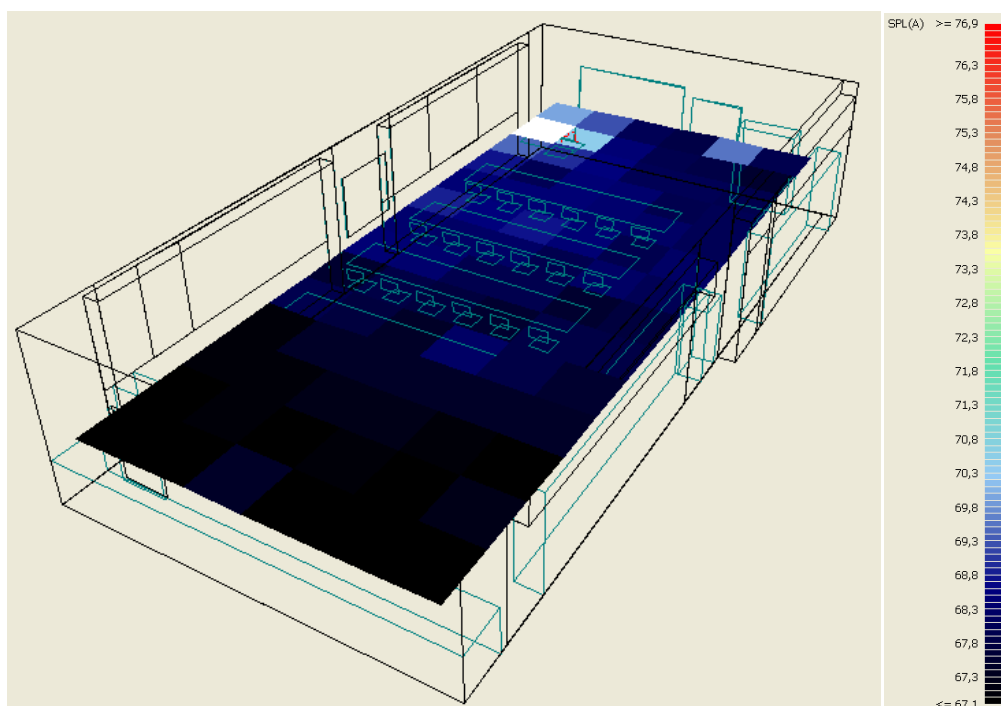
SPL(A) = 67,8(dB)
LG80* = 56,6(dB)
STI = 0,44 (Theoretical based on T30, STI = 0,46)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,44 και 0,55 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 67,6 και 68,9dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,76	0,90	1,72	2,32	2,36	2,44	1,82	1,02
T30	(s)	0,57	0,78	1,65	2,35	2,39	2,43	1,78	0,95
SPL	(dB)	48,2	50,1	59,6	67,0	63,2	55,1	46,8	43,6
C80	(dB)	6,5	4,0	-0,5	-2,0	-2,0	-1,8	0,1	4,1
D50		0,69	0,58	0,35	0,29	0,29	0,31	0,41	0,61
Ts	(ms)	44	60	120	166	167	166	118	60
LF80		0,346	0,341	0,304	0,300	0,288	0,296	0,294	0,286
SPL(A) = 67,1(dB)									
LG80* = 55,8(dB)									
STI = 0,47 (Theoretical based on T30, STI = 0,46)									

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,44 και 0,52 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 67,0 και 68,7dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,64	0,88	1,82	2,42	2,51	2,52	1,83	1,09
T30	(s)	0,67	0,88	1,70	2,38	2,39	2,44	1,76	0,99
SPL	(dB)	46,9	48,7	55,1	60,7	54,7	47,4	40,9	37,2
C80	(dB)	6,1	3,6	-1,8	-3,7	-3,9	-4,1	-2,4	1,3
D50		0,64	0,51	0,25	0,18	0,17	0,16	0,21	0,37
Ts	(ms)	48	67	141	192	195	201	152	88
LF80		0,280	0,311	0,305	0,294	0,302	0,296	0,299	0,298
SPL(A) = 60,0(dB)									
LG80* = 49,7(dB)									
STI = 0,41 (Theoretical based on T30, STI = 0,45)									

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,41 και 0,55 με μέση τιμή περίπου στο 0,45.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 60,0 και 61,8dBA.

Σχόλια: Παρατηρούμε ότι κατά μήκος όλης της αίθουσας υπάρχει μια ομοιογένεια σχετικά με την ένταση του ήχου. Η ένταση του ήχου είναι σχετικώς πεσμένη, παρόλ' αυτά διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα. Το STI παρουσιάζεται χαμηλό, αλλά αν συγκρίνουμε το θεωρητικό με το πραγματικό χρόνο αντήχησης, το STI θα ήταν αισθητά ψηλότερο.

Οι χρόνοι αντήρησης που μετρήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:

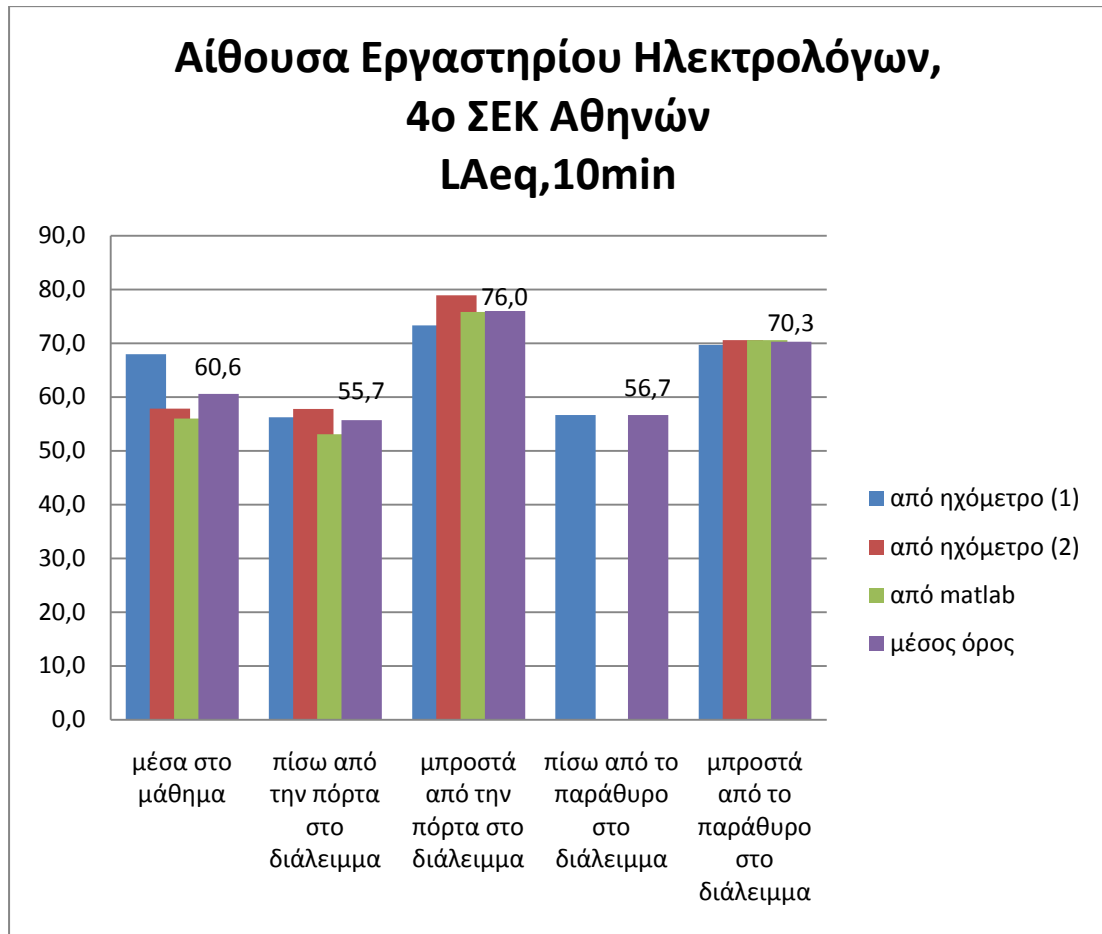
Σημείο 1/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,45	1,14	1,2	1,19	1,2	1,03	1,2
T30 (sec)	1,6	1,2	1,2	1,2	1,21	1,05	1,2
EDT (sec)	1,19	1,22	1,17	1,21	1,22	1,05	1,19

Σημείο 2/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,57	1,16	1,23	1,25	1,2	1,03	1,24
T30 (sec)	1,46	1,25	1,24	1,25	1,23	1,06	1,24
EDT (sec)	1,2	0,96	1,21	1,15	1,23	0,99	1,18

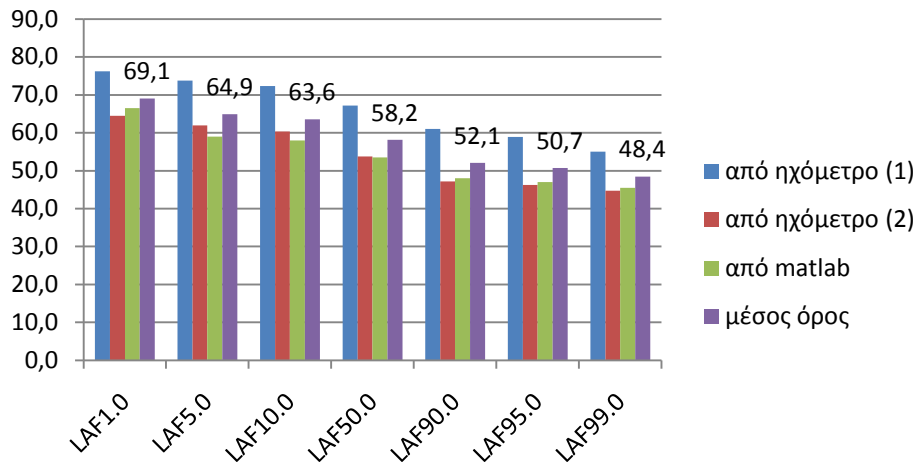
Μέσος όρος	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	1,51	1,15	1,22	1,22	1,20	1,03	1,22
T30 (sec)	1,53	1,23	1,22	1,23	1,22	1,06	1,22
EDT (sec)	1,20	1,09	1,19	1,18	1,23	1,02	1,19
RT (sec)	1,41	1,16	1,21	1,21	1,22	1,04	1,21

Για τα δεδομένα του όγκου της αίθουσας ο χρόνος αντήρησης είναι ιδιαίτερα χαμηλός. Ο λόγος είναι ότι η επίπλωση της αίθουσας μειώνει τον όγκο του αέρα. Επίσης, συμβάλει στη διασπορά και απορρόφηση του ήχου. Ενδεικτικό είναι ότι κανένας τοίχος δεν είναι γυμνός, γι αυτό δεν έχουμε πολλές ανακλαστικές επιφάνειες. Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι το τμήμα για τον χαμηλό χρόνο αντήρησης, είναι λόγω απουσίας των ανακλαστικών επιφανειών, να μειώνεται η ένταση του ήχου, όπως φάνηκε και στην προσομοίωση μέχρι Odeon. Πρέπει να γίνει μελέτη του ποιες ανακλάσεις είναι επιθυμητές και ποιες όχι.

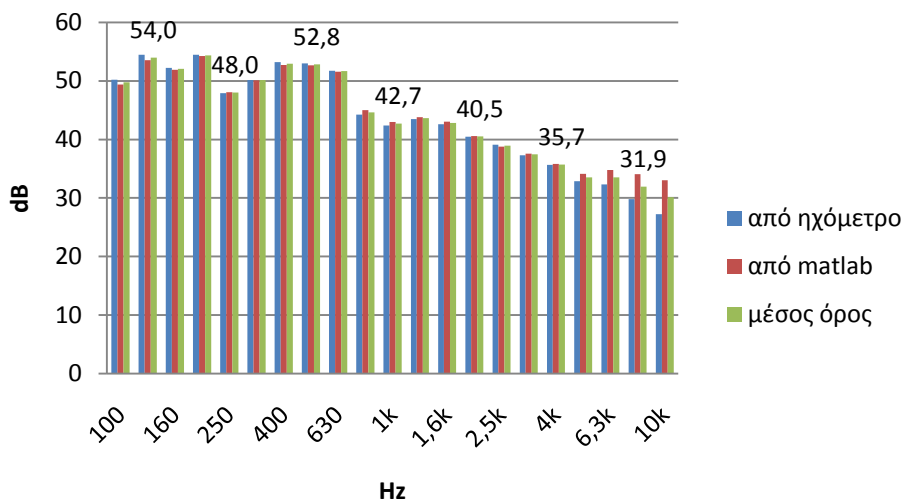
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μέσα στο μάθημα

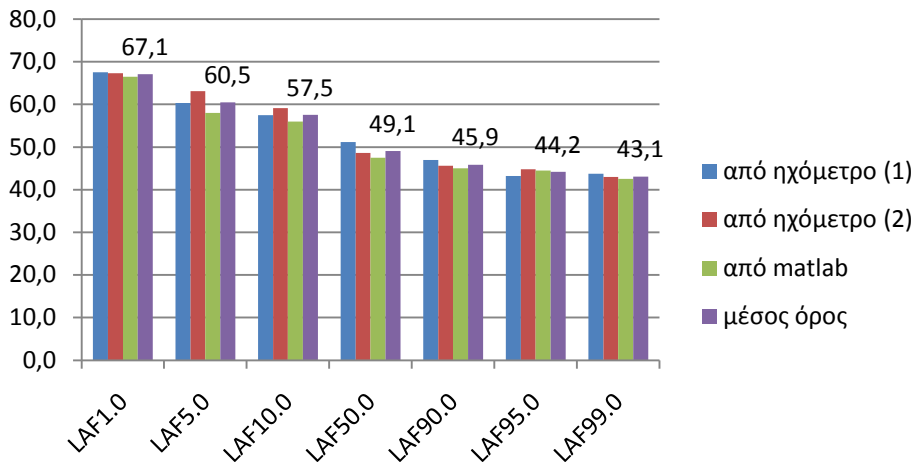


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μέσα στο μάθημα

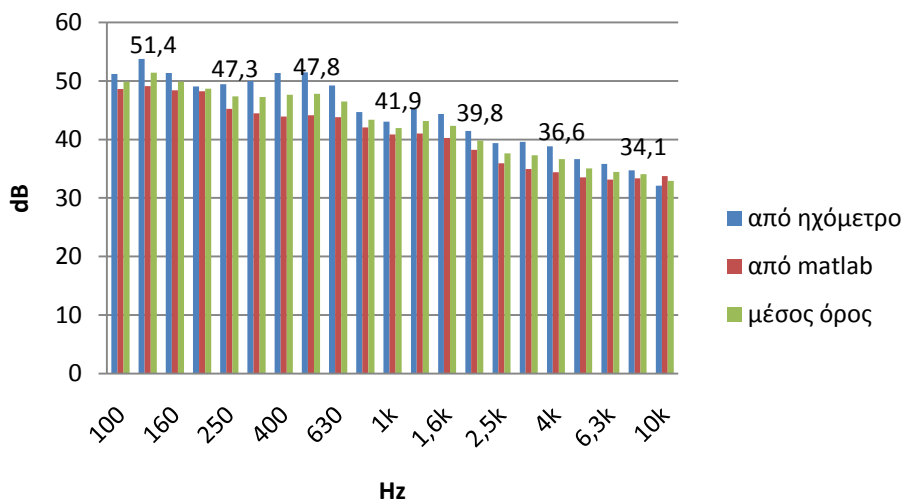


Παρατηρούμε, ότι ο θόρυβος βάθους είναι σχετικά υψηλός, ενώ οφείλεται στο μεγαλύτερο βαθμό από τον θόρυβο του δρόμου. Επίσης, ο καθηγητής, όπως προκύπτει από το LAF50.0 και το LAeq,10min, μιλάει με ένταση περίπου με 60dBA. Το SNR είναι κάτω από τα 10dB η οποία είναι ιδιαιτέρως χαμηλή τιμή. Η ένταση του ήχου οφείλεται εξολοκλήρου στις χαμηλές συχνότητες. Ο λόγος είναι ότι στις συχνότητες αυτές εκπέμπει η ανδρική φωνή, τα εργαστηριακά μηχανήματα μέσα στην αίθουσα, καθώς και ο θόρυβος που εισέρχεται από τον δρόμο.

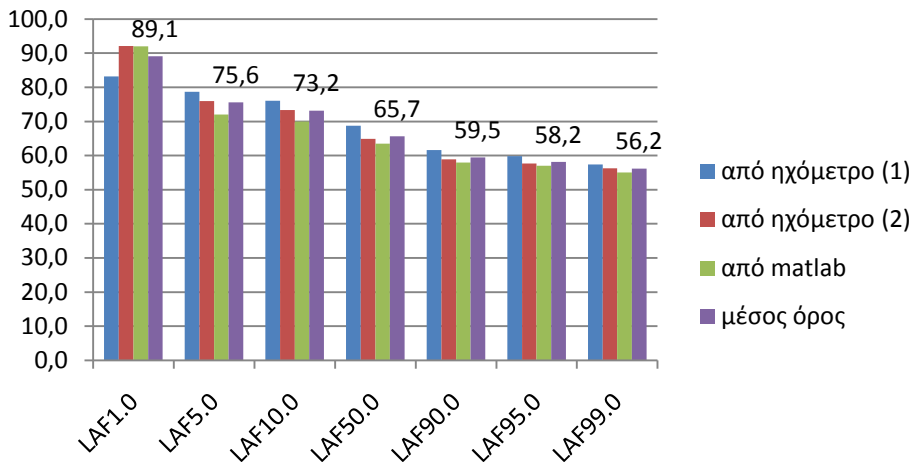
**Εκατοστημοριακά επίπεδα
Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων,
4ο ΣΕΚ Αθηνών
πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα**



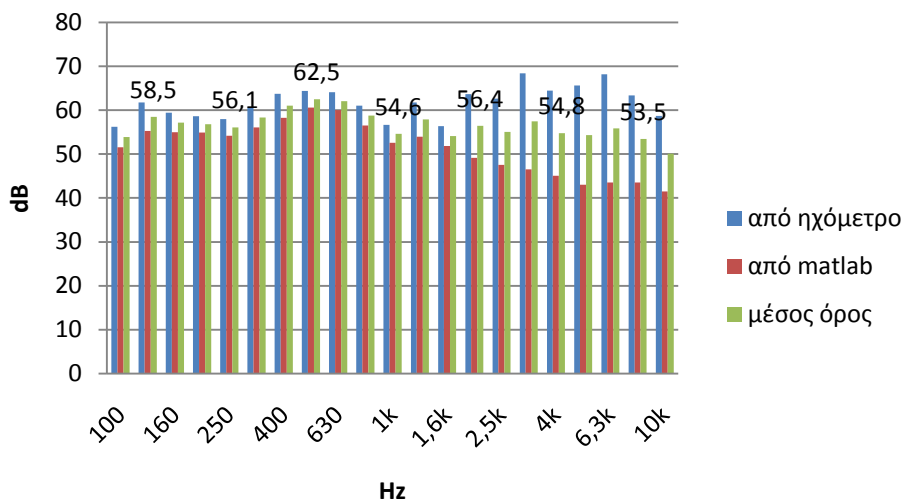
**Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση
Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων,
4ο ΣΕΚ Αθηνών
πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα**



**Εκατοστημοριακά επίπεδα
Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων,
4ο ΣΕΚ Αθηνών
μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα**

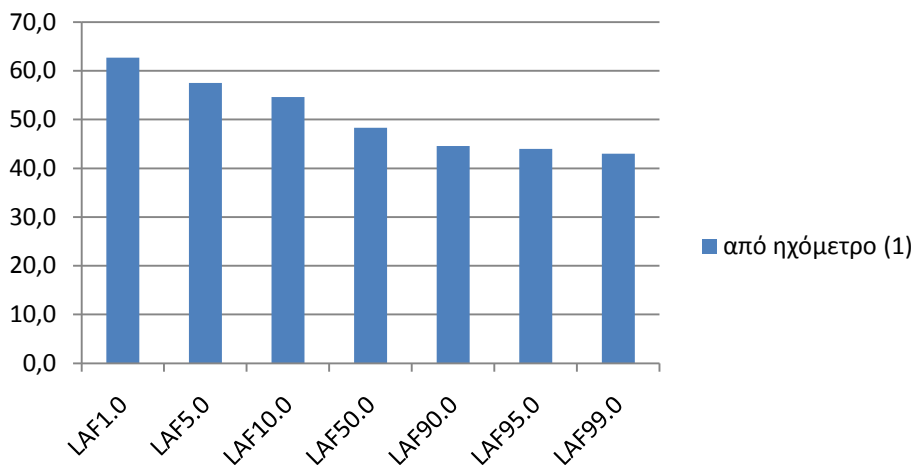


**Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση
Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων,
4ο ΣΕΚ Αθηνών
μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα**

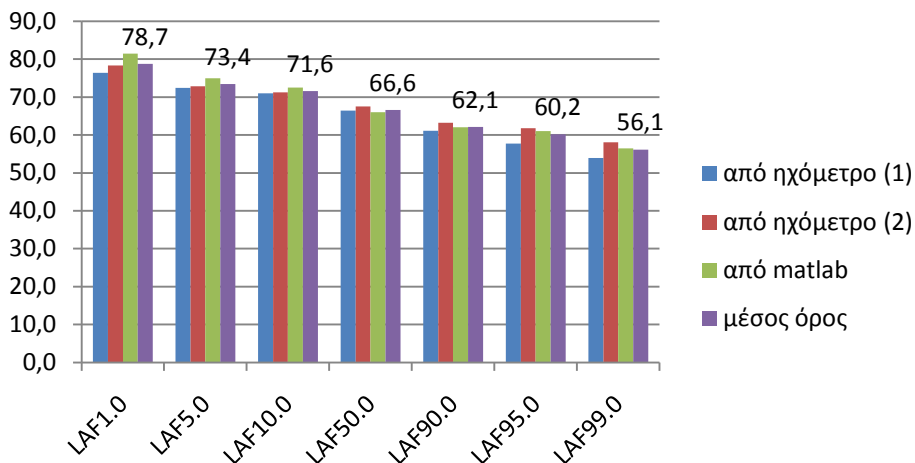


Όπως έχει διαμορφωθεί η διάταξη των αιθουσών, οι πόρτες δε χρειάζεται να εξασφαλίζουν άριστη ηχομόνωση. Οι πόρτες μεταξύ των αιθουσών απέχουν μεταξύ τους, οι πόρτες κοιτούν σε ένα μεγάλο χολ, που λειτουργεί σαν κενός χώρος, ενώ το προαύλιο βρίσκεται από την άλλη πλευρά του κτηρίου. Παρόλ' αυτά, η μόνωση που επιτυγχάνεται από τις πόρτες κρίνεται ικανοποιητική.

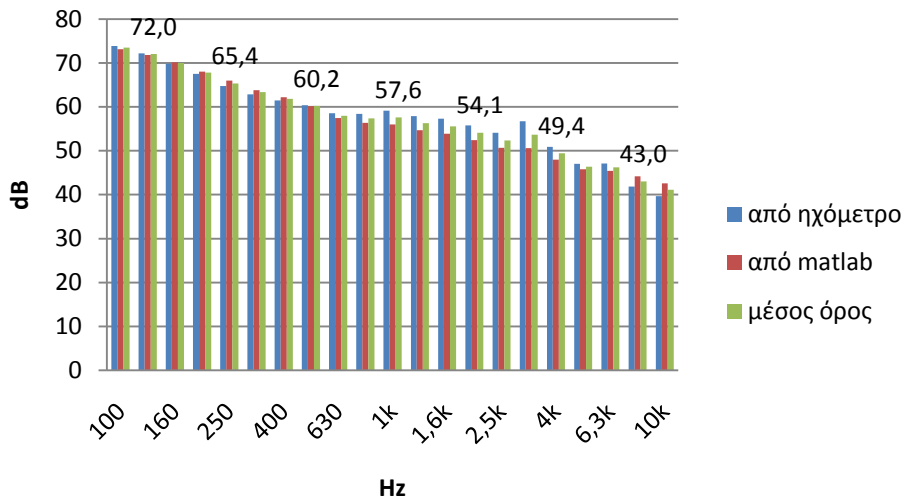
**Εκατοστημοριακά επίπεδα
Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων,
4ο ΣΕΚ Αθηνών
πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα**



**Εκατοστημοριακά επίπεδα
Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων,
4ο ΣΕΚ Αθηνών
μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα**



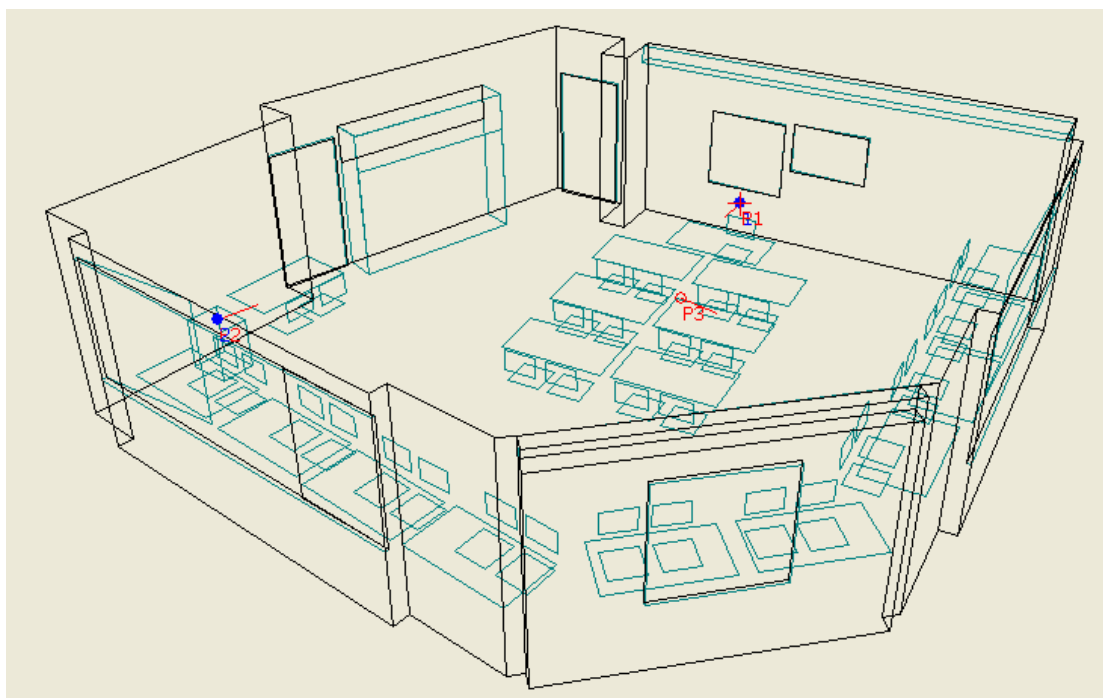
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Εργαστηρίου Ηλεκτρολόγων, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Μπορεί να έγιναν οι μετρήσεις εν ώρα διαλείμματος, αλλά οι ίδιες συνθήκες επικρατούν και εν ώρα μαθήματος. Ο θόρυβος έξω από την αίθουσα είναι 70,3dBA (LAeq,10min), και όπως φαίνεται από το φάσμα είναι αποκλειστικά στις χαμηλές συχνότητες, όπως αναμενόταν. Με τόσο έντονο και μόνιμο θόρυβο, όσο καλή μόνωση και να εισάγουν τα παράθυρα, το βάθος θορύβου αναμένεται να είναι αυξημένο. Η ποιότητα των παραθύρων είναι αρκετά καλή, όπως φαίνεται και από τη μείωση που επιτυγχάνεται. Όμως, οι ανάγκες εξαερισμού και κλιματισμού, επιβάλλουν πολλές φορές να είναι τα παράθυρα ανοιχτά. Τότε, οι ακουστικές συνθήκες είναι εξαιρετικά δυσμενείς και θα ρίξουν το SNR σε μηδενικά ή ακόμα και αρνητικά επίπεδα.

