Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University of Macedonia

Τμήμα Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης

Πτυχιακή εργασία

«Μελέτη της ακουστικής των αιθουσών διδασκαλίας του τμήματος Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης και των επιπτώσεων αυτής στη διαδικασία της μάθησης»

Επιβλέπων : Νηστικάκης Μιχάλης

Συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ: Στάμου Λήδα

Επιμέλεια πτυχιακής: Σουρλατζή Χριστίνα (Α.Μ. 17/10)

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος, 2015

Περιεχόμενα

Εισαγωγή. 4
Κεφάλαιο 1ο 6
1.1. Ιστορική αναδρομή 6
1.2 Νομοθεσία για τον θόρυβο 15
Κεφάλαιο 2ο 21
Βασικές έννοιες της ακουστικής 21
2.1. Ιδιότητες του ήχου 21
2.1.1. Υποκειμενικά Κριτήρια Καλής Ακουστικής 22
2.2. Κύματα 24
2.2.1. Ηχητική ισχύς 27
2.2.2. Ενέργεια των ηχητικών κυμάτων 28
2.2.3. Ακουστική Πίεση (sound pressure) 29
2.2.4. Ανάκλαση, Διάχυση, Διάθλαση και Περίθλαση των ηχητικών κυμάτων 30
2.3. Ηχητικό πεδίο κλειστών χώρων 34
2.3.1. Ανάκλαση του ήχου σε κλειστούς χώρους 34
2.4. Διάχυση σε κλειστούς χώρους 37
2.4.1. Το φαινόμενο της ηχούς σε κλειστούς χώρους 38
2.5. Αντήχηση και χρόνος αντήχησης 40
2.6. Ηχοαπορρόφηση σε κλειστούς χώρους 43
2.6.1. Ηχοαπορροφητικά υλικά 44
Κεφάλαιο 3ο 48
Διαμόρφωση των χώρων 48
3.1 Αίθουσες Ομιλίας 48
3.1.1 Μετρήσεις του βαθμού καταληπτότητας της ομιλίας 49
3.2 Αίθουσες Διδασκαλίας 52
3.2.1 Αίθουσες μουσικής και διδασκαλίας μουσικού οργάνου 58
3.3 Ηχομόνωση 60
3.3.1 Παραδείγματα ηχομόνωσης 60
3.3.2 Ηχομόνωση μεταξύ αιθουσών 62
3.4. Συστήματα ενίσχυσης της φωνής- amplification system 67
Κεφάλαιο 4ο 69
Επιπτώσεις του θορύβου 69
4.1 Οι επιπτώσεις του ακουστικού πεδίου στη μάθηση και την επίδοση των φοιτητών 69
4.2 Οι επιπτώσεις της φτωχής ακουστικής στην επικοινωνία μαθητών-διδάσκοντος 73
4.2.1 Ομιλία 74
4.3. Επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία 85
4.3.1 Λειτουργία της ακοής 86
4.3.2 Επιπτώσεις του θορύβου της αίθουσας διδασκαλίας στην υγεία μαθητών και διδασκόντων 91
Κεφάλαιο 5ο 94
5.1 Περιγραφή των αιθουσών διδασκαλίας του ημιώροφου και της αίθουσας του Εργαστηρίου Υπολογιστών του τμήματος Μ.Ε.Τ. 94
5.2 Αποτελέσματα μέτρησης του χρόνου αντήχησης των αιθουσών διδασκαλίας 99

5.2.1 Αποτελέσματα μετρήσεων των αιθουσών διδασκαλίας των αιθουσών του ημιώροφου 101
5.3 Θεωρητικός υπολογισμός του χρόνου αντήχησης των αιθουσών διδασκαλίας του ημιώροφου 104
5.4 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου 108
5.4.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου για τις αίθουσες διδασκαλίας του ημιώροφου 108
5.4.2 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου για την αίθουσα του Εργαστηρίου Υπολογιστών του τμήματος Μ.Ε.Τ 129
Κεφάλαιο 6ο 149
Συμπεράσματα 149
6.1 Συμπεράσματα Ερωτηματολογίου 149
6.1.1 Αίθουσες Ημιώροφου 149
6.1.2 Αίθουσα Εργαστηρίου Η/Υ του Τμήματος Μ.Ε.Τ. 150
6.2 Συμπεράσματα Μετρήσεων- Αίθουσες Ημιώροφου 151
6.3 Γενικό Συμπέρασμα Ερωτηματολογίου – Μετρήσεων Αιθουσών Διδασκαλίας- Προτάσεις βελτίωσης των αιθουσών διδασκαλίας που μελετήθηκαν151
Επίλογος 153
Παράρτημα 154
Βιβλιογραφία 175

Εισαγωγή

Η ακουστική αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τον σχεδιασμό των χώρων, κάποιοι εκ των οποίων είναι και οι χώροι διδασκαλίας. Ένας χώρος διδασκαλίας με φτωχή ακουστική μπορεί να δημιουργήσει δυσκολία στην κατανόηση της ομιλίας, μειώνοντας την απόδοση του μαθητή καθώς και την αποτελεσματικότητα του καθηγητή κατά την διάρκεια του μαθήματος. Επιπλέον δυσκολεύει και την επικοινωνία μεταξύ τους. Ο έλεγχος του θορύβου, του φαινομένου της αντήχησης και οι αναλογίες ενός χώρου αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την επίτευξη της απαραίτητης ακουστικής (Καμπουράκης, 2005). Αυτές οι παράμετροι πρόκειται να αναλυθούν διεξοδικά.

Η παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται με στόχο να δειχθεί ο τρόπος με τον οποίο οι συνθήκες του περιβάλλοντος διδασκαλίας του τμήματος Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης επιδρούν στην διαδικασία της μάθησης. Κάποιες από τις αίθουσες αυτές χρησιμοποιούνται για ομιλία, κάποιες για μουσική, υπάρχουν όμως και άλλες που συνδυάζουν την ομιλία με την μουσική. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητος ένας σωστός ακουστικός σχεδιασμός.

Οι αίθουσες που επιλέχθηκαν να μελετηθούν είναι οι αίθουσες του ημιώροφου και η αίθουσα του εργαστηρίου υπολογιστών του ΤΜΕΤ. Οι αίθουσες αυτές επιλέχθηκαν για τον εξής λόγο: πρόκειται για αίθουσες διδασκαλίας, δηλαδή αίθουσες όπου γίνονται και μαθήματα μουσικής όπως είναι το μάθημα του dictee, το μάθημα της βυζαντινής μουσικής, των συνόλων τζαζ, καθώς και μαθήματα πιο θεωρητικά, όπως είναι η ανάλυση και η αντίστιξη όπου χρησιμοποιείται κυρίως η ομιλία.

Η διπλωματική έχει τρία σκέλη. Το 1^{ο} σκέλος αφορά το θεωρητικό κομμάτι, και πιο συγκεκριμένα τις έρευνες που έχουν γίνει μέχρι τώρα. Το 2^{ο} σκέλος αφορά τον διαμοιρασμό ερωτηματολογίου σε φοιτητές και καθηγητές, με σκοπό έναν υποκειμενικό τρόπο αξιολόγησης των αιθουσών αυτών και το 3^{ο} αφορά μετρήσεις στις αίθουσες, για ένα πιο αντικειμενικό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια εφόσον γίνει η επεξεργασία των αποτελεσμάτων θα προταθούν πιθανές λύσεις όπου απαιτείται, για την βελτίωση των χώρων αυτών.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δύο επιβλέποντες μου, για την βοήθεια που μου παρείχαν και την καθοδήγησή τους, στην πραγματοποίηση της έρευνας αυτής. Τους φοιτητές και τους καθηγητές που συμμετείχαν στην έρευνα.

Πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υπομονή και ψυχολογική τους υποστήριξη.

Κεφάλαιο 1ο

1.1. Ιστορική αναδρομή

Α. Αρχαιότητα

Η ακουστική αποτελούσε σημαντικό αντικείμενο μελέτης στην αρχαιότητα. Με την ακουστική είχαν ασχοληθεί Πυθαγόρειοι φιλόσοφοι (όπως είναι ο Αρχιμήδης, ο Πλάτωνας κ.α.), οι οποίοι με τη δυνατότητα της παρατήρησης εξήγαγαν συμπεράσματα (Ευθυμιάτος, 2007, σελ. 15). Η πρώτη αναφορά γίνεται από τον Πυθαγόρα (570-495 π.Χ.). Ο Πυθαγόρας διατύπωσε τη θεωρία του ήχου, δηλαδή πως ο ήχος δημιουργείται από σώματα που ταλαντώνονται και έδωσε τον ορισμό της οκτάβας. Αργότερα ο Αριστοτέλης έδωσε μια ακριβή περιγραφή για την παραγωγή και διάδοση του ήχου. Μεγάλη σημασία δόθηκε στην κατασκευή των κτηρίων και κυρίως στους χώρους λατρείας και ψυχαγωγίας, δηλαδή τους ναούς και τα αρχαία θέατρα αντίστοιχα (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 25) (βλέπε σχήμα 1.1.).

Παίρνοντας ως βάση την θεωρία του ήχου στην αρχαιότητα, ο ήχος κινείται σε παράλληλους ομόκεντρους κύκλους, σε επίπεδα και σε ύψος. Η θεωρία αυτή δίνεται στα 10 βιβλία του Βιτρούβιου, το μοναδικό έργο (*De architectura*) που διασώζεται μέχρι σήμερα. Στο έργο του ο Βιτρούβιος αναφέρεται στην κατασκευή των αρχαίων θεάτρων, υποδεικνύοντας την αρχιτεκτονική τους δομή ώστε να εξυπηρετούνται τα πολιτιστικά δρώμενα και θεάματα (Ευθυμιάτος, 2007, σελ. 15).

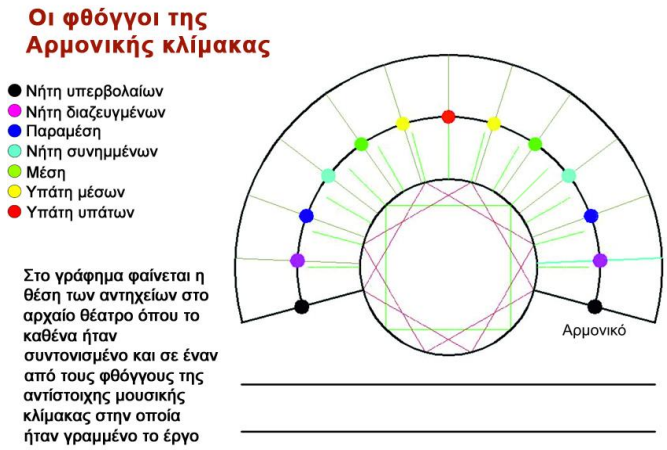
Στη μελέτη για την κατασκευή των αρχαίων θεάτρων ο Βιτρούβιος εστιάζει το ενδιαφέρον του στην ακουστική αυτών, υποστηρίζοντας ότι η επιλογή της τοποθεσίας αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για την καλή ακουστική των θεάτρων, προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία του φαινομένου της ηχούς. Τα περισσότερα αρχαία θέατρα είναι κτισμένα πάνω σε πλαγιές βουνών. Αυτό διευκολύνει το φαινόμενο της ανάκλασης να ενισχυθεί, ενισχύοντας παράλληλα και την δυναμική του ήχου. Επίσης, σημαντική προσοχή δίνεται στην κατασκευή των θεάτρων, χρησιμοποιώντας μαθηματικές σχέσεις. Ο σχεδιασμός των θεάτρων έγινε με τέτοιον τρόπο ώστε να επιτευχθεί η διάδοση του ήχου έως και στο τελευταίο πάνω διάζωμα (τις τελευταίες πάνω θέσεις των θεατών). Επιπλέον ο Βιτρούβιος υποστηρίζει πως χρησιμοποιήθηκαν ηχεία ως συντονιστές κατασκευασμένα από ορείχαλκο και πηλό, για την ενίσχυση του ήχου, σύμφωνα με το μέγεθος του θεάτρου. Τα ηχεία

τοποθετούνταν σε κόγχες που βρίσκονταν μεταξύ των εδωλίων των θεατών, με βάση τους κανόνες της μουσικής (Χλέπα, 2002). Στο αρχαίο ρωμαϊκό θέατρο της Σαρδηνίας βρέθηκαν συντονιστές από τερακότα (βλέπε σχήμα 1.2.).

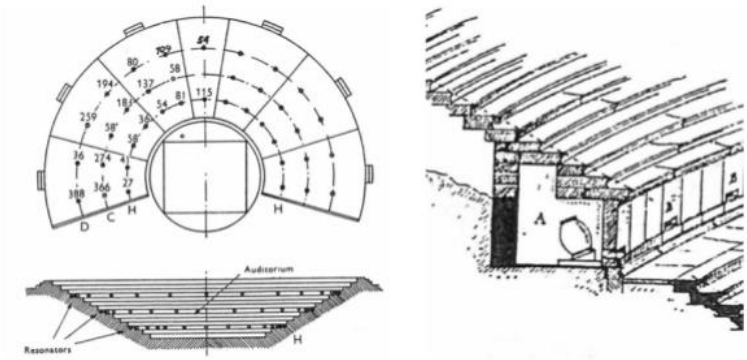
Η αρχιτεκτονική ακουστική θεωρούνταν τέχνη για τους επόμενους 19 αιώνες. Υπάρχουν δύο εφαρμογές αυτής, όχι όμως πολύ γνωστές. Η πρώτη αφορά την τοποθέτηση δοχείων σε μεσαιωνικούς ναούς, παρόμοιους με τους συντονιστές που χρησιμοποιούνταν στα αρχαία θέατρα και η δεύτερη την χρήση κοίλων επιφανειών σε ναούς με δύο εστίες, για την εξομολόγηση των λεπρών από απόσταση (Ευθυμιάτος, 2007, σελ. 15).

Ένα θέατρο με εξαιρετική ακουστική είναι το θέατρο της Επιδαύρου, εξαιτίας των πέτρινων εδωλίων (θέσεις των θεατών) καθώς και για την συμμετρία του (βλ. εικόνα 1.1.), πράγμα που βοηθά στην μείωση των χαμηλών σε συχνότητες θορύβων (ΔΟΛ, 2007).

Εικόνα 1.1. Θέατρο της Επιδαύρου.
Πηγή: (http://fridge.gr/59149/stiles/beep/)



Σχήμα 1.1. Τοποθέτηση αντηχείων σύμφωνα με την διατύπωση του Αριστόξενου
Πηγή:(http://www.tovima.gr/science/article/?aid=405805).



Σχήμα 1.2. Τοποθέτηση των αγγείων σε αρχαίο ρωμαϊκό θέατρο (Ζακυνθινός, 2007, σελ. 20).

Το 535 π.Χ. η Ελλάδα βρισκόταν σε περίοδο άνθησης, έχοντας ως πολίτευμα την δημοκρατία. Μολονότι οι τεχνικές σχεδίασης του ελληνικού θεάτρου είχαν φτάσει σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο, οι αρχιτέκτονες δεν αρκούνταν μόνο στην υπάρχουσα κατάσταση, αλλά αναζητούσαν συνεχώς και άλλες τεχνικές και μεθόδους που θα βοηθούσαν στην βελτίωση της ακουστικής των αρχαίων θεάτρων.

Το κόστος της κατασκευής των οικημάτων καλύπτονταν είτε από το κράτος, είτε από δωρεές, είτε από έκτακτα κονδύλια. Στην κατασκευή των ναών τα έσοδα προέρχονταν από φόρους, τέλη και δάνεια, μετά από ψήφισμα του δήμου. Τα δάνεια χορηγούνταν συνήθως από τα ανώτερα κοινωνικά στρώματα. Το ίδιο συνέβαινε και με τις δωρεές, με τη μόνη διαφορά ότι μπορεί να προέρχονταν και από ξένους (ελληνιστική εποχή) (Müller-Wiener, 1995, σελ. 30).

Β. Βυζάντιο

Στο Βυζάντιο η εκπαίδευση δεν ήταν υποχρεωτική. Οι δάσκαλοι ήταν κληρικοί ή ιδιώτες. Το σχολείο που παρείχε τις βασικές γνώσεις ονομαζόταν σχολείο του «*γραμματιστού*» ή «*χαμαιδιδασκαλείο*». Τα παιδιά δεν είχαν θρανία όπως συμβαίνει σήμερα, αλλά κάθονταν κάτω στο έδαφος (στις προβιές). Το σχολείο αυτό είχε τέσσερις τάξεις. Στις μικρότερες τάξεις τα παιδιά μάθαιναν γραφή και αριθμητική, ενώ στις μεγαλύτερες να κάνουν πράξεις αριθμητικής, μάθαιναν γραμματική, διάβαζαν την Αγία Γραφή και ιστορίες και μύθους του Αισώπου («Η εκπαίδευση στο Βυζάντιο», 2013).

Σε ηλικία δέκα ετών το παιδί έμπαινε στη μέση εκπαίδευση, η οποία είχε διάρκεια πέντε χρόνια. Τα μαθήματα που διδάσκονταν ήταν τα μαθηματικά, η γλώσσα, η μουσική, η φυσική, η ιστορία, η αστρονομία, και η σημειογραφία. Την εκπαίδευση των φοιτητών αναλάμβαναν ρήτορες, φιλόσοφοι, σημειογράφοι και γραμματικοί. Τα μαθήματα γίνονταν με την βοήθεια της εκκλησίας.

Στα χρόνια του Βυζαντίου η ανώτατη εκπαίδευση ήταν σημαντική. Το πρώτο πανεπιστήμιο ιδρύθηκε από τον Θεοδόσιο στην Κωνσταντινούπολη το 425 μ.Χ. όπου δίδασκαν αρχαία, λογοτεχνία, λατινικά, φιλοσοφία και δίκαιο. Ανώτατες σχολές είχαν ιδρυθεί σε αρκετές πόλεις της Ελλάδας, όπως είναι η Αλεξάνδρεια, η Νίκαια, η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, η Κωνσταντινούπολή κ.α. (Ψώρα, 1996-2006).

Γ. Τουρκοκρατία

Με την άλωση της Κωνσταντινούπολης από τους τούρκους, το Βυζάντιο έπαψε πλέον να υπάρχει. Η εκπαίδευση δέχθηκε ένα μεγάλο πλήγμα. Την αποκατάσταση του προβλήματος προσπάθησε να επιλύσει η εκκλησία. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου δεν ήταν εφικτή η οικοδόμηση εκπαιδευτικών κτηρίων. Οι αίθουσες που χρησιμοποιήθηκαν για την διδασκαλία ήταν οι νάρθηκες των εκκλησιών και τα κελιά των μοναχών. Οι δάσκαλοι ήταν κληρικοί και μοναχοί. Τα σχολεία αυτά έμειναν γνωστά ως *«κρυφά σχολεία»*. Στόχος τους ήταν η διατήρηση της πίστης, της γλώσσας και της εθνικής συνείδησης.

Τον 17ο αιώνα ξεκίνησε η ανάπτυξη στον εκπαιδευτικό τομέα με την Μεγάλη του Γένους Σχολή, η οποία αργότερα αναβαθμίστηκε σε πανεπιστήμιο. Τα μαθήματα που παραδίνονταν στη σχολή αυτή οδήγησαν στη μόρφωση των νέων και στην διάδοση των γνώσεων αυτών σε έλληνες που είχαν στερηθεί την γραφή και την ανάγνωση. Αργότερα άρχισαν να ιδρύονται και σχολεία μέχρι τον 19ο αιώνα. Κάποια από αυτά είναι η Ελληνική Ιατρική Ακαδημία, η Πατριαρχική Μουσική Σχολή κ.α. (Ψώρα, 1996-2006).

Δ. Περίοδος του μεσοπολέμου έως σήμερα

Εισαγωγή

Ένα μέρος της οικοδόμησης των κτηρίων αποτελεί ζήτημα τεχνικό και καλλιτεχνικό. Θα χρειαστεί να ληφθεί υπόψη από την αρχαιότητα, τις πολιτικές και οικονομικές παραμέτρους. Τα πολιτεύματα τα οποία πέρασαν μέχρι σήμερα ήταν ποικίλα (βασιλεία, τυραννία, ολιγαρχία, δημοκρατία). Η οικοδομική πολιτική είναι συνεπώς ένας αρκετά πολύπλοκος τομέας.

Σε δημοκρατικά πολιτεύματα η κατασκευή δημόσιων κτηρίων αποτελούσε πάντα υποχρέωση της κοινωνίας, δηλαδή της συμμετοχής των πολιτών στη χρηματοδότηση και τη σχεδίαση των κτηρίων (Müller-Wiener, 1995, σελ. 28-29).

Στην περίοδο του μεσοπολέμου η σχολική αρχιτεκτονική επηρεάζεται και παίρνει στοιχεία από προηγούμενες ιστορικές περιόδους. Μια από αυτές είναι η περίοδος του 2ου μισού του 19ου αιώνα (Τσουκαλά, 2010, σελ. 21).

Γαλλία

Στη Γαλλία το σχολικό κτήριο γίνεται σύμβολο εξουσίας, όπως είναι και το δημαρχείο, παίρνοντας τη θέση του παλατιού και της εκκλησίας. Αρχικά το σχολείο μοιράζονταν τον ίδιο χώρο με το δημαρχείο, εξαιτίας οικονομικών προβλημάτων. Αργότερα όμως έγινε αυτόνομο κτήριο, το μέγεθος του οποίου ήταν αρκετά μεγάλο, καλύπτοντας ένα ολόκληρο τετράγωνο.

Ο αρχιτέκτονας και δάσκαλος αρχιτεκτονικής της σχολής Ecole Polytechnique, Durand, προσπάθησε να παρέχει μια μέθοδο κτηριακής κατασκευής, η οποία θα ήταν οικονομική και θα μπορούσε να ταιριάξει ένα σταθερό σχεδιασμό κατόψεων κτηρίων με ποικιλόμορφες όψεις. Σύμφωνα με αυτή την ιδέα κυκλοφόρησαν τρεις τόμοι βιβλίων, που είχαν σχέση με την οικοδόμηση κτηρίων και περιείχαν έρευνες αρχιτεκτόνων από το *Conseil General des Bâtiments Civils*. Στη συνέχεια οι τόμοι αυτοί αντικαταστάθηκαν από πέντε πιο εξειδικευμένους, όπου συγγραφείς αυτών ήταν οι Labrouste, Cordier, Durand, Voquer.

Η σχολική αίθουσα διαμορφώθηκε γύρω από μια κλειστή αυλή, όπου οι τοίχοι της αυλής ήταν γυάλινοι. Η οργάνωση του τύπου αυτής της αίθουσας εφαρμόστηκε σε σχολεία των Βρυξελλών, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα.

Το μοντέλο που κυριάρχησε εκείνη την περίοδο ονομάστηκε σχολείο Jules Ferry. Οι αίθουσες διδασκαλίας κατανέμονται από την μία μόνο πλευρά του διαδρόμου του σχολείου, ο οποίος συνδέει τον εσωτερικό με τον εξωτερικό χώρο, και είναι στραμμένες στο προαύλιο χώρο του σχολείου. Το μοντέλο αυτό διατηρήθηκε μέχρι και το 1914.

Ένα ακόμη μοντέλο σχολικής αρχιτεκτονικής, σε αντίθεση με αυτό του Ferry, αποτελεί του Bonnier. Ο Bonnier κατασκεύασε ένα σχολικό οικοδόμημα, χρησιμοποιώντας καινούργια στοιχεία αρχιτεκτονικής. Τα στοιχεία αυτά σχετίζονται με την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής.

Ο παράγοντας που διαμόρφωσε την δομή των κτηρίων (γραμμικός σχεδιασμός) ήταν η υγιεινή. Το 1876 παρουσιάστηκε πρότυπος σχολικός εξοπλισμός στην Διεθνή Έκθεση Υγιεινής των Βρυξελλών. Επιπλέον, σχολικός εξοπλισμός για τα σχολικά κτήρια παρουσιάστηκε και σε άλλες διεθνείς εκθέσεις, που έλαβαν χώρα το 1867, 1878, και 1889 στο Παρίσι. Η Σχολειοϊατρική Υπηρεσία (ιδρύθηκε το 1882) εξέτασε τα ζητήματα που αφορούσαν τον σχολικό εξοπλισμό, το υλικό και τις μεθόδους διδασκαλίας σε σχέση με την υγιεινή. Η έρευνα αυτή αποτέλεσε για είκοσι χρόνια περίπου, πρότυπο για την σχολική υγιεινή. Τα άρθρα της έρευνας αυτής (154 σε αριθμό) εμπεριείχαν θέματα όπως είναι η καθαριότητα, η θέση και ο προσανατολισμός του σχολείου, ο αερισμός, η θέρμανση, η θέα, η ακουστική και φωνητική, η διατροφή, η εργασία, η ανάπαυση και οι διακοπές των μαθητών, και τέλος τον εξοπλισμό του κτηρίου (Τσουκαλά, 2010, σελ. 21-25).

Λονδίνο

Στην Αγγλία, πιο συγκεκριμένα στο Λονδίνο οργανώνεται μια επιτροπή, σχετική με την κατασκευή σχολικών κτηρίων.

Η δόμηση του σχολείου γίνεται με βάση την τάξη. Το 1872, στο Λονδίνο, κατασκευάστηκε το πρώτο πειραματικό σχολείο από τον αρχιτέκτονα R.Smith στην *Johnson Street School*. Υπήρχαν διαφορετικές αίθουσες για τα αγόρια και τα κορίτσια. Οι τάξεις δημιουργούνταν σύμφωνα με την ηλικία των παιδιών. Οι αίθουσες διανέμονταν γύρω από ένα κεντρικό χώρο. Ο σχεδιασμός αυτός αποτελεί μια παιδαγωγική προσέγγιση. Ο χώρος χρησιμοποιείται ως χώρος δραστηριοτήτων και βοηθά στη συγκέντρωση περισσότερων μαθητών.

Οι όψεις του κτηρίου έχουν ως βάση τον γοτθικό ρυθμό, τον οποίο αργότερα αλλάζουν χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική της μπαρόκ περιόδου σε συνδυασμό με στοιχεία από την αρχιτεκτονική του τόπου. Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν πιο ελεύθερη σε σχέση με αυτή που ακολουθήθηκε πιστά σε όλα τα εκπαιδευτικά κτήρια στη Γαλλία την περίοδο του 19^{ου} αιώνα.

Το 1884, γίνονται έρευνες σχετικά με την επίπτωση που έχει η φοίτηση στην υγεία (πνευματική και ψυχική) των μαθητών. Η υγεία όμως δεν έπαιζε σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του σχολικού περιβάλλοντος εκείνη την περίοδο. Αργότερα έγινε η αιτία για εγκατάλειψη του μοντέλου που επικρατούσε μέχρι τότε (Τσουκαλά, 2010, σελ. 25-28).

Η υποδομή κατά την διάρκεια του μεσοπολέμου δεν ήταν κατάλληλη. Τα προβλήματα υγιεινής του σχολικού κτηρίου επιδεινώνονται, εξαιτίας της εσφαλμένης κατεύθυνσης των αιθουσών. Οι γιατροί, ένας εκ των οποίων είναι ο G.Reid, προτείνουν ιδέες για την καλύτερη οργάνωση του χώρου.

Αρχικά οι αίθουσες οργανώθηκαν σε πτέρυγες (ιδέα των περιπτέρων), επιτρέποντας τον εξαερισμό της αίθουσας και από τις δύο πλευρές αυτής. Η εξελικτική πορεία του αρχιτεκτονικού μοντέλου των αιθουσών συνεχίζεται αργότερα με την δημιουργία ενός ακτινωτού τύπου (finger plan), δηλαδή οι πτέρυγες αρχίζουν από το ίδιο σημείο αναφοράς των χώρων που χρησιμοποιούνται για πολλαπλές δραστηριότητες.

Στη συνέχεια οι αίθουσες απομακρύνονται από την κεντρική αίθουσα συγκέντρωσης στα πλαίσια δημιουργίας ενός *open air school*. Η εκπαιδευτική επιτροπή προτείνει την αντικατάσταση της κεντρικής αίθουσας συγκεντρώσεων με μεμονωμένες αίθουσες, οργανωμένες με συγκεκριμένο τρόπο ώστε ο ήλιος και ο αέρας να

κατευθύνονται σε κάθε γωνία. Ο τύπος open air school κυριαρχεί σε όλη τη διάρκεια του μεσοπολέμου.

Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής των αιθουσών, δημοσιεύτηκε από το περιοδικό «*Architects Journal*», με θέμα, «*Senior Schools. Plan units: classrooms*». Σύμφωνα με το συγκεκριμένο άρθρο ανεξάρτητοι χώροι δεν θεωρούνταν μόνο οι αίθουσες αλλά και η βιβλιοθήκη, τα εργαστήρια και οι αίθουσες συγκεντρώσεων. Με τις αλλαγές αυτές προσπαθούσαν να πετύχουν τις απαραίτητες συνθήκες υγιεινής.

Τα σχολεία που ακολουθούν τις παραπάνω ρυθμίσεις, εικονίζονται σε ένα βιβλίο της έκθεσης, *«Κατασκευή και Προγραμματισμός σχολικών κτηρίων»,* το 1947, υπό την διοργάνωση του *Royal Institute of British Architects (RIBA)*. Το RIBA υποστήριζε την ιδέα του διαχωρισμού της αίθουσας και την απόσταση μεταξύ της μιας από την άλλη. Ακόμη, έπρεπε να χωρίζονται οι ήσυχοι χώροι από τους θορυβώδεις. Ο πιο σημαντικός παράγοντας για την διαμόρφωση του χώρου είναι το κόστος κατασκευής, που στη συγκεκριμένη περίπτωση μια τέτοια κατασκευή θα ήταν αρκετά δαπανηρή (Τσουκαλά, 2010, σελ. 31-33).

ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ η διαμόρφωση του κτηρίου διαφέρει από τις προηγούμενες χώρες. Το σχολικό κτήριο Boston’s Quincy Grammar School, είχε τέσσερις ορόφους όπου ο καθένας αποτελούνταν από τέσσερις αίθουσες διδασκαλίας. Οι αίθουσες είχαν ανάμεσα τους έναν κοινό διάδρομο. Η εμφάνιση ατομικών θρανίων αποτελεί έναν νεωτερισμό εκείνης της περιόδου (1848). Η αρχιτεκτονική ακολουθούσε τις προτιμήσεις και τις διαφορετικές ιδέες των αρχιτεκτόνων, οι οποίοι άλλοτε χρησιμοποιούσαν την αρχιτεκτονική της νεοκλασικής και άλλοτε της βυζαντινής περιόδου (Τσουκαλά, 2010, σελ. 27).

Όσον αφορά τα προβλήματα υγείας, το ενδιαφέρον εστιάζεται περισσότερο στον φωτισμό και τον αερισμό. Τα παράθυρα τοποθετούνται σε σταθερά σημεία, αριστερά των θέσεων με φορά προς την έδρα του δασκάλου, εξασφαλίζοντας κατάλληλο φωτισμό (Τσουκαλά, 2010, σελ. 32).

Η πρώτη βελτίωση της ακουστικής συμπεριφοράς ενός κλειστού χώρου έγινε σε χώρο διαλέξεων του *Smithsonian Institution (Washington*), από τον Joseph Henry το

1850. Ο Henry παρατήρησε το φαινόμενο της ηχούς και την εστίαση του ήχου σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου. Με πείραμα που έκανε ο ίδιος, χτυπώντας τα χέρια του, συμπέρανε ότι η καθυστέρηση 53ms των ανακλώμενων κυμάτων του ήχου, δεν δημιουργεί ηχώ. Σύμφωνα με την παρατήρηση του Henry, ο Haas οδηγήθηκε στην διατύπωση του φαινομένου Haas.

Τέλος, ο Henry πρόσθεσε ξύλινες ανακλαστικές επιφάνειες για την βελτίωση της ακουστικής της αίθουσας διαλέξεων του *Smithsonian* (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 185-186).

Ελλάδα

Στην Ελλάδα η κατάσταση, όσον αφορά τα εκπαιδευτικά ζητήματα, δεν ήταν ικανοποιητική. Λόγω των οικονομικών προβλημάτων που αντιμετώπιζαν οι δήμοι και οι κοινότητες, δεν ήταν πολλές φορές εφικτή η συντήρηση ή η οικοδόμηση ενός εκπαιδευτικού κτηρίου. Με το νόμο 2125/1920 καταργείται η υποχρέωση των δήμων και των κοινοτήτων στα εκπαιδευτικά ζητήματα και αναλαμβάνει την ευθύνη το κράτος. Μέχρι το 1894 δεν κατασκευάστηκε κανένα σχολικό κτήριο, εξαιτίας του ότι δεν βρίσκονταν δωρητής ή ο δήμος δεν είχε την οικονομική δυνατότητα να στηρίξει ένα τέτοιο έργο. Από το 1895 έως το 1920 κατασκευάστηκαν με επιχορήγηση του κράτους, πεντακόσια περίπου κοινοτικά εκπαιδευτικά οικοδομήματα. Αργότερα χρηματοδοτήθηκαν επιπλέον χίλια εκπαιδευτικά κτήρια σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του Καλλία (διάταγμα του 1894) (Ζήβας και Καρδαμίτση-Αδάμη, 1979. Σολομών, 1992).

Τα εκπαιδευτικά ζητήματα συμπεριλαμβάνονται στο νόμο ΒΤΜΘ' *«περί στοιχειώδους ή δημοτικής εκπαιδεύσεως»*[1]. Ο Δ. Καλλίας (μηχανικός του Υπουργείου Εσωτερικών), προτείνει τέσσερις τύπους σχολείου:

1. μια αίθουσα με έναν μπροστινό διάδρομο
2. δύο αίθουσες με έναν κοινό διάδρομο και μια αίθουσα για τους δασκάλους
3. τρεις αίθουσες που ενώνονται με έναν διάδρομο

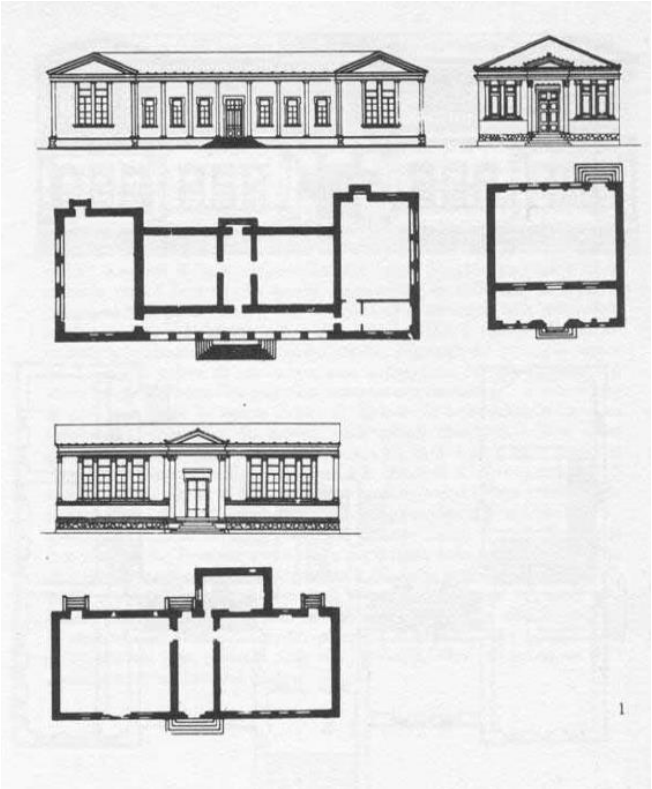
---

[1] Δημαράς, Α. (1974). *Η Μεταρρύθμιση που δεν έγινε τόμος Β* (1895- 1967) Αθήνα Ερμής και Λεφας, Χρ. 1942. *Η Ιστορία της Εκπαιδεύσεως, Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Σχολικών Βιβλίων*

4. τέσσερις αίθουσες

Τα σχολικά κτήρια σχεδιάζονται σύμφωνα με το νεοκλασικό αρχιτεκτονικό πρότυπο (Τσουκαλά, 2010, σελ 27-33).

Μετά το 1930 δημιουργείται μια υπηρεσία κατασκευής σχολικών κτηρίων. Τα κτήρια αυτά ακολουθούν μια πιο μοντέρνα αρχιτεκτονική προσέγγιση και αποτελούν δείγματα της νεοελληνικής αρχιτεκτονικής (Τσουκαλά, 2010, σελ. 59-60). Τα θέματα τις υγιεινής συζητήθηκαν αργότερα στο έργο του Μωραΐτη (Τσουκαλά, 2010, σελ. 28).



Εικόνα 1.2. Απεικόνιση σχολικού σχεδιασμού, σύμφωνα με το νόμο του ΒΤΜΘ΄ του 1895, *«Πρόγραμμα Δημητρίου Καλλία.»*.

1.2 Νομοθεσία για τον θόρυβο

Πιθανολογείται πως πρώτοι ήταν οι Ιταλοί, και συγκεκριμένα αυτοί που ζούσαν στη Ν. Ιταλία, στην περιοχή Σύβαρη, όπου θεσπίστηκε η πρώτη νομοθεσία για τον θόρυβο. Οι κάτοικοι της περιοχής αυτής δεν επέτρεπαν επαγγέλματα που προκαλούσαν θόρυβο μέσα στην πόλη, όπως ήταν το επάγγελμα των χαλκέων.

Ακόμη κατά την Ρωμαϊκή εποχή απαγόρευαν και την κυκλοφορία των αρμάτων την νύχτα για την διατήρηση της ήρεμης ζωής των κατοίκων.

Τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη για τη μείωση του θορύβου είναι τα εξής:

1. ο χώρος που έχει θόρυβο
2. η ώρα της ημέρας
3. η διάρκεια που εκτίθενται τα άτομα στον ήχο
4. το είδος του θορύβου (συνεχής, στιγμιαίος κ.α.)

Όσον αφορά τον εργασιακό χώρο το μέγιστο όριο θορύβου ορίζεται με βάση δύο σημαντικούς παράγοντες, με στόχο την μη απώλεια ακοής. Ο πρώτος είναι η στάθμη και ο δεύτερος η διάρκεια έκθεσης στη στάθμη. Αρχικά το όριο αυτό ήταν διεθνώς στα 90dB, αργότερα όμως άλλαξε διότι παρατηρήθηκαν άτομα με απώλεια ακοής, μειώνοντας την στάθμη στα 80dB.

Η περιοχή 500 έως 2000Hz έχει επιλεγεί για τις μετρήσεις καθώς και για την προστασία της ακουστικής ικανότητας των εργαζομένων στις περισσότερες χώρες, όπως είναι οι ΗΠΑ. Υπάρχουν όμως και αυστηρότεροι κανονισμοί όπως στην Αυστραλία που ορίζεται από 500 έως 6000Hz. Στον πίνακα 1.2. φαίνονται τα όρια που δεν πρέπει να ξεπερνά ο θόρυβος όταν το εργαζόμενο άτομο βρίσκεται σε θορυβώδες περιβάλλον για τουλάχιστον πέντε ώρες. (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 416-417).

Α. Οργανισμοί

Την οικοδόμηση των σχολικών κτηρίων αναλαμβάνει ο Οργανισμός Σχολικών Κτηρίων. Σύμφωνα με τον οργανισμό αυτό ισχύουν κάποιες βασικές αρχές όσον αφορά την τοποθέτηση, τον σχεδιασμό του κτηρίου(εσωτερικό και εξωτερικό) και την κατανομή του κτηριακού χώρου. Επιπλέον ορίζονται ο σχεδιασμός για την προστασία των ατόμων μέσα στο κτήριο και οι κατάλληλες διατάξεις στο χώρο ώστε να εξυπηρετούνται τα άτομα με ειδικές ανάγκες (Οργανισμός σχολικών κτηρίων, 2008, σελ. 5-16).

Οι αρχές για τον έλεγχο του θορύβου εισάγονται στα πλαίσια του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησης (ISO). Ο οργανισμός αυτός ασχολείται με ένα ευρύ

φάσμα που αφορά θέματα ακουστικής. Όπως είναι οι επιπτώσεις που έχει ο θόρυβος στον άνθρωπο (π.χ. υγεία και ψυχική υγεία), διεξάγοντας έρευνα. Στην Ελλάδα η βοήθειά του είναι ανεκτίμητη, παρέχοντας την τεχνολογία, ακολουθώντας τα διεθνή πρότυπα (Σημαντώνης, 1981, σελ. 48-49, 51, 53).

Επιπλέον οργανισμοί είναι το Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής (ΕΛ.Ι.Ν.Α), το οποίο ιδρύθηκε με στόχο να συγκεντρώσει έλληνες επιστήμονες που ασχολούνται με το κλάδο της ακουστικής είτε ακαδημαϊκά είτε ερευνητικά, ο ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. (Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας), ο ASA (Acoustical Society of America) κ.α. (Κωνσταντινίδης, 1993-2015. Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής). Ένας σημαντικός οργανισμός που ασχολείται με θέματα υγιεινής και ακουστικής σε χώρο εργασίας είναι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO). Ο οργανισμός αυτός ορίζει το θόρυβο στα 85dB(A) σε σταθερή βάση και στιγμιαία έως 120dB(A). Στον πίνακα 1.1. παρατηρούνται τα όρια του θορύβου σε διάφορους χώρους όπως ορίζεται από τον WHO (Καραμέρος, Αραβαντινού κ. συν., 2008, σελ. 227). Σημαντικός επίσης είναι και ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) με έτος ίδρυσης 1976 (Βάγια, 2008). Ο ΕΛΟΤ βασίζεται σε διεθνή πρότυπα δημιουργώντας ελληνικά πρότυπα από τα οποία κάποια περιγράφουν ακριβώς την διαδικασία των μετρήσεων για την ηχομόνωση (Βαλεοντής, 1981, σελ.143-144).

Τέλος, για την επίτευξη της μείωσης του θορύβου ο οικονομικός παράγοντας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για την υλοποίηση του έργου αυτού, καθώς επηρεάζει στην λήψη αποφάσεων (Σημαντώνης, 1981, σελ. 53).

Πίνακας 1.1. Επίπεδα επιτρεπτού θορύβου με βάση τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (WHO).

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

Πηγή: (http://www.solon.org.gr/downloads/EKTHESI_2008.pdf, σελ. 228).

Πίνακας 1.2.

Συχνότητα (Hz)	37.5-150	150-300	300-600	600-1200	1200-2400	2400-4800
Στάθμη (dB)	100	90	85	85	80	80

Πηγή: (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 417)

Στα κράτη της Ε.Ε. η μέγιστη επιτρεπτή στάθμη του θορύβου σε χώρους εργασίας δίνεται από τον πίνακα 1.3. Στον πίνακα 1.3. μπορούν να υπάρξουν αποκλίσεις κατά 5dB (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 417).

Πίνακας 1.3.

Κανονισμοί Ευρωπαϊκής Ένωσης	
Πνευματική εργασία	55 dB (A)
Εργασία γραφείου	70 dB (A)
Οποιαδήποτε άλλη εργασία	85 dB (A)

Πηγή: (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 417)

Σύμφωνα με το προεδρικό διάταγμα 85/91 (1991) γίνεται αναφορά στην προστασία του εργαζομένου από τον περιβάλλοντα θόρυβο κατά τη διάρκεια της εργασίας σε συμμόρφωση προς την οδηγία 86/188/ΕΟΚ. Στα άρθρα αυτού του διατάγματος λαμβάνονται τα μέτρα προστασίας για κάθε εργαζόμενο εκτός από αυτούς που δουλεύουν σε θάλασσα και αεροσκάφη, δίνεται η εξίσωση υπολογισμού της στάθμης του θορύβου που εκτίθεται ο εργαζόμενος κατά την διάρκεια της ημέρας, εκτιμάται ο θόρυβος μέσα από μετρήσεις και γίνεται ενημέρωση του εργαζομένου για την επιτρεπτή στάθμη που έχει ο θόρυβος. Πιο αναλυτικά όταν η στάθμη του θορύβου υπερβαίνει τα 90dB(A) πρέπει να χρησιμοποιούνται ατομικά μέτρα προστασίας. Οι χώροι που η στάθμη του θορύβου ξεπερνά τα 90dB, είναι υποχρεωτικό να επισημαίνονται με πινακίδες. Ακόμη αν η στάθμη υπερβαίνει τα 85dB(A) πρέπει να διατίθενται στους εργαζόμενους ατομικά μέτρα προστασίας. Τέλος, όταν ο εργαζόμενος είναι εκτεθειμένος σε στάθμη 85dB να παρακολουθείται από γιατρό.

Το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο για την κατάλληλη ηχομόνωση των χώρων ορίζεται από την ΑΠΟΦ. 3046/304, ΦΕΚ΄ 59Δ΄ Άρθρο 12 (βλέπε πίνακες 1.4. και 1.5).

Επειδή το άρθρο 12 δεν επαρκεί από μόνο του για να καλύψει όλες τις απαραίτητες ανάγκες της ηχομόνωσης ενός χώρου, μια αναφορά γίνεται συνήθως σε μια έκδοση κτηριακής ηχοπροστασίας από τη Γερμανία, το DIN 4109, η οποία εκδόθηκε το 1989 και τροποποιήθηκε το 2006. Στην έκδοση αυτή οργανώνονται οι χώροι σε κατηγορίες καθώς αναφέρεται η ευαισθησία του ανθρώπου στον θόρυβο που προέρχεται από διπλανούς χώρους (Gottfried, 2008, σελ. 212- 213).

Πίνακας 1.4. Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας. Κατηγορία Α *«υψηλή ακουστική άνεση»*.

Είδος κτηρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης. (παρ. 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας κοινής χρήσης (παρ. 4.2.)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσε-ων	
					Εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσε-ων		
	R'_w	$R'_{n,w}$	R'_w	$R'_{n,w}$	$L_{Aeq,\,h}$	L_{Pa}	R'_w	$R'_{n,w}$
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Εκπαίδευση	57	58	58	52	30	25	60	45

Πηγή: (http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/d59_89.1130149974734.pdf, σελ. 18-19)

Πίνακας 1.5. Κατηγορία Β *«κανονική ακουστική άνεση»*

Είδος κτηρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης. (παρ. 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας κοινής χρήσης (παρ. 4.2.)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων	
					Εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσε-ων		
	R'_w	$R'_{n,w}$	R'_w	$R'_{n,w}$	$L_{Aeq,\,h}$	L_{pA}	R'_w	$R'_{n,w}$
	dB	dB	dB	dB	dB (A)	dB (A)	dB	dB
εκπαίδευση	50	65	55	55	35	30	55	50

Πηγή: (http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/d59_89.1130149974734.pdf, σελ. 19-20)

Οι τιμές της τελευταίας στήλης αφορούν μόνο την επιφάνεια έδρασης των μηχανημάτων.

Κεφάλαιο 2ο

Βασικές έννοιες της ακουστικής

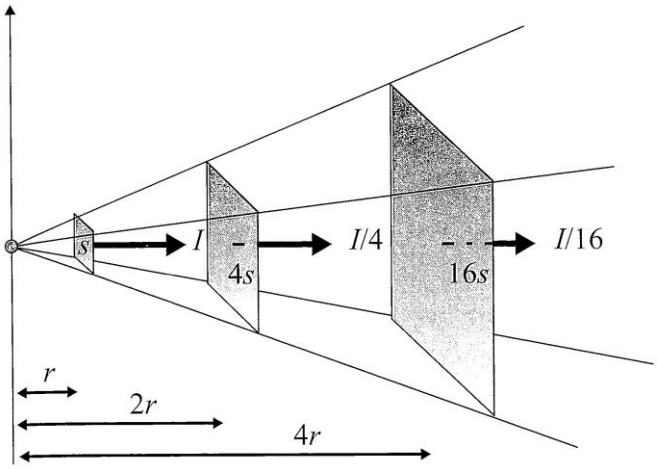
2.1. Ιδιότητες του ήχου

Οι ορισμοί όσον αφορά την διάδοση του ήχου ποικίλουν. Οι πιο σημαντικοί είναι οι ακόλουθοι (Everest, 2003, σελ. 15):

1. Πρόκειται για κύμα (μια μηχανική διαταραχή), το οποίο διαδίδεται στον αέρα και σε άλλα ελαστικά μέσα.
2. Για τον άνθρωπο αποτελεί ένα ερέθισμα που αντιλαμβάνεται να προκαλεί στο αυτί του, στην περιοχή των συχνοτήτων 20Hz με 20.000Hz.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ήχου είναι:

1. *Η ένταση*: ονομάζουμε την δυναμική του ήχου, δηλαδή πόσο δυνατός ή απαλός είναι ένας ήχος. Η ένταση είναι διανυσματικό μέγεθος (σχήμα 2.1.). Εκφράζει την ροή της ηχητικής ενέργειας. Ορίζεται ως «*το πηλίκο της μέσης ηχητικής ισχύος που διαπερνά κάθετα μία στοιχειώδη επιφάνεια δια του εμβαδού της επιφάνειας*» (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 57). Π.χ. μια σειρήνα σε σχέση με το θρόισμα των φύλλων. Μονάδα μέτρησης της έντασης είναι το bel, αλλά χρησιμοποιείται το decibel (dB) (Everest, 2003, σελ. 37).



Σχήμα 2.1. Ένταση του ήχου σε σχέση με την απόσταση από την πηγή (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 57).

2. *Το ύψος (pitch):* είναι ένα χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει έναν χαμηλής συχνότητας από έναν ψηλής συχνότητας ήχο. Το ύψος εξαρτάται από την συχνότητα, αλλά η σχέση που τα συνδέει δεν είναι γραμμική. Σημαντικό ρόλο παίζει η στάθμη και η κυματική μορφή του ήχου (Everest, 2003, σελ. 15). Π.χ. η νότα λα του πιάνου στα 220Hz (στην χαμηλή περιοχή) και η νότα λα στα 880Hz (ψηλή περιοχή του πιάνου)
3. *Η χροιά (timbre): «ονομάζουμε τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου, τα οποία κάνουν δυνατό τον διαχωρισμό δύο τόνων της ίδιας έντασης και θεμελιώδους συχνότητας αλλά διαφορετικών κυματομορφών».* Η διαφοροποίηση της χροιάς γίνεται με βάση τη στάθμη των αρμονικών ως προς την στάθμη του θεμελιώδους ήχου. Με αυτό τον τρόπο μπορεί το αυτί του ανθρώπου να διακρίνει ήχους που παράγονται από διαφορετικές πηγές (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 384-386). Π.χ. διαφορετική χροιά έχει ένα βιολί από ένα πιάνο.

2.1.1. Υποκειμενικά Κριτήρια Καλής Ακουστικής

Ευκρίνεια ή διαύγεια: ονομάζεται ο βαθμός με τον οποίο οι ταχέως μεταβαλλόμενοι ήχοι γίνονται αντιληπτοί (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216). Το ποσοστό επί της εκατό της άρθρωσης των συλλαβών στην ομιλία μειώνεται αν αυξηθεί ο όγκος του χώρου και ο χρόνος αντήχησης (Τσινίκας, 1990, σελ. 46).

Αμεσότητα: ονομάζεται η αίσθηση της αναπαραγωγής της μουσικής σε ένα μικρό χώρο. Στην περίπτωση αυτή η καθυστέρηση της πρώτης ανάκλασης πρέπει είναι κάτω από 7mm (Λουτρίδης, 2015, σελ.216).

Οικειότητα: ονομάζεται η αντίληψη του ακροατή ότι η πηγή βρίσκεται πολύ κοντά. Μια άλλη ονομασία που δίνεται είναι *παρουσία*, όπου ο όρος χρησιμοποιείται για απομακρυσμένες θέσεις που όμως τροφοδοτούνται από κοντινό ανακλαστήρα (Τσινίκας, 1990, σελ. 27).

Ομοιομορφία: ονομάζεται η μη μεταβολή του ήχου στο χώρο. Το φαινόμενο της διάχυσης στο χώρο είναι αισθητό (Λουτρίδης, 2015, σελ.216).

Ευρυχωρία: ονομάζεται η αίσθηση της αύξησης των διαστάσεων του χώρου εξαιτίας της πηγής. Οι πλευρικές ανακλάσεις ξεπερνούν την συχνότητα του 1Hz (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216).

Περιβολή του χώρου: ονομάζεται η αίσθηση που υπάρχει όταν ο ήχος φτάνει στον ακροατή από όλες τις διευθύνσεις, περιβάλλοντάς τον. Η ποσότητα των πλευρικών ανακλάσεων βρίσκονται κάτω από τη συχνότητα των 500Hz (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216).

Πλούσιος ήχος: ονομάζεται ο όμορφος και πλούσιος ήχος που περιέχει όλες τις συχνότητες σε ισορροπία μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει ισορροπία στις συχνότητες του ανακλώμενου ήχου και επιθυμητή διάχυση (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216).

Ζεστός ήχος: ονομάζεται ο πλούσιος ήχος σε χαμηλές συχνότητες (Τσινίκας, 1990, σελ. 27). Πρόκειται για τον λόγο της αντήχησης των 75-350 Hz σε σχέση με την αντήχηση στις μεσαίες συχνότητες (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216).

Σκληρός ήχος: ονομάζεται ο υπερβολικά λαμπρός ήχος, με τονισμένα τα συριστικά σύμφωνα της φωνής και τα μεταβατικά των οργάνων (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216).

Ξερός ήχος: ονομάζεται ο ήχος που του λείπει σώμα (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216). Ο χρόνος αντήχησης είναι μικρότερος από τον βέλτιστο (Τσινίκας, 1990, σελ. 27).

*Ζωντανός ήχος**:*** ονομάζεται ο ήχος με υπερβολικό σώμα, έχοντας επίπτωση στην ευκρίνεια (Λουτρίδης, 2015, σελ. 216). Αποτελεί γεμάτο ήχο σχετικά με τις μεσαίες και χαμηλές συχνότητες (Τσινίκας, 1990, σελ. 27).

Σύνολο: πρόκειται για έναν ομοιόμορφο ήχο που βγαίνει από τους μουσικούς, οι οποίοι ακούν μεταξύ κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης (Τσινίκας, 1990, σελ. 27).

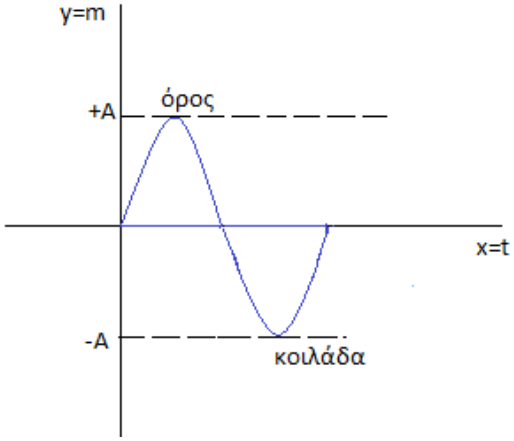
2.2. Κύματα

Ηχητική πηγή: ονομάζουμε το μέσο παραγωγής των ηχητικών κυμάτων (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 213).

Κύμα ήχου: ονομάζεται η διάδοση μιας διαταραχής σ' ένα ελαστικό μέσο (Everest, 2003, σελ. 18-19).

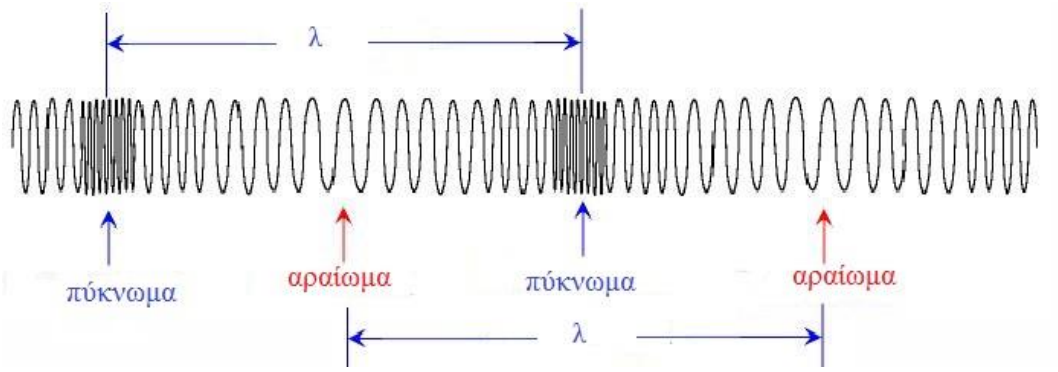
Τα κύματα χωρίζονται σε:

1. *Εγκάρσια κύματα:* ονομάζονται τα κύματα που διαδίδονται κατά μήκος μιας χορδής σε ένα ελαστικό μέσο, στο οποίο όλα τα υλικά σημεία ταλαντώνονται κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται *«όρη»* και *«κοιλάδες»*. Τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται μόνο σε στερεά κύματος (Πάνος, 1998, σελ. 161).



Σχήμα 2.2. Απεικόνιση εγκάρσιου κύματος.

2. *Διαμήκη κύματα (longitudinal waves):* πρόκειται για τα κύματα όπου όλα τα υλικά σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται παράλληλα με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, δημιουργώντας πυκνώματα και αραιώματα. Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται σε όλα τα μέσα (στερεά, υγρά και αέρια)(βλ. σχήμα 2.3.) (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 39-40).



Σχήμα 2.3. Απεικόνιση ενός διαμήκους κύματος. Πηγή: (https://www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/waves-and-vibrations-15/waves-125/longitudinal-waves-439-5596/images/longitudinal-waves).

3. *Περιοδικό κύμα*: ονομάζεται το κύμα όταν η πηγή που το παράγει εκτελεί περιοδική κίνηση. Όταν η πηγή εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, το κύμα που παράγεται ονομάζεται ημιτονοειδές ή αρμονικό (Πάνος, 1998, σελ. 173-174).

Περίοδος (Τ): του αρμονικού κύματος είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο ένα υλικό σημείου του μέσου εκτελεί μία πλήρη ταλάντωση (Τσινίκας, 1990, σελ.1).

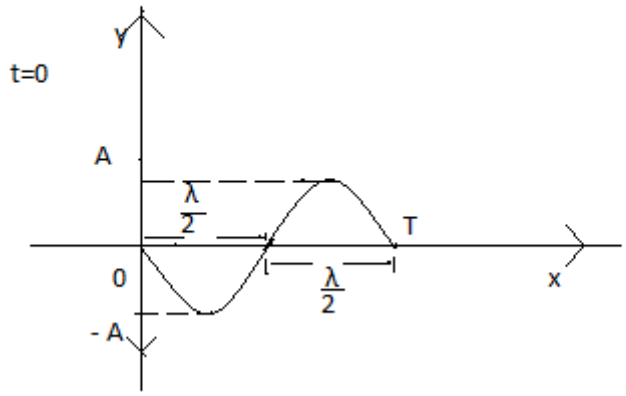
Συχνότητα (f): είναι ο ρυθμός με τον οποίο επαναλαμβάνεται η μεταβολή ενός περιοδικού μεγέθους. Η συχνότητα του κύματος συμπίπτει με τη συχνότητα ταλάντωσης της πηγής. Μετριέται σε hertz (Τσινίκας, 1990, σελ. 1).

Μήκος κύματος (λ): είναι η απόσταση διάδοσης του κύματος που έχει εκτελέσει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου (ΕΛΟΤ 236.2) ή είναι η απόσταση που δημιουργείται μεταξύ δύο μέγιστων ή ελάχιστων της πίεσης (βλέπε σχήμα 2.4.).
Ταχύτητα του κύματος (υ): ονομάζουμε την ταχύτητα διάδοσης στο υλικό μέσο. Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι σταθερή (Marine Mersene, 1633) (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 29, 41). Όταν ο ήχος διαδίδεται σε διαμήκη κύματα, τότε η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται από την ακαμψία και την πυκνότητα του μέσου. Η σχέση δίνεται από τον παρακάτω τύπο (Ευθυμιάτος, 2007, σελ. 26):

$$\upsilon = \sqrt{\frac{D}{\rho}} \quad \text{m/sec}$$

Όπου:

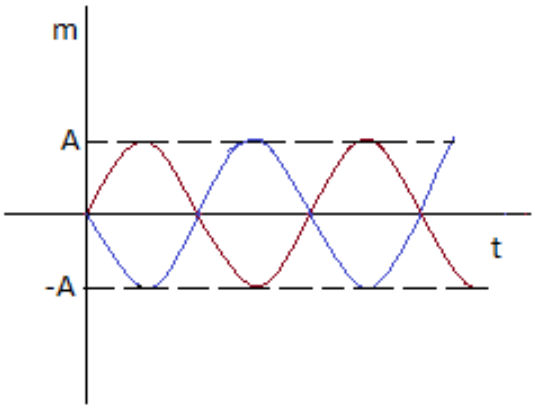
- υ η ταχύτητα διάδοσης του κύματος
- D η ακαμψία του μέσου
- ρ η πυκνότητα του μέσου



Σχήμα 2.4. Περιοδικό κύμα όπου t=T

Φάση: δύο κύματα λέμε ότι βρίσκονται σε φάση ή σε συμφωνία φάσης όταν σε κάθε χρονική στιγμή έχουν την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας τους (Everest, 2003, σελ. 24-25).

