

ΜΕΛΕΤΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ  
ΣΤΗΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ 1 ΤΟΥ ΠΔΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ  
ΜΑΘΗΜΑ: ΠΤΥΧΙΑΚΗ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΜΠΟΜΠΟΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ  
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2022-2023

ΚΟΥΣΟΥΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ** ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

**ΤΜΗΜΑ** ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

## **Πτυχιακή/ Διπλωματική Εργασία**

### **Τίτλος εργασίας**

Μελέτη ακουστικής ποιότητας αιθουσών διδασκαλίας στην Πανεπιστημιούπολη 1 του ΠΔΑ

**Συγγραφέας/είς**

**Όνοματεπώνυμο** ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΥΣΟΥΝΗΣ

**ΑΜ:** 18675034

**Επιβλέπων/ουσα:**

**Όνοματεπώνυμο** ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΟΜΠΟΛΟΣ

**Αθήνα, Μήνας Έτος** ΙΟΥΛΙΟΣ 2023





**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL**  
**DEPARTMENT INTERIOR ARCHITECTURE**

## **Diploma Thesis**

### **Title**

Audio quality study of classrooms of Campus 1 of the University of West Attica

**Student name and surname:** KONSTANTINOS KOUSOUNIS

**Registration Number:** 18675034

**Supervisor name and surname:** NIKOLAOS BOBOLOS

**Athens, Month Year** JULY 2023



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ** ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

**ΤΜΗΜΑ** ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

### Τίτλος εργασίας

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΟΜΠΟΛΟΣ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ	
	ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΑΝΑΣΤΑΣΑΚΗΣ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	
	ΣΟΦΙΑ ΡΙΖΟΠΟΥΛΟΥ	ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΗ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΥΣΟΥΝΗΣ.....  
ΦΕΛΙΞ-Ι ΕΩΡΙ ΙΟΥ  
του..... με αριθμό μητρώου 18675034 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ  
της Σχολής..... του Τμήματος ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

*\*Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Ο/Η Δηλών/ούσα



(Υπογραφή)

**\* Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα**

**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**

*\* Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός περιορισμός πρόσβασης (embargo) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ούσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):*

[https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82\\_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81\\_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85\\_final.pdf](https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf)

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	8
2. Ακουστική.....	9
2.1 Ορισμός της Ακουστικής.....	9
2.2 Υποδιαιρέσεις της ακουστικής.....	9
2.3 Αρχιτεκτονική ακουστική.....	9
3. Η σημασία της ακουστικής ποιότητας στους χώρους εκπαίδευσης.....	11
3.1 Κανονισμοί σχετικά με την ακουστική του χώρου.....	11
3.2 Η σημασία της ακουστικής μελέτης.....	11
4. Μεθοδολογία.....	15
4.1 Ακουστική Ποιότητα.....	15
4.1.1 Ανάκλαση-διάχυση-απορρόφηση.....	15
4.1.2 Μετάδοση σε ελεύθερο/ανακλώμενο ή αντηχητικό πεδίο.....	16
4.1.3 Ηχώ και αντήχηση.....	18
4.2 Μέθοδος Sabine.....	19
4.3 Άλλες μέθοδοι ελέγχου ακουστικής ποιότητας.....	23
4.4 Μεθοδολογία μελέτης ακουστικής ποιότητας αιθουσών διδασκαλίας στην Πανεπιστημιούπολη 1 του ΠΔΑ.....	24
5. Μελέτη ακουστικής ποιότητας αιθουσών διδασκαλίας στην Πανεπιστημιούπολη 1 του ΠΔΑ.....	26
5.1 Κριτήρια επιλογής αιθουσών διδασκαλίας.....	26
5.2 Πρώτο στάδιο μελέτης, επιλογή και αποτύπωση αιθουσών διδασκαλίας.....	26
5.3 Δεύτερο στάδιο μελέτης, υπολογισμός του μέσου χρόνου αντήχησης των αιθουσών.....	42
5.4 Τρίτο στάδιο μελέτης, ακουστική διόρθωση των αιθουσών.....	44
5.4.1 Τρόπος επιλογής τοποθέτησης ηχοαπορροφητικών επιφανειών στις αίθουσες.....	44
5.4.2 Εναλλακτική λύση 1: Κατασκευή από διάτρητη γυψοσανίδα πάχους 10mm πάνω σε μεταλλικό σκελετό στην οροφή.....	44
5.4.3 Εναλλακτική λύση 2: Τοποθέτηση ακουστικών πάνελ πάχους 50mm στην οροφή.....	66
6. Συμπεράσματα.....	85
6.1 Συμπεράσματα για την ακουστική των αιθουσών που μελετήθηκαν.....	85
6.2 Συμπεράσματα για τις εναλλακτικές λύσεις ακουστικής διόρθωσης/βελτίωσης που προτάθηκαν.....	85
7. Βιβλιογραφία.....	87

## Κατάλογος εικόνων, πινάκων, σχεδίων, διαγραμμάτων:

Εικόνα	Θέμα	Σελίδα
E-1	Διαφορετικοί τύποι ανακλαστικών επιφανειών	15
E-2	Μετάδοση σε ελεύθερο και ανακλώμενο πεδίο	17
E-3	Μετάδοση σε ελεύθερο και ανακλώμενο πεδίο	17
E-4	Μετάδοση σε ελεύθερο και ανακλώμενο πεδίο	17
E-5	Αντήχηση	18
E-6	Clement Wallace Sabine	19
E-7	Clement Wallace Sabine	19
E-8	Χρόνος αντήχησης Tr	20
E-9	Μέσοι χρόνοι αντήχησης για διαφορετικούς χώρους	21
E-10	Μέσοι χρόνοι αντήχησης για διαφορετικούς χώρους	21
E-11	Ομοιόμορφη και ανισομερής ηχοαπορρόφηση	23
E-12	Χρόνος αντήχησης Tr, T30, T20	24
E-13	Όρια μέσου χρόνου αντήχησης σύμφωνα με τον γαλλικό κανονισμό	25
E-14	Κάτοψη ΠΔΑ, με κτίρια και αίθουσες μελέτης	26
E-15	K4 025	27
E-16	K5 104	28
E-17	K6 108	29
E-18	K7 002	30
E-19	K8 105	31
E-20	K9 102	32
E-21	K9 006	33
E-22	K10 018	34
E-23	K10 118	35
E-24	K11 126	36
E-25	K11 123	37
E-26	K12 001	38
E-27	K13 001	39
E-28	K13 005	40
E-29	K16 006	41
E-30	Έλεγχος μέσων χρόνων αντήχησης αιθουσών με πρότυπο αλγόριθμο στο πρόγραμμα Excel	43
E-31	Σκελετός στήριξης γυψοσανίδας	45
E-32	Τεχνική στοκαρίσματος γυψοσανίδας	45
E-33	Προοπτικό σχέδιο σκελετού ανάρτησης γυψοσανίδας	46
E-34	Προοπτικό σχέδιο σκελετού ανάρτησης γυψοσανίδας	46
E-35	Πίνακας συντελεστή ηχοαπορρόφησης α για την πρώτη εναλλακτική λύση	47
E-36	Λεπτομέρεια ψευδοροφής	48
E-37	Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 1	49
E-38	K4 025 (Πρώτη λύση)	50
E-39	K5 104 (Πρώτη λύση)	51
E-40	K6 108 (Πρώτη λύση)	52
E-41	K7 002 (Πρώτη λύση)	53
E-42	K8 105 (Πρώτη λύση)	54
E-43	K9 102 (Πρώτη λύση)	55
E-44	K9 006 (Πρώτη λύση)	56
E-45	K10 018 (Πρώτη λύση)	57
E-46	K10 118 (Πρώτη λύση)	58
E-47	K11 126 (Πρώτη λύση)	59
E-48	K11 123 (Πρώτη λύση)	60
E-49	K12 001 (Πρώτη λύση)	61
E-50	K13 001 (Πρώτη λύση)	62
E-51	K13 005 (Πρώτη λύση)	63
E-52	K16 006 (Πρώτη λύση)	64
E-53	Πίνακας Excel με τις τιμές της λύσης 1	65
E-54	Φωτογραφία λύσης 2	66
E-55	Φωτογραφία λύσης 2	66
E-56	Τεχνικά χαρακτηριστικά και συντελεστής ηχοαπορρόφησης α εναλλακτικής λύσης 2	67
E-57	Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2	68
E-58	Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2 (εναλλακτική 1)	68
E-59	Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2 (εναλλακτική 2)	68
E-60	K4 025 (Δεύτερη λύση)	69
E-61	K5 104 (Δεύτερη λύση)	70
E-62	K6 108 (Δεύτερη λύση)	71
E-63	K7 002 (Δεύτερη λύση)	72
E-64	K8 105 (Δεύτερη λύση)	73
E-65	K9 102 (Δεύτερη λύση)	74
E-66	K9 006 (Δεύτερη λύση)	75
E-67	K10 018 (Δεύτερη λύση)	76
E-68	K10 118 (Δεύτερη λύση)	77
E-69	K11 126 (Δεύτερη λύση)	78
E-70	K11 123 (Δεύτερη λύση)	79
E-71	K12 001 (Δεύτερη λύση)	80
E-72	K13 001 (Δεύτερη λύση)	81
E-73	K13 005 (Δεύτερη λύση)	82
E-74	K16 006 (Δεύτερη λύση)	83
E-75	Πίνακας Excel με τις τιμές της λύσης 2	84
E-76	Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας χωρίς καμία επέμβαση	86



## 1. Εισαγωγή

Η εργασία που εκπονείται έχει ως σκοπό την μελέτη της ακουστικής ποιότητας των αιθουσών διδασκαλίας της Πανεπιστημιούπολης 1 του ΠΔΑ. Πιο συγκεκριμένα γίνεται μια δειγματοληπτική μελέτη, από 15 αίθουσες του ΠΔΑ, κατά την οποία εξετάζεται εάν η ακουστική των χώρων αυτών είναι επαρκής. Επίσης στην περίπτωση που βρεθούν προβλήματα θα προταθούν και οι αντίστοιχες λύσεις. Το περιεχόμενο της εργασίας αποτελείται από το θεωρητικό και το πρακτικό κομμάτι.

Στο θεωρητικό κομμάτι το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην ακουστική σαν έννοια, στις υποδιαίρεσεις της, την σημαντικότητα της ακουστικής σε έναν εσωτερικό χώρο, τους κανονισμούς σχετικά με αυτήν, τις επιπτώσεις της κακής ακουστικής σε έναν χώρο και την αναλυτικής μεθοδολογία κατά την οποία γίνεται η μελέτη της ακουστικής στο πρακτικό σκέλος της εργασίας.

Στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας γίνεται η μελέτη των αιθουσών διδασκαλίας σύμφωνα με το μοντέλο Sabine για κάθε αίθουσα ξεχωριστά. Δηλαδή κάθε αίθουσα εξετάζεται έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν η ακουστική της είναι σωστή. Στην περίπτωση που η ακουστική των αιθουσών αυτών δεν είναι η απαιτούμενη θα παρουσιαστούν και προτάσεις διόρθωσης. Ενώ τέλος συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη όπως και το ποσοστό καλής ακουστικής στις αίθουσες που έγινε η μελέτη.

## 2. Ακουστική

### 2.1 Ορισμός της Ακουστικής

Η ακουστική είναι ο κλάδος της φυσικής που μελετά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ήχου, καθώς επίσης και τις εφαρμογές του. Μεταξύ των άλλων μελετά την παραγωγή, τη μετάδοση και τη λήψη του ήχου στα διάφορα υλικά μέσα, καθώς επίσης και τις τεχνικές ελέγχου και επεξεργασίας για την εκμετάλλευση του ήχου σε εξειδικευμένες εφαρμογές.<sup>1</sup>

### 2.2 Υποδιαιρέσεις της ακουστικής

Οι υποδιαιρέσεις της ακουστικής είναι αρκετές και κατατάσσονται σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- Φυσική ακουστική
- Βιολογική ακουστική
- Ακουστική μηχανική

Σύμφωνα με την κωδικοποίηση PACS (Physics and Astronomy Classification Scheme) και από την Acoustical Society of America.<sup>2</sup>

Σε αυτήν την μελέτη θα δοθεί περισσότερη έμφαση στην ακουστική των εσωτερικών χώρων και πιο συγκεκριμένα των αιθουσών διδασκαλίας. Για την μελέτη της ακουστικής των χώρων αυτών θα επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας στους κλάδους της ακουστικής δομικών κατασκευών και ελέγχου κραδασμών/δονήσεων (structural acoustics - noise, shocks and vibrations control)<sup>3</sup> και της αρχιτεκτονικής ακουστικής ή ακουστική χώρων (architectural/building/theater/studio/room acoustics)<sup>4 5</sup> που ανήκουν στην κατηγορία της ακουστικής μηχανικής όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

### 2.3 Αρχιτεκτονική ακουστική

Η ακουστική χώρων ή αλλιώς αρχιτεκτονική ακουστική είναι η εφαρμοσμένη επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη και τη συμπεριφορά του ήχου σε κλειστούς χώρους αλλά και την αλληλεπίδραση του με τα διάφορα αντικείμενα στο εσωτερικό των χώρων αυτών, με σκοπό τον έλεγχο του παραγόμενου ηχητικού αποτελέσματος, του επιπέδου θορύβου και των αντηχήσεων.<sup>6</sup>

Η μελέτη της ακουστικής των χώρων γίνεται με διάφορα μοντέλα όπως τα εμπειρικά μοντέλα των Sabine και Eyring, που παρέχουν προσεγγιστικές εκτιμήσεις ακρίβειας οκτάβας. Η μέθοδος Sabine είναι πιο ακριβής για χώρους με αντανακλαστικές επιφάνειες με συντελεστή  $\alpha < 0,3$ , ενώ η μέθοδος Eyring χρησιμοποιείται συνήθως για χώρους με επιφάνειες υψηλής

---

<sup>1</sup> ΙΕΚ ΔΕΛΤΑ

<sup>2</sup> Acoustical Society of America 2013

<sup>3</sup> Structural Acoustics & Vibration Technical Committee 2013

<sup>4</sup> Morfey, C. 2001

<sup>5</sup> Templeton, D. 1993

<sup>6</sup> Βικιπαίδεια, Ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια 2021

απορροφητικότητας<sup>7</sup>. Στις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις (όπως είναι οι χώροι παιδικής φροντίδας, υγειονομικής περίθαλψης, εκπαίδευσης και εργασίας) η *ακουστική διόρθωση με βάση την υπόθεση του Sabine οδηγεί σε ικανοποιητικά αποτελέσματα*<sup>8</sup>. Άλλα μοντέλα μελέτης ακουστικής είναι τα υπολογιστικά μοντέλα των μεθόδων των πεπερασμένων στοιχείων FEM (Finite Element Method), των συνοριακών στοιχείων BEM (Boundary Element Method), των πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου FDTD (Finite Difference Time Domain) και τέλος τη γεωμετρική θεωρία διάδοσης με ηχητικές ακτίνες (μέθοδοι ακτίνων, ειδώλων, ακουστικών δευμών).

Σε ένα περιβάλλον/χώρο υπάρχουν ήχοι που είναι επιθυμητοί και ήχοι που είναι ανεπιθύμητοι. Οι ήχοι αυτοί προέρχονται είτε από το εξωτερικό είτε από το εσωτερικό ενός χώρου. Έτσι δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη του ελέγχου των ήχων αυτών μέσα στο ανθρωπογενές περιβάλλον/χώρο. Ο έλεγχος αυτός λοιπόν ονομάζεται ακουστικός σχεδιασμός ή αλλιώς αρχιτεκτονική ακουστική.

Ο σκοπός του ακουστικού σχεδιασμού είναι ο έλεγχος της μετάδοσης του ήχου, μέσω του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, έτσι ώστε να παράγονται τα επιθυμητά αποτελέσματα για τους χρήστες των εσωτερικών και εξωτερικών χώρων που σχεδιάζουν ο άνθρωποι. Ο ακουστικός σχεδιασμός, ή όπως αλλιώς ονομάζεται αρχιτεκτονική ακουστική, ως μέρος του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού αποτελεί, κατά κύριο λόγο, μέρος της οικοδομικής τέχνης.

Στις ανεπτυγμένες χώρες του 21 αιώνα οι άνθρωποι περνάνε ένα ποσοστό περίπου 90% της ζωής τους σε κλειστούς χώρους όπου η ποιότητα της ζωής τους, η παραγωγικότητα αλλά και η δημιουργικότητα τους καθορίζονται σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό από τις ακουστικές συνθήκες, των οποίων οι απαιτήσεις αυξάνονται συνεχώς. Συνεπώς τα ζητήματα της ηχοπροστασίας και της ακουστικής ποιότητας κρίνονται όλο και περισσότερο ως σημαντικοί παράγοντες του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού.

Με τον ακουστικό σχεδιασμό και την ακουστική βελτίωση/διόρθωση αντιμετωπίζονται οι ανάγκες ακουστικής ποιότητας σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Οι μελέτες ακουστικής βελτίωσης σχετίζονται τις περισσότερες φορές με χώρους συνομιλίας, ακρόασης ομιλίας, ή μουσικής για τη βελτίωση της ποιότητάς της (σε χώρους επικοινωνίας, εκπαίδευσης, εκδηλώσεων, μουσικής, στούντιο ηχογράφησης και μετάδοσης ρ/τ εκπομπών).

Ο ακουστικός σχεδιασμός κτιρίων μπορεί να σχετίζεται με νέες ή και υφιστάμενες κατασκευές. Στις ανεπτυγμένες χώρες, που η αναφορά σε οικοδομική δραστηριότητα αναφέρεται συνήθως σε ανακαινίσεις, εκσυγχρονισμό ή και επαναχρησιμοποίηση του κτιριακού δυναμικού, ο ηχητικός και ακουστικός σχεδιασμός εφαρμόζεται και σε υφιστάμενα κελύφη.

---

<sup>7</sup> Passero, C. ; Zannin P. 2010

<sup>8</sup> Μπόμπολος, Ν. 2021

### **3. Η σημασία της ακουστικής ποιότητας στους χώρους εκπαίδευσης**

Οι ακουστικές συνθήκες στο εσωτερικό των αιθουσών και άλλων χώρων διδασκαλίας επηρεάζονται από δύο παράγοντες, την ηχοπροστασία τους (εξωτερικοί παράγοντες) και την ακουστική τους ποιότητα (εσωτερικοί παράγοντες). Τόσο η ανεπαρκής ηχοπροστασία, όσο και η κακή ακουστική ποιότητα στο εσωτερικό των αιθουσών διδασκαλίας συμβάλλουν στην αύξηση της έντασης των φωνών και συνεπώς του εσωτερικού θορύβου και άρα στην περαιτέρω μείωση της καταληπτότητας του λόγου.

#### **3.1 Κανονισμοί σχετικά με την ακουστική του χώρου**

Στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν θεσπιστεί κανονισμοί για την ακουστική ποιότητα των κλειστών χώρων. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν ακόμη συγκεκριμένοι κανονισμοί (ή κάποιο σχετικό ρυθμιστικό πλαίσιο) για την ακουστική ποιότητα των εσωτερικών χώρων καθώς ο κτιριοδομικός κανονισμός αφορά μόνο την ηχοπροστασία από θορύβους που προέρχονται από το εξωτερικό κάθε κλειστού χώρου (ηχομόνωση) και όχι την ακουστική ποιότητα στο εσωτερικό αυτών.

#### **3.2 Η σημασία της ακουστικής μελέτης**

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία και τον λέκτορα του τομέα επικοινωνιών ηλεκτρονικής και συστημάτων πληροφορικής του ερευνητικού εργαστήριου ακουστικών σημάτων και τεχνολογίας ΜΜΕ της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ Γιώργο Καμπουράκη<sup>9</sup>, οι κακές ακουστικές συνθήκες στις αίθουσες διδασκαλίας ενοχοποιούνται για μαθησιακές δυσκολίες των παιδιών. Ενώ σε πολλές περιπτώσεις οφείλονται και για τις χαμηλές επιδόσεις τους στις εξετάσεις, όπου γίνονται σε θορυβώδεις αίθουσες στις οποίες υπάρχει μειωμένη καταληπτότητα του λόγου. Από την εμπειρία, που αποκτήθηκε από επισκέψεις του ερευνητικού εργαστηρίου ακουστικών σημάτων και τεχνολογίας ΜΜΕ, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ<sup>10</sup>, σε διάφορα σχολεία μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τόσο οι καθηγητές όσο και οι μαθητές υποφέρουν από τις συνθήκες θορύβου που επικρατούν στις αίθουσες διδασκαλίας αλλά και στα αμφιθέατρα πολλών πανεπιστημίων της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. *Στα ιδιωτικά εκπαιδευτήρια η κατάσταση είναι εν γένει παρόμοια ή και χειρότερη από εκείνη της δημόσιας εκπαίδευσης*<sup>11</sup>.

Στον ελληνικό χώρο δεν έχουν γίνει συστηματικές μετρήσεις, που να επιτρέπουν την εκτίμηση της κατάστασης των αιθουσών όσον αφορά στην ακουστική τους επάρκεια. Από σποραδικές μετρήσεις του ερευνητικού εργαστηρίου ακουστικών σημάτων και τεχνολογίας ΜΜΕ, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ<sup>12</sup>, σε σχολεία όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης, δημόσιας και ιδιωτικής, διατυπώνεται η υπόθεση ότι τα σχολεία έχουν σοβαρό πρόβλημα θορύβου και χαμηλής καταληπτότητας. Άλλωστε οι

---

<sup>9</sup> Καμπουράκης, Γ. 2005

<sup>10</sup> ό.π.

<sup>11</sup> ό.π.

<sup>12</sup> ό.π.

προδιαγραφές με τις οποίες κατασκευάστηκε η πλειονότητα των αιθουσών διδασκαλίας, δεν περιείχαν ειδικές κατευθύνσεις που να αφορούν στην ακουστική τους.

Στις περισσότερες τάξεις της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης υπάρχουν παιδιά με «αδυναμία συγκέντρωσης» που τρέχουν ασκόπως η θορυβούν χωρίς λόγο και προσπαθούν γενικά να τραβήξουν την προσοχή των άλλων στο άτομό τους, τόσο ώστε σε μερικές περιπτώσεις η διδασκαλία γίνεται αδύνατη. Η προσπάθεια των διδασκόντων να ανταπεξέλθουν σε τέτοιου είδους συνθήκες έχει επιπτώσεις στην υγεία τους<sup>13</sup>. Το ζήτημα αυτό δεν καλύπτεται επαρκώς ερευνητικά. Όμως και στις άλλες εκπαιδευτικές βαθμίδες το ζήτημα του θορύβου είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον οποίο δεν έχει δοθεί ηρέπουσα σημασία.