Αίθουσα Υπολογιστών

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $307,68\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $392,91\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Ντουλάπες (αλουμιένιες)	Steel trapez profile (Weighted values)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10	0,10	0,15	0,15

Θρανιά / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Μονά τζάμια	single pane of glass (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,18	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Κουρτίνες	Curtains, cotton cloth (0.33 kg/m ²) folded to 1/2 area (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Ταμπλό ανακοινώσεων (φελλός)	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vinyl+underlay stuck to concrete (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10

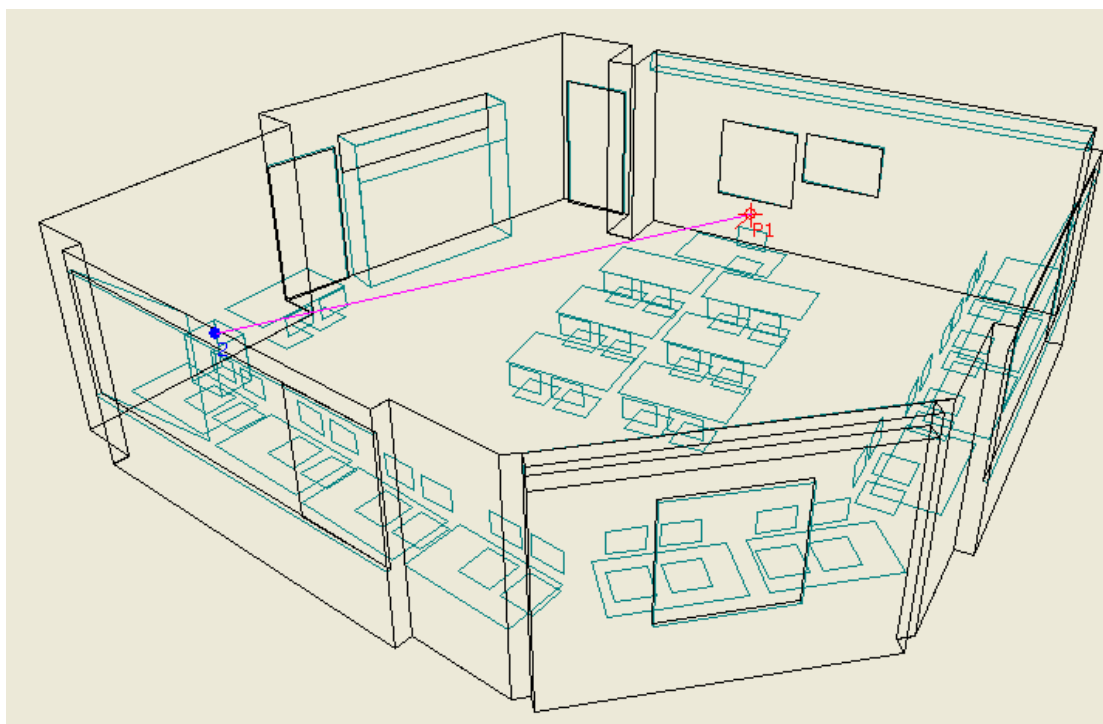
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,15	1,17	1,60	1,93	1,57	1,73	1,48	0,88
T Sabine (modified)	1,09	1,10	1,58	1,97	1,59	1,76	1,51	0,89
T Eyring	1,09	1,12	1,55	1,88	1,52	1,69	1,45	0,87
T Eyring (modified)	1,04	1,05	1,53	1,92	1,55	1,71	1,48	0,88
T Arau-Puchades	1,27	1,31	1,84	2,43	2,02	2,20	1,76	0,97
T Arau-Puchades (modified)	1,24	1,26	1,75	2,32	1,89	2,08	1,71	0,95

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητής (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



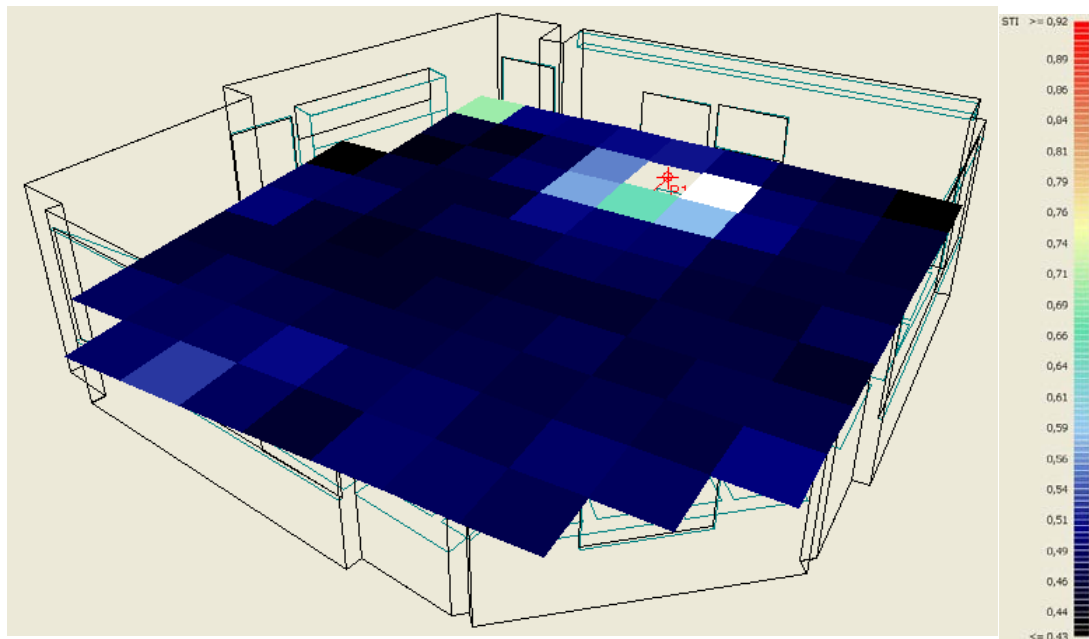
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0,66	0,71	1,77	2,36	2,09	2,20	1,79	0,92
T30 (s)	0,84	0,93	1,73	2,26	1,92	2,09	1,72	0,96
SPL (dB)	50,8	51,4	60,3	67,4	62,5	54,5	46,8	43,7
C80 (dB)	6,8	6,1	0,0	-1,9	-1,1	-1,0	0,4	4,5
D50	0,73	0,69	0,38	0,30	0,33	0,35	0,41	0,61
Ts (ms)	43	47	119	164	142	147	116	60
LF80	0,312	0,309	0,312	0,298	0,295	0,296	0,304	0,294

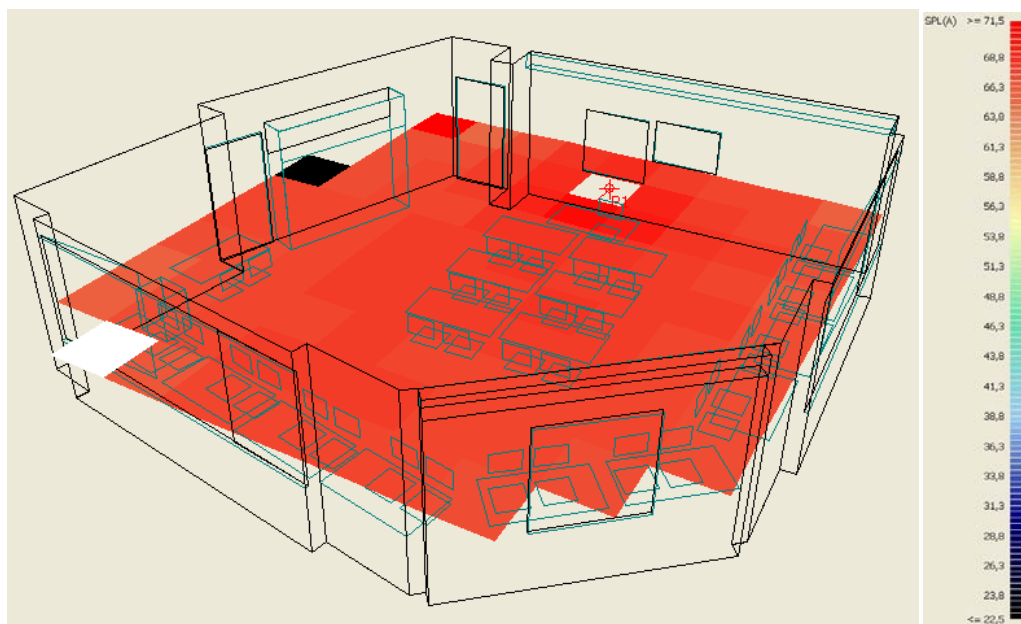
SPL(A) = 67,0(dB)
LG80* = 55,6(dB)
STI = 0,48 (Theoretical based on T30, STI = 0,46)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,45 και 0,53 με μέση τιμή περίπου στο 0,48.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 67,1 και 68,9dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,65	0,75	1,72	2,43	1,99	2,18	1,70	0,89
T30	(s)	0,74	1,10	1,73	2,28	1,92	2,08	1,74	0,97
SPL	(dB)	51,8	52,4	61,2	68,3	63,6	55,5	47,9	45,0
C80	(dB)	7,0	5,9	0,7	-1,1	-0,1	-0,6	0,8	4,9
D50		0,73	0,68	0,42	0,33	0,38	0,36	0,43	0,63
Ts	(ms)	43	50	113	157	130	141	110	56
LF80		0,335	0,327	0,296	0,282	0,276	0,295	0,293	0,293

SPL(A) = 68,0(dB)
LG80* = 56,3(dB)
STI = 0,49 (Theoretical based on T30, STI = 0,46)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,41 και 0,55 με μέση τιμή περίπου στο 0,45.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 66,6και 68,5dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,77	0,85	1,72	2,30	1,97	2,15	1,69	0,91
T30	(s)	0,66	0,88	1,73	2,25	2,00	2,13	1,75	0,98
SPL	(dB)	48,5	49,1	55,3	60,3	53,3	46,1	40,3	36,9
C80	(dB)	5,6	4,7	-0,7	-2,4	-1,2	-1,6	-0,7	2,9
D50		0,67	0,62	0,32	0,24	0,29	0,28	0,31	0,47
Ts	(ms)	51	58	128	172	145	156	131	77
LF80		0,343	0,342	0,312	0,306	0,293	0,300	0,315	0,316

SPL(A) = 59,3(dB)
LG80* = 48,6(dB)
STI = 0,45 (Theoretical based on T30, STI = 0,43)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,41 και 0,55 με μέση τιμή περίπου στο 0,45.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 58,9 και 62,0dBA.

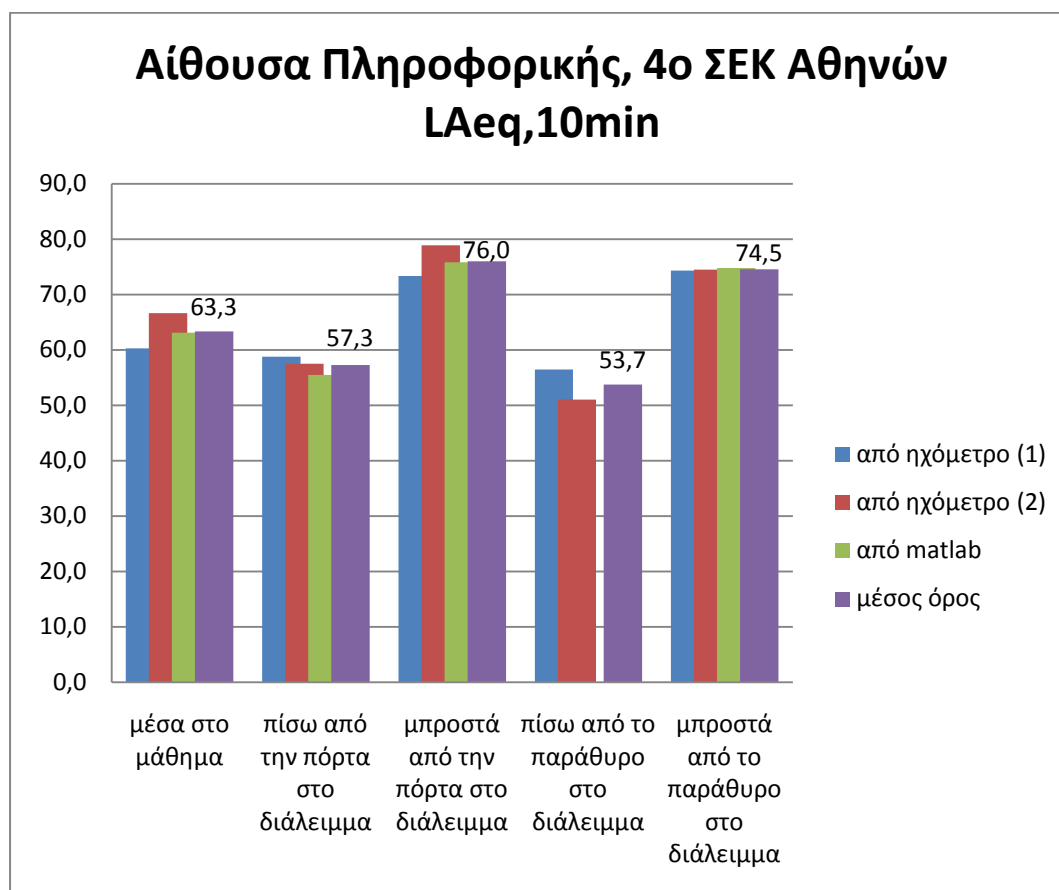
Σχόλια: Παρατηρούμε ότι κατά μήκος όλης της αίθουσας υπάρχει μια ομοιογένεια σχετικά με την ένταση του ήχου. Η ένταση του ήχου είναι σχετικώς πεσμένη, παρόλ' αυτά διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα. Το STI παρουσιάζεται χαμηλό, αλλά αν συγκρίνουμε το θεωρητικό με το πραγματικό χρόνο αντήχησης, το STI θα ήταν αισθητά ψηλότερο.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο χρόνος αντήχησης:

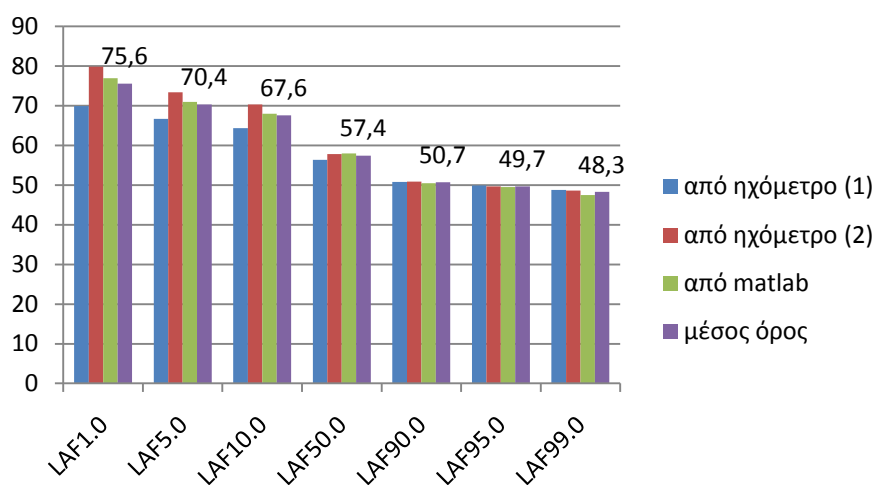
Σημείο 1/1	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	2,1	1,65	1,23	1,16	1,15	1	1,2
T30 (sec)	2,45	1,61	1,21	1,14	1,15	1,03	1,8
EDT (sec)	2,01	1,61	1,24	1,14	1,09	0,92	1,9
RT (sec)	2,19	1,62	1,23	1,15	1,13	0,98	1,19

Για τα δεδομένα του όγκου της αίθουσας ο χρόνος αντήχησης είναι ιδιαίτερα χαμηλός. Ο λόγος είναι ότι κανένας τοίχος δεν είναι γυμνός, καθότι οι περισσότεροι καλύπτονται από παράθυρα με πολλές κουρτίνες. Έτσι, δεν έχουμε πολλές ανακλαστικές επιφάνειες. Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι το τίμημα για τον χαμηλό χρόνο αντήχησης, είναι λόγω απουσίας των ανακλαστικών επιφανειών, να μειώνεται η ένταση του ήχου, όπως φάνηκε και στην προσομοίωση μέχρι Odeon. Πρέπει να γίνει μελέτη του ποιες ανακλάσεις είναι επιθυμητές και ποιες όχι.

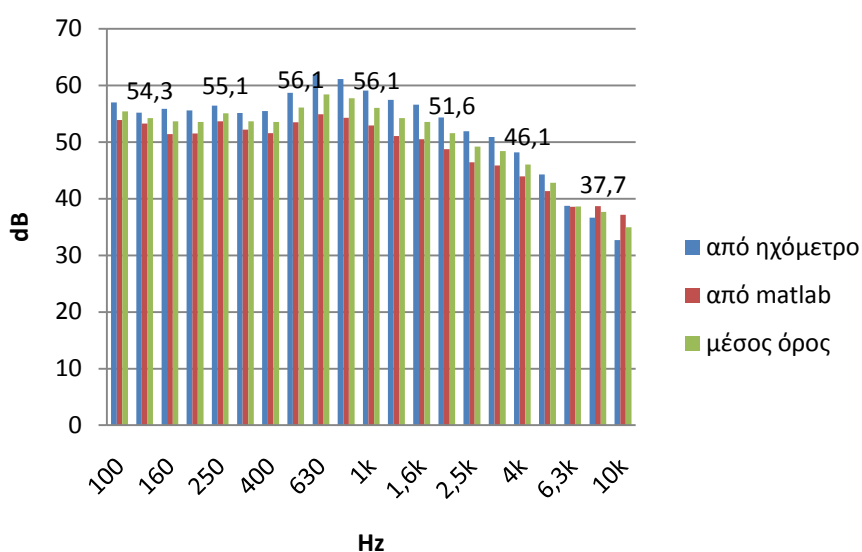
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μέσα στο μάθημα

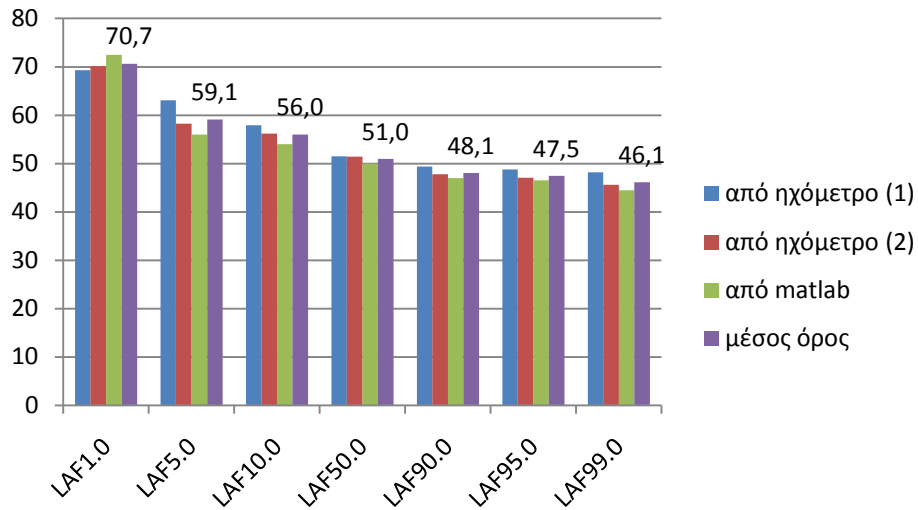


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μέσα στο μάθημα

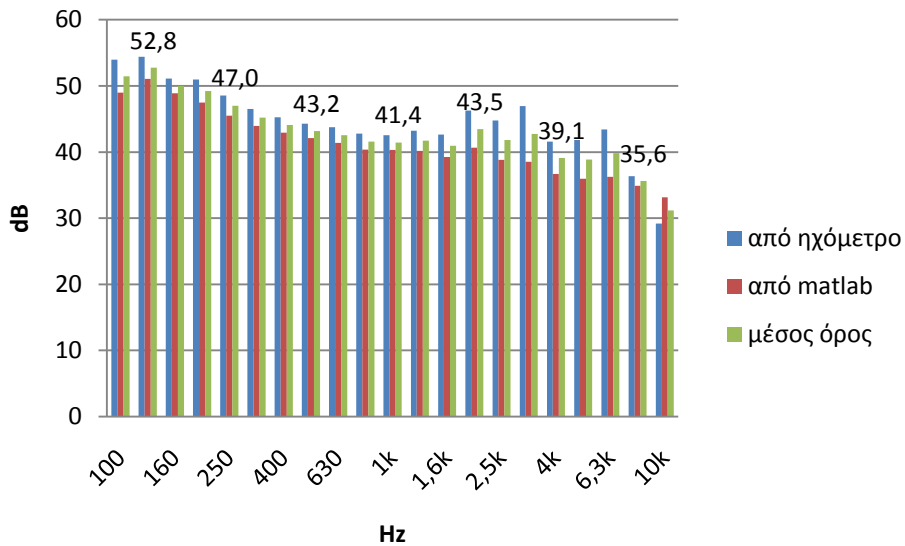


Αξίζει να γίνει μια σχετική σύγκριση με την προηγούμενη αίθουσα. Παρότι η αίθουσα αυτή βλέπει σε πιο κεντρικό δρόμο (λεωφόρο Αχιλλέως), ο οποίος παράγει σαφώς περισσότερο θόρυβο από τη Μυλλέρου – 74,5 έναντι 70,3dB- , ο θόρυβος βάθους καθώς και το LAeq,10min για τη μέτρηση πίσω από το παράθυρο είναι μικρότερα κατά 2-3dB. Ο βασικός λόγος είναι ότι οι περισσότεροι τοίχοι της αίθουσας είναι καλυμμένοι με κουρτίνες σε μεγάλο βαθμό, επομένως δεν ενισχύεται ο θόρυβος που εισάγεται. Επίσης, το σχήμα της αίθουσας παίζει βασικό ρόλο. Το χαμηλό LAF50.0 εξηγείται διότι το μάθημα διεξήχθη εξολοκλήρου σε Η/Υ και όχι με διδασκαλία του καθηγητή.

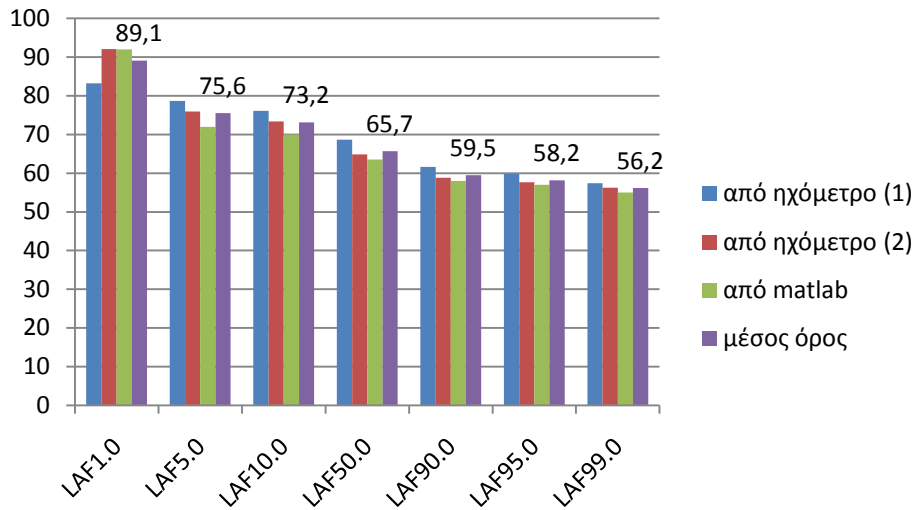
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα

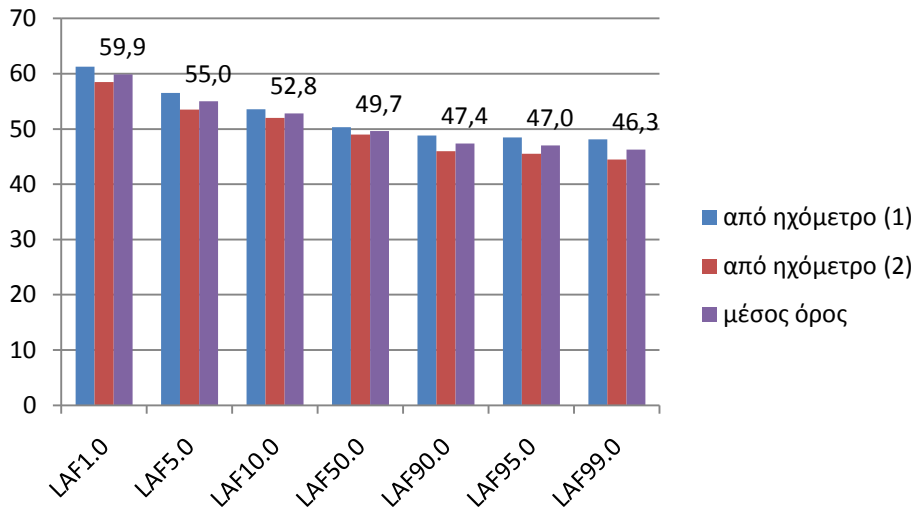


Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

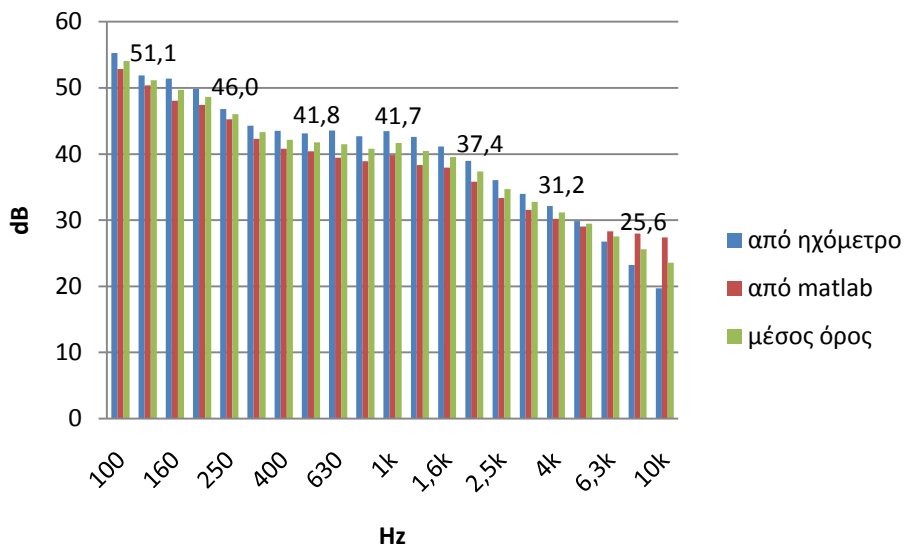


Όπως έχει διαμορφωθεί η διάταξη των αιθουσών, οι πόρτες δε χρειάζεται να εξασφαλίζουν άριστη ηχομόνωση. Οι πόρτες μεταξύ των αιθουσών απέχουν μεταξύ τους, οι πόρτες κοιτούν σε ένα μεγάλο χολ, που λειτουργεί σαν κενός χώρος, ενώ το προαύλιο βρίσκεται από την άλλη πλευρά του κτηρίου. Παρόλ' αυτά, η μόνωση που επιτυγχάνεται από τις πόρτες κρίνεται ικανοποιητική.

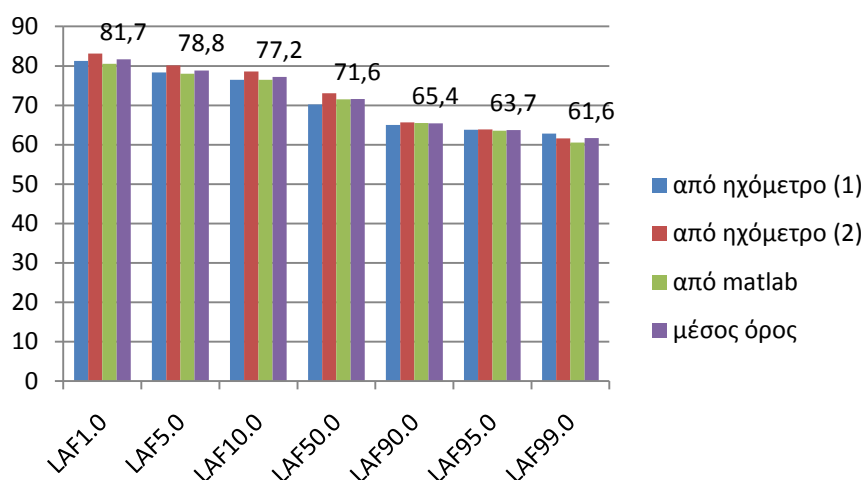
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



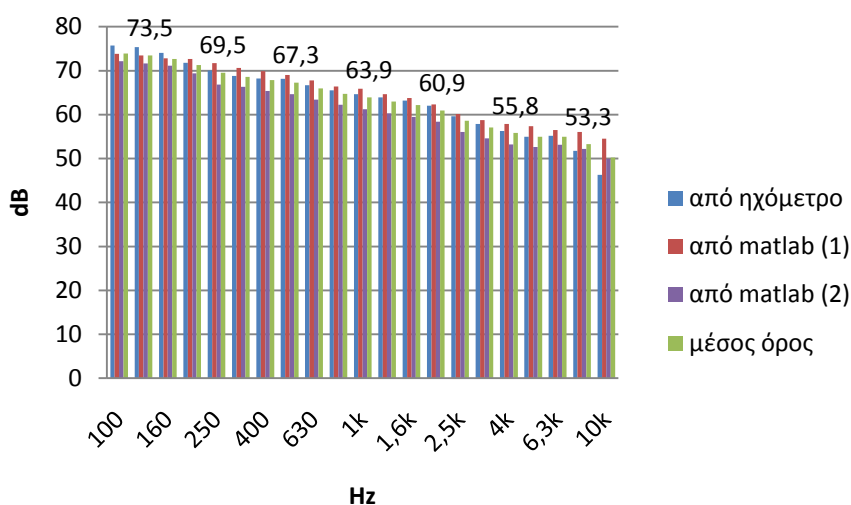
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών πίσω από το παράθυρο στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Πληροφορικής, 4ο ΣΕΚ Αθηνών μπροστά από το παράθυρο στο διάλειμμα



Μπορεί να έγιναν οι μετρήσεις εν ώρα διαλείμματος, αλλά οι ίδιες συνθήκες επικρατούν και εν ώρα μαθήματος. Ο θόρυβος έξω από την αίθουσα είναι 74,5dBA (LAeq,10min), και όπως φαίνεται από το φάσμα είναι αποκλειστικά στις χαμηλές συχνότητες, όπως αναμενόταν. Με τόσο έντονο και μόνιμο θόρυβο, όσο καλή μόνωση και να εισάγουν τα παράθυρα, το βάθος θορύβου αναμένεται να είναι αυξημένο. Η ποιότητα των παραθύρων είναι αρκετά καλή, όπως φαίνεται και από τη μείωση που επιτυγχάνεται. Όμως, οι ανάγκες εξαερισμού και κλιματισμού, επιβάλλουν πολλές φορές να είναι τα παράθυρα ανοιχτά. Τότε, οι ακουστικές συνθήκες είναι εξαιρετικά δυσμενείς και θα ρίξουν το SNR σε μηδενικά ή ακόμα και αρνητικά επίπεδα.