Στάσιμα κύματα: ονομάζεται το αποτέλεσμα της συμβολής δύο αρμονικών κυμάτων της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο ελαστικό μέσο με αντίθετες κατευθύνσεις. Τα υλικά σημεία που έχουν πλάτος ταλάντωσης A=0 ονομάζονται *«δεσμοί»*, ενώ εκείνα που ταλαντώνονται με το μέγιστο πλάτος A΄= 2 A ονομάζονται *«κοιλίες»* (Πάνος, 1998, σελ. 179-180. Τσινίκας, 1990, σελ. 25).



Σχήμα 2.5. Αρμονική κίνηση δύο κυμάτων που διαδίδονται στο ίδιο μέσο με αντίθετο πλάτος, χωρίς αρχική φάση.

Συμβολή: ονομάζεται το αποτέλεσμα της ταυτόχρονης διάδοσης δύο ή περισσοτέρων κυμάτων με την ίδια ή σχεδόν την ίδια συχνότητα στην ίδια περιοχή του ελαστικού μέσου (Russell, 1996).

2.2.1. Ηχητική ισχύς

«Η ακουστική ισχύς πηγής είναι η ακουστική ενέργεια που εκπέμπει η πηγή ανά μονάδα χρόνου προς όλες τις κατευθύνσεις» (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 61).

Όταν ένα κύμα μεταδίδεται, αυτόματα συνεπάγεται και η μετάδοση της ηχητικής ισχύος. Η μετάδοση της ηχητικής ισχύος δεν είναι παντού η ίδια σε όλες τις κατευθύνσεις του κύματος, επειδή η πηγή μπορεί να είναι κατευθυντική.

Η πυκνότητα αυτής εκφράζεται από την ένταση και δίνεται από το ολοκλήρωμα:

$$W = \int_s \vec{I} \cdot \vec{n} \cdot dS$$

Όπου:

- S :μια σφαιρική κλειστή επιφάνεια
- $\vec{n}$:το μοναδιαίο διάνυσμα κάθετο στο στοιχείο της επιφάνειας
- dS :το στοιχείο της επιφάνειας

Όταν η ηχητική πηγή εκπέμπει σφαιρικά τότε ο υπολογισμός της ισχύος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$W = 4\pi r^2 I$$

Όπου I : η ηχητική ένταση

Μονάδα μέτρησης της ισχύος είναι το Watt (W). Για τη μέτρηση της ισχύος συνήθως χρησιμοποιούμε τον λόγο:

$$W / W_0$$

Όπου:

- W_0 : μια ισχύς αναφοράς που αντιστοιχεί στη σχέση I_0 : $W_0 = 10^{-12}$ w

Για την μέτρηση των εντάσεων χρησιμοποιείται η σχέση (Ευθυμιάτος, 2007, σελ. 43):

$$L_w = 10\log_{10}\left(\frac{W}{W_0}\right)$$

2.2.2. Ενέργεια των ηχητικών κυμάτων

Η ανάκλαση του ήχου μπορεί να δημιουργήσει μια ενίσχυση και μια σταθερή κάλυψη του ήχου, που μπορεί να φανεί χρήσιμη σε διάφορα σημεία του χώρου. Επιπλέον, ένα μέρος του ήχου μετατρέπεται σε θερμότητα. Το ποσοστό που θα μετατραπεί σε θερμότητα εξαρτάται από το υλικό στο οποίο προσπίπτει το κύμα.

Η *ακουστική ενέργεια* ορίζεται ως η ενέργεια που έχει ένα ελαστικό μέσο, όταν βρίσκεται σε ένα ηχητικό πεδίο. Μονάδα μέτρησης είναι το *Joule*.

Όταν γίνονται μετρήσεις σε ένα κλειστό δωμάτιο ενδιαφερόμαστε κυρίως για την πυκνότητα της ακουστικής ενέργειας.

Η πυκνότητα ηχητικής ενέργειας ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$D = \frac{dW}{dV}$$

Όπου:

- dW: η ηχητική ενέργεια του σώματος και
- dV : στοιχείο όγκου μέσα στο μέσο διάδοσης

«Η πυκνότητα της ηχητικής ενέργεια εκφράζεται συγκεντρωτικά με τη βοήθεια της κινητικής και της δυναμικής πυκνότητας ενέργειας στον συγκεκριμένο χώρο» (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 52).

2.2.3. Ακουστική Πίεση (sound pressure)

Η ακουστική πίεση αποτελεί ένα ακουστικό μέγεθος, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της στάθμης της ηχητικής πίεσης του ήχου. Συμβολίζεται με P_{rms} και μετριέται σε *Pascal*. Η στάθμη ηχητικής πίεσης L_p (Sound Pressure Level= SPL). μετριέται σε dB.

«Η στάθμη ηχητικής πίεσης ορίζεται ως ο δεκαδικός λογάριθμος του λόγου της πίεσης Prms προς την πίεση αναφοράς P_0» (Everest, 2003, σελ. 37. Παπανικολάου, 2005, σελ. 84-85):

$$L_p = 20\log_{10}\left(\frac{Prms}{P_0}\right) \text{ dB}$$

Το πλάτος της ακουστικής πίεσης εξαρτάται από την απόσταση της πηγής. Η ακουστική ενέργεια εξαρτάται από την δυναμική του ήχου που εκπέμπεται από την πηγή. Για τον ήχο η πίεση αναφοράς ορίζεται στα 20μPa.

Υπάρχουν κύματα που φθάνουν απευθείας και άλλα που φθάνουν με χρονοκαθυστέρηση στα αυτιά του ακροατή. Οι ανακλάσεις του ήχου που φθάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, δημιουργούν μια σταδιακή αύξηση της ηχητικής πίεσης σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο του χώρου. Αν σταματήσει η πηγή να εκπέμπει σήμα, τότε η ηχητική πίεση θα αρχίσει σταδιακά να μειώνεται, επειδή

καθυστερούν να φθάσουν τα ηχητικά κύματα στις θέσεις των ακροατών (Everest, 2003, σελ. 39-40).

Εκτός από την ακουστική πίεση υπάρχει και η *στατική πίεση (P),* και ορίζεται ως την στατική πίεση του μέσου διάδοσης (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 28).

Α. Ηχόμετρο

Η μέτρηση της ηχοστάθμης μπορεί να γίνει με το ηχόμετρο. Πρόκειται για το όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της στάθμης του ήχου και αποτελείται από ένα μικρόφωνο, έναν ενισχυτή, σταθμιστικά κυκλώματα και ένα ενδεικτικό όργανο για τη μέτρηση της στάθμης του ήχου με συγκεκριμένο τρόπο. Υπάρχουν διαφορετικά είδη ηχομέτρου ανάλογα με το είδος της ακουστικής μέτρησης (Τσινίκας, 1990, σελ. 6).

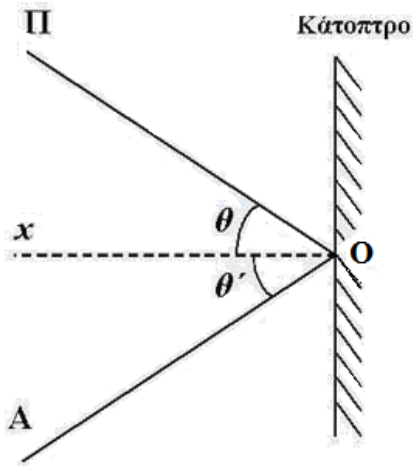
2.2.4. Ανάκλαση, Διάχυση, Διάθλαση και Περίθλαση των ηχητικών κυμάτων

Ανάκλαση: ονομάζουμε την αλλαγή της πορείας του ήχου μέσα σ' ένα μέσο όταν συναντά μια επιφάνεια. Η ανάκλαση χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

α) την ανάκλαση που συμβαίνει όταν η επιφάνεια που συναντά ο ήχος είναι λεία και επίπεδη, δημιουργώντας ένα ηχητικό είδωλο.

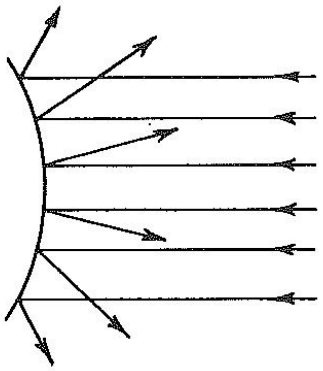
Οι μεσαίες - ψηλές συχνότητες, ονομάζονται και κατοπτρικές επειδή ο ήχος σε αυτή την περιοχή μοιάζει με φωτεινές ακτίνες σε κάτοπτρο (Everest, 2003, σελ. 223-224). Στο σχήμα 2.6. απεικονίζεται μια κατοπτρική ανάκλαση όπου θ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ακτίνας[2] πρόσπτωσης του ήχου, με την κάθετη στη λεία επιφάνεια και θ΄ η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ανακλώμενης ακτίνας ήχου και της κάθετης στη λεία επιφάνεια. Ισχύει θ= θ΄ (Τσινίκας, 1990, σελ. 18).

[2] Κάτω από 300-400 Hz ο ήχος αναφέρεται ως κύμα ενώ πάνω από 300-400Hz αναφέρεται ως ακτίνα ήχου. Για ευκολία και σχημάτων αλλά και εννοιών αναφέρουμε σαν ακτίνα ήχου.(Everest, 2003, σελ. 222)



Σχήμα 2.6. Κατοπτρική ανάκλαση. Πηγή: (http://www.hellenica.de/Physik/Anaklasi.html).

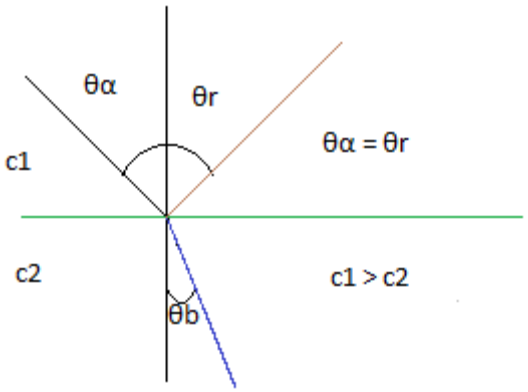
Β) την *διάχυση:* πρόκειται για τυχαία διάδοση των κυμάτων του ήχου σε ένα αντηχητικό πεδίο, όταν το κύμα του ήχου συναντά μια ανώμαλη επιφάνεια (Τσινίκας, 1990, σελ. 21) (βλέπε σχήμα 2.7.).



Σχήμα 2.7. Διάχυση κύματος σε κυρτή επιφάνεια. Πηγή: (Everest, 2003, σελ.269).

Διάθλαση: ονομάζουμε το φαινόμενο που συμβαίνει όταν το ηχητικό κύμα συναντά μια διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφορετικών μέσων. Αυτό που συμβαίνει είναι η αλλαγή διεύθυνση διάδοσης ενός μέρους του κύματος, ενώ ένα άλλο του μέρος ανακλάται. Αιτία αυτού του φαινομένου είναι η διαφορετική ταχύτητα του ήχου στα δύο μέσα (Παπανικολάου, 2005, σελ. 20). Στο σχήμα 2.8 παρατηρούμε την διάθλαση του ήχου. Η γωνία πρόσπτωσης είναι η θα, η θr είναι η ανακλώμενη γωνία και θb η

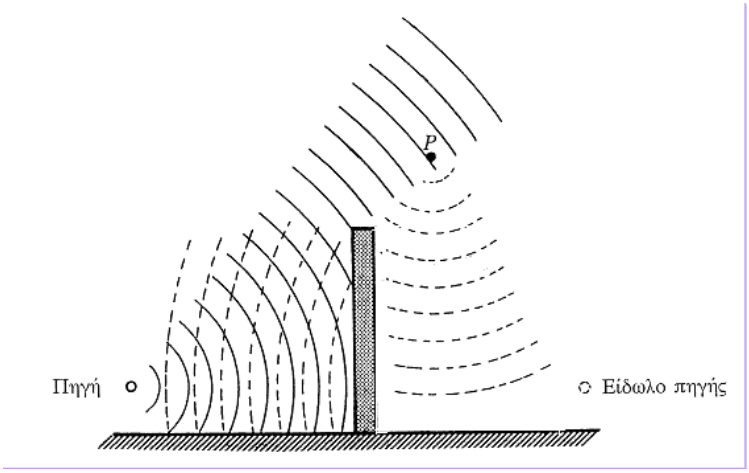
διαθλώμενη γωνία. Με μπλε χρώμα είναι η κατεύθυνση της διαθλώμενης ακτίνας του ήχου, με καφέ το ανακλώμενο και μαύρο το κύμα που προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια. C1 είναι το υλικό του 1^{ου} μέσου διάδοσης του ήχου (συνήθως είναι αέρας) και C2 είναι το υλικό του 2^{ου} μέσου διάδοσης του ήχου. Ισχύει $\theta\alpha \neq \theta b$.



Σχήμα 2.8. Διάθλαση του ήχου.

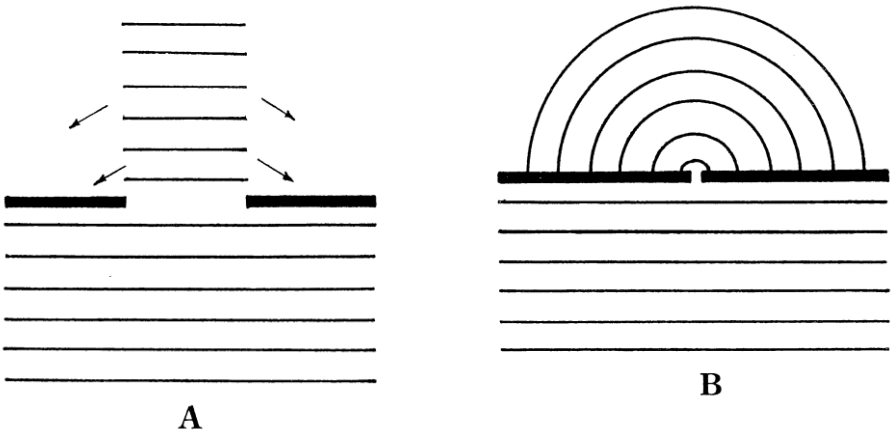
Περίθλαση: ονομάζουμε το φαινόμενο όπου το κύμα του ήχου αλλάζει διεύθυνση, όταν συναντά εμπόδια, σχισμές και ακμές. Η περίθλαση εξαρτάται από το μέγεθος του εμποδίου και το μήκος κύματος του ήχου (Everest, 2003, σελ. 242).

Τα κύματα που περνούν πίσω από αυτό το εμπόδιο σχηματίζουν μια ζώνη σκιάς (βλ. σχήμα 2.9.) (Everest, 2003, σελ. 231-233).

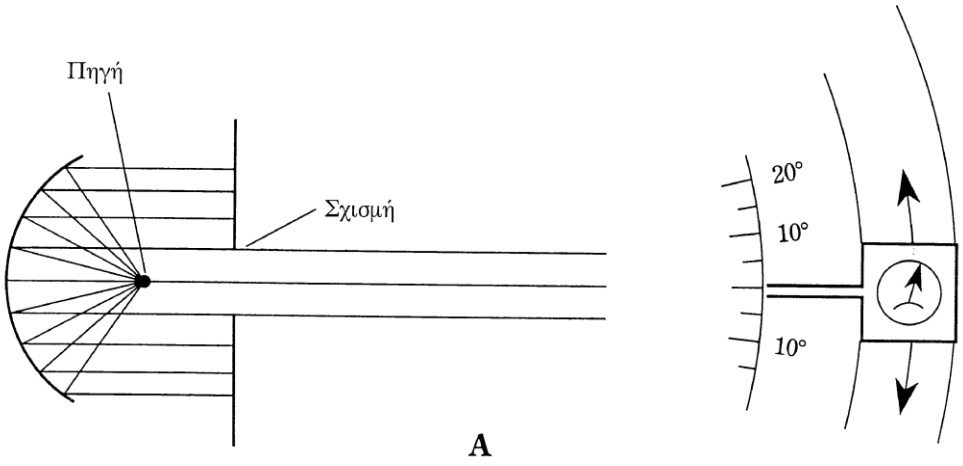


Σχήμα 2.9. Περίθλαση του ήχου, όταν το ηχητικό κύμα συναντά ένα εμπόδιο (Everest, 2003, σελ. 235)

Σύμφωνα με την αρχή του Huygens ακολουθούν τα σχήματα Α και Β (βλέπε σχήμα 2.10.):



Σχήμα 2.10. Σχήμα Α: Το άνοιγμα επιτρέπει στα κύματα του ήχου να περνούν με μικρή διαταραχή. Αυτά τα κύματα λειτουργούν σαν νέες πηγές και ακτινοβολούν ηχητική ενέργειας στη ζώνη σκιάς. Σχήμα Β: Οι ηχητικές ακτίνες που διαδίδονται σε μικρή σχισμή σχηματίζουν ημισφαιρικό πεδίου ήχου (Everest, 2003, σελ. 233).



Σχήμα 2.11. Απεικόνιση του πειράματος του Pohl για την περίθλαση. Σύμφωνα με αυτό όσο πιο μικρή είναι η σχισμή, τόσο πιο έντονο είναι το φαινόμενο της περίθλασης (Everest, 2003, σελ. 237).

2.3. Ηχητικό πεδίο κλειστών χώρων

Εισαγωγή

Σε έναν κλειστό χώρο, η διάδοση των ηχητικών κυμάτων από την πηγή επηρεάζεται από τις επιφάνειες, δημιουργώντας ηχητικά φαινόμενα, όπως είναι η ανάκλαση, η διάχυση, η περίθλαση, κτλ. Τα φαινόμενα αυτά αλλάζουν την πορεία του ήχου, με αποτέλεσμα να μην φθάνουν τα κύματα απευθείας στους ακροατές, εξαιτίας της διαμόρφωσης του χώρου (Παπανικολάου, 2005, σελ. 99).

Σημαντικό ρόλο, και ίσως τον κυριότερο, στην ηχητική διαμόρφωση του χώρου, παίζουν τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένος. Υπάρχουν υλικά που συμβάλλουν σημαντικά στην απορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων, καθώς και άλλα, τα οποία βοηθούν στην απορρόφηση υψηλών συχνοτήτων όπως είναι οι φωνές των παιδιών σε μια αίθουσα διδασκαλίας (Knauf, 2014).

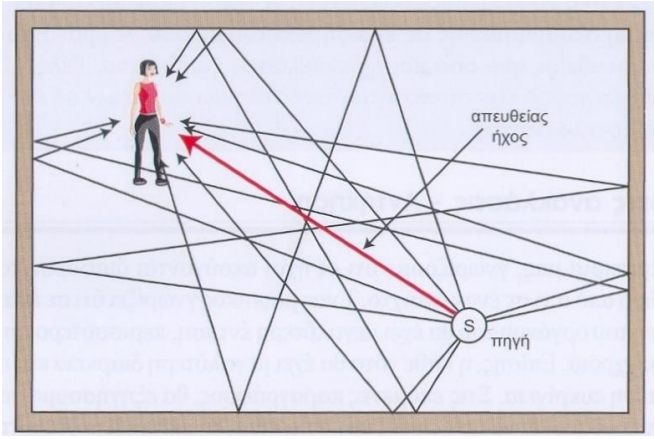
2.3.1. Ανάκλαση του ήχου σε κλειστούς χώρους

Η ανάκλαση αποτελεί βασικό παράγοντα της ακουστικής ενός χώρου. Το αποτέλεσμα του φαινομένου της ανάκλασης του ήχου εξαρτάται από το μέγεθος του χώρου. Εάν οι αναλογίες (ύψος, βάθος και πλάτος) ενός χώρου είναι ιδιόμορφες, δηλαδή δεν κατανέμονται σωστά, μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στον χώρο. Διαφορετική αντίδραση θα υπάρξει σε ένα στούντιο ηχογραφήσεων από μία αίθουσα διδασκαλίας ή ακόμα και σε μια αίθουσα μουσικών εκδηλώσεων.

Μέσα σε ένα χώρο παρατηρούμε ότι ο ήχος διαδίδεται άμεσα, καθώς και με μια καθυστέρηση στον ακροατή. Ακριβέστερα, υπάρχουν τρεις τρόποι διάδοσης του κύματος του ήχου (βλέπε σχήμα 2.12.) (Schimmel, Müller and Dillier, 2008, p. 1-2):

- Ο ήχος που εκτελεί ευθύγραμμη πορεία, δηλαδή ο ήχος που αντιλαμβάνεται απευθείας ο ακροατής χωρίς καμία ανάκλαση. Αποτελεί με αυτόν τον τρόπο την πιο σύντομη και σημαντική διαδρομή του ήχου. Ο ακροατής μπορεί έτσι να αντιληφθεί την θέση της πηγής. Η αντίληψη του πρώτου κύματος ορίζεται από τον Cremer ως *«νόμος του πρώτου μετώπου κύματος»*.

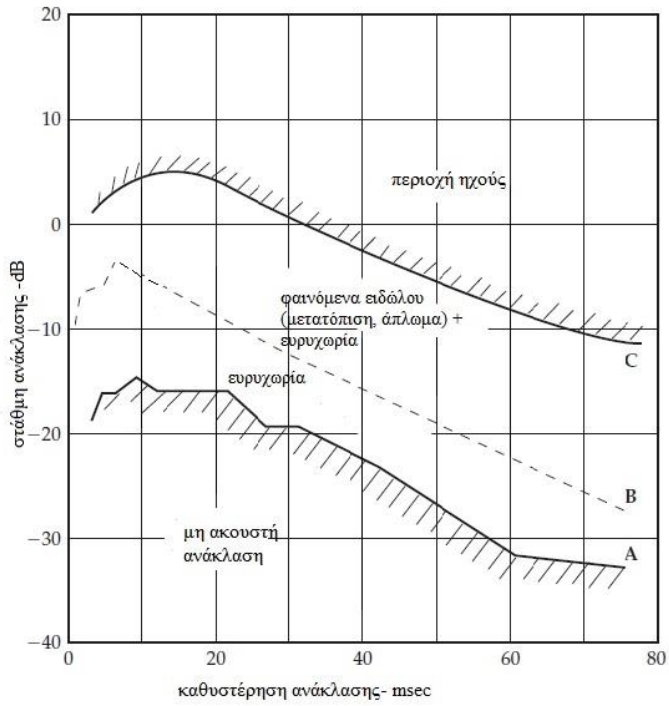
- Ο ήχος που διαδίδεται με τις *«πρώτες ή πρωτογενείς ανακλάσεις»*, δηλαδή ο ήχος που φθάνει στον ακροατή με χρονοκαθυστέρηση, με ευκρινείς ανακλάσεις εντός των πρώτων 50-80msec του RIR (Room Impulse Response: παλμική απόκριση του δωματίου) δημιουργώντας διαφορά φάσης. Πρόκειται για δυνατές και διακριτές ανακλάσεις.
- Ο ήχος που διαδίδεται με πιο καθυστερημένες ανακλάσεις (δευτερογενείς, τριτογενείς κ.α.), που φθάνουν πάρα πολύ γρήγορα και είναι δύσκολο να αναλυθούν ξεχωριστά. Οι ανακλάσεις αυτές έχουν συνήθως πιο χαμηλές στάθμες.



Σχήμα 2.12. Ανάκλαση σε κλειστό χώρο (Λουτρίδης, 2015, σελ. 162).

Ερευνητές ασχολήθηκαν με την επίπτωση του φαινομένου της ανάκλασης σε αίθουσες μουσικής. Μια πρόσφατη έρευνα έγινε σε μικρά δωμάτια με σκοπό την μελέτη των συνθηκών ακρόασης της μουσικής σε αυτά από τους Sean E. Olive και Floyd E. Toole. Οι ανακλάσεις που μετρήθηκαν έγιναν σε *ανηχοϊκό περιβάλλον*[3] και ως πηγή χρησιμοποιήθηκε ένας ομιλητής. Μετρήθηκε η ισχύς και η καθυστέρηση της ανάκλασης. Το πείραμα δίνεται από το σχήμα 2.13. (Everest, 2003, και σχήμα 2.13., σελ. 333).

[3] Ανηχοϊκό περιβάλλον είναι ουσιαστικά ένας κλειστός εργαστηριακός θάλαμος-αίθουσα όπου οι επιφάνειες απορροφούν όλη την ηχητική ενέργεια που προσπίπτει πάνω σε αυτές (δεν υπάρχουν ανακλάσεις). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα ελεύθερο ηχητικό πεδίο.



Σχήμα 2.13. Απεικόνιση της μεταβολής του κύματος από τις ανακλάσεις σε ένα ανηχοϊκό δωμάτιο.

2.3.1.1. Κρίσιμη απόσταση (critical distance) Dc

Ως *κρίσιμη απόσταση* ορίζουμε την απόσταση από την πηγή, όπου το απευθείας και το ανακλώμενο κύμα ήχου έχουν την ίδια στάθμη. Το σημείο όπου το ανακλώμενο με το απευθείας κύμα ήχου είναι ίδιο ονομάζεται *κρίσιμο σημείο*.

Ο λόγος της στάθμης του απευθείας προς το ανακλώμενο κύμα του ήχου ισούται με μονάδα. Η μέτρηση της κρίσιμης απόστασης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$D_c = 0{,}14 \cdot \sqrt{Q \cdot R}$$

Όπου:

- R: σταθερά του χώρου
- Q: συντελεστής κατευθυντικότητας της πηγής

Η σταθερά R υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (Παπανικολάου, 2005, σελ. 120-121):

$$R = \frac{S \cdot \alpha_{\mu}}{(1 - \alpha_{\mu})}$$

2.4. Διάχυση σε κλειστούς χώρους

Ένα ακουστικό φαινόμενο είναι η διάχυση. Για να επιτευχθεί ένα καλύτερο ακουστικό περιβάλλον, σύμφωνα με τους Ward και Randall είναι αναγκαίο να ισχύει (Everest, 2009, p. 125):

α) οι αλλοιώσεις στην συχνοτική και χωρική κατανομή των καμπυλών πτώσης του ήχου θα πρέπει να είναι ελάχιστες

β) η ύπαρξη κορυφώσεων στην χαρακτηριστική καμπύλη εξασθένησης του ήχου να είναι ελάχιστη.

γ) η εξασθένηση του ηχητικού κύματος δεν σχηματίζει καμπύλη αλλά ευθεία στη λογαριθμική κλίμακα

δ) ο χρόνος αντήχησης πρέπει να είναι ο ίδιος σε όλα τα σημεία του χώρου

ε) η εξασθένηση του ήχου δεν πρέπει να επηρεάζεται από την κατευθυντικότητα του μικροφώνου

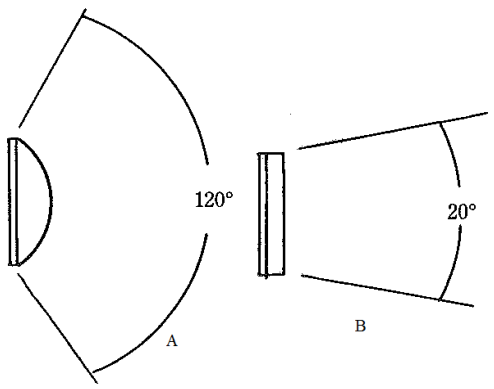
στ) Χρειάζεται προσοχή στις εξασθενήσεις του ήχου, οι οποίες πρέπει να έχουν τέλεια κατανομή στο χώρο.

Η σημαντική διάχυση είναι μια αξιόλογη παράμετρος για την στατιστική ακουστική αντιμετώπιση του χώρου. Κάποια από τα στοιχεία που παίζουν ρόλο στη ύπαρξη διάχυσης είναι οι διαχυτές. Πρόκειται για μικρά σχήματα που οι διαστάσεις τους κυμαίνονται μεταξύ 0,5 με 1m. Όταν οι διαχυτές τοποθετούνται κοντά στην πηγή, τότε αυξάνεται το φαινόμενο της διάχυσης και κυρίως στις χαμηλές συχνότητες (Τσινίκας, 1993, σελ. 192).

Η ποσότητα ηχητικής ενέργειας διαφέρει από επιφάνεια σε επιφάνεια. Μια αποτελεσματική κατασκευή για τη διάχυση είναι ο πολυκυλινδρικός διαχυτής. Ο διαχυτής αυτός εμφανίζει μια κυρτή κατατομή κυλίνδρου. Όταν ο ήχος προσπίπτει σε αυτόν αυτό που μπορεί να συμβεί είναι:

1. ανάκλαση και διάχυση του ήχου
2. απορρόφηση του ήχου
3. εκπομπή νέου μετώπου κύματος

Το τμήμα του ήχου που θα μεταδοθεί ξανά, θα σχηματίσει γωνία τόξου περίπου 120° (βλέπε σχήμα 2.14.). Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα σχηματισμού γωνίας 20° αλλά με ένα παρόμοιο κατασκεύασμα με τον προηγούμενο διαχυτή (Everest, 2003, σελ. 269).



Σχήμα 2.14. Απεικόνιση ενός πολυκυλινδρικού διαχυτή (Everest, 2003, σελ. 269).

2.4.1. Το φαινόμενο της ηχούς σε κλειστούς χώρους

Η *ηχώ* ορίζεται ως η επανάληψη του ήχου από τις υπάρχουσες ανακλάσεις. Το φαινόμενο της ηχούς αναγνωρίζεται ευκολότερα (το ανθρώπινο αυτί) από τα άλλα διάφορα ακουστικά λάθη που υπάρχουν στο χώρο. Προκύπτει συνήθως από:

5. Χρονική καθυστέρηση 1/25 sec μεταξύ του απευθείας και του ανακλώμενου κύματος του ήχου που προέρχεται από μια πηγή ομιλίας (πρώτη ανάκλαση) και
6. Χρονική καθυστέρηση 1/10 sec μεταξύ του απευθείας και του ανακλώμενου κύματος («*πρώτη ανάκλαση*») του ήχου που προέρχεται από μια πηγή μουσικής.

Η έννοια της ηχούς δεν πρέπει να συγχέεται με την αντήχηση, όπου η τελευταία είναι η «*παράταση*» μέχρι την εξασθένηση του ήχου.

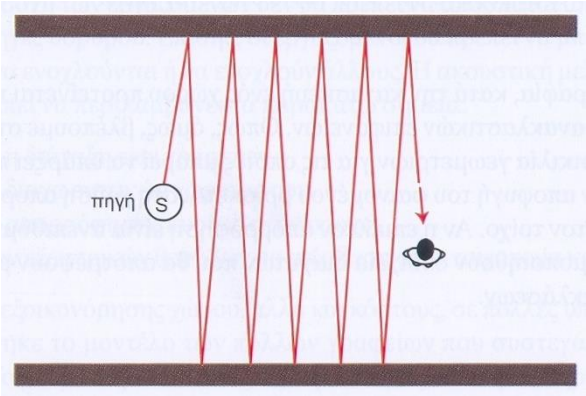
Όταν οι ανακλάσεις βρίσκονται σε στάθμη ανώτερη των 10dB από το κατώφλι μετατόπισης του ακουστικού ειδώλου, τότε οι ανακλάσεις αυτές είναι διακριτές.

Η δημιουργία διακριτής ηχούς εμφανίζεται σε μεγαλύτερους κλειστούς χώρους όπως είναι μια μεγάλη αίθουσα ή σε ανοιχτούς χώρους όπου η διάδοση του ήχου συναντά μια μεγάλη επιφάνεια ανάκλασης. Απαραίτητη προσοχή πρέπει να δοθεί από τους αρχιτέκτονες στις επιφάνειες στις οποίες οι ανακλάσεις του ήχου θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα τέτοιο φαινόμενο. Η σχεδίαση του χώρου γίνεται συνήθως με τέτοιον τρόπο ώστε να δίνονται οι πλευρικές ανακλάσεις με συγκεκριμένες στάθμες όπως συμβαίνει σε μια αίθουσα μουσικής. Στόχος λοιπόν για την επίτευξη ενός ικανοποιητικού ακουστικού χώρου είναι ο σωστός σχεδιασμός των ανακλάσεων (Everest, 2003, σελ. 336-337. Τσινίκας, 1990, σελ. 49-50).

Α. Πολλαπλή ηχώ

Ένα ακόμη είδος ηχούς είναι η πολλαπλή ηχώ. Η πολλαπλή ηχώ αποτελείται από πολλές επαναλαμβανόμενες ανακλάσεις που δημιουργούνται μεταξύ δύο παράλληλων επιφανειών όταν η ηχητική πηγή διεγείρεται μεταξύ αυτών, ακόμα και αν οι υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου δεν είναι παράλληλες ή είναι διαχυτικές ή είναι απορροφητικές. Υπάρχει και περίπτωση δημιουργία ηχούς και από μη παράλληλες διατάξεις, όταν υπάρχει μια πηγή ήχου μεταξύ αυτών (βλέπε σχήμα 2.15).

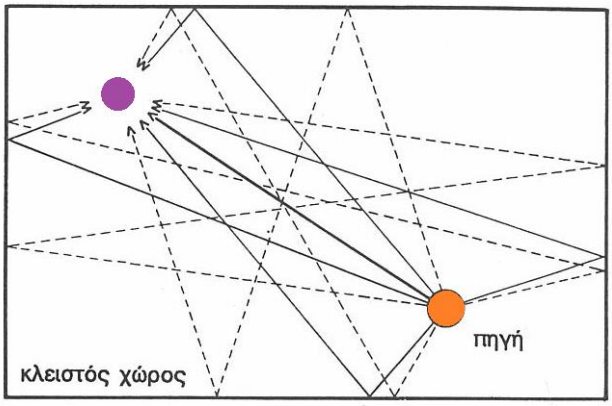
Για την αποφυγή των δύο αυτών φαινομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηχοαπορροφητικές επιφάνειες και ηχοαπορροφητικά υλικά ή να δημιουργηθούν επιφάνειες διάχυσης (Τσινίκας, 1990, σελ. 50).



Σχήμα 2.15. Απεικόνιση του φαινομένου της πολλαπλής ηχώ που δημιουργείται ανάμεσα σε δύο σκληρούς λείους και παράλληλους τοίχους (Λουτρίδης, 2015, σελ. 205).

2.5. Αντήχηση και χρόνος αντήχησης

Η ικανότητα του ήχου να παραμένει στο χώρο ονομάζεται *αντήχηση*. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις πολλαπλές ανακλάσεις που δημιουργούνται κατά την επαφή του κύματος στις διάφορες επιφάνειες του χώρου (βλέπε σχήμα 2.16.).



Σχήμα 2.16. Αντήχηση σε κλειστό χώρο προς ένα δέκτη (απεικόνιση των ανακλάσεων στο χώρο) (Τσινίκας, 1990, σελ. 24).

Το μέτρο της αντήχησης ενός χώρου λέγεται χρόνος αντήχησης (RT_{60} = reverberation time), δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να μειωθεί ο ήχος κατά 60dB και σύμφωνα με τον Sabine δίνεται από την σχέση (Everest, 2003, σελ. 128, 133, 155. Παπανικολάου, 2005, σελ.103, 110):

$$RT_{60}=\frac{0{,}161V}{Sa}$$

Όπου:

- RT_{60}: ο χρόνος αντήχησης σε second
- V: ο όγκος του δωματίου μετρημένος σε m^3
- S : το εμβαδό της συνολικής επιφάνειας του δωματίου σε m^2
- α: ο μέσος συντελεστής απορρόφησης των επιφανειών του δωματίου
- Sα : η συνολική απορρόφηση με μονάδα μέτρησης το sabin

Για παράδειγμα: αν ένα δωμάτιο έχει μήκος 3 μέτρα, ύψος 2,87m και πλάτος 3,20m τότε έχει όγκο:

$$V= \mu \cdot \pi \cdot \upsilon = 3 \cdot 2,87 \cdot 3,20 = 27,552 \text{ m}^3.$$

Ακόμη αν $\alpha_1 = 0,1$ πάτωμα και ταβάνι, α2= 0,29 για τοίχους τότε:

$$S\alpha = 2(3\cdot 2,87\cdot 0,29) + 2(3,20\cdot 2,87\cdot 0,29) +2(3,20\cdot 3\cdot 0,1) =$$
$$=4,99+5,33+0,96 = 11,28 \text{ sabin.}$$

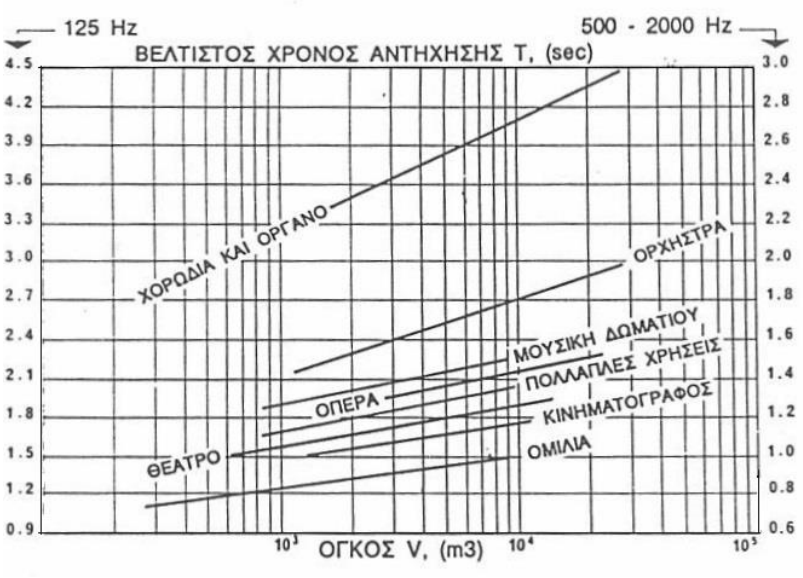
Άρα ο χρόνος αντήχησης είναι:

$$RT_{60} = 0,161 \cdot \frac{V}{S\alpha} = 0,161\cdot \frac{27,552}{11,28} \approx 0,\ 4 \text{ sec}$$

Ιδανικός χρόνος αντήχησης (βλέπε σχήμα 2.17) ονομάζεται ο χρόνος που απαιτείται να έχει ένας χώρος ώστε η ακουστική του χώρου αυτού να είναι άριστη (Παπανικολάου, 2005, σελ.122).Ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης εξαρτάται από τον όγκο που έχει ο χώρος και από το *«είδος»* του εκπεμπόμενου ήχου (ομιλία ή μουσική). Ειδικότερα εξαρτάται από την χρήση του χώρου (Τσινίκας, 1993, σελ.192). Όταν η αντήχηση στο χώρο είναι έντονη, τότε επεμβαίνει στην ακολουθία των συλλαβών της ομιλίας, και η κατανόηση αυτής γίνεται πιο δύσκολη. Στην μουσική η αντήχηση είναι απαραίτητη σε κάποιο βαθμό. Αυτό εξαρτάται φυσικά και από το *«είδος»* της κάθε μουσικής. Τις περισσότερες φορές συνιστάται μικρότερος χρόνος αντήχησης για χαμηλότερες εντάσεις και αντίστροφα. Σε αίθουσες πολλαπλών χρήσεων, δηλαδή σε αίθουσες που συνδυάζουν μουσική και ομιλία, χρειάζεται ένας κατάλληλα προσαρμοσμένος χρόνος αντήχησης. Σε εκκλησίες όπου συμμετέχουν χορωδίες ή γίνεται η χρήση εκκλησιαστικού οργάνου, χρειάζεται μεγαλύτερος χρόνος αντήχησης. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα σχεδιασμένο ηλεκτροακουστικό σύστημα ενίσχυσης που θα βοηθήσει στην ευκρίνεια της ομιλίας.

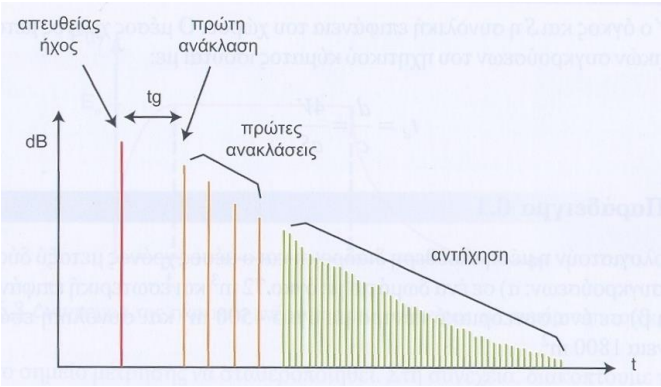
Η αντήχηση μπορεί να ελεγχθεί άμεσα από την στάθμη του ήχου στον χώρο και από την απορρόφηση (απορροφητικές επιφάνειες, απορρόφηση του αέρα). Σε χώρους όπως είναι μια αίθουσα συναυλιών η αντήχηση μπορεί να δώσει το αίσθημα μιας

«γλυκύτητας» στις χαμηλές συχνότητες. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται ξύλινες επενδύσεις πιστεύοντας ότι μπορεί να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα, όμως μπορεί να δημιουργηθεί και το αντίθετο αποτέλεσμα εάν το πάχος της ξύλινης αυτής επιφάνειας είναι μικρό. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μια αυξημένη απορρόφηση στις χαμηλές συχνότητες εξαιτίας του συντονισμού των συνηχητών μεμβράνης (Irvine and Richards, 1998, p.85).



Σχήμα 2.17. Απεικόνιση του βέλτιστου χρόνου αντήχησης σε συνάρτηση με τον όγκο σε χώρους διαφορετικών χρήσεων (Τσινίκας, 1990, σελ. 48).

Ο χρόνος αντήχησης υπολογίζεται ξεχωριστά ανά οκτάβα ή τριτοοκτάβα. Επιπλέον οι τιμές που παίρνει ανά συχνότητα είναι διαφορετικές. Μέχρι τα 500Hz ο χρόνος αντήχησης αυξάνεται, ενώ μετά τα 500Hz παραμένει σταθερός (Τσινίκας, 1993, σελ.192) (βλέπε χρόνο αντήχησης, σχήμα 2.18).



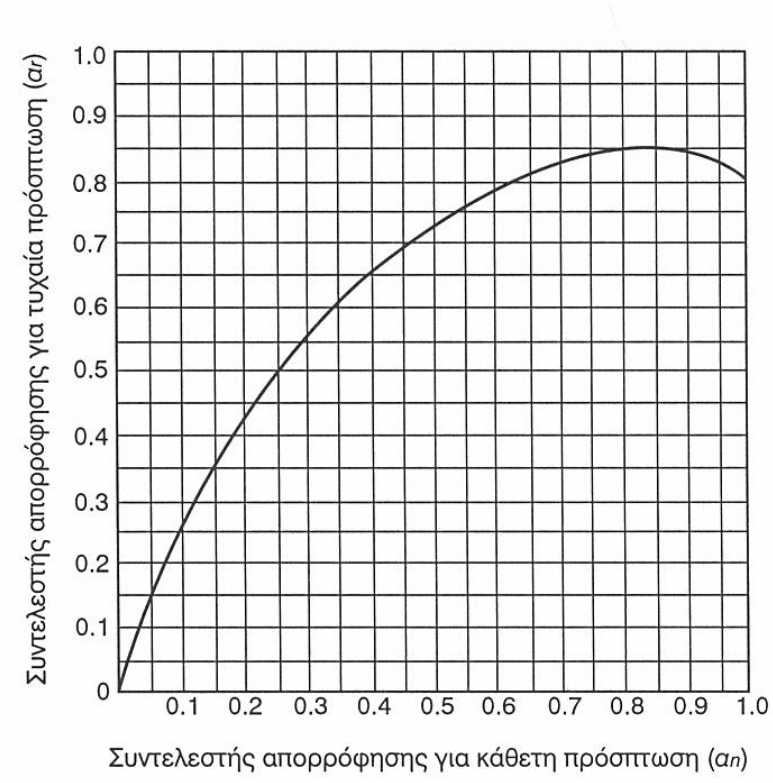
Σχήμα 2.18. Απεικόνιση του απευθείας ήχου, των πρώτων ανακλάσεων και του χρόνου αντήχησης (Λουτρίδης, 2015, σελ. 163).

2.6. Ηχοαπορρόφηση σε κλειστούς χώρους

Ο *συντελεστής απορρόφησης* (βλέπε σχήμα 2.19) περιγράφει την ιδιότητα που έχει μια επιφάνεια ή ένα υλικό να απορροφά ακουστική ενέργεια. Επηρεάζεται από την συχνότητα και από τον τρόπο που το κύμα ή η ακτίνα του ήχου προσπίπτει στην επιφάνεια του υλικού (Everest, 2003, σελ. 176-177).

Ο συντελεστής απορρόφησης (α) δίνεται από την σχέση:

$$\alpha = \frac{\text{ακουστική ενέργεια που απορροφά το υλικό}}{\text{ακουστική ενέργεια που προσπίπτει στο υλικό}}$$



Σχήμα 2.19. Μεταβολή του συντελεστή απορρόφησης με τη γωνία πρόσπτωσης του κύματος (Παπανικολάου, 2005, σελ.107).

Σε μελέτες των ερευνητών Norris-Eyring, Millington και Fitzroy αναφέρονται δύο υπολογισμοί του συντελεστή απορρόφησης. Η πρώτη βασίζεται στην μέση τιμή του συντελεστή της ανάκλασης σε διάφορες επιφάνειες όπου η μονάδα μέτρησης είναι το

sabine, και η δεύτερη στο γεωμετρικό συντελεστή της ανάκλασης. Ο συντελεστής που χρησιμοποιείται είναι ο πρώτος. Σε κάποιες μετρήσεις τυχαίνει ο συντελεστής απορρόφησης να υπερβαίνει την μονάδα. Το γεγονός αυτό συμβαίνει όταν ο ήχος περιθλάται, δείχνοντας πως η επιφάνεια μεγαλώνει, κάτι το οποίο δε συμβαίνει στη πραγματικότητα (Παπανικολάου, 2005, σελ.107-108).

Πίνακας 2.1.

Συντελεστές απορρόφησης κάποιων υλικών.

ΥΛΙΚΟ	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Πέτρα	0.19	0.23	0.43	0.37	0.58	0.62
Τούβλο γυμνό	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Τούβλο βαμμένο	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Χαλί βαρύ	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Μπετόν	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Μπετόν βαμμένο	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Κουρτίνες	0.03	0.4	0.11	0.17	0.24	0.35
Κουρτίνες βαριές	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65
Υαλοβάμβακας (2.5 cm)	0.08	0.25	0.65	0.85	0.80	0.75
Ξύλινο πάτωμα	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Γυψοσανίδα	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Μάρμαρο	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Νερό (πισίνες)	0.08	0.08	0.013	0.015	0.02	0.025
Υαλοπίνακες	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Ακροατές [ανά άτομο (sa)]	0.15	0.10	0.40	0.45	0.5	0.45
Ξύλινη θέση [ανά θέση (sa)]	0.02	0.03	0.05	0.05	0.1	0.15

Πηγή: (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 141).

2.6.1. Ηχοαπορροφητικά υλικά

Ηχοαπορροφητικά υλικά, ονομάζονται τα ακουστικά υλικά (διατάξεις) που ελέγχουν την απορρόφηση του ήχου (Τσινίκας, 1990, σελ. 28).

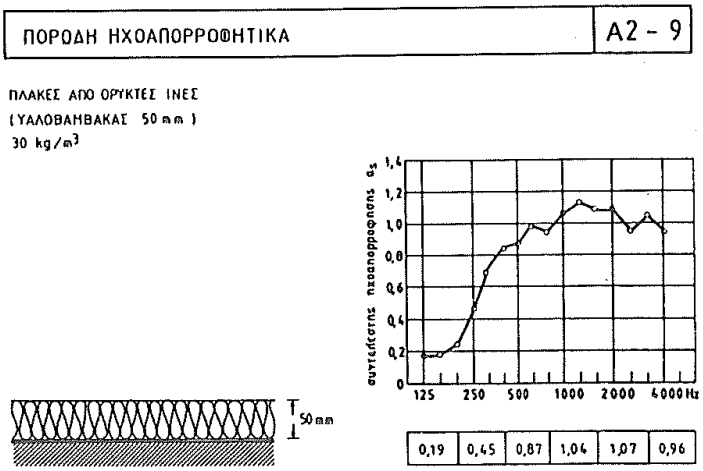
Κάθε υλικό έχει δικό του συντελεστή απορρόφησης. Ο βαθμός ηχοαπορρόφησης του κάθε αντικειμένου, θα εξαρτηθεί από το υλικό που είναι κατασκευασμένο, το πάχος, το μέγεθος και την πυκνότητα του υλικού. Ένα αραιό υλικό θα απορροφήσει μικρότερο ποσοστό ενέργειας από ότι ένα πυκνό. Τα πιο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο υαλοβάμβακας, οι μοκέτες, τα χαλιά, οι κουρτίνες καθώς και υλικά κατασκευασμένα από ορυκτές ίνες και κυτταρίνη (Παπανικολάου, 2005, σελ.108-109).

Τα ηχοαπορροφητικά υλικά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες, σύμφωνα με την περιοχή των συχνοτήτων που δρα το καθένα από αυτά. Οι κατηγορίες αυτές είναι (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 131-133. Τσινίκας, 1990, σελ. 28-32):

1. *τα πορώδη υλικά*: χρησιμοποιούνται κυρίως για την απορρόφηση των υψηλών συχνοτήτων. Αποτελούνται από πόρους, οι οποίοι συνδέονται με ένα πλέγμα κυττάρων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ινόπλακες από φυτικές ή ορυκτές ύλες, τα ορυκτόμαλλα που βρίσκονται σε μορφή παπλώματος ή πλάκας, τα αφρώδη πλαστικά κ.α. Χαρακτηριστικό αυτών των υλικών είναι ότι το πάχος του υλικού καθορίζει ποιες συχνότητες θα απορροφηθούν. (βλέπε σχήμα 2.20.)
2. *απορροφητές μεμβράνης*: πρόκειται για συνηχητές που έχουν ως βάση μια μεμβράνη, η οποία χρησιμοποιείται για την απορρόφηση κυρίως των χαμηλών συχνοτήτων. Το ηχητικό κύμα προκαλεί την παλμική κίνηση της μεμβράνης, αποτελώντας ένα συντονισμένο ηχοαπορροφητή. Τα χαρακτηριστικά του συνηχητή εξαρτώνται από το υλικό, το πάχος και τις διαστάσεις του. Στην περίπτωση αυτή όσο πιο λεπτό είναι το υλικό τόσο καλύτερη απορρόφηση θα προφέρει, διότι δονείται πολύ πιο εύκολα από ένα υλικό μεγαλύτερης μάζας. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι συνηχητές είναι κυρίως από ξύλο, όπως για παράδειγμα, τα MDF, τα αντικολλητά φύλλα (κόντρα πλακέ και κόντρα πλακάζ), οι γυψοσανίδες και άλλα. Οι συνηχητές επιβάλλονται σε χώρους ακροατηρίου, εφόσον τα περισσότερα υλικά που απαρτίζουν τον εσωτερικό χώρο δρουν στην απορρόφηση των υψηλών συχνοτήτων (σχήμα 2.21.).
3. τους *συνηχητές κοιλότητας*: (πιο γνωστός ο συνηχητής Helmholtz). Οι συνηχητές κοιλότητας παίρνουν πολλές μορφές. Η απλούστερη μορφή είναι ένα δοχείο που εμπεριέχει μόνο αέρα, ο οποίος συμπεριφέρεται σαν ελατήριο, προκαλώντας δονήσεις στο εσωτερικό του δοχείου στη συχνότητα συνήχησης f_{res} (res: resonant)(βλέπε σχήμα 2.22.).

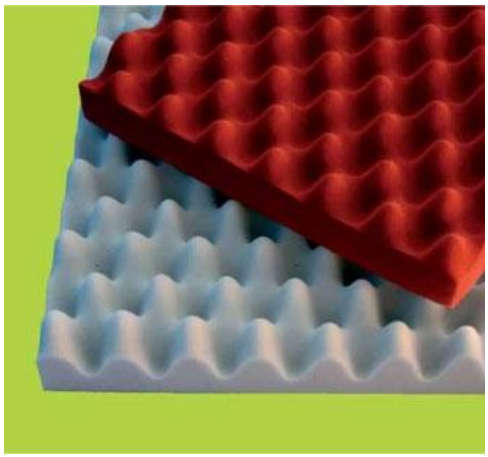
Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει και ο αέρας, ο οποίος βοηθά στην απορρόφηση των υψηλών συχνοτήτων. Η θερμοκρασία και η υγρασία που υπάρχει μέσα στο δωμάτιο επηρεάζουν την απορρόφηση του αέρα, η οποία έχει τιμές άνω της συχνότητας των 1000Hz. Οι τιμές που παίρνει ο συντελεστής απορρόφησης του αέρα εξαρτώνται από τη συχνότητα του κύματος. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε: για 1000Hz ο α = 0,3, ενώ

στα 2000Hz ο α =0,9 και με σχετική υγρασία 50% για κάθε 100m^3 (Τσινίκας, 1990, σελ. 34).

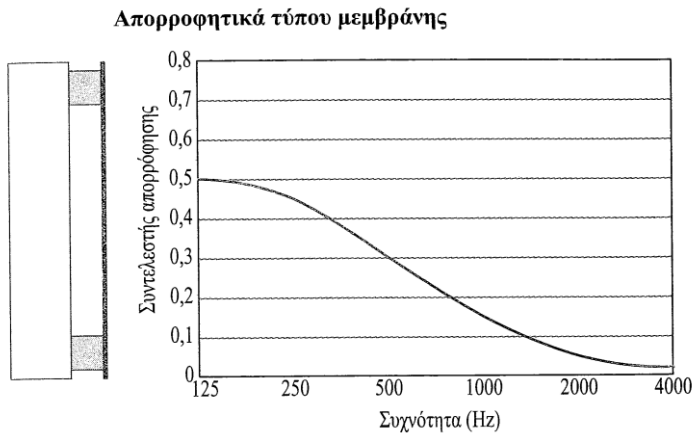


Σχήμα 2.20. Μεταβολή του συντελεστή απορρόφησης πορώδους υλικού (πλάκες από ορυκτές ίνες) (Τσινίκας, 1993, σελ. 194).

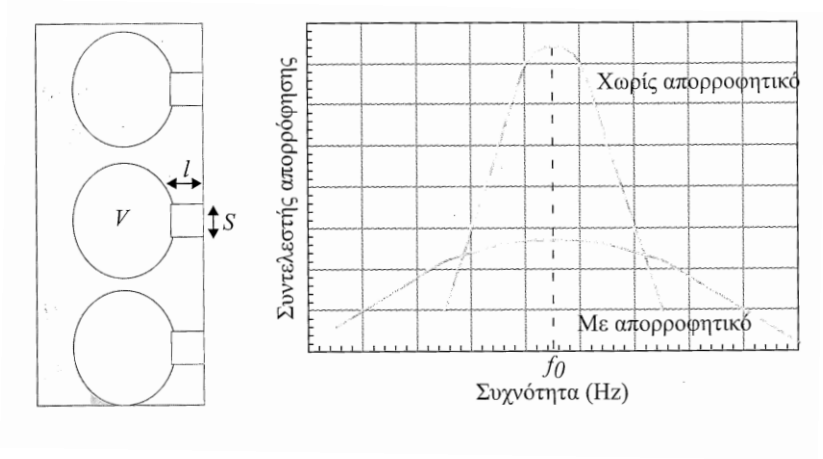
Ένα πορώδες απορροφητικό υλικό απεικονίζεται στην εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση ενός πορώδους ηχοαπορροφητικού υλικού. Πηγή: (http://infoacoustics.blogspot.gr/2012/05/blog-post_19.html)

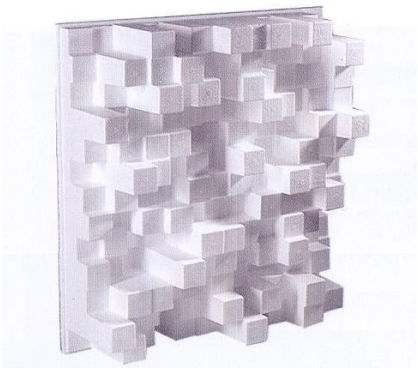


Σχήμα 2.21. Ηχοαπορροφητής μεμβράνης (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 133).



Σχήμα 2.22. Συνηχητής κοιλότητας (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 134).

Ένας διαχυτής ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην οροφή για παραγωγή διάχυσης στον ημιχώρο απεικονίζεται στην εικόνα 2.2 (Λουτρίδης, 2015, σελ. 158).



Εικόνα 2.2. Διαχυτής skyline της εταιρίας RPG Diffusor Systems Inc.

Κεφάλαιο 3ο

Διαμόρφωση των χώρων

3.1 Αίθουσες Ομιλίας

Στόχος σε έναν χώρο ομιλίας είναι η επίτευξη καταληπτότητας του λόγου, χωρίς όμως ο ήχος να γίνεται *«ξηρός»* ή *«φτωχός»* (Ευθυμιάτος, 2005, σελ. 239). Σε αίθουσες που προορίζονται για διαλέξεις καθώς και σε αίθουσες διδασκαλίας, όπου χρησιμοποιούνται στο λόγο ορολογίες, η κατανόηση της ομιλίας πρέπει να γίνεται εφικτή (Τσινίκας, 1990, σελ. 55). Για αυτό το λόγο πρέπει να τηρούνται κάποια κριτήρια:

- Σωστή ρύθμιση της αντήχησης
- Να εξασφαλιστεί η επιθυμητή στάθμη ήχου, από τον απευθείας, τις πρώιμες ανακλάσεις και γενικότερα του χρήσιμου ήχου.
- Να ρυθμιστούν οι τιμές των δεικτών πλευρικών ανακλάσεων και της *δι-ωτικής* ακρόασης, ώστε να γνωρίζουμε επακριβώς τη θέση της πηγής.
- Η ύπαρξη μιας μικρής χρονοκαθυστέρησης

Χρήσιμος για την ομιλία ήχος είναι αυτός των μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων. Τα καθίσματα παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην ακουστική της αίθουσας. Για την επίτευξη επιθυμητής ακουστικής χρησιμοποιούνται καθίσματα με επένδυση (με ηχοαπορροφητικό υλικό). Τα καθίσματα δεν πρέπει να βρίσκονται έξω από το άνοιγμα γωνίας 140^0, το οποίο είναι το άνοιγμα εξασθένησης της ηχητικής ισχύος της φωνής.

Σημαντικό ρόλο παίζει η απόσταση του ακροατή από την πηγή. Σε έναν κλειστό χώρο με χαμηλή στάθμη θορύβου, όπου δεν έχει μεγάλη επεξεργασία επιφανειών και μεγάλη αντήχηση, η ανθρώπινη φωνή είναι καταληπτή στην απόσταση των 10 με 15 μέτρων όταν δεν παρεμβάλλονται εμπόδια κατά την μετάδοση του ηχητικού κύματος ανάλογα με την έντασή της (Ευθυμιάτος, 2005, σελ. 239-241).

Επιπλέον σημαντικό ρόλο παίζει η ηχητική ισχύς. Η ισχύς επηρεάζεται από (Τσινίκας, 1990, σελ. 55):

1. την απόσταση μεταξύ των ομιλητών
2. την κατευθυντικότητα της πηγής

3. την απορρόφηση από τους ακροατές
4. τις ανακλαστικές επιφάνειες που ενισχύουν τον ήχο
5. *«την ηλεκτροακουστική ενίσχυση του ήχου»*
6. τη δημιουργία της σκιάς από την περίθλαση του ήχου

Τα κεφάλια των ακροατών δρουν ως μέσα διάχυσης και απορρόφησης. Επειδή τα αυτιά του ανθρώπου βρίσκονται κοντά στα μάτια, ο ακροατής θα πρέπει να έχει εκτός από μια ακουστική επαφή και μια οπτική επαφή του κεφαλιού του ομιλητή. Ακόμη απαραίτητη είναι μια διαβάθμιση του ύψους των θέσεων του ακροατηρίου, τουλάχιστον 8-12m^2, ώστε ο απευθείας ήχος να μην απορροφάται από το ακροατήριο.

Οι απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν διαμορφώνουν την αίθουσα. Ο βέλτιστος όγκος της αίθουσας παίρνει τιμή 4-5 m^3/άτομο. Κάποιες φορές μπορεί να φθάσει μέχρι 6m^3/ άτομο. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ένας χώρος χωρίς ανάγκη επένδυσης για ηχοαπορρόφηση ή ενίσχυση του ήχου. Έτσι έχουμε 400 έως 450 ακροατές με μέγιστο όγκο 2400m^3 σε αίθουσα ομιλίας.

Ο επιθυμητός χρόνος αντήχησης θα πρέπει να είναι ίδιος στο εύρος συχνοτήτων από 125 έως 4000 Hz (Ευθυμιάτος, 2005, σελ. 239-241). Για την ομιλία ο χρόνος αντήχησης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 1sec. Για αίθουσες τηλεκπαίδευσης ο χρόνος αντήχηση είναι 0,4sec < T(500Hz) < 0,6sec (Μπαλαούρας, 2005, σελ. 78).

3.1.1 Μετρήσεις του βαθμού καταληπτότητας της ομιλίας

Για να μπορέσουμε να μετρήσουμε τον βαθμό καθαρότητας της ομιλίας σε διάφορες θέσεις μέσα στην αίθουσα, πραγματοποιούνται κάποιες δοκιμές άρθρωσης. Στις δοκιμές αυτές, ο ομιλητής καλείται να εκφωνήσει μια σειρά μονοσύλλαβων λέξεων και οι ακροατές καλούνται να καταγράψουν αυτό που ακούν. Στη συνέχεια αναλύονται τα σύμφωνα και τα φωνήεντα που αντιλήφθηκαν σωστά οι ακροατές, ώστε να οριστεί στη συνέχεια ο δείκτης επί τοις εκατό (articulation index P.S.A.). Ο δείκτης P.S.A. αποτελεί μια υποκειμενική προσέγγιση της καταληπτότητας της ομιλίας.