Οι Allen, Wightman, Kistler και Dolan (1988) έχουν δείξει ότι η δυνατότητα των νηπίων να διακρίνουν συχνότερες αναπτύσσεται προς το τέλος του 3ου έτους της ζωής τους<sup>14</sup>. Έτσι κατά συνέπεια, το περιβάλλον θορύβου σ' αυτή την ηλικία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση των παιδιών, στις προσπάθειές τους να μάθουν τους αριθμούς ή ακόμα και να δοκιμάσουν να διαβάσουν αλλά κυρίως να αναπτύξουν την ικανότητα της ομιλίας.

Οι Maxwell και Evans (1988)<sup>15</sup>, μελετώντας το ακουστικό περιβάλλον ενός παιδικού σταθμού, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η κακή ακουστική του σταθμού δημιουργούσε προβλήματα στα παιδιά όσον αφορά στην ανάπτυξη των μαθησιακών δεξιοτήτων τους. Βελτιώνοντας τις ακουστικές συνθήκες του σταθμού βελτιώθηκε και η απόδοση των παιδιών.

Εκτεταμένες έρευνες στην Φινλανδία<sup>16</sup> που έγιναν σε πληθυσμό 200 δασκάλων-νηπιαγωγών από 25 κέντρα προσχολικής φροντίδας, έδειξαν ότι οι φωνητικές διαταραχές των δασκάλων οφείλονταν στην κακή ακουστική των αιθουσών η οποία τους ανάγκαζε να μιλούν με υψηλή φωνή για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Από ερευνητικές επισκέψεις σε νηπιαγωγεία και παιδικούς σταθμούς του Λεκανοπεδίου Αττικής<sup>17</sup>, διαπιστώθηκε ότι το ζήτημα των ακουστικών συνθηκών έχει την χαμηλότερη προτεραιότητα στην κλίμακα αναγκών κατά την συγκρότηση αυτών των δραστηριοτήτων. Σχετικά με την πρωτοβάθμια και την δευτεροβάθμια εκπαίδευση, είναι σκόπιμο πριν αναφερθούμε στα συμβαίνοντα στον ελληνικό χώρο, από την άποψη της ακουστικής επάρκειας των αιθουσών διδασκαλίας, να αναφερθούμε σε άλλες χώρες. Από την διεθνή βιβλιογραφία<sup>18</sup> προκύπτει ότι σε πολλές περιπτώσεις ο εσωτερικός θόρυβος (που προκύπτει από την κακή ακουστική) έχει δυσμενείς συνέπειες στις σχολικές επιδόσεις των παιδιών και τη μαθησιακή τους ανάπτυξη, ενώ επιδρά κυρίως στις λειτουργίες λόγου.

Στις ΗΠΑ (1998) υπό την αιγίδα της Ακουστικής Εταιρείας (Acoustical Society of America) συνετάγη σύνολο προτύπων και οδηγιών προς περαιτέρω επεξεργασία, για τη βελτίωση μεγάλου αριθμού σχολείων με ανεπαρκή ακουστική. Είχαν προηγηθεί σχετικές δημοσιεύσεις, όπου φαινόταν η ότι η ακουστική των περισσότερων αιθουσών ήταν

---

<sup>13</sup> Piper, A. ; Szymanek, P. 1998

<sup>14</sup> Καμπουράκης, Γ. 2005

<sup>15</sup> Evans, G. W. 1998

<sup>16</sup> Sala, E. ; Airo, E. ; Lain, A. ; Olkinuora, P. ; Pentti, J. ; Suonpää, J. 1998

<sup>17</sup> Καμπουράκης, Γ. 2005

<sup>18</sup> DeJoy, D. M. 1983



ανεπαρκής<sup>19 20</sup>. Στη σχετική έκθεση των Picard και Bradley<sup>21</sup> αναφέρεται ότι οι τιμές θορύβου εσωτερικά στις αίθουσες υπερβαίνουν την μέγιστη τιμή (40dBA) κατά 4 έως 38 dBA.

Ο βασικός τρόπος επικοινωνίας στα σχολεία είναι μέσω του λόγου. Επιπροσθέτως ο θόρυβος, μέσα στις αίθουσες, επηρεάζει τις μαθησιακές λειτουργίες με τις οποίες σχετίζεται έμμεσα ή άμεσα ο λόγος. Ήδη από το 1978 έχει αναφερθεί η παρεμπόδιση της διάκρισης των ήχων από το εσωτερικό θόρυβο<sup>22</sup>. Τα ευρήματα της αρχικής έρευνας των Finitzo και Tillman έχουν έκτοτε επιβεβαιωθεί αρκετές φορές και είναι προφανές πλέον, ότι σε ένα περιβάλλον θορύβου, οι μαθητές έχουν πρόβλημα να διακρίνουν «καθαρά» τα λεγόμενα των δασκάλων τους και μάλιστα όχι μόνο όσοι έχουν προβλήματα ακοής αλλά και εκείνοι με κανονική ικανότητα ακοής. Η ικανότητα των παιδιών να διακρίνουν τις λέξεις ερευνήθηκε επίσης από τους Geffner Lucker και Koch (1996)<sup>23</sup>. Στην έρευνα αυτή συγκρίθηκε η διακριτική ικανότητα παιδιών στην ηλικία μεταξύ 7 και 12 ετών, με ή χωρίς προβλήματα ακοής.

Τα παιδιά με προβλήματα ακοής ήταν κατά κανόνα και υπερκινητικά, οπότε εξετάστηκαν όχι στο σχολείο αλλά σε κλινική. Και οι δύο ομάδες παιδιών εξετάθηκαν σε όμοιους θορύβους (λόγος με νόημα, λόγος χωρίς νόημα, τυχαίος θόρυβος εντευκτηρίου). Παρατηρήθηκε ότι σε ήσυχο περιβάλλον δεν υπήρχαν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων, αντίθετα, υπό καθεστώς θορύβου, τα παιδιά με προβλήματα ακοής είχαν σημαντική μείωση της διακριτικής ικανότητας λέξεων. Επιβεβαιώθηκαν έτσι τα παλαιότερα ευρήματα των Nober<sup>24</sup><sup>25</sup>. Είχε ήδη προηγηθεί η έκθεση Spreng (1994)<sup>26</sup> σχετική με τη παρεμπόδιση της λεκτικής επικοινωνίας μεταξύ ατόμων με κανονική ακοή, από το θόρυβο.

Στην έκθεση αυτή εξετάζεται η εξάρτηση της καταληπτότητας από τη στάθμη του παρεμβαίνοντος θορύβου και τη χρονο-συχνотική σύνθεσή του, το χρόνο αντήχησης του χώρου εντός του οποίου συντελείται η επικοινωνία, την απόσταση μεταξύ ομιλητή - ακροατή, την ένταση του λόγου και την οπτική επιπρόσθετη πληροφορία, την παραμόρφωση του λόγου, τις μεταβολές στην άρθρωση και την ταχύτητα εκφοράς του λόγου. Ειδικότερα δίνεται έμφαση στο άγχος του ομιλητή και του ακροατή λόγω του θορύβου, που ιδιαιτέρως επηρεάζει τα νήπια, τα μικρά παιδιά και τα παιδιά της σχολικής ηλικίας με προβλήματα ακοής. Έτσι δικαιολογείται η εξέχουσα θέση που έχει η καταληπτότητα στη δια λόγου επικοινωνία, διαδικασία, που κυρίως συμβαίνει στην δια ζώσης μετάδοση γνώσης, δηλαδή στην εκπαίδευση.

Η καταληπτότητα σαν μέγεθος εξαρτάται από τις ακουστικές παραμέτρους του χώρου στον οποίο μετράται και βεβαίως από το θόρυβο, που επικρατεί σ' αυτόν. Ακόμη εξαρτάται από την ποιότητα άρθρωσης του ομιλητή και την κατάσταση της ακοής του ακροατή. Στις

---

<sup>19</sup> Crandell, C. C. ; Siebein, G. W. ; Gold, M. A. ; Hassell, M. J. ; Lee, H. W. ; Herr, C. R. ; Lehde, M. ; Lee, H. W. ; Lehde, M. ; Asby, J. G. W. ; Hasell, M. J. ; Abott, P. ; Crandell, C. C. 1998

<sup>20</sup> Gold, M. A. ; Lee, H. W. ; Siebein, M. ; Lehde, M. ; Asby, J., G. W. ; Hasell, M. J. ; Abott, P. ; Crandell, C. C. 1998

<sup>21</sup> Picard, M. 1997

<sup>22</sup> Finitzo Hieber, T. ; Tillman, T. W. 1978

<sup>23</sup> Lucker, J.R. ; Geffner, D. ; Koch, W. 1996

<sup>24</sup> Nober, L. W. 1973

<sup>25</sup> Nober, L. W. ; Nober, E. H. 1975

<sup>26</sup> Spreng, M. 1994

αίθουσες διδασκαλίας τα μεγέθη, που χρειάζονται ρύθμιση είναι κυρίως ο χρόνος αντήχησης και η μείωση των εξωτερικών θορύβων, στην συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το θέμα της ακουστικής στις αίθουσες διδασκαλίας (χρόνος αντήχησης). Ο θόρυβος (εσωτερικός και εξωτερικός) εκτός από τη δυσμενή του επίδραση στις μαθησιακές λειτουργίες έχει σοβαρές επιπτώσεις και στην κοινωνική συμπεριφορά των παιδιών. Στην έκθεση του ο Evans (1998) αναφέρει ότι οι μαθητές, που υποβάλλονται σε ένταση λόγω θορύβου είναι δύσκολο να κινητοποιηθούν για την εκτέλεση των σχολικών καθηκόντων τους, ενώ έχουν την ιαση να εγκαιαλείουν ευκολότερα την παρουσία ύοο το περιεχόμενο αυτών των καθηκόντων δυσκολεύει. Τα ευρήματα αυτά ισχύουν, τόσο στην περίπτωση της έκθεσης σε πεδία θορύβου μικρής διάρκειας (μισής ώρας), όσο και στη χρόνια έκθεση<sup>27 28</sup>.

Το γεγονός ότι το κοινό δεν έχει συναίσθηση των επιπτώσεων του θορύβου στις μαθησιακές λειτουργίες του νεαρού πληθυσμού αποδείχθηκε από σχετική έρευνα, όπου τα ίδια τα παιδιά κλήθηκαν να προσδιορίσουν τους παράγοντες, που προσδιορίζουν την προσωπική τους διαδικασία μάθησης<sup>29 30 31</sup>. Αφού ετέθησαν υπόψη τους οι συνθήκες που εμποδίζουν τη μάθηση ή αποσπούν την προσοχή τους, τα παιδιά της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης και των νηπιαγωγείων έδωσαν μεγαλύτερη βαρύτητα στο θόρυβο από ότι τα παιδιά μεγαλύτερης ηλικίας. Τα παιδιά του νηπιαγωγείου συνέδεσαν τις θορυβώδεις καταστάσεις με το παιχνίδι και τον ελεύθερο χρόνο και όχι με τη διαδικασία διδασκαλίας. Στο σύνολο του πληθυσμού η έρευνα έδειξε πως αυξανόμενης της ηλικίας ο θόρυβος λογίζεται σαν λιγότερο σημαντικός παράγοντας για τη μάθηση από άλλους φυσικούς παράγοντες<sup>32</sup>. Η μειωμένη εγρήγορηση του πληθυσμού απέναντι στα προβλήματα θορύβου είναι ίσως και η εξήγηση γιατί δεν δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην ακουστική των αιθουσών από την πολιτεία. Το 1993 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) υιοθέτησε μια σειρά μέτρων για τη σχεδίαση νέων αιθουσών ή τη βελτίωση των υφισταμένων βασισμένων σε σχετικές έρευνες<sup>33 34 35 36 37 38 39</sup>.

---

<sup>27</sup> Evans, G. W. 1998

<sup>28</sup> Evans, G. W. ; Hygge, S. ; Bullinger, M. 1995

<sup>29</sup> Miller, P. H. 1982

<sup>30</sup> Miller, P. H. ; Shannon, K. A. 1984

<sup>31</sup> Miller, P. H. ; Zalenski, R. 1982

<sup>32</sup> Holmes, R. M. 1991

<sup>33</sup> Anderson, K. L. 1997

<sup>34</sup> Andersson, K. ; Berglund, B. ; Hogstad, K.-E. ; Hygge, S. ; Jauhiainen, T. ; Lindvall, T. ; Moller, H. ; Paikkala, S.-L. 1997

<sup>35</sup> Berglund, B. 1995

<sup>36</sup> Crandell, C. C. 1997

<sup>37</sup> Fuchs, H. ; Zha, X. 1996.

<sup>38</sup> Madell, J. R. 1990

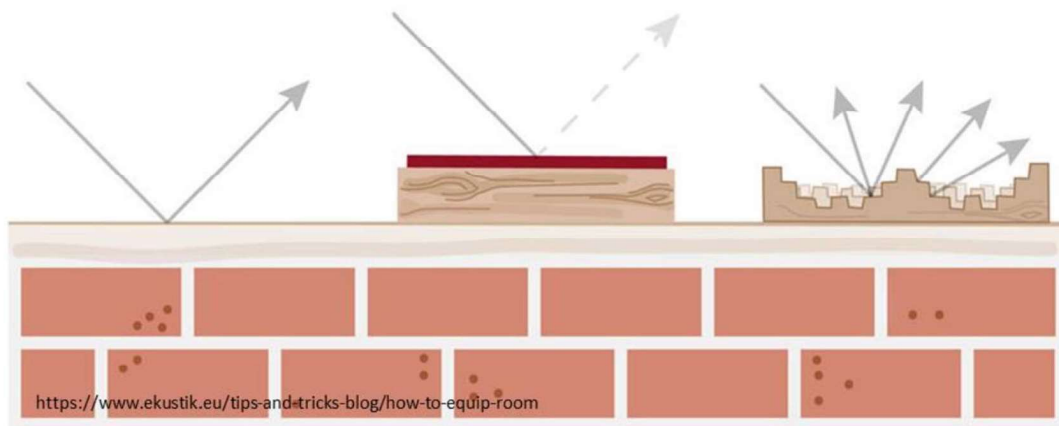
<sup>39</sup> Pekkarinen, E. ; Viljanen, V. 1990

## 4. Μεθοδολογία

Η ακουστική διόρθωση ενός κλειστού χώρου είναι η βελτίωση της ποιότητας των ήχων που δημιουργούνται στο εσωτερικό του και ιδίως της ακρόασης, της ομιλίας και της μουσικής. Ανάλογα με τη λειτουργία ενός χώρου, οι ανάγκες αυτές μπορεί να εξειδικεύονται μέσω της βελτίωσης της ακρόασης (αίθουσες διδασκαλίας, εκδηλώσεων, θεαμάτων κ.ά.), της μείωσης του εσωτερικού θορύβου (χώροι κυκλοφορίας, βιομηχανικής παραγωγής κ.ά) ή και με συνδυασμό των παραπάνω, με έμφαση στη βελτίωση της συνομιλίας (χώροι γραφείων, άθλησης, διασκέδασης, κοινωνικής συναναστροφής κ.ά.).

### 4.1 Ακουστική Ποιότητα

Η ακουστική ποιότητα ενός χώρου, εξαρτάται απευθείας από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και από τα υλικά των εσωτερικών επιφανειών του<sup>40</sup>. Η διάδοση του ήχου σε έναν κλειστό χώρο αποτελείται από τον ήχο που παράγεται και προσπίπτει στις εσωτερικές επιφάνειες του, δηλ. στα τοιχώματα που ορίζουν τον εσωτερικό του όγκο και στα στερεά που περιέχει (έπιπλα, πρόσωπα κτλ)<sup>41</sup>. Κάθε μία από τις επιφάνειες αυτές, ανάλογα με το μέγεθος, το σχήμα, τη θέση και την υφή της, απορροφά ένα ποσοστό των ηχητικών κυμάτων<sup>42</sup> και αντανακλά/διαχέει το υπόλοιπο (Εικόνα 1). Έτσι ο ήχος που φτάνει σε ένα σημείο του χώρου, αποτελεί ένα μείγμα του απευθείας (μέσω του αέρα μόνο) μεταδιδόμενου ήχου αλλά και του δευτερογενώς μεταδιδόμενου ήχου, από τις ανακλάσεις του απ' ευθείας μεταδιδόμενου ήχου, στις επιφάνειες του εσωτερικού του χώρου<sup>43</sup>.



Εικόνα 1: Διαφορετικοί τύποι ανακλαστικών επιφανειών

#### 4.1.1 Ανάκλαση-διάχυση-απορρόφηση

Όταν ένα σώμα, που αποτελείται από διαφορετική ύλη από αυτή του μέσου μετάδοσης του ήχου, παρεμβάλλεται στην κατεύθυνση των ηχητικών κυμάτων, τότε τα ηχητικά κύματα, ανάλογα με την υφή της ύλης του σώματος που παρεμβάλλεται ανακλώνται ή/και, διαχέονται

<sup>40</sup> Μπόμπολος, Ν., 2022 Α

<sup>41</sup> ό.π.

<sup>42</sup> ό.π.

<sup>43</sup> ό.π.

ή/και απορροφώνται<sup>44</sup>. Πιο συγκεκριμένα το φαινόμενο της ανάκλασης εκδηλώνεται όταν τα ηχητικά κύματα συναντήσουν μια λεία και σκληρή επιφάνεια με αποτέλεσμα να αλλάξουν κατεύθυνση και να προκαλέσουν τα φαινόμενα της ηχούς, ή της αντήχησης. Η διάχυση συμβαίνει όταν τα ηχητικά κύματα συναντήσουν μια σκληρή επιφάνεια με πολλές διαφορετικές έδρες, οπότε διασπώνται σε πολλές κατευθύνσεις. Τέλος η απορρόφηση εκδηλώνεται όταν τα ηχητικά κύματα συναντήσουν μια μαλακή, πορώδη επιφάνεια που δεν έχει ικανότητα ταλάντωσης, οπότε απορροφώνται από αυτή και μετατρέπονται σε θερμική ενέργεια μέσα στο σώμα αυτώ. Κατά κύριο λόγο η ηρύσιωση των ηχητικών κυμάτων σε σώματα που παρεμβάλλονται στην πορεία τους έχει ως αποτέλεσμα τον περίπλοκο συνδυασμό των προηγουμένων φαινομένων<sup>45</sup>.

#### **4.1.2 Μετάδοση σε ελεύθερο/ανακλώμενο ή αντηχητικό πεδίο**

Όταν ο ήχος μεταδίδεται απ' ευθείας αποκλειστικά (δηλ. σε έναν ανοικτό χώρο χωρίς εμπόδια) τότε συμβαίνει μετάδοση σε ελεύθερο πεδίο, ενώ όταν ο ήχος μεταδίδεται απ' ευθείας με ανακλάσεις (δηλ. σε χώρο που περιέχει εμπόδια) γίνεται μετάδοση σε ανακλώμενο ή αλλιώς, αντηχητικό πεδίο<sup>46</sup> (Εικόνα 2,3,4).

Ο ήχος που μεταδίδεται απευθείας, επηρεάζεται αποκλειστικά από την απόσταση της πηγής από το σημείο ακρόασης ενώ παράλληλα η ακουστική πίεση και η ένταση του ήχου, μειώνονται αναλογικά με την απόσταση από την πηγή τους. Συνεπώς, σε μεγάλους χώρους, η ένταση του απ' ευθείας ήχου, μειώνεται σημαντικά στις πιο απομακρυσμένες θέσεις ακρόασης<sup>47</sup>.

Ο ήχος που μεταδίδεται από ανακλάσεις σε αντηχητικό πεδίο, δηλαδή ο ήχος που μεταδίδεται από ανακλάσεις, επηρεάζεται από την απόσταση κάθε σημείου ακρόασης από την πηγή του αλλά και από το μέγεθος, το σχήμα, τη θέση και την υφή (απορροφητικότητα/αντανεκλαστικότητα) των εσωτερικών επιφανειών του χώρου. Οι ανακλάσεις των ήχων μειώνουν την ένταση του ήχου που ανακλάται, διότι όσο περισσότερες είναι, τόσο μεγαλύτερη απόσταση διανύουν τα αντανεκλώμενα ηχητικά κύματα και, συνεπώς αλλοιώνουν το μείγμα των συχνοτήτων του, αφού η κάθε επιφάνεια πρόσπτωσης, διαθέτει ανά συχνότητά, διαφορετική απορροφητικότητα<sup>48</sup>.