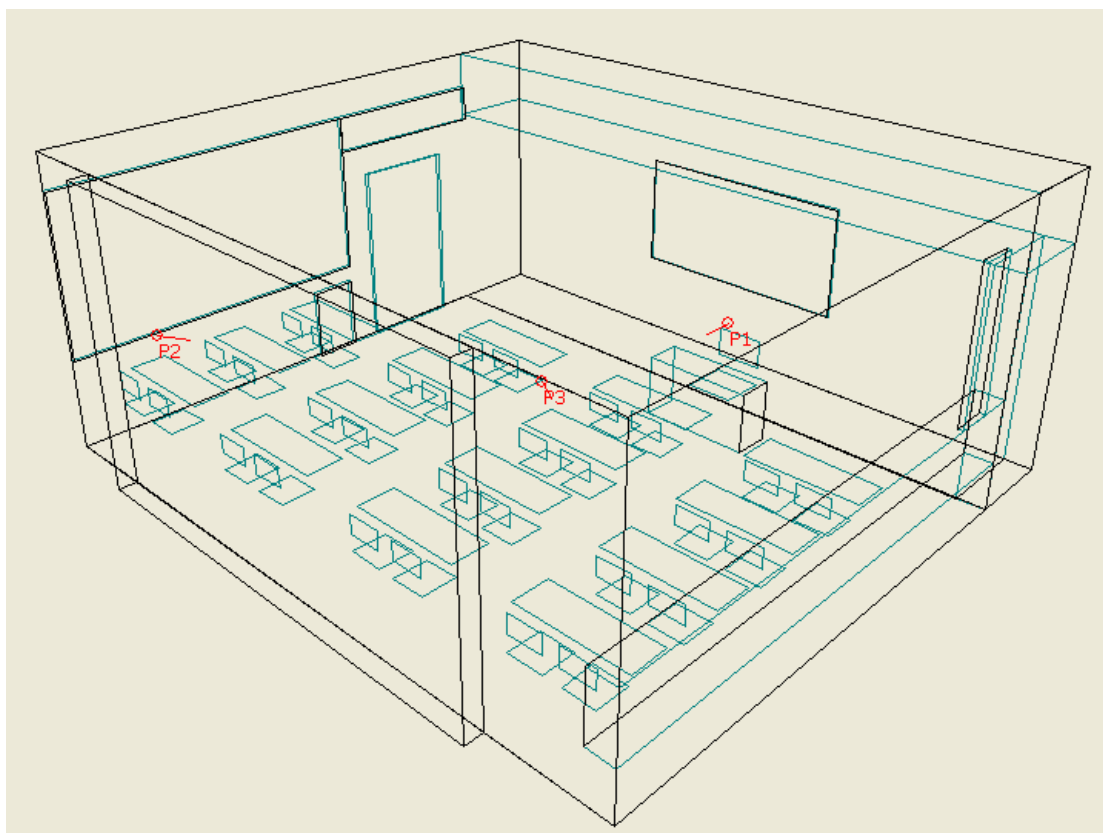
5^ο Γυμνάσιο Αθηνών

Το 5^ο Γυμνάσιο Αθηνών βρίσκεται στη διασταύρωση των οδών Εμμ. Μπενάκη και Αραχώβης, στην περιοχή των Εξαρχείων, επομένως, ο θόρυβος που επικρατεί πέριξ του σχολείου είναι ο αναμενόμενος θόρυβος σε μια περιοχή του κέντρου της Αθήνας. Το σχολείο περιβάλλεται από την πλευρά της Μπενάκη με ένα μεγάλο πέτρινο φράχτη ύψους 3-4 μέτρων. Στην πρόσοψη του κτηρίου, η οποία βρίσκεται στην οδό Μπενάκη (δηλαδή, η πιο φορτισμένη από θέμα θορύβου όψη του κτηρίου), βρίσκονται τα γραφεία των καθηγητών, βοηθητικοί χώροι και οι κλίμακες. Μεταξύ των χώρων αυτών και των αιθουσών μεσολαβεί διάδρομος. Επομένως, υπάρχουν buffer zones οι οποίες σε συνδυασμό με τον εξωτερικό τοίχο αποτρέπουν ικανοποιητικά τον θόρυβο να εισέλθει στις αίθουσες. Από την πλευρά της Αραχώβης, ο τοίχος που χωρίζει το σχολείο από τον δρόμο είναι μεγάλου ύψους (5 μέτρων). Επίσης, τον δρόμο από τις αίθουσες τις χωρίζει ένας προαύλιος χώρος, ενώ παράθυρα προς την πλευρά αυτή δεν υπάρχουν. Έτσι, ούτε από την πλευρά αυτή εισέρχεται μεγάλο ποσοστό θορύβου. Για μια ακουστικά βεβαρυσμένη περιοχή, η διαμόρφωση αυτή της σχολικής μονάδας επιλύει πολλά προβλήματα θορύβου.

Επιλέξαμε να μελετήσουμε δύο αίθουσες. Η μία είναι μια κλασσική αίθουσα διδασκαλίας, ενώ μελετήθηκε και η αίθουσα εκδηλώσεων η οποία χρησιμοποιείται και για διδασκαλία. Η κλασσική αίθουσα διδασκαλίας είναι μια τυπική αίθουσα. Η αίθουσα εκδηλώσεων όμως, παρουσιάζει πάρα πολύ μεγάλο όγκο (περίπου 485m³), η οροφή είναι κεκλιμένη, δεν έχει παράθυρα ενώ έχει έναν τοίχο από υαλότουβλα.

Αίθουσα Διδασκαλίας

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $163,63\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $219,76\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Θρανία / καρέκλες / ντουλάπια	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Διπλά τζάμια	Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Ref. SBI/13)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,10	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02

Υαλότουβλα	Solid glass blocks (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

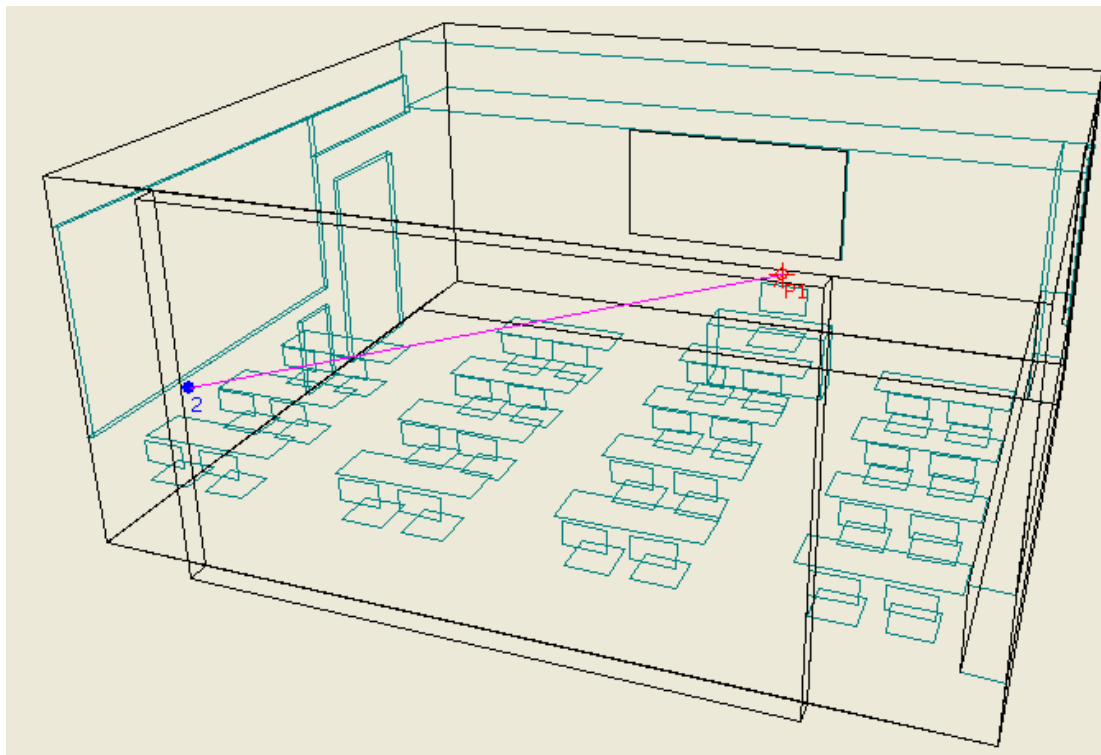
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	1,17	1,17	2,03	3,28	2,69	2,71	2,04	1,05
T Sabine (modified)	1,00	0,99	1,76	2,95	2,54	2,60	1,98	1,03
T Eyring	1,13	1,12	1,98	3,25	2,65	2,68	2,02	1,04
T Eyring (modified)	0,95	0,95	1,72	2,91	2,50	2,57	1,96	1,03
T Arau-Puchades	1,17	1,16	2,03	3,29	2,66	2,69	2,02	1,05
T Arau-Puchades (modified)	0,99	0,99	1,77	2,96	2,52	2,58	1,96	1,03

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητή (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



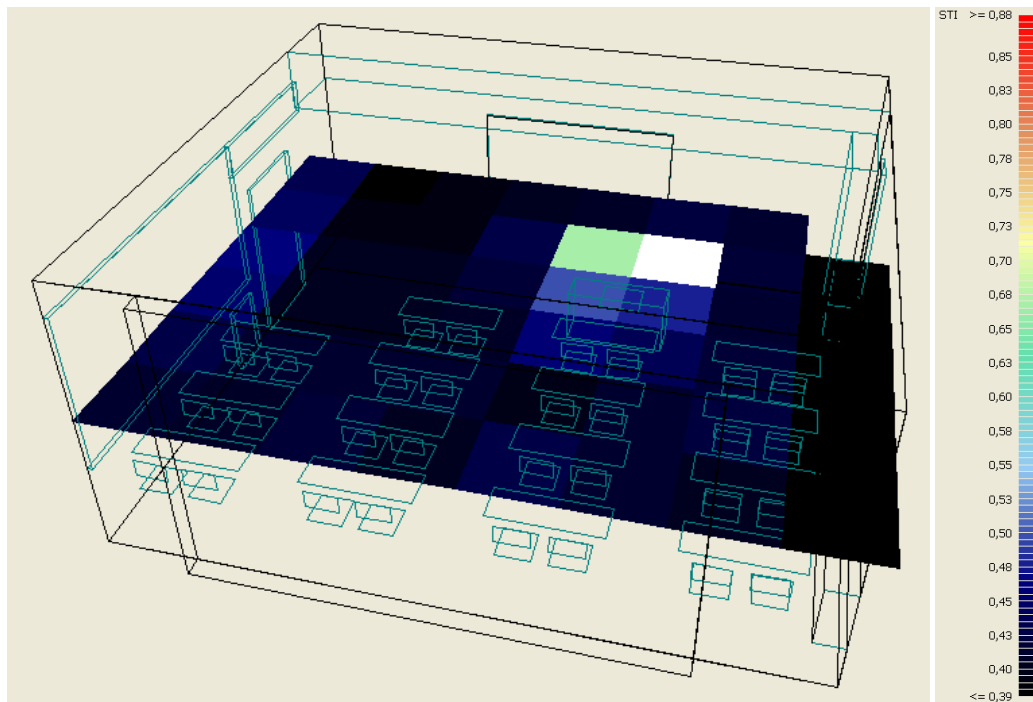
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,92	0,83	2,26	3,67	3,12	3,13	2,31	1,08
T30	(s)	1,74	0,95	2,23	3,63	3,09	3,10	2,27	1,10
SPL	(dB)	53,8	53,5	63,8	71,9	67,2	58,9	50,6	47,1
C80	(dB)	4,6	5,1	-1,7	-4,3	-3,7	-3,3	-1,6	3,0
D50		0,61	0,64	0,30	0,19	0,21	0,23	0,31	0,54
Ts	(ms)	59	53	158	258	224	219	156	71
LF80		0,326	0,316	0,329	0,328	0,334	0,317	0,312	0,302

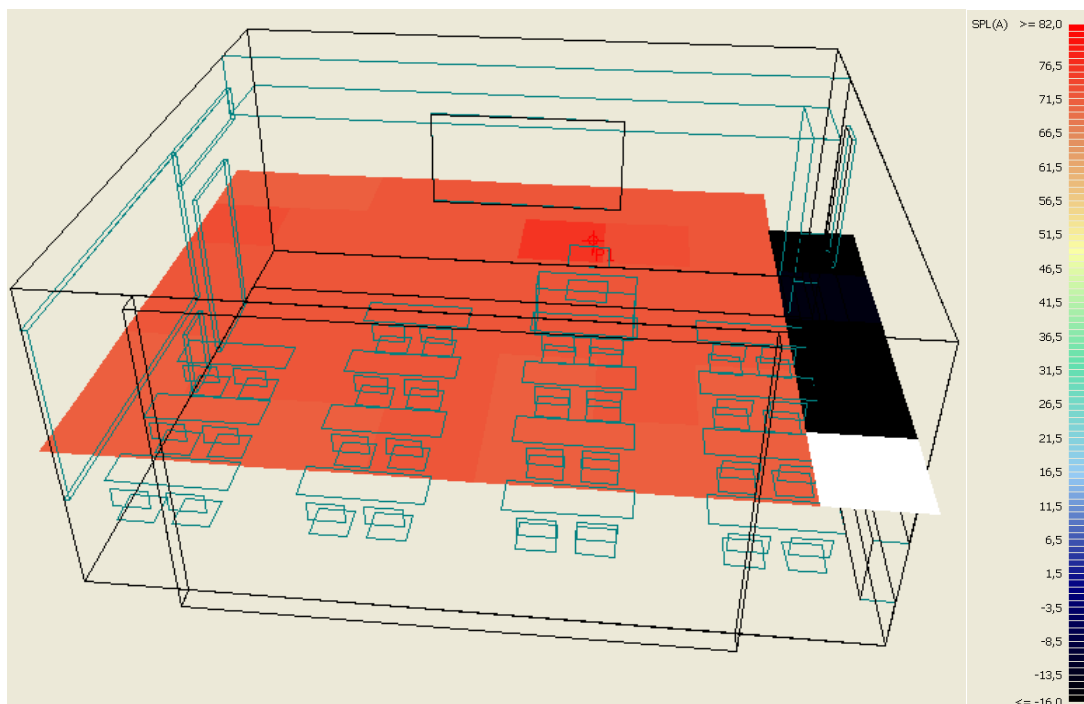
SPL(A) = 71,5(dB)
LG80* = 61,3(dB)
STI = 0,43 (Theoretical based on T30, STI = 0,42)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,40 και 0,46 με μέση τιμή περίπου στο 0,43.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 71,4 και 72,8dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,89	0,80	2,29	3,61	3,10	3,13	2,30	1,19
T30	(s)	0,97	0,75	2,20	3,55	3,06	3,10	2,21	1,12
SPL	(dB)	53,8	53,3	64,3	72,4	67,8	59,4	51,0	47,3
C80	(dB)	4,3	5,1	-2,0	-4,6	-3,6	-3,7	-2,0	2,6
D50		0,58	0,62	0,27	0,17	0,20	0,20	0,26	0,48
Ts	(ms)	60	53	164	264	223	227	165	78
LF80		0,330	0,328	0,316	0,311	0,301	0,312	0,307	0,302

SPL(A) = 72,1(dB)
LG80* = 61,8(dB)
STI = 0,41 (Theoretical based on T30, STI = 0,42)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,41 και 0,49 με μέση τιμή περίπου στο 0,43.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 71,6 και 73,1dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	0,84	0,73	2,28	3,55	3,11	3,11	2,26	1,12
T30	(s)	0,87	0,78	2,21	3,60	3,08	3,13	2,25	1,09
SPL	(dB)	52,3	51,7	59,1	65,1	58,5	51,0	44,7	41,1
C80	(dB)	5,0	5,9	-1,6	-4,3	-3,5	-3,6	-2,1	2,2
D50		0,61	0,65	0,30	0,19	0,22	0,22	0,27	0,47
Ts	(ms)	56	50	156	255	219	221	163	81
LF80		0,315	0,313	0,319	0,325	0,321	0,335	0,343	0,337

SPL(A) = 64,1(dB)
LG80* = 54,5(dB)
STI = 0,42 (Theoretical based on T30, STI = 0,41)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,38 και 0,50 με μέση τιμή περίπου στο 0,43.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 64,3 και 65,9dBA.

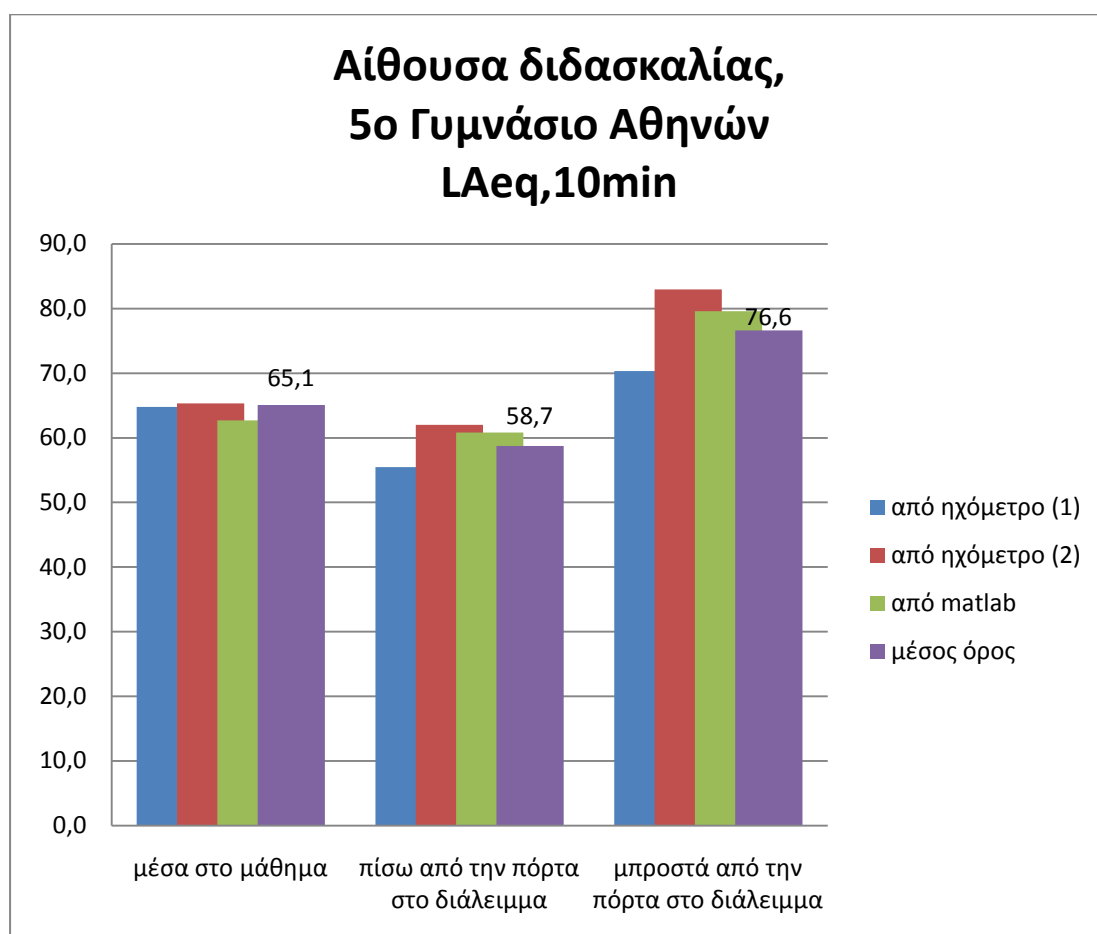
Σχόλια: το γεγονός ότι οι τοίχοι είναι γυμνοί από απορροφητικά υλικά και άλλα αντικείμενα, καθώς και η απουσία κουρτινών, προκαλεί υψηλό χρόνο αντήχησης. Έτσι, το STI παρουσιάζεται ως ιδιαίτερα χαμηλό.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο χρόνος αντήχησης ο οποίος μετρήθηκε.

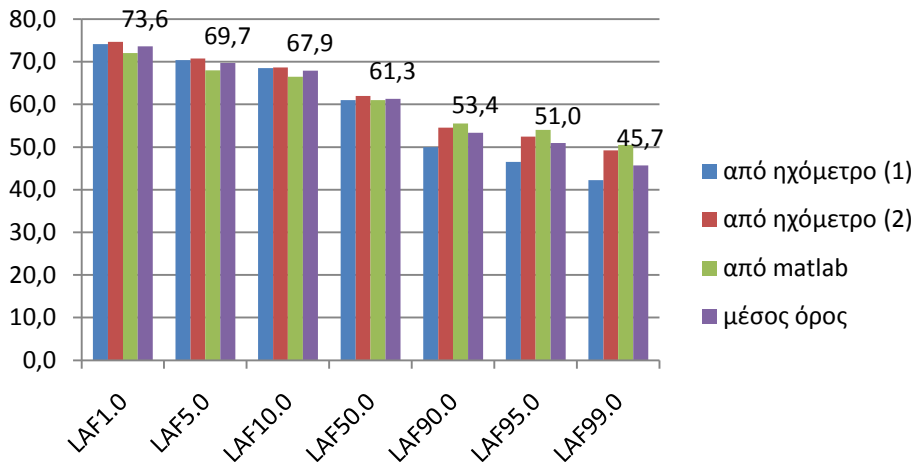
Σημείο 1/1	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	3,03	2,64	2,03	1,72	1,65	1,26	1,88
T30 (sec)	3,04	2,7	2,01	1,74	1,63	1,31	1,88
EDT (sec)	3,19	2,44	2	1,71	1,6	1,33	1,86
RT (sec)	3,09	2,59	2,01	1,72	1,63	1,30	1,87

Η αίθουσα έχει τον τυπικό όγκο μιας μικρής-μεσαίας αίθουσας. Παρόλ' αυτά παρουσιάζει για τα δεδομένα της υψηλό χρόνο αντήχησης, ειδικά στις χαμηλές συχνότητες, στις οποίες παρατηρείται και το φαινόμενο των στάσιμων κυμάτων. Ο λόγος είναι ότι όλοι οι τοίχοι είναι γυμνοί, ενώ τα παράθυρα δεν έχουν κουρτίνα.

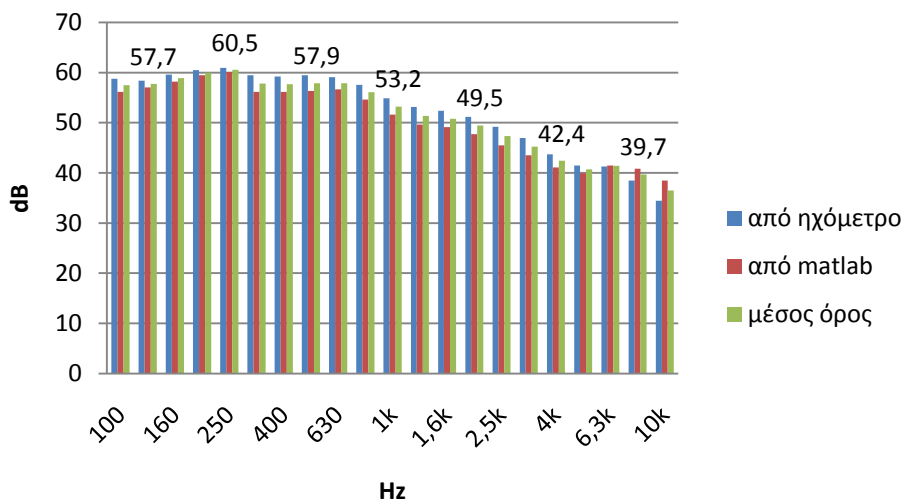
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα διδασκαλίας, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μέσα στο μάθημα

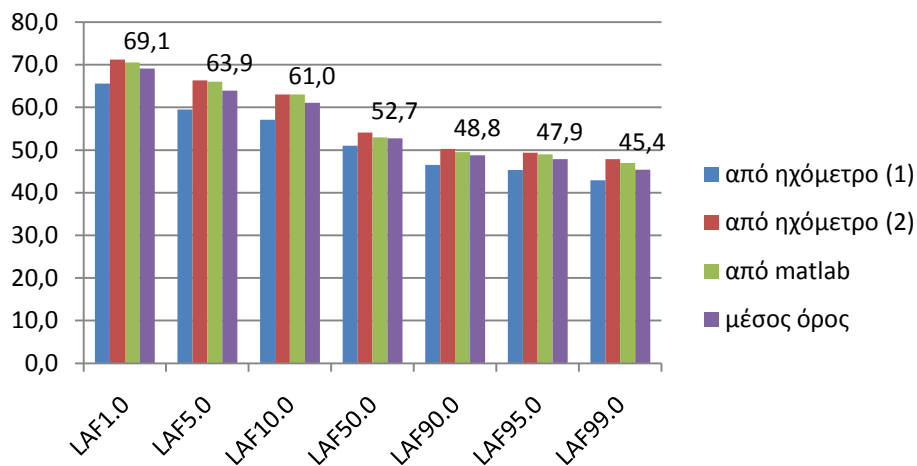


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα διδασκαλίας, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μέσα στο μάθημα

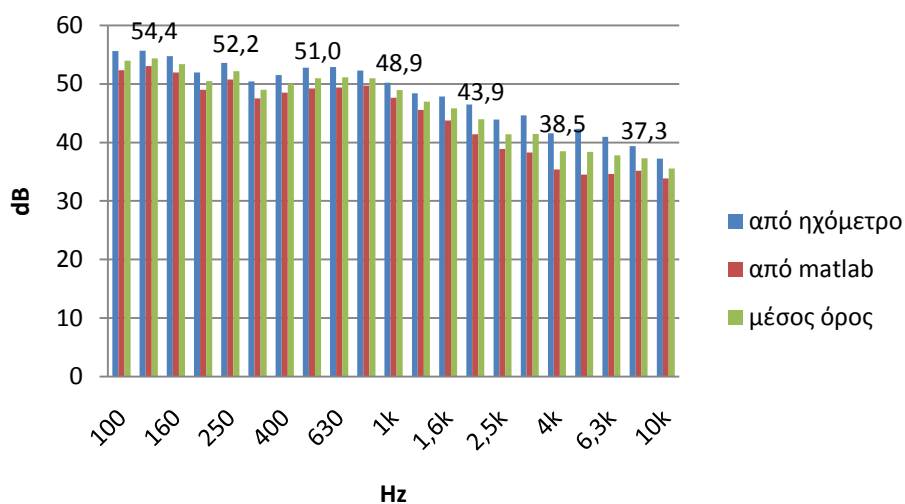


Ο θόρυβος βάρους έχει λογική τιμή, ενώ η ομιλία του καθηγητή είναι πάνω από 10dBA από αυτόν. Άρα το SNR είναι σε επιτρεπτά επίπεδα. Ο ήχος εν ώρα μαθήματος αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από χαμηλές και μεσαίες συχνότητες, κυρίως από τις φωνές των μαθητών και του καθηγητή. Το LAeq,10min είναι σε ικανοποιητικά μεσαία επίπεδα, όχι πολύ υψηλό ώστε να προκαλεί ενόχληση, ούτε πολύ χαμηλό ώστε να πέφτει το SNR. Επειδή ο χρόνος αντήχησης είναι υψηλός συνιστάται ο καθηγητής να μη μιλάει με ιδιαίτερα υψηλή φωνή.