Ο δείκτης P.S.A. όμως δεν είναι αλάνθαστος. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει είναι 95%, όταν το κοινό βρίσκεται σε άριστη κατάσταση. Αναλυτικά, όταν ο δείκτης παίρνει τιμή 80%, τότε το ακροατήριο είναι ικανό να κατανοήσει την ομιλία χωρίς να

καταβάλλει ιδιαίτερη προσπάθεια. Όταν όμως ο δείκτης παίρνει την τιμή 75%, ο ακροατής καταβάλλει προσπάθεια για να καταλάβει τον ομιλητή και για μικρότερη τιμή του δείκτη, όπως 65% η κατανόηση της ομιλίας χαρακτηρίζεται φτωχή.

Σε περίπτωση που ένας ομιλητής απευθύνεται σε μεγάλο κοινό, θα βοηθούσε εάν μιλούσε με αργό ρυθμό και καθαρή άρθρωση, εάν δεν υπάρχει σύστημα που να ενισχύει την ομιλία. Σε αίθουσες συνεδριάσεων, δικαστηρίων κ.α., εκτός από την ακρόαση πρέπει να υπάρχει και οπτική επαφή μεταξύ του ομιλητή και του ακροατή.

Η αξιολόγηση της ομιλίας μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Μια μέθοδος που ακολουθείται είναι ο γρήγορος δείκτης εκπομπής ομιλίας, *RASTI (Rapid Speech Transmission Index).* Ο δείκτης αυτός αποτελεί μια αντικειμενική προσέγγιση της καταληπτότητας της ομιλίας και αποτελεί ένα διεθνές πρότυπο μέτρησης. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:

1) Η επίδραση του θορύβου και του χρόνου αντήχησης λαμβάνεται αυτόματα και χωρίς να χρειάζονται αργότερα διορθώσεις των αποτελεσμάτων
2) Στη μέτρηση χρησιμοποιείται ειδική πηγή.
3) Η μέτρηση διαρκεί λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα.

Ο δείκτης αυτός εκφράζεται με αριθμό 0-1, προσδιορίζοντας την καταληπτότητα της ομιλίας και προκύπτει από τη μείωση της στάθμης του ηχητικού κύματος μεταξύ ομιλητή-ακροατή (βλέπε πίνακα 3.1.).

Το αποτέλεσμα του δείκτη της μεθόδου RASTI, STI ή STIPA επηρεάζεται από μια συνάρτηση, η οποία ονομάζεται M.T.F. (modulation transfer function: συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης συχνοτήτων) και δρα σε επτά ζώνες οκτάβας (Brüel and Kjaer, 2013, p. 3. Κανδύλης, 2005, σελ.84-86, 93). Η συνάρτηση αυτή περιγράφει τον βαθμό ελάττωσης της διαμόρφωσης *m* από τον πομπό στο δέκτη, ως συνάρτηση διαμόρφωσης της συχνότητας *f*. Η συνάρτηση αυτή εξαρτάται από το θόρυβο του περιβάλλοντος και το ίδιο το σύστημα (βλέπε σχήμα 3.1.) (Brüel and Kjaer, 2013, p. 3).

Ένας ακόμα δείκτης που μετρά την απώλεια των συμφώνων είναι ο AL (Articulation loss). Το αποτέλεσμα δίνεται από τη σχέση (Jacob, 1985, p. 953):

$$\% \, AL_{cons} = 200r^2\left(\frac{(RT)^2}{VQ}\right)$$

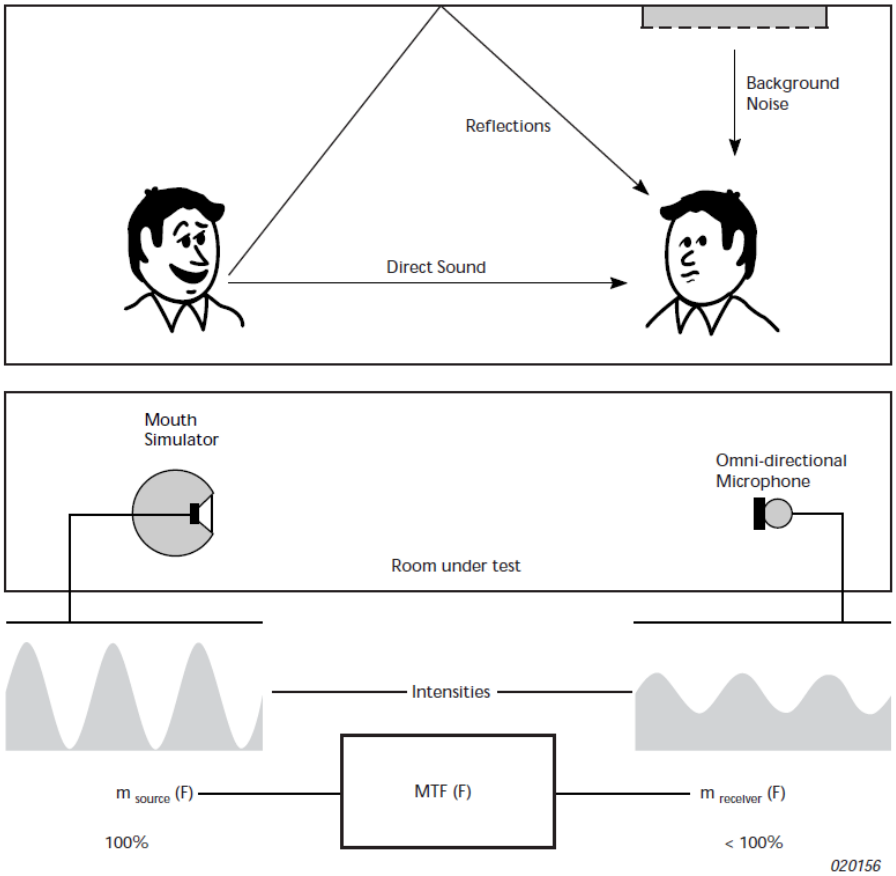
Όπου:

- r : είναι η απόσταση του ακροατή από τη πηγή σε m
- V: ο όγκος του χώρου σε m^3
- RT: ο χρόνος αντήχησης σε sec.
- Q: η κατευθυντικότητα της πηγής

Πίνακας 3.1. Τιμές που παίρνει ο δείκτης RASTI για την κατανόηση της ομιλίας.

Κακή	Φτωχή	Καλή	Πολύ καλή	Εξαιρετική
0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 - 0,75	0,75 – 1

Πηγή: (Σκαρλάτος 2003, σελ. 193)



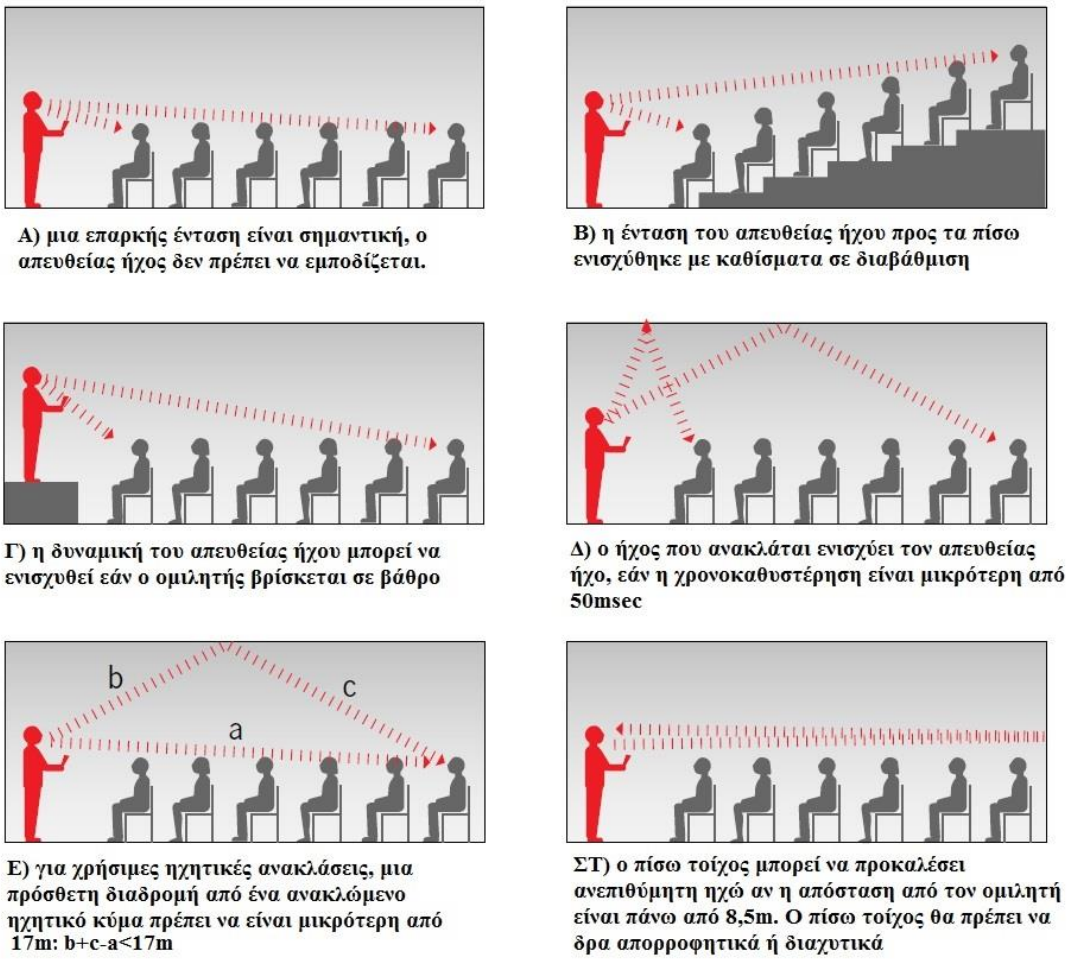
Σχήμα 3.1. Απεικόνιση της σχέσης μεταξύ της κατανόησης της ομιλίας και του διαμορφωμένου θορύβου βάθους (Brüel and Kjaer, 2013, p. 3).

3.2 Αίθουσες Διδασκαλίας

Μπορεί να μην υπάρχουν αυστηροί περιορισμοί όσον αφορά τη κατασκευή (σχήμα και μέγεθος) των αιθουσών. Παρόλα αυτά καλό είναι να αποφεύγονται αίθουσες με υπερβολικές χωρικές διακυμάνσεις (π.χ. υπερβολικά μεγάλες σε μέγεθος κλπ.)(βλέπε σχήμα 3.2.) (Knudsen and Harris, 1978, p. 300).

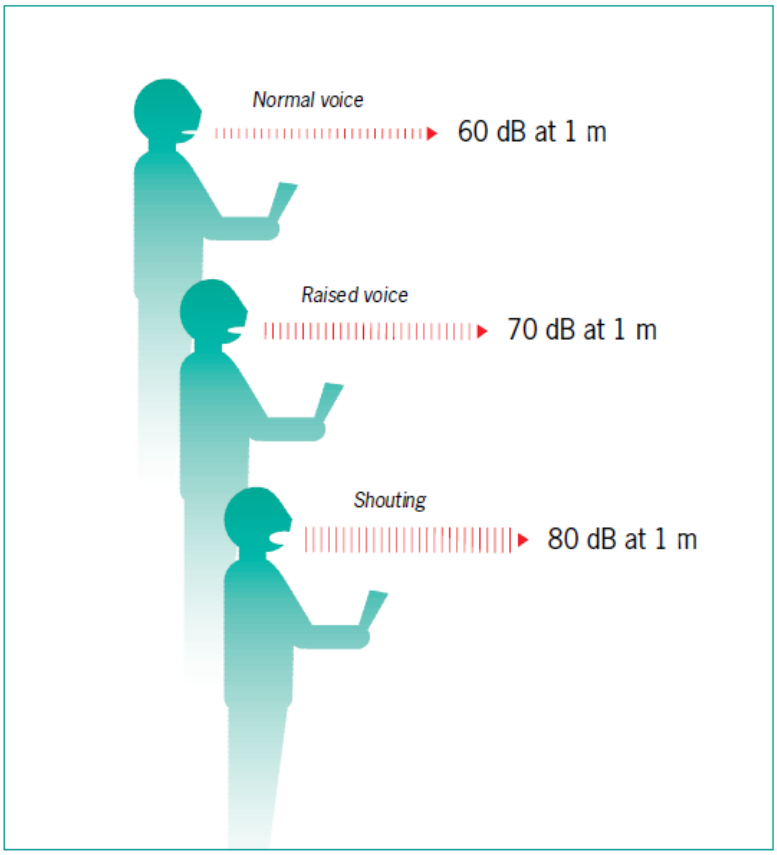
Οι παράγοντες που συμβάλουν στην ακουστική μιας αίθουσας διδασκαλίας είναι (Gustafson, Hicks and Worthington, 2011):

- το επίπεδο του ήχου
- η δυναμική της φωνής του ομιλητή
- ο χρόνος αντήχησης
- η απόσταση που υπάρχει μεταξύ του ομιλητή από τον δέκτη και τα χαρακτηριστικά του ομιλητή (ηλικία, φύλο, φωνητική κατασκευή).



Σχήμα 3.2. Απεικόνιση των επιπτώσεων της γεωμετρίας του χώρου στην ομιλία (DfES, 2003, p. 56).

Ο θόρυβος περιβάλλοντος που υπάρχει σε μια αίθουσα διδασκαλίας αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα, αφού η φωνή του διδάσκοντα πρέπει να βγαίνει καθαρή. Ο ομιλούμενος διάλογος έχει ισχύ 10microwatt και στάθμη ηχητικής πίεσης 60dB σε απόσταση 1m. Αν ο ομιλητής ανεβάσει τη στάθμη της φωνής του, χωρίς όμως να πιέζεται, η ηχητική ισχύς φτάνει τα 100microwatt και η στάθμη ηχητικής πίεσης ανέρχεται στα 70dB σε απόσταση 1m. Όταν ο ομιλητής θα φωνάξει δυνατά, τότε η στάθμη ηχητικής πίεσης ανέρχεται στα 80dB σε απόσταση 1m (βλέπε σχήμα 3.3.). Παρατηρούμε πως όταν ο ομιλητής ανεβάζει τη φωνή του, διπλασιάζεται η ένταση της φωνής (DfES,2003, p. 53).



Σχήμα 3.3. Τιμές που μπορεί να πάρει η ηχητική πίεση σε απόσταση ενός μέτρου από τον ομιλητή (DfES, 2003, p. 53).

Σε αρκετές έρευνες που έχουν γίνει, τα αποτελέσματα έδειξαν πως σε μια ήσυχη αίθουσα διδασκαλίας η μέση στάθμη της φωνής είναι 67dB(A), σε απόσταση ενός μέτρου, με αποτέλεσμα η στάθμη στην άλλη πλευρά της αίθουσας να είναι 50dB(A). Με βάση τα στοιχεία αυτά, ο θόρυβος του περιβάλλοντος της αίθουσας δεν πρέπει να

υπερβαίνει τα 35dB(A). Οι στάθμες του επιτρεπτού θορύβου που δίνει το αμερικανικό ινστιτούτο φυσικής είναι 40dB για αίθουσες κοινής χρήσης και 35dB για αίθουσες που προορίζονται για ομιλία, για μουσική και γενικά για αίθουσες όπου απαιτείται ένα ήσυχο περιβάλλον (βλέπε πίνακα 3.2.).

Σύμφωνα με το αμερικανικό ινστιτούτο φυσικής βρέθηκε πως ένα δωμάτιο μήκους 9,15m, ύψους 3,66m και πλάτους 7,625m θεωρείται ικανοποιητικό, όταν ο αριθμός των μαθητών δεν υπερβαίνει τα 40 άτομα. Οι τιμές του μήκους και του πλάτους είναι επιθυμητές τόσο για μεγαλύτερες, όσο και για μικρότερες αίθουσες (Knudsen and Harris, 1978, p. 300). Η σχέση του όγκου του χώρου ανά ακροατή θα πρέπει να είναι 2,3m^3 έως 4,3m^3 (Τσινίκας, 1990, σελ. 56).

Πίνακας 3.2. Θόρυβος σε μουσικό χώρο

Χώρος μουσικών δραστηριοτήτων	Κριτήρια	dB(A)
Στούντιο ηχογράφησης και ελέγχου	10	20
Αίθουσα συναυλιών	15	25
Αίθουσα προβών οργάνων	25	35
Αίθουσα προβών χορωδίας	25	35
Αίθουσα μελέτης οργάνου	30	38
Αίθουσα διδασκαλίας της μουσικής	25	35
Μουσική ακρόαση	35	42
Αίθουσα ατομικής μελέτης	35	42
Αίθουσα μελέτης συνόλου	30	38
Ηλεκτρονική μουσική	30	38
Στούντιο σχολής	30	38
Κυκλοφορία/σαλόνια	40	47

Πηγή: (McCue and Talaske, 1989, p. 51)

Σημαντικό ρόλο σε μια αίθουσα διδασκαλίας παίζει ο χρόνος αντήχησης (οι επιπτώσεις αναλύονται στο κεφάλαιο 4.2.1). Ο χρόνος αντήχησης δεν ενδείκνυται να ξεπερνά τα 0,6sec, στις συχνότητες των 500, 1000 και 2000Hz, όταν η αίθουσα είναι κενή και έχει όγκο μέχρι 300m^3, και 0,7sec όταν ο όγκος των αιθουσών είναι από 300m^3 μέχρι 600m^3. Αν αυξηθεί ο χρόνος αντήχησης, τότε δημιουργείται πρόβλημα στην καταληπτότητα της ομιλίας (Ευθυμιάτος 2005, σελ. 270-271). Το αμερικανικό ινστιτούτο έδειξε ότι επιθυμητός μπορεί να είναι ένας χρόνος αντήχησης 0,75sec όταν οι συχνότητες κυμαίνονται από 512Hz μέχρι 2048Hz και 1sec όταν η συχνότητα είναι

128Hz (Knudsen and Harris, 1978, p. 301). Ο επιθυμητός χρόνος αντήχησης των αιθουσών διδασκαλίας δίνεται από τον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3.

Αίθουσες	RT_{60} σε second
Μουσική Αίθουσες μουσικής	< 1.0
Μικρές αίθουσες για εξάσκηση	< 0.8
Μουσική δωματίου	0.6 – 1.2
Αίθουσες διαλέξεων μέχρι 50 άτομα	< 0.8
Αίθουσες διαλέξεων πάνω από 50 άτομα	< 1.0
Αίθουσες ειδικά σχεδιασμένες για παιδιά με ειδικές ανάγκες	<0.4

Πηγή: (DfES, 2003, σελ. 14)

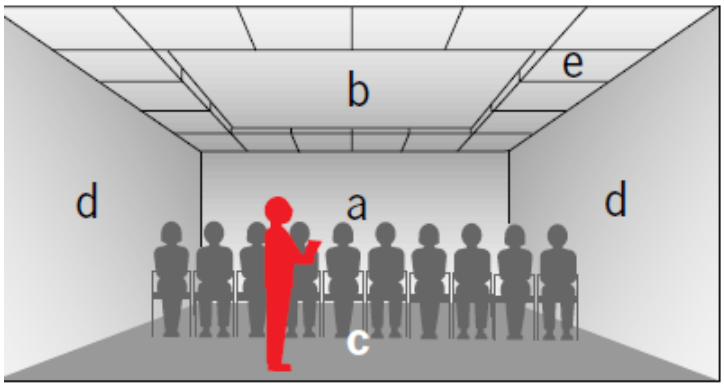
Επειδή στις αίθουσες διδασκαλίας δεν συνιστάται η τοποθέτηση μοκέτας, τοποθετούνται ηχοαπορροφητικά υλικά στην οροφή και στο επάνω μέρος των πλάγιων τοίχων (βλέπε σχήμα 3.7.). Σε περιπτώσεις όπου η θέση του ομιλητή μεταβάλλεται, τότε τοποθετείται σε όλη την οροφή μία ηχοαπορροφητική επένδυση. Ακόμη πρέπει να αποφεύγεται η ύπαρξη παράλληλων λείων επιφανειών, όπως για παράδειγμα, τζάμια παραθύρων με τζάμια ντουλάπας.

Επιπλέον όταν σε κάποιο μάθημα δεν είναι πλήρης ο αριθμός τον μαθητών, όπως είναι τα μαθήματα επιλογής, για την ύπαρξη του επιθυμητού χρόνου αντήχησης, απαραίτητη είναι μια ηχοαπορροφητική επένδυση στα καθίσματα (Ευθυμιάτος, 2005, σελ. 271). Δύο διαφορετικοί μέθοδοι που υπάρχουν για την απορρόφηση σε μια αίθουσα διδασκαλίας είναι τα εξής (DfES, 2003, p. 55):

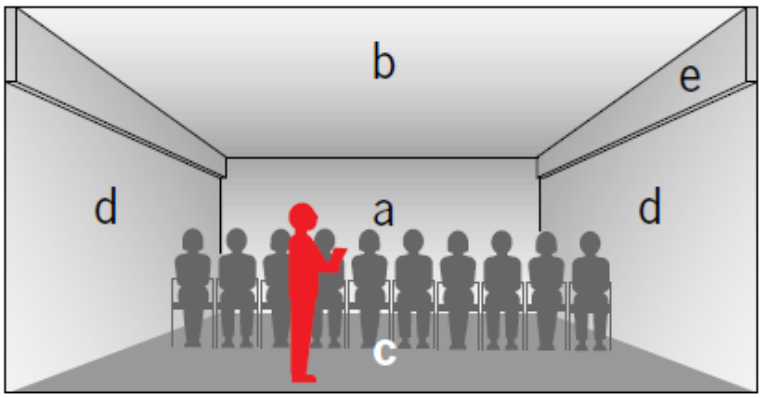
1) Η ύπαρξη ηχοαπορροφητικότητας στην οροφή. Μια περίπτωση είναι η ύπαρξη μιας ψευδοροφής που να δρα ηχοαπορροφητικά. Σε περιπτώσεις αύξησης της θερμοκρασίας, ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε αίθουσες όπου το υλικό κατασκευής είναι σκυρόδεμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακουστικά διαφράγματα. Το ιδανικό θα ήταν να υπάρχει

ηχοαπορρόφηση στις άκρες και ανάκλαση στο κέντρο της οροφής (βλέπε σχήμα 3.4.).

2) Να γίνεται ηχητική απορρόφηση από τους τοίχους και το ταβάνι (π.χ. γυψοσανίδα) να δημιουργεί ανάκλαση. Στην περίπτωση αυτή καλό είναι να υπάρχει μια ηχοαπορρόφηση αρκετά υψηλού επιπέδου για να μη δημιουργηθεί το φαινόμενο της ηχούς από τον πίσω τοίχο. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν ο πίσω τοίχος εμφανίζει κοίλο ή ακόμα όταν υπάρχει απόσταση ομιλητή και πίσω τοίχου 8,5m (βλέπε σχήμα 3.5.).

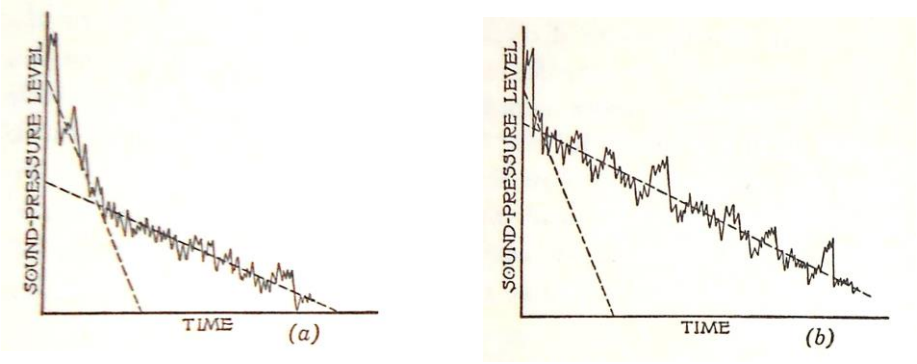


Σχήμα 3.4. Αίθουσα διδασκαλίας: a: είναι ο πίσω τοίχος, που απορροφά ή διαχέει τον ήχο, b: επένδυση, δρα ως ανακλαστική επιφάνεια, c: επιφάνεια που απορροφά τον ήχο (συνήθως μοκέτα ή χαλί), d: οι τοίχοι χρησιμοποιούνται ως ανακλαστικές επιφάνειες και e: μια επιφάνεια για την παροχή ηχοαπορρόφησης (DfES, 2003, p. 55).



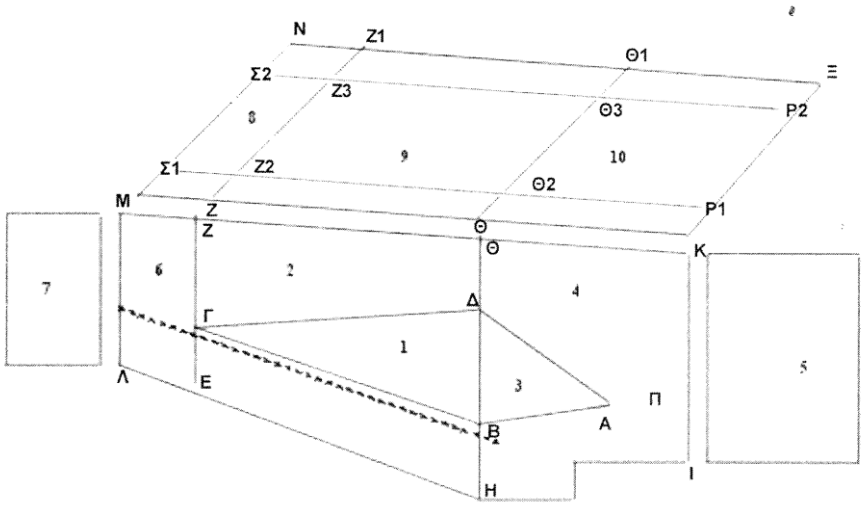
Σχήμα 3.5. Αίθουσα διδασκαλίας: a: είναι ο πίσω τοίχος, που απορροφά ή διαχέει τον ήχο, b: επένδυση, δρα ως ανακλαστική επιφάνεια, c: επιφάνεια που απορροφά τον ήχο (συνήθως μοκέτα ή χαλί), d: οι τοίχοι χρησιμοποιούνται ως ανακλαστικές επιφάνειες και e: το πάνω μέρος των τοίχων που χρησιμοποιείται ή για την ανάκλαση ή για την απορρόφηση του ήχου (DfES, 2003, p. 55).

Ο αριθμός των ηχοαπορροφητικών υλικών που θα χρησιμοποιηθεί για να πετύχουμε την επιθυμητή αντήχηση στην αίθουσα βασίζεται στο μέγεθος του χώρου, τον στόχο, την κάλυψη των θέσεων από το κοινό και την ηλικία των ατόμων.



Σχήμα 3.6. Η μεταβολή της στάθμης πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο αντήχησης σε συζευγμένους χώρους (δωμάτιο και διάδρομο) (Knudsen and Harris, 1978, p. 144).

Μια ηχομόνωση θορύβου σε αίθουσες ομιλίας και αίθουσες μουσικής δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 40 dB και 45 dB αντίστοιχα (Knudsen and Harris, 1978, p. 300-301).



Σχήμα 3.7. Απεικόνιση των θέσεων των απορροφητικών και ανακλαστικών επιφανειών (Ευθυμιάτος, 2005, σελ. 244).

Τέλος, όταν οι αίθουσες διδασκαλίας μπορούν να συγκεντρώσουν 100 έως 150 άτομα, απαιτείται ένα ηλεκτροακουστικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση του ήχου. Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι πως «*απομακρύνει ψυχικά τον ομιλητή από τον ακροατή*» (Τσινίκας, 1990, σελ. 57).

3.2.1 Αίθουσες μουσικής και διδασκαλίας μουσικού οργάνου

Ο σχεδιασμός των αιθουσών που προορίζονται για μουσική διαφέρει ως προς τον σχεδιασμό για ομιλία. Στη μουσική υπερισχύει το συναίσθημα και το καλλιτεχνικό στοιχείο (Κανδύλης, 2005, σελ. 94).

Κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως είναι το σχήμα και το μέγεθος των χώρων που ορίζονται για χορωδίες και ορχήστρες, μοιάζουν με τον σχεδιασμό των αιθουσών διαλέξεων. Κάποια από αυτά είναι και η επένδυση του πατώματος, το οποίο συνήθως αποτελείται από μια εξέδρα με δύο ή τρία βάθρα, για να μπορεί με άνεση να παίζει η χορωδία και η ορχήστρα.

Και εδώ ο χρόνος αντήχησης παίζει σημαντικό ρόλο. Πιο συγκεκριμένα καθορίζεται από το είδος της μουσικής που εκτελείται στην αίθουσα. Σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή μια καλή ακουστική, ρυθμίζεται η αντήχηση στον χώρο, έχοντας ως βάση τον αριθμό των εκτελεστών, το πλήθος του ακροατηρίου και το είδος της μουσικής που πρόκειται να παρουσιαστεί.

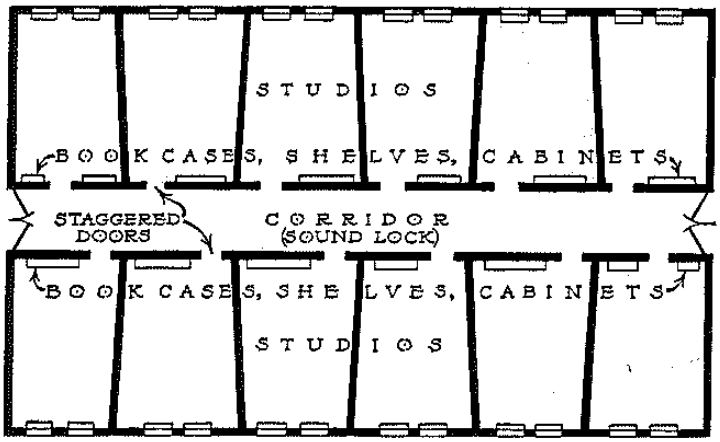
Η χρήση των απορροφητικών υλικών πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Αρχικά οι τοίχοι και η επένδυση δίπλα στην εξέδρα πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε στα τελειώματα να έχουν σκληρά ανακλαστικά υλικά. Από την άλλη πλευρά πρέπει να δρουν με αρκετή ηχοαπορροφητικότητα οι τοίχοι που βρίσκονται πίσω και πλάγια από την περιοχή των θέσεων των ακροατών. Ένας τρόπος για καλή ακουστική σε χώρους μουσικής είναι η χρήση ξύλινων επενδύσεων και ξύλινων πατωμάτων, τοποθετημένων έτσι ώστε να καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες και να παρέχουν σημαντική απορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων. Ακόμη καλό είναι να αποφεύγονται κουρτίνες καθώς και βελούδινες επιφάνειες, διότι προκαλούν αλλαγές στην αντήχηση που χρειάζεται η αίθουσα, δημιουργώντας μία δυσκολία στην ακρόαση μεταξύ των χορωδών καθώς και της αποτελεσματικής μετάδοσης του ήχου στο κοινό. Επιπλέον οι κουρτίνες είναι πιο αποτελεσματικές στην απορρόφηση των υψηλών συχνοτήτων (Knudsen and Harris, 1978, p. 308-310).

Για τον σχεδιασμό των αιθουσών που προορίζονται για μουσική διδασκαλία θα πρέπει να ισχύει (Ευθυμιάτος, 2005, σελ. 275-276):

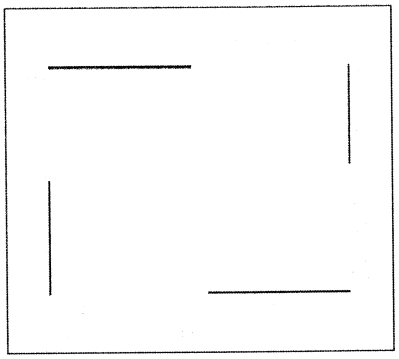
1. αποφυγή στάσιμων κυμάτων και του φαινομένου της ηχούς. Οι πλευρές να μην είναι παράλληλες και η οροφή να έχει κλίση με το δάπεδο.

2. επαρκής διάχυση κυμάτων του ήχου. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, ο χώρος πρέπει να είναι μικρός, ανάλογα με το μέγεθος του μουσικού οργάνου. Το ύψος μπορεί να είναι από 3,6m μέχρι 5,2m.
3. η αύξηση των ατόμων να μην επηρεάζει την μεταβολή του χρόνου αντήχησης. Ο ιδανικός χρόνος αντήχησης είναι από 0,7sec μέχρι 0,8sec.

Η ηχομόνωση των αιθουσών για τη μουσική μελέτη (*practice rooms*) θέλει σωστό σχεδιασμό, έτσι ώστε να μην ενοχλούνται από τον εξωτερικό θόρυβο αλλά και τον θόρυβο των πλαϊνών αιθουσών. Οι επενδύσεις που θα τοποθετηθούν στους τοίχους απαραίτητο είναι να μην δημιουργούν απώλεια ήχου μικρότερη από 45dB και οι πόρτες με τα παράθυρα απώλεια ήχου μικρότερη των 30dB (βλέπε σχήμα 3.8.) (Knudsen and Harris, 1978, p. 310-311).



Σχήμα 3.8. Απεικόνιση της σχεδίασης των αιθουσών μουσικής που προορίζονται για την μελέτη των μαθητών (*practice room)* (Knudsen and Harris, 1978, p. 311).



Σχήμα 3.9. Σκαρίφημα κάτοψης, με προτεινόμενη τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών υλικών (Ευθυμιάτος, 2005, σελ. 272).

3.3 Ηχομόνωση

Η ηχομόνωση είναι η διαδικασία στην οποία λαμβάνονται τα μέτρα για τη μείωση της στάθμης του ήχου. Αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της αρχιτεκτονικής ακουστικής, που με τη σειρά της είναι κλάδος της ακουστικής. Τα κτήρια που κατασκευάζονται χρησιμοποιούν αρκετά δομικά στοιχεία. Η ηχομόνωση πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με τα ελαττώματα των υλικών και την κατασκευή του χώρου (Brüel and Kjaer) .

Όταν ο ήχος συναντά μια επιφάνεια, διεγείροντας την, δημιουργεί μια ταλάντωση. Ανάλογα με τη μάζα ή το βάρος της επιφάνειας αυτής εξαρτάται και το μέγεθος της κίνησης, δηλαδή όσο πιο ογκώδης είναι μια επιφάνεια, τόσο πιο μεγάλη θα είναι η αντίσταση που θα έχει η επιφάνεια αυτή στην ένταση του ήχου. Η ενέργεια που θα μεταδοθεί εμφανίζει ελάττωση. Το επίπεδο του ήχου που εκπέμπεται αποτελεί ένα μέτρο για την αποτελεσματικότητα της ηχομόνωσης.

Η ηχομόνωση επίσης επηρεάζεται και από την ακαμψία που μπορεί να έχει το υλικό, όταν αυτό διεγερθεί από το εκπεμπόμενο κύμα του ήχου. Καλύτερη ηχομόνωση μπορεί να υπάρξει όταν έχουμε υλικά με μικρή δυσκαμψία και συγκεκριμένη δομή (Egan, 2000, p. 127).

Για να γίνει εφικτή η ηχομόνωση μεταξύ δύο αιθουσών ορίζεται αρχικά μια αίθουσα εκπομπής και μια αίθουσα λήψης. Το αποτέλεσμα που θα ληφθεί είναι ο προσδιορισμός και η ελάττωση της στάθμης της ηχητικής πίεσης που λαμβάνει η αίθουσα λήψης από την αίθουσα εκπομπής (Κανδύλης, 2005, σελ. 110-111). Μια μέτρηση της αποτελεσματικότητας της ηχομόνωσης είναι ο STC (sound transmission class = βαθμός μεταδιδόμενου ήχου). Όσο μεγαλύτερος είναι ο STC, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η κατασκευή για την μείωση της μετάδοσης του ήχου (Egan, 1988, p. 177).

3.3.1 Παραδείγματα ηχομόνωσης

Εξωτερικοί τοίχοι

Οι τοίχοι με ξύλινο σκελετό, επενδυμένοι με μια ελαφριά επένδυση ή άλλες επιπρόσθετες ελαφριές κατασκευαστικές διατάξεις, παρέχουν χαμηλό επίπεδο

ηχομόνωσης στις χαμηλές συχνότητες, στις οποίες ο θόρυβος που προέρχεται από την οδική ή εναέρια κυκλοφορία είναι αρκετά δυνατός, ειδικά στα αστικά κέντρα (DfES, 2003, p. 28).

Εξωτερικά παράθυρα

Η ηχομόνωση που θα επιτευχθεί στα παράθυρα εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα που θα έχουν το προσαρμοσμένο πλαίσιο του παραθύρου με τον τοίχο και τα τζάμια που θα τοποθετηθούν.

Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη ηχομόνωση χρησιμοποιώντας έναν διπλό υαλοπίνακα, τοποθετούνται τα φύλλα των τζαμιών παράλληλα σε απόσταση, δημιουργώντας ένα διάκενο, το οποίο είναι συνήθως γεμάτο αέρα. Σύμφωνα με τη θεωρία λέγεται ότι όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση των δύο αυτών φύλλων τόσο πιο αποτελεσματική θα είναι η ηχομόνωση του κουφώματος.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί γενικά ότι αποτελεσματικότερη ηχομόνωση επιτυγχάνεται μέσω μιας αεροστεγούς σφράγισης περιμετρικά του παραθύρου από ότι μιας σφράγισης με βουρτσάκι (DfES, 2003, p. 30).

Γενικά για εσωτερικούς χώρους (τοιχοποιίες και μέρη του δωματίου)

Μια γενική αλήθεια είναι ότι η χρήση ελαφριών κατασκευών όπως ελαφριά διπλά-φύλλα, διπλά τζάμια ή διπλά φύλλα γυψοσανίδας, παρέχουν μια ικανοποιητική ηχομόνωση. Η χρήση αυτών γίνεται ανάλογα με τις συχνότητες που απαιτείται να απορροφηθούν. Μια αρκετά ικανοποιητική ηχομόνωση στις υψηλές και μεσαίες συχνότητες μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα με την τοποθέτηση διπλών φύλλων σε απόσταση μεταξύ τους δημιουργώντας μια κοιλότητα αέρα, σε σχέση με την χρήση δύο μονών. Η απόδοση των ξεχωριστών φύλλων γυψοσανίδων στις χαμηλές συχνότητες είναι περιορισμένη, εξαιτίας της χαμηλής μάζας και της ευκαμψίας των μερών αυτών. Μια τοιχοποιία μπορεί να παρέχει σε αυτή τη περίπτωση καλύτερη ηχομόνωση εξαιτίας της μάζας του τοίχου (DfES, 2003, p. 37-38).

Σε χώρους μουσικής, τα επίπεδα του ήχου και η ενόχληση από δωμάτιο σε δωμάτιο μουσικής εξαρτάται κυρίως από το όργανο το οποίο παίζεται στο καθένα. Εφόσον η

δυναμική κάθε οργάνου ποικίλει, τότε και η ηχομόνωση θα πρέπει να είναι ανάλογη στο κάθε δωμάτιο.

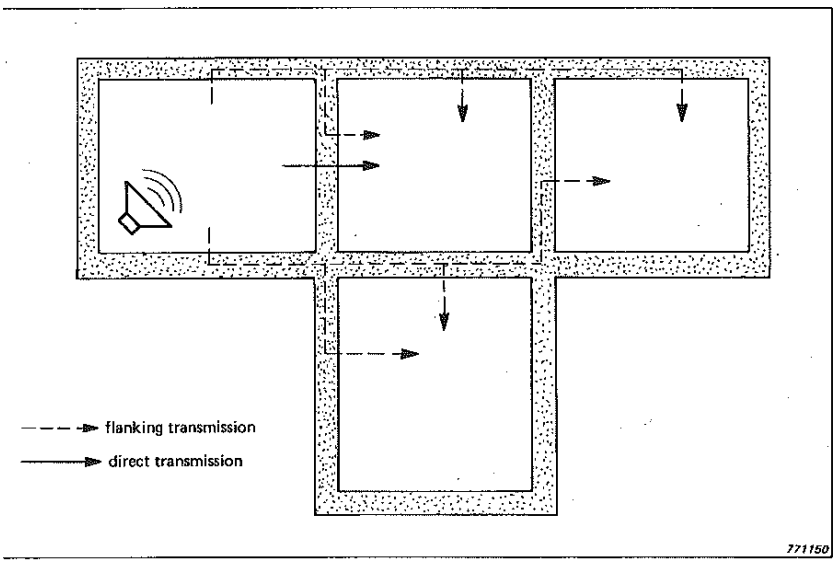
Το κόστος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την πραγματοποίηση της κατάλληλης ηχομόνωσης. Όταν υπάρχει οικονομική δυνατότητα είναι επιθυμητό κάθε όργανο να φιλοξενείται σε διαφορετικό δωμάτιο. Όταν όμως δεν υπάρχει η δυνατότητα, διότι η διαδικασία έχει μεγάλο κόστος, υπάρχει εναλλακτική λύση κατά την οποία σχεδιάζονται δωμάτια για ομάδες μουσικών οργάνων που ανήκουν στη ίδια οικογένεια (DfES, 2003, σελ. 64).

3.3.2 Ηχομόνωση μεταξύ αιθουσών

Ένα βασικό ζήτημα είναι η παροχή μιας επαρκούς ακουστικής απομόνωσης μεταξύ των γειτονικών χώρων μουσικής όσον αφορά την μείωση της ακουστότητας της μουσικής από τον συνεχόμενο θόρυβο βάθους. Οι μηχανικοί που ασχολούνται με τον κλάδο της ακουστικής ονομάζουν το φαινόμενο *επικάλυψη* (masking). Στην περίπτωση αυτή όταν τα επίπεδα του θορύβου περιβάλλοντος είναι χαμηλά, τότε πρέπει να υπάρξει σημαντική ηχομόνωση από όλη την κατασκευή και αντιστρόφως. Στις αίθουσες διδασκαλίας χρειάζεται να έχουμε χαμηλά επίπεδα θορύβου περιβάλλοντος και υψηλή ηχομόνωση (McCue and Talaske, 1989, p. 52-53).

Α. Ηχομόνωση αερόφερτου θορύβου

Η ηχητική ενέργεια εκπομπής, προσκρούει στις διάφορες επιφάνειες της αίθουσας εκπομπής. Η ενέργεια που θα διαδοθεί μέσω του τοίχου θα εξαρτηθεί από την ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου μεταξύ της αίθουσας εκπομπής και λήψης και του αέρα. Η δόνηση του τοίχου που προκαλείται από την ηχητική πίεση στο δωμάτιο εκπομπής, μεταδίδει τον ήχο στο δωμάτιο λήψης (σχήμα 3.10.) (Κανδύλης, 2005, σελ. 110-111).



Σχήμα 3.10. Πλευρική μετάδοση του ήχου μέσω των τοιχωμάτων του δωματίου (Κανδύλης, 2005, σελ. 111).

Τα κριτήρια για τα επιτρεπτά επίπεδα του ήχου μεταξύ των αιθουσών δίνονται από τον πίνακα 3.5. (McCue and Talaske, 1989, p. 53).

Πίνακας 3.5.

Χώροι μουσικής δραστηριότητας	Σαλόνια/Κυκλοφορία	Κενά στούντιο(faculty studio)	Αίθουσα ηλεκτρονικής μουσικής	Αίθουσα μελέτης συνόλου οργάνων	Αίθουσα για ατομική μελέτη	Αίθουσα μουσικής ακρόασης	Αίθουσα μουσικής διδασκαλίας	Χώρος μελέτης οργάνων	Χώρος προβών χορωδίας	Χώρος προβών ορχήστρας	Χώρος συναυλιών	Στούντιο ηχογράφησης και ελέγχ
Στούντιο ηχογράφησης και ελέγχου (100dBC)	57	74	80	77	77	77	77	80	77	85	85	80
Χώρος συναυλιών (105Dbc)	52	69	75	72	72	72	72	75	72	80	80	
Χώρος προβών ορχήστρας (105dBC)	42	67	67	67	63	63	70	67	70	70		
Χώρος προβών χορωδίας (97dBC)	42	59	65	62	62	62	62	65	62			
Χώρος μελέτης οργάνων (100dBC)	39	62	62	62	59	59	65	62				
Αίθουσα μουσικής διδασκαλίας (97dBC)	42	59	65	62	62	62	62					
Αίθουσα μουσικής ακρόασης (97dBC)	35	59	59	59	55	55						
Αίθουσα για ατομική μελέτη (97dBC)	35	59	59	59	55							
Αίθουσα μελέτης συνόλου οργάνων (97dBc)	39	59	62	59								
Αίθουσα ηλεκτρονικής μουσικής (100dBC)	39	62	62									
Στούντιο της σχολής (faculty studio) (94dBC)	39	56										
Σαλόνια/Κυκλοφορία (77dBC)	30											

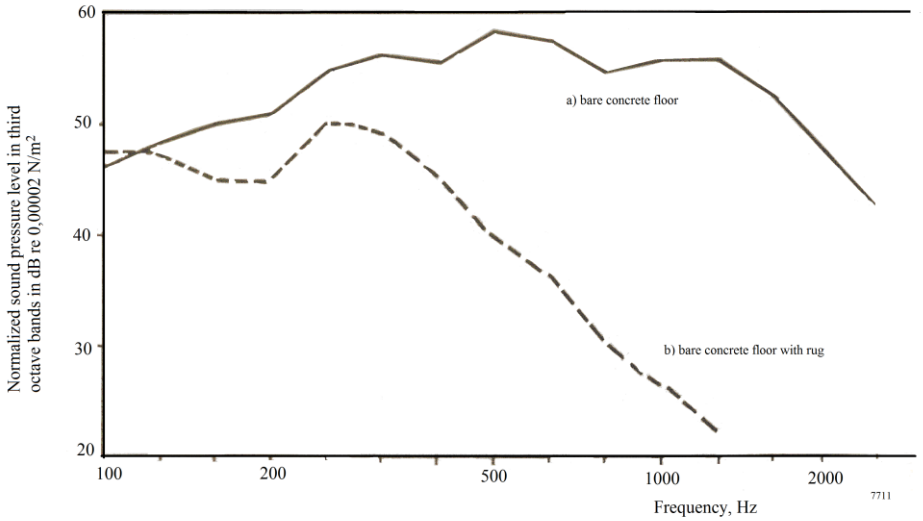
Πηγή: (McCue and Talaske, 1989, p. 53).

Β. Ηχομόνωση από κτυπογενείς θορύβους

Ενόχληση, μπορούν να προκαλέσουν οι βηματισμοί, οι κτυπογενείς θόρυβοι κ.α. Εάν οι βηματισμοί είναι έντονοι μπορεί να προκληθεί δόνηση στο δάπεδο. Συχνά από τους κτυπογενείς θορύβους, υπάρχει πλευρική διάδοση ηχητικής ενέργειας. Ένας τύπος

μέτρησης ενός δαπέδου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (χρήση κτυπογεννήτριας σχήμα 3.11.).

Η βελτίωση μιας αίθουσας από κτυπογενείς θορύβους γίνεται με τον υπολογισμό της μέσης τιμής της ηχητικής ενέργειας πριν και μετά από την τοποθέτηση αντικραδασμικού υλικού στην αίθουσα εκπομπής. Συνήθως χρησιμοποιείται μοκέτα ή χαλί (Κανδύλης 2005, σελ. 110-112).



Σχήμα 3.11. Απεικόνιση της στάθμης της ηχητικής πίεσης των κτυπογενών θορύβων σε δύο δάπεδα: α) δάπεδο από σκυρόδεμα και β) δάπεδο από σκυρόδεμα με χαλί (Κανδύλης, 2005).

Πόρτες

Η ηχομόνωση βασίζεται στο νόμο της μάζας. Η ηχομόνωση που συνήθως παρέχει μια κοινή πόρτα είναι αρκετά χαμηλή για δύο βασικούς λόγους:

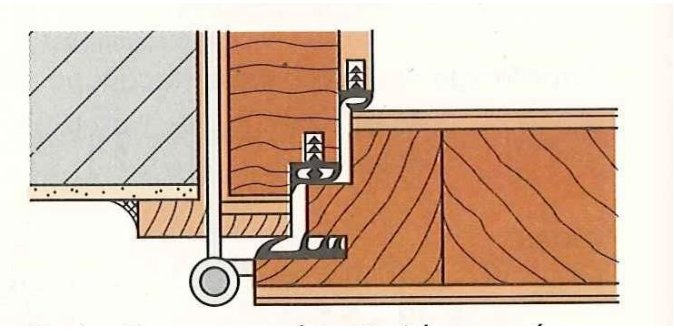
1) Ο περιμετρικός αρμός του φύλλου και κάσας της πόρτας μπορεί να μη σφραγίζει τη πόρτα.
2) Η μάζα της πόρτας να είναι μικρή.

Η ηχομονωτική ικανότητα που μπορεί να έχει μια πόρτα εξαρτάται από την κατασκευή της, δηλαδή την ίδια την πόρτα και το πλαίσιο προσαρμογής της. Σημαντική είναι και η περιμετρική σφράγιση της. Μια συμπαγής αεροστεγώς σφράγιση θωρείται καλύτερη από μια σφράγιση με βουρτσάκι (McCue and Talaske, 1989, p. 31). Στις περιπτώσεις που χρειάζεται ισχυρή ηχομόνωση, μπορεί να

χρησιμοποιηθεί κάποιο αφρώδες υλικό περιμετρικά στη πόρτα καθώς και να χρησιμοποιηθεί κατωκάσι (Κανδύλης, 2005, σελ. 110-112).

Μια κανονική πόρτα έχει μάζα 10-20kg/m^2. Η τιμή αυτή παρέχει μια ηχομόνωση 27dB. Σε περίπτωση που χρειαστεί μεγαλύτερη ηχομόνωση χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα υλικά όπως στεγνή άμμος, κάποιο ηχομονωτικό υλικό στα διάκενα της πόρτας, κάποιο ελαστικό υλικό στο σημείο όπου κλειδώνεται η πόρτα, να γίνει χρήση λωρίδας νεοπρενίου στο τελείωμα της πόρτας με το πάτωμα κ.α. (βλέπε σχήμα 3.12.) (Bläsi, 2000, σελ. 208).

Οι πόρτες των αιθουσών μελέτης από των αιθουσών διδασκαλίας που βρίσκονται πάνω σε ένα κοινό διάδρομο καλό είναι να απέχουν απόσταση ίση με το πλάτος ενός δωματίου. Με αυτό τον τρόπο ο διάδρομος μπορεί να λειτουργήσει σαν χώρος εγκλωβισμού του ήχου. Σε συνδυασμό και με την καλή στεγανοποίηση των πορτών μπορεί να επιτευχθεί μια καλή ηχομόνωση μεταξύ των αιθουσών (McCue and Talaske, 1989, p. 49).



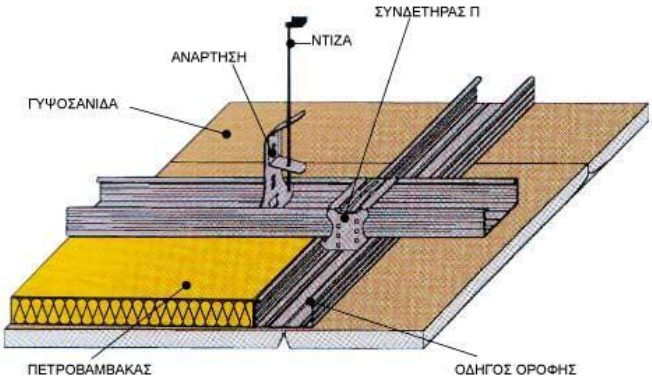
Σχήμα 3.12. Στεγανοποίηση πόρτας διπλής εγκοπής (Bläsi, 2000, σελ. 208).

Οροφή και δάπεδο

Η ηχομόνωση μιας σκεπής βασίζεται στη μάζα της οροφής, στα στρώματα της οροφής και στην παρουσία κάποιου ηχοαπορροφητικού υλικού στο χώρο της σκεπής. Η χρήση ορυκτοβάμβακα μπορεί να παρέχει μια μικρή ηχοαπορρόφηση, έχοντας ένα μικρό αποτέλεσμα στην συνολική ηχομόνωσης στην οροφή. Ικανοποιητικότερη ηχομόνωση μπορεί να επιτευχθεί όταν το είδος του ορυκτόμαλλου που θα χρησιμοποιηθεί θα έχει πιο πυκνή μάζα. Σε περιπτώσεις που η οροφή χρειάζεται να

αερίζεται, συνίσταται μια αύξησης της μάζας της οροφής για μια αποτελεσματικότερη ηχομόνωση (DfES, 2003, p. 27) (βλέπε σχήμα 3.13.).

Όσον αφορά τα δάπεδα ισχύει ότι και για τους κτύπους. Κυρίαρχο μέλημα είναι να μειωθούν θόρυβοι που προέρχονται από τους βηματισμούς. Τα καλύμματα που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι χαλιά, υλικά από ελαστικό κ.α., για να μη φθείρονται από τους βηματισμούς. Το πρώτο υλικό που καλό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί είναι ένα ηχοαπορροφητικό και πάνω από αυτό ένα πιο σκληρό για να μη φθαρεί από τους βηματισμούς (Κανδύλης, 2005, σελ. 110-112).



Σχήμα 3.13. Απεικόνιση μιας ψευδοροφής με μονή γυψοσανίδα, και σύστημα ανάρτησης .
Πηγή: (http://www.houseservice.gr/service.php?sid=41).

3.4. Συστήματα ενίσχυσης της φωνής- amplification system

A. Media systems

Τα συστήματα πολυμέσων βοηθούν στην διαδικασία της μουσικής εκπαίδευσης. Μερικά από τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται συχνά είναι ο προβολέας, η κασέτα εγγραφής μουσικής. Υπάρχουν πολλά συστήματα εξοπλισμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα χώρο. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο πως ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να παρέχει ευκολίες στην μουσική εκπαίδευση.

Για να μπει ο κατάλληλος εξοπλισμός ο χώρος πρέπει να οριστεί η χρήση για την οποίο προορίζεται και κατά δεύτερον να εκτιμηθεί το κόστος του συστήματος που θα εγκατασταθεί. Σύμφωνα με τους αρχιτέκτονες το σύστημα που θα τοποθετηθεί σε ένα

χώρο πρέπει να εξυπηρετεί τις ανάγκες των χρηστών. Η ομάδα μελέτης αρχικά θα σχεδιάσει το χώρο και στη συνέχεια θα προσθέσει τον απαιτούμενο εξοπλισμό (McCue and Talaske, 1989, p. 55).

Β. Σύστημα ενίσχυσης της φωνής

Ένας χώρος είναι σχεδιασμένος να έχει σωστή ακουστική, δίνει τη δυνατότητα σε άτομα με δυνατή ή χαμηλή φωνή να γίνουν κατανοητά. Όσον αφορά όμως ομιλητές που έχουν πιο ασθενή φωνή χρειάζονται ένα σύστημα ενίσχυσης της φωνής.

Το κλειδί σε ένα τέτοιου είδους σύστημα βρίσκεται στο να μπορεί η διάδοση του απευθείας ήχου να αυξηθεί σε συγκεκριμένα σημεία φτάνοντας και στους πιο απομακρυσμένους ακροατές, διατηρώντας τον ήχο φυσικό.

Η χρήση μεγαφώνων και οι κατευθυντικές ικανότητες τους παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της ομιλίας (DfES, 2003, p. 56).

Κεφάλαιο 4ο

Επιπτώσεις του θορύβου

4.1 Οι επιπτώσεις του ακουστικού πεδίου στη μάθηση και την επίδοση των φοιτητών

Εισαγωγή

Η ικανότητα του ανθρώπου να *«ακούει μια ομιλία»* δεν πρέπει να συνδέεται με την ικανότητα που μπορεί να έχει στην ακρόαση όλων των ήχων από όλες τις λέξεις. Υπάρχει διαφορά μεταξύ *«ακούω (hearing)»* και *«ακούω προσεκτικά (listening)»*. Όσον αφορά το πρώτο, ο ήχος φτάνει στον εγκέφαλο αβίαστα, δεν είναι επιλεκτικός και είναι αναγνωρίσιμος ακόμα και κατά τη διάρκεια του ύπνου. Από την άλλη πλευρά όταν ακούμε προσεκτικά, ο ήχος που καταγράφεται στον εγκέφαλο είναι εστιασμένος, σκόπιμος, επιλεκτικός και για να μπορέσουμε να τον ακούσουμε πρέπει να είμαστε ξύπνιοι.

Η ακοή βασίζεται κυρίως στην προσοχή και τη μνήμη. Για να μπορέσει ένας άνθρωπος να εκφέρει λόγο, θα πρέπει να κρατήσει την πληροφορία που έχει δεχτεί στην μνήμη, να συνδυάσει την γνώση που έχει γύρω από το θέμα που συζητείται, να προβλέψει αυτό που θα ακολουθήσει και επίσης να διατηρήσει την προσοχή καθ' όλη την διάρκεια της συζήτησης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται *ενεργή ακοή* (Richburg, 2012).

Οι ήχοι που προέρχονται από τον λόγο έχουν ένα εύρος έντασης 30dB. Οι απαλοί θεωρούνται οι σημαντικότεροι ήχοι. Ο θόρυβος, η ηχώ και η αντήχηση έχουν την δυνατότητα να καλύψουν σημαντικά σημεία του λόγου. Για παράδειγμα αν η δυναμική στη φωνή μιας καθηγήτριας κυμαίνεται μεταξύ 50 - 60dB, τότε μέσα σε μια αίθουσα το σήμα που εκπέμπεται από τη φωνή της (ομιλία) έχει εύρος από 35 έως 65 ή 45 έως 75dB. Μια συνηθισμένη στάθμη θορύβου που υπάρχει σε μια αίθουσα βρίσκεται μεταξύ 50 με 60dB. Ο λόγος της στάθμης του σήματος προς το θόρυβο που είναι επαρκής για την αντίληψη της ομιλίας πρέπει να είναι +15dB (Anderson, 2010).

Α. Επιπτώσεις της ακουστικής των αιθουσών στη μάθηση

Έρευνες έδειξαν πως ο σχεδιασμός ενός εκπαιδευτηρίου παίζει σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της μάθησης. Κάποιοι από τους παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η θερμοκρασία, η ακουστική και η ηλικία του κτηρίου. Αίθουσες διδασκαλίας καθώς και εκπαιδευτικά κτήρια που συγκεντρώνουν πλήθος μαθητών επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση των μαθητών και ειδικά σε μαθητές με ειδικές ανάγκες.

Οι διάφορες μελέτες που έχουν γίνει σε εκπαιδευτικά κτήρια στις Η.Π.Α. έδειξαν ότι τα περισσότερα κτήρια είναι πάνω από 40 ετών. Πολλά επίσης από αυτά στερούνται από κάποιες ανέσεις όπως κατάλληλο φωτισμό, εξαερισμό, χώρο και άλλα, που χρειάζονται για τη δημιουργία ενός ευχάριστου περιβάλλοντος διδασκαλίας (Earthman, 2002, p.1-2).

Σήμερα τα παιδιά που πηγαίνουν ακόμη σχολείο ξοδεύουν το 75% της ημέρας ακούγοντας ή συμμετέχοντας σε κάποια ακουστική διαδικασία (Bohler, 2012). Έρευνα έδειξε πως το 43% των παιδιών αποτυγχάνει στα ακουστικά τεστ **(**Flexer, 1989)[4]. Για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής ακουστικής διαδικασίας, το μήνυμα που λαμβάνει ο ακροατής πρέπει να είναι καθαρό και μη παραμορφωμένο. Για το λόγο αυτό είναι ιδιαίτερης σημασίας ο ακουστικός σχεδιασμός μιας αίθουσας διδασκαλίας, εφόσον οι ακουστικές απαιτήσεις που έχουν οι δάσκαλοι από τα παιδιά κατά τη διάρκεια του μαθήματος είναι αρκετά υψηλές. Τα στοιχεία μιας έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην Αμερική έδειξε τα εξής (Nelson, Soli and Seltz, 2002, p. 3):

- τα παιδιά δεν μπορούν να είναι καλοί ακροατές όταν ο δάσκαλος μιλάει μέσα σε ένα θορυβώδες περιβάλλον μέχρι αυτά να φτάσουν την ηλικία της εφηβείας, όταν δηλαδή θα μπορέσουν να φθάσουν το επίπεδο της έντασης της φωνής που έχουν οι ενήλικες.
- τα παιδιά δε μπορούν επίσης να είναι καλοί ακροατές όταν ο χρόνος αντήχησης σε μια αίθουσα διδασκαλίας είναι μεγάλος.
- τα παιδιά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε ότι επηρεάζει την ακοή, με αποτέλεσμα η έκθεση τους σε θορυβώδες περιβάλλον να προκαλέσει απώλεια ακοής.

---

[4] Richburg, C. (2012). Classroom acoustics from a public health perspective. *ASHA,* p.32

- υπάρχουν παιδιά με προβλήματα απώλειας ακοής εκ γενετής ή αρκετά που κατοικούν σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Τα άτομα αυτά επηρεάζονται περισσότερο από αυτά με φυσιολογική ακοή.
- σήμερα πλέον, πολλά παιδιά μαθαίνουν μια γλώσσα η οποία δεν είναι ίδια στο σχολείο σε σχέση με αυτή που μπορεί να μιλάει το παιδί στο σπίτι.
- τέλος η προσοχή των μαθητών είναι δύσκολη κάτω από θορυβώδεις συνθήκες.