---

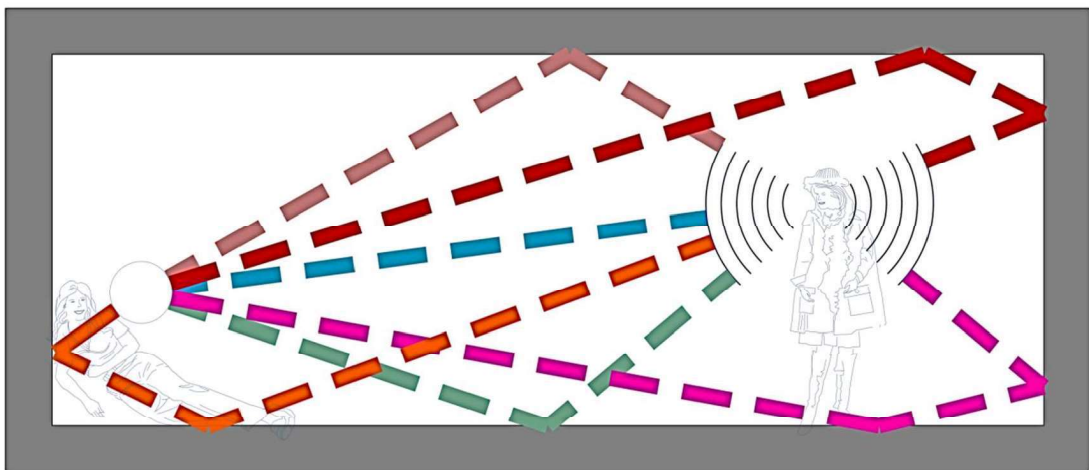
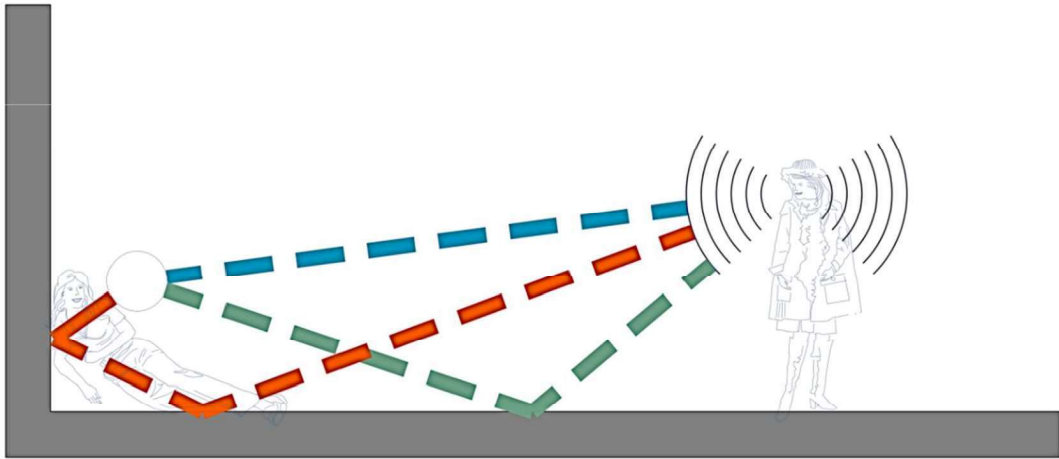
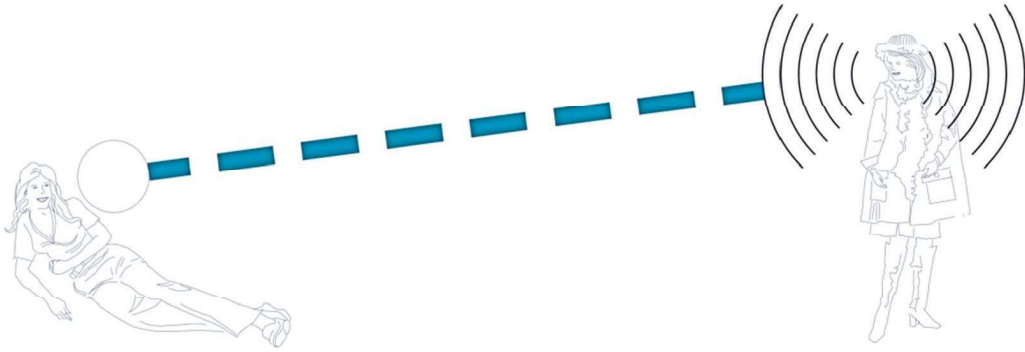
<sup>44</sup> Μπόμπολος, Ν., 2022 Α

<sup>45</sup> ό.π.

<sup>46</sup> ό.π.

<sup>47</sup> ό.π.

<sup>48</sup> ό.π.



<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA170/01-Ηχος.pdf>

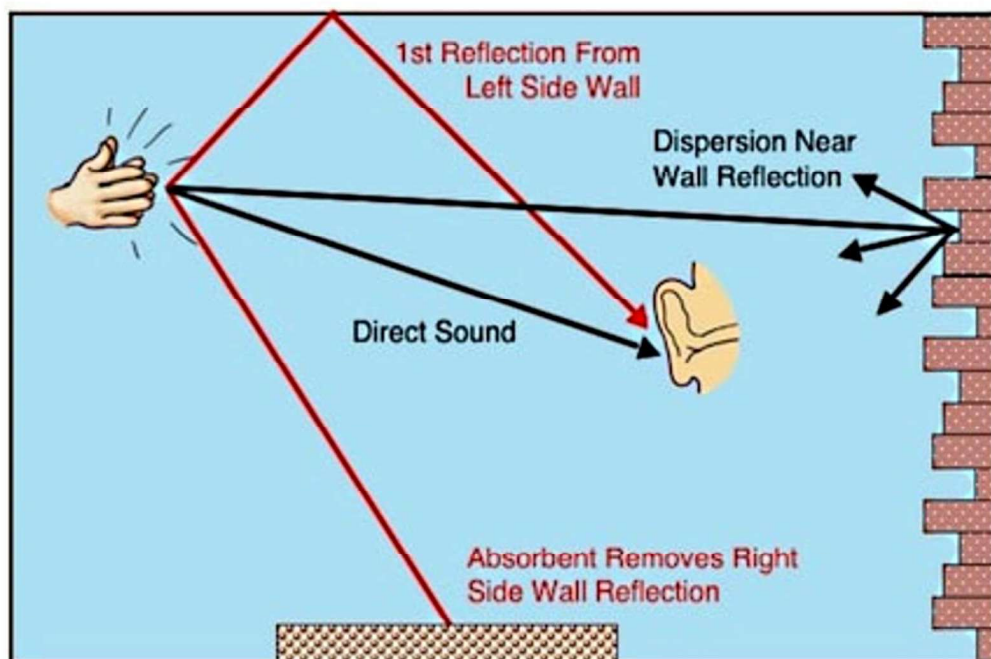
Εικόνα 2,3,4: Μετάδοση σε ελεύθερο και ανακλώμενο πεδίο



#### 4.1.3 Ηχώ και αντήχηση

Ο άνθρωπος μπορεί να διακρίνει διαφορετικούς (διαδοχικούς ήχους) όταν απέχουν μεταξύ τους, τουλάχιστον 100 msec (χιλιοστά του δευτερολέπτου δηλ. 0,1 sec)<sup>49</sup>. Σε 100 msec, ένας ήχος διανύει 34m, συνεπώς από τον άνθρωπο γίνονται αντιληπτοί ήχοι οι οποίοι ανακλώνται σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 17m (κάνοντας συνολική διαδρομή μεγαλύτερη από 34m). Σε ένα χώρο όπου οι ανακλάσεις των ηχητικών κυμάτων σε επιφάνειες απέχουν τουλάχιστον 17m, παράγουν ανακλώμενους ήχους, οι οποίοι είναι διακριτοί από τον άνθρωπο. Το φαινόμενο αυτό αποκαλείται ηχώ<sup>50</sup>.

Οι ανακλάσεις των ηχητικών κυμάτων σε δύο παράλληλες επιφάνειες που απέχουν τουλάχιστον 17m, παράγουν επαναλαμβανόμενους ανακλώμενους ήχους, διακριτούς από τον άνθρωπο. Το φαινόμενο αυτό αποκαλείται πλαταγισμός ή επαναλαμβανόμενη ηχώ (flutter echo). Τέλος οι ανακλάσεις των ηχητικών κυμάτων σε επιφάνειες που απέχουν λιγότερο από 17m, παράγουν ήχους που δεν μπορούν να διακριθούν από τον άνθρωπο και γίνονται αντιληπτοί ως ένας ήχος, με τα απ' ευθείας ηχητικά κύματα. Τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα τα οποία αναμειγνύονται με τον πρωτογενή (απ' ευθείας) ήχο, με αποτέλεσμα να τον ενισχύσουν ενώ επιπλέον επιμηκύνουν και τη χρονική του διάρκεια. Όσο περισσότερες πρωτογενείς και δευτερογενείς ανακλάσεις υπάρχουν σε ένα χώρο, τόσο μεγαλύτερη χρονική διάρκεια, έχει και η αντίληψη του ήχου στο εσωτερικό του. Το φαινόμενο αυτό αποκαλείται αντήχηση<sup>51</sup> (Εικόνα 5).



<https://hearinghealthmatters.org/waynesworld/2014/intelligibility-rooms-fault/>

Εικόνα 5: Αντήχηση

<sup>49</sup> Μπόμπολος, Ν., 2022 Α

<sup>50</sup> ό.π.

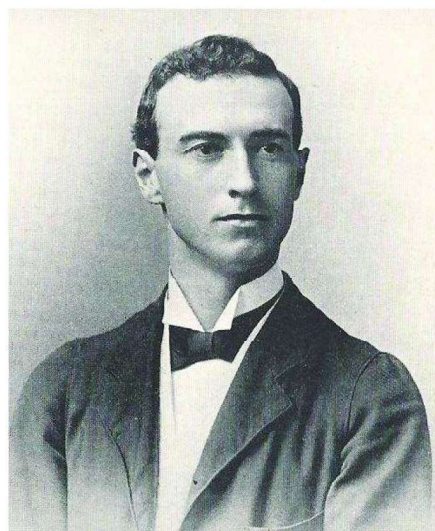
<sup>51</sup> ό.π.

## 4.2 Μέθοδος Sabine

Όπως είχε επισημάνει και ο Wallace Clement Sabine (Εικόνα 6,7), το φαινόμενο της αντήχησης, συνιστά θεμελιώδη παράγοντα της ακουστικής ποιότητας ενός χώρου: η ακουστική ενός χώρου βελτιώνεται με τη μείωση της διάρκειας αντήχησης, στο εσωτερικό αυτού.

Ο Wallace Clement Sabine (1868-1919), υπήρξε καθηγητής μαθηματικών και φυσικής στο πανεπιστήμιο του Harvard και θεωρείται ως ο θεμελιωτής του τομέα της ακουστικής στον χώρο της αρχιτεκτονικής. Ανέπτυξε επίσης την επιστημονική μεθοδολογία ακουστικού σχεδιασμού των χώρων, και μεταξύ άλλων, σχεδίασε την αίθουσα συναυλιών της Βοστώνης (Boston Symphony Hall), η οποία θεωρείται μια από τις καλύτερες, από ακουστικής άποψης, σε όλο τον κόσμο. Ενώ το όνομα του φέρει και το διεθνές βραβείο Wallace Clement Sabine, το οποίο απονέμεται από την Acoustical Society of America, σε επιστήμονες που έχουν εξαιρετική συμβολή στον χώρο της αρχιτεκτονικής ακουστικής.

Η μέθοδος Sabine επιλέγεται συνήθως σε κλειστούς χώρους, με σκοπό την εύρεση του μέσου χρόνου αντήχησης  $T_r$ . Όπως αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια η συγκεκριμένη μέθοδος είναι πιο ακριβής όταν χρησιμοποιείται σε χώρους με αντανakλαστικές επιφάνειες με συντελεστή  $\alpha < 0,3$ . Ενώ αντίθετα η μέθοδος Eyring είναι πιο ακριβής για χώρους με επιφάνειες υψηλής απορροφητικότητας.



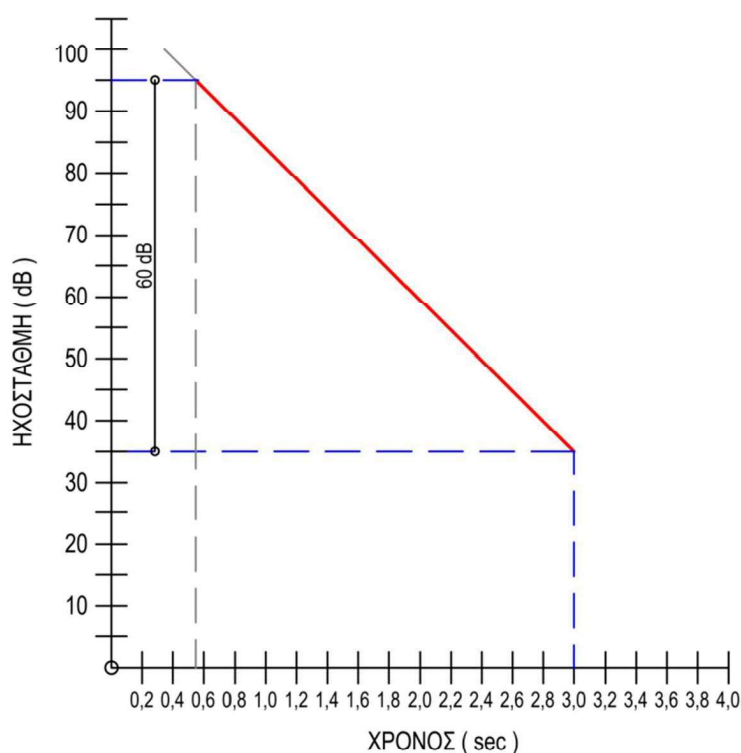
<https://hearingreview.com/practice-building/practice-management/continuing-education/back-basics-wallace-sabine-music-halls-reverberation-time>



<https://blog.rwth-aachen.de/akustik/wallace-clement-sabine-award-2018-fuer-prof-michael-vorlaender/>

Εικόνα 6,7: Wallace Clement Sabine

Ως χρόνος αντήχησης  $T_r$ , που είναι ο βασικός δείκτης ακουστικής συμπεριφοράς ενός κλειστού χώρου, αναφέρεται ως η χρονική διάρκεια που απαιτείται για τη μείωση της έντασης ενός ήχου από τη διακοπή εκπομπής του, κατά  $60\text{ dB}$ <sup>52</sup>, ενώ μπορεί και να αναφέρεται αλλιώς και ως T60 (Εικόνα 8). Η προδιαγραφή που υπάρχει σε διάφορους εθνικούς κτιριοδομικούς κανονισμούς και σε ότι αφορά στην ακουστική των κτιρίων, αναφέρεται στο χρόνο αντήχησης ( $T_r$ )<sup>53</sup> και αφορά κατά κανόνα χώρους ημερήσιας φροντίδας, υγειονομικής περίθαλψης, εκπαίδευσης και εργασίας. Ο κατάλληλος χρόνος αντήχησης  $T_r$ , σε κάθε κλειστό χώρο είναι διαφορετικός και εξαρτάται από τη χρήση του<sup>54</sup>, δηλαδή από το είδος των ήχων που θα εκπέμπονται στο εσωτερικό του (ομιλία, μουσική), αλλά και από το μέγεθός του, δηλαδή τον όγκο του (Εικόνα 9,10).



$T_r$  (ή T60)

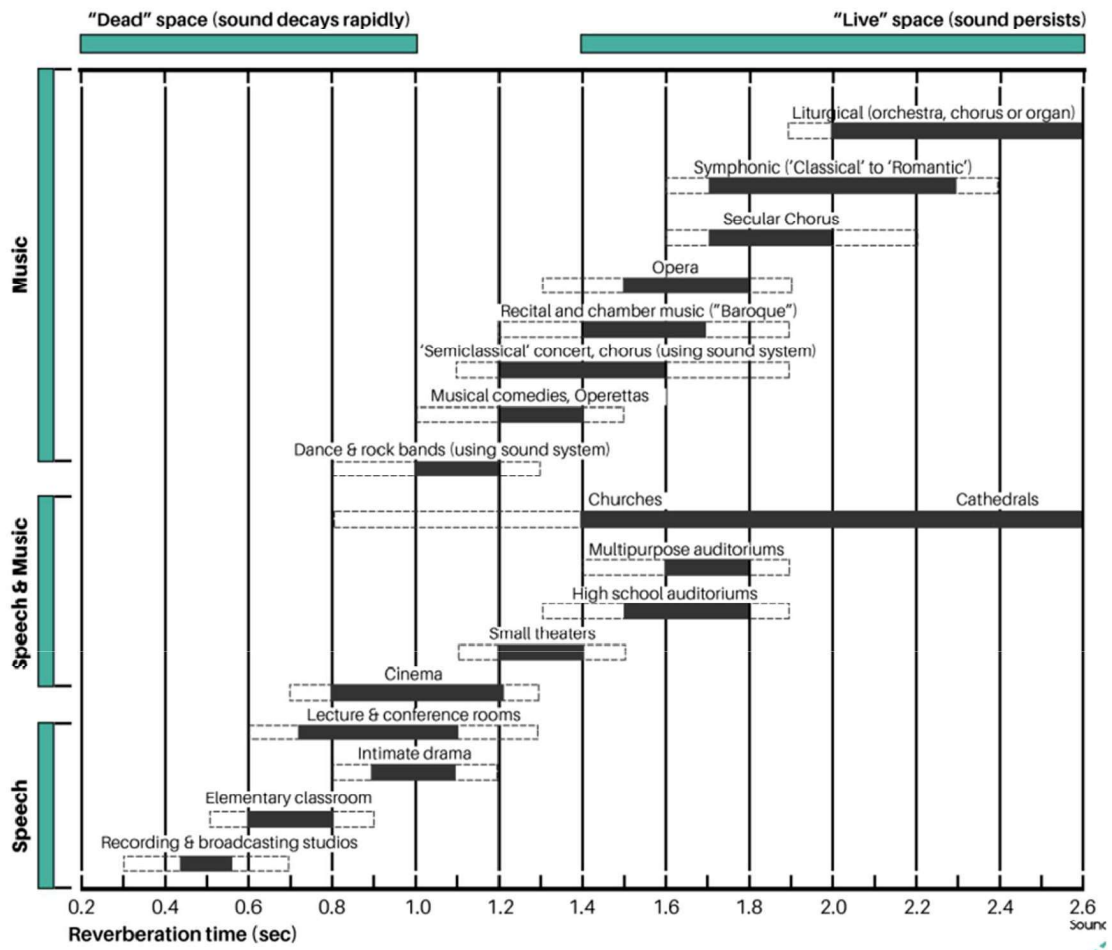
<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA170/09-Ακουστική%20βελτίωση%20III.pdf>

Εικόνα 8: Χρόνος αντήχησης  $T_r$

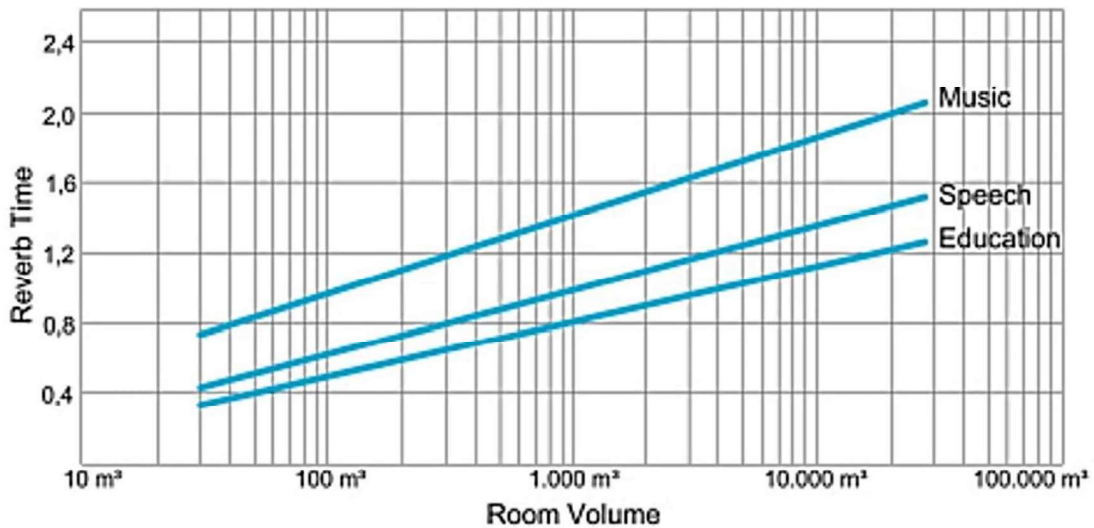
<sup>52</sup> Μπόμπολος, Ν., 2022 Α

<sup>53</sup> Μπόμπολος, Ν. 2021

<sup>54</sup> ό.π.



<https://indiepulsemusic.com>



<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA170/09-Ακουστική%20Βελτίωση%20III.pdf>

Εικόνα 9,10: Μέσοι χρόνοι αντήχησης για διαφορετικούς χώρους

Ο χρόνος αντήχησης, μπορεί να υπολογισθεί με τον τύπο Sabine ως εξής:  $T_r = 0,16 \cdot V / A$  όπου V είναι ο όγκος του χώρου και A η ολική ηχοαπορρόφηση των εσωτερικών επιφανειών



του χώρου. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης σε πολύ μεγάλους χώρους, προστίθεται στον παραπάνω τύπο η ηχοαπορρόφηση του αέρα  $X \cdot V$  όπου  $V$  είναι ο όγκος του χώρου και  $X$  ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης του αέρα<sup>55</sup>.

Η ηχοαπορροφητικότητα ενός υλικού εκφράζεται με το συντελεστή ηχοαπορρόφησης  $\alpha$ , που ορίζεται από το λόγο απορροφώμενης ενέργειας προς την προσπίπτουσα ενέργεια, δηλαδή  $\alpha = \text{απορροφώμενη ενέργεια} / \text{προσπίπτουσα ενέργεια}$ <sup>56</sup>. Οι τιμές του συντελεστή ηχοαπορρόφησης  $\alpha$  για κάθε υλικό, είναι πάντοτε μεταξύ 0 και 1, καθώς, ισχύει η σχέση: απορροφώμενη ενέργεια  $\leq$  προσπίπτουσα ενέργεια όπου 0= πλήρως ηχοανακλαστική επιφάνεια και 1= πλήρως ηχοαπορροφητική επιφάνεια. Επίπλέον, οι τιμές του συντελεστή ηχοαπορρόφησης  $\alpha$  για κάθε υλικό, είναι διαφορετικές σε κάθε συχνότητα του ήχου<sup>57</sup>.

Η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης  $A$  μιας επιφανείας, εξαρτάται από το υλικό της και τη διαμόρφωσή του ενώ εξάγεται από το βασικό τύπο:  $A = S \cdot \alpha$ <sup>58</sup> όπου  $S$  είναι το εμβαδόν της επιφανείας και  $\alpha$  ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης. Η συνολική ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης  $A_{ολ}$  ενός κλειστού χώρου, αποτελεί το άθροισμα των ισοδύναμων επιφανειών ηχοαπορρόφησης των διαφορετικών επιφανειών του χώρου δηλαδή:  $A_{ολ} = \Sigma(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = \Sigma(S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n)$ <sup>59</sup>.

Η μέθοδος με την οποία θα γίνει ο έλεγχος της ακουστικής ποιότητας σε αυτήν την εργασία είναι η Sabine. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέγεται διότι, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, είναι καταλληλότερη για χώρους με αντανάκλαστικές επιφάνειες. Η θεωρία του Sabine βασίζεται στην υπόθεση ότι, η διάδοση του ήχου σε έναν κλειστό χώρο είναι ομοιόμορφη (διάχυτη), συνεπώς το ενδιαφέρον της διάγνωσης και ο στόχος της μελέτης ακουστικής διόρθωσης είναι η συνολική ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι μελέτες δείχνουν ότι η διάδοση του ήχου δεν είναι ομοιόμορφη σε ένα χώρο, ειδικά όταν υπάρχουν μεγάλες ομοιογενείς επιφάνειες και μεγάλες διαφοροποιήσεις στο συντελεστή ηχοαπορρόφησης μεταξύ τους<sup>60</sup>. Στη αυτή την περίπτωση υπάρχει ανισομερής ηχοαπορρόφηση και οι πραγματικές τιμές του χρόνου αντήχησης είναι μεγαλύτερες από αυτές που δίνονται από τον τύπο του Sabine ( $T_r = 0,16 \cdot V / A_{ολ}$ ). Η συνηθέστερη περίπτωση αφορά αίθουσες, όπου η κύρια ηχοαπορροφητική επιφάνεια είναι μια ψευδοροφή. Ωστόσο στις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις (χώροι υγειονομικής περίθαλψης, εκπαίδευσης και εργασίας) ο δείκτης  $T_r$  είναι αυτός που χρησιμοποιείται<sup>61</sup> (Εικόνα 11).