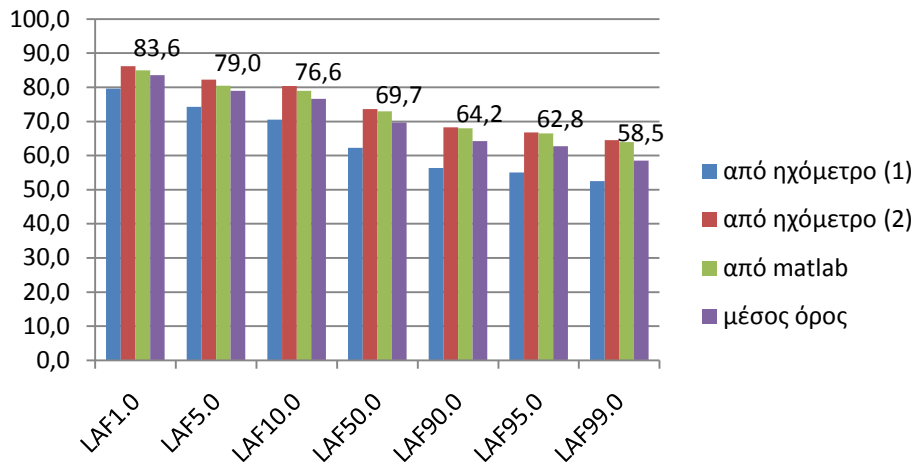
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα διδασκαλίας, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



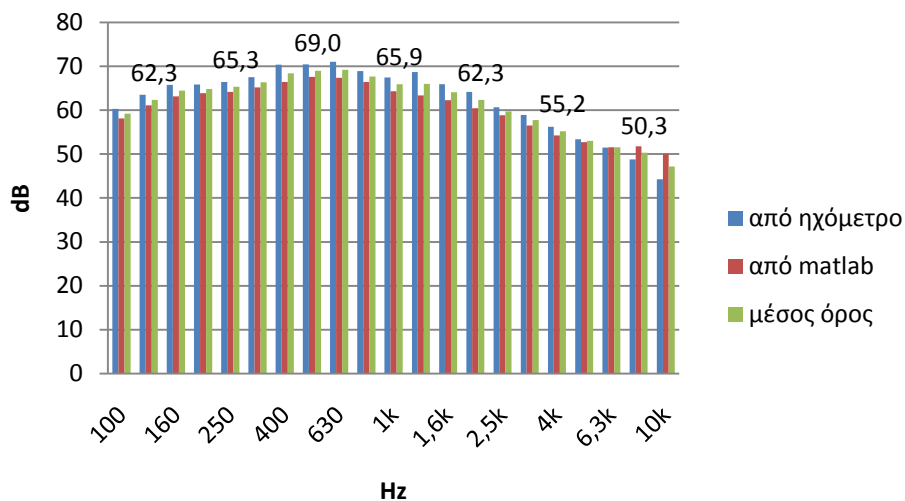
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα διδασκαλίας, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα διδασκαλίας, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα



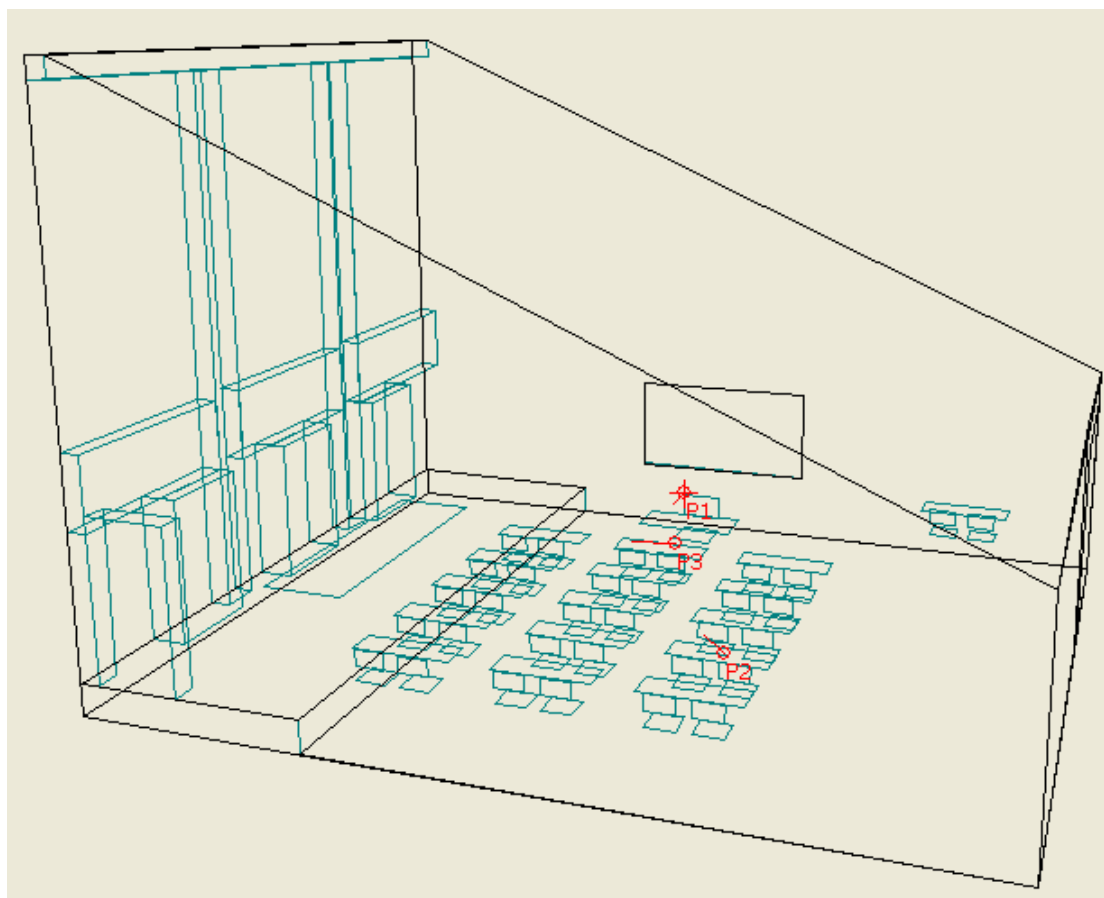
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα διδασκαλίας, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα



Η μόνωση που προκαλείται από την πόρτα και το παράθυρο κρίνεται ικανοποιητική. Σε όλες τις συχνότητες έχουμε μείωση του ήχου μεταξύ 15 και 20dBA. Η καλή μόνωση λειτουργεί προσθετικά με την ηχομείωση που προκαλεί η σωστή διαμόρφωση της αίθουσας. Με τον τρόπο αυτό η αίθουσα δεν επιβαρύνεται από εξωτερικούς θορύβους.

Αίθουσα Εκδηλώσεων

Παρακάτω φαίνεται η αίθουσα όπως προσομοιάστηκε με χρήση του AutoCAD στο Odeon καθώς και οι ηχητικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.



Όσον αφορά τις διαστάσεις έχουμε:

Όγκος: $485,48\text{m}^3$

Ολική επιφάνεια: $448,12\text{m}^2$

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Τοίχοι / πάτωμα / πίνακας	Smooth concrete, painted or glazed (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Πόρτα (ξύλινη)	Solid wooden door (Ref. 15)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10

Υαλότουβλα	Solid glass blocks (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Ντουλάπες (αλουμιένιες)	Steel trapez profile (Weighted values)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10	0,10	0,15	0,15

Θρανιά / καρέκλες	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06

Μονά τζάμια	single pane of glass (Ref. Multiconsult, Norway)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,18	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

Ντουλάπες (ξύλινες)	Wood, 25 mm with air space (Ref. Dalenbδck, CATT)							
Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ποσοστό απορρόφησης	0,19	0,19	0,14	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05

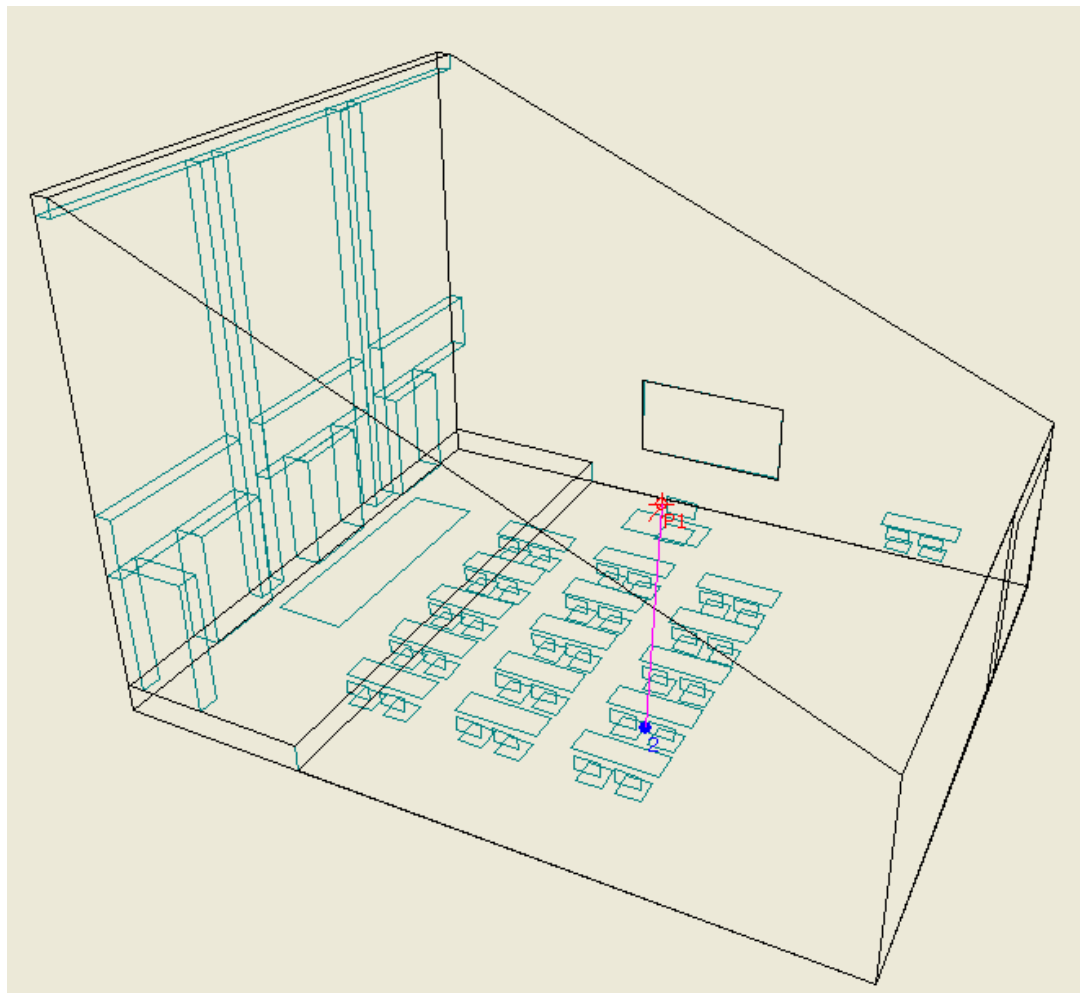
Με βάση τις διαστάσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πρότυπα Sabine, Eyring και Arau-Puchades προέκυψαν οι εξής χρόνοι αντήχησης:

Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T Sabine	3,93	3,99	6,26	8,47	6,40	5,51	3,27	1,30
T Sabine (modified)	3,67	3,72	5,93	8,18	6,29	5,45	3,24	1,30
T Eyring	3,83	3,89	6,17	8,39	6,33	5,46	3,25	1,30
T Eyring (modified)	3,57	3,62	5,83	8,10	6,21	5,40	3,23	1,29
T Arau-Puchades	5,29	5,39	8,30	10,74	7,72	6,39	3,56	1,35
T Arau-Puchades (modified)	5,01	5,10	7,97	10,47	7,63	6,34	3,55	1,34

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όταν ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση στην ευθεία), ο πιο απομακρυσμένος από τον καθηγητή μαθητή (P2) (υψωμένη φωνή, κατεύθυνση προς τον καθηγητή), και ένας μαθητής στο μέσον της αίθουσας (P3) (κανονική φωνή, κατεύθυνση προς το σώμα της αίθουσας).

Ομιλητής είναι ο καθηγητής (P1)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του καθηγητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια θεωρητικώς δυσμενή ακουστικά θέση, την πιο απομακρυσμένη (P2).



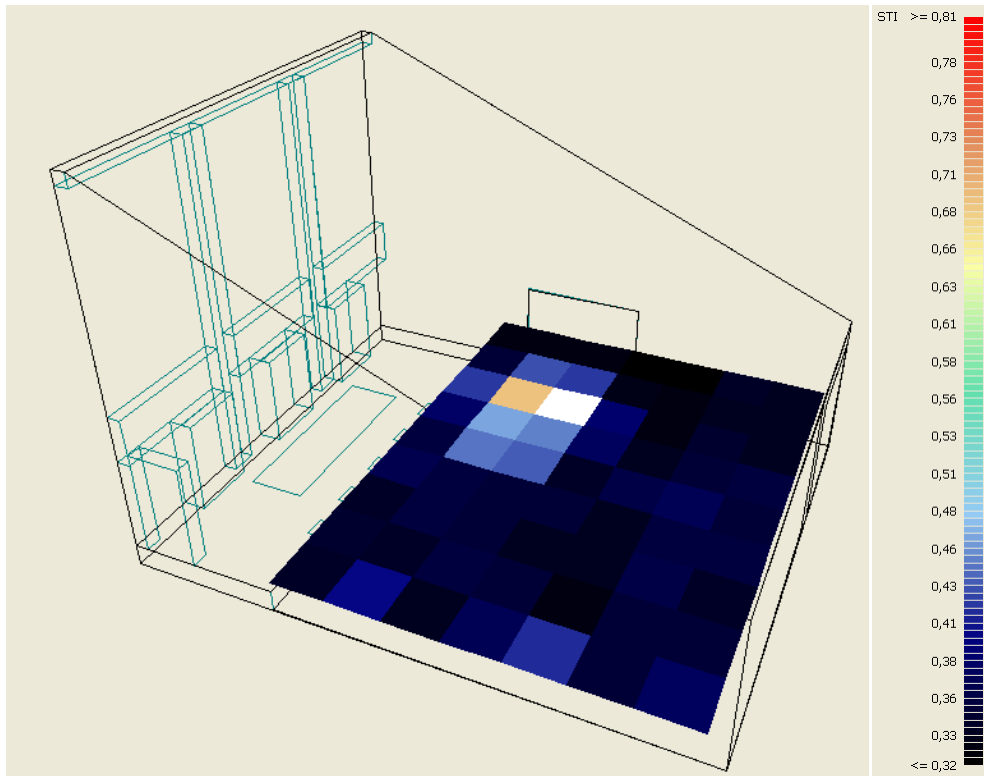
Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	2,14	2,09	4,86	6,74	5,27	4,72	2,98	1,19
T30	(s)	2,31	1,88	4,85	6,70	5,20	4,65	2,94	1,25
SPL	(dB)	53,3	53,0	62,7	69,9	64,8	56,0	47,2	43,1
C80	(dB)	-1,3	-1,0	-5,7	-7,3	-6,4	-5,3	-2,8	2,3
D50		0,30	0,31	0,14	0,10	0,11	0,15	0,23	0,46
T ₅	(ms)	148	143	350	484	383	334	206	81
LF80		0,326	0,332	0,317	0,332	0,315	0,302	0,314	0,304

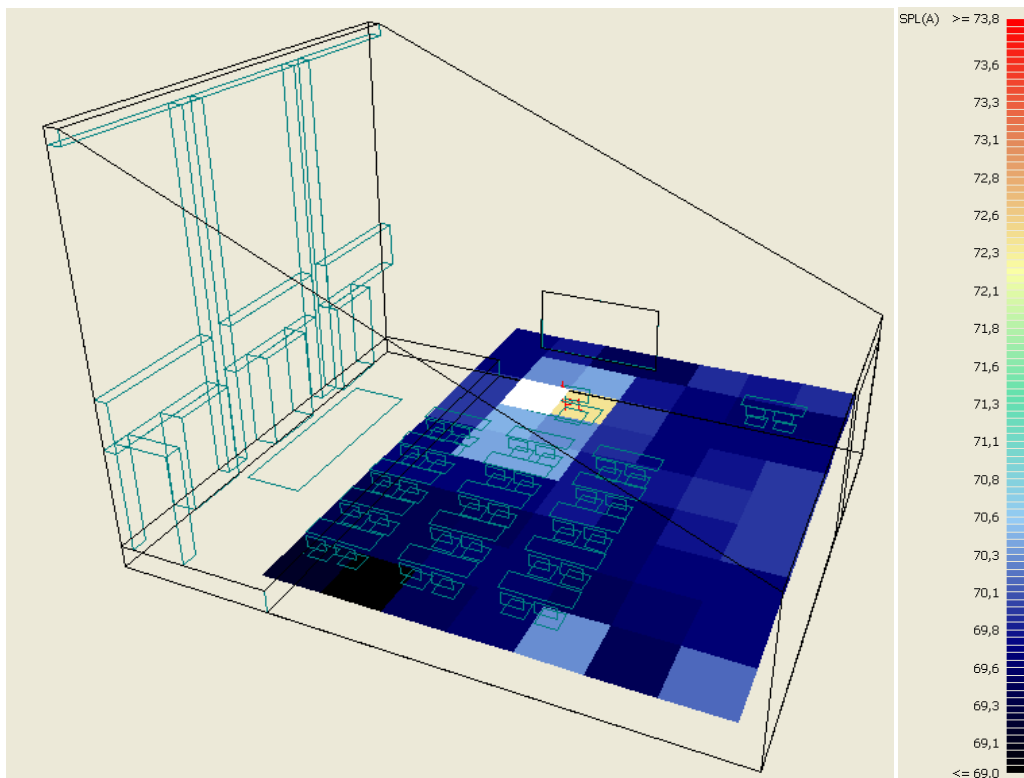
SPL(A) = 69,4(dB)
LG80* = 60,4(dB)
STI = 0,34 (Theoretical based on T30, STI = 0,33)

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια το πώς αντιλαμβάνεται ολόκληρη η αίθουσα την ομιλία με χρήση του πλέγματος (grid).

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,33 και 0,45 με μέση τιμή περίπου στο 0,36.



Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,4 και 70,2dBA.



Ομιλητής είναι ο απομακρυσμένος μαθητής (P2)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο καθηγητής (P1).

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	2,20	2,14	4,90	6,73	5,18	4,63	2,90	1,24
T30	(s)	2,16	2,12	4,89	6,68	5,19	4,66	2,90	1,25
SPL	(dB)	53,1	52,8	62,6	69,9	64,9	56,0	47,2	43,2
C80	(dB)	-1,4	-1,0	-5,6	-7,3	-6,0	-5,3	-2,9	2,3
D50		0,30	0,32	0,15	0,10	0,14	0,16	0,24	0,48
Ts	(ms)	155	146	351	483	374	329	204	81
LF80		0,321	0,319	0,312	0,298	0,292	0,284	0,280	0,267

SPL(A) = 69,4(dB)
LG80* = 60,3(dB)
STI = 0,34 (Theoretical based on T30, STI = 0,33)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,33 και 0,57 με μέση τιμή περίπου στο 0,35.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 69,6 και 70,6dBA.

Ομιλητής είναι ένας μαθητής στη μέση της τάξης (P3)

Επιλέγουμε να μελετήσουμε το πώς αντιλαμβάνεται την ομιλία του μαθητή ο ακροατής ο οποίος βρίσκεται σε μια δυσμενή ακουστικά θέση, όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Οι ενεργειακές παράμετροι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	2,24	2,20	4,93	6,72	5,21	4,75	2,99	1,31
T30	(s)	2,30	2,27	4,85	6,65	5,14	4,65	2,89	1,27
SPL	(dB)	51,9	51,5	57,8	63,0	56,0	48,0	40,9	36,6
C80	(dB)	-0,8	-0,4	-5,6	-7,3	-6,0	-5,8	-3,8	1,1
D50		0,34	0,36	0,14	0,10	0,13	0,13	0,17	0,37
Ts	(ms)	148	141	353	486	378	343	222	95
LF80		0,289	0,286	0,308	0,301	0,300	0,333	0,350	0,337

SPL(A) = 61,9(dB)
LG80* = 53,6(dB)
STI = 0,31 (Theoretical based on T30, STI = 0,32)

Το STI κειμένεται μεταξύ 0,30 και 0,50 με μέση τιμή περίπου στο 0,35.

Το SPL(A) κειμένεται μεταξύ 62,0 και 64,0dBA.

Σχόλια: λόγω του εξαιρετικά μεγάλου όγκου της αίθουσας, καθώς και την παντελή απουσία απορροφητικών υλικών, ο χρόνος αντήχησης είναι απαγορευτικά υψηλός. Επίσης, επειδή δεν υπάρχει σωστός προσανατολισμός των ηχητικών κυμάτων από την πηγή και επιθυμητές ανακλάσεις, η ένταση του ήχου εμφανίζεται μειωμένη. Το STI βρίσκεται σε εξαιρετικά μη αποδεκτές τιμές. Η αίθουσα αυτή κρίνεται απαράδεκτη για διδασκαλία, ενώ επιδέχεται ελάχιστων βελτιώσεων.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι αντήχησης που μετρήθηκαν.

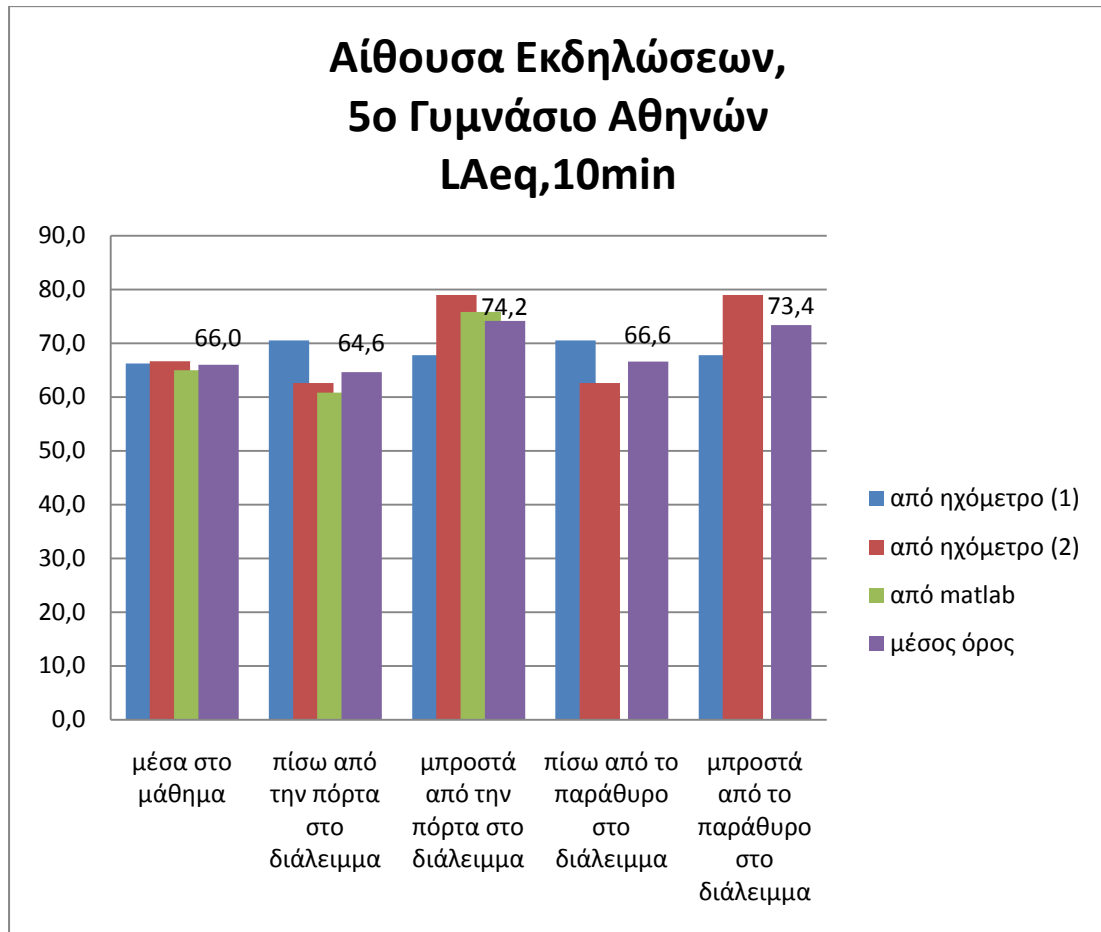
Σημείο 1/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	5,28	3,73	3,41	3,08	2,9	2,1	3,24
T30 (sec)	5,28	3,81	3,39	3,02	2,93	2,12	3,20
EDT (sec)	4,08	4	3,5	2,94	2,72	1,76	3,22

Σημείο 2/2	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	4,75	3,59	3,39	3,08	2,92	2,05	3,24
T30 (sec)	4,75	3,61	3,38	3,12	2,94	2,1	3,25
EDT (sec)	3,73	3,71	3,48	2,91	2,76	2,07	3,20

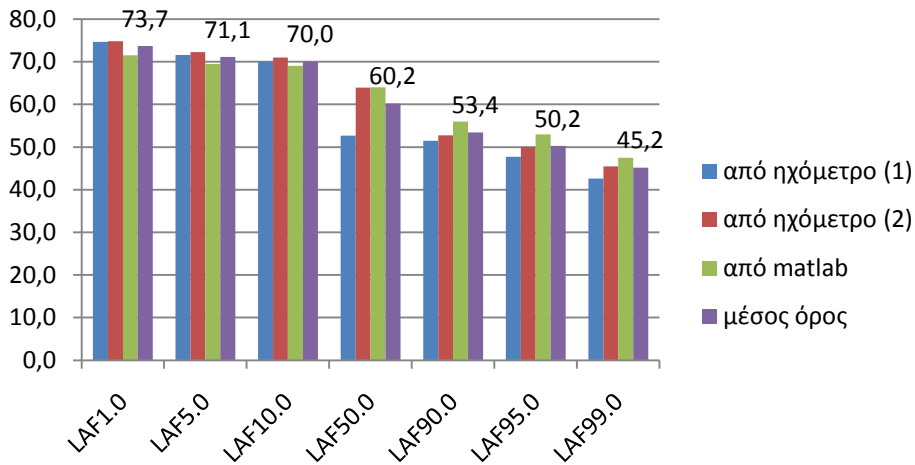
Μέσος όρος	Συχνότητα (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	500-1k
T20 (sec)	5,02	3,66	3,40	3,08	2,91	2,08	3,24
T30 (sec)	5,02	3,71	3,39	3,07	2,94	2,11	3,23
EDT (sec)	3,91	3,86	3,49	2,93	2,74	1,92	3,21
RT (sec)	4,65	3,74	3,43	3,03	2,86	2,03	3,23

Ο τεράστιος όγκος της αίθουσας καθώς και η παντελής απουσία ηχοαπορροφητικών υλικών προκαλεί πολύ μεγάλο χρόνο αντήχησης. Ο μόνος τρόπος να επιλυθεί το πρόβλημα του χρόνου αντήχησης είναι να χτιστεί επιπρόσθετη οροφή ώστε να μειωθεί ριζικά ο όγκος της αίθουσας. Ο χώρος πάνω από τη νέα οροφή, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν βοηθητικός χώρος. Αν η αίθουσα μείνει ως έχει, δεν είναι ιδανική ούτε για εκδηλώσεις ομιλίας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως αίθουσα συναυλιών μουσικής και μάλιστα χωρίς ηλεκτροακουστική υποστήριξη.