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένας ήχος που προέρχεται από απευθείας διάδοση στα αυτιά του ακροατή και εμπλουτιστεί από ένα ανακλώμενο κύμα ήχου, διευκολύνει την ακρόαση της ομιλίας. Για να μπορέσει η ενέργεια του ανακλώμενου ηχητικού κύματος να λειτουργήσει θετικά σε μια αίθουσα, είναι απαραίτητη η σχεδίαση ενός δωματίου με κατάλληλες ανακλαστικές και απορροφητικές επιφάνειες. Όσον αφορά το πρώτο ανακλώμενο κύμα, η επιφάνεια πρέπει να είναι λεία ή κυρτή, όπως και άκαμπτη και σκληρή. Η επίτευξη της απορρόφησης μπορεί να γίνει με χρήση επιφανειών διαφόρων σχημάτων, αρκεί να είναι πορώδης, διαφραγματικές ή με χρήση συνηχητών (Berg, Blair and Benson, 1996, p.16).

Η μη σωστή χρήση επιφανειών για τον έλεγχο της ανάκλασης του ηχητικού κύματος και της απορρόφησης του, μπορεί να έχει αρνητικό αποτέλεσμα στην ακρόαση κατά την διάρκεια διδασκαλίας. Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν το 2001 από τους Picard και Bradley έδειξαν μία απώλεια των -6dB του SNR (SNR = signal to noise ratio) (Bohler, 2012. Gustafson et al., 2011).

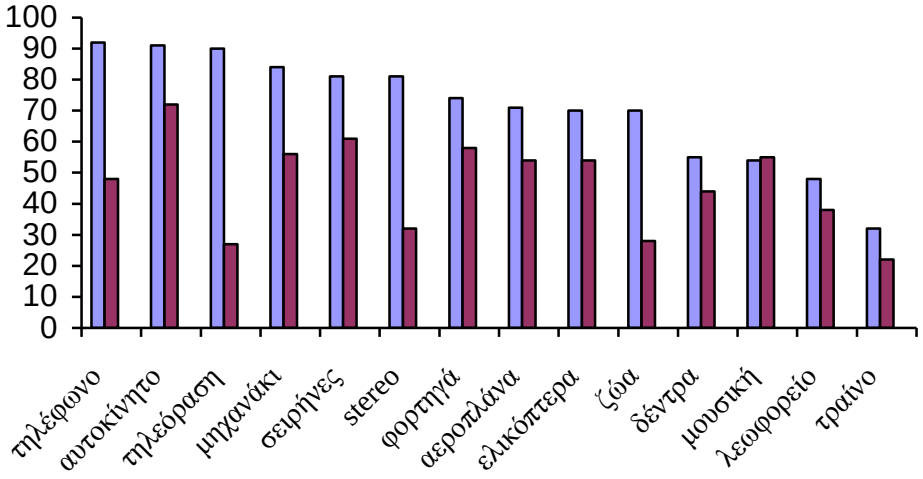
Β. Σχετικές έρευνες

Αρκετές έρευνες έχουν γίνει στο εξωτερικό για την ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας. Μετά από μελέτη του Μόργκαν στην Καλιφόρνια, έδειξε ότι ο θόρυβος μέσα σε μια αίθουσα διδασκαλίας επεμβαίνει αρνητικά στη μάθηση, αποσπώντας την προσοχή των μαθητών (McGuffey, 1982). Άλλοι αμερικανοί ερευνητές όπως είναι ο Έβανς, ο Κοέν και άλλοι, είχαν βγάλει περίπου τα ίδια αποτελέσματα με τον Μόργκαν, βρίσκοντας επιπλέον και πολλαπλές αλλαγές στην συμπεριφορά και στην απόδοση τους κατά τη διάρκεια του μαθήματος (Earthman, 2002, p. 4). Αξιοσημείωτη είναι η μελέτη του Carl Crandell (1990), η οποία έδειξε πως η

απόσταση μεταξύ δασκάλου και μαθητή, όταν το περιβάλλον είναι θορυβώδες, παίζει ρόλο στην ακουστική κατανόηση του λόγου (Berg et al., 1996, p.18).

Για δεκαετίες γίνονταν έρευνες σχετικά με την απόδοση των νέων σε μάθημα διδασκαλίας κάτω από ένα θορυβώδες περιβάλλον. Μια σημαντική έρευνα διεξήχθη στην Καλιφόρνια, το 1981, από το τμήμα των υπηρεσιών υγείας, διερευνώντας τη σχέση που έχει η απόδοση των μαθητών σε θορυβώδες περιβάλλον μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας και με τον θόρυβο που προέρχεται από την κοινότητα όπου διαμένει ο μαθητής. Μελετήθηκαν τα ποσοστά επιτυχίας του τεστ των μαθητών που πήγαιναν τρίτη και έκτη δημοτικού σε σχολεία που βρίσκονταν κοντά σε αυτοκινητόδρομο και των μαθητών ίδιας ηλικίας σε σχολεία όπου η γειτονιά ήταν ήσυχη. Τα αποτελέσματα του τεστ, έδειξαν πως τα παιδιά που βρίσκονταν σε πιο ήσυχο περιβάλλον είχαν καλύτερες αναγνωστικές επιδόσεις από αυτά που βρίσκονταν σε θόρυβο. Παρόμοιο τεστ έγινε και για το μάθημα των μαθηματικών αλλά το μεγάλο πρόβλημα παρατηρήθηκε στην ανάγνωση. Παρόμοιες έρευνες έγιναν από τους Bronzaft και McCarthy στην Καλιφόρνια, σε σχολείο που βρίσκονταν κοντά σε σιδηροδρομικούς σταθμούς και έδειξαν τα ίδια αποτελέσματα (Earthman, 2002, σελ. 5).

Στο Λονδίνο μια σχετική έρευνα έδειξε πως τα παιδιά άρχισαν να ενοχλούνται και η προσοχή τους διασπάστηκε από το θόρυβο του περιβάλλοντος. Στη συγκεκριμένη έρευνα μελετήθηκαν διάφορες πηγές θορύβου και τα παιδιά απάντησαν σε ερωτηματολόγιο (Shield and Dockrell, 2005 και βλέπε γράφημα 4.1).



Σχήμα 4.1. Στο παραπάνω γράφημα φαίνονται με μπλε χρώμα οι πηγές θορύβου που ακούν τα παιδιά στο σπίτι και με μωβ οι πηγές θορύβου που ακούν στην αίθουσα.

Πρόβλημα υπάρχει όταν μια αίθουσα αποτελείται από πολλούς μαθητές. Σχετική έρευνα που διεξήχθη το 1995 από τους Rivera-Batiz and Marti, έδειξε ότι πάνω από το 75% των δασκάλων ανέφεραν ότι το μάθημα γίνεται πιο δύσκολο όταν ο αριθμός των μαθητών είναι μεγάλος. Επιπλέον η δυνατότητα του μαθητή να προσέξει στο μάθημα μειώνεται (διάσπαση προσοχής) (Earthman, 2002, p.11).

Γ. Επιπτώσεις στους δασκάλους

Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ένα κτήριο ή μια αίθουσα μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο την απόδοση των μαθητών αλλά και τον ίδιο το δάσκαλο. Πηγή πληροφόρησης αποτελούν οι εθνογραφικές μελέτες που έχουν γίνει γύρω από το θέμα αυτό.

Σε μια έρευνα που έγινε το 1990 από τον Lowe, μελετήθηκε η σχέση μεταξύ της κατάστασης του κτηρίου και του μαθησιακού κλίματος που επικρατούσε σε τρία νηπιαγωγεία του Τέξας. Οι δάσκαλοι οι οποίοι εργάζονταν σε συνθήκες όπου τα κτήρια πάσχουν από κατάλληλο σχεδιασμό, εμφανίζουν προβλήματα στη διδασκαλία σε σχέση με αυτούς όπου εργάζονταν σε κτήριο με κατάλληλες κτηριακές προδιαγραφές, υποστηρίζοντας τη διαδικασία της μάθησης (Earthman, 2002, σελ. 9).

4.2 Οι επιπτώσεις της φτωχής ακουστικής στην επικοινωνία μαθητών-διδάσκοντος

Εισαγωγή

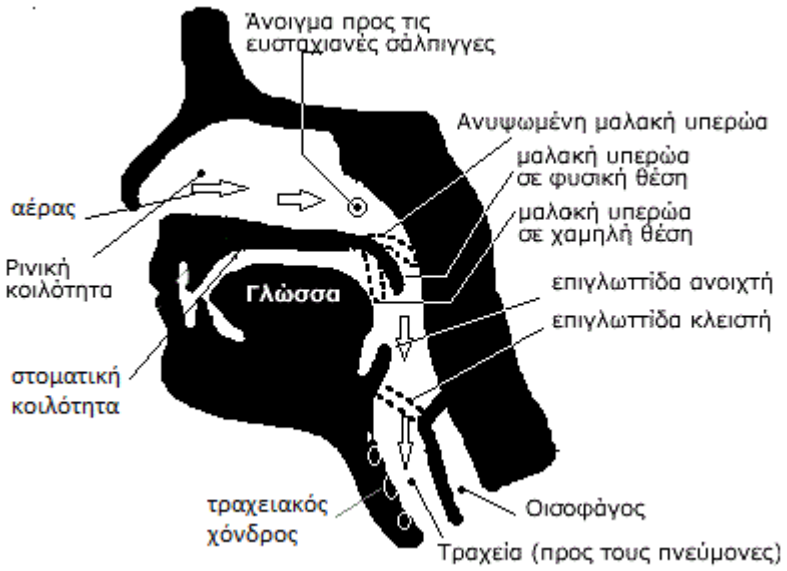
Με τον όρο *ακουστότητα* εννοούμε την ικανότητα που έχει ο άνθρωπος να ακούσει οποιοδήποτε ερέθισμα. Με τον όρο *καταληπτότητα* εννοούμε την ικανότητα του να πόσο καλά μπορεί ένας άνθρωπος να καταλάβει τις λέξεις. Η κατανόηση του λόγου είναι σημαντική ώστε να καταλάβει ο δέκτης το κωδικοποιημένο μήνυμα. Υπάρχουν δάσκαλοι που μπορεί να ακούγονται καλά αλλά δεν είναι κατανοητοί στην εκφορά του λόγου. Με αυτό τον τρόπο το παιδί μπορεί να χάσει αρκετές σημαντικές πληροφορίες από αυτές που του παρέχει ο δάσκαλος (Richburg, 2012).

Ο εγκέφαλος δέχεται καθημερινά διαφορετικά ερεθίσματα τα οποία επεξεργάζεται και κωδικοποιεί. Η κωδικοποίηση των ερεθισμάτων που προορίζονται για την ομιλία συνδυάζεται με ένα κώδικα ηχητικών σημείων, ο οποίος αναπαράγεται από την φωνητική κοιλότητα με τη βοήθεια της γλώσσας.

Οι λέξεις είναι αποθηκευμένες ως εικόνες σε συγκεκριμένο μέρος του εγκεφάλου, που ονομάζεται *κιναισθητικό κέντρο*, στο οποίο συγκεντρώνονται και οι μνημονικές εικόνες και οι μνημονικές ακουστικές εικόνες. Ο συνδυασμός αυτών των δύο βοηθά στην απόδοση της κίνησης των μυών με ήχο (Βαλεοντής, 1981, σελ. 107).

4.2.1 Ομιλία

Μια από τις πιο βασικές λειτουργίες του ανθρώπου είναι η *ομιλία*, δηλαδή η λειτουργία κατά την οποία πραγματοποιείται η παραγωγή των ήχων από τη φωνητική κατασκευή, σε συνδυασμό με τη λειτουργία της αναπνοής.



Σχήμα 4.2. Ανατομία της φωνητικής κατασκευής του ανθρώπου. Πηγή: (Αλιβιζάτου-Μοσχοβάκη, 1984, σελ. 82. http://www.greekdivers.com/mag/el/content/texniki-eksisosis-frenzel)

Για να παραχθεί ένας ήχος απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη κάποιας *πηγής ενέργειας*. Στην ομιλία η πηγή ενέργειας είναι ο εκπνεόμενος αέρας, που προέρχεται από την συστολή των μυών του θώρακα και της κοιλιάς και προκαλεί την παλλόμενη κίνηση των φωνητικών χορδών.

Η κύρια διαδρομή του εκπνευσμένου αέρα είναι από το λάρυγγα μέχρι τα χείλη. Ο σωλήνας που συνδέει τα δύο αυτά όργανα μεταξύ τους ονομάζεται φωνητική οδός και διαφέρει σε μήκος ανάμεσα στον άνδρα (17cm) και στη γυναίκα (περίπου 13,5cm). Η επιφάνεια της διατομής του σωλήνα είναι ανομοιόμορφη και εξαρτάται από τη διαμόρφωση του σαγονιού, της γλώσσας και των χειλιών (Everest, 2003, σελ. 91,95. Βαλεοντής, 1981, σελ.107-110).

Ένα βασικό όργανο του αναπνευστικού μας συστήματος είναι ο λάρυγγας και αποτελεί συνέχεια του φάρυγγα. Στο λάρυγγα βρίσκονται οι φωνητικές χορδές, οι οποίες φράζουν ή αφήνουν κάποιο άνοιγμα (τριγωνικό) στο στόμιο της τραχείας.

Η λειτουργία της παραγωγής της φωνής μέσω των φωνητικών χορδών ονομάζεται *φώνηση*. Οι φωνητικές χορδές φράζουν την γλωττίδα. Το εκπνευσμένο ρεύμα του αέρα δημιουργεί μια πίεση πίσω από της φωνητικές χορδές, καθώς οι θωρακικοί και κοιλιακοί μύες της αναπνοής συστέλλονται, με αποτέλεσμα την ταλάντωσή των φωνητικών χορδών, απομακρύνοντας τες μεταξύ τους, ώστε να περάσει το ρεύμα αέρα. Μόλις περάσει η επίδραση της ασκημένης πίεσης κλείνουν για να ανοίξουν ξανά μόλις ασκηθεί άλλη πίεση. Το ρεύμα αέρα που προέρχεται από την εκπνοή μετατρέπεται σε παλμικές κινήσεις, οι οποίες διαφέρουν στα δύο φύλα. Στον άνδρα φθάνουν περίπου τους 125 κύκλους το δευτερόλεπτο, ενώ στη γυναίκα περίπου τους 250 κύκλους το δευτερόλεπτο.

Οι φωνητικές χορδές ταλαντώνονται εκτελώντας περιοδική κίνηση, δεν είναι όμως αρμονική. Ο παραγόμενος ήχος είναι σύνθετος και ονομάζεται *λαρυγγικός τόνος*. Το πλάτος των αρμονικών που παράγονται από αυτόν μειώνεται στο υψηλό φάσμα συχνοτήτων έχοντας κλίση -12dB/oct. περίπου. Τα χαρακτηριστικά τα οποία χρειάζονται για τη διαμόρφωση του λαρυγγικού τόνου, προκειμένου να παραχθεί ένα μήνυμα είναι:

1. ο ρυθμός με τον οποίο παράγονται τα φυσήματα
2. το μέγεθος των παραγόμενων φυσημάτων
3. το πόσο σύνθετοι είναι, το φάσμα των φυσημάτων αυτών

Η αύξηση του ρυθμού των φυσημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση σε περιεκτικότητα των υψηλών συχνοτήτων. Η αύξηση του ρυθμού μπορεί να προκληθεί

από την πίεση που ασκείται στο πίσω μέρος των φωνητικών χορδών ή από την αύξηση της υπογλωττιδικής πίεσης του αέρα.

Το μήκος των χορδών και ο ρυθμός της τάσης είναι τα δύο κριτήρια που καθορίζουν τον τόνο της φωνής. Η ένταση της φωνής καθορίζεται από την ισχύ της πίεσης του αέρα, ενώ η χροιά καθορίζεται από τη σύνθεση του λαρυγγικού τόνου. Για να παραχθεί ήχος, ο εκπνεόμενος αέρας περνά από την κοιλότητα του λάρυγγα, το στόμα και την μύτη, και αποτελούν τα φωνητικά αντηχεία (Keir, Krebs, Wise, 1996. Βαλεοντής, 1981, σελ. 108-110).

Άρθρωση

Άρθρωση ονομάζουμε τον τρόπο με τον οποίο μορφοποιείται η φωνητική οδός. Στην άρθρωση συμβάλουν κινητά και μη μέλη, που αποτελούν μέρος της φωνητικής συσκευής και λέγονται *αρθρωτές*. Τα κινητά μέλη ονομάζονται *ενεργοί αρθρωτές* και αποτελούνται από το κάτω χείλος, το κάτω σαγόνι, την άκρη της γλώσσας, το μπροστινό και πίσω μέρος της γλώσσας και τις φωνητικές χορδές. Τα μη κινητά μέλη ονομάζονται *παθητικοί αρθρωτές* και αποτελούνται από το άνω χείλος και τα άνω δόντια, τα άνω ούλα, τον ουρανίσκο, την υπερώα και την γλωττίδα (Βαλεοντής, 1981, σελ. 110-111. Θεωδοροπούλου, 2006-2008)

Η άρθρωση αποτελείται από τους εξής τύπους (Βαλεοντής, 1981, σελ. 111-112):

1. *την ανακοπή*: είναι ο εγκλωβισμός του αέρα σε κάποιο σημείο της φωνητικής οδού. Στη συνέχεια ανοίγει απότομα για να βγει ο εκπνεόμενος αέρας. Οι φθόγγοι που παράγονται με αυτό τον τρόπο ονομάζονται *ανακοπτικά σύμφωνα*. Ένα τέτοιο σύμφωνο είναι το «π».
2. *η τριβική εκτόνωση*: πρόκειται για την εκφορά των φθόγγων που δημιουργούνται με τριβή. Τα σύμφωνα που εκφέρονται με τον τρόπο αυτό ονομάζονται *τριβικά σύμφωνα*. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι «θ».
3. *την πλευρική εκτόνωση*: το εκπνευσμένο κύμα αέρα περνά από τα πλάγια της γλώσσας. Τα σύμφωνα που παράγονται με αυτό τον τρόπο ονομάζονται *πλευρικά σύμφωνα*. Ένα τέτοιο σύμφωνο είναι το «λ».
4. *τρίλια:* η ταλάντωση του αρθρωτή γίνεται με γρήγορους ρυθμούς κατά την εκπνοή του αέρα, για την παραγωγή του φθόγγου. Ένας τέτοιος φθόγγος είναι το «ρ».

5. *ανεμπόδιστο πέρασμα:* ο εκπνεόμενος αέρας περνά ανεμπόδιστος σχεδόν προς την έξοδο (μύτη, στόμα). Με αυτό τον τρόπο παράγονται τα φωνήεντα.
6. *πέρασμα από τη ρινική κοιλότητα:* ο εκπνεόμενος αέρας περνά από τη ρινική κοιλότητα. Η γλώσσα φράζει την έξοδο του εκπνεόμενου αέρα, χτυπώντας στην υπερώα (μαλακός ουρανίσκος). Επειδή το πέρασμα του εκπνεόμενου αέρα γίνεται κυρίως από τη μύτη οι φθόγγοι αυτοί λέγονται *ρινικά σύμφωνα*. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο φθόγγος «μ».

Α. Ήχοι της ομιλίας

Η μελέτη των ήχων που παράγονται από την ομιλία, χωρίζεται σε δύο σκέλη. Το πρώτο είναι το *φωνητικό*, που περιλαμβάνει τους φθόγγους και το *φωνηματικό*, που περιλαμβάνει τα φωνήματα και ασχολείται με τη ποιοτική αξία του ήχου.

Οι φθόγγοι συνθέτουν την υπόσταση φυσική και υλική) μιας γλώσσας. Κάθε φθόγγος σχηματίζεται διαφορετικά, σύμφωνα πάντα με το φωνητικό όργανο που τίθεται σε λειτουργία. Για κάθε φθόγγο χρησιμοποιείται και διαφορετικό σύμβολο, όσο και διαφορετικό όνομα.

Η παραγωγή των συμφώνων διαφέρει από αυτή των φωνηέντων καθώς ο αέρας εμποδίζεται όταν περνάει από το στόμα. Τα σύμφωνα υποδιαιρούνται σε ομάδες ανάλογα με την εκπνοή του αέρα. Ο εγκλωβισμός του αέρα μπορεί να είναι ολικός ή μερικός. Σε περίπτωση που ο αέρας φράζεται μερικώς, τότε ο ήχος ονομάζεται χειλικός.

Τα φωνήματα δίνουν εκτός από διαφορετική αξία στη γλώσσα και σημασιολογική. Διαφορετική είναι η λέξη φως από τη λέξη πως. Τα φωνήματα γράφονται με τον εξής τρόπο. /fos/, /pos/ αντίστοιχα:

α) *φωνήεντα*

Για την εκφορά των φωνηέντων τίθενται σε λειτουργία τα εξής μέρη:

1. η άκρη της γλώσσας
2. η μπροστινή επιφάνεια της γλώσσας
3. η πίσω επιφάνεια της γλώσσας
4. το ύψος της γλώσσας
5. το σχήμα που παίρνουν τα χείλη

β) *σύμφωνα*

Όσον αφορά τα σύμφωνα έχουμε:

1. αυτά που προφέρονται με τη βοήθεια της μαλακής υπερώας /κ/, /γ/, /χ/, /γκ/
2. αυτά που προφέρονται με τη βοήθεια του ουρανίσκου και
3. τα γλωττιδικά, τα οποία χωρίζονται σε τρίλιες, πλευρικά και ρινικά (βλέπε πίνακα 4.1.) (Lyons, 1981, p. 75-77. Βαλεοντής, 1981, σελ. 112-115, 119).

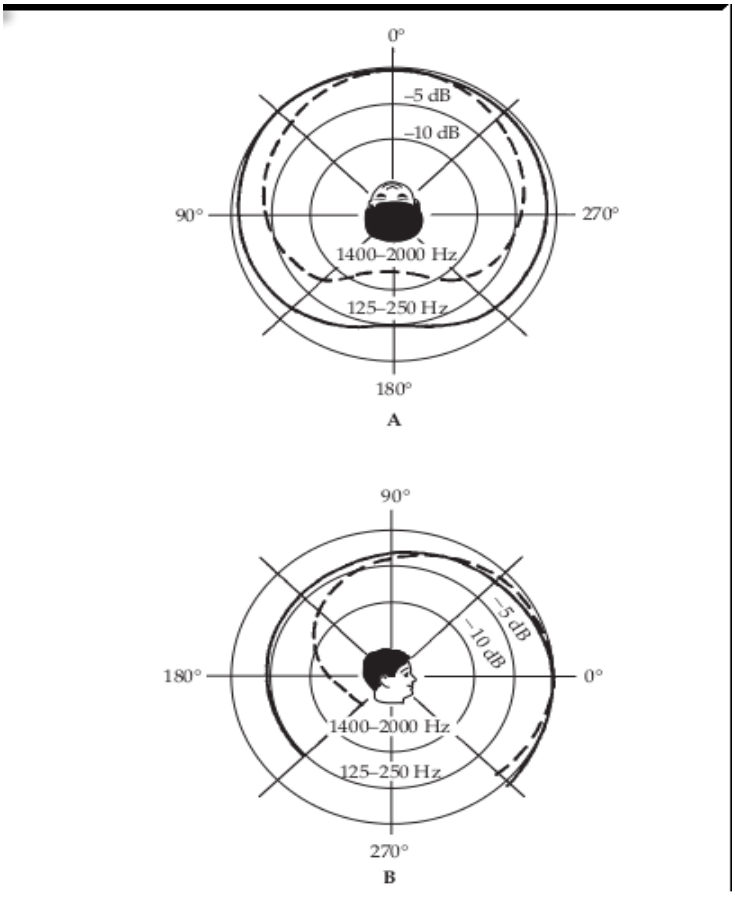
Πίνακας 4.1.

Διάρκεια	Θέση άρθρωσης									
	Τύπος άρθρωσης	Χειλικά		Ακρογλωσσικά			Προσθιογλωσσικά	Οπισθογλωσσικά	Γλωτιδικά	Δόνηση των φωνητικών χορδών
		Διπλοχειλικά	Χειλιδοντικά	Γλωσσοδοντικά	Γλωσσοφατνιακά	Γλωσσοϋπερωικά	Σκληροϋπερωικά	Μαλακοϋπερωικά	Γλωττιδικά	
Στιγμιαία	Ανακοπτικά	/p/ <π>			/t/ <τ> /ts/ <τα>			/k/ <κ>		άηχα
		/b/ <μπ>			/d/ <ντ> /dz/<τζ>			/g/ <γγ> <γκ>		Ηχηρά
Εξακολουθητικά	Ρινικά	/m/ <μ>			/n/ <ν>			/η/ <γ>		Ηχηρά
	Τριβικά		/f/ <φ>	/θ/ <θ>	/s/ <α,ς>			/x/ <χ>		Άηχα
					/z/ <ζ> /r/ <ρ>			/γ/ <γ>		Ηχηρά
	Πλευρικά				/l/ <λ>					Ηχηρά
	Τρίλιες									Ηχηρά

Πηγή:(Βαλεοντής, 1981, σελ. 118).

Β. Κατευθυντικότητα της ομιλίας

«Η δυναμική της ομιλίας δεν είναι ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της κατευθυντικότητας που έχει το στόμα και του ήχου σκιάς που δίνει το κεφάλι και ο κορμός». Για την μέτρηση της κατευθυντικότητας αυτής ο Kutruff χρησιμοποίησε το στόμα ως πηγή των ήχων της ομιλίας. Επειδή το κεφάλι είναι μικρό όσο αφορά την οριζόντια κατευθυντικότητα επιδρά κατά 5dB μεταξύ 125 με 250 Hz. Στη ζώνη από 1400 έως 2000Hz στον οριζόντιο άξονα, επιδρά σημαντικά δημιουργώντας διαφορά 12dB μεταξύ του μπροστινού μέρους με το πίσω μέρος. Όσον αφορά την κατακόρυφη κατευθυντικότητα η διαφορά που παρουσιάζει το μπροστινό μέρος σε σχέση με το πίσω μέρος είναι πάλι 5dB, στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Για την περιοχή των 1400 με 2000Hz, η διαφορά μεταξύ του μπροστινού μέρους με το πίσω είναι περίπου ίδια με την οριζόντια, με εξαίρεση το φαινόμενο του κορμού (σχήμα 4.3.) (Everest, 2003, σελ. 99-100).



Σχήμα 4.3. Απεικόνιση της επίπτωσης της κατευθυντικότητας του ήχου από το στόμα(Everest, 2003, σελ.100).

Γ. Μουσική

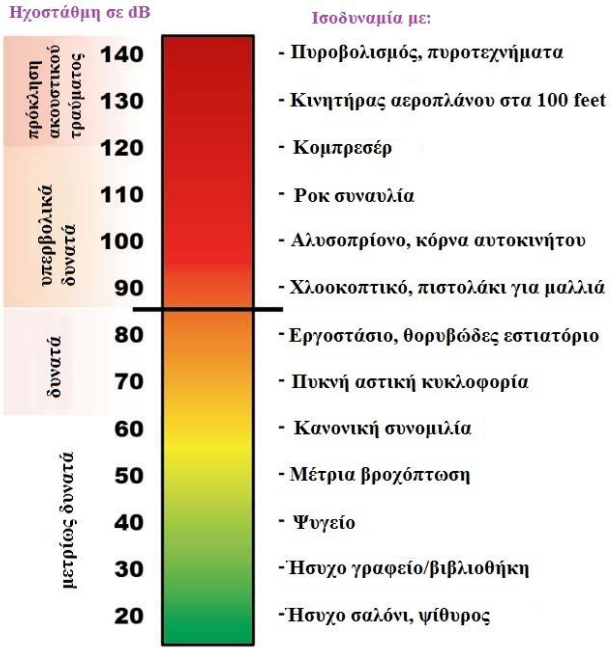
Οι μουσικοί ήχοι είναι αρκετά σύνθετοι και μεταβλητοί. Ένας ήχος που παράγεται από ένα μουσικό όργανο εκτός από τη θεμελιώδη νότα παράγει και άλλους ήχους που λέγονται αρμονικοί. Οι αρμονικοί είναι ακριβή πολλαπλάσια του θεμελιώδους τόνου που παράγεται. Οι αρμονικοί χωρίζονται σε άρτιους και περιττούς (Everest, 2003, σελ. 101).

4.2.1 Οι επιπτώσεις του θορύβου στην επικοινωνία

Α. Θόρυβος

Θόρυβος βάθους: ονομάζεται οποιοσδήποτε μη επιθυμητός ήχος που επεμβαίνει σε ότι θέλουμε να ακούσουμε. Ο θόρυβος βάθους σε μια αίθουσα μπορεί να προέλθει από διάφορες πηγές. Κάποιες από αυτές είναι η κυκλοφορία, ο εξαερισμός, τα άτομα μέσα και έξω από αυτή κ.α.(ASHA, 1997-2015).

Στο σχήμα 4. 4. παρατηρούμε την ηχητική στάθμη που προέρχεται από διάφορες ηχητικές πηγές σε αντιστοιχία με την επικινδυνότητα στον άνθρωπο.



Σχήμα 4.4. Απεικόνιση της στάθμης του ήχου διαφόρων ηχητικών πηγών. Πηγή: (http://www.oncoursesystems.com/school/webpage/482441/818695)

Ο θόρυβος μπορεί να επέμβει σε διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων της ομιλίας κάθε φορά. Μπορούμε να έχουμε επέμβαση του θορύβου σε χαμηλές συχνότητες, δηλαδή αλλοιώνεται η ακρόαση των φωνημάτων που περιέχουν ρινικά σύμφωνα και υψηλά φωνήεντα. Στην περίπτωση που ο θόρυβος εκπέμπεται σε υψηλές συχνότητες, τότε έχουμε μια παρέμβαση στην δυσκολία κατανόησης των τριβικών συμφώνων καθώς και του φωνήεντος /i/.

Μια σημαντική πηγή θορύβου που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ομιλία είναι η αντήχηση, η οποία προκαλείται από την ίδια την ομιλία. Η αντήχηση έχει την δυνατότητα της προσθήκης ενέργειας στο εκπεμπόμενο σήμα της ομιλίας, καθώς ανακλάται στις διάφορες επιφάνειες του χώρου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει αλληλοεπικάλυψη των φωνημάτων, παρατείνοντας τη διάρκεια των φωνηέντων και των συμφώνων που ακολουθούνται από φωνήεν, δημιουργώντας παραμόρφωση στο εκπεμπόμενο σήμα (Οκαλίδου, 2001).

Β. Σχετικές μελέτες

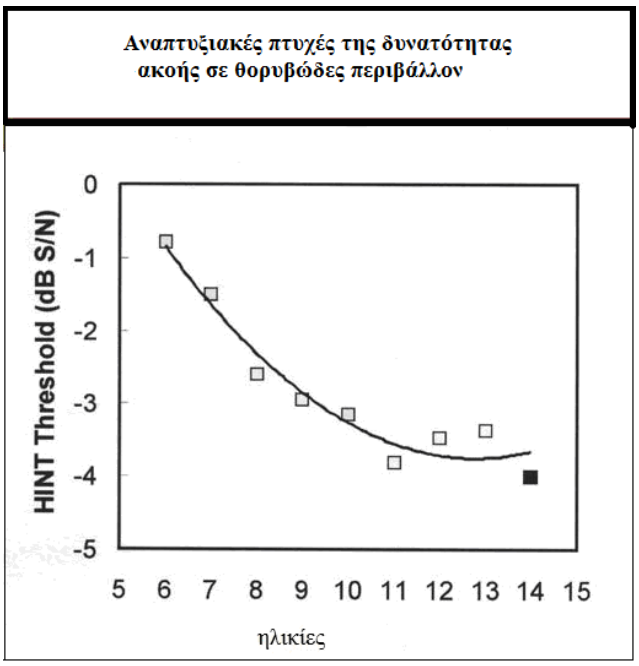
Διάφορες μελέτες έχουν γίνει για τις επιπτώσεις του θορύβου στην επικοινωνία, χρησιμοποιώντας διάφορα τεστ που περιείχαν προτάσεις, λέξεις, δισύλλαβες, μονοσύλλαβες. Κάποιες από αυτές παρατίθενται παρακάτω.

Προηγήθηκαν οι μελέτες των Tillman και Finitzo-Hieber (1978), οι οποίοι ξεχώρισαν στην έρευνα τους τις επιπτώσεις της ακουστικής σε παιδιά με κανονική ακοή και σε αυτά με απώλεια ακοής, βγάζοντας το συμπέρασμα ότι ο χρόνος αντήχησης και ο θόρυβος επεμβαίνει αρνητικά στην ακουστότητα της φωνής. Σύμφωνα με την έκθεση του Spreng (1994), η λεκτική επικοινωνία σε άτομα με κανονική ακοή, επηρεάζεται από το θόρυβο. Στην έκθεση αυτή εξετάστηκε ο τρόπος που παρεμβαίνει ο χρόνος αντήχησης, η απόσταση μεταξύ του ομιλητή και του δέκτη, η ένταση του λόγου, η παραμόρφωση που δέχεται, οι μεταβολές στην άρθρωση και την εκφορά αυτού. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα παιδιά σχολικής ηλικίας, με ακουστικά προβλήματα, καθώς και στο άγχος που έχει ο ομιλητής όπως και ο ακροατής όταν υπάρχει θόρυβος (Berg et al., 1996. Καμπουράκης, 2005, σελ. 7).

Με διάφορες έρευνες που έχουν γίνει (σύνδρομο Lombard) τα παιδιά που μαθαίνουν να μιλάνε, πολλές φορές προσπαθούν να φθάσουν την ένταση με την οποία μιλούν οι

άνθρωποι γύρω τους, με αποτέλεσμα πολλές φορές να την υπερβαίνουν. Οι ενήλικες δεν έχουν την ικανότητα να ρυθμίσουν την ένταση της φωνής τους ανάλογα με τις ανάγκες επικοινωνίας. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά η καταληπτότητα δε πρέπει να ξεπερνά τα 35dB όσον αφορά παιδιά με κανονική ακοή (Καμπουράκης, 2005, σελ. 10).

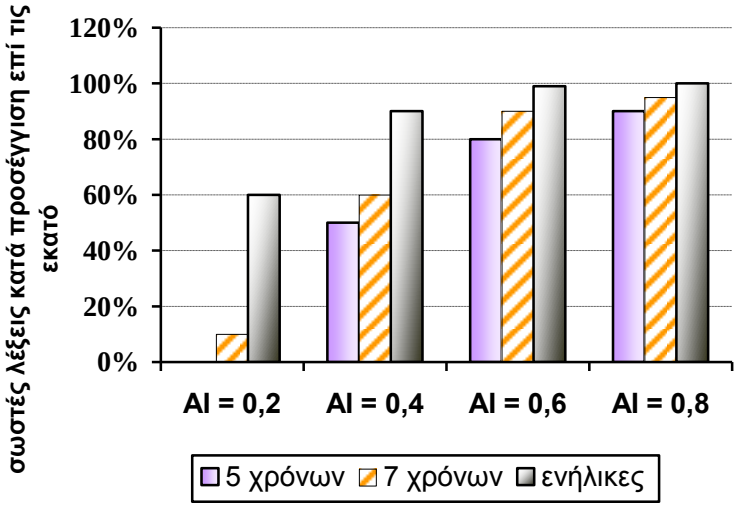
Πιο αναλυτικά, με έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1997 από τους Soli και Sullivan, μελετήθηκε με τεστ η ικανότητα των παιδιών ηλικίας 5 έως 15 ετών, στην κατανόηση διαφόρων προτάσεων μέσα σε ένα περιβάλλον θορύβου (βλέπε διάγραμμα 4.5.) (Nelson et al., 2002, p. 3-4).



Σχήμα 4.5. Απεικόνιση του κατωφλίου ακοής σε σχέση με τις ηλικίες. Η μαύρη κουκίδα αποτελεί το κατώφλι ακοής των παιδιών στα 15 χρόνια. Το HINT είναι το τεστ για την ικανότητα να ακούμε σε περιβάλλον θορύβου. Η απόδοση των πιο νέων ατόμων είναι μικρότερη από ότι των μεγαλύτερων ηλικιακά ατόμων. Πηγή: (Nelson et al., 2002, p. 4)

Ακόμη μια έρευνα έγινε από τον Stelmachowicz (2000), ο οποίος ασχολήθηκε με ηλικίες 5-7 ετών, κάνοντας ένα τεστ ακουστότητας το οποίο καθόριζε την ακουστική ικανότητα των μαθητών να καταλαβαίνουν τις λέξεις. Οι λέξεις δίνονταν κάθε φορά σε διαφορετική ένταση. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.6. παρατηρούμε ότι οι ενήλικες έχουν τη δυνατότητα να καταλαβαίνουν τις λέξεις σε χαμηλά επίπεδα ακουστότητας σε σχέση με τα παιδιά των 7 ετών (AI=0,2), ενώ σε μεγάλα επίπεδα ακουστότητας

και οι ενήλικες αλλά και τα παιδιά καταλάβαιναν τις λέξεις (AI=0,8) (Nelson et al., 2002, σελ. 3-4).



Σχήμα 4.6. Απεικόνιση της ακουστότητας των παιδιών σε σχέση με τους ενήλικες. Πηγή: (Nelson et al, 2002, σελ. 4)

Σημαντικό να αναφερθεί είναι ότι μετά από τεστ ακουστότητας τα αποτελέσματα του τεστ των παιδιών που δεν έχουν ως μητρική γλώσσα την αγγλική ήταν χαμηλότερα από αυτά που είχαν ως μητρική την αγγλική, όπου οι τελευταίοι καταλάβαιναν τις προτάσεις στα -4dB (Nelson et al., 2002, p. 2, 3, 7).

Ακόμη μια έρευνα στην Αγγλία μας δείχνει την ικανότητα να ακούν τα παιδιά υπό θορυβώδεις συνθήκες. Τα παιδιά βαθμολογούσαν τους ήχους που άκουγαν με κλίμακα 1 έως 5, όπου 1 σημαίνει *«ακούω τέλεια»* και 5 *«δεν ακούω καθόλου»*. Από αυτή την έρευνα μπορούμε να καταλάβουμε ότι τα παιδιά νεότερης ηλικίας είναι πιο ευαίσθητα στο θόρυβο, δημιουργώντας δυσκολία στο να ακούσουν σε σχέση με τα μεγαλύτερα. Από την άλλη πλευρά τα μεγαλύτερα παιδιά δυσκολεύονταν να ακούσουν όταν δεν έβλεπαν το πρόσωπο του/της δασκάλας, όταν έξω από την αίθουσα έκαναν φασαρία τα παιδιά (βλέπε πίνακα 4.2.) (Shield and Dockrell, 2005).

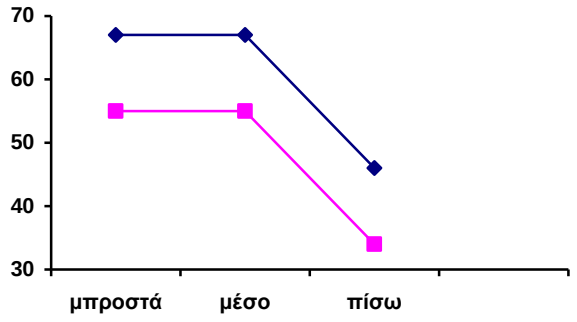
Πίνακας 4.2.

Table 2. Average ease of listening scores for year 2 and year 6 children

Classroom situation	Sig diff?	Year 2		Year 6	
		Mean	sd	Mean	sd
Cannot see teacher's face		1.93	0.84	2.34	1.02
Teacher talking and moving around	Yes	2.29	0.83	1.96	0.95
Working in groups		2.44	0.93	2.39	1.11
No noise from outside classroom	Yes	1.90	0.93	1.68	1.10
Children making noise outside classroom		2.70	1.08	3.01	1.06
Doing a test	Yes	1.87	0.89	1.53	1.04
During PE in playground	Yes	2.79	1.05	2.62	1.09
No noise at all	Yes	1.46	0.83	1.24	0.79
Hearing classmate who is speaking to teacher	Yes	2.47	1.00	2.15	1.00

Πηγή: (Shield and Dockrell, 2005).

Τέλος, σε έρευνα που έγινε στο πειραματικό δημοτικό σχολείο του πανεπιστημίου Πατρών, οι μετρήσεις έδειξαν πως τα επίπεδα του θορύβου διαφέρουν κατά την διάρκεια της ημέρας. Ακόμη παρατηρήθηκε πως η αντήχηση των αιθουσών ήταν αρκετά μεγάλη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την κούραση των μαθητών και την χαμηλή τους καταληπτότητα (σχήμα 4.7.) (Σκαρλάτος, Ζακυνθινός, Δρακάτος και Εργάτης, 2002, σελ. 483).



Σχήμα 4.7. Απεικόνιση της καταληπτότητα επί τοις εκατό, των παιδιών των τριών τελευταίων τάξεων του δημοτικού. (Σκαρλάτος κ. συν., 2002, σελ. 483).

Οι περισσότεροι δάσκαλοι δεν έχουν την απαραίτητη γνώση για τις επιπτώσεις της ακουστικής των αιθουσών διδασκαλίας στην καταληπτότητα της ομιλίας. Οι πληροφορίες που έχουν δοθεί από την εκπαίδευση στους δασκάλους, όπως ειπώθηκε από τους ίδιους είναι ελάχιστη πάνω στο θέμα της ακουστικής των αιθουσών και στη διαχείριση του θορύβου των αιθουσών που διδάσκουν (Bohler, 2012).

Η δημιουργία λοιπόν ενός χώρου, όπως είναι οι αίθουσες διδασκαλίας, προκειμένου να επιτευχθεί μια καλή επικοινωνία μεταξύ δασκάλου-μαθητή ή καθηγητή-φοιτητή, είναι αρκετά σημαντική, διαφορετικά η επικοινωνία χάνεται. Συνεπώς η μείωση του χρόνου αντήχησης και του θορύβου στους χώρους εκπαίδευσης είναι απαραίτητη (ASHA, 1997-2015).

4.3. Επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία

Εισαγωγή

Παρόλο που δεν έχουν διαπιστωθεί ακόμα οι ακριβείς επιπτώσεις του θορύβου στην ανθρώπινη ακοή, η έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές σε στάθμες θορύβου μπορεί να προκαλέσει βλάβη. Ο θόρυβος μπορεί να επιδράσει ως εξής:

1. σε πολύ υψηλές στάθμες, επιδρά στο ακουστικό σύστημα του ανθρώπου, προκαλώντας ακουστικό τραύμα, όπως «*ρήξη του τυμπάνου, εξάρθρωση ή κάταγμα των οσταρίων, ρήξη της βασικής μεμβράνης και αιμορραγία του τυμπάνου ή του κοχλία»* (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 407). Στα άτομα τα οποία εκτίθενται καθημερινά σε περιβάλλοντα θορύβου έχει αποδειχθεί ότι η απώλεια ακοής είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα άτομα που βρίσκονται σε πιο ήπιο περιβάλλον (Τσινίκας και Τζεκάκης, 1986, σελ. 11)
2. έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ψυχική κατάσταση του ανθρώπου, όπως στρες και άγχος, ειδικά σε άτομα που κατοικούν σε πόλεις (Τσινίκας και Τζεκάκης, 1986, σελ. 11)
3. στα πιο ευπαθή άτομα, όπως είναι τα άτομα με ειδικές ανάγκες, ο θόρυβος έχει μεγαλύτερη αρνητική επίπτωση από ότι σε φυσιολογικά (Κωστούλα)

Η πιο σημαντική είναι η απώλεια της ακοής, η οποία διακρίνεται σε δύο κατηγορίες (Σκαρλάτος, 2003, σελ. 408):

1. βλάβη στον μηχανισμό της ακοής, δηλαδή στα όργανα που μεταφέρουν τον ήχο από το εξωτερικό αυτί στο εσωτερικό. Το πρόβλημα διορθώνεται με την κατάλληλη επέμβαση.

2. η νευρική βλάβη, δηλαδή η βλάβη στο περιφερειακό νευρικό σύστημα που σχετίζεται με την ακοή. Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα είναι μη αναστρέψιμο.

4.3.1 Λειτουργία της ακοής

Εισαγωγή

Η ακοή αποτελεί μια από τις βασικότερες αισθήσεις του ανθρώπου. Κάποιοι θεωρούν πως είναι η πολυτιμότερη. Είναι η αίσθηση που κάνει τον άνθρωπο πιο ανθρώπινο. Η αίσθηση αυτή γίνεται πολύτιμη όταν την χάσουμε. Ένα παιδί που έχει προβλήματα όρασης ίσως καταφέρει να ξεπεράσει τη δυσκολία αυτή, αλλά ένα παιδί που έχει προβλήματα ακοής δεν βρίσκεται σε θέση να μιμηθεί ήχους που ακούει γύρω του. Ένα φυσιολογικό ανθρώπινο αυτί μπορεί να ξεχωρίσει μέχρι 400.000 ήχους (Στήβενς Σ. Σ. και Γονορσκόφσκι, 1906-1973, σελ. 31).

Α. Ανατομία του αυτιού

Το ανθρώπινο αυτί είναι ένα εξαιρετικά ευαίσθητο όργανο. Εκπληρώνει δύο βασικές λειτουργίες. Η πρώτη είναι η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική και η δεύτερη η αποστολή του κωδικοποιημένου μηνύματος στον ανθρώπινο εγκέφαλο, ώστε να διακρίνει την συχνότητα, την χροιά και την ένταση.

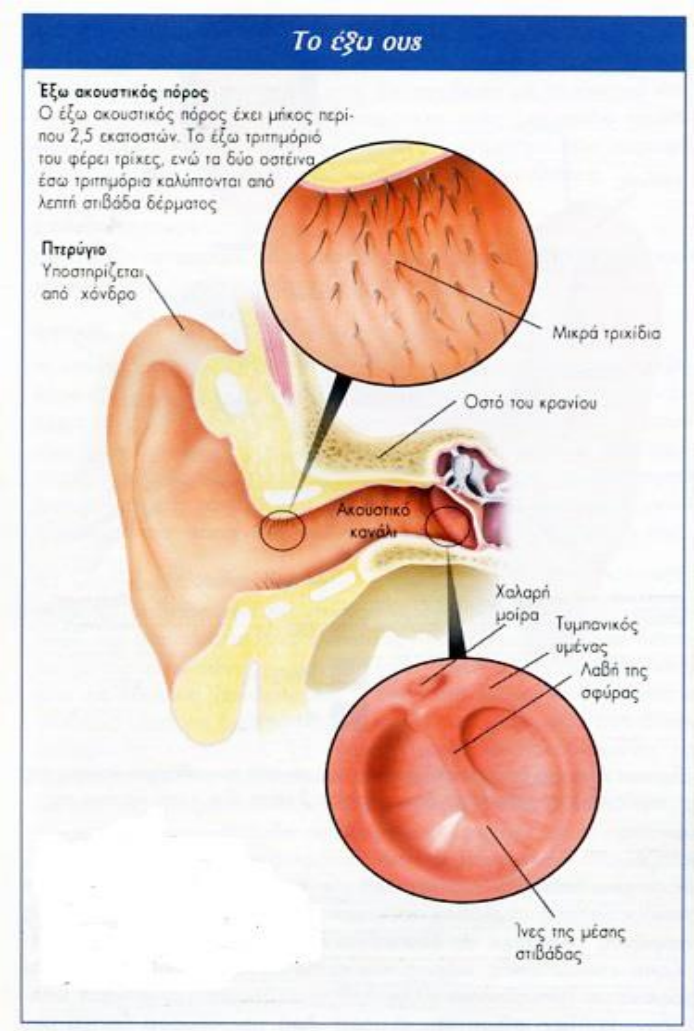
Το αυτί χωρίζεται σε τρία κύρια μέρη, το *έξω αυτί*, το *μέσο αυτί* και το *έσω αυτί*. Το καθένα χωρίζεται σε επιμέρους μέλη (Σ. Σ. Στήβενς και Γονορσκόφσκι, 1906-1973, σελ. 31, 38).

α) Έξω αυτί

Το έξω αυτί αποτελείται από το *πτερύγιο* και το *ακουστικό κανάλι*, το οποίο εκτείνεται μέχρι την ακουστική μεμβράνη, αλλιώς και ακουστικό τύμπανο. Η μεμβράνη αυτή

είναι ευαίσθητη στην πίεση του ηχητικού κύματος. Αναλυτικά παρατίθενται τα παρακάτω όργανα (Yost, 2000, p. 65-66. Σ. Σ. Στήβενς και Γονορσκόφσκι, 1906-1973, σελ. 31):

- Το *πτερύγιο* καλύπτεται από έναν σκελετό που δεν έχει κάποιους σημαντικούς μυς, αλλά αντίθετα κάποια σημαντικά πάρα πολύ μικρά εξογκώματα και αυλάκια. Οι αρχαίοι πίστευαν ότι το πτερύγιο ήταν ένα απλό όργανο που χρησίμευε ως συλλογή ήχων. Το πτερύγιο δίνει τη δυνατότητα στον εγκέφαλο να καταλάβει την προέλευση κάθε ήχου (μπροστά ή πίσω).
- Το εσωτερικό μέρος του κέντρου του πτερυγίου ονομάζεται *αψίδα*. Η αψίδα έχει διάμετρο 1-2cm και οδηγεί σε ένα άνοιγμα περίπου 5-7mm. Το άνοιγμα λέγεται *εξωτερικό ακουστικό άνοιγμα* και αποτελεί αφετηρία ενός καναλιού μήκους 2-3cm και διάμετρο περίπου 0,7cm, που ονομάζεται *ακουστικό κανάλι* (auditory meatus). Το κανάλι είναι κυρίως οστό, εκτός από ένα σκέλος του, το έξω τριτημόριο, που περιέχει μία σειρά από τριχίδια και αδένες. Στο κανάλι συμβαίνει το φαινόμενο του συντονισμού με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του ήχου στην τυμπανική μεμβράνη (βλέπε σχήμα 4.8.).



Σχήμα 4.8. Απεικόνιση του έξω αυτιού. Πηγή: (http://akoustika-varikoias-elak.gr/akoustika-varikoias-to-ekso-ous.html).

Πριν ο ήχος φτάσει στο εξωτερικό μέρος του αυτιού συναντά εμπόδια, δηλαδή τον κορμό και το κεφάλι του ανθρώπου (συμπεριλαμβάνεται και το πτερύγιο του αυτιού). Ο ήχος φτάνει διαφορετικός στο έξω αυτί. Για να καταφέρουμε να περιγράψουμε την αλλαγή στον ήχο που λαμβάνει ο δέκτης μετράμε το πλάτος και το στιγμιότυπο από τις φασματικές συνιστώσες του ήχου, λόγω των επιπτώσεων που έχει από τα διάφορα μέρη του σώματος και του έξω και του μέσου αυτιού (Yost, 2000, p. 68. Everest, 2003, σελ. 50-52).

Β) Μέσο αυτί

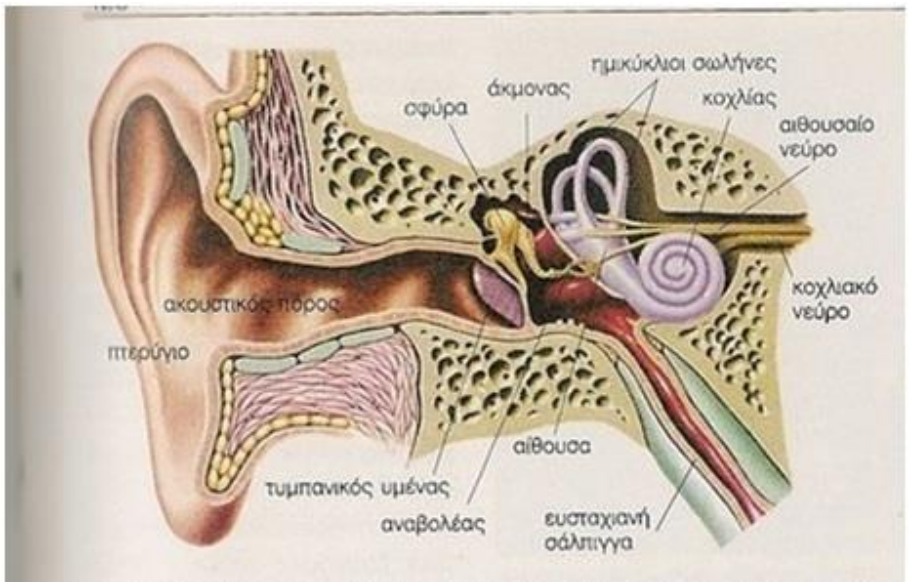
Το μέσο αυτί κατακλύζεται από αέρα και διασχίζεται από τρία μικρά οστά τα οποία είναι η *σφύρα*, ο *άκμονας* και ο *αναβολέας*. Η κοιλότητα του μέσου αυτιού είναι περίπου 2cm^3 περιλαμβάνοντας την πάνω κοιλότητα του τυμπάνου (epitympanic recess). Το κύριο τμήμα του μέσου αυτιού βρίσκεται ανάμεσα στην τυμπανική μεμβράνη και ενός οστού. Η κοιλότητα του μέσου αυτιού συνδέεται με την ρινική κοιλότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός τούνελ, γνωστού ως *ευσταχιανή σάλπιγγα*. (βλ. σχήμα 4.9.) Αναλυτικά:

- Η *σφύρα* βρίσκεται προσκολλημένη στο τύμπανο. Η σφύρα είναι το εξωτερικό από τα οστάρια. Η κεφαλή της σφύρας περιέχει το μισό από την πάνω κοιλότητα του τυμπάνου. Ακόμη η κεφαλή της σφύρας συνδέεται με τον άκμονα.
- Ο *αναβολέας* είναι το πιο μικρό κόκαλο στο σώμα του ανθρώπου. Αποτελείται από το κεφάλι και δύο *οστάρια* για στήριγμα. Βρίσκεται κολλημένος με το *ελλειψοειδές παράθυρο* και προκαλεί την ταλάντωση υγρού που βρίσκεται στο έσω αυτί. Ο μυς του αναβολέα που τείνει στο τύμπανο προφυλάσσει το τύμπανο από τις διακυμάνσεις των ισχυρών ήχων.
- Η *τυμπανική μεμβράνη* έχει σχήμα κώνου και είναι σχετικά διαφανής. Αποτελεί σύνορο με μια μεγάλη κοιλότητα που ονομάζεται μέση κοιλότητα του αυτιού ή τύμπανο. Έχει μήκος 55-90mm^2 και αποτελείται από στρώσεις ιστών. Χωρίζεται σε δύο σύνολα ινών, το πρώτο εκτείνεται από το κέντρο προς το εξωτερικό της μεμβράνης και το δεύτερο καλύπτεται από κρίκους

ινών. Με την δόνηση που προκαλείται πάνω της μεταφέρεται ο ήχος από το έξω αυτή στο μέσο.

- Η *ευσταχιανή σάλπιγγα* είναι μικρή σε μέγεθος, με σκοπό να μη καταστρέφει την ενδοτικότητα του αέρα. Ακόμη εξισορροπεί την στατική πίεση του αέρα στο μέσο αυτί με την εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση, για την σωστή λειτουργία του τυμπάνου και των μεμβρανών που βρίσκονται στο έσω αυτί. Τέλος εάν το μέσο αυτί μολυνθεί, η ευσταχιανή σάλπιγγα αποβάλει τα υγρά που δημιουργούνται.

Το μέσο αυτί μεταδίδει τα ηχητικά κύματα μέσω της τυμπανικής μεμβράνης στο έσω αυτί. Η κίνηση του τυμπάνου στο μέσο αυτί ελαττώνεται από 1,3:1 μέχρι 3:1 στο ελλειψοειδές παράθυρο. Ο συνδυασμός συντονισμού και αντιστάσεων δίνει τη δυνατότητα μιας μικρής κίνησης του διαφράγματος, έχοντας την αντίληψη *κατωφλίου* (Yost, 2000, p. 66-67. Everest, 2003, σελ. 50,53-55. Ζαφειράτου, 1994, σελ. 17-18).



Σχήμα 4.9. Απεικόνιση της κατασκευής του αυτιού. Πηγή: (http://armyaviation.wordpress.com/2010/05/19/ακοη-και-θορυβοσ-στην-αεροπορια/).

Γ) το έσω αυτί

Το έσω αυτί αποτελείται από τρία κανάλια. Το πρώτο είναι αυτό του μηχανισμού του προθαλάμου, το δεύτερο του οργάνου εξισορρόπησης και το τρίτο του κοχλία.

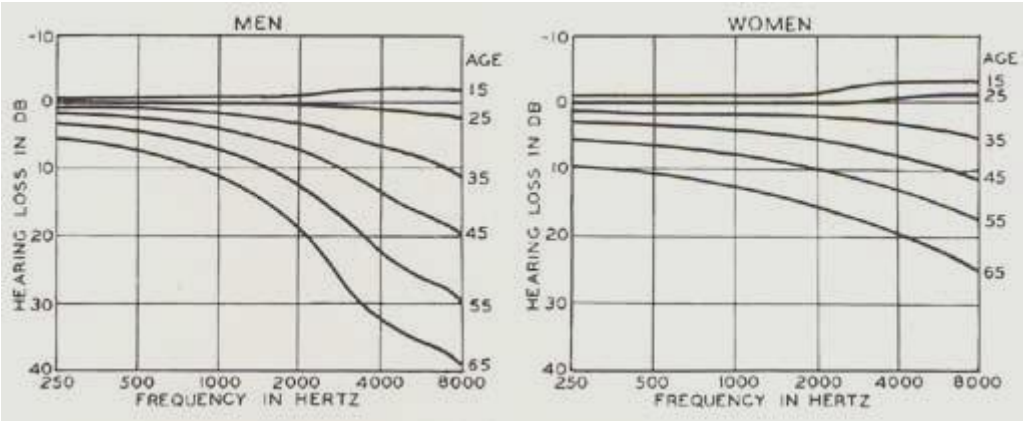
Μπορεί τα τρία αυτά κανάλια να περιέχουν το ίδιο υγρό, αλλά οι λειτουργίες που πράττει το καθένα είναι διαφορετικές. Αναλυτικά έχουμε:

- Ο *κοχλίας*, έχει σχήμα σαλιγκαριού και το μέγεθός του, αν τον ξετυλίξουμε, σε μήκος είναι περίπου 2,5cm. Ο κοχλίας βρίσκεται μέσα σε ένα σταθερό οστό. Στην επιφάνεια της βασικής μεμβράνης είναι τοποθετημένο το όργανο του Corti. Το όργανο του Corti μετατρέπει όλες τις συχνότητες που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος σε ηλεκτρικά κύματα, οδηγώντας αυτές στον εγκέφαλο (Σ. Σ. Στήβενς και Γονορσκόφσκι, 1906-1973, σελ. 47).
- Όταν ο αναβολέας ταλαντωθεί, δημιουργείται μια διέγερση και στο ελλειψοειδές παράθυρο προς τα μέσα, με αποτέλεσμα να κυλήσει υγρό στα άκρα της *βασικής μεμβράνης*. Στην μεμβράνη αυτή δημιουργούνται στάσιμα κύματα με διαφορετικά μέγιστα πλάτη ανάλογα με τη συχνότητα του εκπεμπόμενου ήχου.
- Οι *στερεοβλεφαρίδες* είναι πολύ λεπτά νεύρα τα οποία διεγείρονται από τα κύματα που δημιουργούνται στην βασική μεμβράνη. Τα νεύρα αυτά μεταφέρουν το ηχητικό σήμα που λήφθηκε στον εγκέφαλο σε μορφή εκκένωσης νευρώνων. Έχουμε περίπου 15.000 εξωτερικά κύτταρα που αποτελούνται από 140 στερεοβλεφαρίδες το καθένα, και 3.500 εσωτερικά κύτταρα που αποτελούνται από 40 στερεοβλεφαρίδες το καθένα ξεχωριστά.
- Τα *ακουστικά δυναμικά* προκαλούν ηλεκτρικά κύματα, αναπαράγουν το ήχο που έχει ληφθεί, και λειτουργούν σαν μικρόφωνο.

Η διαδρομή που θα ακολουθήσει ο ήχος σταματά στον εγκέφαλο. Εκεί επεξεργάζεται το κωδικοποιημένο μήνυμα (Yost, 2000, p. 91. Everest, 2003, σελ. 55-57. Στήβενς και Γονορσκόφσκι, 1906-1973, σελ. 50).

Β. Απώλεια ακοής

Η ακοή μειώνεται όσο μεγαλώνει η ηλικία. Επίσης έρευνα έδειξε πως η απώλεια της ακοής είναι διαφορετική μεταξύ των δύο φύλων (βλέπε σχήμα 4.10.)



Σχήμα 4.10. Απώλεια ακοής στις συχνότητες 250- 8000 Hz μεταξύ των ηλικιών 15-65 ετών.

Πηγή: (http://www.roger-russell.com/hearing/hearing.htm).