---

<sup>55</sup> Μπόμπολος, Ν., 2022 Α

<sup>56</sup> ό.π.

<sup>57</sup> ό.π.

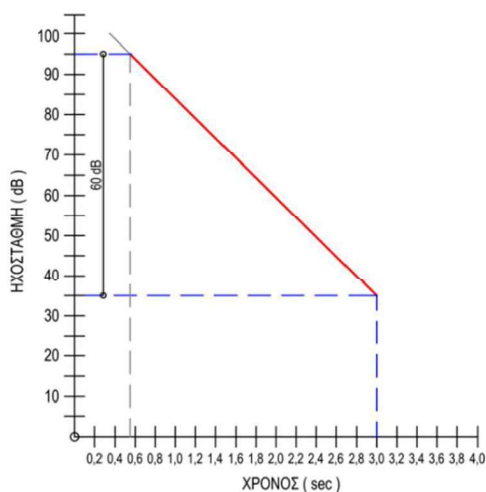
<sup>58</sup> ό.π.

<sup>59</sup> ό.π.

<sup>60</sup> Μπόμπολος, Ν. 2021

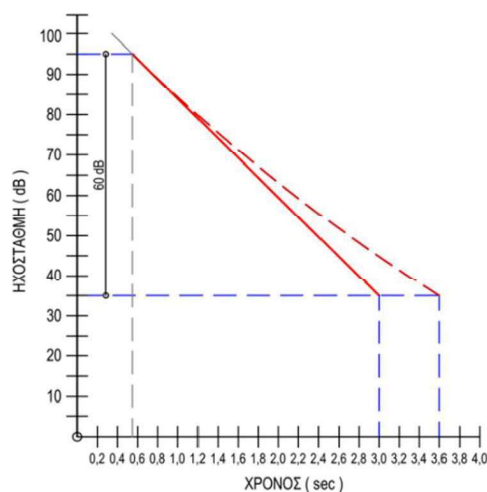
<sup>61</sup> ό.π.





$T_r$  (ή T60)

Ομοιόμορφη ηχοαπορρόφηση



$T_r$  (ή T60)

Ανισομερής ηχοαπορρόφηση

<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA170/09-Ακουστική%20βελτίωση%20III.pdf>

Εικόνα 11: Ομοιόμορφη και ανισομερής ηχοαπορρόφηση

Επειδή οι υπολογισμοί διάγνωσης και διόρθωσης της ακουστικής ενός κλειστού χώρου με γεωμετρικές μεθόδους, είναι αρκετά περίπλοκοι, ο Sabine, με σκοπό την απλοποίησή τους, διατύπωσε την υπόθεση ότι <<η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων που προέρχονται από αντήρηση, διαδίδεται ομοιόμορφα σ' έναν κλειστό χώρο>>. Αν και η υπόθεση αυτή έχει αποδειχθεί πως δεν ισχύει, η παραδοχή της οδηγεί σε αποτελέσματα ικανοποιητικής ακρίβειας, ιδίως όταν δεν πρόκειται για χώρους μεγάλης κλίμακας, ιδιαίτερων σχημάτων και ιδιαίτερων απαιτήσεων<sup>62</sup>.

Συνεπώς, οι υπολογισμοί διάγνωσης της ακουστικής μιας αίθουσας και η ακουστική διόρθωσή της, βασίζονται αρχικά στην εύρεση της ολικής ισοδύναμης επιφάνειας ηχοαπορρόφησης των εσωτερικών επιφανειών της (η οποία είναι ίση με το άθροισμα των ισοδύναμων επιφανειών ηχοαπορρόφησης των επιμέρους επιφανειών της αίθουσας, ανά υλικό.) στην εύρεση ακολούθως (του χρόνου αντήρησης της αίθουσας) των συχνότητων που σχετίζονται με τη χρήση της, στη σύγκριση του χρόνου αντήρησης της αίθουσας, με τον επιθυμητό χρόνο αντήρησης ανάλογα με τη χρήση της και τέλος στην επένδυση ορισμένων επιφανειών της αίθουσας με υλικά, των οποίων η ηχοαπορροφητικότητα βελτιώνει την ολική ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης των εσωτερικών επιφανειών της, μειώνοντας έτσι τον χρόνο αντήρησής της, έτσι ώστε ο χρόνος αντήρησής να βρίσκεται εντός των επιθυμητών ορίων<sup>63</sup>.

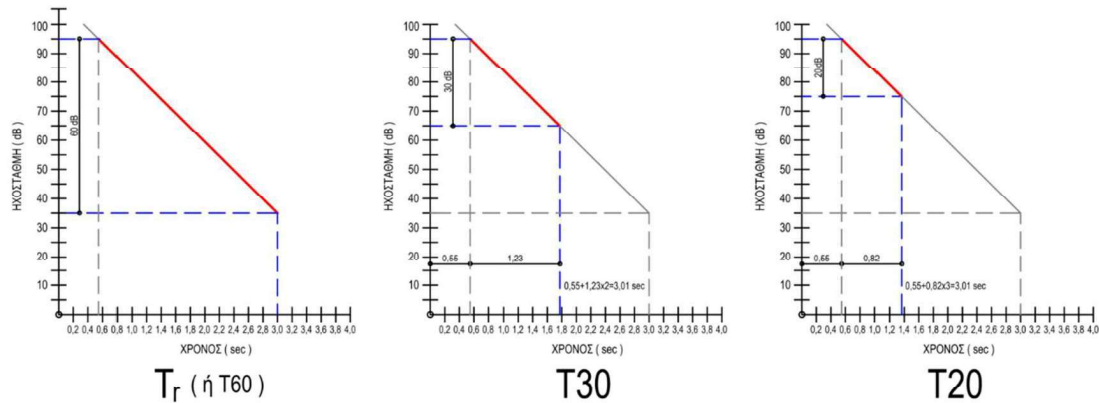
### 4.3 Άλλες μέθοδοι ελέγχου ακουστικής ποιότητας

Επιπλέον σε χώρους με ειδικές απαιτήσεις, μπορούν και χρησιμοποιούνται πρόσθετοι ή εναλλακτικοί δείκτες για τη διάγνωση και τη μελέτη της ακουστικής τους συμπεριφοράς.

<sup>62</sup> Μπόμπολος, Ν. 2021

<sup>63</sup> ό.π.

Όταν υπάρχει θόρυβος υποβάθρου στο χώρο (από ομιλίες, εξωτερικούς θορύβους κ.ά.), δε μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια ο δείκτης  $T_r$ , δηλαδή ο χρόνος μείωσης της έντασης ενός ήχου κατά 60 dB. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να μετρηθούν εναλλακτικά, οι δείκτες T30 (χρόνος μείωσης ενός ήχου κατά 30 dB, από -5 έως -35 dB) ή T20 (χρόνος μείωσης ενός ήχου κατά 20 dB, από -5 έως -25 dB) οι οποίοι δίνουν πιο ακριβείς μετρήσεις (Εικόνα 12).



<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA170/09-Ακουστική%20βελτίωση%20III.pdf>

Εικόνα 12: Χρόνος αντήχησης  $T_r$ , T30, T20

Υπάρχουν επίσης και άλλοι δείκτες όπως είναι ο δείκτης EDT (Early Decay Time: χρόνος μείωσης ενός ήχου κατά 10 dB) που είναι χρήσιμος για τη διάγνωση της ευκρίνειας του ήχου, ο δείκτης C50 που χαρακτηρίζει την διαύγεια του λόγου, όταν δηλαδή ο ήχος είναι ανθρώπινη ομιλία, ο δείκτης D50 που χαρακτηρίζει επίσης την διαύγεια του λόγου και συνδέεται με το δείκτη C50, ο δείκτης μετάδοσης ομιλίας (STI, Speech Transmission Index) και ο δείκτης μετάδοσης ομιλίας (RASTI, Rapid Speech Transmission Index) που αφορούν μεγαλύτερους χώρους και δεν θα χρησιμοποιηθούν στην μελέτη αυτής της εργασίας.

#### 4.4 Μεθοδολογία μελέτης ακουστικής ποιότητας αιθουσών διδασκαλίας στην Πανεπιστημιούπολη 1 του ΠΔΑ

Στην μελέτη της συγκεκριμένης εργασίας θα προσπαθήσουμε να βελτιώσουμε την ακουστική των αιθουσών του ΠΔΑ και αυτό θα το καταφέρουμε με την μείωση της διάρκειας αντήχησης στο εσωτερικό των αιθουσών. Πιο αναλυτικά σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να μετρήσουμε τις αίθουσες που θα μελετήσουμε, ως προς όλες τις διαστάσεις τους, τα υλικά τους, τις επιφάνειες που καταλαμβάνουν αυτά όπως και τα έπιπλα εντός των αιθουσών και παρομοίως τα υλικά αυτών. Σύμφωνα με την μέθοδο Sabine θα πρέπει να καταγράψουμε το εμβαδόν των υλικών σε τ.μ. για όλες τις επιφάνειες του χώρου (για κάθε αίθουσα) έτσι ώστε να βρούμε τους συντελεστές ηχοαπορρόφησης που μας απασχολούν. Στη συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσουμε τις ισοδύναμες επιφάνειες ηχοαπορρόφησης κάθε εσωτερικής επιφάνειάς της αίθουσας και της ολικής ισοδύναμης επιφάνειας ηχοαπορρόφησης των επιφανειών της.

Μετά θα υπολογίσουμε τον όγκο της αίθουσας, τον χρόνο αντήχησης (ανά κεντρική συχνότητα κάθε οκτάβας της ανθρώπινης ομιλίας) και τον μέσο χρόνο αντήχησης. Έπειτα θα μπορούμε να καταλάβουμε αν η αίθουσα χρειάζεται ακουστική διόρθωση, σύμφωνα με την

τιμή του μέσου χρόνου αντήχησης. Ο παραπάνω υπολογισμός του μέσου χρόνου αντήχησης για τους χώρους διδασκαλίας θα γίνει σύμφωνα με τον γαλλικό κανονισμό ακουστικής ποιότητας (Εικόνα 13), αφού δεν υπάρχει σχετικό ρυθμιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα για την ακουστική ποιότητα των εσωτερικών χώρων<sup>64</sup>. Στην περίπτωση που δεν χρειάζεται ακουστική διόρθωση, η ακουστική κρίνεται κατάλληλη και δεν προχωράμε σε περαιτέρω ακουστικές διορθώσεις. Στην περίπτωση που η ακουστική μιας αίθουσας κρίνεται ακατάλληλη θα προχωρήσουμε σε ακουστικές λύσεις που εξυπηρετούν τον σκοπό μας. Τέλος επαναυπολογίζουμε τις ισοδύναμες επιφάνειες ηχοαπορρόφησης κάθε εσωτερικής επιφάνειας της αίθουσας και την ολική ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης των επιφανειών της (με τις νέες λύσεις), τον χρόνο αντήχησης (ανά κεντρική συχνότητα κάθε οκτάβας της ανθρώπινης ομιλίας) και τον μέσο χρόνο αντήχησης, μέχρι αυτός να είναι ο επιθυμητός.

Χρήση χώρου	Όρια μέσου χρόνου αντήχησης
Όλοι οι χώροι των νηπιαγωγείων. Αίθουσες διδασκαλίας και μελέτης, όγκου $\leq 250 \text{ m}^3$ . Ιατρεία, νοσηλευτήρια, βιβλιοθήκες.	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$
Αίθουσες διδασκαλίας και μελέτης, όγκου $> 250 \text{ m}^3$ .	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$
Αίθουσες εστίασης.	$Tr \leq 1,2 \text{ s}$
Αίθουσες πολλαπλών χρήσεων.	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$
Χώροι κυκλοφορίας.	$Tr \leq 1,2 \text{ s}$

(\*) Journal Officiel de la République Française, 28-5-2003, σελ. 9102

Εικόνα 13: Όρια μέσου χρόνου αντήχησης σύμφωνα με τον Γαλλικό κανονισμό

<sup>64</sup> Μπόμπολος, Ν. 2021

## 5. Μελέτη ακουστικής ποιότητας αιθουσών διδασκαλίας στην Πανεπιστημιούπολη 1 του ΠΔΑ

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια για την συγκεκριμένη μελέτη θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Sabine καθώς είναι καταλληλότερη για μικρούς χώρους με αντανakλαστικές επιφάνειες. Ενώ επιπλέον είναι πιο απλή από την μέθοδο Eyring, η οποία προτιμάται συνήθως σε μεγαλύτερους χώρους.

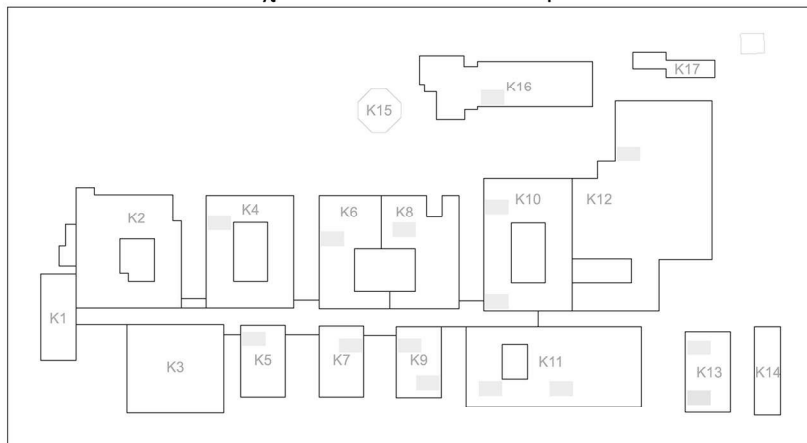
### 5.1 Κριτήρια επιλογής αιθουσών διδασκαλίας

Για να μελετήσουμε την ακουστική ποιότητα των αιθουσών διδασκαλίας της Πανεπιστημιούπολης 1 του ΠΔΑ, θα κάνουμε μια δειγματοληπτική μελέτη από όλο το κτίριο του Πανεπιστημίου. Θα διαλέξουμε 15 αίθουσες διδασκαλίας του πανεπιστημίου (50-100 τ.μ.), από κάθε κτίριο μέσα στο ΠΔΑ, όπου θα εξεταστεί η ακουστική ποιότητα των χώρων αυτών καθώς θα γίνει και έλεγχος επάρκειας ακουστικής ενώ θα γίνουν και πιθανόν προτάσεις ακουστικής βελτίωσης.

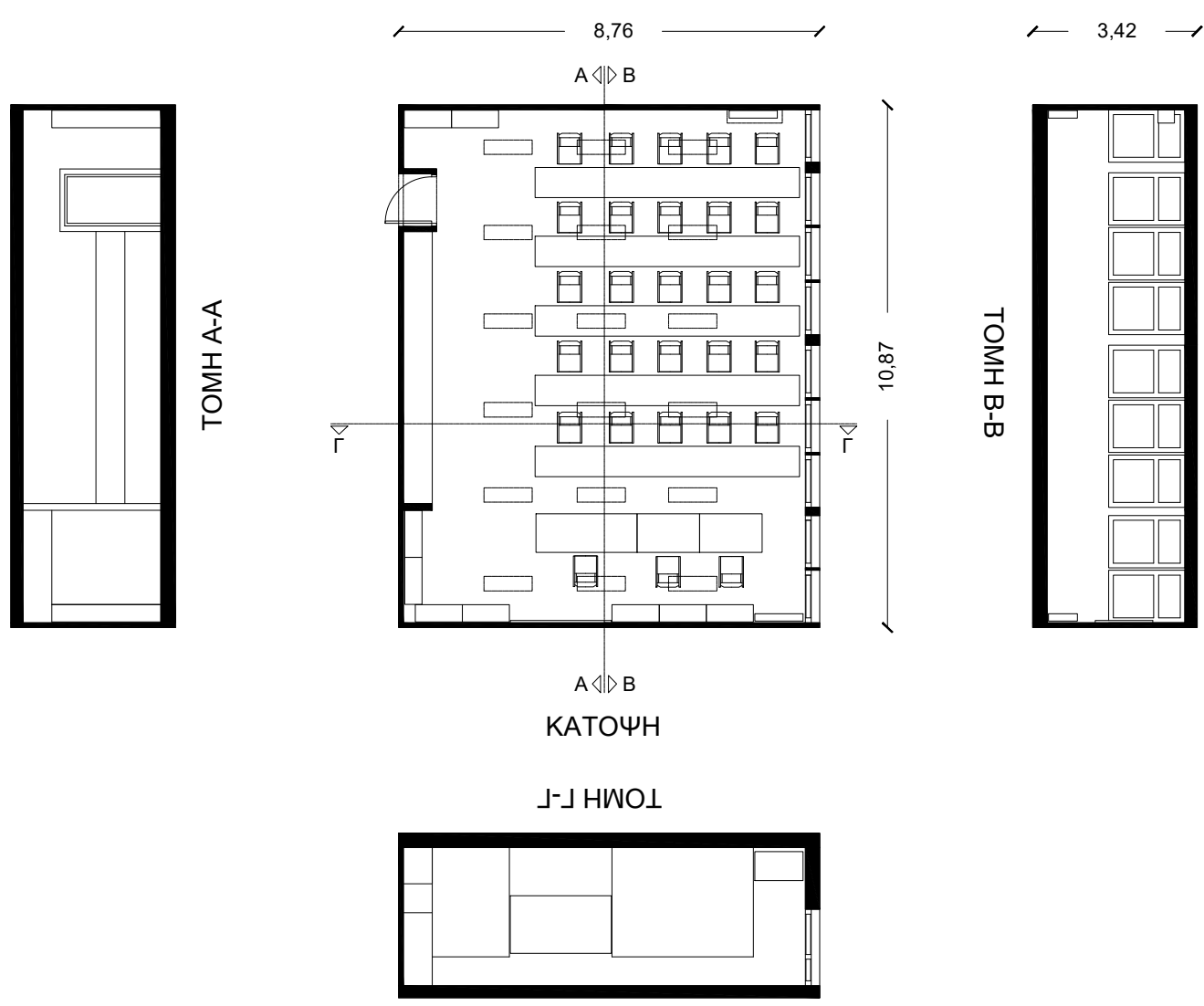
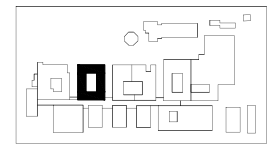
### 5.2 Πρώτο στάδιο μελέτης, επιλογή και αποτύπωση αιθουσών διδασκαλίας

Σε αυτό το στάδιο θα επιλεγθούν οι αίθουσες που θα γίνει η μελέτη. Τα κριτήρια για τις αίθουσες αυτές είναι τα εξής: να είναι αίθουσες διδασκαλίας και όχι απλά αίθουσες μέσα στο ΠΔΑ, τα τετραγωνικά τους μέτρα να κυμαίνονται μεταξύ 50-100 τ.μ., να υπάρχει τουλάχιστον μια αίθουσα από κάθε κτήριο, μέσα στο ΠΔΑ, στο οποίο γίνονται μαθήματα.

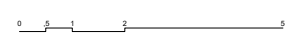
Επιλέχθηκαν συνολικά 15 αίθουσες από όλο το ΠΔΑ και είναι οι εξής: K4 025, K5 104, K6 108, K7 002, K8 105, K9 102, K9 006, K10 018, K10 118, K11 126, K11 123, K12 001, K13 001, K13 005 και K16 006. Από μετρήσεις που έγιναν στον χώρο του ΠΔΑ, μετρήθηκαν στις παραπάνω αίθουσες οι διαστάσεις τους, τα υλικά τους, τις επιφάνειες που καταλαμβάνουν αυτά όπως και τα έπιπλα εντός των αιθουσών και παρομοίως τα υλικά αυτών. Αφού έγινε η καταγραφή στον χώρο του ΠΔΑ οι σημειώσεις ψηφιοποιήθηκαν και μεταφράστηκαν σε μορφή CAD (AutoCAD) για να γίνει πιο εύκολα το επόμενο βήμα σύμφωνα με την μέθοδο Sabine, το οποίο είναι ο υπολογισμός των τ.μ. των υλικών όλων των εσωτερικών επιφανειών των χώρων, όλων των αιθουσών. Τα σχέδια των αιθουσών παραθέτονται από κάτω:



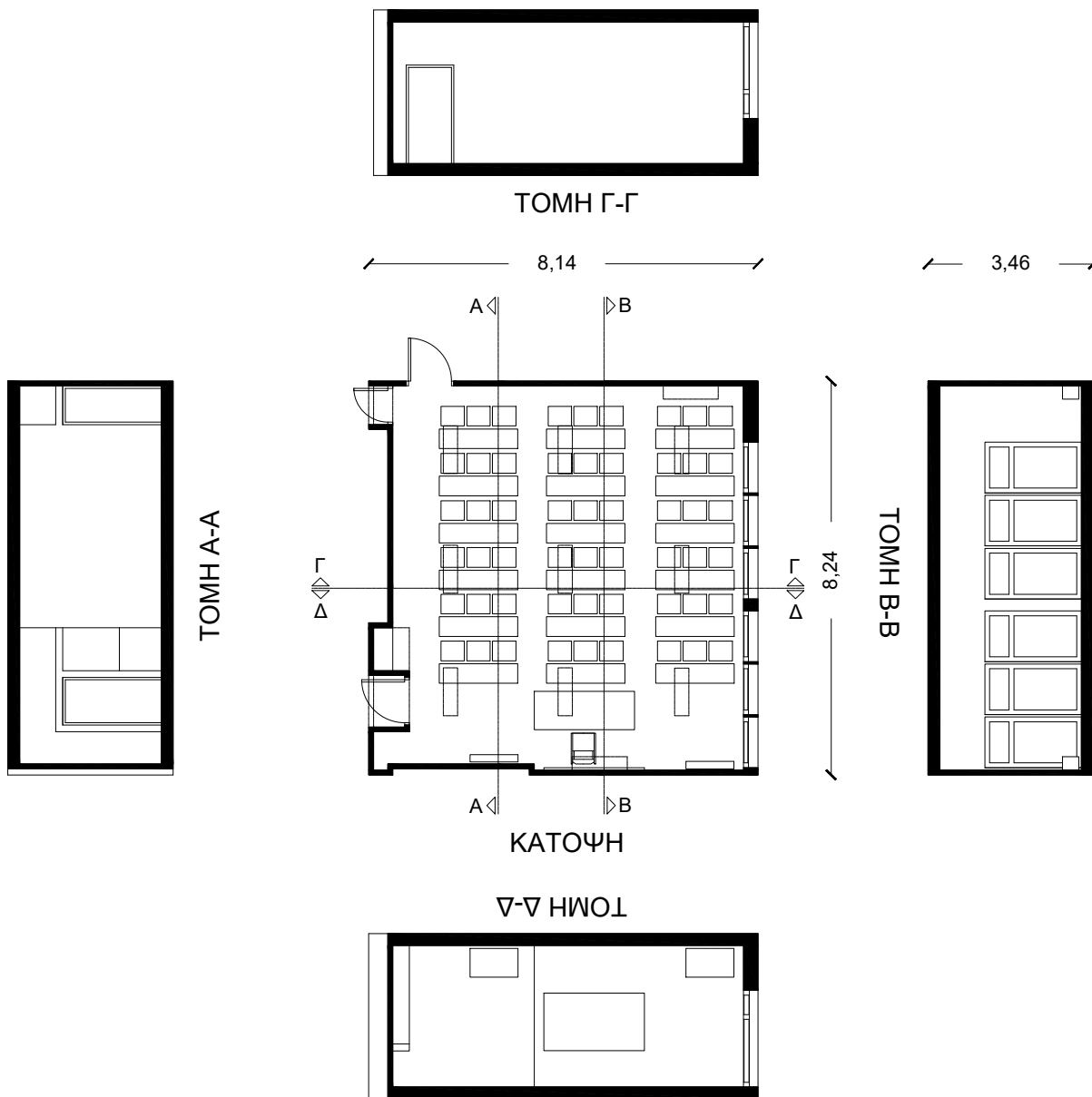
Εικόνα 14: Κάτοψη ΠΔΑ, με κτίρια και αίθουσες μελέτης