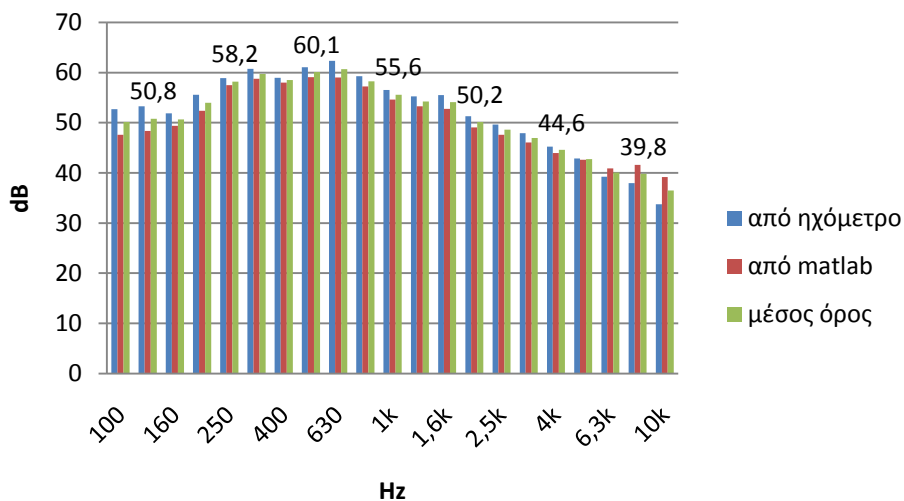
Τα ενεργειακά διαγράμματα και οι φασματικές αναλύσεις που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Εκδηλώσεων, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μέσα στο μάθημα

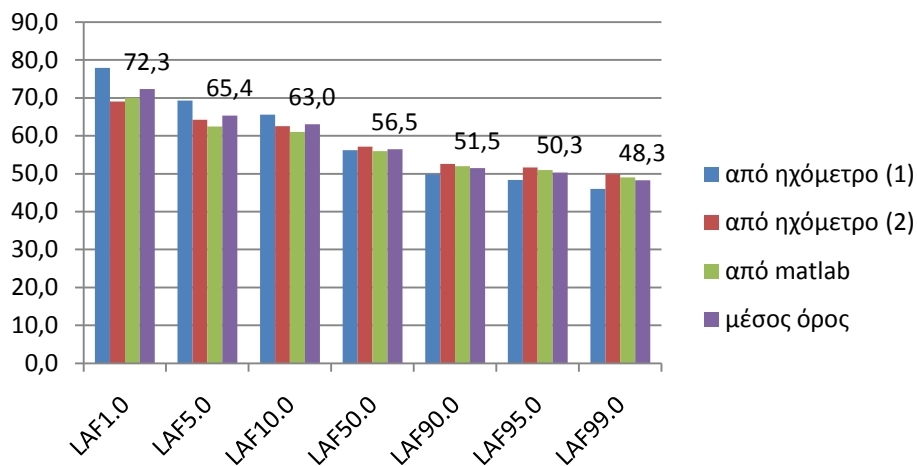


Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Εκδηλώσεων, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μέσα στο μάθημα

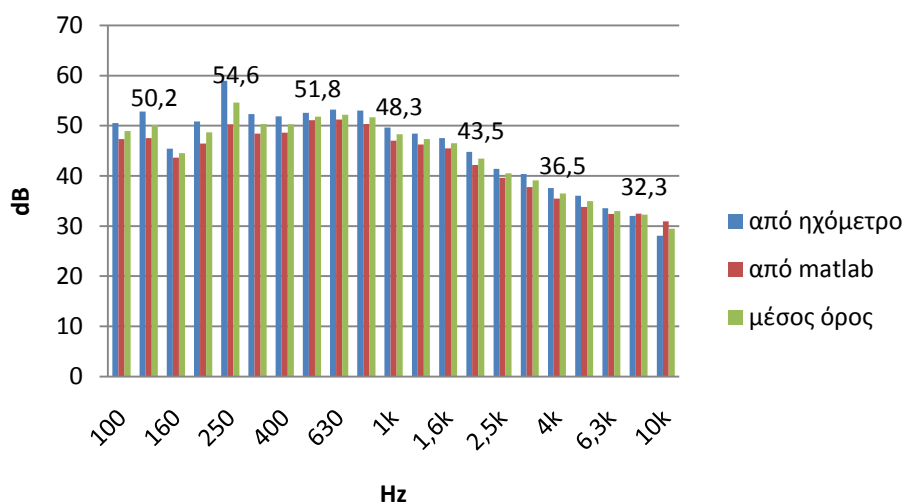


Ο θόρυβος βάθους είναι ικανοποιητικός. Αν ο χρόνος αντήχησης ήταν μικρότερος, δε θα ενισχύονταν ο ήχος, άρα θα μπορούσε ο θόρυβος βάθους να είναι ακόμα μικρότερος. Ο καθηγητής, όταν μιλάει χαμηλόφωνα είναι πιθανόν να μην επιτύχει το επιθυμητά υψηλό SNR. Από την άλλη, αν μιλήσει δυνατά, λόγω του μεγάλου χρόνου αντήχησης, ο ήχος θα αλλοιωθεί πολύ.

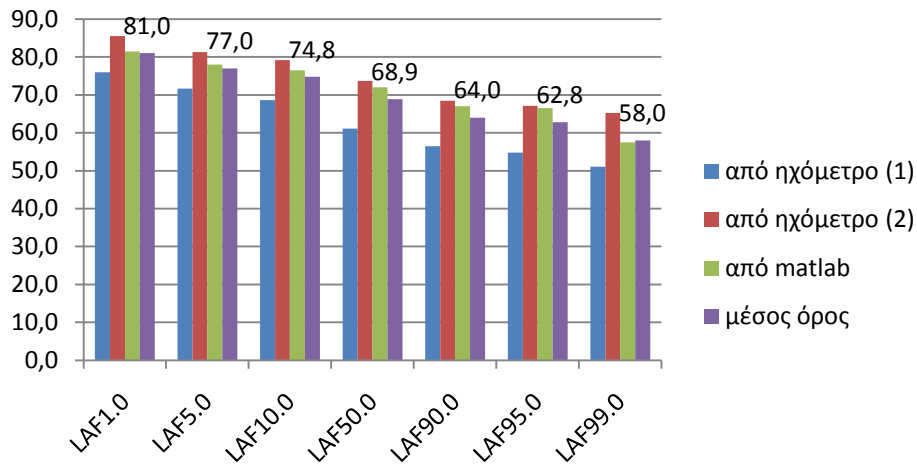
Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Εκδηλώσεων, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



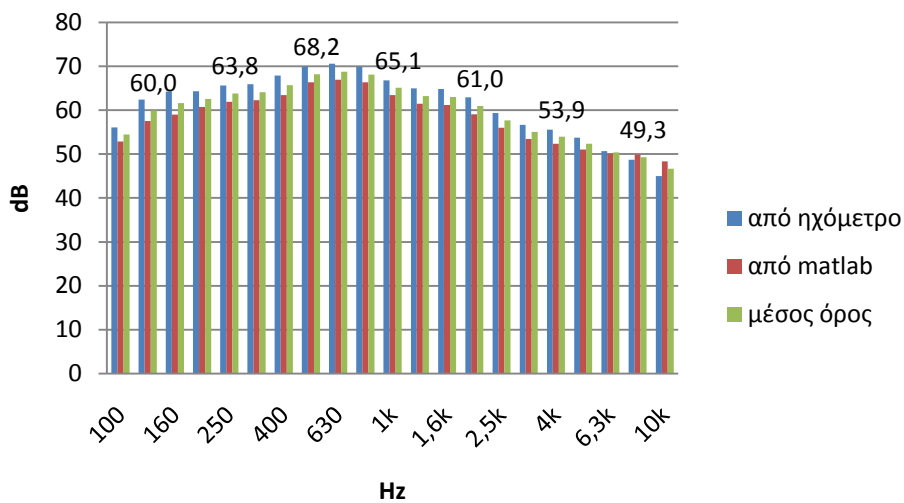
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Εκδηλώσεων, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών πίσω από την πόρτα στο διάλειμμα



Εκατοστημοριακά επίπεδα Αίθουσα Εκδηλώσεων, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα



Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Αίθουσα Εκδηλώσεων, 5ο Γυμνάσιο Αθηνών μπροστά από την πόρτα στο διάλειμμα

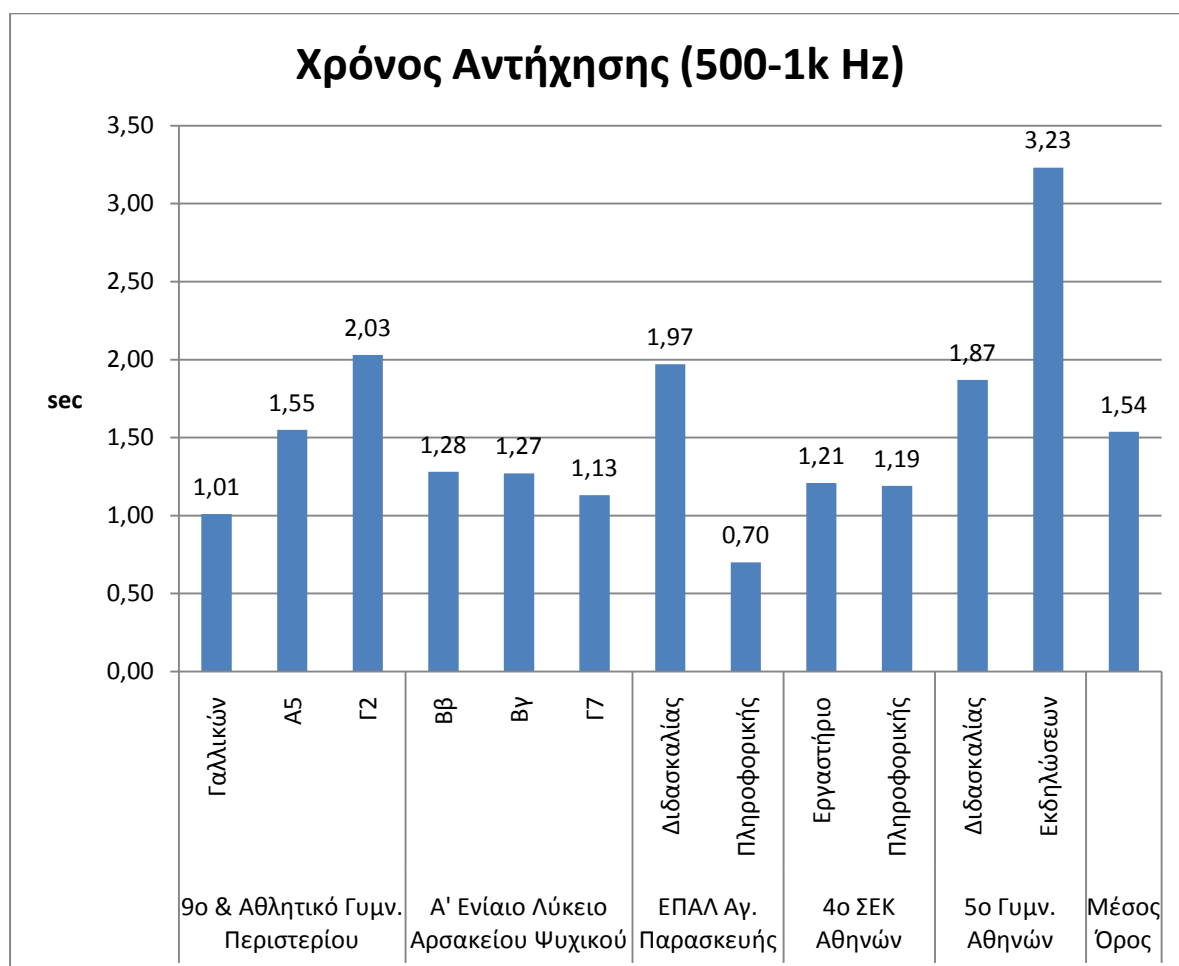


Η μόνωση από το εξωτερικό της αίθουσας είναι ικανοποιητική. Παρόλ' αυτά, δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την ακουστική συμπεριφορά της αίθουσας. Ο λόγος είναι αφενός ότι ο θόρυβος στο εξωτερικό της είναι πολύ περιορισμένος. Αφετέρου, το πρόβλημα λόγω του χρόνου αντήχησης είναι τόσο μεγάλο, ώστε κάθε άλλο είναι εξαιρετικά δευτερεύον.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

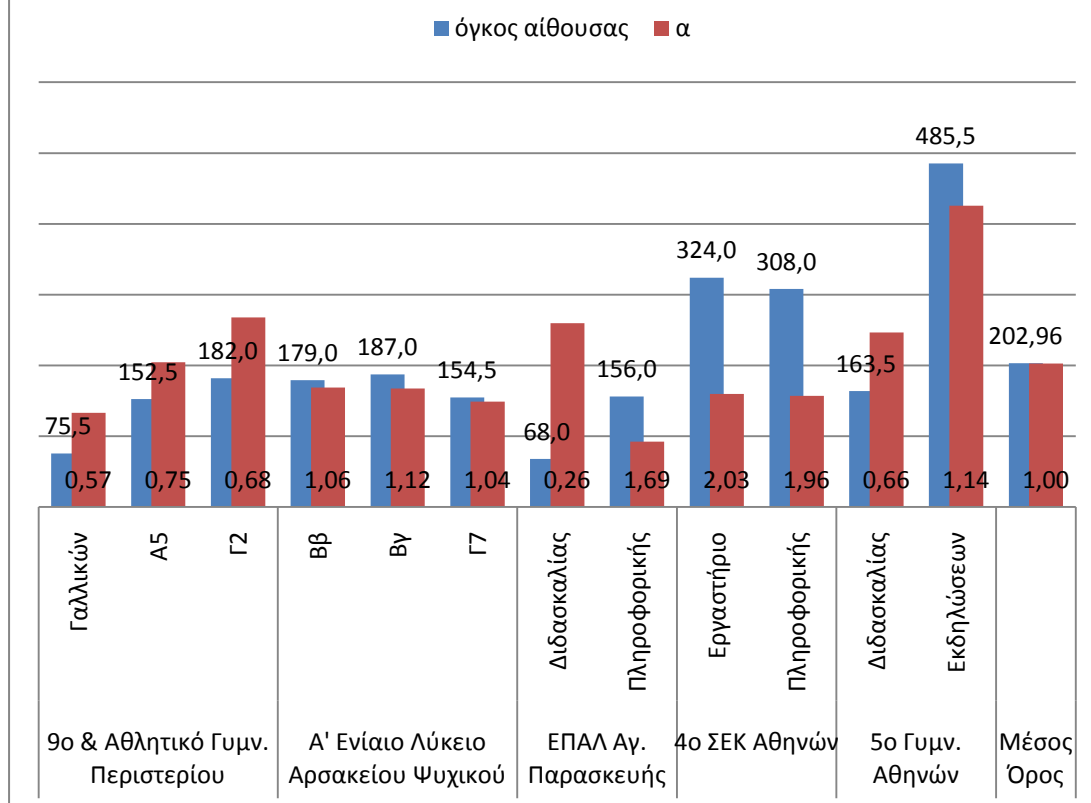
Χρόνος Αντήρησης

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας των χρόνων αντήρησης σε κάθε αίθουσα καθώς και ο μέσος όρος αυτών.



Παρακάτω, παρουσιάζεται ένας πίνακας ο οποίος κάνει μια απόπειρα να εξετάσει την επίδραση του όγκου της αίθουσας στο χρόνο αντήρησης. Ορίζεται ένα αδιάστατο μέγεθος α , όπου $\alpha_i = \frac{RT_i}{V_i} \cdot \frac{RT_{\mu\sigma}}{V_{\mu\sigma}}$, με δείκτη i να αντιστοιχεί σε κάθε αίθουσα και δείκτη $\mu\sigma$ στις τιμές του μέσου όρου. Έτσι, προκύπτει:

Όγκος Αίθουσών και σχέση του με RT



Παρατηρούμε ότι μόλις μία αίθουσα έχει χρόνο αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες κάτω από 8sec, που είναι ο θεωρητικά μέγιστος επιτρεπτός. Όλες οι υπόλοιπες αίθουσες υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια. Ο μέσος χρόνος αντήχησης είναι στα 1,54sec. Αν δε συμπεριλάβουμε στον υπολογισμό μας την αίθουσα εκδηλώσεων, ο μέσος χρόνος μειώνεται στα 1,38sec. Παρατηρούμε, ότι υπάρχει απόκλιση αρκετά πάνω από μισό δευτερόλεπτο από τον μέγιστο επιθυμητό χρόνο αντήχησης (0,8sec). Η μέση τιμή αυτή είναι υπερβολικά υψηλή και δυσχεραίνει σε μεγάλο βαθμό την εκπαιδευτική διαδικασία. Αν κάποια αίθουσα φιλοξενεί πολλούς μαθητές, οι οποίοι μάλιστα κάθονται πυκνά μεταξύ τους, τότε πέφτει σε μεγάλο βαθμό ο χρόνος αντήχησης. Επομένως, τιμές γύρω στο 1,0-1,1sec είναι ανεκτές. Σε κάθε περίπτωση, χωρίς να υπάρχει μεγάλη οικονομική επιβάρυνση, ο χρόνος αντήχησης μπορεί να μειωθεί εύκολα, με χρήση ηχοαπορροφητικών υλικών (κουρτίνες, πορώδεις πίνακες ανακοινώσεων, κρεμάστρες για μπουφάν), αντικειμένων που συμβάλουν στη διασπορά (χειροτεχνίες μαθητών, ράφια με χρηστικά αντικείμενα), επίπλων που μειώνουν τον όγκο της αίθουσας (βιβλιοθήκες, ντουλάπια) και σε εξαιρετικές περιπτώσεις ψευδοροφές.

Από το δεύτερο πίνακα προκύπτει ότι σε γενικές γραμμές ο όγκος της αίθουσας επηρεάζει καταλυτικά το χρόνο αντήχησης. Οι παρατηρήσεις που μπορούμε να εξάγουμε είναι οι εξής:

- Κατά κανόνα, σε ομοειδής αίθουσες (κοινά υλικά, επίπλωση, σχήμα) όσο μεγαλύτερο όγκο έχει μια αίθουσα, τόσο μεγαλύτερο χρόνο αντήχησης παρατηρούμε. Μάλιστα, η αύξηση του όγκου είναι σχεδόν γραμμική. Επί παραδείγματι, ομοειδής αίθουσες είναι οι αίθουσες Ββ και Βγ του Αρσακείου, και οι αίθουσες του ΣΕΚ Αθηνών, οι οποίες έχουν πολύ κοντινή τιμή για το μέγεθος «α», ουσιαστικά δηλαδή έχουν σταθερό λόγο όγκου προς χρόνο αντήχησης.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του μεγέθους α, τόσο περισσότερο η αύξηση του όγκου δε συνεπάγεται και αύξηση του χρόνου αντήχησης. Επομένως, οι αίθουσες αυτές παρουσιάζουν κάποια θετικά χαρακτηριστικά αναφορικά με τον χρόνο αντήχησης. Το αντίστροφο συμβαίνει με τους αίθουσες με χαμηλό δείκτη α.

Η αίθουσα πληροφορικής του ΕΠΑΛ, με τον χαμηλότερο χρόνο αντήχησης, δεν οφείλει τη χαμηλή της τιμή στο μικρό της όγκο. Αίθουσες με κοντινό όγκο (Α5 Γυμν. Περιστερίου, Γ7 Αρσακείου, Διδασκαλίας 5^{ου} Γυμνασίου) παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγαλύτερο χρόνο αντήχησης. Εξού και η διαφορά στις τιμές του μεγέθους α. Ως επί το πλείστον, ο χαμηλός RT οφείλεται στο ξύλινο δάπεδο και οροφή της. Το ξύλινο δάπεδο συνίσταται, αν και η κατασκευή του είναι σχετικά δαπανηρή. Η χρήση ξύλινης οροφής, παρόλο που συμβάλει καταλυτικά στη μείωση του RT πρέπει να χρησιμοποιείται με επιφύλαξη, καθότι δεν είναι ιδιαίτερα ανακλαστική και πολλές ανακλάσεις από την οροφή είναι επιθυμητές. Ειδικά σε μεγάλες και μακρόστενες αίθουσες, στις οποίες δεν έχουμε απευθείας μετάδοση του ήχου στους τελευταίους μαθητές χωρίς εμπόδια στο ενδιάμεσο, οι ανακλάσεις από την οροφή είναι απαραίτητες.

Η αμέσως επόμενη αίθουσα με τον καλύτερο χρόνο αντήχησης, είναι αυτή των Γαλλικών στο 9^ο & Αθλητικό Γυμν. Περιστερίου. Το οφείλει κυρίως στο μικρό της όγκο και δευτερευόντως στην επίπλωση της (κουρτίνες, πίνακες ανακοινώσεων από φελλό κ.α.). Ο ρόλος της επίπλωσης είναι πολύ σημαντικός. Απόδειξη είναι η αίθουσα διδασκαλίας του ΕΠΑ.Λ. Αγίας Παρασκευής, η οποία, παρόλο έχει μικρότερο όγκο από την αίθουσα Γαλλικών, παρουσιάζει διπλάσιο σχεδόν χρόνο αντήχησης ($\alpha_{\text{γαλλικών}}=0,57$, ενώ $\alpha_{\text{διδασκαλίας}}=0,26$). Η συγκεκριμένη αίθουσα είναι απόλυτα «γυμνή», αφού περιλαμβάνει μόνο τα θρανία. Σε κάθε περίπτωση, το αντικείμενο που συμβάλει καταλυτικά στη μείωση του χρόνου αντήχησης είναι οι κουρτίνες. Η αίθουσα διδασκαλίας του 5^{ου} Γυμνασίου Αθηνών, παρόλο που σε μέγεθος είναι μικρότερη από αυτές των Ββ και Βγ αιθουσών του Αρσακείου, χωρίς να διαφέρει ιδιαίτερα από θέμα επίπλωσης και διάταξης, παρά μόνο στην παρουσία ή μη κουρτινών, εμφανίζει γύρω στα 0.60sec υψηλότερο RT.

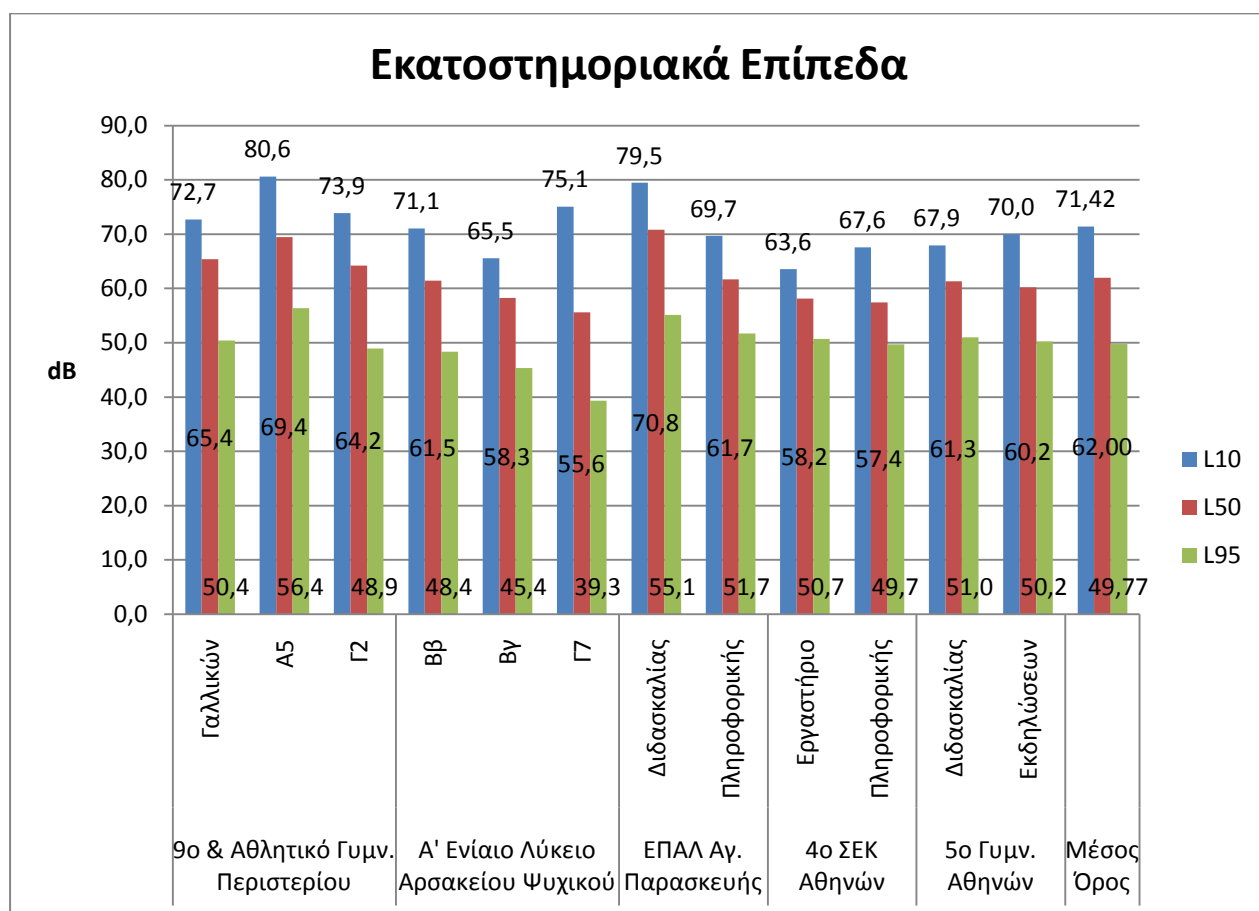
Δύο περιπτώσεις χρήζουν ξεχωριστής αναφοράς. Οι αίθουσες του ΣΕΚ παρόλο που έχουν πολύ μεγάλο όγκο, έχουν συγκριτικά χαμηλό χρόνο αντήχησης. Ενδεικτικά, είναι διπλάσιες σχεδόν από τις αίθουσες Ββ και Βγ του Αρσακείου, εντούτοις παρουσιάζουν οριακά μικρότερο χρόνο καθυστέρησης. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι σε κάθε σχεδόν τοίχο υπάρχει παράθυρο με μεγάλες κουρτίνες, αφετέρου στο ότι και οι δύο αίθουσες έχουν πολλές ντουλάπες και μεγάλα έδρανα, στα οποία υπάρχει πλούσιος εργαστηριακός εξοπλισμός. Παρά λοιπόν τον μεγάλο όγκο του χώρου, ο όγκος στον οποίο μπορεί να ταξιδέψει ο ήχος μειώνεται και επίσης οι επιφάνειες που συμβάλουν στη διασπορά του ήχου αυξάνονται.

Η αίθουσα εκδηλώσεων του 5^{ου} Γυμν. Αθηνών, που χρησιμοποιείται για διδασκαλία, παρουσιάζει χρόνο αντήρησης μεγαλύτερο από 3sec. Ο χρόνος αυτός είναι απαγορευτικά μεγάλος και δυσχεραίνει ουσιαστικά την εύρυθμη λειτουργία του μαθήματος. Μόνο με χρήση ψευδοροφής, ώστε να μειωθεί γενναία ο όγκος της αίθουσας θα μπορούσε να επιτευχθεί ένας επιθυμητός χρόνος αντήρησης.

Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι το κλασικό παράδειγμα μιας τυπικής σχολικής αίθουσας, δηλαδή παραλληλόγραμμη με σχετικά μεγάλο όγκο, με άδειους τοίχους, ελαφριά ή ανύπαρκτη παρουσία κουρτίνας, και αποκλειστική επίπλωση τα θρανία δε δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες οι οποίες να εξασφαλίζουν χρόνο αντήρησης εντός των επιθυμητών ορίων.

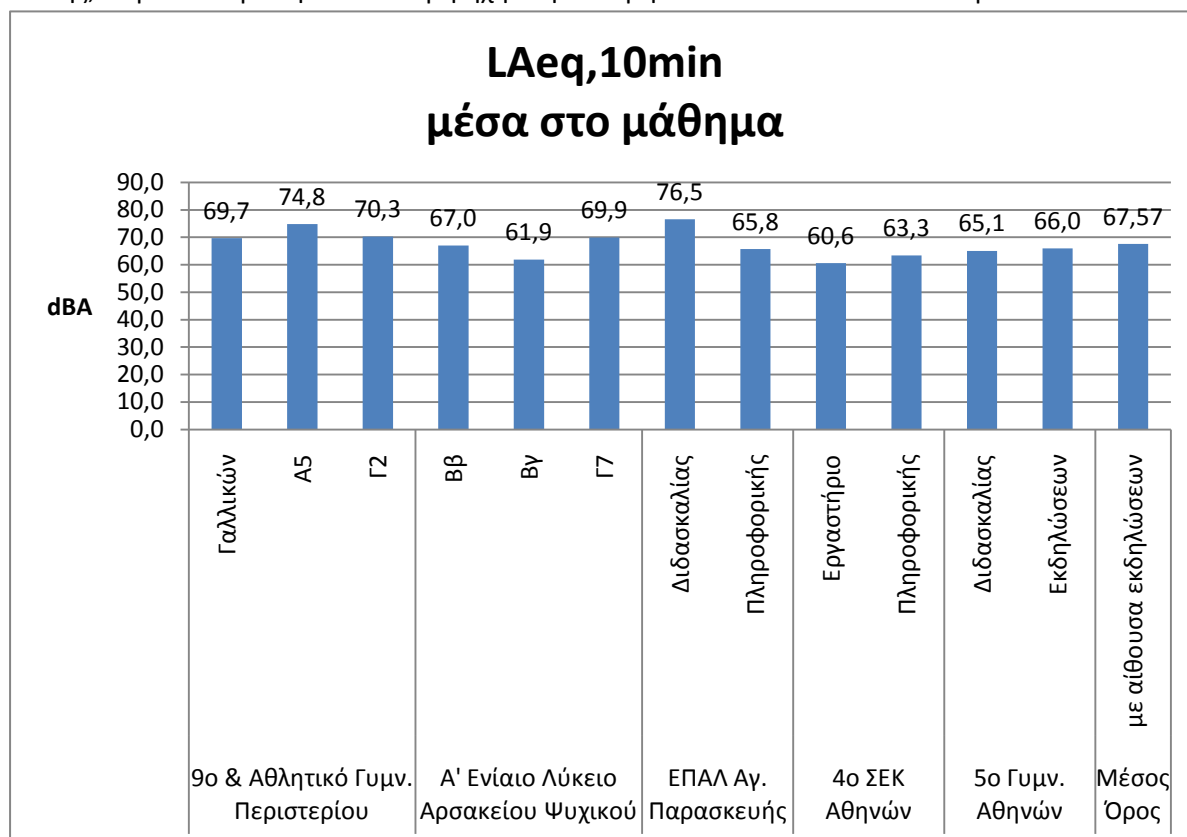
Ποσοστομοριακά επίπεδα και ενεργειακό ισοδύναμο.