4.3.2 Επιπτώσεις του θορύβου της αίθουσας διδασκαλίας στην υγεία μαθητών και διδασκόντων

Εισαγωγή

Ο θόρυβος μιας αίθουσας διδασκαλίας δεν έχει μόνο αρνητικά αποτελέσματα στη μάθηση και στην επικοινωνία αλλά και στην υγεία. Δύο κύριες επιπτώσεις είναι αυτές της αλλαγής της συμπεριφοράς των παιδιών καθώς και η πρόκληση κούρασης στη φωνή των δασκάλων (Shield and Dockrell, 2005).

Α. Σχετικές μελέτες

Σε μελέτη που έγινε στην Αμερική παρατηρείται ότι το ποσοστό των 32% των δασκάλων νιώθουν κουρασμένη τη φωνή τους, ενώ το 20% των εκπαιδευτικών έχασε τη δουλειά του εξαιτίας των φωνητικών προβλημάτων που αντιμετώπιζαν (Smith et al., 1998), εφόσον δυνάμωναν την φωνή τους για να ακουστούν (Nelson et al., 2002, p.8). Παρόμοια έρευνα έγινε και στο Λονδίνο, όπου παρατηρήθηκε πως το 77,4% των δασκάλων ένιωθαν πόνο στον λάρυγγα, η φωνή τους είχε αποκτήσει μια βραχνάδα και κάποιοι είχαν αφωνία για κάποιο χρονικό διάστημα, ενώ μόνο ένα 12% αυτών διαπιστώθηκε με πονεμένο λαιμό και μόνο τέσσερεις δάσκαλοι δεν αντιμετώπιζαν

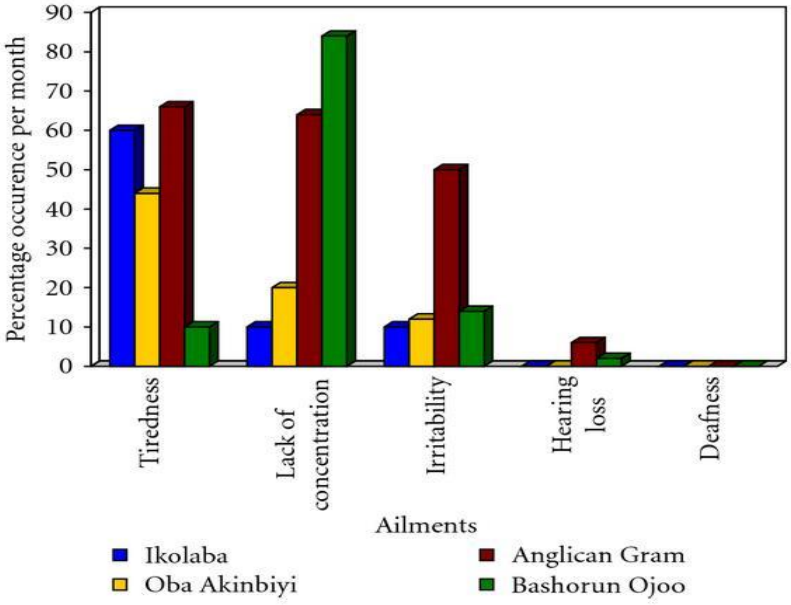
πρόβλημα επειδή δεν βρίσκονταν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο σχολείο και δίδασκαν ώρες που είχε λιγότερο θόρυβο καθώς είχαν και λιγότερες διδακτικές ώρες από άλλους δασκάλους. Στην ίδια έρευνα οι δάσκαλοι παρατήρησαν πως ο εξωτερικός θόρυβος προκαλεί διάσπαση προσοχής στους μαθητές (βλέπε πίνακα 4.3.) (Shield and Dockrell, 2005).

Πίνακας 4.3.

Πηγή ήχου	Ποσοστό επί τις % που οι δάσκαλοι παρατήρησαν τις επιπτώσεις
Ελικόπτερο	81,8
Σειρήνες	69
Λεωφορείο	50
Φορτηγά	46,2
Αυτοκίνητα	43,3
Τραίνα	42,9
Μηχανάκια	37,5
Αεροπλάνα	27,8

Πηγή: (Shield and Dockrell, 2005)

Ολοκληρώνοντας, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε επιλεγμένα σχολεία της Νιγηρίας, πιο συγκεκριμένα το Ikolada, έδειξε πως το 60% των συμμετεχόντων (μαθητές γυμνασίου) ένιωθαν κουρασμένοι εξαιτίας του θορύβου. Κανένας όμως από τους συμμετέχοντες δεν διαπιστώθηκε με προβλήματα ακοής. Σε ένα άλλο όμως σχολείο, το Oba Akinbiyi, παρατηρήθηκαν ότι το ποσοστό μαθητών (λυκείου) που ένιωθαν κούραση ήταν 44%, ενώ παρατηρήθηκε επίσης και ποσοστό 20% που αντιμετώπιζαν δυσκολία στη συγκέντρωση και το υπόλοιπο 12% που ο θόρυβος τους δημιουργούσε εκνευρισμό. Τέλος σε μια τρίτη πόλη της Νιγηρίας έδειξε πως ένα 2% έπασχε από ακουστικά προβλήματα. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας φαίνονται στο παρακάτω γράφημα (βλέπε σχήμα 4.11.) (Ana, Shendell, Brown and Sridhar, 2009, p. 7).



Σχήμα 4.11. Αναλυτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων από τα χρόνια προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα άτομα, κάτω από θορυβώδες περιβάλλον. Το δείγμα πάρθηκε από τέσσερα επιλεγμένα σχολεία της πόλης Ibadan της Νιγηρίας (Shendell et al., 2009, p. 7).

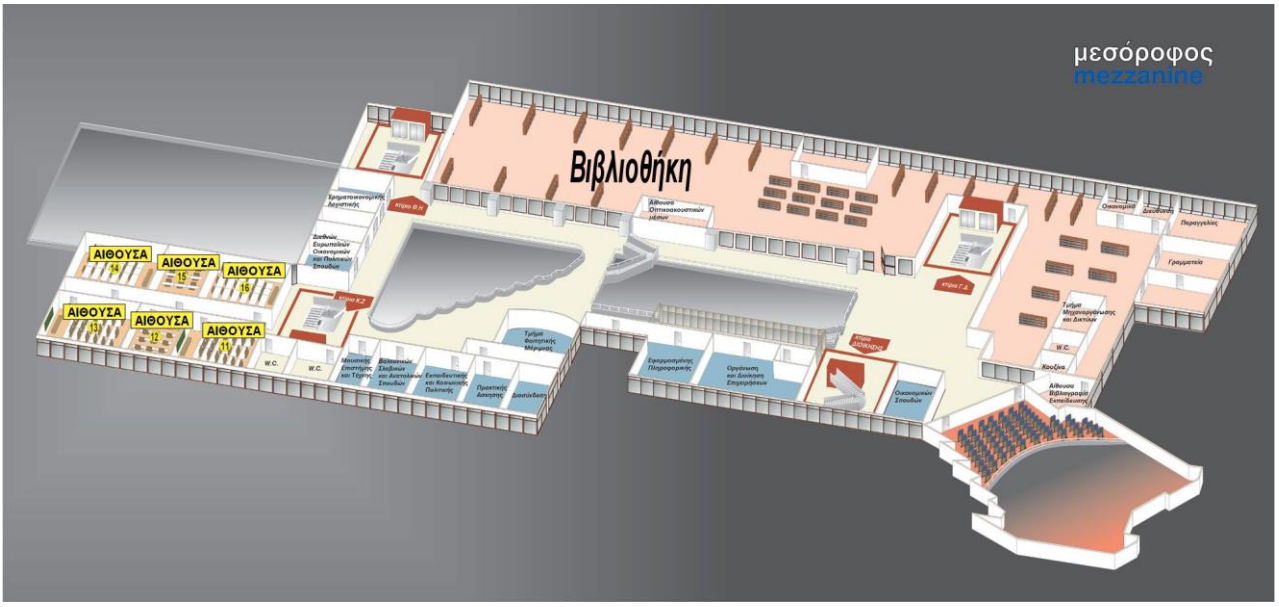
Κεφάλαιο 5ο

5.1 Περιγραφή των αιθουσών διδασκαλίας του ημιώροφου και της αίθουσας του Εργαστηρίου Υπολογιστών του τμήματος Μ.Ε.Τ.

Το έτος ίδρυσης του Πανεπιστημίου Μακεδονίας είναι το 1948 και η έναρξη λειτουργίας του είναι το 1957-1958. Το Πανεπιστήμιο Μακεδονίας περιελάμβανε αρχικά το τμήμα οικονομικών σπουδών. Αργότερα προστέθηκαν τα υπόλοιπα τμήματα ένα εκ των οποίων είναι και το τμήμα Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης (Μ.Ε.Τ.), που ιδρύθηκε το 1998 (Αθανασιάδης και Καρατζίδης, 2012).

Το Πανεπιστήμιο Μακεδονίας βρίσκεται πάνω στην Εγνατία οδό. Πρόκειται για ένα κεντρικό δρόμο. Επιπλέον απέναντι στεγάζεται η Στρατιωτική Σχολή του Αριστοτελείου πανεπιστημίου. Το κεντρικό μέρος του Πανεπιστημίου Μακεδονίας αποτελείται από τρεις πύργους. Δεξιά ο διάδρομος οδηγεί στο αμφιθέατρο τελετών και την αίθουσα των κρουστών. Συνεχίζοντας αριστερά από την κεντρική είσοδο εκτείνεται το φουαγιέ, όπου συγκεντρώνονται οι φοιτητές και οι καθηγητές όλων των τμημάτων του πανεπιστημίου. Το φουαγιέ καταλήγει στο 1ο υπόγειο, όπου υπάρχει το στούντιο ηχογράφησης και τα στούντιο μελέτης των φοιτητών του τμήματος Μ.Ε.Τ. Το πανεπιστήμιο διαθέτει κλειστό γυμναστήριο και εσωτερικό γκαράζ στο 2ο υπόγειο, το οποίο στο τελευταίο βρίσκονται η αίθουσα της παραδοσιακής και το εργαστήριο υπολογιστών του τμήματος Μ.Ε.Τ.

Οι αίθουσες που μελετώνται αρχικά (12, 13 και 14) βρίσκονται στον ημιώροφο (βλέπε εικόνα 5.1.). Οι αίθουσες βρίσκονται κατά μήκος ενός διαδρόμου, πιο συγκεκριμένα προς το βάθος του. Οι αίθουσες 12 και 13 βρίσκονται στην ίδια πλευρά του διαδρόμου και από την πλευρά της Εγνατίας οδού, ενώ η αίθουσα 14 βρίσκεται απέναντι και ανάμεσα από αυτές, και βλέπει σε ακάλυπτο χώρο. Ακόμη ο προσανατολισμός των αιθουσών διαφέρει από αίθουσα σε αίθουσα. Με αφορμή την παραπάνω περιγραφή μπορούμε να θεωρήσουμε πως το ακουστικό περιβάλλον του πανεπιστημίου τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό του είναι θορυβώδες.



Εικόνα 5.1. Η απεικόνιση του ημιώροφου του τμήματος.

Το υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή του πανεπιστημίου είναι κυρίως οπλισμένο σκυρόδεμα. Αναλυτικά οι αίθουσες έχουν τη εξής μορφή:

- Η αίθουσα 12 πλάτος 8,39m και μήκος 4,88m. Η διάταξη των καθισμάτων έχει φορά προς τη πόρτα που οδηγεί στον διάδρομο. Το υλικό των καθισμάτων και των εδράνων είναι ξύλο και βρίσκονται όλα στο ίδιο επίπεδο μεταξύ τους. Ο καθηγητής κάθεται απέναντι αριστερά και στο ίδιο επίπεδο με τους φοιτητές. Στον τοίχο πίσω από τη θέση που στέκεται ο καθηγητής είναι τοποθετημένος ο πίνακας. Στην αίθουσα 12 τα τζάμια βρίσκονται πίσω από τα τελευταία καθίσματα και καλύπτουν το 1/3 του τοίχου. Το πιάνο είναι τοποθετημένο στο δεξιό μέρος της αίθουσας, πίσω από τη πόρτα (βλέπε εικόνα 5.2.).

Εικόνα 5.2. Απεικόνιση της αίθουσας 12 του ημιώροφου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

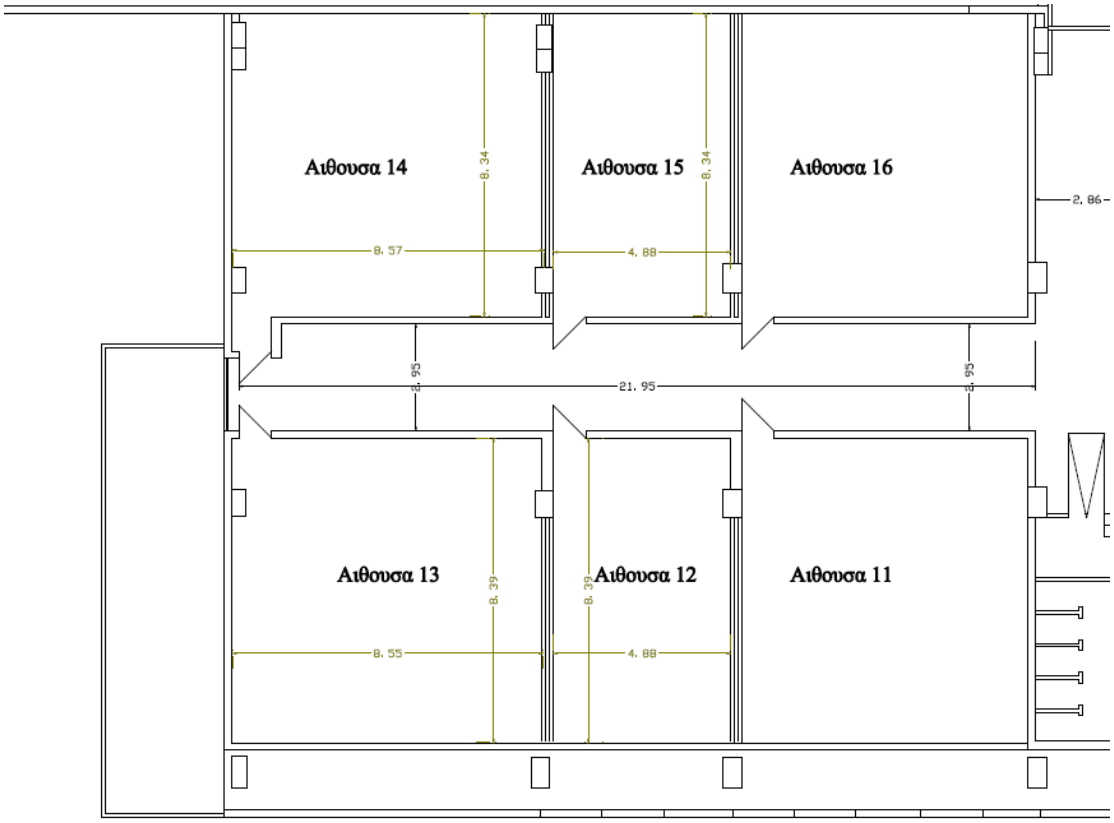
- Η αίθουσα 13 έχει πλάτος 8,39m και μήκος 8,55m. Ο καθηγητής βρίσκεται σε βάθρο ύψους 11,3cm περίπου. Η έδρα του καθηγητή βρίσκεται στη δεξιά άκρη του βάθρου, ενώ στην άλλη άκρη αυτού είναι τοποθετημένο το πιάνο. Η απόσταση μεταξύ της έδρας και των καθισμάτων του ακροατηρίου είναι περίπου 1,5m. Τα έδρανα των φοιτητών είναι διαβαθμισμένα περίπου, το ένα πίσω από το άλλο. Απέναντι από τη πόρτα ο τοίχος καλύπτεται κατά τα 2/3 με παράθυρα, όπου το ένα από αυτά δεν κλείνει τελείως. Στο κάτω μέρος των παραθύρων βρίσκονται τα καλοριφέρ. Το δάπεδο είναι καλυμμένο με μοκέτα. Επιπλέον ο κοινός τοίχος των αιθουσών 12 και 13 δεν εφάπτεται στα παράθυρα, αλλά το διάκενο μεταξύ τοίχου και παραθύρων καλύπτεται με γυψοσανίδες (βλέπε εικόνα 5.3.).

Εικόνα 5.3. Απεικόνιση της αίθουσας 13.

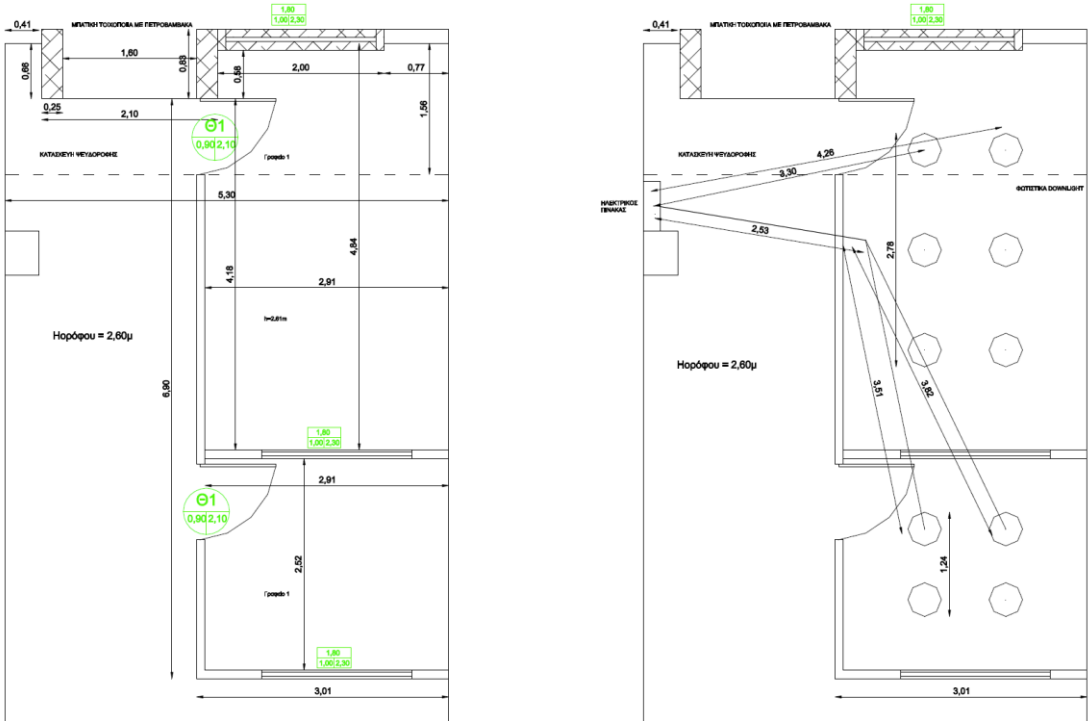
- Η αίθουσα 14 έχει μήκος 8,57m και πλάτος 8,34m (βλέπε εικόνα 5.4.). Ο προσανατολισμός της αίθουσας είναι προς το εσωτερικό του πανεπιστημίου. Ο διδάσκων βρίσκεται σε βάθρο περίπου 13cm. Η έδρα του διδάσκοντα βρίσκεται στο δεξιό μέρος του βάθρου ενώ στο ίδιο επίπεδο αριστερά είναι τοποθετημένο το πιάνο. Η απόσταση των πρώτων καθισμάτων με την έδρα είναι περίπου 1,5m. Τα έδρανα των φοιτητών διαβαθμίζονται σε ύψος. Ο απέναντι από τη πόρτα τοίχος καλύπτεται κατά 2/3 από παράθυρα, ενώ το υπόλοιπο είναι τοίχος όπου είναι τοποθετημένα τα καλοριφέρ. Το δάπεδο της αίθουσας είναι καλυμμένο με μοκέτα.

Εικόνα 5.4. Απεικόνιση της αίθουσας 14 κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των μετρήσεων.

- Η αίθουσα του εργαστηρίου υπολογιστών του τμήματος Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης βρίσκεται στο δεύτερο υπόγειο, γκαράζ. Πρόσφατα έχει ανακαινιστεί. Η οροφή της αίθουσας έχει ψευδοροφή. Μέσα στην αίθουσα έχει διαμορφωθεί ένα επιπλέον δωμάτιο αριστερά αυτής με γυψοσανίδα. Ο εξοπλισμός της αίθουσας είναι παλιός. Ο εξαερισμός των υπολογιστών και του προβολέα ακούγεται δυνατά. Από το γεγονός αυτό μπορούμε να υποθέσουμε πως ο θόρυβος του εξαερισμού αλλά και των αυτοκινήτων μπορεί να προκαλέσει μια μικρή ενόχληση κατά τη διάρκεια του μαθήματος (βλέπε κατόψεις αιθουσών-σχήματα 5.1. και 5.2.).



Σχήμα 5.1. Κάτοψη ημιώροφου



Σχήμα 5.2. Κάτοψη του εργαστηρίου του τμήματος Μ.Ε.Τ.

5.2 Αποτελέσματα μέτρησης του χρόνου αντήχησης των αιθουσών διδασκαλίας του ημιώροφου

Α. Εξοπλισμός

Στην ηχομέτρηση των αιθουσών του ημιώροφου χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εξοπλισμός:

1. Γεννήτρια ροζ θορύβου cel-513: η γεννήτρια συνδέθηκε με ένα ενεργό ηχείο. Η γεννήτρια ήταν άμεσα συνδεμένη με το ηχόμετρο, το οποίο έδινε την εντολή έναρξης και διακοπής ροζ θορύβου από το ηχείο.

Εικόνα 5.5. Γεννήτρια εκπομπής ροζ θορύβου.

2. Ηχόμετρο- ακουστικός αναλυτής CEL-573: ο συγκεκριμένος αναλυτής έχει την δυνατότητα μέτρησης-ανάλυσης ακουστικών μεγεθών όπως είναι ο χρόνος αντήχησης και η μέτρηση ηχομονωτικής ικανότητας χωρίσματος μέσω του ειδικού λογισμικού (Building Acoustics).

Εικόνα 5.6. Ηχόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.

3. Ηχείο BEHRINGER EUROLIVE B215A: έχει ισχύ 400 Watt με απόκριση συχνοτήτων από 55Hz έως 20kHz και μέγιστη στάθμη εκπομπής 126dB στο 1m.

Εικόνα 5.7. Ηχείο EUROLIVE B215A. Πηγή: (http://www.artsound.gr/catalog/mackie-aytoenisxyomeno-ixeio-p-1676.html).

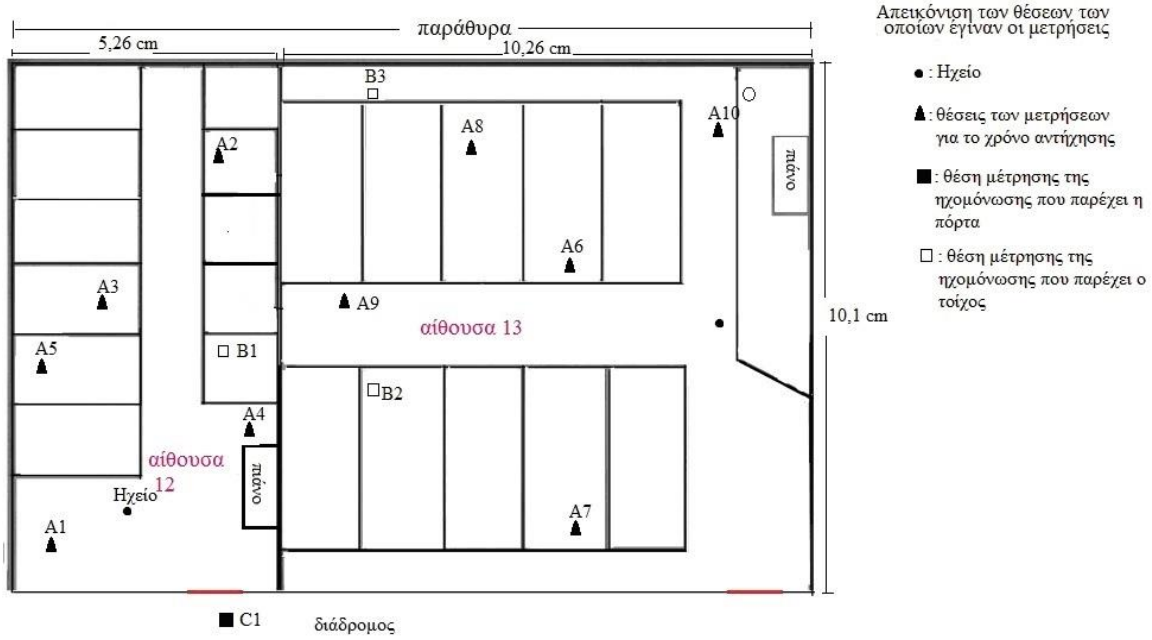
Β. Χρονική περίοδος πραγματοποίησης των μετρήσεων

Η χρονική περίοδος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στις αίθουσες του ημιώροφου είναι από 15:30 μέχρι τις 18:20 περίπου. Οι αίθουσες αυτή την χρονική περίοδο ήταν κενές. Επικρατούσε ησυχία και δεν υπήρχε θόρυβος ή μουσική από τις διπλανές αίθουσες. Επιπλέον ο θόρυβος που έρχονταν από το εξωτερικό περιβάλλον του πανεπιστημίου δεν ήταν δυνατός.

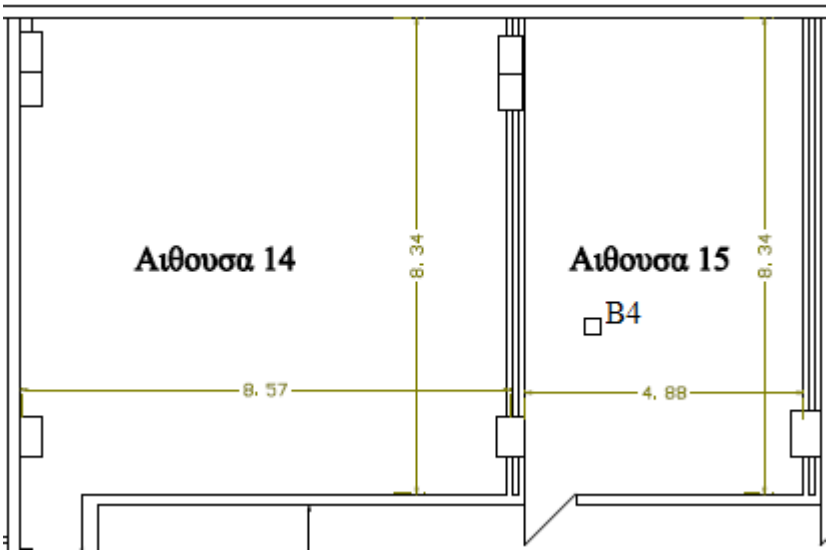
Γ. Μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε

Αρχικά τοποθετήθηκε το ηχείο σε σημείο περίπου ενός μέτρου μπροστά από τα πρώτα καθίσματα των φοιτητών. Στη συνέχεια μετρήθηκε ο χρόνος αντήχησης σε πέντε διαφορετικά σημεία της κάθε αίθουσας. Εκτός από το χρόνο αντήχησης μελετήθηκε η ηχομόνωση που έχει ο τοίχος μεταξύ των αιθουσών 12 - 13 και 14 - 15, καθώς και η ηχομόνωση που παρέχει η πόρτα. Επιπλέον μελετήθηκε ο θόρυβος περιβάλλοντος (*background noise)* κάθε αίθουσας και ο θόρυβος που μπαίνει από το εξωτερικό περιβάλλον του πανεπιστημίου μέσα στην αίθουσα. Η μέτρηση του θορύβου επαναλήφθηκε στην αίθουσα 13, όταν το παράθυρο ήταν κλειστό, όταν το παράθυρο ήταν ανοιχτό (20cm) και με τοποθέτηση του ηχόμετρου έξω από το παράθυρο.

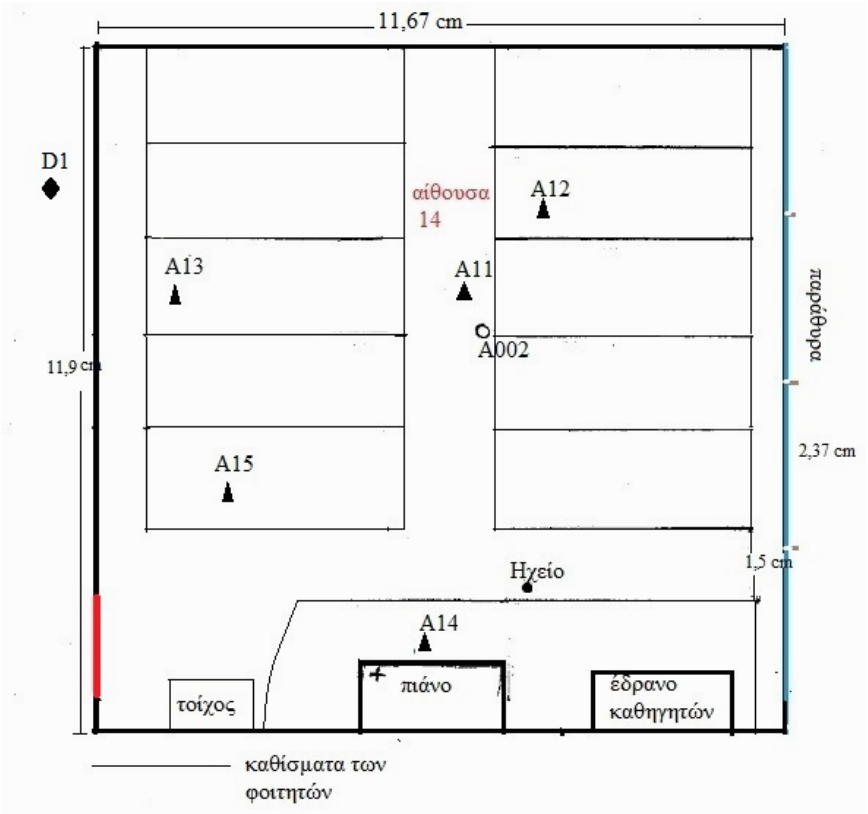
5.2.1 Αποτελέσματα μετρήσεων των αιθουσών διδασκαλίας των αιθουσών του ημιώροφου



Σχήμα 5.3. Απεικόνιση των θέσεων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις αίθουσες 12 και 13.



Σχήμα 5.4. Απεικόνιση της κάτοψης των αιθουσών 14 και 15 και η θέση B4 όπου έγινε η μέτρηση της ηχομόνωσης του τοίχου όταν η πηγή διεγέρθηκε στην αίθουσα 14.



Σχήμα 5.5. Απεικόνιση των θέσεων που έγιναν οι μετρήσεις του χρόνου αντήχησης, της ηχομόνωσης που παρέχει ο τοίχος στην αίθουσα 14 στον ημιώροφο. Με ◆ είναι η μέτρηση RCS για το 1/3 οκτάβας.

Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης RT20 (τα διαγράμματα του χρόνου αντήχησης κάθε αίθουσας ξεχωριστά βρίσκονται στο παράρτημα)

Πίνακας 5.1.

Αίθουσες ημιώροφου	Χρόνος αντήχησης RT_{60} σε second, σε διαφορετικές θέσεις στις αίθουσες του ημιώροφου					Μέσος όρος του χρόνου αντήχησης σε second
Αίθουσα 12	A1 1,05	A2 1,09	A3 0,82	A4 0,87	A5 0,59	0,88
Αίθουσα 13	A6 1,42	A7 0,73	A8 1,00	A9 1,27	A10 0,71	1,03
Αίθουσα 14	A11 0,82	A12 1,17	A13 0,79	A14 0,86	A15 0,66	0,86

Είναι σημαντικό να επισημανθεί πως οι μετρήσεις του χρόνου αντήχησης έγιναν με μεγάφωνο και όχι με πιστόλι, για αυτό το λόγο ο χρόνος αντήχησης στις θέσεις Α2-Α6 και στη θέση Α10, θα έπρεπε να είναι μικρότερος μιας και ο θόρυβος του μεγαφώνου δεν είναι στιγμιαίος αλλά συνεχής.

Πίνακας 5.2.

Αίθουσα 13 Θέσεις μετρήσεων	Θόρυβος που προέρχεται από το δρόμο σε dB		
	Κλειστό παράθυρο	Άνοιγμα παραθύρου 20cm	Τοποθέτηση ηχόμετρου έξω από το παράθυρο
Θέση Α10	77,4 dB	78,1 dB	81,1 dB
Διαφορά	-3,7 dB	-3 dB	
Θέση Α9	48,8 dB	61,2 dB	72 dB

Ο ήχος-θόρυβος που περνάει από την πόρτα στο διάδρομο είναι 74,7 dB. Η στάθμη του ηχείου είναι 97dB (θέση Β1).

Παρατηρήθηκε πως στη μέτρηση του θορύβου που προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον της αίθουσας 13 του ημιώροφου τα επίπεδα του θορύβου παρέμειναν σταθερά στα 42,2-47,5dB, (Μέση Τιμή 44,85 dB), μεταξύ 17:50 με 18:46. η στάθμη του θορύβου ανέβηκε το μεσημέρι στα 56,2 dB.

Τέλος ο ήχος που περνά από την μια αίθουσα στην διπλανή, όταν αυτές είναι κενές είναι 66 dB.

Πίνακας 5.3.

Θέσεις μέτρησης της ηχομόνωσης του τοίχου	Στάθμη του θορύβου σε dB	
	1/3 οκτάβας	1/1 οκτάβας
Θέση Β2	63,8	63,9
Θέση Β3	66	
Θέση Β4	59,8	
Θέση C1	74,7	

5.3 Θεωρητικός υπολογισμός του χρόνου αντήχησης των αιθουσών διδασκαλίας του ημιώροφου

Πίνακας 5.4. Συντελεστές απορρόφησης των υλικών που χρησιμοποιηθήκαν για την κατασκευή των αιθουσών διδασκαλίας

Συντελεστής απορρόφησης διαφόρων υλικών σε διαφορετικές συχνότητες						
Υλικά	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Σοβαντισμένος τοίχος	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Μοκέτα σε τσιμέντο	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
Ακουστικό πλακίδιο τύπου Armstrong,cortega	0,30	0,31	0,48	0,75	0,75	0,70
Τζάμι, υαλοπέτασμα	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Μικρό τζάμι, απλό	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02

Πηγές: (Ευθυμιάτος, 2007, σελ. 219)
(http://users.auth.gr/~vafiadis/CD_Undergr_2015/Electroacoustics/LESSON_07_sc.pdf)
(http://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf) και
(http://www.armstrong.com/common/c2002/content/files/2823.pdf)

Αίθουσα 12

Πίνακας 5.5.

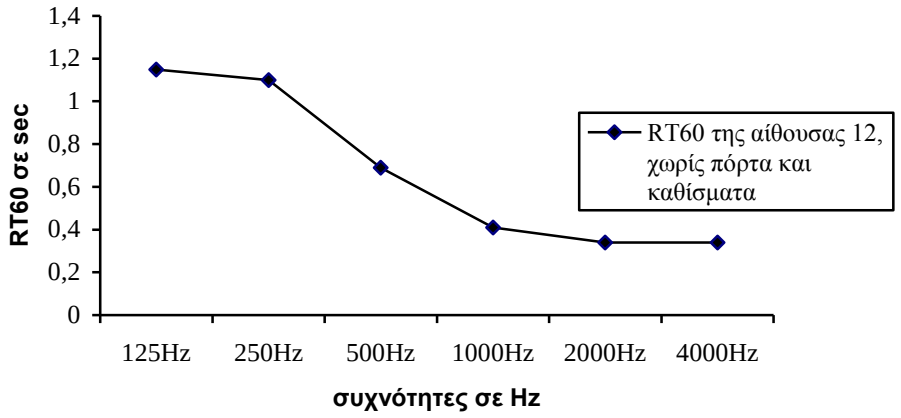
Επιφάνειες αίθουσας 12	**Εμβαδό επιφανειών σε m^2**	**Όγκος αίθουσας 12 σε m^3**
Δάπεδο	42,716	128,149
Οροφή	42,716	
Τζάμια	10,256	
Εξωτερικός τοίχος-παραθύρων	5,128	
Τοίχος διαδρόμου	15,384	
Τοίχος κοινός με την αίθουσα 13	24,99	
Απέναντι τοίχος-αίθουσα 13	24,99	

Πίνακας 5.6.
Υπολογισμός του Σα σε διάφορες συχνότητες

Επιφάνειες	Σα = α * Εμβ επιφανειών – Μεταβολή σε διάφορες συχνότητες					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Δάπεδο	0,85432	2,56296	5,98024	15,80942	25,6296	27,7654
Οροφή	12,8148	13,24196	20,50368	32,037	32,037	29,9012
Τζάμια	3,5896	2,564	1,84608	1,23072	0,71792	0,41024
Εξωτερικός τοίχος-παραθύρων	0,05128	0,05128	0,10256	0,10256	0,15384	0,20512
Τοίχος διαδρόμου	0,15384	0,15384	0,30768	0,30768	0,46152	0,61536
Τοίχος κοινός με την αίθουσα 13	0,2499	0,2499	0,4998	0,4998	0,7497	0,9996
Απέναντι τοίχος-αίθουσας 13	0,2499	0,2499	0,4998	0,4998	0,7497	0,9996
Σύνολο	17,96364	19,07384	29,73984	50,44832	60,49928	60,89652

Πίνακας 5.7.
Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης σε διαφορετικές συχνότητες

Συχνότητες σε Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RT_{60} σε sec	1,148	1,10	0,69	0,41	0,34	0,34



Σχήμα 5.6. Γράφημα της μεταβολής του χρόνου αντήχησης της αίθουσας 12.

Αίθουσα 13

Πίνακας 5.8.

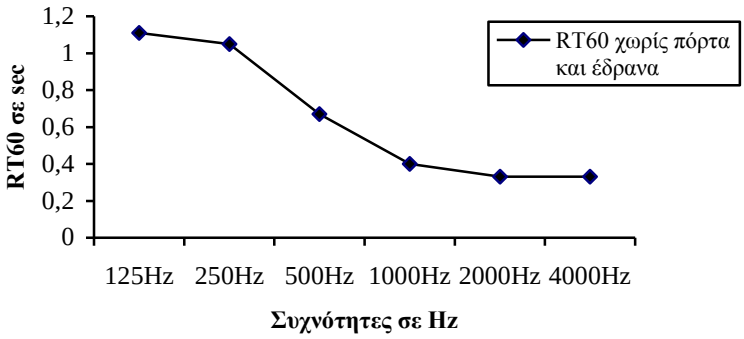
Επιφάνειες	**Εμβαδόν των επιφανειών στην αίθουσα 13 σε m^2**	**Όγκος αίθουσας 13 σε m^3**
Οροφή	66,179	190,599
Δάπεδο	66,314	
Μεγάλα παράθυρα	16,63	
Τοίχος-παράθυρα	7,317	
Τοίχος στο διάδρομο	23,947	
Πίσω τοίχος	21,012	
Τοίχος με πιάνο	23,877	

Πίνακας 5.9.
Υπολογισμός του Σα σε διάφορες συχνότητες

Επιφάνειες	**Σα = α * Εμβ επιφανειών – Μεταβολή σε διάφορες συχνότητες**					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Οροφή	19,854	20,5155	31,766	49,634	49,634	46,325
Δάπεδο	1,326	3,97884	9,284	24,536	39,788	43,104
Μεγάλα παράθυρα	5,821	4,1575	2,993	1,9956	1,164	0,665
Τοίχος-παράθυρα	0,073	0,07317	0,146	0,146	0,219	0,293
Τοίχος στο διάδρομο	0,239	0,23947	0,479	0,479	0,718	0,958
Πίσω τοίχος	0,210	0,210	0,420	0,420	0,63	0,840
Τοίχος με πιάνο	0,239	0,23877	0,478	0,478	0,716	0,955
Σύνολο	27,76	29,35	45,566	76,166	92,869	93,14

Πίνακας 5.10.
Μεταβολή του χρόνου αντήχησης σε διάφορες συχνότητες

Συχνότητες	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RT_{60} σε sec	1,11	1,05	0,67	0,4	0,33	0,33



Σχήμα 5.7. Γράφημα απεικόνισης της μεταβολής του χρόνου αντήχησης αίθουσας 13.

Αίθουσα 14

Πίνακας 5.11.

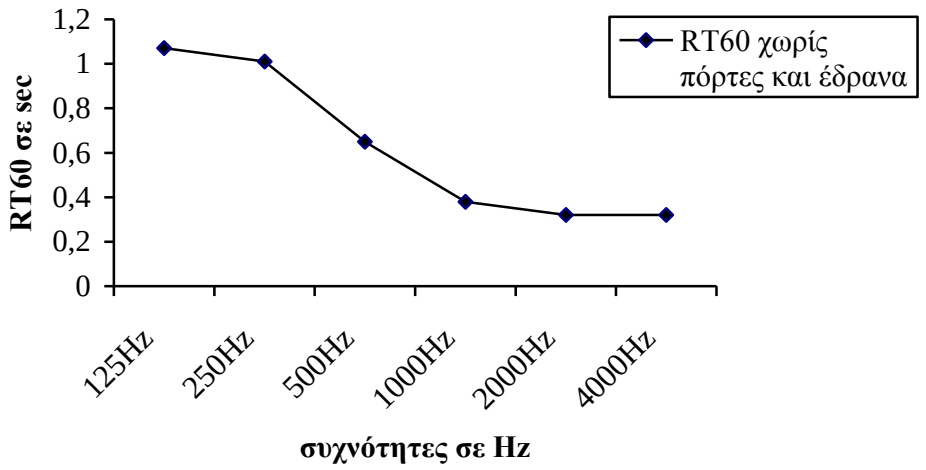
Επιφάνειες	**Εμβαδόν επιφανειών στην αίθουσα 14 σε m^2**	**Όγκος αίθουσας 14 σε m^3**
Οροφή	75,703	208,941
Δάπεδο	75,798	
Πίσω τοίχος	22,799	
Τοίχος με πιάνο	25,908	
Μεγάλα τζάμια	17,532	
Μικρά τζάμια	5,2596	
Τοίχος με μεγάλα τζάμια	7,71408	
Τοίχος με μικρά τζάμια	19,99	

Πίνακας 5.12.
Υπολογισμός του Σα σε διάφορες συχνότητες

	Σα = α * Εμβ επιφανειών - Μεταβολή σε διάφορες συχνότητες					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Οροφή	22,7109	23,46793	36,33744	56,77725	56,62725	52,8521
Δάπεδο	1,51596	4,54788	10,61172	28,04526	45,4788	49,2687
Πίσω τοίχος	0,22799	0,22799	0,45598	0,45598	0,77724	1,03632
Τοίχος του πιάνου	0,25908	0,25908	0,51816	0,51816	0,683897	0,91196
Μεγάλα τζάμια	6,1362	4,383	3,15576	2,10384	1,22724	0,70128
Μικρά τζάμια	0,210384	0,210384	0,157788	0,157788	0,105192	0,105192
Τοίχος μικρών τζαμιών	0,1699	0,1999	0,3998	0,3998	0,5997	0,7996
Τοίχος μεγάλων τζαμιών	0,0771408	0,0771408	0,1542816	0,1542816	0,2315224	0,3085632
Σύνολο	31,308	33,373	51,791	88,6124	105,731	105984

Πίνακας 5.13.
Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης σε διάφορες συχνότητες

Συχνότητες σε Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RT_{60} σε sec	1,07	1,01	0,65	0,38	0,32	0,32



Σχήμα 5.8. Γράφημα του χρόνου αντήχησης της αίθουσας 14

5.4 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου

5.4.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου για τις αίθουσες διδασκαλίας του ημιώροφου

Α. Φοιτητές του ΜΕΤ που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου.

Στην έρευνα έλαβαν μέρος 86 άτομα για την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου που αφορούσε την ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας του ημιώροφου (12, 13, 14). Τα 44 ήταν κορίτσια και τα 42 αγόρια, ενώ υπήρξαν άτομα που δεν συμπλήρωσαν όλο το ερωτηματολόγιο.

Οι ερωτήσεις 5 και 6.Β. αναφέρονται στους θορύβους που συναντάμε στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον του πανεπιστημίου και προκαλούν ενόχληση κατά τη διάρκεια που πραγματοποιείται το μάθημα. Οι ερωτήσεις 6.Α. και 7(κοινές και για φοιτητές και για καθηγητές) εστιάζουν στην αντίληψη που έχουν οι φοιτητές και οι καθηγητές, μέσω των βαθμολογιών για την ενόχληση που προκαλείται από τον θόρυβο. Οι ερωτήσεις 8 και 9 και τα υποερωτήματα αυτών αποσκοπούν στην απόδειξη ότι το περιβάλλον της αίθουσας δεν βοηθά αρκετά στην κατανόηση της ομιλίας, δυσκολεύοντας το έργο του διδάκτορα. Στόχος των ερωτήσεων 10, 11 και 12 είναι να προσδιοριστεί το πρόβλημα και να προταθούν λύσεις για στην βελτίωση του χώρου διδασκαλίας από τους ίδιους τους φοιτητές. Τέλος οι ερωτήσεις 13 και 14 αποσκοπούν στην αντίληψη των φοιτητών όσον αφορά την καλή ακουστική που πρέπει να έχουν οι αίθουσες του ΜΕΤ που μελετώνται.

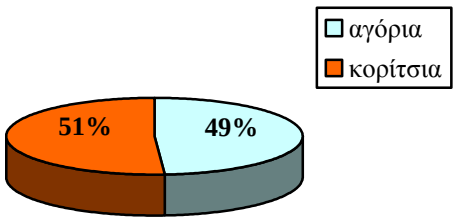
Αναλυτικά οι απαντήσεις από τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου είναι:

1. φύλο (βλέπε πίτα)
2. ηλικίες φοιτητών σε αντιστοιχία με τα ποσοστά των ατόμων που συμμετείχαν (βλ. πίνακα 5.14.):

Πίνακας 5.14.

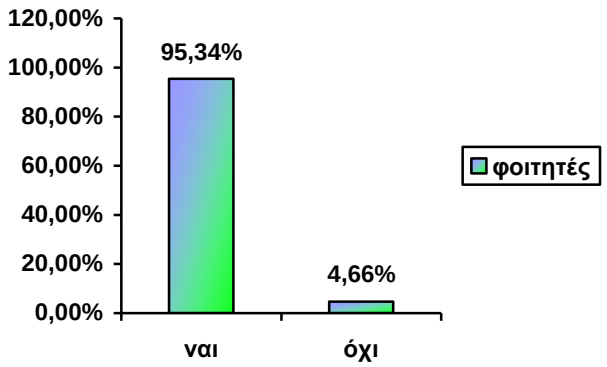
Ποσοστό ατόμων %	29,08	24,42	19,76	16,27	8,14	2,33
Ηλικίες	18	20	21	22	23	30 +

3. μελετήθηκαν οι αίθουσες του ημιώροφου, το δείγμα πάρθηκε από την αίθουσα 13 του ημιώροφου.



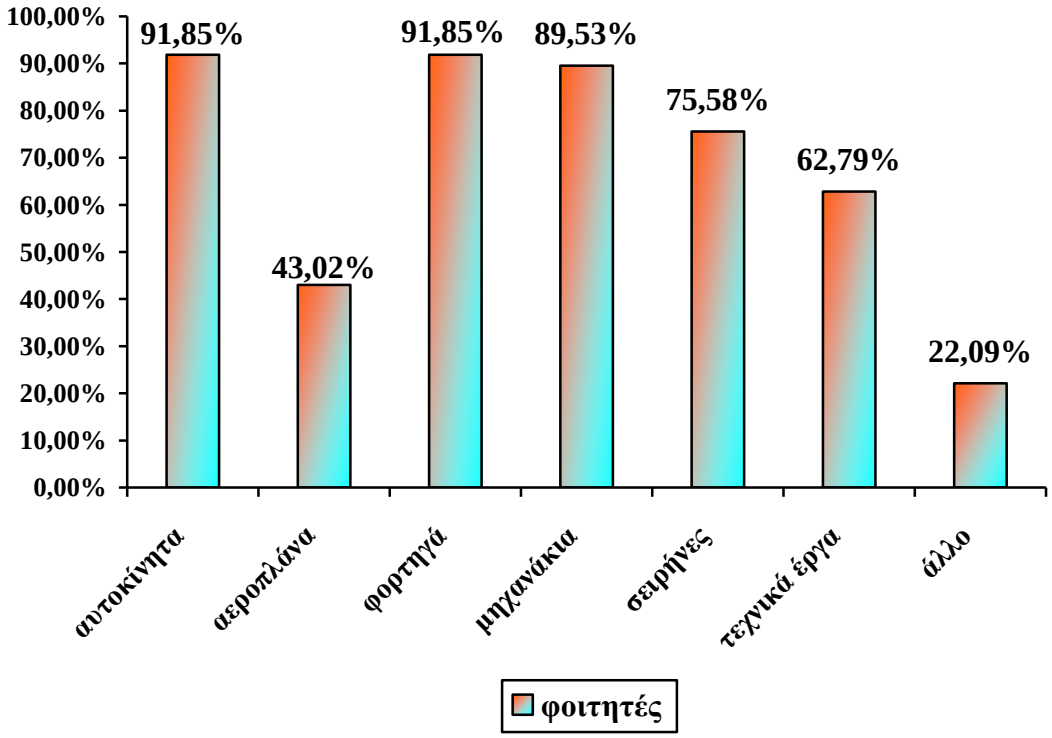
Σχήμα. 5.9. ερώτηση 1-Ποσοστό φοιτητών σε φύλα

4. *«υπήρξε ποτέ ενόχληση από τον θόρυβο;»*



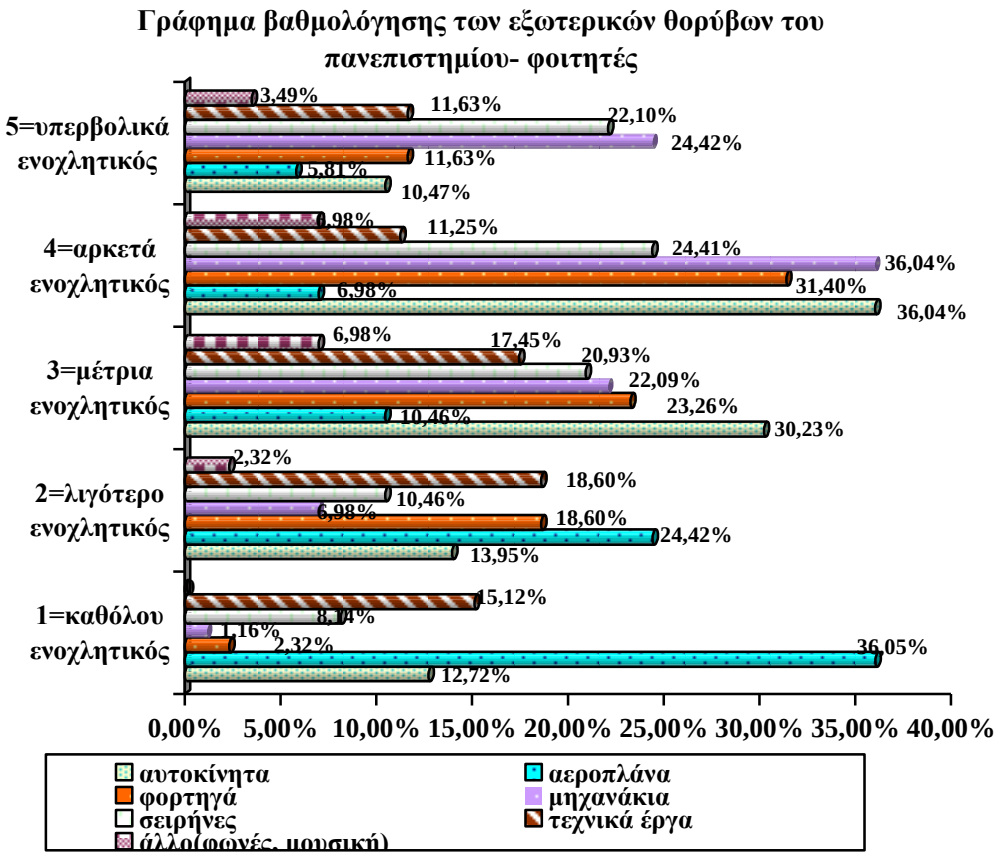
Σχήμα 5.10. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 4.

5. «εάν ναι, τι είδους θόρυβοι ήταν;, θόρυβοι που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον»



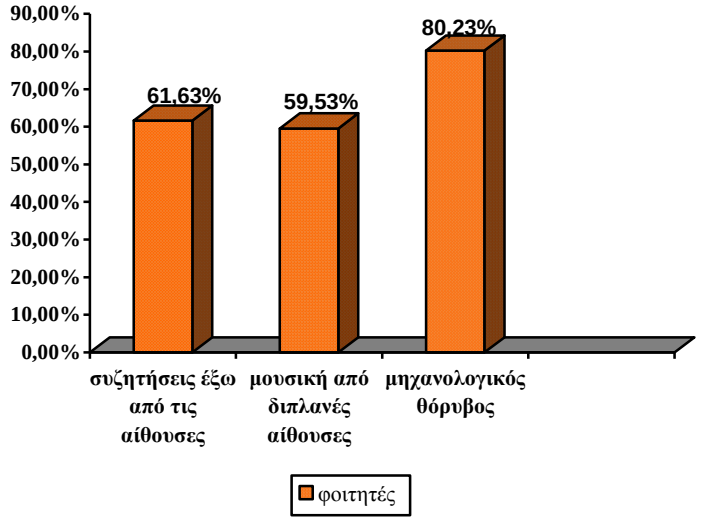
Σχήμα 5.11. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 5.

6.Α. «Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα»



Σχήμα 5.12. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 6.Α.

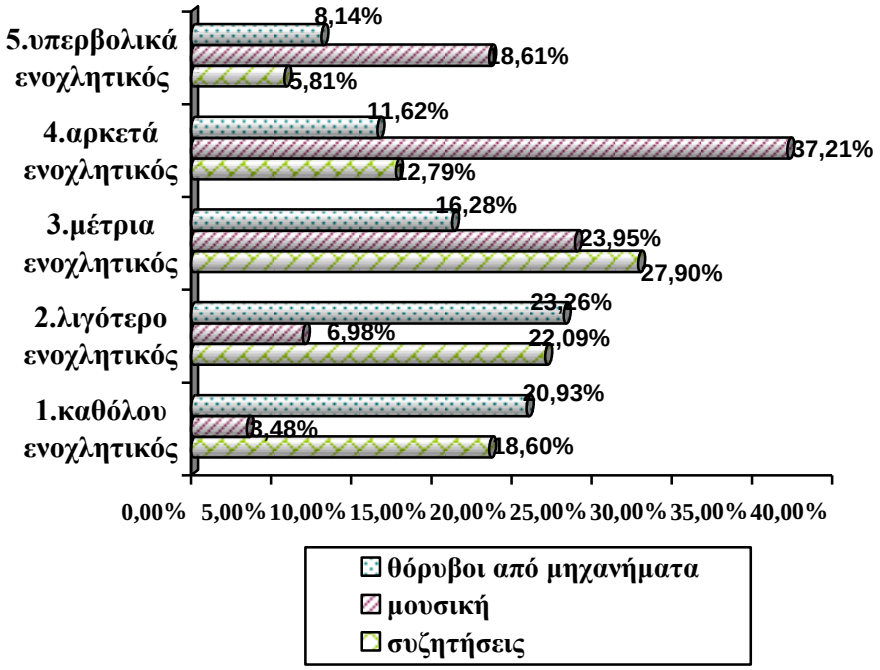
6.Β. *«θόρυβοι που προέρχονται από το εσωτερικό του πανεπιστημίου»*



Σχήμα 5.13. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 6.Β.

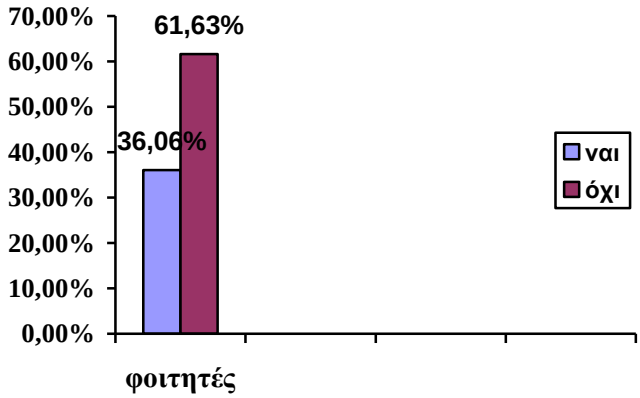
7. «Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα»

Γράφημα βαθμολόγησης των εσωτερικών θορύβων πανεπιστημίου-φοιτητές



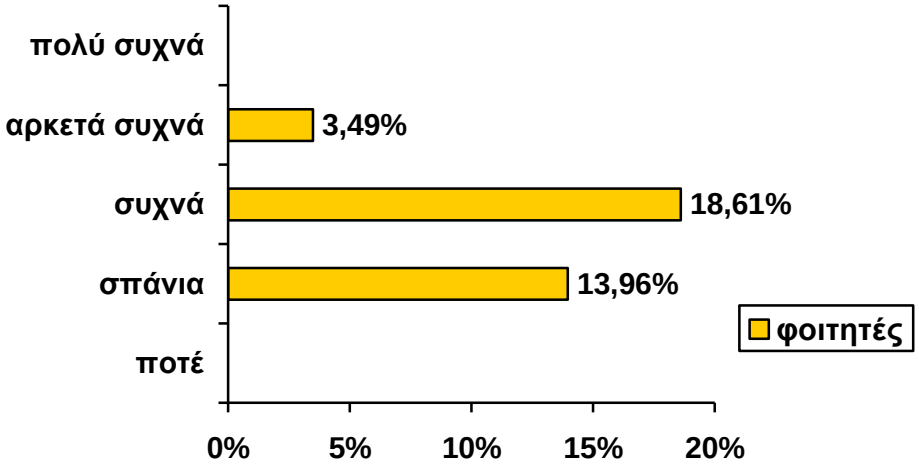
Σχήμα 5.14. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 7.

8. «Κατά τη διάρκεια του μαθήματος σας έχει τύχει να ακούσετε τη διδασκαλία καθηγητή από τη διπλανή αίθουσα;»



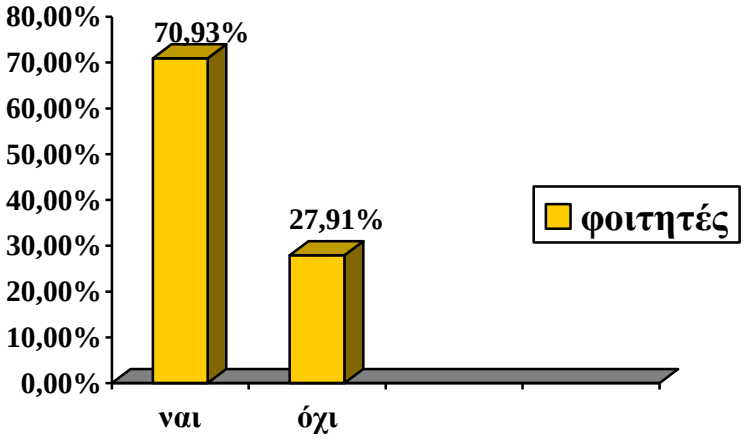
Σχήμα 5.15. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 8.

8.Α. *«εάν ναι, πόσο συχνά;»* Από το ποσοστό που απάντησε *Ναι* στην 8η ερώτηση τα ποσοστά συχνότητας διαμορφώνονται ως εξής:



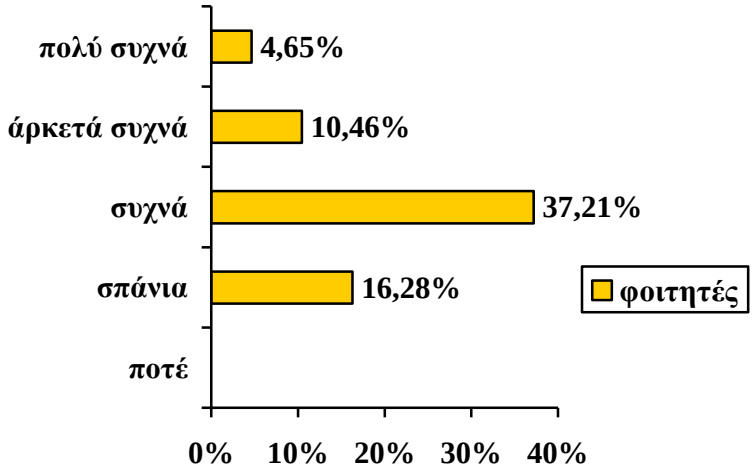
Σχήμα 5.16. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 8.Α.