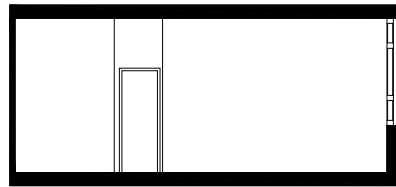
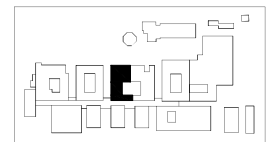
Εικόνα 15: Κ4 025



<p><b>K4 025</b></p> <p>1:1: 15.22</p> <p>Φωτομολογία κωδ. 341x3</p>	Σύμβαση	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Επιχειρησιακή Διεύθυνση	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Κατασκευαστική	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Αρμόδιος	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Επιχειρησιακή Διεύθυνση	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Κατασκευαστική	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Αρμόδιος	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Επιχειρησιακή Διεύθυνση	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Κατασκευαστική	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177
	Αρμόδιος	Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής (ΕΡΜΑ) 2177



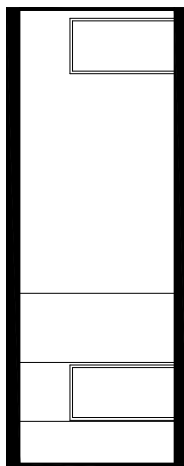
<p><b>K5 104</b></p> <p>Φωτογραφία κτιρίου: 345x1</p>	Σ. Π. α. 1
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 17,45
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 2,204
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 18,11
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 79,32
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 12,47
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 1,57
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 73,18
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 1,74
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 1,8
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 1,8
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 1,8
	Προβλεπόμενα κτίρια (από τον προϋπολογισμό): 1,8



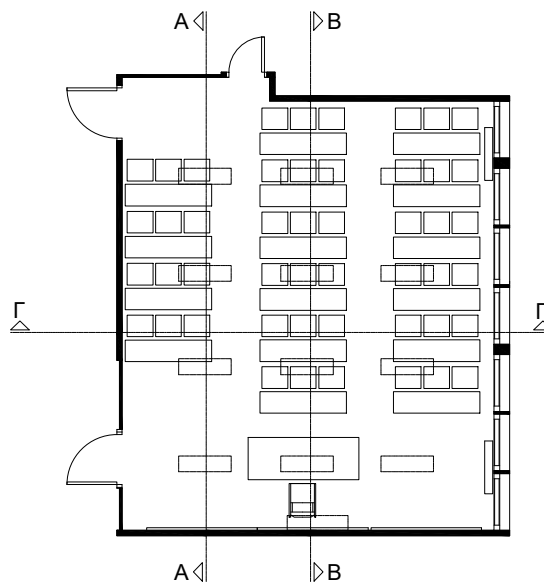
ΤΟΜΗ Γ-Γ

7,46

3,43



ΤΟΜΗ Α-Α



ΚΑΤΟΨΗ

ΤΟΜΗ Β-Β

8,8

<p>Φυλλοκόπι ποίη: 3,31x1</p>	<b>K6 108</b>	<b>ΣΤ.μ.π.:</b>
	01-08-B	Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμ.) 55,19
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμολογία)
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου 18,49
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου 50,51
		Σταθμολογία 21,9
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου 5,66
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμολογία) 81,2
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμολογία) 5,46
		Σταθμολογία 0,6
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμολογία) 0,66
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμολογία) 0,66
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμολογία) 0,66
		Σταθμολογία Μετα. Βασιλίου (Σταθμολογία) 0,66

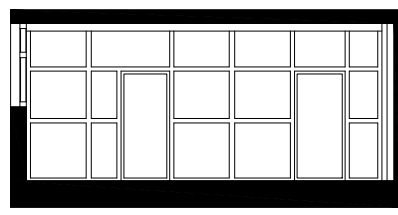
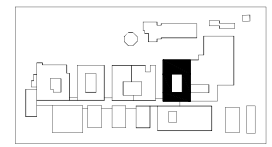




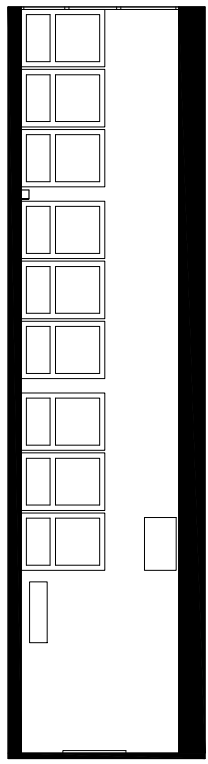
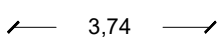
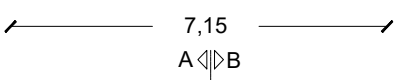




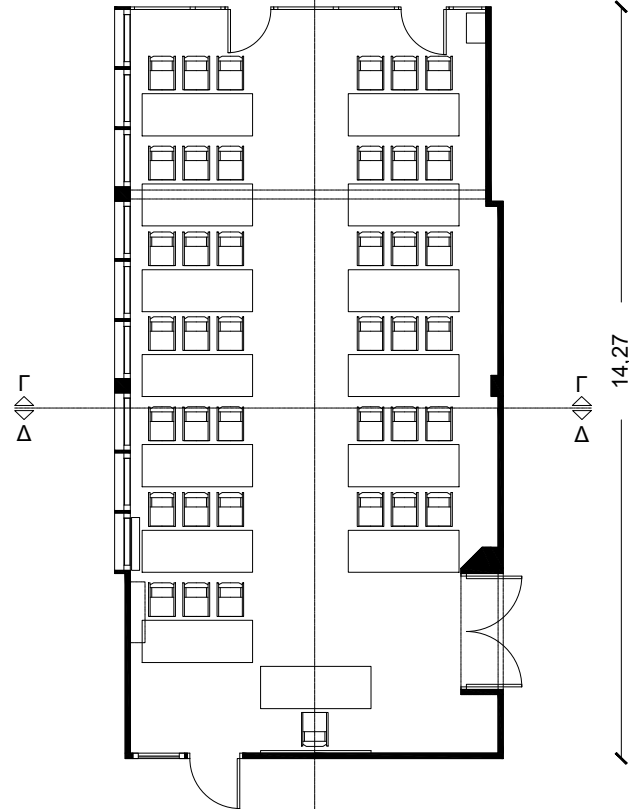




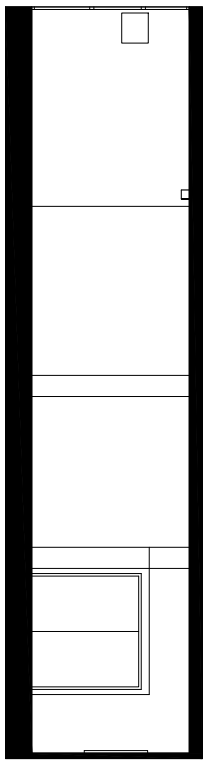
ΤΟΜΗ Γ-Γ



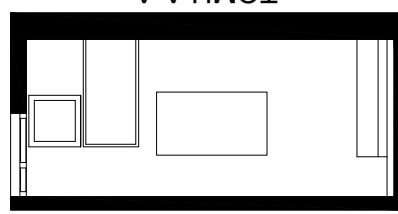
ΤΟΜΗ Α-Α



ΤΟΜΗ Β-Β



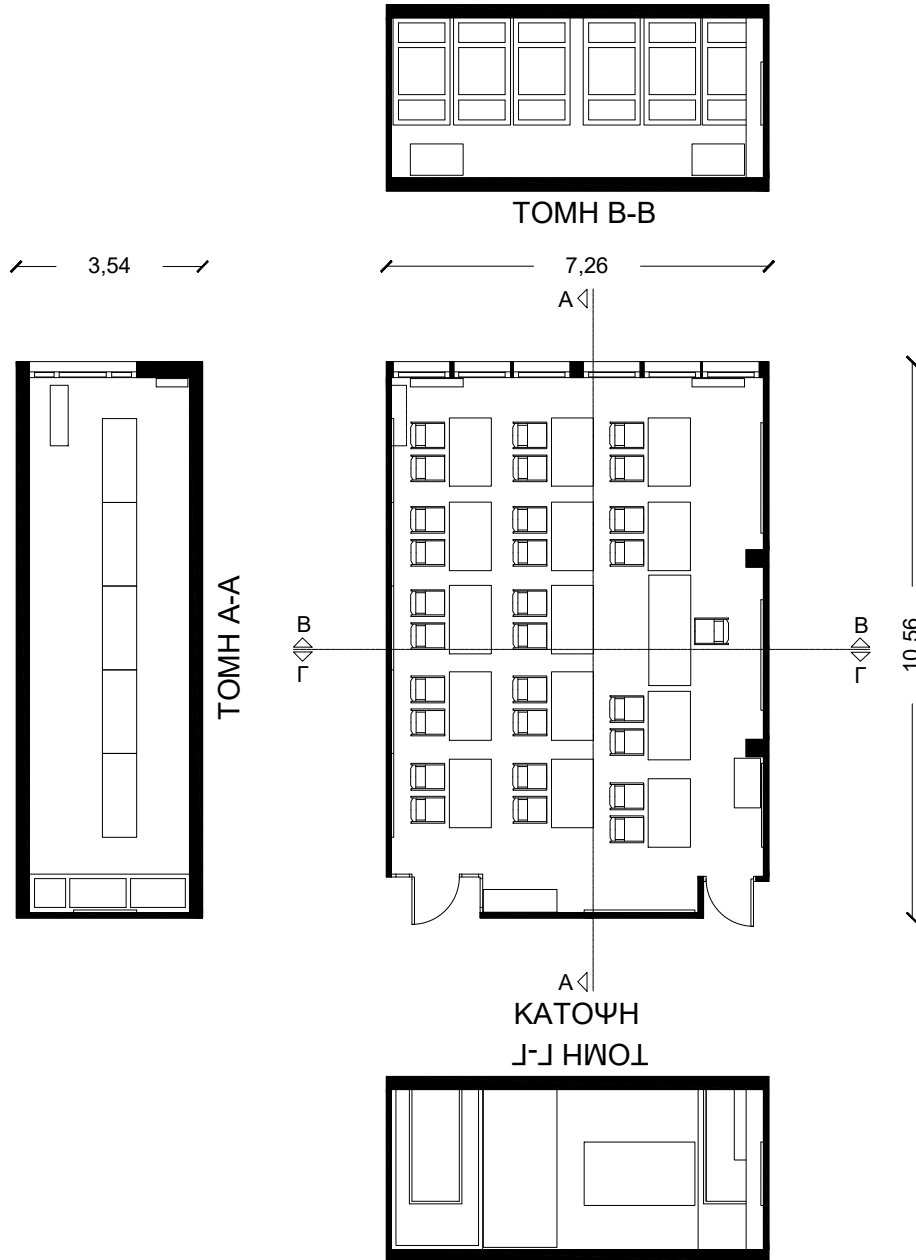
ΚΑΤΟΨΗ  
ΤΟΜΗ Δ-Δ



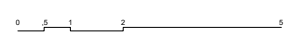
<b>K10 018</b>	Σ.Ε.Ρ.Π.
	Επιμόρφωση και Επαγγελματική Κατάρτιση
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
	Κατομή
Κατομή	







<b>K11 126</b>	<b>Σ. Δ. Π. Δ.</b>
Προσχεδιασμός Αρχιτ. (Σχολείο Αρχιτεκτονικής) 08/07	
Αρχιτεκτονική Μελέτη (Σχολείο Αρχιτεκτονικής) 10/02	
Κατασκευή Μελέτης 07/08	
Μελέτη Παρασκευασμάτων 04/09	
Επιχρυσώσεις 04/09	
Φυλάκισμα κτιρίου 04/09	
Οριστική κλίμακα 04/09	
Οριστική κλίμακα (1:200)	14,00
Μετακίνηση μεθυστικών (1:100)	1,00
Ρυθμίσεις 1:20	
Κόπηση από Ξυλόγλυπο (1:100)	0,81
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	
Κατασκευή κτιρίου	

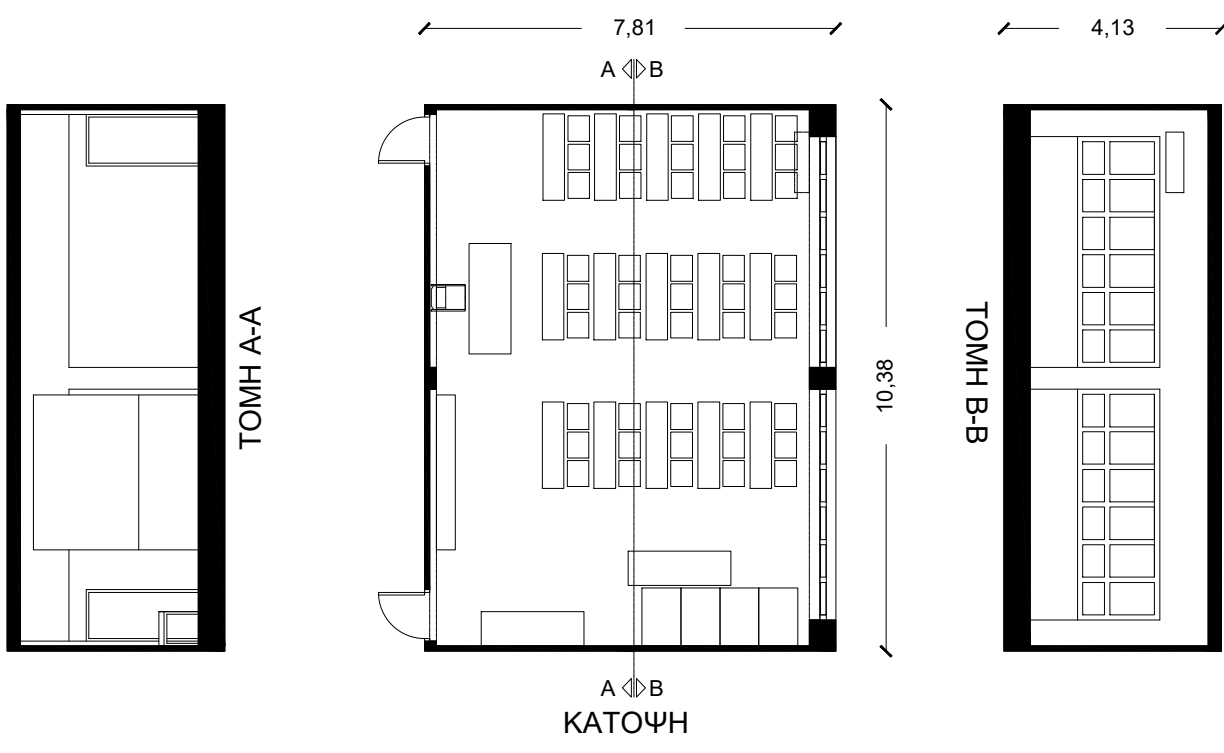




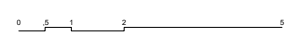








Εικόνα 28: Κ13 005



Κ13 005		Σ.Μ.Π.
Αριθμός Άνω Ψαφιδωτού Όροφου:	7,007	
Αριθμός Κάτω Ψαφιδωτού Όροφου:	12,99	
Καθαρό Πλάτος:	73,85	
Περιφέρεια/Πολεοδομ. ΟΤ.Α.		
Πρόγραμμα:	17	
Φορέας έργου:	4,36	
Αριθμός έργου:		
Αριθμός επέμβασης (Αριθμός-Φορέας):	7,79	
Αριθμός επέμβασης (Αριθμός-Φορέας):	2,52	
Πρόταση:	1,27	
Κατηγορία και βαθμίδα λειτουργίας/επίπεδο:		
Αριθμός έργου (ΕΠΕΡ):		
Αριθμός έργο/φάση:		
Αριθμός έργου:		
Αριθμός έργο/φάση/επίπεδο/κλίμακα:	2,28	
Αριθμός έργο/φάση/επίπεδο/κλίμακα:		
Αριθμός έργο/φάση/επίπεδο/κλίμακα:		
Αριθμός έργο/φάση/επίπεδο/κλίμακα:		



### 5.3 Δεύτερο στάδιο μελέτης, υπολογισμός του μέσου χρόνου αντήχησης των αιθουσών

Αφού έχουν αποτυπωθεί σε μορφή CAD όλοι οι χώροι που θα χρειαστεί να μελετηθούν, σύμφωνα με την μέθοδο Sabine, πρέπει να υπολογιστούν, όπως προαναφέρθηκε, τα τ.μ. των υλικών όλων των εσωτερικών επιφανειών των αιθουσών. Αφού υπολογιστούν όλα τα τ.μ. των υλικών των αιθουσών και καταγραφούν, πρέπει να βρεθούν και οι σταθεροί συντελεστές ηχοαπορρόφησης  $\alpha$  (alpha Sabine) των υλικών αυτών για τις κεντρικές συχνότητες κάθε οκτάβας της ανθρώπινης ομιλίας (500Hz, 1000Hz, 2000Hz), καθώς πρόκειται για αίθουσα διδασκαλίας. Με τα παραπάνω δεδομένα, δηλαδή τα τ.μ. των υλικών ανά αίθουσα (S) και τους συντελεστές των υλικών αυτών ( $\alpha$ ), θα υπολογιστούν οι ισοδύναμες επιφάνειες ηχοαπορρόφησης κάθε εσωτερικής επιφάνειάς της αίθουσας ( $A = S \cdot \alpha$ ) αλλά και η ολική ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης των επιφανειών της ( $A_{ολ} = \text{άθροισμα των επιμέρους } A$ ).

Στην συνέχεια θα υπολογιστεί ο όγκος της κάθε αίθουσας (V), και μετά θα γίνει ο υπολογισμός του χρόνου αντήχησης ( $Tr = 0,16 \cdot V / A_{ολ}$ ) ανά κεντρική συχνότητα κάθε οκτάβας της ανθρώπινης ομιλίας ( $Tr_1$  (500Hz)=  $(0,16 \cdot V)/(A_{ολ1})$ ,  $Tr_2$  (1000Hz)=  $(0,16 \cdot V)/(A_{ολ2})$ ,  $Tr_3$  (2000Hz)=  $(0,16 \cdot V)/(A_{ολ3})$ ) και τέλος θα γίνει ο υπολογισμός του μέσου χρόνου αντήχησης ( $TrM=(Tr_1+Tr_2+Tr_3)/3$ ). Ο χρόνος αντήχησης σε μία ακουστικά ελεγχόμενη αίθουσα διδασκαλίας πρέπει να έχει μεγαλύτερη ή ίση τιμή από 0,6 s και μικρότερη ή ίση τιμή από 1,2 s, δηλαδή πρέπει  $0,6 \leq TrM \leq 1,2$  s.

Επειδή οι παραπάνω υπολογισμοί είναι αρκετά χρονοβόροι, οι απαραίτητες πράξεις έγιναν μέσω Excel. Μέσα στο πρόγραμμα (Excel) δημιουργήθηκε ένας πρότυπος αλγόριθμος που με δεδομένα τα τ.μ. των επιφανειών, τους συντελεστές  $\alpha$  και τους όγκους των αιθουσών υπολόγιζε μόνος του τον μέσο χρόνο αντήχησης για κάθε αίθουσα ξεχωριστά (ουσιαστικά επαναλαμβάνοντας τις παραπάνω πράξεις για κάθε αίθουσα) όπως φαίνεται παρακάτω. Ο αλγόριθμος αυτός αποτελείται από μια αλληλουχία απλών πράξεων (πολλαπλασιασμούς, προσθέσεις, διαιρέσεις), όπου η πρώτοι υπολογισμοί χρησιμοποιούν ως δεδομένα τις τιμές που εισάγει ο χρήστης και οι επόμενες στην σειρά πράξεις/υπολογισμοί χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πρώτες πράξεις για να φτάσουν στο τελικό αποτέλεσμα. Οι πράξεις και η σειρά που γίνονται αυτές μέσα στον αλγόριθμο προκύπτουν από την μέθοδο Sabine όπως αυτή φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 29).

Ο αλγόριθμος αυτός δημιουργήθηκε για να γίνουν οι πράξεις ελέγχου του μέσου χρόνου αντήχησης ( $TrM$ ), σύμφωνα με την μέθοδο Sabine, πιο εύκολα. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος βοηθάει στην απαλοιφή των περιττών και επαναλαμβανόμενων πράξεων για την συγκεκριμένη μελέτη, καθώς ολοκληρώνει την διαδικασία του υπολογισμού πιο εύκολα και χωρίς λάθη. Παράλληλα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και για άλλες ακουστικές μελέτες χώρων, που μπορούν να μελετηθούν με την μέθοδο Sabine. Συνοψίζοντας ο συγκεκριμένος πρότυπος αλγόριθμος που δημιουργήθηκε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει άμεσα αποτελέσματα απαλλάσσοντας τον χρήστη από την χρονοβόρα διαδικασία των επαναλαμβανόμενων υπολογισμών. Με την παρούσα υπόσταση του ο αλγόριθμος μπορεί να δώσει άμεσα αποτελέσματα, έως και για δεκαπέντε (15) χώρους και μέχρι είκοσι (20) υλικά (εσωτερικών επιφανειών) ο καθένας (χώρος) ταυτόχρονα.