Παραθέτουμε τα σημαντικότερα ποσοστομοριακά επίπεδα: το LAF95.0, που απεικονίζει το θόρυβο βάθους, το LAF50.0 το οποίο αντιπροσωπεύει το μέσο επίπεδο ακουστικής έντασης και όσον αφορά τις ακραίες ψηλές τιμές, το LAF10.0.



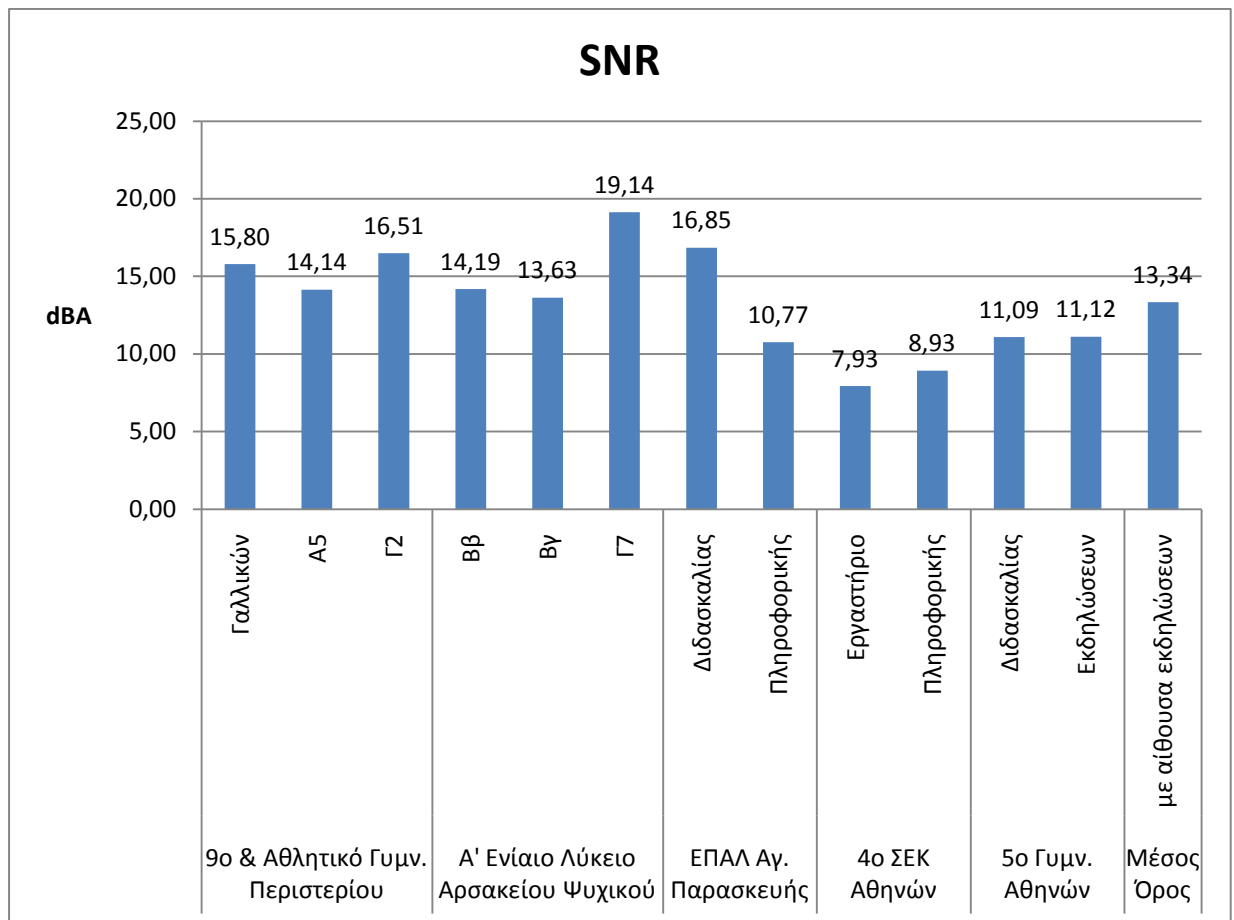
Ο θόρυβος βάθους προκαλείται από τον εξωτερικό θόρυβο από την αίθουσα που καταφέρνει να εισέλθει καθώς και από τη «χάβρα» των μαθητών στην αίθουσα. Αντιπροσωπεύει τον ανεπιθύμητο θόρυβο που παρεμβαίνει μαζί με τον επιθυμητό ήχο, αυτόν της ομιλίας. Τα επιθυμητά όρια του θορύβου βάθους είναι περίπου 30-40dB. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε αδειανές αίθουσες και αφορούν τους θορύβους που εισάγονται λόγω αδυναμίας της ηχομόνωσης καθώς και από τις μηχανολογικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις εντός της αίθουσας (πχ εξαερισμός και ανεμιστηράκια Η/Υ). Οι τιμές που εμείς έχουμε μετρήσει είναι εν ώρα μαθήματος, επομένως υπεισέρχονται επιπλέον ανεπιθύμητοι ήχοι, η χάβρα των μαθητών, το τρίξιμο των καρεκλών, ο θόρυβος από τα φύλλα των βιβλίων, το χτύπημα της κιμωλίας στον πίνακα. Επομένως, αναμένεται μια αύξηση του θορύβου βάθους γύρω στα 10dB συγκριτικά με την άδεια αίθουσα. Εντούτοις, ο μέσος όρος του θορύβου βάθους που έχουμε καταγράψει, 49,77dB είναι αρκετά μεγάλος. Στις περισσότερες αίθουσες η τιμή είναι κοντά στον μέσο όρο και οφείλεται στους λόγους που αναφέραμε παραπάνω. Στην αίθουσα Α5 του Γυμν. Περιστερίου η υψηλή τιμή (56,4dB) οφείλεται στο ότι οι μαθητές ήταν ιδιαιτέρως ζωντοί. Αντίθετα, στην αίθουσα διδασκαλίας του ΕΠΑΛ Αγ. Παρ., η τιμή των 55,1dB οφείλεται στην ανοιχτή πόρτα λόγω ανάγκης εξαερισμού και ψύξης. Βλέπουμε ότι στο ίδιο σχολείο, με παρεμφερείς εξωτερικές συνθήκες, στην αίθουσα πληροφορικής, έχουμε κατά 5dB μικρότερο θόρυβο βάθους, τα οποία είναι πολύτιμα. Παρατηρούμε έτσι την ανάγκη για ικανοποιητική ηχομόνωση. Οι πιο χαμηλές τιμές αντιστοιχούν στις αίθουσες Βγ του Αρσακείου (πολύ καλή ηχομόνωση) και στην Γ7 του ίδιου σχολείου (η μέτρηση αυτή δεν είναι τόσο ενδεικτική, αφού την ώρα της μέτρησης οι μαθητές έδιναν γραπτή εξέταση, άρα εκ των πραγμάτων είχαμε το πιο ήσυχο δυνατό περιβάλλον).

Επίσης, παραθέτουμε την ισοδύναμη ηχητική στάθμη σε κάθε αίθουσα και τον μ.ό. αυτών.



Παρατηρούμε ότι οι τιμές του ενεργειακού ισοδύναμου είναι ιδιαίτερα υψηλές. Αν μάλιστα κάνουμε αναγωγή στο LAeq,8h ο μέσος όρος θα προκύψει στα περίπου 84dBA, τιμή η οποία είναι μόλις 3dBA μικρότερη από τα επιτρεπτά όρια ημερήσιας έκθεσης σε εργασιακούς χώρους. Οι μαθητές στη μέση εκπαίδευση παρακολουθούν ημερησίως 7 διδακτικές ώρες, περίπου δηλαδή 6 ωρολογιακές ώρες. Είναι αντιληπτό ότι οι υψηλές τιμές της έκθεσης των μαθητών σε υψηλούς θορύβους έχουν επιπτώσεις στην ψυχική και σωματική υγεία των μαθητών, όπως αναφέρεται και στο πρώτο κεφάλαιο. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι ο κύριος όγκος ήχου παράγεται από τον ομιλούντα καθηγητή. Για να υπερβεί το υψηλό βάθος θορύβου οι καθηγητές αναγκάζονται να μιλούν πολύ δυνατά γεγονός που επιβαρύνει το σύστημα ομιλίας τους.

Εκτίμηση για τα επίπεδα της ομιλίας του καθηγητή μπορούμε να εξάγουμε από το συνολικό LAeq,10min και από το LAF50.0. Η διαφορά του επιθυμητού και του ανεπιθύμητου ήχου (ο λόγος του αν δουλεύουμε λογαριθμικά) λέγεται SNR. Για να είναι ακούγεται ευκρινώς η ομιλία σε σχέση με τον θόρυβο πρέπει για μαθητές δευτεροβάθμιας, ελληνικής καταγωγής να είναι πάνω από 10dB. Επειδή όμως σε μία τάξη πιθανότατα βρίσκονται και αλλοδαποί μαθητές καθώς και μαθητές με προβλήματα ακοής (μόνιμα ή προσωρινά λόγω ασ πούμε ενός κρυολογήματος) καλό είναι το SNR να είναι μεγαλύτερο από 15dB. Έτσι, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:



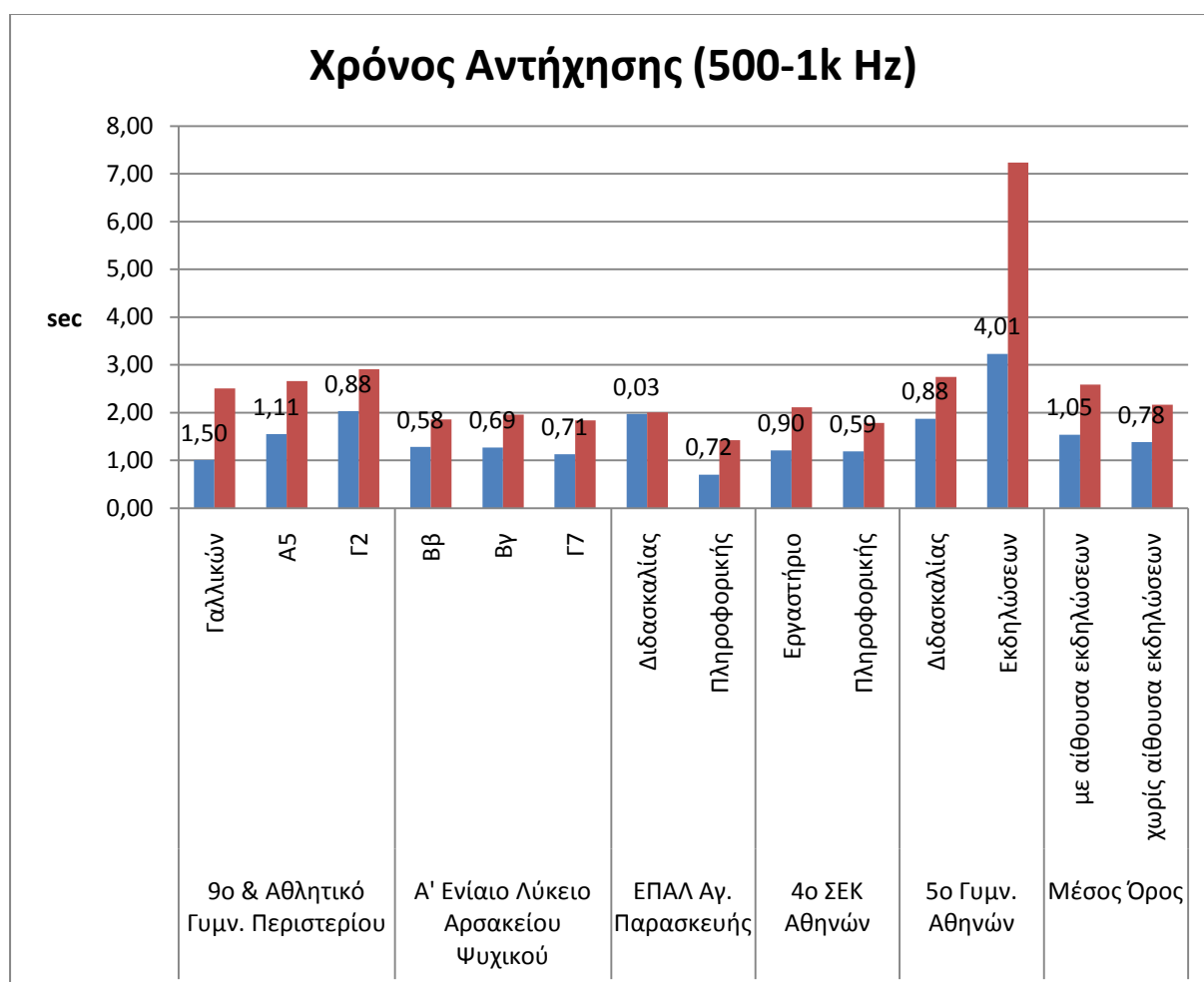
Αν θεωρήσουμε ως αντιπροσωπευτική τιμή για την ένταση του ομιλητή το LAF50.0, σε συνδυασμό και με το LAeq,10min (πρέπει να σημειωθεί ότι το μεν LAF50.0 είναι σε dB ενώ το δε LAeq10,min σε dBA), τότε παρατηρούμε ότι στις περισσότερες τιμές των περιπτώσεων εξασφαλίζεται ότι το SNR είναι μεταξύ 12 και 16dB, όπως φαίνεται και από τον μέσο όρο. Οι δυσμενέστερες περιπτώσεις είναι στο 4^ο ΣΕΚ Αθηνών. Το χαμηλό SNR όμως δεν οφείλεται στον υψηλό θόρυβο, αλλά στη χαμηλή στάθμη της ομιλίας. Ο λόγος είναι ότι τα μαθήματα των οποίων έγινε μελέτη ήταν ως επί το πλείστον εργαστηριακά και δεν εμπειρεύσαν τον χαρακτήρα της διδασκαλίας, αλλά στην πρακτική υλοποίηση κάποιων πειραμάτων. Επίσης, οι αίθουσες αυτές έχουν εξαιρετικά μεγάλο όγκο. Ειδικά η αίθουσα του εργαστηρίου είναι ιδιαιτέρως μακρόστενη. Επομένως, ο καθηγητής είναι αρκετά απομακρυσμένος από τους μαθητές με αποτέλεσμα η ένταση της φωνής του να εξασθενεί λόγω απόστασης. Παράλληλα, όπως αναφέρθηκε και για τον χρόνο αντήχησης των αιθουσών αυτών, υπάρχουν μεγάλοι πάγκοι με μηχανήματα πάνω σε αυτά. Επομένως, ελάχιστος ήχος προέρχεται από απευθείας διάδοση. Έτσι λοιπόν, αξίζει να παρατηρήσουμε ότι παρόλο που η συγκεκριμένη «επίπλωση» εξασφαλίζει μικρό χρόνο αντήχησης σε σχέση με τον όγκο της αίθουσας, εντούτοις, έχει αρνητικές συνέπειες για τη διάδοση του ήχου. Η επίπτωση του μεγέθους της αίθουσας στην εξασθένιση όσο απομακρυνόμαστε από τον ομιλητή φαίνεται και στην αναπαράσταση στο Odeon. Τα εργαστηριακά μηχανήματα δεν μπόρεσαν δυστυχώς να προσομοιαστούν, άρα δεν έχουμε πλήρη εικόνα για τον τρόπο της διάδοσης του ήχου μέσα στην αίθουσα. Η αμέσως χειρότερη τιμή όσον αφορά το SNR είναι στην αίθουσα πληροφορικής του ΕΠΑΛ. Η αίθουσα αυτή παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή για το χρόνο αντήχησης λόγω του ξύλινου πατώματος και οροφής της. Το γεγονός όμως ότι η οροφή δεν έχει επιφάνειες πλήρως ανακλαστικές και ότι ο ένας τοίχος καλύπτεται από στόρια, οδηγεί στο να μη συντελούνται οι αναγκαίες ανακλάσεις ώστε ο ήχος να ταξιδεύει προς όλους τους μαθητές με υψηλή ένταση. Χαμηλό SNR έχουν και οι αίθουσες του 5^{ου} Γυμν. Αθηνών. Η αίθουσα των εκδηλώσεων παρουσιάζει τεράστιο όγκο, ο οποίος εισάγει πάρα πολλά προβλήματα και προκαλεί ανεπίτρεπτες συνθήκες ακουστικής, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένα. Η αίθουσα διδασκαλίας έχει επιθυμητό μέγεθος καθώς και διάταξη θρανίων. Παρουσιάζει όμως το εξής πρόβλημα. Η έδρα βρίσκεται σε έναν «υποχώρο», ο οποίος χωρίζεται από την υπόλοιπη τάξη με ένα τοιχάκι μήκους μεγαλύτερο του ενός μέτρου που εξέχει από την οροφή. Έτσι λοιπόν, μεγάλο ποσοστό των κυμάτων από την ομιλία του καθηγητή εγκλωβίζονται στον υποχώρο αυτό. Δε συντελούνται λοιπόν οι απαραίτητες ανακλάσεις στην οροφή, ενώ παράλληλα, ο καθηγητής είναι στο ύψος των μαθητών, επομένως εμποδίζεται και η απευθείας διάδοση.

Η υψηλή τιμή του SNR στην αίθουσα Γ7 του Αρσακείου οφείλεται κυρίως στον πολύ χαμηλό θορύβου βάθους, λόγω των ειδικών συνθηκών του διαγωνίσματος. Παρόλ' αυτά, η αίθουσα αυτή, συγκριτικά με τις υπόλοιπες, παρουσιάζει αρκετά καλές ακουστικές συμπεριφορές. Το βασικό είναι ότι έχει μικρό μήκος και ότι ο καθηγητής είναι υψωμένος σε έδρα. Επομένως, ευνοείται η απευθείας διάδοση. Αν η αίθουσα αυτή είχε μικρότερο όγκο με χρήση μιας ηχοαπορροφητικής οροφής (η οποία θα έριχνε επιπλέον τον χρόνο αντήχησης) θα βελτιωνόταν πολύ. Σημαντικό γεγονός είναι οι πολλές κουρτίνες. Η υψηλή τιμή του σηματοθορυβικού λόγου στην αίθουσα διδασκαλίας του ΕΠΑΛ είναι «παραπλανητική». Παρόλο που εξασφαλίζεται ότι ο μαθητής θα ακούει δυνατά τον καθηγητή, ο πολύ μεγάλος χρόνος αντήχησης, συγκριτικά μάλιστα με τον όγκο της

αίθουσας, σε συνδυασμό με τη δυνατή φωνή του καθηγητή, δημιουργεί ένα ακουστικά ασφυκτικό περιβάλλον.

Σχόλια για την προσομοίωση

Το Odeon είναι ένα σπουδαίο πρόγραμμα, με πολλές εφαρμογές οι οποίες δίνουν μια πλήρη εικόνα της ακουστικής συμπεριφοράς ενός χώρου. Είναι ένα πολύτιμο εργαλείο στα χέρια κάθε επιστήμονα που ασχολείται με την αρχιτεκτονική ακουστική. Όπως όμως σε κάθε πρόγραμμα προσομοίωσης πρέπει τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτό να αναγιγνώσκονται κριτικά. Αξίζει να παραθέσουμε τις μετρούμενες τιμές για τον χρόνο αντήχησης καθώς και αυτές οι οποίες προέκυψαν από την προσομοίωση (αριστερά και δεξιά τιμές αντίστοιχα). Τα νούμερα που αναφέρονται απεικονίζουν τη διαφορά τους.

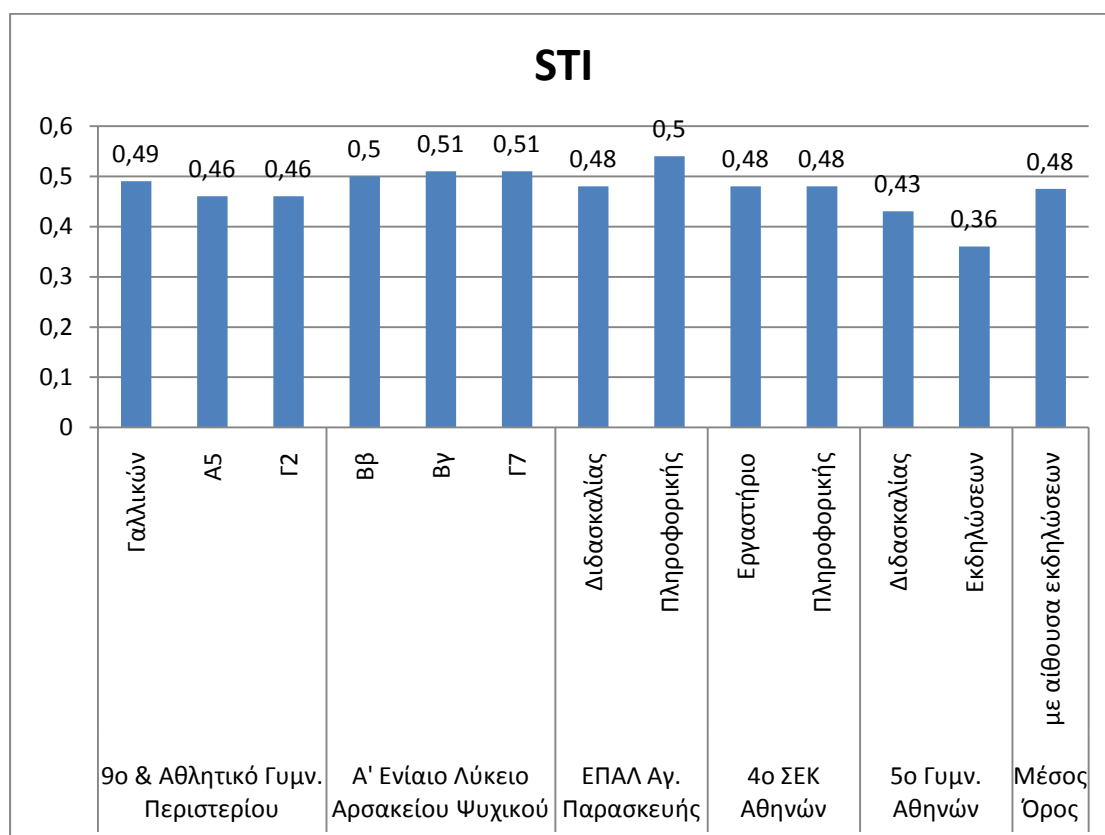


Αν δε συμπεριλάβουμε στις τιμές μας την αίθουσα εκδηλώσεων του 5^{ου} Γυμνασίου, η οποία είναι ιδιαίτερα εκκεντρική, βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο ο υπολογισμένος κατά Sabine (modified) χρόνος αντήχησης από το Odeon είναι 0,78sec μεγαλύτερος από τον μετρούμενο.

Η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγάλη και δεν εισάγει μεγάλα σφάλματα. Ειδικά σε μια ακουστική παράμετρο, τόσο σπουδαίο όσο ο χρόνος αντήχησης, το σφάλμα αυτό πρέπει να αξιολογηθεί. Οι αιτίες που δικαιολογούν τόσο μεγάλη διαφορά μπορεί να είναι οι ακόλουθες:

- Άστοχη επιλογή υλικών, άρα λάθος συντελεστές απορρόφησης
- Μη υπολογισμός των συντελεστών διάχυσης
- Κατασκευαστικά λάθη στην προσομοίωση
- Κατασκευαστικές απλουστεύσεις οι οποίες θα έπρεπε να έχουν αποφευχθεί. Επί παραδείγματι, τα θρανία και οι καρέκλες αναπαραστάθηκαν ως μια επιφάνεια 2 διαστάσεων, εμβαδού όσο τα κανονικά. Τα πόδια καθώς και το πάχος τους αμελήθηκαν.
- Στην πραγματικότητα υπάρχουν διαρροές ηχητικής ενέργειας από χαραμάδες, το κάτω μέρος της πόρτας κλπ, τις οποίες δεν μπορούμε να συμπεριλάβουμε στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

Λόγω του πολύ υψηλού χρόνου αντήχησης προκύπτει αντίστοιχα πολύ μειωμένο STI. Επί πρόσθετα, πρέπει να σημειωθεί ότι σε πραγματικές συνθήκες μαθήματος, οι αίθουσες είναι γεμάτες από μαθητές, άρα αυξάνεται η ηχοαπορροφητικότητα επομένως πέφτει κατά πολύ ο χρόνος αντήχησης. Άρα, σε πραγματικές συνθήκες μαθήματος, ο πραγματικός χρόνος αντήχησης είναι ακόμα μικρότερος. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η τιμή του STI που υπολογίζεται είναι πλασματική και απέχει από την πραγματικότητα.



Η εμπειρία δείχνει ότι παρόλο που οι σχολικές αίθουσες δεν είναι ιδανικές, αποκλείεται να παρουσιάζουν τιμές για το STI τόσο χαμηλές.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο λόγος που μετρούμε το χρόνο αντήχησης σε άδεια αίθουσας είναι ότι οι προβλεπόμενες επιθυμητές τιμές που προτείνονται από διάφορα πρότυπα αναφέρονται σε άδεια αίθουσα και εμείς θέλουμε να εξετάσουμε το κατά πόσον η πραγματικότητα απέχει από το επιθυμητό. Επίσης, εφόσον δεν μπορούσαμε να παρέχουμε όσα ειδικά ακουστικά όσα οι μαθητές θεωρήθηκε επικίνδυνο να αναγκάσουμε τους μαθητές να υποστούν ένα τόσο δυνατό κρότο όπως από τον πυροβολισμό χωρίς τα αναγκαία μέτρα προστασίας.

Συμπερασματικά, ο κάθε μελετητής που χρησιμοποιεί προγράμματα προσομοίωσης οφείλει να συγκρίνει τις τιμές που προκύπτουν από το πρόγραμμα με τις πραγματικές ώστε να μπορεί να εξάγει ασφαλή συμπεράσματα. Επίσης, καλό είναι να κάνει δοκιμές και να αξιολογήσει τις αιτίες σφάλματος και να προσπαθήσει να τις περιορίσει. Ειδικά όσον αφορά το σχεδιασμό πριν την κατασκευή μιας αίθουσας, οι προτάσεις που θα κάνει ο μηχανικός ακουστικής δεν μπορούν να βασίζονται κατ' αποκλειστικότητα στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Η αξία χρήσης κάθε προγράμματος προσομοίωσης έγκειται κατά κύριο λόγο στο να αναδείξει οπτικά το ταξίδι του ήχου μέσα στον χώρο. Έτσι, μπορείς να αναπροσαρμόσεις τη ροή της ηχητικής έντασης με χρήση νέων επιφανειών με κατάλληλο συντελεστή απορρόφησης. Επίσης, με χρήση ενός προγράμματος όπως το Odeon μπορεί να αξιολογηθεί το τι συνέπειες θα έχει κάθε αλλαγή στην αρχιτεκτονική του χώρου, όχι αξιολογώντας τις τιμές πριν και μετά αλλά συγκρίνοντάς τες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΜΕ ΚΑΛΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Είναι γεγονός ότι αν η ακουστική μελέτη και διαμόρφωση της αίθουσας γίνει κατά το στάδιο της σχεδίασης και της αρχικής κατασκευής της αίθουσας δεν επιβαρύνει σημαντικά το κόστος. Από την άλλη, οι εκ των υστέρων αλλαγές είναι πιο δαπανηρές, δυσκολότερο να υλοποιηθούν και δεν εξασφαλίζουν το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Επομένως, πρέπει από εδώ και μπρος να λαμβάνεται υπόψη εκ των προτέρων η ακουστική συμπεριφορά μιας αίθουσας. Παραθέτουμε μια σειρά από προτάσεις για το πώς οι σχολικές αίθουσες θα πληρούσαν τις ακουστικές προδιαγραφές.

Μια γενική κατεύθυνση είναι οι αίθουσες να ενισχύουν τους επιθυμητούς ήχους και να ελέγχουν τους ανεπιθύμητους.