9. *«υπήρξαν φορές που δε μπορούσατε να ακούσετε τον καθηγητή ή τους συμφοιτητές σας καθαρά;»*



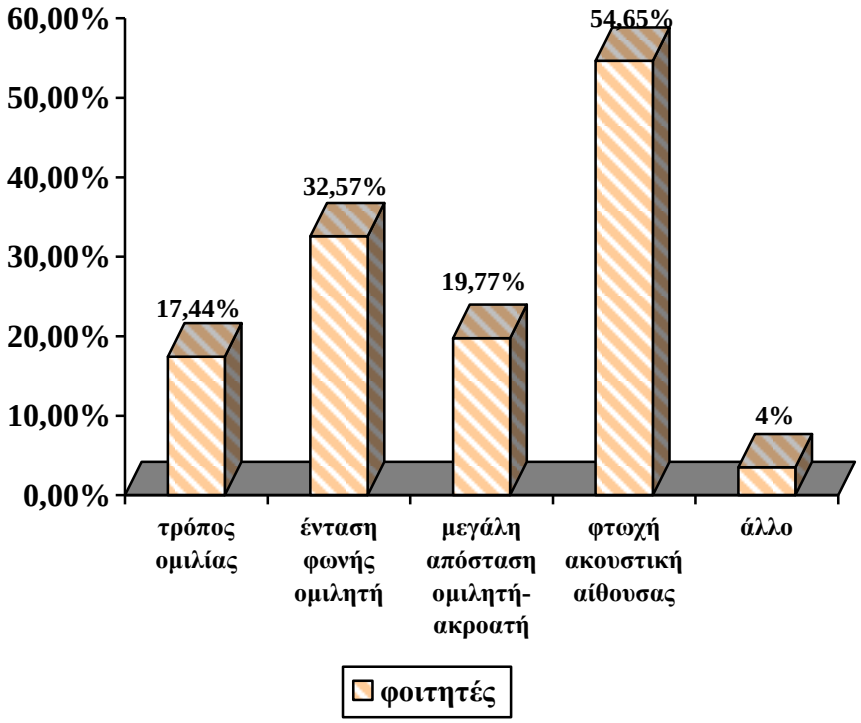
Σχήμα 5.17. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 9.

9.Α. *«εάν ναι, πόσο συχνά;»*



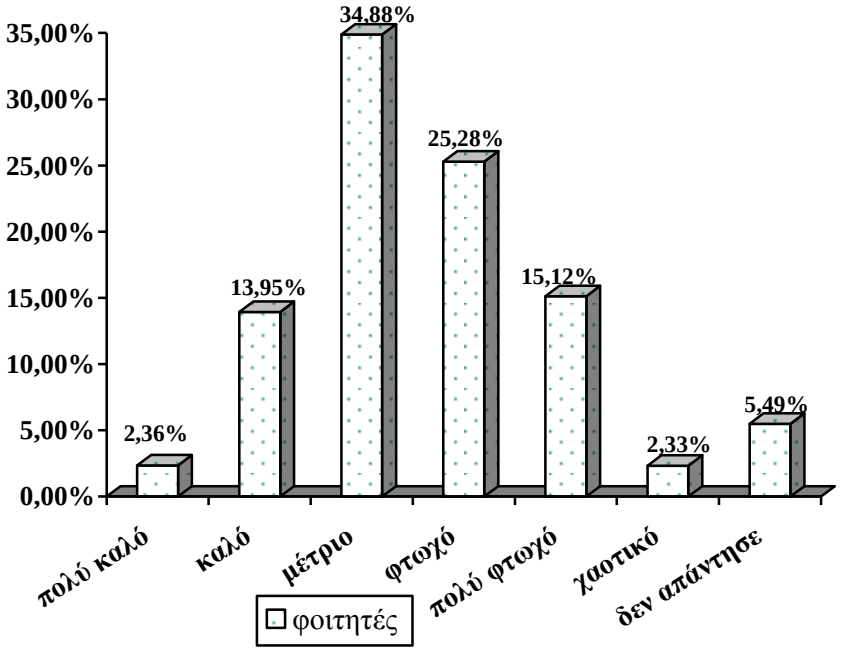
Σχήμα 5.18. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 9.Α.

9.Β *«εάν ναι ποιο νομίζετε πως είναι το πρόβλημα;»* Από το ποσοστό που απάντησε ναι στην ερώτηση 9 το ποσοστό διαμορφώνεται ως εξής:



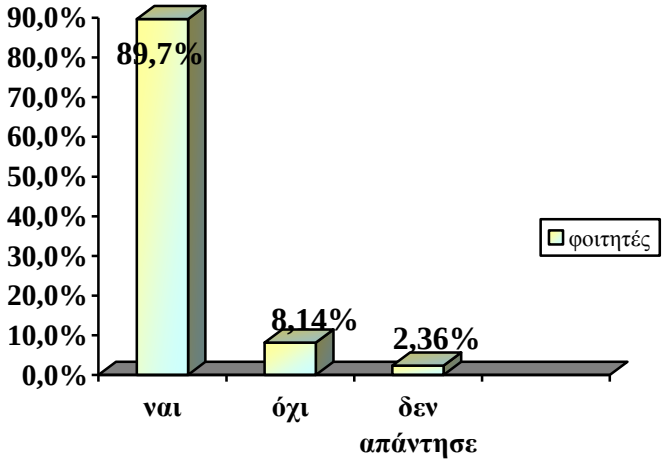
Σχήμα 5.19. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 9.Β.

10. *«Πως θα χαρακτηρίζατε το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;»*



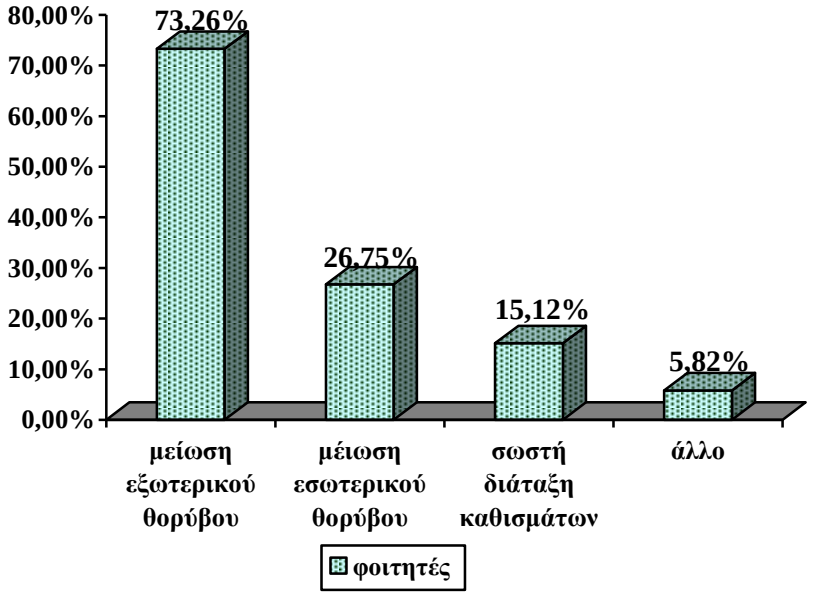
Σχήμα 5.20. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 10.

11. *«Θα θέλατε να αλλάξει το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;»* Από το ποσοστό των φοιτητών που απάντησαν, μόνο το 2,36% δεν απάντησε:



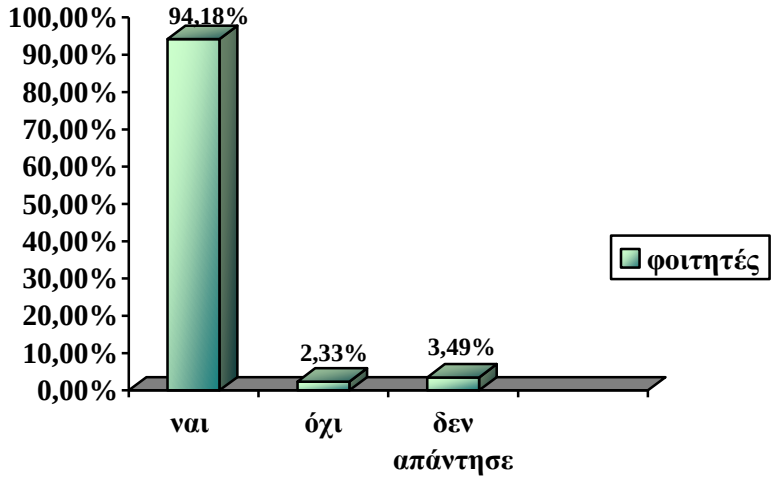
Σχήμα 5.21. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 11.

11.Α. *«εάν ναι, τι είναι αυτό που θα θέλατε να αλλάξει;»*



Σχήμα 5.22. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 11.

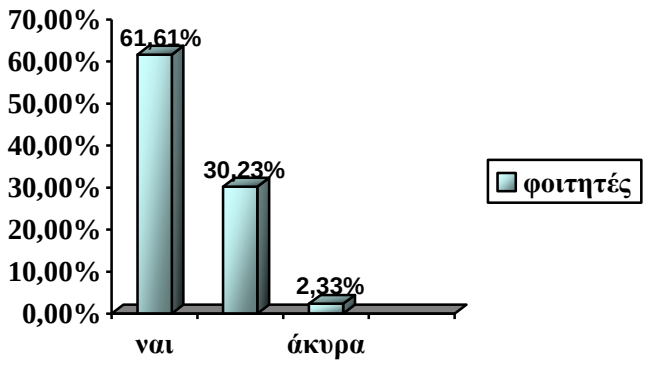
12. *«Κατά τη διάρκεια του μαθήματος υπάρχει μουσική ακρόαση και πράξη;»*



Σχήμα 5.23. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 12.

12.Α. *«Εάν ναι, θα θέλατε να αλλάξει το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας κατά τη διάρκεια που παίζεται μουσική;».* Από το ποσοστό που απάντησε Ναι στην ερώτηση

12, ένα ποσοστό 62% περίπου απάντησε Ναι και ένα 30% Όχι, ενώ μόλις το 2,33% δεν έδωσε απάντηση.

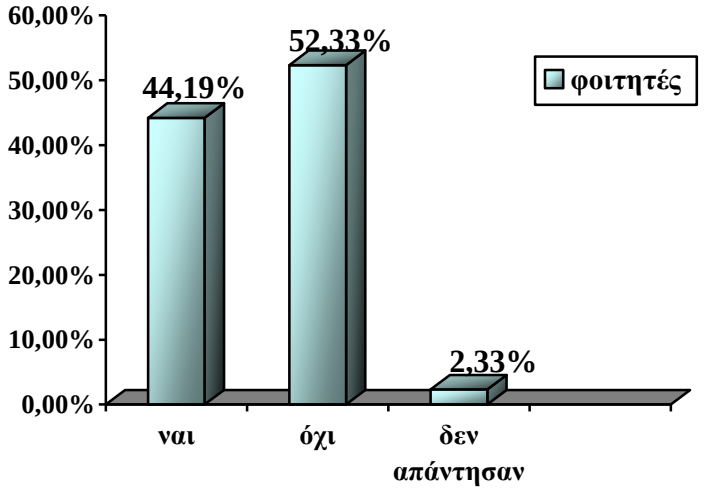


Σχήμα 5.24. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 12.Α.

12.Β. *«Εάν ναι, τί θα θέλατε να αλλάξει;»*

Όλοι όσοι απάντησαν στην ερώτηση 12.Α. ζητούν μια καλύτερη ηχομόνωση, κυρίως από τους εξωτερικούς θορύβους του πανεπιστημίου. Επίσης υποστηρίζουν πως ένα σύστημα ηχείων θα μπορούσε να προσφέρει μια καλή ακουστική κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Τέλος ζητούνται κατάλληλα διαμορφωμένες αίθουσες μόνο για μουσικά όργανα.

13. *«Έχετε κάνει μάθημα σε αίθουσα της οποίας η ακουστική ήταν ικανοποιητική;»*



Σχήμα 5.25. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 13.

14. *«Εάν ναι, σε ποια αίθουσα;»*

Σύμφωνα με το ποσοστό που απάντησε Ναι στην ερώτηση 13, οι αίθουσες οι οποίες έχουν ικανοποιητική ακουστική είναι οι αίθουσες του ημιώροφου και πιο συγκεκριμένα η αίθουσα 14 μιας και δεν βρίσκεται, όπως επισημάνθηκε, δίπλα σε αίθουσες με μουσική. Ακόμη το γραφείο 401, το αμφιθέατρο τελετών, το στούντιο ηχογράφησης και στούντιο 1 του πιάνου, η αίθουσα κρουστών, γενικά οποιαδήποτε άλλη εκτός από τις αίθουσες του ημιώροφου έχουν ικανοποιητική ακουστική, χωρίς να σημαίνει ότι δεν αντιμετωπίζουν και αυτές ακουστικά ή άλλα προβλήματα.

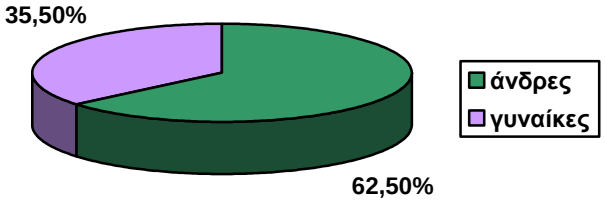
Β. Καθηγητές του τμήματος Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο για τις αίθουσες του ημιώροφου.

Οι καθηγητές του ημιώροφου που έλαβαν μέρος στην έρευνα είναι 8, εκ των οποίων οι 5 είναι άνδρες και οι τρεις είναι γυναίκες.

Οι ερωτήσεις 1- 10 είναι κοινές για φοιτητές και για καθηγητές. Η διαφοροποίηση στο ερωτηματολόγιο των καθηγητών γίνεται από την ερώτηση 11 και μετά. Οι ερωτήσεις 11, 12 και τα υποερωτήματα αυτών εστιάζουν στην αντιληπτικότητα που έχουν οι καθηγητές όσον αφορά τις επιπτώσεις που έχει η ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας που διδάσκουν, τόσο στους φοιτητές όσο και στους ίδιους. Οι ερωτήσεις 14 και 15 αποσκοπούν στην ύπαρξη καλύτερης ενημέρωσης για το ακουστικό περιβάλλον και στην αντίληψη του κάθε καθηγητή στην κατάλληλη ακουστική που θα έπρεπε να έχει μια αίθουσα διδασκαλίας. Εφόσον η έρευνα αφορά μουσικό τμήμα, εστιάζουμε στην κατάλληλη ακουστική μιας αίθουσας μουσικής διδασκαλίας. Το ερωτηματολόγιο παραμένει το ίδιο για την αίθουσα υπολογιστών του ΜΕΤ, αλλά στην περίπτωση αυτή απαντιέται αποκλειστικά για το εργαστήριο υπολογιστών.

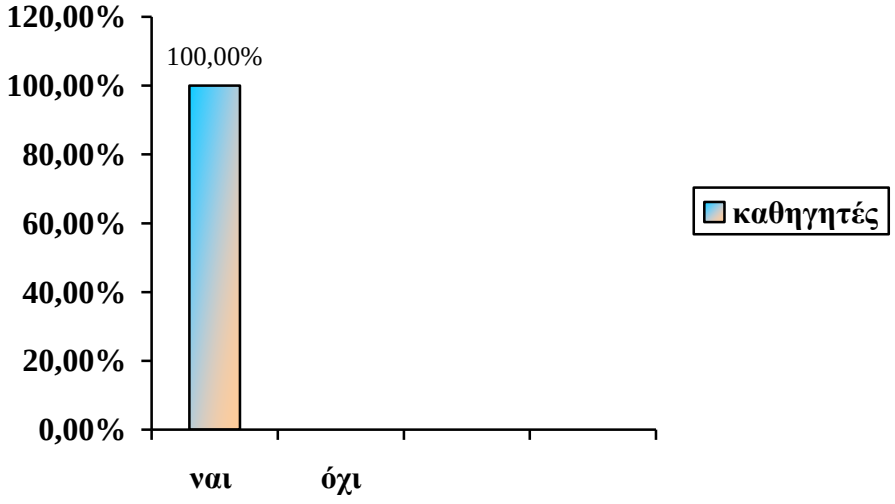
Οι ηλικίες των καθηγητών που συμμετείχαν είναι 36-53, ενώ δύο από αυτούς δεν έγραψαν την ηλικία τους.

Η αναλογία του ποσοστού που συμμετείχε σε φύλα είναι η εξής:



Σχήμα 5.26. Ερώτηση 3- Ποσοστά φύλων-Καθηγητές.

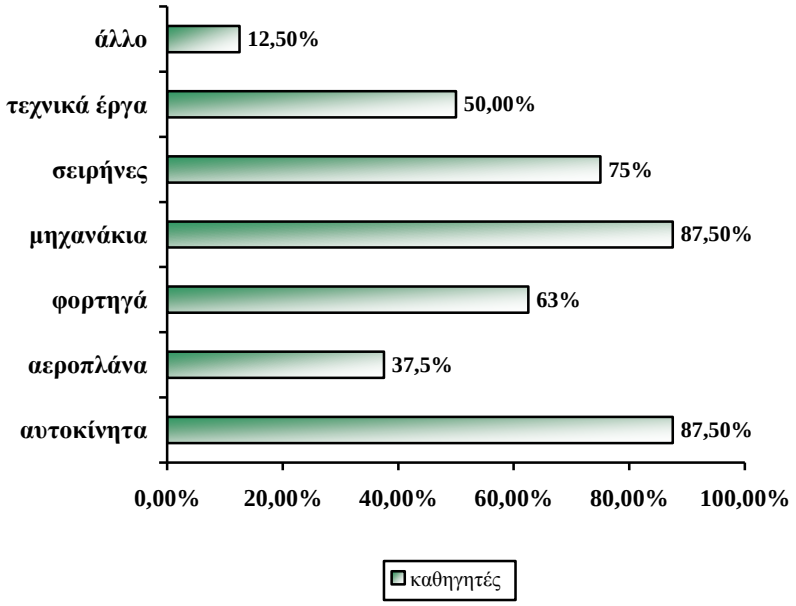
4. *«υπήρξε ποτέ ενόχληση από τον θόρυβο;»*. το ποσοστό των καθηγητών που απάντησε είναι 100%



Σχήμα 5.27. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 4 .

5. *«εάν ναι, τι είδους θόρυβοι ήταν;, θόρυβοι που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον»*.

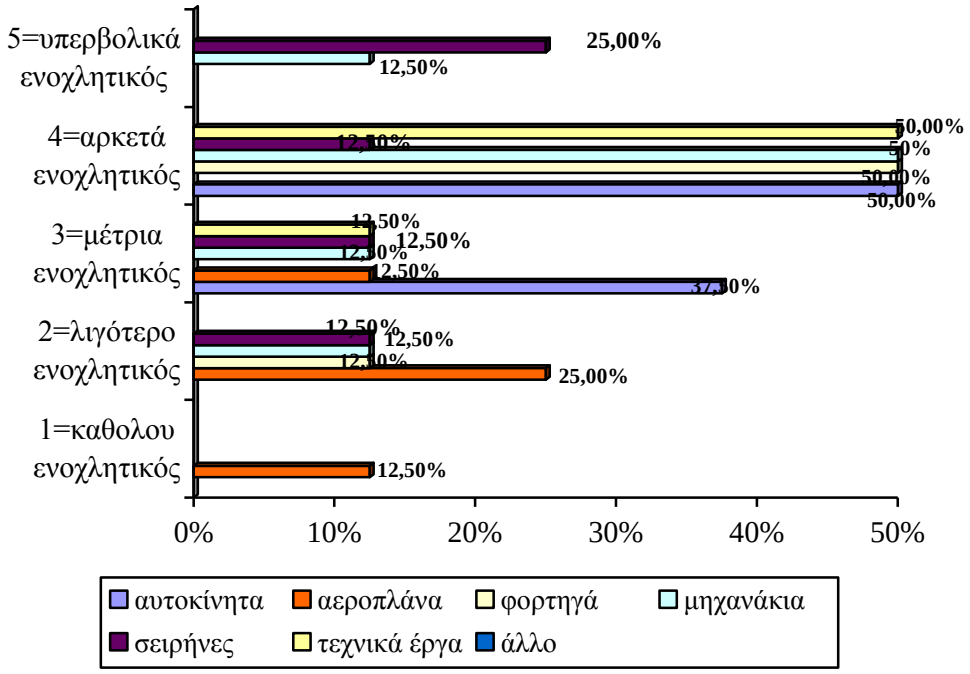
Από το ποσοστό που απάντησε Ναι στην ερώτηση 4 τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:



Σχήμα 5.28. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 5.

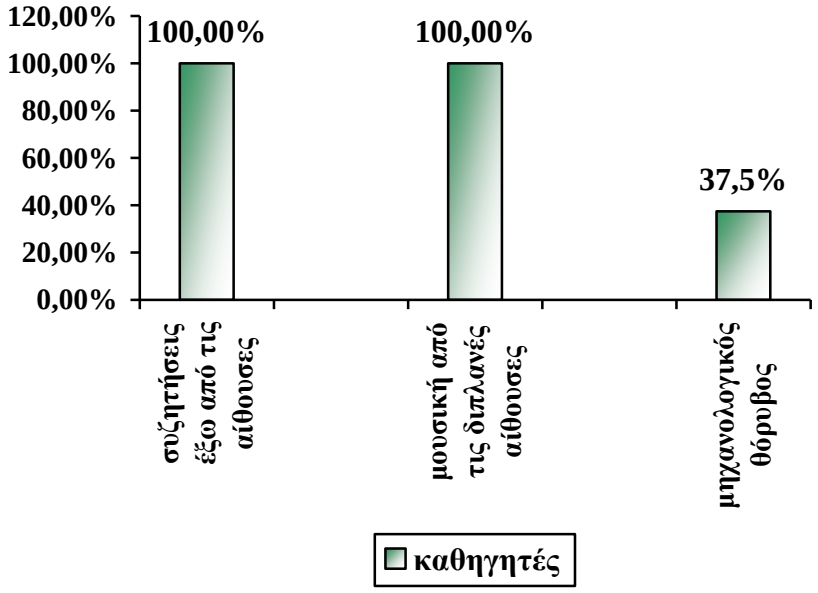
6.Α «Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα»

Γράφημα βαθμολόγησης εξωτερικών θορύβων- καθηγητές



Σχήμα 5.29. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 6.Α.

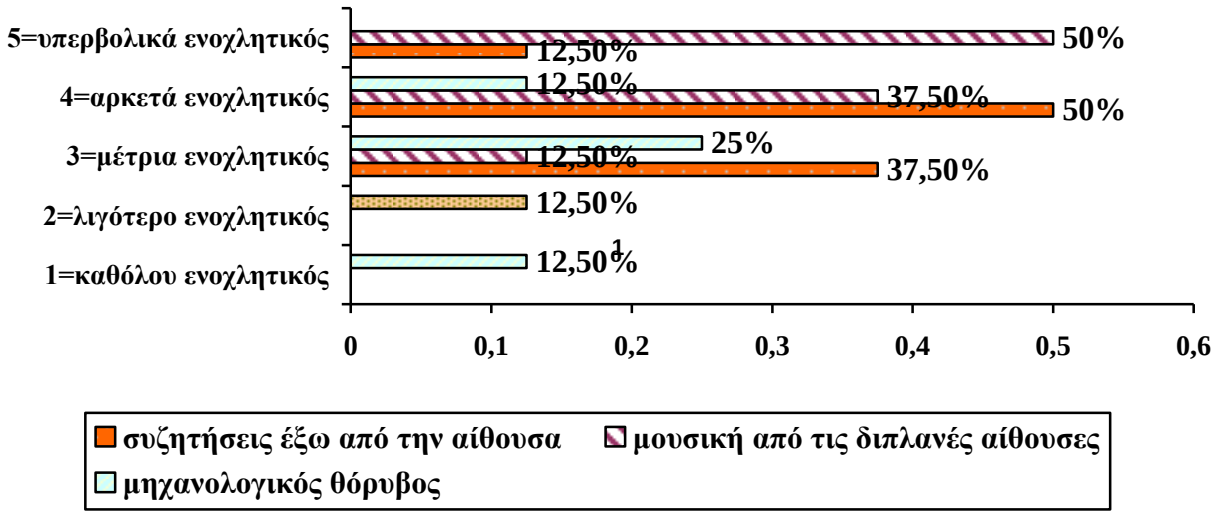
6.Β. *«θόρυβοι που προέρχονται από το εσωτερικό του πανεπιστημίου».*



Σχήμα 5.30. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 6Β.

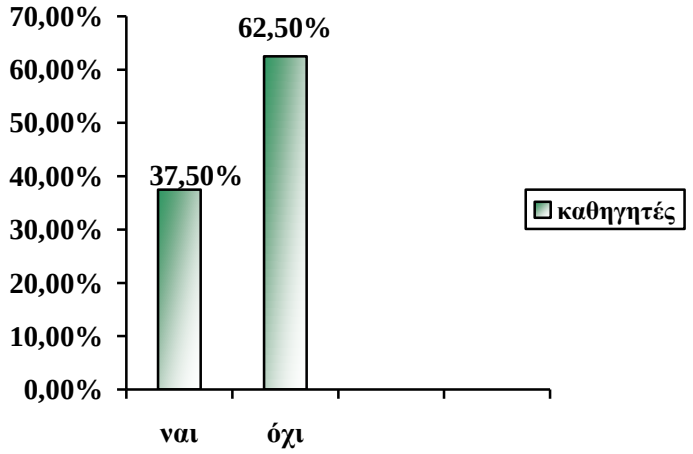
7. «Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα».

Γράφημα βαθμολόγησης εσωτερικών θορύβων- καθηγητές



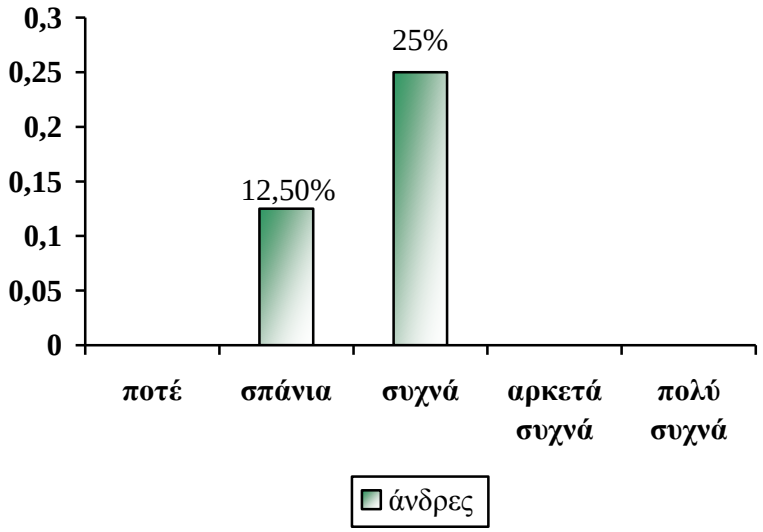
Σχήμα 5.31. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 7.

8. «Κατά τη διάρκεια του μαθήματος σας έχει τύχει να ακούσετε τη διδασκαλία καθηγητή από τη διπλανή αίθουσα;»



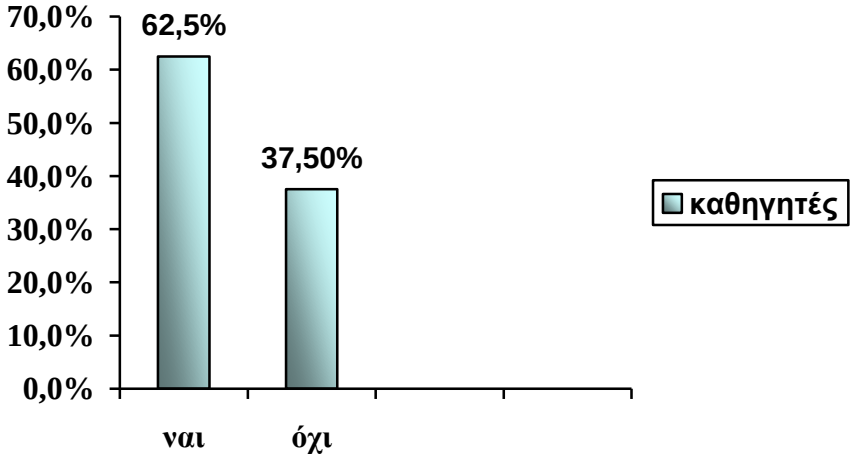
Σχήμα 5.32. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 8.

8.Α *«εάν ναι, πόσο συχνά;»*



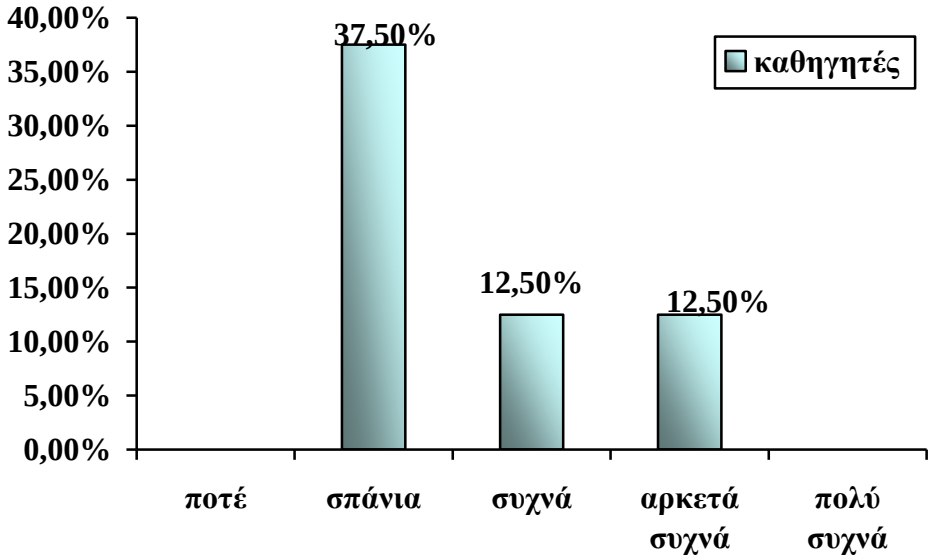
Σχήμα 5.33. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 8.Α.

9. *«υπήρξαν φορές κατά τη διάρκεια της διδακτικής ώρας που δε μπορούσατε να ακούσετε τους φοιτητές καθαρά;»*



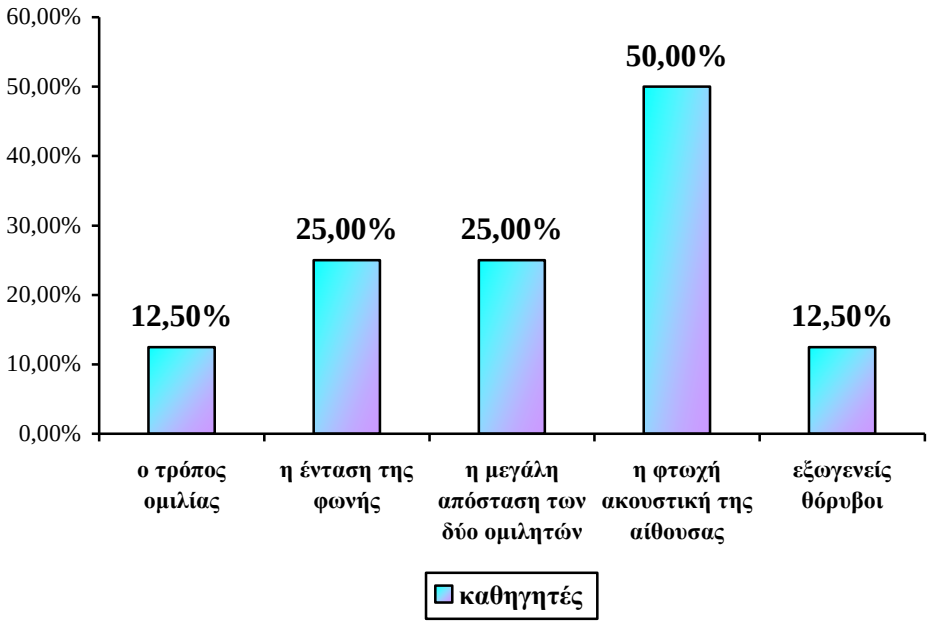
Σχήμα 5.34. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 9.

9.Α. *«εάν ναι, πόσο συχνά;»*



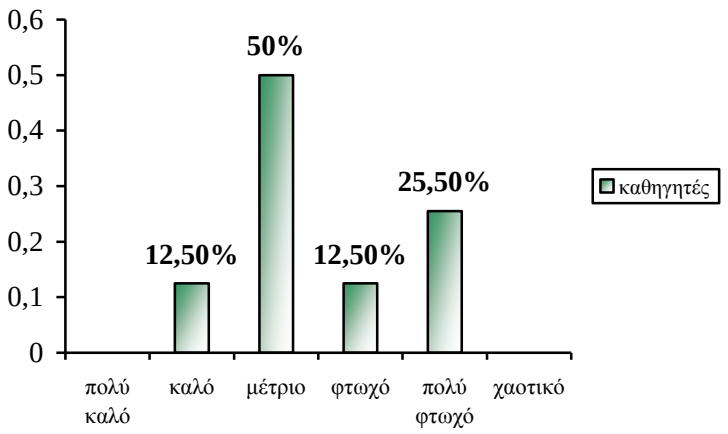
Σχήμα 5.35. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 9.Α.

9.Β *«εάν ναι ποιο νομίζετε πως είναι το πρόβλημα;»*



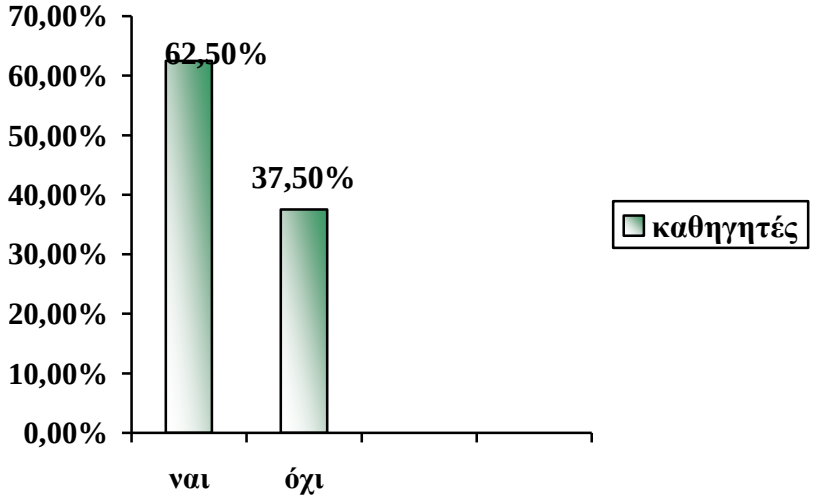
Σχήμα 5.36. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 9.Β.

10. *«Πως θα χαρακτηρίζατε το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;»*



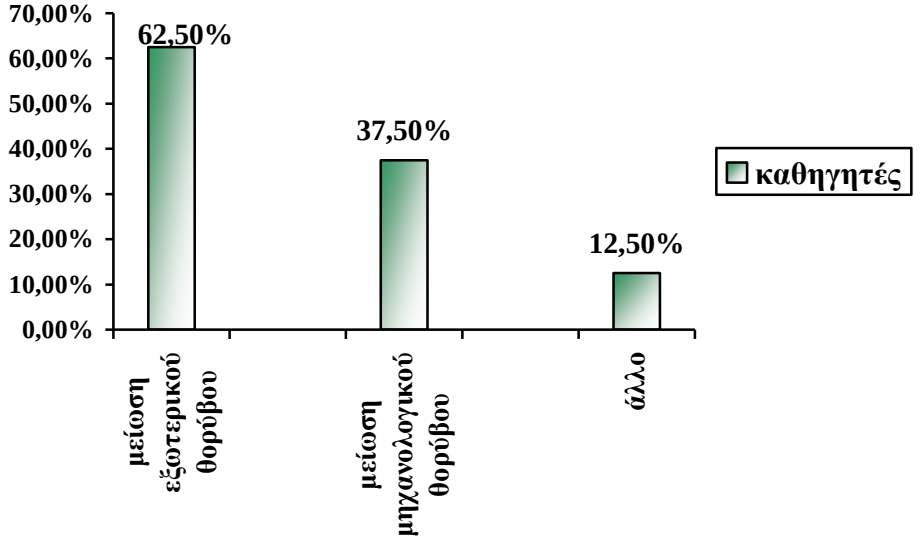
Σχήμα 5.37. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 10.

10.Α «εάν ναι, θεωρείτε πως το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας που διδάσκετε είναι προβληματικό;»



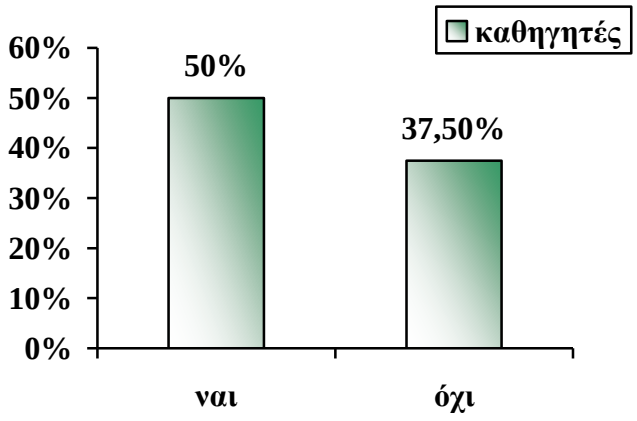
Σχήμα 5.38. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 10.Α.

10.Β. *«εάν ναι, τι είναι αυτό που θα θέλατε να αλλάξει;»*



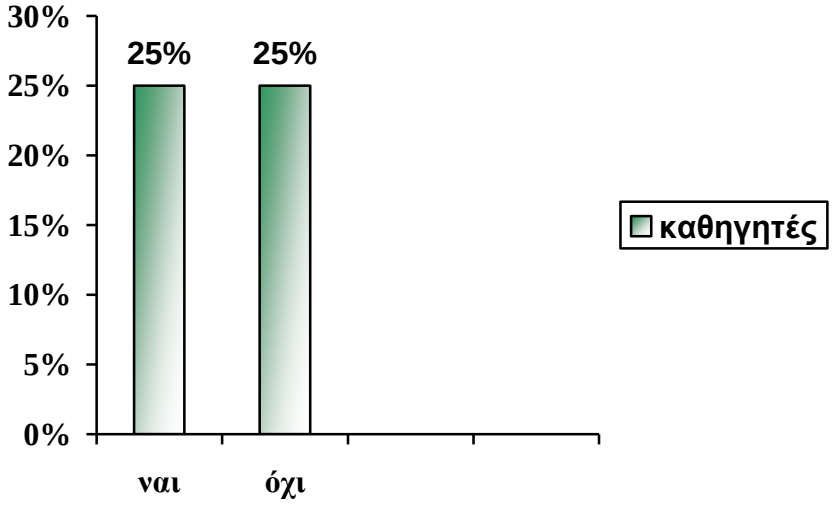
Σχήμα 5.39. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 10.Β.

11. *«Έχετε παρατηρήσει διαφορά στην απόδοση των φοιτητών κατά τη διάρκεια της διδακτικής ώρας;»*



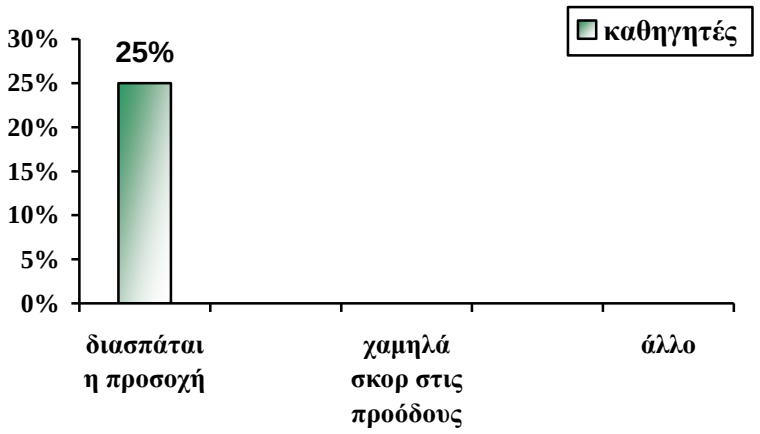
Σχήμα 5.40. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 11.

11.Α. *«Εάν ναι, πιστεύετε πως το ακουστικό περιβάλλον συμβάλλει στην απόδοσή τους;»* Από το ποσοστό που απάντησε ναι στην ερώτηση 11 τα αποτελέσματα είναι τα εξής:



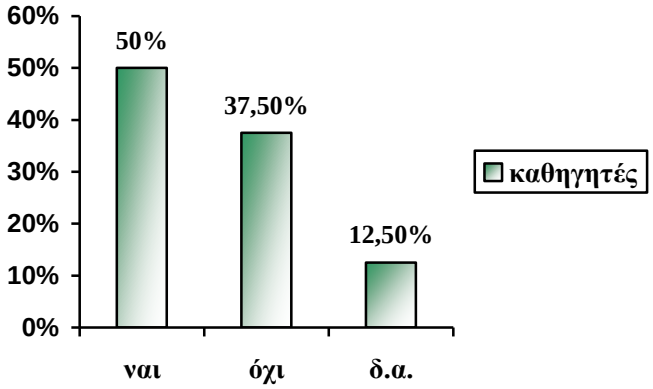
Σχήμα 5.41. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 11.Α.

11.Β *«Εάν ναι, με ποιον τρόπο;»* Από το ποσοστό του 25% που απάντησε ναι ακολουθεί το εξής γράφημα:



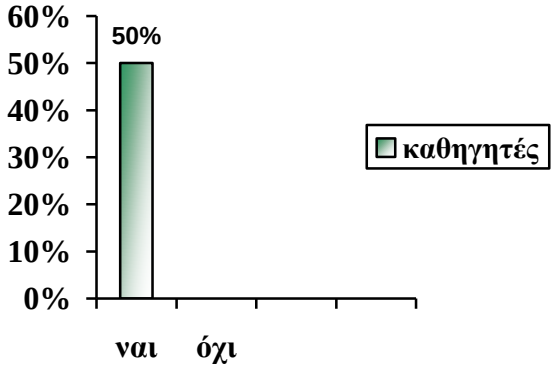
Σχήμα 5.42. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 11.Β.

12. *«Έχετε παρατηρήσει διαφορά στη δική σας απόδοση κατά τη διάρκεια του μαθήματος;»*



Σχήμα 5.43. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 12.

12.Α. «Εάν ναι, πιστεύετε πως το ακουστικό περιβάλλον επηρεάζει την απόδοσή σας;»

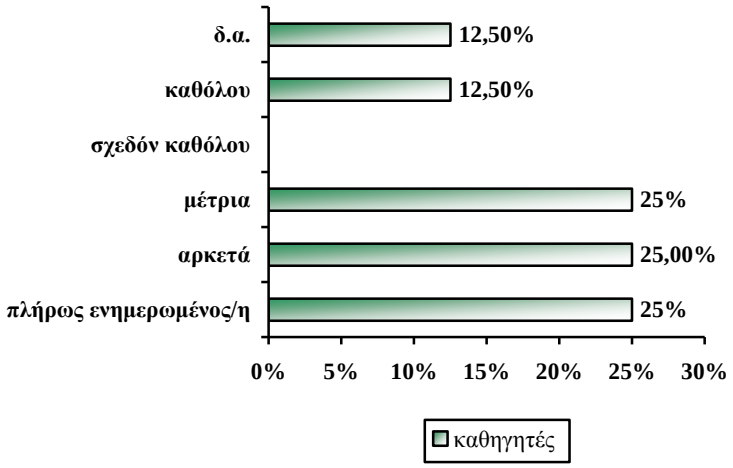


Σχήμα 5.44. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 12.Α.

12.Β *« Εάν ναι με ποιον τρόπο» ,* απάντησε το 50% των ανδρών.

Ο θόρυβος που βρίσκεται στην αίθουσα είναι αυξημένος με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ένταση της φωνής του ομιλητή, κατά συνέπεια να επέρχεται κούραση. Επιπλέον το μη κατάλληλο ακουστικό περιβάλλον των αιθουσών του ημιώροφου συχνά δυσκολεύει τη συγκέντρωση του διδάσκοντα όχι μόνο κατά τη διάρκεια της ομιλίας, αλλά και την ώρα που προσπαθεί να παράγει κάποιο μουσικό-ηχητικό παράδειγμα.

13. *«Πόσο κατάλληλα είστε ενημερωμένοι για την απαραίτητη ακουστική μιας αίθουσας διδασκαλίας;»*



Σχήμα 5.45. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για τις αίθουσες του ημιώροφου στην ερώτηση 13.

14. *«Ποια θα ήταν μια ιδανική αίθουσα διδασκαλίας;»* (όσον αγορά την ακουστική), οι απαντήσεις είναι οι εξής:

Οι καθηγητές του τμήματος Μ.Ε.Τ. ζητούν μια αίθουσα με κατάλληλη ηχομόνωση, με μια μικρή αντήχηση. Γενικά μια αίθουσα που να πληροί τις προϋποθέσεις, είτε προορίζεται για μουσική είτε για ομιλία, είτε ακόμα και για εργαστήρι. Τέλος υπάρχει ένα άτομο που θεωρεί πως η αίθουσα 14 έχει κατάλληλη ακουστική.

5.4.2 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου για την αίθουσα του Εργαστηρίου Υπολογιστών του τμήματος Μ.Ε.Τ

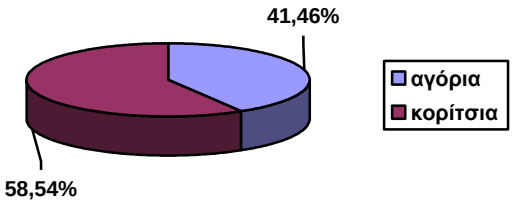
Α. Αποτελέσματα ερωτηματολογίου φοιτητών του εργαστηρίου υπολογιστών του Μ.Ε.Τ.

Στην έρευνα συμμετείχαν 41 άτομα σε ποσοστό 100% του δείγματος. Το 41,46% είναι αγόρια, ενώ το 58,54% είναι κορίτσια.
Τα άτομα που συμμετείχαν είχαν ηλικίες 18-23 (βλέπε πίνακα 5.15.).

Πίνακας 5.15.

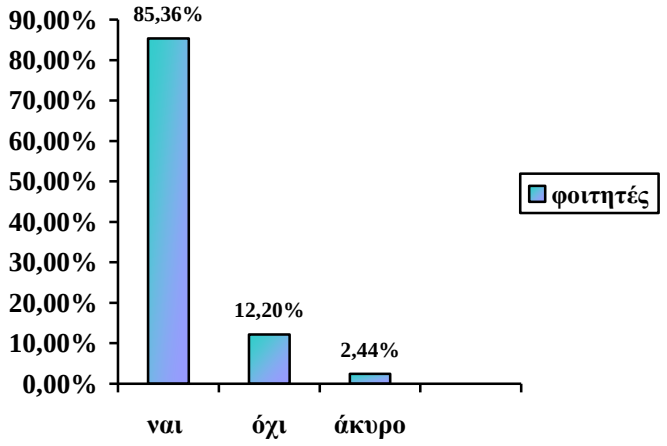
Ποσοστό ατόμων %	31,71	17,07	9,76	19,51	7,32	9,76	4,88
Ηλικίες	18	19	20	21	22	23	25+

Το ποσοστό των φύλων που συμμετείχε δίνεται από το παρακάτω γράφημα:



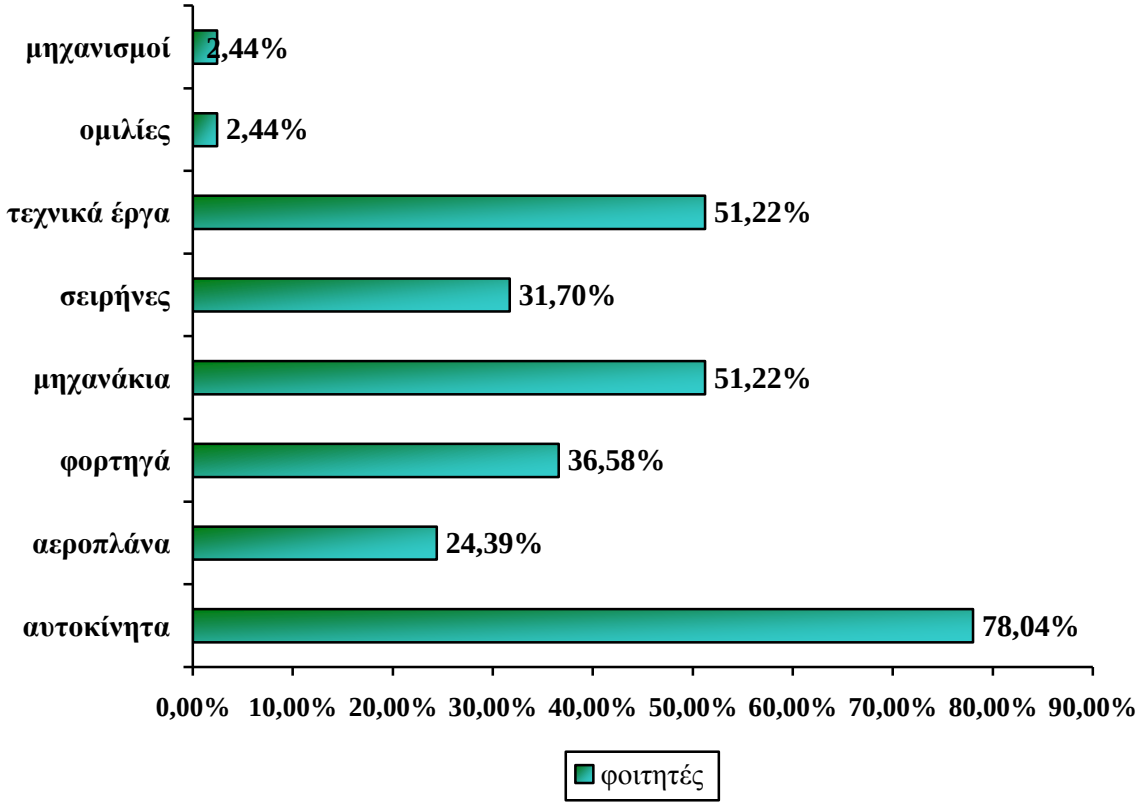
Σχήμα 5.46. Ερώτηση 1- ποσοστά φύλων-φοιτητές.

4. *«υπήρξε ποτέ ενόχληση από τον θόρυβο;»*



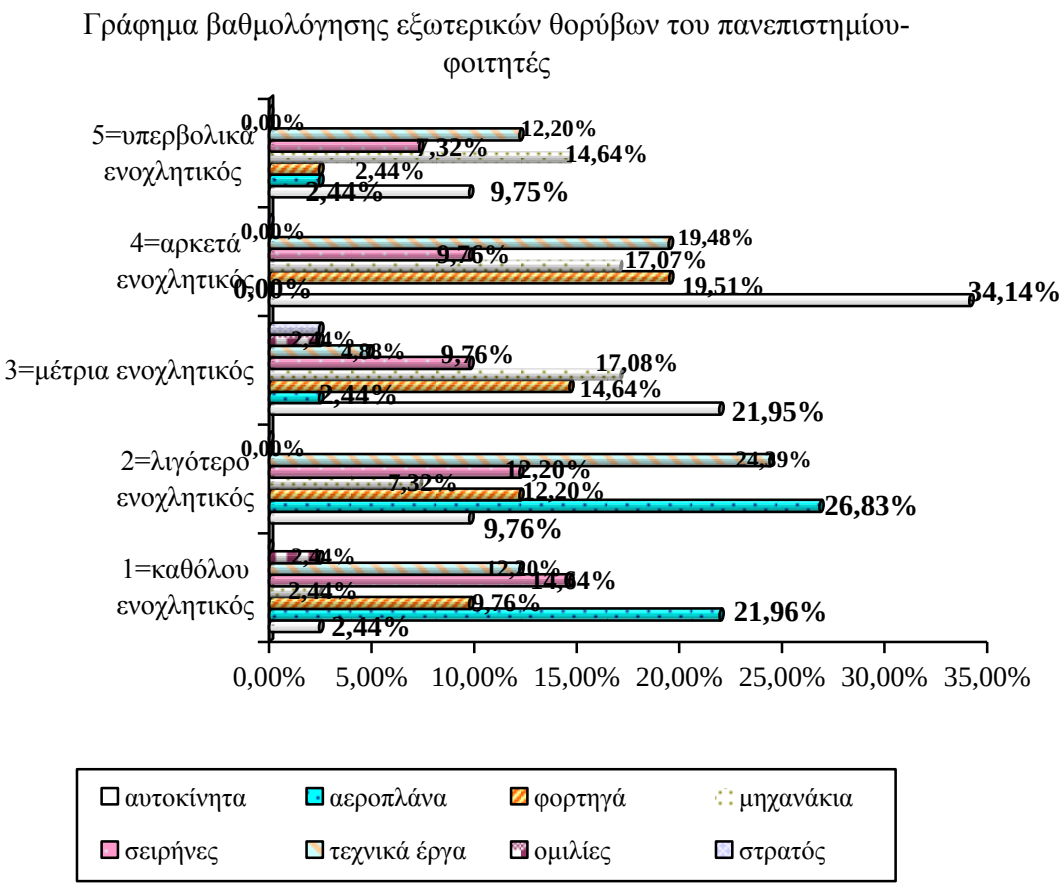
Σχήμα 5.47. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 3.

5. «εάν ναι, τι είδους θόρυβοι ήταν;, θόρυβοι που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον».



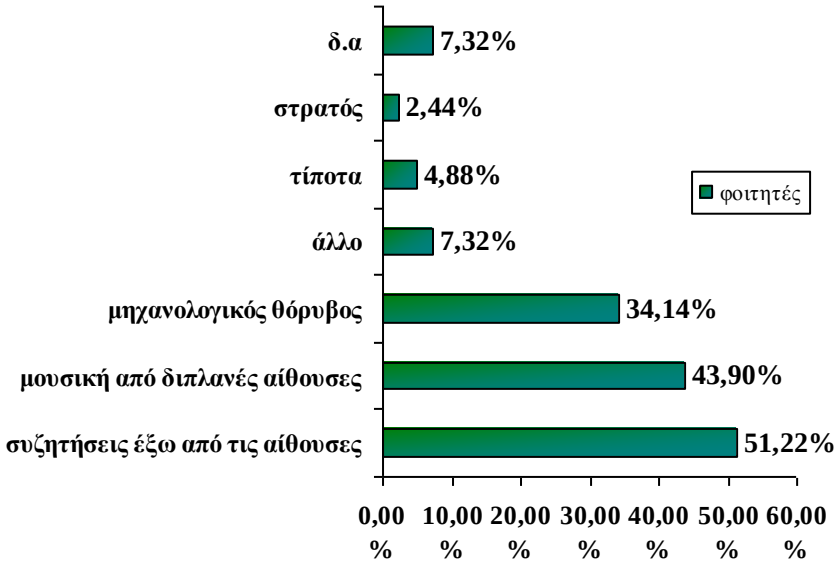
Σχήμα 5.48. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 5.

6.Α. «Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα»



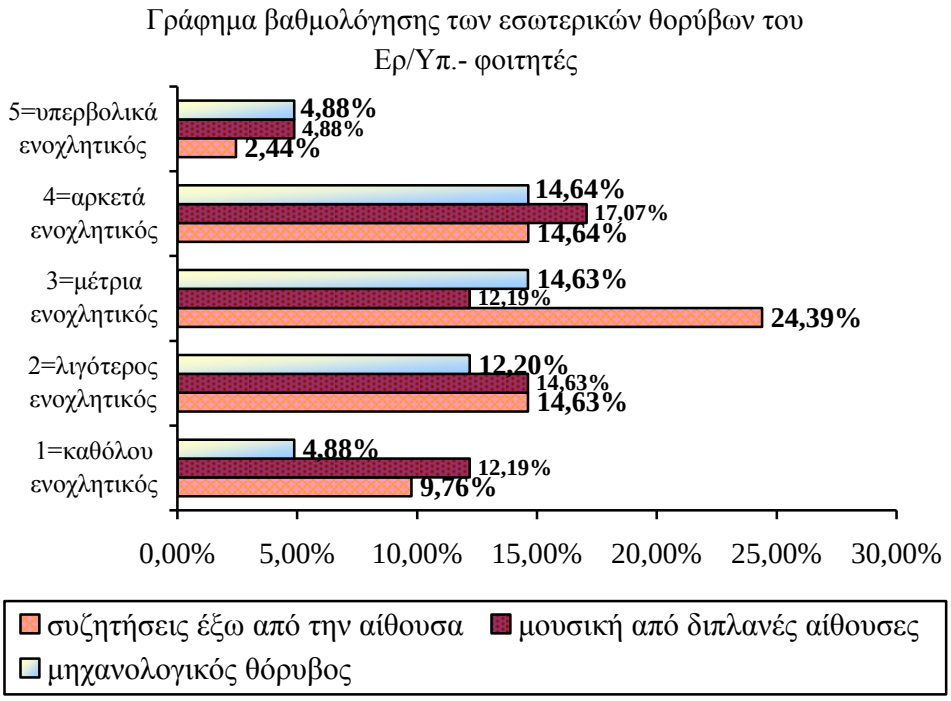
Σχήμα 5.49. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 6.Α.

6.Β. *«θόρυβοι που προέρχονται από το εσωτερικό του πανεπιστημίου».*



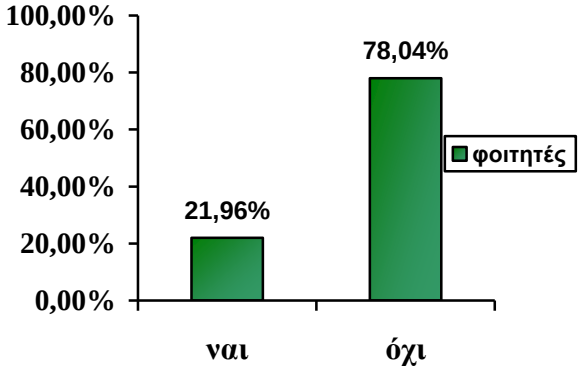
Σχήμα 5.50. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 6.Β. το ποσοστό που δεν απάντησε (δ.α.) είναι 7,32%.

7. «Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα»



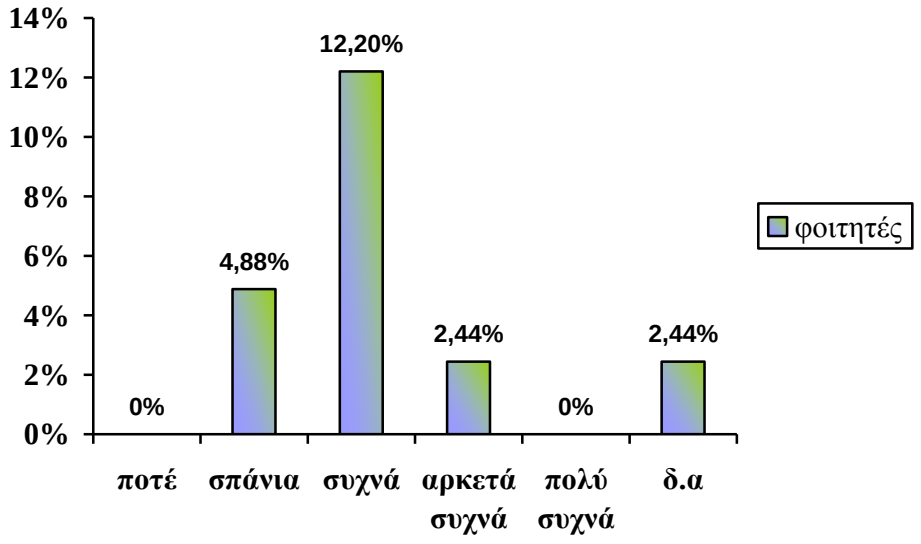
Σχήμα 5.51. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 7.

8.«Κατά τη διάρκεια του μαθήματος σας έχει τύχει να ακούσετε τη διδασκαλία καθηγητή από τη διπλανή αίθουσα;»



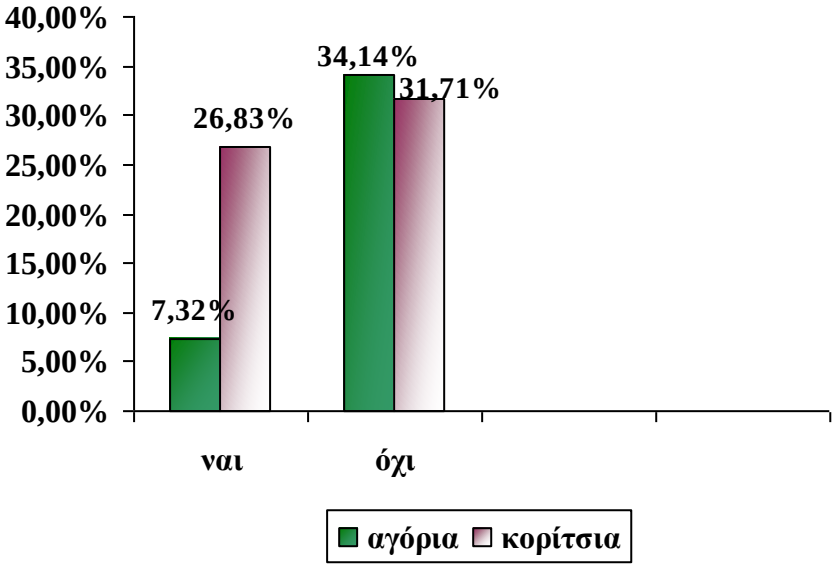
Σχήμα 5.52. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 8.