#### **5.4 Τρίτο στάδιο μελέτης, ακουστική διόρθωση των αιθουσών**

Εφόσον οι αίθουσες κρίθηκαν ακατάλληλες θα πρέπει να σχεδιαστούν νέες ακουστικές λύσεις. Για τις νέες λύσεις που θα σχεδιαστούν θα επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία για κάθε μίας από τις λύσεις, δηλαδή θα επαναυπολογιστούν ξανά οι ισοδύναμες επιφάνειες ηχοαπορρόφησης κάθε εσωτερικής επιφάνειας της αίθουσας και η ολική ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης των επιφανειών της (με τις νέες λύσεις), θα επαναυπολογιστούν επίσης ο χρόνος αντήχησης (ανά κεντρική συχνότητα κάθε οκτάβας της ανθρώπινης ομιλίας) και ο μέσος χρόνος αντήχησης, μέχρι αυτός να είναι ο επιθυμητός.

Προτού αναφερθούν οι ακουστικές λύσεις να σημειωθεί ότι τα έπιπλα που έχουν ληφθεί υπόψιν στις παραπάνω αποτυπώσεις παραμένουν ίδια και στις λύσεις που προτείνονται (δεν γίνεται δηλαδή πρόταση επίπλωσης) και τα φωτιστικά των αιθουσών (αναλόγως την λύση) μπορεί να αντικατασταθούν με νέα για την καλύτερη αποτύπωση της ιδέας.

##### **5.4.1 Τρόπος επιλογής τοποθέτησης ηχοαπορροφητικών επιφανειών στις αίθουσες**

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως οι επεμβάσεις, που θα γίνουν στους χώρους διδασκαλίας που μελετήθηκαν, θα είναι επεμβάσεις στην οροφή των χώρων και η επιλογή αυτή δεν είναι τυχαία. Ο τρόπος επιλογής της μεθόδου ακουστικής διόρθωσης, των χώρων που μελετήθηκαν, είναι με τον αποκλεισμό των τρόπων διόρθωσης που δεν θα ήταν ιδανικοί για αυτήν την περίπτωση (χώροι διδασκαλίας πανεπιστημίου). Επίσης η ακουστικές λύσεις που προτείνονται στην συνέχεια είναι ίδιες για κάθε αίθουσα έτσι ώστε να φανεί πως οι συγκεκριμένες λύσεις που επιλέχθηκαν είναι ευέλικτες και αποτελεσματικές σε κάθε αίθουσα.

Αρχικά αποκλείστηκε η επέμβαση στα δάπεδα των αιθουσών διότι σε ορισμένες αίθουσες υπάρχουν σταθερά καθίσματα και πάγκοι, ενώ παράλληλα τα ηχοαπορροφητικά υλικά κατάλληλα για δάπεδα δεν είναι σχεδιασμένα για βαριά χρήση καθώς φθείρονται εύκολα. Η επέμβαση στους τοίχους ενός χώρου αποκλείστηκε επίσης, διότι η κάθε αίθουσα έχει διαφορετικές επιφάνειες ελεύθερων τοίχων, λόγω της ποικίλης διάταξης των υαλοστασίων της, των ντουλαπιών της, των πινάκων της και των θυρών της. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα, η οποιαδήποτε ακουστική επέμβαση στους τοίχους των αιθουσών, να δημιουργεί μια ανισομερή κατανομή ηχοαπορρόφησης στους χώρους αυτούς. Τέλος επιλέχθηκε η οροφή ως το κοινό σημείο παρέμβασης της κάθε αίθουσας μελέτης διότι η οροφή παρέχει ισομερή κατανομή ηχοαπορρόφησης, έλλειψη φθοράς καθώς και διάφορες δυνατότητες αισθητικής επέμβασης και βελτίωσης.

##### **5.4.2 Εναλλακτική Λύση 1: Κατασκευή από διάτρητη γυψοσανίδα πάχους 10mm πάνω σε μεταλλικό σκελετό στην οροφή**

Στην πρώτη λύση σχεδιάζεται και προτείνεται η κατασκευή συστήματος μεταλλικού σκελετού-διάτρητης γυψοσανίδας πάχους 10mm, με τρύπες διαμέτρου 8mm, σε συνδυασμό με 25mm υαλοβάμβακα στο πίσω μέρος της διάτρητης γυψοσανίδας, στην οροφή κάθε αίθουσας όπως φαίνεται στα παρακάτω σχέδια:



<https://www.contractorbhai.com/technique-false-ceiling-installation/>

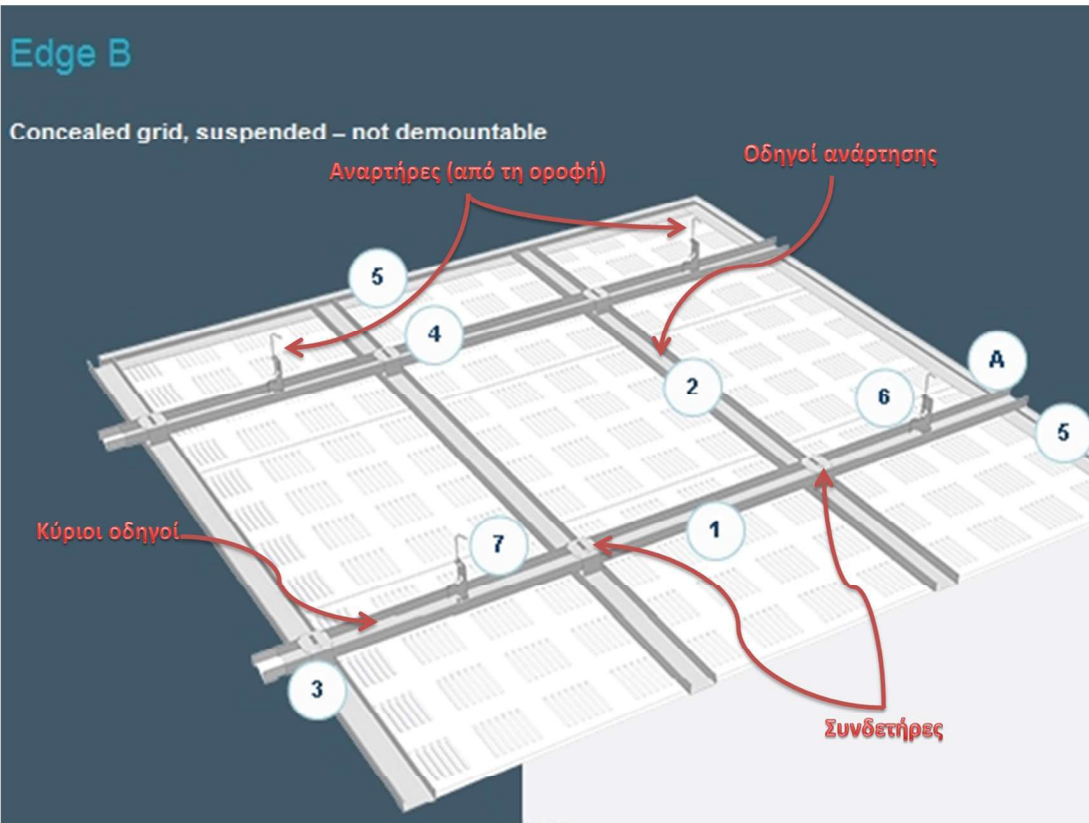
Εικόνα 31: Σκελετός στήριξης γυψοσανίδας



<https://www.9wood.com/blog/eight-different-types-of-ceilings/>

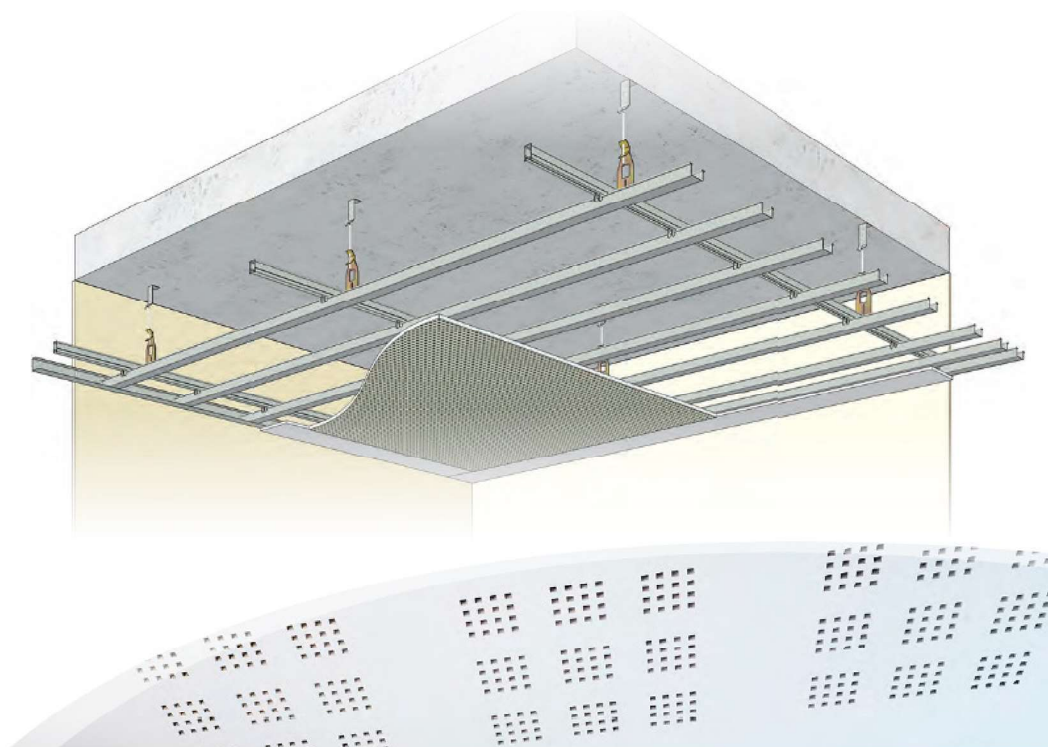
Εικόνα 32: Τεχνική στοκαρίσματος γυψοσανίδας





<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA165/20-Ψευδοροφές.pdf>

Εικόνα 33: Προοπτικό σχέδιο σκελετού ανάρτησης γυψοσανίδας



<https://potters.co.nz>

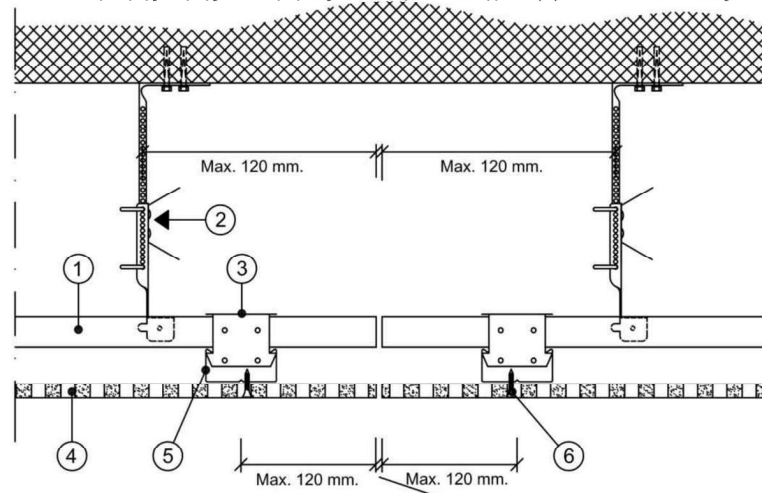
Εικόνα 34: Προοπτικό σχέδιο σκελετού ανάρτησης γυψοσανίδας

CEILING							
Mineral wool tiles, 180mm airspace		0,42	0,72	0,83	0,88	0,89	0,80
Mineral wool tiles, glued/screwed to soffit		0,06	0,40	0,75	0,95	0,96	0,83
Gypsum plaster tiles, 17% perforated, 22mm		0,45	0,70	0,80	0,80	0,65	0,45
Metal ceiling, 32.5% perforated, backed by 30mm rockwool		0,12	0,45	0,87	0,98	1,00	1,00
Perforated underside of structural steel decking (typical, depends on perforations)		0,30	0,70	0,85	0,90	0,70	0,65
12% perforated plaster tiles, absorbent felt glued to back, 200mm ceiling void		0,45	0,70	0,88	0,52	0,42	0,35
100mm woodwool slabs on 25mm cavity, pre-screeded surface facing cavity		0,50	0,75	0,85	0,65	0,70	0,70
50mm woodwool slabs on 25mm cavity, pre-screeded surface facing cavity		0,30	0,40	0,50	0,85	0,50	0,65
100mm woodwool fixed directly to concrete, pre-screeded surface facing backing		0,25	0,80	0,85	0,65	0,70	0,75
75mm woodwool fixed directly to concrete, pre-screeded surface facing backing		0,15	0,40	0,95	0,60	0,70	0,60
Plasterboard 10mm thick backed with 25mm thick bitumen	10mm	0,30	0,20	0,15	0,05	0,05	0,05
Plasterboard 10mm thick, perforated 8mm diameter holes 2755m2 14% open area backed with 25mm thick bitumen- bonded fibreglass on 90mm battens	10mm	0,25	0,70	0,85	0,55	0,40	0,30
Plywood, 5mm, on battens 50mm airspace filled with glass wool	5mm	0,40	0,35	0,20	0,15	0,05	0,05
Plywood, 12mm, with 30mm thick fibreglass backing between 30mm battens		0,40	0,20	0,15	0,10	0,10	0,05
Plywood 12mm thick perforated 5mm diameter holes 6200 m2 11% open area with 60mm deep air space behind		0,20	0,35	0,55	0,30	0,25	0,30
Plywood 12mm thick perforated 5mm diameter holes 6200 m2 11% open area backed with 60mm thick fibreglass between mounting battens		0,40	0,90	0,80	0,50	0,40	0,30
Hardboard, 25% perforated over 50mm mineral wool		0,27	0,87	1,00	1,00	0,98	0,96
0.8mm unperforated metal panels backed with 25mm thick resin bonded fibreglass, mounted on 22mm diameter pipes 135mm from wall.	0.8mm	0,50	0,35	0,15	0,05	0,05	0,00
0.8mm perforated metal tiles 2mm diameter holes 29440/m2. 13% open area backed with 25mm thick resin-bonded fibreglass slab. No airspace.	0.8mm	0,10	0,30	0,60	0,75	0,80	0,80
50mm mineral wool ( 96 kg/m3 ) behind 25% open area perforated steel.	50mm	0,20	0,35	0,65	0,85	0,90	0,80
Wood panels, 18mm alternate 15mm slot & 35mm wooden slat	18mm	0,10	0,36	0,74	0,91	0,61	0,50
25mm rockwool backing, 32mm airspace behind							
Plaster decorative panels, ceilings		0,20	0,22	0,18	0,15	0,15	0,16

www.akoustik.ua

Εικόνα 35: Πίνακας συντελεστή ηχοαπορρόφησης α για την πρώτη εναλλακτική λύση

Λεπτομέρεια κατακόρυφης τομής κατά μήκος των κύριων οδηγών (1) και κάθετα στους οδηγούς ανάρτησης (5)



Solution 1, vertical section, scale 1:5

- |                                          |                                                                  |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1 GK 1 main channel, cc max. 1000 mm.    | 7 Steel base plate PB 100, only screw fixed to one plasterboard. |
| 2 Hanger GK 26-01/GK 27, cc max. 900 mm. | 8 Glue jointing (saw frieze edge, no cardboard edge).            |
| 3 GK 22 Connector.                       | 9 Edge steel KS 13.                                              |
| 4 Rigitone perforated plasterboard.      | 10 Frieze plasterboard without perforation.                      |
| 5 GK 1 Cross channel, cc max. 320 mm.    |                                                                  |
| 6 QSTR 25 screw.                         |                                                                  |

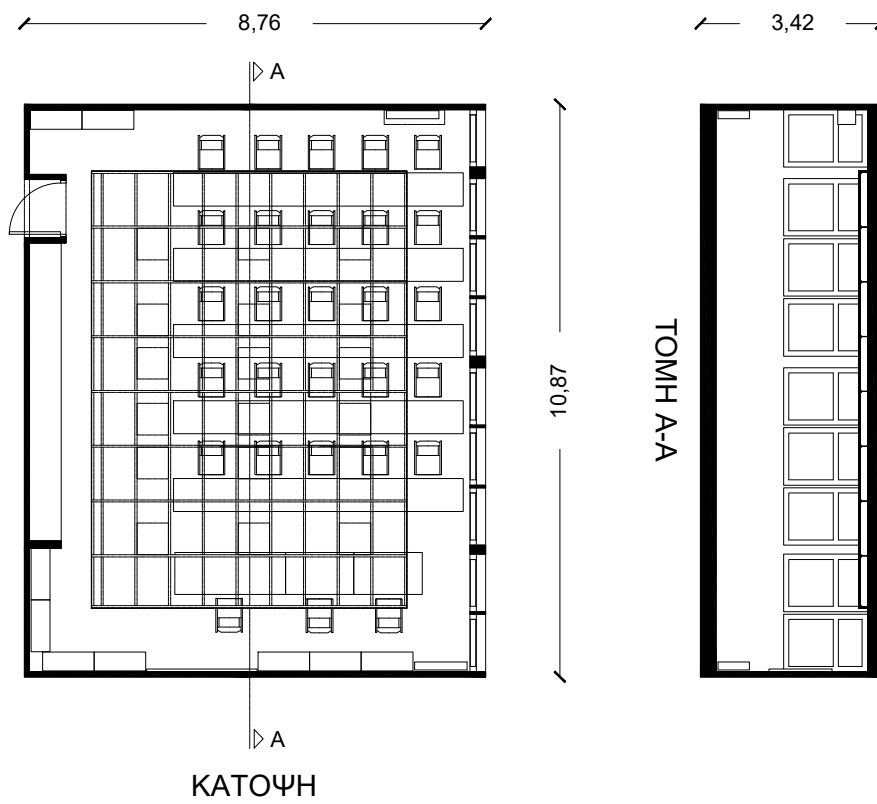
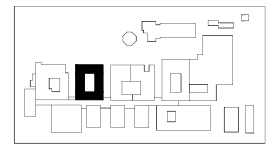
<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA165/20-Ψευδοροφές.pdf>

Εικόνα 36: Λεπτομέρεια ψευδοροφής





Εικόνα 37: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 1



ΚΑΤΟΨΗ

ΤΟΜΗ Α-Α



<p>Φωτοσχεδίο κτιρίου: K4_025_1</p>	<b>K4 025</b>	<b>Σ.Ε.Ρ.Π.</b>
	1:μ. 85:22	Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 11,81*
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 0,9*
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 84,53
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 0,24
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 11,6
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 2,14
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 11,26
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 21,87
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 11,6
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 11,26
		Προσέλευση κτιρίου (Προσέλευση Στοιχείου): 21,87



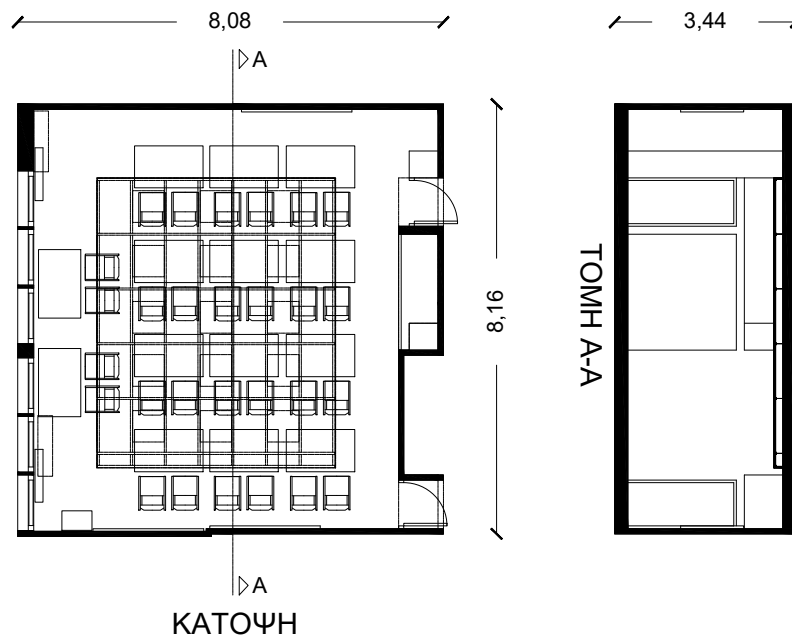








ΚΑΤΟΨΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗΣ 1 ΠΔΑ



Εικόνα 43: K9 102 (Πρώτη λύση)



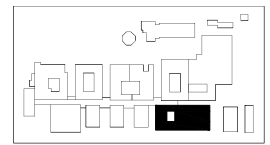
 Ορθογώνιο σώμα 3x,4x1	<b>K9 102</b>	Σ. Π. α. 1
	1:1	Φωτοβλάντα (από ψηφιακό βλάντα) 31.09
	1:1	Φωτοβλάντα (από ψηφιακό βλάντα) 7.24
	Κατασκευαστικό Σ.Π.	Κατασκευαστικό Σ.Π.
	Προσκήνιο (από ψηφιακό βλάντα) 24.02	Προσκήνιο (από ψηφιακό βλάντα) 24.02
	Προσκήνιο 11.24	Προσκήνιο 11.24
	Προσκήνιο 11.24	Προσκήνιο 11.24
	Προσκήνιο 11.24	Προσκήνιο 11.24
	Προσκήνιο 11.24	Προσκήνιο 11.24
	Προσκήνιο 11.24	Προσκήνιο 11.24