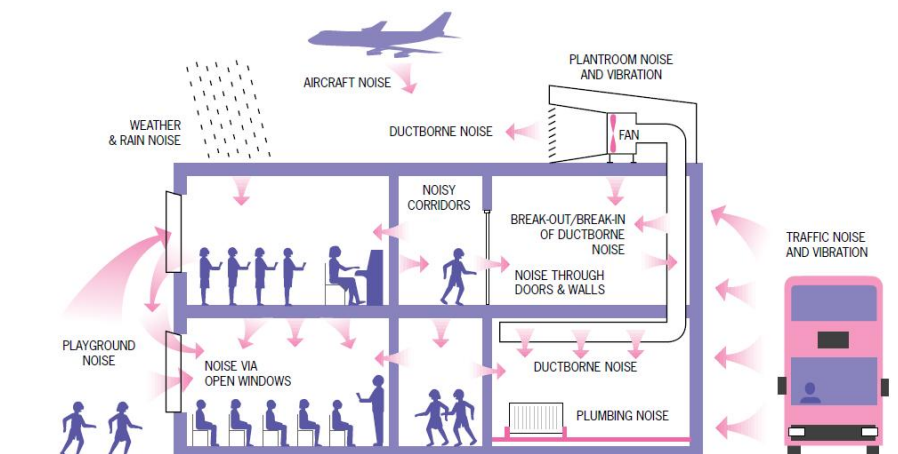
Ενίσχυση επιθυμητών ήχων

- Έλεγχος της εκτεταμένης αντήχησης μέσω της ηχητικής απορρόφησης
- Ελαχιστοποίηση της ηχούς από απομακρυσμένες επιφάνειες, όπως ο πίσω τοίχος
- Χρήση σκληρών υλικών για επιθυμητές ανακλάσεις, όπως πίσω και πάνω από την έδρα του καθηγητή

Έλεγχος ανεπιθύμητων ήχων

- Κατασκευή των σχολικών μονάδων μακριά από θορυβώδεις περιοχές, αεροδρόμιο, αυτοκινητοδρόμους, σιδηροδρόμους
- Ελαχιστοποίηση των θορύβων που εισχωρούν στην αίθουσα από το εξωτερικό περιβάλλον
- Ελαχιστοποίηση της ενόχλησης που προκαλούν οι αίθουσες που γειτνιάζουν
- Σχεδιασμών ήσυχων συστημάτων εξαέρωσης και θέρμανσης

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι τυπικές και συνήθεις περιπτώσεις οι οποίες επιβαρύνουν με θόρυβο τις σχολικές αίθουσες: [11]



Διατήρηση χρόνου αντήχησης στα επιθυμητά επίπεδα

Ο ιδανικός χρόνος αντήχησης σε μία σχολική αίθουσα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 0,6 sec. Ο περιορισμός του RT γίνεται με δύο τρόπους, με μείωση του όγκου της αίθουσας ή/και αύξηση της απορρόφησης του ήχου.

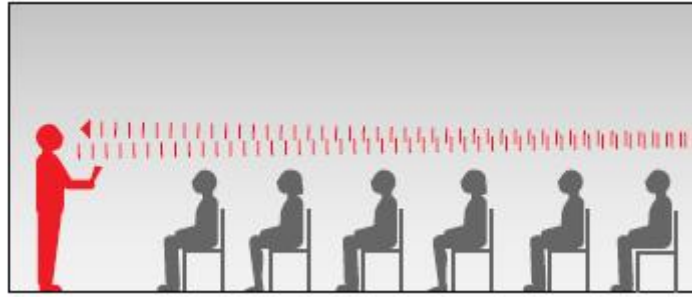
Η μείωση του όγκου γίνεται συνήθως με τοποθέτηση επιπρόσθετων οροφών σε ύψος χαμηλότερο από το αρχικό, από υλικά με ηχοαπορροφητικές ιδιότητες (ψευδοροφές). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται πέρα από τη μείωση του όγκου και αύξηση της απορροφητικότητας ταυτόχρονα, επομένως μπορεί να επιτευχθεί ουσιαστικότερη μείωση του χρόνου αντήχησης. Η περίπτωση αυτή είναι εφαρμόσιμη κυρίως σε παλιές αίθουσες με πολύ ψηλή οροφή. Παρόλ' αυτά, υπάρχουν κάποιες δυσκολίες στην υλοποίηση. Οι παλιές αίθουσες με ψηλό ταβάνι έχουν συνήθως και αρκετά ψηλά παράθυρα, τα οποία πιθανότατα θα υπερβαίνουν το ύψος της νέας οροφής, με επιπτώσεις στην αισθητική της αίθουσας. Επίσης, οι αίθουσες αυτές έχουν κρεμάμενα φώτα από το ταβάνι, και ενδεχομένως υπάρξει η ανάγκη τοποθέτησης νέων φωτιστικών.

Για να επιτευχθεί περισσότερη ηχοαπορροφητικότητα πρέπει να τοποθετηθούν περισσότερα «μαλακά» υλικά, όπως μοκέτα/χαλί, ειδικά ακουστικές ταβάνια, ηχοαπορροφητικά πανέλα. Είναι αποτελεσματικότερο τα υλικά αυτά να τοποθετηθούν διάσπαρτα στην αίθουσα και όχι να περιοριστούν σε ένα σημείο ή μια επιφάνεια. Αν τοποθετήσουμε μόνο μοκέτα και ηχοαπορροφητική οροφή μπορεί να περιοριστεί η ακουστική ενέργεια και να μειωθεί ο χρόνος αντήχησης όμως δεν εξασφαλίζεται μείωση της ηχούς από τις παράλληλες σκληρές επιφάνειες (flutter echo, στάσιμα κύματα). Γι αυτό πρέπει να τοποθετηθούν και στους παράπλευρους τοίχους απορροφητικά πάνελ ώστε να περιοριστεί ο χρόνος αντήχησης και το flutter echo.

Ο ελάχιστος χρόνος που χρειάζεται το αυτί για να διακρίνει δύο ήχους ξεχωριστά είναι το ένα εικοστό του δευτερολέπτου (50 milliseconds). Επομένως, για να αντιλαμβάνεται ο μαθητής τον ανακλώμενο ήχο ως ένα με τον απευθείας και όχι σαν ηχώ, πρέπει η χρονική διαφορά της άφιξης των δυο κυμάτων (ανακλώμενου και απευθείας) να είναι μικρότερη των 50msec. Εφόσον ο ήχος τρέχει με ταχύτητα 340m/s, ενώ η μέγιστη χρονική διαφορά των δύο κυμάτων είπαμε ότι είναι 50msec, τότε για να μην ακούει ο καθηγητής ή κάποιος μαθητής ηχώ λόγω της ανάκλασης του ήχου πρέπει η απόσταση του από την ανακλαστική επιφάνεια (έστω x) να είναι μικρότερη των 8,5m

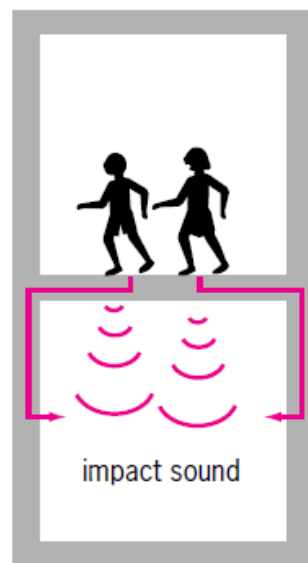
$$2 \cdot x_{max} = v_{αέρα} \cdot \delta t_{max} \Rightarrow x_{max} = 8.5m$$

Σε περίπτωση που δεν μπορούμε να εξασφαλίσουμε μικρότερη απόσταση από αυτήν μεταξύ κάθε ακροατή και κάθε ανακλαστικής επιφάνειας πρέπει να βάλουμε στους τοίχους των οποίων η ανάκλαση είναι ανεπιθύμητη (κατά κανόνα στους τοίχους πίσω και πλάγια από τους μαθητές) απορροφητικές διατάξεις. Υλικά όπως ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας συμβάλλουν στην απορρόφηση, ειδικά στις χαμηλές συχνότητες.



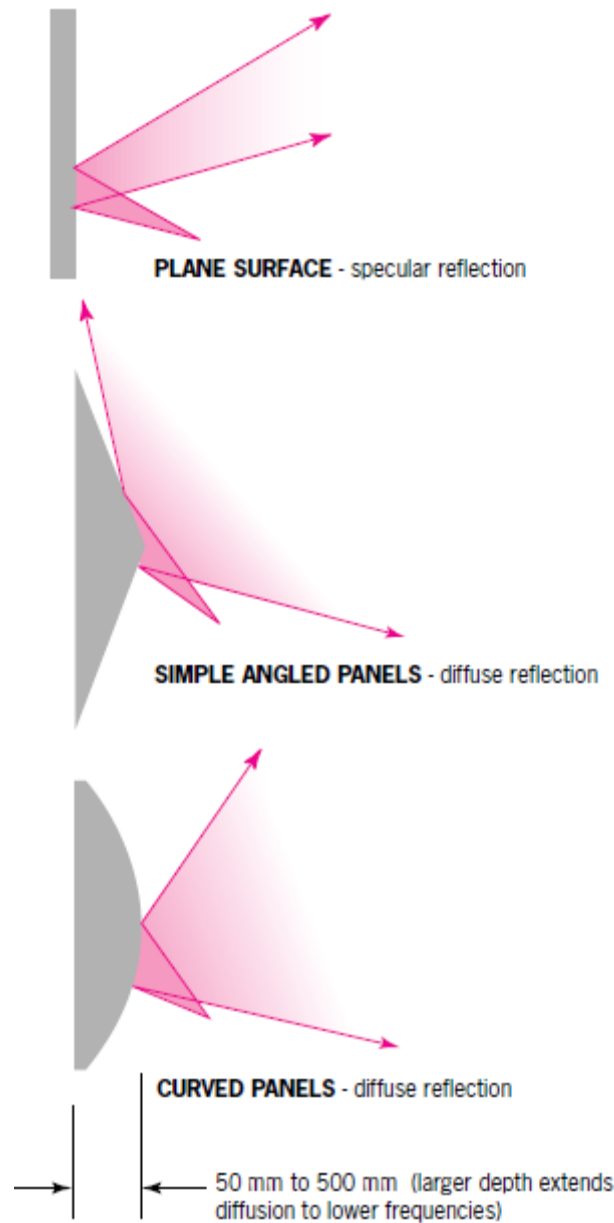
Η απόσταση κάθε ακροατή από την επιφάνεια ανάκλασης πρέπει να είναι μικρότερη των 8,5m. Αλλιώς καθίσταται αναγκαία η χρήση ηχοαπορροφητικών διατάξεων.

Η τοποθέτηση χαλιού/μοκέτας συμβάλει ιδιαίτερα τόσο στην μείωση του χρόνου αντήχησης, κυρίως απορροφά ηχητικά κύματα στις ψηλές συχνότητες, αλλά και στη μείωση του κτυπογενούς θορύβου από τις καρέκλες, τα θρανία και τα βήματα τόσο μέσα στην ίδια την αίθουσα όσο και στην από κάτω (βλέπε σχήμα). Παρόλ' αυτά, είναι δύσκολο να καθαριστεί και εκεί συσσωρεύεται σκόνη και ακάρεα, τα οποία είναι επιβλαβή για το αναπνευστικό σύστημα, κυρίως στα παιδιά που πάσχουν από άσθμα. Έτσι, δε συνίσταται πάντα η χρήση της.



Κτυπογενής θόρυβος από την πάνω στην κάτω τάξη, ο οποίος μπορεί να περιοριστεί με χρήση μοκέτας.[11]

Πέρα από τις σημαντική προσφορά που έχουν η μείωση του όγκου μιας αίθουσας καθώς και η χρήση απορροφητικών υλικών μπορεί να γίνει χρήση και του φαινομένου της διάχυσης του ήχου. Με την τοποθέτηση σε έναν τοίχο ενός στοιχείου που συμβάλλει στη διάχυση (υλικά με σχισμές και εγκοπές, τριγωνικά ή κυκλικά εξογκώματα), τότε ο ήχος που φτάνει στο στοιχείο αυτό διασπείρεται σε πολλές κατευθύνσεις, άρα ανά κατεύθυνση ο ήχος «σβήνει» γρηγορότερα.

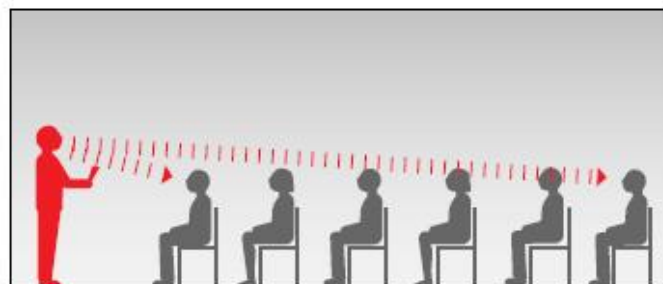


Συμβολή των επιφανειών στην ανάκλαση και διάθλαση του ήχου

Για την αποφυγή της δημιουργίας στάσιμων κυμάτων πρέπει να μελετηθούν και οι αναλογίες των διαστάσεων τις αίθουσας. Στάσιμα κύματα δημιουργούνται κυρίως στις χαμηλές συχνότητες όπου το μήκος κύματος είναι σχετικά μεγάλο και συγκρίσιμο με το μήκος των διαστάσεων της αίθουσας. Όταν το μήκος κάποιας διάστασης της αίθουσας είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος τότε το προσπίπτον με το ανακλώμενο κύμα σε μία επιφάνεια είναι συμφασικά, με αποτέλεσμα την αυτό-ενίσχυση του αρχικού κύματος που συμβάλει με τον εαυτό του. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται και τα στάσιμα κύματα, στα οποία οφείλεται η γνώριμη «ηχώ» τόσο στις τουαλέτες όσο και στα πηγάδια. Για τον περιορισμό των στάσιμων κυμάτων, αλλά και του flutter echoe, πέρα από την προσθήκη ηχοαπορροφητικών υλικών και υλικών που προκαλούν διάχυση στους τοίχους και τη σωστή αναλογία διαστάσεων, συμβάλει και η μη παράλληλη τοποθέτηση των τοίχων, περίπου με 8 μοίρες κλίση.

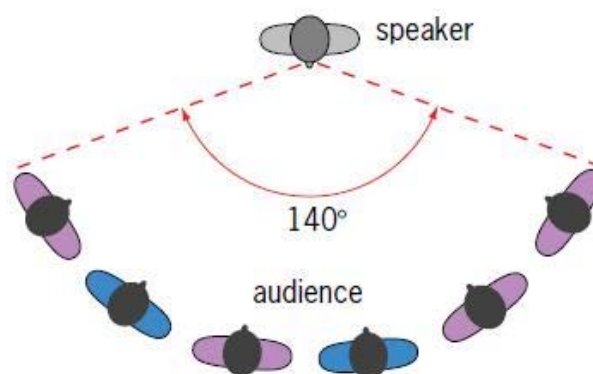
Παρόλο που η Ελληνική αγορά τα τελευταία χρόνια έχει εμπλουτιστεί με αντικείμενα διαθέσιμα στο εμπόριο εξειδικευμένα για την ακουστική διαμόρφωση ενός χώρου, ενδεχομένως να μην είναι εφικτή και οικονομικά συμφέρουσα η ευρεία χρήση τους σε όλες τις σχολικές μονάδες. Πραχτικές λύσεις μπορούν να εφαρμοστούν ως αντικατάστατα των εξειδικευμένων αυτών εξαρτημάτων. Η πλούσια επίπλωση σε μία αίθουσα (βιβλιοθήκες, ράφια με βιβλία, πίνακες ανακοινώσεων από φελλό, κρεμάστρες για τα μπουφάν, ντουλαπάκια φύλαξης αντικειμένων, χειροτεχνίες κρεμασμένες στον τοίχο) συμβάλλουν καθοριστικά στη βελτίωση της ακουστικής μιας αίθουσας. Η συνεισφορά τους έγκειται στη μείωση του όγκου της αίθουσας –ειδικά από τα ογκώδη αντικείμενα (βιβλιοθήκες, ντουλάπες) -, στην αύξηση της απορροφητικότητας –από τα μαλακά, πορώδη υλικά (κουρτίνες, μπουφάν, φελλοί, βιβλία)- καθώς και στην αύξηση των ηχητικών ανακλάσεων με τυχαίο τρόπο ώστε να μειώνεται πολύ γρηγορότερα η ηχητική ενέργεια απ’ ότι αν είχαμε άδειους τοίχους.

Μέχρι τώρα προτείναμε τρόπους για τη μείωση των ανακλάσεων και τον περιορισμό της ακουστικής ενέργειας στην αίθουσα. Παρόλ’ αυτά, κάποιες ανακλάσεις είναι χρήσιμες και θα πρέπει να ενισχυθούν. Είναι αναγκαίο ο ήχος από τον ομιλητή να φθάνει σε κάθε ακροατή ευθέως, σε ευθεία, από τον ομιλητή. Με τον τρόπο αυτό, το σήμα δε χάνει μεγάλο κομμάτι της ενέργειας του λόγω απορρόφησης σε μπροστινούς μαθητές. Επίσης, οι μαθητές μπορούν να βλέπουν το στόμα του καθηγητή, κάτι το οποίο συμβάλλει πολύ στην κατανόηση της ομιλίας.



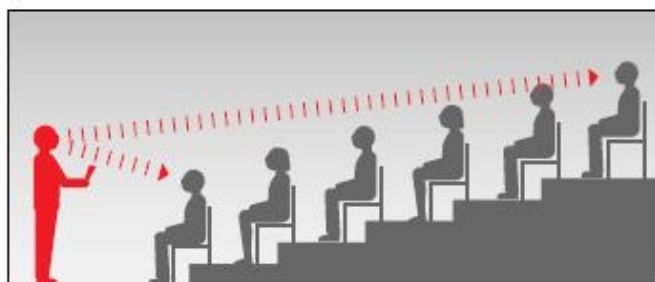
Ο ήχος από τον ομιλητή πρέπει να φθάνει σε κάθε ακροατή ανεμπόδιστα και σε ευθεία

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ιδανική διάταξη ομιλητή και ακροατών.



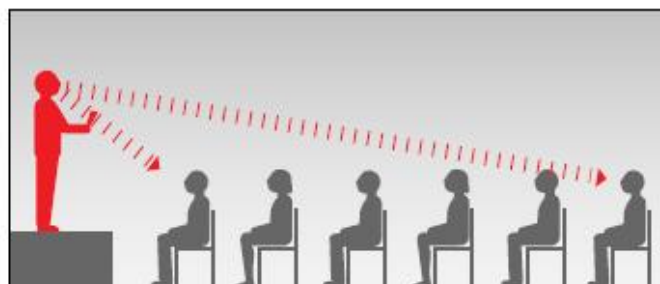
Ιδανική διάταξη ομιλητή – ακροατηρίου

Για πραχτικούς λόγους όμως, η διάταξη που χρησιμοποιείται ευρέως στις σχολικές αίθουσες είναι να είναι ο ένας μαθητής πίσω από τον άλλο και ο καθηγητής να τους αντικρίζει κατά μέτωπο. Μια λύση είναι οι αίθουσες να είναι αμφιθεατρικές.



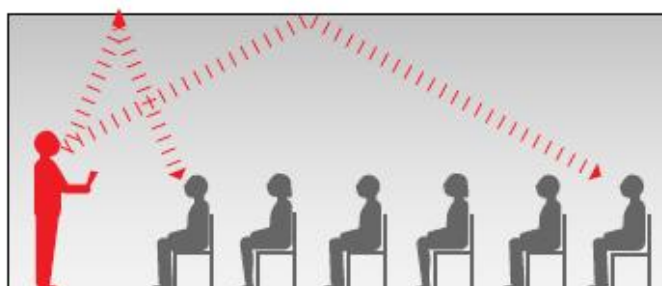
Αμφιθεατρική αίθουσα

Κατασκευαστικά όμως αυτό είναι ασύμφορο. Γι αυτό, πρέπει η έδρα του καθηγητή να είναι περίπου 20cm ψηλότερα από τα θρανία των μαθητών, να στηρίζεται δηλαδή σε ένα βήμα.



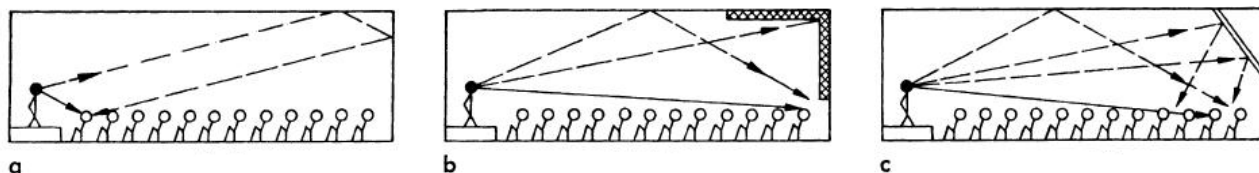
Καθηγητής υψωμένος σε βήμα

Ακόμα και με αυτό τον τρόπο όμως, στα τελευταία θρανία ο ήχος φτάνει εξασθενημένος (η ένταση του ήχου μειώνεται σε σχέση με την απόσταση με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου). Γι αυτό χρειάζεται κάποια ενίσχυση. Η ενίσχυση αυτή επιτυγχάνεται από κάποιες επιθυμητές ανακλάσεις του ήχου. Ο ελάχιστος χρόνος που χρειάζεται το αυτί για να διακρίνει δύο ήχους ξεχωριστά είναι το ένα εικοστό του δευτερολέπτου (50 milliseconds). Επομένως, για να αντλαμβάνεται ο μαθητής τον ανακλώμενο ήχο ως ένα με τον απευθείας, και όχι σαν ηχώ, πρέπει η χρονική διαφορά της άφιξης των δυο κυμάτων (ανακλώμενου και απευθείας) να είναι μικρότερη των 50msec.



Για να έχουμε αξιοποιήσιμη ενίσχυση χωρίς δημιουργία ηχούς πρέπει οι ανακλάσεις να φτάνουν στο αυτί το πολύ 50millisecond μετά το απευθείας σήμα.

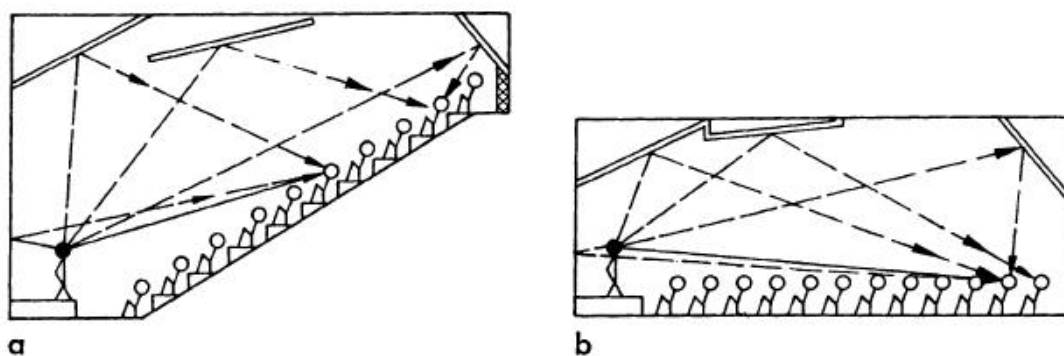
Με βάση την παραπάνω παρατήρηση, πρέπει να επισημάνουμε ότι μεγάλο ποσοστό της ηχούς οφείλεται στις ανακλάσεις στις γωνίες μεταξύ του πίσω τοίχου και της οροφής. Για την αποφυγή τους πρέπει οι περιοχές αυτές να καλύπτονται από ηχοαπορροφητικά υλικά ή από ανακλαστές που θα κατευθύνουν σε επιθυμητές κατευθύνσεις τις ανακλάσεις.



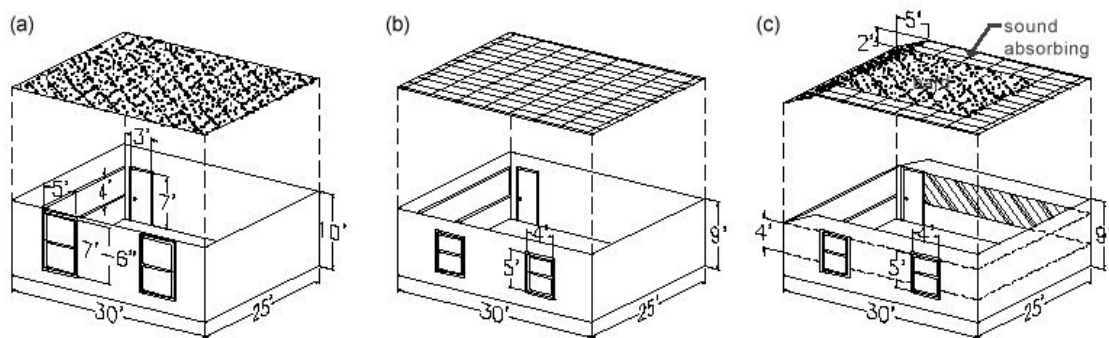
Ανακλάσεις σε γωνίες. α ανεπιθύμητη περίπτωση, β και γ επιθυμητές περιπτώσεις[12]

Ειδικά στις μεγάλες αίθουσες, αν προσθέσουμε οροφή από απορροφητικό υλικό και λόγω της απορρόφησης από τους μαθητές, η ένταση του ήχου στα πίσω θρανία θα είναι περιορισμένη. Επομένως, πρέπει το κέντρο της οροφής να είναι από σκληρή, ανακλαστική επιφάνεια. Έτσι, καταλήγουμε σε μία οροφή μερικώς ανακλαστική και μερικώς απορροφητική. Για να διευκολυνθεί η κατασκευή μιας τέτοιας πολύπλοκης οροφής, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πλέγμα στο οποίο το κέντρο θα χρησιμοποιήσουμε πλακάκια από σκληρό υλικό (πχ γύψος) ενώ στην περιφέρειά του από ηχοαπορροφητικό. Επίσης, οι επιφάνειες πίσω και πάνω από τον καθηγητή πρέπει και αυτές να είναι ανακλαστικές. Σε ειδικές περιπτώσεις, μπορεί να χρειαστούν επικουρικές επικλινείς ανακλαστικές επιφάνειες από σκληρά υλικά, όπως κόντρα πλακέ στο μπροστινό μέρος της αίθουσας, πάνω από τον καθηγητή. Με τον τρόπο αυτό, ακόμα και να χαθεί κομμάτι από την ενέργεια των απευθείας ηχητικών κυμάτων μεταξύ καθηγητή και μαθητή, λόγω των μπροστινών μαθητών, θα καλυφθεί το ενεργειακό κενό από τα ανακλώμενα από την οροφή ηχητικά κύματα. Όμως, όσο περισσότερες ανακλαστικές επιφάνειες χρησιμοποιούμε, πρέπει πάντα να εξετάζουμε τις επιπτώσεις τους όσον αφορά τον χρόνο αντήχησης, και σε περίπτωση αύξησής του να χρησιμοποιήσουμε επιπλέον απορροφητικές επιφάνειες.

Παρακάτω, παρουσιάζονται αίθουσες με χρήση ειδικών ανακλαστών για τη δημιουργία επιθυμητών ανακλάσεων, ώστε ο ήχος να φτάνει σε όλους τους ακροατές με κατάλληλη ένταση. Σε αίθουσες όμως με ρεαλιστικό μέγεθος αυτό το μέτρο κρίνεται υπερβολικό.

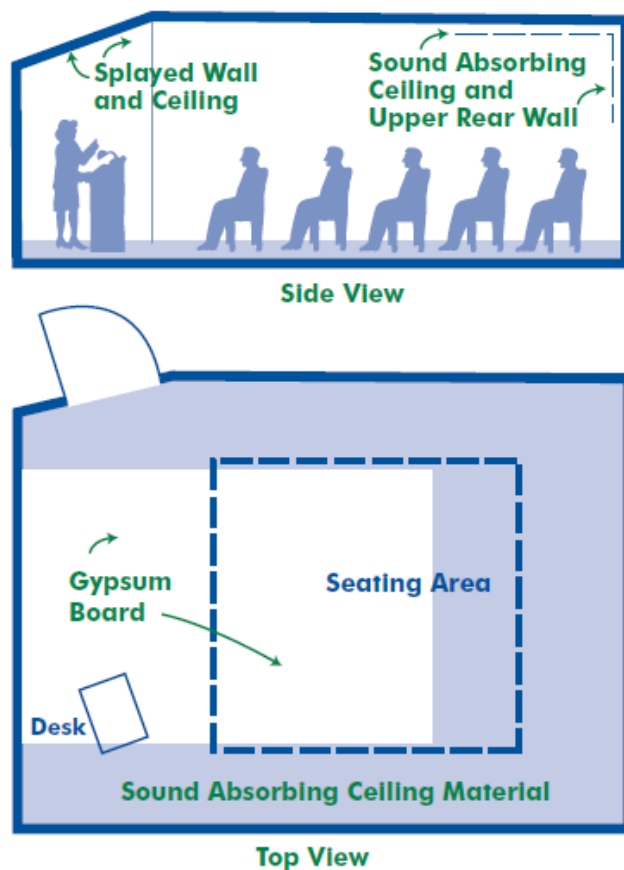


*α. Ανακλαστές για αμφιθεατρική αίθουσα[12]
β. Ανακλαστές για κανονική αίθουσα[12]*



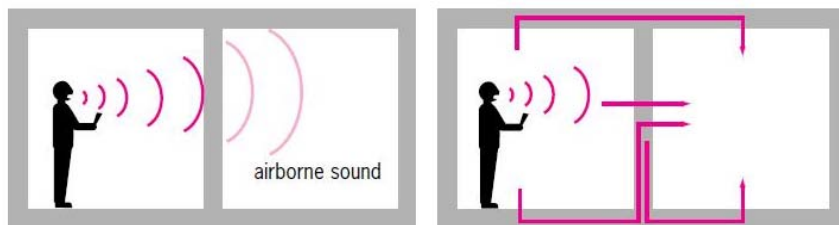
Η αίθουσα (a) είναι μια τυπική ελληνική αίθουσα, με ταβάνι από σκληρό, ανακλαστικό υλικό, χωρίς ηχοαπορροφητικά υλικά στους τοίχους, με μεγάλο αναμενόμενο χρόνο αντήχησης. Η αίθουσα (b) είναι μια βελτιωμένη εκδοχή της (a) αφού έχει ταβάνι από ηχοαπορροφητικό υλικό. Η αίθουσα (c) είναι μια ιδανική ακουστικά αίθουσα. Έχει η οροφή πάνω από τον καθηγητή είναι επικλινή ανακλαστική, η υπόλοιπη οροφή είναι στο κέντρο ανακλαστική ενώ στην περιφέρεια απορροφητική και στους τοίχους υπάρχουν ειδικά απορροφητικά πάνελ στους τοίχους, εκτός από αυτόν πίσω από τον καθηγητή που πρέπει να είναι ανακλαστικός. [26]

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η αίθουσα (c) του παραπάνω σχήματος.