8.Α *«εάν ναι, πόσο συχνά;»*Από το ποσοστό που απάντησε Ναι στην ερώτηση 8 τα ποσοστά είναι τα εξής:



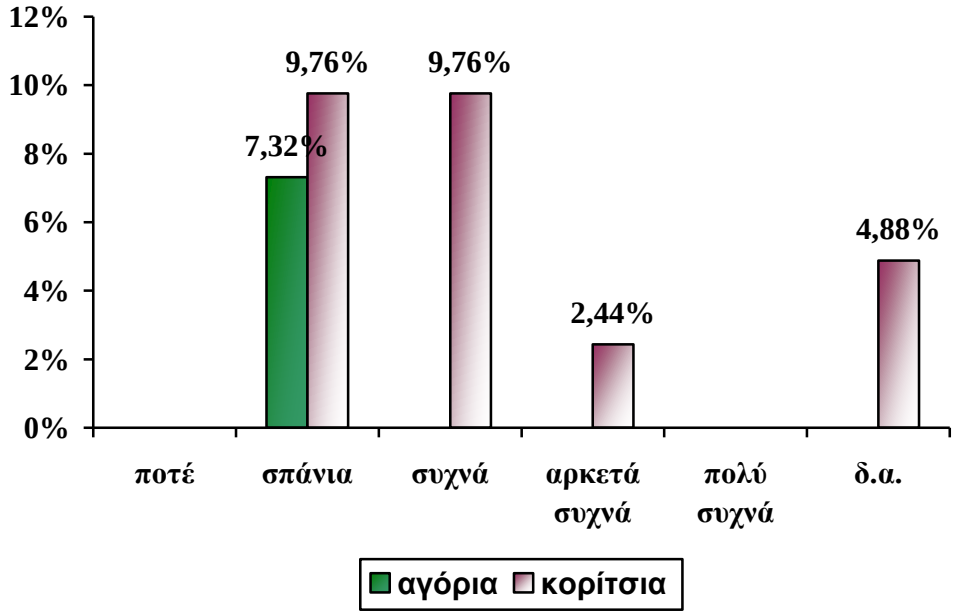
Σχήμα 5.53. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 8.Α.

9. *«υπήρξαν φορές που δε μπορούσατε να ακούσετε τον καθηγητή ή τους συμφοιτητές σας καθαρά;»*



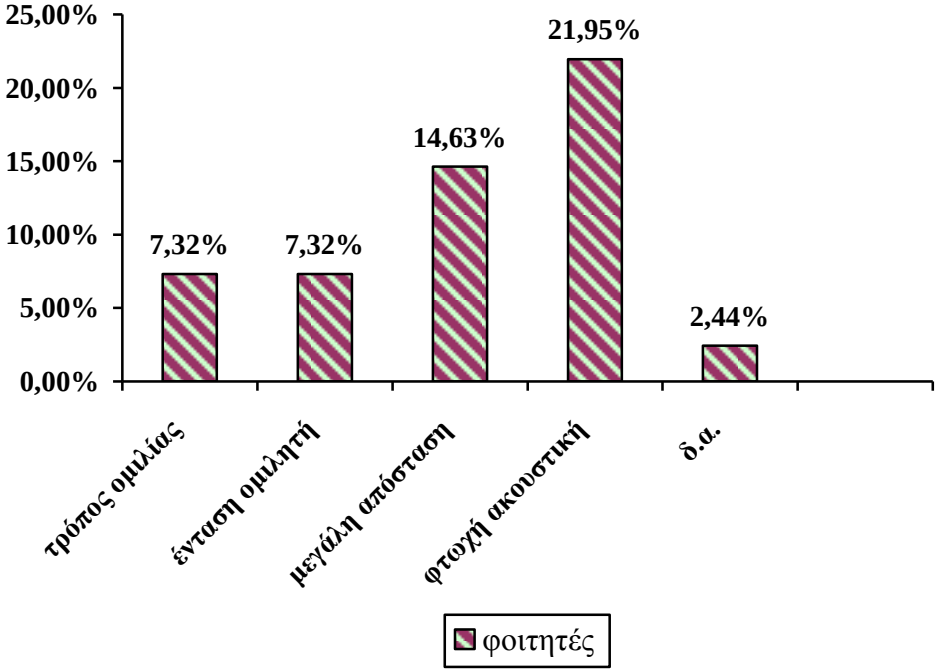
Σχήμα 5.54. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 9.

9.Α. *«εάν ναι, πόσο συχνά;»*



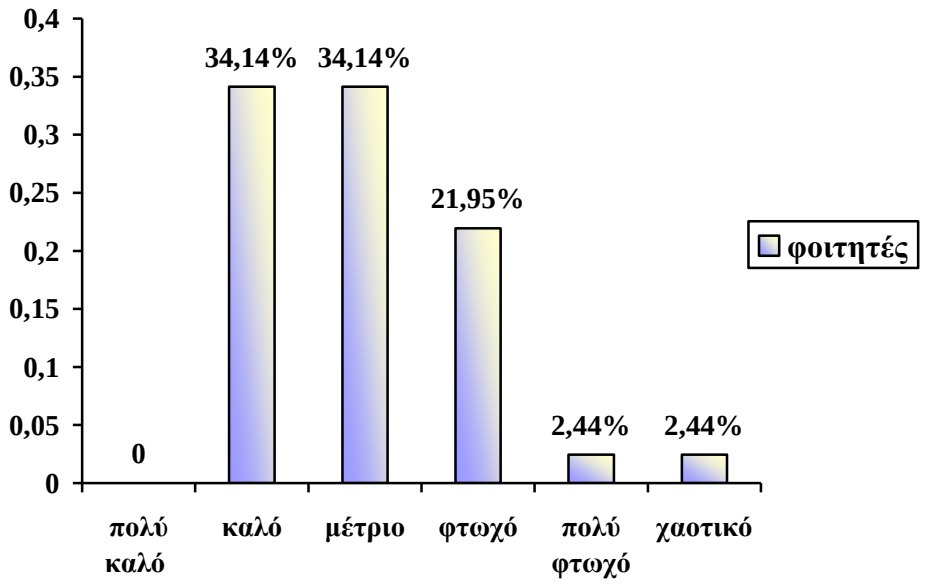
Σχήμα 5.55. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 9.Α.

9.Β *«εάν ναι ποιο νομίζετε πως είναι το πρόβλημα;».*Από το ποσοστό που απάντησε Ναι στην ερώτηση 9 τα αποτελέσματα είναι τα εξής:



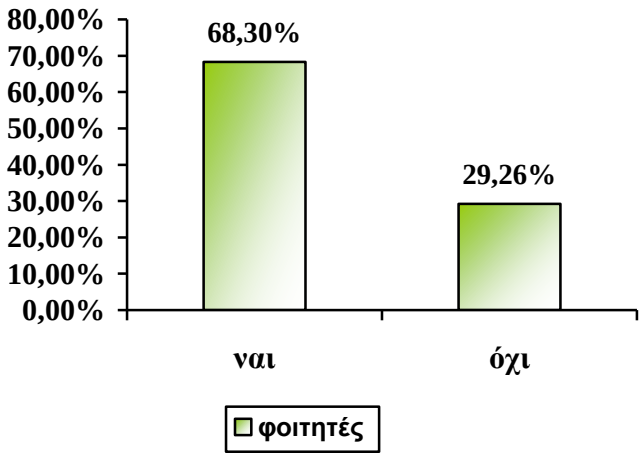
Σχήμα 5.56. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 9.Β.

10. *«Πως θα χαρακτηρίζατε το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;»*



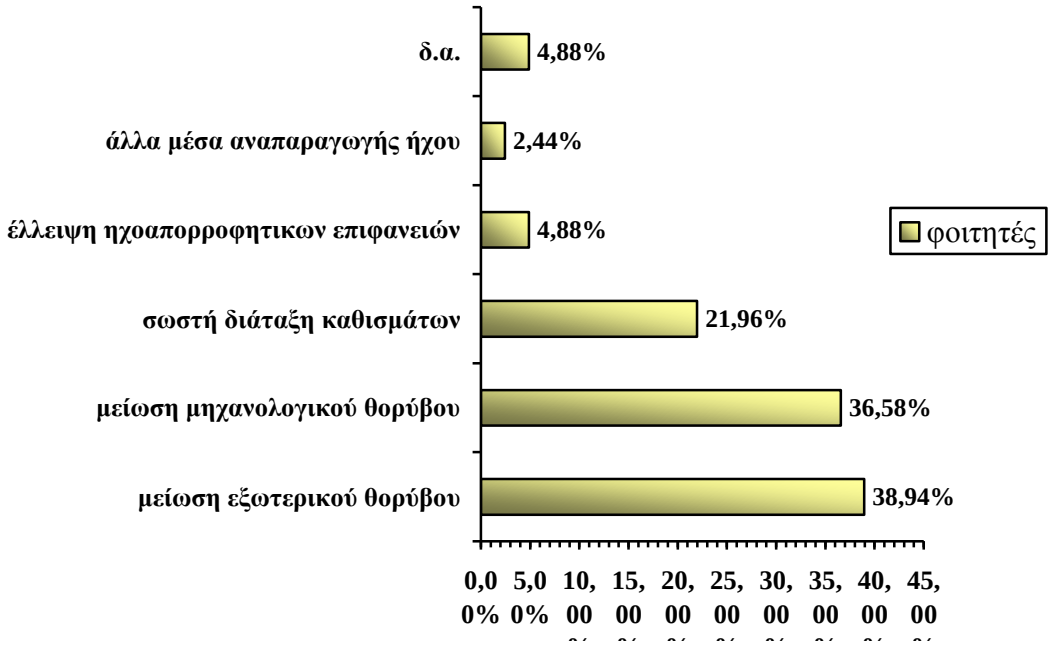
Σχήμα 5.57. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 10.

11. *«Θα θέλατε να αλλάξει το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;»*



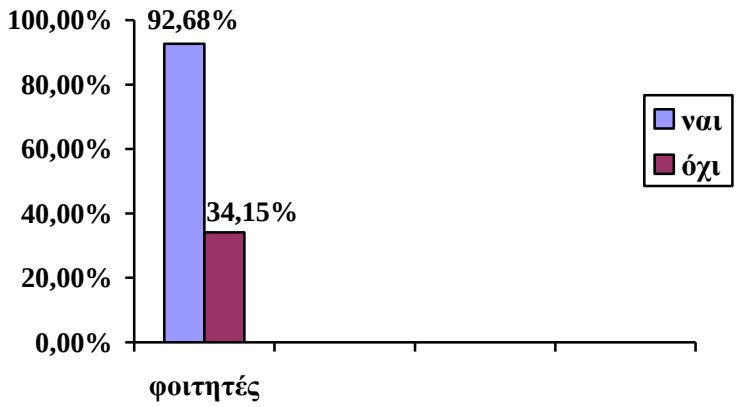
Σχήμα 5.58. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 11.

11.Α. *«εάν ναι, τι είναι αυτό που θα θέλατε να αλλάξει;»*



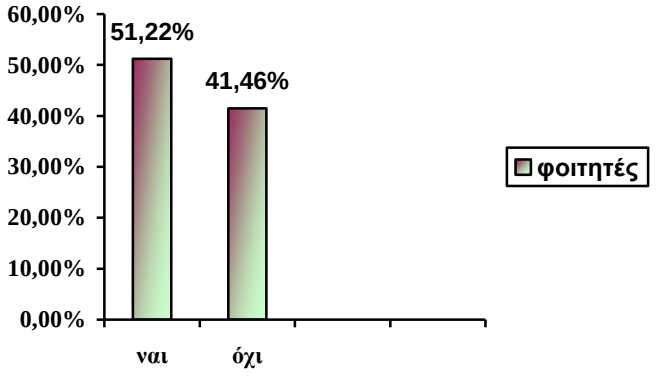
Σχήμα 5.59. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 11.Α.

12. *«Κατά τη διάρκεια του μαθήματος υπάρχει μουσική ακρόαση και πράξη;»*



Σχήμα 5.60. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 12.

12.Α. *«Εάν ναι, θα θέλατε να αλλάξει το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας κατά τη διάρκεια που παίζεται μουσική;»*

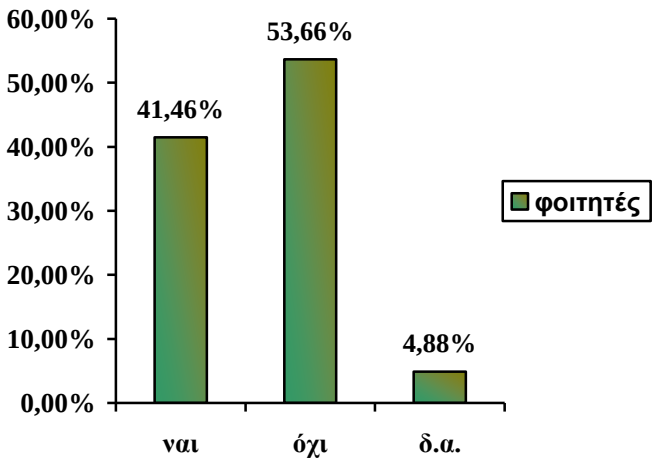


Σχήμα 5.61. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 12.Α.

12.Β. στην ερώτηση τι θα ήταν αυτό που θα θέλατε να αλλάξει στην αίθουσα των υπολογιστών, οι απαντήσεις που δόθηκαν είναι οι εξής:

Από τους φοιτητές που απάντησαν ναι στην ερώτηση 12. Α. το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι πως η αίθουσα χρειάζεται κατάλληλη ηχομόνωση, κυρίως για τον μηχανολογικό θόρυβο που επικρατεί μέσα σε αυτή καθ' όλη τη διάρκεια του μαθήματος. Ακόμη, χρειάζεται απαραίτητο σύστημα αναπαραγωγής ήχου και ηχείων, ώστε να μη παραμορφώνεται ο ήχος και να γίνεται καλύτερη η ακρόαση της μουσικής. Επιπλέον η διάταξη των καθισμάτων να είναι σωστή, δηλαδή σε ημικύκλιο τα καθίσματα χωρίς έδρανα. Τέλος απαραίτητη είναι η ύπαρξη μιας στοιχειώδους αντήχησης κατά τη διάρκεια της ακρόασης της μουσικής, δημιουργώντας έναν πιο πλούσιο ήχο που θα παραχθεί από ένα μουσικό όργανο.

13. *«Έχετε κάνει μάθημα σε αίθουσα της οποίας η ακουστική ήταν ικανοποιητική;»*



Σχήμα 5.62. Ποσοστό φοιτητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 13.

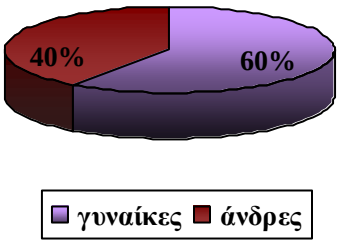
14. *«Εάν ναι, σε ποια αίθουσα»*

Το ποσοστό που απάντησε Ναι στο 14 οι αίθουσες του ημιώροφου που θεωρούν πως έχουν κατάλληλη ακουστική για διδασκαλία είναι το στούντιο ηχογράφησης, το αμφιθέατρο τελετών και το στούντιο 1.

Β. Αποτελέσματα ερωτηματολογίου καθηγητών εργαστηρίου υπολογιστών

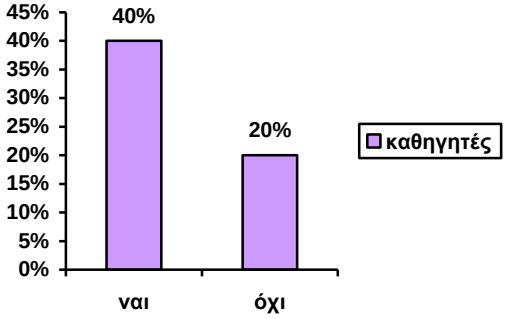
Στην έρευνα συμμετείχαν όλοι οι καθηγητές που διδάσκουν στο εργαστήρι υπολογιστών. Αριθμητικά είναι μόνο 5 στον αριθμό και οι ηλικίες αυτών είναι από 35-46.

1. Από τους καθηγητές που συμμετείχαν οι τρεις είναι γυναίκες και οι δύο είναι άνδρες. Το ποσοστό αυτών απεικονίζεται συνολικά στο γράφημα (πίτα):



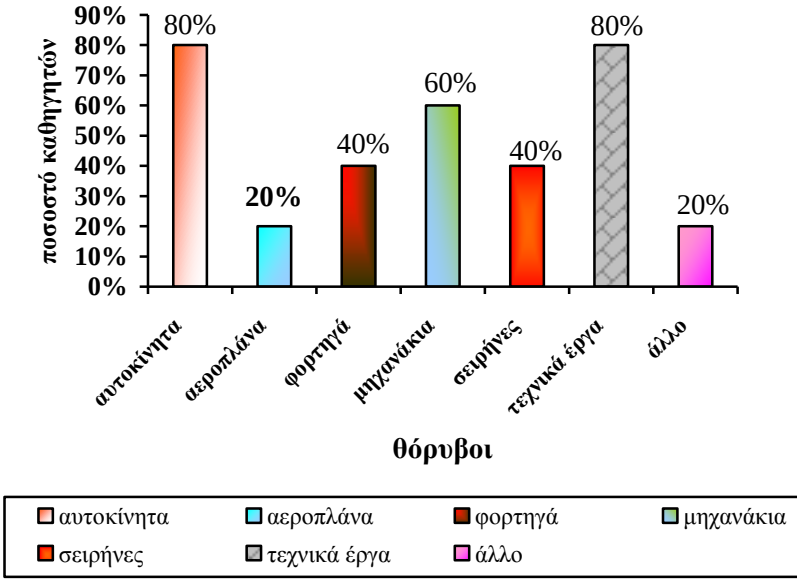
Σχήμα 5.63. Ερώτηση 1- ποσοστό των φύλων-καθηγητές.

4. *«υπήρξε ενόχληση από τον θόρυβο;»* απάντησε το 40% Ναι και το 20% Όχι .



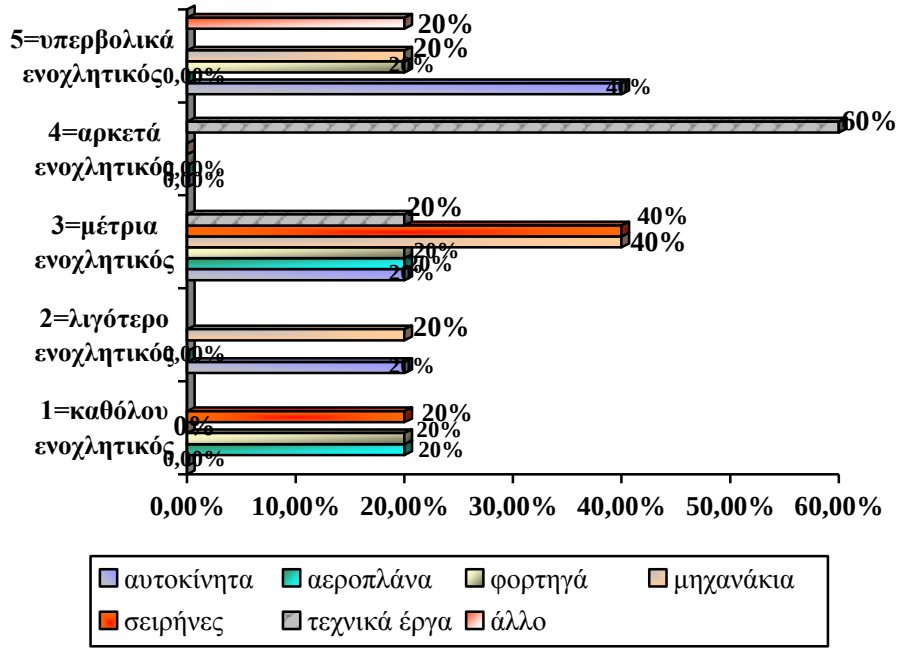
Σχήμα 5.64. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργ. υπολογιστών στην ερώτηση 4.

5.Α *«εάν ναι, τι είδους θόρυβοι ήταν;, θόρυβοι που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον»*.



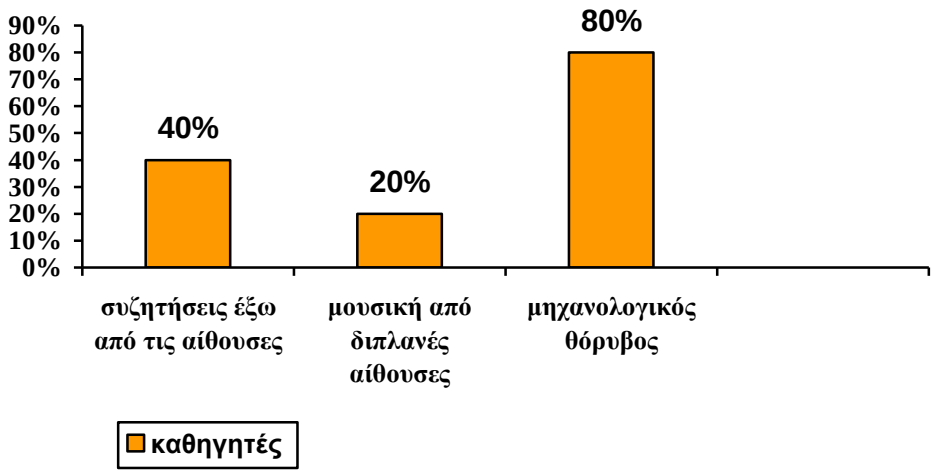
Σχήμα 5.65. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργ. υπολογιστών στην ερώτηση 5

6. Α. *«Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα»*



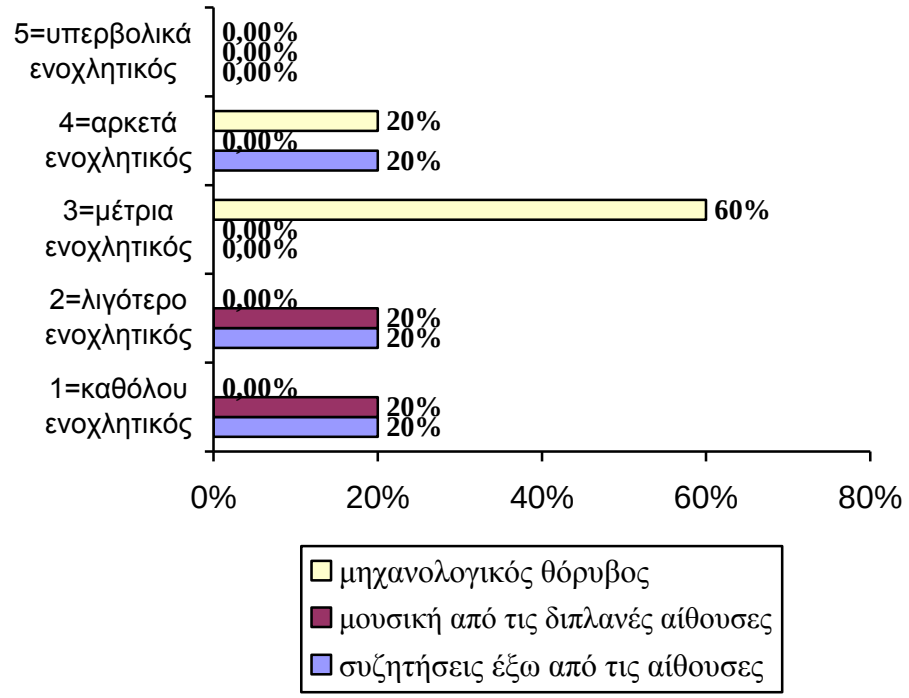
Σχήμα 5.66. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 6.Α.

6.Β. *«θόρυβοι που προέρχονται από το εσωτερικό του πανεπιστημίου».* Από το ποσοστό που απάντησε ναι στην 4η ερώτηση τα ποσοστά των θορύβων διαμορφώνονται ως εξής:



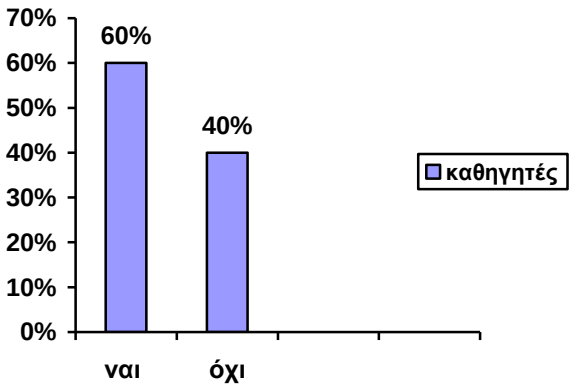
Σχήμα 5.67. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 6.Β.

7. *«Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα»* Το ποσοστό που απάντησε στην ερώτηση αυτή είναι το ίδιο με αυτό που απάντησε στην 4η ερώτηση και τα αποτελέσματα δίνονται από το παρακάτω διάγραμμα.



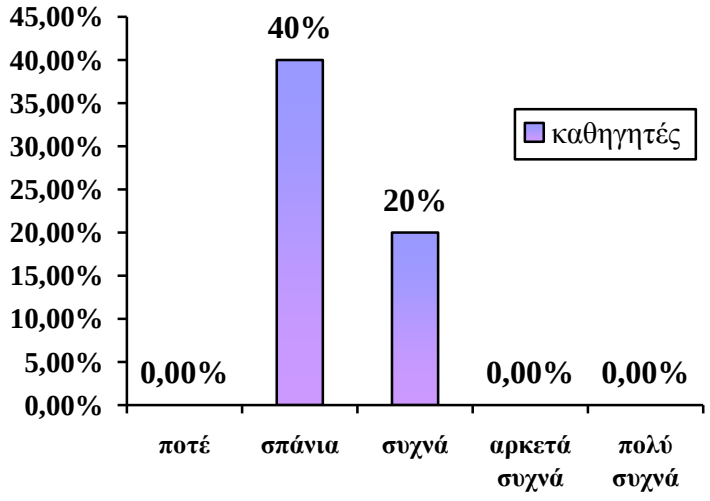
Σχήμα 5.68. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 7.

8. *«Κατά τη διάρκεια του μαθήματος σας έχει τύχει να ακούσετε τη διδασκαλία καθηγητή από τη διπλανή αίθουσα;»*



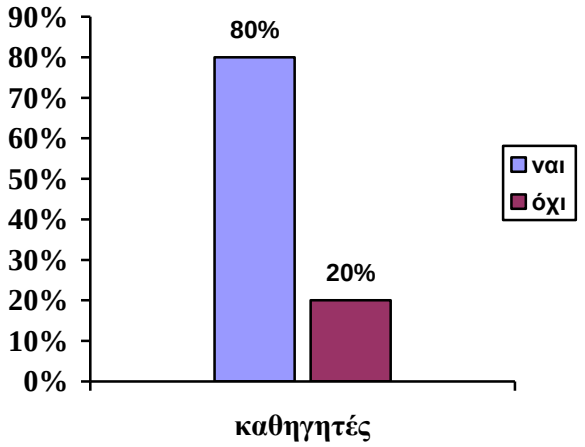
Σχήμα 5.69. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 8.

8.Α *«εάν ναι, πόσο συχνά;»*Από το ποσοστό που απάντησε Ναι στη ερώτηση 8 ακολουθεί το παρακάτω γράφημα:



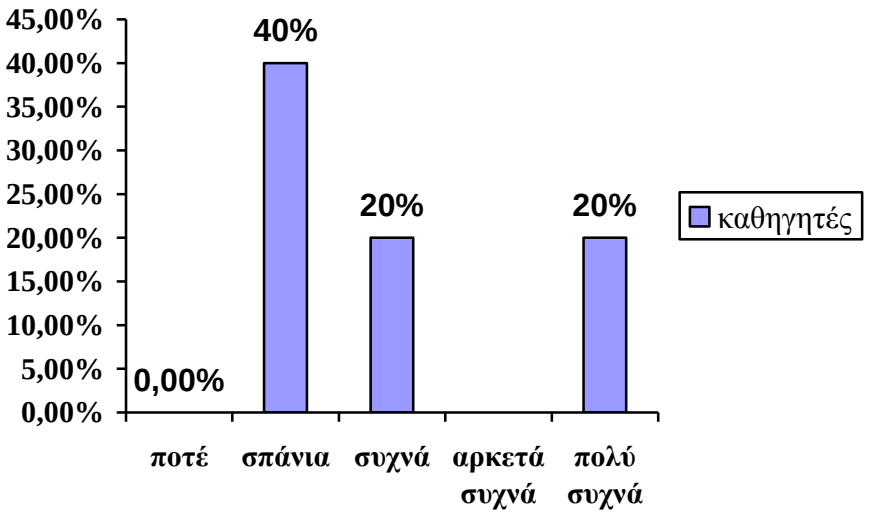
Σχήμα 5.70. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 8.Α.

9. *«υπήρξαν φορές κατά τη διάρκεια της διδακτικής ώρας που δε μπορούσατε να ακούσετε τους φοιτητές καθαρά;»*



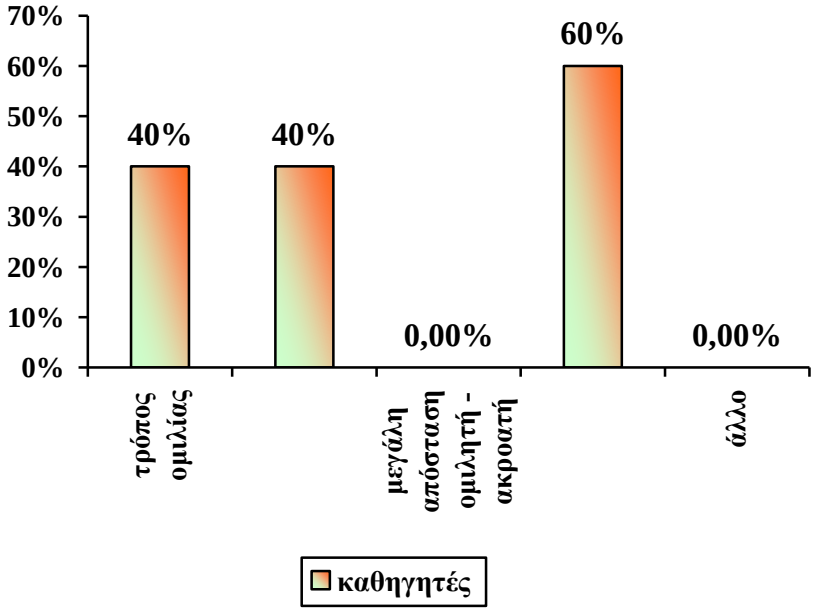
Σχήμα 5.71. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 9.

9.Α. *«εάν ναι, πόσο συχνά;»* από το ποσοστό που απάντησε Ναι στην ερώτηση 9 τα αποτελέσματα είναι τα εξής:



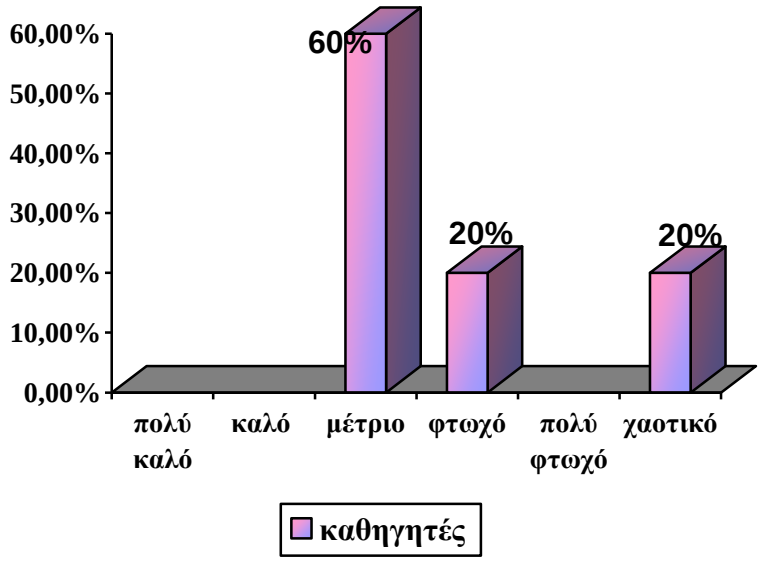
Σχήμα 5.72. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 9.Α.

9.Β *«εάν ναι ποιο νομίζετε πως είναι το πρόβλημα;»*



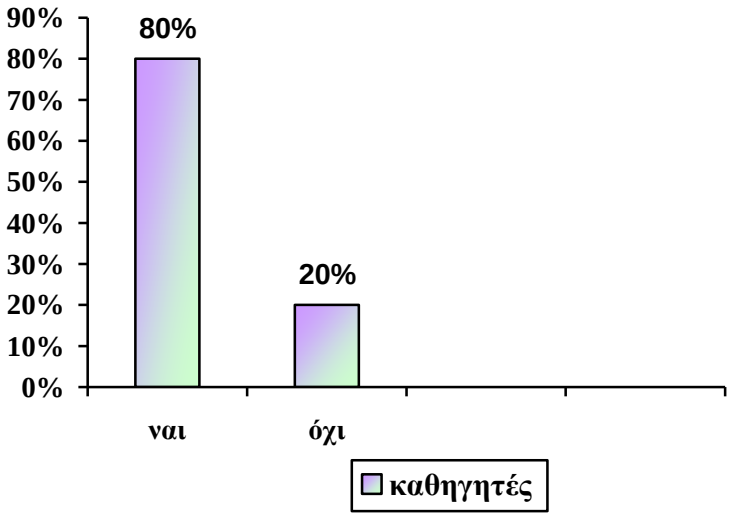
Σχήμα 5.73. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 9.Β.

10. *«Πως θα χαρακτηρίζατε το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;»*



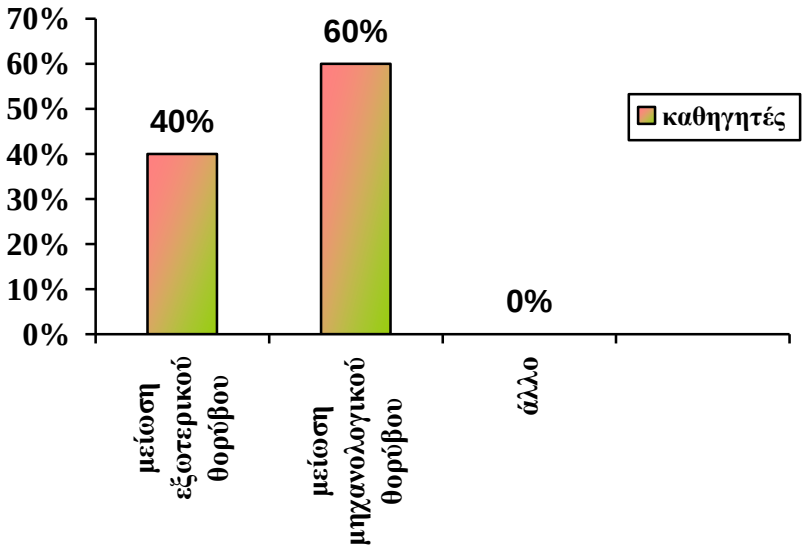
Σχήμα 5.74. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 10.

10.Α *«εάν ναι, θεωρείτε πως το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας που διδάσκετε είναι προβληματικό;»*



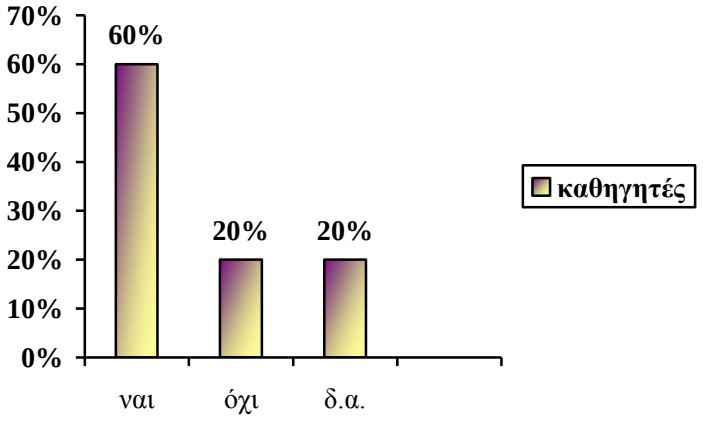
Σχήμα 5.75. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 10.Α

10.Β. *«εάν ναι, τι είναι αυτό που θα θέλατε να αλλάξει;»,* από το ποσοστό που απάντησε Ναι στη 10η ερώτηση, το ποσοστό που απάντησε φαίνεται στο γράφημα που αμέσως ακολουθεί, ενώ το 20% δεν απάντησε.



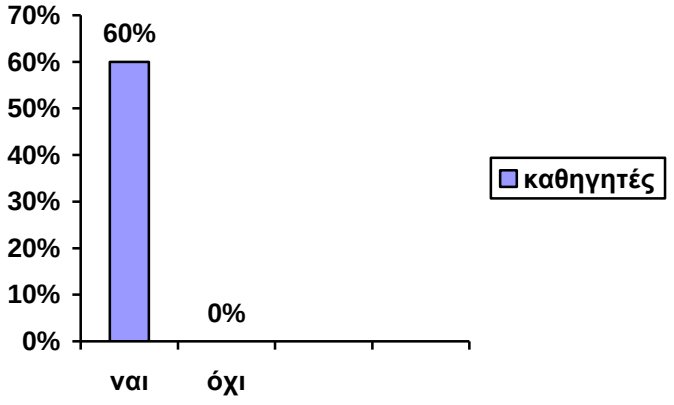
Σχήμα 5.76. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 10.Β

11. «Έχετε παρατηρήσει διαφορά στην απόδοση των φοιτητών κατά τη διάρκεια της διδακτικής ώρας;»



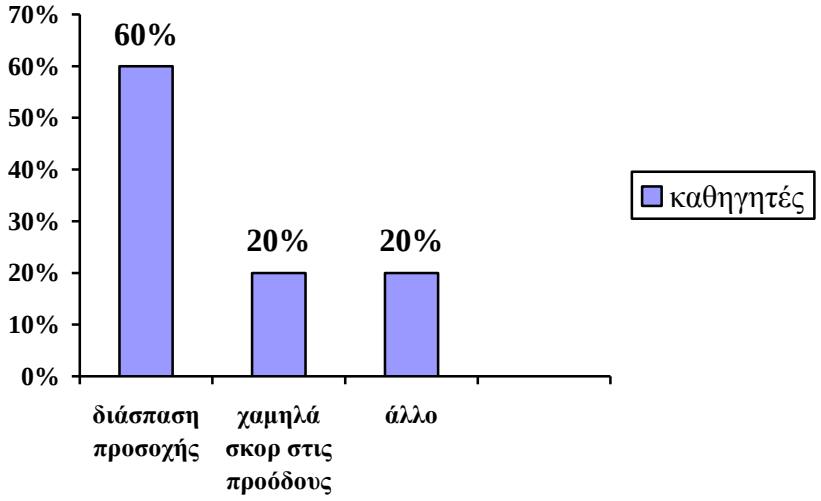
Σχήμα 5.77. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 11.

11.Α. *«εάν ναι, πιστεύετε πως το ακουστικό περιβάλλον συμβάλλει στην απόδοσή τους;»*



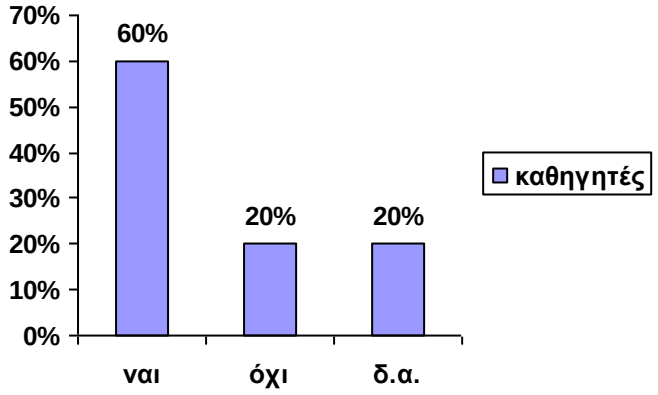
Σχήμα 5.78. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 11.Α.

11. Β. *«εάν ναι με ποιον τρόπο;»*



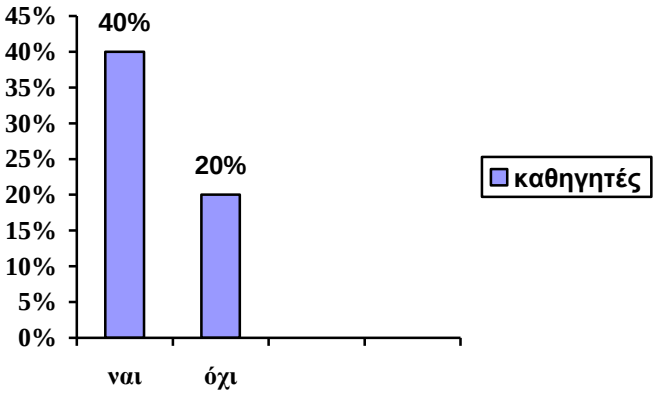
Σχήμα 5.79. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 11.Β.

12. *«Έχετε παρατηρήσει διαφορά στη δική σας απόδοση κατά τη διάρκεια του μαθήματος;»* Στην ερώτηση απάντησαν όλοι εκτός από ένα ποσοστό 20%:



Σχήμα 5.80. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 12.

12.Α. *Εάν ναι, πιστεύετε πως το ακουστικό περιβάλλον επηρεάζει την απόδοσή σας;»*

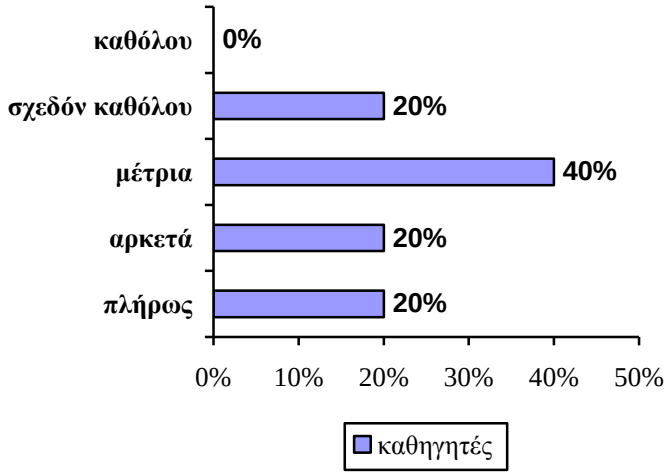


Σχήμα 5.81. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 12.Α.

12.Β. *«εάν ναι, με ποιον τρόπο;»*

Στην ερώτηση με ποιο τρόπο επηρεάζει το ακουστικό περιβάλλον την απόδοση, το ποσοστό των διδασκόντων που απάντησε Ναι στην ερώτηση 12.Α., ανέφερε πως είναι δύσκολη η πραγματοποίηση του μαθήματος σε ένα περιβάλλον μη κατάλληλα εξοπλισμένο. Ακόμη εξαιτίας του προβληματικού ακουστικού περιβάλλοντος διασπάται η συγκέντρωση τόσο των διδασκόντων όσο και των φοιτητών.

13. *«Πόσο κατάλληλα είστε ενημερωμένοι για την απαραίτητη ακουστική μιας αίθουσας διδασκαλίας;»*



Σχήμα 5.82. Ποσοστό καθηγητών που απάντησε για το εργαστήριο υπολογιστών στην ερώτηση 12.Β

14. *«ποια θα ήταν μια ιδανική ακουστικά αίθουσα διδασκαλίας;(όσον αφορά την ακουστική)»*

Στην ερώτηση αυτή όλοι οι καθηγητές απάντησαν πως χρειάζεται μία αίθουσα που να πληροί τις προϋποθέσεις, όχι μόνο ακουστικά αλλά και σχετικά με τη διάταξη των καθισμάτων στο χώρο (σε διαβάθμιση-βάθρα για θεωρία και σε ημικύκλιο για μουσική πράξη), και με κατάλληλο εξοπλισμό. Επίσης να υπάρχουν αίθουσες κατάλληλα διαμορφωμένες για μουσική με κατάλληλη μόνωση και κατάλληλη ηχοαπορρόφηση σε τοίχους, πόρτες και παράθυρα, μιας και καμία δεν είναι ιδανική για μουσική στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. Οι μοναδικές αίθουσες που επισημάνθηκε πως έχουν την απαραίτητη ακουστική είναι αυτές της τηλεκπαίδευσης και των συνεδριών.

Κεφάλαιο 6ο

Συμπεράσματα

6.1 Συμπεράσματα Ερωτηματολογίου

6.1.1 Αίθουσες Ημιώροφου

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τις απαντήσεις των φοιτητών δείχνει πως οι περισσότεροι δεν ενοχλούνται μόνο από τον εξωτερικό θόρυβο αλλά και από το θόρυβο στο εσωτερικό του πανεπιστημίου. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ήχος που διαδίδεται μέσω του αέρα περνά ελεύθερα τόσο από τους εσωτερικούς τοίχους και τους εξαερισμούς όσο και από τα εξωτερικά τοιχώματα και τζάμια. Το αποτέλεσμα είναι αρκετά φυσιολογικό, διότι όπως έχει ήδη αναφερθεί στο παραπάνω κεφάλαιο, οι αίθουσες 12, και 13 βρίσκονται από την πλευρά της λεωφόρου, σε σχέση με τη 14 που βρίσκεται από την πλευρά του ακάλυπτου χώρου. Η ενόχληση όμως προέρχεται και από το εσωτερικό περιβάλλον και κυρίως από τη μουσική των διπλανών αιθουσών. Εν συνεχεία θόρυβος είναι ο μηχανολογικός και τελευταίος ο θόρυβος από συζητήσεις στο διάδρομο.

Το ακουστικό περιβάλλον των αιθουσών διδασκαλίας του εν λόγω τμήματος δυσκολεύει την επικοινωνία μεταξύ του ομιλητή και του δέκτη εφόσον το παραγόμενο ηχητικό μήνυμα αλλοιώνεται κατά την διάρκεια μετάδοσης του μέσα στην αίθουσα. Συνεπώς οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως οι αίθουσες δεν διαθέτουν κατάλληλα ηχομονωμένες επενδύσεις στα τοιχώματα, και δεν παρέχουν την απαραίτητη μόνωση ώστε να πραγματοποιείται ομαλά το μάθημα, κρίνοντας το ακουστικό περιβάλλον φτωχό.

Αν γινόταν μια σύγκριση σύμφωνα με τα λεγόμενα των φοιτητών μεταξύ των αιθουσών του ημιώροφου, η αίθουσα 14 είναι αυτή η οποία θεωρείται ελαφρώς καλύτερη από τις άλλες δύο μιας και την επέλεξαν οι περισσότεροι (ερωτηματολόγιο φοιτητών, ερώτηση 14).

Υπάρχουν όμως και κάποιες εξαιρέσεις φοιτητών, όπου έκριναν πως το ακουστικό περιβάλλον των αιθουσών διδασκαλίας του ημιώροφου είναι από καλό έως και πολύ καλό.

Παρόμοιο αποτέλεσμα με αυτό των φοιτητών προκύπτει και από τις απαντήσεις των καθηγητών. Σχεδόν όλοι ενοχλούνται από τον εξωτερικό θόρυβο καθώς και από τους εσωτερικούς θορύβους με κύριο την μουσική των διπλανών αιθουσών με κάποιες επιπλέον παρατηρήσεις, η αίθουσα 13 «*πνίγει τον ήχο*» σε σχέση με την 14 όπου τον *«διαχέει»*.

6.1.2 Αίθουσα Εργαστηρίου Η/Υ του Τμήματος Μ.Ε.Τ.

Σε αντίθεση με τις αίθουσες του ημιώροφου η αίθουσα των ηλεκτρονικών υπολογιστών θεωρήθηκε ακουστικά «καλή». Ωστόσο ένα μεγάλο μέρος των φοιτητών ενοχλούνται από το θόρυβο. Κύρια ενόχληση προκαλείται από τον θόρυβο των αυτοκινήτων. Αυτό συμβαίνει επειδή η αίθουσα βρίσκεται στο 2^{ο} υπόγειο (γκαράζ). Βασικός όμως θόρυβος είναι αυτός που προέρχεται από τον μηχανολογικό εξοπλισμό της αίθουσας, ο οποίος είναι πιθανόν και αυτός που οδηγεί στην μη καθαρότητα του ηχητικού μηνύματος.

Από τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου παρατηρείται πως η αίθουσα αυτή χρειάζεται κατάλληλο στερεοφωνικό σύστημα αναπαραγωγής ήχου, χωρίς θόρυβο από τον εξαερισμό των μηχανημάτων, καθώς και επιπλέον αντήχηση στον χώρο για να ακούγεται καλά η μουσική είτε αυτή προέρχεται από το σύστημα αναπαραγωγής του ήχου, είτε από το ίδιο το μουσικό όργανο. Ακόμη η διάταξη των καθισμάτων είναι λανθασμένη.

Στο σημείο αυτό απαραίτητο είναι να επισημανθεί πως η αίθουσα υπολογιστών δεν θεωρείται αίθουσα διδασκαλίας μουσικού οργάνου ή μουσικοπαιδαγωγικών μαθημάτων (π.χ. προπαιδεία, μουσική παιδαγωγική), συνεπώς χρειάζονται αίθουσες διαμορφωμένες ειδικά για μαθήματα μουσικής.

Οι περισσότεροι καθηγητές κρίνουν το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας μέτριο έως φτωχό. Από τις απαντήσεις που δόθηκαν διαπιστώθηκε πως το πανεπιστήμιο Μακεδονίας δεν διαθέτει κατάλληλα διαμορφωμένες αίθουσες διδασκαλίας για μουσική. Η συγκεκριμένη αίθουσα δεν έχει κατάλληλο εξοπλισμό αναπαραγωγής ήχου, όπως προκύπτει και από τις απαντήσεις των φοιτητών, καθώς και κατάλληλη ηχομόνωση.

Επιπλέον παρατηρήθηκε από τους ίδιους πως ο θόρυβος που προκαλούν τα μηχανήματα κυρίως και εν συνεχεία οι εξωτερικοί θόρυβοι από την αίθουσα, οδηγούν στη διάσπαση της προσοχής τόσο των φοιτητών όσο και των καθηγητών, δημιουργώντας μια δυσκολία στη παράδοση του μαθήματος.

6.2 Συμπεράσματα Μετρήσεων- Αίθουσες Ημιώροφου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων ο θόρυβος σε μια κενή αίθουσα υπερβαίνει τα διεθνή πρότυπα (περίπου +10-12dB μεσημέρι και απόγευμα με κλειστό παράθυρο και περίπου +25-35dB για άνοιγμα παραθύρου 20cm το μεσημέρι., βλέπε παράρτημα), ακόμη και στην περίπτωση που ο θόρυβος που προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον του πανεπιστημίου δεν είναι ισχυρός. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μη καταληπτότητα της ομιλίας αλλά υπάρχει δυσκολία και στην ακρόαση της μουσικής. Εκτός όμως από τον θόρυβο από το υπάρχον ακουστικό περιβάλλον του πανεπιστημίου, οι τιμές που παίρνει ο χρόνος αντήχησης είναι αυξημένες. Πιο συγκεκριμένα είναι περίπου ο διπλάσιος. Στην αίθουσα που παρατηρήθηκε ο μεγαλύτερος χρόνος αντήχησης είναι η αίθουσα 13.

Τέλος συμπεραίνουμε πως ο θόρυβος δεν είναι ίδιος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το μεσημέρι από τις 13:00 μέχρι και τις 14:00 είναι αρκετά υψηλός, χαρακτηρίζοντας την περίοδο αυτή *«θορυβώδη»*, ενώ από τις 16:00-18:00 είναι πιο χαμηλός, χαρακτηρίζοντας την περίοδο αυτή ως *«ήσυχη»*.

6.3 Γενικό Συμπέρασμα Ερωτηματολογίου – Μετρήσεων Αιθουσών Διδασκαλίας- Προτάσεις βελτίωσης των αιθουσών διδασκαλίας που μελετήθηκαν

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν διαφέρουν από τα λεγόμενα των φοιτητών. Επιβεβαιώνεται η αρχική υπόθεση, πως η ακουστική στις αίθουσες διδασκαλίας του τμήματος Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης είναι φτωχή. Ο θόρυβος που εισέρχεται

στις αίθουσες είναι ιδιαίτερα αυξημένος (αίθουσες ημιώροφου) και ο χρόνος αντήχησης είναι μεγάλος σε σχέση με τα προβλεπόμενα διεθνή πρότυπα. Για αυτό το λόγο υπάρχουν φορές που δεν μπορούμε να ακούσουμε καθαρά το παραγόμενο ηχητικό μήνυμα.

Κάποιες πιθανές λύσεις που θα μπορούσαν να προταθούν είναι:

- Να τοποθετηθεί πρόσθετο ηχομονωτικό κούφωμα στα παράθυρα μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την εισχώρηση του εξωτερικού θορύβου στις αίθουσες.
- Να διαμορφωθούν όλες οι αίθουσες με καθίσματα χωρίς έδρανα και με διαβαθμισμένο ύψος έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η διάδοση του απευθείας ήχου στον ακροατή.
- Να τοποθετηθούν μετά από μελέτη συστήματα ακουστικής διόρθωσης (π.χ. διαχυτές, απορροφητικά υλικά) στους τοίχους της αίθουσας 14 ώστε να βελτιωθεί η ακουστική
- Να ενισχυθεί το διάκενο της αίθουσας 13, μεταξύ του τοίχου και των παραθύρων με επιπλέον φύλλα γυψοσανίδας και να σφραγιστούν περιμετρικά όλοι οι αρμοί.
- Τα διάκενα που υπάρχουν μεταξύ των παραθύρων και των τοίχων να μονωθούν με λάστιχο σφράγισης.
- Να αντικατασταθούν όλες οι πόρτες των αιθουσών με ηχομονωτικές, ώστε ο θόρυβος που προέρχεται από το διάδρομο να μειωθεί. Επιπλέον οι πόρτες να διαθέτουν ηχομονωτικό τζάμι, ώστε το άτομο που βρίσκεται στον διάδρομο να μπορεί να γνωρίζει ότι πραγματοποιείται μάθημα. Συνεπώς δεν θα διακόπτεται η διδασκαλία.
- Στο εργαστήριο υπολογιστών να αντικατασταθεί ο εξοπλισμός με πιο σύγχρονα μέσα.

Κεφάλαιο 7ο

Επίλογος

Είναι δύσκολο να επιτευχθεί μια καλή ακουστική σε έναν χώρο που χρησιμοποιείται τόσο για ομιλία, όσο και για μουσική. Για τον λόγο αυτό οι αρχιτέκτονες και γενικά οι άνθρωποι που ασχολούνται με την ακουστική των χώρων εστιάζουν περισσότερο σε ένα στοιχείο, που συνήθως είναι η καταληπτότητα της ομιλίας. Πιο συγκεκριμένα ένας μέσος χρόνος αντήχησης δεν προσφέρει μια κατάλληλη ακουστική σε ένα χώρο πολλαπλών χρήσεων όπως είναι οι αίθουσες του τμήματος ΜΕΤ.

Η πτυχιακή εργασία έγινε με στόχο να αναδειχθεί ένα μέρος των προβλημάτων που αντιμετωπίζει το τμήμα ΜΕΤ. Ελπίζω, μέσα από αυτή την έρευνα να ευαισθητοποιηθούν αρχικά οι φοιτητές και οι καθηγητές και στη συνέχεια οι αρμόδιοι φορείς, ώστε να δοθεί μια λύση στο υπάρχον πρόβλημα.

Η διπλωματική αυτή θα μπορούσε να συνεχιστεί μελετώντας τις αίθουσες των οργάνων, όπως είναι τα στούντιο, τα γραφεία των καθηγητών, η αίθουσα της παραδοσιακής μουσικής και των κρουστών. Επίσης θα μπορούσαν να γίνουν μελέτες ακουστικής και σε μουσικά σχολεία. Ακόμη θα μπορούσαν να γίνουν τεστ καταληπτότητας της ομιλίας, όπου μια πηγή ήχου αναπαράγει λέξεις ή προτάσεις σε διάφορες συχνότητες και οι φοιτητές και οι καθηγητές καταγράφουν τις λέξεις ή τις προτάσεις που ακούν.

Παράρτημα

Α.Α.
Ερωτηματολόγιο φοιτητών

1. Φύλο: Άρρεν ☐

   Θήλυ ☐

2. Ηλικία: ☐ Ημ/νία συμπλήρωσης ερωτηματολογίου: ☐

3. Αίθουσα: ☐

4. : Υπήρξε ποτέ ενόχληση από τον θόρυβο κατά τη διάρκεια των μαθημάτων;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

5. Εάν ναι, τι είδους θόρυβοι ήταν (μπορείτε να επιλέξετε παραπάνω από 1);

Α. Θόρυβοι που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον:
   1) Αυτοκίνητα ☐
   2) Αεροπλάνα ☐
   3) Φορτηγά ☐
   4) Μηχανάκια ☐
   5) Σειρήνες (π.χ ασθενοφόρων) ☐
   6) Τεχνικά έργα ☐
   7) Όλα τα παραπάνω ☐
   8) Άλλο; (σημειώστε το είδος του θορύβου) …… …….. ☐

6. Α. Βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον ακόλουθο πίνακα (κυκλώστε τον αριθμό):

Θόρυβοι	Καθόλου ενοχλητικός	Λιγότερο ενοχλητικός	Μέτρια ενοχλητικός	Αρκετά ενοχλητικός	Υπερβολικά ενοχλητικός
Αυτοκίνητα	1	2	3	4	5
Αεροπλάνα	1	2	3	4	5
Φορτηγά	1	2	3	4	5
Μηχανάκια	1	2	3	4	5
Σειρήνες (π.χ ασθενοφόρων)	1	2	3	4	5
Τεχνικά έργα	1	2	3	4	5
Άλλο	1	2	3	4	5

Β. Θόρυβοι που προέρχονται από το εσωτερικό του πανεπιστημίου (μπορείτε να επιλέξετε παραπάνω από 1):

1) Συζητήσεις έξω από τις αίθουσες (διάδρομο) ☐
2) Μουσική από τις διπλανές αίθουσες ☐
3) Όλα τα παραπάνω ☐
4) Άλλο; (σημειώστε το θόρυβο)……..……
……☐

7. Βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα (κυκλώστε τον αριθμό):

Θόρυβοι	Καθόλου ενοχλητικός	Λιγότερο ενοχλητικός	Μέτρια ενοχλητικός	Αρκετά ενοχλητικός	Υπερβολικά ενοχλητικός
Συζητήσεις έξω από τις αίθουσες (διάδρομο)	1	2	3	4	5
Μουσική από τις διπλανές αίθουσες	1	2	3	4	5
Θόρυβοι από μηχανήματα (προβολέας, εξαερισμός κλπ.)	1	2	3	4	5

8. : Κατά τη διάρκεια του μαθήματος σας έχει τύχει να ακούσετε τη διδασκαλία καθηγητή από τη διπλανή αίθουσα;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι, πόσο συχνά;

1) Ποτέ ☐
2) Σπάνια ☐
3) Συχνά ☐
4) Αρκετά συχνά ☐
5) Πολύ συχνά ☐

9. : Υπήρξαν φορές που δεν μπορούσατε να ακούσετε τον καθηγητή ή τους συμφοιτητές σας καθαρά;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι, πόσο συχνά;

1) Ποτέ ☐
2) Σπάνια ☐
3) Συχνά ☐
4) Αρκετά συχνά ☐
5) Πολύ συχνά ☐

Β. Εάν ναι, ποιο νομίζετε πως είναι το πρόβλημα;

1) Ο τρόπος ομιλίας (π.χ. γρήγορα ή αργά) ☐
2) Η ένταση της φωνής του ομιλητή ☐
3) Η απόσταση του ομιλητή από τον ακροατή είναι μεγάλη ☐
4) Η φτωχή ακουστική της αίθουσας διδασκαλίας ☐
5) Όλα τα παραπάνω ☐
6) Άλλο;…….… ☐

10. : Πως θα χαρακτηρίζατε το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;

1) Πολύ καλό ☐
2) Καλό ☐
3) Μέτριο ☐

4) Φτωχό ☐
5) Πολύ φτωχό ☐
6) Χαοτικό ☐

11. : Θα θέλατε να αλλάξει το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι, τι είναι αυτό που θα θέλατε να αλλάξει;

1) Να μειωθεί ο εξωτερικός θόρυβος κατά τη διάρκεια του μαθήματος ☐
2) Να μειωθεί ο μηχανολογικός θόρυβος της αίθουσας διδασκαλίας ☐
3) Η διάταξη των καθισμάτων στον χώρο να είναι σωστή ☐
4) Άλλο;…… ☐

12. : Κατά τη διάρκεια του μαθήματος υπάρχει μουσική ακρόαση και πράξη;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι, θα θέλατε να αλλάξει το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας κατά τη διάρκεια που παίζεται μουσική;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Β. Εάν ναι, τί θα θέλατε να αλλάξει;

……
……
……
……

13. : Έχετε κάνει μάθημα σε αίθουσα της οποίας η ακουστική ήταν ικανοποιητική;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

14. Εάν ναι, σε ποια αίθουσα;

……
……
……
……

Ευχαριστώ πολύ για τη συνεργασία σας!