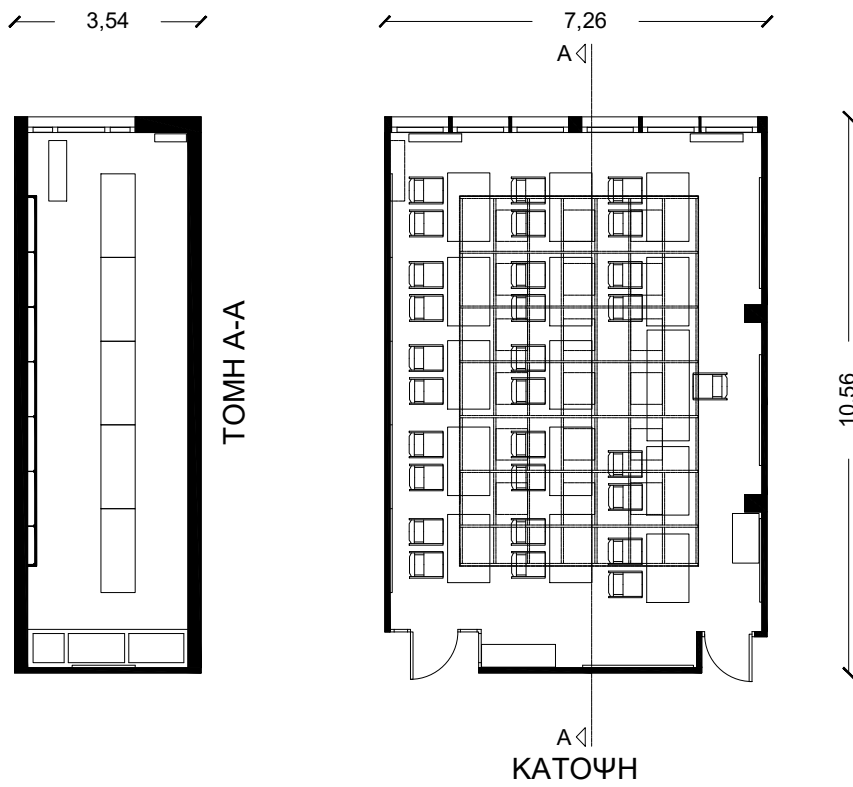








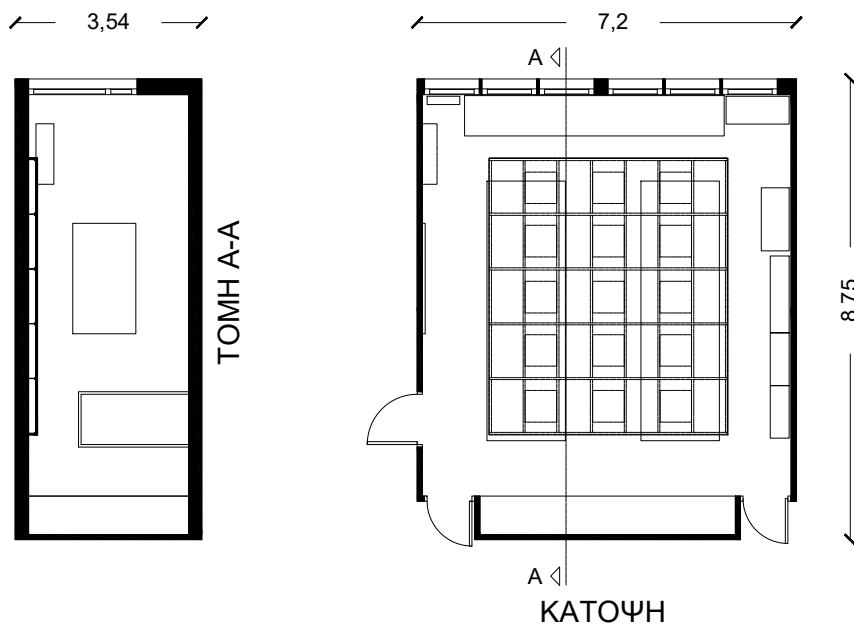
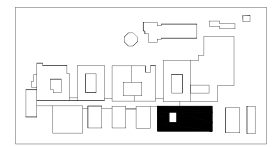
ΚΑΤΟΨΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗΣ 1 ΠΔΑ



<p>Φωτογράφημα: 20.06.1</p>	<b>K11 126</b>	<b>Σ.Ε.Π.1</b>
	Επιφάνεια Κατασκευασμένου: 24,36	Επιφάνεια Κατασκευασμένου: 1,52
	Επιφάνεια Χρήσης: 67,88	Επιφάνεια Χρήσης: 04,30
	Επιφάνεια Χρήσης: 14,54	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50
	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50
	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50
	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50
	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50
	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50
	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50	Επιφάνεια Χρήσης: 4,50

Εικόνα 47: K11 126 (Πρώτη λύση)

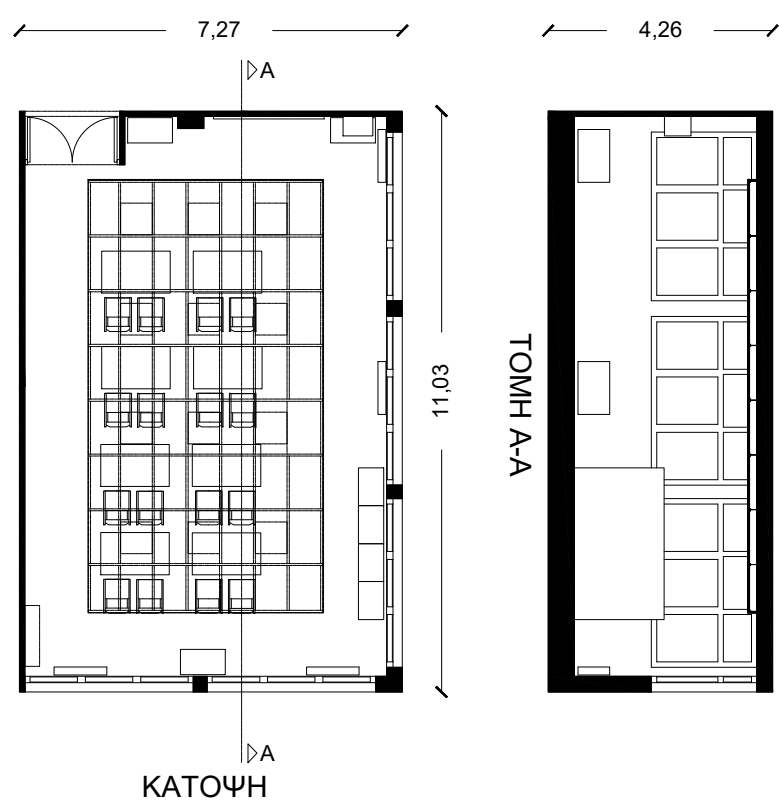
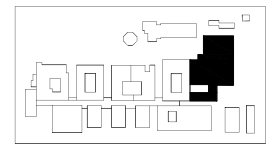




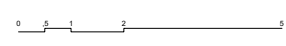
<p>Φωτοσύνθεση: Δρ. Δελ. 1</p>	<b>Κ11 123</b>	<b>Σ. Π. Δ. 1</b>
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123
	Στοιχείο: Κ11 123	Στοιχείο: Κ11 123

Εικόνα 48: Κ11 123 (Πρώτη λύση)





Εικόνα 49: Κ12 001 (Πρώτη λύση)



 Ουσιώδη εμβαδόν: 26,86,1	<b>Κ12 001</b>	<b>Σύνοψη</b>
	Επιφάνεια από θάλασσας (εμβαδόν): 21,17	Επιφάνεια από θάλασσας (εμβαδόν): 1,65
	Επιφάνεια κάλυψης: 67,73	Επιφάνεια κάλυψης: 67,73
	Αριθμός ορόφων: 05, 02	Αριθμός ορόφων: 05, 02
	Αριθμός ορόφων: 02	Αριθμός ορόφων: 02
	Φωτογόνος πάχος: 3,85	Φωτογόνος πάχος: 3,85
	Επίπεδο κάλυψης:	Επίπεδο κάλυψης:
	Επίπεδο επιφάνειας (εμβαδόν): 61,93	Επίπεδο επιφάνειας (εμβαδόν): 61,93
	Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν): 4,78	Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν): 4,78
	Πλάτος από επιφάνεια (εμβαδόν): 2,02	Πλάτος από επιφάνεια (εμβαδόν): 2,02
Μέγιστος πάχος (εμβαδόν):	Μέγιστος πάχος (εμβαδόν):	
Μέγιστος επιφάνειας:	Μέγιστος επιφάνειας:	
Μέγιστος πάχος:	Μέγιστος πάχος:	
Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν):	Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν):	
Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν): 28,34	Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν): 28,34	
Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν):	Μέγιστος επιφάνειας (εμβαδόν):	











### 5.4.3 Εναλλακτική Λύση 2: Τοποθέτηση ακουστικών πάνελ πάχους 50mm στην οροφή

Στην δεύτερη λύση προτείνεται η τοποθέτηση κρεμαστών ακουστικών πάνελ, LÄTT Clamp absorbent, μήκους 1,2 μέτρων, πλάτους 90 εκατοστών και πάχους 50 χιλιοστών, της εταιρείας A. M. Acoustics στην οροφή κάθε αίθουσας όπως φαίνεται στα παρακάτω σχέδια:



<https://www.amacoustics.com>

Εικόνα 54: Φωτογραφία λύσης 2



<https://www.amacoustics.com/products/ceiling/latt-clamp-absorbent>

Εικόνα 55: Φωτογραφία λύσης 22

# LÄTT Clamp absorbent

Improve acoustics without the need to change existing installations such as ventilation, cables, lamps, etc.

## Size and Material

LÄTT is manufactured in two standard sizes. The absorbents are 50 mm thick for good sound absorption. The core material is Rockwool which is covered with Acoustic Nonwoven to eliminate fibre deposition. LÄTT is mounted in the ceiling leaving other installations such as lighting and ventilation undisturbed.

## Acoustic Nonwoven



White  
901



Black  
902

## Clamps



Tight clamp  
White



Air gap  
clamp White



Tight clamp  
Black



Air gap  
clamp Black

## Finish

LÄTT is delivered fully dressed in black or white Acoustic Nonwoven. The clamps are available in two models, with or without an air gap between the absorbent and the ceiling. Air gap is 50 mm.

## Prices

**How to order:** 1. Select dimensions 2. Choose colour of Acoustic Nonwoven 3. Select clamp type. **Example of article number:** A20091-901-301 is a 1200 x 600 x 50 mm LÄTT with white Acoustic Nonwoven using a 600 mm white clamp for mounting with no air gap.

### LÄTT

Dimensions	Art no	Tight mounted	Air gap
1200x600x50 mm White	A20091-901	45 €	50 €
1200x900x50 mm White	A20092-901	67 €	72 €
1200x600x50 mm Black	A20091-902	47 €	52 €
1200x900x50 mm Black	A20092-902	70 €	75 €

### ACCESSORIES

Clampe	Name	Price
Clamp tight 600 mm White	301	included
Clamp tight 900 mm White	303	included
Clamp tight 600 mm Black	311	included
Clamp tight 900 mm Black	313	included
Clamp air gap 600 mm White	302	included
Clamp air gap 900 mm White	305	included
Clamp air gap 600 mm Black	312	included
Clamp air gap 900 mm Black	315	included

## Miscellaneous

### HOW TO SPECIFY

A. M. Acoustics LÄTT

### CLEANING

Clean by dry brushing or vacuuming. If very dirty, clean with cold water, a cloth and a gentle detergent.

### FIRE

With standard fabrica LÄTT has been rated B-s1,d0.

### MOUNTING

LÄTT is mounted using the lacquered clamps with pre-punched screw holes.

### ACOUSTIC PROPERTIES

Product	Finish	Constr. height	63	125	250	500	1'	2'	4'	αw
LÄTT	DUK	50 mm	0,00	0,25	0,75	1,0	1,0	1,0	0,95	1,0
50 mm	DUK	100	0,05	0,35	0,90	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

<https://mag.atom.millergraphics.com/k5QQmGu>

Εικόνα 56: Τεχνικά χαρακτηριστικά και συντελεστής ηχοαπορρόφησης α εναλλακτικής λύσης 2





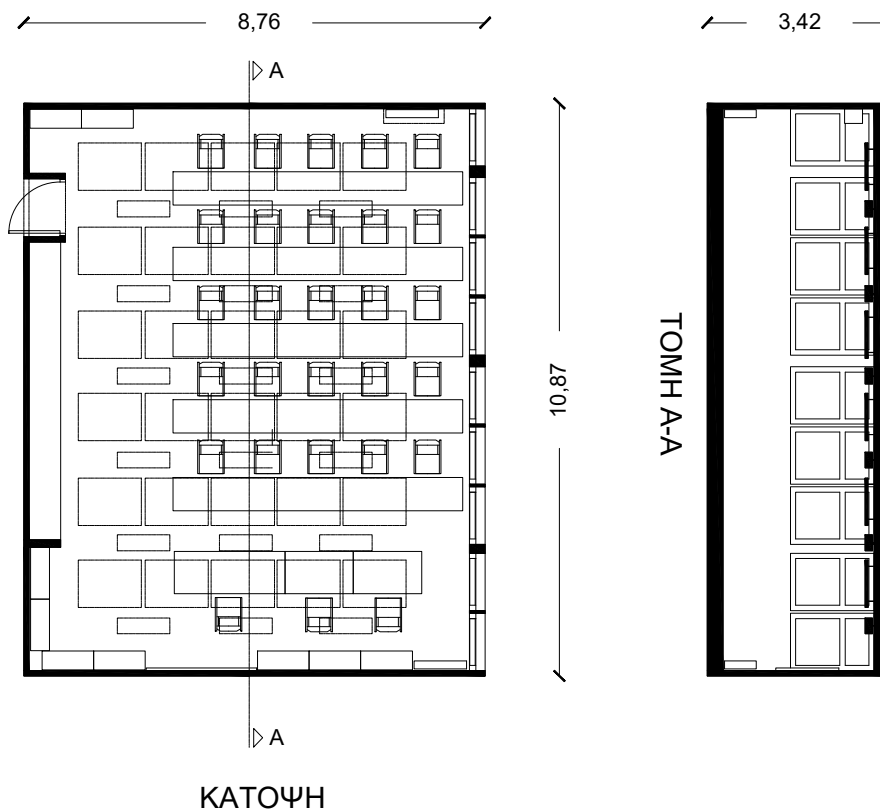
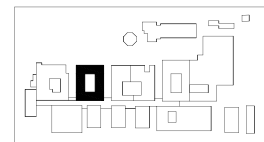
Εικόνα 57: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2



Εικόνα 58: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2 (εναλλακτική 1)

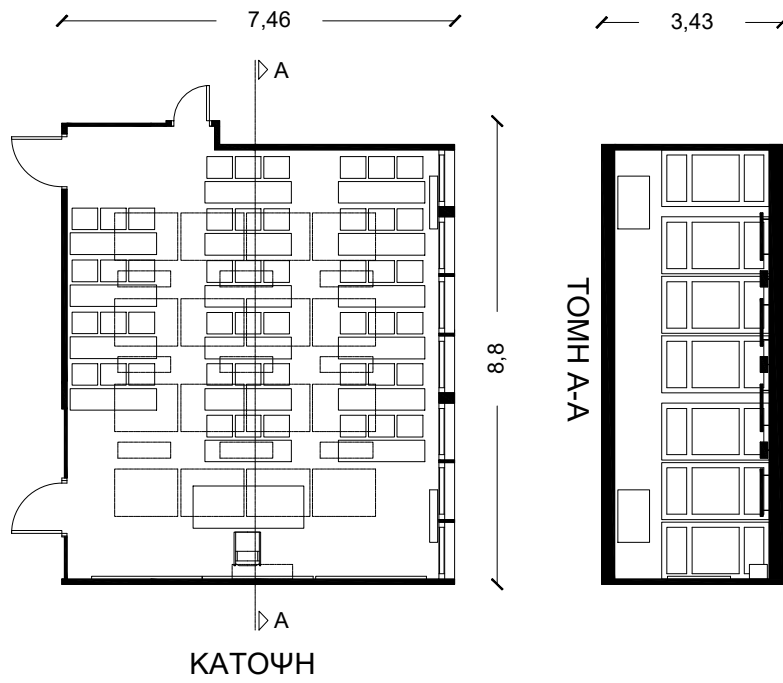
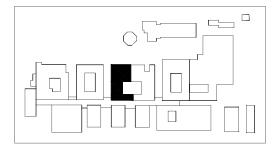


Εικόνα 59: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2 (εναλλακτική 2)



<b>K4 025</b>	<b>Σύνοψη:</b>
	Επιφάνεια Διαβάσεων (τορφέ): 8,77 Επιφάνεια του Σωλήνα (πλάκας): 2,3 Κατασκευαστική Κ4 025
<b>Επιφάνεια Διαβάσεων:</b>	8,77
<b>Επιφάνεια του Σωλήνα (πλάκα):</b>	2,3
<b>Κατασκευαστική Κ4 025:</b>	11,07
<b>Επιφάνεια Διαβάσεων (πλάκα):</b>	34,37
<b>Επιφάνεια του Σωλήνα (πλάκα):</b>	34,37
<b>Κατασκευαστική Κ4 025:</b>	68,74
<b>Επιφάνεια Διαβάσεων (πλάκα):</b>	34,37
<b>Επιφάνεια του Σωλήνα (πλάκα):</b>	34,37
<b>Κατασκευαστική Κ4 025:</b>	68,74
<b>Επιφάνεια Διαβάσεων (πλάκα):</b>	34,37
<b>Επιφάνεια του Σωλήνα (πλάκα):</b>	34,37
<b>Κατασκευαστική Κ4 025:</b>	68,74





Εικόνα 62: K6 108 (Δεύτερη λύση)

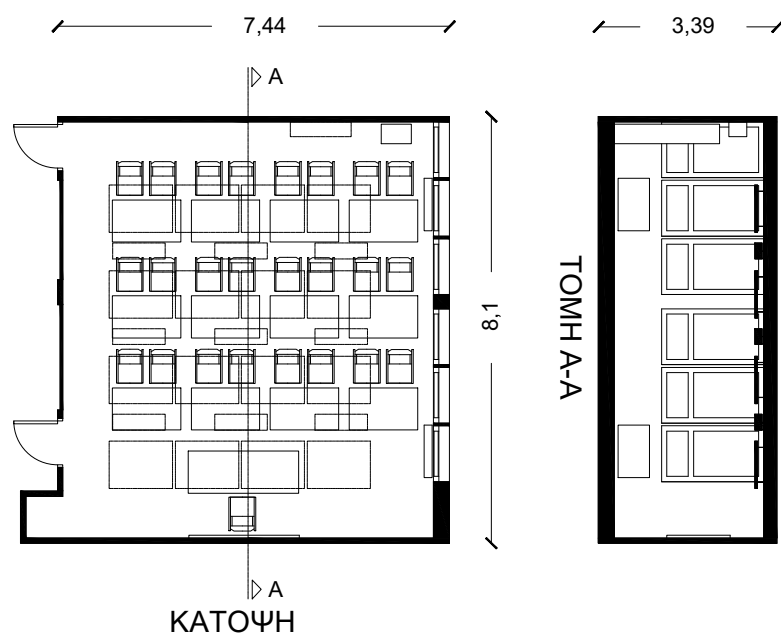


<p><b>K6 108</b></p> <p>Γ.ρ.: 58.8</p> <p>Φωτισμό ορόφου 3x4x1</p> <p>Ακουστικό ορόφου 3x4x2,05</p>	ΣΕ Γ.ρ. 1
	Συνολικός Υπό Βασικό (ορόφου): 55.15
	Συνολικός Υπό Βασικό (στέγαστρο):
	Κατοψή 55.07
	Προσοχή 55.14
	Πλάτος 3.43
	Πλάτος ορόφου: 3.43
	Πλάτος ορόφου (μετά φέρων): 3.33
	Πλάτος ορόφου (μετά φέρων): 3.25
	Πλάτος 3.39
	Πλάτος με φέρων (μετά φέρων):
	Πλάτος (μετά φέρων):
	Πλάτος ορόφου:
Πλάτος ορόφου (μετά φέρων):	
Πλάτος ορόφου (μετά φέρων):	
Πλάτος ορόφου (μετά φέρων):	

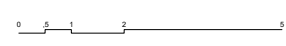




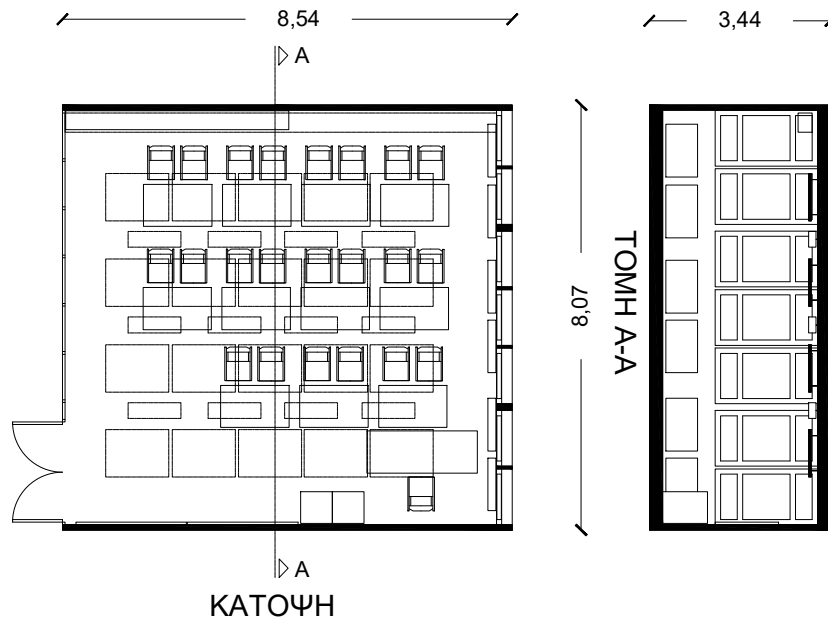
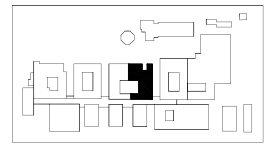
ΚΑΤΟΨΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗΣ 1 ΠΔΑ



Εικόνα 63: K7 002 (Δεύτερη λύση)



<p>Φωτιστικό σώμα 3x4x1</p> <p>Ακουστική οροφή 0x1,2x0,5</p>	<b>K7 002</b>	Σ. Π. α. 1
	Στοιβάδα λείο θραυστό γυψοβάψ 13,45	Στοιβάδα λείο θραυστό γυψοβάψ
	Επιχρώμα 12,2	Επιχρώμα 12,2
	Φωτιστικό σώμα 3x4x1	Φωτιστικό σώμα 3x4x1
	Ακουστική οροφή 0x1,2x0,5	Ακουστική οροφή 0x1,2x0,5
	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03
	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03
	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03
	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03
	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03	Πλάκα από γυψοβότα (1x0,6x0,6) 15,03