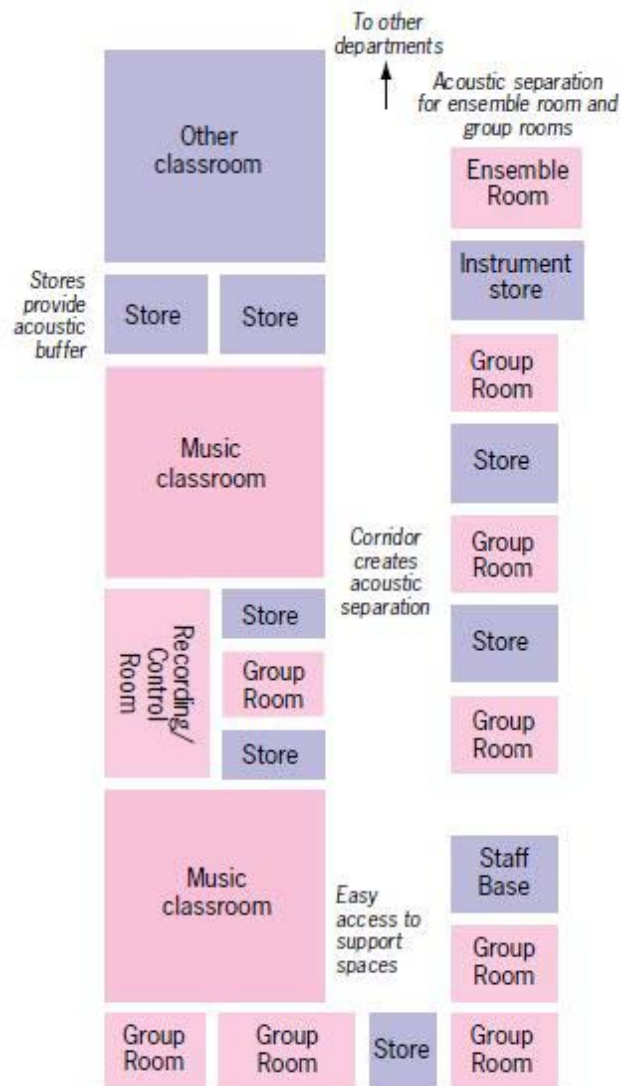
Κάτοψη και πλάγια όψη αίθουσας (c) [28]

Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ηχομόνωση μεταξύ των αιθουσών που γειτνιάζουν. Στα σχολικά συγκροτήματα τα οποία χτίστηκαν σε παλιότερες δεκαετίες, οι κατασκευές ήταν «βαριές», από χοντρά τούβλα ή μπετόν, ή πέτρα. Τα υλικά αυτά εξασφάλιζαν ικανοποιητική ηχομόνωση. Στις σύγχρονες κατασκευές, που επιλέγονται να είναι πιο ελαφριές, με μια σειρά από τούβλα ανάμεσα στις αίθουσες (δρομικοί τοίχοι), η ηχομόνωση είναι πολλές φορές ανεπαρκής.



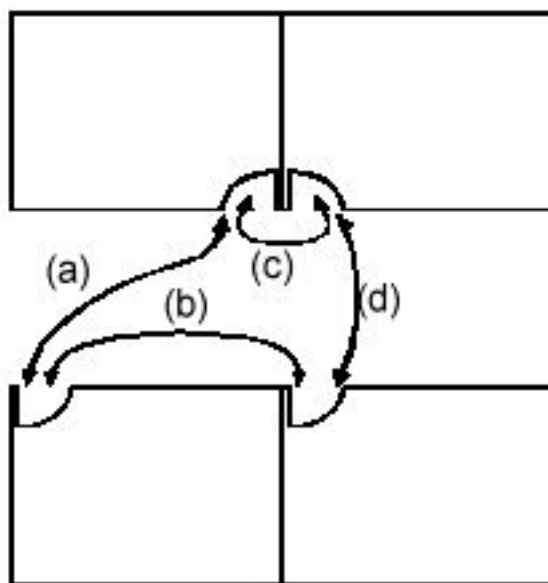
Τρόποι μετάδοσης θορύβου διαμέσου του τοίχου δύο αιθουσών που γειτνιάζουν [11]

Όμως, ακόμα και με τη χρήση μονής σειράς από τούβλα, αν γίνει κατάλληλη μελέτη εξαρχής το πρόβλημα αυτό μπορεί να περιοριστεί. Πρέπει να γίνει διάκριση των χώρων ενός σχολείου αναφορικά με το ποιο παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο θορύβου (κλιμακοστάσια, αίθουσες μουσικής, κυλικεία, γυμναστήρια) και ποιο όχι (διάδρομοι, δωμάτια καθαριστριών, αποθήκες, γραφεία καθηγητών). Οι πρώτοι πρέπει να τοποθετηθούν μακριά από τις αίθουσες διδασκαλίας. Απεναντίας, οι δεύτεροι, πρέπει να τοποθετηθούν ανάμεσα στις αίθουσες και να λειτουργήσουν ως χώροι στους οποίους απομονώνεται ο θόρυβος εκεί και άρα δεν διαπερνάται από τη μία αίθουσα στην άλλη (buffer areas).



Παράδειγμα διάταξης των αιθουσών με χρήση των *buffer areas*. [11]

Μια επαρκής ηχομόνωση από τους τοίχους όμως πολλές φορές δεν είναι αρκετή. Τα παράθυρα, οι πόρτες, μικρά κενά, ρωγμές μπορούν πολλές φορές να αναιρέσουν την ικανοποιητική ηχομόνωση που οφείλεται στους τοίχους. Τα κενά στο κάτω μέρος των τοίχων ή μεταξύ παραθύρων, πορτών και τοίχων πρέπει να καλύπτονται με ειδικά ηχομονωτικά υλικά ώστε να αποφεύγεται η ηχητική διαρροή. Επίσης, συνίσταται η χρήση παραθύρων με διπλά τζάμια και συμπανών πορτών, οι οποίες να είναι σφραγισμένες. Για την αποφυγή διείσδυσης θορύβου από γειτονικές τάξεις παίζει ρόλο και η θέση των πορτών μεταξύ τους. Πρέπει να αποφεύγεται οι πόρτες να είναι αντικριστά, αλλά να βρίσκονται κατά το δυνατόν στη μακρύτερη διαδρομή.

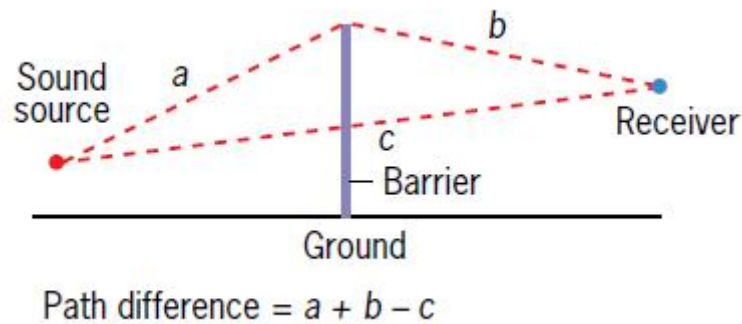


Οι διαδρομές (a) και (b) είναι περισσότερες ενδεδειγμένες καθότι ο θόρυβος που εξέρχεται από τη μια πόρτα διανύει μεγάλη διαδρομή μέχρι να εισέλθει στην άλλη, επομένως φτάνει περιορισμένος. Αντίθετα, στις διαδρομές (c) και (d) ο θόρυβος δεν προλαβαίνει να μειωθεί και επιβαρύνει περαιτέρω την αίθουσα στην οποία εισέρχεται. [26]

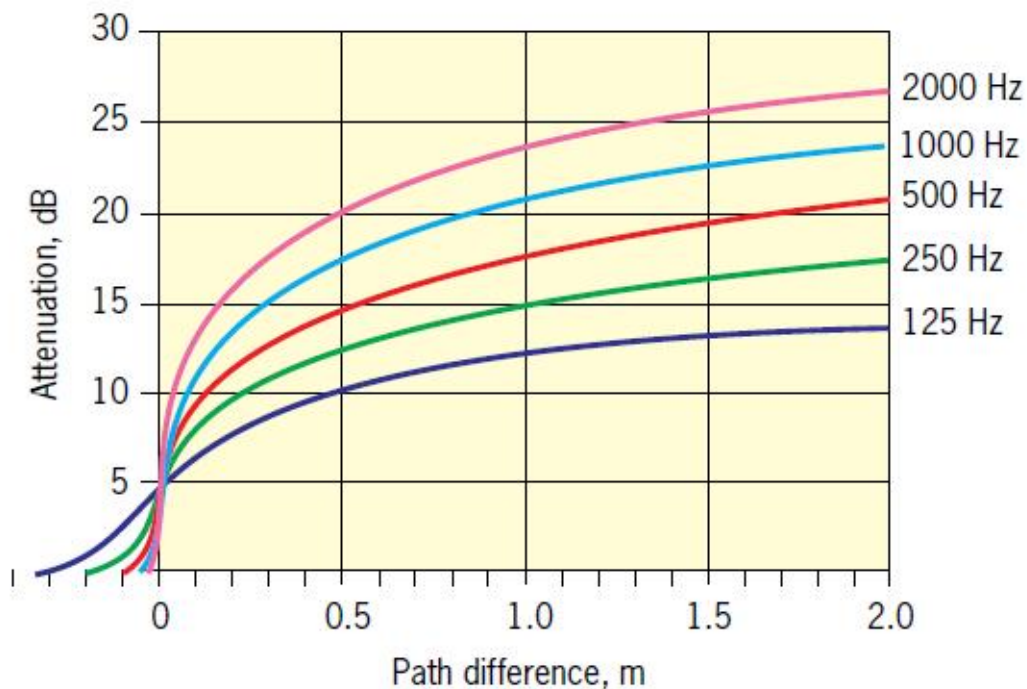
Όσον αφορά τους εξωτερικούς τοίχους, δεν υπάρχουν τεχνάσματα ώστε να επιτυγχάνεται ηχομόνωση ακόμα και με λεπτούς τοίχους. Οι τοίχοι πρέπει να είναι από μπετόν ή από βαρύ τούβλο (225mm) και τα παράθυρα διπλά και στεγανοποιημένα. Με τον τρόπο αυτό, πέρα από ηχητική θα επιτευχθεί και θερμική μόνωση. Για τον περιορισμό του θορύβου της περιοχής τα σχολεία πρέπει να χτίζονται τουλάχιστον 100m από σημαντικές πηγές θορύβου (αυτοκινητόδρομοι, γραμμές τρένου). Όσον αφορά σχολεία που είναι κτισμένα κοντά σε αεροδρόμια η απόσταση πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη και πρέπει να ληφθούν επιπλέον μέτρα ηχομόνωσης. Επίσης, πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο τα παράθυρα να είναι μόνιμως κλειστά και να υπάρχει τεχνητός εξαερισμός. Σε γενικές γραμμές, όταν το $L_{Aeq,30min}$, όσον αφορά το επίπεδο των εξωτερικών θορύβων, είναι μεγαλύτερο από 60dB τότε δε συνίσταται η χρήση των παραθύρων ως πηγές εξαερισμού.

Σημαντικά περισσότερη μείωση θορύβου επιτυγχάνεται με χρήση φραγμάτων θορύβου, συγκριτικά με αυτήν με χρήση της απόστασης ασφαλείας των 100 μέτρων. Ειδικά, για πολλές σχολικές μονάδες οι οποίες είναι χτισμένες επί αυτοκινητοδρόμου, ειδικά στις μεγάλες πόλεις στις οποίες οι ελεύθεροι χώροι σπανίζουν, είναι επιτακτική η χρήση τέτοιων

φραγμάτων θορύβου. Η ιδιότητα στην οποία στηρίζονται τα φράγματα θορύβου έγκειται στο ότι ο θόρυβος δεν μπορεί να περάσει απευθείας από την πηγή προς τον παραλήπτη, αλλά περνάει πάνω από το φράγμα, διανύοντας μια σημαντικά μεγαλύτερη απόσταση από την αρχική, με αποτέλεσμα η ηχητική ενέργεια να εξασθενίζει. [11]



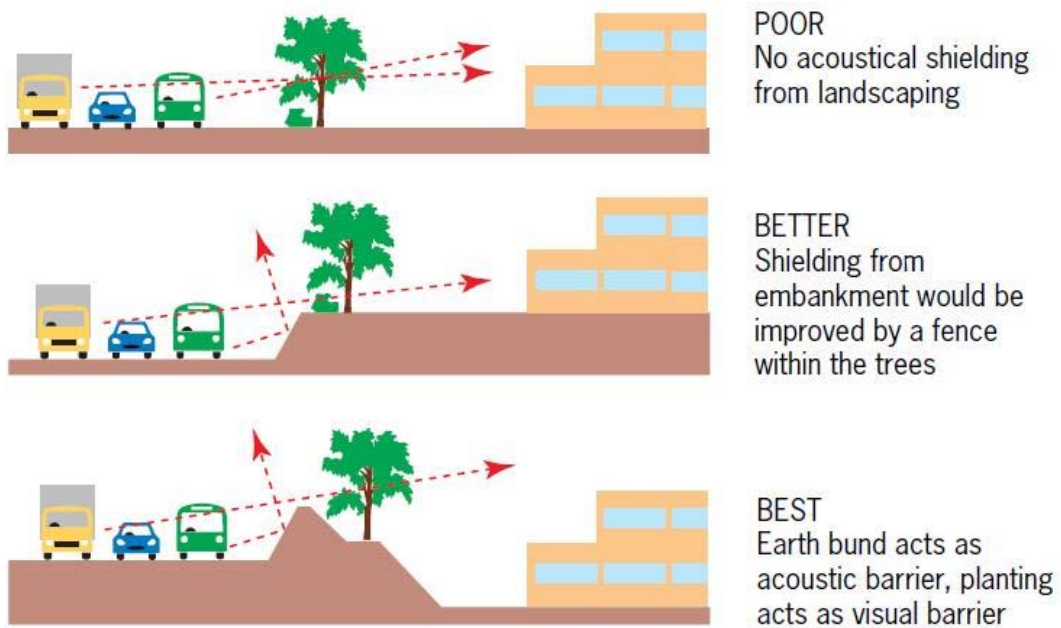
Ένας ιδανικός φράκτης θα έπρεπε να πετυχαίνει απόλυτη μόνωση και ο θόρυβος διαμέσου της διαδρομής (c) (βλέπε σχήμα) να είναι μηδενικός. Σημαντική ηχομόνωση προσφέρει ένας ξύλινος φράκτης με πυκνότητα $12\text{kg} / \text{m}^2$. Η ικανότητα μείωσης του θορύβου σε σχέση με τη συχνότητα και τη διαφορά διαδρομής (path difference) φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



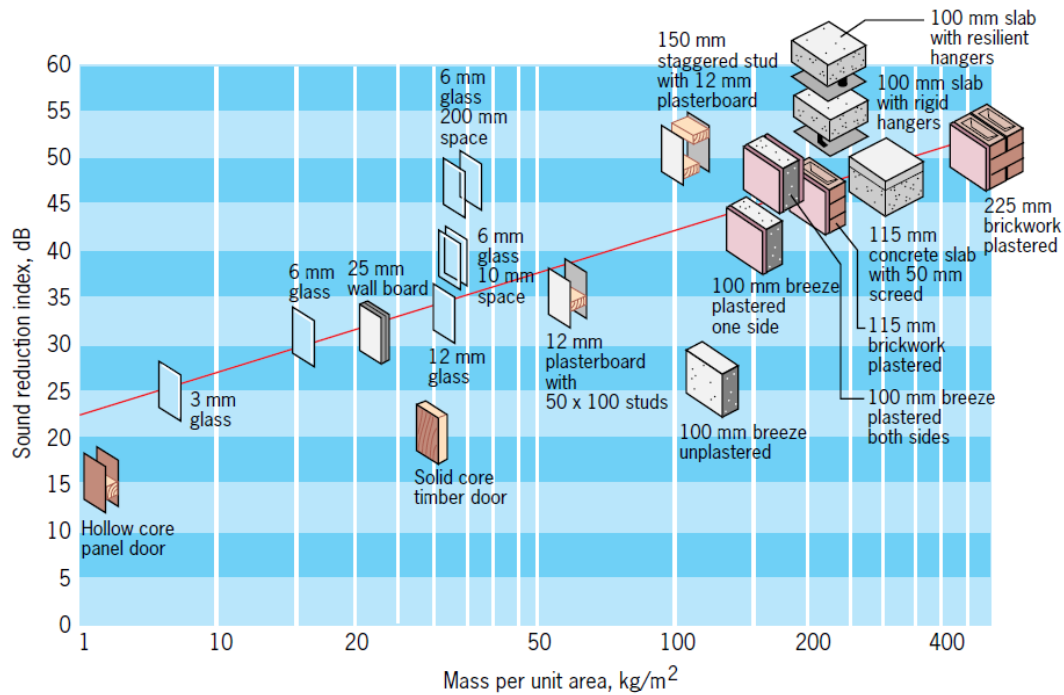
Η ικανότητα μείωσης του θορύβου σε σχέση με τη συχνότητα και τη διαφορά διαδρομής (path difference)[11]

Παρατηρούμε ότι στις χαμηλές συχνότητες η μείωση δεν είναι υψηλή. Πρέπει λοιπόν σε κάθε περίπτωση να γίνει φασματική ανάλυση του θορύβου και αν μετρηθεί έντονος θόρυβος στις χαμηλές συχνότητες (το οποίο αναμένεται κυρίως αν το σχολείο είναι χτισμένο σε δρόμο με φανάρια και τα αυτοκίνητα είναι ακινητοποιημένα με τον κινητήρα ανοιχτό για αρκετή ώρα ανά συχνά διαστήματα μπροστά από το σχολείο) να παρθούν ειδικά μέτρα. Για καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα συνίσταται και η χρήση φυτών (δέντρων και θάμνων). Τα φυτά συμβάλουν και στην ηχομόνωση από εξωτερικούς θορύβους, αφού συμβάλλουν στη διάχυση τους, αλλά περιορισμένα.

Τέλος, μπορεί να γίνει και χρήση της μορφολογίας του εδάφους της περιοχής. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ορισμένα παραδείγματα τέτοιας χρήσης. [11]



Παρακάτω, παρουσιάζεται ένα χρήσιμο σχήμα για πολιτικούς μηχανικούς και εργολάβους κατασκευών, το οποίο δίνει στοιχεία για την ικανότητα ηχομόνωσης κάποιων υλικών.



Δείκτες ηχομονωτικής ικανότητας δομικών υλικών[11]

Εκτός όμως από τις δομικές – τεχνικές προτάσεις, μπορούν να αξιοποιηθούν ακόμα πρακτικότερες λύσεις. Προτείνεται η θέσπιση μαθημάτων ορθοφωνίας στους καθηγητές, γεγονός που θα βελτίωνε ριζικά την καταληπτότητά τους στο ακροατήριο. Επίσης, είναι αναγκαία η προσπάθεια οι αίθουσες να φιλοξενούν όσο το δυνατόν λιγότερους μαθητές. Σε μία έρευνα στην Πολωνία υποστηρίζεται ότι ο μέγιστος αριθμός μαθητών ανά αίθουσα πρέπει να είναι 25, ώστε να εξασφαλίζονται καλές ακουστικές συνθήκες. Όταν ο αριθμός των μαθητών υπερβαίνει τους 30 αναμένεται η μέση στάθμη θορύβου να αυξηθεί κατά 3dB. [19],[20]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι συνθήκες που συμβάλουν στη βελτίωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας πρέπει να είναι διαχρονικό μέλημα της πολιτείας. Αφού η ενδεχομένως κυριότερη συνθήκη είναι η ακουστική των σχολικών αιθουσών το αντικείμενο αυτό χρήζει συνεχούς μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένα αντικείμενα στα οποία θα μπορούσε να επικεντρωθεί η μελέτη αναφέρονται παρακάτω.

Η επιστημονική συμβολή στη θέσπιση συγκεκριμένης νομοθεσίας η οποία να ορίζει με σαφήνεια, πληρότητα και αυστηρότητα την ολότητα των ακουστικών παραμέτρων. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να οριστούν συγκεκριμένα οι ακουστικές παράμετροι και οι επιθυμητές τιμές τους και να γίνουν προτάσεις για το πώς αυτές θα επιτευχθούν. Παράλληλα, πρέπει να γίνει υλικοτεχνική μελέτη ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι προτάσεις αυτές είναι υλοποιήσιμες και οικονομικά προσιτές. Επίσης, να καταρτιστεί το τεχνικό προσωπικό των σχολείων ώστε να ελέγχει και να συντηρεί τα μέσα που θα υιοθετηθούν για μια καλή ακουστική στις αίθουσες.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ραγδαία όχι μόνο στις αίθουσες πληροφορικής αλλά σε κάθε μάθημα στην κύρια αίθουσα διδασκαλίας κάθε τμήματος. Παρόλο που ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι ακαδημαϊκά και κοινωνικά μια πρόκληση και μπορεί να συμβάλει καταλυτικά στη βελτίωση και εκσυγχρονισμό του μαθήματος εμπεριέχει έναν κίνδυνο, αυτόν την αύξηση του θορύβου βάθους (background noise). Ενδεικτικά, μια αίθουσα σε πολύ ήσυχο περιβάλλον έχει θόρυβο βάθους γύρω στα 30dB. Αν υπάρχουν παράλληλα 15-20 υπολογιστές σε κατάσταση λειτουργίας η τιμή αυτή θα αυξηθεί περίπου κατά 10dB, ίσως και παραπάνω. Αυτό εισάγει μια νέα πραγματικότητα αναφορικά με την ακουστική των αιθουσών και χρήζει ειδικής μελέτης.

Η διάταξη που διαχρονικά επιλέγεται στην Ελλάδα κατά την εκπαιδευτική διαδικασία είναι τα θρανία παραταγμένα το ένα πίσω από το άλλο κοιτώντας προς τον πίνακα και τον καθηγητή, με τον τελευταίο να μιλάει κατά μέτωπο προς τους μαθητές. Οι νέες τάσεις στην εκπαίδευση είναι το μάθημα να γίνει περισσότερο διαδραστικό, τα θρανία να βρίσκονται σε κυκλική ή ασύμμετρη διάταξη, με τον καθηγητή να περιφέρεται ή να βρίσκεται στο κέντρο της αίθουσας. Μια τέτοια διάταξη αλλάζει ριζικά την ακουστική συμπεριφορά του μαθήματος καθώς η κύρια ηχητική πηγή (καθηγητής) και οι δέκτες (μαθητές) αλλάζουν θέση. Επομένως, η θέση ανακλαστικών ή ηχοαπορροφητικών επιφανειών δεν μπορεί να είναι η ίδια όπως σε μία τάξη που ακολουθεί το σημερινό πρότυπο μαθήματος. Εφόσον υιοθετηθεί ένα νέο στυλ εκπαίδευσης πρέπει να γίνει εκ νέου ακουστική μελέτη. Επιπρόσθετα, θα ήταν σκόπιμο να συνυπολογισθεί στη μελέτη η χρήση ηλεκτροακουστικής υποστήριξης ή η παρουσία περισσότερων του ενός καθηγητών κατά τη διάρκεια του μαθήματος.

Τέλος, η ακουστική μελέτη χώρων στα σχολεία πέρα από τις κατεξοχήν σχολικές αίθουσες είναι ένα παρθένο αντικείμενο με πολλές προεκτάσεις και εξαιρετική συμβολή στην εκπαιδευτική διαδικασία. Επερχόμενες μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν στην

ακουστική των αιθουσών μουσικής, των χώρων πολλαπλών χρήσεων, των γυμναστηρίων, των βιβλιοθηκών, των σχολικών θεάτρων, του χώρου προαύλισης, του χώρου σίτισης κ.α.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ

1. Acoustical Society of America : ANSI/ASA S12.60-2010/PART 1, American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools
2. Acoustical Society of America : ANSI/ASA S12.60-2009/PART 2, American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 2: Relocatable Classroom Factors
3. Beranek L. : Acoustics
4. Bruel & Kjaer : Environmental Noise Measurement
5. Bruel & Kjaer : Measurement Microphones Measuring Sound
6. Bruel & Kjaer : Measurement in Building Acoustics
7. Bruel & Kjaer : Measuring Sound
8. Bruel & Kjaer : Product Data, 2250 Reverberation time software – BZ 7227 - for hand held analyzer – Type 2250F and post processing software: Qualifier Light Type 7831, bp2152
9. Bruel & Kjaer : Sound Intensity
10. Christensen Claus Lyngge: ODEON import of CAD files in the DXF format – problems and solutions, 2007
11. DfES Project Team: Building Bulletin 93, Acoustic Design of Schools
12. DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen..1968
13. DIN EN 12354-6 : Bauakustik. Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 6: Schallabsorption in Räumen; Deutsche Fassung EN 12354-6:2003, April 2004
14. Evans, G. W.: The motivational consequences of exposure to noise. In: Carter, N.; Job, S.(Eds.): Noise Effects '98. 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem. Sydney, 1998, Vol. 1; p. 311-320.
15. Evans, G.W., Hygge, S.; Bullinger, M.: Chronic noise and psychological stress. Psychological Science, 1995, 6, 333-338.
16. Everest Alton, Pohlmann Ken: Master Handbook of Acoustics
17. Geffner, D.; Lucker, J.R.; Koch, W.: Evaluation of auditory discrimination in children with ADD and without ADD. Child Psychiatry and Human Development 1996, 26(3), 169-180.
18. Keränen J., Larm P., Hongisto V.: Simple Application of STI-Method in predicting Speech Transmission in Classrooms
19. Koszarny, Z.; Jankowska, D.: Determination of acoustic climate inside high schools in comparison with elementary schools. Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny 1996, 47 (4), 423-439.
20. Koszarny, Z.; Jankowska, D.: Determination of acoustic climate inside elementary. Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny 1995, 46 (3), 305-314.
21. Niu, W.: Effects of various white noise levels on psychological cognition of school children. Chinese J. of Preventive Medicine 1990, 26 (6), 344-346.
22. Odeon Room Acoustics, User Manual Version 10.1
23. Rindel Jens Holger, Christensen Claus Lyngge: Room Acoustic Simulation and Auralization – How close can we get to the real room?, 2003
24. Russel Brett : Classroom acoustics – the DfES' recommendations: BATOD Magazine February 02

25. *Schubert G.*: Κύκλος Διαλέξεων IEMA, Εφαρμογές της Ακουστικής στη Δόμηση, Ακουστική Σχολικών Αιθουσών
26. Seep Benjamin, Glosemeyer Robin, Hulce Emily, Linn Matt, Aytar Pamela and Coffeen Bob : CLASSROOM ACOUSTICS, a resource for creating learning environments with desirable listening conditions : Acoustical Society of America
27. Sofia A Sanz , Ana M Garcia, and Amando Garcia : Road traffic noise around schools: a risk for pupil's performance?
28. Wetherill E.: Classroom design for good hearing
29. Αραμπατζή Κ. : «Ακουστική αιθουσών διδασκαλίας. Μελέτη των διεθνών προτύπων και κανονισμών. Πραγματοποίηση μετρήσεων σε αίθουσες διδασκαλίας στην Κρήτη και για την αποτίμηση της ακουστικής ποιότητας των ελληνικών σχολικών κτηρίων»: Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας, ΤΕΙ Κρήτης
30. Ζέρβας Ε., Τσακίριδης Ο., Ζώης Η.: Σημειώσεις Εργαστηρίου «Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος»
31. Καμπουράκης Γ. : Η Ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας και η επιπτώσεις της στην επικοινωνία
32. Καραγιάννης Γ., Ραγκούση Μ.: Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων, Εκδόσεις Συμεών
33. Κτιριοδομικός Κανονισμός, άρθρο 12 απόφ. 3046/304/301/3.2.1989
34. Μήτρου Ν: Σημειώσεις για το εργαστήριο, Διαμόρφωση, Φώραση και Εκτίμηση Σημάτων, 2008
35. Μπάρκας Νίκος: Κύκλος Διαλέξεων IEMA, Εφαρμογές της Ακουστικής στη Δόμηση, Προσόψεις Κτιρίων
36. Σκαρλάτος Δ.: Εφαρμοσμένη Ακουστική, Εκδόσεις Gotsi