Ερωτηματολόγιο καθηγητών

1. Φύλο: Άρρεν ☐ Θήλυ ☐

2. Ηλικία ☐ Ημ/νια συμπλήρωσης ερωτηματολογίου ☐

3. Αίθουσα ☐

4. : Υπήρξε ποτέ ενόχληση από θόρυβο κατά τη διάρκεια που πραγματοποιούνταν το μάθημα;

   ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

5. Εάν ναι, τι είδους θόρυβος ήταν:

Α. Θόρυβοι που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον:

9) Αυτοκίνητα ☐
10) Αεροπλάνα ☐
11) Φορτηγά ☐
12) Μηχανάκια ☐
13) Σειρήνες (π.χ ασθενοφόρων) ☐
14) Τεχνικά έργα ☐
15) Όλα τα παραπάνω ☐
16) Άλλο ☐

6. Α. Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα (κυκλώστε τον αριθμό):

Θόρυβοι	**Καθόλου ενοχλητικός**	**Λιγότερο ενοχλητικός**	**Μέτρια ενοχλητικός**	**Αρκετά ενοχλητικός**	**Υπερβολικά ενοχλητικός**
Αυτοκίνητα	1	2	3	4	5
Αεροπλάνα	1	2	3	4	5
Φορτηγά	1	2	3	4	5
Μηχανάκια	1	2	3	4	5
Σειρήνες (π.χ ασθενοφόρων)	1	2	3	4	5
Τεχνικά έργα	1	2	3	4	5
Άλλο	1	2	3	4	5

Β. Θόρυβοι που προέρχονται από τον εσωτερικό χώρο του πανεπιστημίου:

5) Συζητήσεις έξω από τις αίθουσες (διάδρομο) ☐
6) Μουσική από τις διπλανές αίθουσες ☐
7) Θόρυβοι από μηχανήματα (προβολέας, εξαερισμός κλπ.) ☐
8) Όλα τα παραπάνω ☐

7. Εάν ναι, βαθμολογήστε τους παραπάνω θορύβους στον παρακάτω πίνακα (κυκλώστε τον αριθμό):

Θόρυβοι	**Καθόλου ενοχλητικός**	**Λιγότερο ενοχλητικός**	**Μέτρια ενοχλητικός**	**Αρκετά ενοχλητικός**	**Υπερβολικά ενοχλητικός**
Συζητήσεις έξω από τις αίθουσες (διάδρομο)	1	2	3	4	5
Μουσική από τις διπλανές αίθουσες	1	2	3	4	5
Θόρυβοι από μηχανήματα (προβολέας, εξαερισμός κλπ.)	1	2	3	4	5

8. **:** Κατά τη διάρκεια του μαθήματος σας έχει τύχει να ακούσετε τη διδασκαλία άλλου καθηγητή από τις διπλανές αίθουσες;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι πόσο συχνά;

6) Ποτέ ☐
7) Σπάνια ☐
8) Συχνά ☐
9) Αρκετά συχνά ☐
10) Πολύ συχνά ☐

9. : Υπήρξαν φορές κατά τη διάρκεια της διδακτικής ώρας που δεν μπορούσατε να ακούσετε τους φοιτητές καθαρά;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι, πόσο συχνά;

6) Ποτέ ☐
7) Σπάνια ☐
8) Συχνά ☐
9) Αρκετά συχνά ☐
10) Πολύ συχνά ☐

Β. Εάν ναι, ποιο νομίζετε πως είναι το πρόβλημα;

7) Ο τρόπος ομιλίας των φοιτητών (γρήγορα ή αργά, άρθρωση, κλπ.) ☐
8) Η ένταση της φωνής του ομιλητή ☐
9) Η μεγάλη απόσταση του φοιτητή από τον καθηγητή ☐
10) Η φτωχή ακουστική της αίθουσας διδασκαλίας ☐
11) Όλα τα παραπάνω ☐
12) Άλλο ☐

10. : Πώς θα χαρακτηρίζατε το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας;

7) Πολύ καλό ☐
8) Καλό ☐
9) Μέτριο ☐
10) Φτωχό ☐
11) Πολύ φτωχό ☐
12) Χαοτικό ☐

Α. Πιστεύετε πως το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας διδασκαλίας που διδάσκετε είναι προβληματικό;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Β. Εάν ναι, τί θα θέλατε να αλλάξει στην αίθουσα διδασκαλίας;

5) Να μειωθεί ο εξωτερικός θόρυβος κατά τη διάρκεια του μαθήματος ☐
6) Να μειωθεί ο μηχανολογικός θόρυβος που υπάρχει στην αίθουσα διδασκαλίας ☐
7) Όλα τα παραπάνω ☐

8) Άλλο ☐

11. : Έχει παρατηρηθεί ποτέ από εσάς διαφορά στην απόδοση των φοιτητών κατά τη διάρκεια της ώρας του μαθήματος;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι, πιστεύετε πως το ακουστικό περιβάλλον επηρεάζει την απόδοση τους;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Β. Εάν ναι, με ποιο τρόπο;

1) Διασπάται η προσοχή τους ☐
2) Χαμηλά σκορ στις προόδους ☐
3) Άλλο ☐

12. : Έχετε παρατηρήσει διαφορά στην δική σας απόδοση κατά τη διάρκεια του μαθήματος;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Α. Εάν ναι, πιστεύετε πως το ακουστικό περιβάλλον της αίθουσας συμβάλλει στην απόδοσή σας;

ΝΑΙ ☐ ΟΧΙ ☐

Β. Εάν ναι, με ποιο τρόπο;

……
……
…….

……
……
……

13. Ερ. 7**:** Πόσο κατάλληλα είστε ενημερωμένοι για την απαραίτητη ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας;

1) Είμαι πολύ καλά ενημερωμένος/η ☐
2) Αρκετά ☐
3) Μέτρια ☐
4) Σχεδόν καθόλου ☐
5) Καθόλου ☐

14. Ερ. 8**:** Ποια κατά τη γνώμη σας θα ήταν μια ιδανική αίθουσας διδασκαλίας; (όσον αφορά την ακουστική)

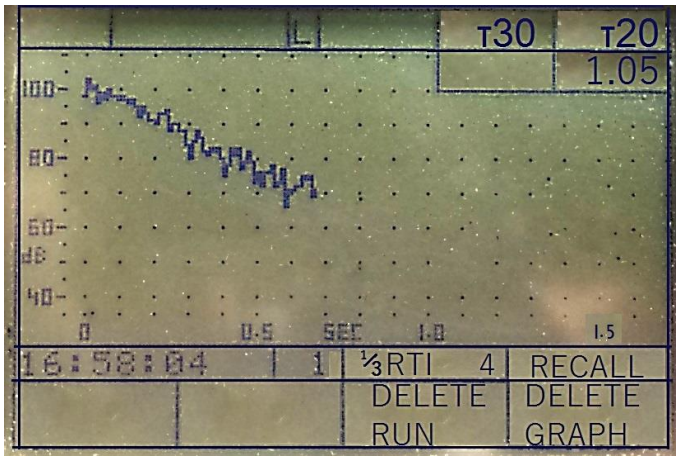
……..
……..
……..
……..

Ευχαριστώ πολύ για τη συνεργασία!

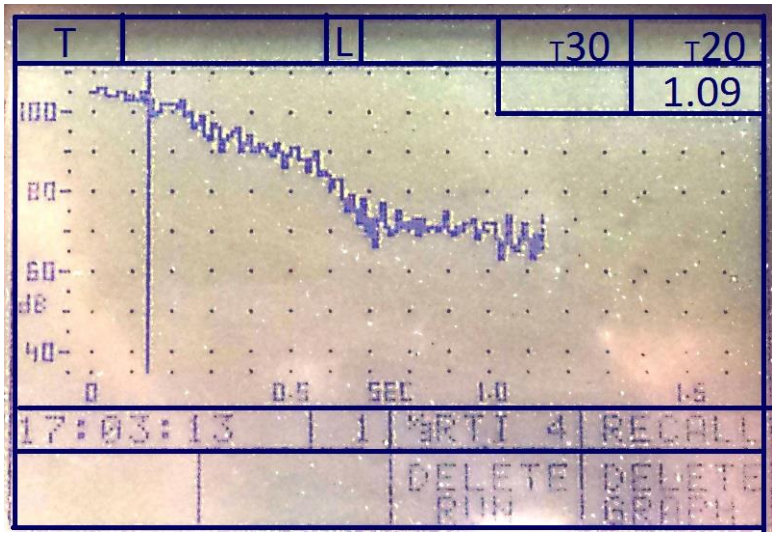
Αποτελέσματα μετρήσεων

Α. Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης σε διαφορετικές θέσεις

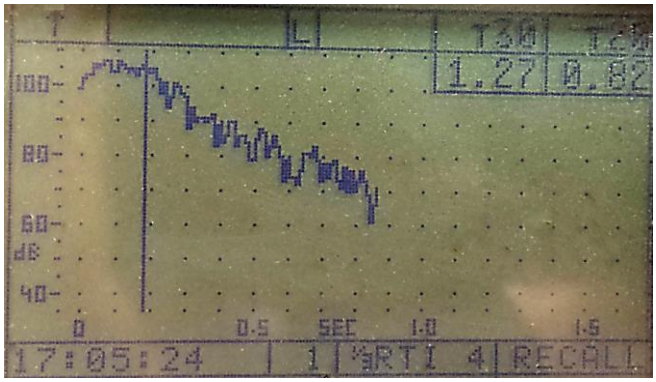
- **Αίθουσα 12**
  - **Μέτρηση RTI (τρόπος υπολογισμού χρόνου αντήχησης για παλμικό θόρυβο του λογισμικού Building Acoustics), Θέση Α1**



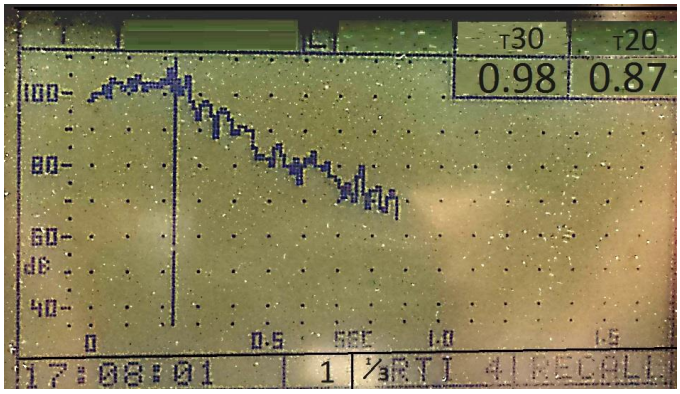
  - **Μέτρηση RTI, Θέση Α2**



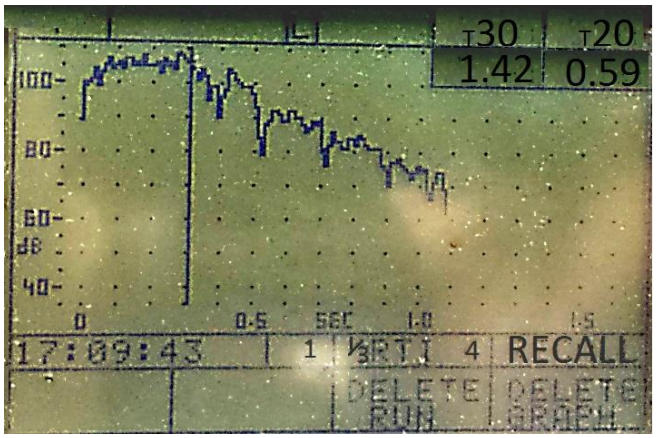
  - **Μέτρηση RTI, Θέση Α3**



- **Μέτρηση RTI, Θέση A4**

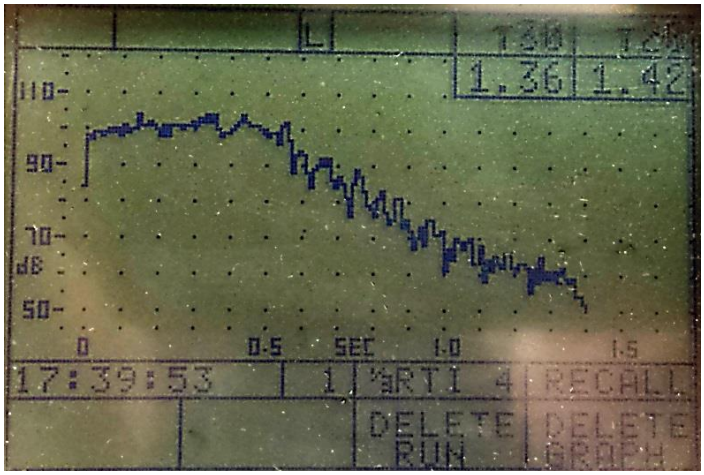


- **Μέτρηση RTI, Θέση: A5**

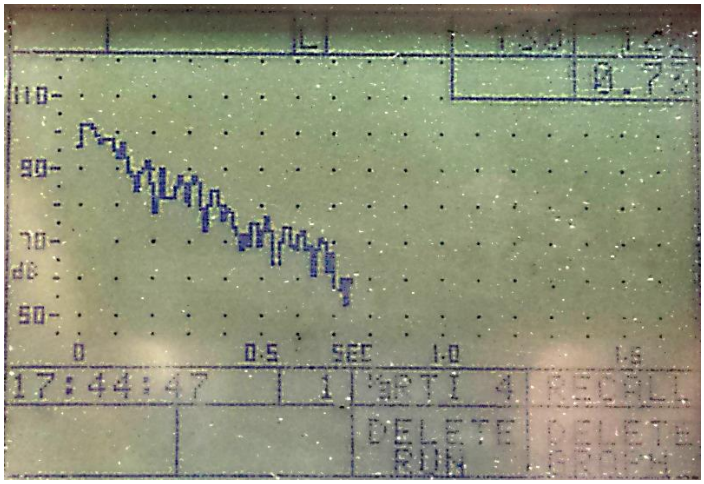


- **Αίθουσα 13**

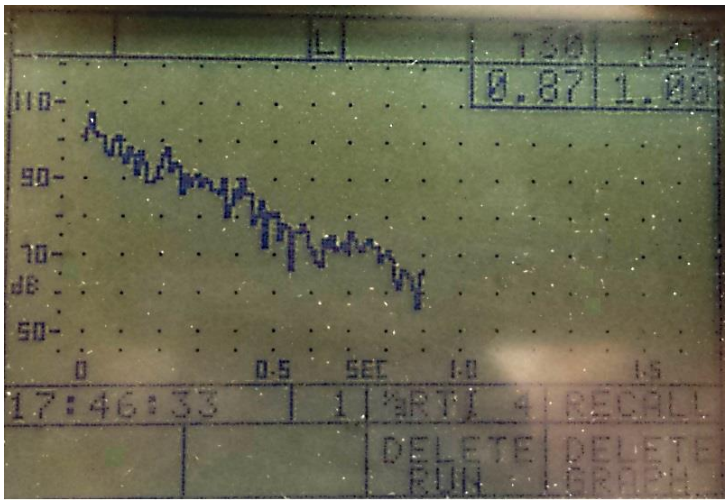
- **Μέτρηση RTI Θέση A6**



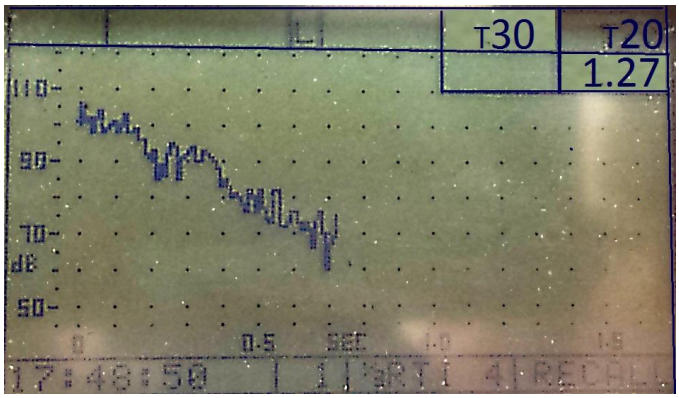
- **Μέτρηση RTI, Θέση A7**



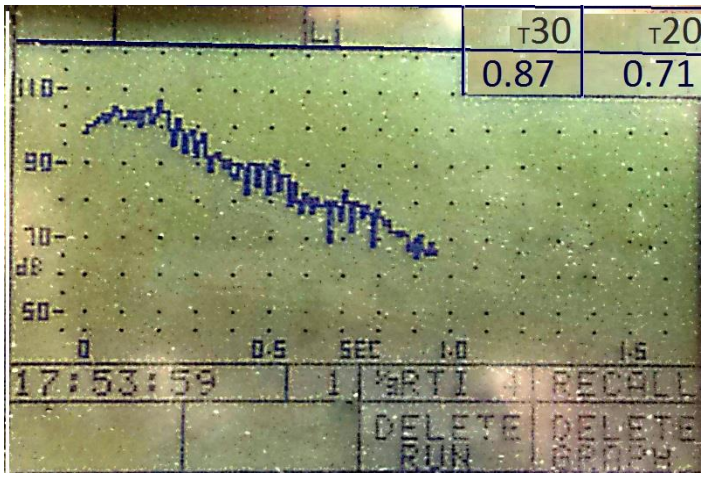
- **RTI, Θέση A8**



- **Μέτρηση RTI, Θέση A9**



- **Μέτρηση RTI, Θέση A10**



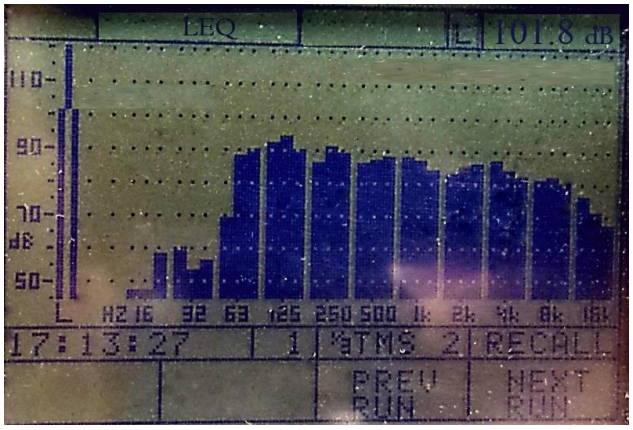
- ## Μέτρηση ηχομόνωσης του χώρου

Αίθουσα 12

- **Θέση B1**

Μετρήσεις για την ηχομόνωση που παρέχει ο τοίχος μεταξύ αίθουσας 12 και 13 (ένδειξη ηχείου)

		L	A
110	SPLF , dB	101 . 3	96 . 9
	SPLFMAX , dB	103 . 6	97 . 8
90	SPLFMIN , dB	100 . 3	96 . 1
	LEQ , dB	101 . 7	97 . 0
70 dB			
50			
FLA	LINPEAK , dB	115 . 6	
17 : 16 : 29	1	Z SLM	RECALL
		PREV RUN	NEXT RUN



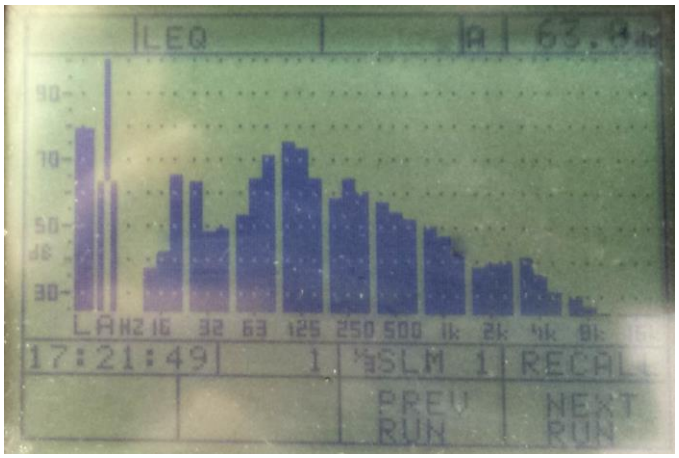
Το LEQ είναι 101,8 dB Linear. Αλλά στην πραγματικότητα ισχύει 97dB (A).

Αίθουσα 13

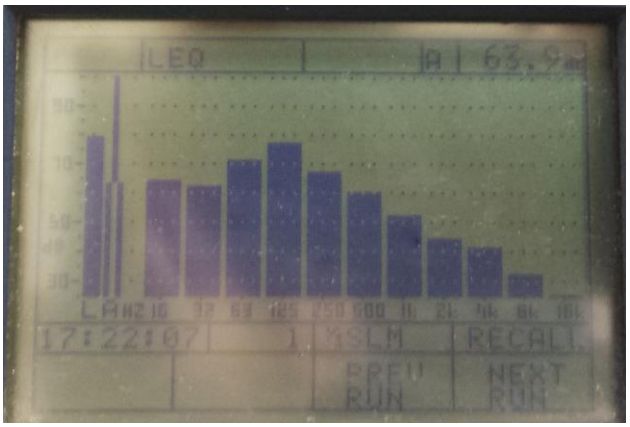
- **Θέση Β2**

		L	A
110	SPLF , dB	79 . 3	63 . 5
	SPLFMAX , dB	81 . 9	65 . 7
90	SPLFMIN , dB	74 . 7	61 . 7
	LEQ , dB	78 . 8	63 . 8
70			
dB			
50			
FLA	LINPEAK , dB	91 . 2	
17 : 21 : 11	1	SLM	RECALL
		PREV RUN	NEXT RUN

- **Ανάλυση δεδομένων στο 1/3 οκτάβας**



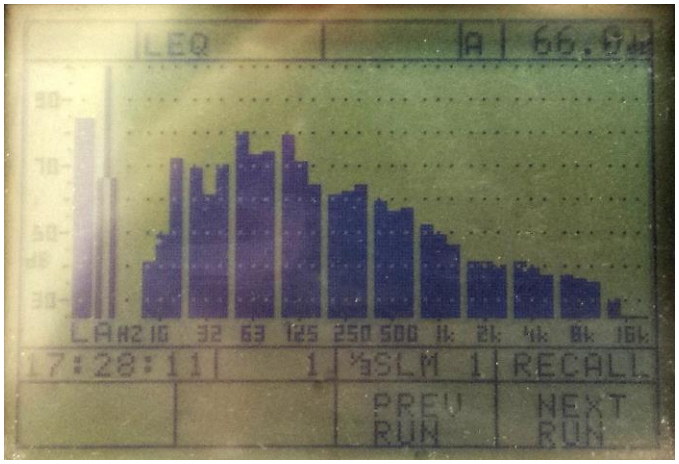
➢ **Ανάλυση δεδομένων στο 1/1 οκτάβας**



- **Θέση B3**

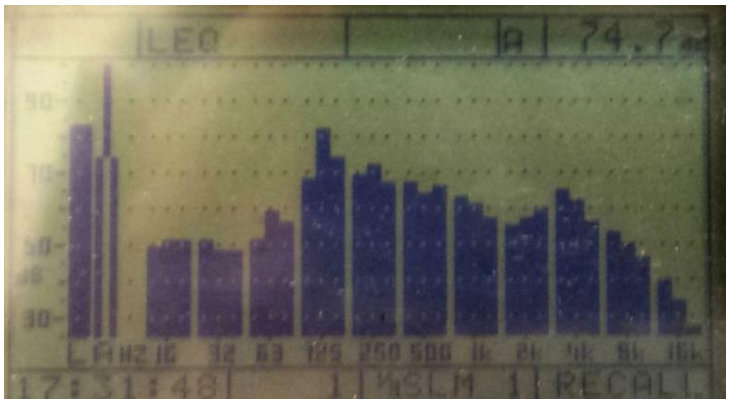
		L	A
90 70 50 dB 30 FLA	SPLF , dB SPLFMAX , dB SPLFMIN , dB LEQ , dB	81 . 1 87 . 7 79 . 2 83 . 1	64 . 4 69 . 0 64 . 0 65 . 8
	LINPEAK , dB	95 . 1	
17 : 22 : 52	1	Z SLM	RECALL
		PREV RUN	NEXT RUN

➢ **Ανάλυση δεδομένων στο 1/3 οκτάβας**



- **Θέση C1**

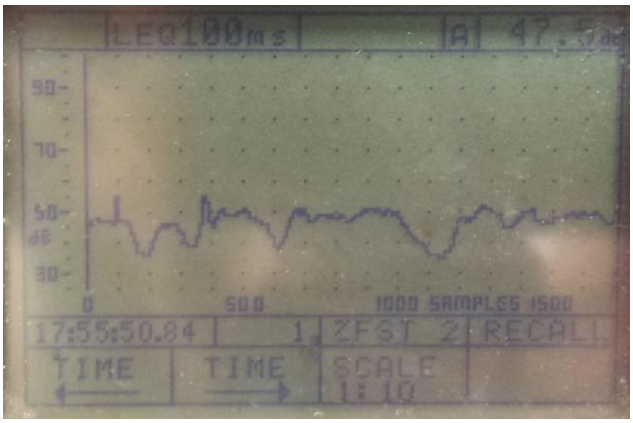
Μέτρηση της ηχομόνωσης που παρέχει η πόρτα

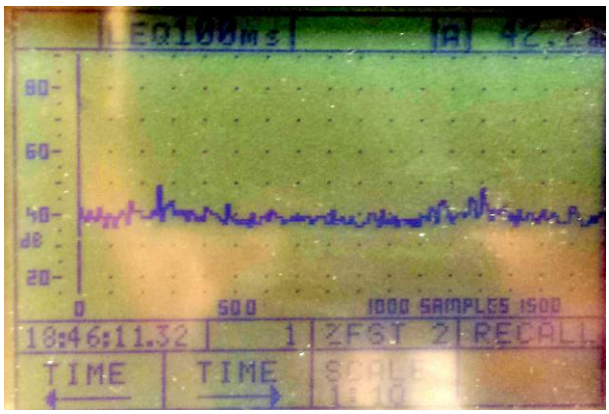


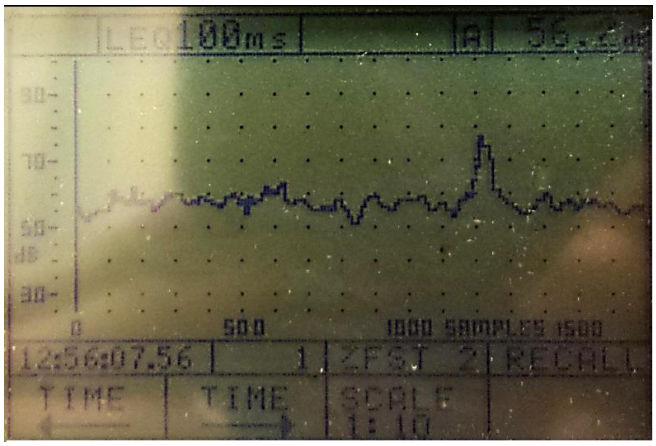
- **Στάθμη του θορύβου με κλειστό παράθυρο, με ελαφρώς ανοιχτό παράθυρο(20cm) και με ανοιχτό παράθυρο και το ηχόμετρο έξω από αυτό.**

Αίθουσα 13

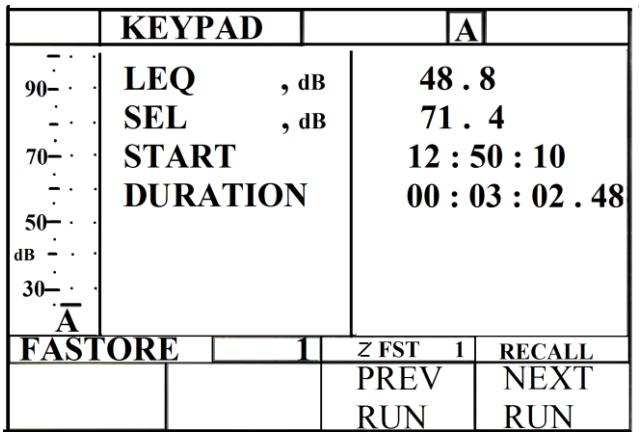
- **Με κλειστό παράθυρο**



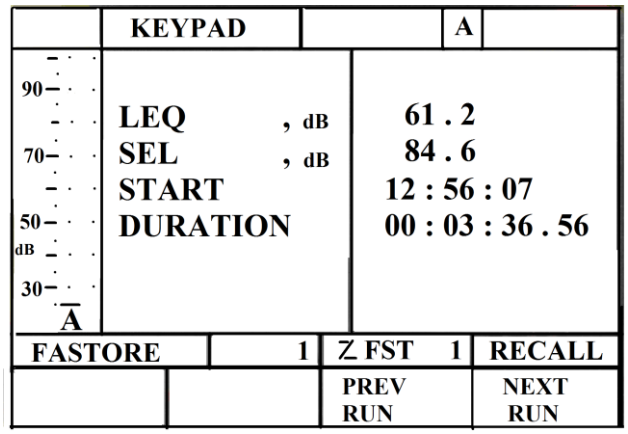


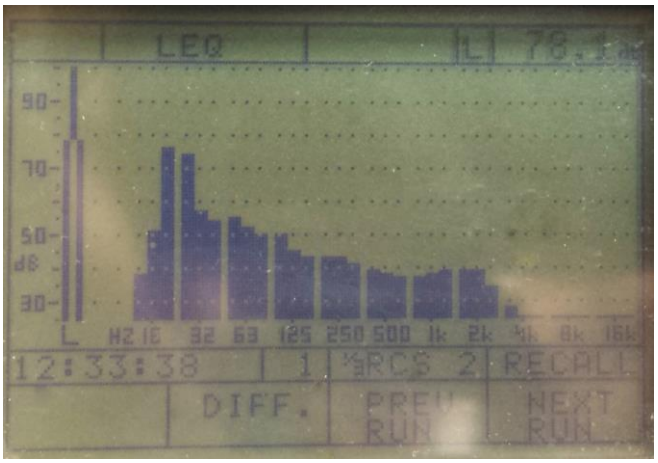


- **Μέτρηση της στάθμης του θορύβου όταν το παράθυρο είναι κλειστό, το μεσημέρι**

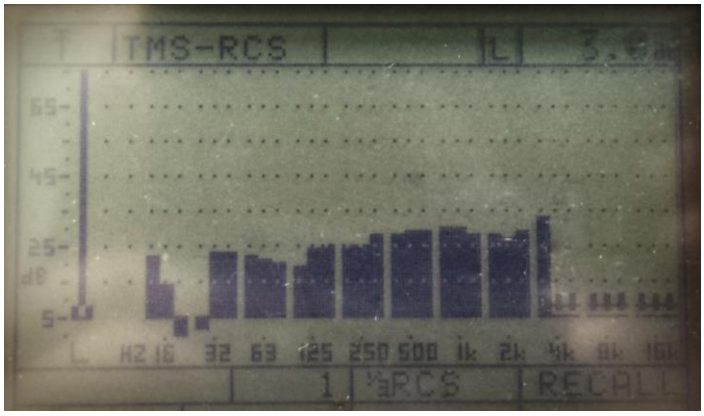


- **Στάθμη του θορύβου όταν το παράθυρο είναι ανοιχτό (20cm)**

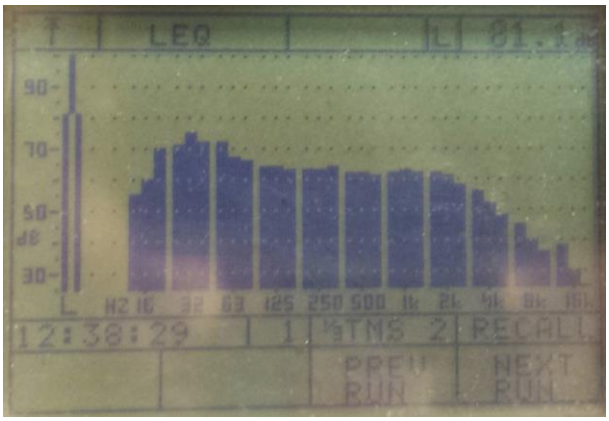


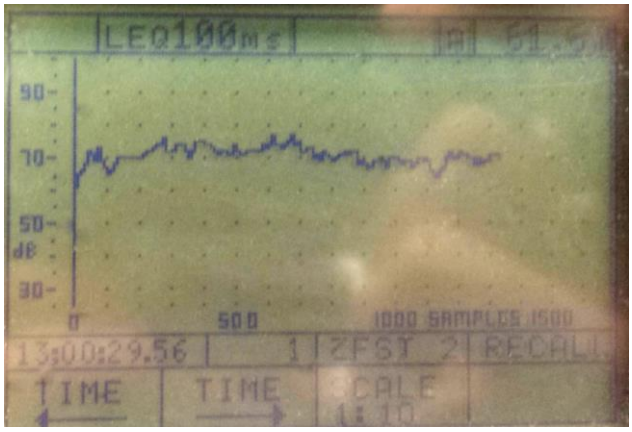


Διαφορά TMS-RCS



- **Μέτρηση της στάθμης του θορύβου όταν το παράθυρο είναι ανοιχτό και το ηχόμετρο εξωτερικά της αίθουσας.**



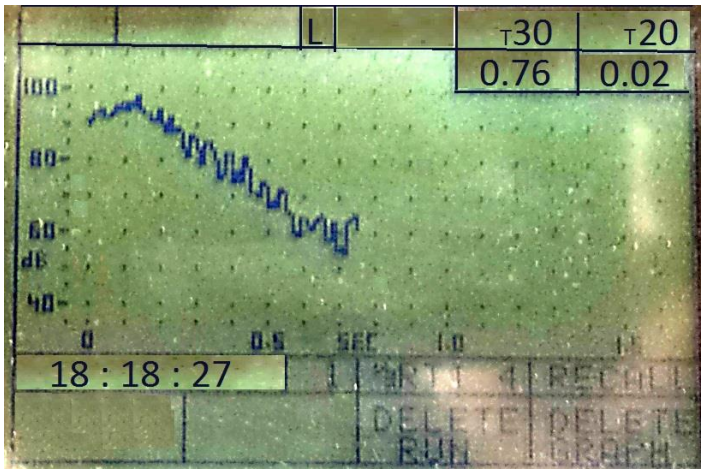


	KEYPAD		A	
90 70 50 dB 30 A	LEQ , dB SEL , dB START DURATION	72 . 0 93 . 3 13 : 00 : 29 00 : 02 : 14 . 56		
FASTORE	1	Z FST 1	RECALL	
		PREV RUN	NEXT RUN	

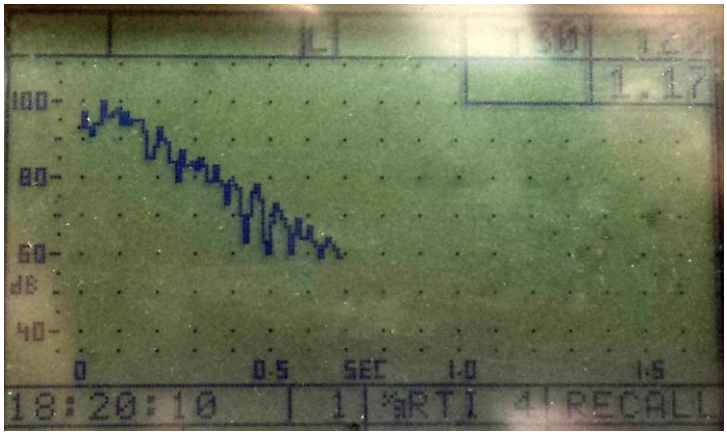
		L	A
90 70 50 dB 30 FLA	SPLF , dB SPLFMAX, dB SPLFMIN , dB LEQ , dB	78 . 0 82 . 6 74 . 5 77 . 5	56 . 4 66 . 2 52 . 8 58 . 0
	LINPEAK , dB	90 . 8	
13 : 10 : 59	1	Z SLM	RECALL
		PREV RUN	NEXT RUN

- **Αίθουσα 14**

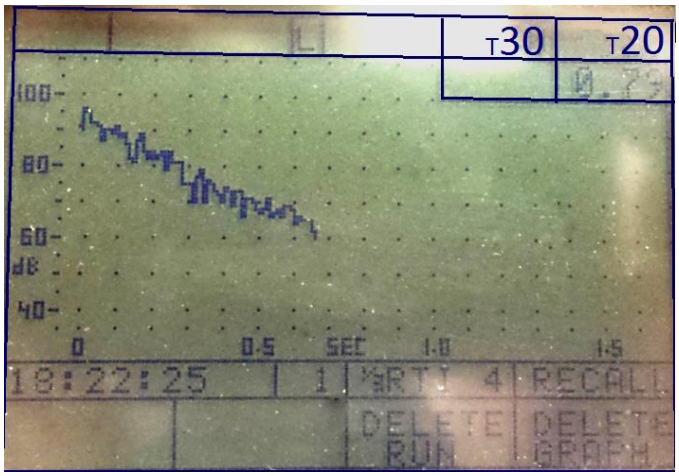
- **Μέτρηση RTI, Θέση A11**



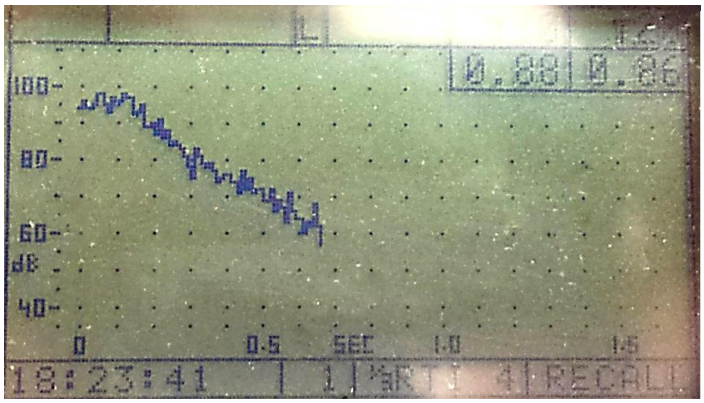
- **Μέτρηση RTI, Θέση A12**



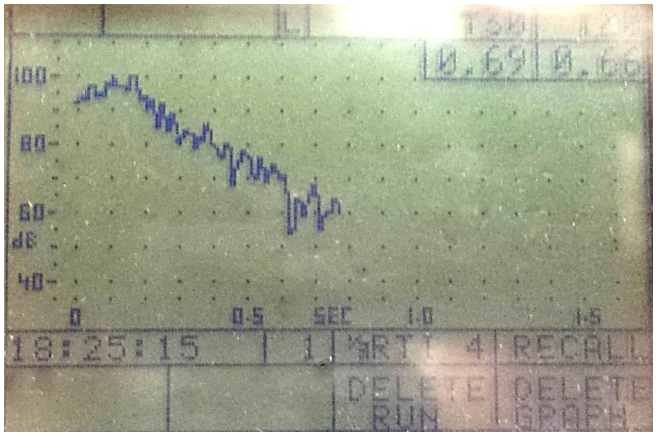
- **Μέτρηση RTI, Θέση A13**



- **Μέτρηση RTI, Θέση A14**



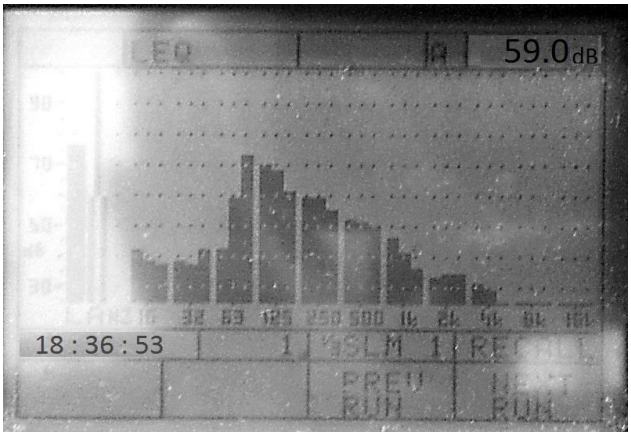
- **Μέτρηση RTI, Θέση A15**

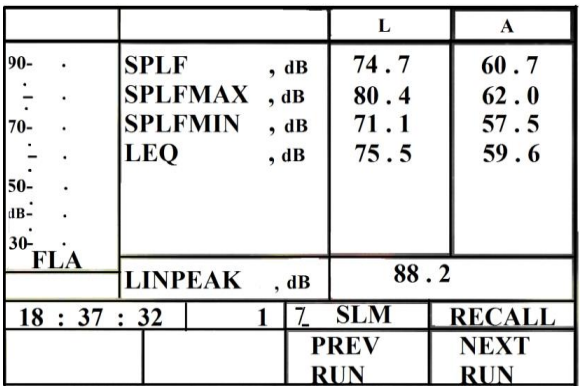


- **Αίθουσα 15**

- **Θέση B4**

Μέτρηση ηχομόνωσης που παρέχει ο τοίχος. Ανάλυση δεδομένων στο 1/3 οκτάβας.





		L	A
90-	SPLF , dB	74 . 7	60 . 7
	SPLFMAX , dB	80 . 4	62 . 0
70-	SPLFMIN , dB	71 . 1	57 . 5
	LEQ , dB	75 . 5	59 . 6
50-			
dB-			
30-			
FLA			
	LINPEAK , dB	88 . 2	
18 : 37 : 32	1	7 SLM	RECALL
		PREV RUN	NEXT RUN

Βιβλιογραφία

Α. Βιβλία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Egan, M. D. (1988). *Architectural acoustics.* NewYork: McGraw-Hill

Everest, F. A. and Pohlmann, C. K. (2009). *Master Handbook of Acoustics* (fifth edition). New York: McGraw-Hill

Irvine, L. K. and Richards, R. L. (1998). *Acoustics and Noise Control Handbook for Architects and Builders.* U.S.: edition Original

Knudsen, O. V. and Harris, M. C. (1978). *Acoustical designing in architecture.* U. St.

Lyons, J. (1981). *Language and Linguistics: An Introduction.* Cambridge: Cambridge University Press

McCue, E. and Talaske, R. H. (1989). *Acoustical Design of Music Education Facilities*. New York: Acoustical Society of America

Yost, A. W. (2000). *Fundamentals of hearing: An introduction* (fourth edition). U. St.: Academic Press

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

Bläsi, W. (2000). *Δομική φυσική: Θερμομόνωση-Ηχομόνωση-Πυροπροστασία.* (Μετάφραση Κασσελούρη Βαρβάρα). Αθήνα: Εκδόσεις Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές

Everest, F. A. (2003). *Εγχειρίδιο Ακουστικής* (3η έκδοση). (Μετάφραση Γαβριηλίδης Λεωνίδας). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα

Gottfried, S. (2008). *Βάσεις σχεδιασμού κτηριακής ηχομόνωσης.* Ανακοίνωση στο 4ο Εθνικό Συνέδριο «Ακουστική 2008», Ξάνθη. ΕΛ.ΙΝ.Α

Keir, L., Wise, B. και Krebs, C. (1996). *Ιατρική βοήθεια και φροντίδα 2. Ανατομία και φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος* (3η έκδοση). (Μετάφραση Ταλαντοπούλου Μαρία). Ελλην

Müller-Wiener, W. (1995). *Η αρχιτεκτονική στην αρχαία Ελλάδα.* (Μετάφραση Μπάρμπαρα Σμιτ-Δούνα). Θεσσαλονίκη: University Studio Press

Αλιβιζάτου, Ρ. Μ. (1984). *Στοιχεία φυσιολογίας για αδελφές νοσοκόμες και τους σπουδαστές των Τ.Ε.Ι.*. Αθήνα: Εκδόσεις Επιστημονικαί- Παρισιανός Κ. Γρ.

Βαλεοντής, Κ. (1981, Ιούνιος). *Φωνηματική στατιστική ανάλυση της ελληνικής γλώσσας*. Ανακοίνωση στο 2ο Διεθνές Επιστημονικό Συμπόσιο Ακουστικής: Από το Αρχαίο Θέατρο Μέχρι Σήμερα, Βόλος. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος: Τμήμα Μαγνησίας

Δημαράς, Α. (1974). *Η Ιστορία της Εκπαιδεύσεως,* (1895- 1967) Αθήνα.. Ερμής και Λέφας, Χρ. (1942). *Η Μεταρρύθμιση που δεν έγινε τόμος Β.* Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Σχολικών Βιβλίων

Ευθυμιάτος, Δ. (2007). *Ακουστική και Κτηριακές Εφαρμογές, Θεωρία και Πράξη*. Αθήνα: Παπασωτηρίου

Ζαφειράτου-Κουλιούμπα, Ελ. (1994). *Γνωριμία με την κώφωση.* Αθήνα: ΕΛΛΗΝ,

Κανδύλης, Ε. Εμ. (2005). *Ακουστική Κτηρίων: θεωρία-λογισμικά-παραδείγματα μετρήσεων*. Αθήνα: Αμερικανικαι Τεχνικαι Επιχειρησεις

Λουτρίδης, Σπ. Ι. (2015). *Ακουστική: αρχές και εφαρμογές.* Θεσσαλονίκη: Τζιόλα

Οκαλίδου, Α. (2001). *Επιπτώσεις του Θορύβου στην Ακοή.* Πάτρα: Αντικωφωτική Οργάνωση Ελλάδος

Πάνος, Κ. Ν. (1998). *Αρχές Φυσικής* (2η έκδοση). Α΄ τόμος. Εκδόσεις Μακεδονικές

Παπανικολάου, Γ. (2005). *Ηλεκτρακουστική* (δεύτερη έκδοση). Θεσσαλονίκη: University Studio Press

Σημαντώνης, Γ. (1981, Ιούνιος). *Ο ρόλος των διεθνών οργανώσεων στην καταπολέμηση του θορύβου*. Ανακοίνωση στο 2ο Διεθνές Επιστημονικό Συμπόσιο Ακουστικής: Από το Αρχαίο Θέατρο Μέχρι Σήμερα, Βόλος. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος: Τμήμα Μαγνησίας

Σκαρλάτος, Δ. (2003). *Εφαρμοσμένη Ακουστική.* Πάτρα: Φιλομάθεια

Σκαρλάτος, Δ., Ζακυνθινός, Τ., Δρακάτος, Π. και Εργάτης, Π. (2002, Σεπτέμβριος). *Επίδραση της ακουστικής των αιθουσών διδασκαλίας στοιχειώδους εκπαίδευσης στην διαδικασία της μάθησης.* Ανακοίνωση στο 1ο εθνικό συνέδριο «Ακουστική 2002». ΕΛ.ΙΝ.Α.

Τσινίκας, Ν. (1990). *Ακουστικός Σχεδιασμός Χώρων.* Θεσσαλονίκη: University Studio Press

Τσινίκας, Ν. (1993). *Αρχιτεκτονική τεχνολογία* (β' έκδοση). Θεσσαλονίκη: University Studio Press

Τσινίκας, Ν. και Τζεκάκης, Μ. (1986). *Πολεοδομική Ηχοπροστασία*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press

Τσουκαλά, Κ. (2010). *Τάσεις στη Σχολική Αρχιτεκτονική: από την παιδοκεντρική λειτουργικότητα στη μεταμοντέρνα προσέγγιση.* Θεσσαλονίκη: Παρατηρητής

Εγκυκλοπαίδεια

Στήβενς, Σ. Σ. και Γονορσκόφσκι, Φ. (©1906-1973). *Ήχος και ακοή.* Συντακτικό επιτελείο ΛΑΪΦ

Β. Επιστημονικά Άρθρα από το Διαδίκτυο

Ξενόγλωσσα άρθρα

"Absorption coefficients". (n.d.) Ανακτήθηκε από: http://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf [Πρόσβαση 7 Μαΐου 2015]

Ana, R. E. E. G., Shendell, G. Derek, Brown, G. E. and Sridhar M. K. C. (2009, July 24). Assessment of Noise and Associated Health Impacts at Selected Secondary Schools in Ibadan, Nigeria. *Journal of Environmental and Public Health*, p. 1-6. Ανακτήθηκε από: http://www.hindawi.com/journals/jeph/2009/739502/ [Πρόσβαση 9 Μαΐου 2014]

Anderson, K. (2010, November 20). Listening and Learning in a Sea of Noise. *American Speech-Language-Hearing-Association (ASHA)*, p. 1-4. Ανακτήθηκε από: http://search.asha.org/default.aspx?q=Listening%20and%20Learning%20in%20a%20Sea%20of%20Noise [Πρόσβαση 9 Δεκεμβρίου 2013]

Armstrong. (2002). *UL Classified Acoustical Performance Summary Ceilings.* Ανακτήθηκε από: http://www.armstrong.com/common/c2002/content/files/2823.pdf [Πρόσβαση 7 Μαΐου 2015]

A.S.H.A. (©1997-2015). Classroom Acoustics. *American Speech-Language-Hearing-Association.* Ανακτήθηκε από: http://www.asha.org/public/hearing/Classroom-Acoustics/ [Πρόσβαση 23 Δεκεμβρίου 2013]

Berg, S. F., Blair, C. J. and Benson, V. P. (1996, January). Classroom Acoustics: The Problem, Impact, and Solution. *Language, Speech and Hearing Services in Schools.* 27, p. 16- 20. Ανακτήθηκε από: http://lshss.asha.org/cgi/content/abstract/27/1/16 [Πρόσβαση 9 Δεκεμβρίου 2013]

Bohler, A. (2012). Influence of Classroom Acoustics on Learning: Audiology News Worth Hearing. *Pediatric nose & throat of Atlanta, P.C.* Ανακτήθηκε από: http://www.childrensent.com/docs/audiology_acoustics_on_learning.pdf [Πρόσβαση 20 Νοεμβρίου 2013]

Brüel and Kjaer. (2013). *Application note: Measuring Speech Intelligibility using DIRAC Type 7841*. Ανακτήθηκε από: http://www.bksv.com/doc/bo0521.pdf [Πρόσβαση 8 Μαΐου 2014]

Brüel and Kjaer. (n.d.). Sound Intensity. Ανακτήθηκε από: http://www.bksv.com/applications/buildingacoustics/sound-intensity [Πρόσβαση 6 Μαρτίου 2015]

DfES project team. (2003). Acoustics design of schools. *Building Bulletin 93*. London. Ανακτήθηκε από: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ [Πρόσβαση 6 Ιουνίου 2014]

Earthman, G. I. (2002, October). School Facility Conditions and Student Academic Achievement. UCLA's Institute for Democracy, Education, and Access. *eScholaship; University of California*, p. 1-18. Ανακτήθηκε από: https://escholarship.org/uc/item/5sw56439 [Πρόσβαση 17 Δεκεμβρίου 2013]

Egan, M. D. (2000). *Architectural Acoustic Workbook*. (e-book) N.Y. Ανακτήθηκε από: http://www.newmanfund.org/wp-content/uploads/2000_Architectural-Acoustics-Workbook_Egan.pdf [Πρόσβαση 5 Μαρτίου 2014]

Gustafson, J. S. T., Hicks, C. B. and Worthington, T. (2011, November 18). Dual-Task Performance of School-Age Children: Listening in noise. *American Speech-Language-Hearing Association*. Ανακτήθηκε από: www.asha.org [Πρόσβαση 9 Δεκεμβρίου 2013]

Jacob, K. D. (1985). Subjective and Predictive Measuresof Speech Intelligibility - The Role of Loudspeaker Directivity. *Journal of the Audio Engineering Society*. 33, p. 950-955. Ανακτήθηκε από: http://worldwide.bose.com/pro/assets/pdf/products/modeler/role_of_qinsti_prediction.pdf [Πρόσβαση 4 Ιουνίου 2015]

Nelson P. B., Solid, S. D. and Seltz A. (2002*). Classroom Acoustics II: Acoustical Barriers to learning*. Technical committee on speech and communication of the acoustical society of America. Ανακτήθηκε από: http://asa.aip.org/classroom/bookletII.pdf [Πρόσβαση 20 Νοεμβρίου του 2013]

Richburg, Mc. C. (2012, November 17). Classroom acoustics from a public health perspective. *ASHA*. Pennsylvania: N.Y. Ανακτήθηκε από: http://www.asha.org/events/convention/handouts/2012/1408-classroom-acoustics-from-a-public-health-perspective-invited/ [Πρόσβαση 9 Δεκεμβρίου 2013]

Russel, D. (1996, July 25). *Superposition of two opposite direction wave pulses*: *Superposition of waves*. Τελευταία ανανέωση: (January 27, 2014), Ανακτήθηκε από: http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html [Πρόσβαση 16 Ιουνίου 2015]

Schimmel, S. M., Müller, M. and Dillier, N. (2008, October 8-10). Efficient and Accurate Room Acoustics Simulation for Binaural Signal Processing.

(ieeexplore digital library. Zurich, Aachen.). ITG-Fachtagung Sprachkommunikation: ORL-Clinic, University Hospital Zurich, Ανακτήθηκε από: http://ieeexplore.ieee.org/ [Πρόσβαση 28 Δεκεμβρίου 2013[5]]

Shield, B. and Dockrell, J. (2005). The effects of noise on education in urban schools. *Proceedings of the Institute of Acoustics*. 27(2). Ανακτήθηκε από: http://www.architecture.com/Files/RIBAHoldings/PolicyAndInternationalRelations/ClientForums/Schools/Events/Archive/2005/LearningEnvironments/TheEffectsOfNoiseOnEducation.pdf [Πρόσβαση 20 Νοεμβρίου 2013]

Ελληνόγλωσσα Άρθρα

Knauf. (2014). *Αίθουσες Διδασκαλίας: Ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών διδασκαλίας, Σχεδιασμός*. Ανακτήθηκε από: http://www.knauf.gr/www/el/ksira_domisi/accoustics/school_accoustics/design/schollaccoustics.php [Πρόσβαση 3 Μαΐου 2014]

Αθανασιάδης, Π. Ι. και Καρατζίδης, Ι. Ε. (2012, Οκτώβριος 10). Ιστορία του Πανεπιστημίου Μακεδονίας. *Πανεπιστήμιο Μακεδονίας*. Ανακτήθηκε από: www.uom.gr. [Πρόσβαση 3 Ιουνίου 2015]

«Ακουστική αιθουσών». (2009), σελ. 1- 34. Ανακτήθηκε από: http://users.auth.gr/~vafiadis/CD_Undergr_2015/Electroacoustics/LESSON_07_sc.pdf [Πρόσβαση 6 Μαΐου 2015]

Βάγια, Β. Ν. (2008). Ίδρυση του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (ΕΛΟΤ): Ιστορικό τυποποίησης, *Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης*. Ανακτήθηκε από: http://www.elot.gr/502_ELL_HTML.aspx [Πρόσβαση 29 Μαΐου 2015]

Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη (ΔΟΛ). (2007). Γιατί το αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου έχει τόσο εξαίρετη ακουστική. Ειδώλια σιγαστήρες. *In.gr*. (26 Μαρτίου). Ανακτήθηκε από: http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=790127 [Πρόσβαση 15 Απριλίου 2015]

Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής. (χ.η.). *Το ινστιτούτο*. Ανακτήθηκε από: http://helina.gr/gr/the-institute/ [Πρόσβαση 28 Μαΐου 2015]

Ζακυνθινός, Κ. Τ. (2007). *Ένα Τροποποιημένο Μοντέλο Σύζευξης για την Βελτιστοποίηση της Ακουστικής Συστήματος Συζευγμένων Χώρων με τη Βοήθεια Συντονιστών* (Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών). Πάτρα. Ανακτήθηκε από: http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/672/1/Διδακτορική%20διατριβή%20Ζακυνθινός.pdf [Πρόσβαση 12 Φεβρουαρίου 2014]

[5] Το συγκεκριμένο άρθρο δεν είναι πλέον ελεύθερα διαθέσιμο διαδικτυακά.

«Η εκπαίδευση στο Βυζάντιο». (2013). Ανακτήθηκε από: http://blogs.sch.gr/gymkmil0/files/2013/02/333.pdf [Πρόσβαση 6 Μαρτίου 2014]

Θεωδοροπούλου, Μ. (©2006-2008). *Αρθρωτής [articulator]*. Πύλη για την ελληνική γλώσσα, Ανακτήθηκε από: http://www.greek-language.gr/greekLang/modern_greek/tools/lexica/glossology/show.html?id=373 [Πρόσβαση 6 Ιουνίου 2015]

Καμπουράκης, Ε. Γ. (2005). Η ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας και οι επιπτώσεις στην επικοινωνία. *Τεχνικά Χρονικά.* Μάιος- Ιούνιος. Ανακτήθηκε από: http://library.tee.gr/digital/techr/2005/techr_2005_3_kabourakis.pdf [Πρόσβαση 30 Ιουνίου 2014]

Καραμανλής, Γ. Κ. (1991, Μάρτιος 5). Προεδρικό διάταγμα 85/91. *Προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 86/188/ΕΟΚ. (ΦΕΚ 38/Α/18-3-1991).* Αθήνα. Ανακτήθηκε από: http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/38-91.1112352252957.pdf [Πρόσβαση 29 Μαΐου 2015]

Καραμέρος, Ν., Αραβαντινού, Μ. κ. συν. (2008). *Ελλάδα: Η Κατάσταση του Περιβάλλοντος.* ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ και ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ. Ανακτήθηκε από: http://www.solon.org.gr/downloads/EKTHESI_2008.pdf [Πρόσβαση 29 Μαΐου 2015]

Κωνσταντινίδης, Κ. Θ. (©1993-2015). Η προαγωγή της υγείας στο χώρο εργασίας είναι μία συντονισμένη προσπάθεια των εργοδοτών, των εργαζομένων και της κοινωνίας, με στόχο τη βελτίωση της υγείας και της ευεξίας των ανθρώπων στο εργασιακό περιβάλλον. ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. Ανακτήθηκε από: http://www.elinyae.gr/el/index.jsp [Πρόσβαση 28 Μαΐου 2015]

Κωστούλα. (χ.η.) *Ηχορύπανση: Θόρυβος-Το Πρόβλημα και οι Επιπτώσεις*. Ανακτήθηκε από: http://repository.edulll.gr/edulll/retrieve/4332/1240.pdf [Πρόσβαση 29 Ιουνίου 2015]

Μπαλαούρας, Π. (2005). *Οδηγός σχεδιασμού, διαμόρφωσης και διαχείρισης χώρων και αιθουσών τηλεκπαίδευσης*. Ακαδημαϊκό διαδίκτυο GUnet. Ανακτήθηκε από: http://elektra.teilar.gr/syncppt/Texnikes%20prodiagrafes%20GUNET%20gia%20tin%20pragmatopoiisi%20tilekpedefseon-Dec2005.pdf [Πρόσβαση 8 Μαΐου 2014]

Οργανισμός σχολικών κτηρίων. (2008). Βασικές Αρχές για Διδακτήρια Όλων των Βαθμίδων. *Οδηγός Μελετών για Διδακτήρια όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης*. Αθήνα, σελ.1-155. Ανακτήθηκε από: http://www.osk.gr/UserFiles/File/Odigos_Meleton.pdf [Πρόσβαση 29 Μαΐου 2015]

Παπαστεφανάκης, Μ. (1989, Ιανουάριος 30). Άρθρο 12. *Κτιριοδομικός Κανονισμός. (ΦΕΚ 59/Δ/3-02-89).* Αθήνα. Ανακτήθηκε από: http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/d59_89.1130149974734.pdf [Πρόσβαση 29 Μαΐου 2015]

Χλέπα, Α. (2002, Μάρτιος 6). Θεατροπαιδεία. *Καθημερινή.* Ανακτήθηκε από: http://www.diazoma.gr/gr/Page_04-04_001.asp. [Πρόσβαση 3 Μαρτίου 2014]

Ψώρα, Π. (©1996-2006). Η ιστορία της εκπαίδευσης στην Ελλάδα, *Παιδεία*. Ανακτήθηκε από: http://www.pedia.gr/edu/histg.html. [Πρόσβαση 6 Μαρτίου 2014]

Γ. Διαδικτυακές πηγές εικόνων

http://fridge.gr/59149/stiles/beep/. [Πρόσβαση 24 Μαρτίου 2014]

http://www.tovima.gr/science/article/?aid=405805. [Πρόσβαση 21 Μαΐου 2014]

https://www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/waves-and-vibrations-15/waves-125/longitudinal-waves-439-5596/images/longitudinal-waves]. [Πρόσβαση 26 Μαΐου 2015]

http://www.hellenica.de/Physik/Anaklasi.html [Πρόσβαση 20 Φεβρουαρίου 2015]

http://infoacoustics.blogspot.gr/2012/05/blog-post_19.html [Πρόσβαση 26 Μαΐου 2015]

http://www.houseservice.gr/service.php?sid=41 [Πρόσβαση 23 Φεβρουαρίου 2015]

http://www.greekdivers.com/mag/el/content/texniki-eksisosis-frenzel [Πρόσβαση 4 Μαρτίου 2014]

http://www.oncoursesystems.com/school/webpage/482441/818695 [Πρόσβαση 28 Μαΐου 2015]

http://akoustika-varikoias-elak.gr/akoustika-varikoias-to-ekso-ous.html [Πρόσβαση 26 Ιουλίου 2014]

http://armyaviation.wordpress.com/2010/05/19/ακοη-και-θορυβοσ-στην-αεροπορια/ [Πρόσβαση 26 Ιουλίου 2014]

http://www.roger-russell.com/hearing/hearing.htm [Πρόσβαση 21 Δεκεμβρίου 2014]

http://www.artsound.gr/catalog/mackie-aytoenisxyomeno-ixeio-p-1676.html [Πρόσβαση 14 Απριλίου 2015]

Δ. Άρθρο για περαιτέρω μελέτη

Αραμπατζή, Κ. (2010). *Ακουστική αιθουσών διδασκαλίας. Μελέτη των διεθνών προτύπων και κανονισμών. Πραγματοποίηση μετρήσεων σε αίθουσες διδασκαλίας στην Κρήτη για την αποτίμηση της ακουστικής ποιότητας των ελληνικών σχολικών κτηρίων* (Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης). Ρέθυμνο. Ανακτήθηκε από: http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/mta/2010/ArampatziKaterina/attached-document-1277886271-790475-3451/Arampatzi_Katerina.pdf [Πρόσβαση 9 Δεκεμβρίου 2013]