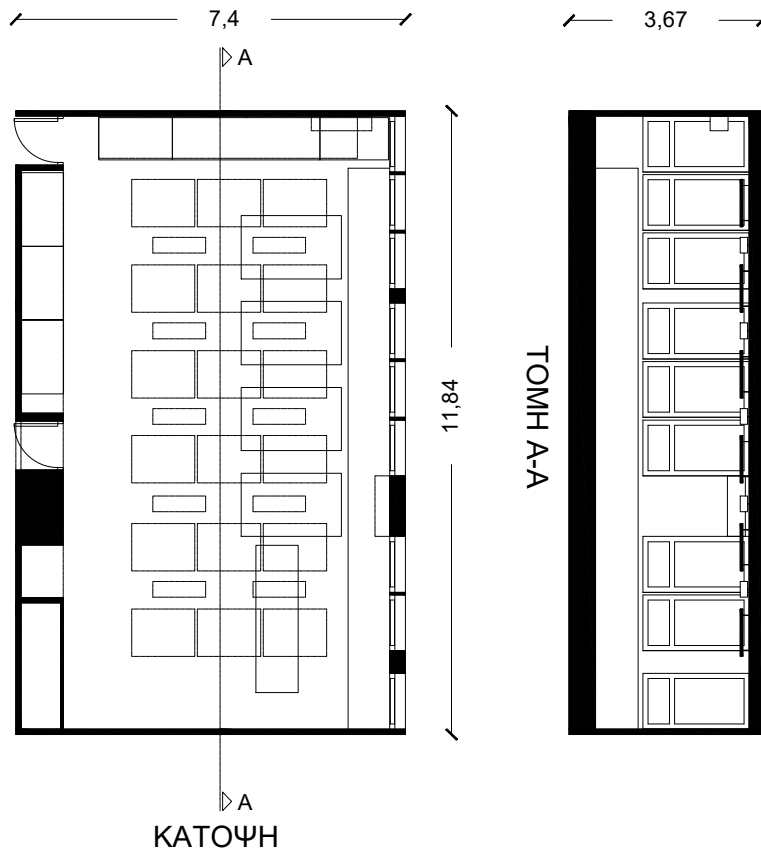
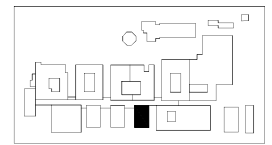


<b>K8 105</b>	<b>Σύμβολο</b>	Σταθμός Μεταβατικού Σιδηρόδρομου (ΣΜΣ)
	Επιβλεπόντων	Κ.Ν.Π. Α.Α.Α.
Στοιχείο	Κατομή	Κ.Ν.Π. Α.Α.Α.
Επιπέδου	Κατομή	Κ.Ν.Π. Α.Α.Α.
Πλάτος οδού	3,44x2	
Πλάτος οδού	3,44x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	
Αριθμός οδών	2x2	

Εικόνα 64: K8 105 (Δεύτερη λύση)



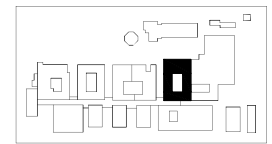




Εικόνα 66: K9 006 (Δεύτερη λύση)



<p>Ουλοποιημένο σχέδιο 30x1</p>	<p><b>K9 006</b></p>	<p>ΣΤ.Ε.Π.Ι</p>
	<p>Στοιχεία κτιρίου (αριθμός): 79.12</p> <p>Στοιχεία κτιρίου (αριθμός): 11.01</p>	<p>Κατηγορία κτιρίου: ΕΤ.26</p> <p>Υψόμετρο: 12.25</p> <p>Πλάτος κτιρίου: 3.58</p>
<p>Αρκετά κτίρια</p> <p>Αρκετά κτίρια (αριθμός): 10.46</p> <p>Αρκετά κτίρια (αριθμός) (αριθμός): 10.46</p>	<p>Πλάτος κτιρίου (αριθμός): 10.46</p> <p>Πλάτος κτιρίου (αριθμός): 10.46</p>	<p>Αριθμός κτιρίου: 1.12</p> <p>Αριθμός κτιρίου (αριθμός): 10.46</p> <p>Αριθμός κτιρίου (αριθμός): 10.46</p>
<p>Αρκετά κτίρια 30x1,2x05</p>	<p>Αριθμός κτιρίου: 1.12</p> <p>Αριθμός κτιρίου (αριθμός): 10.46</p> <p>Αριθμός κτιρίου (αριθμός): 10.46</p>	<p>Αριθμός κτιρίου: 1.12</p> <p>Αριθμός κτιρίου (αριθμός): 10.46</p> <p>Αριθμός κτιρίου (αριθμός): 10.46</p>



Κ10 018		Σ. Π. Δ. Σ.
2.2. 35.76	Επιτάχυνση Λειτουργίας (Απόφαση)	30.43
	Επιτάχυνση Λειτουργίας (Απόφαση)	4.52
	Κύρια Κλίμακα 20,38	
	Κλίμακα 1:200	75,38
	Πλάτος 7,75	
	Πλάτος 3,74	
	Επιτάχυνση 1:8	77,28
	Κλίμακα 1:200 (Απόφαση)	77,28
	Κλίμακα 1:100 (Απόφαση)	11,71
	Πλάτος 1,22	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	
	Πλάτος 3,74 (Απόφαση)	



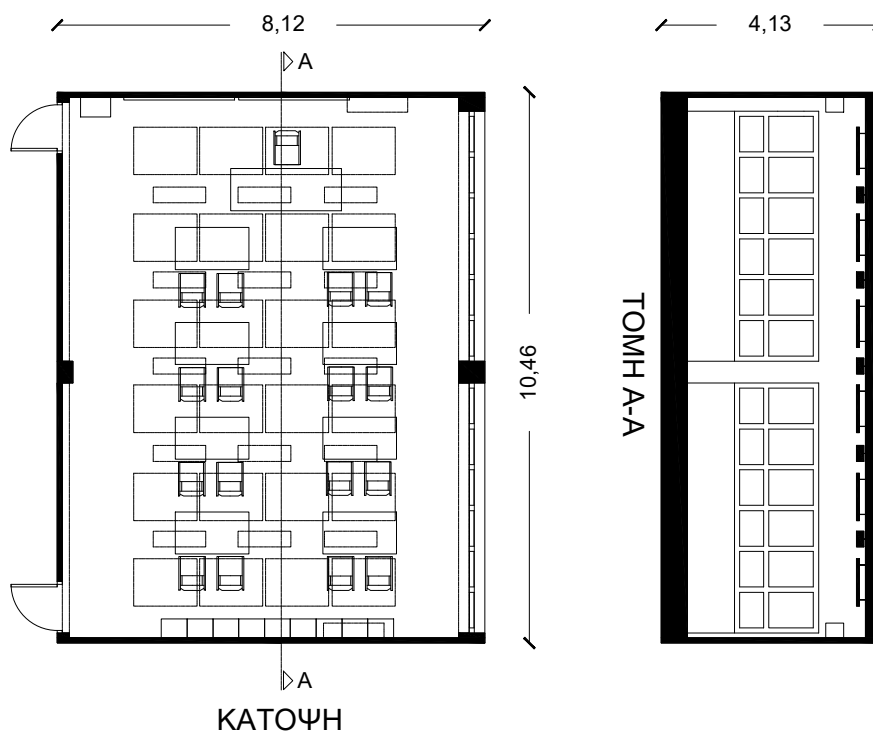
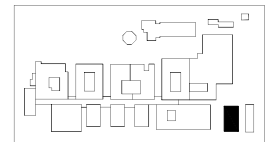












ΚΑΤΟΨΗ

ΤΟΜΗ Α-Α

<p><b>K13 001</b></p> <p>Φωτογράφηση 349x,1</p> <p>Ανοσοτάχ η.δ.α.κ. 3x1,2x,05</p>	<p>S.P.A.:</p> <p>Προϋπολογισμός (χωρίς Φ.Π.Α.): 79.92</p> <p>Προϋπολογισμός (με Φ.Π.Α. 21%): 96.70</p> <p>Μηνιαίο Κόστος: 77,36</p> <p>Προβλεπόμενη ημερήσια: 7x36</p> <p>Μηνιαίο: 25,2</p> <p>Συνολικός: 6,16</p> <p>Μηνιαίο κόστος:</p> <p>Μηνιαίο κόστος (χωρίς Φ.Π.Α.): 57,07</p> <p>Μηνιαίο κόστος με Φ.Π.Α. (21% Φ.Π.Α.): 69,05</p> <p>Κόστος: 2,48</p> <p>Μηνιαίο κέρδη (με Φ.Π.Α.): 2,79</p> <p>Μηνιαίο κόστος (χωρίς Φ.Π.Α.):</p> <p>Μηνιαίο κόστος:</p> <p>Μηνιαίο κόστος:</p> <p>Μηνιαίο κόστος με Φ.Π.Α. (21% Φ.Π.Α.):</p> <p>Μηνιαίο κόστος με Φ.Π.Α. (21% Φ.Π.Α.):</p>
------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------









## 6. Συμπεράσματα

### 6.1 Συμπεράσματα για την ακουστική των αιθουσών που μελετήθηκαν

Όπως φαίνεται στις παραπάνω αποτυπώσεις και μετρήσεις των υπάρχουσών αιθουσών διδασκαλίας, διατυπώνεται το συμπέρασμα ότι η ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας στις αίθουσες αυτές και κατ' επέκταση στο ΠΔΑ (αφού οι περισσότερες αίθουσες στο Πανεπιστήμιο βρίσκονται σε παρόμοια κατάσταση) δεν είναι καλή. Αυτό το συμπέρασμα επαληθεύεται από το γεγονός πως αυτές οι αίθουσες βρίσκονται σε όλη την έκταση του ΠΔΑ, αφού μελετήθηκε τουλάχιστον μια αίθουσα από κάθε κτήριο που χρησιμοποιείται για διδασκαλία. Ο κύριος λόγος για την έλλειψη ακουστικού σχεδιασμού στις αίθουσες του ΠΔΑ είναι προφανώς και η έλλειψη του αντίστοιχου κανονισμού για την ακουστική στην Ελλάδα. Συνοψίζοντας, οι αίθουσες που μελετήθηκαν χρειάζονται ακουστική διόρθωση έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση της διαδικασίας της διδασκαλίας.

### 6.2 Συμπεράσματα για τις εναλλακτικές λύσεις ακουστικής διόρθωσης/βελτίωσης που προτάθηκαν

Όπως φαίνεται και στις παραπάνω λύσεις που προτάθηκαν για την επίλυση του προβλήματος της κακής ακουστικής των αιθουσών του ΠΔΑ, διατυπώνεται το συμπέρασμα πως είναι απαραίτητες για την σωστή διεξαγωγή τη διδασκαλίας. Η πρώτη λύση είναι πιο σύνθετη καθώς αποτελείται από ειδική (για κάθε αίθουσα) κατασκευή με γυψοσανίδα που περιλαμβάνει και πρόταση φωτισμού ενώ η δεύτερη λύση είναι πιο απλή αφού αποτελείται από μια σύνθεση με κρεμαστά ακουστικά πάνελ. Ο λόγος που επιλέχθηκαν δύο διαφορετικές λύσεις είναι για να γίνουν εμφανής οι δυνατότητες τεχνικό-οικονομικών και αισθητικών επιλογών.

Τα θετικά της πρώτης λύσης είναι η εύκολη συντήρηση της ενώ της δεύτερης είναι η εύκολη τοποθέτηση και εξατομίκευση.



Εικόνα 57: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2



Εικόνα 58: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2 (εναλλακτική 1)



Εικόνα 59: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2 (εναλλακτική 2)



Εικόνα 37: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 1

Τα αρνητικά της πρώτης λύσης είναι η δύσκολη και χρονοβόρα τοποθέτηση (καθώς πρόκειται για ειδική κατασκευή) ενώ της δεύτερης είναι η αρκετά δύσκολη συντήρηση της (Εικόνα: 57).

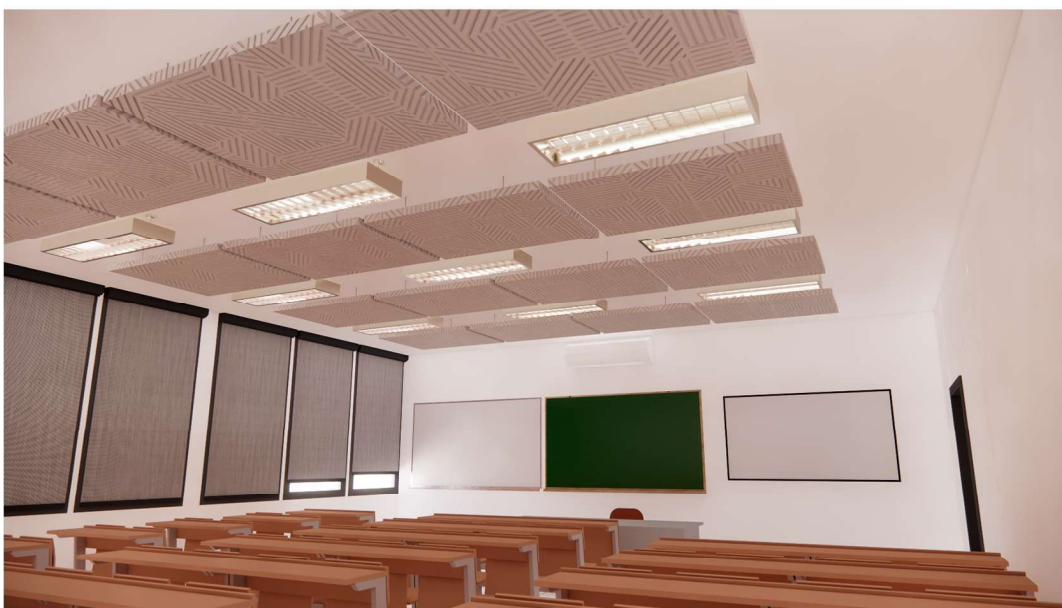




Εικόνα 76: Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας χωρίς καμία επέμβαση



Εικόνα 37: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 1



Εικόνα 59: Τρισδιάστατη απεικόνιση λύσης 2 (εναλλακτική 2) 86



## 7. Βιβλιογραφία

Βικιπαίδεια, Ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια (2021), Λήμμα Ακουστική, Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [https://el.wikipedia.org/wiki/Ακουστική\\_χώρων](https://el.wikipedia.org/wiki/Ακουστική_χώρων)

Βικιπαίδεια, Ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια (2021), Λήμμα Ακουστική, Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://el.wikipedia.org/wiki/Ακουστική>

ΙΕΚ ΔΕΛΤΑ, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ, Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [https://iekdeltalive.gr/sound-music/ΜΟΥΣΙΚΙ\\_ΜΕ\\_ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ/b04c96333e0e8bc05b51b4398757ce9b/ff8ba162234dfa3a0ad9d41700d9bc1a/ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ.pdf](https://iekdeltalive.gr/sound-music/ΜΟΥΣΙΚΙ_ΜΕ_ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ/b04c96333e0e8bc05b51b4398757ce9b/ff8ba162234dfa3a0ad9d41700d9bc1a/ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ.pdf)

Καμπουράκης, Γ., (2005), <<ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Η ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΤΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ>>, Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://docplayer.gr/3591500-I-akoystiki-ton-aithouson-didaskalias-kai-oi-epiptoseis-stin-epikoinonia.html>

Μπόμπολος, Ν., (2022) Α, «07-Ακουστική βελτίωση Ι», Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA170/07-Ακουστική%20βελτίωση%20I.pdf>

Μπόμπολος, Ν., (2021) , «09-Ακουστική βελτίωση ΙΙΙ», Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA170/09-Ακουστική%20βελτίωση%20III.pdf>

Μπόμπολος Ν. (2022) Β, «Ακουστική βελτίωση / διόρθωση αιθουσών ΙΙ» Διαθέσιμο: <https://eclass.uniwa.gr/modules/document/?course=IA180>

Μπόμπολος Ν. (2019). «20.Ψευδοροφές» Διαθέσιμο: <https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IA165/20-Ψευδοροφές.pdf>

Acoustical Society of America (2013), «PACS 2010 Regular Edition—Acoustics Appendix». Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο στις 14 Μαΐου 2013. Ανακτήθηκε στις 22 Μαΐου 2013. Structural Acoustics & Vibration Technical Committee. «Structural Acoustics & Vibration Technical Committee». Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο στις 3 Νοεμβρίου 2013. Ανακτήθηκε στις 22 Μαΐου 2013.

Anderson, K. L. (1997), «The Sound of Learning», American-School-Board-Journal 1997, 184(10), p. 26-28.

Andersson, K. ; Berglund, B. ; Hogstad, K.-E. ; Hygge, S. ; Jauhiainen, T. ; Lindvall, T. ; Moller, H. ; Paikkala, S.-L. ; «Noise effects», Copenhagen: Nordic Council of Ministers, Final Report No. 545.

Bartsch, G. ; Berger, K. ; Neumann, G. (1984) «Untersuchungen zur Lärmexposition des Krippenkindes», Z. für die gesamte Hygiene, 30(6), 354-358.

Berglund, B. (1995), «Health effects of community noise», In: Newman, M. (Ed.): Proceedings of the 15th International congress of acoustics, Vol. 2, Trondheim: Acoustical Society of Norway 1995; p. 11-15. Zit. nach: Annual Report 35 from the Dep. of Psychology, Stockholm U, p.6-7.

Crandell, C. C. (1997), «Pilot studies of speech communication in elementary school classroom», J. Acoustical Society of America 1997, 101, No. 5, Pt. 2, May 1997, 133rd Meeting of the ASA.

Crandell, C. C., Siebein, G. W. ; Gold, M. A. ; Hassell, M. J. ; Lee, H. W. ; Herr, C. R. ; Lehde, M. ; Lee, H. W. ; Lehde, M. ; Asby, J. G. W. ; Hasell, M. J. ; Abott, P. ; Crandell, C. C. (1998), «Classroom acoustics IV: Speech perception of normal hearing and hearing-impaired children in classrooms», Proceedings 16th International Congress on Acoustics and 135th Meeting of ASA 1998, Vol. 4, p. 2727-2728.

DeJoy, D. M. (1983), «Environmental noise and children: Review of recent findings», J. of Auditory Research 1983, 23(3), 181-194.

Evans, G. W., (1998), «The motivational consequences of exposure to noise», In: Carter, N.; Job, S.(Eds.): Noise Effects '98. 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem. Sydney, Vol. 1; p. 311-320.

- Evans, G. W. ; Hygge, S. ; Bullinger, M. (1998), «Chronic noise and psychological stress», *Psychological Science*, 6, 333-338.
- Fuchs, H.; Zha, X. (1996), Raum-Klang «Akustisches Design für Schul- und Kommunikationsräume», *AIT. Architektur, Innenarchitektur, Technischer Ausbau* 1996, 104(5), 100-104.
- Finitzo, H. ; T., Tillman, T. W. (1978), «Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination ability for normal and hearing-impaired children», *J. of Speech and Hearing Research* 1978, Vol. 21(3), 440-458.
- Grosch, C. ; Niebsch, G. (1983), Schneeweiss, B., «Lehrgang für Ärzte, die Kinder im Vorschulalter betreuen», *Tagungsbericht. Kinderärztliche Praxis* 1983, 51(4), 177-179.
- Gold, M. A. ; Lee, H. W. ; Siebein, Lehde, M. ; Asby, J. G. W. ; Hasell M. J. ; Abott, P. ; Crandell C. C. (1998), «Classroom acoustics II: Acoustical conditions in elementary school classrooms», *Proceedings 16th International Congress on Acoustics and 135th Meeting of ASA* 1998, Vol. 4, p. 2723-2724.
- Holmes, R. M. (1991), «If It's Fun, Is It Schoolwork?», *A Kindergartner's Analysis. Reading Improvement* 1991, 28, 52-56.
- Lucker, J.R. ; Geffner, D. ; Koch, W. (1996), Perception of loudness in children with ADD and without ADD. *Child Psychiatry and Human Development*, 26, 181-190.
- Miller, P. H. (1982), «Children`s and adults` integration of information about noise and interest levels in their judgements about learning», *J. of Experimental Child Psychology* 1982, 33 (3), 536-546.
- Miller, P. H. ; Shannon, K. A. (1984), «Young children`s understanding of the effects of noise and interest level on learning», *Genetic Psychology Monographs* 1984, 110, 71-90.
- Miller, P. H. ; Zalenski, R. (1982), «Preschoolers` knowledge about attention», *Development Psychology* 1982a, 18(6), 871-875.
- Morfey, C. (2001), *Dictionary of Acoustics. Academic Press.* σελ. 32.
- Madell, J. R. (1990), «Managing classroom amplification», In: Ross, Mark, et al. (Eds.): *Hearing-impaired children in the mainstream.* Parkton (MD, USA): York Press, 1990, p. 95-118.
- Neumann, G. ; Berger, K. ; Bartsch, C. (1985), «Gegen den Lärm, für das Wohlbefinden der Kinder», *Neue Erziehung im Kindergarten* 1985, 38 (6), 132-133.
- Nilsson, P. (1998), «Noise-induced hearing loss and tinnitus in kindergarten teachers», In: Carter, N., Job, S. (Eds.): *Noise Effects ,98. 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem.* Sydney, 1998. Vol. 1, p. 47-50.
- Nober, L. W. (1973), «Auditory discrimination and classroom noise», *Reading Teacher* 1973, 27(3), 288-291.
- Nober, L. W. ; Nober, E. H. (1975), «Auditory discrimination of learning disabled children in quiet and classroom noise», *J. of Learning Disabilities* 1975, 8(10), 656-659.
- Piper, A. ; Szymanek, P. (1998), «Taten statt Warten Gesundheitsschutz im Schulbereich», *Beispiele* 1998, 16(4), 24-26.
- Picard, M. (1997), «Speech interference by noise in classrooms and remedial solutions», *J. Acoustical Society of America* 1997, 101, No. 5, Pt. 2, May 1997, 133rd Meeting of the ASA.
- Pekkarinen, E. ; Viljanen, V. (1990), «Effect of sound-absorbing treatment on speech discrimination in rooms», *Audiology* 1990, 29(4), 219-227.
- Passero C. ; Zannin P. (2010), *Applied Acoustics*, Volume 71, Issue 12, December 2010, Pages 1204-1210

Sala, E. ; Airo, E. ; Lain, A. ; Olkinuora, P. ; Pentti, J. ; Suonpää, J. (1998), «Vocal loading and prevalence of voice disorders of day care center personnel», In: Carter, N., Soames Job, R. F. (Eds.), Noise Effects, 98. 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem. Sydney, 1998. Vol. 1; p. 385-388.

Spreng, M. (1994), «Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm», Bonn: Umweltbundesamt 1994 (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Lärmbekämpfung, Forschungsbericht 105 01 213/06). Staatliches Gymnasium in Neufahrn bei Freising.: Wettbewerbe-aktuell 1994, 24(4), 41-52.

Templeton, D. (1993), Acoustics in the Built Environment: Advice for the Design Team. Architectural Press.

Werner, E. (1998), «Musik aus ohrnahen Schallquellen - Entspannung oder zu reglementierende Gefahr?», Z. für Lärmbekämpfung 1998, 45(3), 122-126.

Wachs, T. D. (1987), «Specificity of environmental action as manifest in environmental correlates of infant's mastery motivation», Development Psychology 1987, 23, 782-790.

[konstantinoskous2@gmail.com](mailto:konstantinoskous2@gmail.com)